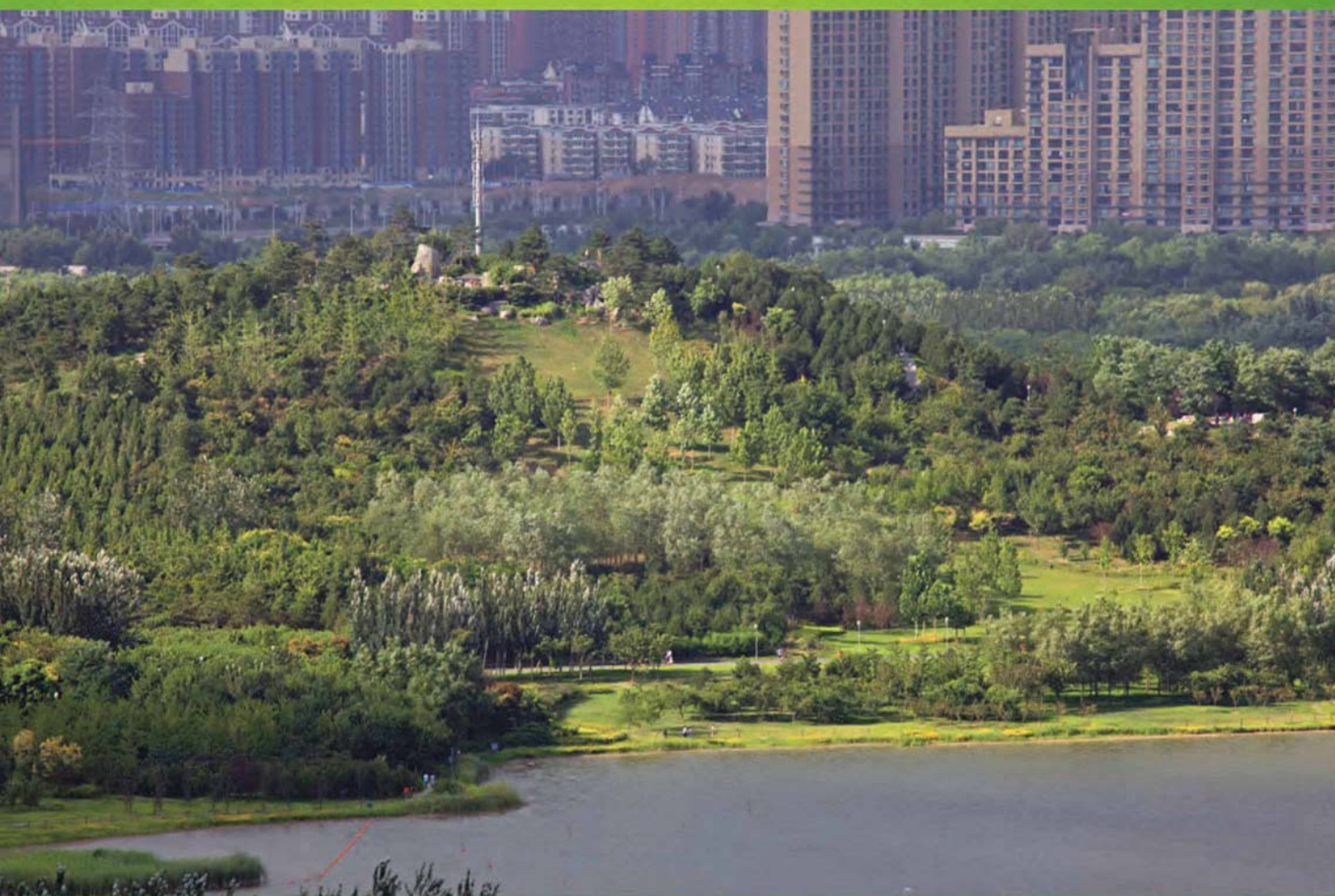


ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第34卷 第1期 Vol.34 No.1 **2014**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 34 卷 第 1 期 2014 年 1 月 (半月刊)

目次

卷首语: 复杂与永续..... (I)

前沿理论与学科综述

城市复合生态及生态空间管理 王如松, 李 锋, 韩宝龙, 等 (1)

海洋生态系统固碳能力估算方法研究进展 石洪华, 王晓丽, 郑 伟, 等 (12)

城市生态系统灵敏度模型评述 姚 亮, 王如松, 尹 科, 等 (23)

城市生活垃圾代谢的研究进展..... 周传斌, 徐琬莹, 曹爱新 (33)

个体与基础生态

胶州湾生物-物理耦合模型参数灵敏度分析 石洪华, 沈程程, 李 芬, 等 (41)

渤海湾大型底栖动物调查及与环境因子的相关性 周 然, 覃雪波, 彭士涛, 等 (50)

生物扰动对沉积物中污染物环境行为的影响研究进展 覃雪波, 孙红文, 彭士涛, 等 (59)

种群、群落和生态系统

密云水库上游流域生态系统服务功能空间特征及其与居民福祉的关系 ... 王大尚, 李屹峰, 郑 华, 等 (70)

长岛自然保护区生态系统维护的条件价值评估 郑 伟, 沈程程, 乔明阳, 等 (82)

海岛陆地生态系统固碳估算方法 王晓丽, 王 媛, 石洪华, 等 (88)

景观、区域和全球生态

区域生态文明建设水平综合评估指标 刘某承, 苏 宁, 伦 飞, 等 (97)

基于生境质量和生态响应的莱州湾生态环境质量评价 杨建强, 朱永贵, 宋文鹏, 等 (105)

1985 年以来黄河三角洲孤东海岸演变与生态损益分析 刘大海, 陈小英, 徐 伟, 等 (115)

基于复合生态系统理论的海洋生态监控区区划指标框架研究 徐惠民, 丁德文, 石洪华, 等 (122)

我国环境功能评价与区划方案 王金南, 许开鹏, 迟妍妍, 等 (129)

资源与产业生态

生态产业园的复合生态效率及评价指标体系 刘晶茹, 吕 彬, 张 娜, 等 (136)

我国农业生态效率的时空差异..... 程翠云, 任景明, 王如松 (142)

内蒙古半干旱生态脆弱矿区生态修复耦合机理与产业模式 陈玉碧, 黄锦楼, 徐华清, 等 (149)

基于物质流分析方法的生态海岛建设研究——以长海县为例 陈东景, 郑 伟, 郭惠丽, 等 (154)

再生(污)水灌溉生态风险与可持续利用 陈卫平, 吕斯丹, 张炜铃, 等 (163)

基于流域单元的海湾农业非点源污染负荷估算——以莱州湾为例..... 麻德明, 石洪华, 丰爱平 (173)

