

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第2期

Vol.34 No.2

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

16 届亚运会期间广州城区 PM_{2.5} 化学组分特征及其对霾天气的影响 陶俊,柴发合,高健,曹军骥,刘随心,张仁健 (409)

北京地区秋季雾霾天 PM_{2.5} 污染与气溶胶光学特征分析 赵秀娟,蒲维维,孟伟,马志强,董璠,何迪 (416)

上海市秋季大气 VOCs 对二次有机气溶胶的生成贡献及来源研究 王倩,陈长虹,王红丽,周敏,楼晟荣,乔利平,黄成,李莉,苏雷燕,牟莹莹,陈宜然,陈明华 (424)

杭州市大气超细颗粒物浓度谱季节性特征 谢小芳,孙在,付志民,杨文俊,林建忠 (434)

保定市大气气溶胶中正构烷烃的污染水平及来源识别 李杏茹,杜熙强,王英锋,王跃思 (441)

春节期间西安城区碳气溶胶污染特征研究 周变红,张承中,王格慧 (448)

华东区域高山背景点 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 背景值及污染特征 苏彬彬,刘心东,陶俊 (455)

基于电子鼻土壤与地下水污染修复现场 TVOC 和恶臭的评估 田秀英,蔡强,刘锐,张永明 (462)

积融雪控制下土壤大气间汞交换通量特征 张刚,王宁,艾建超,张蕾,杨净,刘子琪 (468)

靖海湾重金属污染及铅稳定同位素溯源研究 徐林波,高勤峰,董双林,刘佳,傅秀娟 (476)

正构烷烃及单体碳同位素记录的石臼湖生态环境演变研究 欧杰,王延华,杨浩,胡建芳,陈霞,邹军,谢云 (484)

干旱区城市昌吉降雪及积雪中 PGEs 含量分布及其影响因素 刘玉燕,刘浩峰,张兰 (494)

降尘收集方法对降尘效率的影响 张正德,董治宝 (499)

海河流域水生生态功能一级二级分区 孙然好,汲玉河,尚林源,张海萍,陈利顶 (509)

长江中下游浅水湖泊水下辐照度漫射衰减特征研究 时志强,张运林,王明珠,刘笑茵 (517)

内陆水体叶绿素反演模型普适性及其影响因素研究 黄昌春,李云梅,徐良将,杨浩,吕恒,陈霞,王延华 (525)

溶氧对富集培养的河口湿地表层沉积物氨氧化菌多样性及氨氧化速率的影响 邱昭政,罗专溪,赵艳玲,颜昌宙 (532)

自然条件下盐城海滨湿地土壤水分/盐度空间分异及其与植被关系研究 张华兵,刘红玉,李玉凤,安静,薛星宇,侯明行 (540)

淮河流域农业非点源污染空间特征解析及分类控制 周亮,徐建刚,孙东琪,倪天华 (547)

高岚河不同降雨径流类型磷素输出特征 崔玉洁,刘德富,宋林旭,陈玲,肖尚斌,向坤,张涛 (555)

城市雨水径流水质演变过程监测与分析 董雯,李怀恩,李家科 (561)

复合人工湿地系统强化处理单元的运行特性与效果 任峰,陆忆夏,刘琴,汤杨杨,王世和,高海鹰,乔杰杰,王为进 (570)

给水管网中耐氯分枝杆菌的灭活特性及机制研究 郑琦,陈超,张晓健,陆品品,刘源源,陈雨乔 (576)

1 株溶藻菌的部分生物学特性及溶鱼腥藻作用 李三华,张奇亚 (583)

水生植物热解生物油对中肋骨条藻抗氧化酶活性的影响 姚远,李锋民,李媛媛,单时,李杰,王震宇 (589)

TiO₂ 光催化联合技术降解苯酚机制及动力学 张轶,黄若男,王晓敏,王齐,丛燕青 (596)

皮革废水有机污染物生物降解特性研究 王勇,李伟光,杨力,宿程远 (604)

链霉菌 FX645 对偶氮染料红 AR30 的降解机制研究 谢练武,方继东,郭亚平 (611)

一种负载型生物载体的制备及性能研究 杨基先,曾红云,周义,邱珊,马放,王蕾,肖大伟 (616)

基于污泥资源化利用的蛋白核小球藻 (*Chlorella pyrenoidosa*) 培养研究 嵇雯雯,夏会龙,方治国,刘惠君 (622)

温和热处理对低有机质污泥厌氧消化性能的影响 陈汉龙,严媛媛,何群彪,戴晓虎,周琪 (629)

天然和水热合成针铁矿对有机物厌氧分解释放 CH₄ 的影响 姚敦璠,陈天虎,王进,周飞跃,岳正波 (635)

蚀刻废液及其回收后生产的铜盐产品中 PCDD/Fs 含量水平及分布特征 青宪,韩静磊,温炎桑 (642)

基于特定场地污染概念模型的健康风险评估案例研究 钟茂生,姜林,姚珏君,夏天翔,朱笑盈,韩丹,张丽娜 (647)

区域地下水污染风险评价方法研究 杨彦,于云江,王宗庆,李定龙,孙宏伟 (653)

地下水有机污染源识别技术体系研究与示范 王晓红,魏加华,成志能,刘培斌,纪轶群,张干 (662)

祁连山不同海拔土壤有机碳库及分解特征研究 朱凌宇,潘剑群,张威 (668)

黑土有机碳、氮及其活性对长期施肥的响应 骆坤,胡荣桂,张文菊,周宝库,徐明岗,张敬业,夏平平 (676)

根茬连续还田对镉污染农田土壤中镉赋存形态和生物有效性的影响 张晶,于玲玲,辛木贞,苏德纯 (685)

长期施肥措施下稻田土壤有机质稳定性研究 罗璐,周萍,童成立,石辉,吴金水,黄铁平 (692)

外源 Cr(III) 在我国 22 种典型土壤中的老化特征及关键影响因子研究 郑顺安,郑向群,李晓辰,刘书田,姚秀荣 (698)

某林丹生产企业搬迁遗留场地土壤中六六六的残留特征 潘峰,王利利,赵浩,尤奇中,刘林 (705)

大型炼锌厂周边土壤及蔬菜的汞污染评价及来源分析 刘芳,王书肖,吴清茹,林海 (712)

天津成人头发指甲中有机氟污染物的残留特征 姚丹,张鸿,柴之芳,沈金灿,杨波,王艳萍,刘国卿 (718)

沉积物中雌激素及壬基酚、辛基酚、双酚 A 的测定 吴唯,史江红,陈庆彩,张晖,刘晓薇 (724)

动物饲料中砷、铜和锌调查及分析 姚丽贤,黄连喜,蒋宗勇,何兆桓,周昌敏,李国良 (732)

氟虫双酰胺在水稻和稻田中的残留动态研究 王点点,宋宁慧,吴文铸,由宗政,何健,石利利 (740)

2 株降解菲的植物内生细菌筛选及其降解特性 倪雪,刘娟,高彦征,朱雪竹,孙凯 (746)

嗜盐拟香味菌 Y6 降解硝基苯的特性研究 厉闾,钱坤,肖伟,王进军,邓新平 (753)

固定化条件对苯系物细胞传感器检测效果的影响 唐阔,马安周,于清,邓雪梅,吕迪,庄国强 (760)

16S rDNA 克隆文库分析高含盐生物脱硫系统细菌多样性 刘卫国,梁存珍,杨金生,王桂萍,刘苗杰 (767)

