

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



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,周凌晔,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	段魏魏,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,王春风(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,赵雅茜,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)
广西铅锡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)	

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¹, 王发园^{1*}, 周文利¹, 杨玉建²

(1. 河南科技大学农学院, 洛阳 471003; 2. 山东省农业科学院科技信息工程技术研究中心, 济南 250100)

摘要: 以洛阳市为例, 调查了工业区、商业区、居民区、城乡结合处、城市绿地和城市主干道等6个功能区道路灰尘中重金属(Cu、Zn、Pb、Cr、Cd)含量, 并采用Håkanson潜在生态危害指数评价重金属污染水平及其潜在风险。结果表明, 洛阳市各功能区道路灰尘重金属含量均显著高出河南省土壤重金属环境背景值, 平均含量依次为Zn (1 019.75 mg·kg⁻¹) > Cr (401.63 mg·kg⁻¹) > Cu (240.94 mg·kg⁻¹) > Pb (176.04 mg·kg⁻¹) > Cd (2.33 mg·kg⁻¹)。在所有功能区, Cd均是污染最重的重金属, 平均污染系数 C_f^i 高达35.84, 之后依次是Zn (16.32) > Cu (12.05) > Pb (7.90) > Cr (6.36)。各功能区道路灰尘中的重金属含量和污染水平存在较大差异, 工业区的重金属总量最高、污染最重。不同功能区灰尘重金属综合潜在生态危害指数RI依次为工业区(1 709.51) > 城市绿地(1 581.50) > 商业区(1 297.45) > 居民区(1 111.25) > 城市主干道(889.97) > 城乡结合部(641.39), 且均已达到很强生态危害水平。产生潜在生态危害的重金属主要是Cd, 在所有功能区均超出极强生态危害水平, 其潜在生态危害指数 E_r^i 平均值达1 075.16, 其次是Cu (60.23) 和 Pb (40.77), 平均达中等生态危害水平, 而Zn (16.32) 和 Cr (12.71) 则为轻微生态危害水平。减少工业污染和交通污染可能是有效降低道路灰尘中重金属污染和风险的主要措施。

关键词: 风险评价; 重金属; 灰尘; 功能区; 潜在生态危害

中图分类号: X53; X131.3 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)01-0253-07

Heavy Metal Pollution in Street Dusts from Different Functional Zones of Luoyang City and Its Potential Ecological Risk

LIU De-hong¹, WANG Fa-yuan¹, ZHOU Wen-li¹, YANG Yu-jian²

(1. Agricultural College, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China; 2. S&T Information Engineering Research Center of Shandong Academy of Agricultural Science, Ji'nan 250100, China)

Abstract: The concentrations of heavy metals (Cu, Zn, Pb, Cr, Cd) in street dusts were investigated in six different functional zones of Luoyang City, i. e., urban-rural continuum, urban artery, industrial district, urban green space, residential district, and business district. The pollution levels and potential ecological risk of heavy metals were assessed by the methods of potential ecological risk index suggested by Håkanson. The results showed that heavy metal concentrations in street dusts from different functional zones of Luoyang City were all higher than soil background values in Henan, with average concentrations of Zn (1 019.75 mg·kg⁻¹) > Cr (401.63 mg·kg⁻¹) > Cu (240.94 mg·kg⁻¹) > Pb (176.04 mg·kg⁻¹) > Cd (2.33 mg·kg⁻¹). Cd was the most seriously polluted metal in all functional zones, and the average pollution index (C_f^i) reached 35.84, following by Zn (16.32) > Cu (12.05) > Pb (7.90) > Cr (6.36). Heavy metal concentrations and pollution levels varied greatly in different functional zones, and industrial zone had the highest total contents and the heaviest pollution. The integrated potential ecological risk index (RI) in different functional zones all reached very strong levels, with an order of industrial district (1 709.51) > urban green space (1 581.50) > business district (1 297.45) > residential district (1 111.25) > urban artery (889.97) > urban-rural continuum (641.39). Among the surveyed heavy metals, Cd accounted for the major potential ecological risk, and the average potential ecological risk index (E_r^i) reached 1 075.16 (extremely strong risk level) in all six functional zones. The average E_r^i of Cu and Pb reached 60.23 and 40.77 respectively, belonging to moderate risk level, while Zn (16.32) and Cr (12.71) only reached slight risk level. A reduction in industrial and traffic pollution might be the key measure to decrease the heavy metal pollution and potential risk in street dusts.

Key words: risk assessment; heavy metals; dust; functional zone; potential ecological risk

城市地表灰尘是重金属等多种污染物质的源和汇^[1], 这些污染物可以受到雨水径流、风力等各种因素的影响而迁移到大气、水体和土壤等各种环境中, 直接和间接影响环境质量, 危害人体健康。地表灰尘污染物的危害往往是隐蔽的、潜在的、长期的, 尤其是所含重金属容易富集, 且不能被降解, 因此受

到人们的广泛重视^[2,3]。许多研究发现, 城市地表灰尘中的重金属含量通常较高, 而且会影响人体呼吸

收稿日期: 2011-01-22; 修订日期: 2011-05-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(40801120); 河南科技大学人才科研基金项目(05128)

作者简介: 刘德鸿(1979~), 男, 硕士, 主要研究方向为土壤生态环境及植物营养, E-mail: L66dehong@126.com

* 通讯联系人, E-mail: wfy1975@163.com

系统,尤其对儿童血铅的影响尤为显著^[4~8].

