

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第10期

Vol.35 No.10

2014

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

基于虚拟撞击原理的固定源 PM ₁₀ /PM _{2.5} 采样器的研制	蒋靖坤, 邓建国, 段雷, 张强, 李振, 陈小彤, 李兴华, 郝吉明 (3639)
1992~2012年福州市和厦门市酸雨变化特征及影响因素	郑秋萍, 王宏, 陈彬彬, 隋平, 林文 (3644)
青岛近海不同天气状况下大气气溶胶中金属元素浓度分布特征研究	陈晓静, 祁建华, 刘宁, 张翔宇, 申恒青, 刘明旭 (3651)
化学合成类制药行业工艺废气 VOCs 排放特征与危害评估分析	李嫣, 王浙明, 宋爽, 徐志荣, 许明珠, 徐威力 (3663)
烧结过程 NO _x 和 SO ₂ 形成规律及烧结料组成对 NO _x 排放的影响	任重培, 朱天乐, 朱廷钰, 吕栋 (3669)
废茶活性炭脱硫脱硝性能的应用研究	宋磊, 张彬, 邓文 (3674)
黑河中游边缘荒漠-绿洲非饱和带土壤质地对土壤氮积累与地下水氮污染的影响	苏永中, 杨晓, 杨荣 (3683)
海河流域河流生态系统健康评价	郝利霞, 孙然好, 陈利顶 (3692)
台州长潭水库铁锰质量浓度变化特征及其成因分析	刘树元, 郑晨, 袁琪, 王先兵, 王稀炎 (3702)
山地城市新建湖库氮磷营养盐时空特征研究	包静玥, 鲍建国, 李立青 (3709)
岩溶地下水水文地球化学对降雨的响应: 以重庆雪玉洞地下河系统为例	王凤康, 梁作兵, 于正良, 江泽丽 (3716)
岩溶地下河流域水中多环芳烃污染特征及生态风险评价	蓝家程, 孙玉川, 田萍, 卢丙清, 师阳, 徐昕, 梁作兵, 杨平恒 (3722)
废旧电器拆解区河流沉积物中多溴联苯醚 (PBDEs) 的污染特征与生态风险	陈宣宇, 薛南冬, 张石磊, 李发生, 龚道新, 刘博, 孟磊 (3731)
海河流域中南部河流沉积物的重金属生态风险评价	王瑞霖, 程先, 孙然好 (3740)
大辽河口 COD 与 DO 的分布特征及其影响因素	杨福霞, 简慧敏, 田琳, 姚庆祯 (3748)
辽河下游 CDOM 吸收与荧光特性的季节变化研究	邵田田, 赵莹, 宋开山, 杜嘉, 丁智 (3755)
伊乐藻和氮循环菌技术对太湖氮素吸收和反硝化的影响	刘丹丹, 李正魁, 叶忠香, 张万广 (3764)
地表水体放线菌分离鉴定与致嗅能力研究	陈娇, 白晓慧, 卢宁, 王先云, 章永辉, 吴潘成, 郭心驰 (3769)
地下水循环井技术修复硝基苯污染含水层效果模拟	白静, 赵勇胜, 孙超, 秦传玉, 于凌 (3775)
茶叶基水合氧化铁吸附水体中 Pb(II) 的性能	万顺利, 薛瑶, 马钊钊, 刘国斌, 余艳霞, 马明海 (3782)
紫外辐射对小分子有机酸化学凝聚性作用途径探讨	王文东, 王亚博, 范庆海, 丁真真, 王文, 宋珊, 张银婷 (3789)
水中普萘洛尔的紫外光降解机制及其产物毒性	彭娜, 王开峰, 刘国光, 曾令泽, 姚锟, 吕文英 (3794)
二氧化钛 (P25) 光催化降解二苯甲酸的研究	王阿楠, 滕应, 骆永明 (3800)
碳氮比对聚氨酯生物膜反应器短程硝化反硝化的影响	谭冲, 刘颖杰, 王薇, 邱珊, 马放 (3807)
城市污泥中温厌氧消化过程中厌氧耐药菌的分布与去除研究	佟娟, 王元月, 魏源送 (3814)
快速城市化区域表层土壤中杀虫剂的空间分布及风险评估	韦燕莉, 鲍志君, 巫承洲, 曾永平 (3821)
重庆铁山坪马尾松林土壤汞排放特征的现场测试	杜宝玉, 王琼, 罗遥, 段雷 (3830)
应用 X 射线吸收近边结构谱研究东北农耕地土壤中的氯种态及含量	李晶, 郎春燕, 马玲玲, 徐殿斗, 郑雷, 路雨楠, 崔丽瑞, 张晓萌 (3836)
植被重建下煤矿排土场土壤熟化过程中碳储量变化	李俊超, 党廷辉, 郭胜利, 薛江, 唐骏 (3842)
硫素对氧化还原条件下水稻土氧化铁和砷形态影响	唐冰培, 杨世杰, 王代长, 饶伟, 张亚楠, 王丹, 朱云集 (3851)
外生菌根真菌对 Al ³⁺ 胁迫和低钾土壤的响应	张薇, 黄建国, 袁玲, 李阳波, 何林卫 (3862)
长期施用猪粪水稻土抗生素抗性基因污染研究	黄福义, 李虎, 韦蓓, 欧阳伟堂, 苏建强 (3869)
外源添加磷和有机酸模拟铅污染土壤钝化效果及产物的稳定性研究	左继超, 高婷婷, 苏小娟, 万田英, 胡红青 (3874)
污染场地六价铬的还原和微生物稳定化研究	郑家传, 张建荣, 刘希雯, 许倩, 施维林 (3882)
热强化气相抽提对不同质地土壤中苯去除的影响	李鹏, 廖晓勇, 阎秀兰, 崔晓勇, 马栋 (3888)
O ₃ 浓度升高对南方城市绿化树种氮素的影响	杨田田, 张巍巍, 胡恩柱, 王效科, 田媛, 冯兆忠 (3896)
施氮强度对不同土壤有机碳水平桉树林温室气体通量的影响	李睿达, 张凯, 苏丹, 逯非, 万五星, 王效科, 郑华 (3903)
¹³ C ₂ O ₂ 示踪臭氧胁迫对水稻土壤微生物的影响	陈展, 王效科, 尚鹤 (3911)
表面活性剂 <i>Burkholderia xenovorans</i> LB400 体系对低氯代 PCBs 的好氧强化降解	陈少毅, 张静, 汪涵, 任源 (3918)
耐高氨氮异养硝化-好氧反硝化菌 TN-14 的鉴定及其脱氮性能	信欣, 姚力, 鲁磊, 冷璐, 周迎芹, 郭俊元 (3926)
微氧环境中电化学活性微生物的分离与鉴定	吴松, 肖勇, 郑志勇, 郑越, 杨朝晖, 赵峰 (3933)
电极活性菌分离过程中微生物群落结构动态特征解析	王敏, 赵阳国, 卢珊珊 (3940)
铜对草鱼及花鲢的毒性预测: 基于生物配体模型	王万宾, 陈莎, 吴敏, 赵婧 (3947)
天鹅洲故道底栖动物群落特征及水质生物学评价	马秀娟, 沈建忠, 王腾, 王海生, 黄丹, 孙广文, 龚成 (3952)
水生生物基准推导中物种选择方法研究	张铃松, 王业耀, 孟凡生, 周岳溪, 于海斌 (3959)
生产源区人血清中六溴环十二烷水平与甲状腺激素相关性研究	李鹏, 杨从巧, 金军, 王英, 刘伟志, 丁问微 (3970)
金属氧化物-Laponite 黏土复合材料负载氧化钴催化剂的制备及对苯的催化消除性能	牟真, 麻春艳, 程杰, 李进军 (3977)
CuO(-CeO ₂)/Al ₂ O ₃ 催化剂对苯催化氧化性能研究	查键, 周宏仓, 何都良, 单龙, 张露, 谢婕 (3984)
生物毒性检测在水质安全评价中的应用	徐建英, 赵春桃, 魏东斌 (3991)
某城市城镇污水处理厂 COD 排放现状评价分析	周羽化, 卢延娜, 张虞, 朱静, 雷晶, 申晨, 武雪芳 (3998)
北京市再生水利用生态环境效益评估	范育鹏, 陈卫平 (4003)
我国持久性有机污染物污染事故预警指标体系构建	王琳, 吕永龙, 贺桂珍, 王铁宇 (4009)
环境损害评估: 构建中国制度框架	张红振, 王金南, 牛坤玉, 董璟琦, 曹东, 张天柱, 骆永明 (4015)
《环境科学》征稿简则 (3887) 《环境科学》征订启事 (4008) 信息 (3730, 3739, 3774, 3895)	

