

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第1期

Vol.34 No.1

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

长三角背景地区秋冬季节大气气态总汞含量特征研究 窦红颖,王书肖,王龙,张磊,郝吉明(1)

厦门城区大气颗粒物 PM₁₀ 中有机酸源谱特征分析 杨冰玉,黄星星,郑桢,刘碧莲,吴水正(8)

兴隆大气气溶胶中水溶性无机离子分析 李杏茹,宋爱利,王英锋,孙颖,刘子锐,王跃思(15)

气相组分对氨吸收同步脱除模拟烟气 SO₂ 和 NO_x 的影响 王鸿,朱天乐,王美艳(21)

麦秸全量还田下太湖地区两种典型水稻土稻季氨挥发特性比较 汪军,王德建,张刚,王远(27)

单光子/光电子在线质谱实时分析聚氯乙烯热分解/燃烧产物 陈文东,侯可勇,陈平,李芳龙,赵无垠,崔华鹏,花磊,谢园园,李海洋(34)

碱性活性炭表面特征及其吸附甲烷的研究 张梦竹,李琳,刘俊新,孙永军,李国滨(39)

夏季黄渤海表层海水中二甲亚砜(DMSO)的浓度分布 王敏,张洪海,杨桂朋(45)

2010年秋季长江口口外海域 CDOM 的三维荧光光谱-平行因子分析 闫丽红,陈学君,苏荣国,韩秀荣,张传松,石晓勇(51)

基于集合均方根滤波的太湖叶绿素 a 浓度估算与预测 李渊,李云梅,王桥,张卓,郭飞,吕恒,毕坤,黄昌春,郭宇龙(61)

基于 HJ1A-CCD 数据的高光谱影像重构研究 郭宇龙,李云梅,朱利,徐德强,李渊,檀静,周莉,刘阁(69)

重庆雪玉洞岩溶地下河地球化学敏感性研究 徐尚全,杨平恒,殷建军,毛海红,王鹏,周小萍(77)

区域点源和非点源磷入河量计算的二元统计模型 陈丁江,孙嗣畅,贾颖娜,陈佳勃,吕军(84)

秦淮河典型河段总氮总磷时空变异特征 李跃飞,夏永秋,李晓波,熊正琴,颜晓元(91)

湘江沉积物镉和汞质量基准的建立及其应用 蒋博峰,桑磊鑫,孙卫玲,郝伟,李丽,邓宝山(98)

丹江口水库迁建区土壤重金属分布及污染评价 张雷,秦延文,郑丙辉,时瑶,韩超男(108)

汾河水库周边土壤重金属含量与空间分布 李晋昌,张红,石伟(116)

黄河下游引黄灌区地下水重金属分布及健康风险评估 张妍,李发东,欧阳竹,赵广帅,李静,柳强(121)

胶州湾、套子湾及四十里湾表层沉积物中有机氯农药的含量和分布特征 刘艺凯,钟广财,唐建辉,潘晓辉,田崇国,陈颖军(129)

基于干扰梯度的钦江流域底栖动物完整性指数候选参数筛选 卢东琪,张勇,蔡德所,刘朔孺,陈燕海,王备新(137)

海洋细菌 *Marinobacter adhaerens* HY-3 分离鉴定及对中肋骨条藻的化感作用 王洪斌,陈文慧,李信书,李士虎,阎斌伦(145)

水稻秸秆浸泡液对铜绿微囊藻生理特性的影响 苏文,孔繁翔,于洋,贾育红,张民(150)

化感物质肉桂酸乙酯对蛋白核小球藻生长及生理特性的影响 高李李,郭沛涌,苏光明,魏燕芳(156)

无负压供水模式下管网水力模拟与安全评价分析 王欢欢,刘书明,姜帅,孟凡琳,白璐(163)

天然有机物的相对分子量分布及亲疏水性对微滤膜组合工艺中膜污染的影响 胡孟柳,林洁,许光红,董秉直(169)

不同基质条件下透性处理对脱硫弧菌硫酸盐还原活性的影响 徐慧伟,张旭,李立明,郑光洁,李广贺(177)

基于零价铁的双金属体系对六氯苯还原脱氯研究 曾宪委,刘建国,聂小琴(182)

负载型 TiO₂ 光电催化降解孔雀石绿的动力学研究 张小娜,周少奇,周晓(188)

污水厂微孔曝气系统工况下充氧性能测试与分析 吴媛媛,周小红,施汉昌,邱勇(194)

微气泡及其产生方式对活性污泥混合液性质的影响 刘春,马锦,张磊,张静,张明,吴根(198)

不同氮浓度冲击对颗粒污泥脱氮过程中 N₂O 产生量的影响 韩雪,高大文(204)

模拟电镀污泥重金属浸出液对氧化亚铁硫杆菌活性的影响 谢鑫源,孙培德,楼菊青,郭茂新,马王钢(209)

嗜麦芽窄食单胞菌对铜镉的吸附特性与离子交换 白洁琼,尹华,叶锦韶,彭辉,唐立栉,何宝燕,李跃鹏(217)

阴离子表面活性剂改性水滑石吸附硝基苯的特性研究 夏燕,朱润良,陶奇,刘汉阳(226)

活性氧化铝对水中磷的去除与回收研究 孟文娜,谢杰,吴德意,张振家,孔海南(231)

北京城区可吸入颗粒物分布与呼吸系统疾病相关分析 杨维,赵文吉,官兆宁,赵文慧,唐涛(237)

北京市市售鸡蛋和鸭蛋中全氟化合物的污染水平研究 齐彦杰,周珍,史亚利,孟昭福(244)

北京市场常见淡水食用鱼体内农药残留水平调查及健康风险评估 千志勇,金芬,孙景芳,原盛广,郑蓓,张文婧,安伟,杨敏(251)

多效应残差法(MERA)表征二甲亚砜-农药二元混合物毒性相互作用 霍向晨,刘树深,张晶,张瑾(257)

利用 DGGE-菌落原位杂交法分离土壤中精喹禾灵降解菌 吕欣,彭霞薇,呼庆,马安周,江泽平,魏远(263)

不同白腐真菌复配方式对产酶的影响 孟瑶,梁红,高大文(271)

不同施肥措施对土壤活性有机碳的影响 张瑞,张贵龙,姬艳艳,李刚,常泓,杨殿林(277)

垦殖对湿地土壤有机碳垂直分布及可溶性有机碳截留的影响 霍莉莉,邹元春,郭佳伟,吕宪国(283)

黄河三角洲碱蓬湿地土壤有机碳及其组分分布特征 董洪芳,于君宝,管博(288)

丘陵林地土壤酸化改良剂的集中施用-自然扩散修复技术研究 方熊,刘菊秀,尹光彩,赵亮,刘世忠,褚国伟,李义勇(293)

重度滴滴涕污染土壤低温等离子体修复条件优化研究 陈海红,骆永明,滕应,刘五星,潘澄,李振高,黄玉娟(302)

无定形 Fe(OH)₃ 和 Fe₃O₄ 共沉淀态 As 的化学提取 陈义萍,王少锋,贾永锋(308)

铝和锰对外生菌根真菌生长、养分吸收及分泌作用的影响 李华,黄建国,袁玲(315)

污泥和餐厨垃圾联合干法中温厌氧消化性能研究 段妮娜,董滨,李江华,戴翎翎,戴晓虎(321)

高比表面生物质炭的制备、表征及吸附性能 李坤权,李焯,郑正,桑大志(328)

基于情景分析的浙江沿海地区环境污染防治战略研究 田金平,陈吕军,杜鹏飞,钱易(336)

微生物全细胞传感器在重金属生物可利用度监测中的研究进展 侯启会,马安周,庄绪亮,庄国强(347)

