ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第1期

Vol.33 No.1

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办

科学出版社 出版

中国期刊方阵 双奖期刊 中华人民共和国新闻出版总署

环境科学
(HUANJING KEXUE)
ENVIRONMENTAL SCIENCE
第33卷 第1期
2012年1月15日

目 次

30年来中国民航运输行业的大气污染物排放 …… 何吉成(1)
北京上甸子站气相色谱法大气 CH_4 和 CO 在线观测方法研究 …… 汪巍,周凌晞,方双喜,张芳,姚波,刘立新(8)
2010年1月北京城区大气消光系数重建及其贡献因子 …… 朱李华,陶俊,陈忠明,赵岳,张仁健,曹军骥(13)
广东东江流域多氯萘的大气沉降研究 …… 王琰,李军,刘向,成志能,张瑞杰,张干(20)
塔克拉玛干沙尘暴源区空气微生物群落的代谢特征 … 段魏巍,娄恺,曾军,胡蓉,史应武,何清,刘新春,孙建,晁群芳(26)
紫外光降解对生物过滤塔去除氯苯性能的影响机制研究 …… 王灿,席劲瑛,胡洪营,姚远(32)
春季黄渤海溶解有机碳的平面分布特征 …… 丁雁雁,张传松,石晓勇, 商荣宁(37)
春季胶州湾海水汞的形态研究 …… 许廖奇,刘汝海,王金玉,汤爱坤,王舒(42)
丽江盆地地表-地下水的水化学特征及其控制因素 …… 蒲焘,何元庆,朱国锋,张蔚,曹伟宏,常丽,王春凤(48)
塔里木河下游输水间歇地下水埋深及化学组分的变化 …… 陈永金,李卫红,董杰,刘加珍 (55)
某危险废物填埋场地下水污染预测及控制模拟 …… 马志飞,安达,姜永海,席北斗,李定龙,张进保,杨昱(64)
北京市城市降雨径流水质评价研究 …… 侯培强,任玉芬,王效科,欧阳志云,周小平(71)
重庆市路面降雨径流特征及污染源解析 …… 张千千,王效科,郝丽岭,侯培强,欧阳志云 (76)
沉水植物床-固定化微生物技术在水源地修复中的应用研究 …… 陈祈春,李正魁,王易超,吴凯,范念文(83)
Pd/TiO_2 对水体中2,4-二氯酚的催化加氢脱氯研究 …… 张寅,邵芸,陈欢,万海勤,万玉秋,郑寿荣(88)
pH值对纳米零价铁吸附降解2,4-二氯苯酚的影响 …… 冯丽, 葛小鹏, 王东升, 汤鸿霄(94)
给水管网中耐氯性细菌的灭活特性研究 …… 陈雨乔,段晓笛,陆品品,王茜,张晓健,陈超(104)
安徽省畜禽粪便污染耕地、水体现状及其风险评价 …… 宋大平,庄大方,陈巍(110)
染整废水深度处理纳滤工艺膜污染成因分析 …… 曹晓兵,李涛,周律,杨海军,王晓(117)
间歇式气水联合反冲洗生物炭池的试验研究 …… 谢志刚,邱雪敏,赵燕玲(124)
pH及表面活性剂对诺氟沙星在海洋沉积物上吸附行为的影响 …… 庞会玲,杨桂朋,高先池,曹晓燕(129)
硅在湖泊沉积物上的吸附特征及形态分布研究 …… 吕昌伟,崔萌,高际玫,张细燕,万丽丽,何江,孟婷婷,白帆,杨旭(135)
农作物残体制备的生物质炭对水中亚甲基蓝的吸附作用 …… 徐仁扣, 赵安珍, 肖双成, 袁金华 (142)
高分子固体废物基活性炭对有机染料的吸附解吸行为研究 …… 廉菲,刘畅,李国光,刘一夫,李勇,祝凌燕(147)
活性污泥对四环素的吸附性能研究 …… 陈瑞萍,张丽,于洁,陶芸,张忠品,李克勋,刘东方(156)
加油站油类污染物自然衰减现场试验研究 …… 贾慧, 武晓峰, 胡黎明, 刘培斌(163)
生物质炭对土壤中氯苯类物质生物有效性的影响及评价方法 …… 宋洋,王芳,杨兴伦,卞永荣,谷成刚,谢祖彬,蒋新(169)
利用第二缺氧段硝酸盐氮浓度作为MUCT工艺运行控制参数 …… 王晓玲,尹军,高尚(175)
数学模拟好氧颗粒污泥的形成及水力剪切强度对颗粒粒径的影响 …… 董峰, 张捍民, 杨凤林(181)
不同污泥停留时间对城市污泥生物沥浸推流式运行系统的影响 …… 刘奋武,周立祥,周俊,姜峰,王电站(191)
间歇曝气生物滤池生物除磷性能研究 …… 曾龙云, 杨春平, 郭俊元, 罗胜联(197)
鸡粪与互花米草沼渣混合发酵产甲烷的研究 …… 陈广银,常志州,叶小梅,杜静,徐跃定,张建英(203)
北京市生活垃圾填埋场产甲烷不确定性定量评估 …… 陈操操,刘春兰,李铮,王海华 ,张妍,王璐(208)
外加酶强化剩余污泥微生物燃料电池产电特性的研究 …… 杨慧,刘志华,李小明,杨麒,方丽,黄华军,曾光明,李硕(216)
赤潮藻电致化学发光分子探针检测系统的构建 …… 朱霞,甄毓,米铁柱,池振明,徐晓春(222)
邻苯二甲酸二丁酯对短裸甲藻的抑制机制研究 …… 别聪聪,李锋民,王一斐,王昊云,赵雅菡,赵薇,王震宇(228)
纳米 TiO_2 对短裸甲藻的毒性效应 …… 李锋民,赵薇,李媛媛,田志佳,王震宇(233)
苏州河底泥3种内分泌干扰物的空间分布及环境风险 ……
…… 李洋,胡雪峰,王效举,茂木守,大塚宜寿,细野繁雄,杜艳,姜琪,李珊,冯建伟(239)
电子废物拆解区农业土壤中PCNs的污染水平、分布特征与来源解析 ……
…… 王学彤,贾金盼,李元成,孙阳昭,吴明红,盛国英,傅家谟(247)
洛阳市不同功能区道路灰尘重金属污染及潜在生态风险 …… 刘德鸿,王发园,周文利,杨玉建(253)
湘江流域土壤重金属污染及其生态环境风险评价 …… 刘春早,黄益宗,雷鸣,郝晓伟,李希,铁柏清,谢建治(260)
广西铅锑矿冶炼区土壤剖面及孔隙水中重金属污染分布规律 …… 项萌,张国平,李玲,魏晓飞,蔡永兵(266)
缺氧条件下土壤砷的形态转化与环境行为研究 …… 吴锡, 许丽英, 张雪霞, 宋雨, 王新, 贾永锋(273)
可渗透反应复合电极法对铬(Ⅵ)污染土壤的电动修复 …… 付融冰,刘芳,马晋,张长波,何国富(280)
胡敏酸对汞还原能力的测定和表征 …… 江韬,魏世强,李雪梅,卢松,李梦婕,罗畅(286)
Zn(Ⅱ)对生物质碳源处理酸性矿山排水中厌氧微生物活性影响 …… 黎少杰,陈天虎,周跃飞,岳正波,金杰,刘畅(293)
油气田土壤样品中可培养丁烷氧化菌多样性研究 …… 张莹,李宝珍,杨金水,汪双清,袁红莉(299)
利用PCR-DGGE分析未开发油气田地表微生物群落结构 …… 满鹏,齐鸿雁,呼庆,马安周,白志辉,庄国强(305)
黄土高原六道沟流域8种植物根际细菌与AMF群落多样性研究 …… 封晔,唐明,陈辉,丛伟(314)
鸡粪与猪粪所含土霉素在土壤中降解的动态变化及原因分析 …… 张健, 关连珠, 颜丽(323)
杂质对废塑料裂解产物及污染物排放的影响 …… 赵磊, 王中慧,陈德珍,马晓波,栾健(329)
《环境科学》征稿简则(7) 《环境科学》征订启事(19) 信息(47,70,202,304)

