

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第9期

Vol.35 No.9

2014

中国科学院生态环境研究中心 主办  
科学出版社 出版



目次

长江三角洲地区霾判别方法的对比分析 ..... 刘晓慧,朱彬,高晋徽,张恩红,王红磊,陈焯鑫,王姝 (3239)

1980~2012年江苏省城市霾日的时空分布及成因分析 ..... 刘端阳,魏建苏,严文莲,吕军,孙燕 (3247)

瓦里关大气二氧化碳和甲烷时间变化特征 ..... 刘鹏,张国庆,王剑琼,吴昊,李宝鑫,王宁章 (3256)

上海城区PM<sub>2.5</sub>中有机碳和元素碳变化特征及来源分析 ..... 张懿华,王东方,赵倩彪,崔虎雄,李娟,段玉森,伏晴艳 (3263)

亚青会期间南京市气溶胶中OC和EC的粒径分布 ..... 王红磊,朱彬,安俊琳,段卿,邹嘉南,沈利娟 (3271)

无锡市冬季典型天气PM<sub>2.5</sub>中碳组分的污染特征 ..... 云龙,陆钊,张天舒,伍德侠,盛世杰,陆亦怀,刘建国 (3280)

高炉炼铁工艺细颗粒物PM<sub>2.5</sub>排放特性分析 ..... 范真真,赵亚丽,赵浩宁,梁兴印,孙静雯,王保贵,王亚军 (3287)

重庆市北碚城区大气中VOCs组成特征研究 ..... 祁心,郝庆菊,吉东生,张军科,刘子锐,胡波,王跃思,江长胜 (3293)

双组分VOCs的催化氧化及动力学分析 ..... 卜龙利,杨力,孙剑宇,梁欣欣,虎雪姣,孟海龙 (3302)

汽车排放超细颗粒物浓度及粒径谱特征的研究 ..... 陆叶强,陈秋方,孙在,蔡志良,杨文俊 (3309)

疏勒河上游地表水水化学主离子特征及其控制因素 ..... 周嘉欣,丁永建,曾国雄,吴锦奎,秦甲 (3315)

河流库区沉积物-水界面营养盐及气态氮的释放过程和通量 ..... 陈朱虹,陈能汪,吴殷琪,莫琼利,周兴鹏,鲁婷,田蕴 (3325)

大辽河感潮段及其近海河口重金属空间分布及污染评价 ..... 张雷,秦延文,马迎群,赵艳民,时瑶 (3336)

雅鲁藏布江中段表层沉积物重金属形态分布及风险评价 ..... 柏建坤,李潮流,康世昌,陈鹏飞,王建力 (3346)

北京奥林匹克公园地表颗粒物粒度特征分析 ..... 李海燕,石安邦,瞿杨晨,岳靖淋 (3352)

黄河表层沉积物中类二噁英多氯联苯水平分布 ..... 李光耀,金军,何畅,王英,马召辉,李明园 (3358)

合肥城郊典型源头溪流不同渠道形态的氮磷滞留特征 ..... 李如忠,杨继伟,钱靖,董玉红,唐文坤 (3365)

基于水资源调度的平原河网区城市河道氮迁移转化研究 ..... 刘波,盛明,朱强,杨霜,檀炳超,范冉,南旭军,何茂阳,王国祥 (3373)

杭州湾潮滩湿地植物不同分解过程及其磷素动态 ..... 邵学新,梁新强,吴明,叶小齐,蒋科毅 (3381)

基于数据同化的太湖叶绿素多模型协同反演 ..... 李渊,李云梅,吕恒,朱利,吴传庆,杜成功,王帅 (3389)

天然日光辐照下两江交汇处溶解性有机质(DOM)光漂白过程:以涪江-嘉陵江为例 ..... 高洁,江韬,闫金龙,魏世强,王定勇,卢松,李璐璐 (3397)

利用紫外-可见吸收光谱估算三峡库区消落带水体、土壤和沉积物溶解性有机质(DOM)浓度 ..... 李璐璐,江韬,卢松,闫金龙,高洁,魏世强,王定勇,郭念,赵铮 (3408)

Cu<sub>2</sub>O-Ag-AgBr/MA可见光催化剂的制备及其降解2-氯苯酚的研究 ..... 王冉,周雪峰,胡学香,胡春 (3417)

不同粒径零价铁活化过硫酸钠氧化降解酸性橙7的影响及动力学研究 ..... 李欢旋,王金泉,马邕文,黄明智,王艳,陈杨梅 (3422)

还原脱氯-生物联合降解2,4-二氯苯氧乙酸 ..... 周红艺,曾思思,梁思,韩鉴 (3430)

多介质土壤滤层系统(MSL)与潜流式人工湿地技术处理海水养殖废水的效能比较 ..... 宋颖,黄玉婷,葛川,张浩,陈昕,张志剑,罗安程 (3436)

不同碳源在污水处理过程中的变化规律研究 ..... 金鹏康,常晋,王先宝,刘柯君,王晓昌 (3443)

气升装置对厌氧氨氧化反应器脱氮效能的影响 ..... 李祥,张大林,黄勇,陈宗炬,袁怡 (3449)

微波及其组合工艺强化污泥厌氧消化研究 ..... 刘吉宝,倪晓棠,魏源送,佟娟,王亚炜 (3455)

“热水解-高温厌氧消化”工艺处理高含固率剩余污泥的中试研究 ..... 吴静,王广启,曹知平,李中华,胡玉瑛,王凯军,左剑恶 (3461)

温度对ABR-MBR复合工艺处理生活污水的影响及其微生物群落分析 ..... 吴鹏,陆爽君,徐乐中,刘捷,沈耀良 (3466)

污水处理厂尾水细菌群落结构分析 ..... 徐爱玲,任杰,宋志文,吴等等,夏岩 (3473)

沼液养殖钝顶螺旋藻的中试研究 ..... 国青青,刘锐,罗金飞,王根荣,陈吕军,刘笑 (3480)

内源呼吸过程溶解性代谢产物的光谱特性分析 ..... 李志华,张芹,白旭丽,刘毅 (3487)

基于呼吸图谱的自养菌与异养菌内源呼吸过程分析 ..... 李志华,白旭丽,张芹,刘毅,贺春博 (3492)

S-异丙甲草胺与镉对斜生栅藻光合作用的影响 ..... 陈彩东,胡晓娜,章小强,刘惠君 (3498)

影响浑太河流域鱼类群落结构的不同尺度环境因子分析 ..... 李艳利,李艳粉,徐宗学 (3504)

河口区新建河道轮虫群落演替及与水环境的关系 ..... 马文华,张玮,顾琬雯,张瑞雷,王丽卿 (3513)

*Fontibacter* sp. SgZ-2厌氧腐殖质/Fe(III)还原特性及电子传递机制研究 ..... 马晨,杨贵芹,陆琴,周顺桂 (3522)