氨氮浓度对 CANON 工艺功能微生物丰度和群落结构的影响 刘涛,李冬,曾辉平,畅晓燕,张杰 (773)

筒青霉 (*Penicillium simplicissimum*) 对木质纤维素的降解及相关酶活性特征 沈莹,胡天觉,曾光明,黄丹莲,尹璐,刘杨,吴娟娟,刘晖 (781)

石油污染土壤微生物群落结构与分布特性研究 杨萌青,李立明,李川,李广贺 (789)

土霉素在鸡粪好氧堆肥过程中的降解及其对相关参数的影响 王桂珍,李兆君,张树清,马晓彤,梁永超 (795)

生活垃圾填埋过程含水率变化研究 李睿,刘建国,薛玉伟,张媛媛,岳东北,聂永丰 (804)

动物消化机制用于木质纤维素的厌氧消化 吴昊,张盼月,郭建斌,吴永杰 (810)

《环境科学》征订启事(447) 《环境科学》征稿简则(493) 信息(508,588,610,731) 专辑征稿通知(788)

春节期间西安城区碳气溶胶污染特征研究

周变红^{1,2}, 张承中², 王格慧³

(1. 宝鸡文理学院地理与环境学院, 陕西省灾害监测与模拟重点实验室, 宝鸡 721013; 2. 西安建筑科技大学环境与市政工程学院, 西安 710055; 3. 中国科学院地球环境研究所气溶胶重点实验室, 黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710075)

摘要: 采用美国 R&P 公司 TEOM-1400a 大气颗粒物监测仪器及其 8 通道采样系统 (ACCU), 在 2011 年春节期间实时监测和分 8 个时段采集了西安城区的 PM_{2.5} 样品. 研究了春节期间西安城区大气中 PM_{2.5} 的碳气溶胶污染特征. 目的是阐明 2011 年春节期间燃放烟花爆竹时, 西安城区大气中细颗粒 PM_{2.5} 的质量浓度、元素碳 (EC)、有机碳 (OC) 及水溶性有机碳 (WSOC) 的浓度分布特征, 探讨了其污染来源. 结果表明, 除夕 00:00 ~ 02:59 为污染浓度最大时段, PM_{2.5} 30 min 平均浓度在 01:00 时刻达到最大值 1 514.8 μg·m⁻³, 其碳组分 OC、EC、WSOC、非水溶性有机碳 (WIOC) 分别为 123.3、18.6、66.7 和 56.6 μg·m⁻³, 高于春节期间的其他正常时段 1.7 倍、1.2 倍、1.4 倍和 2.2 倍. 碳气溶胶组分 WSOC 与 OC、EC 相关性分析表明春节烟火期间含碳物质更多的来自于烟花爆竹燃放, 但其对烟火时段的气溶胶的贡献较小, 仅为 9.4%.

关键词: 春节; 烟花爆竹燃放; 有机碳 (OC); 元素碳 (EC); 水溶性有机碳 (WSOC)

中图分类号: X51 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3301(2013)02-0448-07

Study on Pollution Characteristics of Carbonaceous Aerosols in Xi'an City During the Spring Festival

ZHOU Bian-hong^{1,2}, ZHANG Cheng-zhong², WANG Ge-hui³

(1. Shaanxi Key Laboratory of Disaster Monitoring and Mechanism Modeling, School of Geography and Environment, Baoji University of Arts & Sciences, Baoji 721013, China; 2. School of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China; 3. Key Laboratory of Aerosol, State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710075, China)

Abstract: The samples of PM_{2.5} with 8 times periods were collected using Automated Cartridge Collection Unit (ACCU) of Rupprecht & Patashnick (R&P) Corporation, and monitored by R&P1400a instrument of TEOM series online during 2011 Spring Festival in Xi'an city. The organic carbon (OC), elemental carbon (EC), water-soluble organic carbon (WSOC) and water-insoluble organic carbon (WIOC) contents of 3 h integrated PM_{2.5} were analyzed to evaluate the influence of firework display on the carbonaceous components in urban air. The mass concentration of PM_{2.5} was found increased significantly from 00:00 A. M. to 02:59 A. M. at the Chinese Lunar New Year's Eve than the non-firework periods, reaching 1 514.8 μg·m⁻³ at 01:00 A. M. The mass concentrations of OC, EC, WSOC, and WIOC during the same time period were 123.3 μg·m⁻³, 18.6 μg·m⁻³, 66.7 μg·m⁻³, and 56.6 μg·m⁻³, about 1.7, 1.2, 1.4, and 2.2 times higher than the average in normal days, respectively. Correlation analysis among WSOC, OC, and EC contents in PM_{2.5} showed that firework emission was an obvious source of carbonaceous aerosol in the Spring Festival vacation. However, it only contributes to 9.4% for aerosol in fireworks emission.

Key words: Spring Festival; fireworks display; organic carbon (OC); elemental carbon (EC); water-soluble organic carbon (WSOC)

人们通常燃放烟花爆竹来庆祝春节这一中国传统节日, 燃放烟花爆竹会释放大量的颗粒物^[1-3]、气态污染物^[4]. 而颗粒物中含有多种污染物, 包括金属元素、元素碳和二次污染物等^[5-8]. 诸多国外的学者已经开始关注燃放烟花爆竹可能带来的环境影响和对人体健康造成的影响^[3, 4, 9-12]. 国内外诸如北京^[8, 13]、上海^[14]、兰州^[15]、泉州^[16]等地也已率先开展了研究燃放烟花爆竹对环境空气质量的影响.

西安已多年来开展了对大气中 PM_{2.5} 的深入研究^[17-23], 但燃放烟花爆竹对西安城区环境空气质量

的影响却未有详细报道. 本研究就 2011 年春节期间的实时监测 PM_{2.5} 变化特征及同期相关气象条件, 阐明大气细颗粒物在此期间的浓度变化特征; 采用 8 个时段的高分辨滤膜采样, 进行含碳物质的分析, 以期掌握燃放烟花爆竹时含碳物质的污染特征及对西安城区空气质量造成的影响.

收稿日期: 2012-04-08; 修订日期: 2012-05-22

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40873083); 黄土与第四纪地质国家重点实验室开放基金项目 (SKLLQG1204)

作者简介: 周变红 (1976~), 女, 博士, 主要研究方向为大气环境化学, E-mail: bhz620@163.com

1 材料与方 法

1.1 采 样

利用美国 R&P 公司 TEOM-1400a PM_{2.5} 实时监测仪器及 8 通道自动采样 (ACUU) 系统,在西安建筑科技大学环境与市政工程学院楼顶 (34.24°N, 108.96°E) 进行采样. 此采样点距地面 28 m, 距交通主干道水平距离约 80 m. TEOM-1400a 主通道流速为 1.0 L·min⁻¹, ACUU 采样流速为 15.67 L·min⁻¹, 以 8 个通道对应设置 8 个时段 (限 1~8 号时段): 12:00~14:59、15:00~17:59、18:00~20:59、21:00~23:59、00:00~02:59、03:00~05:59、06:00~08:59、09:00~11:59. 采样时间为 2011 年

2 月 1 日 12:00~2011 年 2 月 6 日 11:59, 其中 2011 年 2 月 2 日 12:00~3 日 11:59 (农历除夕 12:00~大年初一 11:59 前) 作为烟火时段, 2011 年 2 月 1 日 12:00~2 日 11:59 及 2011 年 2 月 3 日 12:00~2 月 6 日 11:59 为非烟火时段 (即农历 12 月 29 日 12:00~除夕 11:59 之前、农历大年初一 12:00~初四 11:59 之前). 滤膜采用英国 Whatman 公司的 $\phi 47$ mm 的石英纤维滤膜. 采样前, 石英滤膜放置马弗炉中 450℃ 烘烤 6 h, 冷却至室温用灵敏度为 1 μ g 的电子微量天平 (Mettler M3, Switzerland). 称量后的采样滤膜, 样品放到 -4℃ 冰柜中冷藏保存以备采样和分析. 同时采集同期的气象要素 (气象要素来源于陕西气象局自动监测站西安监测子站) 如表 1 所示.