2012 城市生态学术研讨会会议论文

北京市城乡环境梯度下街尘中重金属污染特征 何小艳,顾培,李叙勇,赵洪涛(357)

北京市道路灰尘中污染物含量沿城乡梯度、道路密度梯度的变化特征 唐荣莉,马克明,张育新,毛齐正(364)

北京城市典型下垫面降雨径流污染初始冲刷效应分析 任玉芬,王效科,欧阳志云,侯培强(373)

洋河流域张家口段河流水质演化及驱动因子分析 虎博,王铁宇,吕永龙,杜立宇,罗维(379)

低碳交通电动汽车减排潜力及其影响因素分析 施晓清,李笑诺,杨建新(385)

北京市社区生活垃圾分类收集实效调查及其长效管理机制研究 邓俊,徐琬莹,周传斌(395)

人工湿地在应用中存在的问题及解决措施 黄锦楼,陈琴,许连煌(401)

《环境科学》征订启事(26) 《环境科学》征稿简则(68) 信息(76,144,301,400) 专辑征稿通知(394)

北京市城乡环境梯度下街尘中重金属污染特征

何小艳^{1,3}, 顾培², 李叙勇¹, 赵洪涛^{1*}

(1. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 贵州大学喀斯特环境与地质灾害防治教育部重点实验室, 贵阳 550003)

摘要: 街尘是引起城镇面源污染分布最为广泛、最重要的污染物载体。以城乡环境梯度为出发点, 以北京地区的中心城区-城中村-郊区区县-乡镇-农村村庄的街尘为研究对象, 并对街尘的粒径进行分级, 分析城乡环境梯度下街尘的单位面积质量、粒径组成的分异规律和街尘的重金属含量及赋存形态, 揭示城乡环境梯度对街尘及其负载的中重金属污染的影响和街尘中重金属污染的粒径效应, 以期为我国城市化进程中街尘的源头控制和分层次管理提供科学依据。结果表明, 街尘中 Cr、Cu、Ni、Pb、Zn 这 5 种重金属浓度以中心城区最高, 农村村庄最低, 单位面积街尘量则相反。街尘中 Ni、Pb、Zn 的弱酸可提取态比例较高 (19.1%、11.1%、34.8%), Cr 和 Cu 则相对较低 (3.7%、2.1%)。粒径 < 105 μm 街尘对重金属总量的贡献率 (32.4% ~ 62.4%) 要大于其所占总质量比例 (22.9% ~ 49.6%)。对重金属污染在不同城乡环境梯度可采取不同的控制策略: 中心城区和郊区区县可加强细粒径冲刷的关注, 而农村村庄和城中村则需加强环境卫生管理与改善道路清扫方式和频率。

关键词: 街尘; 重金属; 城乡环境梯度; 赋存形态; 污染负荷

中图分类号: X131 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)01-0357-07

Characteristics of Heavy Metal Contamination in Street Dusts Along the Urban-Rural Gradient Around Beijing

HE Xiao-yan^{1,3}, GU Pei², LI Xu-yong¹, ZHAO Hong-tao¹

(1. State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Key Laboratory of Karst Environment and Geological Hazard Prevention of Ministry of Education, Guizhou University, Guiyang 550003, China)

Abstract: Road-deposited sediment (RDS) is an important carrier of the diffused pollution. This study analyzed the influences of the urban-suburban-rural gradient (central urban, urban village, central suburban county, rural town, and rural village areas) on the content and chemical fractions of heavy metals. The concentrations of five heavy metals (Cr, Cu, Ni, Pb, and Zn) in RDS in the central urban area were the highest, and the lowest concentrations appeared in the rural village area. The mass of RDS per unit area were opposite to the metals concentrations in distribution. The proportion of weak acid extractable Ni, Pb, and Zn in RDS was higher than that of Cr and Cu. The contribution of heavy metals in smaller grain size (32.4% - 62.4%) was greater than that in coarser grain size (22.9% - 49.6%). It will be helpful to reduce the RDS pollution for runoff and apply appropriate strategies for controlling runoff pollution from RDS according to RDS and its contribution to heavy metal pollution along the urban-rural gradient.

Key words: street dust; heavy metal; urban-rural gradient; chemical forms; pollution load

街尘及其径流-冲刷行为是导致城镇降雨径流污染最重要的直接来源与途径。街尘受到汽车尾气、轮胎磨损、工业生产活动、道路老化、大气沉降、融雪剂等污染, 从而易富集有毒污染物尤其是重金属, 极易随降雨冲刷迁移进入受纳水体^[1~3]。街尘及其负载的污染物对径流的影响除了受降雨事件特征(降雨强度及历时)外, 还与街尘粒径组成与数量、污染物的含量及赋存形态、道路清扫方式、下垫面类型及粗糙度、土地利用类型、交通流量、能源消耗及使用方式等密切相关。当前, 国内外对街尘的研究主要集中在街尘化学污染物调查、形态分级、时空分异、判源分析等方面^[4,5], 同时这些研究主要集中在大中型城市中心城区, 对小城镇和农

村村庄尚缺乏深入研究, 造成了在我国城乡环境梯度尺度下街尘中重金属污染的认知不足。

然而, 当前我国快速城市化的一个重要特征是城乡一体化^[6,7], 快速城镇化引起的环境管理水平、环境卫生习惯、道路清扫方式、不透水地表比例、人口、交通流量以及能源利用方式等发生了巨大变化, 从而形成新的城乡环境梯度格局。这种新的城乡环境梯度格局决定了一定空间内人类活动类型、污染源的数量及强度、水文改变程度、环境管理水

收稿日期: 2012-03-23; 修订日期: 2012-08-13

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41171395, 41071323, 40971271)

作者简介: 何小艳(1988~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为城市面源污染控制, E-mail: hxy1014@163.com

* 通讯联系人, E-mail: htzhao@cees.ac.cn

平等众多因素^[7-9],必然会对城镇面源污染物的重要载体——街尘的产生、空间分布、时间动态、负载的污染物特征形成重大影响. Sartor 等^[10]最早对不透水地面街尘的累积进行研究,发现街尘的数量是由土地利用类型、街道质地、街道清扫方式等因素所决定的,粗糙的地表会对储存大量的街尘. 另外粒径大小对街尘的迁移性和污染浓度有很大影响^[11,12], < 100 μm 的街尘对径流污染影响最大^[3,13]. 我国城乡二元经济结构的状况,决定城乡间不透水地表街尘及其承载的污染物分布可能存在较大差异,其分异特征则鲜有研究报道.

鉴于此,本研究选择北京市中心城区-郊区区县-乡镇-农村村庄-城中村街尘为对象,通过对街尘中重金属总量和赋存形态的分析,揭示城乡环境梯度对街尘及其负载的重金属污染的影响,以期为我国城乡化进程中街尘及其降雨冲刷污染的源头控制和分层次管理提供科学依据.

1 材料与方 法

1.1 研究区域的概况

北京市位于北纬 $39^{\circ}54'$,东经 $116^{\circ}23'$,属于典型的暖温带半干旱、半湿润大陆性季风气候,平均

降雨量为 483.9 mm. 北京地区总面积 $16\,411\text{ km}^2$,截止 2009 年,全市常住人口 1755 万人,城市建设用地面积为 $1\,350\text{ km}^2$,实有道路面积为 $9\,179\text{ 万 m}^2$,人均拥有道路面积是 7.81 m^2 ,机动车拥有量 401.9 万辆^[14,15]. 因人口密度的增大、汽车数量的增加,使得北京道路街尘的污染日益严重. 为更好地研究不同城市化水平下道路街尘的重金属污染情况,本研究结合北京市 SPOT-5 遥感影像解译结果和野外调查提取研究区域不透水下垫面类型、面积等信息,把北京全境确定为中心城区-城中村-郊区区县-乡镇-农村城乡环境梯度样带. 在中心城区(海淀、丰台)主路、支路各设两个采样点,中心城区城中村的主路、支路各设两个采样点,郊区区县(通州、大兴、房山、门头沟、昌平、延庆、怀柔、密云、顺义、平谷)各自分别选择主路、支路各设两个采样点,每个郊区区县各选择一个典型的乡镇和村庄,在其主路、支路分别设 1 个采样点,道路采样共 92 个点. 根据已测的粒径组成、污染物浓度情况,从中选择中心城区(海淀、丰台)、中心城区城中村;郊区区县(延庆、房山、通州)、乡镇、农村村庄共 12 个采样点进行分析各研究区的道路街尘重金属污染情况(表 1).