基于UNMIX模型的夹皮沟金矿区土壤重金属源解析 ..... 艾建超,王宁,杨净 (3530)

石河子市土壤环境磁学特征及空间分布研究 ..... 杨涵,熊黑钢,陈学刚 (3537)

不同施磷量(KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)作用对Cu、Zn在红壤中的迁移转化 ..... 郭亮,李忠武,黄斌,王艳,张艳 (3546)

硫素对水稻吸收砷的生物有效性及其在土壤中的形态影响 ..... 杨世杰,唐冰培,王代长,饶伟,张亚楠,王丹,朱云集 (3553)

硫对土壤中硒形态变化及油菜硒吸收的影响 ..... 刘新伟,段碧辉,夏全杰,矫威,郭再华,胡承孝,赵竹青 (3564)

再生水灌溉对土壤化学性质及可培养微生物的影响 ..... 龚雪,王继华,关键飞,杨雪辰,陈黛慈 (3572)

西南喀斯特山区寿竹林地土壤微生物量与酶活性在不同坡位和剖面层次的分布特征 ..... 秦华军,何丙辉,赵旋池,李源,毛文韬,曾清平 (3580)

黔中喀斯特石漠化区不同土壤类型对常见植物叶片δ<sup>13</sup>C值的影响 ..... 杜雪莲,王世杰,罗绪强 (3587)

碳底物含量对厌氧条件下水稻土N<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>O、NO、CO<sub>2</sub>和CH<sub>4</sub>排放的影响 ..... 陈诺,廖婷婷,王睿,郑循华,胡荣桂, Klaus Butterbach-Bahl (3595)

北京市典型绿化灌木阻滞吸附PM<sub>2.5</sub>能力研究 ..... 梁丹,王彬,王云琦,张会兰,杨松楠,李昂 (3605)

污泥焚烧过程中氯化物对Cd迁移行为的影响 ..... 刘敬勇,卓钟旭,孙水裕,罗光前,李晓明,谢武明,王玉洁,杨佐毅,赵素莹 (3612)

京津冀区域生产和消费CO<sub>2</sub>排放的时空特点分析 ..... 汪浩,陈操操,潘涛,刘春兰,陈龙,孙莉 (3619)

水泥工业大气污染物排放控制水平确立研究 ..... 任春,江梅,邹兰,李晓倩,魏玉霞,赵国华,张国宁 (3632)

《环境科学》征稿简则(3279) 《环境科学》征订启事(3545) 信息(3364,3486,3552,3563)

# 北京奥林匹克公园地表颗粒物粒度特征分析

李海燕, 石安邦, 瞿杨晟, 岳靖淋

(北京建筑大学环境与能源工程学院, 北京 100044)

**摘要:** 研究了北京市奥林匹克公园 2012 年 10 月和 11 月 4 次采集的地表颗粒物的粒度特征, 结果表明, 奥体公园整体以中小粒径 76~830  $\mu\text{m}$  的颗粒物为主。人流量较大的区域颗粒物较粗, 而有车辆通过或工地附近的区域颗粒物以粒径 <300  $\mu\text{m}$  为主且更易在中等车流量的道路累积。说明人流量对道路地表颗粒物的组成影响有限, 交通流量、建筑施工行为是影响城市公园颗粒物组成的重要因素。雨前干燥期影响颗粒物组成: 随着雨前干燥期 ( $\leq 15$  d) 的增加, 粒径 >300  $\mu\text{m}$  的颗粒物地表累积量不断下降, 粒径 <150  $\mu\text{m}$  的累积量不断上升, 而 150~300  $\mu\text{m}$  粒径范围的颗粒物受干燥期的影响不明显。道路的材质明显影响颗粒物的累积, 与石材路面相比, 地表颗粒物更容易在公园沥青路面累积, 可以通过改进公园道路的设计, 如采用石材路面, 降低道路的粗糙度, 从而减少颗粒物对公园水体的污染。

**关键词:** 地表颗粒物; 粒度特征; 累积; 来源; 奥林匹克公园

中图分类号: X131 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)09-3352-06 DOI: 10.13227/j.hjks.2014.09.015

## Analysis of Particle Size Characteristics of Road Sediments in Beijing Olympic Park

LI Hai-yan, SHI An-bang, QU Yang-sheng, YUE Jing-lin

(School of Environment and Energy Engineering, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China)

**Abstract:** Particle size analysis of road sediment collected in October and November in Beijing Olympic Park indicates that most of the sediments are 76-830  $\mu\text{m}$ ; the grain size of the sediments in the area of large population flow is mainly coarse but the grain size in the area of large traffic volume is fine relatively while most of the sediments are <300  $\mu\text{m}$ . Moreover, sediments of size range <300  $\mu\text{m}$  can be easily accumulated on the road with moderate traffic density. The results demonstrate that the effect of pedestrian flow on the composition of the particles is unobvious and the main influences are the traffic density, extensive construction. With the length of dry period increasing, the content of sediments of size range >300  $\mu\text{m}$  decreases and the content of sediments of size range <150  $\mu\text{m}$  increases, however, the change of the content of sediments of size range 150-300  $\mu\text{m}$  is not obvious. The results indicate that the effectiveness of the road sediment removal depends on the length of dry period, and the accumulation of different size particles varies differently under the different dry days. Compared with the stone road, surface particles can accumulate on the asphalt road more easily as the accumulation of particles is affected by the road material significantly. Therefore, to reduce the urban surface water pollution, it is necessary to improve the design of park road such as using the stone road, which can decrease the roughness of the road.

**Key words:** road sediment; particle size characteristics; accumulate; source; Beijing Olympic Park

随着城市化进程不断加快, 机动车不断增加, 由此而造成的街道周边空气和地表颗粒物污染不断加剧。此外, 由于车辆使用新材料或新燃料而导致的新污染问题也开始出现, 而这些新的污染物也会吸附在地表颗粒物上。这些颗粒物吸附的污染物主要来源于汽车尾气排放、汽车轮胎、汽车器件、沥青路面、道路栏杆/围栏、融雪剂、道路标记油漆、杀虫剂和除草剂等<sup>[1]</sup>。在迁徙过程中, 颗粒物所含的污染物不仅会随着地表径流进入城市水体和陆地系统, 而且在大气风力的作用下, 尤其是小粒径颗粒物会再次进入高空, 可能形成雾霾, 进入人体, 从而危害人体健康。

对此, 国外从 20 个世纪 70 年代<sup>[2,3]</sup> 开始就对城市地表颗粒物的污染状况<sup>[4~7]</sup>, 累积分布<sup>[8,9]</sup>、污染富集因素<sup>[10~12]</sup> 以及污染物的生物利用度和流动