表 1 采样期间的气象要素

Table 1 Meteorological parameters during sampling period

采样时间 (o'clock)	温度/℃		湿度/%		能见度/km		混合层高度/m	
	非烟火时段	烟火时段	非烟火时段	烟火时段	非烟火时段	烟火时段	非烟火时段	烟火时段
12:00~14:59	8.3±3.1	6.00	35.3±15.0	29.7	2.0±0.3	3.8	505.2	307.1
15:00~17:59	8.3±2.4	6.33	35.4±14.4	28.3	2.4±0.9	3.5	388.1	363.6
18:00~20:59	4.3±1.5	-1.00	44.8±9.9	47.0	2.8±1.7	1.9	121.7	155.6
21:00~23:59	1.3±2.4	-4.33	56.6±7.8	60.3	1.9±0.5	1.5	56.4	39.3
00:00~02:59	-0.2±2.0	-3.67	62.6±11.7	65.7	1.9±0.7	1.5	72.5	56.4
03:00~05:59	-1.3±2.6	-2.33	69.4±17.3	62.3	2.3±1.9	2.0	68.8	47.6
06:00~08:59	-0.4±2.3	-5.67	66.3±19.2	74.3	2.4±2.1	1.4	121.7	155.6
09:00~11:59	5.9±1.0	3.00	43.5±13.7	46.3	2.6±1.7	1.6	299.7	242.0

1.2 样品的预处理和分析

1.2.1 元素碳与有机碳的分析

采用 DRI Model 2001 热光碳分析仪 (Thermal/Optical Carbon Analyzer), 应用 Improve-A (Interagency Monitoring of Protected Visual Environments-A) 热光反射的实验方法测定有机碳 (OC) 和元素碳 (EC), 具体原理和过程见文献 [24].

1.2.2 水溶性有机碳的分析

利用岛津的 TOC-L CPH 型总有机碳分析仪, 分析样品水溶液中的水溶性有机碳. 其原理是利用催化氧化的原理, 在待测样品中添加氧化催化剂, 然后加热燃烧样品, 样品中的 TC (总碳) 燃烧分解为二氧化碳, 通过 NDIR 检测器检测二氧化碳的含量, 最后通过软件计算出 TC (总碳) 浓度定量的检测仪器. 提取过程, 从采集样品的滤膜中取四分之一滤膜剪碎放置于 50 mL 的 BD 具塞离心管中, 然后加入 30 mL 去离子水, 再放置于用超声波中振荡 60 min. 在超声过程中, 加入适量冰块, 以保证水温恒温, 以避免有机碳类物质的挥发. 超声振荡后, 再用摇床摇匀 60 min, 静置 24 h 后用无菌一次性注射器和孔径

为 0.45 μ m 的针筒式微孔滤膜过滤器过滤掉试管中不溶的、悬浮颗粒, 过滤后的溶液取 25 mL 置于样品瓶中置于 -4℃ 的冰箱中用于分析 TOC. 开机后, 先选择清洗程序, 待仪器稳定后即可编辑程序并选择相应的方法来测定样品中的 WSOC, 每个样品分别测定 3 次, 实验结果的相对误差在 2.4%~4.5% 之间, 实验过程中同时测试实验室空白和野外空白滤膜的值, 同时每 10 张滤膜做一次重复样分析, 重复样分析偏差均 $\leq 5\%$.

1.3 质量控制与保证 (QA/QC)

(1) 采集 PM_{2.5}

使用 $\phi 47$ mm 圆形微纤维石英滤纸 (Whatman Inc., U. K) 采集. 采样前将空白滤纸放置马弗炉 (上海试验仪器厂) 450℃ 高温下预烧 6 h 以去除可能的碳物质污染, 冷却至室温后放入干燥器内, 在恒温恒湿的环境中 24 h 保持至恒重, 然后用电子微量天平 (灵敏度 1 μ g, Mettler M3, Switzerland) 称重. 称好后的空白滤纸用铝箔纸密封包起来, 存放于 4℃ 冰箱内冷藏, 待采样.

(2) 元素碳与有机碳 QA/QC

实验前后都需要用已知量的标准 CH₄ 进行气

体检测,两次气体检测,其中 TC 或 OC(或 EC)的偏差均应在 5% 以内;每 10 个样品中任意挑选一个样品进行重复检测,复检 TC 偏差 $\leq 5\%$, OC, EC 的偏差 $\leq 10\%$ [25].

(3) 水溶性有机碳的(QA/QC)

在水溶性有机碳的测试中,实验标准物质使用国家标准物质中心的标准溶液进行配制,样品测定结果均进行空白校正和方法校正.每 10 个样品中任意挑选 1 个样品进行重复检测,相对标准偏差 $\leq 10\%$.在整个样品采集和分析过程中,全部使用不含任何碳质的 Kimwipes 滤纸(Kimberly-Clark Corporation, Roswell),擦拭镊子、切刀和切盘等器具,尽量避免可能的人为污染.

(4) 采样方法的一致性

如图 1 所示,美国 R&P 公司 TEOM-1400a 系列 $PM_{2.5}$ 在线监测仪实时在线监测的 $PM_{2.5}$ 质量浓度与 ACCU 8 通道滤膜采样通过称重法获得的 $PM_{2.5}$ 质量浓度相关系数 R^2 达到了 0.96,两种方法获得 $PM_{2.5}$ 的质量浓度高度一致,说明两种方法互相印证,采样数据真实可靠.

2 结果与讨论

2.1 $PM_{2.5}$ 的浓度变化特征

从图 2 中可以看出,西安城区 $PM_{2.5}$ 在农历除夕夜间至初一凌晨(2011 年 2 月 3 日)02:59,污染相当严重.在农历初一凌晨 00:00~02:59 时段, $PM_{2.5}$ 的 30 min 平均质量浓度在 01:00 时刻达到最大值 $1\,514.8\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,比非烟火同时段的平均质量浓度

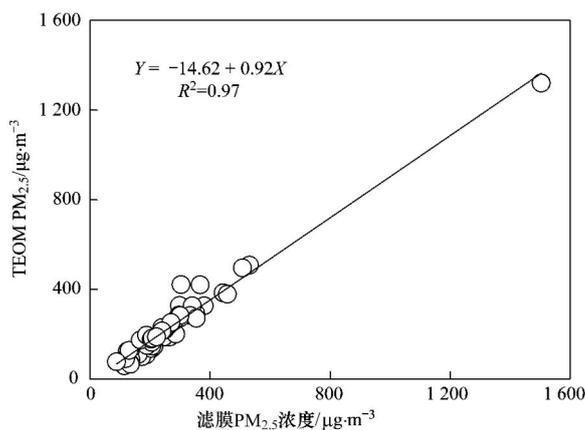


图 1 TEOM-1400a 在线监测与 8 通道滤膜采样 $PM_{2.5}$ 质量浓度对比

Fig. 1 Comparison of mass concentration between TEOM data and Filters $PM_{2.5}$

增加了 $1\,276.5\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,这是因为在这一时段大量燃放烟花爆竹使得大气中细颗粒物浓度急剧增加,而同时段相对湿度较大、温度和混合层高度均较低,如表 1 所示,使得燃放烟花爆竹产生的大量颗粒物不易扩散,从而导致了 $PM_{2.5}$ 的质量浓度短时间内急剧累积,其质量浓度远高于非烟火时段.这和先前国内外研究者认为燃放烟花爆竹会明显增加 $PM_{2.5}$ 浓度 [1, 3, 6, 13, 16, 26~28] 的结论一致,由此可见,西安城区 2011 年春节燃放烟花爆竹能够急剧增加 $PM_{2.5}$ 的浓度,从而影响西安城区的环境空气质量.