国内外研究表明,环境中的重金属很容易富集在灰尘中,而城市灰尘中的重金属含量会受到城市气候条件、交通运输、工业生产、城市建设、土地利用、植被状况等各种因素的影响,不同的城市发展水平不同,地表灰尘中污染物种类和含量也会存在差异^[6~10]. 即使在同一城市,不同功能区中重金属在地表灰尘中的富集程度也会表现出差异^[9~11]. 研究不同功能区地表灰尘的污染水平、评估其生态风险,对于城市发展和建设有重要的参考价值.

洛阳市位于东经 111°8′~112°59′,北纬 33°35′~35°05′之间,地处暖温带南缘向北亚热带过渡地带,属于半干旱半湿润区,年平均气温 14.2℃,降雨量 546 mm. 洛阳是我国著名的重工业城市之一,现有机械电子、石油化工、冶金、建材、轻纺、食品等 6 大支柱产业. 目前洛阳正处于快速发展时期,城市化规模不断扩大,调查洛阳不同功能区道路灰尘重金属污染状况、评价其生态风险对于城市污染防治有重要意义,同时对于其他类似城市也具有一定的借鉴意义. 本研究的目的是分析洛阳市主要功能区道路灰尘中主要重金属元素(Cu、Pb、Cr、Cd、Zn)的含量,并评价其污染水平和潜在生态危害.

1 材料与方法

1.1 采样点

本研究将洛阳市按城市的不同功能划分为城乡结合部(urban-rural continuum, UR)、城市主干道(urban artery, UA)、工业区(industrial district, ID)、城市绿地(urban green space, UG)、居民区(residential district, RD)和商业区(business district, BD)6 大功能区. 每个功能区选择 3 处采样点. 居民区选择凯旋路 43 号院、洛阳市委家属院、河南科技大学周山校区家属院为采样点,此 3 处均为洛阳市历史较长、面积较大的住宅区. 工业区选择中国一拖集团、中信重机公司和中铝洛阳铜业有限公司,它们均是洛阳市的老牌重工业企业,厂房占地面积广大,其排放的污染物也对周围环境有较大影响. 城市绿地选点为洛浦公园、牡丹广场、东周王城广场,此 3 处洛阳市内面积较大的绿地. 城市主干道选择洛阳市三大交通主干道中州路、凯旋路和定鼎路. 城乡结合部选择为谷水、道北、孙旗屯,比起洛南近年的开发,此 3 处作为洛阳市市区边缘存在已久,其灰尘中重金属沉积状况较有代表性. 商业区选择广州市场、上海市场和洛阳市百货大楼周边,此 3 处为洛阳的

历史较长的商业区,每日的人流量较大,商业活动频繁,在洛阳商业区中有较好的代表性. 采样时间在 2009 年 5 月,取样位置见图 1.



图 1 采样点分布示意

Fig. 1 Distribution of sampling sites

1.2 样品采集与处理

样点选择在各功能区的不透水路面,使用尼龙毛刷和聚乙烯自封袋进行采集. 每份样品均在采样点以多点采样法采样组成混合样品,并在采集完毕之后送回实验室,挑出枯枝落叶,用玛瑙研钵研磨至全部通过 100 目筛后装入塑料自封袋中密封保存.

1.3 重金属分析及评价方法

1.3.1 重金属含量测定

样品采用 HF-HClO₄-HNO₃ 法进行消解,重金属含量采用美国瓦里安公司出品的 AA240 型原子吸收分光光度计进行测定^[12].

1.3.2 潜在生态危害指数评价方法

潜在生态危害指数(RI)评价方法是瑞典学者 Håkanson^[13]于 1980 年建立的一套应用沉积学原理评价重金属污染及生态危害的方法,不仅反映了某一特定环境中各种污染物的影响,也反映了多重污染物的综合影响,并以定量的方法划分出潜在危害程度. 潜在生态危害指数计算方法如下.

单个重金属污染系数(C_f^i):

$$C_f^i = C^i / C_n^i \quad (1)$$

某单个重金属的潜在生态危害指数(E_r^i):

$$E_r^i = T_r^i \times C_f^i \quad (2)$$

多种重金属综合潜在生态危害指数(RI):

$$RI = \sum_{i=1}^n E_r^i \quad (3)$$

式中, C^i 为表层沉积物重金属含量实测值($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), C_n^i 为计算所需的参比值($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),本研究中选择河南省主要元素的土壤环境背景值为参

比值^[14], T_r^i 为毒性系数. Håkanson^[13] 提出的重金属毒性系数 T_r^i 为 $Cd > Cu = Pb > Cr > Zn$,再按照其制定的标准化重金属毒性系数为评价依据,对毒性系数作规范处理后定值为 $Cd = 30, Cu = 5, Pb = 5, Cr = 2, Zn = 1$. 根据 E_r^i 和 RI 值划分为不同的生态危害水平(表 1).

