

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第7期

Vol.33 No.7

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办  
科学出版社 出版



# 目次

|                                                           |                                                 |
|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 三峡库首秭归地区大气降水硫同位素组成及示踪研究                                   | 吴起鑫, 韩贵琳 (2145)                                 |
| 成都春季生物质燃烧和沙尘期间气溶胶散射特征及其重建                                 | 岳建华, 陶俊, 林泽健, 朱李华, 曹军骥, 罗磊 (2151)               |
| 太湖上空大气气溶胶光学厚度及其特征分析                                       | 饶加旺, 马荣华, 段洪涛, 姜广甲, 尚琳琳, 周琳 (2158)              |
| 环上海地区干霾气溶胶垂直分布的季节变化特征                                     | 徐婷婷, 秦艳, 耿福海, 陈勇航, 张华, 刘琼, 马晓骏 (2165)           |
| 南京冬季市区和郊区气溶胶中 PAHs 浓度的昼夜特征及粒径分布                           | 张红亮, 樊曙先, 顾凯华, 朱彬, 范洋, 祖繁, 李红双, 孟庆紫, 何佳宝 (2172) |
| 青岛大气气溶胶水溶性无机离子研究: 季节分布特征                                  | 刘臻, 祁建华, 王琳, 陈晓静, 石金辉, 高会旺 (2180)               |
| 城市污水处理厂生成的微生物气溶胶的污染特性                                     | 邱雄辉, 李彦鹏, 牛铁军, 李美玲, 马智慧, 苗莹, 王湘君 (2191)         |
| 基于 WEPS 模型的天津郊区土壤风蚀起尘及对中心城区迁移量估算                          | 陈莉, 韩婷婷, 李涛, 姬亚芹, 白志鹏, 王斌 (2197)                |
| 浒苔绿潮与苏北近岸海域营养盐浓度的关系研究                                     | 高嵩, 石晓勇, 王婷 (2204)                              |
| 福建沿海近 10 a 赤潮基本特征分析                                       | 李雪丁 (2210)                                      |
| HSPF 水文水质模型应用研究综述                                         | 李兆富, 刘红玉, 李燕 (2217)                             |
| 城市降雨径流模拟的参数不确定性分析                                         | 黄金良, 林杰, 杜鹏飞 (2224)                             |
| 利用 CDOM 吸收系数估算太湖水体表层 DOC 浓度                               | 姜广甲, 马荣华, 段洪涛 (2235)                            |
| 嘉善地区水环境敏感点水质影响权重分析及风险等级判定                                 | 谢蓉蓉, 逢勇, 张倩, 陈可, 孙明园 (2244)                     |
| 重庆市盘溪河水质不同季节日变化规律及水质评价                                    | 张千千, 王效科, 郝丽岭, 逯非, 欧阳志云, 侯培强, 张烨 (2251)         |
| 南京市湿地水质对城市化影响强度的响应研究                                      | 郝敬锋, 刘红玉, 胡和兵, 安静, 张小红 (2259)                   |
| 宁夏沙湖浮游植物与水环境因子关系的研究                                       | 邱小琮, 赵红雪, 孙晓雪 (2265)                            |
| 影响太子河流域鱼类空间分布的不同尺度环境因子分析                                  | 丁森, 张远, 渠晓东, 孔维静, 刘思思, 孟伟 (2272)                |
| 大型底栖动物生物评价指数比较与应用                                         | 耿世伟, 渠晓东, 张远, 林坤德 (2281)                        |
| 青藏高原纳木错流域水体总汞的时空分布特征                                      | 王康, 康世昌, 郭军明, 张强弓, 黄杰, 郭伟 (2288)                |
| 青藏高原纳木错湖水主要化学离子的时空变化特征                                    | 郭军明, 康世昌, 张强弓, 黄杰, 王康 (2295)                    |
| 用物理-生态集成技术局部控制富营养化                                        | 李秋华, 夏品华, 吴红, 林陶, 张友春, 李存雄, 陈丽丽, 杨帆 (2303)      |
| 太湖氮素出入湖通量与自净能力研究                                          | 陈小锋, 揣小明, 曾巾, 刘涛, 杨柳燕 (2309)                    |
| 富营养湖泊沉积物中磷组分对硫酸盐的响应                                       | 袁探, 华玉妹, 朱端卫, 赵建伟, 蔡建波 (2315)                   |
| 巢湖表层沉积物磷的空间分布差异性研究                                        | 温胜芳, 单保庆, 张洪 (2322)                             |
| 南京地区典型有机污染物长距离输送潜力研究                                      | 方利江, 吴有方, 丁中原, 马子龙, 柳敏, 高宏 (2330)               |
| 东海内陆架沉积物中黑碳分布及其与持久性有机污染物的相关性研究                            | 林田, 方引, 陈颖军, 胡利民, 郭志刚, 张干 (2335)                |
| 嘉陵江重庆段表层水体多环芳烃的污染特征                                       | 蔡文良, 罗固源, 许晓毅, 杜炯 (2341)                        |
| 电子废物拆解区河流沉积物中多氯联苯的污染水平、分布及来源                              | 王学彤, 李元成, 缪绎, 张媛, 孙阳昭, 吴明红, 盛国英, 傅家谟 (2347)     |
| 基于梯形模糊数的沉积物重金属污染风险评价模型与实例研究                               | 李飞, 黄瑾辉, 曾光明, 唐晓娇, 白兵, 蔡青, 祝慧娜, 梁婕 (2352)       |
| 渤海湾海岸带开发对近岸沉积物重金属的影响                                      | 秦延文, 郑丙辉, 李小宝, 张雷, 时瑶, 曹伟 (2359)                |
| 崇明东滩表层沉积物重金属空间分布特征及其污染评价                                  | 李雅娟, 杨世伦, 侯立军, 周菊珍, 刘英文 (2368)                  |
| 白洋淀底泥重金属形态及竖向分布                                           | 李必才, 何连生, 杨敏, 孟睿, 袁冬海, 席北斗, 舒俭民 (2376)          |
| 西南涌酸挥发硫化物浓度水平及影响因素研究                                      | 刘晓冰, 温琰茂, 利锋, 吴昌华, 段志鹏 (2384)                   |
| 氨氮在饮用水生物滤池内的去除机制                                          | 刘冰, 范辉, 余国忠, 于鑫, 赵承美, 李清飞, 张舒婷, 魏博 (2394)       |
| Cu(II) 印迹壳聚糖交联膜的表征及其吸附热力学特性                               | 张玉红, 张爱丽, 周集体, 孙筱雨 (2403)                       |
| 声电氧化处理扑热息痛的研究                                             | 戴启洲, 马文姣, 沈宏, 陈浚, 陈建孟 (2410)                    |
| 粉煤灰吸附-Fenton 及热再生处理亚甲基蓝废水的特性研究                            | 白玉洁, 张爱丽, 周集体 (2419)                            |
| 利用双室微生物燃料电池处理模拟废水的产电特性研究                                  | 张永娟, 李永峰, 刘春研, 王艺璇, 李龙, 王籽人, 董义兴 (2427)         |
| Zn/Cr 型阴离子黏土的制备、表征及其对活性艳橙 X-GN 的去除性能研究                    | 王小蓉, 吴平霄 (2432)                                 |
| 核电站低放射性废水在封闭水体中的输移规律研究                                    | 武国正, 徐宗学 (2438)                                 |
| A + OSA 污泥减量工艺碳元素平衡与减量机制研究                                | 翟小敏, 高旭, 张曼曼, 贾丽, 郭劲松 (2444)                    |
| 系列混合碳源在 EBPR 系统颗粒化进程中的影响研究                                | 蒋涛, 孙培德, 徐少娟 (2451)                             |
| 氧化还原介体催化强化 <i>Paracoccus versutus</i> 菌株 GW1 反硝化特性研究      | 李海波, 廉静, 郭延凯, 赵丽君, 杜海峰, 杨景亮, 郭建博 (2458)         |
| 1 株转座子插入突变菌株 TB34 的筛选及产氢分析                                | 刘洪艳, 王广策, 侍浏洋, 朱大玲 (2464)                       |
| 蜜环菌漆酶对氯酚类污染物催化降解条件优化                                      | 秦仁炳, 朱显峰, 吴珂, 张晶晶, 赵海康 (2470)                   |
| 双季稻田 CH <sub>4</sub> 和 N <sub>2</sub> O 排放特征及品种筛选研究       | 傅志强, 朱华武, 陈灿, 黄瑛 (2475)                         |
| 闽江河口短叶茳苳湿地 CH <sub>4</sub> 和 N <sub>2</sub> O 排放对氮输入的短期响应 | 牟晓杰, 刘兴土, 仝川, 孙志高 (2482)                        |
| 青海三江源地区退化草地土壤全氮的时空分异特征                                    | 彭景涛, 李国胜, 傅瓦利, 易湘生, 蓝家程, 袁波 (2490)              |
| 不同降雨条件下侵蚀泥沙黏粒含量的变化规律                                      | 吴凤至, 史志华, 方怒放, 岳本江 (2497)                       |
| 土壤性质对单一及复合污染下外源镉稳定化过程的影响                                  | 吴曼, 徐明岗, 张文菊, 武海雯 (2503)                        |
| 多氯联苯污染农田土壤的原位生态调控修复效应                                     | 潘澄, 滕应, 骆永明, 涂晨, 李秀芬, 马婷婷, 张满云, 李振高, 宋静 (2510)  |
| 不同作物根系多环芳烃吸收特征差异的比较研究                                     | 梁宵, 占新华, 周立祥 (2516)                             |
| 废气和废渣协同作用脱钠反应特性及机制研究                                      | 伊元荣, 韩敏芳 (2522)                                 |
| 中国第三产业能源碳排放影响要素指数分解及实证分析                                  | 卢愿清, 史军 (2528)                                  |
| 《环境科学》征稿简则 (2431)                                         |                                                 |
| 《环境科学》征订启事 (2532)                                         |                                                 |
| 信息 (2157, 2271, 2367, 2418)                               |                                                 |

