

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第1期

Vol.35 No.1

**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

雾霾重污染期间北京居民对高浓度 PM<sub>2.5</sub> 持续暴露的健康风险及其损害价值评估 ..... 谢元博, 陈娟, 李巍 ( 1 )

长白山 PM<sub>2.5</sub> 中水溶性离子季节变化特征研究 ..... 赵亚南, 王跃思, 温天雪, 戴冠华 ( 9 )

青岛大气颗粒物数浓度变化及对能见度的影响 ..... 柯馨姝, 盛立芳, 孔君, 郝泽彤, 屈文军 ( 15 )

重庆市大气二噁英污染水平及季节变化 ..... 张晓岭, 卢益, 朱明吉, 蹇川, 郭志顺, 邓力, 孙静, 张芹, 罗财红 ( 22 )

西南地区再生铝冶炼行业二噁英大气排放 ..... 卢益, 张晓岭, 郭志顺, 蹇川, 朱明吉, 邓力, 孙静, 张芹 ( 30 )

西南地区新型干法水泥生产中的二噁英大气排放 ..... 张晓岭, 卢益, 蹇川, 郭志顺, 朱明吉, 邓力, 孙静, 张芹 ( 35 )

杭州市办公场所室内空气中 PBDEs 的污染现状与特征 ..... 蒋欣慰, 孙鑫, 裴小强, 金漫彤, 李云龙, 沈学优 ( 41 )

模拟不同排放源排放颗粒及多环芳烃的粒径分布研究 ..... 符海欢, 田娜, 商惠斌, 张彬, 叶素芬, 陈晓秋, 吴水平 ( 46 )

川东北地区元素大气沉降通量及其季节变化 ..... 童晓宁, 周厚云, 游镇烽, 汤静, 刘厚均, 黄颖, 贺海波 ( 53 )

重庆市铁山坪 2001 ~ 2010 年酸沉降变化 ..... 余德祥, 马萧萧, 谭炳全, 赵大为, 张冬保, 段雷 ( 60 )

汉江上游金水河流域氮湿沉降 ..... 王金杰, 张克荣, 吴川, 张全发 ( 66 )

麦秸及其烟尘中正构脂肪酸的组成 ..... 刘刚, 李久海, 吴丹, 徐慧 ( 73 )

兰州市室内大气降尘环境磁学特征及其随高度变化研究 ..... 吴铎, 魏海涛, 赵瑞瑞, 张蕊, 刘建宝 ( 79 )

中亚热带针阔混交林土壤-大气界面释汞通量研究 ..... 马明, 王定勇, 申源源, 孙荣国, 黄礼昕 ( 85 )

水稻秸秆生物炭对耕地土壤有机碳及其 CO<sub>2</sub> 释放的影响 ..... 柯跃进, 胡学玉, 易卿, 余忠 ( 93 )

黄海和东海海域溶解铋地球化学分布特征 ..... 吴晓丹, 宋金明, 吴斌, 李学刚 ( 100 )

浑河上游(清原段)水环境中重金属时空分布及污染评价 ..... 马迎群, 时瑶, 秦延文, 郑丙辉, 赵艳民, 张雷 ( 108 )

POCIS 采样技术应用于九龙江流域水环境中雌激素的检测 ..... 张利鹏, 王新红, 李永玉, 吴玉玲, 张祖麟 ( 117 )

降雨条件下岩溶地下水微量元素变化特征及其环境意义 ..... 陈雪彬, 杨平恒, 蓝家程, 莫雪, 师阳 ( 123 )

锡林河流域地表水水化学主离子特征及控制因素 ..... 唐玺雯, 吴锦奎, 薛丽洋, 张明泉, Frauke Barthold, Lutz Breuer, Hans-Georg Frede ( 131 )

子牙河水系河流氮素组成及空间分布特征 ..... 赵钰, 单保庆, 张文强, 王超 ( 143 )

水稻种植对中亚热带红壤丘陵区小流域氮磷养分输出的影响 ..... 宋立芳, 王毅, 吴金水, 李勇, 李裕元, 孟岑, 李航, 张满意 ( 150 )

黄东海表层沉积物中磷的分布特征 ..... 宋国栋, 刘素美, 张国玲 ( 157 )

河流沉积物中有机磷提取剂 (NaOH-EDTA) 提取比例与机制研究 ..... 张文强, 单保庆, 张洪, 唐文忠 ( 163 )

沉积物短期扰动下 BAPP 再生和转化机制 ..... 武晓飞, 李大鹏, 汪明 ( 171 )

三峡库区典型农村型消落带沉积物风险评价与重金属来源解析 ..... 敖亮, 雷波, 王业春, 周谐, 张晟 ( 179 )

太湖东部不同类型湖区疏浚后沉积物重金属污染及潜在生态风险评价 ..... 毛志刚, 谷孝鸿, 陆小明, 曾庆飞, 谷先坤, 李旭光 ( 186 )

滇池沉积物中主要污染物含量时间分异特征研究 ..... 王心宇, 周丰, 伊旋, 郭怀成 ( 194 )

浓度层析荧光光谱局部匹配溢油鉴别技术 ..... 王春艳, 史晓凤, 李文东, 张金亮 ( 202 )

光电 Fenton 技术处理污泥深度脱水液研究 ..... 王现丽, 王世峰, 吴俊峰, 濮文虹, 杨昌柱, 张敬东, 杨家宽 ( 208 )

同步脱氮除磷颗粒污泥硝化反硝化特性试验研究 ..... 刘小英, 林慧, 马兆瑞, 王磊, 刘静伟, 郭超, 姜应和 ( 214 )

垃圾填埋场渗滤液短程生物脱氮的长期稳定性实验研究 ..... 孙洪伟, 郭英, 彭永臻 ( 221 )

油田区土壤石油烃组分残留特性研究 ..... 胡迪, 李川, 董倩倩, 李立明, 李广贺 ( 227 )

水稻光合同化碳在土壤中的矿化和转化动态 ..... 谭立敏, 彭佩钦, 李科林, 李宝珍, 聂三安, 葛体达, 童成立, 吴金水 ( 233 )

土地利用及退耕对喀斯特山区土壤活性有机碳的影响 ..... 廖洪凯, 李娟, 龙健, 张文娟, 刘云飞 ( 240 )

水稻土团聚体 Cu<sup>2+</sup> 吸附过程中铝的溶出及土壤溶液 pH 变化 ..... 许海波, 赵道远, 秦超, 李玉姣, 董长勋 ( 248 )

Cr(VI) 对两种黏土矿物在单一及复合溶液中 Cu(II) 吸附的影响 ..... 刘娟娟, 梁东丽, 吴小龙, 屈广周, 钱勋 ( 254 )

淹水时长对 3 种丛枝菌根 (AM) 真菌侵染 2 种湿地植物的影响 ..... 马雷猛, 王鹏腾, 王曙光 ( 263 )

太湖水质与水生生物健康的关联性初探 ..... 周笑白, 张宁红, 张咏, 牛志春, 刘雷, 于红霞 ( 271 )

3 种典型污染物对水生生物的急性毒性效应及其水质基准比较 ..... 姜东生, 石小荣, 崔益斌, 李梅 ( 279 )

某制药废水对发光细菌急性毒性的评价研究 ..... 杜丽娜, 杨帆, 穆玉峰, 余若祯, 左剑恶, 高俊发, 余忻, 滕丽君, 汤薪瑶 ( 286 )

异丙甲草胺与锌共存对斜生栅藻毒性手性差异影响 ..... 胡晓娜, 张淑娟, 陈彩东, 刘惠君 ( 292 )

Biotic Ligand Model 的简化模型及预测性能评价 ..... 王万宾, 陈莎, 吴敏, 苏德丽, 赵婧 ( 299 )

