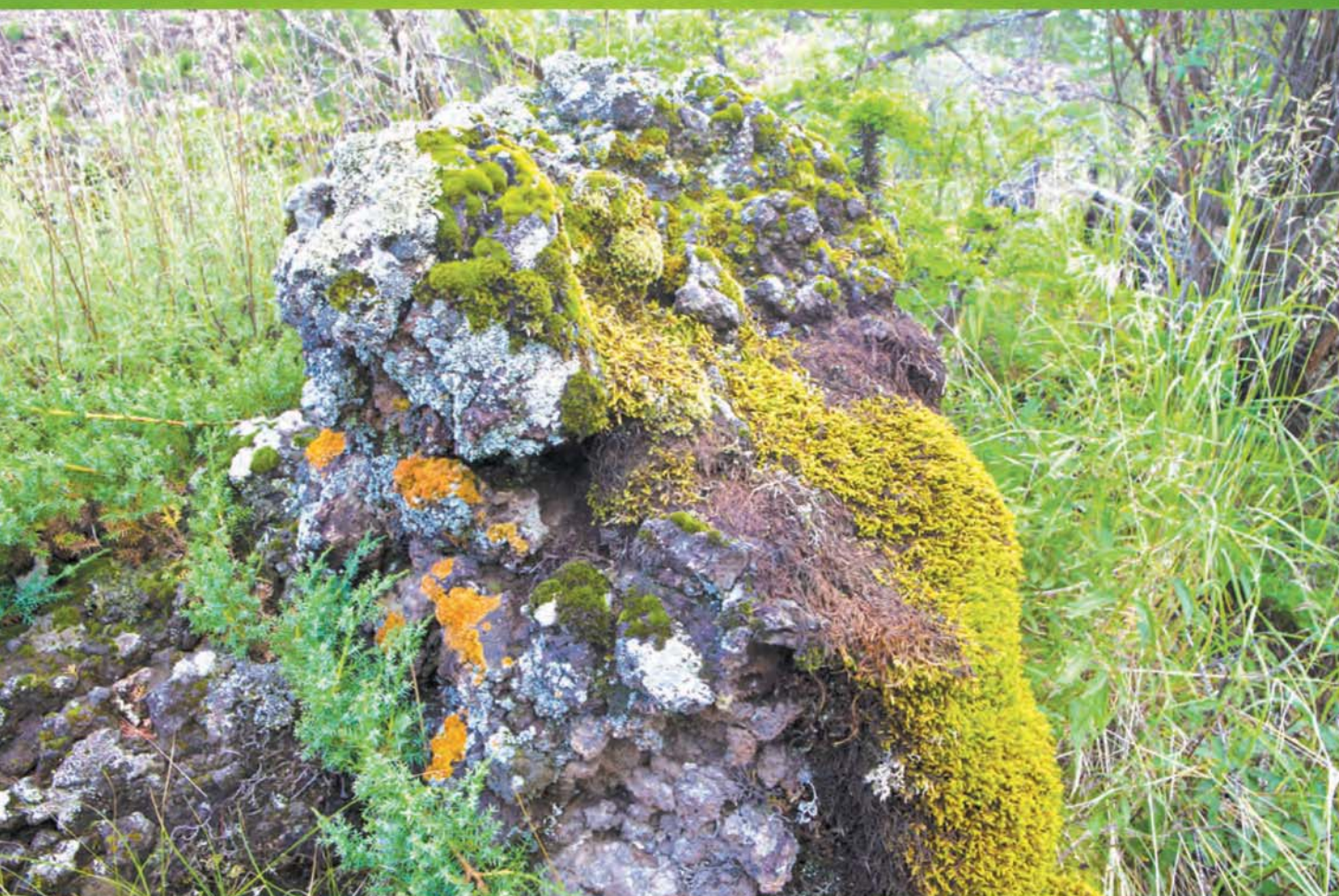


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

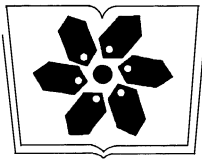
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第6期 Vol.32 No.6 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 6 期

2012 年 3 月 (半月刊)

目 次

高原草被退化程度的遥感定量监测——以甘肃省玛曲县为例·····	周坚华,魏怀东,陈芳,等 (1663)
基于着生藻类的太子河流域水生态系统健康评价·····	殷旭旺,渠晓东,李庆南,等 (1677)
哀牢山常绿阔叶林水源涵养功能及其在应对西南干旱中的作用·····	杞金华,章永江,张一平,等 (1692)
青岛沿岸水体原生生物群落与水质状况的关系·····	杨金鹏,姜勇,胡晓钟 (1703)
增温对青藏高原高寒草甸生态系统固碳通量影响的模拟研究·····	亓伟伟,牛海山,汪诗平,等 (1713)
三峡水库消落带植物叶片光合与营养性状特征·····	揭胜麟,樊大勇,谢宗强,等 (1723)
三峡库区澎溪河鱼类时空分布特征的水声学·····	任玉芹,陈大庆,刘绍平,等 (1734)
强壮前沟藻化感物质分析·····	冀晓青,韩笑天,杨佰娟,等 (1745)
饥饿对中间球海胆 MYP 基因转录表达的影响·····	秦艳杰,孙博林,李霞,等 (1755)
贺兰山牦牛冬春季的生境选择·····	赵宪南,苏云,刘振生,等 (1762)
利用元胞自动机研究一类捕食食饵模型中的斑块扩散现象·····	杨立,李维德 (1773)
转 <i>Cry1Ab</i> 和 <i>Cry1Ac</i> 融合基因型抗虫水稻对田间二化螟和大螟种群发生动态的影响·····	李志毅,隋贺,徐艳博,等 (1783)
光谱和光强度对西花蓟马雌虫趋光行为的影响·····	范凡,任红敏,吕利华,等 (1790)
荧光素对舞毒蛾核型多角体病毒不同地理品系的增效与光保护作用·····	王树娟,段立清,李海平,等 (1796)
不同利用强度下绿洲农田土壤微量元素有效含量特征·····	李海峰,曾凡江,桂东伟,等 (1803)
稻田温室气体排放与土壤微生物菌群的多元回归分析·····	秦晓波,李玉娥,石生伟,等 (1811)
黄土高原典型区域土壤腐殖酸组剖面分布特征·····	党亚爱,李世清,王国栋 (1820)
紫色土菜地生态系统土壤 N_2O 排放及其主要影响因素·····	于亚军,王小国,朱波 (1830)
中国亚热带典型天然次生林土壤微生物碳源代谢功能影响因素·····	王芸,欧阳志云,郑华,等 (1839)
基于 K-均值算法模型的区域土壤数值化分类及预测制图·····	刘鹏飞,宋轩,刘晓冰,等 (1846)
淹水条件下秸秆还田的面源污染物释放特征·····	杨志敏,陈玉成,张赞,等 (1854)
推迟拔节水对小麦氮素积累与分配和硝态氮运移的影响·····	王红光,于振文,张永丽,等 (1861)
江苏省冬小麦渍害的风险区划·····	吴洪颜,高苹,徐为根,等 (1871)
草原植物根系起始吸水层深度测定方法及其在不同群落状态下的表现·····	郭宇然,王炜,梁存柱,等 (1880)
亚热带 6 种树种细根序级结构和形态特征·····	熊德成,黄锦学,杨智杰,等 (1888)
高寒草原植物群落种间关系的数量分析·····	房飞,胡玉昆,张伟,等 (1898)
菊花近缘种属植物幼苗耐阴特性分析及其评价指标的确定·····	孙艳,高海顺,管志勇,等 (1908)
南方菟丝子寄生对喜旱莲子草生长及群落多样性的影响·····	王如魁,管铭,李永慧,等 (1917)
基于 cDNA 克隆的亚热带阔叶林和针叶林生态系统担子菌漆酶基因多样性及其群落结构研究·····	陈香碧,苏以荣,何寻阳,等 (1924)
细柄阿丁枫和米槠细根寿命影响因素·····	黄锦学,凌华,杨智杰,等 (1932)
基于 TM 遥感影像的森林资源线性规划与优化配置研究·····	董斌,陈立平,王萍,等 (1943)
基于 CFD 的城市绿地空间格局热环境效应分析·····	刘艳红,郭晋平,魏清顺 (1951)
专论与综述	
生态补偿效率研究综述·····	赵雪雁 (1960)
研究简报	
黄河三角洲石油生产对东营湿地底栖动物群落结构和水质生物评价的影响·····	陈凯,肖能文,王备新,等 (1970)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 316 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 34 * 2012-03	



