

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第36卷 第6期

Vol.36 No.6

2015

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

南京北郊春季气溶胶吸湿性分析	徐彬, 张泽锋, 李艳伟, 秦鑫, 缪青, 沈艳 (1911)
南京北郊秋冬季相对湿度及气溶胶理化特性对大气能见度的影响	于兴娜, 马佳, 朱彬, 王红磊, 严殊祺, 夏航 (1919)
南京北郊冬季霾天 PM _{2.5} 水溶性离子的污染特征与消光作用研究	周瑶瑶, 马嫣, 郑军, 崔芬萍, 王荔 (1926)
京津冀冬季大气混合层高度与大气污染的关系	李梦, 唐贵谦, 黄俊, 刘子锐, 安俊琳, 王跃思 (1935)
长江三角洲地区基于喷涂工艺的溶剂源 VOCs 排放特征	莫梓伟, 牛贺, 陆思华, 邵敏, 勾斌 (1944)
贵阳酸雨中溶解态重金属质量浓度及形态分析	朱兆洲, 李军, 王志如 (1952)
北京市火葬场大气污染物排放现状及污染特征	薛亦峰, 闫静, 田贺忠, 熊程程, 李敬东, 吴晓清, 王玮, 朱家昕 (1959)
北京市燃煤锅炉烟气中水溶性离子排放特征	胡月琪, 马召辉, 冯亚君, 王琛, 陈圆圆, 何明 (1966)
燃煤电厂湿烟卤降雨成因分析	欧阳丽华, 庄焯, 刘科伟, 陈振宇, 顾鹏 (1975)
Mn-Ce/分子筛的脱汞特性研究	谭增强, 牛国平, 陈晓文, 安振 (1983)
办公室内颗粒物载带溴系阻燃剂的人体呼吸暴露	李岫雯, 曾辉, 倪宏刚 (1989)
森林生物质燃烧烟尘中的有机碳和元素碳	黄柯, 刘刚, 周丽敏, 李久海, 徐慧, 吴丹, 洪蕾, 陈惠雨, 杨伟宗 (1998)
北京市常见落叶树种叶片滞纳空气颗粒物功能	王兵, 王晓燕, 牛香, 张维康, 汪金松 (2005)
气相中乙酸乙酯光解的光子效率: 波长和催化剂的影响	方雪慧, 赵洁, 舒莉, 高永, 叶招莲 (2010)
长江口邻近海域赤潮水体浮游植物光吸收特性分析	刘洋洋, 沈芳, 李秀珍 (2019)
深圳近岸海域全氟化化合物的污染特征	刘宝林, 张鸿, 谢刘伟, 刘国卿, 王艳萍, 王鑫璇, 李静, 董炜华 (2028)
杭州西湖“香灰土”沉积物轻、重有机质组成特征及其环境意义	李静, 朱广伟, 朱梦圆, 龚志军, 许海, 杨桂军 (2038)
小清河表层沉积物重污染区重金属赋存形态及风险评价	黄莹, 李永霞, 高甫威, 徐民民, 孙博, 王宁, 杨健 (2046)
调水型水库藻类对调水氮、磷浓度与水量的响应	万由鹏, 尹魁浩, 彭盛华 (2054)
三峡库区回水区营养盐和叶绿素 a 的时空变化及其相互关系	张磊, 蔚建军, 付莉, 周川, Douglas G. Haffner (2061)
藻华聚集的环境效应: 对漂浮植物水葫芦光合作用的影响	包先明, 顾东祥, 吴婷婷, 石祖良, 刘国锋, 韩士群, 周庆 (2070)
巢湖沉积物有效磷的原位高分辨分析研究	李超, 王丹, 杨金燕, 王燕, 丁士明 (2077)
贵州施秉白云岩喀斯特区水化学和溶解无机碳稳定同位素特征	肖时珍, 蓝家程, 袁道先, 王云, 杨龙, 敖向红 (2085)
长沙地区不同水体稳定同位素特征及其水循环指示意义	李广, 章新平, 张立峰, 王跃峰, 邓晓军, 杨柳, 雷超桂 (2094)
元阳梯田水源区土壤水氢氧同位素特征	张小娟, 宋维峰, 吴锦奎, 王卓娟 (2102)
植草沟控制道路径流污染效果的现场实验研究	黄俊杰, 沈庆然, 李田 (2109)
Fe/Cu 催化还原降解饮用水中溴氯乙腈的性能研究	丁春生, 马海龙, 傅洋平, 赵世督, 李东兵 (2116)
三维花状结构 α -FeOOH 协同 H ₂ O ₂ 可见光催化降解双氯芬酸钠	许俊鸽, 李云琴, 黄华山, 苑宝玲, 崔浩杰, 付明来 (2122)
UV/H ₂ O ₂ 降解羟苯甲酮反应动力学及影响因素	冯欣欣, 杜尔登, 郭迎庆, 李华杰, 刘翔, 周方 (2129)
钼掺杂 TiO ₂ 光催化降解全氟辛酸	刘晴, 喻泽斌, 张睿涵, 李明洁, 陈颖, 王莉, 匡瑜, 张搏, 朱有慧 (2138)
低频无极灯降解偶氮染料酸性橙 7	吴朋, 吴军, 高士祥, 孙成, 蒋正方 (2147)
纳米 Fe ₃ O ₄ /CeO ₂ -H ₂ O ₂ 非均相类 Fenton 体系对 3,4-二氯三氟甲苯的降解	孙正男, 杨琦, 纪冬丽, 郑琳 (2154)
流变相法制备包覆型 CMC-Fe ⁰ 及降解水中 TCE 的研究	樊文井, 成岳, 余淑贞, 范小丰 (2161)
Pd-Fe/石墨烯多功能催化阴极降解 4-氯酚机制研究	祁文智, 王凡, 王辉, 施钦, 逢磊, 卞兆勇 (2168)
锰氧化物改性硅藻土对苯胺的去除动力学与机制	肖少丹, 刘露, 姜理英, 陈建孟 (2175)
铅-十六烷基三甲基氯化铵改性活性炭对水中硝酸盐和磷酸盐的吸附特性	郑雯婧, 林建伟, 詹艳慧, 王虹 (2185)
聚(丙烯酸酰胺-二乙烯基苯)对水溶液中刚果红的吸附	张变变, 廖运文, 高和军, 王忠志, 帅超 (2195)
大型再生水厂不同污水处理工艺的能耗比较与节能途径	杨敏, 李亚明, 魏源送, 吕鑑, 郁达伟, 刘吉宝, 樊耀波 (2203)
污泥水热液化水相产物中氮元素变化规律的研究	孙衍卿, 孙震, 张景来 (2210)
不同接种污泥 ABR 厌氧氨氧化的启动特征	张海芹, 王翻翻, 李月寒, 陈重军, 沈耀良 (2216)
基于微波-过氧化氢-碱预处理的污泥水解影响因素	贾瑞来, 魏源送, 刘吉宝 (2222)
蠡河底泥中反硝化复合菌群富集及菌群结构研究	雍佳君, 成小英 (2232)
不同类型及不同浓度抗生素条件下活性污泥丝状菌种群多样性分析	王润芳, 王琴, 张红, 齐嵘 (2239)
石油降解菌的分离鉴定及 4 株芽胞杆菌种间效应	王佳楠, 石妍云, 郑力燕, 王喆, 蔡章, 刘杰 (2245)
Sheewanella oneidensis MR-1 对针铁矿的还原与汞的生物甲基化	司友斌, 孙林, 王卉 (2252)
根表铁氧化物胶膜对水稻吸收诺氟沙星的影响	马微, 鲍艳宇 (2259)
不同耕作措施对旱作夏玉米田土壤呼吸及根呼吸的影响	禄兴丽, 廖允成 (2266)
城市区域近地表灰尘及重金属沉降垂向季节变化	李晓燕, 张舒婷 (2274)
中山市农业区域土壤-农产品中邻苯二甲酸酯 (PAEs) 污染特征	李彬, 吴山, 梁金明, 梁文立, 陈桂贤, 李拥军, 杨国义 (2283)
经口摄入土壤多溴联苯醚生物可给性变化及影响因素的体外消化模拟	张云惠, 刘伟健, 程芳芳, 熊冠男, 杨笑寒, 王歆, 陶澍, 邢宝山, 刘文新 (2292)
生物炭输入对土壤本底有机碳矿化的影响	陈威, 胡学玉, 陆海楠 (2300)
改良剂对广西环江强酸铅锌污染土壤的修复作用	曾伟铨, 宋波, 袁立竹, 黄宇妃, 伏凤艳 (2306)
蒙脱石-OR-SH 复合体材料对土壤镉的钝化及机制	曾燕君, 周志军, 赵秋香 (2314)
焦岗湖湿地土地利用格局演变及区域可持续性评价	杨阳, 蔡怡敏, 白艳莹, 陈卫平, 杨秀超 (2320)
《环境科学》征订启事 (1965) 《环境科学》征稿简则 (2115) 信息 (1925, 2076, 2084, 2146)	