集约用海对海洋生态环境影响的评价方法 罗先香,朱永贵,张龙军,等 (182)

城乡与社会生态

基于生态系统服务的城市生态基础设施:现状、问题与展望..... 李 锋,王如松,赵 丹 (190)

北京城区道路系统路网空间特征及其与 LST 和 NDVI 的相关性 郭 振,胡 聃,李元征,等 (201)

基于复合生态功能的城市土地共轭生态管理 尹 科,王如松,姚 亮,等 (210)

重庆市森林生态系统服务功能价值评估 肖 强,肖 洋,欧阳志云,等 (216)

渤海湾港口生态风险评估 彭士涛,覃雪波,周 然,等 (224)

达标污水离岸排海末端处置技术研究综述 彭士涛,王心海 (231)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 238 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 28 * 2014-01



封面图说: 北京奥林匹克公园——在高楼林立的大城市中,办公楼、居民区、学校、路网系统、公园以及各种水泥、沥青硬路面和树木、绿草地、土面、水面等等组成了复杂多样的城市生态景观,居住着密集的人口并由于人们不断的、强烈的干预,使这个城市生态系统显得尤其复杂而又多变。因此,系统复杂性及灵敏度是困扰城市生态系统研究和管理的重要因素,建立灵敏度模型是致力于解决城市规划管理中的复杂性问题的有效方法,网状思维与生物控制论观是其核心,也是灵敏度模型的思想基础。图为北京中轴线北端被高楼簇拥着的奥林匹克公园的仰山和龙型水系。

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

DOI: 10.5846/stxb201305020903

周然, 覃雪波, 彭士涛, 石洪华, 邓仕槐. 渤海湾大型底栖动物调查及与环境因子的相关性. 生态学报, 2014, 34(1): 50-58.

Zhou R, Qin X B, Peng S T, Shi H H, Deng S H. Macroinvertebrate investigation and their relation to environmental factors in Bohai Bay. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(1): 50-58.

渤海湾大型底栖动物调查及与环境因子的相关性

周 然^{1,2}, 覃雪波^{2,3}, 彭士涛^{2,4}, 石洪华⁴, 邓仕槐^{1,*}

(1. 四川农业大学资源环境学院, 成都 611130; 2. 交通运输部天津水运工程科学研究所, 天津 300456;

3. 天津自然博物馆, 天津 300074; 4. 国家海洋局第一海洋研究所, 青岛 266061)

摘要:对渤海湾大型底栖动物和环境因子进行调查, 利用多元分析技术对大型底栖动物与环境因子之间的关系进行研究。调查期间共发现大型底栖动物 45 种, 平均密度为 406 个/m²。大型底栖动物数量空间变化明显, 呈现从近岸到外海降低的变化特征。运用典范对应分析(CCA)探讨大型底栖动物与环境因子之间的关系, 并采用向前引入法对环境因子进行逐步筛选, Monte Carlo 置换检验结果显示, 水深、无机氮和溶解氧是影响渤海湾大型底栖动物空间分布的关键环境因子。

关键词:大型底栖动物; 环境因子; 典范对应分析(CCA); 渤海湾

Macroinvertebrate investigation and their relation to environmental factors in Bohai Bay

ZHOU Ran^{1,2}, QIN Xuebo^{2,3}, PENG Shitao^{2,4}, SHI Honghua⁴, DENG Shihuai^{1,*}

1 College of Resource and Environment, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China

2 Tianjin Research Institute for Water Transport Engineering, Tianjin 300456, China

3 Tianjin Natural History Museum, Tianjin 300074, China

4 The First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Qingdao 266061, China

Abstract: Bohai Bay is a semi-enclosed bay, which is located in the western region of Bohai Sea in northern China. This bay has been conditioned strongly, historically, by different anthropogenic pressures. In particular, during the recent three decades, with rapid industrialization and urbanization, the seashore area of Bohai Bay were reclaim for agriculture and aquiculture, and subsequent occupation of those areas for urban, industrial and port developments have provoked a dramatic reduction in size. The seawater quality of Bohai Bay is deteriorated gradually. Due to the low movement of macroinvertebrate, they can be as a good indicator of change in their environment. In the present study, an interdisciplinary survey of hydrological, chemical and biological resources was conducted in the Bohai Bay in May 2008. The distribution of macroinvertebrate and their relation to environmental factors were performed with multivariate analysis techniques. The main aim of this study is describe the composition and abundance of macroinvertebrate and to select the best variables describing the macroinvertebrate distribution in Bohai Bay. The result shown that there were 45 taxa were observed during the study period. The highest frequency of the species is *Nucula paulula*, which contributed up to 77% of the stations. *Planocera* sp., *Protankyra bidentata* and *Raphidopus ciliatus* were also found in more than 50% of the stations. The mean of macroinvertebrate abundance was 406 ind./m². The high abundance of macroinvertebrate was found at the coastal sites, while the low at the offshore sites. The highest abundance was found in the S7, with 6008 ind./m². However, there were not macroinvertebrate were found in the S20, where is nearly the Tianjin Port. There were three dominant species including

基金项目:科技基础性工作专项资助项目(2012FY112500); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助项目(TKS100105)

收稿日期:2013-05-02; **修订日期:**2013-09-22

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: shdeng8888@163.com

Abrina lunella, *Nucula paulula* and *Theora fragilis* during study periods, with the dominance of 0.02, 0.03 and 0.22, respectively. *Abrina lunella* and *Nucula paulula* were found in most of the stations, however, *Theora fragilis* mainly distributed in the S7 and S8. Compared to the other investigations in the Bohai Bay, the species number, density and dominant species were significantly varied. For example, there were 122 species in the 1983, while 45 species in the present study. It is unexpected that there were 111 species in the 2011. These results indicate that there was variation in the macroinvertebrate community in Bohai Bay. This can be explained by the fact that the changes in the environmental quality of the Bohai Bay as a result of the anthropogenic pressures. Multivariate ordination techniques were used to analyze the effects of environmental variables on the macroinvertebrate community by CANOCO version 4.5. The measured environmental factors, including water depth, water temperature, pH, salinity, dissolved oxygen, dissolved inorganic nitrogen, soluble reactive phosphorus, and silicate. All of these environmental variables were $\log_{10}(x+1)$ transformed before analysis except for pH. In the data matrix of species abundance, only those taxa that occurred greater than 5% of the total abundance at least in one sample were incorporated into the analysis. The species data were $\log_{10}(x+1)$ transformed before analysis to obtain consecutive distributions. The results of canonical correspondence analysis (CCA) with forward selection indicated that water depth ($F=1.71$, $P=0.01$), dissolved inorganic nitrogen ($F=1.84$, $P=0.01$) and dissolved oxygen ($F=1.68$, $P=0.02$), were the most important environmental factors influence macroinvertebrate assemblages during the study periods.