封面图说: 植物生命演进石——这不是一块普通的火山岩,而是一块集中展示植物“原生演替”过程最有价值的石头。火山熔岩冷却后的玄武岩是无生命无土壤的真正“裸石”,风力使地衣的孢子传入,在一定温湿度环境下,开始出现了壳状地衣,壳状地衣尸体混合了自然风化的岩石碎屑提供的条件使叶状、枝状地衣能够侵入,接着苔藓侵入,是它们启动了土壤的形成,保持了土壤的湿度,并使营养物质反复循环。于是蕨类定居,草丛长了起来,小灌木出现,直到树木生长,最终形成森林。

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

DOI: 10.5846/stxb201102170185

陈凯,肖能文,王备新,李俊生. 黄河三角洲石油生产对东营湿地底栖动物群落结构和水质生物评价的影响. 生态学报, 2012, 32(6): 1970-1978.

Chen K, Xiao N W, Wang B X, Li J S. The effects of petroleum exploitation on water quality bio-assessment and benthic macro-invertebrate communities in the Yellow River Delta wetland, Dongying. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(6): 1970-1978.

黄河三角洲石油生产对东营湿地底栖动物群落 结构和水质生物评价的影响

陈 凯¹, 肖能文², 王备新¹, 李俊生^{2,*}

(1. 南京农业大学昆虫学系 水生昆虫与溪流生态实验室, 南京 210095; 2. 中国环境科学研究院, 北京 100012)

摘要: 为了解石油开采对湿地生态系统的影响, 2009 年 10 月调查了黄河三角洲东营湿地 34 个样点的水体物理化学属性和大型底栖无脊椎动物群落结构。共获得 3 门 6 纲 12 目 41 科 70 属 84 个大型底栖无脊椎动物分类单元。Shannon-Wiener 多样性指数($r = -0.446$, $P = 0.02$)和 TN 显著负相关, BI 指数与理化指标无显著相关性; 软体动物分类单元数与盐度($r = -0.422$, $P = 0.028$)显著负相关, 与 pH 值($r = 0.435$, $P = 0.023$)显著正相关; 软体动物个体百分数同样与盐度($r = -0.395$, $P = 0.041$)呈显著负相关, 与 pH 值($r = 0.565$, $P = 0.002$)呈极显著正相关; 寡毛类分类单元数与 TN($r = 0.524$, $P = 0.005$)极显著正相关。水体石油含量与生物指数无显著相关性。典范对应分析(CCA)显示, TN、pH、盐度是影响东营湿地底栖动物群落结构的主要环境变量, 水体石油污染并不是主要的胁迫因子。寡毛类和软体动物是该地区对环境变化的主要指示生物类群。Shannon-Wiener 多样性指数水质生物评价结果显示, 溢洪河支流、广利河上游、挑河上游、东张水库属于清洁; 轻污点位有 9 个, 其余点位为中污或重污。

关键词: 黄河三角洲湿地; 大型底栖无脊椎动物; 群落结构; 石油; 水质生物评价

The effects of petroleum exploitation on water quality bio-assessment and benthic macro-invertebrate communities in the Yellow River Delta wetland, Dongying

CHEN Kai¹, XIAO Nengwen², WANG Beixin¹, LI Junsheng^{2,*}

1 Laboratory of Aquatic Insects and Stream Ecology, Department of Entomology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China

2 Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China

Abstract: The major environmental risks associated with petroleum extraction (e. g. oil spills and leaks) are well known. There is a lot of information on the impacts of petroleum exploration on benthic communities in foreign studies. In this study, we probed the effects of petroleum exploration on macro-invertebrate assemblages, which are important components of benthic communities in this wetland ecosystem. The object of the investigation was to provide scientific data to guide the management, ecological restoration, conservation of biodiversity, and sustainable development of aquatic ecosystems. Physicochemical variables were measured at 34 sites in the Yellow River Delta wetland, Dongying, China, in October 2009, and benthic macro-invertebrate assemblages were collected using a D-frame net and a Peterson grab. The water body in the study area was oligohaline, its salinity ranging between 0.05 and 5 ppt. A total of 84 macro-invertebrate taxa, belonging to 70 genera, 41 families, 12 orders, 6 classes, and 3 phyla, were collected. Insecta comprised 52.4% of all benthic invertebrate taxa, of which Odonata and Diptera accounted for 23% and 24%, respectively. The structure and

基金项目: 国家“十一五”科技支撑重点资助项目(2008BAC43B01)

收稿日期: 2011-02-17; 修订日期: 2011-09-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lijsh@craes.org.cn

diversity of macro-invertebrate assemblages were expressed using the Shannon-Wiener index, the Margalef index and the dominance index. Water quality was assessed by the Shannon-Wiener index and the biotic index. The dominant species at most of the sites were either *Chironomus* spp. or *Glyptotendipes* spp. with overall dominance indices of 0.0315 and 0.0522, respectively. Pearson correlation analysis showed that the Shannon-Wiener index was negatively correlated with total nitrogen (TN) ($r = -0.446$, $P = 0.02$) but was not correlated with any of the other physicochemical variables measured. The biotic index was not correlated with any of the physicochemical variables. The numbers of molluscan taxa were negatively correlated with salinity ($r = -0.422$, $P = 0.028$) and positively correlated with pH ($r = 0.435$, $P = 0.023$). Likewise, the percentages of individual Mollusca at the sites were negatively correlated with salinity ($r = -0.395$, $P = 0.041$) and positively correlated with pH ($r = 0.565$, $P = 0.002$). The numbers of oligochaete taxa were significantly positively correlated with TN ($r = 0.524$, $P = 0.005$). The petroleum content of the water was not correlated with any of the biological indices and was not considered to be a major stressor. Canonical correspondence ordination analysis (CCA) showed that TN, pH, and salinity were the major contributors to the macro-invertebrate community structure, with 12.18% of species variation explained by these three variables. The substrate and hydrophytes also had effects on the structure of the macro-invertebrate communities. Cluster analysis and MDS ordination of sampling sites showed that all sites could be divided into 11 separate groups at the similarity level of 30%. Oligochaeta and Mollusca were the two main taxa responsive to environmental variables. The bio-assessment indicated that the Shannon-Wiener diversity index was a better indicator of water quality than the biotic index. Bio-assessment using the Shannon-Wiener index showed that the water quality of the Yihong River tributary, the Guangli River upstream, the Tiao River upstream, and the Dongzhang reservoir were clean, that nine sites were slightly polluted, and that the remaining sites were moderately to heavily polluted. We proposed that a comprehensive evaluation of water quality should ideally combine the Shannon-Wiener index, the biotic index, and physicochemical measurements. Additionally, other evaluation methods could be developed based on the biological indices for this region, taking into account the special characteristics of this native ecological environment.

