

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第6期

Vol.34 No.6

**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

2008 ~ 2010 年北京城区大气 BTEX 的浓度水平及其 O<sub>3</sub> 生成潜势 ..... 曹函玉, 潘月鹏, 王辉, 谭吉华, 王跃思 (2065)

利用 SPAMS 研究上海秋季气溶胶污染过程中颗粒物的老化与混合状态 ..... 牟莹莹, 楼晟荣, 陈长虹, 周敏, 王红丽, 周振, 乔利平, 黄成, 李梅, 李莉, 王倩, 黄海英, 邹兰军 (2071)

沈阳市降水化学成分及来源分析 ..... 张林静, 张秀英, 江洪, 张清新 (2081)

秦皇岛大气污染物浓度变化特征 ..... 刘鲁宁, 申雨璇, 辛金元, 吉东生, 王跃思 (2089)

禽类肉鸡生长过程 NH<sub>3</sub>、N<sub>2</sub>O、CH<sub>4</sub> 和 CO<sub>2</sub> 的排放 ..... 周忠凯, 朱志平, 董红敏, 陈永杏, 尚斌 (2098)

碳化硅协同分子筛负载型催化微波辅助催化氧化甲苯性能 ..... 王晓晖, 卜龙利, 刘海楠, 张浩, 孙剑宇, 杨力, 蔡力栋 (2107)

生物滴滤塔净化多组分废气的研究 ..... 张定丰, 房俊逸, 叶杰旭, 邱松凯, 钱东升, 戴启洲, 陈东之 (2116)

在氧化和还原氛围下脉冲电晕法降解二硫化碳废气 ..... 金圣, 黄立维, 李国平 (2121)

模拟大气 CO<sub>2</sub> 水平升高对春季太湖浮游植物生理特性的影响 ..... 赵旭辉, 汤龙升, 史小丽, 杨州, 孔繁翔 (2126)

一种确定湖泊水质基准参照状态浓度的新方法 ..... 华祖林, 汪靛 (2134)

HSPF 径流模拟参数敏感性分析与模型适用性研究 ..... 李燕, 李兆富, 席庆 (2139)

基于非点源污染的水质监测方案研究 ..... 吴喜军, 李怀恩, 李家科, 李强坤, 董雯 (2146)

不同雨强下黄棕壤坡耕地径流养分输出机制研究 ..... 陈玲, 刘德富, 宋林旭, 崔玉洁, 张革 (2151)

春季东海赤潮发生前后营养盐及溶解氧的平面分布特征 ..... 李鸿妹, 石晓勇, 陈鹏, 张传松 (2159)

三峡库区大宁河枯水期藻细胞的时空分布 ..... 张永生, 郑丙辉, 王坤, 姜霞, 郑浩 (2166)

湖泊沉积物溶解性有机氮组分的藻类可利用性 ..... 冯伟莹, 张生, 焦立新, 王圣瑞, 李畅游, 崔凤丽, 付绪金, 甄志磊 (2176)

刚毛藻分解对上覆水磷含量及赋存形态的影响 ..... 侯金枝, 魏权, 高丽, 孙卫明 (2184)

反复扰动下磷在沉积物和悬浮物以及上覆水间的交换 ..... 李大鹏, 王晶, 黄勇 (2191)

三峡库区主要支流表层沉积物多溴联苯醚的分布特征 ..... 李昆, 赵高峰, 周怀东, 刘晓茹, 余丽琴, 文武, 张盼伟 (2198)

UV 和 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 联合消毒灭活饮用水中大肠杆菌研究 ..... 张一清, 周玲玲 (2205)

臭氧降解水中邻苯二甲酸二甲酯的动力学及影响因素 ..... 于丽, 张培龙, 侯甲才, 庞立飞, 李越, 贾寿华 (2210)

硝酸根对水体中甲基汞光化学降解的影响 ..... 毛雯, 孙荣国, 王定勇, 马明, 张成 (2218)

炔雌醇氯化反应的动力学和机制研究 ..... 王斌楠, 刘国强, 孔德洋, 陆隽鹤 (2225)

金属离子对 δ-MnO<sub>2</sub> 去除对叔辛基酚抑制作用的研究 ..... 李非里, 牟华倩 (2232)

核壳表面磁性印迹聚合物的制备及其对水中双酚 A 的特异性去除 ..... 刘建明, 李红 (2240)

有机蒙脱石负载纳米铁去除溶液中四溴双酚 A 的研究 ..... 闫梦玥, 庞志华, 李小明, 赵建宇, 罗隽 (2249)

纳滤预处理测定景观水体中溶解性有机氮质量浓度及其分布特征 ..... 于红蕾, 霍守亮, 杨周生, 席北斗, 谷逢宇, 张靖天 (2256)

改性水凝胶的制备及其对 Pb<sup>2+</sup>、Cd<sup>2+</sup> 吸附性能研究 ..... 吴宁梅, 李正魁 (2263)

直接大红 4BE 的磷钨酸均相光催化还原脱色 ..... 魏红, 李克斌, 李娟, 陈经涛, 张涛 (2271)

基于微气泡曝气的生物膜反应器处理废水研究 ..... 张磊, 刘平, 马锦, 张静, 张明, 吴根 (2277)

Fenton 法处理竹制品废水生化出水的研究 ..... 郭庆稳, 张敏, 王炜, 杨治中, 吴东雷 (2283)

二价铁离子对 UASB 反应器厌氧发酵产氢效能的影响 ..... 李永峰, 王艺璇, 程国玲, 刘春妍 (2290)

进水底物浓度对蔗糖废水产酸合成 PHA 影响研究 ..... 陈志强, 邓毅, 黄龙, 温沁雪, 郭子瑞 (2295)

接种好氧颗粒污泥快速启动硝化工艺的过程研究 ..... 刘文如, 沈耀良, 丁玲玲, 丁敏 (2302)

聚磷污泥去除高浓度铅的影响因素研究 ..... 杨敏, 卢龙, 冯涌, 方超, 李雄清 (2309)

体积分数传递系数在好氧颗粒污泥系统中的变化特性初步分析 ..... 李志华, 范长青, 王晓昌 (2314)

我国淡水水体中双酚 A (BPA) 的生态风险评价 ..... 汪浩, 冯承莲, 郭广慧, 张瑞卿, 刘跃丹, 吴丰昌 (2319)

麦穗鱼物种敏感性评价 ..... 王晓南, 刘征涛, 闫振广, 张聪, 何丽, 孟双双 (2329)

不同评估方法得出的五氯酚的 PNEC 值的比较研究 ..... 雷炳莉, 文育, 王艺陪, 康佳, 刘倩 (2335)

桂林市交警头发 Hg、Pb 含量及分布研究 ..... 钱建平, 张力, 李成超, 黄栋 (2344)

直流电场处理后降线藻趋光性对 Cl<sup>-</sup> 和 Hg<sup>2+</sup> 的响应 ..... 王飞翔, 袁玲, 黄建国 (2350)

UV-B 辐射对青冈凋落叶化学组成和分解的影响 ..... 宋新章, 卜涛, 张水奎, 江洪, 王志坤, 赵明水, 刘永军 (2355)

7 种树木的叶片微形态与空气悬浮颗粒吸附及重金属累积特征 ..... 刘玲, 方炎明, 王顺昌, 谢影, 杨聃聃 (2361)

溶解氧对碳氮硫共脱除工艺中微生物群落影响解析 ..... 于皓, 陈川, 张莉, 王爱杰 (2368)

不同耕地利用方式下土壤微生物活性及群落结构特性分析: 基于 PLFA 和 MicroResp<sup>TM</sup> 方法 ..... 陈晓娟, 吴小红, 刘守龙, 袁红朝, 李苗苗, 朱捍华, 葛体达, 童成立, 吴金水 (2375)

典型滨海湿地干湿交替过程氮素动态的模拟研究 ..... 陈建刚, 曹雪 (2383)

三峡库区巫山建坪地区土壤镉等重金属分布特征及来源研究 ..... 刘意章, 肖唐付, 宁增平, 贾彦龙, 黎华军, 杨菲, 姜涛, 孙昊 (2390)