性<sup>[13~15]</sup> 等进行了一系列的相关研究。国内对城市地表颗粒物的研究源于 20 世纪 90 年代初<sup>[16]</sup>, 主要是对地表颗粒物的重金属污染特征以及物质来源等<sup>[17~20]</sup> 进行分析。随着对颗粒物研究的不断深入, 国内外学者发现地表颗粒物的粒径分布特征与其自身的污染特性直接相关。向丽等<sup>[21]</sup> 对北京市不同区域的地表颗粒物研究发现, 高污染负荷的重金属及 PAHs 主要附着于粒径 <300  $\mu\text{m}$  的颗粒物。常静等<sup>[22]</sup> 研究上海市中心城区颗粒物发现, 粒径越小重金属污染就更加严重。Lau 等<sup>[23]</sup> 对 California 的研

收稿日期: 2014-01-09; 修订日期: 2014-04-18

基金项目: 北京市哲学社会科学规划项目(13CSC010); 北京市自然科学基金项目(8142013); 北京建筑大学城乡建设与管理产学研联合研究生培养基地项目

作者简介: 李海燕(1975~), 女, 博士, 教授, 主要研究方向为城市雨水径流污染物迁移转化规律, E-mail: lihaiyan@bucea.edu.cn

究表明,重金属和 PAHs 的污染含量最高的颗粒物粒径范围是 100 ~ 250  $\mu\text{m}$ . 同时部分研究<sup>[13,24~26]</sup>已表明:Cu、Fe、Cd、Mn、Ni、Pb、Zn 等金属的含量更加容易富集在小粒径颗粒上,尤其是粒径 < 63 ~ 75  $\mu\text{m}$  的颗粒物上. 也有研究指出 < 5  $\mu\text{m}$  的颗粒物容易进入呼吸道<sup>[27]</sup>,诱发呼吸、心和肺有关的疾病,且小粒径颗粒物对儿童呼吸系统患病的影响比  $\text{SO}_2$  和  $\text{NO}_x$  更密切.

总体而言,国内外的研究主要集中于城市工业区、商业区、生活区,而随着城市化的快速发展,公园已成为城市居民的重要休闲娱乐场所,与居民的日常生活紧密联系. 城市公园的地表颗粒物质量状况对游人尤其是老年、儿童<sup>[28]</sup>具有重要影响. 目前对公园地表颗粒物的污染水平,健康风险评价等进行了大量的研究<sup>[29~33]</sup>,但对公园地表颗粒物粒度特征的详细研究鲜见报道. 鉴于此,本研究以具有代表性的北京市奥林匹克公园为例,结合其地表颗粒物的粒度特性,探讨颗粒物组成的影响因素. 从而揭示城市公园颗粒物的一般累积特征,以期为城市公园地表颗粒物的污染特性研究以及城市环境评估和治理提供科学依据.

## 1 材料与方 法

### 1.1 研究区域概况

奥林匹克公园(39°54'N, 116°24'E)位于北京市朝阳区,是 2008 年北京奥运会和残奥会的举办地. 跨越北四环和北五环,总占地面积 11.59  $\text{km}^2$ ,包括先前已经建成的国家奥林匹克体育中心(1990 年亚洲运动会主会场)和一座森林公园. 该区域属温带大陆型半湿润季风气候,除夏季多雨外,其他季节均是少雨多风,近些年平均降水量 500 ~ 600 mm. 奥体公园为我国的 5A 级旅游风景区,年均 3 000 多万游客量,同时又有城市主干道贯穿奥体公园,每天的

汽车流量也大. 因此,本研究依据北京市奥林匹克公园的人流量、车流量以及相关建筑设施的不同,共设置了 10 个地表颗粒物取样点(图 1). 采样点分布在奥体公园的中心区以及已建成场馆区和预留地(共 405  $\text{km}^2$ ),路面类型有石材和沥青两种,各采样点的详细信息见表 1. 取样时间选在北京市的干旱季节:10、11 月. 总共 4 次取样,分别是 2012 年 10 月 14、28 日,11 月 12、25 日,后 3 次取样时间的雨前干燥期分别为 7、2、15 d,共采得 10 × 4 个样品.

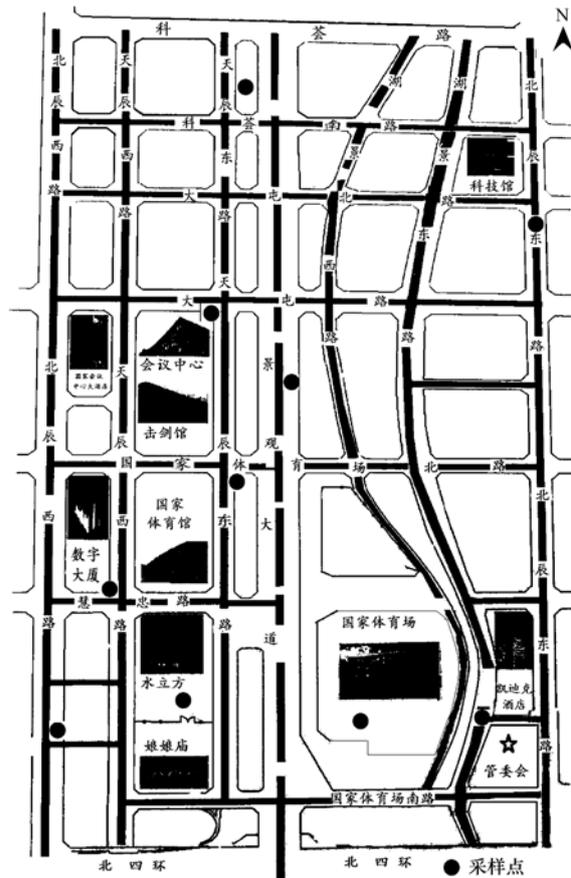


图 1 北京奥林匹克公园区域地表颗粒物采样点分布示意

Fig. 1 Distribution of road sediment sampling sites in Beijing Olympic Park

表 1 采样点详细信息

Table 1 Detailed information of the sampling sites

采样点代号	具体位置	周围环境	车流量/辆·h <sup>-1</sup>
B&R	北辰西路如意桥南 15 m 处	城市交通主干道(附近有酒店)	2 100
NC	鸟巢 D 出口	人流量大	0
D&T	大屯路与天辰东路交叉口	园区交通干道(附近有一小型工地)	600
D&H	大屯路与湖景大道交叉口南 30 m 处	人流量大	0
K&T	科荟南路与天辰东路交叉口停车场内	停车	0
B&D	北辰东路与大屯北路交叉口	交通主干道(居民生活区)	2 500
G&T	国家体育场北路与天辰东路交叉口	园区交通干道	800
T&H	天辰西路与慧忠路交叉口北 10 m	园区交通干道	0
SLF	水立方东门前 200 m	人流量大	0
GWH	公园管委会门前 150 m	人流量小	0

## 1.2 样品的采集

采样地点均位于道路交叉口,或雨水汇流处附近,距离道路一侧的路缘石 50 cm 左右,同时取样起点离其周围雨水将汇入的雨水口 30 ~ 50 m. 采样时间为远离道路清扫时间的 15:00 ~ 17:00,每次均使用松下 MC-UL522 型吸尘器采集道路颗粒物. 样品收集之后装入自封袋,编号记录,带回实验室置于 4℃ 条件保存待测.

