ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第12期

Vol.33 No.12

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办

科学出版社 出版

双奖期刊

环境科学
(HUANJING KEXUE)
ENVIRONMENTAL SCIENCE
第 33 卷 第 12 期
2012 年 12 月 15 日

目 次

特别策划:再生水灌溉利用生态风险研究专题
序 …… 陈卫平(4069)
再生水灌溉利用的生态风险研究进展 …… 陈卫平,张炜铃,潘能,焦文涛(4070)
绿地再生水灌溉土壤微生物量碳及酶活性效应研究 …… 潘能,侯振安,陈卫平,焦文涛,彭驰,刘文(4081)
绿地再生水灌溉土壤盐度累积及风险分析 …… 潘能,陈卫平,焦文涛,赵忠明,侯振安(4088)
再生水灌溉对土壤性质及重金属垂直分布的影响 …… 赵忠明,陈卫平,焦文涛,王美娥(4094)
模型模拟再生水灌溉对土壤水盐运动的影响 …… 吕斯丹,陈卫平,王美娥(4100)
模型模拟土壤性质和植被种类对再生水灌溉水盐运移的影响 …… 吕斯丹, 陈卫平, 王美娥(4108)
再生水灌溉农田土壤镉累积规律模拟研究 …… 赵忠明,陈卫平,焦文涛,王美娥(4115)
再生水灌溉土壤人工合成麝香累积模型模拟 …… 王美娥,陈卫平,焦文涛(4121)
城市绿化草坪再生水灌溉对地下水水质影响研究 …… 王巧环,陈卫平,王效科,任玉芬,张烨(4127)
北京市再生水的公众认知度评估 …… 张炜铃,陈卫平,焦文涛(4133)
研究报告
北京地区臭氧时空分布特征的飞机探测研究 …… 陈鹏飞,张蔷,权建农,高扬,黄梦宇(4141)
世博会期间上海市大气挥发性有机物排放强度及污染来源研究 …… 王红丽, 陈长虹, 黄海英, 王倩, 陈宜然, 黄成, 李莉, 张钢锋, 陈明华,楼晟荣, 乔利平(4151)
贡嘎山本底站大气中 VOCs 的研究 …… 张军科,王跃思,吴方堃,孙杰(4159)
区域大气环境风险源识别与危险性评估 …… 张晓春, 陈卫平, 马春, 詹水芬, 焦文涛(4167)
稻草烟尘中正构烷烃和正构脂肪酸的碳同位素 …… 刘刚,孙丽娜,李久海,徐慧 (4173)
汽油轿车 NEDC 循环超细颗粒物排放特性 …… 胡志远,李金,谭丕强,楼狄明(4181)
城市道路绿化带不同植物叶片附尘对大气污染的磁学响应 …… 隆茜,周菊珍,孟颉,达良俊(4188)
闽江口养殖塘水-大气界面温室气体通量日进程特征 …… 杨平,仝川,何清华,黄佳芳(4194)
模拟增温对冬小麦-大豆轮作农田土壤呼吸的影响 …… 刘艳, 陈书涛, 胡正华, 任景全, 沈小帅(4205)
广西大石围天坑中多环芳烃的大气传输与分异 …… 孔祥胜, 祁士华,孙骞,黄保健(4212)
松花江流域冰封期水体中多环芳烃的污染特征研究 …… 马万里,刘丽艳,齐虹,白杨,沈吉敏,陈忠林,李一凡(4220)
温州城市河流中多环芳烃的污染特征及其来源 …… 周婕成,陈振楼,毕春娟,吕金刚,许世远,潘琪(4226)
温州城市河流河岸带土壤中 PAHs 的污染特征与来源 …… 周婕成,毕春娟,陈振楼,王璐,许世远,潘琪(4237)
辽河水系沉积物中 PAHs 的分布特征及风险评估 …… 武江越,刘征涛,周俊丽,高富(4244)
某炼油厂退役场地土壤与浅层地下水酚类污染特征研究 …… 裴芳, 罗泽娇, 彭进进,祁士华(4251)
某大型焦化企业污染场地中多环芳烃空间分布的分异性特征 …… 刘庚,郭观林,南锋,魏文侠,李发生,毕如田(4256)
太原市污灌区有机氯农药垂直分布特征及源解析 …… 廖小平,张彩香,赵旭,向青清,李佳乐(4263)
上海市崇明岛农田土壤中多环芳烃分布和生态风险评价 …… 吕金刚,毕春娟,陈振楼,周婕成,韩景超(4270)
近 50 年来深圳湾红树林湿地 Hg、Cu 累积及其生态危害评价 …… 李瑞利,柴民伟,邱国玉,贺蓓(4276)
北运河源头区沙河水库沉积物重金属污染特征研究 …… 张伟,张洪,单保庆(4284)
太湖表层沉积物重金属赋存形态分析及污染特征 …… 秦延文,张雷,郑丙辉,曹伟(4291)
典型季风型温冰川消融期融水化学日变化特征 …… 朱国锋,蒲焘,何元庆,王培震, 孔建龙,张宁宁,辛惠娟(4300)
螺-草水质净化系统氮素环境归趋的实验研究 …… 周露洪,谷孝鸿,曾庆飞,毛志刚,高华梅,孙明波(4307)
固定化果胶酶抑制铜绿微囊藻生长研究 …… 沈清清,彭谦,赖泳红,纪开燕,韩秀林(4316)
采用膜污染指数评估天然有机物在低压超滤膜中的污染行为 …… 肖萍,肖峰,赵锦辉,秦潼,王东升,冯金荣,许光(4322)
水体中甲基汞光化学降解特征研究 …… 孙荣国,毛雯,马明,张成,王定勇(4329)
土霉素在乙酸水溶液中的臭氧氧化降解研究 …… 李时银,李小荣,朱怡苹,朱江鹏,王国祥(4335)
酰胺咪嗪光降解效能与机制及其影响因素研究 …… 陈超,赵倩,封莉,张立秋 (4340)
利用 FeS 去除水中硝基苯的试验研究 …… 王夏琳,李睿华(4346)
地下污水管线泄漏原位自动监测模拟实验研究 …… 郭磊,贾永刚,付腾飞,刘晓磊,赵战坤(4352)
表面活性剂改性沸石对水中酚类化合物吸附性能研究 …… 谢杰,王哲,吴德意,李春杰(4361)
抗生素类制药废水厌氧消化产物急性毒性的检测 …… 季军远,邢雅娟,郑平(4367)
废砖块作为人工湿地填料的除磷能力研究 …… 王振,刘超翔,李鹏宇,董健,刘琳,朱葛夫(4373)
基于生物沸石复合滤料的间歇式脱氮水处理 …… 庆承松,鲍韬,陈天虎,陈冬,谢晶晶(4380)
硝酸盐对厌氧生物膜和颗粒污泥的同时产甲烷反硝化性能影响研究 …… 钟晨宇,叶杰旭,李若愚,陈胜,孙德智(4387)
水平电场作用下活性污泥的脱水研究 …… 季雪元,王毅力,冯晶(4393)
多重环境因子对氟胺磺隆在土壤中降解的影响 …… 宋宁慧,单正军,石利利,郭敏,许静,孔德洋 (4400)
碱后处理对互花米草沼渣理化特性的影响研究 …… 陈广银,郑正,常志州,王海芹,叶小梅(4406)
含砷废渣高温烧结过程砷的矿物相结构变化与环境释放行为 …… 王兴润,农泽喜,王琪(4412)
国家大气污染物排放标准体系研究 …… 江梅,张国宁,张明慧,邹兰,魏玉霞,任春(4417)
环境基准向环境标准转化的机制探讨 …… 毕岑岑,王铁宇,吕永龙(4422)
对“有毒重金属”实施 2 种总量控制监管方式的利害分析 …… 傅国伟(4428)
《环境科学》第 33 卷(2012 年)总目录 …… (4434)
《环境科学》征订启事(4099) 《环境科学》征稿简则(4166) 信息(4180, 4219, 4225, 4275) 专辑征稿通知(4172)