Key Words: Yellow River Delta Wetland; benthic macro-invertebrate; community structure; petroleum; water quality bio-assessment

大量开采石油才能满足全球范围内石油及其衍生物的广泛需要,与此同时,石油开采诸如石油泄漏等造成的环境风险已经被广泛认知^[1],已有研究表明石油开发、运输等对环境、社会健康造成极大伤害^[2]。黄河三角洲(东营)是我国第二大石油工业基地,油田开发对东营湿地造成生态风险主要表现在油污染、油管破裂、泄露原油及井喷等^[3]。大型底栖无脊椎动物是黄河三角洲湿地生物多样性的的重要组成部分,利用大型底栖无脊椎动物对河口地区进行环境健康评估,已经经历了较长的时间,在此过程中也发展了较多的生物评价指标^[4];并已有针对黄河三角洲淡水底栖动物调查及水质污染对淡水底栖动物多样性的影响研究报道^[5],但对黄河三角洲东营湿地进行水质生物评价则鲜见报道。本研究调查了石油污染对黄河三角洲东营湿地水生生态系统的影响以及底栖动物群落结构特点,并对该地区的水质进行生物学评价,以期为该地区水生生态系统的科学管理、生态修复、生物多样性保护和可持续发展提供科学数据。

1 材料与方法

1.1 东营湿地和调查样点概况

东营市位于山东省北部黄河三角洲地区,地理位置为北纬 $36^{\circ}55'$ — $38^{\circ}10'$,东经 $118^{\circ}07'$ — $119^{\circ}10'$ 。属大陆性季风气候,雨热同季,四季分明。东营是胜利油田的主要产油区之一。

依据各河流所在流域油井数量,采样河段周围油井数量,选择了可能受到石油污染的河流样点 34 个,于 2009 年 10 月进行了水样和底栖动物采集,采样点位经纬度及示意图分别见表 1 和图 1。34 个样点中,明海闸为硬底质,垦利渡口、刁口潮间带和鲁家闸为沙底,黄河故道底质为碎石,剩余点位都为淤泥底质;广利河和溢

洪河大桥为城市河道,没有水生植被覆盖;天鹅湖、挑河下游、刁口潮间带、挑河上游、七干桥同样没有水生植被覆盖;其余点位的水生植被以挺水植物芦苇为主;仅在董胜桥和蓝海技术学校两个点位采集到沉水植物。

表 1 东营湿地采样点经纬度

Table 1 GPS of Sampling sites in Dongying Wetland

代码 Code	名称 Name	经纬度 GPS	代码 Code	名称 Name	经纬度 GPS
S1	广利河	37°26.755'N,118°32.902'E	S18	挑河口中游	37°53.882'N,118°35.663'E
S2	天鹅湖	37°22.744'N,118°47.410'E	S19	挑河下游	37°58.604'N,118°35.269'E
S3	溢洪河中桥	37°28.436'N,118°45.346'E	S20	刁口潮间带	38°20.482'N,118°36.290'E
S4	溢洪河支流	37°28.436'N,118°45.346'E	S21	孤北水库支流	38°01.122'N,118°49.888'E
S5	明海闸	37°24.625'N,118°45.124'E	S22	神仙沟下游	37°58.360'N,118°53.045'E
S6	广蒲河	37°27.312'N,118°23.072'E	S23	神仙沟中游	37°54.546'N,118°48.396'E
S7	董胜桥	37°30.070'N,118°23.681'E	S24	神仙沟丰华村	37°52.940'N,118°48.192'E
S8	广利河上游	37°31.853'N,118°24.319'E	S25	孤岛收费站	37°52.367'N,118°44.893'E
S9	溢洪河大桥	37°33.986'N,118°34.434'E	S26	挑河上游	37°47.399'N,118°35.154'E
S10	垦利渡口	37°36.205'N,118°31.905'E	S27	黄河故道	37°53.267'N,118°43.977'E
S11	辛河	37°38.689'N,118°30.286'E	S28	鲁家闸	37°25.033'N,118°13.699'E
S12	许家桥	37°45.917'N,118°31.458'E	S29	七干桥	37°40.015'N,118°23.136'E
S13	草桥沟	37°53.559'N,118°28.413'E	S30	王庄	37°35.683'N,118°18.438'E
S14	郭河桥	37°53.237'N,118°26.580'E	S31	东张水库	37°35.517'N,118°30.135'E
S15	沾利河上游	37°53.292'N,118°23.640'E	S32	支脉河上游	37°16.764'N,118°36.947'E
S16	沾利河	37°57.554'N,118°24.012'E	S33	支脉河下游	37°15.432'N,118°23.342'E
S17	王集干沟	37°56.203'N,118°27.569'E	S34	蓝海职业学校	37°26.368'N,118°36.295'E

1.2 样品采集与测定

1.2.1 水体理化指标

现场使用 4-Star 便携式 pH 计/溶解氧/电导仪(美国 Thermo Orion)测定酸碱度(pH 值)、溶解氧(DO)、电导率和盐度。按 GB38383—2002 要求采集水样,在实验室中用过硫酸钾消解,紫外分光光度法测定总氮(TN),钼酸铵分光光度法测定总磷(TP)和红外分光光度法测定石油类。

1.2.2 大型底栖无脊椎动物

利用直径 30cm、60 目孔径尼龙纱 D 形网(D-net)和 Peterson 采泥器 1/40 m² 或 1/16 m² 采集大型底栖无脊椎动物样品。根据样点生境特点,选择合适的采样工具。D 形网采集时,每个样点在 100 m 长的范围内,选择有水生植物的一侧河边(水深小于 1.5 m),采集长度 3—10 m,采集面积约为 0.9—3 m²。利用彼得逊采泥器采集 3—5 个平行样。将样品洗净后装入塑料瓶中,并用 10% 的甲醛溶液固定,带回实验室鉴定。甲壳纲、水生昆虫和软体动物鉴定至属或种;多毛类、寡毛类鉴定至科、属或种,记录各分类单元的个体数量。

1.3 数据分析

底栖动物群落特征分析采用 Shannon-Wiener 多样性指数^[6]、Margalef 物种丰富度指数^[7]和物种优势度指数^[8] $Y = (n_i/N) f_i$, (以 $Y > 0.02$ 作为优势种,其中 n_i 为第 i 种的个体数, N 为所有种的个体总数, f_i 为第 i 种的出现频率)。应用 BI 指数^[9-10]和 Shannon-Wiener 指数评价水质。