# 影响太子河流域鱼类空间分布的不同尺度环境因子分析

丁森, 张远\*, 渠晓东, 孔维静, 刘思思, 孟伟

(中国环境科学研究院环境基准与风险评估国家重点实验室, 流域水生生态保护技术研究室, 北京 100012)

**摘要:** 鱼类的退化受到不同类型环境因子的影响, 为制定更合理的鱼类保护计划, 本研究采用了非度量多维标度法 (NMS) 研究了太子河流域不同尺度环境因子对鱼类空间分布的影响。鱼类聚类结果发现太子河流域鱼类可分为 3 种分布类型区, 即上游森林及支流源头区、中游山地区和下流平原区。NMS 分析表明太子河流域鱼类空间分布受到流域、河段和微生境这 3 种尺度上环境因子的影响, 海拔、河流等级和土地利用在流域尺度上对鱼类分布表现出显著影响, 速度与深度结合等级、栖息地复杂性等级和电导率等因子在河段尺度上表现出显著作用, 底质等级是在微生境尺度上具有显著作用。因此, 在流域鱼类保护管理中应考虑不同尺度上环境因子的影响。

**关键词:** 太子河; 鱼类; 环境要素; 尺度; 空间分布

中图分类号: X171 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)07-2272-09

## Influence on the Spatial Distribution of Fish in Taizi River Basin by Environmental Factors at Multiple Scales

DING Sen, ZHANG Yuan, QU Xiao-Dong, KONG Wei-Jing, LIU Si-Si, MENG Wei

(State Key Laboratory of Environmental Criteria and Risk Assessment, Laboratory of Riverine Ecological Conservation and Technology, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China)

**Abstract:** The deterioration of fish is influenced by various types of environmental factors. To develop protection plans that are more suitable, non-metric multidimensional scaling analysis (NMS) was used to investigate the influence of environmental factors at multiple scales on the spatial distribution of fish. The results of cluster analysis showed that there were three types of spatial distribution of fish, i. e. upstream timber and tributary headstream area, midstream hilly area, and downstream plain area. Results of NMS analysis indicated the significant correlations between spatial distribution of fish and environmental factors at multiple scales. Altitude, stream order and land use were three important factors influencing the fish distribution at the watershed scale. Combination of velocity and depth, habitat inhomogeneity and electrical conductivity significantly affected fish distribution at the reach scale, whereas the quality of bottom material showed significant influence at the microhabitat scale. Therefore, the effect of specific environmental factors at multiple scales should be taken into consideration in the basin fish conversation management.

**Key words:** Taizi River; fish; environmental factors; scales; spatial distribution

河流生态系统按尺度可分为流域、河流、河区、河段、微生境。随着尺度的变化, 河流生态系统对干扰的响应敏感性各不相同。流域、河段和微生境是研究水生生物对干扰响应的 3 种重要尺度<sup>[1]</sup>, 而不同尺度上所对应的环境因素, 如流域尺度上的海拔<sup>[2]</sup>、河段尺度上的植被覆盖状况<sup>[3]</sup>、微生境尺度上的水质状况<sup>[4]</sup>, 都影响了水生生物的分布与群落结构组成。

鱼类占据着河流生态系统食物链的顶端, 对河流生态系统稳定性的维系十分关键, 其生存受到各种尺度环境因素的影响, 此方面研究是国际淡水群落生态学领域的焦点之一<sup>[5]</sup>。20 世纪我国所开展的淡水鱼类地理区系调查, 证实了大尺度上鱼类分布的差异, 有关此方面的研究已有不少报道<sup>[6-8]</sup>。在澜沧江流域的调查中发现, 鱼类分布主要受海拔、气候的影响, 鲢形目、鳊形目等类群只是在特定区域有所

分布<sup>[9]</sup>; 新疆塔里木河水系鱼类随着海拔梯度变化而展现出垂直分布特点<sup>[10]</sup>; 对黄山地区闽江流域和青弋江流域调查中, 溪流大小和空间位置分别决定了鱼类个体数和物种数的空间分布<sup>[11]</sup>。除大尺度上自然因素外, 人类活动压力也是导致鱼类分布差异的重要原因。通过对土地利用的研究发现, 城市化造成的非透水性地面增加导致了鱼类多样性水平下降, 甚至完全消亡<sup>[12]</sup>。除此之外, 水质状况<sup>[13,14]</sup>、水文条件<sup>[15]</sup>、栖息地特征<sup>[16]</sup>等中小尺度环境因素也影响着鱼类的生存状况。其中研究发现, 河流水质质量下降导致了印度东部省区的 Churni 河中的鱼类

收稿日期: 2011-08-31; 修订日期: 2012-01-17

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项 (2008ZX07526-001-02); 中央级公益性科研院所基本科研业务专项 (2010KYYW06)

作者简介: 丁森 (1982 ~), 男, 博士研究生, 助理研究员, 主要研究方向为鱼类生态学, E-mail: dingsen@craes.org.cn

\* 通讯联系人, E-mail: zhangyuan@craes.org.cn

在 20 a 时间内消失了 63.6%<sup>[17]</sup>; 水利工程造成的水文特征变化, 迫使南方诸水系以鲌科鱼为代表的对水文敏感鱼类的生存受到威胁<sup>[18]</sup>。

对于不同尺度的环境因素来说, 除海拔、气候等短期内不受人类社会活动而改变外, 大多数环境因素不同程度上都受到人类活动压力的作用, 直接或间接影响鱼类生存与分布。例如中、大尺度上的土地利用方式, 直接体现了人类的行为活动, 造成了河流栖息地结构与功能发生改变<sup>[19~21]</sup>, 间接地影响了鱼类种群结构特征; 而中小尺度的水质、水文等环境要素, 主要与生活排放、生产用水以及水利工程建设等活动密切相关, 这些因素会直接影响水生生物的生存。因此, 识别影响鱼类的不同尺度的影响因素, 已成为鱼类多样性保护的首要问题。

据目前所了解, 还鲜见有影响我国鱼类分布的空间尺度因子方面的报道。针对上述问题, 本研究选择太子河流域为调查区域, 通过分析不同尺度下自然环境因子与人类活动压力和鱼类空间分布的关系, 筛选对鱼类空间分布有影响的环境要素, 旨在为鱼类多样性保护的科学管理提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域

太子河属辽河流域, 位于东经 122°55'40" ~ 124°55'16", 北纬 40°28'48" ~ 41°38'46" 之间, 是辽宁

省东部较大的河流, 干流全长 413 km, 流域面积 13 880 km<sup>2</sup>。多年平均天然径流量为 44.96 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>, 年内分配比例较大, 流经本溪、辽阳、鞍山这 3 市。太子河流域地处暖温带湿润-半湿润气候区, 上游地区为低山丘陵, 主要自然植被为落叶阔叶林, 覆盖率达 50% 以上; 中下游为平原区, 土地开发程度较高。由于水资源利用与水污染双重影响, 太子河中下游的生态系统破坏严重。

### 1.2 数据收集

#### 1.2.1 鱼类样品采集

2009 年 5 月和 10 月分别在太子河流域设置的 141 个样点进行鱼类样品采集 (见图 1)。每个样点设置 300 m 的调查区间, 选用电鱼法和挂网法配合完成样品采集。对于可涉水 (深泓水深 ≤ 1.5 m) 点位, 只选用电鱼法进行采集。调查人员肩背安全电源, 手持电极和抄网, 沿河一侧缓慢行进完成采集工作, 采样时间维持在 1 h 左右。对于不可涉水 (深泓水深 ≥ 1.5 m) 点位, 选用挂网法和电鱼法配合进行。电鱼法只在河岸边浅水区进行; 挂网法分别在不同类型的生境布设网具, 挂网时间维持在 1 h 左右。使用的网具包括 3 种不同网径: 6 cm × 6 cm、12 cm × 12 cm、20 cm × 20 cm, 以保证获得较为全面的鱼类样品。