城市道路绿化带不同植物叶片附尘对大气污染的磁学响应

隆茜[1,4],周菊珍[2],孟颉[1],达良俊[1,3*]

(1. 华东师范大学资源与环境科学学院,上海 200062; 2. 华东师范大学河口海岸学国家重点实验室,上海 200062; 3. 上海市城市化生态过程与生态恢复重点实验室,上海 200062; 4. 华东师范大学图书馆,上海 200062)

摘要: 对上海市金沙江路两侧绿化带内 24 个常绿植物叶片样品进行了磁性与重金属测试,以探讨城市道路绿化带不同植物叶片附尘对大气污染的磁学响应. 结果表明,χ、SIRM 值分别在(4 ~ 59) × 10^{-8} $m^3 \cdot kg^{-1}$和(496 ~ 6 114) × 10^{-6} $Am^2 \cdot kg^{-1}$之间变化,$S_{-300\ mT}$在 89% ~ 98% 之间变动. 所有植物样品中 $\chi_{ARM}/\chi < 4$, $\chi_{ARM}/SIRM < 30 \times 10^{-5}$ mA^{-1}. 磁性参数表明,植物叶片附尘以亚铁磁性矿物为主,磁性矿物颗粒以假单畴(PSD)-多畴(MD)为主. 重金属元素 Zn、Cu、Pb 含量与反映亚铁磁性矿物含量的 χ、SIRM、χ_{ARM}呈显著正相关,可以将磁性参数 SIRM 作为叶片重金属元素的替代指标. 推荐在上海地区广泛种植的广玉兰作为道路植物污染的指示植物.

关键词:道路; 绿化带; 常绿植物; 叶片附尘; 磁学; 重金属; 上海

中图分类号: X123 **文献标识码**: A **文章编号**: 0250-3301(2012)12-4188-06

Magnetic Response of Street Tree Leaves to Particulate Pollution in Shanghai

LONG Qian[1,4], ZHOU Ju-zhen[2], MENG Jie[1], DA Liang-jun[1,3]

(1. School of Resources and Environmental Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China; 2. State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062, China; 3. Shanghai Key Laboratory for Ecology of Urbanization Process and Eco-restoration, Shanghai 200062, China; 4. East China Normal University Library, Shanghai 200062, China)

Abstract: To reveal the magnetic response to atmospheric particulate pollution in tree leaves along urban streets, twenty-four evergreen tree leaves were collected from green belt along Jinshajiang road, Shanghai, which were subjected to magnetic and heavy metals (Zn, Cu, Pb) analyses. The result revealed that in all leaf samples χ, SIRM varied in ranges of (4-59) × 10^{-8} $m^3 \cdot kg^{-1}$ and (496-6 114) × 10^{-6} $Am^2 \cdot kg^{-1}$, respectively, S_{-300mT} varied from 89% to 98% and $\chi_{ARM}/\chi < 4$, $\chi_{ARM}/SIRM < 30 \times 10^{-5}$ mA^{-1} was found. The magnetic parameters showed that ferromagnetic/ferrimagnetic particles were the main magnetic carriers in dust-loaded tree leaves, and magnetic grains were predominantly pseudo-single domain (PSD) and multidomain (MD) in size. The significant positive correlation between heavy metals (Zn, Cu, Pb) contents and χ, SIRM, χ_{ARM}, suggested that magnetic parameters like SIRM could be used as a proxy for heavy metal contents. We recommend that *Magnolia grandiflora*, widely distributed in Shanghai, can be used for particulate pollution monitoring.

Key words: road; greenbelt; evergreen tree species; dust-loaded tree leaves; magnetism; heavy metals; Shanghai

受城市交通影响,汽车尾气排放、车辆机械和轮胎的磨损及发动机润滑油的损耗所释放的 Cu、Zn、Pb 等重金属物质,可在道路两侧绿化带植物叶片表面附着并积累. 目前对树叶滞尘的研究多采用化学分析的测试方法[1~5]. 已有研究表明,工业污染、道路交通产生的附着在植物叶片表面的飞灰或降落在街道灰尘中磁性参数与重金属含量之间往往有较强的相关性[6~13],因此,磁性参数可作为大气颗粒物重金属污染的替代指标. 城市中广泛种植的绿化植物具有广分布、易获取的特点,因此,通过植物叶片,有可能获取城市大气颗粒物污染的空间特征信息[8~23]. 不同植物由于其叶片表面特性,对灰尘的附着能力不同,因而在磁性表达上存在有较大的差异[15,16]. 虽然国内已有利用植物叶片磁性特征研究重金属污染的报道[14,24],但比较不同绿化植物叶片的磁性特征及其对重金属污染的响应,尚不多见. 本研究拟通过上海市主要交通干道两侧绿化带中不同种类植物叶片的重金属和磁性测试,探讨利用磁学手段监测植物叶片附着灰尘重金属污染的可能性,以及合适的植物树种选择,以期为利用植物叶片进行大规