Key Words: macroinvertebrate; environmental factors; CCA; Bohai Bay

渤海湾是一个典型的半封闭海湾,由于与外海的水交换非常缓慢,湾内的各种污染物容易累积,导致水质下降^[1]。特别是近年来随着环渤海地区经济的高速发展,大量生产生活污水被排放到渤海湾,水质进一步恶化。作为海洋生态系统中的一个重要的生态类群,大型底栖动物在能流和物流中占有十分重要的地位,特别是其活动能力弱、栖息地相对稳定、对海洋环境反应敏感的特点,长期以来一直作生态系统变化的环境指示种^[2-4]。渤海湾底栖动物早有研究,但主要涉及物种、丰度、生物量、物种多样性、群落结构等^[5-6]。环境因子影响大型底栖动物的分布,然而大型底栖动物和环境因子之间的关系研究在渤海湾却鲜有涉及。

2008年5月,对渤海湾大型底栖动物和环境因子进行调查,运用多元分析探讨大型底栖动物与环境因子之间的关系,明确影响大型底栖动物空间分布的关键环境因子,为评估人类活动对渤海湾生态环境的影响提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 站位布设

2008年5月,在渤海湾均匀设置30个站位(图1),其中S7位于南部水域,邻近热电厂;S13邻近海

河河口;S19位于北塘河口附近;S位25位于天津汉沽区附近。

1.3 样品采集与分析

采样使用取样面积为0.10m²的抓斗式采泥器,每站取样5次,合并为1个样品,用0.50 mm孔径的网筛分选样品。样品的处理、保存、计数等按《海洋调查规范》^[7]操作。

水深和透明度根据《海洋调查规范》^[7]进行测定;水温(WT)、pH、盐度(Sal)和溶解氧(DO)等环境参数由便携式多参数-水质分析低仪(MS5, HACH)现场测定。营养盐,包括亚硝酸盐(NO₂-N)、硝酸盐(NO₃-N)、氨氮(NH₄-N)、溶解性活性磷酸盐(SRP)和硅酸盐(SiO₄),参考APHA(1998)方法进行分析^[8],其中亚硝酸盐、硝酸盐、氨氮合并为无机氮(DIN)。

1.3 数据处理

优势种由公式 $y = f_i \times p_i$ 来确定,式中 y 为优势度, f_i 为 i 种在采样点中出现频率, p_i 为 i 种在总数量中的比例, $y > 0.02$ 时,定为优势种^[9]。

环境因子和大型底栖动物数量的站位间差异采用单因素方差分析法(One-way ANOVA)进行分析,在SPSS13.0上进行。

大型底栖动物与环境因子的排序分析采用多元

分析进行,在 Canoco for windows 4.5 软件包上进行。

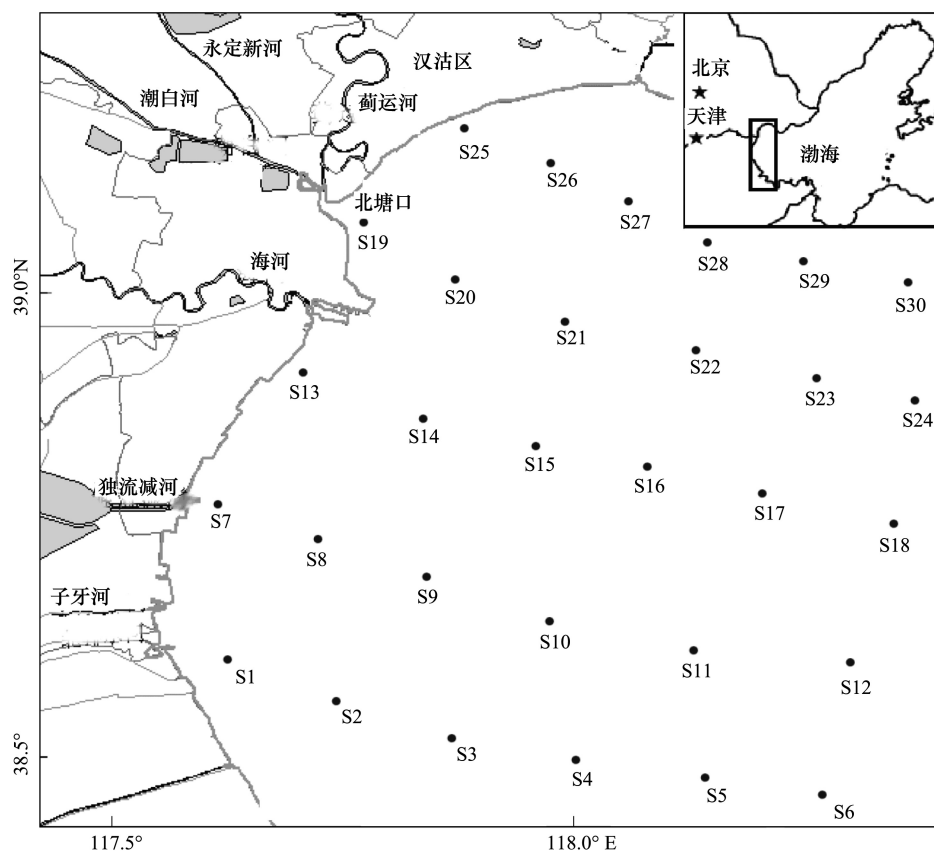


图1 渤海湾调查站位

Fig.1 The sampling stations in Bohai bay

进入排序的大型底栖动物要经过筛选,只有至少在一个站位数量占该站位总数量 5% 以上的种类才考虑^[10]。分析前,大型底栖动物数据量和环境因子(除 pH 外)均转换成 $\log(x+1)$ 形式。首先对物种变量进行除趋势对应分析(DCA),以确定群落属于单峰型分布或线型分布^[11]。DCA 结果表明,所有轴中梯度最长为 4,大于 3,因此运用典范对应分析(CCA)进行大型底栖动物与环境因子之间关系分析,同时采用向前引入法逐步筛选出显著的环境变量,每一步都采用 Monte Carlo 置换检验。

2 结果

2.1 海区环境特征

各站位的水环境特征见图 2。从图 2 中可见,水深、盐度从近海到外海呈现增加的趋势,相反,水温呈现下降变化特征;pH 和溶解氧的空间分布没有规律性。营养盐的空间分布主要受入海径流的影响,浓度由近岸向外海逐渐降低,表明入海河流是海洋

营养盐的重要来源。

2.2 大型底栖动物种类与数量

调查期间,在渤海湾发现 45 种大型底栖动物,出现频率最高的是小胡桃蛤(*Nucula paulula*),达到 77%,其次是涡虫(*Planocera* sp.)、棘刺锚参(*Protankyra bidentata*)和绒毛细足蟹(*Raphidopus ciliatus*),出现频率也超过 50%。共有 35 种大型底栖动物至少在一个站位数量占该站位总数量 5% 以上(表 1)。