北京市不同区位耕作土壤中重金属总量与形态分布特征 ..... 陈志凡, 赵焯, 郭廷忠, 王永锋, 田青 (2399)

季节变化对贵阳市不同功能区地表灰尘重金属的影响 ..... 李晓燕 (2407)

东营市孤岛地区土壤中类二噁英类 PCBs 的污染特征 ..... 王登阁, 崔兆杰, 傅晓文, 殷永泉, 许宏宇 (2416)

模拟氮沉降对森林土壤有机物淋溶的影响 ..... 段雷, 马萧萧, 余德祥, 谭炳全 (2422)

甲基 β 环糊精对污染场地土壤中多环芳烃的异位增效洗脱修复研究 ..... 孙明明, 滕应, 骆永明, 李振高, 贾仲君, 张满云 (2428)

胶质芽胞杆菌对印度芥菜根际土壤铜含量及土壤酶活性影响 ..... 杨榕, 李博文, 刘微 (2436)

长期施用粪肥蔬菜基地蔬菜中典型抗生素的污染特征 ..... 吴小莲, 向垒, 莫测辉, 姜元能, 严青云, 李彦文, 黄献培, 苏青云, 王纪阳 (2442)

有机废弃物堆肥培肥土壤的氮矿化特性研究 ..... 张旭, 席北斗, 赵越, 魏自民, 李洋, 赵昕宇 (2448)

北京市生活垃圾转运站耗能和排污特征及其影响因素分析 ..... 王昭, 李振山, 冯亚斌, 焦安英, 薛安 (2456)

氨对垃圾焚烧灰渣浸出特性的影响及地球化学模拟 ..... 官贞珍, 陈德珍, Thomas Astrup (2464)

焚烧飞灰预处理工艺及其无机氯盐的行为研究 ..... 朱芬芬, 高冈昌辉, 大下和傲, 姜惠民, 北岛义典 (2473)

富含中孔与酸性基团的生物炭的制备与吸附性能 ..... 李坤权, 李焯, 郑正, 张雨轩 (2479)

生物炭技术缓解我国温室效应潜力初步评估 ..... 姜志翔, 郑浩, 李锋民, 王震宇 (2486)

基于物质流分析的钾素流动与循环研究 ..... 白桦, 曾思育, 董欣, 陈吉宁 (2493)

《环境科学》征订启事 (2115) 《环境科学》征稿简则 (2224) 信息 (2217, 2289, 2349, 2398) 专辑征稿通知 (2478)

# 7种树木的叶片微形态与空气悬浮颗粒吸附及重金属累积特征

刘玲<sup>1,2</sup>, 方炎明<sup>1\*</sup>, 王顺昌<sup>2</sup>, 谢影<sup>2</sup>, 杨聃聃<sup>2</sup>

(1. 南京林业大学森林资源与环境学院, 南京 210037; 2. 淮南师范学院生命科学系, 淮南 232001)

**摘要:** 为揭示树木叶片微形态与吸附空气悬浮颗粒及累积重金属的关系, 在淮南市交通繁忙点选择银杏等7种树木进行实验. 分析了: ①叶片吸附不同粒径空气悬浮颗粒的百分率; ②单位叶面积吸附不同粒径颗粒的质量与叶片微形态的关系; ③单位叶面积不同粒径颗粒吸附量与重金属累积量的相关性. 结果表明, 叶片面积小、表皮角质丰富和细胞壁凹凸不平、无表皮毛阻挡、气孔密、气孔口大的树木, 属气孔吸附主导型, 主要吸附细颗粒物; 表皮毛多的树木, 属表皮吸附主导型, 主要吸附粗颗粒物. 7种树木叶片累积重金属除铅外都具显著差异, 其中银杏、女贞、香樟对重金属的累积能力较强; 7种树木叶片对Cd、Cr、Ni、Zn、Cu这5种重金属及总含量的累积与单位面积吸附的可吸入颗粒量呈正相关,  $d_{10}$ 与 $d_{2.5}$ 、 $d_{10}$ 与 $d_{1.0}$ 、 $d_{2.5}$ 与 $d_{1.0}$ 的相关系数分别是0.987、0.971、0.996, 达到极显著水平,  $d_{2.5}/d_{10}$ 、 $d_{1.0}/d_{10}$ 、 $d_{1.0}/d_{2.5}$ 的值分别是0.844、0.763、0.822, 表明由交通污染产生的颗粒物主要是细颗粒物.

**关键词:** 空气悬浮颗粒; 累积; 吸附; 重金属; 微形态

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)06-2361-07

## Leaf Micro-morphology and Features in Adsorbing Air Suspended Particulate Matter and Accumulating Heavy Metals in Seven Tress Species

LIU Ling<sup>1,2</sup>, FANG Yan-ming<sup>1</sup>, WANG Shun-chang<sup>2</sup>, XIE Ying<sup>2</sup>, YANG Dan-dan<sup>2</sup>

(1. College of Forest Resource and Environment, Nanjing Forest University, Nanjing 210037, China; 2. School of Life Science, Huainan Normal University, Huainan 232001, China)

**Abstract:** The purpose of this study was to assess the relationship between tree leaf micro-morphology and features in adsorbing air suspended particulate matter and accumulating heavy metals. Seven tree species, including *Ginkgo biloba*, at heavy traffic density site in Huainan were selected to analyze the frequency of air particulate matter retained by leaves, the particle amount of different sizes per unit leaf area retained by leaves and its related micro-morphology structure, and the relationship between particle amount of different sizes per unit leaf area retained by leaves and its related accumulation of heavy metals. We found that the species characterized by small leaf area, special epidemis with abundant fax, and highly uneven cell wall, as well as big and dense stomata and without trichomes mainly absorbed fine particulate matter; while those species with many trichomes mainly retained coarse particulate matter. Accumulation of heavy metals in leaves of the seven species was significantly different except for Pb. Tree species with high capacities in heavy metal accumulation were *Ginkgo biloba*, *Ligustrum lucidum*, and *Cinnamomum camphora*. Accumulation of Cd, Cr, Ni, Zn, Cu and total heavy metal concentration for seven tree species was positively related to the amount of particulate matter absorbed. Correlation coefficients of  $d_{10}$  vs  $d_{2.5}$ ,  $d_{10}$  vs  $d_{1.0}$ ,  $d_{2.5}$  vs  $d_{1.0}$  were 0.987, 0.971, 0.996, respective, and the correlate level was significant. The ratios of  $d_{2.5}/d_{10}$ ,  $d_{1.0}/d_{10}$ ,  $d_{1.0}/d_{2.5}$  were 0.844, 0.763, 0.822, indicating that the particulate matter from traffic was mainly fine particulates.

**Key words:** air suspended particulate matter; accumulation; adsorption; heavy metal; micro-morphology

空气颗粒物 (particulate matter, PM) 是指悬浮在空气中微小固体和液滴的混合物, 包括降尘和空气动力学当量小于  $100 \mu\text{m}$  的总悬浮颗粒 (total suspended particle, TSP),  $\text{PM}_{10}$ 、 $\text{PM}_{2.5}$  即是 TSP 中空气动力学等效直径小于  $10 \mu\text{m}$ 、 $2.5 \mu\text{m}$  的可吸入颗粒物<sup>[1]</sup>,  $\text{PM}_{2.5}$  又被称作细颗粒<sup>[2]</sup>. 由于细颗粒容易再悬浮于空中且存在很长时间<sup>[3,4]</sup>, 粒径小, 比表面积大, 散射性强, 不仅能够影响全球气候与城市能见度, 而且含有重金属<sup>[5]</sup> 和有机毒物<sup>[6]</sup>, 这些毒性物质能够进入人体呼吸系统甚至穿透肺泡进入人体血

液循环从而影响人们的身体健康<sup>[7]</sup>, 所以城市空气中可吸入颗粒物尤其是  $\text{PM}_{2.5}$  的污染已成为当前世界面临的一个十分突出的环境问题, 各国环境监测部门和环境研究者也已经高度重视. 为此, 减少污染排放及增加绿化面积, 寻找消减  $\text{PM}_{2.5}$  能力强、叶

收稿日期: 2012-09-18; 修订日期: 2012-12-08

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30070155); 淮南师范学院科研项目 (2012LK21); 安徽省教育厅项目 (KJ2013Z301)

作者简介: 刘玲 (1967~), 女, 博士研究生, 讲师, 主要研究方向为植物环境生物学, E-mail: lliuu494@sina.com

\* 通讯联系人, E-mail: jwu@njfn.edu.cn

片富积重金属和有机污染物较多且生长受影响较小的植物已成为国内外环境和植物学工作者的共同目标. 木本植物分布广泛,种类繁多,作为主要组成部分的叶片表面有的粗糙湿润或具角质特性能够有效地滞留大气颗粒物<sup>[8]</sup>,因此,进一步了解不同树木叶片吸附空气悬浮颗粒及累积重金属的形态学差异,选择具有吸附细颗粒多、累积重金属量强的木本植物作为主要绿化树种,对城市合理布局森林群落结构,减少环境污染有一定的现实意义.

