

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第39卷 第4期

Vol.39 No.4

2018

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

京津冀地区钢铁行业污染物排放清单及对PM _{2.5} 影响	段文娇, 郎建全, 程水源, 贾佳, 王晓琦 (1445)
京津冀内陆平原区PM _{2.5} 浓度时空变化定量模拟	郝静, 孙成, 郭兴宇, 王卫, 刘方田, 党海燕 (1455)
成都市冬季相对湿度对颗粒物浓度和大气能见度的影响	刘凡, 谭钦文, 江霞, 蒋文举, 宋丹林 (1466)
华山地区PM _{2.5} 中无机离子垂直分布特征	曹聪, 王格慧, 吴灿, 李建军, 刘浪, 李瑾, 余兴 (1473)
烟花爆竹集中燃放的大气细颗粒物(PM _{2.5})成分图谱	谢瑞加, 侯红霞, 陈永山 (1484)
长三角地区中小燃煤锅炉PM _{2.5} 成分谱特征	徐健, 黄成, 李莉, 陈勇航, 楼晟荣, 乔利平, 王鸿宇 (1493)
民用燃煤排放分级颗粒物中重金属排放因子	严沁, 孔少飞, 刘海彪, 王伟, 吴剑, 郑明明, 郑淑睿, 杨国威, 吴方琪 (1502)
冬、春季青岛大气气溶胶中乙二酸的分布特征及影响因素	张帅, 石金辉, 姚小红, 高会旺 (1512)
青岛大气降水中微量元素的浓度及溶解度	李茜, 石金辉, 李鹏志, 姚小红, 高会旺 (1520)
辽东湾大气中多环芳烃的含量组成及气粒分配	张玉凤, 宋永刚, 田金, 赵海勃, 杨爽, 吴金浩 (1527)
典型地区大气新型卤代阻燃剂污染特征、来源分析及人体暴露	李琦路, 杨孔, 李军, 张干 (1537)
苏州工业园区室内外颗粒物中多溴联苯醚污染特征及人体暴露水平	王俊霞, 顾海东, 张占恩, 钱飞跃 (1544)
上海市大气污染对感冒疾病相对危险度的影响	杨丝絮, 马玉霞, 周建丁, 周骥 (1552)
城镇化河流溶解性有机质的荧光特性与水质相关性:以宁波市北仑区芦江为例	曹昌丽, 梁梦琦, 何桂英, 纵亚男, 唐剑锋 (1560)
艾比湖区域景观格局与河流水质关系探讨	曹灿, 张飞, 阿依尼格·亚力坤, 朱世丹, 郭苗, 阿丽米热·塔力甫江, Kung Hsiangte (1568)
三峡澎溪河水华期间水体CH ₄ 浓度及其通量变化特征初探	秦宇, 张渝阳, 李哲, 马健荣 (1578)
漓江段地表水体旱季硝酸盐动态变化特征及其来源	苗迎, 章程, 肖琼, 赵海娟, 李成习 (1589)
柳江流域饮用水源地重金属污染与健康风险评价	张清华, 韦永著, 曹建华, 于爽 (1598)
黄柏河流域梯级水库沉积物磷形态特征及磷释放通量分析	刘佳, 雷丹, 李琼, 王亮, 张平, 肖尚斌 (1608)
白洋淀典型持久性有机污染物污染特征与风险评估	高秋生, 焦立新, 杨柳, 田自强, 杨苏文, 安月霞, 贾海斌, 崔志丹 (1616)
典型有机氯农药在珠三角地区多介质环境中的归趋模拟	高梓闻, 徐月, 亦如瀚 (1628)
河道水旁路处理中试工艺中PPCPs的去除效果及机制	李力, 朱耕, 白瑶, 赵健, 曹之淇, 郭泓利, 李凌云, 左剑勇 (1637)
蔡普生在氯消毒过程中的去除、转化与风险评价	樊鑫鑫, 杜尔登, 李佳琦, 赵丽丽, 王聿琳, 彭明国 (1645)
真空紫外/氯处理饮用水典型致嗅物质	孙昕, 张焱, 史路肖, 陈笑涵, 唐晓 (1654)
热活化过硫酸盐降解三氯生	蒋梦迪, 张清越, 季跃飞, 陆鸢鹤 (1661)
水体模拟颗粒物对四环素的吸附特性及基本规律	徐龙凤, 魏群山, 吕强, 唐立朋, 刘亚男, 柳建设 (1668)
海水优化ANAMMOX包埋固定化及其处理含海水污水的脱氮性能	单晓静, 于德爽, 李津, 陈光辉, 冯莉, 吕廷廷, 邵青 (1677)
外源甜菜碱投加增强高盐废水厌氧氨氧化脱氮性能	于德爽, 吴国栋, 李津, 周同, 王晓静 (1688)
硝化污泥富集及其强化高氨氮冲击的中试研究	盛晓琳, 崔灿灿, 王家德, 刘锐, 徐峰, 陈吕军 (1697)
分段进水对改良A ² /O-BAF双污泥系统反硝化除磷脱氮的影响	南彦斌, 彭永臻, 曾立云, 赵智超, 刘宏, 李慧, 陈永志 (1704)
不同温度下应用比值控制实现连续流好氧颗粒污泥短程硝化	梁东博, 卞伟, 阚睿哲, 王文啸, 赵青, 孙艺齐, 李军 (1713)
智能化曝气控制A/O工艺活性污泥特性演化对内源反硝化脱氮的作用机制	徐旻昶, 胡湛波, 张穗生, 李昊航 (1720)
温度对一体式厌氧流化床膜生物反应器运行效能及微生物群落结构的影响	李玥, 胡奇, 高文 (1731)
污泥臭原位减量工艺中抗生素的去除	汪鲁, 黄伟伟, 李彦刚, 强志民 (1739)
零价铁对污泥厌氧消化过程中四环素抗性基因水平转移的作用影响	杨帆, 徐雯丽, 钱雅洁, 刘振鸿, 薛罡, 高品 (1748)
环境因子对全自养脱氮颗粒污泥功能菌协同效应的影响	陈希, 钱飞跃, 王建芳, 高军军, 沈耀良, 贾珣 (1756)
后置固相反硝化滤池工艺沿程微生物特性	张千, 吉芳英, 徐璇 (1763)
复合菌株YH01+YH02强化SBR好氧反硝化脱氮及菌群结构分析	陈海升, 曹刚, 张迪, 黄郑郑, 莫测辉 (1773)
氮磷失衡下膨胀污泥性能及膨胀菌群落结构变化	贺雪濛, 丁丽丽, 张璐璐, 顾卓江, 任洪强 (1782)
1株铜绿假单胞菌对砷的降解特性及代谢途径	李想, 张雪英, 周俊, 宋军, 王建刚, 雍晓雨, 贾红华 (1794)
铜尾矿库坝面土壤微生物群落动态的驱动因子	李鑫, 景炬辉, 刘晋仙, 柴宝峰 (1804)
垦殖对桂林会仙喀斯特湿地土壤养分与微生物活性的影响	黄科朝, 沈育伊, 徐广平, 黄玉清, 张德楠, 孙英杰, 李艳琼, 何文, 周龙武 (1813)
黄土丘陵区退耕还林还草对土壤细菌群落结构的影响	陈孟立, 曾全超, 黄懿梅, 倪银霞 (1824)
河岸带表层土壤的铁氨氧化(Feammox)脱氮机制的探究	丁帮琛, 李正魁, 朱鸿杰, 陈湜, 覃云斌, 杨建华, 胡优优 (1833)
藏猪扰动作用下的高寒草甸土壤退化特征及微生物群落结构变化	展鹏飞, 肖德荣, 闫鹏飞, 刘振亚, 马金成, 陈志明, 格茸, 田伟, 王行 (1840)
深圳湾典型红树植物根表铁膜及其重金属富集特征	沈小雪, 李瑞利, 柴民伟, 邱国玉 (1851)
香港周边海域野生鱼体内DDTs和PCBs的含量分布和食用风险评估	苏杨, 鲍恋君, 曾永平 (1861)
偏远高山湿地土壤中PAHs污染特征:以神农架大九湖为例	胡天鹏, 邢新丽, 柯艳萍, 毛瑶, 黎荧, 郑煌, 喻月, 张家泉, 祁士华 (1872)
西南地区典型森林水库土壤和沉积物汞的迁移转化特征	孙涛, 马明, 王永敏, 安思危, 王定勇 (1880)
广西西江流域土壤镉含量特征及风险评估	宋波, 杨子杰, 张云霞, 王佛鹏, 周浪, 李黎, 钟雪梅 (1888)
长期施肥对旱地红壤及作物中砷累积的影响	张蓉, 余光辉, 李亚青 (1901)
三元土壤调理剂对田间水稻镉累积转运的影响	辜娇峰, 周航, 贾润语, 王倩倩, 李虹呈, 张平, 彭佩钦, 廖柏寒 (1910)
稻田土壤性质与水稻镉含量的定量关系	王梦梦, 何梦媛, 苏德纯 (1918)
钙基膨润土辅助对堆肥及土壤Cu、Zn形态转化和白菜吸收的影响	赵军超, 王权, 任秀娜, 李荣华, Mukesh Kumar Awasthi, Altaf Hussain Lahori, 张增强 (1926)
外源碳和氮输入对降水变化下土壤呼吸的短期影响	贺云龙, 齐玉春, 彭琴, 董云社, 郭树芳, 闫钟清, 李兆林, 王丽芹 (1934)
模拟降水量减少对大豆-冬小麦轮作农田土壤呼吸的影响	王朝辉, 陈书涛, 孙鹭, 胡正华 (1943)
紫色土丘陵区农田源头沟渠一氧化氮排放的季节差异及影响因素	田琳琳, 任光前, 朱波 (1952)
季节非对称升温对喀斯特土壤CO ₂ 释放的影响	唐国勇, 张春华, 刘方炎, 李昆, 马艳 (1962)
《环境科学》征订启事 (1472)	
《环境科学》征稿简则 (1511)	
信息 (1755, 1839, 1925)	