2.2 OC、EC 浓度分布特征

对 ACCU 8 通道自动采样系统所获得滤膜样品进行元素碳(EC)和有机碳(OC)的测定与分析.

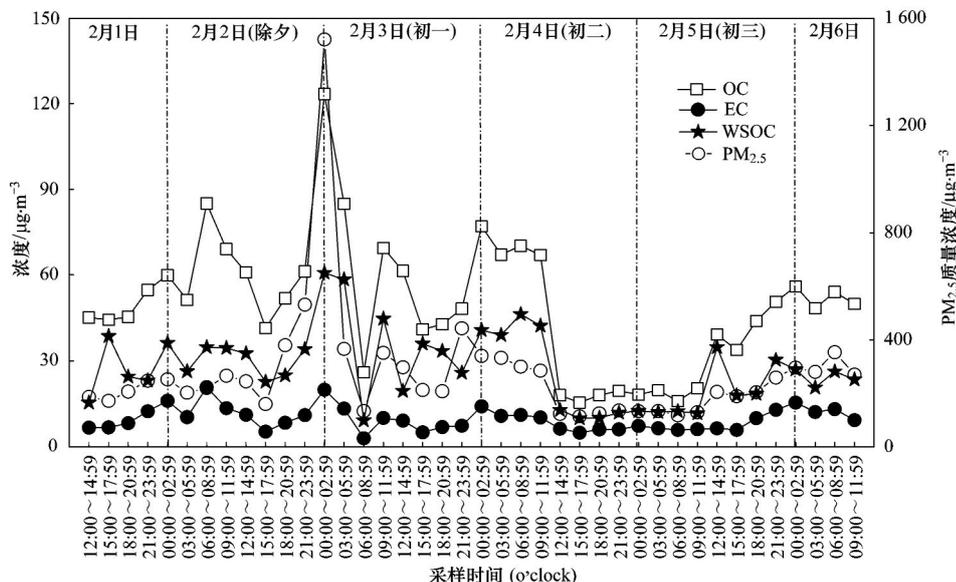


图 2 $PM_{2.5}$ 和含碳物质的浓度分布

Fig. 2 Distributional variation in concentrations of $PM_{2.5}$ and carbon matters from 1 to 6 January, 2011

2011年2月1~6日的OC、EC的时间序列变化如图3所示,烟火时段OC浓度为26.0~123.3 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,平均值为64.9 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,高于非烟火时段:15.8~85.4 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (平均值为40.6 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)。5号时段(00:00~02:59)OC达到最高值123.4 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,分别高出4号时段(21:00~11:59)、6号时段(03:00~05:59)1倍和45%;高出非烟火同时段2倍多。而EC增幅不大,烟火时段则为2.9~17.4 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,平均值为9.9 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,略高于非烟火时段的浓度:4.8~20.8 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (平均值为8.3 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)。在00:00~02:59时段达到最高值18.6 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,高于非烟火同时段。这和Sakar等^[29]及Vecchi等^[9]认为燃放烟花爆竹也会使OC、EC的质量浓度OC/EC比值大小主要受:①排放源;②二次气溶胶(SOA)的形成及③干沉降OC、EC去除率不同^[30]。大气中EC主要来自于直接排放源,而OC不仅来自于直接排放也来自于低蒸汽压下化学反应形成的挥发性有机物。可用OC/EC判断碳气溶胶颗粒

物的来源^[31,32],若OC/EC比值为2.7,主要为煤的燃烧;1.1为机动车尾气排放;9.0为生物质燃烧;13.1为地面扬尘;4.2为居民木材燃烧;家用天然气12.7。由表2可知,OC/EC在非烟火时段为3.8~6.8,平均值4.9,OC/EC比值均超过2.0说明为煤燃烧、机动车尾气、生物质燃烧混合源^[20]。烟火时段为5.6~9.1,平均值6.4;00:00~02:59时段为6.6,可能是因为烟花爆竹中含有一定量的木炭、S等燃料,燃放后会释放一定的含碳物质,使得OC增加,同时在除夕夜间,机动车辆减少及工矿企业、公司休假,使得机动车尾气排放和生物质燃烧都大幅减少,集中供热燃煤也略有降低。所以除夕至初一主要是烟花爆竹燃放及部分燃煤的影响。

在烟火期间,总碳气溶胶($\text{TCA} = 1.6\text{OC} + \text{EC}$)在 $\text{PM}_{2.5}$ 中的平均质量百分含量为31%,低于非烟火时段15%;4、5、6号时段分别比非烟火同时段低了9%、22%和5%,说明虽然燃放烟花爆竹虽然能增加细颗粒物的质量浓度,但对碳物质的贡献率却不大。