渤海湾大型底栖动物平均密度为 406 个/ m^2 。数量空间分布明显,呈现从近岸到外海降低的分布特征(图 3),最高值出现位于南部海域的 S7,高达 6008 个/ m^2 ,而位于天津港附近的 S20,没有采到大型底栖动物。

共发现 3 个优势种,分别是小月阿布蛤(*Abrina lunella*)、小胡桃蛤(*Nucula paulula*)和脆壳理蛤(*Theora fragilis*),优势度分别为 0.02, 0.03, 0.22,其中小月阿布蛤和小胡桃蛤分布于多个站位,而脆壳

理蛤主要分布于 S7 和 S8 (图 4)。

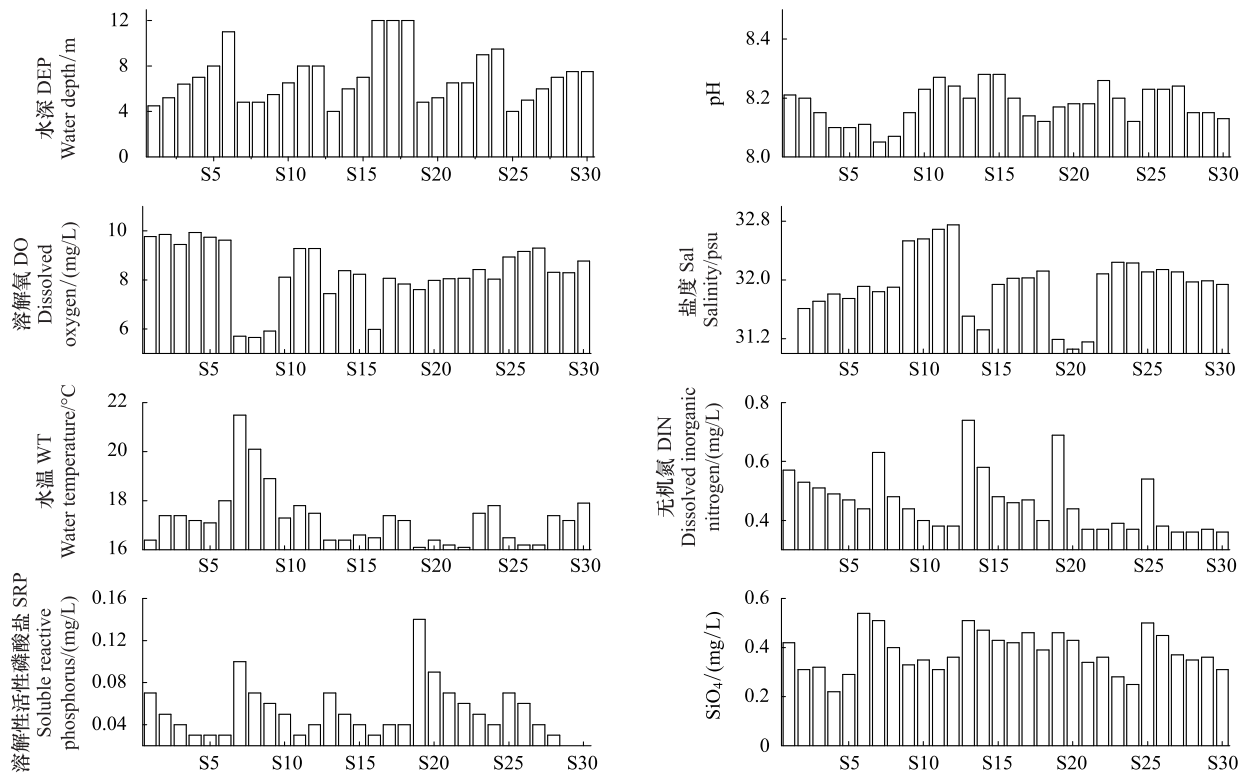


图 2 渤海湾各站位水体理化参数
Fig.2 Water physicochemical variables in different sampling stations of Bohai bay

表 1 渤海湾主要大型底栖动物
Table 1 The main macroinvertebrate in Bohai Bay

代码 Code	大型底栖动物 Macroinvertebrate	代码 Code	大型底栖动物 Macroinvertebrate
n1	小月阿布蛤 <i>Abrina lunella</i>	n19	异足索沙蚕 <i>Lumbrineris heteropoda</i>
n2	日本鼓虾 <i>Alpheus japonicus</i>	n20	明樱蛤 <i>Moerella</i> sp.
n3	倍棘蛇尾 <i>Amphiplus</i> sp.	n21	寡鳃齿吻沙蚕 <i>Nereis oligobranchia</i>
n4	华岗钩裂虫 <i>Ancistrosyllis hanaokai</i>	n22	沙蚕 <i>Nereis</i> sp.
n5	轮螺 <i>Architectonicidae</i> sp.	n23	扁玉螺 <i>Neverita didyma</i>
n6	日本圆柱水虱 <i>Cirolana japonensis</i>	n24	亮樱蛤 <i>Nitidotellina nitidula</i>
n7	大螺赢蜚 <i>Corophium major</i>	n25	小胡桃蛤 <i>Nucula paulula</i>
n8	小头栉孔虾虎鱼 <i>Ctenotrypauchen microcephalus</i>	n26	蛇尾 <i>Ophiuroidea</i>
n9	小刀蛭 <i>Cultellus attenuatus</i>	n27	口虾蛄 <i>Oratosquilla oratoria</i>
n10	巢沙蚕 <i>Diopatra</i> sp.	n28	涡虫 <i>Planocera</i> sp.
n11	薄壳镜蛤 <i>Dosinia corrugaia</i>	n29	光滑河篮蛤 <i>Potamocorbula laevis</i>
n12	镜蛤 <i>Dosinia</i> sp.	n30	棘刺锚参 <i>Protankyra bidentata</i>
n13	圆筒原盒螺 <i>Eocylichna cylindrella</i>	n31	绒毛细足蟹 <i>Raphidopus ciliatus</i>
n14	泥钩虾 <i>Eriopisella</i> sp.	n32	短竹蛭 <i>Solen dunkerianus</i>
n15	灰双齿蛤 <i>Felaniella usta</i>	n33	脆壳理蛤 <i>Theora fragilis</i>
n16	虾虎鱼 <i>Gobiidae</i> sp.	n34	中型三强蟹 <i>Tritodynamia intermedia</i>
n17	无疣齿蚕 <i>Inermonephtys cf.inermis</i>	n35	薄云母蛤 <i>Yoldia similis</i>
n18	纽虫 <i>Nemertinea</i>		