样品采集后立即鉴定种类, 鉴定后将鱼类样品放生。对于现场不能准确鉴定的样品, 选取 5 ~ 10 尾

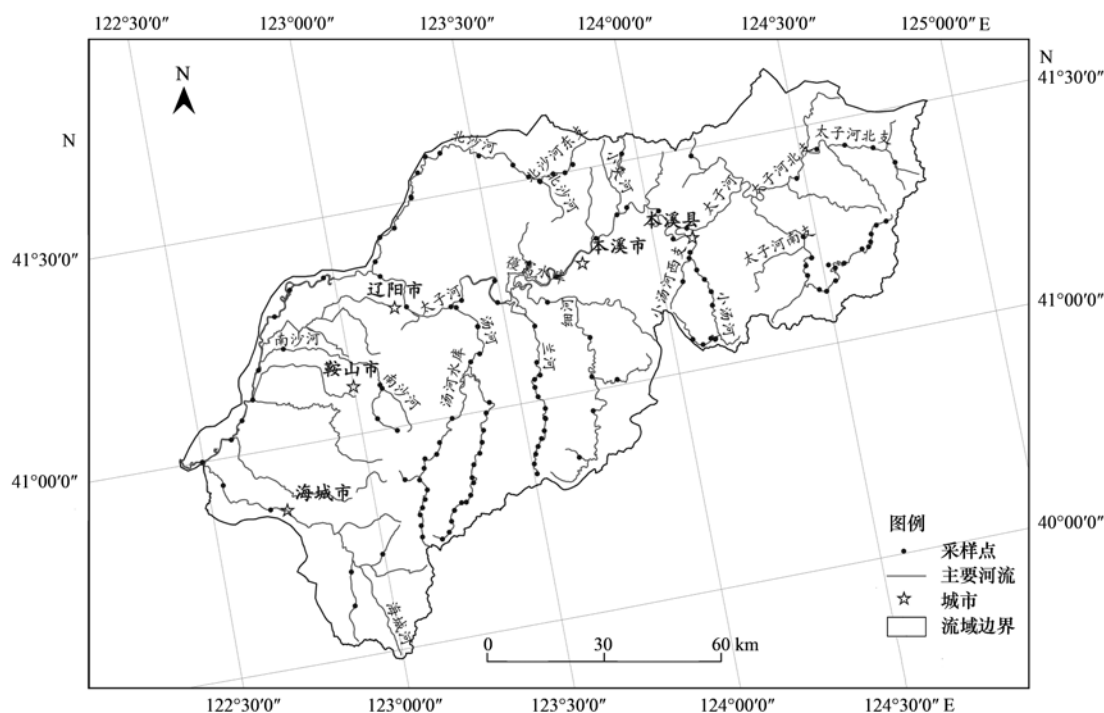


图 1 太子河流域采样点位示意

Fig. 1 Location of sampling sites in Taizi River basin

形态完整、无鳞片脱落或损坏的,用浸过福尔马林溶液的纱布包裹制作标本,置于密闭的样品保存盒中,带回实验室以备进一步鉴定.

1.2.2 环境因子数据获取

环境数据包括自然环境变量和人类活动压力两类(表1).自然环境变量包括河流等级和海拔;人类活动压力包括土地利用状况、栖息地质量参数、水质参数和底质粗糙度.

表 1 不同类型环境因子的等级划分

Table 1 Classification of different types of environmental factors

| 环境因子   | 尺度等级  | 等级划分                                                                                                     |
|--------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 自然环境因子 | 河流等级  | 流域尺度<br>按文献[22]分级标准划分为5级                                                                                 |
|        | 海拔    | 流域尺度<br>参考文献[23]并作适当调整分为6级:1级(<100 m);2级(100~200 m);3级(201~300 m);4级(301~400 m);5级(401~500 m);6级(>500 m) |
| 人类活动压力 | 建筑用地  | 流域尺度<br>参考文献[12]研究,按所占比例分为3级:1级(<4%);2级(4~10%);3级(>10%)                                                  |
|        | 农田用地  | 流域尺度<br>参考文献[12]研究,按所占比例分为3级:1级(<5%);2级(5~25%);3级(>25%)                                                  |
|        | 栖息质量  | 河段尺度<br>分为4级:1级为好(15~20);2级为较好(10~15);3级为一般(5~10);4级为差(0~5)                                              |
|        | 水质参数  | 河段尺度<br>按参考文献[24]划分5级——地表水环境质量标准(GB 3838-2002)                                                           |
|        | 底质粗糙度 | 微生物尺度<br>参考文献[25]并作适当调整分为4级:1级为沙子/淤泥/黏土(<2 mm)、2级为砂砾(2~64 mm)、3级为中砾(65~256 mm)、4级为巨砾(>256 mm)            |

其中,流域土地利用状况以大辽河流域2007年9月的3景Landsat5 TM影像为数据源(轨道号11831、11931和11932),在ENVI 4.4中对遥感影像进行几何精校正、影像拼接、影像截取等预处理后,导入Definiens Developer 7.0中将流域景观分为林草地、农业用地、建筑用地、河流、湖泊、滩地、沼泽地、水库、鱼塘这9类,结合流域野外实地踏查,采用目视解译和邻近分类相结合的人机交互式解译方法,进行信息提取,并结合研究区地形图及野外调查情况,对初步解译结果进行修正,形成最终解译结果;海拔、水质参数、底质粗糙度和栖息地质量等数据通过现场调查取样获得.每个采样点土地利用相

对比比例是根据所在点位上游集水区土地利用状况按不同类型分别计算获得.

河流等级由1:25万水系图获取;海拔数据利用GPS(Trimble-Juno SB)测定获得;水质参数包括溶解氧(DO)、总磷(TP)、氨氮(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N)、化学需氧量(COD)、生物需氧量(BOD)、电导(EC),其中DO、EC、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N利用YSI Pro 2030多参数水质分析仪进行现场测定,其他水质参数采集样品带回实验室,参考相应国家标准进行测定;底质粗糙度数据通过测量底质粒径获得;栖息地质量参数通过对包括河岸带状况、堤岸状况和河道状况等8项定性指标进行综合评分获得(表2).

表 2 栖息地质量参数评分表

Table 2 Score chart of habitat quality parameters

| 栖息地质量参数   | 极好(15~20分)                      | 好(10~15分)                                       | 一般(5~10分)                             | 差(0~5分)                           |
|-----------|---------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|
| 栖息地复杂性    | 有水生植被,枯枝落叶,倒木、倒凹堤岸和巨石等各种小栖息境    | 有水生植被,枯枝落叶,和倒凹堤岸等小栖息境                           | 以1种或2种小栖息境为主                          | 以1种小栖息境为主,底质多以淤泥或细沙为主             |
| 速度和深度结合   | 慢、深、慢、浅、快、深和块、浅4种类型都出现,且几乎是平均分布 | 只有3种情况出现(如果是快、浅没有出现,分值比缺少其他的情况分值低)              | 只有2种情况出现(如果快、浅和慢、浅没有出现,分值低)           | 只有一种类型出现                          |
| 堤岸稳定性     | 堤岸很稳定,无侵蚀痕迹,<5%的堤岸受到了损害         | 比较稳定,偶发的小侵蚀地区已恢复好,观察范围内(100 m)有5%~30%的面积出现了侵蚀现象 | 观察范围内30%~60%的面积发生了侵蚀,且有可能会在洪水期间发生大的隐患 | 观察范围内60%以上的堤岸发生了侵蚀                |
| 河道变化      | 渠道化没有出现或很少出现,河道维持正常模式           | 渠道化出现较少,通常在桥墩周围处出现渠道化,对水生生物影响较小                 | 渠道化比较广泛,在两岸有筑堤或桥梁支柱出现,对水生生物有一定影响      | 河岸由铁丝和水泥固定,对水生生物的影响很严重,使其生活环境完全改变 |
| 河水水量状况    | 水量较大,河水淹没到河岸两侧,或由及少量的河道暴露       | 水量比较大,河水淹没75%左右的河道                              | 水量一般,河水淹没25%~75%的河道                   | 水量很小,河道干涸                         |
| 植被多样性     | 河岸周围植被种类很多,面积大,50%以上的堤岸覆盖有植被    | 河岸周围植被种类比较多,面积一般,50%~25%堤岸覆盖有植被                 | 河岸周围植被种类比较少,面积较小,25%~0%堤岸覆盖有植被        | 河岸周围几乎没有任何植被,无堤岸覆盖,无植被            |
| 人类活动强度    | 无人类活动干扰或少有人类活动                  | 人类干扰较小,有少量的步行者或自行车通过                            | 人类干扰较大,并有少量的机动车通过                     | 人类干扰很大,交通要道必经之路,经常有机动车通过          |
| 河岸边土壤利用类型 | 河岸两侧无耕作土壤,营养丰富                  | 河岸一侧无耕作土壤,另一侧为耕作土壤                              | 河岸两侧耕作土壤,需要施加化肥和农药                    | 河岸两侧为耕作废弃的裸露的风化土壤层,营养物质很少         |

### 1.3 数据分析

利用“PC-Ord 5”软件对所得鱼类数据进行聚类分析,采用 Sorensen 相似性方法与“flexible beta”联合进行分析。“flexible beta”值设为 -0.25,目的是得到与 Ward's method 相似的结果<sup>[2]</sup>。

为解析太子河鱼类群落结构的相似性,通过“PC-Ord 5”软件,运用非度量多维标度法(NMS)对鱼类数据进行分析,距离测定选用 Bray-Curtis 指数,采用自动分析法(慢速)进行分析。进行 NMS 分析前,剔除只在一个样点出现过的物种,避免偶见种对分析结果的影响。NMS 图展示的是对群落数据变量解释率最高的 2 个轴的结果。对环境因素数据进行 MRPP 检验,以  $P < 0.0005$  作为差异显著水平。所有数据在使用前进行  $\lg(x+1)$  转化,以降低极端数值的负面影响。

