

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第36卷 第1期

Vol.36 No.1

2015

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

2013年夏季典型光化学污染过程中长三角典型城市O₃来源识别 李浩, 李莉, 黄成, 安静宇, 严茹莎, 黄海英, 王杨君, 卢清, 王倩, 楼晟荣, 王红丽, 周敏, 陶士康, 乔利平, 陈明华(1)

厦门冬春季大气VOCs的污染特征及臭氧生成潜势 徐慧, 张晗, 邢振雨, 邓君俊(11)

近10年海南岛大气NO₂的时空变化及污染物来源解析 符传博, 陈有龙, 丹利, 唐家翔(18)

稻草烟尘中有机碳/元素碳及水溶性离子的组成 洪蕾, 刘刚, 杨孟, 徐慧, 李久海, 陈惠雨, 黄柯, 杨伟宗, 吴丹(25)

气相色谱-脉冲氦离子化检测法(GC-PDHID)分析大气中分子氢(H₂)浓度 栾天, 方双喜, 周凌晔, 王红阳, 张根(34)

小浪底水库影响下的黄河花园口站和小浪底站pCO₂特征及扩散通量 张永领, 杨小林, 张东(40)

夏季中国东海生源有机硫化物的分布及其影响因素研究 李江萍, 张洪海, 杨桂朋(49)

基于Landsat 8影像估算新安江水库总悬浮物浓度 张毅博, 张运林, 查勇, 施坤, 周永强, 王明珠(56)

温瑞塘河流域水体污染时空分异特征及污染源识别 马小雪, 王腊春, 廖玲玲(64)

人类活动影响下水化学特征的影响: 以西江中上游流域为例 于爽, 孙平安, 杜文越, 何师意, 李瑞(72)

太湖梅梁湾不同形态磷周年变化规律及藻类响应研究 汪明, 武晓飞, 李大鹏, 李祥, 黄勇(80)

鄱阳湖沉积物可转化态氮分布特征及其对江湖关系变化的响应 沈洪艳, 张绵绵, 倪兆奎, 王圣瑞(87)

影响浑太河流域大型底栖动物群落结构的环境因子分析 李艳利, 李艳粉, 徐宗学(94)

水华生消过程对巢湖沉积物微生物群落结构的影响 刁晓君, 李一葳, 王曙光(107)

蓝藻水华聚集对水葫芦生理生态的影响 吴婷婷, 刘国锋, 韩士群, 周庆, 唐婉莹(114)

汞在小浪底水库的赋存形态及其时空变化 程柳, 毛宇翔, 麻冰涓, 王梅(121)

三峡库区典型农田小流域土壤汞的空间分布特征 王娅, 赵铮, 木志坚, 王定勇, 余亚伟(130)

三峡库区农林畜复合小流域水体汞的时空变化特征 赵铮, 王娅, 木志坚, 王定勇(136)

环境条件对三峡库区消落带土壤中邻苯二甲酸二丁酯向上覆水静态迁移释放的影响 宋娇艳, 木志坚, 王强, 杨志丹, 王法(143)

三峡库区消落带土壤中溶解性有机质(DOM)吸收及荧光光谱特征 高洁, 江韬, 李璐璐, 陈雪霜, 魏世强, 王定勇, 闫金龙, 赵铮(151)

舟山渔场有色溶解有机物(CDOM)的三维荧光-平行因子分析 周倩倩, 苏荣国, 白莹, 张传松, 石晓勇(163)

太原市小店污灌区地下水中多环芳烃与有机氯农药污染特征及分布规律 李佳乐, 张彩香, 王焰新, 廖小平, 姚林林, 刘敏, 徐亮(172)

厦门杏林湾水系表层沉积物中PAHs分析与风险评估 程启明, 黄青, 廖祯妮, 苏丽, 刘兴强, 唐剑锋(179)

两种不同的地下水污染风险评价体系对比分析: 以北京市平原区为例 王红娜, 何江涛, 马文洁, 许真(186)

大冶湖滨岸带重金属水-土迁移特征与风险评价 张家泉, 李秀, 张全发, 李琼, 肖文胜, 王永奎, 张建春, 盖希光(194)

铁盐絮凝法从阳宗海湖水中除砷研究与现场扩大试验 陈景, 张曙, 杨项军, 黄章杰, 王世雄, 王莞, 韦群燕, 张艮林, 肖军(202)

铋银氧化物混合物高效氧化降解四溴双酚A的研究 陈满堂, 宋洲, 王楠, 丁耀彬, 廖海星, 朱丽华(209)

一种纳米级不定形碳对水中四环素的吸附研究 吴亦潇, 李爱民, 汪的华, 张维昊(215)

磁性壳聚糖衍生物对阴离子染料的吸附行为 张聪璐, 胡筱敏, 赵研, 苏雷(221)

腐殖酸-高岭土复合体形成机制及对三氯乙烯的吸附 朱晓婧, 何江涛, 苏思慧(227)

降温过程对ANAMMOX工艺城市污水处理系统中微生物群落的影响 赵志瑞, 苗志加, 李铎, 崔丙健, 万敬敏, 马斌, 白志辉, 张洪勋(237)

FISH-NanoSIMS技术在环境微生物生态学上的应用研究 陈晨, 柏耀辉, 梁金松, 袁林江(244)

微囊藻毒素-LR对恶臭假单胞菌细胞活性和表面特性的影响 邓庭进, 叶锦韶, 彭辉, 刘芷辰, 刘则华, 尹华, 陈烁娜(252)

微生物除臭剂的筛选、复配及其除臭条件的优化 曾苏, 李南华, 盛洪产, 贺琨, 胡子全(259)

舟山青浜岛水体及海产品中有机氯农药的分布和富集特征 张泽洲, 邢新丽, 顾延生, 桂福坤, 祁士华, 黄焕芳, 瞿程凯, 张莉(266)

四川凉山藏彝青少年头发中多氯联苯污染水平的研究 周莹, 孙一鸣, 金军, 雷建容, 秦贵平, 何雪珠, 林尤静(274)

铜、毒死蜱单一与复合暴露对蚯蚓的毒性作用 徐冬梅, 王彦华, 王楠, 饶桂维(280)

外源硒对黄瓜抗性、镉积累及镉化学形态的影响 熊仕娟, 刘俊, 徐卫红, 谢文文, 陈蓉, 张进忠, 熊治庭, 王正银, 谢德体(286)

厦门市道路灰尘中铂族元素的污染特征 洪振宇, 洪有为, 尹丽倩, 陈进生, 陈衍婷, 徐玲玲(295)

洋河流域不同土地利用类型土壤硒(Se)分布及影响因素 商靖敏, 罗维, 吴光红, 徐兰, 高佳佳, 孔佩儒, 毕翔, 程志刚(301)

不同钝化剂对重金属污染土壤稳定化效应的研究 吴烈善, 曾东梅, 莫小荣, 吕宏虹, 苏翠翠, 孔德超(309)

畜禽粪便有机肥中Cu、Zn在不同农田土壤中的形态归趋和有效性动态变化 商和平, 李洋, 张涛, 苏德纯(314)

华南某市生活垃圾组成特征分析 张海龙, 李祥平, 齐剑英, 陈永亨, 方建德(325)

生物沥浸耦合类Fenton氧化调理城市污泥 刘昌庚, 张盼月, 蒋娇娇, 曾成华, 黄毅, 徐国印(333)

基于平面波导型荧光免疫传感器的双酚A检测适用性研究 徐玮琦, 张永明, 周小红, 施汉昌(338)

一种新型“Turn-on”荧光探针用于硫化氢可视化检测 刘春霞, 马兴, 魏国华, 杜宇国(343)