湘江流域土壤重金属污染及其生态环境风险评价

刘春早[1,2],黄益宗[1*],雷鸣[3],郝晓伟[1],李希[3],铁柏清[3],谢建治[2]
(1. 中国科学院生态环境研究中心,北京 100085; 2. 河北农业大学资源与环境科学学院,保定 071000; 3. 湖南农业大学资源环境学院,长沙 410128)

摘要: 采用美国 TCLP(toxicity characteristic leaching procedure)提取重金属和内梅罗综合污染指数评价方法对湖南省湘江流域土壤重金属生态环境风险进行评价. 沿湘江流域采集 72 个土壤样品,测定土壤中的 6 种主要重金属的总量、TCLP 提取的有效态含量及土壤样品的污染级别. 结果表明,湘江流域土壤 As、Cd、Cu、Zn、Ni 和 Pb 总含量分别在 4.25 ~ 549.67、0.13 ~ 76.84、11.49 ~ 281.69、7.75 ~ 7 234.81、5.50 ~ 56.65 和 8.60 ~ 2 084.81 mg·kg^{-1}范围之间,TCLP 提取态含量分别在 0.02 ~ 10.97、0.06 ~ 28.41、0.04 ~ 72.29、0.59 ~ 1 152.32、0.07 ~ 10.65 和 0.17 ~ 1 165.58 mg·kg^{-1}范围内. TCLP 提取的土壤 Cd、Cu、Zn、Ni、Pb 有效态含量分别与其总含量之间存在着显著的相关关系. 72 个土壤样品中属安全水平、警戒水平、轻污染水平、中污染水平和重污染水平所占的比率分别为 60.52%、11.33%、5.65%、4.22% 和 18.38%,说明湘江流域土壤重金属污染存在着比较严重的生态环境风险.

关键词:TCLP; 湘江流域; 土壤; 重金属; 生态环境风险评价
中图分类号: X131.3 **文献标识码**: A **文章编号**: 0250-3301(2012)01-0260-06

Soil Contamination and Assessment of Heavy Metals of Xiangjiang River Basin

LIU Chun-zao[1,2], HUANG Yi-zong[1], LEI Ming[3], HAO Xiao-wei[1], LI Xi[3], TIE Bo-qing[3], XIE Jian-zhi[2]
(1. Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 2. College of Resources and Environment, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, China; 3. College of Resources and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract: The contents of heavy metals (As, Cd, Cu, Zn, Ni and Pb) in soils from Xiangjiang River Basin, Hunan Province, China, were analyzed by toxicity characteristic leaching procedure (TCLP) and Nemrow method. Results showed that the total contents of As, Cd, Cu, Zn, Ni and Pb were 4.25-549.67, 0.13-76.84, 11.49-281.69, 7.75-7 234.81, 5.50-56.65 and 8.60-2 084.81 mg·kg^{-1}, respectively, and the available contents of As, Cd, Cu, Zn, Ni and Pb extracted by TCLP were 0.02-10.97, 0.06-28.41, 0.04-72.29, 0.59-1 152.32, 0.07-10.65 and 0.17-1 165.58 mg·kg^{-1}. The contents of available heavy metals extracted by TCLP correlated with total contents of heavy metals. Moreover, the pollution index Nemrow method showed that 72 samples at safety level, alert level, light pollution level, medium pollution level and heavy pollution level ratios were 60.52%, 11.33%, 5.65%, 4.22% and 18.38% separately, illustrating that pollution of heavy metals in soil samples of Xiangjiang River Basin is serious.

Key words: toxicity characteristic leaching procedure (TCLP); Xiangjiang River Basin; soil; heavy metals; risk assessment

湘江是长江 7 大支流之一,也是湖南省最大的河流,源于广西壮族自治区灵川县海洋山龙门界,由南而北流经广西兴安、全州、冷水滩、祁阳、祁东、常宁、衡阳、衡东、衡山、株洲、湘潭、长沙、望城等地,在湘阴县濠河口注入洞庭湖. 湘江全长 856 km(湖南省境内有 670 km),流域面积 9.46 万 km^2(湖南省境内为 8.53 km^2). 该流域交通发达,人口密集,是湖南省工业化水平最高、城市化发展最快的区域[1].

湖南是重要的有色金属之乡,有着悠久的有色金属开采冶炼历史,大多数有色金属和稀有金属矿藏的开采和冶炼均集中分布于湘江流域内[2]. 长期的有色金属开采与冶炼产生的大量废水、废气和废渣,对湘江流域土壤和水体环境质量将产生影响. 陈咏淑等[3]研究了近 20 年来湘江水质的变化情况,发现湘江总体水质呈恶化趋势. 近年来一些研究者调查了湘江流域的郴州、衡阳和湘潭等地区的土壤重金属污染状况,结果发现部分土壤存在 Pb、Cd、Hg、Cu 和 As 等的严重污染[4~8]. 但在湘江流域内对土壤重金属生态风险评价也较少有报道.