天鹅洲故道底栖动物群落特征及水质生物学评价

马秀娟¹, 沈建忠^{1*}, 王腾¹, 王海生¹, 黄丹¹, 孙广文¹, 龚成²

(1. 华中农业大学水产学院, 武汉 430070; 2. 湖北长江天鹅洲白暨豚国家级自然保护区管理处, 湖北石首 434400)

摘要: 于 2011 年 1 月、5 月、7 月和 10 月按季度对天鹅洲长江故道底栖动物进行采样调查, 并根据底栖动物群落结构对水质进行了生物学评价。结果表明: 天鹅洲故道底栖动物有 30 种, 其中水生昆虫 14 种, 占 46.67%; 寡毛类 8 种, 占 26.67%; 软体动物 6 种, 占 20.00%; 其它类 2 种, 占 6.67%。优势种类为菱角摇蚊 (*Clinotanypus*)、指突隐摇蚊 (*Cryptochironomus digitatus*)、克拉泊水丝蚓 (*Limnodrilus claparedeianus*)、霍甫水丝蚓 (*Limnodrilus hoffmeisteri*)。底栖动物年均密度为 558.37 ind·m⁻², 最大密度出现在冬季, 春季最低; 底栖动物年均生物量为 14.03 g·m⁻², 最大生物量出现在秋季, 春季最低。10 个采样点中, 其中 8 号年均密度最大, 为 1986.00 ind·m⁻², 7 号年均生物量最大, 为 50.22 g·m⁻², 而 6 号年均密度和生物量都最小, 分别为 98.00 ind·m⁻² 和 0.85 g·m⁻²。利用 Shannon-Wiener 多样性指数 (*H'*)、Margalef 丰富度指数 (*d*)、科级生物指数 (FBI) 和综合生物污染指数 (BI) 对故道水质进行综合评价, 显示故道水体处于中-重污染 (III-IV), 相比 2003~2004 年 (II) 其水质污染状况有所下降。

关键词: 底栖动物; 天鹅洲故道; 密度和生物量; 水质评价

中图分类号: X171; X522 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)10-3952-07 DOI: 10.13227/j.hjks.2014.10.044

Macrozoobenthos Community Structure and Water Quality Evaluation of Tian'e Zhou Oxbows

MA Xiu-juan¹, SHEN Jian-zhong¹, WANG Teng¹, WANG Hai-sheng¹, HUANG Dan¹, SUN Guang-wen¹, GONG Cheng²

(1. College of Fisheries, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 2. Baiji National Natural Reserve of the Tian'e Zhou Oxbow in Yangtze River, Shishou 434400, China)

Abstract: A quarterly investigation of the macrozoobenthos community in Tian'e Zhou Yangtze Oxbows was conducted during January 2011 to October 2011. And water quality was assessed based on the benthic macroinvertebrate community structure. It shows that, a total of 30 macrozoobenthos species were found, among which, Insecta (14 species), Mollusca (6 species), Oligochaeta (8 species) and others (2 species) accounted for 46.67%, 20.00%, 26.67%, and 6.67% of the total, respectively. The dominant species were *Clinotanypus*, *Cryptochironomus digitatus*, *Limnodrilus claparedeianus*, and *Limnodrilus hoffmeisteri*. The average annual density and biomass of macrozoobenthos were 558.37 ind·m⁻², and 14.03 g·m⁻², respectively. The density of macrozoobenthos was highest in the winter and lowest in the spring, the biomass was highest in the autumn and lowest in the spring. In ten sampling points, No. 8 had the highest density, 1986.00 ind·m⁻², No. 7 had the highest biomass, 50.22 g·m⁻², and No. 6 had the lowest density and biomass, 98.00 ind·m⁻² and 0.85 g·m⁻². The evaluation with Shannon-Wiener diversity index (*H'*), Margalef richness index (*d*), Family-level biotic index (FBI), and integrated pollution index (BI) indicated that the overall water quality of the Tian'e Zhou Oxbow was moderate-heavy pollution (III-IV). As compared to that in 2003-2004 (II), the water quality of Tian'e Zhou Oxbow was somewhat decreased.