北京市常见落叶树种叶片滞纳空气颗粒物功能

王兵¹, 王晓燕², 牛香^{1*}, 张维康³, 汪金松¹

(1. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 北京 100091; 2. 北京林业大学水土保持学院, 北京 100083; 3. 北京林业大学林学院, 北京 100083)

摘要: 为了探求北京市常见落叶乔木树种滞纳空气颗粒物的功能, 选取了6种典型落叶乔木树种(杨树、刺槐、栎树、垂柳、元宝枫、银杏), 利用空气气溶胶再发生器(QRJZFSQ-I)测定了不同树种单位面积叶片对空气总悬浮颗粒物(TSP)、粗颗粒物和细颗粒物的滞纳量。结果表明: ①6个树种的叶片对不同粒径空气颗粒物均能起到一定的滞纳作用, 且不同树种滞纳量表现出较大差异, 栎树和刺槐单位面积叶片对不同粒径颗粒物的滞纳量最高, 杨树的滞纳量最小; ②不同树种单位面积叶片对不同粒径颗粒物的滞纳量并不完全随着取样时间的延长而增加, 在雨后8 d和雨后5 d, 不同树种单位面积叶片对TSP和粗颗粒物的滞纳量差异较大, 但不同树种单位面积叶片对细颗粒物的滞纳量在不同取样时间下没有明显差异。在北京以空气污染的生态治理为目标选择落叶树种时, 与银杏、垂柳、元宝枫、杨树相比, 应优先选择栎树, 其次为刺槐。

关键词: 北京; 落叶树种; 单位面积叶片; 滞纳量; 空气颗粒物

中图分类号: X171 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2015)06-2005-05 DOI: 10.13227/j.hjkx.2015.06.013

Atmospheric Particle Retaining Function of Common Deciduous Tree Species Leaves in Beijing

WANG Bing¹, WANG Xiao-yan², NIU Xiang^{1*}, ZHANG Wei-kang³, WANG Jin-song¹

(1. Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 2. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 3. College of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: In order to explore the atmospheric particle-retaining function of common deciduous tree species leaves in Beijing, six typical tree species (*Populus*, *Robinia pseudoacacia*, *Koelreuteria paniculata*, *Salix babylonica*, *Acer truncatum*, *Ginkgo biloba*) were chosen to measure retaining amount of unit leaf area of air total suspended particles (TSP), coarse particles and fine particulate with aerosol generator (QRJZFSQ-I). The results showed that ① All six tree species leaves had a certain level of retaining ability to different sizes of atmospheric particles, and different species exhibited some differences. For different sizes of atmospheric particle, retaining amounts of unit leaf area were higher in *Koelreuteria paniculata* and *Robinia pseudoacacia* than those of other four species, and the amount of *Populus* was the lowest among all tree species; ② The retaining amount of unit leaf area for different tree species was not entirely increased with sampling time. The retaining amounts of TSP and coarse particles for all tree species on the eighth day after rain were significantly higher than those on the fifth day after rain, however, the retaining amount of fine particles was not significantly different under different sampling times. In order to select deciduous tree species for ecological management of air pollution in Beijing, *Koelreuteria paniculata* should be considered as the priority, followed by *Robinia pseudoacacia*, compared with *Ginkgo biloba*, *Salix babylonica*, *Acer truncatum* and *Populus*.