烟花爆竹集中燃放的大气细颗粒物($\text{PM}_{2.5}$)成分图谱

谢瑞加¹, 侯红霞², 陈永山^{3*}

(1. 泉州市环境监测站, 泉州 362000; 2. 广州禾信仪器股份有限公司, 广州 510530; 3. 泉州师范学院资源与环境科学学院, 泉州 362000)

摘要: 烟花爆竹燃放是大气细颗粒物($\text{PM}_{2.5}$)来源的途径之一. 以泉州城区春节期间为例, 研究烟花爆竹燃放对大气细颗粒物的影响, 服务大气污染的特殊污染源管理. 结果表明, 烟花爆竹集中燃放时段, SO_2 、 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度明显升高, 尤以 $\text{PM}_{2.5}$ 的升高最为显著, 城区 $\text{PM}_{2.5}$ 日均浓度峰值约为年均值的 4 倍, 涂山街点位 $\text{PM}_{2.5}$ 小时浓度峰值约为城区年均值的 21 倍; 燃放高峰期 Al、Mg、Ba、Cu、Sr 等烟花爆竹的特征元素占比迅速上升, Al^+ 、 Mg^+ 、 Ba^+ 、 Cu^+ 间的小时数浓度高度相关; 监测期间泉州城区细颗粒物主要污染源是烟花爆竹燃放和生物质燃烧, 贡献占总颗粒物的一半以上, 燃煤和工业工艺源的比例相对较低, 均低于 10.0%; 集中燃放时段大气细颗粒物浓度高达 $0.578 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, 此时的烟花源的贡献比例也提升到 58.2%; 污染过程分析表明 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度与烟花源的占比、数浓度的变化趋势具有趋同性. 以上结果说明烟花爆竹的集中燃放是春节期间泉州大气环境恶化的主要原因.

关键词: 泉州; 大气细颗粒物($\text{PM}_{2.5}$); 单颗粒气溶胶飞行时间质谱仪(SPAMS); 烟花爆竹; 污染源

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2018)04-1484-09 DOI: 10.13227/j.hjxx.201705153

Analysis of the Composition of Atmospheric Fine Particles ($\text{PM}_{2.5}$) Produced by Burning Fireworks

XIE Rui-jia¹, HOU Hong-xia², CHEN Yong-shan^{3*}

(1. Environmental Monitoring Station of Quanzhou, Quanzhou 362000, China; 2. Guangzhou Hexin Instrument Co., Ltd., Guangzhou 510530, China; 3. School of Resources and Environmental Science, Quanzhou Normal University, Quanzhou 362000, China)

Abstract: Burning fireworks is one of the sources of atmospheric fine particles ($\text{PM}_{2.5}$). The Chinese Spring Festival in Quanzhou City was taken as an example to study the effects of burning fireworks on the occurrence of $\text{PM}_{2.5}$, and provide information on protection against air pollution caused by special pollution sources. The results showed that the concentrations of SO_2 , PM_{10} , and $\text{PM}_{2.5}$ increased appreciably, and the concentration of $\text{PM}_{2.5}$ increased most significantly during the fireworks burning period. The peak daily average concentration in the urban area was about 4 times the annual average concentration in the urban area. The peak value of the hourly average concentration of $\text{PM}_{2.5}$ in the Tushan Street station was about 21 times the annual average concentration in the urban area. At the peak of the discharge, the ratios of the characteristic elements of fireworks, such as Al, Mg, Ba, Cu, and Sr, increased rapidly, and the hourly number concentrations of Al^+ , Mg^+ , Ba^+ , and Cu^+ were highly correlated. During the monitoring period, the main pollution sources of fine particles in Quanzhou City were fireworks and biomass burning, which accounted for more than half of the total particulate matter. The proportion of pollutants originating from coal-based and industrial process sources were relatively low, and both of them accounted for less than 10.0% of the particulate matter. The concentration of $\text{PM}_{2.5}$ was up to $0.578 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ during the fireworks burning period, the rate of contribution by fireworks increased to 58.2%. Analysis of the pollution process showed that the changes in the concentration of $\text{PM}_{2.5}$ have a similar trend with the number concentration and the ratio of fireworks burning. The results indicated that the main reason of the deterioration of the atmospheric environment during the Chinese Spring Festival in Quanzhou is the centralized discharging of fireworks.

Key words: Quanzhou; atmospheric fine particles ($\text{PM}_{2.5}$); single particle aerosol mass spectrometer (SPAMS); fireworks; pollution sources

霾天气的发生与大气细颗粒物($\text{PM}_{2.5}$)污染密切相关^[1]. 细颗粒物是大气的重要组分, 其化学成分复杂, 粒径小, 在环境中停留时间长, 可显著降低大气能见度, 改变成云过程, 在气候变化中起到重要作用^[2]. 同时, 细颗粒物中含有重金属、多环芳烃和酸性物质等众多有毒有害物质, 对人体健康尤其是呼吸系统和血液循环系统具有明显损害作用^[3-6]. 在我国, 大气细颗粒污染引起的人体健康

风险引起了政府和公众的广泛关注, 已然成为跨疆域尺度的社会事件.

收稿日期: 2017-05-16; 修订日期: 2017-09-15

基金项目: 国家自然科学基金项目(41301572, 41671495); 福建省高等学校新世纪优秀人才支持计划项目; 泉州市“桐江学者”特聘教授支持计划项目; 泉州市环境监测站大气颗粒物源解析(一期)采购及服务项目

作者简介: 谢瑞加(1982~), 男, 硕士研究生, 工程师, 主要研究方向为大气污染监测及来源解析, E-mail: 30617603@qq.com

* 通信作者, E-mail: yshchen421@163.com

春节假期是我国人口大幅度迁移扩散的主要时间,大部分城区往往因为企业的停产、机动车的锐减和建筑工地的停工等因素在空气质量上表现出良好的趋势。但春节期间民俗活动燃放的烟花爆竹,在短时间内向大气中排放了大量的二氧化硫、氮氧化物、重金属、有机物及烟尘颗粒,导致空气质量迅速恶化^[7,8]。已有的研究表明,烟花爆竹燃放会在短时间内引起大气细颗粒物浓度的急剧升高,严重影响城区空气环境质量,在集中燃放时间段出现极度的空气质量超标现象^[9~12]。另一方面,燃放烟花爆竹显著影响了大气细颗粒物的化学组分,在有机碳、硝酸盐、硫酸盐和氯化物等化学成分, Ba、K、Mg、Al、Sr、Cr 等元素含量以及有毒有害物质如多环芳烃浓度等方面表现出大幅度的升高^[13~20],对春节假期颗粒物污染有较大的贡献^[21,22],给城区居民身体健康带来极大的潜在风险,也给春季期间大气污染防治工作带来较大挑战。因此,如何缓解烟花爆竹集中燃放对大气环境质量影响,是春节期间大气污染防治的首要工作,也是保障春节假期居民身心健康的重要一环。鉴于此,本文拟采用单颗粒在线气溶胶质谱仪(SPAMS)研究春节期间泉州市区大气细颗粒物的污染物谱,通过解析烟花爆竹燃放过程大气细颗粒的化学组成成分的动态特征,以期为特征污染源的大气污染源解析提供方法论,也为烟花爆竹集中燃放的大气污染防治提供理论基础和参考依据。

1 材料与方法

1.1 采样点设置

大气细颗粒物质量浓度监测点位于泉州城区涂山街($\text{E}118^{\circ}34'55''$, $\text{N}24^{\circ}54'42''$),为国控点;颗粒物化学组分及理化性质监测点位于泉州环境监测大楼楼顶($\text{E}118^{\circ}34'21''$, $\text{N}24^{\circ}54'21''$),与该国控点的直线距离约为 1 km,且两点间无明显的工业污染源,认为两点监测结果代表同一区域的大气细颗粒物环境状况。

1.2 监测仪器及分析方法

大气细颗粒物质量浓度采用 5030-SHARP 型 $\text{PM}_{2.5}$ 分析仪(美国 Thermo Fisher Scientific 公司)在线监测。仪器通过 β 射线法,加载动态加热和光散射模块实时测定大气中的细颗粒物浓度。大气颗粒物由恒定流量(采样流量为 $1 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)的采样泵抽取进入仪器,经过切割头切割,然后进入一段垂直

加热管动态加热(尽可能地去水分干扰,同时保留 VOCs 等有效成分),最后样品被采集到玻璃纤维滤膜上。 $\text{C}14$ 产生的 β 射线穿过滤膜和颗粒物发生衰减,颗粒物质量越大,衰减越多。检测器根据连续衰减率计算得到颗粒物质量。其负载的光散射模块可将 β 射线数据与光散射数据进行同步修正计算,从而得到更加精确的瞬时颗粒物浓度。