基于 USEtox 的焦化行业优先污染物筛选排序研究 ..... 郝天, 杜鹏飞, 杜斌, 曾思育 ( 304 )

微囊藻毒素降解菌 *Paucibacter* sp. CH 菌的分离鉴定及其降解特性 ..... 游狄杰, 陈晓国, 向荟圯, 欧阳溱, 杨冰 ( 313 )

硝酸盐抑制油田采出水中硫酸盐还原菌活性研究 ..... 杨德玉, 张颖, 史荣久, 韩斯琴, 李光哲, 李国桥, 赵劲毅 ( 319 )

降解纤维素产甲烷的四菌复合系 ..... 吴俊妹, 马安周, 崔萌萌, 于清, 齐鸿雁, 庄绪亮, 庄国强 ( 327 )

中国陆地生态系统土壤异养呼吸变异的影响因素 ..... 谢薇, 陈书涛, 胡正华 ( 334 )

内蒙古羊草草原根呼吸和土壤微生物呼吸区分的研究 ..... 史晶晶, 耿元波 ( 341 )

南京河流夏季水-气界面 N<sub>2</sub>O 排放通量 ..... 韩洋, 郑有飞, 吴荣军, 尹继福, 孙霞 ( 348 )

杀菌剂对湖泊水体温室气体浓度分析的影响 ..... 肖启涛, 胡正华, James Deng, 肖薇, 刘寿东, 李旭辉 ( 356 )

生物表面活性剂强化剩余污泥微生物燃料电池产电特性研究 ..... 彭海利, 张植平, 李小明, 杨麒, 罗琨, 易欣 ( 365 )

不同硅铝比 Fe-ZSM-5 催化剂对氧化亚氮催化分解性能的研究 ..... 卢仁杰, 张新艳, 郝郑平 ( 371 )

硫酸铵和尿素对废物焚烧过程中多种途径生成氯苯类的抑制作用 ..... 严密, 祁志福, 李晓东, 胡艳军, 陈彤 ( 380 )

县域尺度的京津冀都市圈 CO<sub>2</sub> 排放时空演变特征 ..... 汪浩, 陈操操, 潘涛, 刘春兰, 陈龙, 孙莉 ( 385 )

保水剂性能及其农用安全性评价研究进展 ..... 李希, 刘玉荣, 郑袁明, 贺纪正 ( 394 )

《环境科学》征订启事 (65) 《环境科学》征稿简则 (220) 信息 (226, 270, 298, 364)

# 三峡库区典型农村型消落带沉积物风险评价与重金属来源解析

敖亮, 雷波, 王业春, 周谐, 张晟\*

(重庆市环境科学研究院, 重庆 401147)

**摘要:** 本研究以三峡库区核心区——忠县典型农村型消落带为对象, 于 2011 年 7 月, 采集大坝水位回落后消落带沉积物样品, 分析重金属含量, 评价沉积物潜在风险, 解析三峡库区农村型消落带重金属来源, 为库区流域面源污染物控制提供基础数据. 结果表明, 消落带沉积物中 As、Cd、Co、Cr、Cu、Mn、Ni、Pb 和 Zn 的变化范围分别为 155~160 m: 5.17~14.81、0.06~0.57、8.55~20.56、62.79~93.04、15.38~60.97、425.72~782.32、21.34~48.5、23.03~43.39、57.78~130.10  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ; 170~175 m: 7.05~12.57、0.17~0.33、10.71~18.89、65.22~92.89、18.89~42.91、74.06~774.41、22.47~42.49、24.17~29.23、55.67~103.18  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . 地累积指数( $I_{\text{geo}}$ )表明, 155~160 m 消落带沉积物重金属累积顺序为  $\text{Cd} > \text{Co} > \text{Mn} > \text{As} > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{Zn}$ , 170~175 m 消落带累积程度大小为  $\text{Co} > \text{Mn} > \text{Cd} > \text{As}$ . 沉积物污染指数(SPI)说明, 155~160 m 消落带沉积物潜在风险高于 170~175 m 沉积物, 忠县城区下游 155~160 m 消落带沉积物风险达到峰值. 统计分析结果显示, 155~160 m 消落带重金属 Cr、Cu、Pb 和 Zn 主要来源于自然背景, As、Ni、Cd、Co 和 Mn 则来源于上游来水; 170~175 m 消落带沉积物重金属 Cr、Ni、Pb 和 Zn 主要来自自然背景, Cd、As、Co、Mn 和 Cu 则极有可能来源于农田面源和上游.

**关键词:** 农村型消落带; 沉积物; 重金属; 风险评价; 来源分析

中图分类号: X522 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)01-0179-07

## Sediment Risk Assessment and Heavy Metal Source Analysis in Typical Country Water Level Fluctuated Zone (WLFZ) of the Three Gorges

AO Liang, LEI Bo, WANG Ye-chun, ZHOU Xie, ZHANG Sheng

(Chongqing Academy of Environmental Science, Chongqing 401147, China)

**Abstract:** Typical country WLFZ in Zhongxian located in the core region of the Three Gorges Reservoir was chosen as research subject in this study. In July 2012, sediment samples of WLFZ were collected after dam water level dropped. Heavy metals were analyzed for sediment potential risk assessment and then applied for sources analysis in this area, which supplied basic data for non-point pollutants control. The results showed that As, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb and Zn ranged in 155-160 m: 5.17-14.81, 0.06-0.57, 8.55-20.56, 62.79-93.04, 15.38-60.97, 425.72-782.32, 21.34-48.5, 23.03-43.39 and 57.78-130.10  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , and 170-175 m: 7.05-12.57, 0.17-0.33, 10.71-18.89, 65.22-92.89, 18.89-42.91, 74.06-774.41, 22.47-42.49, 24.17-29.23, 55.67-103.18  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , respectively. Index of geo-accumulation ( $I_{\text{geo}}$ ) suggested the accumulation orders were  $\text{Cd} > \text{Co} > \text{Mn} > \text{As} > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{Zn}$  in 155-160m WLFZ and  $\text{Co} > \text{Mn} > \text{Cd} > \text{As}$  in 170-175 m WLFZ. Sediment pollution index (SPI) showed that sediments in 155-160 m WLFZ had higher potential risk than that of 170-175 m with the highest risk appeared in 155-166 m WLFZ site located downstream of Zhongxian. In 155-160 m WLFZ, Cr, Cu, Pb and Zn were mainly originated from natural resources, while As, Ni, Cd, Co and Mn were possibly sourced from upland water. In contrast, in 170-175 m WLFZ, Cr, Ni, Pb and Zn in the sediment came from natural resources, while Cd, As, Co, Mn and Cu were probably rooted from both agricultural non-point source and upland water.

**Key words:** country WLFZ; sediment; heavy metals; risk assessment; source analysis

三峡大坝是世界上已建成最大水利工程, 于 2008 年、2009 年连续两年进行 175 m 实验性蓄水, 形成总面积为 1 084  $\text{km}^2$  大型人工湖泊, 分布在重庆、湖北两省(市). 大坝设计运行水位为 145~175 m, 存在 30 m 水位涨落, 从而形成大面积消落带. 消落带由于农业耕种、污水排放和农业面源等原因导致污染物累积, 随水文条件改变极有可能向水体释放, 成为三峡水库污染的主要来源<sup>[1-3]</sup>. 其中, 重金属污染具有持久性和累积放大性, 且随悬浮物在消落带沉积, 带来库区潜在生态风险增加<sup>[4, 5]</sup>. 剧烈

的水位变化造成沉积物-水界面物理化学条件显著改变, 沉积物中重金属极有可能向水体释放, 带来库区水体污染风险增大<sup>[6]</sup>.