土壤重金属生态环境风险评价应用较广泛的方法有生态风险评价指数法和提取法,但是这些方法均存在不同的适用范围或局限性,例如指数法大多应用于土壤沉积物污染评价,BCR 提取法存在流程

收稿日期: 2011-01-14; **修订日期**: 2011-05-16
基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07212-001-05)
作者简介: 刘春早(1984 ~),女,硕士研究生,主要研究方向为土壤环境质量,E-mail:liuchunzao@163.com
* 通讯联系人, E-mail: hyz@rcees.ac.cn

长、耗时多、元素再分配等方面的不足[9]. Peters[10]在利用螯合剂浸提土壤重金属时指出 NTA(次氮基三乙酸)这种螯合剂属于致癌物质. 目前 TCLP (toxicity characteristic leaching procedure)法被认为是一种有效评价土壤重金属生态风险的简便、快速方法[11]. 此法是美国法庭通用的评价生态环境风险的方法[12,13],也是最新的法定重金属污染评价方法[14,15]. 我国也有一些研究者使用该法来评价矿区土壤重金属的生态风险[11, 16]. 本研究在整个湘江流域进行系统的采集土壤样品,分析土壤重金属含量状况,采用 TCLP 提取重金属和内梅罗指数法评价湘江流域土壤重金属(As、Cd、Cu、Zn、Ni、Pb)的生态环境风险,以期为该流域的土壤重金属污染防治及治理提供科学依据.

1　材料与方法

1.1　土壤采集与测定

土壤采自湖南省湘江流域,流域范围为东经 111°23′11″~113°07′26″,北纬 26°12′31″~28°53′2″,从洞庭湖口开始沿湘江流域约每 5 km 远的距离采集一个土壤样品,确保采集的样品距离湘江两岸 1 km 以内,每个土壤样品由 5 ~8 个蛇形取样的 0 ~20 cm 表层土壤样品混合而来,共采集 72 个样品. 采集土壤时记录每个土壤样品的编号、地点、经度、纬度、土壤质地、土地利用方式等. 土壤经风干,磨细,过 100 目筛,以备待用. 土壤基本理化性质根据文献[17]中的方法进行测定. 其中 pH 值用水土比 2.5∶1,pH 电极法测定; 土壤有机质含量采用低温外热重铬酸钾氧化-比色法测定. 土壤 CEC 依据 Hendershot 等[18]的方法称取 1 ~5 g 土壤样品于 50 mL 离心管中,加 20 mL 0.1 mol·L^{-1}的 $BaCl_2$ 振荡 2 h,离心后过滤,收集溶液经电感耦合等离子体发射光谱仪(ICP-OES,Optima5300DV)测定. 土壤重金属含量采用王水($HCl∶HNO_3 = 3∶1$) + $HClO_4$ 法消解[17],用国家物质标准中心提供的污染土壤样品(GSS-1 和 GSS-5)对消解过程进行质量控制,土壤溶液中的重金属含量用 ICP-OES 和电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)测定.

1.2　TCLP 提取重金属方法

根据土壤酸碱度和缓冲量的不同选用 2 种不同的提取剂[19]:当 pH <5 时,选用提取剂 1(将 5.7 mL 冰醋酸溶入 500 mL 去离子水中,再加入 1 mol·L^{-1}的 NaOH 64.3 mL 定容至 1 L,用 1 mol·L^{-1}的 HNO_3 或 1 mol·L^{-1}的 NaOH 调节溶液 pH 值,使之保持在 4.93 ±0.05 范围)提取; 当 pH >5 时,选用提取剂 2 (将 5.7 mL 冰醋酸溶入去离子水中,定容至 1L,保持溶液 pH 值在 2.88 ±0.05 范围)提取.

提取步骤:提取剂与土壤样品的比例为 20∶1,以(30 ±2)r·min^{-1}的速度常温下(20℃)振荡(18 ±2)h,离心过滤,用 ICP-OES 测定溶液中的重金属含量.

1.3　内梅罗综合指数法评价

由于土壤重金属污染常常是多种不同元素的复合污染,仅靠单一指标难以正确评价土壤重金属的污染程度,因此国内外普遍采用内梅罗(Nemerom)综合污染指数法来评价土壤的重金属污染情况[20]. 其计算公式为:

$$P_{综合} = \sqrt{\frac{P_{ave}^{\ 2} + P_{max}^{\ 2}}{2}}$$

式中,$P_{综合}$为第 n 个样点的综合指数,P_{max}为第 n 个样点中所有评价污染物中单项污染指数的最大值; P_{ave}为第 n 点中所评价污染物单项污染指数的平均值. 一般综合污染指数小于或者等于 1 表示未受污染,大于 1 则表示已受污染[21]. 综合污染指数(P 值)越大表示土壤污染越严重. $P_{综合}$ 分级表见表 1[22].

表 1　土壤综合污染指数分级标准

Table 1　Standard of soil pollution classification

污染指数	污染等级	污染等级	污染水平
$P_{综合} \leqslant 0.7$	1	安全	清洁
$0.7 < P_{综合} \leqslant 1$	2	警戒级	尚清洁
$1 < P_{综合} \leqslant 2$	3	轻污染	土壤轻污染作物开始受到污染
$2 < P_{综合} \leqslant 3$	4	中污染	土壤作物均受中度污染
$P_{综合} > 3$	5	重污染	土壤作物均受污染已相当严重

1.4　数据统计

采用 SPSS 11.5 软件对数据进行统计和 TCLP 提取态与重金属总量之间的相关性分析.

2　结果与分析

2.1　湘江流域重金属污染状况

湘江流域的土壤基本性质和重金属污染状况见表 2. 湘江流域 72 个样品中土壤 pH 值的范围从 4.26 ~7.92,平均 6.19,土壤属中性偏酸. As、Cd、Cu、Zn、Ni 和 Pb 含量分别在 4.25 ~549.67、0.13 ~76.84、11.49 ~281.69、7.75 ~7 234.81、5.50 ~56.65 和 8.60 ~2 084.81 mg·kg^{-1}范围之间,算术平均值分别为 43.67、4.71、56.37、479.64、26.69 和 170.47 mg·kg^{-1}. 根据国家土壤环境质量二级标准

(土壤全 As 40 mg·kg^{-1}、全 Cd 0.3 mg·kg^{-1}、全 Cu 50 mg·kg^{-1}、全 Zn 200 mg·kg^{-1}、全 Ni 40 mg·kg^{-1}、全 Pb 80 mg·kg^{-1})对湘江流域土壤进行质量评价[23],其中 As、Cd、Cu、Zn、Ni 和 Pb 的超标率分别为 22.22%、83.34%、22.21%、22.23%、9.70%和 25.01%.其中 Cd 超标最为严重,重度污染的超标率达 26.45%,其次是 Pb 重度污染达 12.53%,Zn 重度污染占总超标率的 8.38%,As 和 Cu 重度超标均占 2.82%,而 Ni 超标率 9.71%均属于轻微污染.