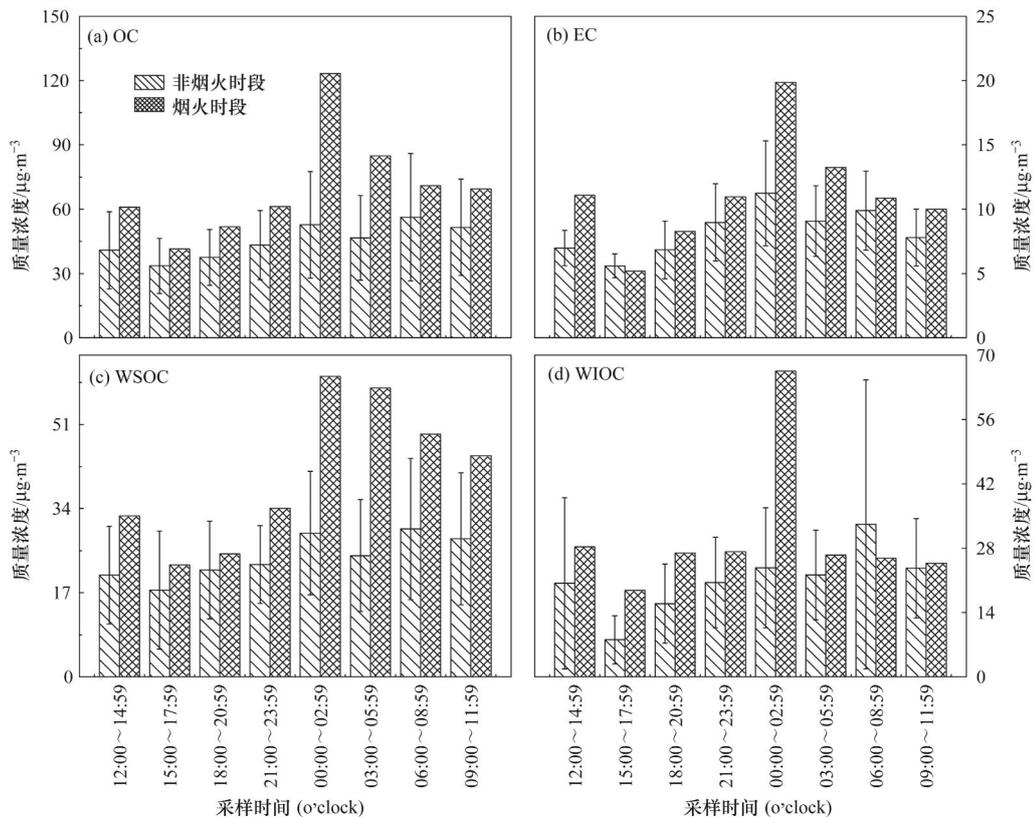


图3 烟火与非烟火时段含碳物质的分布特征

Fig. 3 Distribution of carbonaceous matter in fireworks period and normal period during Spring Festival in Xi'an city

2.3 水溶性有机碳(WSOC)的分布特征

从图2和表2可知,烟火时段WSOC的平均质量浓度为35.9 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (范围9.1~60.75 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)

高于非烟火时段25.2 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (范围9.0~40.7 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)42%,4、5和6号时段的WSOC分别高出同时段0.5倍、1.3倍和1.4倍。烟火时段WIOC平

表 2 含碳物质在不同时段的比值关系/%

Table 2 Ratios of carbonaceous matter in different time during Spring Festival 2011/%

时段	非烟火时段 ($n=32$)				烟火时段 ($n=8$)			
	WSOC/OC	WSOC/PM _{2.5}	OC/EC	TC/PM _{2.5}	WSOC/OC	WSOC/PM _{2.5}	OC/EC	TC/PM _{2.5}
1	57.7 ± 26.8	9.8 ± 5.1	5.3 ± 1.7	20.4 ± 3.0	53.5	13.2	5.5	29.2
2	65.9 ± 15.3	11.0 ± 3.9	5.8 ± 2.1	19.6 ± 1.8	54.6	14	8	28.9
3	57.6 ± 15.0	9.9 ± 4.1	5.0 ± 1.6	20.8 ± 5.3	48	6.5	6.3	15.8
4	58.5 ± 3.4	9.2 ± 2.6	4.7 ± 1.5	19.2 ± 5.1	55.6	6.4	5.6	13.6
5	53.8 ± 10.2	9.7 ± 1.5	4.3 ± 1.4	22.9 ± 3.3	54.9	3.6	6.6	9.4
6	57.6 ± 10.9	10.1 ± 2.4	4.7 ± 1.4	21.5 ± 1.6	68.8	15.9	6.4	26.7
7	61.6 ± 13.0	9.4 ± 4.7	4.3 ± 1.5	18.6 ± 6.9	35.1	6.8	9.1	21.4
8	59.3 ± 9.8	10.8 ± 2.8	5.3 ± 1.4	21.8 ± 3.8	64.4	12.7	6.9	22.5
平均值	57.7 ± 14.3	11.2 ± 3.7	4.9 ± 1.4	24.3 ± 7.7	54.4 ± 10.2	9.9 ± 4.6	6.7 ± 1.2	20.9 ± 7.4

均值浓度为 $29.48 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (范围 $16.9 \sim 66.6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) 高于非烟火时段 $20.9 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (范围 $5.0 \sim 60.6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) 41%。4、5 号两个时段的 WSOC 分别高出同时段 0.3 倍、1.4 倍。但由图 3 发现, WSOC 质量浓度从 18:00 ~ 20:59 开始逐渐增大, 直到 00:00 ~ 02:59 时段达到最大值, 浓度增加了 $44.0 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 00:00 ~ 02:59 比 18:00 ~ 20:59 增加了 1.9 倍, 这是由于烟火时段, 混合层高度、温度较低, 湿度较大, 颗粒物易聚集, 不利于其迅速扩散; 而在非烟火相同时段, 仅增加了 $9.3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 00:00 ~ 02:59 比 18:00 ~ 20:59 仅增加了 47.0%。此后时刻浓度开始降低, 直至 06:00 ~ 08:59 时段, 而又从

09:00 ~ 11:59 浓度开始增大, 可能是由于烟花爆竹中加入了一定量的非金属材料: 木炭、硫磺、红磷等, 燃放后会释放大量的气体: CO、CO₂、SO₂、NO_x、碳颗粒物及一定的热量, 在烟火时段湿度较大, 混合层较低 (见表 1), 所以会促使污染气体的二次转化, 一些有机酸会随后大量产生^[8]。所以 WSOC 在 00:00 ~ 05:59 增幅较大。06:00 ~ 08:59 开始混合层高度逐渐增高, 温度开始上升 (见表 1), 机动车和人流较少, 使得大气颗粒物不易累积, 易于被稀释和扩散。从而浓度偏低。而在 09:00 ~ 11:59, 人们开始走亲访友, 人流量和机动车逐渐增多, 人为源的增加使得 WSOC 的浓度又急剧上升。WSOC 与 EC 作为

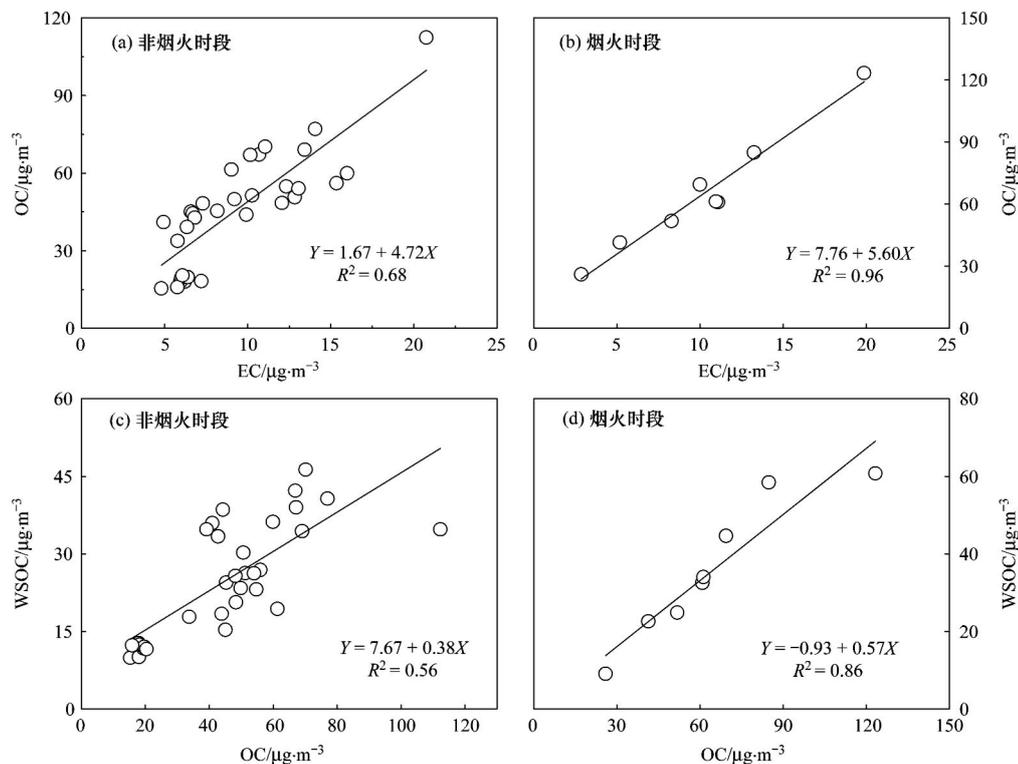


图 4 春节期间, 非烟火和烟火时段的 OC 与 EC、WSOC 与 OC 的相关性

Fig. 4 Correlation plots between OC and EC or WSOC during Spring Festival in Xi'an City

判断气溶胶是否老化的一个指标^[33],在交通密集区,WSOC/EC 比值为 0.32^[34],而在大尺度区域,大气中 WSOC/EC 比值 > 2.0^[34].而在本研究中,非烟火和烟火期间的平均比值分别为 2.8 ± 1.3 和 3.6 ± 0.7 ,均大于 2.0,说明,燃放烟花爆竹对区域环境的影响也比较显著.