表 1 采样点情况

Table 1 Characteristics of sampling sites

城乡环境梯度 ¹⁾	原有清扫方式	清扫频率 /次·d ⁻¹	地表粗糙度	地表类型	人口密度 /人·km ⁻²	交通密度
中心城区(2)	机扫	3	平坦	沥青	15 000	高
城中村(2)	人工	<0.2	粗糙	沥青	1 200	低
郊区区县(3)	机扫	3~2	平坦	沥青	3 000~5 000	高
乡镇(3)	人工	2	中等	沥青	1 500~2 000	中等
农村村庄(3)	人工	<0.3	粗糙	水泥	1 000	低

1) 括号内的数字代表样品采集点个数

1.2 样品采集

街尘样品于 2009 年 9 月采集,前期晴天累积天数约为两周,采样时间选在采样区清扫周期的中间时刻. 采用真空吸尘器(型号为 Philips FC8264)收集街尘,收集样品质量约 700 g,并测定采样面积(5~20 m^2). 街尘样品风干后,拣出杂物并称重后计算各采样点街尘的总质量及单位面积质量. 街尘样品风干后,先通过 $1\,000\text{ }\mu\text{m}$ 的尼龙网筛去除树叶、烟头、大石子等杂物,之后依次过 44、62、105、149、250、450 μm 的筛子,将分成的 7 部分分别称重计算各粒径街尘中颗粒物的组成比例,并用封口袋装好用于化学分析.

1.3 样品分析

街尘中重金属总量的测定方法如下:称取 0.25 g 样品,精确到 $0.000\,1\text{ g}$,往聚四氟消煮管依次加入浓硝酸 9 mL,盐酸 2 mL,氢氟酸 3 mL,密封后放入微波萃取系统(型号:MARS, CEM, America)消煮,消煮后定容至 25 mL 低温密封保存待测. 重金属赋存形态分析采用 BCR 分级提取法^[16],依次提取重金属的弱酸可提取态、可还原态、可氧化态和残渣态,具体分级提取过程见表 2. 以上消煮液和提取液均采用 Perkin-Elmer Elan 6000 ICP-OES 测定.

为减少试验误差,试验所用试剂均为优级纯,所有容器均预先在 10% 稀硝酸溶液中浸泡 24 h 以上,依次用自来水、去离子水、超纯水冲洗,以减少污

染. 分析过程中,通过土壤标准物(GSS-1、GSS-2) 质中重金属测定的回收率在 90% ~ 110%,样品重复测定和试剂空白来进行质量控制. 土壤标准物 复之间的相对标准偏差介于 5% ~ 10% 之间.

表 2 连续化学浸提重金属赋存形态的操作步骤

Table 2 Four-step sequential extraction of heavy metals

步骤	重金属形态	提取步骤
1	弱酸可提取态	40 mL 0.11 mol·L ⁻¹ 乙酸溶液, (22 ± 5) °C, 220 转条件下振荡 16 h 后, 3 000 r·min ⁻¹ 离心 20 min
2	可还原态	40 mL 0.5 mol·L ⁻¹ 盐酸羟氨 (pH 1.5), 振荡 16 h, 3 000 r·min ⁻¹ 离心 20 min
3	可氧化态	10 mL 30% 的 H ₂ O ₂ (pH 2 ~ 3), 在 22 °C 左右条件下消化 1 h 后置于 (85 ± 2) °C 水浴锅中 1.5 h, 使溶液体积小于 3 mL; 再次加入 10 mL H ₂ O ₂ , 85 ± 2 °C 水浴锅中 2 h, 使溶液体积约 1 mL; 加入 50 mL 1 mol·L ⁻¹ 的乙酸铵 (pH 2.0), 振荡 16 h, 3 000 r·min ⁻¹ 离心 20 min
4	残渣态	3 mL 蒸馏水、7.5 mL 6 mol·L ⁻¹ 盐酸和 14 mol·L ⁻¹ 硝酸; 20 °C 下静置过夜, 逆流下煮沸 2 h, 冷却后过滤

1.4 数据处理

街尘中各粒径污染物负荷比的计算采用文献 [17] 推出的公式:

$$GSF_{Load} = \frac{c_i \times GS_i}{\sum_{i=1}^m c_i \times GS_i}$$

式中, GSF_{Load} 为单个粒径所含污染物对全部粒径的污染物含量贡献; c_i 是单个粒径污染物的浓度 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$); GS_i 是单个粒径占全部粒径街尘的质量比; m 是全部粒径的个数.

采用 SPSS 16.0 进行方差分析和多重比较 (LSD 法), 作图软件采用 Origin 8.0. 文中数据及柱状图均以均值 ± 标准偏差 (SD) 表示.

2 结果与分析

2.1 城乡环境梯度下街尘中重金属浓度的差异对比

表 3 不同城乡环境梯度下 5 种重金属的浓度¹⁾ / $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Table 3 Concentration of five heavy metals along urban-rural gradient / $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$

城市化水平	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
中心城区	72.3 ± 17.9 a A	102.8 ± 27.0 a A	25.1 ± 6.8 a A	54.9 ± 15.4 a A	320 ± 100 a A
城中村	69.5 ± 12.3 ab A	30.1 ± 7.8 b B	20.6 ± 11.5 ab AB	44.3 ± 10.5 ab AB	210 ± 87 b B
郊区区县	57.0 ± 23.8 ab A	50.1 ± 35.3 b B	16.5 ± 8.4 b AB	43.3 ± 14.2 bc AB	264 ± 135 ab AB
乡镇	56.9 ± 17.5 ab A	30.3 ± 14.9 b B	17.9 ± 8.7 b AB	37.6 ± 10.5 bc BC	184 ± 76 bc B
农村村庄	49.7 ± 18.7 b A	22.6 ± 14.7 b B	14.4 ± 6.9 b B	31.1 ± 7.9 b d BC	142 ± 58 c B

1) 同列数据小写字母不同表示差异达到显著水平 ($P < 0.05$), 大写字母不同表示差异达到极显著水平 ($P < 0.01$)

2.2 城乡环境梯度下街尘中重金属赋存形态的变化

由于城乡环境的差异,城乡环境梯度影响着街尘中重金属赋存形态 (见图 1), Cr、Ni 主要以残渣态为主, Cu 主要以可氧化态为主, Pb 主要以可氧化态和可还原态为主, Zn 主要以弱酸可提取态为主. Cr 的残渣态比例在郊区区县最高 (75.3%), 而中心城区、城中村、乡镇的残渣态比例相对较低 (69.6%、62.9%、58.5%), 这可能与 Cr 主要来源于电镀、电池、不锈钢等工业生产, 且这些工业生

城乡环境梯度影响着街尘中重金属的浓度. 表 3 为不同城乡环境梯度下街尘中 Cr、Cu、Ni、Pb、Zn 这 5 种重金属的浓度及对比分析结果. Cr、Cu、Ni、Pb、Zn 的平均浓度分别是 (61.1 ± 8.5)、(47.2 ± 29.3)、(18.9 ± 3.7)、(42.2 ± 7.9)、(224.0 ± 62.2) $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. 城乡环境梯度下 5 种重金属浓度从高到低顺序略有不同: 其中 Cr、Ni、Pb 为中心城区 > 城中村 > 郊区区县 > 乡镇 > 农村村庄; Cu、Zn 则为中心城区 > 郊区区县 > 城中村 > 乡镇 > 农村村庄. 5 种重金属均在中心城区具有最高浓度, 在农村村庄存在浓度最低值. 对比分析结果表明: Cr, 中心城区与农村村庄存在显著差异; Cu, 中心城区与其他 4 种环境梯度存在显著差异; Ni、Pb, 中心城区则与郊区区县、乡镇、农村村庄存在显著差异; Zn, 中心城区与城中村、乡镇、农村村庄存在显著差异.