表 1 E_r^i 和 RI 与污染程度的关系^[13]

Table 1 Relationship between pollution and E_r^i or RI				
C_f^i	污染程度	E_r^i	RI	危害程度
<1	清洁 I	$E_r^i < 40$	$RI < 150$	轻微生态危害(I 级)
$1 \leq C_f^i < 3$	低污染 II	$40 \leq E_r^i < 80$	$150 \leq RI < 300$	中等生态危害(II 级)
$3 \leq C_f^i < 6$	中污染 III	$80 \leq E_r^i < 160$	$300 \leq RI < 600$	强生态危害(III 级)
$6 \leq C_f^i < 9$	较高污染 IV	$160 \leq E_r^i < 320$	$RI \geq 600$	很强生态危害(IV 级)
$C_f^i \geq 9$	高污染 V	$E_r^i \geq 320$		极强生态危害(V 级)

1.4 数据分析

利用 Excel 和 SPSS 13.0 等统计软件对数据进行统计分析. 利用 Pearson 相关系数分析各重金属含量之间的相关性.

同时对数据进行经典统计学分析和 ArcGIS 9.3 地统计学分析. 基于 GIS 方法生成用于地统计学分析的重金属采样点分布图,对采样点的空间结构进行量化分析,进行变异函数的计算,求得最佳的拟合模型参数和变量,开展 Kriging 表面预测与结果评估,获得重金属含量空间分布图.

2 结果与分析

2.1 重金属含量和污染水平

由表 2 和图 2 看出,洛阳市各功能区城市灰尘重金属含量水平平均显著高出河南省土壤重金属环境背景值. 其中,平均含量最高的金属是 Zn ($1\,019.75\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$),其后依次是 Cr ($401.63\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) $>$ Cu ($240.94\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) $>$ Pb ($176.04\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) $>$ Cd ($2.33\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). Cd、Zn、Cu 均达高污染程度,Cd 的污染程度最重,平均污染系数高达 35.84,之后依次是 Zn (16.32) $>$ Cu (12.05) $>$ Pb (7.90) $>$ Cr (6.36)(表 3).

重金属在各功能区之间有较大差异,工业区的重金属总量在各功能区中最高,Cu、Pb、Cr、Zn 的平均含量均属首位. 城乡结合部和居民区的重金属总量较低. 城市绿地中 Cd 的含量最高,Pb 含量仅次于工业区. 就各种重金属的总体污染系数 C_f^i 而言,工业区重金属污染最重,之后依次是商业区 $>$ 城市绿地 $>$ 居民区 $>$ 城市主干道 $>$ 城乡结合部(表 3).

相关性分析表明,在 Cu、Zn、Cr、Pb 含量之间存在显著的相关性,而 Cd 与其他重金属之间无显著相关性(表 4).

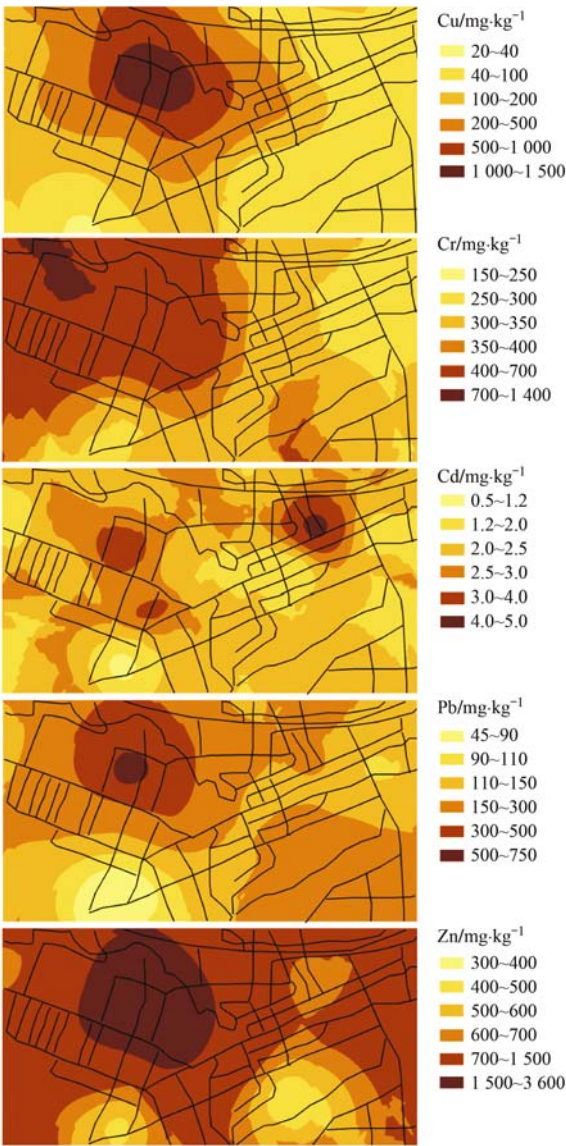


图 2 各重金属的空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of heavy metals

2.2 重金属潜在生态危害指数评价

由表 3 看出,洛阳市地表灰尘中 Cd 的潜在生态

危害指数最高, E_r^i 平均值高达1 075. 16, 在所有功能区均超出极强生态危害水平. 其次为 Cu(E_r^i 平均值 60. 23), E_r^i 值在工业区和商业区分别达到了很强生态危害和中等生态危害水平, 而在其他区则为轻微生态危害水平; 再次为 Pb(E_r^i 平均值 40. 77), 其 E_r^i 值在工业区和商业区分别达到了强生态危害和中等生态危害水平; 而 Zn(E_r^i 平均值 16. 32) 和 Cr(E_r^i 平均值 12. 71) 的潜在生态危害等级较低, 这 2 种重金属的 E_r^i 值在所有 6 个功能区都表现为最低的轻微生态危害水平.