2.4 含碳物质的相关性分析

OC 与 EC 的相关性在一定程度上能够判断是否来自相同的源,如图 4(a)和 4(b)所示,烟火期间的相关性显著相关,相关系数 R^2 为 0.96 明显优于非烟火期间的 0.68,说明在非烟火期间,OC 与 EC 来源较为复杂,而在烟火燃烧时段 OC 与 EC 可能主要来源于大量燃放烟花爆竹所致.WSOC 与 OC 在非烟火期间,相关性较差,相关性系数 R^2 仅为 0.56,说明非烟火期间,WSOC 为非一次性排放.而在烟火期间 R^2 上升为 0.86,说明 WSOC 更多地来自于一次排放,和 OC 具有相似或相同的来源.WSOC 与 EC 的相关性在烟火期间非常显著,相关性系数 R^2 为 0.80,远高于非烟火期间($R^2 = 0.23$),进一步说明 WSOC 更多来自于一次源的排放.

3 结论

(1)2011 年春节烟花燃放时段西安城区大气污染严重,PM_{2.5}质量浓度远高于正常时段浓度值.

(2)烟火时段 OC、EC 含量明显高于非烟火时段,含碳物质各组分相关比值显示非烟火时段主要是燃煤和机动车尾气排放为主,而在燃放烟花爆竹时刻,主要以燃放烟花爆竹的影响为主.

(3)烟火燃放时 WSOC、WIOC 浓度高于非烟火时段,说明烟花爆竹组成材料是烟火时段水溶性有机碳浓度明显增加的主要来源.WSOC 与 OC、EC 相关性分析表明春节烟火期间含碳物质更多的来自于烟花爆竹燃放,但其对烟火时段的气溶胶的贡献较小,仅为 9.4%.

致谢:感谢中国科学院地球环境研究所气溶胶实验室各位老师为本研究提供的实验支持和相关分析指导.

参考文献:

[1] Barman S C, Singh R, Negi M P S, *et al.* Fine particles (PM_{2.5}) in ambient air of lucknow city due to fireworks on diwali festival[J]. *Journal of Environmental Biology*, 2009, **30**(5): 625-632.

[2] Camilleri R, Vella A J. Effect of fireworks on ambient air quality in malta[J]. *Atmospheric Environment*, 2010, **44**(35): 4521-4527.

[3] Joly A, Smargiassi A, Kosatsky T, *et al.* Characterisation of particulate exposure during fireworks displays[J]. *Atmospheric Environment*, 2010, **44**(34): 4325-4329.

[4] Ravindra K, Mittal A K, Van Grieken R. Health risk assessment of urban suspended particulate matter with special reference to polycyclic aromatic hydrocarbons: a review [J]. *Reviews on Environmental Health*, 2001, **16**(3): 169-189.

[5] Kulshrestha U C, Rao T N, Azhagavel S, *et al.* Emissions and accumulation of metals in the atmosphere due to crackers and sparkles during Diwali festival in India [J]. *Atmospheric Environment*, 2004, **38**(27): 4421-4425.

[6] Drewnick F, Hings S S, Curtius J, *et al.* Measurement of fine particulate and gas-phase species during the New Year's fireworks 2005 in Mainz, Germany[J]. *Atmospheric Environment*, 2006, **40**(23): 4316-4327.

[7] Moreno T, Querol X, Alastuey A, *et al.* Recreational atmospheric pollution episodes: inhalable metalliferous particles from firework displays[J]. *Atmospheric Environment*, 2007, **41**(5): 913-922.

[8] Wang Y, Zhuang G S, Xu C, *et al.* The air pollution caused by the burning of fireworks during the lantern festival in Beijing[J]. *Atmospheric Environment*, 2007, **41**(2): 417-431.

[9] Vecchi R, Bernardoni V, Cricchio D, *et al.* The impact of fireworks on airborne particles[J]. *Atmospheric Environment*, 2008, **42**(6): 1121-1132.

[10] Puri V, Mahendru S, Rana R, *et al.* Firework injuries: a ten-year study[J]. *Journal of Plastic Reconstructive and Aesthetic Surgery*, 2009, **62**(9): 1103-1111.

[11] Perry K D. Effects of outdoor pyrotechnic displays on the regional air quality of western Washington state[J]. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 1999, **49**(2): 146-155.

[12] Godri K J, Green D C, Fuller G W, *et al.* Particulate oxidative burden associated with firework activity [J]. *Environmental Science & Technology*, 2010, **44**(21): 8295-8301.

[13] 李杏茹, 郭雪清, 刘欣然, 等. 2007 年春节期间北京大气颗粒物中多环芳烃的污染特征[J]. *环境科学*, 2008, **29**(8): 2099-2104.

[14] Zhang M, Wang X M, Chen J M, *et al.* Physical characterization of aerosol particles during the Chinese new year's firework events [J]. *Atmospheric Environment*, 2010, **44**(39): 5191-5198.

[15] 李利平, 张宁, 王振, 等. 春节燃放爆竹对大气气溶胶水溶性无机离子的影响[J]. *城市环境与城市生态*, 2008, **21**(5): 37-41.

[16] 赵金平, 徐亚, 张福旺, 等. 泉州郊区春节燃放烟花时段大气污染特征[J]. *环境科学*, 2011, **32**(5): 1224-1230.

[17] Wang G H, Kawamura K, Lee S, *et al.* Molecular, seasonal, and spatial distributions of organic aerosols from fourteen Chinese cities [J]. *Environmental Science & Technology*, 2006, **40**(15): 4619-4625.