## 1.3 样品的分析

样品分析前,将其置于实验室自然风干 3 d,然后过 2 mm 的不锈钢筛,去除样品中的树叶、果皮、小树枝等杂物. 目前地表颗粒物的粒径划分标准各不相同,为使颗粒物的粒径特征能得到更加细致地反映,且能更好地与以往的研究成果<sup>[21~23,25,34]</sup>进行对比,所以经预处理后,采集样品经 830、300、150、76、38.5  $\mu\text{m}$  这 5 种不锈钢筛的振筛机进行振荡筛分,过筛后称重. 做好相关记录,然后计算出各粒径范围地表颗粒物所占的质量分数.

## 1.4 数据统计和分析

利用 Microsoft Excel 2010 以及 OriginLab 公司研发 Origin 8.0 软件进行数据的统计和作图,展开相关分析.

## 2 结果与讨论

### 2.1 地表颗粒物的粒度组成

表 2 为奥体公园区域不同粒径地表颗粒物所占的质量百分比(质量分数,下同). 从中可以发现,各粒径范围地表颗粒物的质量百分比(均值)依次是 300 ~ 830  $\mu\text{m}$  > 76 ~ 150  $\mu\text{m}$  > 150 ~ 300  $\mu\text{m}$  > 38.5 ~ 76  $\mu\text{m}$  > 830 ~ 2 000  $\mu\text{m}$  > (< 38.5  $\mu\text{m}$ ),且前 3 种粒径范围的颗粒所占比例相近,均为 25% 左右,表明园区地表颗粒物以中小粒径(76 ~ 830  $\mu\text{m}$ )的颗粒为主. 分析原因,可能是由于北京市常年风向尤其秋季为西北风,且该季节大风天气较多,奥体公园恰地处北京市北部,因此细小粒径(< 76  $\mu\text{m}$ )颗粒物容易被西北风带走,而附近中小粒径(76 ~ 830  $\mu\text{m}$ )颗粒物被风力卷入空中后,由于自身重力作用又迅速降落,沉积在园区路面上;同时园区内行驶车辆整体偏少,北京市秋季降雨量低,道路颗粒物受外界碾压、磨损和降雨冲刷的可能性低,从而导致中小粒径颗粒物所占比重大. 这也证实了刘春华等<sup>[35]</sup>对北京市街尘研究得出道路灰尘的沉积是大气环流对远、近不同距离的粗细颗粒物混合搬运的结果的结论.

表 2 北京市奥林匹克公园不同粒度范围地表颗粒物的质量百分比/%

Table 2 Percentage by weight of different particle size road sediments in Beijing Olympic Park/%

取样点	830 ~ 2 000 $\mu\text{m}$	300 ~ 830 $\mu\text{m}$	150 ~ 300 $\mu\text{m}$	76 ~ 150 $\mu\text{m}$	38.5 ~ 76 $\mu\text{m}$	< 38.5 $\mu\text{m}$
B&D	2.03	32.81	22.85	24.41	17.61	0.29
NC	10.52	31.07	17.31	25.61	14.77	0.71
D&H	0.00	13.75	20.98	34.61	26.12	4.53
T&H	2.52	27.99	24.66	28.09	15.85	0.89
B&R	0.81	26.04	28.02	25.23	17.85	2.05
GWH	20.68	35.66	22.13	15.49	5.61	0.44
D&T	1.68	24.59	26.51	32.87	12.76	1.60
SLF	7.21	37.62	23.47	19.93	11.32	0.46
K&T	3.86	39.97	26.52	19.47	8.93	1.26
G&T	3.21	16.69	13.12	29.67	32.00	5.30
范围	0 ~ 20.68	13.75 ~ 61.03	13.12 ~ 26.52	15.49 ~ 34.61	5.61 ~ 32.00	0.29 ~ 5.30
均值	5.25	28.62	22.56	25.54	16.28	1.75

## 2.2 交通流量对地表颗粒物累积的影响

国内外关于交通流量影响道路两侧的重金属含量及其分布的研究较多<sup>[34,36,37]</sup>,均指出高交通流量道路两侧的颗粒物重金属含量比低交通流量的道路颗粒物含量高. 本研究选取车流量不同的 3 处道路采样点,分析不同粒径颗粒物的质量累积曲线(图 2). 可以看出,交通流量不同的道路,不同粒径颗粒物质量累积含量变化趋势不同. 其中,无车辆通过的道路以粒径为 300 ~ 830  $\mu\text{m}$  的颗粒物为主,其他

粒径范围的颗粒物累积量很少. 有车辆通过的路段粒径 < 300  $\mu\text{m}$  的颗粒物累积量明显高于无车流量的道路. 同时,该粒径范围的颗粒物更容易在中等车流量的道路地表累积,其中,粒径为 38.5 ~ 76  $\mu\text{m}$  和 76 ~ 150  $\mu\text{m}$  范围的颗粒物累积量均接近高车流量道路的 2 倍.

总的来说,有交通流量的道路小粒径范围(< 300  $\mu\text{m}$ )的颗粒物累积量较高,这与车辆行驶过程中车辆对道路碾压和磨损较为严重密切相关. 而

颗粒物在车辆类型、行驶速度不同时,受碾压程度不同,其粒径组成受影响,这可能是小粒径范围颗粒物的累积量反而随车流量的增加而下降的原因.因此,奥体公园区域应加强对园区交通的管理,以减少颗粒物可能造成的危害.

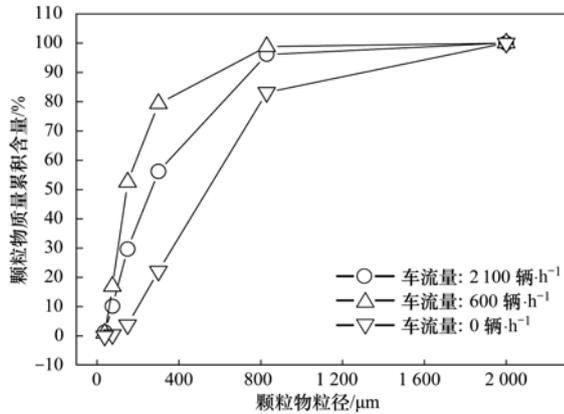


图2 不同车流量道路地表颗粒物质量百分比累积曲线

Fig. 2 Cumulate percentage of different size particles on the road with different traffic densities