各样点底栖动物物种相似性的聚类分析(Cluster)和多维尺度分析(MDS)采用 PRIMER6^[11];生物与环境关系分析应用典范对应分析(CCA)方法;Excel 进行基础统计分析;其他统计计算用 SPSS 16.0。统计分析时,将分类单元的个体数量换算成密度数据进行标准化处理。为了降低偶见种对分析结果的影响,MDS 分析之前将点位中出现频率小于 1% 的物种剔除;另外剔除生境破坏严重以及盐度高于 30PPT 的点位。

2 结果与分析

2.1 水体理化特征

34 个样点水体理化指标平均值、最大值和最小值见表 2。pH 值最高达 9.72, TN 最高达 22.143 mg/L, 盐度最高达 36.9 PPT。DO 的含量介于 3.83—15.42 mg/L, TP 和 水体石油含量的分布分别为 0.043—1.295 mg/L 和 0.005—0.09 mg/L。其中 TP 和 TN 的最大值远大于国家地表水质量标准 V 类水标准值, TN 最小值也超过 III 类水标准值。根据美国环境保护总署(EPA)《河口与海岸线生物评价与标准技术指导》(《Estuarine and Coastal Marine Waters: Bioassessment and Biocriteria Technical Guidance》)^[12], 盐度平均值显示, 该地区为寡盐度(盐度介于 0.05—5 PPT)水域。

2.2 底栖动物群落组成与结构

调查共获得 84 个大型底栖无脊椎动物分类单元, 隶属于 3 门 6 纲 12 目 41 科 70 属。其中软体动物 7 科 8 属 18 种, 主要由腹足纲软体动物组成; 环节动物寡毛纲 1 科 4 属 6 种, 多毛纲 6 种; 甲壳纲 9 科 10 属; 昆虫纲双翅目 5 科 20 属, 蜻蜓目 10 科 19 属。

昆虫纲分类单元数占总分类单元数的 52.4%, 其中蜻蜓目和双翅目分别占昆虫纲分类单元数的 23% 和 24%; 软体动物占总分类单元数的 21.4%; 多毛纲和寡毛纲均为 7.1%; 甲壳纲为 11.9%。摇蚊属(*Chironomus*)和雕翅摇蚊属(*Glyptotendipes*)为优势种(优势度分别为 0.0315 和 0.0522)。

34 个点位的总分类单元数介于 1—25 之间; Shannon-Wiener 多样性指数、Margalef 丰富度指数和 *BI* 指数的分布范围分别为: 0.00—3.58, 0.00—4.09 和 0.00—8.58(表 3)。其中明海闸(S5)和垦利渡口(S10)没有采集到底栖动物。

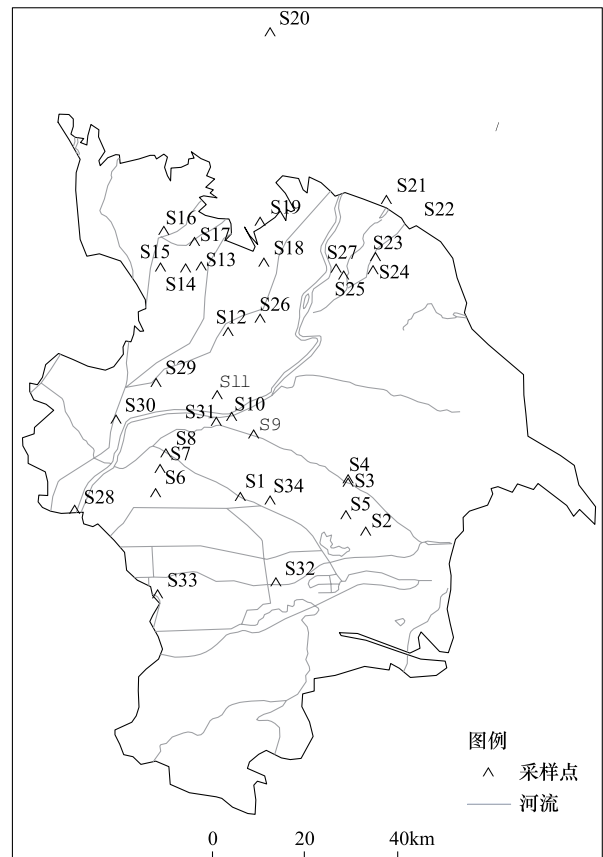


图 1 东营湿地采样点位示意图

Fig. 1 Locations of Sampling sites in Dongying wetland

表 2 环境变量值汇总

Table 2 Statistical summary of environmental variables

环境变量 Environmental variables	最小值 Min	最大值 Max	平均 Mean	标准差 SD
酸碱度 pH	7.11	9.72	7.60	1.57
溶解氧 DO/(mg/L)	3.83	15.42	8.13	2.80
总磷 TP/(mg/L)	0.043	1.295	0.182	0.260
总氮 TN/(mg/L)	0.755	22.143	4.181	3.910
电导率 Conductivity/(us/cm)	934	57100	6220	9961
盐度 Salinity/PPT	0.5	36.9	3.7	6.4
水体石油含量 petroleum/(mg/L)	0.005	0.090	0.026	0.020

物种组成的 Cluster 和 MDS(stress value=0.15)结果表明(图 2 和图 3), 草桥沟(S13)与任何点位相似度都较小, 溢洪河中桥(S3)和沾利河上游(S16)点位相似度较高, 蓝海职业学校(S34)为单一分组, 辛河(S11)与神仙沟下游(S22)、鲁家闸(S28)有重合部分。经分析, S13 只采集到 2 个分类单元, 为分类单元数最少的点位; S3 与 S16 均没有采集到软体动物; S34 挺水和沉水植物丰富, 摇蚊个体数占全部底栖动物个体数

90.6% ;S11 与 S22、S28 优势分类单元数的个体百分数较相近。

表 3 各采样点总分类单元数 TNT、Shannon-Wiener 多样性指数 H' 、Margalef 物种丰富度指数 D 和 BI 指数

Table 3 The total taxa richness (TNT), Shannon-Wiener index (H'), Margalef index (D) and BI index of sampling sites

代码 Code	总分类 单元数 TNT	多样性 指数 H'	丰富度 指数 D	BI 指数	代码 Code	总分类单 元数 TNT	多样性 指数 H'	丰富度 指数 D	BI 指数
S1	7	1.53	1.11	8.46	S18	4	1.43	1.14	6.00
S2	2	1.00	1.44	8.25	S19	5	2.07	0.76	5.71
S3	5	0.28	0.75	7.45	S20	3	1.55	0.48	5.00
S4	8	1.58	1.47	7.58	S21	12	2.48	2.63	6.02
S5	0	0	0	0	S22	6	0.87	0.88	8.06
S6	25	3.43	3.95	6.54	S23	12	2.18	2.03	6.31
S7	18	2.46	3.02	5.53	S24	7	2.00	1.84	6.66
S8	22	3.28	4.09	6.94	S25	4	1.42	1.21	6.67
S9	1	0.00	0.00	5.00	S26	4	1.54	0.82	7.47
S10	0	0	0	0	S27	18	3.20	3.47	7.17
S11	11	2.45	2.42	7.28	S28	2	0.65	0.65	8.58
S12	1	0.00	0.00	6.50	S29	13	0.42	1.68	5.06
S13	2	0.92	0.56	7.00	S30	16	2.27	2.30	7.36
S14	8	2.23	1.76	6.10	S31	18	3.58	3.47	7.33
S15	6	1.32	1.00	8.02	S32	6	0.99	1.44	7.89
S16	3	1.12	0.72	5.16	S33	7	2.30	1.61	7.64
S17	7	1.26	1.21	7.85	S34	11	1.83	1.67	7.32