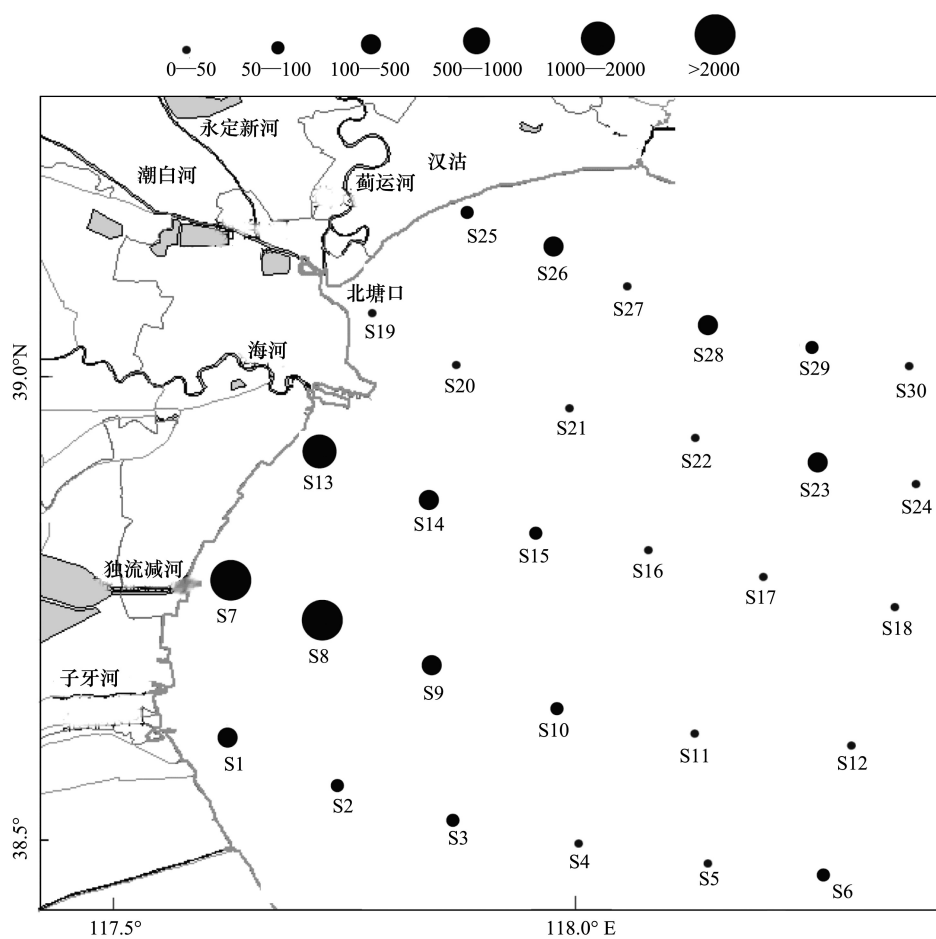


图3 渤海湾大型底栖动物数量空间分布

Fig.3 Distribution of macroinvertebrate amount in Bohai bay

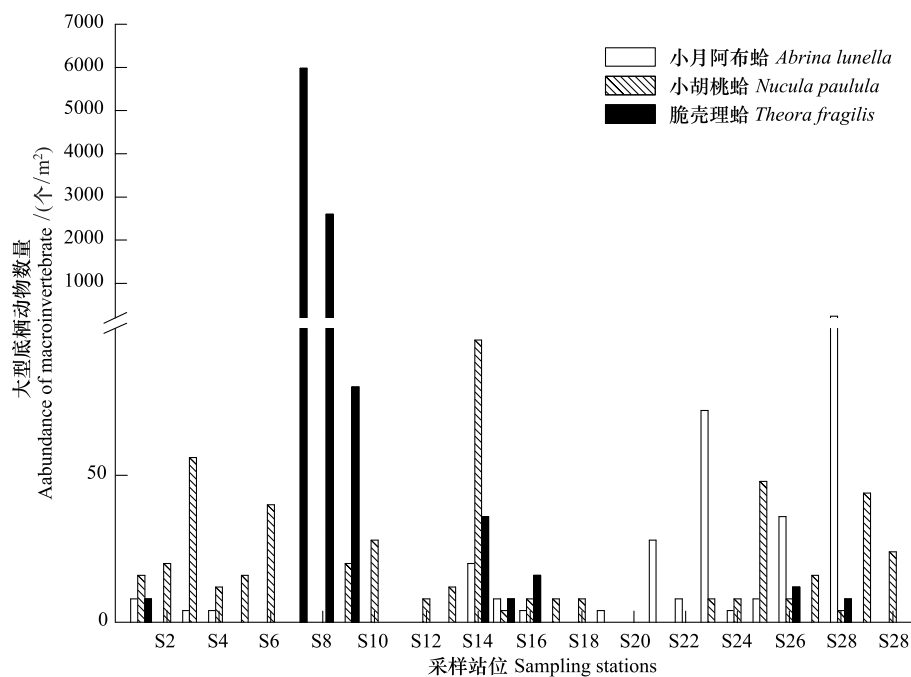


图4 渤海湾大型底栖动物优势种分布

Fig.4 Distribution of dominant species in Bohai bay

2.3 大型底栖动物与环境因子之间关系

用 CCA 分析大型底栖动物与环境因子之间的关系。前两个排序轴的特征值分别为 0.36 和 0.31, 环境因子轴与物种排序轴之间的相关系数分别为 0.90 和 0.91; 两个物种排序轴近似垂直, 相关系数为 -0.10, 两个环境排序轴的相关系数为 0(表 2), 说明排序轴与环境因子间线性结合的程度较好地反映了

物种与环境之间的关系, 排序结果可靠^[12]。利用向前引入法对环境因子进行逐步筛选, Monte Carlo 置换检验结果显示, 8 个环境因子中, 只有水深 ($F=1.71, P=0.01$)、无机氮 ($F=1.84, P=0.01$) 和溶解氧 ($F=1.68, P=0.02$) 达到显著水平, 表明这 3 个环境因子对渤海湾大型底栖动物分布起到主导作用。

表 2 前 2 个排序轴和环境因子间的相关系数

Table 2 Correlation coefficients of environmental factors with the first two axes of CCA