Key words: Beijing; deciduous tree species; unit leaf area; the retaining amount; atmospheric particle

空气是生物赖以生存的基本条件。然而随着工业化、城市化的快速发展, 来自于化石燃料燃烧、建筑施工扬尘、道路扬尘和工业粉尘等的颗粒物进入大气, 造成了空气环境的严重污染。城市空气中的总悬浮颗粒物(TSP, 粒径 $d \leq 100 \mu\text{m}$)是国内外大多数城市空气的首要污染物, 聚集大量有害重金属、酸性氧化物、有害有机物、细菌和病菌等。 PM_{10} ($d \leq 10 \mu\text{m}$ 的颗粒物)可通过呼吸道进入人体, 是危害人类健康的最重要物质。其中粒径在 $2.5 \sim 10 \mu\text{m}$ 的颗粒物大部分被鼻咽截留, $\text{PM}_{2.5}$ ($d \leq 2.5 \mu\text{m}$)可进入人体肺部, 对人体健康的危害最大。

Dockery等^[1]于1993首次提出了大气污染物的长期暴露与不良健康效应的关系, 并发现颗粒物与心血管疾病死亡率有相关性。Pope等^[2]发现在控制饮食和污染物联合作用等混杂因素后, $\text{PM}_{2.5}$ 的年平均浓度每增加 $10 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, 全病因死亡率、心血管死亡率和肺癌死亡率分别上升4%、6%和8%。陶燕

收稿日期: 2014-10-27; 修订日期: 2015-01-13

基金项目: 林业公益性行业科研专项(20130430101, 201204101)

作者简介: 王兵(1965~), 男, 博士, 研究员, 主要研究方向为森林生态系统定位观测与服务功能评估, E-mail: wangbingcfem@163.com

* 通讯联系人, E-mail: niuxiang@caf.ac.cn

等^[3]研究发现 PM_{10} 和 $PM_{1.0}$ 对呼吸系统疾病和心脑血管疾病的发生均有滞后作用,对于呼吸系统疾病来说, $PM_{1.0}$ 滞后 4~6 d,在第 5 d 的最显著, $PM_{1.0}$ 每升高 10 粒子数 $\cdot m^{-3}$,入院危险增加 0.652%;对于心脑血管疾病来说, $PM_{1.0}$ 滞后 5~7 d,在当天最显著, $PM_{1.0}$ 每升高 10 粒子数 $\cdot m^{-3}$,入院危险增加 0.935%。由此可见,确保人们呼吸到清洁干净的空气是环境保护的首要任务。

北京市作为我国的首都,近年来空气质量频频拉响警报^[4,5],恶劣的空气环境不仅严重威胁到市民的身体健康,而且与其国际化大都市的形象和地位严重不符。为了应对北京市的空气环境问题,环境保护部于 2011 年 11 月 16 日将 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 纳入城市空气质量评价体系。更在 2013 年 1 月的严重雾霾天气事件中,紧急启动了“空气重污染日应急方案”,北京 58 家企业完全停产;41 家企业通过减产,减少 30% 的污染物排放量;在京党政机关和企事业单位 30% 的公交车停止使用^[5]。尽管如此,北京的空气污染问题仍十分严重^[6]。据统计,2013 年北京 $PM_{2.5}$ 全年平均浓度为 $89.8 \mu g \cdot m^{-3}$,比 $35 \mu g \cdot m^{-3}$ 的国家标准超标 1.5 倍。2013 年全年,空气质量一级优的天数有 41 d,占 11.2%;二级良天数 135 d,占 37.0%;三级轻度污染天总计 84 d,占 23.0%;四级中度污染天为 47 d,占 12.9%;五级重度污染有 45 d,占 12.3%;六级严重污染一共 13 d,占 3.6%。北京 2013 年全年优良天数共计 176 d,仅占全年总天数的 48.2%。

研究发现,林木可以滞纳空气中的颗粒物,从而起到改善空气质量和保证人体健康的作用^[7-16]。目前,关于林木调节空气中颗粒物浓度及其组成成分的研究较少(表 1)。其中关于不同树木滞纳空气中

表 1 林木与空气颗粒物研究的文献检索结果

Table 1 Results of literature searching about forest, tree and atmosphere particulate

检索词	检索库	结果
Forest、particulate and atmosphere	Web of Science	197
Forest、particulate and air	Web of Science	16
plant、particulate and atmosphere	Web of Science	420
plant、particulate and air	Web of Science	46
tree、particulate and atmosphere	Web of Science	94
tree、particulate and air	Web of Science	15
森林和大气颗粒物	CNKI	12
森林和空气颗粒物	CNKI	10
植物和大气颗粒物	CNKI	58
植物和空气颗粒物	CNKI	13
树木和大气颗粒物	CNKI	5
树木和空气颗粒物	CNKI	4

颗粒物能力的研究更是罕见。少数研究发现,不同树种由于其叶片形态结构的差异,对空气颗粒物的滞纳能力差异明显^[11,17-19]。

为了探求北京市常见落叶乔木树种滞纳空气颗粒物的功能,本研究选取了 6 种北京常见落叶乔木树种(杨树、刺槐、栎树、垂柳、元宝枫、银杏),测定并评价了不同树种单位面积叶片滞纳 TSP、粗颗粒物($2.5 \mu m < d \leq 10 \mu m$)和细颗粒物(粒径 $d \leq 2.5 \mu m$)的能力,以期在北京空气污染的生态治理提供数据支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

北京地处 $N39^{\circ}54'20''$, $E116^{\circ}25'29''$,位于华北平原北部。毗邻渤海湾,上靠辽东半岛,下临山东半岛,与天津相邻,并与天津一起被河北省环绕。西部是太行山脉余脉的西山,北部是燕山山脉的军都山,两山在南口关沟相交,在地势上形成一个向东南展开的半圆形大山弯。平均海拔 43.5 m。北京平原的海拔高度在 20~60 m,山地海拔 1 000~1 500 m。