典型黄土区油松树干液流变化特征分析 张涵丹, 卫伟, 陈利顶, 于洋, 杨磊, 贾福岩(349)

利用巨藻发酵联产氢气与挥发性有机酸的研究 赵晓娟, 范晓蕾, 郭荣波, 薛志欣, 杨智满, 袁宪正, 邱艳玲(357)

人工纳米颗粒在水体中的行为及其对浮游植物的影响 李曼璐, 姜玥璐(365)

《环境科学》征订启事(251) 《环境科学》征稿简则(294) 信息(236,243,273,300)

大冶湖滨岸带重金属水-土迁移特征与风险评价

张家泉^{1,2}, 李秀¹, 张全发^{2*}, 李琼¹, 肖文胜¹, 王永奎¹, 张建春³, 盖希光³

(1. 湖北理工学院环境科学与工程学院, 黄石 435003; 2. 中国科学院武汉植物园水生植物与流域生态重点实验室, 武汉 430074; 3. 黄石市水利水产局, 黄石 435002)

摘要: 于2013年3月, 采集大冶湖枯水期滨岸带水和表层土壤样品(上层0~10 cm、下层10~20 cm)各20个, 并用火焰原子吸收分光光度法测定其重金属(Cu、Pb、Cd、Zn)的含量。结果表明, 沿岸水中Cu、Pb、Cd、Zn的平均值分别为7.14、25.94、15.72、37.58 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, 其中Cd超出了V类地表水环境质量标准。上下层土壤中Cu、Pb、Cd、Zn的平均含量分别为108.38、53.92、3.55、139.26 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和93.00、51.72、2.08、171.00 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 其中上下层土壤中Cd均远超出土壤环境质量Ⅲ级标准。Pb在土壤和水体中的迁移性较为稳定, 而Zn的迁移性受土壤性质及周边环境影响较大。西岸带重金属可迁移性较东岸带大, 具有较强的潜在环境风险。Cu、Pb、Cd、Zn均主要以残渣态形式存在。重金属元素整体迁移顺序是: Pb > Cu > Cd > Zn, 其中Cu、Pb有50%以上可能发生迁移, 对环境存在较大的污染风险。通过风险评价指数与潜在风险系数得出Cd为主要污染因子, 且上层土壤重金属污染均高于下层土壤。

关键词: 大冶湖; 滨岸带; 水-土; 重金属; 风险评价

中图分类号: X820.4; X821 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2015)01-0194-08 DOI: 10.13227/j.hjxx.2015.01.025

Transportation and Risk Assessment of Heavy Metal Pollution in Water-Soil from the Riparian Zone of Daye Lake, China

ZHANG Jia-quan^{1,2}, LI Xiu¹, ZHANG Quan-fa^{2*}, LI Qiong¹, XIAO Wen-sheng¹, WANG Yong-kui¹, ZHANG Jian-chun³, GAI Xi-guang³

(1. School of Environmental Science and Engineering, Hubei Polytechnic University, Huangshi 435003, China; 2. Key Laboratory of Aquatic Botany and Watershed Ecology, Wuhan Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430074, China; 3. Huangshi Water Conservancy and Aquatic Products Bureau, Huangshi 435002, China)

Abstract: Each 20 water samples and soil samples(0-10 cm, 10-20 cm) were collected from the riparian zone of Daye Lake in dry season during March 2013. Heavy metals(Cu, Pb, Cd, Zn) have been detected by flame atomic absorption spectrometric(FAAS). The results showed that the average concentrations of Cu, Pb, Cd, Zn in the water were 7.14, 25.94, 15.72 and 37.58 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, respectively. The concentration of Cu was higher than the five degree of the surface water environment quality standard. The average concentrations of Cu, Pb, Cd, Zn in soil(0-10 cm) were 108.38, 53.92, 3.55, 139.26 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ and in soil(10-20 cm) were 93.00, 51.72, 2.08, 171.00 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, respectively. The Cd concentrations were higher than the three grade value of the national soil environment quality standard. The transportation of Pb from soil to water was relatively stable, and Zn was greatly influenced by soil property and the surrounding environment from soil to water. The transformation of heavy metal in west riparian zone was higher than that of east riparian zone. The potential environmental risk was relatively high. Cu, Pb, Cd, Zn were dominated by residue fraction of the modified BCR sequential extraction method. The overall migration order of heavy metal element was: Pb > Cu > Cd > Zn. There were stronger transformation and higher environmental pollution risk of Cu, Pb. The index of assessment and potential ecological risk coefficient indicated that heavy metal pollution in soil(0-10 cm) was higher than the soil(10-20 cm), Cd was particularly serious.

Key words: Daye Lake; the riparian zone; water-soil; heavy metal; risk assessment

湖滨带是湖泊流域水生生态系统与陆生生态系统之间一种非常重要的生态过渡带, 由相邻的水陆两个生态系统相互作用而成, 是湖泊的最后一道保护屏障^[1,2]。它是水陆生态系统间的过渡与缓冲区域, 具有保持物种多样性、调节物流和能流、净化水体及减少污染等功能, 其在一定程度上是湖泊的一道生态保护屏障, 是健康湖泊生态系统的重要组成部分^[3~5]。重金属污染在环境中具有潜在性、持久性、难被动植物分解的特点, 且可以被动植物吸

收利用, 通过生物富集作用进入食物链, 最终危害人类的食品安全^[6]。湖滨带土壤中重金属易受沿岸人为活动影响, 其重金属迁移转化受物理、化学、生

收稿日期: 2014-04-09; 修订日期: 2014-06-17

基金项目: 湖北省水利厅水利重点科研课题项目(HBSLKY201407); 湖北省教育厅科学技术研究项目(B2013057); 国家自然科学基金项目(41303090); 湖北理工学院大学生科技创新专项(12cx06)

作者简介: 张家泉(1980~), 男, 博士, 讲师, 主要研究方向为环境污染化学, E-mail: Jiaquanzh@163.com

* 通讯联系人, E-mail: qzhang@wbgcas.cn

物特性及环境条件影响较大^[7],同时滨岸带土壤与沿岸水体接触,重金属很容易由此进入到湖泊形成二次污染。

黄石市位于湖北东南部,长江中下游著名的矿冶城市,大冶湖是黄石市面积最大的天然水体,湖泊面积 63.4 km²,湖岸线长度为 139.8 km,岸线发育系数 4.9,湖泊补给系数 17.3,湖体狭长,呈东西走向,且自西向东倾斜,平均坡度为 2‰。大冶湖流域范围内,大冶湖底和四周蕴藏有大量的金属矿藏,流域面积 1 106 km²,铜、铁、金矿蕴藏量丰富,有“江南聚宝盆”的美誉^[8],广泛分布矿产品开发、采矿、选矿、冶炼等企业,同时大冶湖又是黄石市的水产基地。因此开展大冶湖湖滨带水-土系统中重金属迁移规律,将为大冶湖流域,特别是大冶湖滨带的重

金属污染防治提供参考依据。

1 样品的采集与分析

1.1 样品的采集

于 2013 年春枯水期,布设 20 个采样点 (GPS 定位),如图 1 所示。按《地表水和污水监测技术规范》(HJ-T 91-2002)要求采集水下 0.5 m 处的水样装入容积为 500 mL 聚乙烯塑料瓶中,加入 5.0 mL 1% 优级纯硝酸。土样是在距湖水 0~5 m 处布设土壤采样点,以对角线采样法采集土样,各采样点分别采集距地表 0~10 cm、10~20 cm 深度的土样,同时记录采样点的环境状况。每个点位采集 500 g 以上样品装入聚乙烯密实袋混匀,贴上标签带回实验室冷冻保存。