三峡水库蓄水前期, 国内学者对将形成库区的土壤进行污染调查和评价, 发现库区表层土壤受 As

收稿日期: 2013-04-23; 修订日期: 2013-06-04

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07104-003); 重庆市自然科学基金重点项目(cstc2012jjB20003)

作者简介: 敖亮(1983~), 男, 博士, 主要研究方向为流域水环境健康诊断和污染治理, E-mail: aoliang7777@163.com

\* 通讯联系人, E-mail: shengzts@sina.com.cn

污染最严重,其次为 Cd 和 Hg,主要来源于工业污染<sup>[3]</sup>;黎莉莉等<sup>[7]</sup>也发现土壤中 Cu、Cd 超过国家土壤环境质量 1 级标准.王业春等<sup>[1]</sup>对实验性蓄水以来水库腹地不同高程沉积物表层重金属进行评价,发现沉积物中 Cd 存在较大潜在生态风险,其余重金属风险均为较轻,累积重金属为 As、Cd 和 Cu.消落带沉积物重金属研究主要集中在蓄水前后土壤污染物释放和质量评估,对大坝蓄水后沉积物质量变化研究尚未开展,缺乏典型消落区重金属来源具体分析.本研究以三峡库区典型农村型消落带为对象,调查大坝蓄水后沉积物重金属分布状态,评价沉积物风险,结合现场调查,应用数学统计分析沉积物重金属来源,以期水库农村型消落带污染控制和库区流域管理提供依据.

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域及采样

本研究选择位于忠县典型农业型消落带作为研究区域(如图 1).该地区处三峡库区腹地,介于 107° 32'42" ~ 108° 14'00"E, 30°03'03" ~ 30°35'35"N 之间,属亚热带东南季风气候,年平均气温 18.2℃,年均降雨为 1 172.1 mm,占全年的 40%,多集中在 6 ~ 8 月<sup>[8,9]</sup>.2010 年 7 月,选取忠县县城两端典型农村消落带进行样品采集,设置 7 个采样断面.大坝在取样时期水位大都保持在 155 m, 155 ~ 175 m 消落带正常裸露,155 ~ 160 m 消落带淹没时间大于 170 ~ 175 m 消落带.采样点选择在不同水位高程(155 ~ 160 m, 170 ~ 175 m),每个采样点设平行采样点 5 个,采样深度为 0 ~ 20 cm,共计样品采集 70 个.采样断面分布如图 1 所示.7 个采样断面,175 m 水位以上均为废弃村舍、农田和自然荒地,无人居住,无生活污水排放.

### 1.2 样品处理及分析

采集到的沉积物在阴凉干燥处自然风干,除去植物残渣、底栖生物及石块等杂质后,将每个样点的样品混合均匀后用研钵研磨,过 100 目尼龙筛后装袋保存、备用.采用 HNO<sub>3</sub>-HF-HClO<sub>4</sub> 密闭消解法处理沉积物样品,电感耦合等离子体发射光谱仪(ICP-OES)分析 As、Co、Cr、Cu、Mn、Ni、Pb 和

Zn,而 Cd 的测定采用电感耦合等离子体发射质谱仪(ICP-MS).

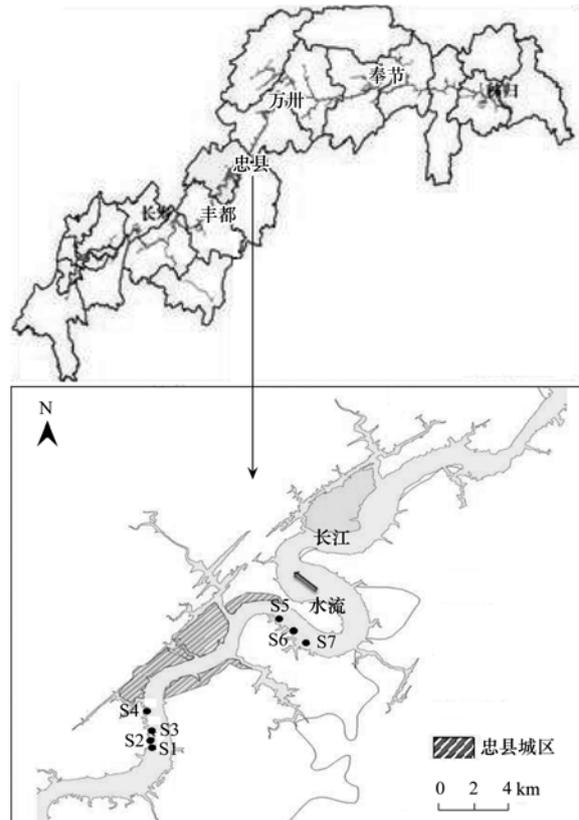


图 1 三峡库区忠县农村型消落区采样点分布

Fig. 1 Distribution of sampling sites in Zhongxian country WLFZ in the Three Gorges

### 1.3 评价及分析统计方法

本研究采用德国科学家 Müller 提出的地累积指数( $I_{geo}$ ),结合流域沉积物中重金属含量评价单个重金属污染累积程度<sup>[10,11]</sup>.计算公式为:

$$I_{geo} = \log_2(C_n/1.5B_n) \quad (1)$$

式中, $C_n$  是某元素在沉积物中的含量, $B_n$  为沉积物中该元素的地球化学背景值含量.地累积指数  $I_{geo}$  将污染分为 7 级(<0 无污染,0 ~ 1 轻度污染,1 ~ 2 中度污染,2 ~ 3 较重污染,3 ~ 4 重污染,4 ~ 5 超重污染,5 ~ 6 极重污染).重庆库区沉积物背景值如表 1 所示<sup>[12,13]</sup>.

沉积物污染指数 SPI 对梁滩河表层沉积物中重金属污染的潜在生态风险进行评价<sup>[10]</sup>.计算公式

表 1 三峡库区沉积物重金属背景值

Table 1 Heavy metals background contents of sediment in Three Gorges

重金属	As	Co	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Mn
背景值/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	5.84	5.85	0.13	78.03	25	29.47	23.88	69.88	242.8

如下:

$$SPI = \sum (C_n/B_n \times T_f) / \sum T_f \quad (2)$$

式中,  $C_n$  表示实际测定浓度,  $B_n$  表示重庆市背景值含量,  $T_f$  表示生态风险毒性. 依据 Hakanson<sup>[14]</sup> 提出的重金属毒性水平, 分别得出 6 种重金属毒性效应值  $T_f$  分别为 Co(2)、Cr(2)、Cu(5)、Mn(1)、Ni(2)、Pb(5) 和 Zn(1)、As(10) 和 Cd(40)<sup>[14]</sup>. SPI 沉积物重金属生态风险分级为自然状态 (SPI 0 ~ 2), 低风险 (SPI 2 ~ 5), 中度风险 (SPI 5 ~ 10), 高风险 (SPI 10 ~ 20) 和危险状态 (SPI > 20).

本研究中应用的相关分析和因子分析均在 SPSS 19 中进行.

## 2 结果与讨论

### 2.1 沉积物重金属分布

忠县典型农村型消落带 155 ~ 160 m 高程沉积物重金属分布如图 2 所示. As、Cd、Co、Cr、Cu、Mn、Ni、Pb 和 Zn 在 155 ~ 160 m 消落带沉积物中平均值分别为 10.95、0.31、16.82、83.39、38.14、667.09、39.35、31.52 和 90.69  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 变化范围为 5.17 ~ 14.81、0.06 ~ 0.57、8.55 ~ 20.56、62.79

~ 93.04、15.38 ~ 60.97、425.72 ~ 782.32、21.34 ~ 48.55、23.03 ~ 43.39、57.78 ~ 130.10  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . As 在忠县城区上游沉积物中含量高于城区下游, 除 S6 点外, 均超过环境背景值 5.84  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ; Cd、Mn、Cu 含量在城区下游高于上游, 在城区上游随水流流向增加, 下游随水流减小, Cd 在 S5 点达到峰值, 达到背景值含量 4.4 倍; Pb 和 Zn 在忠县城区下游较近的 S5 显著增加, 分别达到 43.39  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  和 130.10  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 超过背景值含量约两倍, 顺水流流向, 沉积物重金属减少, 而在上游地区随水流流向无明显变化; Co、Ni、Cr 消落带区域中没有明显变化.