大气细颗粒物化学组分及理化性质分析采用 SPAMS-0515 型在线单颗粒气溶胶质谱仪。详细工作原理及数据采集等见文献[23]。仪器由进样系统、测径系统、激光电离系统和飞行时间质量分析器组成,气溶胶颗粒通过空气动力学透镜加速聚焦进入真空系统,在测径区域,由两束测径激光测量其空气动力学直径并触发电离激光对测径的颗粒精确电离,电离产生的正离子和负离子通过飞行时间质量分析器检测其化学成分。获取的颗粒物数据将利用示踪离子法,依据泉州市本地化源谱库中不同源排放污染物的特征离子,与空气颗粒物在线质谱测量结果比对而进行分类,主要将颗粒物分为烟花爆竹颗粒、燃煤颗粒、机动车尾气颗粒、工业工艺颗粒、扬尘颗粒、生物质燃烧颗粒、纯二次无机颗粒等几大类,从而获取监测点位细颗粒物的来源情况。与离线方法相比,该方法具有时间分辨率高、快速、动态等特点,可以捕捉特殊污染事件的化学演化过程,已广泛应用于单颗粒气溶胶的研究^[24~29]。但是该方法主要是基于数浓度和质谱图的结果,与经典源解析基于质量浓度的结果不具有可比性,对细颗粒物的来源构成研究尚存在一定的缺陷。其中,在已有单颗粒质谱分析法的研究中,将钾离子和左旋葡聚糖碎片峰作为生物质燃烧的示踪离子^[30],会高估生物质燃烧源在环境空气中的比率^[31]。同时,该方法主要是基于 $0.2 \sim 2.5 \mu\text{m}$ 范围内的颗粒粒径及化学组分进行的检测分析,不包括 $0.2 \mu\text{m}$ 以下的超细颗粒物,无法完全覆盖具有细颗粒物特征的粒子。

SO_2 、 NO_2 、 CO 、 O_3 分析仪均采用美国 Thermo Fisher Scientific 公司的仪器。

1.3 样品分析

2017 年 1 月 27 日 00:00 ~ 2017 年 2 月 2 日 23:00,利用单颗粒气溶胶质谱仪(SPAMS)和其他多种环境监测仪器对大气污染现象进行高时间分辨的长期连续监测。共采集到具有测径信息的颗粒物(SIZE)375335 个,同时具有正、负谱图的颗粒(MASS)108589 个。SPAMS 捕获的细颗粒物数浓度

与 $\text{PM}_{2.5}$ 分析仪测得的质量浓度随时间变化的趋势基本一致,如图 1 所示,相关系数 r 为 0.72,说明颗粒物的个数在一定程度上也能反映细颗粒物的污染程度.

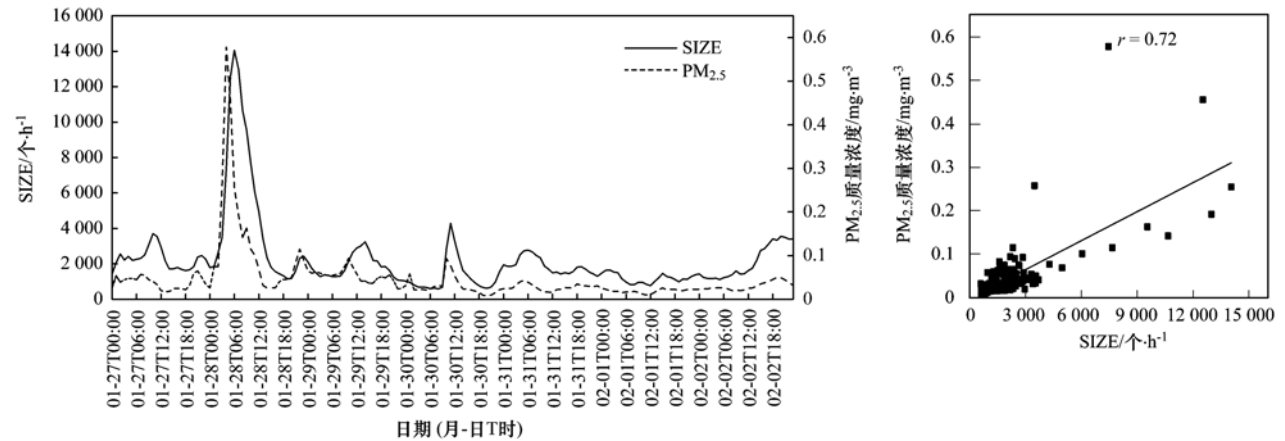


图 1 $\text{PM}_{2.5}$ 质量浓度与数浓度相关性分析

Fig. 1 Analysis of the correlation between the number concentrations and mass concentrations of $\text{PM}_{2.5}$

2 结果与讨论

2.1 烟花爆竹集中燃放期间的大气环境质量分析

一般而言,春节期间我国大部分主城区大部分企业停产和半停产、机动车数量骤减、建筑工地几乎全部停工,特征污染源排放量大幅下降,城区的大气环境质量得到有效的改善.但是,春节期间如大年初一往往为全国各地区烟花爆竹集中燃放的时段,给大气环境质量带来较大的影响.如表 1 所示,春节期间,泉州城区大年初一各项大气环境质量指标均大于正常时间段的大气环境质量,其中颗粒物浓度(PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$)是年均值的 3~4 倍,细颗粒物的浓度升高更为显著,均值达 $0.130\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$,约为年均值的 4 倍.如图 2 所示,春节期间,特别是跨年夜,由于烟花爆竹的集中燃放,多项污染指标浓度飙升,其中涂山街点位的 SO_2 、 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 小时

均值峰值分别达 0.053 、 0.549 和 $0.578\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$,三者分别约为 2016 年全市年均浓度的 4 倍、11 倍和 21 倍.以上监测结果说明此期间大气环境受明显的特征污染源的影响.张小玲等^[10]分析了不同气象条件下烟花爆竹燃放对空气质量的影响,结果表明春节燃放烟花爆竹对城市空气质量有一定的影响,对颗粒物浓度的影响要远高于对污染气体(SO_2 和 NO_2) 的影响,特别是除夕和元宵节集中燃放时段 PM_{10} 明显增加, $\text{PM}_{2.5}$ 浓度增加更为显著.潘本峰等^[11]针对春节期间燃放烟花爆竹对我国城市空气质量影响进行了分析,结果表明集中燃放烟花爆竹对我国城市环境空气质量造成了严重影响,大部分城市在集中燃放日出现空气质量超标现象,燃放烟花爆竹可导致空气中 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 等污染物浓度显著上升.因此,烟花爆竹的集中燃放可能是春节期间城区大气环境质量恶化的主要原因.

表 1 泉州城区 2017 春节期间大气环境质量¹⁾

Table 1 Atmospheric environmental quality during the Spring Festival in Quanzhou urban area

时间	O_3^*	NO_2	SO_2	CO	PM_{10}	$\text{PM}_{2.5}$	AQI	空气质量级别
大年初一	0.076	0.036	0.018	0.610	0.135	0.130	172	中度污染
春节期间	0.057	0.031	0.010	0.644	0.052	0.047	—	—
2016 年均值	0.074	0.027	0.011	0.600	0.048	0.028	—	—

1) 各污染物浓度单位均为 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, AQI 为无量纲指数; 大气环境质量数据为泉州城区涂山街、津头埔、万安这 3 个国控空气质量评价点位的平均值, 其中 O_3^* 指 O_3 日最大 8 h 滑动平均值, AQI 为空气质量指数, AQI 和空气质量级别规定详见《GB 3095-2012 环境空气质量标准》

2.2 烟花爆竹燃放产生的细颗粒物与春节期间大气细颗粒物的成分谱分析

图 3 为烟花爆竹燃放产生的细颗粒物与春节期间大气细颗粒物的成分谱,从中可以看出,大气成分谱正负谱图中都有较为明显的元素碳离子(m/z

$= \pm 12n, n \geq 1$), 还有金属离子 K^+ 、 Mg^+ 、 Al^+ 、 Fe^+ 、 Cu^+ 、 Pb^+ 的信号峰, 其它离子 NH_4^+ 、 Na^+ 、 K_2Cl^+ 、 NO_2^- 、 NO_3^- 、 HSO_4^- 、 CN^- 、 CNO^- 也较为明显. 烟花爆竹的平均质谱图含有 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^+ 、 Al^+ 、 Fe^+ 、 Cu^+ 、 Sr^+ 、 Ba^+ 等金属离子, 还有金属