## 1 材料与方 法

### 1.1 供试树种

供试树种包括广玉兰 (*Magnolia grandiflora*)、红叶李 (*Prunus cerasifera*)、女贞 (*Ligustrum lucidum*)、桂花 (*Osmanthus fragrans*)、香樟 (*Cinnamomum camphora*)、银杏 (*Ginkgo biloba*)和悬铃木 (*Platanus acerifolia*). 在我国,红叶李、银杏和悬铃木是广布树种;广玉兰、女贞、香樟主要分布在长江流域及以南,广玉兰、女贞在华北、西北地区已有引种,香樟已在淮河流域良好生长;桂花一般只分布于亚热带地区.

### 1.2 采样点选择和样品采集

本研究在淮南市 (E:116°21'21" ~ 117°11'59", N:32°32'45" ~ 33°01'14") 选择有代表性的国庆西路、学院路、市委西路三条城市主干道作为样品采集地,三条主干道车流量相差不大 (60 ~ 65 辆·min<sup>-1</sup>),路况相似;7种样树都是交通主干道的行道树,距离公路中心 10 m,采样点周边 3.5 km 以内无其他污染源. 2011 年 7、8、9 和 10 月雨后,在三条主干道标记 7 种绿化树种,每条主干道每个树种选 20 个样株,同种树种胸径大小相近,10 d (晴朗天气)后,每株叶片的表面都拦截了一定量的空气悬浮颗粒,在每株树木的东南西北四个方向距地面约 3 m 高的地方各采集 4 个叶片,用铝箔纸包装放入自封袋,留待实验室实验.

### 1.3 样品处理

#### 1.3.1 叶面积测定

利用扫描仪将叶片扫描,然后将图片导入 AutoCAD 2010,计算每种树木每株被采集叶片的面积.

#### 1.3.2 叶片吸附颗粒的分级粒度频率分析

先用去离子水清洗叶片表面吸附的污染颗粒,然后利用激光颗粒分布测量仪测量洗脱下来的灰尘浑浊液的分级粒度频率和累积<sup>[9]</sup>,颗粒直径 (粒径)为:10 ~ 100  $\mu\text{m}$ 、5.0 ~ 10  $\mu\text{m}$ 、2.5 ~ 5.0  $\mu\text{m}$ 、1.0

~ 2.5  $\mu\text{m}$ 、0.5 ~ 1.0  $\mu\text{m}$ 、0.1 ~ 0.5  $\mu\text{m}$ .  $d_{100}$ 、 $d_{10}$ 、 $d_{2.5}$ 、 $d_{1.0}$ 分别表示粒径小于 100  $\mu\text{m}$ 、10  $\mu\text{m}$ 、2.5  $\mu\text{m}$ 、1.0  $\mu\text{m}$  的颗粒. 激光颗粒分布测量仪 (GSL-101BII) 购自辽宁仪表研究所.

#### 1.3.3 叶片单位面积吸附空气悬浮颗粒量测定

恒温 25℃ 恒湿 40% 平衡纤维素滤膜,将粒度分析后的悬浮液经平衡后的纤维素滤膜过滤,带有悬浮颗粒的滤纸放入恒温恒湿箱,25℃ 40% 湿度处理 24 h,前后滤纸的质量用电子天平称量 (AEY-210,精确到 0.000 1 g,湘仪天平仪器设备有限公司),差值即叶片吸附空气悬浮颗粒量.

#### 1.3.4 叶片表面微形态观察

用两片双面刀片切割被清水洗过的叶片成正方形格子,边长 0.5 cm 左右,pH 7.2 磷酸缓冲液清洗 3 ~ 4 次,0 ~ 4℃ 下用 2% 的戊二醛固定 2 h,pH 7.2 磷酸缓冲液漂洗 3 ~ 4 次,经逐级 (6 个浓度) 乙醇脱水,真空干燥,然后用真空镀膜机进行旋转喷金处理,扫描电子显微镜观察、摄影,工作电压为 25 kV.

#### 1.3.5 叶片重金属含量的测定

叶片消解:称取采样点每种每株烘干叶片的研磨粉 0.5 g 于 25 mL 小烧杯中,加盖表面皿,加 5 mL 浓硝酸浸泡过夜,于电热板上低温加热至棕色气体基本冒尽,取下稍冷,加入 2.5 mL 高氯酸,继续置于电热板上加热至白烟在瓶内回流,升高温度,使高氯酸白烟大量冒出,待小烧杯溶液澄清透明,蒸至近于 (少于 0.5 mL),取下稍冷,加入 0.5 mL 稀硝酸 (1/1 000),用去离子水冲洗表面皿和小烧杯内壁,将溶液和残渣定容至 8 mL 后一并转移至 10 mL 聚乙烯离心管中<sup>[10]</sup>,以上过程均需带 3 个空白、3 个标准样 (GBW-11 柑橘叶).

叶片重金属含量测定:利用美国 PerkinElmer 公司 4300DV 型电感耦合等离子体发射光谱仪 (ICP-OES) 测定消煮液中的待测元素. 待测元素为铅 (Pb)、镉 (Cd) 和铜 (Cu)、锌 (Zn)、铬 (Cr)、镍 (Ni),样品回收率  $\geq 90.3\%$ .

### 1.4 数据处理

数据处理分析应用 SPSS 13.0 软件,计量采用均数  $\pm$  标准差表示. 组间差异采用单因素方差分析 ANOVA,相关分析采用 Spearman 分析.