170 ~ 175 m 消落带沉积物重金属分布如图 3 所示. 重金属 As、Cd、Co、Cr、Cu、Mn、Ni、Pb 和 Zn 的平均值分别为 10.29、0.26、16.02、80.17、32.23、628.92、36.23、26.58 和 79.16  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 变化范围为 7.05 ~ 12.57、0.17 ~ 0.33、10.71 ~ 18.89、65.22 ~ 92.89、18.89 ~ 42.91、74.06 ~ 774.41、22.47 ~ 42.49、24.17 ~ 29.23、55.67 ~ 103.18  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . 与消落带 155 ~ 160 m 相比, 沉积物重金属 Cd、Cu、Pb 和 Zn 有显著降低. As 均超过

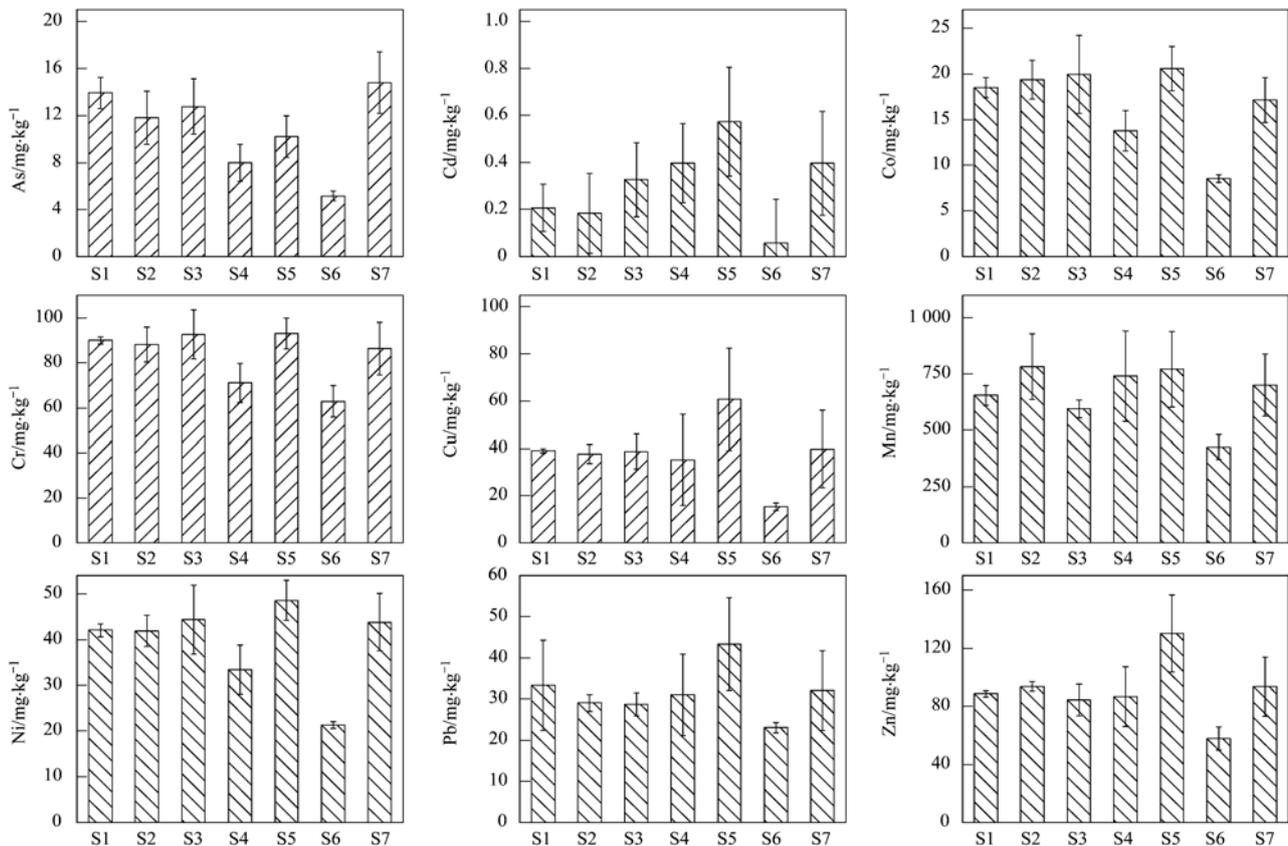


图 2 155 ~ 160 m 消落带沉积物重金属分布

Fig. 2 Distribution of heavy metals in the 155-160 m WLFZ sediment

背景值含量,在忠县城区上、下游沉积物中无明显变化; Cd 在城区下游含量高于上游,随水流流向小幅减小; Co、Mn、Ni、Cr、Pb 城区上下游没有明显

变化; Zn 在忠县城区上游含量较低,随水流流向减小,城区下游 S5 点显著增加; Cu 在城区上游高于城区下游,但随河流流向无明显变化。

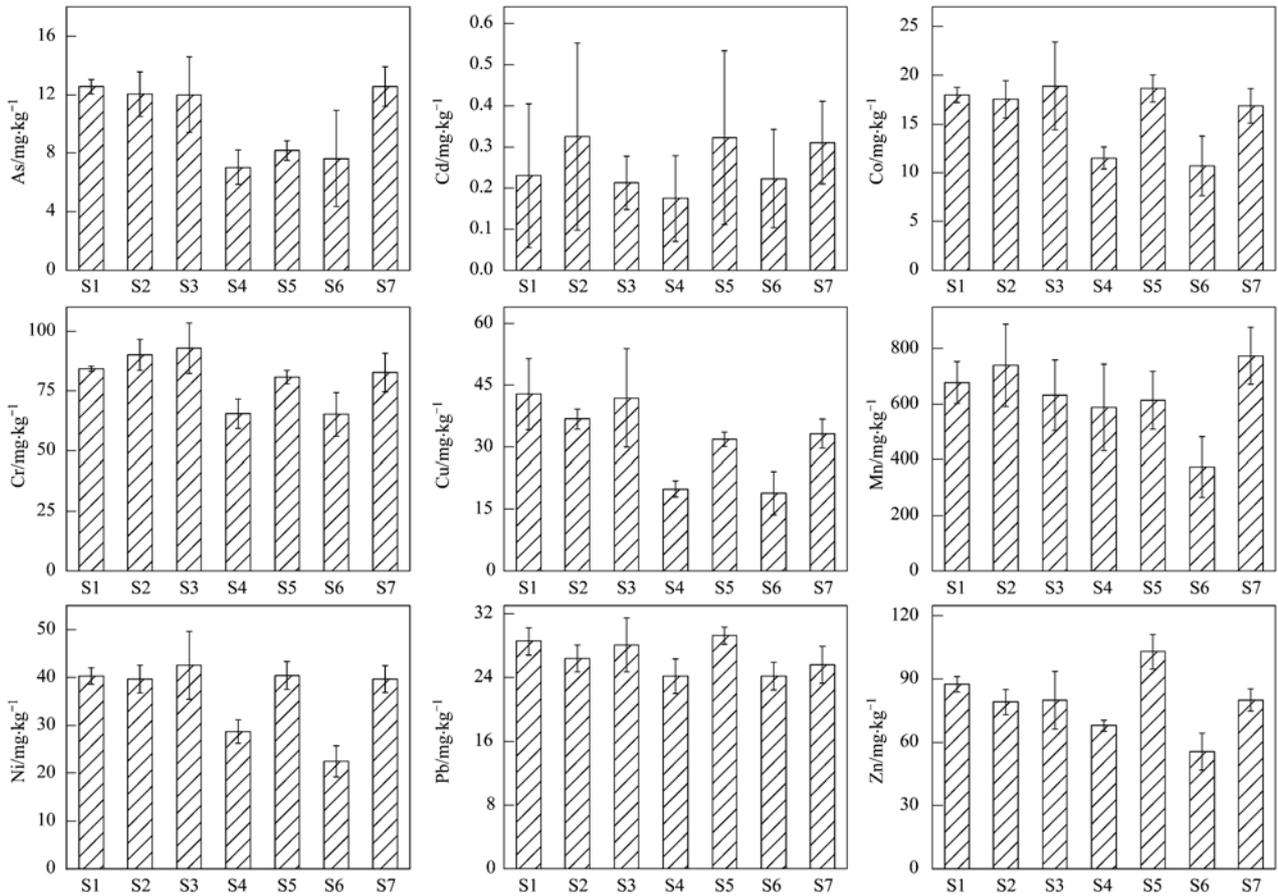


图 3 170 ~ 175 m 消落带沉积物重金属分布

Fig. 3 Distribution of heavy metals in the 170-175 m WLFZ sediment

2.2 沉积物重金属评价与来源分析

农村型消落带地累积指数 ( $I_{geo}$ ) 评价结果如表 2 和表 3 所示. 155 ~ 160 m 沉积物重金属累积不明显,处于轻度污染和无污染状态. As 处于轻度污染累积, Cd 在忠县城区下游沉积物累积明显,达到中度污染; Co、Mn 污染比较严重,在消落带中有明显累积,达到中度污染状态,其余样点均处于轻度污染; Pb、Zn 在城区下游轻度累积,顺流而下污染累

积减少. 170 ~ 175 m 消落带沉积物重金属污染程度较 155 ~ 160 m 小,大多处于轻度和无污染状态. As 处于轻度污染或无污染状态, Cd 污染累积低于 155 ~ 160 m 消落带,处于无或轻度污染状态; Cr、Cu、Ni、Pb 和 Zn 则均处于自然无污染状态; Co 处于中度污染状态,较 155 ~ 160 m 消落带中略有降低; Mn 污染程度较 155 ~ 160 m 明显降低,大多处于轻度污染状态.

表 2 155 ~ 160 m 消落带沉积物重金属地累积指数

Table 2 The  $I_{geo}$  of heavy metals in Sediment of 155-160 m WLFZ

样点	As	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
S1	0.67	0.08	1.08	-0.38	0.06	0.85	-0.07	-0.10	-0.24
S2	0.43	-0.08	1.14	-0.41	0.01	1.10	-0.08	-0.30	-0.16
S3	0.54	0.75	1.18	-0.34	0.04	0.71	0.01	-0.32	-0.31
S4	-0.13	1.03	0.65	-0.72	-0.09	1.02	-0.40	-0.21	-0.27
S5	0.22	1.56	1.23	-0.33	0.70	1.08	0.14	0.28	0.31
S6	-0.76	-1.76	-0.04	-0.90	-1.29	0.23	-1.05	-0.64	-0.86
S7	0.76	1.03	0.96	-0.44	0.08	0.94	-0.01	-0.16	-0.16

表 3 170~175 m 消落带沉积物重金属地累积指数

Table 3 The  $I_{geo}$  of heavy metals in Sediment of 170-175 m WLFZ

样点	As	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