为比较不同鱼类分布类型点位间环境要素的差别,利用 SPSS 11.5 统计软件进行非参数检验(Kruskal-Wallis)及 Duncan 多重比较,以  $P < 0.05$  作为差异显著水平。

为比较不同河流级别的鱼类物种数,利用 SPSS 11.5 统计软件进行单因子方差分析(ANOVA)及 Duncan 多重比较,以  $P < 0.05$  作为差异显著水平。

## 2 结果

### 2.1 太子河流域鱼类组成

太子河流域共采集到鱼类 47 种,分 9 目 12 科(图 2),鱼类个体数 13 571 尾。太子河流域鱼类优势种主要为洛氏鲮(*Phoxinus lagowskii*)、北方条鳅(*Nemachilus nudus*)和棒花鱼(*Abbottina rivularis*),分别占鱼类个体数的 48.1%、9.7% 和 6.6%。

### 2.2 太子河流域鱼类分布类型

对 2009 年春季和秋季太子河流域 141 个调查样点鱼类数据经聚类分析发现,太子河鱼类分布分为 3 种类型(图 3):第一类型集中在高海拔森林区河流与中海拔山地河流源头,包括 79 个样点,主要为太子河南支与小汤河全部点位,兰河中上游部分点位以及太子河上游点位。人类活动干扰较少,生境较为完整,优势种鱼类为洛氏鲮、北方条鳅和棒花鱼。第二类型分布在中海拔山地河流中下游,包括 36 个点位,主要为汤河全部点位、太子河流域中游点位以及北沙河源头点位。人类活动干扰较强,生境复杂性较低,优势种鱼类为棒花鱼、洛氏鲮和麦穗鱼(*Pseudorasbora parva*)。第三类型主要分布在下流低海拔人类活动密集区河流,包括 26 个点位,基本为

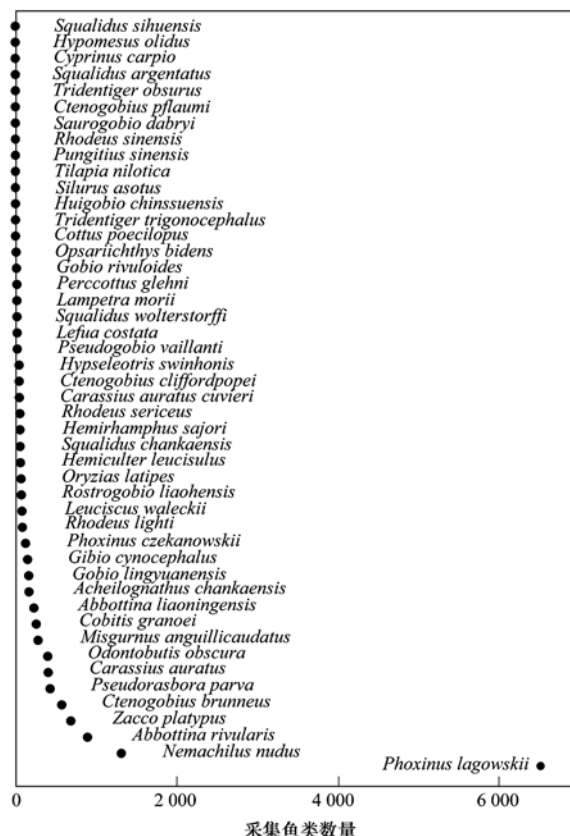


图 2 太子河流域鱼类组成

Fig. 2 Fish assemblage in Taizi River basin

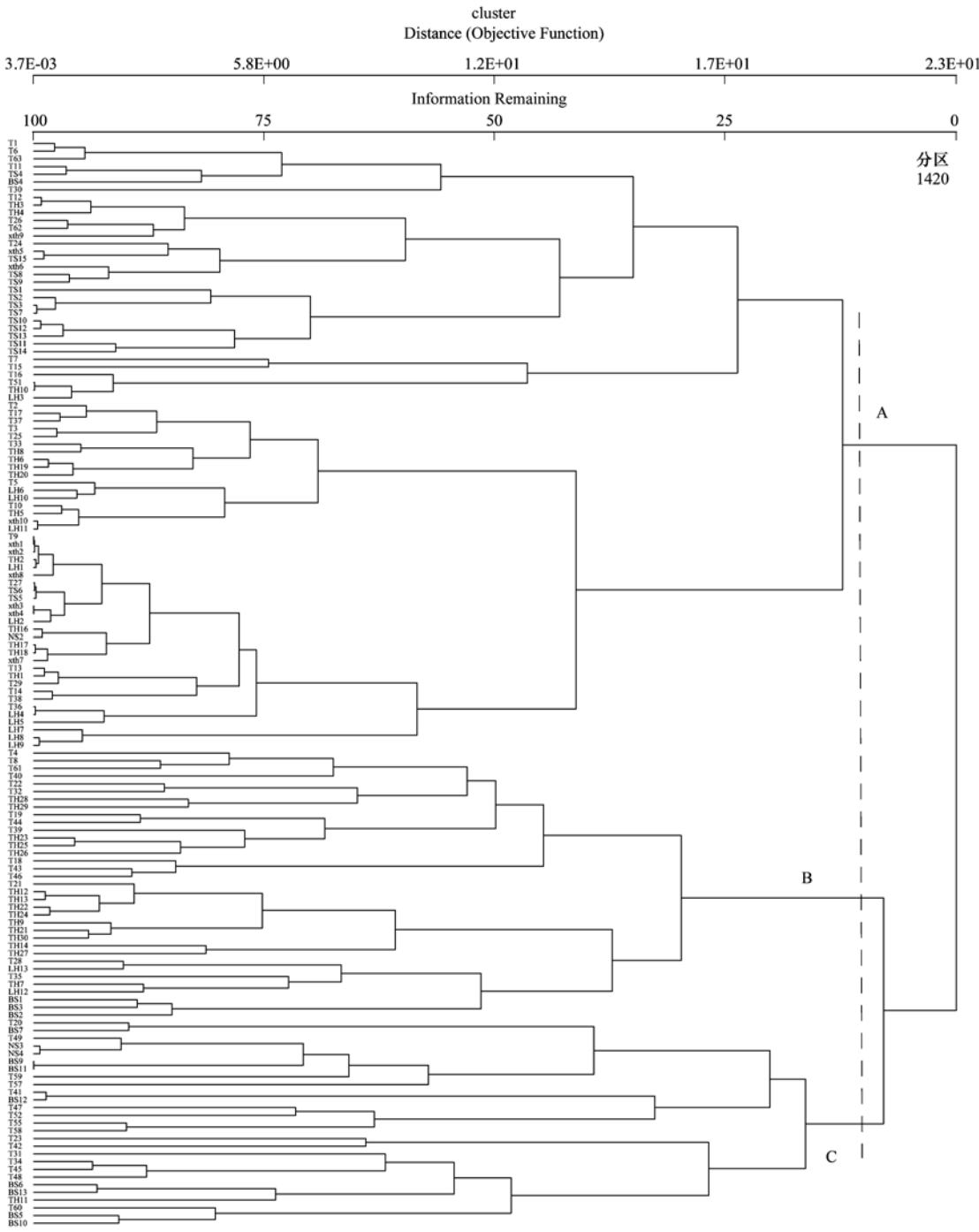
北沙河中下游点位以及太子河流域下游点位。人类活动十分频繁,生境较为单一,优势种鱼类为鲫鱼(*Carassius auratus*)、泥鳅(*Misgurnus anguillicaudatus*)和棒花鱼。

### 2.3 流域尺度的鱼类 NMS 分类

在流域尺度上,经 MRPP 检验发现海拔、河流等级、土地利用(包括建筑用地和农业用地)对鱼类分布特征存在显著影响( $P < 0.0005$ )。海拔  $< 100$  m 的点位主要分布在第一轴左侧,海拔  $> 200$  m 的点位集中在第一轴右侧,表明这 2 个海拔范围内的鱼类群落结构差异显著。海拔  $100 \sim 200$  m 的点位分布较为分散,此海拔范围为鱼类分布的过渡区[图 4(a)]。

如图 4(b)所示,1 级河流点位集中在第一轴右侧,5 级河流点位集中在第一轴左侧,表明这两级河流点位上的鱼类群落结构存在显著性差异。1 级河流与 5 级河流鱼类物种数之间也存在着明显差异(表 3)。其他河流级别点位分布相对均匀,表明这些点位间鱼类群落结构存在一定相似性。

流域建筑用地相对比例  $< 4\%$  的点位主要分布在第一轴下方,相对比例  $> 4\%$  的点位集中出现在第



A 代表第一类型; B 代表第二类型; C 代表第三类型

图 3 太子河流域鱼类聚类分析结果

Fig. 3 Cluster analysis results of fish in Taizi River basin

表 3 太子河流域不同级别河流鱼类物种数<sup>1)</sup> (平均值 ± 标准差)

Table 3 Number of species at different stream orders in Taizi River basin (Mean ± S. D. )

| 河流级别 | 鱼类物种数                       | 点位数 |
|------|-----------------------------|-----|
| 1 级  | 3. 8 ± 1. 30 <sup>a</sup>   | 26  |
| 2 级  | 5. 27 ± 2. 20 <sup>ab</sup> | 44  |
| 3 级  | 5. 71 ± 3. 12 <sup>b</sup>  | 35  |
| 4 级  | 5. 00 ± 3. 16 <sup>ab</sup> | 16  |
| 5 级  | 5. 80 ± 2. 91 <sup>b</sup>  | 20  |

1) 表中不同字母表示同一列数据间差异性显著 ( $P < 0.05$ )

一轴上方[图 3(c) 和 3(d)],说明 2 种建筑用地比例对太子河流域鱼类群落结构差异产生显著影响. 流域农业用地相对比例 > 25% 的点集中在第二轴上方出现,比例 < 25% 的点集中在第二轴下方,表明 2 种农业用地比例对太子河流域鱼类群落结构产生显著影响.