表 2 土壤的基本理化性质和重金属含量(样本数 $n=72$)/mg·kg^{-1}

Table 2 Basic properties of soil samples($n=72$)/mg·kg^{-1}

项目	pH	总 As	总 Cd	总 Cu	总 Zn	总 Ni	总 Pb
最大值	7.92	549.67	76.84	281.69	7234.81	56.64	2 084.81
最小值	4.26	4.25	0.13	11.49	7.75	5.50	8.60
平均值	6.19	43.68	4.71	56.37	479.65	26.70	170.48
标准差	0.82	87.33	13.64	60.30	1 399.13	11.71	384.07

2.2 TCLP 提取的重金属含量情况

TCLP 提取的重金属 As、Cd、Cu、Zn、Ni 和 Pb 含量分别在 0.02 ~ 10.97、0.06 ~ 28.41、0.04 ~ 72.29、0.59 ~ 1 152.32、0.07 ~ 10.65 和 0.17 ~ 1 165.58 mg·kg^{-1}范围之间,其平均值分别为 0.51、1.57、2.26、80.54、1.13 和 53.77 mg·kg^{-1}(表 3).TCLP 法提取的土壤 As、Cd、Cu、Zn、Ni 和 Pb 有效态含量分别占其土壤元素总量的比例为 0.05% ~ 19.71%、0.22% ~ 97.44%、0.05% ~ 25.61%、0.09% ~ 59.23%、0.23% ~ 34.83%和 0.25% ~ 88.51%,平均值分别为 1.27%、33.89%、4.03%、17.13%、4.22%和 31.96%.

表 3 TCLP 提取重金属有效态量

(样本数 $n=72$)/mg·kg^{-1}

Table 3 Concentrations of heavy metals in extracted solutions by TCLP($n=72$)/mg·kg^{-1}

项目	有效 As	有效 Cd	有效 Cu	有效 Zn	有效 Ni	有效 Pb
最大值	10.97	28.41	72.29	1 152.31	10.65	1 165.57
最小值	0.02	0.06	0.03	0.59	0.06	0.17
平均值	0.52	1.59	2.29	81.62	1.14	54.53
标准差	1.50	4.02	8.86	236.10	2.05	216.61

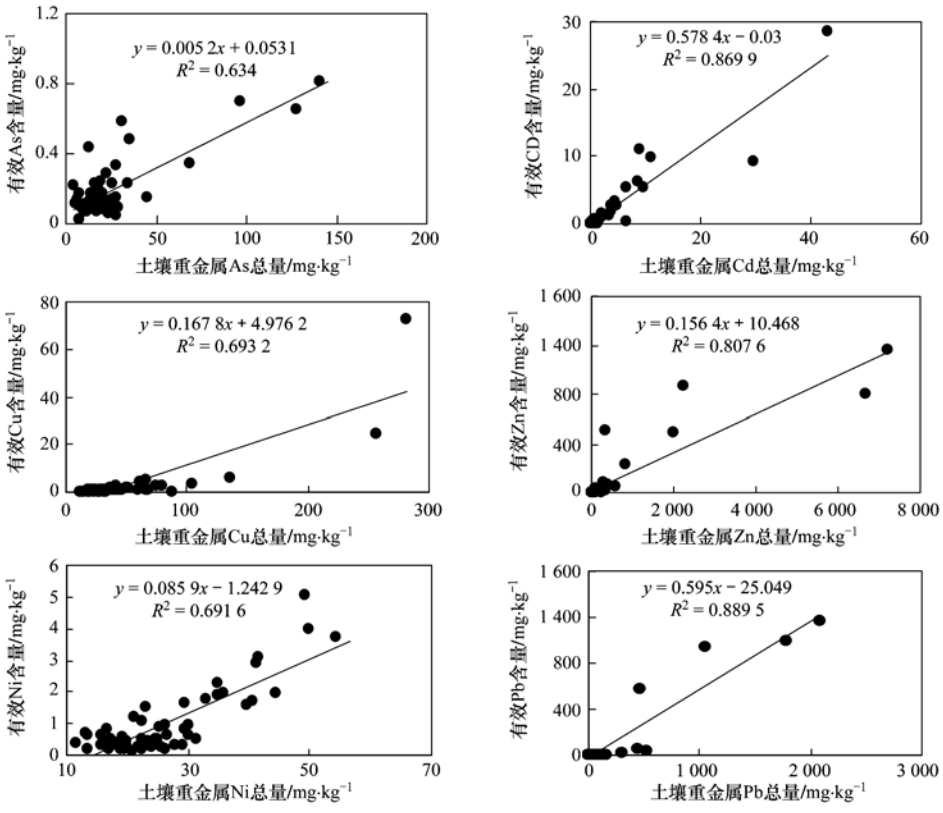

图 1 TCLP 提取量与总量之间关系

Fig. 1 Correlation between concentrations of heavy metals extracted by TCLP and total concentrations

图 1 为 TCLP 法提取土壤重金属的有效态与重金属全量之间的关系. 土壤 As、Cd、Cu、Zn、Ni 和 Pb 有效态量与全量之间的相关系数分别为 0.06、0.53、0.44、0.69、0.39 和 0.82. 除了 As 有效态量与土壤 As 总量相关性不显著外,其他元素如 Cd、Cu、Zn、Ni 和 Pb 与这些元素的土壤重金属总量之间均表现出显著的相关关系.

2.3 生态风险评价

计算土壤重金属的内梅罗综合污染指数,发现湘江流域的土壤重金属内梅罗综合污染指数范围在 0.11 ~ 168.23 之间,平均值为 9.89,综合评价等级为 1 级,共有 43 个样品(图 2). 处于 2、3、4 和 5 级水平的分别有 8、5、3 和 13 个样品. 部分土壤重金属污染比较严重,比如 17、41 和 45 号土壤样点均有 4 种元素超标,15、16、22、34、37、38、39、40 号土壤样点有 3 种元素超标. 总体而言,湘江流域采集 72 个土壤样品中,重金属有效态含量达安全水平、警戒水平、轻污染水平、中污染水平和重污染水平所占的比率分别为 60.52%、11.33%、5.65%、4.22% 和 18.38%.