	SP1	SP2	EN1	EN2	DEP	DO	Sal	WT	SRP	DIN	SiO ₄
SP2	-0.10	1.00									
EN1	0.90	0.00	1.00								
EN2	0.00	0.91 **	0.00	1.00							
DEP	-0.56 **	-0.36 *	-0.63 **	-0.40	1.00						
DO	0.02	-0.57 **	0.02	-0.62 **	-0.02	1.00					
Sal	0.36 *	0.57 **	0.40 *	0.62 **	-0.34	-0.77 **	1.00				
WT	-0.30	0.51 **	-0.34	0.56 **	0.32	-0.48 **	0.35	1.00			
SRP	-0.30	0.17	-0.34	0.19	0.00	-0.18	0.02	0.31	1.00		
DIN	0.14	-0.68 **	0.16	-0.74 **	0.53 **	0.28	-0.37 *	-0.10	-0.02	1.00	
SiO ₄	-0.13	0.22	-0.14	0.24	0.43 *	-0.44 *	0.38 *	0.34 *	0.15	0.11	1.00
pH	0.13	-0.33	0.15	-0.36 *	-0.22	0.31	-0.20	-0.65 **	-0.57 **	-0.07	-0.32

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$; SP1 物种排序轴 1, Species axis 1; SP2, 物种排序轴 2, Species axis 2; EN1, 环境因子排序轴 1, Environmental factor axis 1; EN2, 环境因子排序轴 2, Environmental factor axis 2; 水深 Water depth (DEP); 溶解氧 Dissolved oxygen (DO); 水温 Water temperature (WT); 溶解性活性磷酸盐 Soluble reactive phosphorus (SRP); 盐度 Salinity (Sal); 无机氮 Dissolved inorganic nitrogen (DIN)

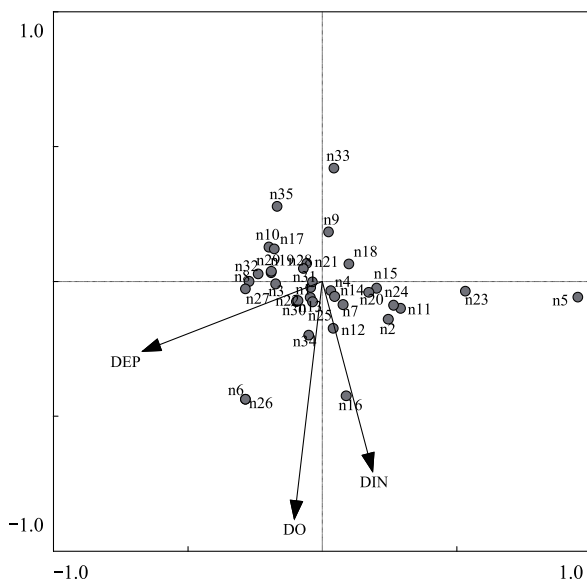


图 5 渤海湾大型底栖动物与环境因子 CCA 排序图(数字是大型底栖动物代码, 表 1)

Fig.5 Correlation plots of the redundancy analysis (RDA) on the relationship between the environmental variables and macroinvertebrate taxa in Bohai bay (the number is the code of the macroinvertebrate in Table 1)

渤海湾大型底栖动物与环境因子之间的关系可以很好在 CCA 排序图中表现出来(图 5)。第一轴与水深呈显著负相关, 代表水深的梯度变化。从图 5 的左到右, 随着水深减少, 即向沿岸, 底栖动物相应增加; 第二排序轴与无机氮和溶解氧呈显著负相关, 代表无机氮和溶解氧的梯度变化。从图 5 的上到下, 随着无机氮和溶解氧增加, 底栖动物相应减少, 表明底栖动物不喜欢栖息于无机氮含量较高的水域, 尽管该水域溶解氧较高。

3 讨论

3.1 渤海湾大型底栖动物群落结构变化

历史上, 渤海湾的大型底栖动物种类非常多, 如 1983 年的调查, 发现 122 种^[5]。进入 21 世纪以来, 渤海湾大型底栖动物的发生较大的变化, 主要表现 3 个方面的变化。一是种数变化, 在 2005 年之前, 种数呈现下降趋势, 而 2005 年之后, 种数开始回升(表 3)。下降的原因是由于多年来特别是改革开放以来, 人类活动造成渤海湾水质降低所致。作为我国

一个重要的经济区,渤海湾所在的区域经济比较发达,与此同时,各种生产活动产生的废水也较多,这些废水通过河流排入渤海湾。据统计,每年大约有 1 亿 t 的来自北京、天津和河北省等的废水被排入渤海湾,使得渤海湾水质急剧下降^[14]。加之渤海湾是一个半封闭海湾,水交换能力弱,加剧水质下降趋势^[1]。随着渤海湾水质下降,势必造成许多底栖动物无法生存,表现为种类降低。2005 年后渤海湾底栖动物种数有所回升,这得益于近年来国家出台各种渤海生态保护政策,如 2001 年开始实施的《渤海碧海行动计划》、2008 年出台的《渤海环境保护总体规划》。在这些政策保障下,一方面,污染物排放量受到控制;另一方面,生态修复工程开始实施,如国家 863 计划课题的“渤海典型海岸带生境修复技术”

就对渤海湾进行了示范。因此,渤海湾的海洋环境得到改善,底栖动物种群开始恢复,表现为种类回升。从表 3 可见,2011 年渤海湾大型底栖动物的种数(111 种)与 1983 年(122 种)相差不远。尽管如此,与渤海的临近海湾相比,渤海湾的大型底栖动物种类不仅低于胶州湾(59 种)^[15],更低于莱州湾(214 种)^[16]。这表明,渤海湾环境压力依然严峻。二是密度发生变化。从表 3 可以看出,近 30 年来,渤海湾大型底栖动物的密度呈现不规则的变化,表明环境波动较大,与人为干扰相关。三是优势种更换频繁。如 2004 年是日本鼓虾和脆壳理蛤,到 2011 年,则是凸壳肌蛤和长偏顶蛤,这也表明渤海湾水环境不稳定。因此,从大型底栖动物群落结构的变化可以看出,渤海湾的生态修复仍需要进一步进行。

表 3 渤海湾大型底栖动物群落结构变化

Table 3 The variation of the macroinvertebrate community structure in Bohai Bay

年份 Year	种数 Species number	密度 Density	优势种 Dominant species	参考文献 References
1983	122	153	—	[5]
2004	29	402.8	日本鼓虾、脆壳理蛤	[4]
2005	60	45	无明显优势种	[5]
2007	36	120.27	脆壳理蛤、小胡桃蛤、绒毛细足蟹和涡虫	[4]
2008	45	406	小月阿布蛤、小胡桃蛤、脆壳理蛤	本研究
2009	51	656	—	[13]
2010	72	359	—	[13]
2011	111	3378	凸壳肌蛤、长偏顶蛤	[13]