收稿日期: 2012-02-07; **修订日期**: 2012-07-03

基金项目: 国家自然科学基金项目(40971041); "十一五"国家科技支撑计划重点项目(2008BAJ10B04); 上海市城市化生态过程和生态恢复重点实验室开放基金项目(SHUES2011A09)

作者简介: 隆茜(1974 ~),女,博士研究生,副教授,主要研究方向为城市生态学,E-mail:xixi_long@sina.com

* 通讯联系人,E-mail:ljda@des.ecnu.edu.cn

模的城市颗粒物污染监测提供科学依据.

1　材料与方法

1.1　采样方法

选取了上海市普陀区交通流量较大的干道之一金沙江路(中山北路—大渡河路)作为研究区域(图1). 该区域主要以居民区(长风一村、长风二村、曹杨五村、师大二村)、学校(华东师范大学、侨华中学等)、公园(长风公园)以及商铺为主,没有大型的工厂. 2010 年 3 月,在金沙江路的中山北路路口与大渡河路之间的路段分别设置了 5 个采样点,同时在沿路的居民小区(曹杨五村)设置了一个居民区对照点. 根据 6 个采样点植物的配置情况,共采集了香樟(*Cinnamomum camphora Viburnum odoratissimum* var. *awabuki*)、珊瑚树(*Viburnum odoratissimum* var. *awabuki*)、雪松(*Cedrus deodara*)、棕榈(*Trachycarpus fortunei*)、女贞(*Ligustrum lucidum*)、夹竹桃(*Nerium indicum*)、广玉兰(*Magnolia grandiflora*)、石楠(*Photinia serrulata*)、桂花(*Osmanthus fragrans*)等常绿树种叶片 24 个样品. 由于各采样点植物配置不同,所能采集到的树种也不尽相同. 各采样点所采集的植物类型见表1.

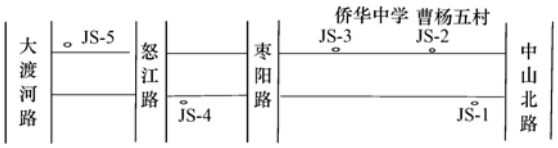

图1　采样点分布示意

Fig. 1　Study area and sampling sites

表1　各采样点植物类型

Table 1　Plant types in each sampling site

曹杨五村	JS-1 (金沙江路—中山北路)	JS-2 (金沙江路—曹杨五村外面)	JS-3 (金沙江路—侨华中学旁边)	JS-4 (金沙江路—怒江路)	JS-5 (金沙江路—大渡河路)
桂花	香樟	雪松	棕榈	蚊母树	石楠
蚊母树	珊瑚树	珊瑚树	夹竹桃	棕榈	蚊母树
夹竹桃		棕榈		广玉兰	桂花
广玉兰		女贞			棕榈
		夹竹桃			广玉兰
		桂花			
		广玉兰			
		石楠			

由于雨水对叶片具有冲刷的作用,为了使植物叶片上的灰尘有一定时间的积累,选择了连续 5 d 晴朗的天气后采样. 道路交通产生的污染物主要影响靠近道路一侧的植物,同时为避免来自地面灰尘溅起、再悬浮等干扰,采集了面向道路一侧成熟的、高度在 1.5 m 以上的植物的健康树叶作为样品,其中广玉兰、棕榈比较高,采样高度可达 3 m 以上,其余植物采样高度位于 1.5 ~ 2 m 之间. 采样时避免手直接接触叶片表面,以免造成不必要的污染.

1.2　样品的预处理

样品运回实验室后,将植物样品装入信封中置于40℃烘箱中干燥 14 d,待样品完全烘干后,取出置于干燥皿并恒重 24 h. 24 h 后,将植物样品从信封转入塑料密封袋中.

1.3　样品测定

1.3.1　重金属

称取约 0.5 g 置于消化烧杯内,加入 2 mL HF、10 mL HNO_3、2mL $HClO_4$ 消化,定容到 50 mL. 采用原子吸收光谱仪(AAS)测定重金属元素,其中 Zn、Cu 采用火焰法,Pb 采用石墨炉法测试. 利用标准样品 GBW-07405 对实验过程进行了质量监控,所测得浓度值与标准值相差在 ±15% 以内.

1.3.2　磁性特征

称 2 ~ 3 g 左右样品,置于 10 mL 的圆柱状聚乙烯样品盒中,压实后进行磁性测量. 磁性测量参数如下:①低频和高频弱磁场中的磁化率; ②非滞后剩磁(交变磁场峰值为 100 mT,直流磁场为 0.1 mT); ③饱和等温剩磁(SIRM,磁场强度 1 T); ④1 T 磁化后样品分别经 -300 mT 退磁后所带的剩磁. 磁化率测量选用英国 Bartington MS2 磁化率仪; 剩磁测量选用 Dtech 2000 交变退磁仪、MMPM10 脉冲磁化仪和 Molspin 旋转磁力仪. 根据测量结果计算了单位质量磁化率(χ)、非磁滞剩磁磁化率(χ_{ARM})、饱和等温剩磁(SIRM)等与含量有关的参数以及 χ_{ARM}/SIRM、χ_{ARM}/χ、SIRM/χ、$S_{-300\ mT}$等比值参数.