S1	0.52	0.24	1.04	-0.48	0.19	0.90	-0.13	-0.33	-0.26
S2	0.46	0.74	1.00	-0.38	-0.03	1.02	-0.16	-0.44	-0.40
S3	0.45	0.12	1.11	-0.33	0.16	0.79	-0.06	-0.35	-0.39
S4	-0.31	-0.16	0.39	-0.84	-0.91	0.69	-0.62	-0.57	-0.62
S5	-0.10	0.72	1.09	-0.54	-0.23	0.76	-0.13	-0.29	-0.02
S6	-0.20	0.19	0.29	-0.84	-0.99	0.04	-0.98	-0.57	-0.91
S7	0.52	0.67	0.94	-0.50	-0.17	1.09	-0.16	-0.49	-0.39

总的看来,155~160 m 消落带沉积物中重金属累积最为明显的是 Cd、Co 和 Mn,累积程度从大到小为 Cd > Co > Mn > As > Cu > Pb > Zn; 而 170~175 m 消落带沉积物重金属累积以 Co 和 Mn 最为明显,累积程度从大到小为 Co > Mn > Cd > As, Cr、Cu、Ni、Pb 和 Zn 处于自然状态。

根据沉积物中重金属含量及生态潜在毒性,评价沉积物风险,如图 4 所示。消落带沉积物重金属的潜在生态风险较低,处轻度和中度风险。在消落带区域中,155~160 m 沉积物生态风险显著高于 170~175 m,多数接近中度风险状态,忠县城区下游 155~160 m 农村型消落带达到最大值,这有可能是由于海拔较低的消落带在水体中浸泡时间较长,上游来水中携带污染物的悬浮物在该区域累积所致。170~175 m 消落带沉积物潜在风险均处轻度风险,城区上游消落带中反而高于城区下游,可能是由于该区域沉积物受上游来水影响较低,主要由农村面源输入为主导。

对不同高程重金属进行相关分析可以发现(表 4 和表 5),在 155~160 m 消落带中,重金属 As 与 Co、Cr 和 Ni 具有显著相关性,4 种重金属元素在 155~160 m 消落带中很有可能来自于同一污染源;Cd 与 Cu、Pb、Zn 显著相关,3 种重金属可能具有相同污染源;Mn 与 Cu 显著相关,而与其他无相关,

表 4 155~160 m 消落带沉积物重金属 Pearson 相关性分析<sup>1)</sup>

Table 4 Pearson correlation analysis of heavy metals in 155-160 m WLFZ sediment

	As	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
As	1.000	0.274	0.770 *	0.827 *	0.487	0.449	0.804 *	0.331	0.385
Cd		1.000	0.538	0.477	0.850 *	0.64	0.670	0.836 *	0.833 *
Co			1.000	0.980 **	0.836 *	0.686	0.972 **	0.654	0.760 *
Cr				1.000	0.791 *	0.562	0.963 **	0.623	0.705
Cu					1.000	0.768 *	0.891 **	0.950 **	0.982 **
Mn						1.000	0.714	0.679	0.795 *
Ni							1.000	0.741	0.823 *
Pb								1.000	0.957 **
Zn									1.000

1) \* 表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关, \*\* 表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关,下同

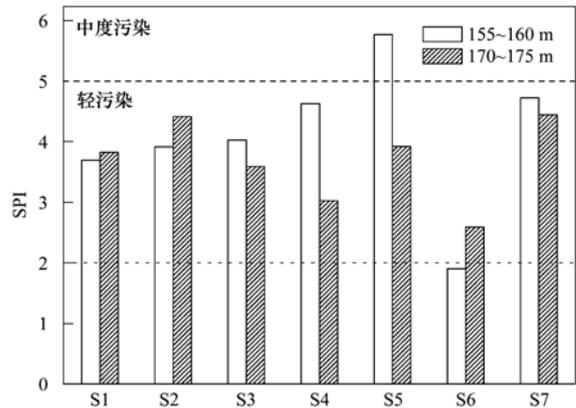


图 4 忠县农村型消落带沉积物污染指数评价结果

Fig. 4 Sediment pollution index assessment results in country WLFZ of Zhongxian

二者重金属来源可能相同。在 170~175 m 消落带中,As 与 Cr、Cu 显著性相关,表明在这个区域中此 3 种元素极有可能有相同来源;Cd 相对独立与其他重金属没有显著相关性,该元素的来源在这个区域中相对单一;Co、Pb、Ni、Cu、Cr 极其显著相关,表明这 5 种元素极有可能具有同源性。