Key words: macrozoobenthos; Tian'e Zhou Oxbow; density and biomass; water quality

底栖动物在水生态系统中具有多种生态功能, 它可以加速水底碎屑的分解以提高水体的自净能力, 同时也是水生态系统营养生态位的重要环节, 是鱼类的天然活饵料, 在水生态系统的物质循环和能量流动中起着重要的作用。底栖动物生活在水底, 生活环境相对固定, 并且具有生命周期长、迁移能力差、区域性强等特点, 底栖动物不同种属对生境条件及污染等不利因素的耐受力 and 敏感程度不同, 其种群结构、优势种类、现存量等参数可以反映环境因素的长期变化, 因而对环境变化具有良好的指

示作用^[1,2]。

天鹅洲(29°47'~29°51'N, 112°33'~112°37'E)位于湖北省石首市下游约 20 km 长江北岸, 江汉平原南缘, 南与石首城区隔江相望, 距荆州市约 60 km, 由于长江裁弯取直, 形成了长江故道^[3], 故道全长 20.9

收稿日期: 2014-03-05; 修订日期: 2014-04-18

基金项目: 世界自然基金会项目(2985); 湖北长江天鹅洲白暨豚国家级自然保护区管理处委托项目

作者简介: 马秀娟(1985~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为生态学, E-mail: maxiujuan264@163.com

* 通讯联系人, E-mail: jzhsh@mail.hzau.edu.cn

km,水面约 13.7 km². 1998 年修筑沙滩子大堤后,天鹅洲失去了与长江的季节性连通,涨落幅度变小,漫滩萎缩,主要功能为渔业和自然保护,建有江豚和麋鹿保护区. 近年来,长江故道生态健康面临着江湖阻隔和过度利用等因素的威胁,而水环境的变化使得故道水体中生物群落结构也会随之改变,而底栖动物这个重要的生态类群,可指示环境的长期变化,因此对底栖动物这个生态类群的研究对天鹅洲水体环境污染预防和水质改善有着重要的意义.

近年来对天鹅洲长江故道的水质进行监测的研究很多,如 1996 年吴利桥等^[4]对天鹅洲水体理化、生物因子的监测;1999 年何绪刚等^[5]对天鹅洲水体的氮磷元素含量的研究;刘绍平等^[6]和潘保柱等^[7]对天鹅洲底栖动物群落组成及物种多样性的研究. 本研究根据 2011 年在天鹅洲长江故道对底栖动物群落的周年采样调查,分析底栖动物的群落结构特征及生物多样性,以为故道水质监测提供直接可靠的生物学评价,为故道生态修复保护和故道渔业资源合理利用的可持续发展提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 采样点的设置

参照文献[8],并根据故道的形态、水深、底质等环境特征,在水体的中心区、沿岸区等地,采用 GPS 定位共设置 10 个采样点. 其分布为:1 号沙嘴、2 号新堤水厂、3 号鹅棚、4 号渡口、5 号鱼池、6 号保护区站点、7 号下口鱼池、8 号郑家台、9 号天鹅渡口、10 号下口,具体采样点位见图 1. 调查在 2011 年 1 月(冬季)、2011 年 5 月(春季)、2011 年

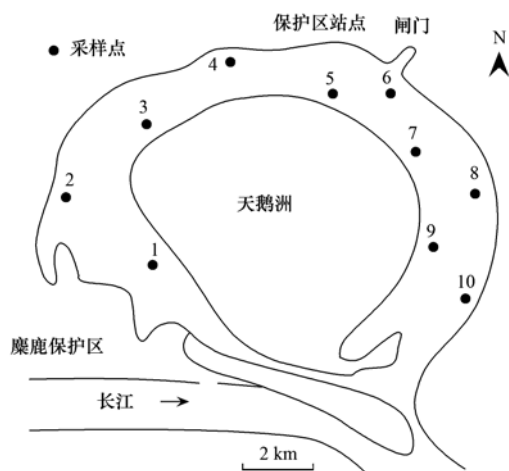


图 1 天鹅洲长江故道采样点分布示意

Fig. 1 Distribution of the sampling standing in Tian'e Zhou Yangtze Oxbow

7 月(夏季)、2011 年 10 月(秋季)进行,按季度分别采样.

1.2 样品采集及处理

采样工具为 1/16 m² 彼得森采泥器,每个采样点采样 2~3 次,取其平均值,泥样用 40 目(0.35 mm 孔径)的网筛进行分选,剩余物带回实验室,置于白瓷盘中分类挑选出样品. 水生昆虫和软体动物先用 5% 福尔马林固定,24 h 后转移到 75% 的酒精保存,寡毛类用 10% 的福尔马林溶液固定.

利用解剖镜和显微镜对标本进行鉴定、数量统计,生物量以鲜重计,天平称量,精确至 0.001 g,最后将每个样点的个体数量和重量根据每个样点的采样次数折算成密度(ind·m⁻²)和生物量(g·m⁻²)的平均值. 标本鉴定参照国内外相关文献进行^[9~11].

1.3 优势种的确定

相对重要指数可作为底栖动物优势种的指标参数,它综合考虑了底栖动物的密度、生物量及分布状况,本研究种以重要值大于 5% 的种类拟为优势种. 根据各站点调查数据,按照下列公式计算各站底栖动物的重要值:

$$\text{重要值} = (\text{相对密度} + \text{相对频率})/2$$

式中,相对密度即某底栖动物的密度占样品中所有底栖动物密度的比例;相对频度即某底栖动物的频度占有所有底栖动物频度的比例^[12].

1.4 数据分析方法

1.4.1 底栖动物种类组成相似性比较

相似性指数 $S = 2c/(a+b)$ ^[13]; 比较故道水体各个采样点的底栖动物群落相似性. 式中, c 为 2 个比较采样点共同出现的种类数; a 为 2 个比较采样点中第 1 个点出现的种类数; b 为第 2 个点出现的种类数.

相似性指数 S 值在 0~0.25 为极不相似,在 0.25~0.5 为中等不相似,在 0.5~0.75 为中等相似,在 0.75~1.0 为极为相似.

1.4.2 底栖动物群落组成多样性分析

利用 Margalef 丰富度指数^[14]: $d = (S-1)/\ln N$ 、Shannon-Wiener 多样性指数^[15]: $H' = -\sum_{i=1}^s (n_i/N) \log_2 (n_i/N)$ 等进行底栖动物群落组成的多样性分析. 式中, n_i 为第 i 类物种的个数, s 为样本底栖动物种类数, N 为样本中底栖动物的总个数.

各指数的评价标准为: H' 等于 0 为严重污染,0~1 之间为重污染,1~2 之间为中污染,2~3 之间

为轻污染,大于 3 为清洁^[16,17]. d 值等于 0 为严重污染,0~1 之间为重污染,1~2 之间为中污染,2~3.5 之间为轻污染,大于 3.5 为清洁^[18].

1.4.3 故道水质污染状况分析

利用科级生物指数 (family-level biotic index, FBI)^[19~21]: $FBI = \sum_{n=1}^s n_i t_i / N$ 及综合污染指数 $BI = \sum P_i^2 / \sum P_i$ ^[22] 进行底栖动物群落对水质影响的分析. 式中 n_i 为第 i 分类单元的个体数; t_i 为第 i 分类单元的耐污值^[23]; N 为各分类单元的个体总和; s 为分类单位个数. 将各采样点的生物多样性指数及生物指数值结合起来,然后对照标准值,用线性插值法得出分指数 P_i .

评价标准为: $FBI < 5.5$ 最清洁、 $5.5 \sim 6.6$ 轻污染、 $6.6 \sim 7.7$ 中污染、 $7.7 \sim 8.8$ 重污染、 > 8.8 严重污染^[24]. $BI = 0$ 为清洁、 $BI = 0.25$ 为轻污染、 $BI = 0.5$ 为中污染、 $BI = 0.75$ 为重污染、 $BI = 1$ 为严重污染^[25].