[18] Okuda T, Okamoto K, Tanaka S, *et al.* Measurement and source identification of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the aerosol in Xi'an, China, by using automated column

- chromatography and applying positive matrix factorization (PMF) [J]. *Science of the Total Environment*, 2010, **408**(8): 1909-1914.
- [19] Shen Z X, Cao J J, Arimoto R, *et al.* Ionic composition of TSP and PM_{2.5} during dust storms and air pollution episodes at Xi'an, China[J]. *Atmospheric Environment*, 2009, **43**(18): 2911-2918.
- [20] Cao J J, Wu F, Chow J C, *et al.* Characterization and source apportionment of atmospheric organic and elemental carbon during fall and winter of 2003 in Xi'an, China [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2005, **5**(11): 3127-3137.
- [21] Cao J J, Zhang T, Chow J C, *et al.* Characterization of atmospheric ammonia over Xi'an, China [J]. *Aerosol and Air Quality Research*, 2009, **9**(2): 277-289.
- [22] Han Y M, Lee S C, Cao J J, *et al.* Spatial distribution and seasonal variation of char-EC and soot-EC in the atmosphere over China[J]. *Atmospheric Environment*, 2009, **43**(38): 6066-6073.
- [23] 曹军骥. 2003 年秋冬季西安大气中有机碳和元素碳的理化特征及其来源解析 [J]. *自然科学进展*, 2005, **15**(12): 1460-1466.
- [24] Cao J J, Lee S C, Chow J C, *et al.* Spatial and seasonal distributions of carbonaceous aerosols over China[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2007, **112**: D22S11, doi: 10.1029/2006JD008205.
- [25] Cao J J, Lee S C, Ho K F, *et al.* Characteristics of carbonaceous aerosol in Pearl River Delta Region, China during 2001 winter period[J]. *Atmospheric Environment*, 2003, **37**(11): 1451-1460.
- [26] Chang S C, Lin T H, Young C Y, *et al.* The impact of ground-level fireworks (13 km long) display on the air quality during the traditional Yanshui Lantern Festival in Taiwan [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2011, **172**(1-4): 463-479.
- [27] Li X, Guo X, Liu X, *et al.* Distribution and sources of solvent extractable organic compounds in PM_{2.5} during 2007 Chinese Spring Festival in Beijing [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2009, **21**(2): 142-149.
- [28] Shen Z X, Arimoto R, Cao J J, *et al.* Seasonal variations and evidence for the effectiveness of pollution controls on water-soluble inorganic species in total suspended particulates and fine particulate matter from Xi'an, China [J]. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 2008, **58**(12): 1560-1570.
- [29] Sarkar S, Khillare P S, Jyethi D S, *et al.* Chemical speciation of respirable suspended particulate matter during a major firework festival in india [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2010, **184**(1-3): 321-330.
- [30] Cachier H, Liousse C, Pertuisol M H, *et al.* African fine particulate emissions and atmospheric influence, biomass burning and global change[M]. London: MIT Press, 1996.
- [31] Turpin B J, Huntzicker J J. Identification of secondary organic aerosol episodes and quantitation of primary and secondary organic aerosol concentrations during SCAQS [J]. *Atmospheric Environment*, 1995, **29**(23): 3527-3544.
- [32] Chow J C, Watson J G, Lowenthal D H, *et al.* PM₁₀ and PM₂₅ compositions in California San Joaquin Valley [J]. *Aerosol Science and Technology*, 1993, **18**(2): 105-128.
- [33] Ho K F, Lee S C, Cao J J, *et al.* Variability of organic and elemental carbon, water soluble organic carbon, and isotopes in Hong Kong [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2006, **6**(12): 4569-4576.
- [34] Ruellan S, Cachier H. Characterisation of fresh particulate vehicular exhausts near a Paris high flow road [J]. *Atmospheric Environment*, 2001, **35**(2): 453-468.