通过主成分分析(表 6)可以看出 155~160 m 消落带中沉积物重金属主要来自两个方面,第一个方面占贡献率的 73.4%,第二个方面的贡献率为 11.8%,累积贡献率达到 85.2%,能够完全解释 155~160 m 沉积物中重金属分布,明确重金属主要来自

表 5 170 ~ 175 m 消落带沉积物重金属 Pearson 相关性分析

Table 5 Pearson correlation analysis of heavy metals in 170-175 m WLFZ sediment

	As	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
As	1.000	0.371	0.714	0.841 *	0.868 *	0.745	0.748	0.407	0.315
Cd		1.000	0.556	0.485	0.325	0.533	0.507	0.35	0.556
Co			1.000	0.925 **	0.917 **	0.703	0.978 **	0.879 **	0.845 *
Cr				1.000	0.935 **	0.707	0.919 **	0.694	0.592
Cu					1.000	0.674	0.909 **	0.782 *	0.632
Mn						1.000	0.816 *	0.367	0.571
Ni							1.000	0.802 *	0.819 *
Pb								1.000	0.889 **
Zn									1.000

源;其中所有重金属元素对第一主成分特征值均有明显贡献,最显著的是重金属 Co、Cu、Ni 和 Zn,而第二主成分特征值的贡献来自于重金属为 As、Co、Cr 和 Ni。As、Co、Ni 分布对两个主成分特征值贡献具有明显作用,表示此三者的来源具有多重性;170 ~ 175 m 消落带沉积物中重金属主要来源于两个方面,第一个方面的贡献率为 76.1%,对重金属均在显著贡献,Co、Cr、Cu 和 Ni 是主要影响元素;第二个方面的贡献率为 14.9%,能够主要解释重金属元素 Pb 和 Zn 的来源。

表 6 重金属来源主成分分析结果

Table 6 Results of principal component analysis for heavy metal sources

项目	第一主成分	第二主成分	第一主成分	第二主成分
	155 ~ 160 m	155 ~ 160 m	170 ~ 175 m	170 ~ 175 m
特征值	6.6	1.06	6.8	1.3
贡献率/%	73.4	11.8	76.1	14.9
累积贡献率/%	73.4	85.2	76.1	91.1
As	0.669	0.669	0.791	-0.571
Cd	0.785	-0.473	0.581	0.15
Co	0.921	0.328	0.987	0.118
Cr	0.885	0.422	0.936	-0.201
Cu	0.972	-0.212	0.934	-0.167
Mn	0.803	-0.163	0.794	-0.319
Ni	0.968	0.239	0.986	0.011
Pb	0.873	-0.398	0.816	0.482
Zn	0.933	-0.321	0.809	0.545

研究表明,沉积物重金属的来源可以分为自然条件背景值贡献和人为活动的输入<sup>[2]</sup>。自然条件下的背景值贡献指的是由于土壤形成过程中本身母质风化所提供的元素含量<sup>[15~18]</sup>,155 ~ 160 m 消落带中,Cr 处于无污染状态,低于背景值含量,其主要来源可能为自然风化,这与叶琛等的研究结果一致<sup>[2]</sup>。155 ~ 160 m 消落带中 As、Co、Ni 与 Cr 具有显著相关性,而 3 种重金属的污染均处于自然状态,第二主成分对四者贡献单一,可以推断第二主成分

主要为自然源输入,因而,第一主成分为人为输入。由于其对重金属元素均有贡献,可以推断其为消落带重金属污染主要来源<sup>[17]</sup>。在库区,人为输入影响包括工业“三废”直接输入、农业面源输入、生活污水、上游来水等因素<sup>[18~20]</sup>。由于研究区域选择的是远离乡镇、没有工业生产存在的农村区域,周围环境以废弃村舍和农田为主,不存在生活污水、工业污染源的输入,同时,根据三峡水库蓄水前期消落带土壤调查结果发现,Cr、Pb、Cu 和 Zn 主要来自于自然背景,未出现明显超标,水位升高后,土壤内部溶出量较低<sup>[2]</sup>。因此,农村面源污染和上游来水极有可能成为 155 ~ 160 m 消落带沉积物重金属主要来源。

根据 170 ~ 175 m 消落带评价结果可以发现,该区域中 Cr、Ni、Pb 和 Zn 低于环境背景值,相关分析显示 4 种重金属显著相关,可以推断这 4 种重金属主要来源于自然风化,这与叶琛等在 2009 年调查结果一致<sup>[2]</sup>。170 ~ 175 m 消落带中 Cd、As、Co、Mn 和 Cu 在部分点位出现轻度污染,表明存在部分人为输入,但输入量较低。由于该区域人口搬迁和农田废弃,工业污染也不存在,因此,人为源的输入仅有可能来自上部原有农田的面源和上游来水。第二主成分和第一主成分分析不能完全将来源区分开,可能是由于该区域污染程度较低,自然源和人为源输入差别不显著所致。175 m 为三峡水库稳定运行水位,但年维持运行时间较 155 m 短,170 ~ 175 m 消落带淹没时间远低于 155 ~ 160 m<sup>[1]</sup>。170 ~ 175 m 是消落带与更高程土地之间生态交错区,植被种类极其丰富,能够大量截留高程土地产生面源污染,极有可能产生重金属累积效应。从评价结果看来,该区域重金属污染并不严重,人为源对区域内的重金属变化影响较小,农田面源输入量低,因此,通过该区域再流进 155 ~ 160 m 区域中的重金属量更加微

小。根据评价结果,位于忠县城区下游 155 ~ 160 m 区域中的重金属累积尤其明显,均出现明显污染,而同点位 170 ~ 175 m 区域中重金属处于自然无污染状态或轻度污染状态,沉积物污染指数明显降低。

综上所述,155 ~ 160 m 消落带重金属 Cr、Cu、Pb 和 Zn 主要来自于自然背景,As、Ni、Cd、Co 和 Mn 主要来源于上游来水;170 ~ 175 m 消落带沉积物中重金属则 Cr、Ni、Pb 和 Zn 来自自然背景,Cd、As、Co、Mn 和 Cu 则极有可能来自农业面源和上游来水两种因素所致。

### 3 结论

(1) 三峡库区蓄水以后,155 ~ 160 m 消落带沉积物重金属累积顺序为  $Cd > Co > Mn > As > Cu$ ; 170 ~ 175 m 消落带沉积物重金属累积顺序为  $Co > Mn > Cd > As$ 。

(2) 消落带沉积物重金属的潜在生态风险处于轻度和中度,155 ~ 160 m 消落带沉积物生态风险高于 170 ~ 175 m。

(3) 消落带沉积物重金属 Cr、Pb 和 Zn 主要来自于自然背景输入,155 ~ 160 m 区域中 As、Cd、Co 和 Mn 主要来源于上游来水;170 ~ 175 m 区域中重金属 Cd、As、Co、Mn 和 Cu 则极有可能来自农田面源和上游来水输入。