3.2 渤海湾大型底栖动物与环境因子关系

大型底栖动物不仅受到底质影响,也受到底层水环境的影响^[17]。在两个底质相同的海区,由于水环境条件不同,两者底栖动物完全不同^[18]。以本研究的 S19 和 S20 站位为例,两站位均位于北塘入海口附近,底质均为粘土^[19],但两个站位的大型底栖动物完全不同,在 S19 主要分布有小月阿布蛤和泥钩虾,而在 S20 站位没有采到大型底栖动物。这表明,水环境对底栖动物的分布具有重要的影响。在本研究中,水深、无机氮和溶解氧是影响渤海湾大型底栖动物分布的重要环境因子。

水深影响底栖动物的分布,可能与两方面相关。一是水深与透明度相关。水体透明度影响光在水中的强度。动物的生长需要一定的光照,过高或过低都会影响动物的生长发育。从图 5 中看,渤海湾的众多底栖动物分布于中等深度的海域中,这是由于

水深过低,说明离岸最近,受到的人为干扰大^[20],现场调查发现,近岸水域水体较混浊,透明度小,也不利于动物生长发育。然而,水深过高,使得进入水中的光强不够,从而影响动物的生长发育。二是可能与不同的底栖动物的生活习性相关。通常,水深是影响多毛类分布的主要环境因子^[21]。因此,在图 5 中,异足索沙蚕、寡鳃齿吻沙蚕和沙蚕与水深向量显著相关。本研究与 Glockzin 和 Zettler 的研究结果相似,他们发现水深显著影响南波罗的海的波美拉尼亚海湾大型底栖动物的分布^[22]。

Dippner 和 Ikauniece 认为,富营养化对大型底栖动物群落产生显著影响^[23]。作为衡量富营养化程度重要指标之一的无机氮在本研究中显著影响大型底栖动物的分布。一项对山东半岛南部海湾底栖动物研究表明,水体中营养盐物质增加时,大型底栖动物多样性相应降低^[17]。在本研究中,大型底栖动物

主要分布于无机氮含量较低的水域(图 5),表明渤海湾水体无机氮浓度已经对该海域的大型底栖动物产生的负面影响。因此,控制氮的输入是维持渤海湾生态平衡的重要举措之一。

溶解氧对底栖动物的分布及群落结构具有明显的影响^[24],相关研究表明,当水体中的溶解氧低于 2 mg/L 时,底层拖网的渔获量基本为 0^[25]。然而,在本研究中,发现大型底栖动物主要分布于溶解相对较低的区域(图 5)。造成这种原因可能是本研究中的溶解含量总体较高,最低值都超过 6 mg/L,均高于一类海水标准。因此可以认为其并非是底栖动物分布的限制因子。相关分析表明,溶解氧和无机氮成显著正相关(表 2),可能是造成其成显著环境因子的其中原因之一。从各个环境因子之间的关系也可以看出,其它一些环境因子与本研究得到的 3 个显著环境因子之间也呈显著相关(表 2),这表明,大型底栖动物与环境因子之间的关系是错综复杂,仍需要进一步研究。

4 结论

(1)渤海湾共发现大型底栖动物 45 种,平均密度为 406 个/m²。底栖动物数量空间差异明显,呈现从近岸到外海降低的变化特征。

(2)近 30 年来,渤海湾大型底栖动物种类、密度和优势种都发生了明显的变化,这种变化与渤海湾的海洋环境质量变化相关。渤海湾的环境并不稳定,生态修复仍需要进一步进行。

(3)渤海湾大型底栖动物空间分布主要受到水深、无机氮和溶解氧等 3 个环境因子的影响。

References:

- [1] Peng S T, Qin X B, Shi H H, Zhou R, Dai M X, Ding D W. Distribution and controlling factors of phytoplankton assemblages in a semi-enclosed bay during spring and summer. *Marine Pollution Bulletin*, 2012, 64(5): 941-948.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [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] Pang E J, Li J, Ma W L, Chen W, Wang J L. Preliminary research in the macroinvertebrate of Bohai Bay. *Modern Fisheries Information*, 2006, 21(10): 11-15.
- [6] 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.
- [7] Standardization Administration of China. GB/T 12763.6—2007 Specifications for oceanographic (survey Part 6: Marine biological survey). Beijing: Standards Press of China, 2007.
- [8] APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater, 20th ed. Washington DC: APHA-AWWA-WPCF, 1998.
- [9] Lampitt R S, Wishner K F, Turley C M, Angel M V. Marine snow studies in the northeast Atlantic: distribution, composition and roles as a food source for migrating plankton. *Marine Biology*, 1993, 116(4): 689-702.
- [10] Leira M, Sabater S. Diatom assemblages distribution in catalan rivers, NE Spain, in relation to chemical and physiographical factors. *Water Research*, 2005, 39(1): 73-82.
- [11] Lepš J, Šmilauer P. Multivariate analysis of ecological data using CANOCO. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.
- [12] ter Braak C J F. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*, 1986, 67(5): 1167-1179.
- [13] Cai W Q, Liu L S, Qiao F, Lin K X, Zhou J. Study on the changes of macrobenthos communities and their causes in Bohai Bay. *Environmental Science*, 2012, 33(9): 3104-3109.
- [14] Duan L, Song J, Li X, Yuan H, Xu S. Distribution of selenium and its relationship to the eco-environment in Bohai Bay seawater. *Marine Chemistry*, 2010, 121(1): 87-99.
- [15] Zhang C L, Xu B D, Ren Y P, Xue Y, Ji Y P. The spatio-temporal change in the secondary production of macrozoobenthos in the intertidal zone of Jiaozhou Bay. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(17): 5071-5080.
- [16] Zhou H, Hua E, Zhang Z N. Community structure of macrobenthos in Laizhou Bay and adjacent waters. *Periodical of Ocean University of China*, 2010, 40(8): 80-87.
- [17] Zhang Y, Lu Z B, Xu Z F, Liu Y H, Jin Y. Ecological characteristics of macrobenthic communities and their relation to water environmental factors in four bays of southern Shandong Peninsula. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(15): 4455-4467.
- [18] Liu R Y, Cui Y H, Xu F S, Tang Z C. Ecological characteristic of benthos in Yellow Sea and East China Sea. *Marine Science*

Bulletin, 1986, 27: 153-173.