### 2.3 雨前干燥期对地表颗粒物累积量的影响

国外已有研究表明<sup>[38,39]</sup>,雨前干燥期与城市地表颗粒物的粒径分布显著相关.本研究选取道路材质、周边环境相类似的交通主干道上 B&R、D&T、B&D 这 3 处采样点,对其颗粒物粒径在不同雨前干燥期下的变化规律进行分析(图 3).结果表明,3 个采样点 830 ~ 2 000  $\mu\text{m}$ 、300 ~ 830  $\mu\text{m}$  粒径范围的颗粒物变化规律相近,即随着雨前干燥期( $\leq 15$  d)的增加,颗粒物质量百分比逐步下降,可能是随着干燥期的增加,地表颗粒物会持续受外界风力风化、侵蚀和车辆碾压、磨损的作用,而导致较粗粒径( $> 300$   $\mu\text{m}$ )的地表颗粒物含量下降.粒径为 150 ~ 300  $\mu\text{m}$  的颗粒物累积量变化则随干燥期的增加波动很小,可近似认为该粒径范围的颗粒物累积基本不受雨前干燥期的影响.而粒径  $< 150$   $\mu\text{m}$  的颗粒物含量随雨前干燥期的增加呈上升趋势,当干燥期由 2 d 增加到 15 d 时,3 个采样点该粒径范围的颗粒物质量百分比分别上升了 15.47%、28.20% 和 12.37%,这可能是由于 10 ~ 11 月取样期间,北京刮风天气较多且风力较大,部分小粒径颗粒物可能被大风从周围区域卷入,然后经自身重力作用沉积下来,导致较小粒径( $< 150$   $\mu\text{m}$ )颗粒物的质量累积百分比随着干燥期的增加而增大.综上,奥体公园在雨前干燥期较长的情况下,可考虑通过增加道路清扫频率等方法加强对地表细小粒径颗粒物的去除,

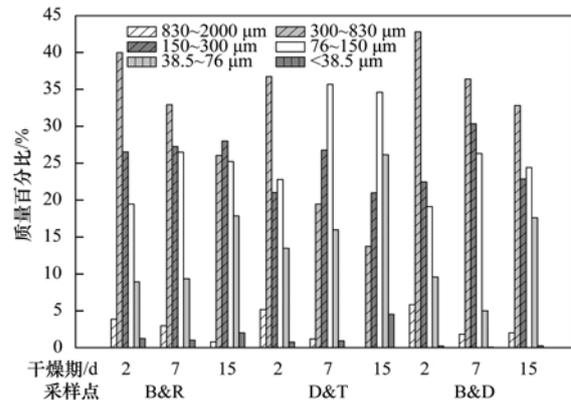


图3 雨前干燥期对北京市奥体公园地表颗粒物累积过程的影响

Fig. 3 Mass percentage of different size particles on the road during dry periods

以减少其造成的环境污染.

### 2.4 道路材质及采样点周围环境对地表颗粒物累积量的影响

特征相同(只有游客步行通过、无车辆行驶、人流量基本相同)但材质不同的道路地表颗粒物的累积量如图 4 所示.对比各采样点单位面积地表的颗粒物累积量发现,石材路面的颗粒物累积量低于沥青路面.其中,SLF 取样点地表颗粒物累积量最高,达到  $5.27 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ ,这主要是由于石材路面光滑,而沥青道路粗糙、地面不平,石材道路清扫后残留下的颗粒物更容易被强大的高空以及地面风力卷入空中,从而被迁徙到其他处.这与 Sartor 等<sup>[39]</sup>研究发现街尘由于受街道质地的影响而更容易在粗糙的路面累积的结果一致.因此,建议公园内道路优先采用石材路面.同时有研究指出 60% 以上的城市地表颗粒物在大气动力适当的条件下可进入大气<sup>[35,40,41]</sup>.采样点 SLF 处位于水立方附近,其北边和西北边分别是国家体育馆和数字大厦,南边是娘娘庙,NC 位于鸟巢附近,相比而言四周比较空旷,而北京秋季西北风盛行,因此 NC 采样点地表颗粒物更易受外界风力影响,大部分颗粒可能进入大气,从而导致两处单位面积颗粒物质量数值相差很大,间接表明了外界风力作用对颗粒物的贡献.

此外,道路周围环境是影响地表颗粒物累积量的重要因素.其中,建筑工地的施工行为对颗粒物累积及分布影响十分明显<sup>[26,40]</sup>.图 5 为 B&R、B&D、D&T 这 3 处采样点(周围环境具体见表 1)两次采样得到的颗粒物累积负荷.其中,B&R 和 B&D 这 2 处采样点的颗粒物累积负荷相当,但 D&T 处单位面积颗粒物累积量约为其它 2 个采样点的 2 倍左右(取样时间相同),这可能与该处附近的施工工地

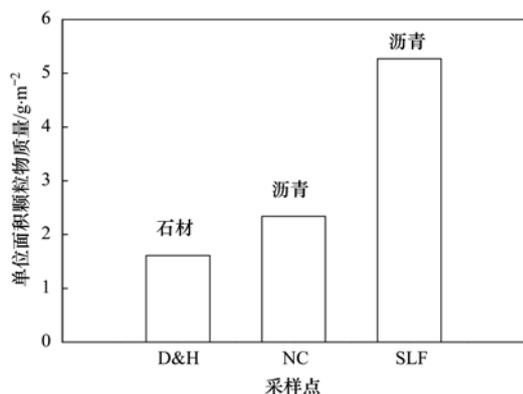


图 4 不同道路材质的颗粒物累积量

Fig. 4 Amount of particles on the road with different road materials

产生扬尘沉降有关。同时,从图 3 可以看出,D&T 处  $<300 \mu\text{m}$  的颗粒物所占质量百分比比例较高,说明该采样点施工过程中易产生小粒径颗粒物。由此,与人为活动相比,建筑行为是影响地表颗粒物累积的主要因素。因此,工地在施工期间一定要做好防尘工作。

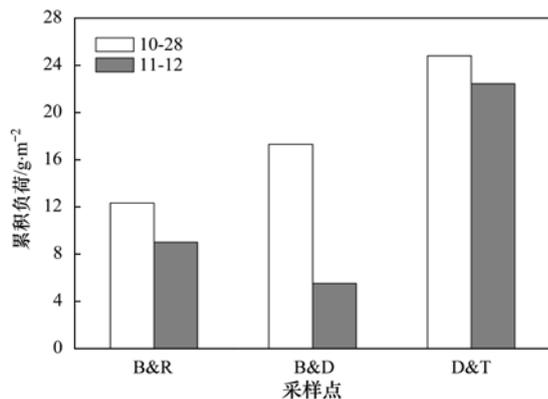


图 5 不同周围环境的颗粒物累积负荷

Fig. 5 Amount of particles on the road with different surroundings

### 3 结论

(1)北京市奥林匹克公园区域地表颗粒物主要以中小粒径( $76 \sim 830 \mu\text{m}$ )为主。公园人流量较大的区域颗粒物粒径较大,而有车辆通过或工地附近的区域地表颗粒物以小粒径( $<300 \mu\text{m}$ )为主,且这些小粒径颗粒物更易在中等车流量的道路表面累积。外界风力作用、车流量及周围建筑施工行为是影响颗粒物组成的重要因素。