产主要分布于郊区有关. Cu 的弱酸可提取态比例在不同城乡环境梯度下大致相同, 但可氧化态比例以中心城区和郊区区县为最高 (63.8%、54.2%), 在水化学条件变化时可氧化态会发生转化进入水体造成污染. Ni、Pb、Zn 的弱酸可提取态都是在中心城区和郊区区县比例最高 (25.0%、20.7%)、(12.8%、9.9%)、(36.9%、35%), 较易进入水体造成污染.

2.3 城乡环境梯度对街尘粒径及量分布的影响

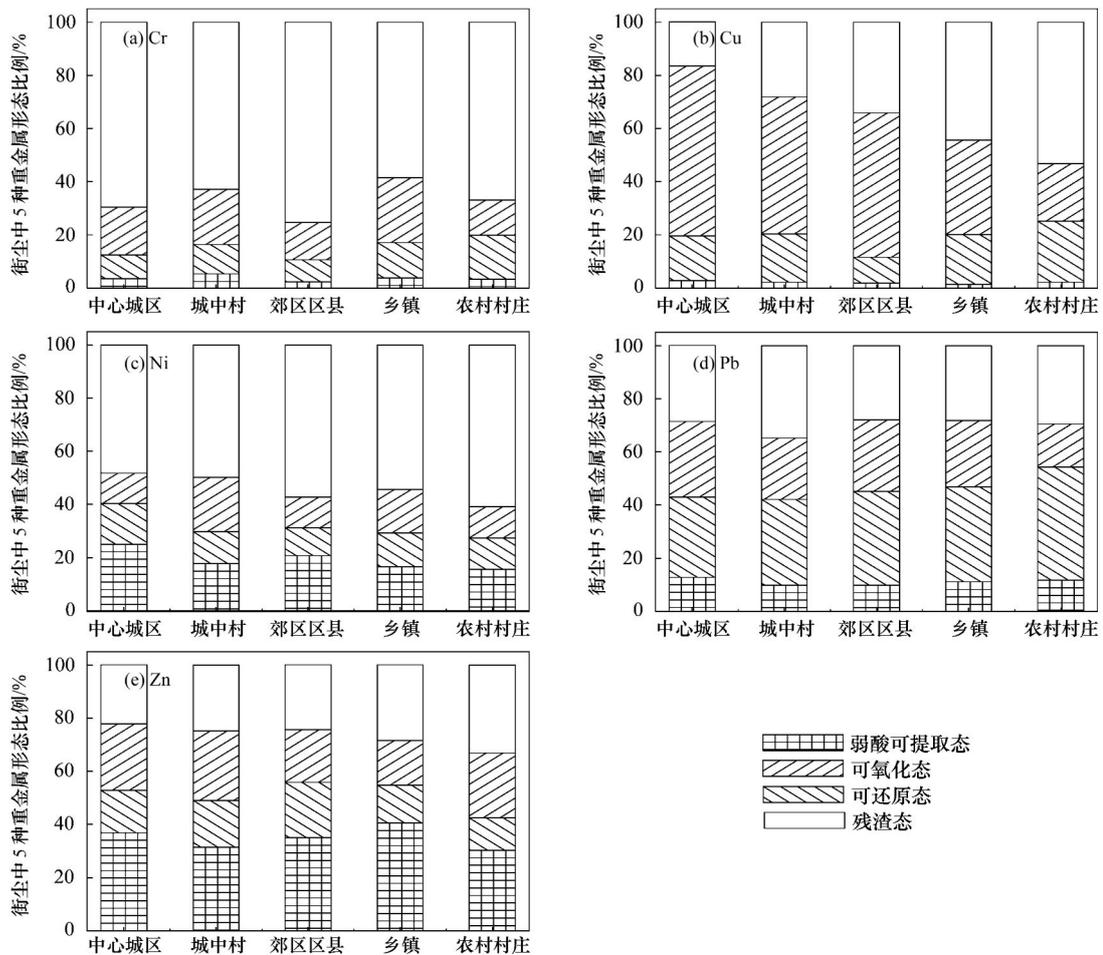


图1 城乡环境梯度下5种重金属的赋存形态比例变化

Fig. 1 Percentages of different speciation of five heavy metals along the urban-rural gradient

城乡环境梯度决定着街尘的粒径组成比例与单位面积质量. 单位面积街尘质量从低到高依次为: 郊区区县 ($20 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2} \pm 16 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$) < 中心城区 ($21 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2} \pm 24 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$) < 城中村 ($59 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2} \pm 63 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$) < 乡镇 ($147 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2} \pm 112 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$) \leq 村庄 ($147 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2} \pm 198 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$). 图2为不同城乡环境梯度下各粒径的质量分布情况. 在各环境梯度下, 街尘的 $62 \sim 105 \mu\text{m}$ 粒径段所占质量比例最高, 在中心城区、城中村、郊区区县、乡镇、农村村庄中的质量比例分别为37%、19%、36%、30%、40%. 粒径 $< 105 \mu\text{m}$ 街尘在中心城区含量比例最高 (49.6%), 其次是村庄、郊区区县、乡镇、城中村 (47.8%、44.3%、38.1%、22.9%); 粒径 $450 \sim 1000 \mu\text{m}$ 街尘则在中心城区和郊区区县质量比例最低 (8.24%、6.77%). 由此可见, 中心城区和郊区区县的街尘量相对较少, 主要以细粒径为主; 而管理水平差的乡镇、村庄的街尘量多, 并且大粒径颗粒含量高.

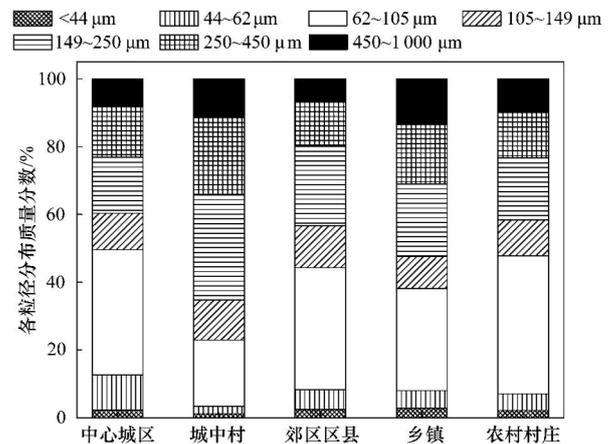


图2 不同城乡环境梯度下各粒径质量分布

Fig. 2 Particle size distribution of street dust along the urban-rural gradient

2.4 不同粒径街尘中重金属浓度变化

粒径对街尘中重金属总量和赋存形态都有着重要影响. 图3为不同粒径街尘中5种重金属的浓度变化, 随着粒径的增大, 5种重金属浓度都呈下降趋

势,粒径越小,重金属含量越高. 5 种重金属在所采集样品中的平均浓度分别为 (61.7 ± 17.6) 、 (45.3 ± 24.8) 、 (19.1 ± 8.2) 、 (41.8 ± 10.1) 、 $(257.1 \pm 97.7) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,从总的标准偏差来看,各粒径之间波动较大,这是由于不同城市化水平研究区之间的差异较大.