CONTENTS

Characterization of Chemical Compositions in PM _{2.5} and Its Impact on Hazy Weather During 16 th Asian Games in Guangzhou	TAO Jun, CHAI Fa-he, GAO Jian, <i>et al.</i> (409)
PM _{2.5} Pollution and Aerosol Optical Properties in Fog and Haze Days During Autumn and Winter in Beijing Area	ZHAO Xiu-juan, PU Wei-wei, MENG Wei, <i>et al.</i> (416)
Forming Potential of Secondary Organic Aerosols and Sources Apportionment of VOCs in Autumn of Shanghai, China	WANG Qian, CHEN Chang-hong, WANG Hong-li, <i>et al.</i> (424)
Study on Number Concentration Distribution of Atmospheric Ultrafine Particles in Hangzhou	XIE Xiao-fang, SUN Zai, FU Zhi-min, <i>et al.</i> (434)
Pollution Characteristics and Source Identification of Atmospheric Particulate Matters <i>n</i> -Alkanes in Baoding City	LI Xing-ru, DU Xi-qiang, WANG Ying-feng, <i>et al.</i> (441)
Study on Pollution Characteristics of Carbonaceous Aerosols in Xi'an City During the Spring Festival	ZHOU Bian-hong, ZHANG Cheng-zhong, WANG Ge-hui (448)
Characteristics of PM ₁₀ and PM _{2.5} Concentrations in Mountain Background Region of East China	SU Bin-bin, LIU Xin-dong, TAO Jun (455)
Assessment of TVOC and Odor in the Remediation Site of Contaminated Soil and Groundwater Using Electronic Nose	TIAN Xiu-ying, CAI Qiang, LIU Rui, <i>et al.</i> (462)
Characteristics of Mercury Exchange Flux Between Soil and Atmosphere Under the Snow Retention and Snow Melting Control	ZHANG Gang, WANG Ning, AI Jian-chao, <i>et al.</i> (468)
Study on Heavy Metal Contaminations and the Sources of Pb Pollution in Jinghai Bay Using the Stable Isotope Technique	XU Lin-bo, GAO Qin-feng, DONG Shuang-lin, <i>et al.</i> (476)
Eco-environmental Evolution Inferred from <i>n</i> -Alkanes and $\delta^{13}\text{C}$ Records in the Sediments of Shijiu Lake	OU Jie, WANG Yan-hua, YANG Hao, <i>et al.</i> (484)
Distribution of PGEs Contents and Its Factors in Snowfall and Snow Cover over the Arid Region in Changji City	LIU Yu-yan, LIU Hao-feng, ZHANG Lan (494)
Effect of Dust Deposition Collection Methods on Collection Efficiency	ZHANG Zheng-cai, DONG Zhi-bao (499)
Regionalization of the Freshwater Eco-regions in the Haihe River Basin of China	SUN Ran-hao, JI Yu-he, SHANG Lin-yuan, <i>et al.</i> (509)
Characteristics of Diffuse Attenuation Coefficient of Underwater Irradiance in the Lakes in the Middle and Lower Reaches of Yangtze River	SHI Zhi-qiang, ZHANG Yun-lin, WANG Ming-zhu, <i>et al.</i> (517)
Study on Influencing Factors and Universality of Chlorophyll- <i>a</i> Retrieval Model in Inland Water Body	HUANG Chang-chun, LI Yun-mei, XU Liang-jiang, <i>et al.</i> (525)
Effect of Dissolved Oxygen on Diversity of Ammonia-Oxidizing Microorganisms in Enrichment Culture from Estuarine Wetland Surface Sediments and Ammonia-oxidizing Rate	QIU Zhao-zheng, LUO Zhuan-xi, ZHAO Yan-ling, <i>et al.</i> (532)
Spatial Variation of Soil Moisture/Salinity and the Relationship with Vegetation Under Natural Conditions in Yancheng Coastal Wetland	ZHANG Hua-bing, LIU Hong-yu, LI Yu-feng, <i>et al.</i> (540)
Spatial Heterogeneity and Classified Control of Agricultural Non-Point Source Pollution in Huaihe River Basin	ZHOU Liang, XU Jian-gang, SUN Dong-qi, <i>et al.</i> (547)
Phosphorus Output Characteristics Under Different Rainfall-Runoffs in Gaolan River	CUI Yu-jie, LIU De-fu, SONG Lin-xu, <i>et al.</i> (555)
Monitoring and Analysis on Evolution Process of Rainfall Runoff Water Quality in Urban Area	DONG Wen, LI Huai-en, LI Jia-ke (561)
Characteristics and Contribution of the Strengthening Units of Composite Constructed Wetland for Treating Urban Sewage	REN Feng, LU Yi-xia, LIU Qin, <i>et al.</i> (570)
Inactivation of <i>Mycobacteria mucogenicum</i> in Drinking Water: Chlorine Resistance and Mechanism Analysis	ZHENG Qi, CHEN Chao, ZHANG Xiao-jian, <i>et al.</i> (576)
Partial Biological Characteristics and Algicidal Activity of an Algicidal Bacterium	LI San-hua, ZHANG Qi-ya (583)
Effects of Macrophytes Pyrolysis Bio-oil on <i>Skeletonema costatum</i> Antioxidant Enzyme Activities	YAO Yuan, LI Feng-min, LI Yuan-yuan, <i>et al.</i> (589)
Mechanism and Kinetics of Phenol Degradation by TiO ₂ Photocatalytic Combined Technologies	ZHANG Yi, HUANG Ruo-nan, WANG Xiao-min, <i>et al.</i> (596)
Biodegradation Characteristics of Organic Pollutants Contained in Tannery Wastewater	WANG Yong, LI Wei-guang, YANG Li, <i>et al.</i> (604)
Microbial Degradation Mechanism of Disperse Azo Dye Red 30 by <i>Streptomyces</i> sp. FX645	XIE Lian-wu, FANG Ji-qian, GUO Ya-ping (611)
Study on Preparation and Performance of a Biological Carrier with Tourmaline	YANG Ji-xian, ZENG Hong-yun, ZHOU Yi, <i>et al.</i> (616)
Study on the <i>Chlorella pyrenoidosa</i> Cultivation Technology Based on the Excess Sludge Utilization	JI Wen-wen, XIA Hui-long, FANG Zhi-guo, <i>et al.</i> (622)
Effects of Mild Thermal Pretreatment on Anaerobic Digestibility of Sludge with Low Organic Content	CHEN Han-long, YAN Yuan-yuan, HE Qun-biao, <i>et al.</i> (629)
Effect of Natural and Hydrothermal Synthetic Goethite on the Release of Methane in the Anaerobic Decomposition Process of Organic Matter	YAO Dun-fan, CHEN Tian-hu, WANG Jin, <i>et al.</i> (635)
Concentrations and Distribution Characteristics of PCDD/Fs in Spent Etching Solution and Its Copper Salt Recycling Products	QING Xian, HAN Jing-lei, WEN Yan-shen (642)
Case Study on Health Risk Assessment Based on Site-Specific Conceptual Model	ZHONG Mao-sheng, JIANG Lin, YAO Jue-jun, <i>et al.</i> (647)
Study on the Risk Assessment Method of Regional Groundwater Pollution	YANG Yan, YU Yun-jiang, WANG Zong-qing, <i>et al.</i> (653)
Groundwater Organic Pollution Source Identification Technology System Research and Application	WANG Xiao-hong, WEI Jia-hua, CHENG Zhi-neng, <i>et al.</i> (662)
Study on Soil Organic Carbon Pools and Turnover Characteristics Along an Elevation Gradient in Qilian Mountain	ZHU Ling-yu, PAN Jian-jun, ZHANG Wei (668)
Response of Black Soil Organic Carbon, Nitrogen and Its Availability to Long-term Fertilization	LUO Kun, HU Rong-gui, ZHANG Wen-ju, <i>et al.</i> (676)
Phytoavailability and Chemical Speciation of Cadmium in Different Cd-Contaminated Soils with Crop Root Return	ZHANG Jing, YU Ling-ling, XIN Shu-zhen, <i>et al.</i> (685)
Study on Mechanism of SOM Stabilization of Paddy Soils Under Long-term Fertilizations	LUO Lu, ZHOU Ping, TONG Cheng-li, <i>et al.</i> (692)
Aging Process of Cr(III) in 22 Typical Soils of China and Influence Factors Analysis	ZHENG Shun-an, ZHENG Xiang-qun, LI Xiao-chen, <i>et al.</i> (698)
Residual Characteristics of HCHs in Soils of a Former Lindane Production Enterprise	PAN Feng, WANG Li-li, ZHAO Hao, <i>et al.</i> (705)
Evaluation and Source Analysis of the Mercury Pollution in Soils and Vegetables Around a Large-scale Zinc Smelting Plant	LIU Fang, WANG Shu-xiao, WU Qing-ru, <i>et al.</i> (712)
Residue of Organic Fluorine Pollutants in Hair and Nails Collected from Tianjin	YAO Dan, ZHANG Hong, CHAI Zhi-fang, <i>et al.</i> (718)
Analysis of Estrogens, Nonylphenol, 4-tert-Octylphenol and Bisphenol A in the Sediments	WU Wei, SHI Jiang-hong, CHEN Qing-cai, <i>et al.</i> (724)
Investigation of As, Cu and Zn Species and Concentrations in Animal Feeds	YAO Li-xian, HUANG Lian-xi, JIANG Zong-yong, <i>et al.</i> (732)
Residue Dynamics of Flubendiamide in Paddy Field	WANG Dian-dian, SONG Ning-hui, WU Wen-zhu, <i>et al.</i> (740)
Isolation of Two Endophytic Phenanthrene-Degrading Strains and Their Degradation Capacity	NI Xue, LIU Juan, GAO Yan-zheng, <i>et al.</i> (746)
Biodegradation of Nitrobenzene by a Halophilic <i>Myroides odoratimimus</i> Strain Y6	LI Tian, QIAN Kun, XIAO Wei, <i>et al.</i> (753)
Effect of Immobilization on Biosensor for Benzene Derivates Detection	TANG Kuo, MA An-zhou, YU Qing, <i>et al.</i> (760)
Investigation of Bacterial Diversity in the Biological Desulfurization Reactor for Treating High Salinity Wastewater by the 16S rDNA Cloning Method	LIU Wei-guo, LIANG Cun-zhen, YANG Jin-sheng, <i>et al.</i> (767)
Assessment of the Effect of Influent NH ₄ ⁺ -N Concentration on the Abundance and Community Structure of Functional Bacteria in CANON Process	LIU Tao, LI Dong, ZENG Hui-ping, <i>et al.</i> (773)
Biodegradation of Lignocellulose by <i>Penicillium simplicissimum</i> and Characters of Lignocellulolytic Enzymes	SHEN Ying, HU Tian-jue, ZENG Guang-ming, <i>et al.</i> (781)
Microbial Community Structure and Distribution Characteristics in Oil Contaminated Soil	YANG Meng-qing, LI Li-ming, LI Chuan, <i>et al.</i> (789)
Degradation of Oxytetracycline in Chicken Feces Aerobic-Composting and Its Effects on Their Related Parameters	WANG Gui-zhen, LI Zhao-jun, ZHANG Shu-qing, <i>et al.</i> (795)
Research of Moisture Content Variation in MSW Landfill	LI Rui, LIU Jian-guo, XUE Yue-wei, <i>et al.</i> (804)
Anaerobic Digestion of Lignocellulosic Biomass with Animal Digestion Mechanisms	WU Hao, ZHANG Pan-yue, GUO Jian-bin, <i>et al.</i> (810)

《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2月15日 34卷 第2期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 2 Feb. 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. sciencecp. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencecp. 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

国内外公开发刊