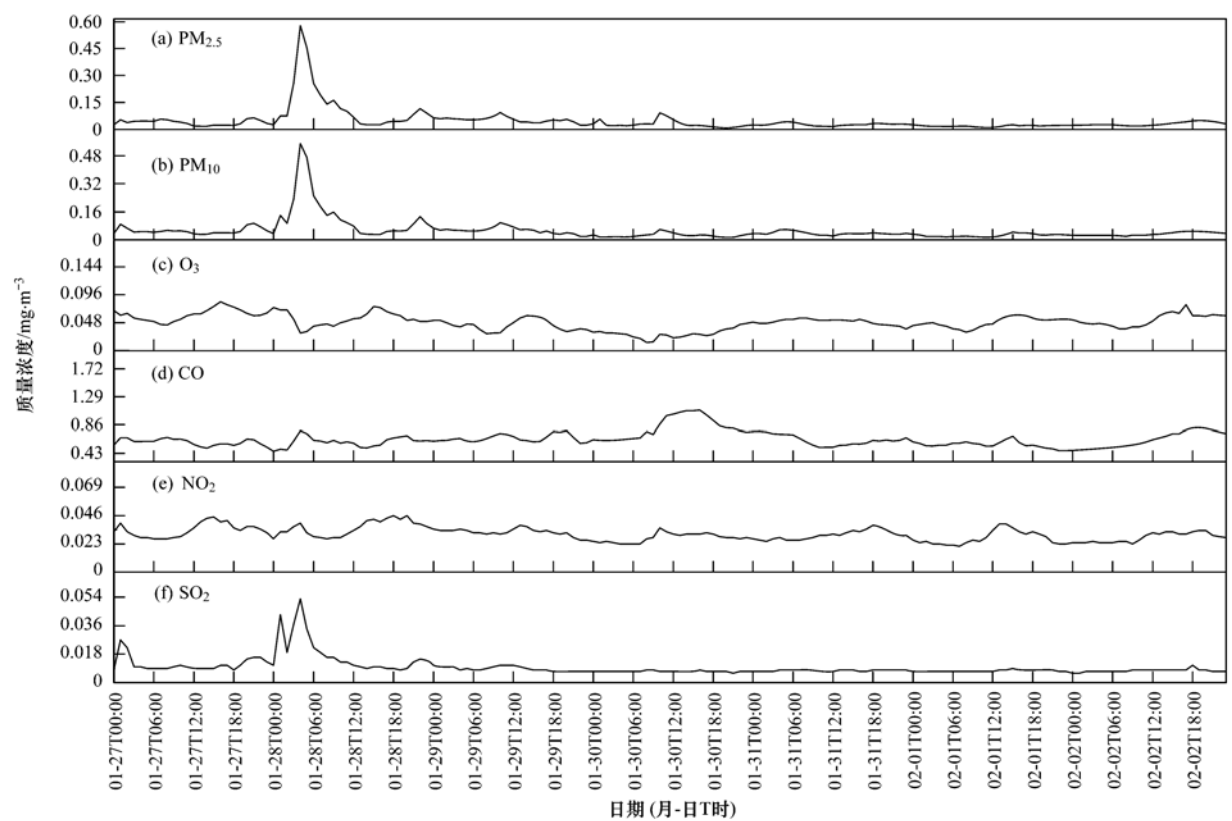


图2 涂山街点位 2017 春节期间大气环境质量

Fig. 2 Atmospheric environmental quality of the Tushan Street station during the Spring Festival

离子的氧化物 Al_2O^+ 、 BaO^+ ，以及金属离子的氯化物 K_2Cl^+ 、 KCl_2^- 、 SbCl^- 等离子峰。从图 3 中可以看出，两者谱图较为相似，存在共同的特征金属离子峰 Na^+ 、 K^+ 、 Al^+ 、 Mg^+ 、 Fe^+ 、 Cu^+ 、 Sr^+ 、 Ba^+ 等，说明两者具有同源属性，只是峰强弱有所差异，这可能与大气扩散和稀释有关，烟花爆竹的集中燃放可能是大气环境恶化的主要原因。

2.3 燃放高峰期特征金属离子分析

有研究指出，烟花爆竹的主要成分是黑火药，含有硫磺、木炭粉、硝酸钾和氯酸钾，为了达到闪光的效果还要加入铝、铁、锑等金属粉末以及其他金属类火焰着色物如钡盐、锶盐、铜盐等无机盐类，当烟花爆竹点燃后，木炭粉、硫磺粉、金属粉末等在氧化剂的作用下迅速燃烧，产生含碳、氮、硫等的气体及金属氧化物的粉尘，同时产生大量光和热^[18,32,33]。根据烟花爆竹的成分及其成分谱图，选取烟花爆竹的燃放高峰期(2017 年 1 月 28 日 02:00 ~ 09:00)与整个监测期间的几种烟花爆竹的特征金属离子 Al^+ 、 Mg^+ 、 Ba^+ 、 Cu^+ 、 Sr^+ 占所有电离颗粒的比率进行对比分析，结果如图 4 所示。从中可以看出，燃放高峰期间各金属离子的占比基本是整个监测期间的 2 倍以上，其中 Cu^+ 和 Ba^+ 的占

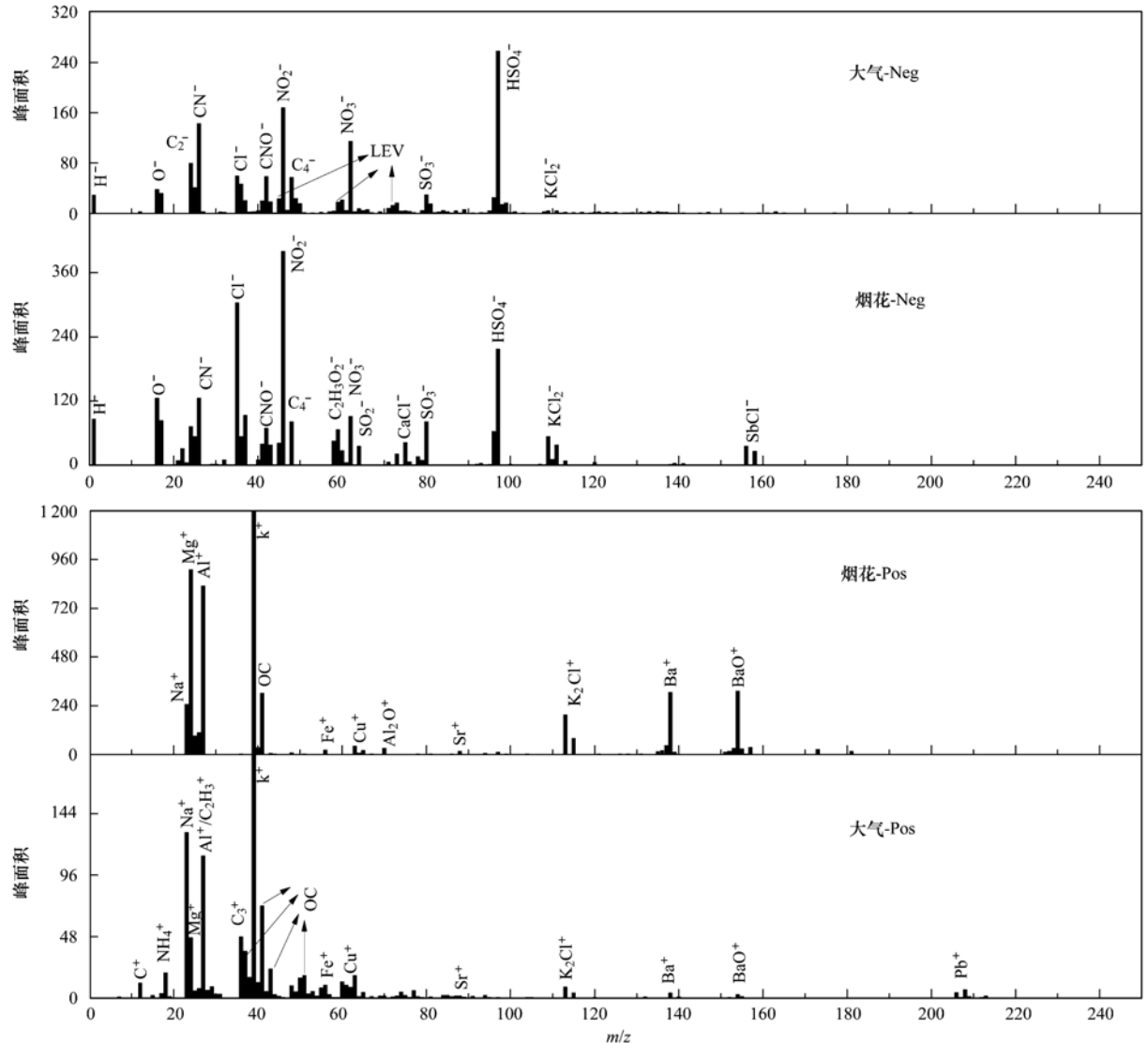
比更高，达整个监测期间的 3 倍以上。

对主要特征金属离子 Al^+ 、 Mg^+ 、 Ba^+ 、 Cu^+ 、 Sr^+ 燃放高峰期小时数浓度的相关性进行分析，结果如表 2 所示。从中可知，燃放高峰期间，除了 Sr^+ 外，其余金属离子之间的数浓度的相关系数范围为 0.80 ~ 0.98，属于高度相关，特别是 Al^+ 、 Mg^+ 、 Cu^+ 三者间的相关系数更是超过 0.96，达显著性相关。 Sr^+ 与其它离子的相关性较差可能是由于各个厂家生产的烟火所添加的金属类火焰着色物有所差异。

燃放高峰期细颗粒物中 Al 、 Mg 、 Ba 、 Cu 、 Sr 等元素占比的迅速上升及 Al^+ 、 Mg^+ 、 Ba^+ 、 Cu^+ 小时数浓度间的高度相关性，表明 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度的明显上升主要来自于烟花爆竹的集中燃放。

表 2 主要特征金属离子燃放高峰期小时数浓度的相关系数

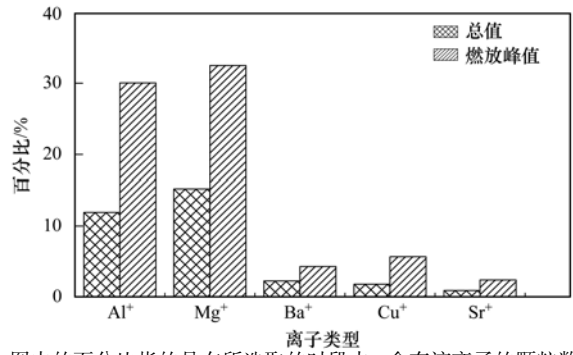
Table 2 Correlation coefficients between the hourly number concentrations of the main characteristic metal ions during the peak period of fireworks burning					
	Al^+	Mg^+	Ba^+	Sr^+	Cu^+
Al^+	—	0.98	0.89	0.26	0.98
Mg^+	0.98	—	0.91	0.41	0.96
Ba^+	0.89	0.91	—	0.57	0.80
Sr^+	0.26	0.41	0.57	—	0.17
Cu^+	0.98	0.96	0.80	0.17	—