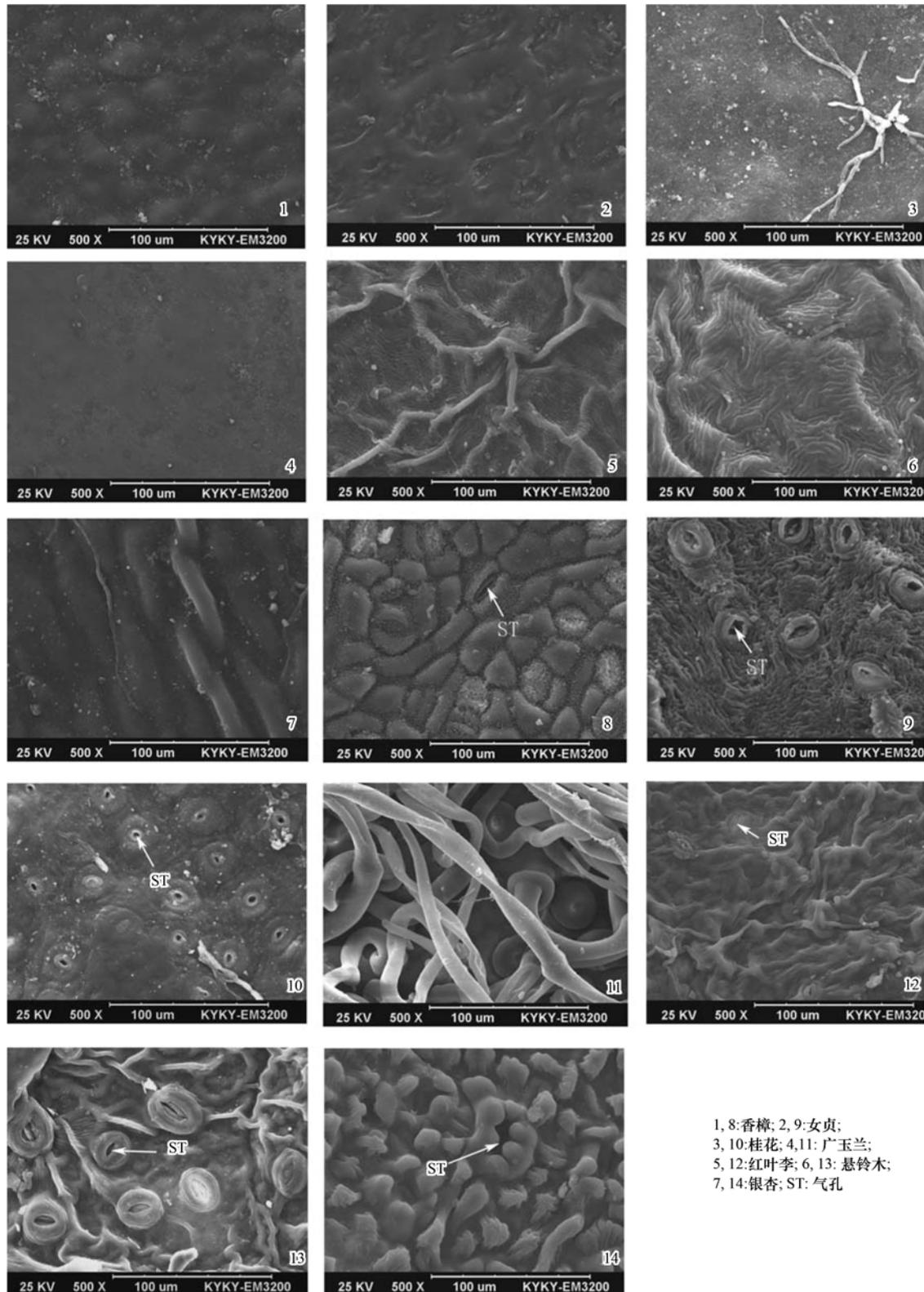
## 2 结果与分析

### 2.1 不同树种叶片表面微形态

扫描电镜观察发现,7 种树木叶片上表皮几乎没有气孔;4 种常绿树木中香樟和女贞的叶片上下

表皮细胞壁未均匀增厚, 凸凹不平, 无表皮毛, 气孔器密集, 气孔口径较大, 而桂花和广玉兰的叶片上表皮细胞壁均匀增厚, 下表皮凸凹不平, 广玉兰下表皮密被绒毛, 二者气孔器密集, 但是气孔口径较小; 3

种落叶树木叶片上下表皮都不光滑, 其中悬铃木多表皮毛, 气孔器密集, 气孔口径较大, 红叶李叶片气孔器稀疏, 气孔口径较小, 银杏气孔器则稀、大(见表 1 和图 1)。



1, 8: 香樟; 2, 9: 女贞;  
 3, 10: 桂花; 4, 11: 广玉兰;  
 5, 12: 红叶李; 6, 13: 悬铃木;  
 7, 14: 银杏; ST: 气孔

图 1 7 种树木叶片上、下表皮电镜扫描照片

Fig. 1 SEM images of leaf upper and low epidermis of the seven tree species

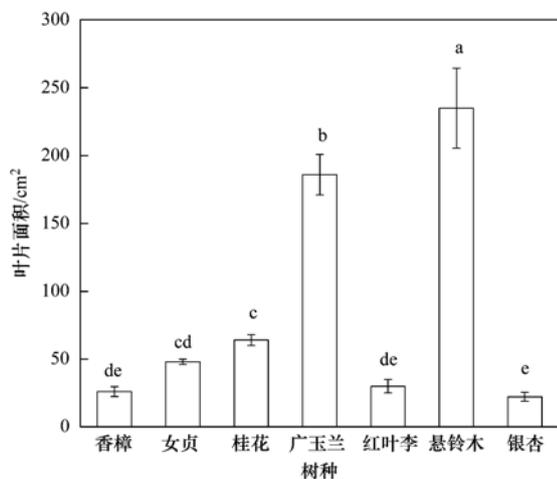
表 1 不同树种叶片表面微形态特征

树种名称	上、下表皮	表皮毛	气孔器 (密度和气孔口大小)
香樟	凸凹不平	无	密、大
女贞	凸凹不平	无	密、大
桂花	上表皮平滑 下表皮凸凹不平	无	密、小
广玉兰	上表皮平滑 下表皮凸凹不平	多表皮毛(下)	密、小
红叶李	凸凹不平	无	稀、小
悬铃木	凸凹不平	多表皮毛	密、大
银杏	凸凹不平	无	稀、大

## 2.2 不同树种叶片对空气悬浮颗粒的吸附

### 2.2.1 不同树种叶片面积

由图 2 可知,被取的 7 种树木的成熟叶片面积在 0.05 水平上存在差异,其中,悬铃木叶片面积最大,介于 200~250 cm<sup>2</sup> 之间,显著大于其他 6 种;大于 150 cm<sup>2</sup> 小于 200 cm<sup>2</sup> 的只有广玉兰;大于 50 cm<sup>2</sup> 小于 100 cm<sup>2</sup> 是桂花;其余 4 种树木叶片面积均小于 50 cm<sup>2</sup>;桂花和女贞及叶面积小于 50 cm<sup>2</sup> 的香樟、红叶李、银杏相互间差异不显著,而桂花与香樟、红叶李、银杏有显著性差异。



小写字母表示在 0.05 水平上存在差异显著性,下同

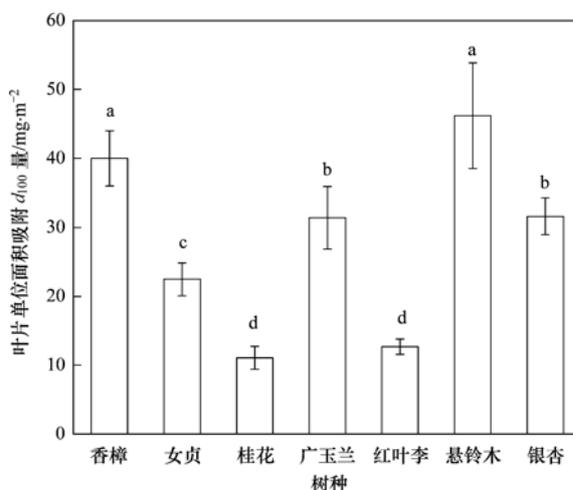
图 2 不同树种叶片面积

Fig. 2 leaf areas of different trees species

### 2.2.2 不同树种叶片单位面积吸附 $d_{100}$ 量

7 种树木叶片单位面积日吸附的  $d_{100}$  量介于 11.0~46.3 mg·m<sup>-2</sup> 之间,不同树种吸附量存在差异,悬铃木、香樟叶片单位面积吸附量较大,日吸附  $d_{100}$  量大于 40 mg·m<sup>-2</sup> 显著高于其他 5 种树木;银杏、广玉兰较女贞多,吸附量高于 30 mg·m<sup>-2</sup>;桂花和红叶李吸附量较少(见图 3)。由图 2 和图 3 可知,悬铃木叶片单位面积吸附量最多,叶片面积也是

最大,但是香樟、银杏叶片面积小于广玉兰和桂花,可是吸附量较广玉兰和桂花多,表明叶片单位面积吸附  $d_{100}$  量并非完全与单个叶片面积呈正相关。此外,7 种树木叶片单位面积年吸附量介于 4.0~16.9 g·m<sup>-2</sup> 之间,与发达国家的研究数据 0.4~11.2 g·m<sup>-2</sup>[11] 相比略高,但是仍然处于一个数量级;与草本植物叶片年吸附能力 0.4~3.2 g·m<sup>-2</sup>[12] 相比,该 7 种树木的除尘能力显著较高。因此每日具有 11.0~46.3 mg·m<sup>-2</sup> 吸附能力的 7 种树木如果栽植在我国华北城市,最多可移除降尘 85~912 mg·(m<sup>2</sup>·d)<sup>-1</sup>[13] 的 13%~54%,对城市空气质量的改善有着重要的作用。