2 结果与讨论

2.1 种类组成

2.1.1 种类组成分布及优势种类

4 次采集获底栖动物经鉴定共 30 种,其中水生昆虫 14 种,寡毛类 8 种,软体动物 6 种,分别占总数的 46.67%、26.67%、20.00%. 以重要值大于 5% 的种类拟为优势种,故道底栖动物的优势种为菱附摇蚊 (*Clinotanypus*)、指突隐摇蚊 (*Cryptochironomus digitatus*)、克拉泊水丝蚓 (*Limnodrilus claparedeianus*)、霍甫水丝蚓 (*Limnodrilus hoffmeisteri*),其重要值分别为 37.0%、20.0%、79.0%、70.0%. 底栖动物种类组成分布上呈现明显的空间变化(表 1).

2.1.2 种类在各站点之间的相似性

天鹅洲故道各个采样点底栖动物群落相似性系数如表 2 所示. 从中可知,故道各采样点之间底栖动物种类组成的相似性系数变幅在 0.14~0.77 之间. 其中 8 号和 5 号之间,8 号和 6 号之间为极不相似;1 号和 2 号之间,3 号和 4 号之间为极为相似;其他各点为中等相似和中等不相似. 这种结果表明底栖动物群落结构的差异主要源于不同种类底栖动物在各采样点的分布及密度差异.

2.2 密度和生物量

2.2.1 密度和生物量季节变化

天鹅洲长江故道各季度底栖动物年均密度表现为冬季 ($1406.67 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$) $>$ 秋季 (333.60

$\text{ind} \cdot \text{m}^{-2}$) $>$ 夏季 ($280.00 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$) $>$ 春季 ($229.60 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$); 底栖动物年均生物量表现为秋季 ($25.77 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$) $>$ 冬季 ($19.73 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$) $>$ 夏季 ($6.65 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$) $>$ 春季 ($4.07 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$),见表 3.

从全年密度组成上看,水生昆虫对密度的贡献最大,占底栖动物总密度的 73.06%,但各个季节水生昆虫所占比例有所不同,冬季最高,为 87.96%;春、夏季次之,分别为 50.27% 和 35.43.27%;春季最低,为 26.41%.

从全年生物量组成上看,软体动物对生物量的贡献最大,占大型底栖动物总生物量的 75.27%;但各个季节软体动物所占比例有所不同,秋季最高,为 89.52%;夏、冬季次之,分别为 73.83% 和 62.04%;春季最低,为 60.44%.

2.2.2 密度和生物量水平分布

天鹅洲各采样点大型底栖动物的总体密度和生物量由于底质、水深等不同而变化,各采样点底栖动物年均密度和生物量见表 4,密度变化幅度为 $98.00 \sim 1986.00 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$; 生物量变化幅度为 $0.85 \sim 50.22 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$.

10 个采样点中,8 号底质为黄色淤泥,氧化很好,底栖动物主要由摇蚊幼虫组成,年均密度最大,为 $1986.00 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$; 7 号底质为泥沙,底栖动物中采集到许多软体动物,由于软体动物个体较大,年均生物量最大,为 $50.22 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$. 其中 6 号底质为黑色淤泥,有机碎屑较多,底栖动物主要由寡毛类组成,年均密度和生物量都最小,分别为 $98.00 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$ 和 $0.85 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$.

2.3 水质评价

根据 2011 年 1~10 月间 4 次采样底栖动物观测数据(表 5),通过 4 种生物指数进行评价得到天鹅洲长江故道水质污染状况为中-重污染(III-IV).

天鹅洲长江故道 10 个采样点的 4 种生物指数值和所属水质等级见表 6,其中有 3 个样点为轻污染(1 号、7 号、8 号),有 4 个采样点为中污染(2 号、3 号、5 号、9 号),有 3 个采样点为重污染(4 号、6 号、10 号).

从各采样点看,1 号沙嘴、7 号下口鱼池、8 号郑家台,底质多为淤泥、水透明度较好、或有水草(菹草)分布、水的净化能力较强,水质较好. 2 号新堤水厂、3 号鹅棚、5 号鱼池、9 号天鹅渡口,底质多为有机碎屑或为黑色淤泥、水草分布也较少,降低了水体的自净作用,其中 2 号由于水厂排污量较大,从而影响了该区域水质,3 号沿岸水域人工

饲养着大量鸭、鹅的经济禽类,大量的禽类排泄物排入水体,影响水体环境. 4 号渡口、6 号保护区站点、10 号下口污染严重,其中 4 号渡口处受燃油渡船的污染较多,使得该区域水质很差,6 号采样点是保护区站点,离天鹅洲入故道排污入水口冯家谭泵站很近^[26],该处水较深,底质为黑色的淤泥,受污染程度较大,10 号采样点为下口,离沙子大坝的天鹅洲闸较近,天鹅洲闸是唯一通江口,因而长江主干道水体的流入使得该处的营养物质更加丰富.

表 1 天鹅洲长江故道底栖动物种类及分布¹⁾
Table 1 Species composition and distribution of zoobenthos in Tian'e Zhou Yangtze Oxbow