Pos 为质谱正谱图, Neg 为质谱负谱图

图 3 烟花爆竹燃放产生的细颗粒物与春节期间大气细颗粒物的成分谱

Fig. 3 Composition spectrum of fine particles produced by burning fireworks and the atmospheric fine particles during the Chinese Spring Festival



图中的百分比指的是在所选取的时段内, 含有该离子的颗粒数占所有电离颗粒数的百分比, 加和并不是 100%

图 4 燃放高峰期与整体监测期间 $PM_{2.5}$ 中金属离子百分比对比

Fig. 4 Comparison of the percentage of metal ions in $PM_{2.5}$ during the peak period of fireworks burning and during the monitoring period

2.4 本地化源谱构建

参考环境保护部发布的大气颗粒物来源解析技术指南, 结合本地行业分布特征, 通过对本地典型排放源进行采样分析, 建立了泉州市典型排放源谱库. 根据分析得到的排放源谱特征, 得到春节期间主要污染来源烟花爆竹、海盐、生物质燃烧、扬尘、机动车尾气、燃煤、工业工艺源等的特征离子库, 详见表 3. 从中可知, 烟花源的主要特征离子为镁离子、铝离子、铜离子、锑离子、钡离子、氧化二铝、氧化钡和氯化锑($SbCl^-$)等.

2.5 大气细颗粒物来源解析

根据烟花爆竹的谱图, 结合泉州的本地化源谱, 利用示踪离子法把 SPAMS 捕获的细颗粒物分为了烟花爆竹、海盐、生物质燃烧、扬尘、机动车

尾气、燃煤、工业工艺源、二次无机源、其它等九大类,各污染源贡献比率见图 5。从中可以看出,监测期间首要污染源是烟花爆竹,占总颗粒物的 30%,其次是生物质燃烧,占 21.1%,这两类来源占了总数的一半,这与春节期间主要污染来源是烟花爆竹的燃放以及民俗祭拜活动中香、金纸等生物质燃料的燃烧相一致;第三位是机动车尾气,占 12.4%;燃煤和工业工艺源的比例相对较低,都在 10% 以下,这与春节期间工厂停工的情况相一致。污染源贡献比率从另一个侧面验证了春节期间细颗粒物主要来源为烟花爆竹的集中燃放的推论。

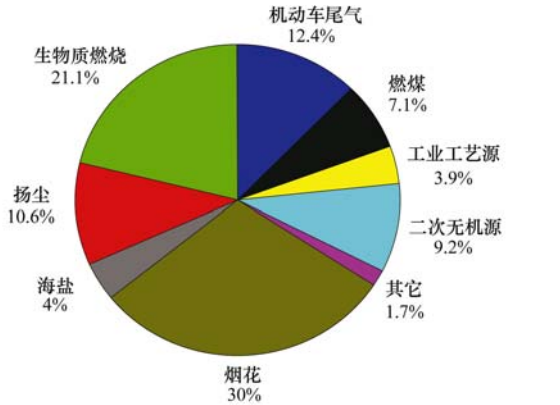


图 5 各污染源贡献比率
Fig. 5 Proportion of contribution by each pollution source

表 3 泉州市各类污染源特征离子

Table 3 Characteristic ions of various pollution sources in Quanzhou	
污染源种类	特征离子
烟花	镁离子、铝离子、铜离子、锶离子、钡离子、氧化二铝、氧化钡和氯化铋(SbCl^-)
海盐	钠离子、氯离子和氯化钠(Na_2Cl^+ 、 NaCl^- 和 NaCl_2^-)
生物质燃烧	钾离子、氰根离子、有机碎片峰、左旋葡萄糖碎片峰(m/z 为 -45、-59、-71、-73)、 m/z 为 -66 和 m/z 为 +83 特征峰
扬尘源	镁离子、铝离子、铁离子、钙及其氧化物、硅酸盐(SiO_2^- 、 SiO_3^-)和磷酸盐(PO_3^-)
机动车尾气	汽油车 钙(Ca^+)、锰(Mn^+)、硝酸盐(NO_2^- 、 NO_3^-)、磷酸盐(PO_3^-)和元素碳簇
	柴油车 有机碳、高分子有机碳(HOC)、硝酸盐(NO_2^- 、 NO_3^-)和元素碳簇
燃煤源	钙及其氧化物、铬及其氧化物、锂离子、镁离子、铝离子、铁离子、铅离子、硅酸盐(SiO_2^- 、 SiO_3^-)、磷酸盐(PO_3^-)和硫酸盐(SO_3^- 、 HSO_4^-)
工业工艺源	皮革纺织行业 铅离子、有机碳、元素碳簇和硫酸盐(SO_3^- 、 HSO_4^-)
	建材行业 镁离子、铝离子、铁离子、钙及其氧化物、铅离子、硅酸盐(SiO_2^- 、 SiO_3^-)和磷酸盐(PO_3^-)
	制陶行业 锂离子、镁离子、铝离子、铁离子、钙及其氧化物、铬及其氧化物、铅离子、元素碳簇、硅酸盐(SiO_2^- 、 SiO_3^-)和磷酸盐(PO_3^-)
	垃圾焚烧 铝离子、铁离子、钙及其氧化物、铬及其氧化物、氯离子、氰根离子、硅酸盐(SiO_2^- 、 SiO_3^-)、硝酸盐(NO_2^-)、磷酸盐(PO_3^-)、硫酸盐(HSO_4^-)、元素碳簇和混合碳
	石油化工 镁离子、铝离子、钙及其氧化物、铬及其氧化物、硝酸盐(NO_2^-)和硫酸盐(HSO_4^-)

2.6 监测期间大气细颗粒物污染来源数浓度变化情况

图 6 为监测期间 SPAMS 捕获的大气细颗粒物各类源数浓度随时间变化情况,从中可以看出,监测时间内 PM_{2.5} 的质量浓度在 0.008 ~ 0.578 mg·m⁻³ 之间,初一凌晨 PM_{2.5} 的质量浓度迅速飙升,最高达 0.578 mg·m⁻³,约为年均值(0.028 mg·m⁻³)的 21 倍,空气质量达到爆表水平(AQI > 500)。1 月 28 日凌晨(跨年夜),烟花爆竹集中燃放,PM_{2.5} 的质量浓度迅速增长,各类污染源中数浓度增大最为明显的是烟花源和扬尘源,说明春节期间燃放烟花爆竹造成大量细颗粒物的排放,同时燃放过程易造成尘土飞扬的现象,导致扬尘源引起的细颗粒物的质量浓度也急剧上升,两者叠加,造成集中燃放时空气质量的急剧恶化。集中燃放后,烟花源和扬尘源的数浓度迅速降低,PM_{2.5} 质量浓度回到优良状

态。数浓度与细颗粒物质量浓度的变化趋势的趋同性进一步表明烟花爆竹集中燃放是造成春节期间空气质量恶化的主要来源。

2.7 污染过程细颗粒物来源分析

根据 PM_{2.5} 监测结果抓取 5 个具有代表性的时段来分析整个监测期间的污染过程,分别为 PM_{2.5} 质量浓度高峰时段(时段 2、4),低谷时段(时段 1、3、5),5 个时段中 PM_{2.5} 质量浓度最低均值为 0.011 mg·m⁻³,最高均值是 0.292 mg·m⁻³,监测结果如表 4 所示。

图 7 是各时段细颗粒物污染源贡献比率变化。从中可以看出,时段 2(跨年夜)烟花源的比例为 58.2%,比时段 1(除夕下午)高出 30 个百分点,到了时段 3(初一下午至傍晚)该比率迅速降至 20.8%,时段 4(初一夜间)也许又有少量的烟花爆竹燃放,但是燃放的强度及持续时间不及时段 2,