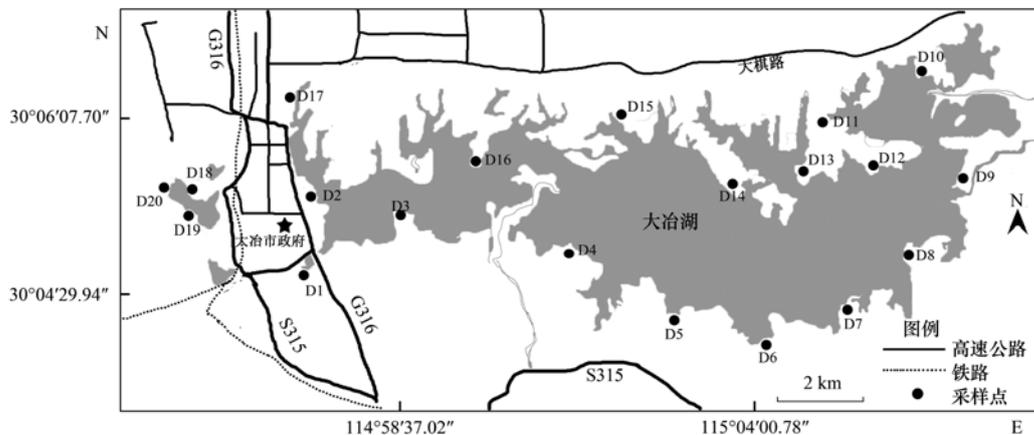


图 1 采样点位示意

Fig. 1 Sites of sampling

1.2 样品预处理

水样经“王水 + 双氧水”加热消解预处理后测定其重金属含量。取土壤样品 25~30 g 风干,除去砾石和植物残根,研磨并过 100 目微孔筛。过筛样品保存于聚乙烯密实袋中,贴好标签备用。土壤重金属总量预处理采用王水 + HF 混酸消解法。重金属形态分析采用欧共体标准物质局 (European Communities Bureau of Reference) 提出并改进 BCR 三步法^[9]。BCR 形态分析由国家标准参考样控制^[10]。具体提取过程如下。

(1) 弱酸态 取 1.000 g 样品于离心管中加入 40 mL 0.1 mol·L⁻¹ 的 HAc 提取液,振荡 16 h 后,离心过滤取上清液定容,待分析。

(2) 可还原态 经 (1) 处理后的残余物用 40 mL 0.5 mol·L⁻¹ 的 NH₂OH·HCl 提取,振荡 16 h 后,离心过滤取上清液定容,待分析。

(3) 可氧化态 经 2 处理后的残余物中加入 10 mL H₂O₂, 摇匀,静置 1 h,水浴加热 (85℃ ± 2℃) 至 H₂O₂ 蒸干,冷却后再加入 10 mL H₂O₂ 水浴加热至蒸干。加入 50 mL 1 mol·L⁻¹ 的 NH₄OAc 提取液,振荡 16 h 后,离心过滤取上清液定容,待分析。

(4) 残渣态 经 (3) 处理后的残余物,移至聚四氟乙烯坩埚加 8 mL 王水 (HNO₃: HCl = 1:3), 在电热板上加热至王水近蒸干,再加入 HF 直至溶液变澄清,冷却后定容,待分析。

1.3 样品分析

水样的 pH 值用 PHS-3C 型精密 pH 计测定,土壤 pH 值的测定采用电位法,测定前均用标准溶液校准,所测得的 pH 均换算为 25℃ 下的标准值。重金属 (Cu、Cd、Pb、Zn) 的含量采用火焰原子吸收分光光度仪 (美国 Varian AA240) 测定。

1.4 质量控制

本研究实验严格按照实验室质量控制进行,每5个样品任取一个测定平行样,数据结果显示误差范围在 $\pm 5\%$ 以内,所测数据均有效.同时,为验证方法的准确性,实验方法由国家土壤成分分析标准物质(GSS-3、GSS-5)进行分析质量控制,对标准样品中Cu、Pb、Cd、Zn回收率分别在86.3%~110.5%、97.9%~116.9%、91.5%~109.3%、90.2%~125.2%之间.

1.5 评价方法

选用风险评价指数(risk assessment code, RAC)^[11]来评价大冶湖滨岸带土壤生物可利用性程度及其对环境风险程度,沉积物里的重金属有不同的结合相,这些结合相对应着不同的结合紧密程度和生物有效性.重金属形态中可溶态重金属对生物有效性的研究具有重要的意义,RAC采用金属弱酸盐百分含量来表示,在某种意义上可以更好地反映出环境中重金属的污染程度及环境风险程度.根据金属在环境中可溶出程度、迁移性强弱以及金属从环境中释放进入到食物链能力的大小划分金属的生物可利用性程度及其对环境风险.生物可利用程度和环境风险所对应的RAC值见表1.

表1 生物可利用程度和环境风险程度所对应的RAC值¹⁾

Table1 Bioavailability and environment risks of different RAC

RAC 值	生物可利用程度	环境风险程度
RAC $\leq 1\%$	极低	无风险
1% < RAC $\leq 10\%$	低	低风险
10% < RAC $\leq 30\%$	中等	中等风险
30% < RAC $\leq 50\%$	高	高风险
RAC > 50%	极高	极高风险

1) RAC = C_i/C_0 ,式中 C_i 表示某种金属元素酸溶态的实测值, C_0 表示某种金属的总含量

选用潜在生态风险指数法评价滨岸带土壤,以了解各金属对大冶湖生态环境的潜在危害程度.据此法,某区域土壤中第*i*种重金属的潜在生态危害系数 E_r^i 及沉积物中多种重金属的潜在生态危害指数RI可分别表示为:

$$E_r^i = T_r^i \times C_r^i$$

$$RI = \sum_{i=1}^n E_r^i$$

式中, C_r^i 为重金属富集系数($C_r^i = C_s^i/C_n^i$); C_s^i 为表层沉积物中重金属浓度实测值; C_n^i 为所需参比值^[12],采用湖北省土壤中重金属的背景值; T_r^i 为重金属的毒性系数(分别为Cd=30、Pb=5、Cu=5、Zn=1),它主要反映重金属的毒性水平和生物对重

金属污染的敏感程度^[13].将实测大冶湖滨带土壤中各金属含量分别代入上式,可计算出潜在生态危害系数 E_r^i 和指数RI,分别代表各重金属元素的潜在生态危害程度和总生态风险程度,它们与污染程度的关系见表2.

表2 E_r^i 、RI与污染程度的关系

Table 2 Indices used to assess the potential ecological risk status

E_r^i	RI	生态危害强度
$E_r^i < 40$	RI < 150	轻微
$40 \leq E_r^i < 80$	$150 \leq RI < 300$	中等
$80 \leq E_r^i < 160$	$300 \leq RI < 600$	强
$160 \leq E_r^i < 320$	RI ≥ 600	很强
$E_r^i \geq 320$		极强

2 结果与讨论

2.1 大冶湖湖滨带水/土壤重金属含量特征

对大冶湖湖滨带水及表层(上层:0~10 cm,下层:10~20 cm)土壤的pH及重金属含量进行统计分析,分析结果见表3.各点位土壤pH值均小于7,整体呈弱酸性,这可能与大冶湖周围有酸性工业废水排放有关.沿岸水中Cu、Pb、Cd、Zn的平均值分别为7.14、25.94、15.72、37.58 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,其中Cd超出了V类地表水环境质量标准.土壤中Pb和Cr含量上层高于下层,而Cu和Zn含量是下层高于上层,说明该区域存在Pb和Cd污染,其中上下层土壤中Cd均远超出土壤环境质量III级标准.大冶湖流域为Cd重污染区,这与大冶湖流域矿藏丰富、冶炼业发达有关,开采过程对环境的影响严重,也有可能其他工业生产生活排放的重金属累积而成.各重金属含量的标准偏差及变异系数均较大,说明湖滨带土壤重金属区域污染差异较大.