洛阳市不同功能区综合潜在生态危害指数

RI 平均值依次为: 工业区(1 709. 51) > 城市绿地(1 581. 50) > 商业区(1 297. 45) > 居民区(1 111. 25) > 城市主干道(889. 97) > 城乡结合部(641. 39). 对比评价标准(表 1)可知, 全部 6 个功能区灰尘中重金属的综合潜在生态危害均达到了很强生态危害水平, 这主要是由于洛阳的 6 个功能区灰尘中的 Cd 含量严重超标所致. 在去除了 Cd 之后, 工业区依然因为 Cu 和 Pb 生态危害水平较高而表现为强生态危害水平, 而其他 5 个功能区均表现为最低的轻微生态危害水平.

表 2 洛阳市各功能区道路灰尘重金属含量

Table 2 Heavy metal concentrations in street dusts from different functional zones of Luoyang City						
功能区	项目	Cu	Pb	Cr	Cd	Zn
城乡结合部(UR)	平均值(Ave)/mg·kg ⁻¹	88. 92	81. 39	327. 74	1. 26	591. 38
	最小值(Min)/mg·kg ⁻¹	71. 21	46. 77	215. 99	0. 71	454. 88
	最大值(Max)/mg·kg ⁻¹	99. 70	106. 63	513. 94	1. 87	710. 03
	变异系数(Cv)/mg·kg ⁻¹	0. 17	0. 38	0. 50	0. 46	0. 22
城市主干道(UA)	平均值(Ave)/mg·kg ⁻¹	116. 62	83. 63	197. 62	1. 79	748. 02
	最小值(Min)/mg·kg ⁻¹	52. 03	77. 74	175. 03	1. 54	674. 78
	最大值(Max)/mg·kg ⁻¹	242. 34	94. 51	217. 24	2. 27	833. 94
	变异系数(Cv)/mg·kg ⁻¹	0. 93	0. 11	0. 11	0. 23	0. 11
工业区(ID)	平均值(Ave)/mg·kg ⁻¹	849. 80	466. 74	990. 43	2. 87	2 191. 64
	最小值(Min)/mg·kg ⁻¹	231. 81	257. 73	572. 29	2. 27	961. 50
	最大值(Max)/mg·kg ⁻¹	1476. 79	741. 75	1390. 44	3. 64	3522. 74
	变异系数(Cv)/mg·kg ⁻¹	1. 04	0. 83	0. 60	0. 38	0. 86
城市绿地(UG)	平均值(Ave)/mg·kg ⁻¹	83. 26	218. 46	368. 64	3. 23	550. 57
	最小值(Min)/mg·kg ⁻¹	36. 52	103. 87	263. 29	2. 05	365. 62
	最大值(Max)/mg·kg ⁻¹	157. 87	383. 83	555. 98	4. 70	708. 67
	变异系数(Cv)/mg·kg ⁻¹	0. 78	0. 67	0. 44	0. 42	0. 31
居民区(RD)	平均值(Ave)/mg·kg ⁻¹	41. 79	98. 02	226. 49	2. 30	718. 86
	最小值(Min)/mg·kg ⁻¹	22. 84	72. 75	200. 54	1. 88	528. 02
	最大值(Max)/mg·kg ⁻¹	63. 56	113. 19	255. 62	2. 56	880. 31
	变异系数(Cv)/mg·kg ⁻¹	0. 49	0. 22	0. 12	0. 16	0. 25
商业区(BD)	平均值(Ave)/mg·kg ⁻¹	265. 23	142. 63	298. 84	2. 53	1 318. 02
	最小值(Min)/mg·kg ⁻¹	163. 96	124. 84	242. 67	1. 70	696. 70
	最大值(Max)/mg·kg ⁻¹	417. 71	171. 37	329. 17	3. 15	1 717. 00
	变异系数(Cv)/mg·kg ⁻¹	0. 51	0. 18	0. 16	0. 30	0. 41
背景值 ^[14] /mg·kg ⁻¹		20. 00	22. 30	63. 20	0. 065	62. 50

表 3 洛阳市各功能区道路灰尘重金属污染系数(C_f^i)和潜在生态危害系数(E_r^i)

Table 3 C_f^i and E_r^i of heavy metals in street dusts from different functional zones of Luoyang City							
重金属	系数	城乡结合部(UR)	城市主干道(UA)	工业区(ID)	城市绿地(UG)	居民区(RD)	商业区(BD)
Cu	C_f^i	4. 45	5. 83	42. 49	4. 16	2. 09	13. 26
	E_r^i	22. 23	29. 15	212. 45	20. 81	10. 45	66. 31
Pb	C_f^i	2. 10	3. 75	20. 93	9. 80	4. 40	6. 40
	E_r^i	18. 25	18. 75	104. 65	48. 98	21. 98	31. 98
Cr	C_f^i	5. 19	3. 13	15. 67	5. 83	3. 58	4. 73
	E_r^i	10. 37	6. 25	31. 34	11. 67	7. 17	9. 46
Cd	C_f^i	19. 38	27. 54	44. 15	49. 69	35. 38	38. 92
	E_r^i	581. 08	823. 85	1 326. 00	1 491. 23	1 060. 15	1 168. 62
Zn	C_f^i	9. 46	11. 97	35. 07	8. 81	11. 50	21. 09
	E_r^i	9. 46	11. 97	35. 06	8. 81	11. 50	21. 09