(2)雨前干燥期影响地表颗粒物的组成。奥林匹克公园区域粒径  $>300 \mu\text{m}$  的地表颗粒物随着雨前干燥期( $\leq 15 \text{ d}$ )的增加,地表累积量呈下降趋势;粒径  $<150 \mu\text{m}$  的颗粒物累积量则呈相反的变化趋势;而雨前干燥期对粒径为  $150 \sim 300 \mu\text{m}$  颗粒物组成

的影响不明显。

(3)道路材质、粗糙程度直接影响颗粒物的累积程度。与较光滑的石材路面相比,地表颗粒物更容易在沥青路面上累积。

#### 参考文献:

- [1] Loganathan P, Vigneswaran S, Kandasamy J. Road-deposited sediment pollutants: a critical review of their characteristics, source apportionment, and management[J]. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 2013, 43(13): 1315-1348.
- [2] Day J P, Hart M, Robinson M S. Lead in urban street dust[J]. Nature, 1975, 253(5490): 343-345.
- [3] Laxen D P H, Harrison R M. The highway as a source of water pollution: an appraisal with the heavy metal lead[J]. Water Research, 1977, 11(1): 1-11.
- [4] Scanlon P F. Effects of highway pollutants upon terrestrial ecosystems[A]. In: Hamilton R S, Harrison R M (Eds.). Studies in Environmental Science[M]. Netherlands: Elsevier, 1991, 44: 281-338.
- [5] Zereini F, Wiseman C, Püttmann W. Changes in palladium, platinum, and rhodium concentrations, and their spatial distribution in soils along a major highway in Germany from 1994 to 2004[J]. Environmental Science & Technology, 2007, 41(2): 451-456.
- [6] Kuo C Y, Wang J Y, Chang S H, et al. Study of metal concentrations in the environment near diesel transport routes[J]. Atmospheric Environment, 2009, 43(19): 3070-3076.
- [7] Joshi U M, Vijayaraghavan K, Balasubramanian R. Elemental composition of urban street dusts and their dissolution characteristics in various aqueous media[J]. Chemosphere, 2009, 77(4): 526-533.
- [8] Aryal R, Vigneswaran S, Kandasamy J, et al. Urban stormwater quality and treatment[J]. Korean Journal of Chemical Engineering, 2010, 27(5): 1343-1359.
- [9] Zeng F, Cui K, Xie Z, et al. Distribution of phthalate esters in urban soils of subtropical city, Guangzhou, China[J]. Journal of Hazardous Materials, 2009, 164(2-3): 1171-1178.
- [10] Meza-Figueroa D, De la O-Villanueva M, De la Parra M L. Heavy metal distribution in dust from elementary schools in Hermosillo, Sonora, México[J]. Atmospheric Environment, 2007, 41(2): 276-288.
- [11] Yang T, Liu Q S, Li H X, et al. Anthropogenic magnetic particles and heavy metals in the road dust: magnetic identification and its implications[J]. Atmospheric Environment, 2010, 44(9): 1175-1185.
- [12] Wei B G, Jiang F Q, Li X M, et al. Heavy metal induced ecological risk in the city of Urumqi, NW China[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2010, 160(1-4): 33-45.
- [13] Ewen C, Anagnostopoulou M A, Ward N I. Monitoring of heavy metal levels in roadside dusts of Thessaloniki, Greece in relation

- to motor vehicle traffic density and flow [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2009, **157**(1-4): 483-498.
- [14] Perry C, Taylor K. *Environmental sedimentology*[M]. Malden: Blackwell, 2007. 190-222.
- [15] Amato F, Querol X, Johansson C, *et al.* A review on the effectiveness of street sweeping, washing and dust suppressants as urban PM control methods [J]. *Science of the Total Environment*, 2010, **408**(16): 3070-3084.
- [16] 施为光. 街道地表物的累积与污染特征——以成都市为例[J]. *环境科学*, 1991, **12**(3): 18-23.
- [17] 王利军, 卢新卫, 雷凯, 等. 宝鸡市街尘重金属元素含量, 来源及形态特征[J]. *环境科学*, 2011, **32**(8): 2470-2476.
- [18] 刘德鸿, 王发园, 周文利, 等. 洛阳市不同功能区道路灰尘重金属污染及潜在生态风险[J]. *环境科学*, 2012, **33**(1): 253-259.
- [19] 李晓燕. 季节变化对贵阳市不同功能区地表灰尘重金属的影响[J]. *环境科学*, 2013, **34**(6): 2407-2415.
- [20] 闫慧, 陈杰, 肖军. 典型农业城市街道灰尘重金属特征及其环境风险评价: 以许昌市为例[J]. *环境科学*, 2013, **34**(10): 4017-4023.
- [21] 向丽, 李迎霞, 史江红, 等. 北京城区道路灰尘重金属和多环芳烃污染状况探析[J]. *环境科学*, 2010, **31**(1): 159-167.
- [22] 常静, 刘敏, 李先华, 等. 上海城市地表灰尘重金属污染粒级效应与生物有效性[J]. *环境科学*, 2008, **29**(12): 3489-3495.
- [23] Lau S L, Stenstrom M K. Metals and PAHs adsorbed to street particles[J]. *Water Research*, 2005, **39**(17): 4083-4092.
- [24] Birch G F, Scollen A. Heavy metals in road dust, gully pots and parkland soils in a highly urbanised sub-catchment of Port Jackson, Australia [J]. *Australian Journal of Soil Research*, 2003, **41**(7): 1329-1342.
- [25] Zhao H, 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.
- [26] Zhao H T, Li X Y, Wang X M, *et al.* Grain size distribution of road-deposited sediment and its contribution to heavy metal pollution in urban runoff in Beijing, China [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2010, **183**(1): 203-210.
- [27] 魏复盛, 胡伟, 滕恩江. 空气污染与儿童呼吸系统患病率的相关分析[J]. *中国环境科学*, 2000, **20**(3): 220-224.
- [28] 陈同斌, 郑袁明, 陈煌, 等. 北京市土壤重金属含量背景值的系统研究[J]. *环境科学*, 2004, **25**(1): 117-122.
- [29] Chen T B, Zheng Y M, Lei M, *et al.* Assessment of heavy metal pollution in surface soils of urban parks in Beijing, China [J]. *Chemosphere*, 2005, **60**(4): 542-551.
- [30] Zhang M K, Wang H. Concentrations and chemical forms of potentially toxic metals in road-deposited sediments from different zones of Hangzhou, China [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2009, **21**(5): 625-631.
- [31] 史贵涛, 陈振楼, 许世远, 等. 上海城市公园土壤及灰尘中重金属污染特征[J]. *环境科学*, 2007, **28**(2): 238-242.
- [32] 李如忠, 周爱佳, 童芳, 等. 合肥市城区地表灰尘重金属分布特征及环境健康风险评估[J]. *环境科学*, 2011, **32**(9): 2661-2668.
- [33] 任玉芬, 王效科, 欧阳志云, 等. 北京城区道路沉积物污染特性[J]. *生态学报*, 2013, **33**(8): 2365-2371.
- [34] Duong T T T, Lee B K. Determining contamination level of heavy metals in road dust from busy traffic areas with different characteristics [J]. *Journal of Environmental Management*, 2011, **92**(3): 554-562.
- [35] 刘春华, 岑况. 北京市街道灰尘粒度特征及其来源探析[J]. *环境科学学报*, 2007, **27**(6): 1006-1012.
- [36] Tanner P A, Ma H L, Yu P K N. Fingerprinting metals in urban street dust of Beijing, Shanghai, and Hong Kong [J]. *Environmental Science & Technology*, 2008, **42**(19): 7111-7117.
- [37] Thorpe A, Harrison R M. Sources and properties of non-exhaust particulate matter from road traffic: a review [J]. *Science of the Total Environment*, 2008, **400**(1-3): 270-282.
- [38] 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.
- [39] Sartor J D, Boyd G B, Agardy F J. Water pollution aspects of street surface contaminants [J]. *Journal (Water Pollution Control Federation)*, 1974, **46**(3): 458-467.
- [40] 梁涛, 史正涛, 刘志国. 昆明市街道灰尘粒度特征及其环境意义[J]. *长江流域资源与环境*, 2011, **20**(1): 122-128.
- [41] Han L H, Zhuang G S, Cheng S Y, *et al.* Characteristics of re-suspended road dust and its impact on the atmospheric environment in Beijing [J]. *Atmospheric Environment*, 2007, **41**(35): 7485-7499.