将大冶湖湖滨带土壤重金属含量与其它水岸带重金属含量进行对比分析,其中铜陵市与黄石市相似,是长江中下游有色多金属成矿带上重要的矿业城市,具有3000多年的铜矿开采和冶炼历史^[14],结果如表4所示.大冶湖滨岸带土壤中重金属Cu含量高于珠江、三峡、山东部分水岸带,低于金水河、铜陵市惠溪河水岸带;Pb的含量高于三峡、金水河、山东部分水岸带,低于珠江、铜陵市惠溪河水岸带;Cd的含量高于三峡、山东部分水岸带,低于珠江、铜陵市惠溪河水岸带;Zn的含量高于三峡、金水河、山东部分水岸带,低于珠江、铜陵市惠溪河水岸带.大冶湖滨岸带土壤中重金属Cu、Pb、Cd、Zn的含量普遍高于三峡水岸带中重金属Cu、Pb、Cd、Zn的含量,普遍低于铜陵市惠溪河水岸带

表3 大冶湖沿岸水及滨岸带土壤 pH 值及重金属元素含量¹⁾

Table 3 Concentration of heavy metals and pH in riparian zone soils of Daye Lake

指标	项目	pH	Cu	Pb	Cd	Zn
水/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	最小值	6.32	0.25	14.25	1.67	BDL
	最大值	7.50	20.35	39.59	161.97	238.14
	平均值	7.14	7.14	25.94	15.72	37.58
	标准偏差	0.35	6.01	7.88	38.65	53.24
	变异系数	0.05	0.84	0.30	2.46	1.42
土壤(0~10 cm)/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	最小值	5.11	4.09	9.89	BDL	18.72
	最大值	6.66	667.36	108.08	14.64	343.12
	平均值	6.24	108.38	53.29	3.55	139.26
	标准偏差	0.42	167.53	23.87	4.17	90.36
	变异系数	0.07	1.55	0.45	1.18	0.65
土壤(10~20 cm)/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	最小值	5.61	3.04	11.72	BDL	71.17
	最大值	6.75	694.06	101.32	7.65	350.26
	平均值	6.37	93.00	51.72	2.08	171.00
	标准偏差	0.26	156.76	22.11	1.78	89.03
	变异系数	0.04	1.69	0.43	0.86	0.52

1) BDL: below detection limit, 低于检测限; 样本数 $n = 20$

表4 土壤重金属含量与其它水岸带的比较¹⁾/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Table 4 Concentration of heavy metals in riparian zone soils and comparison with others/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$

区域	Cu	Pb	Cd	Zn
大冶湖(本研究)	100.69	52.51	2.81	155.13
珠江 ^[15]	60.95	93.06	4.60	274.41
三峡 ^[16]	35.70	42.89	0.49	88.09
金水河 ^[17]	217.90	25.64	—	89.38
铜陵市惠溪河 ^[14]	665.20	331.91	9.24	1368.34
山东部分水域 ^[18]	18.38	22.48	0.14	56.13

1) “—”无数据

中重金属 Cu、Pb、Cd、Zn 的含量。

2.2 重金属含量空间分布特征

为了探讨湖滨带土壤重金属含量的空间分布特征,对各采样点重金属进行比较分析。分析结果如图2所示。大冶湖滨岸带土壤中 Cu 主要集中在 D1、D19, D1、D2、D3、D16 中 Pb 含量较高, Cd 污染主要集中在 D1、D2、D3、D9、D18。D1、D2、D3 附近有冯家山矿,有矿渣堆积,污染物可随地表径流污染周边环境; D1、D19 附近有铜绿山铜矿,为重金属的主要来源; D16 附近有排洪港,居民生活污水及工业污水通过港渠排入大冶。总体来看,大冶湖西边重金属 Cu、Pb、Cd、Zn 的含量普遍高于东边,这是由于铜绿山铜矿、大冶有色冶炼厂、大冶铁矿,矿产及工业城镇大都分布于大冶湖流域西部,大量“三废”物质未经处理而直接排入湖区,致使湖滨带西部受重金属污染异常严重。其中重金属 Zn 含量均较高,分布广,是由于锌化合物广泛存在于选矿厂、采矿场、冶金联合企业、镀锌厂、有机合成

工厂、造纸厂和仪器仪表厂等排放的工业废水中。

由表3可看出,对比深度为0~10 cm 和10~20 cm 土壤的 pH 及各重金属污染状况,发现深度为0~10 cm 土壤的平均 pH 值小于10~20 cm 土壤且都偏酸性,研究表明,酸性条件下重金属元素活动性较强。0~10 cm 土壤重金属 Cu、Pb、Cd 的平均含量大于10~20 cm 较深层土壤,只有 Zn 的平均含量小于10~20 cm 土壤。由图2可知, D1、D3、D4、D9、D18 的 Cu、Pb、Cd、Zn 含量0~10 cm 土壤均高于10~20 cm 土壤, D1、D3 位于有铜绿山矿区附近,采矿粉尘、矿渣及矿物运输为重金属的主要来源; D9 0~10 cm 土壤受 Cd 污染异常严重,在采样点附近400 m 左右有排污口,采样时0~10 cm 土壤为黑色,10~20 cm 土壤为黄色,可能采样时恰逢排污期; D18 附近为工业生产基地,烟尘及工业废水的排放使0~10 cm 深土壤重金属含量较高。这些较明显的污染源通过直接排放、地表径流、大气降尘等途径排入湖中,致使湖滨带0~10 cm 深土壤受污染较10~20 cm 深土壤严重。而10~20 cm 深土壤中 Zn 的平均含量高于0~10 cm 土壤,以及其他10~20 cm 土壤重金属污染较0~10 cm 严重,可见,10~20 cm 土壤重金属含量为大冶湖流域多年冶炼历史累积而成,0~10 cm 土壤重金属污染是由近期人为活动造成,这与大冶湖周边广泛分布小选矿、小洗矿、小冶炼、小红砖、小化工等“五小”污染企业的生产活动密不可分。