气候为典型的北温带半湿润大陆性季风气候,四季特点显著:春季气温回升快,昼夜温差大,降水量小,蒸发强烈,风多风大,最为干旱;夏季酷暑炎热,降水集中,强度大,暴雨多,比较湿润;秋季冷暖适宜,但气温下降迅速,时间短促,降水偏少,天高气爽;冬季寒冷漫长,风多雪少、干燥^[20]。年平均气温 $10 \sim 12^{\circ}C$ 。年均降水量 600~900 mm,降水季节分配不均匀,全年降水的 80% 集中在夏季 6、7、8 这 3 个月,7、8 月有大雨。

北京植物园位于北京西北郊,为国家 4A 级景区,占地面积约 400 hm^2 ,是集科研、游憩、教育于一体的综合性公园。植物园内植物有 150 万余株,植被类型包括油松(*Pinus tabulaeformis*)、白皮松(*Pinus bungeana*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、垂柳(*Salix babylonica*)、杨树(*Populus*)、栎树(*Koelreuteria paniculata*)、元宝枫(*Acer truncatum*)、银杏(*Ginkgo biloba*)、山杏(*Armeniaca sibirica*)、碧桃(*Amygdalus persica*)等,覆盖率达到 80% 以上。

1.2 试验设计

为保证取样条件的一致性,且避免气象因子对取样的干扰,本研究在 2014 年 5 月 16 日和 19 日晴朗无风的天气状况下(表 2),分两次于北京植物园内采集杨树、刺槐、栎树、柳树、元宝枫和银杏的

叶片. 一次是在雨后 5 d, 另一次是在雨后 8 d (两次采样植株及取样部位一致). 取样时, 每个树种选取 3 株生长状况良好的个体植株, 在株高 2 ~ 3 m 处于树冠外围剪取长有 10 ~ 20 片个体完整, 无病虫害叶子的枝条, 带回位于植物园内的实验室测定叶片滞纳空气颗粒物能力的大小. 由于直径较小的颗粒物易于吸附在接触物体的表面, 因此, 选择在无风的天气状况下剪取枝条将其直接带回实验室, 而鉴于采样点均在实验室周边 200 m 范围之内, 距离较短, 因此, 取样点到实验室途中因物理抖动造成的颗粒物减少量在本研究中被忽略. 且本研究的主要目的是探求北京常见落叶乔木树种滞纳空气颗粒物能力的强弱, 因此, 在试验条件一致的情况下, 忽略因物理抖动造成的颗粒物减少量并不会对本研究结果产生影响.

带回实验室的枝条被固定在花泥上, 测定时在每个树种的 3 个枝条上分别摘取 2 ~ 5 片叶进行测定. 试验设 3 次重复, 两次重复间隔时间为 20 min, 也即单次试验过程所需时间.

表 2 取样日期天气状况
Table 2 Weather conditions in sampling days

日期	温度/℃	湿度/%	风速/m·s ⁻¹
05-12	21.21	72.00	13.00
05-13	21.14	73.90	13.00
05-14	22.45	65.10	13.07
05-15	22.27	69.49	13.00
05-16	24.00	32.43	0.91
05-17	23.06	71.52	13.16
05-18	23.54	74.39	13.11
05-19	23.17	65.15	0.80

1.3 试验方法

本研究采用连接 DUSTMATE 手持式环境粉尘检测仪的空气气溶胶再发生器 (QRJZFSQ-I) 测定不同树种叶片滞纳 TSP、粗颗粒物和细颗粒物的数量^[21].

空气气溶胶再发生器 (QRJZFSQ-I) 的工作原理为: 将待测树种叶片放入气溶胶再发生器的料盒, 通过风蚀原理, 将叶片上滞纳的颗粒物吹起、混匀, 再次形成气溶胶. 其中, 为了防止颗粒物在料盒内壁的吸附, 在料盒的内壁进行了防静电处理. 然后利用连接在气溶胶再发生器上的 DUSTMATE 手持式环境粉尘检测仪测定气溶胶中 TSP、粗颗粒物和细颗粒物的浓度, 并根据监测的大气颗粒物浓度和气溶胶再发生器的空箱颗粒物浓度, 最终结合料盒的内部容积换算得到供试叶片的颗粒物滞纳量 ($M_{inj,i}$),

为不同树种; n 为 3 次重复, 取值 1 ~ 3; j 为颗粒物种类, μg). 之后将测定的叶片从气溶胶再发生器中取出, 利用扫描仪 (Canon LIDE 110) 获取测定叶片的图像信息, 利用 Adobe Photoshop 图像处理软件计算所测叶片的叶面积 (A_{in} , cm^2). M_{inj}/A_{in} 即为不同树种单位面积叶片 TSP、粗颗粒物和细颗粒物的滞纳量 (D_{inj} , $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$).

2 结果与分析

2.1 TSP 的滞纳量分析

图 1 是两次取样时间下不同树种单位面积叶片对 TSP 的滞纳量. 从中可以看出, 在不同取样时间下, 6 个树种均能捕获较多的 TSP, 且随着取样时间的延长, 不同树种单位面积叶片对 TSP 的滞纳量呈增加趋势, 雨后 8 d 各树种单位面积叶片对 TSP 的滞纳量高于雨后 5 d.

在相同取样时间下, 6 个树种单位面积叶片对 TSP 的滞纳量存在差异. 其中, 单位面积叶片对 TSP 的滞纳量最大的是栎树, 雨后 8 d 单位面积叶片对 TSP 的滞纳量为 $2.275 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$; 雨后 5 d 对 TSP 的滞纳量为 $0.972 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$. 其次为刺槐, 在雨后 8 d 和雨后 5 d 对 TSP 的滞纳量分别为 $1.658 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ 和 $0.591 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$. 两个树种单位面积叶片对 TSP 的滞纳量高于其余 4 个树种. 杨树单位面积叶片对 TSP 的滞纳量在 6 个树种中表现最低, 在雨后 8 d 和雨后 5 d, 对 TSP 的滞纳量分别为 $0.283 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ 和 $0.108 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$.