表 4 重金属含量之间的相关性¹⁾
Table 4 Correlation between heavy metals

	Cu	Pb	Cr	Cd
Pb	0.911 *			
Cr	0.951 **	0.946 **		
Cd	ns	ns	ns	
Zn	0.972 **	0.845 *	0.866 *	ns

1) * 表示在 $P < 0.05$ 水平显著, ** 表示在 $P < 0.01$ 水平显著, ns 表示没有显著相关性

3 讨论

本研究发现,洛阳市地表灰尘中 Zn、Cr、Cu、Pb、Cd 的含量普遍较高,远超土壤背景值. 比较发现(表 5),洛阳道路灰尘中 Cr 含量远高于国内外其他城市,是平均含量的近 4 倍; Cu 含量仅次于伦敦; Zn 含量仅次于香港和伦敦; Pb 含量是所报道城市平均值的 60%; Cd 含量略低于平均水平. 统计发现^[2],发达城市和工业城市道路灰尘的重金属污染水平一般较高,这显然与其污染源有关,发达城市人口密集,工业发达,车辆数量多,势必会释放更多的重金属. 洛阳作为一个老工业城市,其支柱产业冶炼、建材、机械电子等行业均能产生大量的重金属污染,这些行业数十年间的生产活动中向环境中排放出了很多重金属污染物,会在土壤和灰尘中沉积、富集,导致洛阳市灰尘中重金属的含量远远超过背景值. 白世强等^[28]研究发现,洛阳市工业区表土中的

表 5 不同城市道路灰尘重金属含量/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$

Table 5 Heavy metal concentrations in street dusts from different cities/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$

城市	Cu	Pb	Cr	Cd	Zn
北京 ^[11]	78.3	69.6	85.0	0.71	248.5
上海 ^[15]	196.8	294.9	159.3	1.23	733.8
广州 ^[16]	176	240	78.8	2.41	586
沈阳 ^[9]	81.33	106.26		4.35	224.47
西安 ^[17]	72.39	140.2		5.25	302.4
乌鲁木齐 ^[18]	95.54	53.53	54.28	1.17	294.47
杭州 ^[19]	116.04	202.16	51.29	1.59	321.4
香港 ^[20]	173	181		3.77	1450
达卡 ^[21]	22	35	99		97
马德里 ^[22]	188	1927			476
首尔 ^[23]	101	245		3	296
萨洛尼卡 ^[24]	129	214		4.1	645
伊斯坦布尔 ^[25]	26.34	36.15	11.15	4.24	387.98
渥太华 ^[26]	38.13	33.49	41.7	0.33	101.3
伦敦 ^[27]	300	897			1866
奥斯陆 ^[22]	123	180		1.4	412
洛阳(本研究)	240.94	176.04	401.63	2.33	1019.75
平均值	126.93	295.96	109.13	2.56	556.59

Pb、Zn、Cu、Cd 含量均高于郊区农田土壤. 因此,城市工业污染源可能是造成洛阳城市表土和道路灰尘重金属污染的一个主要原因.

交通运输和尾气排放也是造成城市灰尘重金属污染的重要原因之一,尤其是 Pb、Zn、Cu、Cd^[11,29~31]. 含 Pb 汽油的燃烧会使汽车尾气含有大量 Pb,是 Pb 污染的重要来源之一. 同时,Pb 很容易被吸附在小颗粒上并随之迁移很远的距离^[11,32]. 汽车轮胎的老化和磨损也会向环境中释放 Zn 和 Cd 污染物^[9,33]. 刹车片等汽车金属零部件的磨损会释放大量的 Cu、Zn 和 Pb^[11,32]. 本研究也可看出,交通繁忙或者靠近城市主干道的地区如商业区、城市绿地灰尘中的 Pb 含量往往高于车流量小的地区如居民区,而主干道灰尘中的重金属含量总体较低,可能与人为扰动如道路清扫、洒水等因素相关. 城市街道 Cd 污染多出现在机动车流量大、人口居住密集区,交通污染、建筑墙面剥蚀及生活垃圾以及公园绿地中含镉肥料的施用等,可能是其主要污染源^[34]. 本研究也发现 Cd 在绿地、工业区、商业区、居民区污染较重,而且其他重金属没有显著相关性,说明该重金属的污染源较复杂,尚需详细解析.

重金属含量的相关性分析可以用于推测重金属的来源是否相同^[35]. 若不同重金属间有显著的相关性,说明有相同来源的可能性较大. 洛阳道路灰尘重金属除 Cd 外,其他重金属之间均存在显著相关性,说明其污染很可能是同源的. Cu、Cr、Zn 均常见于工业企业的生产原料,同时工业区内的燃煤行业如热电、耐火材料所排放的废气也会对城市灰尘产生 Pb、Zn、Cu、Cd 污染,而这些重金属又受到环境因素的影响. 表 5 显示,即使同一城市,道路灰尘重金属含量也会存在时空变化,因此不同功能区道路灰尘中重金属污染源尚需进一步解析.