相对于其他赋存形态,残渣态比例组成随着粒径的变化不大(见图4),Cr、Cu、Ni、Pb、Zn 中残渣态平均比例分别是 66.8%、32.9%、54.0%、30.0%、25.5%. Cr 在 $>149 \mu\text{m}$ 粒径段非残渣态比例有所上升,潜在危害性增大; Cu、Pb 的弱酸可

提取态和可还原态随粒径的增大比例有所上升,可氧化态比例则反之; Ni 的弱酸可提取态比例随粒径的增大而减小,可还原态随之增大. Zn 的 4 种形态平均比例为 33.2%、17.3%、24.1%、25.5%,随粒径的变化不太显著. 重金属活化态比例也越高,其潜在危害性越大,街尘中 Cr、Cu、Pb 在大粒径段的相对潜在危害性较大, Ni 则反之.

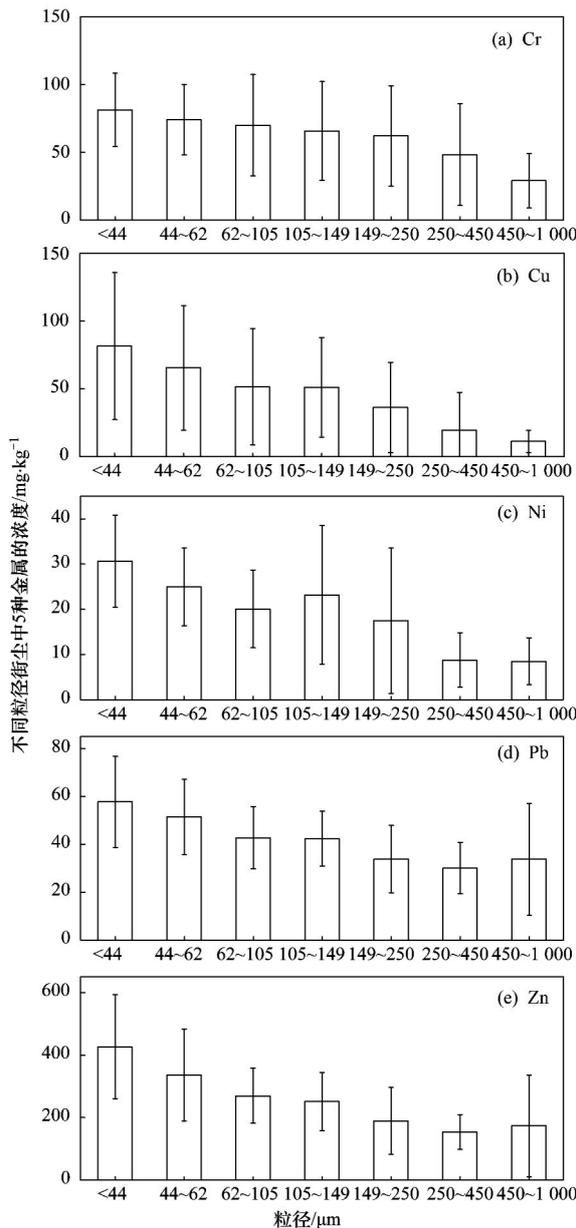


图3 不同粒径街尘中5种重金属的浓度变化

Fig. 3 Concentration changes of five heavy metals in different particle size

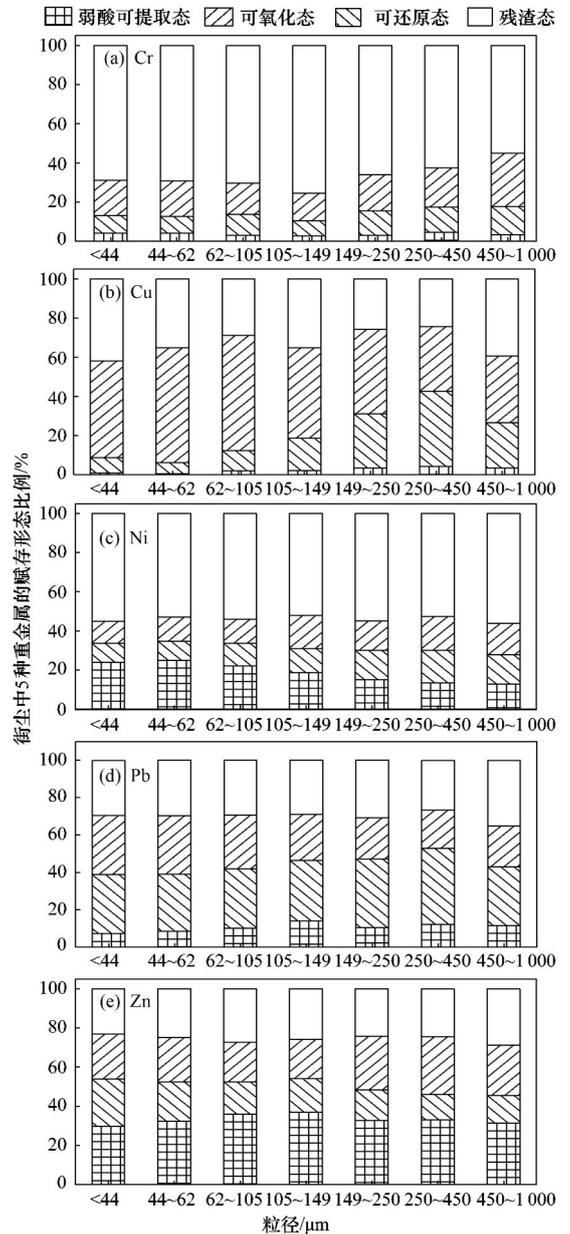


图4 不同粒径街尘中重金属赋存形态比例的变化

Fig. 4 Percentages of heavy metals in each speciation fraction in street dust

3 讨论

3.1 粒径对街尘中重金属污染的影响

粒径的大小与各粒径段重金属质量负荷比有

很大的关系,5种重金属在不同城乡环境梯度下的各粒径段重金属质量负荷比如图5所示,与粒径质量分布图相比发现:细粒径段的重金属质量负荷比大于其粒径质量比,<105 μm 粒径段的重金属质量负荷比在中心城区、郊区区县、城中村、乡镇、农村村庄中分别是62.4%、53.0%、32.4%、47.7%、53.2%,而各粒径中质量比分别为49.6%、47.8%、44.3%、38.1%、22.9%,粗粒径则相反.街尘的粒径效应已在很多文献研究中体现^[3,14,18],粒径越小,污染物的浓度越高,这是由于小粒径颗粒物比表面积大,吸附污染物能力较强,在整个街尘污染中发挥着重要作用,在降雨

径流中也发挥着不可忽视的作用,需要引起重视.不同的污染来源产生不同粒径范围的街尘^[19],粒径组成又决定了街尘的迁移率和污染特征,轮胎磨损容易产生20 μm 的街尘,燃煤烟尘粒径在10~30 μm ,建筑材料尘粒径在20~60 μm ^[20,21],这就造成了中心城区中细粒径比例较大、重金属浓度高、负荷贡献率大.另外,不同重金属之间的各粒径段重金属质量负荷比也有所差异,比如城中村中Cu、Zn在<105 μm 小粒径段质量负荷比较高(43.3%、41.1%),而Cr、Ni、Pb的质量负荷比分别是25.8%、23.8%、28.3%,这主要是由于不同重金属的来源不同而引起的.