图 3 不同树种叶片单位面积日吸附  $d_{100}$  量Fig. 3 Mass of  $d_{100}$  retained on per unit leaf areas per day in different trees species

### 2.2.3 不同树种叶片吸附空气悬浮颗粒的粒径

图 4 为交通繁忙点七种行道树叶片对不同粒径

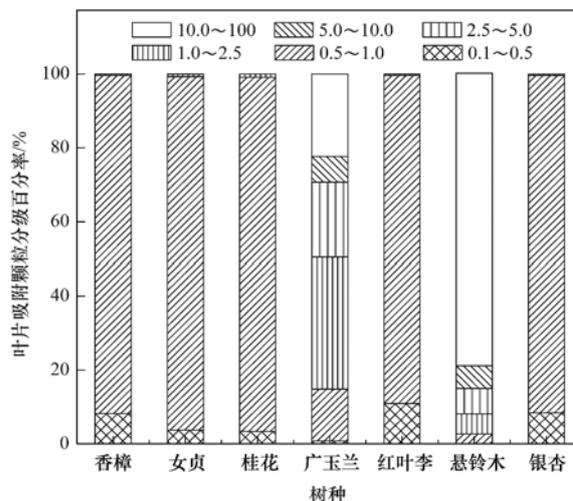


图 4 不同树木叶片吸附空气悬浮颗粒分级百分率

Fig. 4 Percentage of different grade particulate retained on leaves of seven trees species

空气悬浮颗粒的吸附百分率. 从中可知, 树木叶片吸附的主要是粒径小于 10  $\mu\text{m}$  的颗粒, 香樟、女贞、桂花、红叶李和银杏这 5 种植物叶片主要吸附的是粒径小于 1.0  $\mu\text{m}$  的细颗粒; 广玉兰主要吸附 1.0 ~ 10.0  $\mu\text{m}$  之间的可吸入颗粒; 而悬铃木主要吸附非吸入颗粒. 可以推测, 树木叶片吸附空气悬浮颗粒的大小, 与其成熟叶片面积大小有关, 即最终与树种有关, 香樟、女贞、桂花、红叶李和银杏的叶片面积均显著小于悬铃木、广玉兰, 多拦截细颗粒物, 而大叶树种, 则多移除空气中粗颗粒.

**2.3 不同树种叶片累积重金属及其与单位面积吸附 PM 的相关性**

对于调查点各树种叶片 Cd、Cr、Cu、Ni、Pb、Zn 含量(见图 5), 在交通污染状况下, 因树种的不同而存在显著差异(Pb 除外). 7 种树木中, 银杏对 Cd、Cr、Ni、Zn 这 4 种重金属的累积量显著高于其他 6 种树木, 香樟、女贞(除 Cd 外)次之; 桂花、广

玉兰、悬铃木对 Cd、Cr 的累积无差异; 红叶李对 Cr 和 Cu 的累积量高于其他 6 种树木; 香樟、女贞、桂花、广玉兰对 Cu 的累积虽然有差异但是不显著; 就 Pb 而言, 所有供试树种叶片含量有一定的差异, 悬铃木累积最多, 可在 0.05 水平与其他树种无显著差异. 因此, 根据图 5 可以确定, 在淮南市的交通主干道旁栽植表皮细胞细胞壁凸凹不平的或气孔口径较大的银杏、香樟和女贞有利于对 Cd、Cr、Cu、Ni、Pb、Zn 这 6 种重金属的吸收和累积. 交通负荷的增加导致空气中悬浮颗粒浓度的增大, 由树木叶片累积的重金属的量与单位面积吸附悬浮颗粒不同粒径的量的相关性可知(如表 2), 交通繁忙的主干道上, 7 种树木叶片对 Cd、Cr Ni、Zn、Cu 这 5 种重金属及总含量的累积与单位面积吸附的不同粒径颗粒量的相关性呈现一定规律: 随着吸附的可吸入颗粒粒径的减小, 正相关系数逐渐增大, 其中 Ni 的累积和 0 ~ 10、0 ~ 2.5、0 ~ 1.0  $\mu\text{m}$  粒径段颗粒的吸附显著

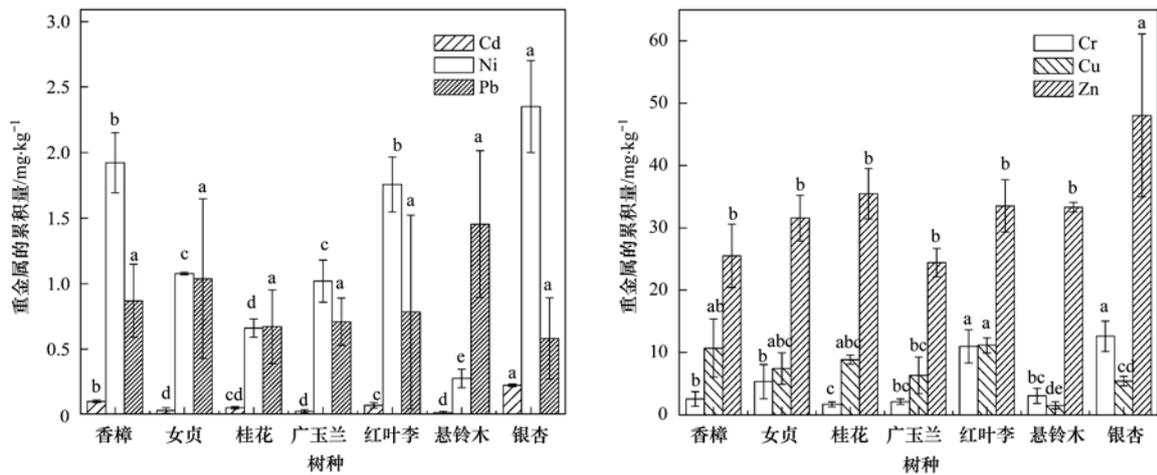


图 5 交通繁忙点不同树种叶片重金属累积量

Fig. 5 Accumulation of heavy metals in leaves of trees at heavy traffic density site

表 2 叶片累积重金属与单位面积吸附空气悬浮颗粒量的相关性

Table 2	Correlation coefficient of heavy metal accumulation in leaves and mass of air suspended particulate matter retained on per unit leaf area										
	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	总含量	$d_{100}$	$d_{10}$	$d_{2.5}$	$d_{1.0}$
Cd	1										
Cr	0.701	1									
Cu	0.071	0.087	1								
Ni	0.841 *	0.705	0.455	1							
Pb	-0.566	-0.336	-0.518	-0.614	1						
Zn	0.727	0.718	-0.285	0.353	-0.256	1					
总含量	0.816 *	0.916 **	0.126	0.675	-0.452	0.878 *	1				
$d_{100}$	0.135	-0.135	-0.539	-0.006	0.615	-0.015	-0.189	1			
$d_{10}$	0.656	0.221	0.322	0.761 *	-0.294	0.098	0.278	0.375	1		
$d_{2.5}$	0.678	0.279	0.409	0.782 *	-0.340	0.162	0.367	0.274	0.987 **	1	
$d_{1.0}$	0.681	0.306	0.435	0.800 *	-0.340	0.199	0.408	0.240	0.971 **	0.996 **	1

1) \* 表示在 0.05 水平上达到相关显著, \*\* 表示在 0.01 水平上达到相关极显著

相关,6种重金属(除Cd、Pb外)和重金属总量与 $d_{100}$ 的吸附成负相关,说明交通道路上空悬浮颗粒中含有的大部分重金属主要分布在粒径较小的颗粒中,7种树木叶片表面吸附的小颗粒物间正相关性非常显著, $d_{10}$ 与 $d_{2.5}$ 、 $d_{10}$ 与 $d_{1.0}$ 、 $d_{2.5}$ 与 $d_{1.0}$ 的相关系数分别是0.987、0.971、0.996,达到极显著水平,叶片吸附的 $d_{10}$ 、 $d_{2.5}$ 、 $d_{1.0}$ 之间的比值( $d_{2.5}/d_{10}$ 、 $d_{1.0}/d_{10}$ 、 $d_{1.0}/d_{2.5}$ )是0.844、0.763、0.822,表明由交通污染产生的颗粒物主要是细颗粒物。