研究还发现,工业区灰尘中重金属含量的变异系数一般都要高于其他区,这可能是因为各大工厂所采用的生产方式与生产原料不同,所产生的主要重金属污染物也因此不同. 如在中铝洛阳铜业有限公司采样点,灰尘中的 Cu 含量高达 $1476.79 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,显著高于国内外大多数城市(表 5). 另外城乡结合部、城市绿地和商业区道路灰尘中的重金属含量变异系数也相对较大,这可能与这 3 个功能区的开放性较高有关系.

地表灰尘重金属含量也受气候和气象条件的影响^[3],如降水和风力,尤其是雨水冲刷对地表灰尘有显著影响,所以不同季节道路灰尘重金属含量存

在差异^[30]. 洛阳地处半干旱半湿润区,降水较少,季节性明显,容易造成灰尘中重金属的富集. 洛阳市区少风,造成大气污染物无法及时扩散,容易沉降、积累到灰尘中. 人为扰动因素如对街道的清扫、交通工具的清洗等等均能影响灰尘中重金属的含量. 此外,洛阳市各功能区分布比较混杂,并且区域面积相对较小,交错的各功能区之间污染物相互扩散也会给灰尘中重金属含量带来影响. 洛阳市应从根本上加强对工业污染和交通污染的治理,方能降低灰尘中重金属的潜在风险.

4 结论

(1) 洛阳市各功能区道路灰尘重金属含量均显著高于河南省土壤重金属环境背景值,且在各功能区之间有较大差异,工业区道路灰尘中重金属含量总体最高.

(2) 在所有功能区, Cd 均是污染最重的重金属,就污染系数而言, Cd 的污染程度最重,之后依次是 $Zn > Cu > Pb > Cr$.

(3) 洛阳市 6 个功能区中单个重金属潜在生态危害依次为 $Cd > Cu > Pb > Zn > Cr$. Cd 在全部 6 个功能区中的潜在生态危害评价均已达到极强生态危害水平.

(4) 洛阳市 6 个功能区的重金属综合潜在生态危害指数都已经达到很强生态危害水平,其 RI 值依次为工业区 > 城市绿地 > 商业区 > 居民区 > 城市主干道 > 城乡结合部.

参考文献:

- [1] 常静, 刘敏, 侯立军, 等. 城市地表灰尘的概念、污染特征与环境效应 [J]. 应用生态学报, 2007, **18**(5): 1153-1158.
- [2] Wei B G, Yang L S. A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China [J]. Microchemical Journal, 2010, **94**(2): 99-107.
- [3] 谢宏芳, 方凤满, 王海东. 城市街道灰尘重金属污染研究进展 [J]. 环境污染与防治, 2010, **32**(5): 78-81.
- [4] Watt J, Thornton I, Cotter-Howells J. Physical evidence suggesting the transfer of soil Pb into young children via hand-to-mouth activity [J]. Applied Geochemistry, 1993, **8**(Supplement 2): 269-272.
- [5] Sutherland R A, Tolosa C A. Multi-element analysis of road-deposited sediment in an urban drainage basin, Honolulu, Hawaii [J]. Environmental Pollution, 2000, **110**(3): 483-495.
- [6] Gómez B, Palacios M A, Gómez M, et al. Levels and risk assessment for humans and ecosystems of platinum-group elements in the airborne particles and road dust of some European cities [J]. Science of the Total Environment, 2002, **299**(1-3): 1-19.
- [7] Charlesworth S, Everett M, McCarthy R, et al. A comparative study of heavy metal concentration and distribution in deposited street dusts in a large and a small urban area: Birmingham and Coventry, West Midlands, UK [J]. Environment International, 2003, **29**(5): 563-573.
- [8] Ferreira-Baptista L, De Miguel E. Geochemistry and risk assessment of street dust in Luanda, Angola: a tropical urban environment [J]. Atmospheric Environment, 2005, **39**(25): 4501-4512.
- [9] 李崇, 李法云, 张营, 等. 沈阳市街道灰尘中重金属的空间分布特征研究 [J]. 生态环境, 2008, **17**(2): 560-564.
- [10] 张菊, 陈振楼, 许世远, 等. 上海城市街道灰尘重金属铅污染现状及评价 [J]. 环境科学, 2006, **27**(3): 519-523.
- [11] 向丽, 李迎霞, 史江红, 等. 北京城区道路灰尘重金属和多环芳烃污染状况探析 [J]. 环境科学, 2010, **31**(1): 159-167.
- [12] 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.
- [13] Håkanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control: a sedimentological approach [J]. Water Research, 1980, **14**(8): 975-1001.
- [14] 邵丰收, 周皓韵. 河南省主要元素的土壤环境背景值 [J]. 河南农业, 1998, **5**(10): 29.
- [15] Shi G T, Chen Z L, Xu S Y, et al. Potentially toxic metal contamination of urban soils and roadside dust in Shanghai, China [J]. Environmental Pollution, 2008, **156**(2): 251-260.
- [16] Duzgoren-Aydin N S, Wong C S C, Aydin A, et al. Heavy metal contamination and distribution in the urban environment of Guangzhou, SE China [J]. Environmental Geochemistry and Health, 2006, **28**(4): 375-391.
- [17] 韩永明. 西安市灰尘循环模式及搬运沉积 [J]. 物探与化探, 2003, **27**(3): 227-229.
- [18] Wei B, Jiang F, Li X, et al. Spatial distribution and contamination assessment of heavy metals in urban road dusts from Urumqi, NW China [J]. Microchemical Journal, 2009, **93**(2): 147-152.
- [19] Zhang M K, Wang H. Concentrations and chemical forms of potentially toxic metals in road-deposited sediments from different zones of Hangzhou, China [J]. Journal of Environmental Sciences, 2009, **21**(5): 625-631.
- [20] Li X D, Poon C S, Liu P S. Heavy metal contamination of urban soils and street dusts in Hong Kong [J]. Applied Geochemistry, 2001, **16**(11-12): 1361-1368.
- [21] Ahmed F, Ishiga H. Trace metal concentrations in street dusts of Dhaka city, Bangladesh [J]. Atmospheric Environment, 2006, **40**(21): 3835-3844.
- [22] De Miguel E, Llamas J F, Chacón E, et al. Origin and patterns of distribution of trace elements in street dust: unleaded petrol and urban lead [J]. Atmospheric Environment, 1997, **31**(17): 2733-2740.