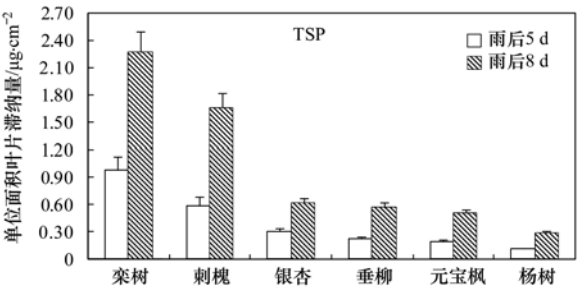


图 1 不同树种单位面积叶片的 TSP 滞纳量
Fig. 1 Retaining amount of unit leaf area of different tree species to TSP

2.2 粗颗粒物的滞纳量分析

不同取样时间下 6 个树种单位面积叶片对粗颗粒物的滞纳量如图 2 所示, 可以看出, 6 个树种单位面积叶片对粗颗粒物的滞纳量在不同取样时间下不同. 雨后 8 d 单位面积叶片对粗颗粒物的滞纳量高于雨后 5 d. 但对于不同树种而言, 这种由取样时间

不同而引起的单位面积叶片粗颗粒物滞纳量的差异性亦不同. 其中, 栎树的差异相对较小, 这也许与栎树正处于花期, 花粉中包含一定量的粗颗粒物有关.

由图 2 还可看出, 6 个树种单位面积叶片对粗颗粒物的滞纳量差异较大. 其中, 栎树的单位面积叶片滞纳量最大, 高于其余树种: 雨后 8 d 单位面积叶片对粗颗粒物的滞纳量为 $1.127 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$; 雨后 5 d 的滞纳量为 $0.839 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$. 其次为刺槐, 银杏、垂柳和元宝枫, 单位面积叶片对粗颗粒物的滞纳量差异较小. 杨树的单位面积叶片滞纳量最小, 在雨后 8 d 和雨后 5 d 单位面积叶片对粗颗粒物的滞纳量分别为 $0.150 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ 和 $0.035 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$.

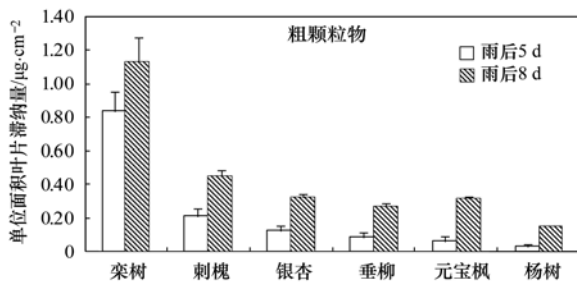


图 2 不同树种单位面积叶片的粗颗粒物滞纳量

Fig. 2 Retaining amount of unit leaf area of different tree species to coarse particulate

2.3 细颗粒物的滞纳量分析

6 个树种单位面积叶片对细颗粒物的滞纳量在不同取样时间下差异较小, 但树种间单位面积叶片的滞纳量差异较大 (图 3). 在 6 个供试树种中, 栎树单位面积叶片的滞纳量最大, 刺槐次之, 其次为银杏、垂柳、元宝枫, 杨树最小. 在雨后 8 d 和雨后 5 d, 栎树单位面积叶片对细颗粒物的滞纳量分别为 $0.720 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ 和 $0.697 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$; 刺槐单位面积叶片的滞纳量分别为 $0.254 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ 和 $0.246 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$; 杨树单位面积叶片的滞纳量分别为 $0.028 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ 和 $0.014 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$.

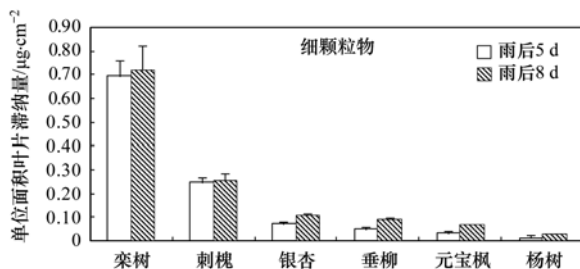


图 3 不同树种单位面积叶片的细颗粒物滞纳量

Fig. 3 Retaining amount of unit leaf area of different tree species to fine particulate

3 讨论

3.1 环境因素对叶片颗粒物滞纳量的影响

树木单位面积叶片的颗粒物滞纳量受采样地点、采样部位、采样时间等诸多因素的影响. 在不同采样地点、部位及在不同时间, 不同树木单位面积叶片对颗粒物的滞纳量大小差别较大^[9,19]. 本研究通过选择相同的采样地点、采样部位、以及选择在相同的两个时间段对样品进行采集, 避免了由于外在环境条件差异导致的试验误差, 保证了试验结果的可比性.

3.2 叶片表面微形态结构对其颗粒物滞纳量的影响

通过对不同树种单位面积叶片对 TSP、粗颗粒物和细颗粒物的滞纳量分析可知, 不同树种单位面积叶片对颗粒物的滞纳量差异较大, 根据前人对叶片表面微形态结构特征的研究^[12,16,22~24], 这种差异性是由 6 个供试树种叶片表面绒毛、纹理、粗糙度等微形态结构特征的差异造成的. 叶片绒毛越多、越粗糙、潮湿对空气颗粒物的滞纳量越大^[16,23].

3.3 颗粒物特性对叶片颗粒物滞纳量的影响

本研究得出不同树木单位面积叶片对 TSP 和粗颗粒物的滞纳量随取样时间的延长而显著增加, 细颗粒物的滞纳量随取样时间的延长变化较小. 这是由于植物对不同粒径颗粒物的滞纳量与颗粒物的干沉降速率有关. 城市空气质量评估小组 (Quality of Urban Air Review Group)^[25] 的研究表明, 颗粒物粒径的大小决定了其干沉降过程的不同. 悬浮在空气中粒径小于 $0.1 \mu\text{m}$ 的颗粒物的主要运动方式是布朗运动; 粒径在 $0.1 \sim 10 \mu\text{m}$ 的颗粒物干沉降过程主要是通过物体的拦截和颗粒物间的相互碰撞; 对于粒径在 $0.05 \sim 2.0 \mu\text{m}$ 的颗粒物, 同时受到布朗运动、拦截和撞击的作用, 没有任何一种运动机制对其干沉降过程起主要作用; 而重力作用引起的沉降则只对粒径大于 $8.0 \mu\text{m}$ 的颗粒物有效.