重金属污染具有空间连续性,可以在土壤和水体中进行转移。土壤中水溶性重金属和非水溶性重

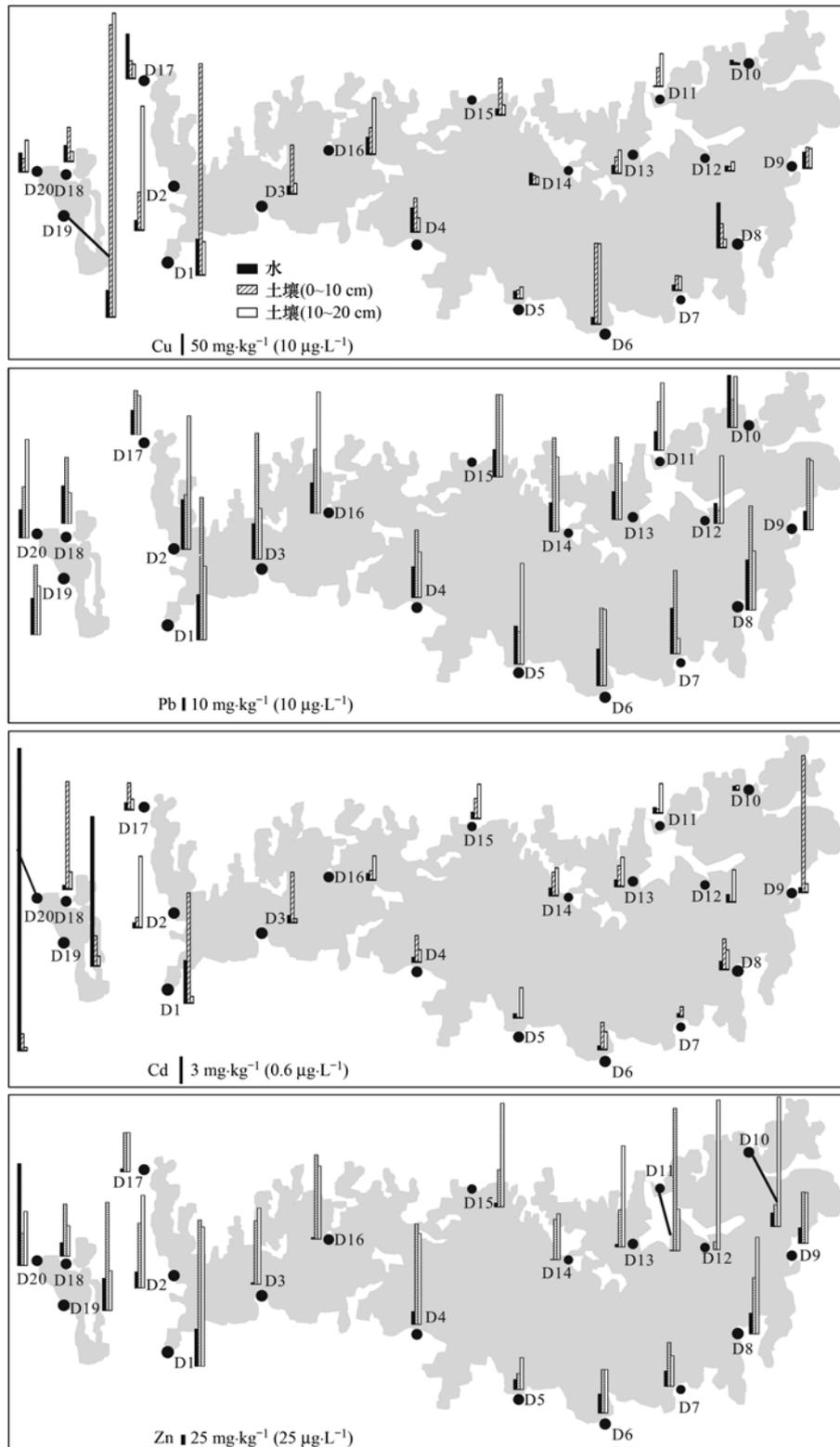


图2 大冶湖沿岸水及滨岸带土壤中重金属的空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of heavy metal concentrations in coastal water and riparian zone soils from Daye Lake

金属可在一定条件下相互转化^[19],大冶湖流域排污口较多,受重金属影响较严重,涨落水及降雨都有可能将滨岸带土壤中可溶态重金属带入水体,造成二

次污染. 由图2可知,D4、D8、D9、D14、D17中Cu从土壤中迁移转化到水中的比率高,而D11从土壤迁移到水体中的比率低,可能是由于较高的土

壤 pH 值以及较丰富的植被情况. 由于 D10 水溶性重金属 Pb 的含量较高, 导致土壤与水中趋势不一致, 可能是近期有大量含 Pb 废水排放, 而其他点位水与土壤的变化趋势较为一致. D3、D11 ~ D16 中 Zn 的迁移率很低, 这可能与土壤性质、周边环境及重金属赋存形态密切相关. 其中 Cd、Zn 在 D18、D19、D20 水中重金属含量较高, 与土壤含量不一致, 由于水样 pH 较低, 可见, 水-土中重金属分布受 pH 影响较大.

2.3 土壤中重金属形态特征

不同形态的重金属在适当的环境条件下是可以相互转化的, 重金属形态是评价其环境行为和生态效应的基础. 在重金属元素 BCR 形态分析中, 将金属元素的化学形态按实验操作定义为弱酸态、可还原态、可氧化态和残渣态. 残渣态是相对稳定的, 其所占比例越高, 重金属可迁移部分、生物可利用部分越少, 对环境的影响也就越小^[20]; 弱酸态具有易溶出的特性, 在一定环境下可以发生相互转化及时空迁移变化, 其所占比例越高, 可迁移部分、生物可利用部分越高, 对环境的影响也就越大; 可还原态和可氧化态

一般条件下不易溶出, 但在一定的环境条件下可转化成生物可利用态, 也具有潜在的环境风险.

由图 3 可看出, D5 ~ D14 中 Cu、D6 ~ D15 中 Pb、D4 ~ D16 中 Cd、D3 ~ D16 中 Zn 均主要以残渣态存在, 由此可知大冶湖东岸带重金属较为稳定, 不易迁移, 对生态环境影响较小. 西岸带重金属活性较大, 易迁移, 在一定条件下可转化成生物可利用态, 具有较强的潜在环境风险. 由表 5 可知, Cu、Pb、Cd、Zn 均主要以残渣态形式存在. 在酸性条件下, 重金属元素迁移顺序是: Cd > Cu > Zn > Pb, 其中 Cd 易迁移, 在自然雨水、酸雨等介质条件下容易淋滤出来污染地下水或者接触到人体皮肤, 危害较大; 在还原性条件和氧化性下, 重金属元素迁移顺序分别是 Pb > Cd > Cu > Zn 和 Cu > Pb > Zn > Cd, 其中 Cu、Pb 的还原态和氧化态含量较高, 这两种形态可能会随着环境中 pH、温度、氧化还原电位、有机物种类及含量的改变而转化为酸可提取态, 因此元素 Cu、Pb 也存在较大的潜在污染风险. 重金属元素整体迁移顺序是: Pb > Cu > Cd > Zn, 其中 Cu、Pb 除残渣态外其他形态之和在 50% 以上, 易发生迁