- [23] Chon H T, Ahn J S, Jung M C. Seasonal variations and chemical forms of heavy metals in soils and dusts from the satellite cities of Seoul, Korea [J]. *Environmental Geochemistry and Health*, 1998, **20**(2): 77-86.
- [24] Ewen C, Anagnostopoulou M A, Ward N I. Monitoring of heavy metal levels in roadside dusts of Thessaloniki, Greece in relation to motor vehicle traffic density and flow [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2009, **157**(1-4): 483-498.
- [25] Sezgin N, Ozcan H K, Demir G, *et al.* Determination of heavy metal concentrations in street dusts in Istanbul E-5 highway [J]. *Environment International*, 2004, **29**(7): 979-985.
- [26] Rasmussen P E, Subramanian K S, Jessiman B J. A multi-element profile of house dust in relation to exterior dust and soils in the city of Ottawa, Canada [J]. *Science of the Total Environment*, 2001, **267**(1-3): 125-140.
- [27] Wang W H, Wong M H, Leharne S, *et al.* Fractionation and biotoxicity of heavy metals in urban dusts collected from Hong Kong and London [J]. *Environmental Geochemistry and Health*, 1998, **20**(4): 185-198.
- [28] 白世强, 卢升高. 洛阳市工业区及郊区土壤的重金属含量分析与评价 [J]. *农业环境科学学报*, 2007, **26**(1): 257-261.
- [29] Kim K W, Myung J H, Ahn J S, *et al.* Heavy metal contamination in dusts and stream sediments in the Taejon area, Korea [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 1998, **64**(1-3): 409-419.
- [30] Banerjee A D K. Heavy metal levels and solid phase speciation in street dusts of Delhi, India [J]. *Environmental Pollution*, 2003, **123**(1): 95-105.
- [31] Li X D, Lee S L, Wong S C, *et al.* The study of metal contamination in urban soils of Hong Kong using a GIS-based approach [J]. *Environmental Pollution*, 2004, **129**(1): 113-124.
- [32] Guney M, Onay T T, Coptu N K. Impact of overland traffic on heavy metal levels in highway dust and soils of Istanbul, Turkey [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2010, **164**(1-4): 101-110.
- [33] Blok J. Environmental exposure of road borders to zinc [J]. *Science of the Total Environment*, 2005, **348**(1-3): 173-190.
- [34] 周开胜, 潘尤虎, 吕超田, 等. 城市街道灰尘重金属类环境激素镉污染及防治对策 [J]. *合肥工业大学学报 (自然科学版)*, 2009, **32**(3): 310-313.
- [35] Galley F A, Lloyd O L L. Grass and surface soils as monitors of atmospheric metal pollution in central Scotland [J]. *Water, Air and Soil Pollution*, 1985, **24**(1): 1-18.