此外,重金属元素、总含量之间也具有不同程度的正相关性,Cd-Cr、Cd-Ni、Cd-Zn、Cr-Ni、Cr-Zn、Cu-Ni、Zn-Ni、Cd-总含量、Cr-总含量、Zn-总含量相关系数大于0.45,其中Cd-总含量、Cd-Ni、Zn-总含量之间达到了显著相关,Cr-总含量达极显著相关,进一步表明交通主干道两边的树木叶片累积的大部分重金属具有同源性,即交通燃料燃烧释放的颗粒物,且燃油中含有的重金属主要是Cd、Cr、Zn。

### 3 讨论

树木因在吸附和减少空气颗粒物方面发挥着无法替代的作用,被称为城市粉尘过滤器,所以很多学者使用叶片灰尘来研究源于道路交通污染物的传播<sup>[14,15]</sup>,利用树木叶片作为监测器和指示器研究叶片重金属含量与矿区和交通污染有关的重金属污染的相关性<sup>[16]</sup>。目前,松柏科的裸子植物<sup>[17,18]</sup>及壳斗科被子植物<sup>[19~21]</sup>已被广泛用于监测大气重金属污染,夹竹桃 *Nerium oleander*<sup>[22]</sup> 海桐 *Pittosporum tobira*<sup>[23]</sup>等常绿植物和悬铃木 *Platanus hispanica*<sup>[24]</sup>等落叶植物也已用于空气重金属污染监测研究。由前人研究结果可知,树木叶片的截尘量大<sup>[25]</sup>。一般来说,叶片宽大、平展、硬挺而风吹不易晃动、叶面粗糙且多茸毛、总叶量又大的植物,更有利于滞尘<sup>[26]</sup>,但是前人对叶片吸附颗粒的大小及单位面积吸附量与重金属的累积相关性很少涉及。本研究表明,不同树种叶片单位面积吸附的 $d_{100}$ 量并非与叶片面积完全呈现正相关,而与上下表皮平滑程度、表皮毛的有无、气孔密度及气孔口大小可能有关,因为上下表皮凸凹不平(香樟、女贞、悬铃木、银杏),可使叶片表面呈现沟状,能捕获较多的可吸入颗粒且可以阻止它们再悬浮<sup>[12]</sup>;上、下表皮的表皮毛有许多是腺毛,分泌大量的脂类物质可以黏附粗颗粒<sup>[27]</sup>;所以有表皮毛的或粗糙表面的叶片捕获 $d_{100}$ 颗粒物的效率比光滑叶片高;表皮毛少的叶片吸附 $d_{2.5}$ 较多;气孔是外界物质进入叶片表皮内

部细胞的门户,气孔大和密能增加颗粒物与叶片的接触面积,气孔密和大的树木叶片也能吸附较多的空气颗粒物<sup>[28]</sup>。因此,根据叶片上下表面的微形态与吸附不同的粒径悬浮颗粒量的差异可将树木分两个功能组,Ⅰ类是表皮吸附主导型,表皮毛多,主要吸附粗颗粒物;Ⅱ类是气孔吸附主导型,无表皮毛阻挡,气孔密、气孔口大,主要吸附细颗粒物,这与前人研究的颗粒物的分散和分布较大程度依赖于颗粒物的大小及它们降落的平面特点一致<sup>[29]</sup>。

树木叶片不仅吸附空气中的悬浮颗粒,而且还可以累集悬浮颗粒中的重金属,累积重金属量与大气中颗粒污染物的浓度成正比<sup>[30]</sup>。由于树木叶片主要吸附的是粒径小于10 μm的细颗粒,而交通燃油排放和车辆机械损伤是细小颗粒的主要来源<sup>[31]</sup>,因此本研究得出了叶片累积的大部分重金属量与单位面积吸附的细颗粒量呈显著正相关的结果。且实验得出的7种树木叶片对6种重金属的累积值相比其他大城市(南京等<sup>[32]</sup>)都低,原因是淮南市的市内运行的车辆少于大城市,进一步表明繁重的交通会导致城市环境污染的加重。

### 4 结论

7种树木叶片单位面积捕获 $d_{100}$ 效率由高至低为悬铃木、香樟、银杏、广玉兰、女贞、红叶李、桂花,而吸附 $d_{10}$ 、 $d_{2.5}$ 、 $d_{1.0}$ 的能力由强至弱为香樟、银杏、女贞、红叶李、桂花、广玉兰和悬铃木;香樟、女贞、银杏、红叶李、桂花这5种小叶树叶片吸附的主要是粒径小于1.0 μm的颗粒,累积Cd、Cr、Cu、Ni、Zn这5种重金属能力较强;悬铃木叶片吸附的主要是粒径大于2.5 μm颗粒,对Pb累积较多。因此,在交通量较大的主干道上栽植香樟、女贞、银杏等小叶绿化树种及有表皮毛的阔叶悬铃木有利于移除空气中的悬浮颗粒,减少细颗粒中含有的重金属对环境的污染。

#### 参考文献:

- [1] 唐效炎,张远航,邵敏. 大气环境化学[M]. (第二版). 北京:高等教育出版社,2006. 5-10.
- [2] GB 3095-12, 环境空气质量标准[S].
- [3] Lu X W, Wang L J, Li L Y, et al. Multivariate statistical analysis of heavy metals in street dust of Baoji, NW China[J]. Journal of Hazardous Materials, 2010, 173(1-3): 744-749.
- [4] Madrid F, Díaz-Barrientos E, Madrid L. Availability and bio-accessibility of metals in the clay fraction of urban soils of Sevilla [J]. Environmental Pollution, 2008, 156(3): 605-610.
- [5] Hsu S C, Liu S C, Jeng W L, et al. Variations of Cd/Pb and Zn/Pb ratios in Taipei aerosols reflecting long-range transport or