在 TSP 中, 粒径大于 $8.0 \mu\text{m}$ 的颗粒物含量较大, 在重力作用下, 更有利于这部分颗粒物在植物叶片上的累积. 在粗颗粒物中同样含有部分粒径大于 $8.0 \mu\text{m}$ 的颗粒物, 由于其含量小于 TSP 中的含量, 所以虽然重力作用使这部分颗粒物在植物叶片上的累积有所增加, 但在相同环境条件, 相同时间内, 其在叶片上的累积量仍显著小于 TSP.

4 结论

(1) 不同树种叶片对不同粒径的空气颗粒物均

有一定的滞纳作用,并且不同树种单位面积叶片对不同粒径颗粒物的滞纳量存在差异.在6个供试树种中,栾树单位面积叶片对TSP、粗颗粒物和细颗粒物的滞纳量远远高于其余5个树种;刺槐单位面积叶片对TSP、粗颗粒物和细颗粒物的滞纳量高于银杏、垂柳、元宝枫和杨树,位居其次;银杏、垂柳和元宝枫单位面积叶片对TSP、粗颗粒物和细颗粒物的滞纳量差异较小;杨树单位面积叶片对TSP、粗颗粒物和细颗粒物的滞纳量最小.因此,在北京以空气污染的生态治理为目标选择落叶树种时,与银杏、垂柳、元宝枫、杨树相比,应优先选择栾树,其次为刺槐.

(2)不同树种单位面积叶片对不同粒径颗粒物的滞纳量并不完全随着取样时间的延长而增加,各树种单位面积叶片对细颗粒物的滞纳量在不同取样时间下没有明显差异.

参考文献:

- [1] Dockery D W, Pope C A, Xu X, *et al.* An association between air pollution and mortality in six U. S. cities [J]. *The New England Journal of Medicine*, 1993, **329**(24): 1753-1759.
- [2] Pope III C A, Thun M J, Namboodiri M M, *et al.* Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of U. S. adults [J]. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 1995, **151**(3 Pt 1): 669-674.
- [3] 陶燕,刘亚梦,米生权,等. 大气细颗粒物的污染特征及对人体健康的影响[J]. *环境科学学报*, 2014, **34**(3): 592-597.
- [4] 杨新兴,冯丽华,尉鹏. 大气颗粒物 PM_{2.5} 及其危害[J]. *前沿科学*, 2012, **6**(1): 22-31.
- [5] 杨新兴,尉鹏,冯丽华. 大气颗粒物 PM_{2.5} 及其源解析[J]. *前沿科学*, 2013, **7**(2): 12-19.
- [6] 林海峰,辛金元,张文煜,等. 北京市近地层颗粒物浓度与气溶胶光学厚度相关性分析研究[J]. *环境科学*, 2013, **34**(3): 826-834.
- [7] Sæbø A, Popek R, Nawrot B, *et al.* Plant species differences in particulate matter accumulation on leaf surfaces[J]. *Science of the Total Environment*, 2012, **427-428**: 347-354.
- [8] Hwang H J, Yook S J, Ahn K H. Experimental investigation of submicron and ultrafine soot particle removal by tree leaves [J]. *Atmospheric Environment*, 2011, **45**(38): 6987-6994.
- [9] McDonald A G, Bealey W J, Fowler D, *et al.* Quantifying the effect of urban tree planting on concentrations and depositions of PM₁₀ in two UK conurbations [J]. *Atmospheric Environment*, 2007, **41**(38): 8455-8467.
- [10] 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.
- [11] Wang L, Liu L Y, Gao S Y, *et al.* Physicochemical characteristics of ambient particles settling upon leaf surfaces of urban plants in Beijing [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2006, **18**(5): 921-926.
- [12] Yang J, McBride J, Zhou J X, *et al.* The urban forest in Beijing and its role in air pollution reduction [J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2005, **3**(2): 65-78.
- [13] Freer-Smith P H, Beckett K P, Taylor G. Deposition velocities to *Sorbus aria*, *Acer campestre*, *Populus deltoids* × *trichocarpa* 'Beaupré', *Pinus nigra* and × *Cupressocyparis leylandii* for coarse, fine and ultra-fine particles in the urban environment [J]. *Environmental Pollution*, 2005, **133**(1): 157-167.
- [14] Tomašević M, Vukmirović Z, Rajšić S, *et al.* Characterization of trace metal particles deposited on some deciduous tree leaves in an urban area [J]. *Chemosphere*, 2005, **61**(6): 753-760.
- [15] Smith P H F, Khatib A A E, Taylor G. Capture of particulate pollution by trees: a comparison of species typical of semi-arid areas (*Ficus Nitida* and *Eucalyptus Globuls*) with European and north American species [J]. *Water, Air, & Soil Pollution*, 2004, **155**(1-4): 173-187.
- [16] Beckett K P, Freer-Smith P H, Taylor G. Effective tree species for local air-quality management [J]. *Journal of Arboriculture*, 2000, **26**(1): 12-19.
- [17] 季静,王罡,杜希龙,等. 京津冀地区植物对灰霾空气中 PM_{2.5} 等细颗粒物吸附能力分析[J]. *中国科学: 生命科学*, 2013, **43**(8): 694-699.
- [18] 王赞红,李纪标. 城市街道常绿灌木植物叶片滞尘能力及滞尘颗粒物形态[J]. *生态环境*, 2006, **15**(2): 327-330.
- [19] 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.
- [20] 张振明. 北京山区主要森林生态系统结构与功能模型研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2009. 15.
- [21] 王兵,张维康,牛香,等. 北京 10 个常绿树种颗粒物吸附能力研究[J]. *环境科学*, 2015, **36**(2): 408-414.
- [22] Mcpherson E G, Nowak D J. Value of urban greenspace for air quality improvement: Lincoln Park, Chicago [J]. *Arborist*, 1993, **2**(6): 30-32.
- [23] Powe N A, Willis K G. Mortality and morbidity benefits of air pollution (SO₂ and PM₁₀) absorption attributable to woodland in Britain [J]. *Journal of Environmental Management*, 2004, **70**(2): 119-128.
- [24] 赵晨曦,王玉杰,王云琦,等. 细颗粒物 (PM_{2.5}) 与植被关系的研究综述[J]. *生态学杂志*, 2013, **32**(8): 2203-2210.
- [25] Quality of Urban Air Review Group. Airborne particulate matter in the United Kingdom-third report of the quality of urban air review group [R]. London: His Majesty's Stationery Office, 1996. 7-8.

