

方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV

HUANJING KEXUE

■ 主办 中国科学院生态环境研究中心

■ 出版 科学出版社



2019

Vol.40 No.8

第40卷 第8期

目次

2016年京津冀地区红色预警时段PM _{2.5} 污染特征与浓度控制效果	张冲, 郎建奎, 程水源, 王晓琦 (3397)
北京地区秋冬季大气污染特征及成因分析	徐冉, 张恒德, 杨孝文, 程水源, 张天航, 江琪 (3405)
合肥市PM _{2.5} 和PM ₁₀ 中元素组成特征及重污染成因分析	刘可可, 张红, 刘桂建 (3415)
濮阳市秋冬季大气细颗粒物污染特征及来源解析	陈楚, 王体健, 李源昊, 马红磊, 陈璞琰, 王德羿, 张元勋, 乔琦, 李光明, 王文红 (3421)
关中地区细颗粒物碳组分特征及来源解析	康宝荣, 刘立忠, 刘煥武, 李养养, 艾双双, 曹宁, 雷颖 (3431)
长春季细颗粒物中有机气溶胶组成特征及来源	吴瑕, 曹芳, 翟晓瑶, 范美益, 张世春, 章炎麟 (3438)
中国城市扩张及空间特征变化对PM _{2.5} 污染的影响	王桂林, 张炜 (3447)
不同湿法脱硫工艺对燃煤电厂PM _{2.5} 排放的影响	邓建国, 马子珍, 李振, 段雷, 蒋靖坤 (3457)
浙江省合成革行业挥发性有机物污染特征及排放系数	徐佳琦, 王浙明, 宋爽, 徐志荣, 姚轶 (3463)
生活垃圾填埋场细菌气溶胶粒径分布及种群特征	马嘉伟, 杨凯雄, 柴风光, 王莹, 郭雪松, 李琳 (3470)
青岛近海生物气溶胶中总微生物的分布特征	官静, 祁建华, 李鸿涛 (3477)
广州饮用水水源地多环芳烃分布、来源及人体健康风险评价	宋玉梅, 王畅, 刘爽, 潘佳钊, 郭鹏然 (3489)
截污调水后滇池表层沉积物中16种PAHs的分布特征	胡昕怡, 高冰丽, 陈坦, 王洪涛, 金军, 饶竹, 朱雪芹, 王雪郡, 魏抱楷, 战楠, 刘彦廷, 戚敏 (3501)
黄河三角洲石油开采区盐渍化农田土壤多环芳烃的分布特征与源解析	邱慧, 刘月仙, 解小凡, 张萌, 王伟 (3509)
风场对太湖梅梁湾水华及营养盐空间分布的影响	余茂蕾, 洪国喜, 朱广伟, 权秋梅, 许海, 朱梦圆, 丁文浩, 李未, 吴挺峰 (3519)
向家坝水库营养盐时空分布特征及滞留效应	王耀耀, 吕林鹏, 纪道斌, 方海涛, 朱晓声, 张庆文, 霍静, 何金艳 (3530)
外源输入对底泥疏浚新生表层磷恢复及迁移的影响	李鑫, 耿雪, 王洪伟, 龚琬晴, 文帅龙, 钟继承, 李大鹏 (3539)
新疆喀什三角洲地下水SO ₄ ²⁻ 化学特征及来源	魏兴, 周金龙, 乃尉华, 曾妍妍, 范薇, 李斌 (3550)
黄土区洛川塬地下水化学特征及影响因素分析	李洲, 李晨曦, 华琨, 李志 (3559)
北京市河流秋季浮游动物群落特征分析	王海邻, 刘玉飞, 任玉芬, 贺玉晓, 王思琪, 张红星, 王效科, 李紫鑫 (3568)
三峡水库干流底栖硅藻群落组成及其与环境因子的关系	刘黎, 贺新宇, 付君珂, 杨燕君, 米文梅, 施军琼, 吴忠兴 (3577)
渭河流域水体细菌群落的环境响应及生态功能预测	万甜, 何梦夏, 任杰辉, 闫幸幸, 程文 (3588)
汾河下游水体nirS型反硝化细菌群落组成与无机氮关系	汪银龙, 冯民权, 董向前 (3596)
饮用水快速砂滤池优势微生物群落的代谢功能解析	胡万超, 赵琛, 王巧娟, 刘锐平, 柏耀辉 (3604)
基于污水厂污泥资源化利用的粗放型绿色屋顶水质控制效果	彭航宇, 李田, 齐悦, 何云鹏, 黄楚玉, 张卓然 (3612)