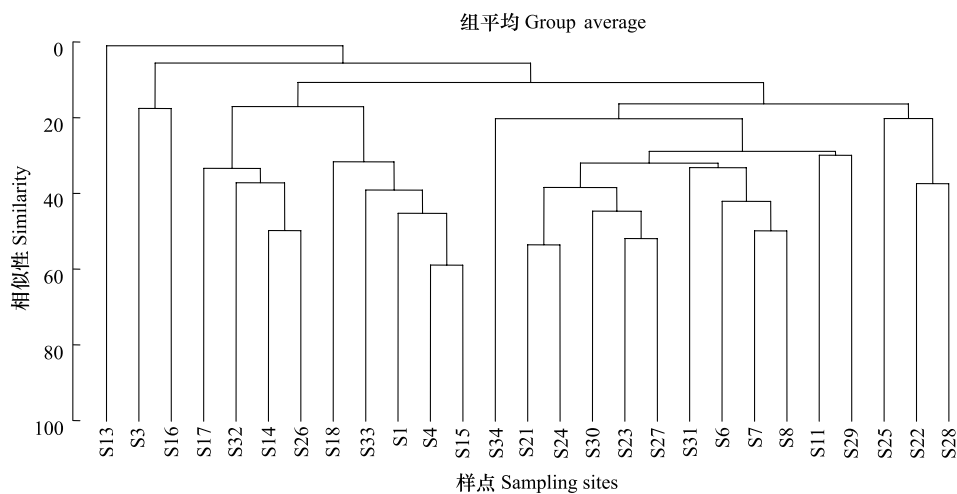


图 2 底栖动物群落聚类图

Fig. 2 Cluster analysis of sampling sites

2.3 物种组成和环境变量的关系

物种组成和环境变量的 Pearson 相关性分析显示,软体动物分类单元数与盐度($r = -0.422$, $P = 0.028$)显著负相关,与 pH 值($r = 0.435$, $P = 0.023$)显著正相关;软体动物个体百分数同样与盐度($r = -0.395$, $P = 0.041$)呈显著负相关,与 pH 值($r = 0.565$, $P = 0.002$)呈极显著正相关;寡毛类分类单元数与 TN($r = 0.524$, $P = 0.005$)极显著正相关;pH 值与总分类单元数($r = 0.450$, $P = 0.019$)呈显著正相关;TP 与生物指标无任何显著相关性;水体石油含量与生物指标同样无任何显著相关性。

所有理化变量经蒙特卡洛检验(Monte Carlo)筛选,得到 pH 值、TN 和盐度 3 个变量用于 CCA 分析。CCA

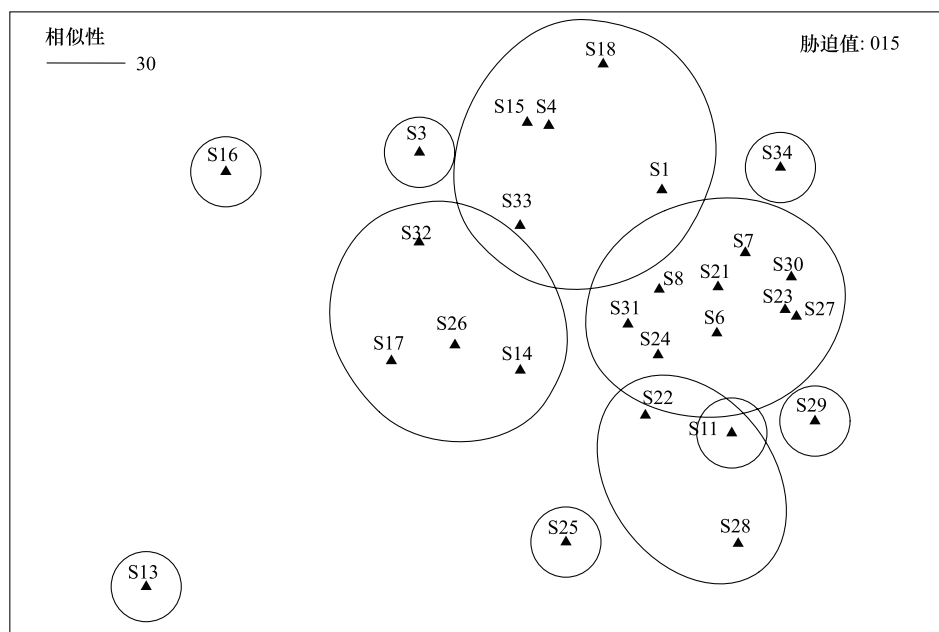


图3 底栖动物群落的 MDS 标序图

Fig. 3 MDS ordination of sampling sites

排序结果(图4)表明,所有排序轴的蒙特卡洛检验 P 值为 0.2920;TN 与第 I 轴正相关,相关系数为 0.7291;pH 值与第 II 轴正相关,相关系数为 0.9172;盐度与第 III 轴相关性最大,相关系数为 -0.5867。前 3 轴的特征值占总特征值的 12.18%,说明这 3 个环境因子能解释 12.18% 的底栖动物群落结构变化。前 3 个排序轴中,物种与环境的相关性分别达到 0.8407、0.9199 和 0.7972。

从图 4 可以看出,管水蚓属 (*Aulodrilus Bretscher*) (15)、克拉伯水丝蚓 (*Limnodrilus claparedeianus*) (16) 和颤蚓科 sp (*Tubificidae* sp) (19) 与 TN 的相关性较大;疣吻沙蚕 (*Tylorrhynchus heterochaeta*) (22)、多毛纲 sp1 (*Polychaeta* sp1) (23) 和螺赢蜆属 (*Corophium*) (26) 与盐度的相关性较大;赤豆螺 (*Bithynia fuchsiana*) (1)、纹沼螺 (*Parafossarulus striatulus*) (2)、尖口圆扁螺 (*Hippeutis cantori*) (8)、光滑狭口螺 (*Stenothyra glabra*) (10) 和真开式摇蚊属 (*Eukierfferiella*) (42) 与 pH 值的相关性较大;方形环棱螺 (*Bellamya quadrata*) (13)、奥特开水丝蚓 (*Limnodrilus udekemianus*) (18)、*Parapoynx* (47)、*Platynemis* (54)、*Sympeca* (55) 与 TN、pH 值和盐度都呈负相关关系^①。

因此,TN、pH 值和盐度对东营湿地底栖动物群落结构的影响较大,与不同生物指标呈显著或极显著相关关系;水体石油含量并不是主要的环境胁迫因子。寡毛类和软体动物是该地区对环境梯度变化的主要指示生物类群。