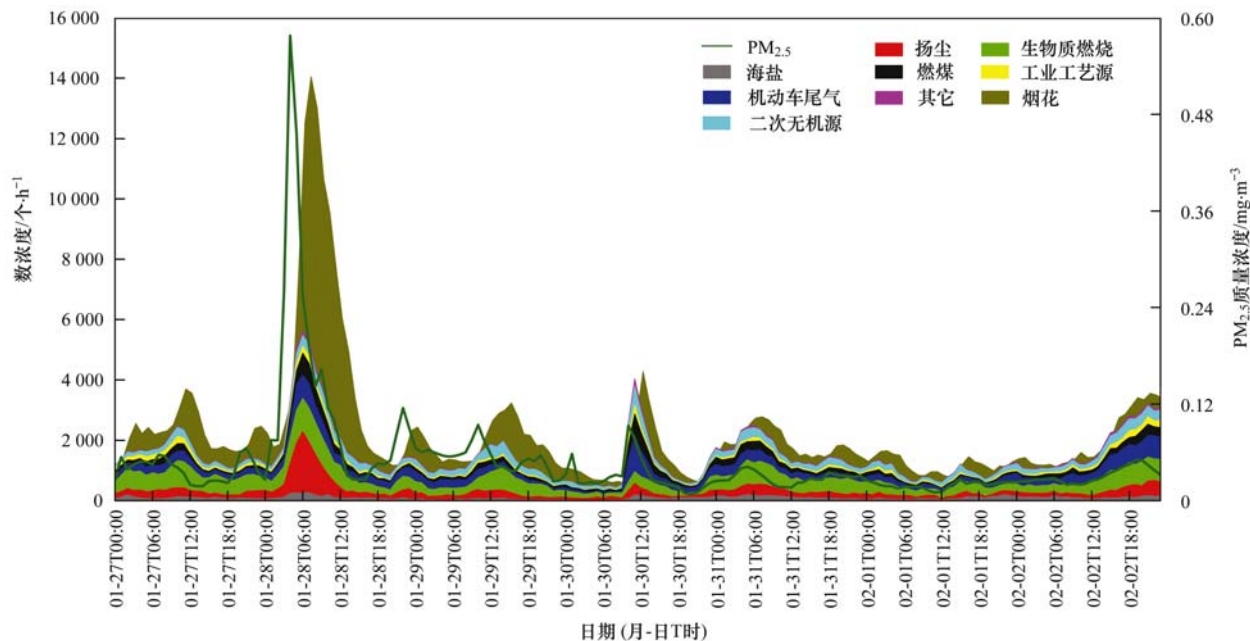
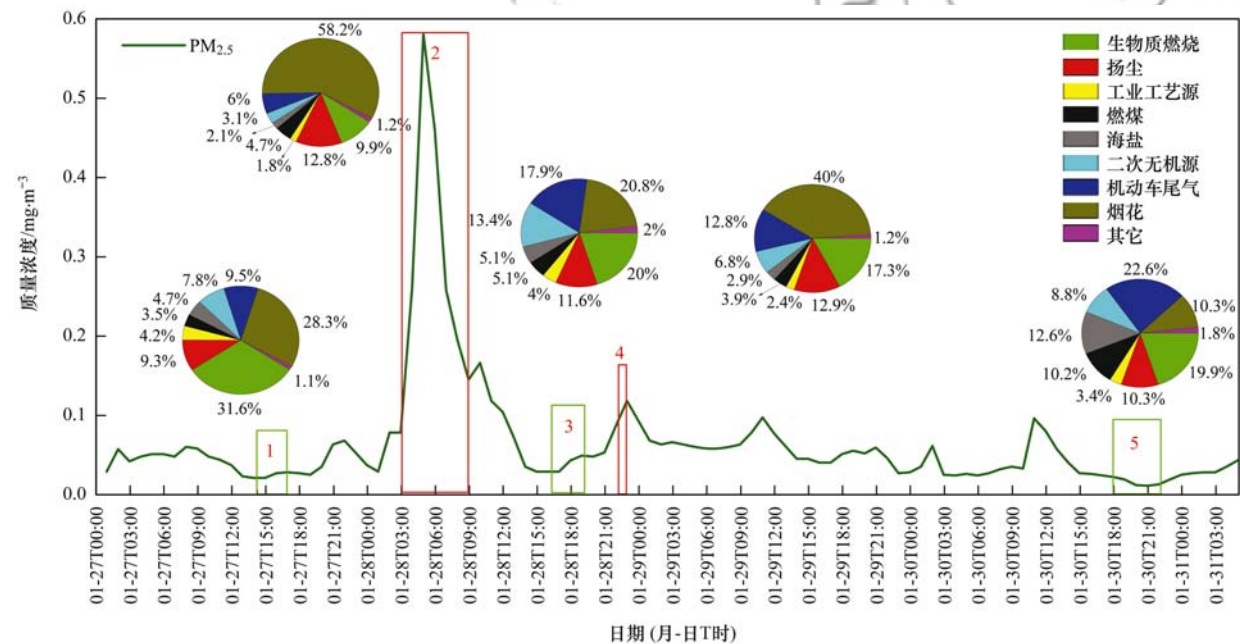


图 6 各类污染源数浓度随时间变化

Fig. 6 Stacking pictures of the changes in the number concentrations of each pollution source with time



图中 1~5 表示各个时段

图 7 污染过程细颗粒物来源贡献比率变化

Fig. 7 Changing picture of the source ratios of fine particles during the pollution process

烟花源的比例上涨至 40%，空气质量出现了短暂的轻度污染，到了时段 5(初三晚上)烟花源的比例已经降至 10.3%，空气质量变为优。污染过程细颗粒物来源变化更进一步地验证了春节期间的污染来源主要是燃放烟花爆竹所致。同时，在每次出现污染时(时段 2、4)，扬尘源的比例也会有所上升，进一步说明了此期间的污染主要是烟花爆竹燃放造成的烟花源、扬尘源数浓度的增大所致。

表 4 根据 PM_{2.5} 监测结果的污染过程时段划分¹⁾

Table 4 Time division of the pollution process according to PM_{2.5} monitoring results

编号	时间	PM _{2.5} 小时浓度 均值/mg·m ⁻³	污染情况
1	2017-01-27 T 14:00 ~ 17:00	0.023	优
2	2017-01-28 T 03:00 ~ 09:00	0.292	重度污染
3	2017-01-28 T 16:00 ~ 19:00	0.039	良
4	2017-01-28 T 22:00 ~ 23:00	0.102	轻度污染
5	2017-01-30 T 18:00 ~ 22:00	0.011	优

1) 低谷时段 1、3、5, 高峰时段 2、4

3 结论

(1) 泉州城区大年初一各项大气环境质量指标均大于正常时间段的大气环境质量, 以细颗粒物的浓度升高更为显著, 特别是烟花爆竹集中燃放时段的细颗粒物浓度的升高极为显著, 说明此期间大气环境受特别污染源的影响。

(2) 烟花爆竹燃放高峰期细颗粒物中烟花爆竹的特征金属离子 Al⁺、Mg⁺、Ba⁺、Cu⁺、Sr⁺ 等的占比基本是整个监测期间的 2 倍以上, 其中 Cu⁺ 和 Ba⁺ 更是达到 3 倍以上; Al⁺、Mg⁺、Ba⁺、Cu⁺ 四者的小时数浓度相关系数超过 0.80, 属于高度相关, 而 Al⁺、Mg⁺、Cu⁺ 三者的相关系数更是超过 0.96, 达显著性相关。表明燃放期间 PM_{2.5} 浓度的明显上升主要由于烟花爆竹集中燃放所致。

(3) 监测期间泉州城区主要污染源是烟花和物质燃烧, 贡献占总颗粒物的一半以上, 燃煤和工业工艺源的比例相对较低, 都在 10.0% 以下, 这与春节期间工厂停工, 污染主要来源于烟花爆竹燃放的情况相一致。

(4) 烟花爆竹集中燃放时段, 大气细颗粒物 PM_{2.5} 浓度(0.578 mg·m⁻³) 急速升高, 约为年均值(0.028 mg·m⁻³) 的 21 倍, 此时细颗粒物中烟花源所占比例也升至 58.2%。监测期间, PM_{2.5} 浓度与烟花源的占比、数浓度的变化有趋同性, 进一步表明烟花爆竹的集中燃放是春节期间大气环境恶化的主要原因。

参考文献:

- [1] 吴兑. 近十年中国灰霾天气研究综述[J]. 环境科学学报, 2012, 32(2): 257-269.
Wu D. Hazy weather research in China in the last decade: A review[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2012, 32(2): 257-269.
- [2] 唐孝炎, 张远航, 邵敏. 大气环境化学[M]. (第二版). 北京: 高等教育出版社, 2006, 274.
- [3] 孙兆彬, 陶燕, 崔蕊蕊, 等. 北京地区奥运会期间 PM_{2.5} 对心脑血管疾病的影响[J]. 中国环境科学, 2015, 35(11): 3481-3488.
Sun Z B, Tao Y, Cui M M, et al. The effect of PM_{2.5} on cardiovascular and cerebrovascular diseases in Beijing areas during the Olympic Games[J]. China Environmental Science, 2015, 35(11): 3481-3488.
- [4] 李友平, 刘慧芳, 周洪, 等. 成都市 PM_{2.5} 中有毒重金属污染特征及健康风险评估[J]. 中国环境科学, 2015, 35(7): 2225-2232.
Li Y P, Liu H F, Zhou H, et al. Contamination characteristics and health risk assessment of toxic heavy metals in PM_{2.5} in Chengdu [J]. China Environmental Science, 2015, 35(7): 2225-2232.
- [5] Huang X F, Sun T L, Zeng L W, et al. Black carbon aerosol characterization in a coastal city in South China using a single particle soot photometer[J]. Atmospheric Environment, 2012, 51: 21-28.
- [6] 陈仁杰, 陈秉衡, 阚海东. 大气细颗粒物控制对我国城市居民期望寿命的影响[J]. 中国环境科学, 2014, 34(10): 2701-2705.
Chen R J, Chen B H, Kan H D. Impacts of controlling ambient fine particulate pollution on life expectancy among Chinese urban residents[J]. China Environmental Science, 2014, 34(10): 2701-2705.
- [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] Yerramsetti V S, Sharma A R, Navlur N G, et al. The impact assessment of Diwali fireworks emissions on the air quality of a tropical urban site, Hyderabad, India, during three consecutive years[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2013, 185(9): 7309-7325.
- [9] 程念亮, 陈添, 张大伟, 等. 2015 年春节北京市空气质量分析[J]. 环境科学, 2015, 36(9): 3150-3158.
Cheng N L, Chen T, Zhang D W, et al. Air quality characteristics in Beijing during Spring Festival in 2015 [J]. Environmental Science, 2015, 36(9): 3150-3158.
- [10] 张小玲, 徐敬, 李腊平. 不同气象条件下烟花爆竹燃放对空气质量的影响研究[J]. 气象与环境学报, 2008, 24(4): 6-12.
Zhang X L, Xu J, Li L P. Effect of fireworks burning on air quality under different meteorological conditions[J]. Journal of Meteorology and Environment, 2008, 24(4): 6-12.
- [11] 潘本锋, 李莉娜. 春节期间燃放烟花爆竹对我国城市空气质量影响分析[J]. 环境工程, 2016, 34(1): 74-77, 30.
Pan B F, Li L N. The influence of burning fireworks on the air quality in major cities during the Spring Festival in China [J]. Environmental Engineering, 2016, 34(1): 74-77, 30.
- [12] 沈利娟, 李莉, 吕升, 等. 嘉兴市春节期间烟花爆竹燃放对大气污染物分布特征的影响[J]. 环境科学学报, 2016, 36(5): 1548-1557.
Shen L J, Li L, Lü S, et al. Impacts of fireworks on the atmospheric pollutant distributions during Spring Festival in Jiaxing [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2016, 36(5): 1548-1557.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 邹强, 姚玉刚. 春节烟花爆竹燃放期间苏州市区 PM_{2.5} 组分特征分析[J]. 中国环境监测, 2014, 30(4): 100-106.
Zou Q, Yao Y G. The analysis of characteristics of PM_{2.5}