CONTENTS

Air Pollutant Emissions of Aircraft in China in Recent 30 Years	HE Ji-cheng (1)
Study on the <i>in-situ</i> 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, <i>et al.</i> (8)
Reconstructed Ambient Light Extinction Coefficient and Its Contribution Factors in Beijing in January, 2010	ZHU Li-hua, TAO Jun, CHEN Zhong-ming, <i>et al.</i> (13)
Atmospheric Deposition of Polychlorinated Naphthalenes in Dongjiang River Basin of Guangdong Province	WANG Yan, LI Jun, LIU Xiang, <i>et al.</i> (20)
Metabolic Characteristics of Air Microbial Communities from Sandstorm Source Areas of the Taklamakan Desert ...	DUAN Wei-wei, LOU Kai, ZENG Jun, <i>et al.</i> (26)
Mechanisms of UV Photodegradation on Performance of a Subsequent Biofilter Treating Gaseous Chlorobenzene ...	WANG Can, XI Jin-ying, HU Hong-ying, <i>et al.</i> (32)
Distribution of Dissolved Organic Carbon in the Bohai Sea and Yellow Sea in Spring	DING Yan-yan, ZHANG Chuan-song, SHI Xiao-yong, <i>et al.</i> (37)
Research on the Mercury Species in Jiaozhou Bay in Spring	XU Liao-qi, LIU Ru-hai, WANG Jin-yu, <i>et al.</i> (42)
Geochemistry of Surface and Ground Water in the Lijiang Basin, Northwest Yunnan	PU Tao, HE Yuan-qing, ZHU Guo-feng, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (55)
Simulation on Contamination Forecast and Control of Groundwater in a Certain Hazardous Waste Landfill	MA Zhi-fei, AN Da, JIANG Yong-hai, <i>et al.</i> (64)
Research on Evaluation of Water Quality of Beijing Urban Stormwater Runoff	HOU Pei-qiang, REN Yu-fen, WANG Xiao-ke, <i>et al.</i> (71)
Characterization and Source Apportionment of Pollutants in Urban Roadway Runoff in Chongqing	ZHANG Qian-qian, WANG Xiao-ke, HAO Li-ling, <i>et al.</i> (76)
Applied Study of the Submerged Macrophytes Bed-Immobilized Bacteria in Drinking Water Restoration	CHEN Qi-chun, LI Zheng-kui, WANG Yi-chao, <i>et al.</i> (83)
Catalytic Hydrodechlorination of 2,4-Dichlorophenol over Pd/TiO ₂	ZHANG Yin, SHAO Yun, CHEN Huan, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (94)
Inactivation of the Chlorine-resistant Bacteria Isolated from the Drinking Water Distribution System	CHEN Yu-qiao, DUAN Xiao-di, LU Pin-pin, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (129)
Adsorption Characteristic and Form Distribution of Silicate in Lakes Sediments	LÜ Chang-wei, CUI Meng, GAO Ji-mei, <i>et al.</i> (135)
Adsorption of Methylene Blue from Water by the Biochars Generated from Crop Residues	XU Ren-kou, ZHAO An-zhen, XIAO Shuang-cheng, <i>et al.</i> (142)
Adsorption and Desorption of Dyes by Waste-Polymer-Derived Activated Carbons	LIAN Fei, LIU Chang, LI Guo-guang, <i>et al.</i> (147)
Study on the Sorption Behavior of Tetracycline onto Activated Sludge	CHEN Rui-ping, ZHANG Li, YU Jie, <i>et al.</i> (156)
<i>In situ</i> Experimental Research on Natural Attenuation of Oil Pollutants in a Gas Station	JIA Hui, WU Xiao-feng, HU Li-ming, <i>et al.</i> (163)
Influence and Assessment of Biochar on the Bioavailability of Chlorobenzenes in Soil	SONG Yang, WANG Fang, YANG Xing-lun, <i>et al.</i> (169)
Control for MUCT Process Operation Using Nitrate Concentration in the Secondary Anoxic Zone	WANG Xiao-ling, JIN Yun, 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, <i>et al.</i> (191)
Biological Phosphorus Removal in Intermittent Aerated Biological Filter	ZENG Long-yun, YANG Chun-ping, GUO Jun-yuan, <i>et al.</i> (197)
Methane Production by Anaerobic Co-digestion of Chicken Manure and <i>Spartina alterniflora</i> Residue After Producing Methane	CHEN Guang-yin, CHANG Zhi-zhou, YE Xiao-mei, <i>et al.</i> (203)
Uncertainty Analysis for Evaluating Methane Emissions from Municipal Solid Waste Landfill in Beijing	CHEN Cao-cao, LIU Chun-lan, LI Zheng, <i>et al.</i> (208)
Electricity Generation of Surplus Sludge Microbial Fuel Cells Enhanced by Additional Enzyme	YANG Hui, LIU Zhi-hua, LI Xiao-ming, <i>et al.</i> (216)
Construction of Electrochemiluminescence System for Harmful Algae Detection	ZHU Xia, ZHEN Yu, MI Tie-zhu, <i>et al.</i> (222)
Mechanism of the Inhibitory Action of Allelochemical Dibutyl Phthalate on Algae <i>Gymnodinium breve</i>	BIE Cong-cong, LI Feng-min, WANG Yi-fei, <i>et al.</i> (228)
Toxic Effects of Nano-TiO ₂ on <i>Gymnodinium breve</i>	LI Feng-min, ZHAO Wei, LI Yuan-yuan, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (253)
Soil Contamination and Assessment of Heavy Metals of Xiangjiang River Basin	LIU Chun-zao, HUANG Yi-zong, LEI Ming, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (266)
Speciation Transformation and Behavior of Arsenic in Soils Under Anoxic Conditions	WU Xi, XU Li-ying, ZHANG Xue-xia, <i>et al.</i> (273)
Remediation of Chromium(VI) Contaminated Soils Using Permeable Reactive Composite Electrodes Technology	FU Rong-bing, LIU Fang, MA Jin, <i>et al.</i> (280)
Determination and Characterization on the Capacity of Humic Acid for the Reduction of Divalent Mercury	JIANG Tao, WEI Shi-qiang, LI Xue-mei, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (293)
Diversity of Culturable Butane-oxidizing Bacteria in Oil and Gas Field Soil	ZHANG Ying, LI Bao-zhen, YANG Jin-shui, <i>et al.</i> (299)
Microbial Community Structure Analysis of Unexploited Oil and Gas Fields by PCR-DGGE	MAN Peng, QI Hong-yan, HU Qing, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (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