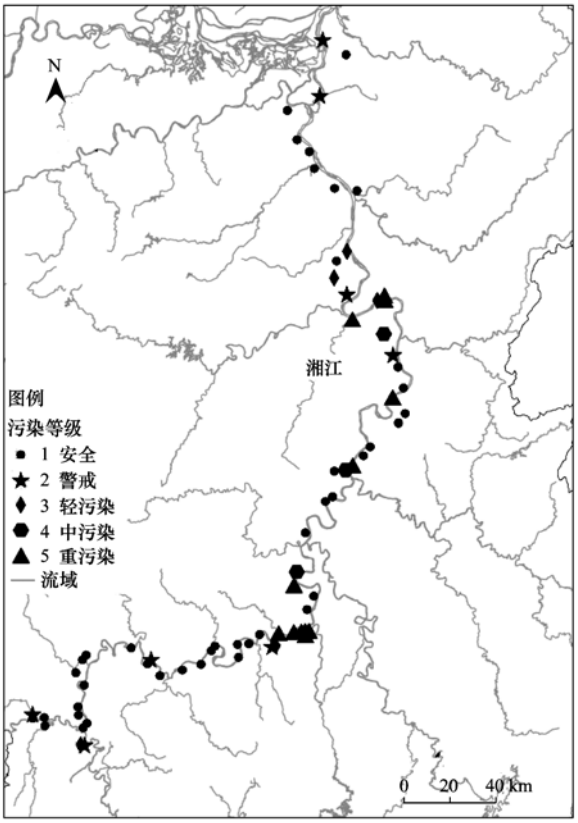

图 2　内梅罗法评价湘江流域土壤重金属污染等级图

Fig. 2　Assessment of heavy metals in soil of Xiangjiang River Basin by Nemrow

3　讨论

3.1 湘江流域土壤重金属污染状况

湘江流域矿产资源丰富,土壤重金属污染已成为比较严重的问题. 本研究结果表明湘江流域土壤 As、Cd、Cu、Zn、Ni 和 Pb 的超标率分别为 22.22%、83.34%、22.21%、22.23%、9.70% 和 25.01%,Cd 和 Pb 污染较其它元素严重. 湘江重金属污染与地方产业结构直接相关,由于上游的采矿业、中游的采选、冶行业和下游的冶炼业均较发达,衡阳水口山号称“百年老矿”,株洲冶炼集团是国内有色金属冶炼行业内规模名列前茅的大企业. 此外,随着湘江流域各市县经济社会的发展,以及为数众多、规模不等的小采矿、小冶炼的快速发展,均导致湘江流域环境污染问题比较严峻. “十五”规划以来湖南省的 Hg、Cd、Cr、Pb 排放量位居全国首位,As 排放量名列甘肃之后居第二位. 同时,因工业布局不合理,污染物排入的相对集中和区域污染叠加的影响,导致湘江流域局部区域环境质量恶化,污染治理难度也加大[24]. 陈艳[25]报道,随着采矿业的发展和洪水携带传播,湖南省土壤重金属污染面积不断扩大. 1998 年该省污染水田面积增加到 1.13×10^4 hm^2,占该省水田面积的 0.45%,且这种污染呈进一步加重之势. 有报道指出由于有色金属矿山的开采湖南省被 Pb、Cd、Hg、As 等重金属污染的土地面积达 2.8×10^4 km^2,占该省土地总面积的 13%[4]. 郭朝晖和 Wang[5,6]等从湖南省湘江中下游衡阳-长沙段沿岸采集 219 个农田土壤样品和 48 个蔬菜样品进行分析表明,土壤中 As、Cd、Cr、Cu、Ni、Pb、Zn 均大于背景值,其中 Cd 与 Pb 含量分别超标 7.97 倍和 3.69 倍. 雷鸣等[7]的研究表明,郴州柿竹园铅锌矿区的水稻土中重金属 Cd、As、Zn 和 Pb 的污染指数都达到重污染指标,其污染程度依次为 Cd > Pb > As > Zn > Cu. 蔡保松等[8]对湖南郴州某污染区的土壤 As 含量进行了研究,结果表明,该地区土壤含 As 量范围为 19.50 ~ 237.20 mg·kg^{-1},平均为 63.92 mg·kg^{-1},是全国平均土壤 As 含量(9.2 mg·kg^{-1})的 7 倍. 曾敏等[26]报道,湖南郴州邓家塘乡附近的土壤和植物受到严重的 As 污染. 据方晰等[27]报道,湘潭锰矿矿区废弃地土壤中 Mn、Cu、Pb、Zn、Cd 和 Ni 的平均含量分别为8 853.21、95.80、1 211.29、685.36、13.15 和 91.33 mg·kg^{-1}. 曾清如等[28,29]对郴州柿竹园矿区污染区采集 8 种作物进行重金属含量分析,发现在尾矿污染区和废矿水污染区土壤上

栽培的作物 Pb、Cd 污染较严重,大部分样品 Cd 和 Pb 含量均高于国家农产品卫生标准所规定的限量. Liu 等[30]曾对郴州 Pb/Zn 矿区的植物进行调查,得出 Cd 和 Pb 是主要污染物. 以上研究表明,湘江流域局部地区由于矿产开发和冶炼导致土壤重金属污染比较严重,这与本研究结果相类似.