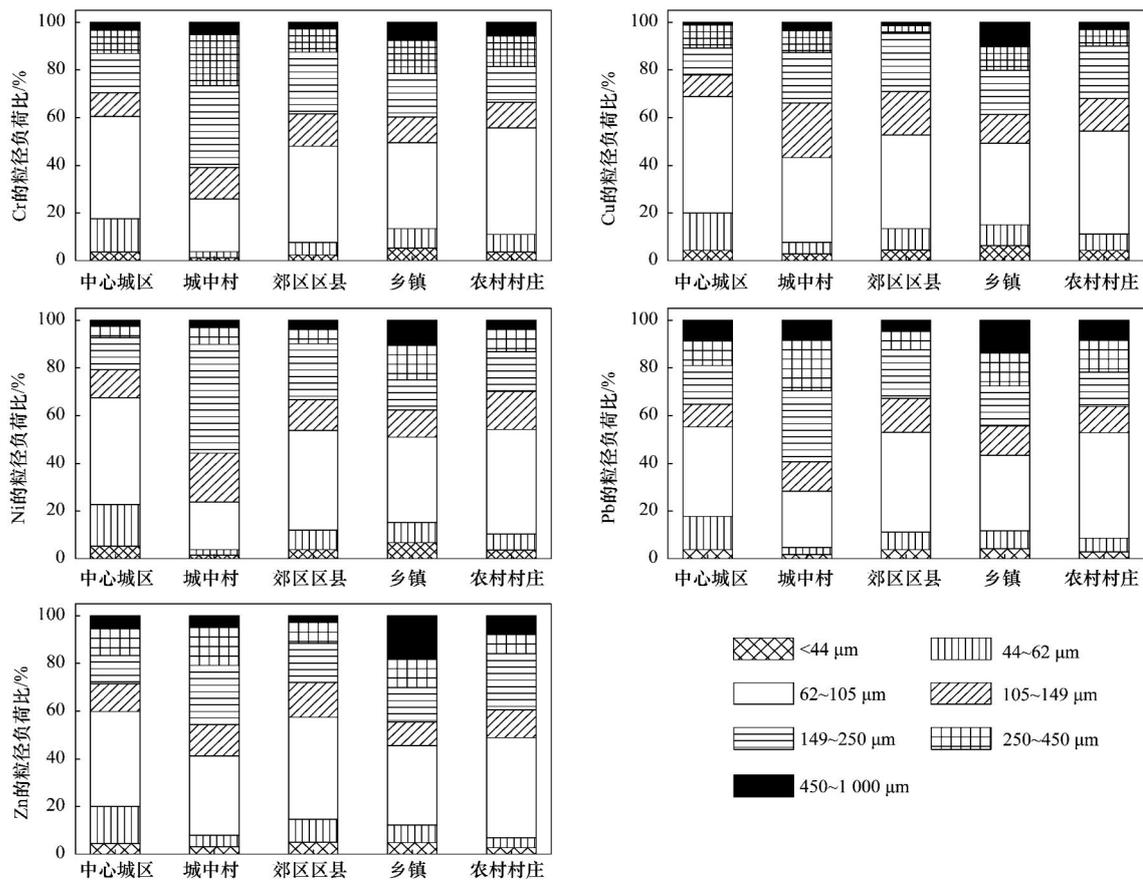


图5 不同城乡环境梯度下5种重金属的粒径贡献率

Fig. 5 Loading on a grain size fraction in different particle size street dust along the urban-rural gradient

3.2 城乡环境梯度对街尘污染特征的影响

城乡环境梯度决定了街尘的污染特征,以往的研究主要从不同土地利用类型方面研究^[22~25],从大尺度范围上来探讨道路街尘中重金属的污染特征较少.街尘受工业生产活动、汽车尾气、轮胎磨损、道路老化、大气沉降、溶雪剂等所产生的颗粒物在风力、水力及重力的作用下沉积在城市地表^[26,27],其中人为活动是最主要的污染来源,人口

密集区和交通拥挤区的街尘中污染物浓度较高.不同城乡环境梯度下道路的粗糙度、清扫方式和清扫频率也是影响街尘的粒径组成和污染负荷的重要原因.研究发现人口密度大、交通拥挤、煤气消耗高,但地表平坦的市区,使用机扫方式、清扫频率增加使得单位面积街尘量减少,而人口密度小、地面粗糙、采用人工清扫、清扫频率低的城中村、乡镇、农村村庄的单位面积街尘量较大,并且大粒径组成

比例大。城乡环境梯度也影响着街尘的粒径组成、污染贡献率和数量^[28,29],虽然中心城区、郊区县区的单位面积街尘量相对较低,但其细粒径的比例高,所以其浓度必然会高。并且细粒径在冲刷过程中易进入水体中,对水体造成污染,所以还应采取措施吸附或固定细粒径的街尘。对于乡镇、农村村庄、城中村则采取提高清扫方式和清扫频率来减少单位面积街尘量及大粒径颗粒物,减少污染物随降雨径流的迁移。

4 结论

(1)城乡环境梯度对街尘的污染特征有很重要的影响,环境卫生管理水平高的中心城区和郊区县区的街尘重金属浓度大,细粒径质量比例高。而环境卫生管理水平低的乡镇、农村村庄、城中村街尘量大,粗粒径质量比例高。

(2)街尘中 Ni、Pb、Zn 的生物活性较高,随降雨径流进入水体中较易造成污染,应采取前期消减污染。

参考文献:

- [1] Al-Khashman O A. Determination of metal accumulation in deposited street dusts in Amman, Jordan [J]. *Environmental Geochemistry and Health*, 2007, **29**(1): 1-10.
- [2] 林啸,刘敏,侯立军,等. 上海城市土壤和地表灰尘重金属污染现状及评价 [J]. *中国环境科学*, 2007, **27**(5): 613-618.
- [3] Zhao H T, Li X Y, Wang X M. Heavy metal contents of road-deposited sediment along the urban-rural gradient around Beijing and its potential contribution to runoff pollution [J]. *Environmental Science & Technology*, 2011, **45**(17): 7120-7127.
- [4] 常静. 城市地表灰尘-降雨径流系统污染物迁移过程与环境效应 [D]. 上海: 华东师范大学, 2007. 66-71.
- [5] Jonathan M P, Jayaprakash M, Srinivasalu S, *et al.* Evaluation of acid leachable trace metals in soil around a five centuries old mining district in Hidalgo, central Mexico [J]. *Water Air and Soil Pollution*, 2010, **205**(1-4): 227-236.
- [6] 何春阳,史培军,陈晋,等. 北京地区城市化过程与机制研究 [J]. *地理学报*, 2002, **57**(3): 363-370.
- [7] 李俊祥,王玉洁,沈晓虹. 上海市城乡梯度景观格局分析 [J]. *生态学报*, 2004, **24**(9): 1973-1980.
- [8] Callender E, Rice K. The urban environmental gradient: anthropogenic influences on the spatial and temporal distributions of lead and zinc in sediments [J]. *Environmental Science & Technology*, 2000, **34**(2): 232-238.
- [9] 杨柳,马克明,郭海清,等. 城市化对水体非点源污染的影响 [J]. *环境科学*, 2004, **25**(6): 32-39.
- [10] Sartor J D, Boyd G B. Water pollution aspects of street surface contaminants [R]. EPA-R2-72-081. Washington DC: US EPA Office of Research and Monitoring, 1972.
- [11] 全泉,田光进. 基于 GIS 的北京市城乡景观格局梯度时空变化研究 [J]. *生态科学*, 2008, **27**(4): 254-261.
- [12] Zhu W, Bian B, Li L. Heavy metal contamination of road-deposited sediments in a medium size city of China [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2008, **147**(1-3): 171-181.
- [13] 郭广慧,雷梅,陈同斌,等. 交通活动对公路两侧土壤和灰尘中重金属含量的影响 [J]. *环境科学学报*, 2008, **28**(10): 1937-1945.
- [14] 常静,刘敏,李先华. 上海城市地表灰尘重金属污染累积过程与影响因素 [J]. *环境科学*, 2008, **29**(12): 3483-3488.
- [15] 于秀琴. 北京统计年鉴 2010 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2010. 41.
- [16] 国家统计局城市社会经济调查司. 中国城市统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2010.
- [17] Ross A S, Filip M G. Fractionation of Cu, Pb and Zn in certified reference soils SRM 2710 and SRM 2711 using the optimized BCR sequential extraction procedure [J]. *Advances in Environmental Research*, 2003, **8**(1): 37-50.
- [18] 王小梅,赵洪涛,李叙勇,等. 北京地区城乡街尘中铅污染分异特征研究 [J]. *土壤*, 2010, **43**(2): 232-238.
- [19] Bian B, Zhu W. Particle size distribution and pollutants in road-deposited sediments in different areas of Zhenjiang, China [J]. *Environmental Geochemistry and Health*, 2009, **31**(4): 511-520.
- [20] Zhao H T, Yin C Q, Chen M X, *et al.* Risk assessment of heavy metals in street dust particles to a stream network [J]. *Soil and Sediment Contamination*, 2009, **18**(2): 173-183.
- [21] 韩志伟,张美根,雷孝恩,等. 重庆市总悬浮颗粒物来源及分布特征 [J]. *气候与环境研究*, 2000, **5**(1): 45-50.
- [22] Sutherland R. Lead in grain size fractions of road-deposited sediment [J]. *Environmental Pollution*, 2003, **121**(2): 229-237.
- [23] 王丽丽,刘敏,欧冬妮,等. 上海城市地表灰尘重金属粒级效应与赋存形态研究 [J]. *华东师范大学学报(自然科学版)*, 2009, (6): 64-71.
- [24] 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.
- [25] Yuan Y, Hall K, Oldham C. A preliminary model for predicting heavy metal contaminant loading from an urban catchment [J]. *Science of the Total Environment*, 2001, **266**(1-3): 299-307.
- [26] 刘春华,岑况. 北京市街道灰尘的化学成分及其可能来源 [J]. *环境科学学报*, 2007, **27**(7): 1181-1188.
- [27] 张志明,方凤满,杨丁,等. 城市地表灰尘的分形特性分析 [J]. *土壤*, 2010, **42**(1): 142-147.
- [28] Egodawatta P K, Thomas E C, Goonetilleke S A. Mathematical interpretation of pollutant wash-off from urban road surfaces using simulated rainfall [J]. *Water Research*, 2007, **41**(13): 3025-3031.
- [29] Zanders J M. Road sediment: characterization and implications for the performance of vegetated strips for treating road run-off [J]. *Science of the Total Environment*, 2005, **339**(1-3): 41-47.