## CONTENTS

Comparative Analysis Methods of Haze Distinction over Yangtze River Delta Region .....	LIU Xiao-hui, ZHU Bin, GAO Jin-hui, <i>et al.</i>	(3239)
Trends of Urban Haze in Jiangsu Province China over the Past 33 Years .....	LIU Duan-yang, WEI Jian-su, YAN Wen-lian, <i>et al.</i>	(3247)
Temporal Variation of Background Atmospheric CO <sub>2</sub> and CH <sub>4</sub> at Mount Waliguan, China .....	LIU Peng, ZHANG Guo-qing, WANG Jian-qiong, <i>et al.</i>	(3256)
Characteristics and Sources of Organic Carbon and Elemental Carbon in PM <sub>2.5</sub> in Shanghai Urban Area .....	ZHANG Yi-hua, WANG Dong-fang, ZHAO Qian-biao, <i>et al.</i>	(3263)
Size Distribution and Characterization of OC and EC in Atmospheric Aerosols During the Asian Youth Games of Nanjing, China .....	WANG Hong-lei, ZHU Bin, AN Jun-lin, <i>et al.</i>	(3271)
Pollution Characteristics of Carbonaceous Aerosols in PM <sub>2.5</sub> During Typical Winter Days in Wuxi City .....	YUN Long-long, LU Fan, ZHANG Tian-shu, <i>et al.</i>	(3280)
Emission Characteristics of PM <sub>2.5</sub> from Blast Furnace Iron Making .....	FAN Zhen-zhen, ZHAO Ya-li, ZHAO Hao-ning, <i>et al.</i>	(3287)
Composition Characteristics of Atmospheric Volatile Organic Compounds in the Urban Area of Beibei District, Chongqing .....	QI Xin, HAO Qing-ju, JI Dong-sheng, <i>et al.</i>	(3293)
Catalytic Oxidation of Two-component VOCs and Kinetic Analysis .....	BO Long-li, YANG Li, SUN Jian-yu, <i>et al.</i>	(3302)
Ultrafine Particle Number Concentration and Size Distribution of Vehicle Exhaust Ultrafine Particles .....	LU Ye-qiang, CHEN Qiu-fang, SUN Zai, <i>et al.</i>	(3309)
Major Ion Chemistry of Surface Water in the Upper Reach of Shule River Basin and the Possible Controls .....	ZHOU Jia-xin, DING Yong-jian, ZENG Guo-xiong, <i>et al.</i>	(3315)
Sediment-water Flux and Processes of Nutrients and Gaseous Nitrogen Release in a China River Reservoir .....	CHEN Zhu-hong, CHEN Neng-wang, WU Yin-qi, <i>et al.</i>	(3325)
Spatial Distribution and Pollution Assessment of Heavy Metals in the Tidal Reach and Its Adjacent Sea Estuary of Daliaohe Area, China .....	ZHANG Lei, QIN Yan-wen, MA Ying-qun, <i>et al.</i>	(3336)
Chemical Speciation and Risk Assessment of Heavy Metals in the Middle Part of Yarlung Zangbo Surface Sediments .....	BAI Jian-kun, LI Chao-liu, KANG Shi-chang, <i>et al.</i>	(3346)
Analysis of Particle Size Characteristics of Road Sediments in Beijing Olympic Park .....	LI Hai-yan, SHI An-bang, QU Yang-sheng, <i>et al.</i>	(3352)
Levels and Distribution of the Dioxin-Like Polychlorinated Biphenyls (PCBs) in the Surface Sediment of the Yellow River .....	LI Guang-yao, JIN Jun, HE Chang, <i>et al.</i>	(3358)
Characteristics of Nitrogen and Phosphorus Retention in Two Different Channel Forms in a Typical Headwater Stream in the Suburb of Hefei City, China .....	LI Ru-zhong, YANG Ji-wei, QIAN Jing, <i>et al.</i>	(3365)
Migration and Transformation of Nitrogen in Urban Stream Located in Plain River-net Area Based on Water Resources Regulation .....	LIU Bo, SHENG Ming, ZHU Qiang, <i>et al.</i>	(3373)
Decomposition and Phosphorus Dynamics of the Litters in Standing and Litterbag of the Hangzhou Bay Coastal Wetland .....	SHAO Xue-xin, LIANG Xin-qiang, WU Ming, <i>et al.</i>	(3381)
Muti-model Collaborative Retrieval of Chlorophyll a in Taihu Lake Based on Data Assimilation .....	LI Yuan, LI Yun-mei, LÜ Heng, <i>et al.</i>	(3389)
Photobleaching of Dissolved Organic Matter (DOM) from Confluence of Two Rivers Under Natural Solar Radiation; A Case Study of Fujiang River-Jialingjiang River .....	GAO Jie, JIANG Tao, YAN Jin-long, <i>et al.</i>	(3397)
Using Ultraviolet-Visible (UV-Vis) Absorption Spectrum to Estimate the Dissolved Organic Matter (DOM) Concentration in Water, Soils and Sediments of Typical Water-Level Fluctuation Zones of the Three Gorges Reservoir Areas .....	LI Lu-lu, JIANG Tao, LU Song, <i>et al.</i>	(3408)
Synthesis of Cu <sub>2</sub> O-Ag-AgBr/MA Visible Photocatalyst and Its Performance in Degradation of 2-Chlorophenol .....	WANG Ran, ZHOU Xue-feng, HU Xue-xiang, <i>et al.</i>	(3417)
Effects of Particle Size of Zero-Valent Iron on the Reactivity of Activating Persulfate and Kinetics for the Degradation of Acid Orange 7 .....	LI Huan-xuan, WAN Jin-quan, MA Yong-wen, <i>et al.</i>	(3422)
Degradation of 2,4-D by Combined Catalytic Dechlorination and Biological Oxidation .....	ZHOU Hong-yi, ZENG Si-si, LIANG Si, <i>et al.</i>	(3430)
Treatment of Marine-Aquaculture Effluent by the Multi-Soil-Layer (MSL) System and Subsurface Flow Constructed Wetland .....	SONG Ying, HUANG Yu-ting, GE Chuan, <i>et al.</i>	(3436)
Variation of Different Carbon Sources in the Sewage Treatment Process .....	JIN Peng-kang, CHANG Jin, WANG Xian-bao, <i>et al.</i>	(3443)