2　结果与讨论

2.1　植物叶片磁性参数分布特征

目前对磁性参数的归一化处理方法有两种,

一种是利用质量进行归化处理[10,18,21],另一种是利用叶片面积进行处理[12,16,17,20]. 由于不同树种之间磁性背景差别不大[22],本研究中的磁性参数均用质量进行了归一处理. 表 2 列出了样品中磁性参数统计数据,其中反映亚铁磁性矿物含量的 χ、SIRM 值分别在(4 ~ 59) × 10^{-8} $m^3 \cdot kg^{-1}$和(496 ~ 6 114) × 10^{-6} $Am^2 \cdot kg^{-1}$之间变化,其标准偏差分别达到 12 × 10^{-8} $m^3 \cdot kg^{-1}$ 和 1 235 × 10^{-6} $Am^2 \cdot kg^{-1}$,说明不同采样点、不同植物在磁性参数上具有较大差异. 图 2 对比了同一采样点(JS-2)不同植物叶片中磁性参数的分布,结果显示,8 种常绿植物叶片 χ、SIRM 值由大到小分别为广玉兰 > 雪松 > 夹竹桃 > 珊瑚树 > 石楠 > 女贞 > 棕榈,且 χ 与 SIRM 呈现出完全相同的变化趋势,表明植物叶片中 χ 主要反映了亚铁磁性矿物含量. HIRM 通常反映了不完整反铁磁性矿物的含量,在 8 种植物样品中,HIRM 表现出与 χ、SIRM 完全相同的变化趋势,说明其与亚铁磁性矿物含量具有共生关系. $S_{-300\ mT}$在 89% ~ 98% 之间变动,表明叶片附尘主要受到亚铁磁性矿物的影响. χ_{ARM}通常用于指示亚铁磁性矿物含量,该参数与 χ、SIRM 和 HIRM 表现出完全相同的变化趋势.

表 2 重金属含量与磁性参数统计数据[1)] (n = 24)

Table 2 Statistical data for heavy metal contents and magnetic parameters

项目	金沙江路		北京首钢	
	范围	平均值 ± 标准偏差	范围	平均值 ± 标准偏差
Zn/mg·kg^{-1}	12. 15 ~ 72. 09	31. 80 ± 16. 21	19. 97 ~ 45. 96	28. 00 ± 6. 66
Cu/mg·kg^{-1}	4. 72 ~ 14. 11	9. 24 ± 4. 65		
Pb/mg·kg^{-1}	2. 86 ~ 14. 11	5. 95 ± 3. 07	4. 39 ~ 11. 56	7. 3 ± 2. 03
$\chi \times 10^{-8}/m^3 \cdot kg^{-1}$	3. 77 ~ 58. 53	11. 75 ± 11. 93	8. 10 ~ 128. 79	30. 25 ± 29. 93
$\chi_{ARM} \times 10^{-8}/m^3 \cdot kg^{-1}$	10. 52 ~ 79. 27	20. 61 ± 15. 38	17. 10 ~ 244. 57	54. 91 ± 45. 81
SIRM × $10^{-6}/Am^2 \cdot kg^{-1}$	495. 97 ~ 6 114. 16	1 311. 39 ± 1 235. 34	1 272. 36 ~ 27 510. 82	4 887. 91 ± 45. 81
HIRM × $10^{-6}/Am^2 \cdot kg^{-1}$	4. 84 ~ 321. 92	41. 33 ± 57. 92		
χ_{ARM}/χ	1. 26 ~ 3. 05	2. 02 ± 0. 47		
SIRM/χ/kA·m^{-1}	7. 00 ~ 17. 51	11. 82 ± 2. 48	10. 86 ~ 21. 36	16. 07 ± 2. 09
χ_{ARM}/SIRM/10^{-5} mA^{-1}	11. 78 ~ 24. 54	17. 31 ± 3. 29		
S_{-300mT}/%	89 ~ 98	94 ± 2		

项目	罗马		加德满都	
	范围	平均值 ± 标准偏差	范围	平均值 ± 标准偏差
Zn/mg·kg^{-1}			15. 9 ~ 195. 2	
Cu/mg·kg^{-1}			4. 7 ~ 41. 5	
Pb/mg·kg^{-1}			1. 8 ~ 38. 4	
$\chi \times 10^{-8}/m^3 \cdot kg^{-1}$		19. 65 ± 1. 34	0. 01 ~ 53. 97	
$\chi_{ARM} \times 10^{-8}/m^3 \cdot kg^{-1}$				
SIRM × $10^{-6}/Am^2 \cdot kg^{-1}$				
HIRM × $10^{-6}/Am^2 \cdot kg^{-1}$				
χ_{ARM}/χ				
SIRM/χ/kA·m^{-1}		9. 10 ± 1. 18		
χ_{ARM}/SIRM/10^{-5} mA^{-1}				
S_{-300mT}/%		98 ± 1		

1)首钢采样植物[14]:常青圆柏、白皮松及日本扁柏; 罗马采样植物[21]:铁橡栎,选择 4 月交通繁忙路段作为对照; 加德满都采样植物[10]:西藏柏木、银桦、披针叶红千层

χ_{ARM}/χ 通常作为磁性颗粒大小的指示,其较高的比值往往指示了较细的颗粒,但超顺磁(SP)颗粒大量存在时会导致该参数的减少. SIRM 不受 SP 颗粒的影响,χ_{ARM}/SIRM 值越低,表明磁性颗粒越粗. 表 2 列出的金沙江路沿线植物叶片附尘 χ_{ARM}/χ < 4, χ_{ARM}/SIRM < 30 × 10^{-5} mA^{-1},说明植物叶片附尘中亚铁磁性矿物晶粒以假单畴(PSD)-多畴(MD)为主[25].

2.2 植物叶片附尘重金属元素分布特征

表 2 同时列出了叶片附尘中 Zn、Cu、Pb 含量分布统计值,所有植物叶片中 Zn 含量最高,大多数植物叶片中 Cu 含量高于 Pb. 从可获得植物种类最多的 JS-2 来看,Zn 元素含量最高的 3 种植物依次是广玉兰、夹竹桃、雪松; Cu 和 Pb 含量最高的 3 种植物依次是广玉兰、雪松、夹竹桃. 3 种元素含量最低的两种植物是女贞和石楠,珊瑚树和棕榈居中. 这说明广玉兰最易于富集重金属元素,而夹竹桃比雪松更易于富集 Zn 元素,雪松比夹竹桃更易于富集