CONTENTS

Characteristics of Total Gaseous Mercury Concentrations at a Rural Site of Yangtze Delta, China	DOU Hong-ying, WANG Shu-xiao, WANG Long, <i>et al.</i> (1)
Compositions of Organic Acids in PM ₁₀ Emission Sources in Xiamen Urban Atmosphere	YANG Bing-yu, HUANG Xing-xing, ZHENG An, <i>et al.</i> (8)
Analysis on Water-soluble Inorganic Ions in the Atmospheric Aerosol of Xinglong	LI Xing-ru, SONG Ai-li, WANG Ying-feng, <i>et al.</i> (15)
Effects of Gaseous Compositions the on Simultaneous Removal of NO _x and SO ₂ from Simulated Flue Gas by Ammonia Absorption	WANG Hong, ZHU Tian-le, WANG Mei-yan (21)
Comparing the Ammonia Volatilization Characteristic of Two Typical Paddy Soil with Total Wheat Straw Returning in Taihu Lake Region	WANG Jun, WANG De-jian, ZHANG Gang, <i>et al.</i> (27)
Real-Time Analysis of Polyvinyl Chloride Thermal Decomposition/Combustion Products with Single Photon Ionization/Photoelectron Ionization Online Mass Spectrometer	CHEN Wen-dong, HOU Ke-yong, CHEN Ping, <i>et al.</i> (34)
Surface Characteristics of Alkali Modified Activated Carbon and the Adsorption Capacity of Methane	ZHANG Meng-zhu, LI Lin, LIU Jun-xin, <i>et al.</i> (39)
Distribution of Dimethylsulfoxide(DMSO) in the Surface Water of the Yellow Sea and the Bohai Sea	WANG Min, ZHANG Hong-hai, YANG Gui-peng (45)
Resolving Characteristic of CDOM by Excitation-Emission Matrix Spectroscopy Combined with Parallel Factor Analysis in the Seawater of Outer Yangtze Estuary in Autumn in 2010	YAN Li-hong, CHEN Xue-jun, SU Rong-guo, <i>et al.</i> (51)
Estimation and Forecast of Chlorophyll a Concentration in Taihu Lake Based on Ensemble Square Root Filters	LI Yuan, LI Yun-mei, WANG Qiao, <i>et al.</i> (61)
Research of Hyperspectral Reconstruction Based on HJ1A-CCD Data	GUO Yu-long, LI Yun-mei, ZHU Li, <i>et al.</i> (69)
Research on the Sensitivity of Geochemical of Underground River in Chongqing Xueyu Cave	XU Shang-quan, YANG Ping-heng, YIN Jian-jun, <i>et al.</i> (77)
Bivariate Statistical Model for Calculating Phosphorus Input Loads to the River from Point and Nonpoint Sources	CHEN Ding-jiang, SUN Si-yang, JIA Ying-na, <i>et al.</i> (84)
Temporal and Spatial Variations of Total Nitrogen and Total Phosphorus in the Typical Reaches of Qinhuai River	LI Yue-fei, XIA Yong-qiu, LI Xiao-bo, <i>et al.</i> (91)
Derivation and Application of Sediment Quality Criteria of Cd and Hg for the Xiangjiang River	JIANG Bo-feng, SANG Lei-xin, SUN Wei-ling, <i>et al.</i> (98)
Distribution and Pollution Assessment of Heavy Metals in Soil of Relocation Areas from the Danjiangkou Reservoir	ZHANG Lei, QIN Yan-wen, ZHENG Bing-hui, <i>et al.</i> (108)
Concentrations of Soil Heavy Metals and Their Spatial Distribution in the Surrounding Area of Fenhe Reservoir	LI Jin-chang, ZHANG Hong, SHI Wei (116)
Distribution and Health Risk Assessment of Heavy Metals of Groundwaters in the Irrigation District of the Lower Reaches of Yellow River	ZHANG Yan, LI Fa-dong, OUYANG Zhu, <i>et al.</i> (121)
Concentrations and Distribution of Organochlorine Pesticides in the Surface Sediments of Jiaozhou Bay, Taozi Bay and Sishili Bay	LIU Yi-kai, ZHONG Guang-cai, TANG Jian-hui, <i>et al.</i> (129)
Choice of Macroinvertebrate Metrics for Constructing a Benthic-Index of Biotic Integrity Based on the Disturbance Gradients in the Qinjiang River Basin	LU Dong-qi, ZHANG Yong, CAI De-suo, <i>et al.</i> (137)
Isolation and Identification of <i>Marinobacter adhaerens</i> HY-3 and Its Allelopathy on <i>Skeletonema costatum</i>	WANG Hong-bin, CHEN Wen-hui, LI Xin-shu, <i>et al.</i> (145)
Effects of the Rice Straw on <i>Microcystis aeruginosa</i> Analyzed by Different Physiological Parameters	SU Wen, KONG Fan-xiang, YU Yang, <i>et al.</i> (150)
Effects of Allochemicals Ethyl Cinnamate on the Growth and Physiological Characteristics of <i>Chlorella pyrenoidosa</i>	GAO Li-li, GUO Pei-yong, SU Guang-ming, <i>et al.</i> (156)
Hydraulic Simulation and Safety Assessment of Secondary Water Supply System with Anti-Negative Pressure Facility	WANG Huan-huan, LIU Shu-ming, JIANG Shuai, <i>et al.</i> (163)
Effect of Relative Molecular Mass Distribution and Hydrophilicity/Hydrophobicity of NOM on Membrane Fouling in MF-combined Process	HU Meng-liu, LIN Jie, XU Guang-hong, <i>et al.</i> (169)
Effect of Permeabilization on Sulfate Reduction Activity of <i>Desulfovibrio vulgaris</i> Hildenborough Cells in the Presence of Different Electron Donors	XU Hui-wei, ZHANG Xu, LI Li-ming, <i>et al.</i> (177)
Dechlorination of HCB by Bimetals Based on Zero Valent Iron	ZENG Xian-wei, LIU Jian-guo, NIE Xiao-qin (182)
Study on Kinetics of Photoelectrocatalytic Degradation of Supported TiO ₂ on Malachite Green	ZHANG Xiao-na, ZHOU Shao-qi, ZHOU Xiao (188)
Measurement and Analysis of Micropore Aeration System's Oxygenating Ability Under Operation Condition in Waste Water Treatment Plant	WU Yuan-yuan, ZHOU Xiao-hong, SHI Han-chang, <i>et al.</i> (194)
Influence of Microbubble and Its Generation Process on Mixed Liquor Properties of Activated Sludge	LIU Chun, MA Jin, ZHANG Lei, <i>et al.</i> (198)
Impact of Different Nitrogen Concentrations on the N ₂ O Production in the Denitrification Process of Granular Sludge	HAN Xue, GAO Da-wen (204)
Effect of Simulated Heavy Metal Leaching Solution of Electroplating Sludge on the Bioactivity of <i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i>	XIE Xin-yuan, SUN Pei-de, LOU Ju-qing, <i>et al.</i> (209)
Characteristic and Ion Exchanges During Cu ²⁺ and Cd ²⁺ Biosorption by <i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	BAI Jie-qiong, YIN Hua, YE Jin-shao, <i>et al.</i> (217)
Sorption of Nitrobenzene to Anionic Surfactant Modified Layered Double Hydroxides	XIA Yan, ZHU Run-liang, TAO Qi, <i>et al.</i> (226)
Study on Phosphate Removal and Recovery by Activated Alumina	MENG Wen-na, XIE Jie, WU De-yi, <i>et al.</i> (231)
Spatial Distribution of Inhalable Particulate and Association with Respiratory Disease in Beijing City	YANG Wei, ZHAO Wen-ji, GONG Zhao-ning, <i>et al.</i> (237)
Pollution Levels of Perfluorochemicals in Chicken Eggs and Duck Eggs from the Markets in Beijing	QI Yan-jie, ZHOU Zhen, SHI Ya-li, <i>et al.</i> (244)
Residual Levels of Pesticides in Freshwater Fish from Beijing Aquatic Product Markets and Health Risk Assessment	YU Zhi-yong, JIN Fen, SUN Jing-fang, <i>et al.</i> (251)
Characterizing the Toxicity Interaction of the Binary Mixture Between DMSO and Pesticide by the Multi-Effect Residual Analysis (MERA)	HUO Xiang-chen, LIU Shu-shen, ZHANG Jing, <i>et al.</i> (257)
Isolation of Quinolofop- <i>p</i> -ethyl-degrading Bacteria from Soil by DGGE-Colony <i>in situ</i> Hybridization	LÜ Xin, PENG Xia-wei, HU Qing, <i>et al.</i> (263)
White-Rot Fungi Combinations Impact on Enzyme Productions	MENG Yao, LIANG Hong, GAO Da-wen (271)
Effects of Different Fertilizer Application on Soil Active Organic Carbon	ZHANG Rui, ZHANG Gui-long, JI Yan-yan, <i>et al.</i> (277)
Effect of Reclamation on the Vertical Distribution of SOC and Retention of DOC	HUO Li-li, ZOU Yuan-chun, GUO Jia-wei, <i>et al.</i> (283)
Distribution Characteristics of Soil Organic Carbon and Its Composition in <i>Suaeda salsa</i> Wetland in the Yellow River Delta	DONG Hong-fang, YU Jun-bao, GUAN Bo (288)
Study the Restoration Technology of Concentrated Application-Natural Diffusion about Amendments of Acidified Soil of Hilly Woodland	FANG Xiong, LIU Ju-xiu, YIN Guang-cai, <i>et al.</i> (293)
Optimizing Remediation Conditions of Non-thermal Plasma for DDTs Heavily Contaminated Soil	CHEN Hai-hong, LUO Yong-ming, TENG Ying, <i>et al.</i> (302)
Chemical Extraction of Arsenic Co-precipitated with Amorphous Fe(OH) ₃ and Fe ₃ O ₄	CHEN Yi-ping, WANG Shao-feng, JIA Yong-feng (308)
Influence of Aluminum and Manganese on the Growth, Nutrient Uptake and the Efflux by Ectomycorrhizal Fungi	LI Hua, HUANG Jian-guo, YUAN Ling (315)
High-solids Anaerobic Co-digestion of Sludge and Kitchen Garbage Under Mesophilic Conditions	DUAN Ni-na, DONG Bin, LI Jiang-hua, <i>et al.</i> (321)
Preparation, Characterization and Adsorption Performance of High Surface Area Biomass-based Activated Carbons	LI Kun-quan, LI Ye, ZHENG Zheng, <i>et al.</i> (328)
Study on Strategies of Pollution Prevention in Coastal City of Zhejiang Province Based on Scenario Analysis	TIAN Jin-ping, CHEN Lü-jun, DU Peng-fei, <i>et al.</i> (336)
Advance in the Bioavailability Monitoring of Heavy Metal Based on Microbial Whole-cell Sensor	HOU Qi-hui, MA An-zhou, ZHUANG Xiu-liang, <i>et al.</i> (347)
Characteristics of Heavy Metal Contamination in Street Dusts Along the Urban-Rural Gradient Around Beijing	HE Xiao-yan, GU Pei, LI Xu-yong, <i>et al.</i> (357)
Content Trends of Pollutants in Street Dust of Beijing Along the Urban-Rural Gradient and Road Density Gradient	TANG Rong-li, MA Ke-ming, ZHANG Yu-xin, <i>et al.</i> (364)
Analysis of First Flush Effect of Typical Underlying Surface Runoff in Beijing Urban City	REN Yu-fen, WANG Xiao-ke, OUYANG Zhi-yun, <i>et al.</i> (373)
Temporal Variation of Water Quality and Driving Factors in Yanghe Watershed of Zhangjiakou	PANG Bo, WANG Tie-yu, LÜ Yong-long, <i>et al.</i> (379)
Research on Carbon Reduction Potential of Electric Vehicles for Low-Carbon Transportation and Its Influencing Factors	SHI Xiao-qing, LI Xiao-nuo, YANG Jian-xin (385)
Investigation of Waste Classification and Collection Actual Effect and the Study of Long Acting Management in the Community of Beijing	DENG Jun, XU Wan-ying, ZHOU Chuan-bin (395)
Problems and Countermeasures in the Application of Constructed Wetlands	HUANG Jin-lou, CHEN Qin, XU Lian-huang (401)

《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)

2013年1月15日 34卷 第1期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 1 Jan. 15, 2013

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

国内外公开发行人