- components during set-off fireworks period of Spring Festival in Suzhou city[J]. *Environmental Monitoring in China*, 2014, **30**(4): 100-106.
- [17] 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.
- Zhao J P, Xu Y, Zhang F W, *et al.* Atmospheric pollution characteristic during fireworks burning time in Spring Festival in Quanzhou suburb[J]. *Environmental Science*, 2011, **32**(5): 1224-1230.
- [18] Li J Y, Xu T T, Lu X H, *et al.* Online single particle measurement of fireworks pollution during Chinese New Year in Nanning[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2017, **53**: 184-195.
- [19] Kong S F, Li L, Li X X, *et al.* The impacts of firework burning at the Chinese Spring Festival on air quality: insights of tracers, source evolution and aging processes[J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2015, **15**(4): 2167-2184.
- [20] Kong S F, Li X X, Li L, *et al.* Variation of polycyclic aromatic hydrocarbons in atmospheric PM_{2.5} during winter haze period around 2014 Chinese Spring Festival at Nanjing: Insights of source changes, air mass direction and firework particle injection[J]. *Science of the Total Environment*, 2015, **520**: 59-72.
- [21] Zhao S P, Yu Y, Yin D Y, *et al.* Ambient particulate pollution during Chinese Spring Festival in urban Lanzhou, Northwestern China[J]. *Atmospheric Pollution Research*, 2014, **5**(2): 335-343.
- [22] Tian Y Z, Wang J, Peng X, *et al.* Estimation of the direct and indirect impacts of fireworks on the physicochemical characteristics of atmospheric PM₁₀ and PM_{2.5}[J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2014, **14**(18): 9469-9479.
- [23] Li L, Huang Z X, Dong J G, *et al.* Real time bipolar time-of-flight mass spectrometer for analyzing single aerosol particles[J]. *International Journal of Mass Spectrometry*, 2011, **303**(2-3): 118-124.
- [24] 蒋斌, 陈多宏, 王伯光, 等. 鹤山大气超级站旱季单颗粒气溶胶化学特征研究[J]. *中国环境科学*, 2016, **36**(3): 670-678.
- Jiang B, Chen D H, Wang B G, *et al.* Single-particle chemical characterization of aerosols at the Heshan atmospheric supersite during the dry season[J]. *China Environmental Science*, 2016, **36**(3): 670-678.
- [25] 陈多宏, 李梅, 黄渤, 等. 区域大气细粒子污染特征及快速来源解析[J]. *中国环境科学*, 2016, **36**(3): 651-659.
- Chen D H, Li M, Huang B, *et al.* The pollution characteristics and source apportionment of regional atmospheric fine particles [J]. *China Environmental Science*, 2016, **36**(3): 651-659.
- [26] Fu H Y, Zheng M, Yan C Q, *et al.* Sources and characteristics of fine particles over the Yellow Sea and Bohai Sea using online single particle aerosol mass spectrometer [J]. *Journal of Environmental Science*, 2015, **29**: 62-70.
- [27] 周静博, 任毅斌, 洪纲, 等. 利用 SPAMS 研究石家庄市冬季连续灰霾天气的污染特征及成因[J]. *环境科学*, 2015, **36**(11): 3972-3980.
- Zhou J B, Ren Y B, Hong G, *et al.* Characteristics and formation mechanism of a multi-day haze in the winter of Shijiazhuang using a single particle aerosol mass spectrometer (SPAMS)[J]. *Environmental Science*, 2015, **36**(11): 3972-3980.
- [28] 何俊杰, 张国华, 王伯光, 等. 鹤山灰霾期间大气单颗粒气溶胶特征的初步研究[J]. *环境科学学报*, 2013, **33**(8): 2098-2104.
- He J J, Zhang G H, Wang B G, *et al.* Analysis of single particle characteristics during haze events in Heshan[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2013, **33**(8): 2098-2104.
- [29] 陈多宏, 何俊杰, 张国华, 等. 不同天气类型广东大气超级站细粒子污染特征初步研究[J]. *地球化学*, 2014, **43**(3): 217-223.
- Chen D H, He J J, Zhang G H, *et al.* A preliminary study on the characteristics of fine particle pollution characteristics for different weather type in the Guangdong atmospheric supersite [J]. *Geochimica*, 2014, **43**(3): 217-223.
- [30] Silva P J, Liu D Y, Noble C A, *et al.* Size and chemical characterization of individual particles resulting from biomass burning of local Southern California species[J]. *Environmental Science & Technology*, 1999, **33**(18): 3068-3076.
- [31] Huo J T, Lu X H, Wang X N, *et al.* Online single particle analysis of chemical composition and mixing state of crop straw burning particles: from laboratory study to field measurement [J]. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 2016, **10**(2): 244-252.
- [32] 徐敬, 丁国安, 颜鹏, 等. 燃放烟花爆竹对北京城区气溶胶细粒子的影响[J]. *安全与环境学报*, 2006, **6**(5): 79-82.
- Xu J, Ding G A, Yan P, *et al.* Effect of firecracker setting-off on the fine particle pollution in Beijing downtown areas[J]. *Journal of Safety and Environment*, 2006, **6**(5): 79-82.
- [33] Beig G, Chate D M, Ghude S D, *et al.* Evaluating population exposure to environmental pollutants during Deepavali fireworks displays using air quality measurements of the SAFAR network [J]. *Chemosphere*, 2013, **92**(1): 116-124.