Effect of Gas-lift Device on Nitrogen Removal Efficiency of ANAMMOX Reactor .....	LI Xiang, ZHANG Da-lin, HUANG Yong, <i>et al.</i>	(3449)
Enhancement for Anaerobic Digestion of Sewage Sludge Pretreated by Microwave and Its Combined Processes .....	LIU Ji-bao, NI Xiao-tang, WEI Yuan-song, <i>et al.</i>	(3455)
Pilot Study of Thermal Treatment/Thermophilic Anaerobic Digestion Process Treating Waste Activated Sludge of High Solid Content .....	WU Jing, WANG Guang-qi, CAO Zhi-ping, <i>et al.</i>	(3461)
Effects of Temperature on Combined Process of ABR and MBR for Domestic Sewage Treatment and Analysis of Microbial Community .....	WU Peng, LU Shuang-jun, XU Yue-zhong, <i>et al.</i>	(3466)
Microbial Community of Municipal Discharges in A Sewage Treatment Plant .....	XU Ai-ling, REN Jie, SONG Zhi-wen, <i>et al.</i>	(3473)
Pilot-Scale Cultivation of <i>Spirulina plantensis</i> with Digested Piggery Wastewater .....	GUO Qing-qing, LIU Rui, LUO Jin-fei, <i>et al.</i>	(3480)
Spectral Characteristics of Soluble Metabolites During Endogenous Respiration .....	LI Zhi-hua, ZHANG Qin, BAI Xu-li, <i>et al.</i>	(3487)
Endogenous Respiration Process Analysis of Heterotrophic Biomass and Autotrophic Biomass Based on Respiration Map .....	LI Zhi-hua, BAI Xu-li, ZHANG Qin, <i>et al.</i>	(3492)
Influence of S-Metolachlor and Cd <sup>2+</sup> on Photosynthesis of <i>Scenedesmus obliquus</i> .....	CHEN Cai-dong, HU Xiao-na, ZHANG Xiao-qiang, <i>et al.</i>	(3498)
Effect of Environmental Factors on Fish Community Structure in the Huntai River Basin at Multiple Scales .....	LI Yan-li, LI Yan-fen, XU Zong-xue	(3504)
Succession of Rotifer Community and Its Relationship with Environmental Factors in a New Estuarial Landscape River, Shanghai .....	MA Wen-hua, ZHANG Wei, GU Wan-wen, <i>et al.</i>	(3513)
Anaerobic Reduction of Humus/Fe(III) and Electron Transport Mechanism of <i>Fontibacter</i> sp. SgZ-2 .....	MA Chen, YANG Gui-qin, LU Qin, <i>et al.</i>	(3522)
Source Apportionment of Soil Heavy Metals in Jiapigou Goldmine Based on the UNMIX Model .....	AI Jian-chao, WANG Ning, YANG Jing	(3530)
Environmental Magnetic Properties and Their Spatial Variability of Topsoil in Shihezi City .....	YANG Han, XIONG Hei-gang, CHEN Xue-gang	(3537)
Effects of Different Amounts of Phosphate Fertilizers on Copper, Zinc Transfer in Red Soil Under the Application of KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> .....	GUO Liang, LI Zhong-wu, HUANG Bin, <i>et al.</i>	(3546)
Influence of Sulfur on the Bioavailability of Arsenic Uptake by Rice ( <i>Oryza sativa</i> L.) and Its Speciation in Soil .....	YANG Shi-jie, TANG Bing-pei, WANG Dai-chang, <i>et al.</i>	(3553)
Effects of Sulfur on Transformation of Selenium in Soil and Uptake of Selenium in Rape .....	LIU Xin-wei, DUAN Bi-hui, XIA Quan-jie, <i>et al.</i>	(3564)
Impact of Reclaimed Water Irrigation on Soil Chemical Properties and Culturable Microorganisms .....	GONG Xue, WANG Ji-hua, GUAN Jian-fei, <i>et al.</i>	(3572)
Influence of Different Slope Position and Profile in <i>Disporopsis pernyi</i> Forest Land on Soil Microbial Biomass and Enzyme Activity in Southwest Karst Mountain of China .....	QIN Hua-Jun, HE Bing-Hui, ZHAO Xuan-chi, <i>et al.</i>	(3580)
Effects of Different Soil Types on the Foliar δ <sup>13</sup> C Values of Common Local Plant Species in Karst Rocky Desertification Area in Central Guizhou Province .....	DU Xue-lian, WANG Shi-jie, LUO Xu-qiang	(3587)
Effect of Carbon Substrate Concentration on N <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O, NO, CO <sub>2</sub> and CH <sub>4</sub> Emissions from a Paddy Soil in Anaerobic Condition .....	CHEN Nuo, LIAO Ting-ting, WANG Rui, <i>et al.</i>	(3595)
Ability of Typical Greenery Shrubs of Beijing to Adsorb and Arrest PM <sub>2.5</sub> .....	LIANG Dan, WANG Bin, WANG Yun-qi, <i>et al.</i>	(3605)
Effects of Chlorides on Cd Transformation in a Simulated Grate Incinerator During Sludge Incineration Process .....	LIU Jing-yong, ZHUO Zhong-xu, SUN Shui-yu, <i>et al.</i>	(3612)
Spatial Temporal Differentiation of Product-based and Consumption-based CO <sub>2</sub> Emissions and Balance in the Beijing-Tianjin-Hebei Region; an Economic Input-Output Analysis .....	WANG Hao, CHEN Cao-cao, PAN Tao, <i>et al.</i>	(3619)
Study on Feasible Emission Control Level of Air Pollutions for Cement Industry .....	REN Chun, JIANG Mei, ZOU Lan, <i>et al.</i>	(3632)

# 《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)

2014年9月15日 第35卷 第9期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 9 Sep. 15, 2014

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@reeces. 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@reeces. 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