2.4 河段尺度的鱼类 NMS 分类

在河段尺度上,经 MRPP 检验发现水深与流速

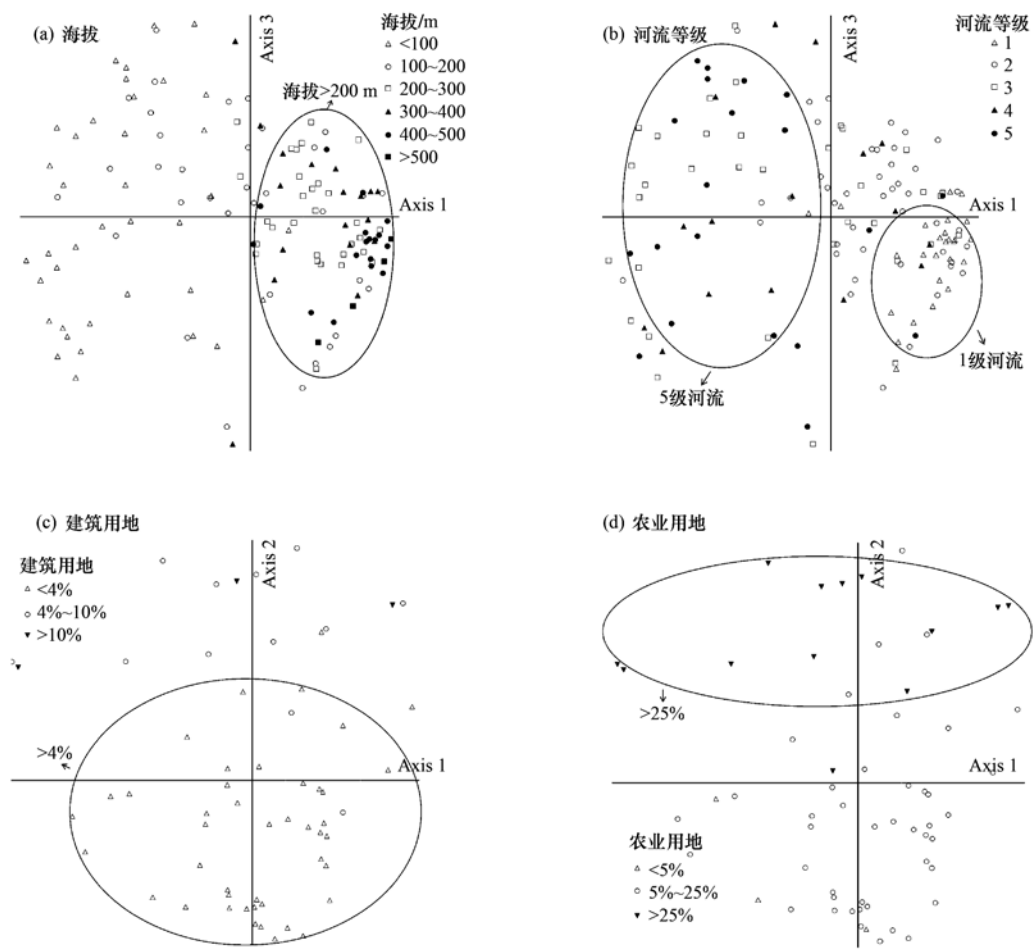


图 4 基于流域尺度环境因子的鱼类 NMS 分类

Fig. 4 NMS classification results of fish based on environmental factors at the catchment scale

结合、堤岸稳定性、河岸边土壤类型、河水水量、栖境复杂性、植被多样性等 6 项栖境质量参数和 BOD<sub>5</sub>、COD、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、TN、EC 等 5 项水质参数对鱼类分布产生显著影响( $P < 0.0005$ )。

其中,基于速度与深度结合和栖境复杂性 2 项参数的鱼类分类结果均发现,多种栖境的点位集中在第一轴右侧,而单一栖境的点位集中在第一轴左侧[图 5(a)和 5(b)],表明栖境的复杂程度影响了鱼类的分布,栖境最复杂与栖境过于单一的环境中鱼类群落结构特征明显不同.中等栖境复杂程度的点位分布较为均匀,也表明此类栖境是鱼类分布的过度区域。

此外,基于 EC 的鱼类分类结果发现,EC < 400 S·m<sup>-1</sup>的点位集中在第一轴右侧,> 400 S·m<sup>-1</sup>的点位主要集中在第一轴左侧[图 5(c)],鱼类在这 2 个电导率范围的分布差异显著。

2.5 微生境尺度的鱼类 NMS 分类

在微生境尺度上,经 MRPP 检验发现底质等级

对鱼类分布产生显著影响( $P < 0.0005$ ).以沙子/淤泥/黏土为主的底质(< 2 mm)点位多集中在第一轴右侧,而以巨砾为主的底质(> 256 mm)点位集中出现在第一轴左侧(图 6),表明鱼类对底质等级存在一定的选择性,以泥沙底质和巨砾底质为主的点位鱼类群落结构组成存在明显差异,而底质介于 2 ~ 256 mm 的点位属于过渡性区域。

3 讨论

河流存在着空间尺度的变化特征,这种尺度效应不仅依赖于河流本身,而且与整个环境有关.河流生态系统中,不同尺度上的环境因子对水生生物产生一定影响.本研究结果发现太子河流域鱼类分布大体分为 3 种类型,即高海拔森林区与中海拔山地区源区、中海拔山地区、低海拔平原区,这是体现在流域尺度上的类型差异.在每一类型区域内具有大体相似的鱼类分布特征,同时也包含小部分其他类型点位.这说明太子河流域鱼类分布主要受到大尺

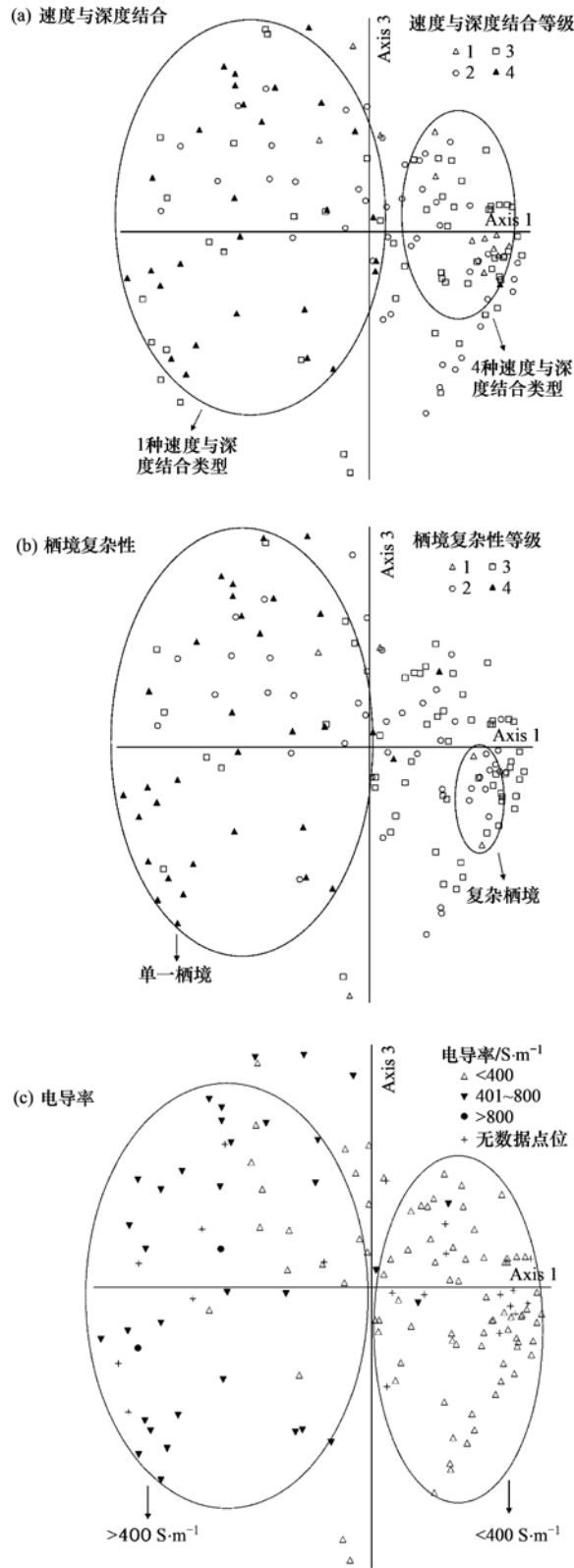


图5 基于栖息地质量和水质状况的鱼类 NMS 分类

Fig. 5 NMS classification results of fish based on the quality of habitat and water quality