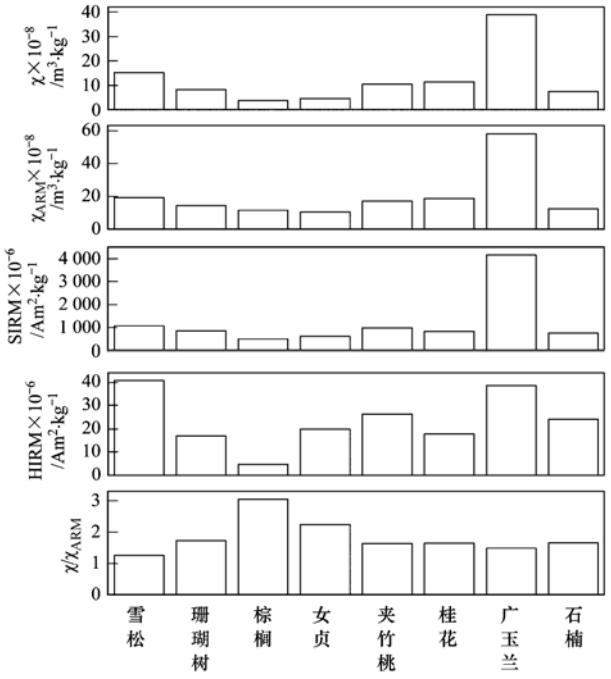

图 2　JS-2 不同植物叶片 χ、SIRM、HIRM、χ_{ARM}、χ_{ARM}/χ 的比较

Fig. 2　The χ, SIRM, HIRM, χ_{ARM} and χ_{ARM}/χ values of different tree leaves at JS-2 station

Cu 和 Pb 元素,但二者在富集量上差别并不显著. 虽然同为常绿树种,女贞和石楠对重金属元素富集量较少,尤其是女贞富集量最少. 在 JS-4 采样点,3 种元素浓度基本上表现为:广玉兰 > 棕榈 > 蚊母树;在 JS-5 采样点,3 种元素浓度基本上表现为:广玉兰 > 棕榈 > 桂花 > 蚊母树 > 石楠的趋势. 在居民区五村,3 种元素浓度则出现了夹竹桃 > 蚊母树 > 广玉兰 > 桂花的变化趋势. 由此可见,在道路两侧的绿化带中广玉兰最易富集重金属元素,而在居民区中,夹竹桃更易富集重金属元素.

胡守云等[14]研究了北京首钢工业污染区内的常青圆柏、白皮松及日本扁柏叶片的重金属含量与磁性特性(表 2),首钢样品污染源主要为炼焦、发电、烧结、炼铁和炼钢等复杂污染源,本研究样品中磁性参数低于首钢样品,但重金属含量则体现出道路交通的污染特性,即 Zn、Pb 值均高于首钢. 加德满都[10]路边树叶附尘的 χ 与金沙江路比较接近,但是重金属元素的最大值远高于金沙江路,表明其受到更严重的污染. 与罗马[21]繁忙交通期间树叶的磁性参数相比,金沙江路树叶中的 χ、SIRM 略低.

2.3　重金属元素与磁性参数的相关性

已有研究表明,城市灰尘中重金属含量与磁性

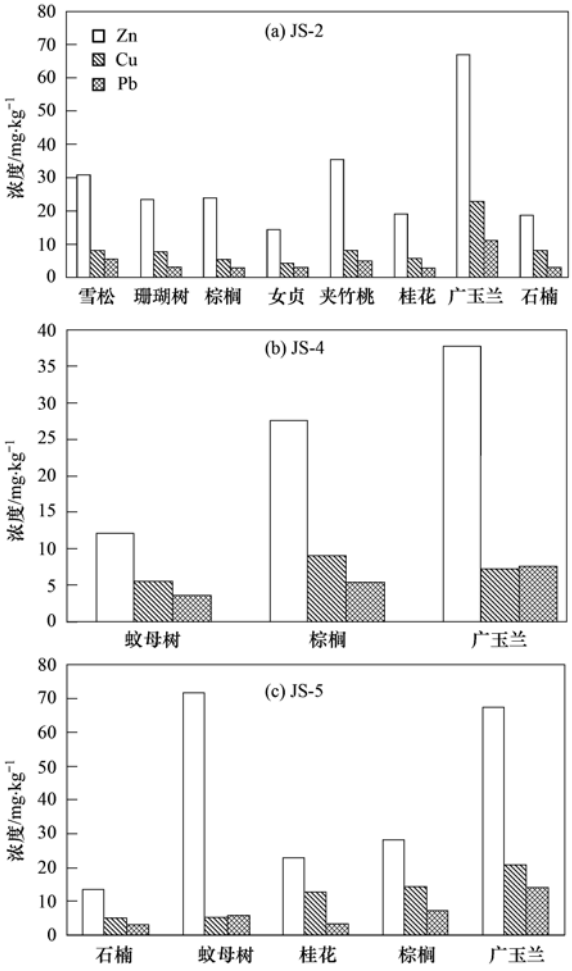

图 3　各采样点不同植物叶片中 Zn、Cu、Pb 含量

Fig. 3　Contents of Zn, Cu and Pb in different tree leaves

参数之间往往具有显著的正相关,植物叶片附尘也有相同的发现[9~12]. 本研究利用 SPSS 软件对所有植物叶片中重金属含量与磁性参数进行了相关分析,结果如表 3 所示,Zn、Cu、Pb 含量与反映亚铁磁性矿物含量的 χ、SIRM 和 χ_{ARM} 显著正相关. 表明重金属元素与磁性矿物具有相同的来源或具有相似的地球化学行为. 从相关系数值来说,SIRM 更适合指示重金属元素的含量. 在英国诺里奇市道路两侧的树叶中也发现 SIRM 与 Pb 呈显著正相关[12],因此,SIRM 可作为大气颗粒物重金属污染的磁性替代指标. 重金属含量与反映铁磁性矿物晶粒大小的 χ_{ARM}/χ 和 χ_{ARM}/SIRM 呈负相关,这是由于人类活动释放出来的颗粒物粒径主要为较粗的 MD,而 MD 晶粒往往具有较小的 χ_{ARM}/χ、χ_{ARM}/SIRM 值,这进一步说明叶片表面附尘可能主要来源于人类活动产生的飞尘与降尘.

不同的植物叶片由于其表面的微形态以及生理特性不同,对飞灰具有不同的吸附能力. 广玉兰叶

片下表面的绒毛可以附着大量飞灰[26],棕榈则具有较大叶面积,蚊母树叶片也具有易富集重金属元素的特点. 由于磁性测试具有快速、经济、简便、对样品无破坏性等特点,利用植物叶片的磁测手段,对上海这样的特大城市的颗粒物污染进行大规模的调查,可以达到省时、省力的效果. 在上海地区,广玉兰在道路两侧广泛种植,并且任何季节都可以获得样品,推荐将广玉兰作为磁性监测的指示植物.