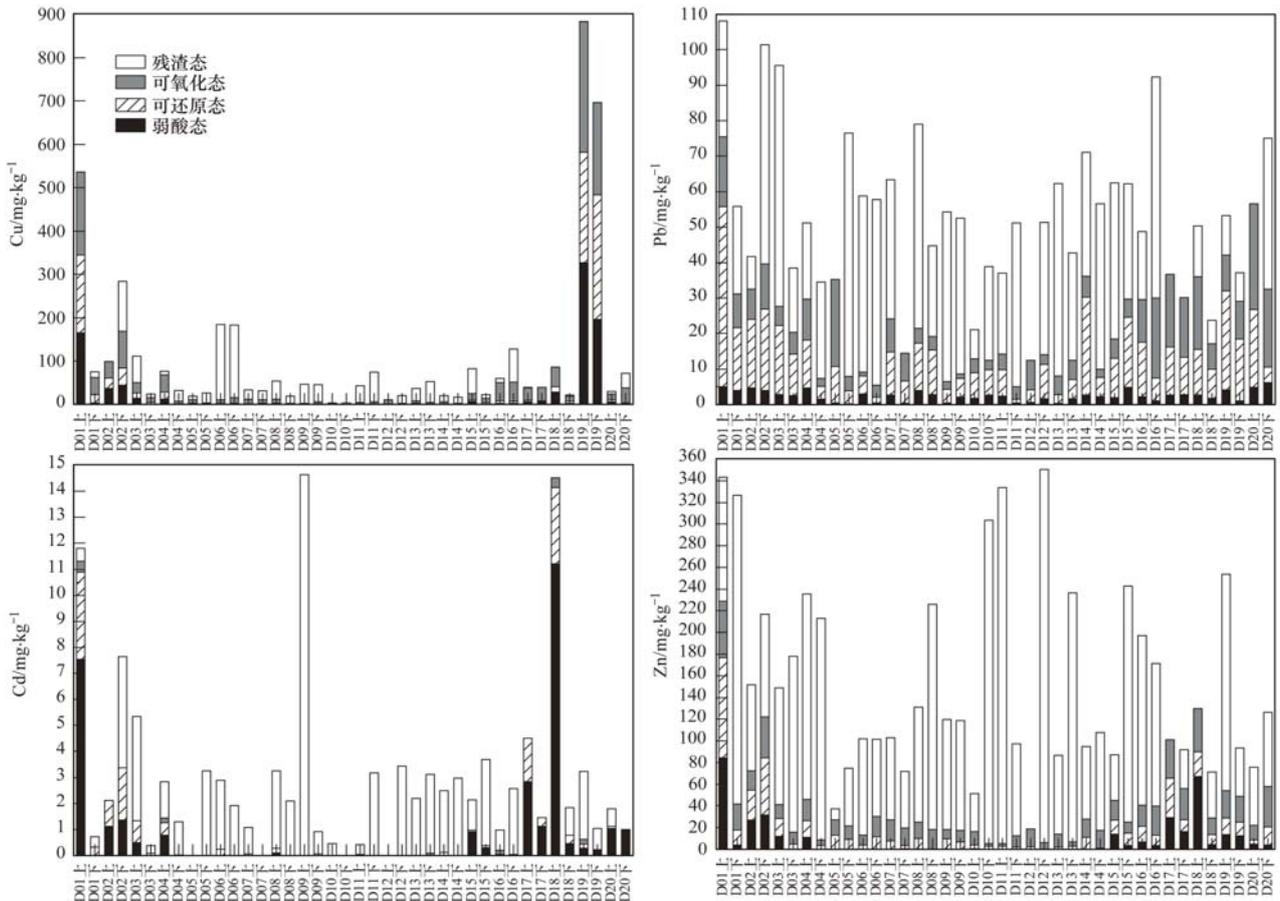


图 3 滨岸带土壤重金属形态特征

Fig. 3 Chemical forms of heavy metals in riparian zone soils from Daye Lake

移,对环境存在较大的污染风险^[21].

表 5 大冶湖滨岸带土壤重金属元素形态特征

Table 5 Distribution of speciation of heavy metals in riparian zone soils from Daye Lake

项目	Cu	Pb	Cd	Zn
弱酸态	0.094 2	0.050 3	0.241 6	0.058 4
还原态	0.100 3	0.251 3	0.110 6	0.095 5
氧化态	0.327 4	0.227 2	0.009 6	0.167 0
残渣态	0.480 3	0.477 8	0.636 4	0.683 2

2.4 风险评价

采用风险评价指数对土样中重金属进行风险等级划分评价,其特点为只考虑重金属的生物有效性

表 6 各金属元素的生物可利用程度和环境风险程度

Table 6 Bioavailability and environment risks of different heavy metals

项目	土壤深度 0~10 cm				土壤深度 10~20 cm			
	Cu	Pb	Cd	Zn	Cu	Pb	Cd	Zn
RAC 值	0.140 3	0.055 2	0.256 4	0.087 1	0.048 2	0.045 4	0.226 8	0.029 7
生物可利用程度	中等	低	中等	低	低	低	中等	低
环境风险程度	中等风险	低风险	中等风险	低风险	低风险	低风险	中等风险	低风险

潜在生态危害指数法是土壤(沉积物)重金属污染研究中较为常用的风险评估方法^[23,24],它不仅考虑了土壤重金属含量,同时兼顾了重金属的生态效应、环境效应与毒理学特征.由表7可知,以单个重金属潜在生态危害系数评价,大冶湖滨带土壤中主要生态风险因子是元素Cd,0~10 cm土壤中各采样点平均 E_r^i 值为619.4,10~20 cm土壤中各采样点平均 E_r^i 值为362.2,均已超过320,特别是0~10 cm的表层土壤已远超过320,且Cd的相对生物毒性系数最高,是主要的生态风险因子,因此Cd已极具强生态危害;其余3种重金属Cu、Pb、Zn的 E_r^i

表 7 大冶湖滨岸带土壤生态危害系数

Table 7 Potential ecological risk coefficient in riparian zone soils of Daye Lake

项目	土壤深度 0~10 cm				土壤深度 10~20 cm			
	Cu	Pb	Cd	Zn	Cu	Pb	Cd	Zn
生态危害系数	17.7	10.0	619.4	1.7	15.1	9.7	362.2	2.0
潜在生态危害指数	648.7				389.1			

3 结论

(1)大冶湖沿岸水及滨岸带表层土上层(0~10 cm)和下层(10~20 cm)土壤中Pb和Cd含量上层高于下层,而Cu和Zn含量是下层高于上层,其中Cd污染均较严重,个别点位存在含重金属废水排放问题.

(2)重金属水土迁移受pH值、金属形态和土壤植被等影响较大.大冶湖西岸带重金属较东岸带

含量,不考虑重金属总量.该方法适用于顺序提取法分析的重金属形态结果,评价重金属的环境风险是一种有效的手段^[21,22].各重金属元素的RAC值及其生物可利用性及风险程度见表6.大冶湖滨岸带上层土壤中各金属的RAC值均大于下层.其中对环境危害最严重的为Cd,其在上下层土壤中的RAC值分别为25.64%、22.68%,生物可利用程度及对环境风险程度均为中等.较易发生迁移并被作物吸收富集,并通过食物链影响人体健康,对环境有一定风险,上下层土壤中Cu的生物可利用程度及对环境风险程度分别为中等、低.Pb、Zn的弱酸态含量均较低,生物有效性较低,对环境呈低风险.

值均小于40,属轻微生态危害.生态风险影响程度由高到低依次为: Cd > Cu > Pb > Zn.

潜在生态危害指数法^[25]结合了生态学、生物毒理学、环境化学等方面的内容,定量地划分出重金属潜在危害的程度.现以重金属潜在生态危害指数评价大冶湖滨岸带土壤,20个采样点0~10 cm土壤和10~20 cm土壤中平均RI值分别为648.7、389.1,分别为很强生态危害、强生态危害,特别是0~10 cm的表层土壤,说明大冶湖滨岸带土壤已极具强生态危害,与上文水体重金属结论一致,且受人类活动影响较大.

易迁移,潜在环境风险较大.整体迁移顺序由大到小为: Pb > Cu > Cd > Zn,其中Cu、Pb除残渣态外其他形态之和在50%以上,易发生迁移,对环境存在较大的污染风险.