度环境因子的影响,形成了3种大的区域类型,在每个区域中又受到小尺度环境因子的影响。

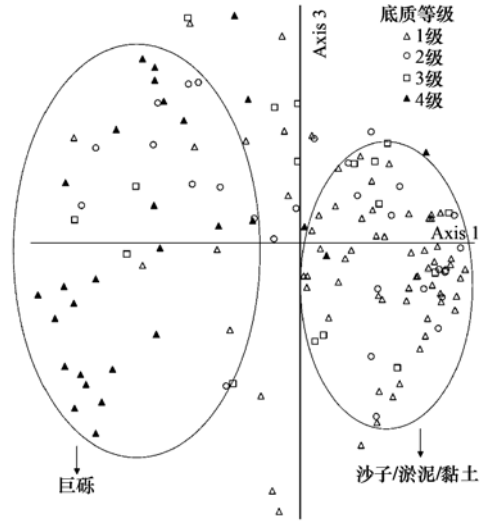


图6 基于底质的鱼类 NMS 分类

Fig. 6 NMS classification results of fish based on the bottom material

在流域尺度上,鱼类海拔格局的研究已有不少报道<sup>[11, 26]</sup>.对云南高原地区调查发现,海拔和水域面积影响了鱼类分布,土著种只在一定海拔处最为丰富<sup>[27]</sup>.本研究通过对太子河流域鱼类调查发现,海拔介于100~200 m间点位分布不集中,可能与此范围内人类的干扰活动强弱不一有关,而在此范围之外鱼类群落结构存在明显差异.对于太子河流域来说,海拔低于100 m的区域主要为人类活动频繁的平原区,海拔200 m以上的区域多为植被覆盖完整的山地区或部分支流的源头区.究其原因主要是这两类区域自然地理上的差异,造成了鱼类在这2种海拔范围内分布存在差异.此外,研究发现鱼类分布受到水量的影响<sup>[28]</sup>,而河流等级则正反映了水量变化的特征.河流级别一直是鱼类生态学家描述溪流鱼类群落分布的一个重要空间尺度<sup>[29]</sup>,有关鱼类空间分布与河流等级的关系已有大量报道.一般认为随着河流级别的增加,鱼类种类也随之增加<sup>[29]</sup>.在对 Allegheny 河彼得斯堡段的调查中发现,河流等级3~4级河段较低等级河段的鱼类丰度更大<sup>[30]</sup>.本研究结果也发现不同河流等级点位鱼类物种数差异显著,可见太子河流域鱼类分布与水量关系较为密切。

人类在流域的活动可反映为土地的利用情况,主要表现在建筑用地、农业用地等人类开发土地类型的变化.有关土地利用方面的研究多集中于底栖动物,而鱼类的研究相对较少.有研究指出随着流域内人类开发土地比例的增加,鱼类多样性和丰度水平随之下降,而耐污种鱼类的相对丰度则有所上

升<sup>[31]</sup>. 根据美国 Ohio 环境保护局的数据, 建筑用地比例介于 0~5%, 某些敏感种鱼类会消失; 当升至 5%~15%, 栖境出现退化状况并伴随有功能摄食类群数量的下降; 当超过 15% 时, 污染加剧、营养有机质富集并会导致鱼类种群遭到严重破坏<sup>[29]</sup>. 农业用地相对比例超过 50% 则会对鱼类群落组成产生影响<sup>[32]</sup>. 本研究发现建筑用地比例小于 4% 与高于 4% 的点位, 农业用地比例小于 25% 与高于 25% 的点位鱼类群落结构存在显著差异. 建筑用地的结果与上述研究结果较为一致, 但农业用地比例达到 25% 时就会对鱼类带来影响, 一方面可能因为用地强度、管理方式存在差异, 本研究中的农业用地包括了旱田和水田两种类型; 另一方面农田和城镇村落交错相连, 这种农业用地和建筑用地共同作用方式要比农田单一对鱼类的影响大得多<sup>[33]</sup>.

在河段尺度上, 本研究发现 8 项栖境评价参数中, 水深与流速结合和栖境复杂性 2 项评价参数的鱼类 NMS 分类结果更明显地反映出“极好”等级点位与“差”点位鱼类群落结构差异. 2 项指标“极好”点位大多集中在高海拔森林区, 常见慢-深、慢-浅、快-深、快-浅等多种水文特征, 并伴随有倒木、枯枝落叶、巨石等小栖境, 栖境复杂性相对较高; “差”点位多集中在中低海拔地区, 其栖境复杂性相对较低. 通常来说, 栖境复杂性影响鱼类群落结构<sup>[34]</sup>. 因此, 栖境复杂性差异是影响鱼类分布差异的重要原因, 这不仅体现流域自然地理特征(如海拔)的变化, 同时也是人类活动强度所导致的结果.

水质状况对鱼类的影响也有不少报道. 英国约克郡的河流水质受到工业以及生活污水的影响后, BOD、氨氮等指标严重超标, 鱼类种类和数量大幅度下降<sup>[35]</sup>. 对我国苗家河的调查中发现, 重污染水体严重影响鱼类种群发展以及个体生长<sup>[36]</sup>. 本研究结果表明高于和低于 400 S·m<sup>-1</sup> 电导率的点位鱼类群落结构存在明显差异. 电导率较高点位主要集中太子河中下游地区, 由于人类活动强度较大, 水质污染状况较上游山地区域更为严重, 导致太子河流域中下游河段优势种为耐污性较强的鲫鱼、泥鳅等种类.

在河流纵向特征上, 河床物质颗粒尺寸自上游到下游逐渐变小<sup>[37]</sup>, 底质颗粒大小和复杂性也逐渐发生变化. 鱼类对底质类型有各自的偏好, 这与鱼类的觅食、栖息等行为活动有关<sup>[38,39]</sup>. 在微生境尺度上, 本研究结果发现泥沙底质和巨砾底质点位的鱼类群落结构存在差异. 以泥沙为底质点位较多出现

在太子河流域中上游区, 以口半下位的洛氏鲮和口下位的棒花鱼为指示种, 而以巨砾为底质的点位集中在下游平原区, 以口前位的鲫鱼为指数种, 这与觅食习惯和筑巢护卵的习性紧密相关.

#### 4 结论

太子河流域鱼类分布受到不同尺度环境要素的影响, 包括流域尺度上、河段尺度上和微生境尺度上的. 经分析筛选得到海拔、河流等级、土地利用、速度与深度结合等级、栖境复杂性等级、电导率、底质等参数是影响太子河流域鱼类群落结构特征的重要环境要素. 探明鱼类分布与环境因素的关系, 可为开展太子河流域不同尺度上鱼类保护技术的实施提供了科学依据.

#### 参考文献:

- [1] Frissell C A, Liss W J, Warren C E, *et al.* A hierarchical framework for stream habitat classification: viewing streams in a watershed context [J]. *Environmental Management*, 1986, **10** (1): 199-214.
- [2] Lorenz A, Feld C K, Hering D. Typology of streams in Germany based on benthic invertebrates: ecoregions, zonation, geology and substrate [J]. *Limnologia-Ecology and Management of Inland Waters*, 2004, **34** (4): 379-389.
- [3] 孔德平, 陈小勇, 杨君兴. 泸沽湖鱼类区系现状及人为影响成因的初步探讨 [J]. *动物学杂志*, 2006, **27** (1): 94-97.
- [4] 高峰, 尹洪斌, 胡维平, 等. 巢湖流域春季大型底栖动物群落生态特征及与环境因子关系 [J]. *应用生态学报*, 2010, **21** (8): 2132-2139.
- [5] Matthews W J. Fish faunal “breaks” and stream order in the eastern and central United States [J]. *Environmental Biology of Fishes*, 1982, **17** (2): 81-92.
- [6] Yoder C O, Rankin E T. Assessing the condition and status of aquatic life designated uses in urban and suburban watersheds [A]. In: *Effects of watershed development and management on aquatic ecosystems* [M]. New York: American Society of Civil Engineers, 1996. 201-227.
- [7] Gafny S, Goren M, Gasith A. Habitat condition and fish assemblage structure in a coastal Mediterranean stream (Yarqon, Israel) receiving domestic effluent [J]. *Hydrobiologia*, 2000, **422/423**: 319-330.
- [8] Onorato D, Angus R A, Marion K R. Historical changes in the ichthyofaunal assemblages of the Upper Cahaba River in Alabama associated with extensive urban development in the watershed [J]. *Journal of Freshwater Ecology*, 2000, **15** (1): 47-63.
- [9] 刘明典, 陈大庆, 段辛斌, 等. 澜沧江云南段鱼类区系组成与分布 [J]. *中国水产科学*, 2011, **18** (1): 156-170.
- [10] 马燕武, 郭焱, 张人铭, 等. 新疆塔里木河水系土著鱼类区系组成与分布 [J]. *水产学报*, 2009, **33** (6): 949-956.