表 3 植物叶片中重金属元素与磁性参数之间的相关系数[1)] (n = 24)

Table 3 Correlation coefficient between heavy metals and magnetic parameters (n = 24)

	χ	χ_{ARM}	SIRM	HIRM	χ_{ARM}/χ	χ_{ARM}/SIRM	SIRM/χ	Zn	Cu	Pb
χ	1									
χ_{ARM}	0.99**	1								
SIRM	0.98**	0.99**	1							
HIRM	0.84**	0.83**	0.85**	1						
χ_{ARM}/χ	−0.58**	−0.48*	−0.50*	−0.36	1					
χ_{ARM}/SIRM	−0.43*	−0.41*	−0.52**	−0.41*	0.55**	1				
SIRM/χ	−0.28	−0.20	−0.11	−0.04	0.58**	−0.34	1			
Zn	0.64**	0.66**	0.66**	0.52**	−0.27	−0.30	−0.02	1		
Cu	0.84**	0.87**	0.86**	0.59**	−0.42*	−0.45*	−0.09	0.62**	1	
Pb	0.66**	0.70**	0.72**	0.66**	−0.16	−0.45*	0.27	0.76**	0.70**	1

1) * 表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关; ** 表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关

3 结论

(1)上海金沙江路植物叶片附尘以亚铁磁性矿物为主,磁性矿物颗粒以假单畴(PSD)-多畴(MD)为主.

(2)重金属元素 Zn、Cu、Pb 含量与反映亚铁磁性矿物含量的 χ、SIRM、χ_{ARM} 呈显著正相关,SIRM 更适合作为重金属元素含量的替代指标.

(3)推荐在上海地区的广泛种植的广玉兰作为道路颗粒物污染的指示植物.

(4)由于本次研究区域可获取植物类型的局限性,未对上海地区的广泛种植的其它常绿植物比如香樟、梧桐等进行监测,在日后的工作,可针对不同功能区的上述植物的磁性特征进行分析,以获得更适合的植物,来描述上海地区植物叶片附尘磁性分布与污染特征.

致谢:感谢华东师范大学河口海岸学国家重点实验室张卫国教授在磁学测试与分析方面给予的指导和帮助.

参考文献:

[1] Rykowska I, Wasiak W. Bioconcentration of mercury and heavy metals by the bark of maple-leaf plane tree [J]. Ecological Chemistry and Engineering S-Chemia Ⅰ Inzynieria Ekologiczna S, 2011, **18**(2): 233-241.

[2] Stankovic D, Nikolic M S, Krstic B, *et al*. Heavy metals in the leaves of tree species paulownia elongata syhu in the region of the city of belgrade [J]. Biotechnology & Biotechnological Equipment, 2009, **23**(3): 1330-1336.

[3] Tomasevic M, Vukmirovic Z, Rajsic S, *et al*. Contribution to biomonitoring of some trace metals by deciduous tree leaves in urban areas [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2008, **137**(1-3): 393-401.

[4] Yu K, Kamber B S, Lawrence M G, *et al*. High-precision analysis on annual variations of heavy metals, lead isotopes and rare earth elements in mangrove tree rings by inductively coupled plasma mass spectrometry[J]. Nuclear Instruments & Methods in Physics Research Section B-Beam Interactions with Materials and Atoms, 2007, **255**(2): 399-408.

[5] Massadeh A M, Jaradat Q M, Momani K A, *et al*. Distribution of heavy metals in some tree leaves along the main road in an agricultural area[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2009, **40**(7-8): 1254-1267.

[6] Ng S L, Chan L S, Lam K C, *et al*. Heavy metal contents and magnetic properties of playground dust in Hong Kong [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2003, **89**(3): 221-232.

[7] 田志, 刘庆生. 湖北省赤壁市道路尘埃的磁性结构特征与城市污染环境关系研究[J]. 地球科学-中国地质大学学报, 2004, (6): 476-479.

[8] Lu S G, Zheng Y W, Bai S Q. A HRTEM/EDX approach to identification of the source of dust particles on urban tree leaves [J]. Atmospheric Environment, 2008, **42**(26): 6431-6441.

[9] Davila A F, Rey D, Mohamed K, *et al*. Mapping the sources of urban dust in a coastal environment by measuring magnetic parameters of Platanus hispanica leaves [J]. Environmental Science & Technology, 2006, **40**(12): 3922-3928.

[10] Gautam P, Blaha U, Appel E. Magnetic susceptibility of dust-loaded leaves as a proxy of traffic-related heavy metal pollution in Kathmandu city, Nepal[J]. Atmospheric Environment, 2005, **39**(12): 2201-2211.

[11] Jordanova N V, Jordanova D V, Veneva L, *et al*. Magnetic response of soils and vegetation to heavy metal pollution-A case

study[J]. Environmental Science & Technology, 2003, **37**(19): 4417-4424.

[12] Maher B A, Moore C, Matzka J. Spatial variation in vehicle-derived metal pollution identified by magnetic and elemental analysis of roadside tree leaves[J]. Atmospheric Environment, 2008, **42**(2): 364-373.

[13] Prajapati S K, Pandey S K, Tripathi B D. Monitoring of vehicles derived particulates using magnetic properties of leaves[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2006, **120**(1-3): 169-175.

[14] 胡守云, 段雪梅, 沈明洁, 等. 北京首钢工业区大气重金属污染树叶的磁学响应[J]. 科学通报, 2008, **53**(4): 437-445.

[15] Kardel F, Wuyts K, Maher B A, *et al*. Intra-urban spatial variation of magnetic particles: Monitoring via leaf saturation isothermal remanent magnetisation (SIRM)[J]. Atmospheric Environment, 2012, **55**: 111-120.

[16] Kardel F, Wuyts K, Maher B A, *et al*. Leaf saturation isothermal remanent magnetization (SIRM) as a proxy for particulate matter monitoring: Inter-species differences and in-season variation[J]. Atmospheric Environment, 2011, **45**(29): 5164-5171.

[17] Mitchell R, Maher B A, Kinnersley R. Rates of particulate pollution deposition onto leaf surfaces: temporal and inter-species magnetic analyses[J]. Environmental Pollution, 2010, **158**(5): 1472-1478.