CONTENTS

Air Pollutant Emission Inventory from Iron and Steel Industry in the Beijing-Tianjin-Hebei Region and Its Impact on PM _{2.5}	DUAN Wen-jiao, LANG Jian-lei, CHENG Shui-yuan, <i>et al.</i> (1445)
Simulation of the Spatio-temporally Resolved PM _{2.5} Aerosol Mass Concentration over the Inland Plain of the Beijing-Tianjin-Hebei Region	HAO Jing, SUN Cheng, GUO Xing-yu, <i>et al.</i> (1455)
Effect of Relative Humidity on Particulate Matter Concentration and Visibility During Winter in Chengdu	LIU Fan, TAN Qin-wen, JIANG Xia, <i>et al.</i> (1466)
Vertical Distributional Characteristics of Inorganic Ions of PM _{2.5} at Mt. Huashan, Inland China	CAO Cong, WANG Ge-hui, WU Can, <i>et al.</i> (1473)
Analysis of the Composition of Atmospheric Fine Particles (PM _{2.5}) Produced by Burning Fireworks	XIE Rui-jia, HOU Hong-xia, CHEN Yong-shan (1484)
Chemical Composition Characteristics of PM _{2.5} Emitted by Medium and Small Capacity Coal-fired Boilers in the Yangtze River Delta Region	XU Jian, HUANG Cheng, LI Li, <i>et al.</i> (1493)
Emission Factors of Heavy Metals in Size-resolved Particles Emitted from Residential Coal Combustion	YAN Qin, KONG Shao-fei, LIU Hai-biao, <i>et al.</i> (1502)
Distribution of Oxalate in Atmospheric Aerosols and the Related Influencing Factors in Qingdao, During Winter and Spring	ZHANG Shuai, SHI Jin-hui, YAO Xiao-hong, <i>et al.</i> (1512)
Concentrations and Solubility of Trace Elements in Atmospheric Precipitation in Qingdao	LI Qian, SHI Jin-hui, LI Peng-zhi, <i>et al.</i> (1520)
Occurrence and Gas-particle Partitioning of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Air of Liaodong Bay	ZHANG Yu-feng, SONG Yong-gang, TIAN Jin, <i>et al.</i> (1527)
Analysis of Sources, Pollution Characteristics, and Human Exposure to Atmospheric New Halogenated Flame Retardants in Selected Areas	LI Qi-lu, YANG Kong, LI Jun, <i>et al.</i> (1537)
Contamination Characterization and Human Exposure Levels to Polybrominated Diphenyl Ethers in Indoor and Outdoor Air in Industrial Park of Suzhou City	WANG Jun-xia, GU Hai-dong, ZHANG Zhan-en, <i>et al.</i> (1544)
Effect of Air Pollution on the Cold Disease in Shanghai	YANG Si-xu, MA Yu-xia, ZHOU Jian-ding, <i>et al.</i> (1552)
Fluorescent Dissolved Organic Matter and Its Correlation with Water Quality in a Urban River: A Case Study of the Lujiang River in Beilun, Ningbo	CAO Chang-li, LIANG Meng-qi, HE Gui-ying, <i>et al.</i> (1560)
Relationship Between Landscape Pattern and Water Quality in the Ebinur Lake Region	CAO Can, ZHANG Fei, Ayinigeer·Yalikun, <i>et al.</i> (1568)
CH ₄ Fluxes During the Algal Bloom in the Pengxi River	QIN Yu, ZHANG Yu-yang, LI Zhe, <i>et al.</i> (1578)
Dynamic Variations and Sources of Nitrate During Dry Season in the Lijiang River	MIAO Ying, ZHANG Cheng, XIAO Qiong, <i>et al.</i> (1589)
Heavy Metal Pollution of the Drinking Water Sources in the Lujiang River Basin, and Related Health Risk Assessments	ZHANG Qing-hua, WEI Yong-zhu, CAO Jian-hua, <i>et al.</i> (1598)
Characteristics of Phosphorus Fractions and Phosphate Diffusion Fluxes of Sediments in Cascade Reservoirs of the Huangbai River	LIU Jia, LEI Dan, LI Qiong, <i>et al.</i> (1608)
Occurrence and Ecological Risk Assessment of Typical Persistent Organic Pollutants in Baiyangdian Lake	GAO Qiu-sheng, JIAO Li-xin, YANG Liu, <i>et al.</i> (1616)
Simulating the Fate of Typical Organochlorine Pesticides in the Multimedia Environment of the Pearl River Delta	GAO Zi-wen, XU Yue, YI Ru-han (1628)
Mechanisms and Efficiencies of Removal of PPCPs by Pilot River Water Bypass Treatment Process	LI Li, ZHU Bing, BAI Yao, <i>et al.</i> (1637)
Chlorination of Naproxen: Removal, Transformation and Risk Assessment	FAN Xin-xin, DU Er-deng, LI Jia-qi, <i>et al.</i> (1645)
Removing Typical Odorants in Drinking Water by Vacuum Ultraviolet Combined with Chlorine	SUN Xin, ZHANG Yi, SHI Lu-xiao, <i>et al.</i> (1654)
Degradation of Triclosan by Heat Activated Persulfate Oxidation	JIANG Meng-di, ZHANG Qing-yue, JI Yue-fei, <i>et al.</i> (1661)
Adsorption of Tetracycline on Simulated Suspended Particles in Water	XU Long-feng, WEI Qun-shan, LÜ Qiang, <i>et al.</i> (1668)
Characteristics and Performance of Embedded ANAMMOX Bacteria in Treating Saline Wastewater	SHAN Xiao-jing, YU De-shuang, LI Jin, <i>et al.</i> (1677)
Enhanced Nitrogen Removal of ANAMMOX Treating Saline Wastewater With Betaine Addition	YU De-shuang, WU Guo-dong, LI Jin, <i>et al.</i> (1688)
Pilot-scale Experiment on Enrichment of Nitrifying Activated Sludge and Its Application in Enhancing a Wastewater Biological Treatment System Against Ammonia Shocking Loads	SHENG Xiao-lin, CUI Can-can, WANG Jia-de, <i>et al.</i> (1697)
Effect of Step Feed on Denitrifying Phosphorus and Nitrate Removal in a Modification of the Two Sludge A ² /O-BAF System	NAN Yan-bin, PENG Yong-zhen, ZENG Li-yun, <i>et al.</i> (1704)
Achieving Partial Nitrification in a Continuous-flow Aerobic Granular Sludge Reactor at Different Temperatures Through Ratio Control	LIANG Dong-bo, BIAN Wei, KAN Rui-zhe, <i>et al.</i> (1713)
Mechanism of Action of Activated Sludge Properties in Nitrogen Removal by Endogenous Denitrification Through an Intelligent Aeration-controlled A/O Process	XU Min-yang, HU Zhan-bo, ZHANG Sui-sheng, <i>et al.</i> (1720)
Effect of Temperature on the Performance and Microbial Community Structure in an Integrated Anaerobic Fluidized-bed Membrane Bioreactor Treating Benzothiazole Wastewater	LI Yue, HU Qi, GAO Da-wen (1731)
Removal of Antibiotics During In-situ Sludge Ozone-reduction Process	WANG Lu, BEN Wei-wei, LI Yan-gang, <i>et al.</i> (1739)
Effect of Zero Valent Iron on the Horizontal Gene Transfer of Tetracycline Resistance Genes During Anaerobic Sludge Digestion Process	YANG Fan, XU Wen-li, QIAN Ya-jie, <i>et al.</i> (1748)
Effects of Environmental Factors on the Synergy of Functional Bacteria in Completely Autotrophic Granular Sludge	CHEN Xi, QIAN Fei-yue, WANG Jian-fang, <i>et al.</i> (1756)
Microbiological Characteristics of a Post Solid-Phase Denitrification Biofilter Process	ZHANG Qian, JI Fang-ying, XU Xuan (1763)
Aerobic Denitrification and Microbial Community Shift in SBR Bioaugmented with Strains YH01 and YH02	CHEN Hai-sheng, CAO Gang, ZHANG Di, <i>et al.</i> (1773)
Performance, Sludge Characteristics, and the Microbial Community Dynamics of Bulking Sludge Under Different Nitrogen and Phosphorus Imbalances	HE Xue-meng, DING Li-li, ZHANG Lu-lu, <i>et al.</i> (1782)
Degradation Characteristics and Metabolic Pathway of a Pyrene-Degrading <i>Pseudomonas aeruginosa</i> Strain	LI Xiang, ZHANG Xue-ying, ZHOU Jun, <i>et al.</i> (1794)
Driving Factors of the Dynamics of Microbial Community in a Dam of Copper Mine Tailings	LI Cui, JING Ju-hui, LIU Jin-xian, <i>et al.</i> (1804)
Effects of Reclamation on Soil Nutrients and Microbial Activities in the Huixian Karst Wetland in Guilin	HUANG Ke-chao, SHEN Yu-yi, XU Guang-ping, <i>et al.</i> (1813)
Effects of the Farmland-to-Forest/Grassland Conversion Program on the Soil Bacterial Community in the Loess Hilly Region	CHEN Meng-li, ZENG Quan-chao, HUANG Yi-mei, <i>et al.</i> (1824)
Insight into the Mechanism of Feammox in the Surface Soils of a Riparian Zone	DING Bang-jing, LI Zheng-kui, ZHU Hong-jie, <i>et al.</i> (1833)
Soil Degradation-Associated Microbial Community Structure Changes in an Alpine Meadow Under Tibetan Pig Herding	ZHAN Peng-fei, XIAO De-rong, YAN Peng-fei, <i>et al.</i> (1840)
Characteristics of Iron Plaque and Its Heavy Metal Enrichment in Typical Mangrove Plants in Shenzhen Bay, China	SHEN Xiao-xue, LI Rui-li, CHAI Min-wei, <i>et al.</i> (1851)
Spatial Distribution of DDTs and PCBs in Wild Fish from Hong Kong Coastal Areas and Potential Human Health Risk Assessment	SU Yang, BAO Lian-jun, ZENG Eddy Y (1861)
Pollution Characteristics of PAHs in Soil from a Remote Mountain Wetland-Dajiu Lake, Shengnongjia	HU Tian-peng, XING Xin-li, KE Yan-ping, <i>et al.</i> (1872)
Migration and Transformation of Mercury in Unsubmerged Soil and Sediment at One Typical Forest Reservoir in Southwest China	SUN Tao, MA Ming, WANG Yong-min, <i>et al.</i> (1880)
Accumulation of Cd and Its Risks in the Soils of the Xijiang River Drainage Basin in Guangxi	SONG Bo, YANG Zi-jie, ZHANG Yun-xia, <i>et al.</i> (1888)
Effects of Long-term Fertilization Regimes on As Accumulation in Upland Red Earth and the Crops Growing on It	ZHANG Rong, YU Guang-hui, LI Ya-qing (1901)
Effects of a Tribasic Amendment on Cadmium and Arsenic Accumulation and Translocation in Rice in a Field Experiment	GU Jiao-feng, ZHOU Hang, JIA Run-yu, <i>et al.</i> (1910)
Quantitative Relationship Between Paddy Soil Properties and Cadmium Content in Rice Grains	WANG Meng-meng, HE Meng-yuan, SU De-chun (1918)
Effect of Ca-bentonite on Cu and Zn Forms in Compost and Soil, and Their Absorption by Chinese Cabbage	ZHAO Jun-chao, WANG Quan, REN Xiu-na, <i>et al.</i> (1926)
Effects of Short-term Exogenous Nitrogen and Carbon Input on Soil Respiration Under Changing Precipitation Pattern	HE Yun-long, QI Yu-chun, PENG Qin, <i>et al.</i> (1934)
Effects of Simulated Precipitation Reduction on Soil Respiration in a Soybean-Winter Wheat Rotation Cropland	WANG Zhao-hui, CHEN Shu-tao, SUN Lu, <i>et al.</i> (1943)
Seasonal Variation in Nitric Oxide Emission from an Agricultural Headwater Ditch in the Hilly Purple Soil Area and the Factors Influencing Emission	TIAN Lin-lin, REN Guang-qian, ZHU Bo (1952)
Effects of Seasonal Asymmetric Warming on Soil CO ₂ Release in Karst Region	TANG Guo-yong, ZHANG Chun-hua, LIU Fang-yan, <i>et al.</i> (1962)