种类	采样点									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
寡毛类 Oligochaeta										
颤蚓科 Tubificidae										
克拉泊水丝蚓 <i>Limnodrilus claparedeianus</i>	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+
霍甫水丝蚓 <i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+
水丝蚓属一种 <i>Limnodrilus</i> sp.	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-
苏氏尾鳃蚓 <i>Branchiura sowerbyi</i>	+	+	+	-	+	-	-	-	+	+
多毛管水蚓 <i>Aulodrilus pluriseta</i>	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
颤蚓属一种 <i>Tubifex</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
仙女虫科 Naididae										
尖头吻盲虫 <i>Pristina acuminate</i>	-	+	+	+	-	-	-	-	+	-
长毛吻盲虫 <i>Pristina longiseta</i>	-	-	+	+	+	+	+	-	-	-
水生昆虫 Insecta										
双翅目 Diptera										
摇蚊科 Chironomidae										
摇蚊亚科 Chironominae										
开腹摇蚊属一种 <i>Kiefferulus</i> sp.	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
摇蚊属一种 <i>Chironomus</i> sp.	-	-	-	-	+	-	+	+	+	+
指突隐摇蚊 <i>Cryptochironomus digitatus</i>	+	+	+	-	+	-	+	-	+	+
<i>Prodiamesinae monodiamesa</i>	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+
<i>P. compteromesa</i>	-	-	-	-	-	-	+	-	+	+
黑内摇蚊 <i>Endochironomus nigricans</i>	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+
水摇蚊属一种 <i>Hydrobaenus</i> sp.	-	-	-	-	+	-	-	+	+	-
斑点摇蚊属一种 <i>Stictochironomus</i> sp.	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-
异腹鳃摇蚊属一种 <i>Einfeldia</i> sp.	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+
流水长附摇蚊属一种 <i>Rheotanytarsus</i> sp.	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-
直突摇蚊亚科 Orthocladiinae										
穴附器毛突摇蚊 <i>Chaetocladius sexpilosus</i>	+	+	-	-	+	-	+	-	-	-
粗腹摇蚊亚科 Pelopiinae										
花纹前突摇蚊 <i>Procladius choreus</i>	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+
粗腹摇蚊属一种 <i>Pelopia</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
菱附摇蚊属一种 <i>Clinotanypus</i> sp.	+	+	-	+	-	-	+	+	+	+
软体动物 Mollusca										
田螺科 Viviparidae										
铜锈环棱螺 <i>Bellamya aeruginosa</i>	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-
椎实螺科 Lymnaeidae										
卵萝卜螺 <i>Radix ovata</i>	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
珠蚌科 Unionidae										
球形无齿蚌 <i>Anodonta globosula</i>	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
橄榄蛭蚌 <i>Solenia oleivora</i>	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
鱼尾楔蚌 <i>Cuneopsisiscinuls</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
豆螺科 Hydrobiidae										
纹沼螺 <i>Parafossarulus striatulus</i>	+	-	+	-	+	-	+	-	-	-
其他										
扁蛭科 Glossiphonidae										
宁静泽蛭 <i>Helobdella stagnlis</i>	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
腹平扁蛭 <i>Glossiphonia complanata</i>	+	-	-	-	+	+	-	-	-	+
种类总计	15	11	12	7	11	4	14	10	15	13

1) “+”表示底栖动物在该点出现;“-”表示底栖动物在该点未出现

表 2 天鹅洲长江故道底栖动物各点之间相似性系数

Table 2 Similarity index of zoobenthos among sampling sites in Tian'e Zhou Yangtze Oxbow

样点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1.00	0.77	0.67	0.36	0.56	0.32	0.55	0.32	0.53	0.57
2		1.00	0.70	0.56	0.38	0.27	0.56	0.38	0.54	0.42
3			1.00	0.75	0.55	0.38	0.54	0.27	0.52	0.48
4				1.00	0.26	0.36	0.48	0.47	0.45	0.30
5					1.00	0.40	0.56	0.19	0.46	0.42
6						1.00	0.33	0.14	0.25	0.35
7							1.00	0.50	0.62	0.59
8								1.00	0.64	0.52
9									1.00	0.72
10										1.00

表 3 天鹅洲故道底栖动物密度和生物量的季节变化

Table 3 Seasonal variation of zoobenthos density and biomass of in Tian'e Zhou Oxbow

季节	软体动物		寡毛类		水生昆虫		其它		总计	
	密度 /ind·m ⁻²	生物量 /g·m ⁻²	密度 /ind·m ⁻²	生物量 /g·m ⁻²	密度 /ind·m ⁻²	生物量 /g·m ⁻²	密度 /ind·m ⁻²	生物量 /g·m ⁻²	密度 /ind·m ⁻²	生物量 /g·m ⁻²
春季	0.80	2.46	106.80	0.51	110.40	1.09	1.60	0.012	219.60	4.07
夏季	1.60	4.91	177.60	0.79	99.20	0.95	1.60	0.002	280.00	6.65
秋季	5.60	23.07	232.00	1.43	86.40	1.25	3.20	0.023	327.20	25.77
冬季	5.60	12.19	168.00	0.61	1 230.67	6.84	2.40	0.009	1 406.67	19.65
平均	3.40	10.66	171.10	0.84	381.67	2.53	2.20	0.011	558.37	14.03

表 4 天鹅洲故道各采样点底栖动物的年均密度和生物量

Table 4 Density and biomass of zoobenthos of each sampling site in Tian'e Zhou Oxbow

季节	寡毛类		软体		水生昆虫		其它		总计	
	密度 /ind·m ⁻²	生物量 /g·m ⁻²	密度 /ind·m ⁻²	生物量 /g·m ⁻²	密度 /ind·m ⁻²	生物量 /g·m ⁻²	密度 /ind·m ⁻²	生物量 /g·m ⁻²	密度 /ind·m ⁻²	生物量 /g·m ⁻²
1	88	0.54	8	25.09	142	0.31	8	0.03	246	25.98
2	246	0.91	0	0	182	0.96	0	0	428	1.87
3	344	1.52	6	12.31	58	0.25	0	0	408	14.08
4	676	3.34	0	0	8	0.09	0	0	684	3.43
5	6	0.08	8	19.37	176	2.07	4	0.01	194	21.52
6	94	0.75	0	0	2	0.08	2	0.02	98	0.85
7	16	0.14	8	49.34	196	0.76	4	0.03	224	50.22
8	78	0.045	4	0.46	1 922	14.02	0	0	1 986	14.53
9	42	0.43	0	0	176	0.94	0	0	218	1.37
10	126	0.56	0	0	1 000	5.86	4	0.03	1 130	6.44

表 5 天鹅洲故道各季节水体生物指数值及水质评价等级¹⁾

Table 5 Seasonal of biological index and water assessment in Tian'e Zhou Oxbow

指数	采样时间				平均值
	2011-05	2011-07	2011-10	2011-01	
H'	2.96(Ⅱ)	2.46(Ⅱ)	2.94(Ⅱ)	2.27(Ⅱ)	2.66(Ⅱ)
d	2.41(Ⅱ)	1.95(Ⅲ)	2.42(Ⅱ)	2.08(Ⅱ)	2.21(Ⅱ)
FBI	7.93(Ⅳ)	8.14(Ⅳ)	7.66(Ⅲ)	6.96(Ⅲ)	7.67(Ⅳ)
BI	0.70(Ⅲ-Ⅳ)	0.53(Ⅲ-Ⅳ)	0.53(Ⅲ-Ⅳ)	0.42(Ⅱ-Ⅲ)	0.55(Ⅲ-Ⅳ)

1) 括号中表示水质等级

2.4 底栖动物群落结构与水质状况分析

底栖动物种类及密度生物量变化对水质状况有一定影响. 将本研究与 2003 年及 1987 年研究结果进

行比较可以看出(表 7), 这 20 多年来, 天鹅洲长江故道底栖动物在种类及数量上发生的变化具体表现为:
①优势种由中污染指示种(内摇蚊属、尾鳃蚓属、田

螺属)变为中-重污染指示种(隐摇蚊属、水丝蚓属、沼螺属);②底栖动物中寡毛类平均密度所占比例显著增大,从 2003 年的 11.11% 增大到 2011 年的 30.64%,而水生昆虫平均密度所占比例减少,从 2003 年的 87.93% 减少到 68.35%。由此表明,2011 年天鹅洲长江故道水质状况较 2003 年有所恶化。