#### 参考文献:

- [ 1 ] 王业春,雷波,杨三明,等. 三峡库区消落带不同水位高程土壤重金属含量及污染评价[J]. 环境科学, 2012, **33**(2): 612-617.
- [ 2 ] 叶琛,李思悦,张全发. 三峡库区消落区表层土壤重金属污染评价及源解析[J]. 中国生态农业学报, 2011, **19**(1): 146-149.
- [ 3 ] Ye C, Li S, Zhang Y, *et al.* Assessing soil heavy metal pollution in the water-level-fluctuation zone of the Three Gorges Reservoir, China[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2011, **191**(1-3): 366-372.
- [ 4 ] Zauke G P, Bohlke J, Zytowicz R, *et al.* Trace metals in tripton, zooplankton, zoobenthos, reeds and sediments of selected lakes in North-Central Poland[J]. *International Review of Hydrobiology*, 1998, **83**(5-6): 501-526.
- [ 5 ] Borgmann U. Methods for assessing the toxicological significance of metals in aquatic ecosystems: bio-accumulation-toxicity relationships, water concentrations and sediment spiking approaches [J]. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 2000, **3**(3): 277-289.
- [ 6 ] Akcay H, Oguz A, Karapire C. Study of heavy metal pollution and speciation in Buyak Menderes and Gediz river sediments[J]. *Water Research*, 2003, **37**(4): 813-822.
- [ 7 ] 黎莉莉,张晟,刘景红,等. 三峡库区消落区土壤重金属潜在生态危害评价[J]. 西南农业大学学报(自然科学版), 2005, **27**(4): 470-473.
- [ 8 ] 杜高赞,高美荣. 三峡库区典型消落带土壤粒径分布及分形特征[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2011, **35**(1): 47-50.
- [ 9 ] 徐诗童,李松. 三峡库区重庆市忠县石宝寨消落区生态环境综合整治工程思路[J]. 三峡环境与生态, 2011, **33**(4): 55-58.
- [ 10 ] Martin C W. Heavy metal trends in floodplain sediments and valley fill, River Lahn, Germany[J]. *Catena*, 2000, **39**(1): 53-68.
- [ 11 ] 敖亮,单保庆,张洪,等. 三门峡库区河流湿地沉积物重金属赋存形态和风险评价[J]. 环境科学, 2012, **33**(4): 1176-1181.
- [ 12 ] 唐将,钟远平,王力. 三峡库区土壤重金属背景值研究[J]. 中国生态农业学报, 2008, **16**(4): 848-852.
- [ 13 ] 陈年,赖维平,徐茂其,等. 重庆市土壤中 11 种元素环境背景值图[J]. 重庆环境保护, 1982, (4): 40-53.
- [ 14 ] Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control: A sedimentological approach [J]. *Water Research*, 1980, **14**(8): 975-1001.
- [ 15 ] Zhou J, Ma D S, Pan J Y, *et al.* Application of multivariate statistical approach to identify heavy metal sources in sediment and waters: a case study in Yangzhong, China [J]. *Environmental Geology*, 2008, **54**(2): 373-380.
- [ 16 ] 单丽丽,袁旭音,茅昌平,等. 长江下游不同源沉积物中重金属特征及生态风险[J]. 环境科学, 2008, **29**(9): 2399-2404.
- [ 17 ] 李玉,俞志明,宋秀贤. 运用主成分分析(PCA)评价海洋沉积物中重金属污染来源[J]. 环境科学, 2006, **27**(1): 137-141.
- [ 18 ] 张雷,秦延文,郑丙辉,等. 丹江口水库迁建区土壤重金属分布及污染评价[J]. 环境科学, 2013, **34**(1): 108-115.
- [ 19 ] 张伟,张洪,单保庆. 北运河源头区沙河水库沉积物重金属污染特征研究[J]. 环境科学, 2012, **33**(12): 4284-4290.
- [ 20 ] 吴斌,宋金明,李学刚. 黄河口表层沉积物中重金属的环境地球化学特征[J]. 环境科学, 2013, **34**(4): 1324-1332.