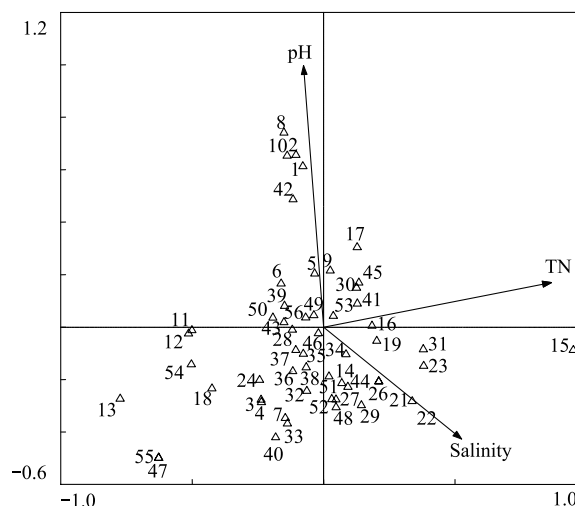


图4 底栖动物分类单元的 CCA 排序图

Fig. 4 CCA ordination of macroinvertebrates taxa

① sp 为未知分类单元,由于鉴定资料限制等原因不能鉴定至具体的科或者属或者种,但个体数量巨大的分类单元

2.4 水质生物评价

根据黄玉瑶等^[13]提出的群落多样性水质评价标准: $H'=0$ (无大型底栖无脊推动物,以区别于只有 1 种动物)为严重污染; $H'=0-1$ 为重污染; $H'=1-2$ 为中度污染; $H'=2-3$ 为轻度污染; $H'>3$ 为清洁。群落多样性评价结果显示,溢洪河支流(S4)、广利河上游(S8)、挑河上游(S26)、东张水库(S31)属于清洁点位;轻污点位有 9 个,剩余点位为中污或重污,无严重污染的点位(表 3)。

BI 值分布范围为 0—10。参照王备新等^[14]建议的评价标准: <5.5 ,清洁; $5.5-6.6$,轻污染; $6.61-7.7$,中污染; $7.71-8.8$,重污染; >8.8 ,严重污染。 BI 指数水质生物评价结果显示,溢洪河大桥(S9)、沾利河上游(S16)、刁口潮间带(S20)、七干桥(S29)属于清洁点位;轻污点位有 8 个,剩余点位为中污或者重污,无严重污染的点位。

根据国家地表水质量标准^[15]利用 TN 和 TP 指标评价该流域水体水质化学质量。TN 的评价结果共有 28 个点位的水体为 V 类水标准,2 个点位 IV 类水标准,2 个点位为 III 类水标准。TP 的评价结果显示,没有 I 类水点位,II 类水标准点位 19 个,III 类水标准点位 6 个,4 个点位为 IV 类水标准,剩余 3 个点位为 V 类水标准。

Pearson 相关性分析显示,Shannon-Wiener 多样性指数($r=-0.446$, $P=0.02$)和 TN 显著负相关,与其他理化变量无显著相关性; BI 指数与理化变量无显著相关性。

4 讨论

4.1 底栖动物组成与理化变量

潮汐和盐度是影响咸水湿地物种分布的主要因素^[16]。安传光等研究表明盐度是影响长江口九段沙潮间带底栖动物分布的主要环境因素^[17];Dirk Verschuren 等提出在水文封闭的海湾湖泊,盐度是导致生物群落改变的长期影响因子^[18];盐度的增加会导致底栖动物群落丰富度的减少^[19];假如底栖动物群落结构与盐度没有显著的相关性,那么其他环境因素决定了物种的分布^[20, 21],包括底质、温度、潮汐和水生植被等^[22]。

本研究表明,盐度为影响该地区底栖动物分布的主要环境因子,同时底质以及水生植被对底栖动物分布也有一定的影响。软体动物、部分多毛纲和寡毛纲物种的分布与盐度有显著的相关性,这与前人研究结果类似。所有点位中,共有 S5、S10 两个点位没有采集到底栖动物,前者为硬底质,后者为黄河点位,含沙量很高,均不适宜底栖动物生存。挺水与沉水植物较丰富的区域,比较适合底栖动物的生长,因此采集到的底栖动物分类单元数等也会较高。本文的 MDS 标序图显示,在相似度 30% 条件下,总分类单元数大于 12 的点位形成一个分组,他们的共同点是沉水与挺水植被比较丰富。

石油开采与生产会对生态系统造成了强烈的冲击^[23]。Poulton 等研究表明,原油泄露对河流中水流停滞点位的底栖动物群落结构有消极的影响^[24];2005 年,申宝忠等发现,黄河三角洲地区水质污染的主要超标指标为 SS、 COD_{Cr} 、 BOD_5 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、石油类和挥发酚,水质污染对底栖动物多样性和个体数量都造成了较明显的影响^[25]。但本文研究发现,水体石油类含量与生物指标无任何相关性,东营湿地的 TN 为影响寡毛类分类单元的主要环境因素,pH 值为影响软体动物的主要环境因素。

4.2 水质生物评价

生物多样性指数曾是水质生物评价的主要参数,但由于其计算过程忽略了不同生物类群耐污能力差异等^[26-27],目前国际上已不再将其作为主要水质生物评价标准。与多样性指数相比, BI 指数较好地解决了这些缺陷,是国际上应用广泛的水质生物评价指数^[28]。

但在本研究中,多样性指数($r=-0.446$, $P=0.02$)和 TN 显著负相关, BI 指数与理化指标无显著相关性。相较于 BI 指数,多样性指数与环境指标的联系更为紧密,更能够真实地反映该地区的水质生物评价结果。原因可能是利用 BI 指数评价水质在寡盐度水域不是很合适? BI 指数的计算基于各物种的耐污值,但耐污值的应用也是有地域性的^[14],将淡水底栖生物的耐污值引用到寡盐度水域,可能会造成评价结果与实际情况的偏差。

通常在河口地区进行水质评价时,国外大多利用生物完整性指数进行评价,而不是利用单一指数进行评

价^[29-31];值得借鉴的是,研究者特别发展了 WMI(the Wetland macrophyte index)、WZI(the Wetland zooplankton index)和 WFI(the Wetland fish index)3 个生物指数对五大湖海岸沼泽进行生物评价^[32]。参照以上研究成果,建议在进行东营湿地水质评价时,应结合多样性指数、BI 指数与理化指标等多种评价方法进行综合评价;或者根据该地区的生态环境特点,发展适合该地区的生物指数。

本研究显示水体石油含量不是该地区影响生态系统的主要胁迫因子。寡毛类和软体动物是该地区指示生物类群,这两种生物主要生存于底泥中。在后续的研究中应考虑石油开采过程产生的重金属和沉积物石油烃含量对生态系统的影响。同时本文仅从单一角度,认为 TN、pH 值、盐度是影响东营湿地底栖动物群落结构的主要环境变量,尚不够完善。

致谢:王备新副教授对写作给予帮助,中国环境科学院环境变化生态系统效应创新基地实验室在理化指标测定方面提供了建议,南京农业大学植物保护学院水生昆虫与溪流生态实验室硕士研究生吴东浩、张杰、刘朔孺参加了野外采样工作,在此一并致谢。

References:

- [1] Coucerio S R M, Hamada N, Forsberg B R, Padovesi-Fonseca C. Effects of anthropogenic silt on aquatic macroinvertebrates and abiotic variables in streams in the Brazilian Amazon. *Journal of Soils and Sediments*, 2010, 10(1): 89-103.
- [2] O'Rourke D, Connolly S. Just oil? The distribution of environmental and social impacts of oil production and consumption. *Annual Review of Environment and Resources*, 2003, 28: 587-617.
- [3] Xu J M. Study on Evaluation and Sustainable Utilization of the Wetland in Yellow River Delta (Dongying) [D]. Beijing: The Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2001.
- [4] Llansó R J, Scott L C, Dauer D M, Hyland J L, Russell D E. An estuarine benthic index of biotic integrity for the Mid-Atlantic region of the United States. I. Classification of assemblages and habitat definition. *Estuaries and Coasts*, 2002, 25(6): 1219-1230.
- [5] Xia J B, Li C R, Xu J W, Liu L J. Biodiversity of macrobenthos of estuary wetland in Yellow River Delta in summer. *Wetland Science*, 2009, 7(4): 1368-1373.
- [6] Shannon C E, Weaver W. The Mathematical Theory of Communication. Urbana: University of Illinois Press, 1963, 14(4): 306-317.
- [7] Margalef R. Perspectives in Ecological Theory. Chicago: University of Chicago Press, 1969, 14(2): 313-315.
- [8] Song X, Zhu S X, Yang H L, Wang P, Ying Q Z. Community structure of the intertidal macrobenthic fauna in Daishan island, Zhejiang. *Journal of Zhejiang Ocean University: Natural Science*, 2009, 28(2): 214-218.
- [9] Chutter F M. An empirical biotic index of the quality of water in South African streams and rivers. *Water Research*, 1972, 6(1): 19-30.
- [10] Wang B X, Yang L F. A study on tolerance values of benthic macroinvertebrate taxa in eastern China. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(12): 2768-2775.
- [11] Clarke K R, Gorley R N. Primer v6: user manual/tutorial. Plymouth: PRIMER-E Ltd Press, 2006.
- [12] Environmental Protection Agency USA. Estuarine and Coastal Marine Waters: Bioassessment and Biocriteria Technical Guidance. Washington DC: United States Environmental Protection Agency, Office of Water, 2000.
- [13] Huang Y Y, Teng D X, Zhao Z X. Monitoring Jiyunhe estuary pollution by use of macroinvertebrate community and diversity index. *Sinozoologia*, 1982, 2(2): 133-146.
- [14] Wang B X. Water Quality Bioassessment Using Benthic Macroinvertebrates [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2003.
- [15] China Bureau of Environmental Protection Methods for Monitor and Analysis of Water and Wastewater editorial Committee. Methods for Monitor and Analysis of Water and Wastewater. 4th ed. Beijing: China Environmental Science Press, 2002.
- [16] Grewell B J. Hemiparasites generate environmental heterogeneity and enhance species coexistence in salt marshes. *Ecological Applications*, 2008, 18(5): 1297-1306.
- [17] An C G, Zhao Y L, Lin L, Lu G T, Chen Y Q. Primary investigation of seasonal characters of macrobenthic communities distribution in tidal flats of Jiuduansha wetland of Yangtze River estuary. *Journal of Fisheries of China*, 2007, 31(S1): 52-58.
- [18] Verschuren D, Tibby J, Sabbe K, Roberts N. Effects of depth, salinity, and substrate on the invertebrate community of a fluctuating tropical lake. *Ecology*, 2000, 81(1): 164-182.
- [19] Brucet S, Boix D, Gascón S, Sala J, Quintana X D, Badosa A, Søndergaard M, Lauridsen T L, Jeppesen E. Species richness of crustacean zooplankton and trophic structure of brackish lagoons in contrasting climate zones: north temperate Denmark and Mediterranean Catalonia (Spain).

- Ecography, 2009, 32(4): 692-702.
- [20] Lancaster J, Scudder G E. Aquatic Coleoptera and Hemiptera in some Canadian saline lakes: patterns in community structure. Canadian Journal of Zoology, 1987, 65(6): 1383-1390.
- [21] Williams W D. Chemical and biological features of salt lakes on the Eyre Peninsula, South Australia, and an explanation of regional differences in the fauna of Australian salt lakes. Verhandlungen der Internationale Vereinigung für Limnologie, 1984, 22: 1208-1215.
- [22] Wang X C, Li X Z, Wang H F, Li B Q, Wang J B, Yu Z S. Macrobenthic ecology of the intertidal zones of Chajiandao, Dakouhedao and Wangzidao of Yellow River estuary in Autumn. Chinese Journal of Zoology, 2008, 43(6): 77-82.
- [23] Chesney E J, Baltz D M, Thomas R G. Louisiana estuarine and coastal fisheries and habitats: perspectives from a fish's eye view. Ecological Applications, 2000, 10(2): 350-366.
- [24] Poulton B C, Finger S E, Humphrey S A. Effects of a crude oil spill on the benthic invertebrate community in the Gasconade River, Missouri. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 1997, 33(3): 268-276.
- [25] Shen B Z, Tian J Y. Influence of water pollution on species diversity of freshwater benthic macro-invertebrates in the Yellow River Delta. Journal of Binzhou University, 2005, 21(6): 43-46.
- [26] Cook S E K. Quest for an index of community structure sensitive to water pollution. Environmental Pollution, 1976, 11(4): 269-288.
- [27] Pratt J M, Coler R A. A procedure for the routine biological evaluation of urban runoff in small rivers. Water Research, 1976, 10(11): 1019-1025.
- [28] Wu D H, Wang J T, Zhang Y, Wang B X, Li Y Q, Shen Y F. River water bioassessment with benthic macroinvertebrate in Lianyungang, Jiangsu province. The Administration and Technique of Environmental Monitoring, 2010, 22(1): 29-32.
- [29] Weisberg S B, Ranasinghe J A, Dauer D M, Schaffner L C, Diaz R J, Frithsen J B. An estuarine benthic index of biotic integrity (B-IBI) for Chesapeake Bay. Estuaries and Coasts, 1997, 20(1): 149-158.
- [30] Llansó R J, Scott L C, Hyland H L, Dauer D M, Russell D E, Kutz F W. An estuarine benthic index of biotic integrity for the mid-Atlantic region of the United States. II. Index development. Estuaries, 2002, 25(6A): 1231-1241.
- [31] Van Dolah R F, Hyland J L, Holland A F, Rosen J S, Snoots T R. A benthic index of biological integrity for assessing habitat quality in estuaries of the southeastern USA. Marine Environmental Research, 1999, 48(4/5): 269-283.
- [32] Seilheimer T S, Mahoney T P, Chow-Fraser P. Comparative study of ecological indices for assessing human-induced disturbance in coastal wetlands of the Laurentian Great Lakes. Ecological Indicators, 2009, 9(1): 81-91.