表 6 天鹅洲 10 个采样点水体生物指数值及水质评价等级¹⁾

Table 6 Biological index and water assessment at 10 stations in Tian'e Zhou Oxbow

采样点	H'	d	FBI	BI	综合评价
1	3.24(I)	2.54(II)	7.41(III)	0.42(II)	轻污染
2	3.00(II)	1.65(III)	8.18(IV)	0.61(III)	中污染
3	2.72(II)	1.83(III)	6.98(III)	0.65(III)	中污染
4	2.54(II)	0.92(IV)	8.45(IV)	0.78(IV)	重污染
5	1.96(III)	1.89(III)	8.18(IV)	0.58(III)	中污染
6	1.21(II)	0.65(IV)	9.33(V)	0.78(IV)	重污染
7	3.12(I)	2.40(II)	7.29(III)	0.45(II)	轻污染
8	0.94(IV)	1.18(III)	8.32(IV)	0.43(II)	轻污染
9	3.54(I)	2.60(II)	7.06(III)	0.54(III)	中污染
10	1.79(III)	1.71(III)	8.91(V)	0.83(IV)	重污染
平均值	2.41(II)	1.74(III)	8.01(IV)	0.61(III-IV)	中-重污染

1) 括号中表示水质等级

表 7 2003 年和 2011 年天鹅洲故道种类数、底栖动物密度和生物量变化

Table 7 Species richness, density and biomass of macrobenthos in 2003 and 2011 in Tian'e Zhou Oxbow

指标	年份	寡毛类	水生昆虫	软体动物	其他类	总计
种类	2003	11	9	7	2	29
	2011	8	14	6	2	30
密度/ $\text{ind} \cdot \text{m}^{-2}$	2003	152	1 203	3	10	1 368
	2011	171.10	381.67	3.40	2.20	558.37
生物量/ $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$	2003	0.40	3.20	4.80	0.40	8.40
	2011	0.84	2.53	10.66	0.011	14.03

天鹅洲长江故道底栖动物种类及密度生物量的变化可能与采样点底质状况和采样点水深有关。李学军等^[27]调查天鹅洲长江故道时认为,天鹅洲故道为开敞式水体,水文环境变化剧烈,一般周围污染比较小,水质较清洁,底质多为黄泥,全年透明度在 60~210 cm,水深在 2~14 m。江永明等^[28]对天鹅洲的水质的模糊综合评价为 I-II 级水质,体现了水体交换对水质的好坏有较大的影响,与天鹅洲故道受保护有显著的关系。2011 年对天鹅洲长江故道底栖动物的调查表明,由于故道有局部地区水底沉积物中含较多死亡植物碎屑,这种底质环境更适合寡毛类的生长,寡毛类现存量增多,而同时底质中植物碎屑的增厚,一定程度上抑制了水生植物的生长和繁殖,降低了水体的自净作用,水质污染状况加重,并且水质溶解氧的含量相对减少,因而水生昆虫现存量降低。这可能与 2011 年由于干旱导致天鹅洲长江故道水位显著下降有关。

3 结论

(1) 天鹅洲长江故道底栖动物共计 30 种,水生

昆虫类 14 种,寡毛类 8 种,软体动物 6 种。从优势种类组成看,天鹅洲故道底栖动物的优势种类为水生昆虫类的菱附摇蚊、指突隐摇蚊,寡毛类的克拉泊水丝蚓、霍甫水丝蚓,这些种类均属于中-重污染指示种类,表明水体呈现中-重污染状态。

(2) 天鹅洲故道底栖动物年均密度和生物量分别为 $558.37 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$ 和 $14.03 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,与 2003 年底栖动物群落结构相比,水生昆虫平均密度所占比例减少,从 2003 年的 87.93% 减少到 2011 年的 68.35%,寡毛类平均密度所占比例显著增大,从 2003 年的 11.11% 增大到 2011 年的 30.64%,表明故道水质状况有所恶化。

(3) 根据故道水质生物学评价分析,故道底栖动物群落 Shannon-Wiener 多样性指数平均值 2.66,为 II 类水质; Margalef 丰富度指数平均值 2.21,为 II 类水质; 科级生物指数平均值 7.67,为 IV 类水质; 利用综合生物污染指数对故道水质进行综合评价得出 BI 平均值 0.55,为 (III-IV) 类水质,可见故道水体处于中-重污染,总体上看故道水质较差。

致谢: 采样过程得到华中农业大学水产学院渔

业资源课题组的帮助,在此表示感谢。

参考文献:

- [1] 陈浒, 林陶, 秦樊鑫. 乌江流域大型底栖动物群落结构及其水质生物评价[J]. 水生态学杂志, 2011, 3(6): 5-11.
- [2] 段学花, 王兆印, 徐梦珍. 底栖动物与河流生态评价[M]. 北京: 清华大学出版社, 2010.
- [3] 卢小琴, 张通. 石首市天鹅洲湿地资源保护与生态旅游开发[J]. 安徽农学通报, 2009, 15(13): 167-169.
- [4] 吴利桥, 翟良安, 李谷, 等. 天鹅洲鱼类种质资源库环境质量评价[J]. 中国水产科学, 1996, 3(2): 94-102.
- [5] 何绪刚, 罗静波, 黄晓南, 等. 天鹅洲长江故道水体氮、磷营养元素变化规律的研究[J]. 水利渔业, 1999, 19(5): 54-55.
- [6] 刘绍平, 陈大庆, 黄木桂, 等. 老江河底栖动物变化动态及渔业利用[J]. 湖北农学院学报, 1999, 19(1): 31-34.
- [7] 潘保柱, 王海军, 梁小民, 等. 长江故道底栖动物群落结构特征及资源衰退原因分析[J]. 湖泊科学, 2008, 20(6): 806-813.
- [8] 黄祥飞. 湖泊生态调查观测与分析[M]. 北京: 中国标准出版社, 1999. 92-94.
- [9] Epler J H. Identification manual for the larval *Chironomidae* (Diptera) of North and South Carolina[M]. Human Health and Ecological Criteria Division, 2001.
- [10] Fitter R S R, Manuel R. Collins photo guide to lakes, rivers, streams and ponds of Britain and North-West Europe [M]. London: Harper Collins, 1994.
- [11] John C M, Yang L, Tian L X. Aquatic insects of China useful for monitoring water quality[M]. Nanjing: Hohai University Press, 1994.
- [12] 胡忠军, 刘其根, 陈立婧, 等. 上海崇明明珠湖摇蚊幼虫群落结构特征及其对水质的指示作用[J]. 应用生态学报, 2009, 20(4): 929-936.
- [13] 张世海. 淀山湖底栖动物群落结构及水质评价[A]. 见: 资源、环境与可持续发展[C]. 2009 年上海研究生学术论坛, 2009. 360-363.
- [14] Margalef D R. Information theory in ecology[J]. Gener Syst, 1957, (3): 36-71.
- [15] Shannon C E, Weaver W. The Mathematical Theory of Communication[M]. Urbana, University Illinois Press, 1963.
- [16] 李中宇, 胡显安, 王岚. 从底栖动物群落看江水污染情况[J]. 黑龙江环境通报, 2001, 25(2): 67-68.
- [17] 张光贵. 用综合生物指数法评价水质[J]. 环境监测管理技术, 2000, 12(5): 27-29.
- [18] 颜京松, 游贤文, 苑省三. 以底栖动物评价甘肃境内黄河干支流枯水期的水质[J]. 环境科学, 1980, 1(4): 14-20.
- [19] Hilsenhoff W L. A modification of the biotic index of organic stream pollution to remedy problems and permit its use throughout the year[J]. Great Lakes Entomologist, 1998, 31: 1-12.
- [20] 张玉平, 由文辉, 焦俊鹏. 长江口九段沙湿地底栖动物群落研究[J]. 上海水产大学学报, 2006, 15(2): 169-172.
- [21] 王备新, 杨莲芳. 我国底栖动物 BI 指数水质生物评价标准的初步建立[J]. 中国农业科技导报, 2003, 5: 42-43.
- [22] 戴友芝, 唐受印, 张建波. 洞庭湖底栖动物种类分布及水质生物学评价[J]. 生态学报, 2000, 20(2): 277-282.
- [23] 王建国, 黄恢柏, 杨明旭, 等. 庐山地区底栖大型无脊椎动物耐污值与水质生物学评价[J]. 应用与环境生物学报, 2003, 9(3): 279-284.
- [24] 陈瑞明. 截污后武汉东湖底栖动物群落结构及环境质量评价[D]. 武汉: 华中农业大学, 2004.
- [25] 吉红, 梁朝军, 高俊. 津河的底栖动物现状及水质评价研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2006, 34(3): 42-48.
- [26] 黄丹, 沈建忠, 胡少迪, 等. 长江天鹅洲故道浮游动物群落结构及水质评价[J]. 长江流域资源与环境, 2014, 23(3): 328-334.
- [27] 李学军, 李思发, 杨和荃. 长江天鹅洲故道和老河故道水生生物多样性的比较研究[J]. 生物多样性, 1996, 4(4): 211-216.
- [28] 江永明, 倪朝辉, 樊启学, 等. 天鹅洲、黑瓦屋长江故道湿地水质的模糊综合评价[J]. 淡水渔业, 2006, 36(6): 16-20.