(3)大冶湖滨岸带土壤重金属中主要风险因子为Cd.Cd的风险评价指数最高,生物可利用程度为中等,对环境风险程度属于中等风险.Cu、Pb、Zn的生物可利用性与环境风险较弱.0~10 cm、10~20 cm土壤中Cd的各采样点平均 E_r^i 值分别为

619.4、362.2,均已超过320。生态风险影响程度由高到低依次为: Cd > Cu > Pb > Zn。0~10 cm 土壤和10~20 cm 土壤中平均 RI 值分别为648.7、389.1,0~10 cm 土壤的生态危害高于10~20 cm 土壤。

参考文献:

- [1] 柴培宏,代嫣然,梁威,等. 湖滨带生态修复研究进展[J]. 中国工程科学,2010,12(6):32-35.
- [2] Huang G H, Xia J. Barriers to sustainable water-quality management[J]. Journal of Environmental Management, 2001, 61(1): 1-23.
- [3] Xiao R, Bai J H, Wang Q G, et al. Assessment of heavy metal contamination of wetland soils from a typical aquatic-terrestrial ecotone in Haihe river basin, North China[J]. Clean-Soil, Air, Water, 2011, 39(7): 612-618.
- [4] 卢宏伟,曾光明,金相灿,等. 湖滨带生态系统恢复与重建的理论、技术及其应用[J]. 城市环境与城市生态,2003,16(6):91-93.
- [5] 王佩,卢少勇,王殿武,等. 太湖湖滨带底泥氮、磷、有机质分布与污染评价[J]. 中国环境科学,2012,32(4):703-709.
- [6] 孙清斌,尹春芹,邓金锋,等. 大冶湖矿区周边农田土壤和油菜重金属污染特征研究[J]. 农业环境科学学报,2012,31(1):85-91.
- [7] 孙铁珩. 污染生态学[M]. 北京:科学出版社,2002. 18-24.
- [8] 鲁珍,李晔,马啸,等. 大冶湖2000-2009年地表水质评价及污染趋势预测[J]. 环境科学与技术,2012,35(5):174-178.
- [9] 王亚平,黄毅,王苏明,等. 土壤和沉积物中元素的化学形态及其顺序提取法[J]. 地质通报,2005,24(8):728-734.
- [10] Singh A K, Hasnain S I, Banerjee D K. Grain size and geochemical partitioning of heavy metals in sediments of the Damodar River-a tributary of the lower Ganga, India [J]. Environment Geology, 1999, 39(1): 90-98.
- [11] 崔艳芳,滕彦国,刘晶,等. 生物可利用性及其在重金属污染生态风险评价中的作用[J]. 环境保护科学,2008,34(1):44-46.
- [12] 焦伟,卢少勇,李光德,等. 滇池内湖滨带重金属污染及其生态风险评价[J]. 农业环境科学学报,2010,29(4):740-745.
- [13] Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. a sedimentological approach [J]. Water Research, 1980, 14(8): 995-1001.
- [14] 李如忠,徐晶晶,姜艳敏,等. 铜陵市惠溪河滨岸带土壤重金属形态分布及风险评估[J]. 环境科学研究,2013,26(1):88-96.
- [15] Zhang H G, Cui B S, Xiao R, et al. Heavy metals in water, soils and plants in riparian wetlands in the Pearl River Estuary, South China [J]. Procedia Environmental Sciences, 2010, 2: 1344-1354.
- [16] Ye C, Li S Y, Zhang Y L, 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.
- [17] 何文鸣,吴峰,张昌盛,等. 河岸带土壤重金属元素的污染及危害评价[J]. 生态学报,2011,30(9):1993-2001.
- [18] 张菊,陈诗越,邓焕广,等. 山东省部分水岸带土壤重金属含量及污染评价[J]. 生态学报,2012,32(10):3144-3153.
- [19] 房存金. 土壤中主要重金属污染物的迁移转化及治理[J]. 当代化工,2010,39(4):458-460.
- [20] 马旺海,曹斌,杨进峰,等. 城市重金属污染特征[J]. 中央民族大学学报(自然科学版),2008,17(1):66-73.
- [21] 王利军,卢新卫,雷凯,等. 宝鸡市街尘重金属元素含量、来源及形态特征[J]. 环境科学,2011,32(8):2470-2476.
- [22] Rodriguez L, Ruiz E, Alonso-Azcarate J, et al. Heavy metal distribution and chemical Speciation in tailings and soils around a Pb-Zn mine in Spain [J]. Environmental Management, 2009, 90(2): 1106-1116.
- [23] 郭平,谢忠雷,李军,等. 长春市土壤重金属污染特征及其潜在生态风险评价[J]. 地理科学,2005,25(1):108-112.
- [24] 方淑波,贾晓波,安树青,等. 盐城海岸带土壤重金属潜在生态风险控制优先格局[J]. 地理学报,2012,67(1):27-34.
- [25] 叶玉瑶,张虹鸥,谈树成. 个旧城区土壤中重金属潜在生态危害评价[J]. 热带地理,2004,24(1):14-17,54.