参考文献:

- [3] 许健民. 黄河三角洲(东营市)湿地评价与可持续利用研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2001.
- [5] 夏江宝, 李传荣, 许景伟, 刘立杰. 黄河三角洲滩涂湿地夏季大型底栖动物多样性分析. 湿地科学, 2009, 7(4): 1368-1373.
- [8] 宋翔, 朱四喜, 杨红丽, 王锴, 应启肇. 浙江岱山岛潮间带大型底栖动物的群落结构. 浙江海洋学院学报: 自然科学版, 2009, 28(2): 214-218.
- [10] 王备新, 杨莲芳. 我国东部底栖无脊椎动物主要分类单元耐污值. 生态学报, 2004, 24(12): 2768-2775.
- [13] 黄玉瑶, 滕德兴, 赵忠宪. 应用大型无脊椎动物群落结构特征及其多样性指数监测蓟运河污染. 动物学集刊, 1982, 2(2): 133-146.
- [14] 王备新. 大型底栖无脊椎动物水质生物评价研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2003.
- [15] 国家环境保护总局水和废水监测分析方法编委会. 水和废水监测分析方法(第四版). 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [17] 安传光, 赵云龙, 林凌, 吕敢堂, 陈亚瞿. 长江口九段沙潮间带大型底栖动物季节分布特征的初步研究. 水产学报, 2007, 31(S1): 52-58.
- [22] 王晓晨, 李新正, 王洪法, 李宝泉, 王金宝, 于子山. 黄河口岔尖岛、大口河岛和望子岛潮间带秋季大型底栖动物生态学调查. 动物学杂志, 2008, 43(6): 77-82.
- [25] 申保忠, 田家怡. 黄河三角洲水质污染对淡水底栖动物多样性的影响. 滨州学院学报, 2005, 21(6): 43-46.
- [28] 吴东浩, 汪军涛, 张咏, 王备新, 历以强, 沈燕飞. 连云港主要河流大型底栖无脊椎动物水质生物评价. 环境监测管理与技术, 2010, 22(1): 29-32.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 6 March, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Quantitatively monitoring undergoing degradation of plateau grassland by remote sensing data; a case study in Maqu County, Gansu Province, China	ZHOU Jianhua, WEI Huaidong, CHEN Fang, et al (1663)
Using periphyton assemblages to assess stream conditions of Taizi River Basin, China	YIN Xuwang, QU Xiaodong, LI Qingnan, et al (1677)
Water-holding capacity of an evergreen broadleaf forest in Ailao Mountain and its functions in mitigating the effects of Southwest China drought	QI Jinhua, ZHANG Yongjiang, ZHANG Yiping, et al (1692)
The relationship between protistan community and water quality along the coast of Qingdao	YANG Jinpeng, JIANG Yong, HU Xiaozhong (1703)
Simulation of effects of warming on carbon budget in alpine meadow ecosystem on the Tibetan Plateau	QI Weiwei, NIU Haishan, WANG Shiping, et al (1713)
Features of leaf photosynthesis and leaf nutrient traits in reservoir riparian region of Three Gorges Reservoir, China	JIE Shenglin, FAN Dayong, XIE Zongqiang, et al (1723)
Spatio-temporal distribution of fish in the Pengxi River arm of the Three Gorges reservoir	REN Yuqin, CHEN Daqing, LIU Shaoping, et al (1734)
Analysis on allelochemicals in the cell-free Filtrates of <i>Amphidinium carterae</i>	JI Xiaoqing, HAN Xiaotian, YANG Baijuan, et al (1745)
Effect of starvation on expression patterns of the MYP gene in <i>Strongylocentrotus intermedius</i>	QIN Yanjie, SUN Bolin, LI Xia, et al (1755)
Habitat selection of feral yak in winter and spring in the Helan Mountains, China	ZHAO Chongnan, SU Yun, LIU Zhensheng, et al (1762)
Using cellular automata to study patchy spread in a predator-prey system	YANG Li, LI Weide (1773)
Effects of insect-resistant transgenic <i>Bt</i> rice with a fused <i>Cry1Ab+Cry1Ac</i> gene on population dynamics of the stem borers, <i>Chilo suppressalis</i> and <i>Sesamia inferens</i> , occurring in paddyfield	LI Zhiyi, SUI He, XU Yanbo, et al (1783)
Effect of spectral sensitivity and intensity response on the phototaxis of <i>Frankliniella Occidentalis</i> (Pergande)	FAN Fan, REN Hongmin, LU Lihua, et al (1790)
The synergistic action and UV protection of optical brightener on three different geographic isolates of Asian Gypsy Moth Nucleopolyhedrovirus (LdMNPV)	WANG Shujuan, DUAN Liqing, LI Haiping, et al (1796)
The availability of trace elements in an oasis soil under different utilization intensity in an arid area in China	LI Haifeng, ZENG Fanjiang, GUI Dongwei, et al (1803)
Multivariate regression analysis of greenhouse gas emissions associated with activities and populations of soil microbes in a double-rice paddy soil	QIN Xiaobo, LI Yu'e, SHI Shengwei, et al (1811)
Distribution characteristics of humus fraction in soil profile for the typical regions in the Loess Plateau	DANG Ya'ai, LI Shiqing, WANG Guodong (1820)
N ₂ O emissions from vegetable farmland with purple soil and the main factors influencing these emissions	YU Yajun, WANG Xiaoguo, ZHU Bo (1830)
Relationships between carbon source utilization of soil microbial communities and environmental factors in natural secondary forest in subtropical area, China	WANG Yun, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, et al (1839)
Numerical soil classification using fuzzy K-means algorithm and predictive soil mapping at regional scale	LIU Pengfei, SONG Xuan, LIU Xiaobing, et al (1846)
Releasing characteristics of nonpoint source pollutants from straws under submerging condition	YANG Zhimin, CHEN Yucheng, ZHANG Yun, et al (1854)
Effects of delayed irrigation at jointing stage on nitrogen accumulation and its allocation, and NO ₃ -N migration in wheat	WANG Hongguang, YU Zhenwen, ZHANG Yongli, et al (1861)
Risk division on winter wheat suffering from spring wet damages in Jiangsu Province	WU Hongyan, GAO Ping, XU Weigen, et al (1871)
Determination of the initial depth of water uptake by roots of steppe plants in restored and overgrazed communities, Inner Mongolia, China	GUO Yuran, WANG Wei, LIANG Cunzhu, et al (1880)
Fine root architecture and morphology among different branch orders of six subtropical tree species	XIONG Decheng, HUANG Jinxue, YANG Zhijie, et al (1888)
Numerical analysis of inter-specific relationships in Alpine steppe community in Bayanbulak	FANG Fei, HU Yukun, ZHANG Wei, et al (1898)
Analysis of shade-tolerance and determination of evaluation indicators of shade-tolerance in seedlings of <i>Chrysanthemum grandiflorum</i> and its closely related genera	SUN Yan, GAO Haishun, GUAN Zhiyong, et al (1908)
Effect of the parasitic <i>Cuscuta australis</i> on the community diversity and the growth of <i>Alternanthera philoxeroides</i>	WANG Rukui, GUAN Ming, LI Yonghui, et al (1917)
Diversity and community structure of basidiomycete laccase gene from subtropical broad-leaved and coniferous forest ecosystems based on cDNA cloning	CHEN Xiangbi, SU Yirong, HE Xunyang, et al (1924)
Fine root longevity and controlling factors in subtropical <i>Alingia grilipes</i> and <i>Castanopsis carlesii</i> forests	HUANG Jinxue, LING Hua, YANG Zhijie, et al (1932)
Linear programming and optimal distribution of the forest resources based on TM remote sensing images	DONG Bin, CHEN Liping, WANG Ping, et al (1943)
Urban green space landscape patterns and thermal environment investigations based on computational fluid dynamics	LIU Yanhong, GUO Jinping, WEI Qingshun (1951)
Review and Monograph	
Review of the ecological compensation efficiency	ZHAO Xueyan (1960)
Scientific Note	
The effects of petroleum exploitation on water quality bio-assessment and benthic macro-invertebrate communities in the Yellow River Delta wetland, Dongying	CHEN Kai, XIAO Nengwen, WANG Beixin, et al (1970)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

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

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

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

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 6 期 (2012 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 6 2012

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:1000717	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