CONTENTS

Hygroscopic Properties of Aerosol Particles in North Suburb of Nanjing in Spring	XU Bin, ZHANG Ze-feng, LI Yan-wei, <i>et al.</i> (1911)
Effects of Relative Humidity and Aerosol Physicochemical Properties on Atmospheric Visibility in Northern Suburb of Nanjing	YU Xing-na, MA Jia, ZHU Bin, <i>et al.</i> (1919)
Pollution Characteristics and Light Extinction Effects of Water-soluble Ions in PM _{2.5} During Winter Hazy Days at North Suburban Nanjing ...	ZHOU Yao-yao, MA Yan, ZHENG Jun, <i>et al.</i> (1926)
Characteristics of Winter Atmospheric Mixing Layer Height in Beijing-Tianjin-Hebei Region and Their Relationship with the Atmospheric Pollution	LI Meng, TANG Gui-qian, HUANG Jun, <i>et al.</i> (1935)
Process-based Emission Characteristics of Volatile Organic Compounds (VOCs) from Paint Industry in the Yangtze River Delta, China	MO Zi-wei, NIU He, LU Si-hua, <i>et al.</i> (1944)
Concentrations and Speciation of Dissolved Heavy Metal in Rainwater in Guiyang, China	ZHU Zhao-zhou, LI Jun, WANG Zhi-ru (1952)
Situation and Characteristics of Air Pollutants Emission from Crematories in Beijing, China	XUE Yi-feng, YAN Jing, TIAN He-zhong, <i>et al.</i> (1959)
Emission Characteristics of Water-Soluble Ions in Fumes of Coal Fired Boilers in Beijing	HU Yue-qi, MA Zhao-hui, FENG Ya-jun, <i>et al.</i> (1966)
Analysis on Mechanism of Rainout Carried by Wet Stack of Thermal Power Plant	OUYANG Li-hua, ZHUANG Ye, LIU Ke-wei, <i>et al.</i> (1975)
Removal Characteristics of Elemental Mercury by Mn-Ce/molecular Sieve	TAN Zeng-qiang, NIU Guo-ping, CHEN Xiao-wen, <i>et al.</i> (1983)
Indoor Exposure to Particle-Bound BFRs via Inhalation	LI Xiu-wen, ZENG Hui, NI Hong-gang (1989)
Organic Carbon and Elemental Carbon in Forest Biomass Burning Smoke	HUANG Ke, LIU Gang, ZHOU Li-min, <i>et al.</i> (1998)
Atmospheric Particle Retaining Function of Common Deciduous Tree Species Leaves in Beijing	WANG Bing, WANG Xiao-yan, NIU Xiang, <i>et al.</i> (2005)
Photonic Efficiency of Ethyl Acetate Photolysis in Gas Phase: Dependence on Wavelength and Catalyst	FANG Xue-hui, ZHAO Jie, SHU Li, <i>et al.</i> (2010)
Phytoplankton Light Absorption Properties During the Blooms in Adjacent Waters of the Changjiang Estuary	LIU Yang-yang, SHEN Fang, LI Xiu-zhen (2019)
Pollution Characteristics of Perfluorinated Compounds in Offshore Marine Area of Shenzhen	LIU Bao-lin, ZHANG Hong, XIE Liu-wei, <i>et al.</i> (2028)
Composition and Environmental Effects of LFOM and HFOM in "Incense-Ash" Sediments of West Lake, Hangzhou, China	LI Jing, ZHU Guang-wei, ZHU Meng-yuan, <i>et al.</i> (2038)
Speciation and Risk Assessment of Heavy Metals in Surface Sediments from the Heavily Polluted Area of Xiaoqing River	HUANG Ying, LI Yong-xia, GAO Fu-wei, <i>et al.</i> (2046)
Response of Algae to Nitrogen and Phosphorus Concentration and Quantity of Pumping Water in Pumped Storage Reservoir	WAN You-peng, YIN Kui-hao, PENG Sheng-hua (2054)
Temporal and Spatial Variation of Nutrients and Chlorophyll a, and Their Relationship in Pengxi River Backwater Area, Three Gorges Reservoir	ZHANG Lei, WEI Jian-jun, FU Li, <i>et al.</i> (2061)
Environmental Effects of Algae Bloom Cluster: Impact on the Floating Plant Water Hyacinth Photosynthesis	BAO Xian-ming, GU Dong-xiang, WU Ting-ting, <i>et al.</i> (2070)
<i>In Situ</i> High-Resolution Analysis of Labile Phosphorus in Sediments of Lake Chaohu	LI Chao, WANG Dan, YANG Jin-yan, <i>et al.</i> (2077)
Hydrochemistry and Dissolved Inorganic Carbon Stable Isotope of Shibing Dolomite Karst Area in Guizhou Province	XIAO Shi-zhen, LAN Jia-cheng, YUAN Dao-xian, <i>et al.</i> (2085)
Stable Isotope Characteristics in Different Water Bodies in Changsha and Implications for the Water Cycle	LI Guang, ZHANG Xin-ping, ZHANG Li-feng, <i>et al.</i> (2094)
Characteristics of Hydrogen and Oxygen Isotopes of Soil Water in the Water Source Area of Yuanyang Terrace	ZHANG Xiao-juan, SONG Wei-feng, WU Jin-kui, <i>et al.</i> (2102)
Performance of Grass Swales for Controlling Pollution of Roadway Runoff in Field Experiments	HUANG Jun-jie, SHEN Qing-ran, LI Tian (2109)
Performance Study of Bromochloroacetonitrile Degradation in Drinking Water by Fe/Cu Catalytic Reduction	DING Chun-sheng, MA Hai-long, FU Yang-ping, <i>et al.</i> (2116)
Catalytic Degradation of Diclofenac Sodium over the Catalyst of 3D Flower-like α -FeOOH Synergized with H ₂ O ₂ Under Visible Light Irradiation	XU Jun-ge, LI Yun-qin, HUANG Hua-shan, <i>et al.</i> (2122)