CONTENTS

Development of a Two Stage Virtual Impactor for Stationary Source PM ₁₀ and PM _{2.5} Sampling	JIANG Jing-kun, DENG Jian-guo, DUAN Lei, <i>et al.</i> (3639)
Characteristics and the Impact Factors of Acid Rain in Fuzhou and Xiamen 1992-2012	ZHENG Qiu-ping, WANG Hong, CHEN Bin-bin, <i>et al.</i> (3644)
Concentration Distribution of Metal Elements in Atmospheric Aerosol Under Different Weather Conditions in Qingdao Coastal Region	CHEN Xiao-jing, QI Jian-hua, LIU Ning, <i>et al.</i> (3651)
Emission Characteristics and Hazard Assessment Analysis of Volatile Organic Compounds from Chemical Synthesis Pharmaceutical Industry	LI Yan, WANG Zhe-ming, SONG Shuang, <i>et al.</i> (3663)
NO _x and SO ₂ Formation in the Sintering Process and Influence of Sintering Material Composition on NO _x Emissions	REN Zhong-pei, ZHU Tian-le, ZHU Ting-yu, <i>et al.</i> (3669)
Application of Activated Carbon from Waste Tea in Desulfurization and Denitrification	SONG Lei, ZHANG Bin, DENG Wen (3674)
Effect of Soil Texture in Unsaturated Zone on Soil Nitrate Accumulation and Groundwater Nitrate Contamination in a Marginal Oasis in the Middle of Heihe River Basin	SU Yong-zhong, YANG Xiao, YANG Rong (3683)
Health Assessment of River Ecosystem in Haihe River Basin, China	HAO Li-xia, SUN Ran-hao, CHEN Li-ding (3692)
Analysis on the Variation Characteristics of Iron and Manganese Concentration and Its Genesis in Changtan Reservoir in Taizhou, Zhejiang Province	LIU Shu-yuan, ZHENG Chen, YUAN Qi, <i>et al.</i> (3702)
Spatiotemporal Characteristics of Nitrogen and Phosphorus in a Mountainous Urban Lake	BAO Jing-yue, BAO Jian-guo, LI Li-qing (3709)
Formation of Geochemistry in Underground River Under Rainfall Conditions: An Example for Underground River at Xueyu Cave, Chongqing	WANG Feng-kang, LIANG Zuo-bing, YU Zheng-liang, <i>et al.</i> (3716)
Contamination and Ecological Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Water and in Karst Underground River Catchment	LAN Jia-cheng, SUN Yu-chuan, TIAN Ping, <i>et al.</i> (3722)
Pollution Characteristics and Ecological Risk of Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) in River Sediments from an Electrical Equipment Dismantling Area	CHEN Xuan-yu, XUE Nan-dong, ZHANG Shi-lei, <i>et al.</i> (3731)
Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Surface Sediments in the Southern and Central Haihe River Basin	WANG Rui-lin, CHENG Xian, SUN Ran-hao (3740)
Distribution Characteristics of COD and DO and Its Influencing Factors in the Daliaohe Estuary	YANG Fu-xia, JIAN Hui-min, TIAN Lin, <i>et al.</i> (3748)
Seasonal Variation in the Absorption and Fluorescence Characteristics of CDOM in Downstream of Liaohe River	SHAO Tian-tian, ZHAO Ying, SONG Kai-shan, <i>et al.</i> (3755)
Nitrogen Uptake and Denitrification Study on the Joint Treatment of Aquatic Vegetation and Immobilized Nitrogen Cycling Bacteria in Taihu Lake	LIU Dan-dan, LI Zheng-kui, YE Zhong-xiang, <i>et al.</i> (3764)
Actinobacteria and Their Odor-producing Capacities in a Surface Water in Shanghai	CHEN Jiao, BAI Xiao-hui, LU Ning, <i>et al.</i> (3769)
Laboratory Evaluation of Remediation of Nitrobenzene Contaminated Aquifer by Using Groundwater Circulation Well	BAI Jing, ZHAO Yong-sheng, SUN Chao, <i>et al.</i> (3775)
Sorption Characteristics of Tea Waste Modified by Hydrated Ferric Oxide Toward Pb(II) in Water	WAN Shun-li, XUE Yao, MA Zhao-zhao, <i>et al.</i> (3782)
Effects of UV Radiation on the Aggregation Performance of Small Molecular Organic Acids	WANG Wen-dong, WANG Ya-bo, FAN Qing-hai, <i>et al.</i> (3789)
UV Photolysis of Propanolol in Aqueous Solution: Mechanism and Toxicity of Photoproducts	PENG Na, WANG Kai-feng, LIU Guo-guang, <i>et al.</i> (3794)
Photo-catalytical Degradation of Diphenylarsinic Acid by TiO ₂ (P25)	WANG A-nan, TENG Ying, LUO Yong-ming (3800)
Effect of Carbon/Nitrogen Ratio on Short-Cut Nitrification and Denitrification of Polyurethane Biofilm Reactor	TAN Chong, LIU Ying-jie, WANG Wei, <i>et al.</i> (3807)
Distribution and Removal of Anaerobic Antibiotic Resistant Bacteria During Mesophilic Anaerobic Digestion of Sewage Sludge	TONG Juan, WANG Yuan-yue, WEI Yuan-song (3814)
Spatial Distribution and Risk Assessment of Insecticides in Surface Soil from a Rapidly Urbanizing Region	WEI Yan-li, BAO Lian-jun, WU Cheng-zhou, <i>et al.</i> (3821)
Field Measurement of Soil Mercury Emission in a Masson Pine Forest in Tieshanping, Chongqing in Southwestern China	DU Bao-yu, WANG Qiong, LUO Yao, <i>et al.</i> (3830)
Chlorine Speciation and Concentration in Cultivated Soil in the Northeastern China Studied by X-Ray Absorption Near Edge Structure	LI Jing, LANG Chun-yan, MA Ling-ling, <i>et al.</i> (3836)
Soil Organic Carbon Storage Changes with Land Reclamation Under Vegetation Reconstruction on Opencast Coal Mine Dump	LI Jun-chao, DANG Ting-hui, GUO Sheng-li, <i>et al.</i> (3842)
Effect of Sulfur on the Species of Fe and As Under Redox Condition in Paddy Soil	TANG Bing-pei, YANG Shi-jie, WANG Dai-zhang, <i>et al.</i> (3851)
Response of Ectomycorrhizal Fungi to Aluminum Stress and Low Potassium Soil	ZHANG Wei, HUANG Jian-guo, YUAN Ling, <i>et al.</i> (3862)
Long-Term Manure Application Induced Shift of Diversity and Abundance of Antibiotic Resistance Genes in Paddy Soil	HUANG Fu-yi, LI Hu, WEI Bei, <i>et al.</i> (3869)
Effect of Phosphate and Organic Acid Addition on Passivation of Simulated Pb Contaminated Soil and the Stability of the Product	ZUO Ji-chao, GAO Ting-ting, SU Xiao-juan, <i>et al.</i> (3874)
Bioremediation of Chromium(VI) Contaminated Site by Reduction and Microbial Stabilization of Chromium	ZHENG Jia-chuan, ZHANG Jian-rong, LIU Xi-wen, <i>et al.</i> (3882)
Effect of Thermal Enhanced Soil Vapor Extraction on Benzene Removal in Different Soil Textures	LI Peng, LIAO Xiao-yong, YAN Xiu-lan, <i>et al.</i> (3888)
Effects of Elevated O ₃ Concentration on Nitrogen in Greening Tree Species in Southern China	YANG Tian-tian, ZHANG Wei-wei, HU En-zhu, <i>et al.</i> (3896)
Effects of Nitrogen Application on Soil Greenhouse Gas Fluxes in <i>Eucalyptus</i> Plantations with Different Soil Organic Carbon Content	LI Rui-da, ZHANG Kai, SU Dan, <i>et al.</i> (3903)
Ozone Effects on Soil Microbial Community of Rice Investigated by ¹³ C Isotope Labeling	CHEN Zhan, WANG Xiao-ke, SHANG He (3911)
Enhanced Aerobic Degradation of Low Chlorinated Biphenyls by Constructing Surfactants <i>Burkholderia xenovorans</i> LB400 Based System	CHEN Shao-yi, ZHANG Jing, WANG Han, <i>et al.</i> (3918)
Identification of a High Ammonia Nitrogen Tolerant and Heterotrophic Nitrification-Aerobic Denitrification Bacterial Strain TN-14 and Its Nitrogen Removal Capabilities	XIN Xin, YAO Li, LU Lei, <i>et al.</i> (3926)
Isolation and Identification of Electrochemically Active Microorganism from Micro-Aerobic Environment	WU Song, XIAO Yong, ZHENG Zhi-yong, <i>et al.</i> (3933)
Characteristics of Microbial Community Structure During Isolation of Electrical Active Bacteria	WANG Min, ZHAO Yang-guo, LU Shan-shan (3940)
Predicting Copper Toxicity to <i>Hypophthalmichthys molitrix</i> and <i>Ctenopharyngodon idellus</i> Based on Biotic Ligand Model	WANG Wan-bin, CHEN Sha, WU Min, <i>et al.</i> (3947)
Macrobenthos Community Structure and Water Quality Evaluation of Tian'e Zhou Oxbows	MA Xiu-juan, SHEN Jian-zhong, WANG Teng, <i>et al.</i> (3952)
Species Selection Methods in Deriving Water Quality Criteria for Aquatic Life	ZHANG Ling-song, WANG Ye-yao, MENG Fan-sheng, <i>et al.</i> (3959)
Correlations Between HBCD and Thyroid Hormone Concentrations in Human Serum from Production Source Area	LI Peng, YANG Cong-qiao, JIN Jun, <i>et al.</i> (3970)
Preparation of Cobalt Oxide Mesoporous Metallic Oxide-Clay Composites and Their Catalytic Performance in the Oxidation of Benzene	MU Zhen, MA Chun-yan, CHENG Jie, <i>et al.</i> (3977)
Catalytic Degradation of Naphthalene by CuO(-CeO ₂)/Al ₂ O ₃	ZHA Jian, ZHOU Hong-cang, HE Du-liang, <i>et al.</i> (3984)
Toxicity Tests and Their Application in Safety Assessment of Water Quality	XU Jian-ying, ZHAO Chun-tao, WEI Dong-bin (3991)
Assessment on the COD Discharge Status of Municipal Wastewater Treatment Plant in a City of China	ZHOU Yu-hua, LU Yan-na, ZHANG Yu, <i>et al.</i> (3998)
Assessment of Ecological Environment Benefits of Reclaimed Water Reuse in Beijing	FAN Yu-peng, CHEN Wei-ping (4003)
Construction of Index System for Early Warning of Persistent Organic Pollutants (POPs) Pollution Incidents in China	WANG Lin, LÜ Yong-long, HE Gui-zhen, <i>et al.</i> (4009)
Environmental Damages Assessment: Establishment of System Framework in China	ZHANG Hong-zhen, WANG Jin-nan, NIU Kun-yu, <i>et al.</i> (4015)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2014年10月15日 第35卷 第10期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 10 Oct. 15, 2014

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行