3.2 TCLP 法评价湘江流域土壤重金属生态环境风险

采用 TCLP 法评价土壤重金属生态风险在美国已经开展较长时间,而我国则刚刚起步. Stark 等[19]研究认为 X 射线荧光法和 TCLP 方法是分别测定土壤重金属全量和重金属有效态的常用方法,虽然 TCLP 法对实验环境条件要求较高,它的测定结果很易因实验条件的变化而受影响,但是 TCLP 法可评价土壤污染物的潜在风险并且成为现阶段方便快捷的主要评价方法. Mercier 等[31]采用 TCLP 法提取模拟胃液中的重金属有效态含量,发现该方法具有较好的提取能力. 在本研究中 TCLP 法对 Cd 和 Pb 的提取比率远高于对 As、Cu、Ni、Zn 等元素的提取比率,这可能与土壤表面对不同重金属的吸附差异有关. 在 Qian 等[32]的研究中也得到相似的结论,提取的 Cd 含量偏高于其它元素含量. 刘丹丹等[33]的研究表明 TCLP 法提取重金属的比率要小于 BCR 法(bureau community of reference)提取的比率,TCLP 法对碱性土壤中以阳离子形式存在的重金属浸出率低于酸性土壤,而以络阴离子形式存在的 As 浸出率却高于酸性土壤. 通过湘江流域土壤重金属 TCLP 提取量与 TCLP 法国际标准值(TCLP 法提取土壤重金属量 As 5 $mg\cdot kg^{-1}$、Cd 1 $mg\cdot kg^{-1}$、Cu 15 $mg\cdot kg^{-1}$、Zn 25 $mg\cdot kg^{-1}$、Ni 20 $mg\cdot kg^{-1}$、Pb 5 $mg\cdot kg^{-1}$)的比较情况,湘江流域采集的 72 个样品中,土壤 Ni 含量没有样品超出国际标准值,而 As 和 Cu 含量均有 2 个样品超出国际标准值,Pb 含量有 12 个样品超出国际标准,土壤 Cd 和 Zn 含量均有 15 个样品超出国际标准值. 本研究得出 TCLP 提取的有效态重金属含量与该重金属总量间存在着显著的相关关系,这与孙叶芳等[11]的研究结果相一致. TCLP 法评价土壤重金属生态风险在我国是一种新的尝试,虽然应用这个方法已经开展了一些研究,但是要使该法成为人们普遍认可的评价土壤重金属生态风险的方法还有待进一步研究.

4 结论

(1)沿湘江流域采集了 72 个土壤样品,发现该流域土壤 As、Cd、Cu、Zn、Ni 和 Pb 含量分别在 4.25 ~549.67、0.13 ~76.84、11.49 ~281.69、7.75 ~7 234.81、5.50 ~56.65 和 8.60 ~2 084.81 $mg\cdot kg^{-1}$ 范围之间,重金属的算术平均值分别为 43.67、4.71、56.37、479.64、26.69 和 170.47 $mg\cdot kg^{-1}$.

(2)通过 TCLP 法提取,湘江流域土壤 As、Cd、Cu、Zn、Ni 和 Pb 的有效态含量分别在 0.02 ~10.97、0.06 ~28.41、0.04 ~72.29、0.59 ~1 152.32、0.07 ~10.65 和 0.17 ~1 165.58 $mg\cdot kg^{-1}$ 范围之间,其平均值分别为 0.51、1.57、2.26、80.54、1.13 和 53.77 $mg\cdot kg^{-1}$. TCLP 提取的重金属有效态含量与重金属全量之间存在着显著的相关关系(除 As 外). 采用内梅罗综合污染指数进行评价,结果表明湘江流域重金属有效态含量达安全水平、警戒水平、轻污染水平、中污染水平和重污染水平所占的比率分别为 60.52%、11.33%、5.65%、4.22% 和 18.38%.

参考文献:

[1] 孙树青, 胡国华, 王勇泽, 等. 湘江干流水环境健康风险评价 [J]. 安全与环境学报, 2006, **6**(2): 12-15.

[2] 王秋衡, 王淑云, 刘美英. 湖南湘江流域污染的安全评价 [J]. 中国给水排水, 2004, **20**(8): 104-106.

[3] 陈咏淑, 吴甫成, 吕焕哲, 等. 近 20 年来湘江水质变化分析 [J]. 长江流域资源与环境, 2004, **13**(5): 508-512.

[4] 郭朝晖, 朱永官. 典型矿冶周边地区土壤重金属污染及有效性含量 [J]. 生态环境, 2004, **13**(4): 553-555.

[5] 郭朝晖, 肖细元, 陈同斌, 等. 湘江中下游农田土壤和蔬菜的重金属污染 [J]. 地理学报, 2008, **63**(1): 3-11.

[6] Wang L X, Guo Z H, Xiao X Y, *et al*. Heavy metal pollution of soils and vegetables in the midstream and downstream of the Xiangjiang River, Hunan Province [J]. Journal of Geographical Sciences, 2008, **18**(3): 353-362.

[7] 雷鸣, 曾敏, 郑袁明, 等. 湖南采矿区和冶炼区水稻土重金属污染及其潜在风险评价 [J]. 环境科学学报, 2008, **28**(6): 1212-1220.

[8] 蔡保松, 陈同斌, 廖晓勇, 等. 土壤砷污染对蔬菜砷含量及食用安全性的影响 [J]. 生态学报, 2004, **24**(4): 711-716.

[9] 刘晶, 滕彦国, 崔艳芳, 等. 土壤重金属污染生态风险评价方法综述 [J]. 环境监测管理与技术, 2007, **19**(3): 6-11.

[10] Peters R W. Chelant extraction of heavy metals from contaminated soils [J]. Journal of Hazardous Materials, 1999, **66**(1-2): 151-210.

[11] 孙叶芳, 谢正苗, 徐建明, 等. TCLP 法评价矿区土壤重金属的生态环境风险 [J]. 环境科学, 2005, **26**(3): 153-156.

[12] Chang E E, Chiang P C, Lu P H, *et al*. Comparisons of metal leachability for various wastes by extraction and leaching methods [J]. Chemosphere, 2001, **45**(1): 91-99.

[13] Bilge A, Mehmet A Y. Remediation of lead contaminated soils by

stabilization/solidification [J]. Water, Air and Soil Pollution, 2002, **133**(1-4): 253-263.

[14] Stouraiti C, Xenidis A, Paspaliaris I. Reduction of Pb, Zn and Cd availability from tailings and contaminated soils by the application of lignite fly ash [J]. Water, Air and Soil Pollution, 2002, **137**(1-4): 247-265.

[15] Mehmet A Y, Bilge A. Leaching of metals from soil contaminated by mining activities [J]. Journal of Hazardous Materials, 2001, **87**(1-3): 289-300.

[16] 许超, 夏北成. TCLP 法评价酸性矿山废水污染稻田土壤重金属的生态风险 [J]. 生态环境, 2008, **17**(6): 2264-2266.

[17] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000. 12-14, 106-109.

[18] Hendershot W H, Duquette M. A simple barium chloride method for determining cation exchange capacity and exchangeable cations [J]. Soil Science Society of America, 1986, **50**(3): 605-608.

[19] Stark S C, Snape I, Graham N J, *et al*. Assessment of metal contamination using X-ray fluorescence spectrometry and the toxicity characteristic leaching procedure (TCLP) during remediation of a waste disposal site in Antarctica [J]. Journal of Environmental Monitoring, 2008, **10**: 60-70.