Degradation of Organic Sunscreens 2-hydroxy-4-methoxybenzophenone by UV/H ₂ O ₂ Process: Kinetics and Factors	FENG Xin-xin, DU Er-deng, GUO Ying-qing, <i>et al.</i> (2129)
Photocatalytic Degradation of Perfluorooctanoic Acid by Pd-TiO ₂ Photocatalyst	LIU Qing, YU Ze-bin, ZHANG Rui-han, <i>et al.</i> (2138)
Efficient Photolysis of Acid Orange 7 Using Low-frequency Electrodeless Lamp	WU Peng, WU Jun, GAO Shi-xiang, <i>et al.</i> (2147)
Degradation of 3,4-Dichlorobenzotrifluoride by Fe ₃ O ₄ /CeO ₂ -H ₂ O ₂ Heterogeneous Fenton-Like Systems	SUN Zheng-nan, YANG Qi, JI Dong-li, <i>et al.</i> (2154)
Preparation of Coated CMC-Fe ⁰ Using Rheological Phase Reaction Method and Research on Degradation of TCE in Water	FAN Wen-jing, CHENG Yue, YU Shu-zhen, <i>et al.</i> (2161)
Degradation Mechanism of 4-Chlorophenol on a Pd-Fe/graphene Multifunctional Catalytic Cathode	QI Wen-zhi, WANG Fan, WANG Hui, <i>et al.</i> (2168)
Removal Kinetics and Mechanism of Aniline by Manganese-oxide-modified Diatomite	XIAO Shao-dan, LIU Lu, JIANG Li-ying, <i>et al.</i> (2175)
Adsorption Characteristics of Nitrate and Phosphate from Aqueous Solution on Zirconium-Hexadecyltrimethylammonium Chloride Modified Activated Carbon	ZHENG Wen-jing, LIN Jian-wei, ZHAN Yan-hui, <i>et al.</i> (2185)
Removal Congo Red from Aqueous Solution Using Poly (AM-co-DVB)	ZHANG Luan-luan, LIAO Yun-wen, GAO He-jun, <i>et al.</i> (2195)
Energy Consumption Comparison and Energy Saving Approaches for Different Wastewater Treatment Processes in a Large-scale Reclaimed Water Plant	YANG Min, LI Ya-ming, WEI Yuan-song, <i>et al.</i> (2203)
Transformation Regularity of Nitrogen in Aqueous Product Derived from Hydrothermal Liquefaction of Sewage Sludge in Subcritical Water	SUN Yan-qing, SUN Zhen, ZHANG Jing-lai (2210)
Start-up Performance of ANAMMOX Enrichment with Different Inoculated Sludge in Anaerobic Baffled Reactor	ZHANG Hai-qin, WANG Fan-fan, LI Yue-han, <i>et al.</i> (2216)
Influencing Factors for Hydrolysis of Sewage Sludge Pretreated by Microwave-H ₂ O ₂ -OH Process	JIA Rui-lai, WEI Yuan-song, LIU Ji-bao (2222)
Enrichment and Characterization of a Denitrifying Bacteria Consortium from Lihe River's Sediment	YONG Jia-jun, CHENG Xiao-ying (2232)
Investigation for Filamentous Bacteria Community Diversity in Activated Sludge Under Various Kinds and Concentration Conditions of Antibiotics	WANG Run-fang, WANG Qin, ZHANG Hong, <i>et al.</i> (2239)
Isolation and Identification of Petroleum Degradation Bacteria and Interspecific Interactions Among Four <i>Bacillus</i> Strains	WANG Jia-nan, SHI Yan-yun, ZHENG Li-yan, <i>et al.</i> (2245)
Effects of Dissimilatory Reduction of Goethite on Mercury Methylation by <i>Shewanella oneidensis</i> MR-1	SI You-bin, SUN Lin, WANG Hui (2252)
Effect of Root Iron Plaque on Norfloxacin Uptake by Rice	MA Wei, BAO Yan-yu (2259)
Effects of Tillage on Soil Respiration and Root Respiration Under Rain-Fed Summer Corn Field	LU Xing-li, LIAO Yun-cheng (2266)
Seasonal Provincial Characteristics of Vertical Distribution of Dust Loadings and Heavy Metals near Surface in City	LI Xiao-yan, ZHANG Shu-ting (2274)
Characteristics of Phthalic Acid Esters in Agricultural Soils and Products in Areas of Zhongshan City, South China	LI Bin, WU Shan, LIANG Jin-ming, <i>et al.</i> (2283)
Variations and Influencing Factors of Oral Bioaccessibility of Polybrominated Diphenyl Ethers in Soils Using an <i>In-vitro</i> Gastrointestinal Model	ZHANG Yun-hui, LIU Wei-jian, CHENG Fang-fang, <i>et al.</i> (2292)
Impacts of Biochar Input on Mineralization of Native Soil Organic Carbon	CHEN Wei, HU Xue-yu, LU Hai-nan (2300)
Effects of Remedies on the Remediation of Typical Pb and Zn-contaminated soil in Huanjiang, Guangxi	ZENG Wei-quan, SONG Bo, YUAN Li-zhu, <i>et al.</i> (2306)
Mechanism Study of the Smectite-OR-SH Compound for Reducing Cadmium Uptake by Plants in Contaminated Soils	ZENG Yan-jun, ZHOU Zhi-jun, ZHAO Qiu-xiang (2314)
Land Use Pattern Change and Regional Sustainability Evaluation of Wetland in Jiaogang Lake	YANG Yang, CAI Yi-min, BAI Yan-ying, <i>et al.</i> (2320)

《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 刘 毅 汤鸿霄 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)

2015年6月15日 第36卷 第6期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 36 No. 6 Jun. 15, 2015

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: 120.00 元

国外发行代号: M 205

国 内 外 公 开 发 行