- local pollution emissions[J]. *Science of the Total Environment*, 2005, **347**(1-3): 111-121.
- [ 6 ] Deng W J, Louie P K K, Liu W K, *et al.* Atmospheric levels and cytotoxicity of PAHs and heavy metals in TSP and PM<sub>2.5</sub> at an electronic waste recycling site in southeast China [ J ]. *Atmospheric Environment*, 2006, **40**(36): 6945-6955.
- [ 7 ] Brunekreef B, Holgate S T. Air pollution and health[ J ]. *The Lancet*, 2002, **360**(9341): 1233-1242.
- [ 8 ] 王亚超. 城市植物叶面尘理化特性及源解析研究[ D ]. 南京: 南京林业大学, 2007. 3-7.
- [ 9 ] 柴一新, 祝宁, 韩焕金. 城市绿化树种的滞尘效应——以哈尔滨市为例[ J ]. *应用生态学报*, 2002, **13**(9): 1121-1126.
- [ 10 ] Wang C R, Wang X R, Tian Y A, *et al.* Oxidative stress, defense response, and early biomarkers for lead-contaminated soil in *Vicia faba* seedlings [ J ]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2008, **27**(4): 970-977.
- [ 11 ] Nowak D J, Crane D E, Stevens, J C. Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States[ J ]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2006, **4**(3-4): 115-123.
- [ 12 ] Speak A F, Rothwell J J, Lindley S J, *et al.* Urban particulate pollution reduction by four species of green roof vegetation in a UK city[ J ]. *Atmospheric Environment*, 2012, **61**: 283-293.
- [ 13 ] 潘月鹏, 王跃思, 杨勇杰, 等. 区域大气颗粒物干沉降采集及金属元素分析方法[ J ]. *环境科学*, 2010, **31**(3): 553-559.
- [ 14 ] 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.
- [ 15 ] 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.
- [ 16 ] Bargagli R, Monaci F, Agnorelli C. Oak leaves as accumulators of airborne elements in an area with geochemical and geothermal anomalies[ J ]. *Environmental Pollution*, 2003, **124**(2): 321-329.
- [ 17 ] Onder S, Dursun S. Air borne heavy metal pollution of *Cedrus libani* (A. Rich.) in the city centre of Konya (Turkey) [ J ]. *Atmospheric Environment*, 2006, **40**(6): 1122-1133.
- [ 18 ] Reimann C, Arnoldussen A, Boyd R, *et al.* Element contents in leaves of four plant species ( birch, mountain ash, fern and spruce) along anthropogenic and geogenic concentration gradients [ J ]. *Science of the Total Environment*, 2007, **377**(2-3): 416-433.
- [ 19 ] Gratani L, Crescente M F, Varone L. Long-term monitoring of metal pollution by urban trees [ J ]. *Atmospheric Environment*, 2008, **42**(35): 8273-8277.
- [ 20 ] De Nicola F, Maisto G, Prati M V, *et al.* Leaf accumulation of trace elements and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in *Quercus ilex* L. [ J ]. *Environmental Pollution*, 2008, **153**(2): 376-383.
- [ 21 ] Madejón P, Marañón T, Murillo J M. Biomonitoring of trace elements in the leaves and fruits of wild olive and holm oak trees [ J ]. *Science of the Total Environment*, 2006, **355**(1-3): 187-203.
- [ 22 ] Oliva S R, Espinosa A J F. Monitoring of heavy metals in topsoils, atmospheric particles and plant leaves to identify possible contamination sources [ J ]. *Microchemical Journal*, 2007, **86**(1): 131-139.
- [ 23 ] Lorenzini G, Grassi C, Nali C, *et al.* Leaves of *Pittosporum tobira* as indicators of airborne trace element and PM<sub>10</sub> distribution in central Italy [ J ]. *Atmospheric Environment*, 2006, **40**(22): 4025-4036.
- [ 24 ] McIntosh G, Gómez-Paccard M, Osete M L. The magnetic properties of particles deposited on *Platanus hispanica* leaves in Madrid, Spain, and their temporal and spatial variations [ J ]. *Science of the Total Environment*, 2007, **382**(1): 135-146.
- [ 25 ] 粟志峰, 刘艳, 彭倩芳. 不同绿地类型在城市中的滞尘作用研究[ J ]. *干旱环境监测*, 2002, **16**(3): 162-163.
- [ 26 ] 刘福智, 刘加平. 植物对空气中可吸入颗粒物的量化控制及影响[ J ]. *青岛理工大学学报*, 2005, **26**(5): 25-29.
- [ 27 ] 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.
- [ 28 ] 俞学如. 南京市主要绿化树种叶面滞尘特征及其与叶面结构的关系[ D ]. 南京: 南京林业大学, 2008. 31-33.
- [ 29 ] Wong C S C, Li X D, Thornton I. Urban environmental geochemistry of trace metals [ J ]. *Environmental Pollution*, 2006, **142**(1): 1-16.
- [ 30 ] 任乃林, 陈炜彬, 黄俊生, 等. 用植物叶片中重金属元素含量指示大气污染的研究 [ J ]. *广东微量元素科学*, 2004, **11**(10): 41-45.
- [ 31 ] Bray R, Vakili C, Elliott D. Report on public health and urban sprawl in Ontario [ R ]. Ontario: Environmental Health Committee, 2005. 1-53.
- [ 32 ] 王爱霞, 张敏, 黄利斌, 等. 南京市 14 种绿化树种对空气中重金属的累积能力 [ J ]. *植物研究*, 2009, **29**(3): 368-374.