- [19] Qin X B, Sun H W, Wang C P, Yu Y, Sun T H. Impacts of crab bioturbation on the fate of polycyclic aromatic hydrocarbons in sediment from the Beitang estuary of Tianjin, China. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2010, 29 (6): 1248-1255.
- [20] Zhang W, Li C H, Jia X P, Chen P M, Fang L. Canonical correspondence analysis between attaching organisms and environmental factors on artificial reef in the Daya Bay. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(8): 4053-4060.
- [21] Mutlu E, Cinar M E, Ergev M B. Distribution of soft-bottom polychaetes of the Levantine coast of Turkey, eastern Mediterranean Sea. *Journal of Marine Systems*, 2010, 79(1): 23-35.
- [22] Glockzin M, Zettler ML. 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.
- [23] Dippner JW, Ikauniece A. Long-term zoobenthos variability in the Gulf of Riga in relation to climate variability. *Journal of Marine Systems*, 2001, 30(3): 155-164.
- [24] Dauer D M. Biological criteria, environmental health and estuarine macrobenthic community structure. *Marine Pollution Bulletin*, 1993, 26(5): 24-257.
- [25] Renaud M L. Hypoxia in Louisiana coastal water during 1983: implications for fisheries. *Fishery Bulletin*, 1986, 84(1): 19-26.

参考文献:

- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 中国国家标准化管理委员会. GB/T 12763.6—2007 海洋调查规范 (第6部分 海洋生物调查). 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [13] 蔡文倩, 刘录三, 乔飞, 林岷璇, 周娟. 渤海湾大型底栖生物群落结构变化及原因探讨. *环境科学*, 2012, 33(9): 3104-3109.
- [15] 张崇良, 徐宾铎, 任一平, 薛莹, 纪毓鹏. 胶州湾潮间带大型底栖动物次级生产力的时空变化. *生态学报*, 2011, 31(17): 5071-5080.
- [16] 周红, 华尔, 张志南. 秋季莱州湾及邻近海域大型底栖动物群落结构的研究. *中国海洋大学学报*, 2010, 40(8): 80-87.
- [17] 张莹, 吕振波, 徐宗法, 刘义豪, 靳洋. 山东半岛南部海湾底栖动物群落生态特征及其与水环境的关系. *生态学报*, 2011, 31(15): 4455-4467.
- [18] 刘瑞玉, 崔玉珩, 徐凤山, 唐质灿. 黄海、东海底栖生物生态特点. *海洋科学集刊*, 1986, 27: 153-173.
- [20] 张伟, 李纯厚, 贾晓平, 陈丕茂, 方良. 环境因子对大亚湾人工鱼礁上附着生物分布的影响. *生态学报*, 2009, 29(8): 4053-4060.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.1 Jan., 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Foreword: Complexity and Sustainability	(I)
Frontiers and Comprehensive Review	
Urban eco-complex and eco-space management	WANG Rusong, LI Feng, HAN Baolong, et al (1)
Review of carbon sequestration assessment method in the marine ecosystem	SHI Honghua, WANG Xiaoli, ZHENG Wei, et al (12)
A review of sensitivity model for urban ecosystems	YAO Liang, WANG Rusong, YIN Ke, et al (23)
Urban ecological metabolism of municipal solid waste: a review	ZHOU Chuanbin, XU Wanying, CAO Aixin (33)
Autecology & Fundamentals	
Parameter sensitivity analysis of a coupled biological-physical model in Jiaozhou Bay	SHI Honghua, SHEN Chengcheng, LI Fen, et al (41)
Macroinvertebrate investigation and their relation to environmental factors in Bohai Bay	ZHOU Ran, QIN Xuebo, PENG Shitao, et al (50)
Review of the impacts of bioturbation on the environmental behavior of contaminant in sediment	QIN Xuebo, SUN Hongwen, PENG Shitao, et al (59)
Population, Community and Ecosystem	
Ecosystem services' spatial characteristics and their relationships with residents' well-being in Miyun Reservoir watershed	WANG Dashang, LI Yifeng, ZHENG Hua, et al (70)
Contingent valuation of preserving ecosystem of Changdao Island Nature Reserve	ZHENG Wei, SHEN Chengcheng, QIAO Mingyang, et al (82)
Discussion of carbon sequestration estimates in the island terrestrial ecosystems	WANG Xiaoli, WANG Ai, SHI Honghua, et al (88)
Landscape, Regional and Global Ecology	
An integrated indicator on regional ecological civilization construction	LIU Moucheng, SU Ning, LUN Fei, et al (97)
The eco-environmental evaluation based on habitat quality and ecological response of Laizhou Bay	YANG Jianqiang, ZHU Yonggui, SONG Wenpeng, et al (105)
Analysis of the evolution and value of coastal ecosystem services at Gudong Coast in the Yellow River Delta since 1985	LIU Dahai, CHEN Xiaoying, XU Wei, et al (115)
Research of index system framework in marine ecology monitoring & regulation areas division based on complex ecosystem of nature-human-society	XU Huimin, DING Dewen, SHI Honghua, et al (122)
The environmental function assessment and zoning scheme in China	WANG Jinnan, XU Kaipeng, CHI Yanyan, et al (129)
Resource and Industrial Ecology	
Definition and evaluation indicators of ecological industrial park's complex eco-efficiency	LIU Jingru, LÜ Bin, ZHANG Na, et al (136)
Spatial-temporal distribution of agricultural eco-efficiency in China	CHENG Cuiyun, REN Jingming, WANG Rusong (142)
The coupling mechanism and industrialization mode of ecological restoration in the weak semi arid mining area of Inner Mongolia	CHEN Yubi, HUANG Jinlou, XU Huaqing, et al (149)
Evaluation of ecological marine islands construction based on material flow analysis: a case study of Changhai County	CHEN Dongjing, ZHENG Wei, GUO Huili, et al (154)
Ecological risks and sustainable utilization of reclaimed water and wastewater irrigation	CHEN Weiping, LÜ Sidan, ZHANG Weiling, et al (163)

Estimation of agricultural non-point source pollution based on watershed unit: a case study of Laizhou Bay	MA Deming, SHI Honghua, FENG Aiping (173)
The evaluation method in the impact of intensive sea use on the marine ecological environment	LUO Xianxiang, ZHU Yonggui, ZHANG Longjun, et al (182)
Urban, Rural and Social Ecology	
Urban ecological infrastructure based on ecosystem services;status,problems and perspectives	LI Feng, WANG Rusong, ZHAO Dan (190)
Spatial features of road network in Beijing built up area and its relations with LST and NDVI	GUO Zhen,HU Dan,LI Yuanzheng,et al (201)
The conjugate ecological management model for urban land administration based on the land complex ecological function	YIN Ke, WANG Rusong, YAO Liang, et al (210)
Value assessment of the function of the forest ecosystem services in Chongqing	XIAO Qiang, XIAO Yang,OUYANG Zhiyun, et al (216)
Ecological risk evaluation of port in Bohai Bay	PENG Shitao, QIN Xuebo, ZHOU Ran, et al (224)
Research review of the tail disposal technology of the standard sewage offshore outfall	PENG Shitao,WANG Xinhai (231)

《生态学报》2014 年征订启事

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

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

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

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

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

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

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

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 34 卷 第 1 期 (2014 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 34 No. 1 (January, 2014)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
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 90.00 元