- [11] 严云志, 占姚军, 储玲, 等. 溪流大小及其空间位置对鱼类群落结构的影响[J]. 水生生物学报, 2010, **34**(5): 1022-1030.
- [12] Paul M J, Meyer J L. Streams in the urban landscape [J]. Annual Review Ecology and Systematics, 2001, **32**(1): 333-365.
- [13] Perna C, Burrows D. Improved dissolved oxygen status following removal of exotic weed mats in important fish habitat lagoons of the tropical Burdekin river floodplain, Australia [J]. Marine Pollution Bulletin, 2005, **51**(1-4): 138-148.
- [14] Wexler J B, Margulies D, Scholey V P. Temperature and dissolved oxygen requirements for survival of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, larvae [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2011, **404**(1-2): 63-72.
- [15] Vinagre C, Santos F D, Cabral H N, *et al.* Impact of climate and hydrology on juvenile fish recruitment towards estuarine nursery grounds in the context of climate change [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2009, **85**(3): 479-486.
- [16] Wright J P, Flecker A S. Deforesting the riverscape: the effects of wood on fish diversity in a Venezuelan piedmont stream [J]. Biological Conservation, 2004, **120**(3): 439-447.
- [17] Das S K, Chakrabarty D. The use of fish community structure as a measure of ecological degradation: a case study in two tropical rivers of India [J]. Biosystems, 2007, **90**(1): 188-196.
- [18] 周伟, 李明会. 鲢科鱼类多样性与栖境的关系 [J]. 云南农业大学学报, 2006, **21**(6): 811-815.
- [19] Temple S A. The problem of avian extinctions [J]. Current Ornithology, 1986, **3**: 453-485.
- [20] Pimm S L, Raven P. Extinction by numbers [J]. Nature, 2000, **403**(6772): 843-845.
- [21] 刘会玉, 林振山, 张明阳. 物种演化对人类活动作用下不同性质栖息地毁坏的响应 [J]. 植物生态学报, 2005, **29**(3): 429-435.
- [22] Strahler A N. Quantitative analysis of watershed geomorphology [J]. Transactions of the American Geophysical Union, 1957, **38**(6): 913-920.
- [23] 伍光和, 田连恕, 胡双熙, 等. 自然地理学 [M]. (第三版). 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [24] GB 3838-2002, 地表水环境质量标准 [S].
- [25] Cummins K W. An evaluation of some techniques for the collection and analysis of benthic samples with special emphasis on lotic waters [J]. American Midland Naturalist, 1962, **67**(2): 477-504.
- [26] 于晓东, 罗天宏, 周红章. 长江流域鱼类物种多样性大尺度格局研究 [J]. 生物多样性, 2005, **13**(6): 473-495.
- [27] 袁刚, 茹辉军, 刘学勤. 2007-2008 年云南高原湖泊鱼类多样性与资源现状 [J]. 湖泊科学, 2010, **22**(6): 837-841.
- [28] Jonsson N. Influence of water flow, water temperature and light on fish migration in rivers [J]. Nordic Journal of Freshwater Research, 1991, **66**(66): 20-35.
- [29] Matthews W J. Patterns in freshwater fish ecology [M]. New York: Chapman and Hall, 1998. 55-56.
- [30] Argent D G, Bishop J A, Stauffer J R Jr, *et al.* Predicting freshwater fish distributions using landscape-level variables [J]. Fisheries Research, 2003, **60**(1): 17-32.
- [31] Boët P, Belliard J, Berrebi-dit-Thomas R, *et al.* Multiple human impacts by the city of Paris on fish communities in the Seine river basin, France [J]. Hydrobiologia, 1999, **410**: 59-68.
- [32] Roth N E, Allan J D, Erickson D L. Landscape influences on stream biotic integrity assessed at multiple spatial scales [J]. Landscape Ecology, 1996, **11**(3): 141-156.
- [33] Wang L Z, Lyons J, Kanehl P, *et al.* Watershed urbanization and changes in fish communities in southeastern Wisconsin streams [J]. Journal of American Water Resource Association, 2000, **36**(5): 1173-1189.
- [34] Jackson E L, Attrill M J, Jones M B. Habitat characteristics and spatial arrangement affecting the diversity of fish and decapod assemblages of seagrass (*Zostera marina*) beds around the coast of Jersey (English Channel) [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2006, **68**(3-4): 421-432.
- [35] Amisah S, Cowx I G. Response of the fish populations of the River Don in South Yorkshire to water quality and habitat improvements [J]. Environmental Pollution, 2000, **108**(2): 191-199.
- [36] 贾亚梅, 操家顺, 林涛. 苏州苗家河水质污染对鱼类的影响 [J]. 云南环境科学, 2006, **25**(1): 35-37.
- [37] Federal Interagency Stream Restoration Working Group. Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practices [M]. National Engineering Handbook, USDA-National Resource Conservation Service. 1998.
- [38] Webster M M, Hart P J B. Substrate discrimination and preference in foraging fish [J]. Animal Behaviour, 2004, **68**(5): 1071-1077.
- [39] Galhardo L, Almeida O, Oliveira R F. Preference for the presence of substrate in male cichlid fish: effects of social dominance and context [J]. Applied Animal Behaviour Science, 2009, **120**(3-4): 224-230.