CONTENTS

Ozone Source Apportionment at Urban Area during a Typical Photochemical Pollution Episode in the Summer of 2013 in the Yangtze River Delta	LI Hao, LI Li, HUANG Cheng, <i>et al.</i> (1)
Pollution Characteristics and Ozone Formation Potential of Ambient VOCs in Winter and Spring in Xiamen	XU Hui, ZHANG Han, XING Zhen-yu, <i>et al.</i> (11)
Temporal and Spatial Characteristics of Atmospheric NO ₂ over Hainan Island and the Pollutant Sources in Recent 10 Years	FU Chuan-bo, CHEN You-long, DAN Li, <i>et al.</i> (18)
Composition of Organic Carbon/Elemental Carbon and Water-soluble Ions in Rice Straw Burning	HONG Lei, LIU Gang, YANG Meng, <i>et al.</i> (25)
Gas Chromatography with a Pulsed Discharge Helium Ionization Detector for Measurement of Molecular Hydrogen(H ₂) in the Atmosphere	LUAN Tian, FANG Shuang-xi, ZHOU Ling-xi, <i>et al.</i> (34)
Partial Pressure of CO ₂ and CO ₂ Degassing Fluxes of Huayankou and Xiaolangdi Station Affected by Xiaolangdi Reservoir	ZHANG Yong-ling, YANG Xiao-lin, ZHANG Dong (40)
Distribution of Biogenic Organic Dimethylated Sulfur Compounds and Its Influencing Factors in the East China Sea in Summer	LI Jiang-ping, ZHANG Hong-hai, YANG Gui-peng (49)
Remote Sensing Estimation of Total Suspended Matter Concentration in Xin'anjiang Reservoir Using Landsat 8 Data	ZHANG Yi-bo, ZHANG Yun-lin, ZHA Yong, <i>et al.</i> (56)
Spatio-temporal Characteristics and Source Identification of Water Pollutants in Wenruiang River Watershed	MA Xiao-xue, WANG La-chun, LIAO Ling-ling (64)
Effect of Hydrochemistry Characteristics Under Impact of Human Activity: A Case Study in the upper Reaches of the Xijiang River Basin	YU Shi, SUN Ping-an, DU Wen-yue, <i>et al.</i> (72)
Annual Variation of Different Phosphorus Forms and Response of Algae Growth in Meiliang Bay of Taihu Lake	WANG Ming, WU Xiao-fei, LI Da-peng, <i>et al.</i> (80)
Distribution of Transferable Nitrogen in Poyang Lake Sediments and Its Response to the Variation of River-Lake Relationship	SHEN Hong-yan, ZHANG Mian-mian, NI Zhao-kui, <i>et al.</i> (87)
Effect of Environmental Factors on Macroinvertebrate Community Structure in the Huntai River Basin in the Huntai River Basin	LI Yan-li, LI Yan-fen, XU Zong-xue (94)
Effects of Outbreak and Extinction of Algal Blooms on the Microbial Community Structure in Sediments of Chaohu Lake	DIAO Xiao-jun, LI Yi-wei, WANG Shu-guang (107)
Impacts of Algal Blooms Accumulation on Physiological Ecology of Water Hyacinth	WU Ting-ting, LIU Guo-feng, HAN Shi-qun, <i>et al.</i> (114)
Speciation and Spatial-temporal Variation of Mercury in the Xiaolangdi Reservoir	CHENG Liu, MAO Yu-xiang, MA Bing-juan, <i>et al.</i> (121)
Spatial Distribution of Mercury in Soils of a Typical Small Agricultural Watershed in the Three Gorges Reservoir Region	WANG Ya, ZHAO Zheng, MU Zhi-jian, <i>et al.</i> (130)
Temporal and Spatial Variation of Mercury in Water of Agro-forestry and Livestock Compound Watershed in the Three Gorges Reservoir Area	ZHAO Zheng, WANG Ya, MU Zhi-jian, <i>et al.</i> (136)
Effect of External Condition on the Static Migration and Release of Dibutyl-phthalate in the Soil of the Fluctuating Zone of the Three Gorges Reservoir to the Overlying Water	SONG Jiao-yan, MU Zhi-jian, WANG Qiang, <i>et al.</i> (143)
Ultraviolet-Visible(UV-Vis) and Fluorescence Spectral Characteristics of Dissolved Organic Matter(DOM) in Soils of Water-Level Fluctuation Zones of the Three Gorges Reservoir Region	GAO Jie, JIANG Tao, LI Lu-lu, <i>et al.</i> (151)
Characterization of Chromophoric Dissolved Organic Matter(CDOM) in Zhoushan Fishery Using Excitation-Emission Matrix Spectroscopy(EEMs) and Parallel Factor Analysis(PARAFAC)	ZHOU Qian-qian, SU Rong-guo, BAI Ying, <i>et al.</i> (163)
Pollution Characteristics and Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Organochlorine Pesticides in Groundwater at Xiaodian Sewage Irrigation Area, Taiyuan City	LI Jia-le, ZHANG Cai-xiang, WANG Yan-xin, <i>et al.</i> (172)
Risk Assessment and Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Surface Sediments of Xinglin Bay Suburb Rivers of Xiamen	CHENG Qi-ming, HUANG Qing, LIAO Zhen-ni, <i>et al.</i> (179)
Comparative Analysis of Two Different Methods for Risk Assessment of Groundwater Pollution: A Case Study in Beijing Plain	WANG Hong-na, HE Jiang-tao, MA Wen-jie, <i>et al.</i> (186)
Transportation and Risk Assessment of Heavy Metal Pollution in Water-Soil from the Riparian Zone of Daye Lake, China	ZHANG Jia-quan, LI Xiu, ZHANG Quan-fa, <i>et al.</i> (194)
Arsenic Removal by Coagulation Process and the Field Expanding Experiments for Yangzonghai Lake	CHEN Jing, ZHANG Shu, YANG Xiang-jun, <i>et al.</i> (202)
Efficient Oxidative Degradation of Tetrabromobisphenol A by Silver Bismuth Oxide	CHEN Man-tang, SONG Zhou, WANG Nan, <i>et al.</i> (209)
Removal of Tetracycline by a Kind of Nano-Sized Amorphous Carbon	WU Yi-xiao, LI Ai-min, WANG Di-hua, <i>et al.</i> (215)
Adsorption Behavior of Anionic Dyes onto Magnetic Chitosan Derivatives	ZHANG Cong-lu, HU Xiao-min, ZHAO Yan, <i>et al.</i> (221)
Forming Mechanism of Humic Acid-Kaolin Complexes and the Adsorption of Trichloroethylene	ZHU Xiao-jing, HE Jiang-tao, SU Si-hui (227)
Impact on the Microbial Community of Municipal Sewage in the ANAMMOX System During the Cooling Process	ZHAO Zhi-rui, MIAO Zhi-jia, LI Duo, <i>et al.</i> (237)
Application of FISH-NanoSIMS Technique in Environmental Microbial Ecology Study	CHEN Chen, BAI Yao-hui, LIANG Jin-song, <i>et al.</i> (244)
Influence of Microcystin-LR on Cell Viability and Surface Characteristics of <i>Pseudomonas putida</i>	DENG Ting-jin, YE Jin-shao, PENG Hui, <i>et al.</i> (252)
Screening, Combination of Microbial Deodorizer and the Optimization of Its Deodorizing Conditions	ZENG Su, LI Nan-hua, SHENG Hong-chan, <i>et al.</i> (259)
Distribution and Enrichment Characteristics of Organochlorine Pesticides in Water and Halobios from Qingbang Island in Zhoushan, China	ZHANG Ze-zhou, XING Xin-li, GU Yan-sheng, <i>et al.</i> (266)
Levels of Polychlorinated Biphenyls in Tibetan and Yi Adolescents' Hair from Liangshan Prefecture, Sichuan Province	ZHOU Ying, SUN Yi-ming, JIN Jun, <i>et al.</i> (274)
Effects of Single and Co-Exposure of Cu and Chlorpyrifos on the Toxicity of Earthworm	XU Dong-mei, WANG Yan-hua, WANG Nan, <i>et al.</i> (280)
Effect of Exogenous Selenium on Accumulation and Chemical Forms of Cadmium in Cucumber(<i>Cucumis sativus</i> L.)	XIONG Shi-juan, LIU Jun, XU Wei-hong, <i>et al.</i> (286)
Pollution Characteristics of Platinum Group Elements in Road Rust in Xiamen	HONG Zhen-yu, HONG You-wei, YIN Li-qian, <i>et al.</i> (295)
Spatial Distribution of Se in Soils from Different Land Use Types and Its Influencing Factors Within the Yanghe Watershed, China	SHANG Jing-min, LUO Wei, WU Guang-hong, <i>et al.</i> (301)
Immobilization Impact of Different Fixatives on Heavy Metals Contaminated Soil	WU Lie-shan, ZENG Dong-mei, MO Xiao-rong, <i>et al.</i> (309)
Form Tendency and Bio-availability Dynamics of Cu and Zn in Different Farm Soils After Application of Organic Fertilizer of Livestock and Poultry Manures	SHANG He-ping, LI Yang, ZHANG Tao, <i>et al.</i> (314)
Analysis of Composition Characteristics of Municipal Solid Waste in South China	ZHANG Hai-long, LI Xiang-ping, QI Jian-ying, <i>et al.</i> (325)
Sewage Sludge Conditioning by Bioleaching Combined with Fenton-like Oxidation	LIU Chang-geng, ZHANG Pan-yue, JIANG Jiao-jiao, <i>et al.</i> (333)
Applicability of Bisphenol A Detection by a Planar Waveguide Fluorescent Biosensor	XU Wei-qi, ZHANG Yong-ming, ZHOU Xiao-hong, <i>et al.</i> (338)
A New "Turn-on" Fluorescent Probe for Visual Detection of Hydrogen Sulfide	LIU Chun-xia, MA Xing, WEI Guo-hua, <i>et al.</i> (343)
Analysis of Sap Flow Characteristics of the Chinese Pine in Typical Loess Plateau Region of China	ZHANG Han-dan, WEI Wei, CHEN Li-ding, <i>et al.</i> (349)
Simultaneous Production of Hydrogen and Volatile Fatty Acid from <i>Macrocystis pyrifera</i>	ZHAO Xiao-xian, FAN Xiao-lei, GUO Rong-bo, <i>et al.</i> (357)
Behaviors of Engineered Nanoparticles in Aquatic Environments and Impacts on Marine Phytoplankton	LI Man-lu, JIANG Yue-lu (365)

《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)

2015年1月15日 第36卷 第1期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 36 No. 1 Jan. 15, 2015

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. sciencecp. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencecp. 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: 120.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行