[20] 张思冲, 胡海清, 张敏, 等. 大庆城郊湿地沉积物重金属污染评价 [J]. 中国农学通报, 2007, **23**(3): 386-391.

[21] 陈伯扬. 重金属污染评价及方法对比——以福建浅海沉积物为例 [J]. 地质与资源, 2008, **17**(3): 213-218.

[22] 郝春明, 陈有鑑, 李琼, 等. 浙江平湖农田土壤安全质量评价 [J]. 能源环境保护, 2009, **23**(1): 52-56.

[23] GB 15168-1995, 土壤环境质量标准 [S]. 1995.

[24] 刘耀驰, 高栗, 李志光, 等. 湘江重金属污染现状、污染原因分析与对策探讨 [J]. 环境保护科学, 2010, **36**(4): 26-29.

[25] 陈艳. 湖南省土壤污染现状与修复 [J]. 湖南农业科学, 2002, (6): 31-33.

[26] 曾敏, 廖柏寒, 曾清如, 等. 湖南郴州、石门、冷水江 3 个矿区 As 污染状况的初步调查 [J]. 农业环境科学学报, 2006, **25**(2): 418-421.

[27] 方晰, 田大伦, 谢荣秀. 湘潭锰矿矿渣废弃地植被修复前的土壤诊断 [J]. 生态学报, 2006, **26**(5): 1494-1501.

[28] 曾清如, 周细红, 铁柏清, 等. 铅锌矿自然扩散晕内重金属的污染特征及其防治技术 [J]. 农村生态环境, 1997, **13**(1): 12-15.

[29] 曾清如, 杨仁斌, 铁柏清, 等. 郴县东西河流域重金属污染农田的防治技术和生态利用模式 [J]. 农业环境保护, 2002, **21**(5): 428-432.

[30] Liu H Y, Probst A, Liao B H. Metal contamination of soils and crops affected by the Chenzhou lead/zinc mine spill (Hunan, China) [J]. Science of the Total Environment, 2005, **339**(1-3): 153-166.

[31] Mercier G, Duchesne J, Carles-Gibergues A. A simple and fast screening test to detect soils polluted by lead [J]. Environmental Pollution, 2002, **118**(3): 285-296.

[32] Qian G R, Chen W, Lim T T, *et al*. In-situ stabilization of Pb, Zn, Cu, Cd and Ni in the multi-contaminated sediments with ferrihydrite and apatite composite additives [J]. Journal of Hazardous Materials, 2009, **170**(2-3): 1093-1100.

[33] 刘丹丹, 缪德仁, 刘菲. 不同提取方法对土壤中活性部分重金属提取能力的对比研究 [J]. 安徽农业科学, 2009, **37**(35): 17613-17615.

HUANJING KEXUE

Environmental Science (monthly)

Vol. 33 No. 1

Jan. 15, 2012

CONTENTS

Air Pollutant Emissions of Aircraft in China in Recent 30 Years ····· HE Ji-cheng (1)

Study on the *in-situ* Measurement of Atmospheric CH_4 and CO by GC-FID Method at the Shangdianzi GAW Regional Station ····· WANG Wei, ZHOU Ling-xi, FANG Shuang-xi, *et al.* (8)

Reconstructed Ambient Light Extinction Coefficient and Its Contribution Factors in Beijing in January, 2010 ····· ZHU Li-hua, TAO Jun, CHEN Zhong-ming, *et al.* (13)

Atmospheric Deposition of Polychlorinated Naphthalenes in Dongjiang River Basin of Guangdong Province ····· WANG Yan, LI Jun, LIU Xiang, *et al.* (20)

Metabolic Characteristics of Air Microbial Communities from Sandstorm Source Areas of the Taklamakan Desert ··· DUAN Wei-wei, LOU Kai, ZENG Jun, *et al.* (26)

Mechanisms of UV Photodegradation on Performance of a Subsequent Biofilter Treating Gaseous Chlorobenzene ··· WANG Can, XI Jin-ying, HU Hong-ying, *et al.* (32)

Distribution of Dissolved Organic Carbon in the Bohai Sea and Yellow Sea in Spring ····· DING Yan-yan, ZHANG Chuan-song, SHI Xiao-yong, *et al.* (37)

Research on the Mercury Species in Jiaozhou Bay in Spring ····· XU Liao-qi, LIU Ru-hai, WANG Jin-yu, *et al.* (42)

Geochemistry of Surface and Ground Water in the Lijang Basin, Northwest Yunnan ····· PU Tao, HE Yuan-qing, ZHU Guo-feng, *et al.* (48)

Variations in Depth and Chemistry of Groundwater in Interval of Water Delivery at the Lower Tarim River ····· CHEN Yong-jin, LI Wei-hong, DONG Jie, *et al.* (55)

Simulation on Contamination Forecast and Control of Groundwater in a Certain Hazardous Waste Landfill ····· MA Zhi-fei, AN Da, JIANG Yong-hai, *et al.* (64)

Research on Evaluation of Water Quality of Beijing Urban Stormwater Runoff ····· HOU Pei-qiang, REN Yu-fen, WANG Xiao-ke, *et al.* (71)

Characterization and Source Apportionment of Pollutants in Urban Roadway Runoff in Chongqing ····· ZHANG Qian-qian, WANG Xiao-ke, HAO Li-ling, *et al.* (76)

Applied Study of the Submerged Macrophytes Bed-Immobilized Bacteria in Drinking Water Restoration ····· CHEN Qi-chun, LI Zheng-kui, WANG Yi-chao, *et al.* (83)

Catalytic Hydrodechlorination of 2,4-Dichlorophenol over Pd/TiO_2 ····· ZHANG Yin, SHAO Yun, CHEN Huan, *et al.* (88)

Effects of pH Value on the Adsorption and Degradation of 2,4-DCP by Nanoscale Zero-Valent Iron ····· FENG Li, GE Xiao-peng, WANG Dong-sheng, *et al.* (94)

Inactivation of the Chlorine-resistant Bacteria Isolated from the Drinking Water Distribution System ····· CHEN Yu-qiao, DUAN Xiao-di, LU Pin-pin, *et al.* (104)

Risk Assessment of the Farmland and Water Contamination with the Livestock Manure in Anhui Province ····· SONG Da-ping, ZHUANG Da-fang, CHEN Wei (110)

Analysis of Membrane Fouling Genesis in Nanofiltration Process for Advanced Treatment of Dyeing and Finishing Wastewater ····· CAO Xiao-bing, LI Tao, ZHOU Lü, *et al.* (117)