## CONTENTS

|                                                                                                                                                                              |                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Isotopic Composition and Isotope Tracing of Sulfur in Atmospheric Precipitation at the Head Area of the Three Gorges Reservoir, China .....                                  | WU Qi-xin, HAN Gui-lin (2145)                                        |
| Characterization and Reconstruction of Aerosol Light Scattering Coefficient at Chengdu During Biomass Burning and Dust Storm Period in Spring .....                          | YUE Jian-hua, TAO Jun, LIN Ze-jian, <i>et al.</i> (2151)             |
| Aerosol Optical Thickness of the Atmospheric Aerosol over Taihu Lake and Its Features; Results of In-site Measurements .....                                                 | RAO Jia-wang, MA Rong-hua, DUAN Hong-tao, <i>et al.</i> (2158)       |
| Seasonal Variations in the Vertical Distribution of Aerosols During Dry Haze Periods in Regions Around Shanghai .....                                                        | XU Ting-ting, QING Yan, GENG Fu-hai, <i>et al.</i> (2165)            |
| Size Distributions and Diurnal Variations in the Concentrations of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Winter in Urban and Suburban Nanjing, China .....                     | ZHANG Hong-liang, FAN Shu-xian, GU Kai-hua, <i>et al.</i> (2172)     |
| Seasonal Distribution of Water-Soluble Inorganic Ions in the Atmospheric Aerosol in Qingdao .....                                                                            | LIU Zhen, QI Jian-hua, WANG Lin, <i>et al.</i> (2180)                |
| Pollution Characteristics of Microbial Aerosols Generated from a Municipal Sewage Treatment Plant .....                                                                      | QIU Xiong-hui, LI Yan-peng, NIU Tie-jun, <i>et al.</i> (2191)        |
| Estimation of the Effect Derived from Wind Erosion of Soil and Dust Emission in Tianjin Suburbs on the Central District Based on WEPS Model .....                            | CHEN Li, HAN Ting-ting, LI Tao, <i>et al.</i> (2197)                 |
| Variation of Nutrient Concentrations at the Inshore Coastal Area of Northern Jiangsu Province and the Occurrence of Green Tide Caused by <i>Enteromorpha prolifera</i> ..... | GAO Song, SHI Xiao-yong, WANG Ting (2204)                            |
| Analysis on Characteristics of Red Tide in Fujian Coastal Waters During the Last 10 Years .....                                                                              | LI Xue-ding (2210)                                                   |
| Review on HSPF Model for Simulation of Hydrology and Water Quality Processes .....                                                                                           | LI Zhao-fu, LIU Hong-yu, LI Yan (2217)                               |
| Parameter Uncertainty Analysis for Urban Rainfall Runoff Modelling .....                                                                                                     | HUANG Jin-liang, LIN Jie, DU Peng-fei (2224)                         |
| Estimation of DOC Concentrations Using CDOM Absorption Coefficients; A Case Study in Taihu Lake .....                                                                        | JIANG Guang-jia, MA Rong-hua, DUAN Hong-tao (2235)                   |
| Weight Parameters of Water Quality Impact and Risk Grade Determination of Water Environmental Sensitive Spots in Jianshan .....                                              | XIE Rong-rong, PANG Yong, ZHANG Qian, <i>et al.</i> (2244)           |
| Diurnal Variation and Evaluation of Water Quality in Different Seasons of Panxi River in Chongqing .....                                                                     | ZHANG Qian-qian, WANG Xiao-ke, HAO Li-ling, <i>et al.</i> (2251)     |
| Responses of Wetland Water Quality to Influence the Strengthness of Urbanization in Nanjing, China .....                                                                     | HAO Jing-feng, LIU Hong-yu, HU He-bing, <i>et al.</i> (2259)         |
| Studies on Relationship of Phytoplankton and Water Environmental Factors in Shahu Lake .....                                                                                 | QIU Xiao-cong, ZHAO Hong-xue, SUN Xiao-xue (2265)                    |
| Influence on the Spatial Distribution of Fish in Taizi River Basin by Environmental Factors at Multiple Scales .....                                                         | DING Sen, ZHANG Yuan, QU Xiao-Dong, <i>et al.</i> (2272)             |
| Comparison and Application of Biological Indices of Macroinvertebrates in River Health Assessment .....                                                                      | GENG Shi-wei, QU Xiao-dong, ZHANG Yuan, <i>et al.</i> (2281)         |
| Spatial and Temporal Distribution of Total Mercury (T-Hg) in Different Water Bodies of Nam Co, Tibetan Plateau .....                                                         | WANG Kang, KANG Shi-chang, GUO Jun-ming, <i>et al.</i> (2288)        |
| Temporal and Spatial Variations of Major Ions in Nam Co Lake Water, Tibetan Plateau .....                                                                                    | GUO Jun-ming, KANG Shi-chang, ZHANG Qiang-gong, <i>et al.</i> (2295) |
| Eutrophication Control in Local Area by Physic-ecological Engineering .....                                                                                                  | LI Qiu-hua, XIA Pin-hua, WU Hong, <i>et al.</i> (2303)               |
| Nitrogenous Fluxes and Its Self-Purification Capacity in Lake Taihu .....                                                                                                    | CHEN Xiao-feng, CHUAI Xiao-ming, ZENG Jin, <i>et al.</i> (2309)      |
| Response of Phosphorus Components in Sediments from Eutrophic Lake to External Sulfate .....                                                                                 | YUAN Tan, HUA Yu-mei, ZHU Duan-wei, <i>et al.</i> (2315)             |
| Spatial Distribution Character of Phosphorus Fractions in Surface Sediment from Chaohu Lake .....                                                                            | WEN Sheng-fang, SHAN Bao-qing, ZHANG Hong (2322)                     |
| Long-range Transport Potential of Typical Organic Pollutants in Nanjing .....                                                                                                | FANG Li-jiang, WU You-fang, DING Zhong-yuan, <i>et al.</i> (2330)    |
| Distribution of Black Carbon in the Surface Sediments of the East China Sea and Their Correlations with Persistent Organic Pollutants .....                                  | LIN Tian, FANG Yin, CHEN Ying-jun, <i>et al.</i> (2335)              |
| Contamination Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Surface Water from Jialing River in Chongqing .....                                              | CAI Wen-liang, LUO Gu-yuan, XU Xiao-yi, <i>et al.</i> (2341)         |
| Levels, Distribution and Possible Sources of Polychlorinated Biphenyls in River Sediments from an Electronic Waste Recycling Area .....                                      | WANG Xue-tong, LI Yuan-cheng, MIAO Yi, <i>et al.</i> (2347)          |
| Assessment Model for Heavy Metal Pollution in Sediment Based on Trapezoidal Fuzzy Numbers and Case Study .....                                                               | LI Fei, HUANG Jin-hui, ZENG Guang-ming, <i>et al.</i> (2352)         |
| Impact of Coastal Exploitation on the Heavy Metal Contents in the Sediment of Bohai Bay .....                                                                                | QIN Yan-wen, ZHENG Bing-hui, LI Xiao-bao, <i>et al.</i> (2359)       |
| Spatial Distribution and Contamination Evaluation of Heavy Metals in the Intertidal Surface Sediments of Eastern Chongming .....                                             | LI Ya-juan, YANG Shi-lun, HOU Li-jun, <i>et al.</i> (2368)           |
| Speciation and Vertical Distribution of Heavy Metals in Sediments of Baiyangdian Lake .....                                                                                  | LI Bi-cai, HE Lian-sheng, YANG Min, <i>et al.</i> (2376)             |
| AVS Concentrations in Xinan Creek and the Influencing Factors .....                                                                                                          | LIU Xiao-bing, WEN Yan-mao, LI Feng, <i>et al.</i> (2384)            |
| Mechanism of $\text{NH}_4^+$ -N Removal in Drinking Water Biofilter .....                                                                                                    | LIU Bing, FAN Hui, YU Guo-zhong, <i>et al.</i> (2394)                |
| Characterization and Thermodynamic Properties of Cu(II) Imprinted Chitosan Crosslinked Membrane .....                                                                        | ZHANG Yu-hong, ZHANG Ai-li, ZHOU Ji-ti, <i>et al.</i> (2403)         |
| Studies on the Degradation of Paracetamol in Sono-electrochemical Oxidation .....                                                                                            | DAI Qi-zhou, MA Wen-jiao, SHEN Hong, <i>et al.</i> (2410)            |
| Study on Treatment of Methylene Blue Wastewater by Fly Ash Adsorption-Fenton and Thermal Regeneration .....                                                                  | BAI Yu-jie, ZHANG Ai-li, ZHOU Ji-ti (2419)                           |
| Electricity Generation Performance of Two-Chamber Microbial Full Cell in the Treatment of Simulated Wastewater .....                                                         | ZHANG Yong-juan, LI Yong-feng, LIU Chun-yan, <i>et al.</i> (2427)    |
| Preparation and Characterization of Zn/Cr-LDHs and Their Removal Performances of Reactive Brilliant Orange X-GN .....                                                        | WANG Xiao-rong, WU Ping-xiao (2432)                                  |
| Transport Processes of Low-level Radioactive Liquid Effluent of Nuclear Power Station in Closed Water Body .....                                                             | WU Guo-zheng, XU Zong-xue (2438)                                     |
| Analysis of Carbon Balance and Study on Mechanism in Anoxic-Oxic-Settling-Anaerobic Sludge Reduction Process .....                                                           | ZHAI Xiao-min, GAO Xu, ZHANG Man-man, <i>et al.</i> (2444)           |
| Effect of Mixed Carbon Sources in the Granulation Process of EBPR System .....                                                                                               | JIANG Tao, SUN Pei-de, XU Shao-juan (2451)                           |
| Biocatalyst of Redox Mediators on the Denitrification by <i>Paracoccus versutus</i> Strain GW1 .....                                                                         | LI Hai-bo, LIAN Jing, GUO Yan-kai, <i>et al.</i> (2458)              |
| Isolation of a High Hydrogen-producing Mutant TB34 Generated by Transposon Insertion and Analysis of Hydrogen Production .....                                               | LIU Hong-yan, WANG Guang-ce, SHI Liu-yang, <i>et al.</i> (2464)      |
| Condition Optimization for Degradation of Chlorophenols Using Laccase from <i>Amillariella mellea</i> .....                                                                  | QIN Ren-bing, ZHU Xian-feng, WU Ke, <i>et al.</i> (2470)             |
| Characterization of $\text{CH}_4$ , $\text{N}_2\text{O}$ Emission and Selection of Rice Cultivars in Double Cropping Rice Fields .....                                       | FU Zhi-qiang, ZHU Hua-wu, CHEN Can, <i>et al.</i> (2475)             |
| Short-term Effects of Exogenous Nitrogen on $\text{CH}_4$ and $\text{N}_2\text{O}$ Effluxes from <i>Cyperus malaccensis</i> Marsh in the Min River Estuary .....             | MOU Xiao-jie, LIU Xing-tu, TONG Chuan, <i>et al.</i> (2482)          |
| Temporal-spatial Variations of Total Nitrogen in the Degraded Grassland of Three-River Headwaters Region in Qinghai Province .....                                           | PENG Jing-tao, LI Guo-sheng, FU Wa-li, <i>et al.</i> (2490)          |
| Temporal Variations of Clay Content in Eroded Sediment Under Different Rainfall Condition .....                                                                              | WU Feng-zhi, SHI Zhi-hua, FANG Nu-fang, <i>et al.</i> (2497)         |
| Effects of Soil Properties on the Stabilization Process of Cadmium in Cd Alone and Cd-Pb Contaminated Soils .....                                                            | WU Man, XU Ming-gang, ZHANG Wen-ju, <i>et al.</i> (2503)             |
| <i>In-situ</i> Remediation of Polychlorinated Biphenyls Polluted Soil by Ecological Controlling Measures; A Field Trial .....                                                | PAN Cheng, TENG Ying, LUO Yong-ming, <i>et al.</i> (2510)            |
| Characterization Comparison of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Uptake by Roots of Different Crops .....                                                                      | LIANG Xiao, ZHAN Xin-hua, ZHOU Li-xiang (2516)                       |
| Characteristics and Mechanism of Sodium Removal by the Synergistic Action of Flue Gas and Waste Solid .....                                                                  | YI Yuan-rong, HAN Min-fang (2522)                                    |
| Decomposition Model of Energy-Related Carbon Emissions in Tertiary Industry for China .....                                                                                  | LU Yuan-qing, SHI Jun (2528)                                         |

# 《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)

2012年7月15日 33卷 第7期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 7 Jul. 15, 2012

|         |                                                                                                                                                                     |                  |    |                                                                                                                                                                                                                         |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 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)<br>北京市环境保护科学研究院<br>清华大学环境学院                                                                                                                               | Co-Sponsored     | by | Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection<br>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<br>北京市2871信箱(海淀区双清路<br>18号, 邮政编码:100085)<br>电话:010-62941102, 010-62849343<br>传真:010-62849343<br>E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn<br>http://www. hjkx. ac. cn | Edited           | by | The Editorial Board of Environmental Science ( HUANJING KEXUE )<br>P. O. Box 2871, Beijing 100085, China<br>Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343<br>E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn<br>http://www. hjkx. ac. cn |
| 出 版     | 科 学 出 版 社<br>北京东黄城根北街16号<br>邮政编码:100717                                                                                                                             | Published        | by | Science Press<br>16 Donghuangchenggen North Street,<br>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<br>电话:010-64017032<br>E-mail: journal@ mail. sciencep. com                                                                                                | Distributed      | by | Science Press<br>Tel:010-64017032<br>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<br>(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: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行人