## CONTENTS

An Assessment of PM <sub>2.5</sub> Related Health Risks and Impaired Values of Beijing Residents in a Consecutive High-Level Exposure During Heavy Haze Days .....	XIE Yuan-bo, CHEN Juan, LI Wei ( 1 )
Seasonal Variation of Water-Soluble Ions in PM <sub>2.5</sub> at Changbai Mountain .....	ZHAO Ya-nan, WANG Yue-si, WEN Tian-xue, <i>et al.</i> ( 9 )
Variation of Atmospheric Particle Number Concentrations in Qingdao and Its Impact on Visibility .....	KE Xin-shu, SHENG Li-fang, KONG Jun, <i>et al.</i> ( 15 )
Concentrations of PCDD/Fs in the Atmosphere of Chongqing City and Its Seasonal Variation .....	ZHANG Xiao-ling, LU Yi, ZHU Ming-ji, <i>et al.</i> ( 22 )
Atmospheric Emission of PCDD/Fs from Secondary Aluminum Metallurgy Industry in the Southwest Area, China .....	LU Yi, ZHANG Xiao-ling, GUO Zhi-shun, <i>et al.</i> ( 30 )
Atmospheric Emission of PCDD/Fs from Modern Dry Processing Cement Kilns with Preheating in the Southwest Area, China .....	ZHANG Xiao-ling, LU Yi, JIAN Chuan, <i>et al.</i> ( 35 )
Pollution Status and Characteristics of PBDEs in Indoor Air of Hangzhou .....	JIANG Xin-wei, SUN Xin, PEI Xiao-qiang, <i>et al.</i> ( 41 )
Size Distribution of Particle and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Particle Emissions from Simulated Emission Sources .....	FU Hai-huan, TIAN Na, SHANG Hui-bin, <i>et al.</i> ( 46 )
Atmospheric Deposition Fluxes and Seasonal Variations of Elements in Northeast of Sichuan, Central China .....	TONG Xiao-ning, ZHOU Hou-yun, YOU Chen-feng, <i>et al.</i> ( 53 )
Trend in Acid Deposition at Tieshanping, Chongqing During 2001-2010 .....	YU De-xiang, MA Xiao-xiao, TAN Bing-quan, <i>et al.</i> ( 60 )
Wet Deposition of Atmospheric Nitrogen of the Jinshui Watershed in the Upper Hanjiang River .....	WANG Jin-jie, ZHANG Ke-rong, WU Chuan, <i>et al.</i> ( 66 )
Chemical Compositions of <i>n</i> -Alkanoic Acids in Wheat Straw and Its Smoke .....	LIU Gang, LI Jiu-hai, WU Dan, <i>et al.</i> ( 73 )
Magnetic Properties of Indoor Dustfall at Different Heights in Lanzhou .....	WU Duo, WEI Hai-tao, ZHAO Rui-rui, <i>et al.</i> ( 79 )
Mercury Fluxes from Conifer-Broadleaf Forested Field in Central Subtropical Forest Zone .....	MA Ming, WANG Ding-yong, SHEN Yuan-yuan, <i>et al.</i> ( 85 )
Impacts of Rice Straw Biochar on Organic Carbon and CO <sub>2</sub> Release in Arable Soil .....	KE Yue-jin, HU Xue-yu, YI Qing, <i>et al.</i> ( 93 )
Geochemical Distribution of Dissolved Bismuth in the Yellow Sea and East China Sea .....	WU Xiao-dan, SONG Jin-ming, WU Bin, <i>et al.</i> ( 100 )
Temporal-spatial Distribution and Pollution Assessment of Heavy Metals in the Upper Reaches of Hunhe River (Qingyuan Section), Northeast China .....	MA Ying-qun, SHI Yao, QIN Yan-wen, <i>et al.</i> ( 108 )
Determination of Estrogenic Compounds in Water of Jiulong River Using Polar Organic Chemical Integrative Sampler .....	ZHANG Li-peng, WANG Xin-hong, LI Yong-yu, <i>et al.</i> ( 117 )
Variation Characteristics and Environmental Significant of Trace Elements Under Rainfall Condition in Karst Groundwater .....	CHEN Xue-bin, YANG Ping-heng, LAN Jia-cheng, <i>et al.</i> ( 123 )
Major Ion Chemistry of Surface Water in the Xilin River Basin and the Possible Controls .....	TANG Xi-wen, WU Jin-kui, XUE Li-yang, <i>et al.</i> ( 131 )
Forms and Spatial Distribution Characteristics of Nitrogen in Ziya River Basin .....	ZHAO Yu, SHAN Bao-qing, ZHANG Wen-qiang, <i>et al.</i> ( 143 )
Impact of Rice Agriculture on Nitrogen and Phosphorus Exports in Streams in Hilly Red Soil Earth Region of Central Subtropics .....	SONG Li-fang, WANG Yi, WU Jun-shui, <i>et al.</i> ( 150 )
Study on Distribution of Phosphorus in Surface Sediments of the Yellow Sea and the East China Sea .....	SONG Guo-dong, LIU Su-mei, ZHANG Guo-ling ( 157 )
Characterization and Optimization of the NaOH-EDTA Extracts for Solution <sup>31</sup> P-NMR Analysis of Organic Phosphorus in River Sediments .....	ZHANG Wen-qiang, SHAN Bao-qing, ZHANG Hong, <i>et al.</i> ( 163 )
Regeneration and Transformation of BAPP in Suspended Solids Under Short-term Sediment Disturbance .....	WU Xiao-fei, LI Da-peng, WANG Ming ( 171 )
Sediment Risk Assessment and Heavy Metal Source Analysis in Typical Country Water Level Fluctuated Zone (WLFZ) of the Three Gorges .....	AO Liang, LEI Bo, WANG Ye-chun, <i>et al.</i> ( 179 )
Pollution Distribution and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Sediments from the Different Eastern Dredging Regions of Lake Taihu .....	MAO Zhi-gang, GU Xiao-hong, LU Xiao-ming, <i>et al.</i> ( 186 )
Study on the Stages of Major Sediments in Dianchi Lake .....	WANG Xin-yu, ZHOU Feng, YI Xuan, <i>et al.</i> ( 194 )
Oil Spill Identification Using Partial Surface Fitting Method Based on Concentration-Synchronous-Matrix-Fluorescence Spectra .....	WANG Chun-yan, SHI Xiao-feng, LI Wen-dong, <i>et al.</i> ( 202 )
Treatment of Sludge Liquor Produced in Deep Dehydration by Photoelectro-Fenton Process .....	WANG Xian-li, WANG Shi-feng, WU Jun-feng, <i>et al.</i> ( 208 )
Characteristics of Nitrification and Denitrification for Simultaneous Nitrogen and Phosphorus Removal by Granular Sludge .....	LIU Xiao-ying, LIN Hui, MA Zhao-rui, <i>et al.</i> ( 214 )
Study on Long-Term Stability of Biological Nitrogen Removal via Nitrite from Real Landfill Leachate .....	SUN Hong-wei, GUO Ying, PENG Yong-zhen ( 221 )
Compositions and Residual Properties of Petroleum Hydrocarbon in Contaminated Soil of the Oilfields .....	HU Di, LI Chuan, DONG Qian-qian, <i>et al.</i> ( 227 )
Dynamics of the Mineralization and Transformation of Rice Photosynthesized Carbon in Paddy Soils - a Batch Incubation Experiment .....	TAN Li-min, PENG Pei-qin, LI Ke-lin, <i>et al.</i> ( 233 )
Effects of Land Use and Abandonment on Soil Labile Organic Carbon in the Karst Region of Southwest China .....	LIAO Hong-kai, LI Juan, LONG Jian, <i>et al.</i> ( 240 )
Aluminum Dissolution and Changes of pH in Soil Solution During Sorption of Copper by Aggregates of Paddy Soil .....	XU Hai-bo, ZHAO Dao-yuan, QIN Chao, <i>et al.</i> ( 248 )
Effect of Cr(VI) Anions on the Cu(II) Adsorption Behavior of Two Kinds of Clay Minerals in Single and Binary Solution .....	LIU Juan-juan, LIANG Dong-li, WU Xiao-long, <i>et al.</i> ( 254 )
Effect of Flooding Time Length on Mycorrhizal Colonization of Three AM Fungi in Two Wetland Plants .....	MA Lei-meng, WANG Peng-teng, WANG Shu-guang ( 263 )
Preliminary Study on the Relationship Between the Water Quality and the Aquatic Biological Health Status of Taihu Lake .....	ZHOU Xiao-bai, ZHANG Ning-hong, ZHANG Yong, <i>et al.</i> ( 271 )
Acute Toxicity of Three Typical Pollutants to Aquatic Organisms and Their Water Quality Criteria .....	JIANG Dong-sheng, SHI Xiao-rong, CUI Yi-bin, <i>et al.</i> ( 279 )
Evaluation of the Acute Toxicity of Pharmaceutical Wastewater to Luminescent Bacteria .....	DU Li-na, YANG Fan, MU Yu-feng, <i>et al.</i> ( 286 )
Influence of the Coexistence of Zn <sup>2+</sup> on the Enantioselective Toxicity of Metolachlor to <i>Scenedesmus obliquus</i> .....	HU Xiao-na, ZHANG Shu-xian, CHEN Cai-dong, <i>et al.</i> ( 292 )
Simplification of Biotic Ligand Model and Evaluation of Predicted Results .....	WANG Wan-bin, CHEN Sha, WU Min, <i>et al.</i> ( 299 )
Priority Pollutants Ranking and Screening of Coke Industry based on USEtox Model .....	HAO Tian, DU Peng-fei, DU Bin, <i>et al.</i> ( 304 )
Isolation, Identification and Characterization of a Microcystin-degrading Bacterium <i>Paucibacter</i> sp. Strain CH .....	YOU Di-jie, CHEN Xiao-guo, XIANG Hui-yi, <i>et al.</i> ( 313 )
Inhibition of the Activity of Sulfate-reducing Bacteria in Produced Water from Oil Reservoir by Nitrate .....	YANG De-yu, ZHANG Ying, SHI Rong-jiu, <i>et al.</i> ( 319 )
Bioconversion of Cellulose to Methane by a Consortium Consisting of Four Microbial Strains .....	WU Jun-mei, MA An-zhou, CUI Meng-meng, <i>et al.</i> ( 327 )
Factors Influencing the Variability in Soil Heterotrophic Respiration from Terrestrial Ecosystem in China .....	XIE Wei, CHEN Shu-tao, HU Zheng-hua ( 334 )
Study on the Distinguishing of Root Respiration from Soil Microbial Respiration in a <i>Leymus chinensis</i> Steppe in Inner Mongolia, China .....	SHI Jing-jing, GENG Yuan-bo ( 341 )
Nitrous Oxide Flux at the Water-Air Interface of the Rivers in Nanjing During Summer .....	HAN Yang, ZHENG You-fei, WU Rong-jun, <i>et al.</i> ( 348 )
Effects of Antiseptic on the Analysis of Greenhouse Gases Concentrations in Lake Water .....	XIAO Qi-tao, HU Zheng-hua, James Deng, <i>et al.</i> ( 356 )
Electricity Generation of Surplus Sludge Microbial Fuel Cell Enhanced by Biosurfactant .....	PENG Hai-li, ZHANG Zhi-ping, LI Xiao-ming, <i>et al.</i> ( 365 )
Fe-ZSM-5 Catalysts with Different Silica-Alumina Ratios for N <sub>2</sub> O Catalytic Decomposition .....	LU Ren-jie, ZHANG Xin-yan, HAO Zheng-ping ( 371 )
Inhibition of Chlorobenzene Formation via Various Routes During Waste Incineration by Ammonium Sulfate and Urea .....	YAN Mi, QI Zhi-fu, LI Xiao-dong, <i>et al.</i> ( 380 )
County Scale Characteristics of CO <sub>2</sub> Emission's Spatial-Temporal Evolution in the Beijing-Tianjin-Hebei Metropolitan Region .....	WANG Hao, CHEN Cao-cao, PAN Tao, <i>et al.</i> ( 385 )
Characterization and Soil Environmental Safety Assessment of Super Absorbent Polymers in Agricultural Application .....	LI Xi, LIU Yu-rong, ZHENG Yuan-ming, <i>et al.</i> ( 394 )

# 《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1月15日 35卷 第1期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 1 Jan. 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