Experimental Research on Combined Water and Air Backwashing Reactor Technology for Biological Activated Carbon ····· XIE Zhi-gang, QIU Xue-min, ZHAO Yan-ling (124)

Impacts of pH and Surfactants on Adsorption Behaviors of Norfloxacin on Marine Sediments ····· PANG Hui-ling, YANG Gui-peng, GAO Xian-chi, *et al.* (129)

Adsorption Characteristic and Form Distribution of Silicate in Lakes Sediments ····· LÜ Chang-wei, CUI Meng, GAO Ji-mei, *et al.* (135)

Adsorption of Methylene Blue from Water by the Biochars Generated from Crop Residues ····· XU Ren-kou, ZHAO An-zhen, XIAO Shuang-cheng, *et al.* (142)

Adsorption and Desorption of Dyes by Waste-Polymer-Derived Activated Carbons ····· LIAN Fei, LIU Chang, LI Guo-guang, *et al.* (147)

Study on the Sorption Behavior of Tetracycline onto Activated Sludge ····· CHEN Rui-ping, ZHANG Li, YU Jie, *et al.* (156)

In situ Experimental Research on Natural Attenuation of Oil Pollutants in a Gas Station ····· JIA Hui, WU Xiao-feng, HU Li-ming, *et al.* (163)

Influence and Assessment of Biochar on the Bioavailability of Chlorobenzenes in Soil ····· SONG Yang, WANG Fang, YANG Xing-lun, *et al.* (169)

Control for MUCT Process Operation Using Nitrate Concentration in the Secondary Anoxic Zone ····· WANG Xiao-ling, YIN Jun, GAO Shang (175)

Modeling Formation of Aerobic Granule and Influence of Hydrodynamic Shear Forces on Granule Diameter ····· DONG Feng, ZHANG Han-min, YANG Feng-lin (181)

Effect of Different Sludge Retention Time (SRT) on Municipal Sewage Sludge Bioleaching Continuous Plug Flow Reaction System ····· LIU Fen-wu, ZHOU Li-xiang, ZHOU Jun, *et al.* (191)

Biological Phosphorus Removal in Intermittent Aerated Biological Filter ····· ZENG Long-yun, YANG Chun-ping, GUO Jun-yuan, *et al.* (197)

Methane Production by Anaerobic Co-digestion of Chicken Manure and *Spartina alterniflora* Residue After Producing Methane ····· CHEN Guang-yin, CHANG Zhi-zhou, YE Xiao-mei, *et al.* (203)

Uncertainty Analysis for Evaluating Methane Emissions from Municipal Solid Waste Landfill in Beijing ····· CHEN Cao-cao, LIU Chun-lan, LI Zheng, *et al.* (208)

Electricity Generation of Surplus Sludge Microbial Fuel Cells Enhanced by Additional Enzyme ····· YANG Hui, LIU Zhi-hua, LI Xiao-ming, *et al.* (216)

Construction of Electrochemiluminescence System for Harmful Algae Detection ····· ZHU Xia, ZHEN Yu, MI Tie-zhu, *et al.* (222)

Mechanism of the Inhibitory Action of Allelochemical Dibutyl Phthalate on Algae *Gymnodinium breve* ····· BIE Cong-cong, LI Feng-min, WANG Yi-fei, *et al.* (228)

Toxic Effects of Nano-TiO_2 on *Gymnodinium breve* ····· LI Feng-min, ZHAO Wei, LI Yuan-yuan, *et al.* (233)

Spatial Distribution of Three Endocrine Disrupting Chemicals in Sediments of the Suzhou Creek and Their Environmental Risks ····· LI Yang, HU Xue-feng, OH Kokyo, *et al.* (239)

Level, Distribution, and Source Identification of Polychlorinated Naphthalenes in Surface Agricultural Soils from an Electronic Waste Recycling Area ····· WANG Xue-tong, JIA Jin-pan, LI Yuan-cheng, *et al.* (247)

Heavy Metal Pollution in Street Dusts from Different Functional Zones of Luoyang City and Its Potential Ecological Risk ····· LIU De-hong, WANG Fa-yuan, ZHOU Wen-li, *et al.* (253)

Soil Contamination and Assessment of Heavy Metals of Xiangjiang River Basin ····· LIU Chun-zao, HUANG Yi-zong, LEI Ming, *et al.* (260)

Characteristics of Heavy Metals in Soil Profile and Pore Water Around Hechi Antimony-Lead Smelter, Guangxi, China ····· XIANG Meng, ZHANG Guo-ping, LI Ling, *et al.* (266)

Speciation Transformation and Behavior of Arsenic in Soils Under Anoxic Conditions ····· WU Xi, XU Li-ying, ZHANG Xue-xia, *et al.* (273)

Remediation of Chromium(Ⅵ) Contaminated Soils Using Permeable Reactive Composite Electrodes Technology ····· FU Rong-bing, LIU Fang, MA Jin, *et al.* (280)

Determination and Characterization on the Capacity of Humic Acid for the Reduction of Divalent Mercury ····· JIANG Tao, WEI Shi-qiang, LI Xue-mei, *et al.* (286)

Effect of Zn (Ⅱ) on Microbial Activity in Anaerobic Acid Mine Drainage Treatment System with Biomass as Carbon Source ····· LI Shao-jie, CHEN Tian-hu, ZHOU Yue-fei, *et al.* (293)

Diversity of Culturable Butane-oxidizing Bacteria in Oil and Gas Field Soil ····· ZHANG Ying, LI Bao-zhen, YANG Jin-shui, *et al.* (299)

Microbial Community Structure Analysis of Unexploited Oil and Gas Fields by PCR-DGGE ····· MAN Peng, QI Hong-yan, HU Qing, *et al.* (305)

Community Diversity of Bacteria and Arbuscular Mycorrhizal Fungi in the Rhizosphere of Eight Plants in Liudaogou Watershed on the Loess Plateau China ····· FENG Ye, TANG Ming, CHEN Hui, *et al.* (314)

Dynamics of Degradation of Oxytetracycline of Pig and Chicken Manures in Soil and Mechanism Investigation ····· ZHANG Jian, GUAN Lian-zhu, YAN Li (323)

Influence of Impurities on Waste Plastics Pyrolysis: Products and Emissions ····· ZHAO Lei, WANG Zhong-hui, CHEN De-zhen, *et al.* (329)

《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 1 月 15 日　33 卷　第 1 期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

（Monthly　Started in 1976）

Vol. 33　No. 1　Jan. 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） 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：70.00 元　　**国外发行代号**：M 205

国 内 外 公 开 发 行