[18] Szoenyi M, Sagnotti L, Hirt A M. A refined biomonitoring study of airborne particulate matter pollution in Rome, with magnetic measurements on Quercus Ilex tree leaves[J]. Geophysical Journal International, 2008, **173**(1): 127-141.

[19] Gomes C S R, Gomes E M C, Saragoca C. Magnetic parameters and chemical composition of *Nerium oleander* leaves: A study of pollution levels in Coimbra central Portugal[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2009, **73**(13): A450.

[20] McIntosh G, Gómez-Paccard M, Osete M L. The magnetic properties of particles deposited on Platanus x hispanica leaves in Madrid, Spain, and their temporal and spatial variations[J]. Science of the Total Environment, 2007, **382**(1): 135-146.

[21] Moreno E, Sagnotti L, Dinares-Turell J, *et al*. Biomonitoring of traffic air pollution in Rome using magnetic properties of tree leaves[J]. Atmospheric Environment, 2003, **37**(21): 2967-2977.

[22] Hanesch M, Scholger R, Rey D. Mapping dust distribution around an industrial site by measuring magnetic parameters of tree leaves[J]. Atmospheric Environment, 2003, **37**(36): 5125-5133.

[23] Matzka J, Maher B A. Magnetic biomonitoring of roadside tree leaves: identification of spatial and temporal variations in vehicle-derived particulates[J]. Atmospheric Environment, 1999, **33**(28): 4565-4569.

[24] 张春霞, 黄宝春, 李震宇, 等. 高速公路附近树叶的磁学性质及其对环境污染的指示意义[J]. 科学通报, 2006, **51**(12): 1459-1468.

[25] Oldfield F. Toward the discrimination of fine-grained ferrimagnets by magnetic measurements in lake and near-shore marine sediments[J]. Journal of Geophysical Research, 1994, **99**(B5): 9045-9050.

[26] 齐飞艳, 朱彦锋, 赵勇, 等. 郑州市园林植物滞留大气颗粒物能力的研究[J]. 河南农业大学学报, 2009, **43**(3): 256-259.

HUANJING KEXUE

Environmental Science (monthly)

Vol. 33 No. 12

Dec. 15, 2012

CONTENTS

Preface ····· CHEN Wei-ping (4069)

Ecological Risks of Reclaimed Water Irrigation: A Review ····· CHEN Wei-ping, ZHANG Wei-ling, PAN Neng, *et al.* (4070)

Study on Soil Enzyme Activities and Microbial Biomass Carbon in Greenland Irrigated with Reclaimed Water ····· PAN Neng, HOU Zhen-an, CHEN Wei-ping, *et al.* (4081)

Soil Salinity in Greenland Irrigated with Reclaimed Water and Risk Assessment ····· PAN Neng, CHEN Wei-ping, JIAO Wen-tao, *et al.* (4088)

Effect of Reclaimed Water Irrigation on Soil Properties and Vertical Distribution of Heavy Metal ····· ZHAO Zhong-ming, CHEN Wei-ping, JIAO Wen-tao, *et al.* (4094)

Simulation of Effect of Irrigation with Reclaimed Water on Soil Water-Salt Movement by ENVIRO-GRO Model ····· LÜ Si-dan, CHEN Wei-ping, WANG Mei-e (4100)

Simulation of Effects of Soil Properties and Plants on Soil Water-salt Movement with Reclaimed Water Irrigation by ENVIRO-GRO Model ····· LÜ Si-dan, CHEN Wei-ping, WANG Mei-e (4108)

Modeling the Cd Accumulation in Agricultural Soil Irrigated with Reclaimed Water ····· ZHAO Zhong-ming, CHEN Wei-ping, JIAO Wen-tao, *et al.* (4115)

Model Simulation of the Transportation, Transformation and Accumulation of Synthetic Musks in Soils Input Through Recycle Water Irrigation ····· WANG Mei-e, CHEN Wei-ping, JIAO Wen-tao (4121)

Impacts of Reclaimed Water Irrigation of Urban Lawn on Groundwater Quality ····· WANG Qiao-huan, CHEN Wei-ping, WANG Xiao-ke, *et al.* (4127)

Public Awareness Assessment of Water Reuse in Beijing ····· ZHANG Wei-ling, CHEN Wei-ping, JIAO Wen-tao (4133)

Temporal and Spatial Distribution of Ozone Concentration by Aircraft Sounding over Beijing ····· CHEN Peng-fei, ZHANG Qiang, QUAN Jian-nong, *et al.* (4141)

Emission Strength and Source Apportionment of Volatile Organic Compounds in Shanghai During 2010 EXPO ····· WANG Hong-li, CHEN Chang-hong, HUANG Hai-ying, *et al.* (4151)

Study on Atmospheric VOCs in Gongga Mountain Base Station ····· ZHANG Jun-ke, WANG Yue-si, WU Fang-kun, *et al.* (4159)

Regional Atmospheric Environment Risk Source Identification and Assessment ····· ZHANG Xiao-chun, CHEN Wei-ping, MA Chun, *et al.* (4167)

Carbon Isotopic Compositions of *n*-Alkanes and *n*-Alkanoic Acids in the Smoke from Combustion of Rice Straw ····· LIU Gang, SUN Li-na, LI Jiu-hai, *et al.* (4173)

Research on NEDC Ultrafine Particle Emission Characters of a Port Fuel Injection Gasoline Car ····· HU Zhi-yuan, LI Jin, TAN Pi-qiang, *et al.* (4181)

Magnetic Response of Street Tree Leaves to Particulate Pollution in Shanghai ····· LONG Qian, ZHOU Ju-zhen, MENG Jie, *et al.* (4188)

Diurnal Variations of Greenhouse Gas Fluxes at the Water-Air Interface of Aquaculture Ponds in the Min River Estuary ····· YANG Ping, TONG Chuan, HE Qing-hua, *et al.* (4194)

Effects of Simulated Warming on Soil Respiration in a Cropland Under Winter Wheat-Soybean Rotation ····· LIU Yan, CHEN Shu-tao, HU Zheng-hua, *et al.* (4205)

Transport and Differentiation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Air from Dashiwei Karst Sinkholes in Guangxi, China ····· KONG Xiang-sheng, QI Shi-hua, SUN Qian, *et al.* (4212)