## CONTENTS

Concentrations and Ozone Formation Potentials of BTEX During 2008-2010 in Urban Beijing, China	CAO Han-yu, PAN Yue-peng, WANG Hui, <i>et al.</i> (2065)
Aging and Mixing State of Particulate Matter During Aerosol Pollution Episode in Autumn Shanghai Using a Single Particle Aerosol Mass Spectrometer (SPAMS)	MU Ying-ying, LOU Sheng-rong, CHEN Chang-hong, <i>et al.</i> (2071)
Chemical Characteristics and Source Assessment of Rainwater at Shenyang	ZHANG Lin-jing, ZHANG Xiu-ying, JIANG Hong, <i>et al.</i> (2081)
Variation of Atmospheric Pollutants in Qinhuangdao City	LIU Lu-ning, SHEN Yu-xuan, XIN Jin-yuan, <i>et al.</i> (2089)
NH <sub>3</sub> , N <sub>2</sub> O, CH <sub>4</sub> and CO <sub>2</sub> Emissions from Growing Process of Caged Broilers	ZHOU Zhong-kai, ZHU Zhi-ping, DONG Hong-min, <i>et al.</i> (2098)
Synergetic Effects of Silicon Carbide and Molecular Sieve Loaded Catalyst on Microwave Assisted Catalytic Oxidation of Toluene	WANG Xiao-hui, BO Long-li, LIU Hai-nan, <i>et al.</i> (2107)
Removal of Mixed Waste Gases by the Biotrickling Filter	ZHANG Ding-feng, FANG Jun-yi, YE Jie-xu, <i>et al.</i> (2116)
Decomposition of Carbon Disulfide by Pulse Corona Under Oxidizing and Reducing Atmosphere	JIN Sheng, HUANG Li-wei, LI Guo-ping (2121)
Effects of Simulated Elevation of Atmospheric CO <sub>2</sub> Concentration on the Physiological Features of Spring Phytoplankton in Taihu Lake	ZHAO Xu-hui, TANG Long-sheng, SHI Xiao-li, <i>et al.</i> (2126)
A New Method for Estimation the Lake Quality Reference Condition	HUA Zu-lin, WANG Liang (2134)
Parameter Sensitivity Analysis of Runoff Simulation and Model Adaptability Research Based on HSPF	LI Yan, LI Zhao-fu, XI Qing (2139)
Study on Water Quality Monitoring Scheme Based on Non-Point Source Pollution	WU Xi-jun, LI Hui-en, LI Jia-ke, <i>et al.</i> (2146)
Characteristics of Nutrient Loss by Runoff in Sloping Arable Land of Yellow-brown Under Different Rainfall Intensities	CHEN Ling, LIU De-fu, SONG Lin-xu, <i>et al.</i> (2151)
Distribution of Dissolved Inorganic Nutrients and Dissolved Oxygen in the High Frequency Area of Harmful Algal Blooms in the East China Sea in Spring	LI Hong-mei, SHI Xiao-yong, CHEN Peng, <i>et al.</i> (2159)
Temporal-Spatial Distribution of Algal Cells During Drought Period in Daning River of Three Gorges	ZHANG Yong-sheng, ZHENG Bing-hui, WANG Kun, <i>et al.</i> (2166)
Bioavailability of Dissolved Organic Nitrogen Components in the Lake Sediment to Algae	FENG Wei-ying, ZHANG Sheng, JIAO Li-xin, <i>et al.</i> (2176)
Influence of Decomposition of <i>Cladophora</i> sp. on Phosphorus Concentrations and Forms in the Overlying Water	HOU Jin-zhi, WEI Quan, CAO Li, <i>et al.</i> (2184)
Phosphorus Exchange Between Suspended Solids Sediments Overlying Water Under Repeated Disturbance	LI Da-peng, WANG Jing, HUANG Yong (2191)
Distribution Characteristics of PBDEs in Surface Sediment from the Three Gorges Reservoir of Yangtze River	LI Kun, ZHAO Gao-feng, ZHOU Hui-dong, <i>et al.</i> (2198)
Study on UV and H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> Combined Inactivation of <i>E. coli</i> in Drinking Water	ZHANG Yi-qing, ZHOU Ling-ling, ZHANG Yong-ji (2205)
Kinetics and Influencing Factors of Dimethyl Phthalate Degradation in Aqueous Solution by Ozonation	YU Li, ZHANG Pei-long, HOU Jia-cai, <i>et al.</i> (2210)
Effects of Nitrate Ion on Monomethylmercury Photodegradation in Water Body	MAO Wen, SUN Rong-guo, WANG Ding-yong, <i>et al.</i> (2218)
Chlorination of Ethynyl Estradiol: A Kinetic and Mechanistic Study	WANG Bin-nan, LIU Guo-qiang, KONG De-yang, <i>et al.</i> (2225)
Metal Ions Restrain the Elimination of 4- <i>tert</i> -Octylphenol by $\delta$ -MnO <sub>2</sub>	LI Fei-li, MOU Hua-qian (2232)
Removal of Bisphenol A in Aqueous Solutions by Core-shell Magnetic Molecularly Imprinted Polymers	LIU Jian-ming, LI Hong-hong, XIONG Zhen-hu (2240)
Research on Removal of Tetrabromobisphenol A from Synthetic Wastewater by Nanoscale Zero Valent Iron Supported on Organobentonite	YAN Meng-yue, PANG Zhi-hua, LI Xiao-ming, <i>et al.</i> (2249)
Measurement of Dissolved Organic Nitrogen with Nanofiltration Pretreatment and Its Distribution Characteristics in Landscape Water	YU Hong-lei, HUO Shou-liang, YANG Zhou-sheng, <i>et al.</i> (2256)
Preparation of a Novel Modified Hydrogel and Study of Its Adsorption Performance	WU Ning-mei, LI Zheng-kui (2263)
Photocatalytic Reductive Degradation of Direct Red 4BE by Posphotungstic Acid	WEI Hong, LI Ke-bin, LI Juan, <i>et al.</i> (2271)
Wastewater Treatment Using a Microbubble Aerated Biofilm Reactor	ZHANG Lei, LIU Ping, MA Jin, <i>et al.</i> (2277)
Research on Fenton Treatment of the Biochemical Processes Effluent of Bamboo Industry Wastewater	GUO Qing-wen, ZHANG Min, WANG Wei, <i>et al.</i> (2283)
Effect of Fe <sup>2+</sup> on Fermentation Hydrogen Production in an UASB	LI Yong-feng, WANG Yi-xuan, CHENG Guo-ling, <i>et al.</i> (2290)
Influence of Substrate Concentration on PHA Production Using Fermented Sugar Cane as Substrate	CHEN Zhi-qiang, DENG Yi, HUANG Long, <i>et al.</i> (2295)
Study on Rapid Start-up of a Nitrifying Process Using Aerobic Granular Sludge as Seed Sludge	LIU Wen-ru, SHEN Yao-liang, DING Ling-ling, <i>et al.</i> (2302)
Influencing Factors of High-Concentration Lead Removal Using the Phosphorus-Accumulating Sludge	YANG Min, LU Long, FENG Yong, <i>et al.</i> (2309)
Preliminary Study on Characteristics of Volumetric Oxygen Transfer Coefficient in Granular Sludge Systems	LI Zhi-hua, FAN Chang-qing, WANG Xiao-chang (2314)
Ecological Risk Assessment of Bisphenol A in Chinese Freshwaters	WANG Hao, FENG Cheng-lian, GUO Guang-hui, <i>et al.</i> (2319)
Species Sensitivity Evaluation of <i>Pseudorasbora parva</i>	WANG Xiao-nan, LIU Zheng-tao, YAN Zhen-guang, <i>et al.</i> (2329)
Comparison of Aquatic Predicted No-Effect Concentrations (PNECs) for Pentachlorophenol Derived from Different Assessment Approaches	LEI Bing-li, WEN Yu, WANG Yi-pei, <i>et al.</i> (2335)
Study on Hair Hg and Pb Content Distribution of Traffic Polices, Guilin	QIAN Jian-ping, ZHANG Li, LI Cheng-chao, <i>et al.</i> (2344)
Changes in Phototaxical Index of <i>Daphnia carinata</i> Under Electric Field of Direct Current in Response to Cr <sup>6+</sup> and Hg <sup>2+</sup>	WANG Fei-xiang, YUAN Ling, HUANG Jian-guo (2350)
Effect of UV-B Radiation on the Chemical Composition and Subsequent Decomposition of <i>Cyclobalanopsis glauca</i> Leaf Litter	SONG Xin-zhang, BU Tao, ZHANG Shui-kui, <i>et al.</i> (2355)
Leaf Micro-morphology and Features in Adsorbing Air Suspended Particulate Matter and Accumulating Heavy Metals in Seven Tress Species	LIU Ling, FANG Yan-ming, WANG Shun-chang, <i>et al.</i> (2361)
Effect of Dissolved Oxygen on Microbial Community in Simultaneous Removal of Carbon, Nitrogen and Sulfur Process	YU Hao, CHEN Chuan, ZHANG Li, <i>et al.</i> (2368)
Microbial Activity and Community Structure Analysis Under the Different Land Use Patterns in Farmland Soils: Based on the Methods PLFA and MicroResp <sup>TM</sup>	CHEN Xiao-juan, WU Xiao-hong, LIU Shou-long, <i>et al.</i> (2375)
Effects of Drying-rewetting Alternation on Nitrogen Dynamics in a Typical Coastal Wetland: A Simulation Study	HAN Jian-gang, CAO Xue (2383)
Cadmium and Selected Heavy Metals in Soils of Jianping Area in Wushan County, the Three Gorges Region: Distribution and Source Recognition	LIU Yi-zhang, XIAO Tang-fu, NING Zeng-ping, <i>et al.</i> (2390)
Total Contents of Heavy Metals and Their Chemical Fractionation in Agricultural Soils at Different Locations of Beijing City	CHEN Zhi-fan, ZHAO Ye, GUO Ting-zhong, <i>et al.</i> (2399)
Influence of Season Change on the Level of Heavy Metals in Outdoor Settled Dusts in Different Functional Areas of Guiyang City	LI Xiao-yan (2407)
Characteristics of Dioxin-Like Polychlorinated Biphenyls Contamination in Soils of Gudao Region in Dongying	WANG Deng-ge, CUI Zhao-jie, FU Xiao-wen, <i>et al.</i> (2416)
Effects of Simulated Nitrogen Deposition on Organic Matter Leaching in Forest Soil	DUAN Lei, MA Xiao-xiao, YU De-xiang, <i>et al.</i> (2422)
<i>Ex-situ</i> Remediation of PAHs Contaminated Site by Successive Methyl- $\beta$ -Cyclodextrin Enhanced Soil Washing	SUN Ming-ming, TENG Ying, LUO Yong-ming, <i>et al.</i> (2428)
Effects of <i>Bacillus mucilaginosus</i> on the Cd Content of Rhizosphere Soil and Enzymes in Soil of <i>Brassica juncea</i>	YANG Rong, LI Bo-wen, LIU Wei (2436)
Concentrations of Antibiotics in Vegetables from Manure-mended Farm	WU Xiao-lian, XIANG Lei, MO Ce-hui, <i>et al.</i> (2442)
Characteristics of Organic Nitrogen Mineralization in Organic Waste Compost-Amended Soil	ZHANG Xu, XI Bei-dou, ZHANG Yue, <i>et al.</i> (2448)
Characteristics and Influence Factors of the Energy Consumption and Pollutant Discharge of Municipal Solid Waste Transfer Stations in Beijing	WANG Zhao, LI Zhen-shan, FENG Ya-bin, <i>et al.</i> (2456)
Influence of Ammonia on Leaching Behaviors of Incineration Fly Ash and Its Geochemical Modeling	GUAN Zhen-zhen, CHEN De-zhen, Thomas Astrup (2464)
Pretreatment Technology for Fly Ash from MSWI and the Corresponding Study of Chloride Behavior	ZHU Fen-fen, Takaoka Masaki, Oshita Kazuyuki, <i>et al.</i> (2473)
Preparation, Characterization and Adsorption Performance of Mesoporous Activated Carbon with Acidic Groups	LI Kun-quan, LI Ye, ZHENG Zheng, <i>et al.</i> (2479)
Preliminary Assessment of the Potential of Biochar Technology in Mitigating the Greenhouse Effect in China	JIANG Zhi-xiang, ZHENG Hao, LI Feng-min, <i>et al.</i> (2486)
Research of Potassium Flow and Circulation Based on Substance Flow Analysis	BAI Hua, ZENG Si-yu, DONG Xin, <i>et al.</i> (2493)

# 《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6月15日 34卷 第6期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 6 Jun. 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