Pollution Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Water of Songhua River Basin During the Icebound Season ····· MA Wan-li, LIU Li-yan, QI Hong, *et al.* (4220)

Pollution Characteristics and Sources of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Urban Rivers of Wenzhou City ····· ZHOU Jie-cheng, CHEN Zhen-lou, BI Chun-juan, *et al.* (4226)

Pollution Characteristics and Sources of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Riparian Soils Along Urban Rivers of Wenzhou City ··· ZHOU Jie-cheng, BI Chun-juan, CHEN Zhen-lou, *et al.* (4237)

Spatial Distribution and Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Partial Surface Sediments of Liaohe River ····· WU Jiang-yue, LIU Zheng-tao, ZHOU Jun-li, *et al.* (4244)

Phenols Pollutants in Soil and Shallow Groundwater of a Retired Refinery Site ····· PEI Fang, LUO Ze-jiao, PENG Jin-jin, *et al.* (4251)

Heterogeneous Characteristic of PAHs' Spatial Distribution in a Large Coking Site of China ····· LIU Geng, GUO Guan-lin, NAN Feng, *et al.* (4256)

Vertical Distribution and Source Analysis of Organochlorine Pesticides in Sewage Irrigation Area, Taiyuan City ····· LIAO Xiao-ping, ZHANG Cai-xiang, ZHAO Xu, *et al.* (4263)

Distribution and Ecological Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Agricultural Soil of the Chongming Island in Shanghai ····· LÜ Jin-gang, BI Chun-juan, CHEN Zhen-lou, *et al.* (4270)

Mercury and Copper Accumulation During Last Fifty Years and Their Potential Ecological Risk Assessment in Sediment of Mangrove Wetland of Shenzhen, China ····· LI Rui-li, CHAI Min-wei, QIU Guo-yu, *et al.* (4276)

Characteristics of Heavy Metal Pollution in the Sediments from Shahe Reservoir, the Upper Reach of the North Canal River ····· ZHANG Wei, ZHANG Hong, SHAN Bao-qing (4284)

Speciation and Pollution Characteristics of Heavy Metals in the Sediment of Taihu Lake ····· QIN Yan-wen, ZHANG Lei, ZHENG Bing-hui, *et al.* (4291)

Chemical Composition and Daily Variation of Melt Water During Ablation Season in Monsoonal Temperate Glacier Region: A Case Study of Baishui Glacier No. 1 ····· ZHU Guo-feng, PU Tao, HE Yuan-qing, *et al.* (4300)

Experimental Study on the Environmental Fate of Nitrogen in Snail-Macrophyte Ecosystem for Water Purification ····· ZHOU Lu-hong, GU Xiao-hong, ZENG Qing-fei, *et al.* (4307)

Growth Inhibition Effect of Immobilized Pectinase on *Microcystis aeruginosa* ····· SHEN Qing-qing, PENG Qian, LAI Yong-hong, *et al.* (4316)

A Novel Approach of Using Fouling Index to Evaluate NOM Fouling Behavior During Low Pressure Ultrafiltration Process ····· XIAO Ping, XIAO Feng, ZHAO Jing-hui, *et al.* (4322)

Characteristics of Monomethylmercury Photodegradation in Water Body ····· SUN Rong-guo, MAO Wen, MA Ming, *et al.* (4329)

Degradation of Oxytetracycline with Ozonation in Acetic Acid Solvent ····· LI Shi-yin, LI Xiao-rong, ZHU Yi-ping, *et al.* (4335)

Photodegradation Performance and Mechanisms of Carbamazepine and Its Impact Factors ····· CHEN Chao, ZHAO Qian, FENG Li, *et al.* (4340)

Investigation of Nitrobenzene Removal by Iron Sulfide (FeS) ····· WANG Xia-lin, LI Rui-hua (4346)

Experimental Research on *In-Situ* Auto-Monitoring for Underground Sewage Pipeline Leakage ····· GUO Lei, JIA Yong-gang, FU Teng-fei, *et al.* (4352)

Adsorption of Phenol Chemicals by Surfactant-Modified Zeolites ····· XIE Jie, WANG Zhe, WU De-yi, *et al.* (4361)

Acute Toxicity of Antibiotics and Anaerobic Digestion Intermediates in Pharmaceutical Wastewaters ····· JI Jun-yuan, XING Ya-juan, ZHENG Ping (4367)

Study on Phosphorus Removal Capability of Constructed Wetlands Filled with Broken Bricks ····· WANG Zhen, LIU Chao-xiang, LI Peng-yu, *et al.* (4373)

Denitrification Water Treatment with Zeolite Composite Filter by Intermittent Operation ····· QING Cheng-song, BAO Tao, CHEN Tian-hu, *et al.* (4380)

Influence of Nitrate on the Simultaneous Methanogenesis and Denitrification Reaction of Anaerobic Biofilm and Granular Sludge ····· ZHONG Chen-yu, YE Jie-xu, LI Ruo-yu, *et al.* (4387)

Study on Dewatering of Activated Sludge Under Applied Electric Field ····· JI Xue-yuan, WANG Yi-li, FENG Jing (4393)

Effects of Multiple Environmental Factors on Triflulsulfuron-methyl Degradation in Soils ····· SONG Ning-hui, SHAN Zheng-jun, SHI Li-li, *et al.* (4400)

Effect of Alkaline Post-Treatment on Physicochemical Property of Digested *Spartina alterniflora* ····· CHEN Guang-yin, ZHENG Zheng, CHANG Zhi-zhou, *et al.* (4406)

Structural Changes in Mineral Phases and Environmental Release Behavior of Arsenic During Sintering of Arsenic-containing Waste ····· WANG Xing-run, NONG Ze-xi, WANG Qi (4412)

Study on Emission Standard System of Air Pollutants ····· JIANG Mei, ZHANG Guo-ning, ZHANG Ming-hui, *et al.* (4417)

Mechanism for Transformation of Environmental Criteria into Environmental Standards in China ····· BI Cen-cen, WANG Tie-yu, LÜ Yong-long (4422)

Effect Analysis on the Two Total Load Control Methods for Poisonous Heavy Metals ····· FU Guo-wei (4428)

《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 12 月 15 日　33 卷　第 12 期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

（Monthly　Started in 1976）

Vol. 33　No. 12　Dec. 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