植被对绿色屋顶径流量和水质影响	章孙逊, 张守红, 张英, 吴思婷 (3618)
光催化/活性炭/纳滤组合工艺处理二级出水及对膜污染的控制	范科文, 李星, 杨艳玲, 周志伟 (3626)
多种材料对水中氨氮的吸附特性	焦巨龙, 杨苏文, 谢宇, 金位栋, 闫玉红, 徐彬 (3633)
不同氨氮浓度对4株常见藻株生长及酶活性的影响	常婷, 许智慧, 程鹏飞, 徐继林, 周成旭 (3642)
3种基质材料对高浓度养殖废水处理效果及降解过程	刘铭羽, 夏梦华, 李远航, 陈坤, 赵聪芳, 李希, 李裕元, 吴金水 (3650)
铝污泥酸化提取液改性沸石的除磷特性及机制	韩芸, 胡玉洁, 连洁, 杨思哲, 齐泽宁 (3660)
缺氧MBBR耦合部分厌氧氨氧化强化城市生活污水深度脱氮	杨岚, 彭永臻, 李健伟, 高锐涛, 王茗, 李夕耀 (3668)
连续流系统中好氧段及沉淀段对污泥及其缺氧段脱氮能力的影响	薛欢婷, 袁林江, 刘小博, 孙恒锐 (3675)
FeS自养反硝化与厌氧氨氧化的耦合脱氮机制	马景德, 潘建新, 李泽敏, 王一显, 吴海珍, 韦朝海 (3683)
ANAMMOX体系中氨与硫酸盐的同步转化条件	董石语, 毕贞, 张文静, 黄勇 (3691)
全国城市污水处理厂中微生物群落的溯源分析	张冰, 吴林蔚, 文湘华 (3699)
不同溶解氧浓度下硝化工艺中微生物种群结构对比	刘文如, 顾广发, 宋小康, 杨殿海 (3706)
异养硝化细菌Acinetobacter junii NP1的同步脱氮除磷特性及动力学分析	杨奎, 陈宁, 任勇翔, 崔坤, 汪旭晖, 肖倩, 郭淋凯 (3713)
Type 0092丝状菌污泥微膨胀在短程硝化中的实现	高春娣, 安冉, 韩徽, 张娜, 任浩, 赵楠, 焦二龙, 彭永臻 (3722)
高盐高碱环境下硝化反硝化过程及N ₂ O产生特征	代伟, 赵剑强, 丁家志, 刘双 (3730)
生物炭对盐碱土壤氨挥发的影响	王一宇, 王圣森, 戴九兰 (3738)
两种土壤增效剂对稻田氨挥发排放的影响	周玉玲, 侯朋福, 李刚华, 王绍华, 杨林章, 薛利红, 丁艳锋 (3746)
承德市滦河流域土壤重金属地球化学基线厘定及其累积特征	孙厚云, 卫晓峰, 甘凤伟, 王恒, 何泽新, 贾凤超, 张竞 (3753)
厦门某旱地土壤垂直剖面中重金属迁移规律及来源解析	张炜华, 于瑞莲, 杨玉杰, 胡恭任, 崔建勇, 颜妍, 黄华斌 (3764)
宝鸡市区土壤重金属污染影响因子探测及其源解析	张军, 董洁, 梁青芳, 杨宁宁, 耿雅妮 (3774)
铁铈氧化物对土壤As(V)和P的稳定化效果	林龙勇, 阎秀兰, 杨硕 (3785)
铁锰氧化物在不同水分条件下对土壤As的稳定化作用	周海燕, 邓一荣, 林龙勇, 曹梦华, 钟立荣 (3792)
生物质炭对双季稻水稻土微生物生物量碳、氮及可溶性有机碳氮的影响	刘杰云, 邱虎森, 汤宏, 沈健林, 吴金水 (3799)
有机物料对紫色土微生物量碳、氮及氮素供应的影响	汪月, 张名豪, 赵秀兰 (3808)
土地利用方式对土壤团聚体稳定性和有机碳含量的影响	罗晓虹, 王子芳, 陆畅, 黄容, 王富华, 高明 (3816)
宁南山区退耕还林还草对土壤氮素组成及其转化酶活的影响	高涵, 肖礼, 牛丹, 倪银霞, 黄懿梅 (3825)
不同浸提剂条件下生物炭吸附性有机物的浸出规律	何品晶, 张昊昊, 仇俊杰, 邵立明, 吕凡 (3833)
基于成组生物毒性测试的PM _{2.5} 毒性	江晓栋, 薛银刚, 魏永, 许霞, 刘菲, 薛柯, 施昕澜, 顾铭 (3840)
《环境科学》征订启事 (3587)	
《环境科学》征稿简则 (3595)	
信息 (3611, 3705, 3745)	

关中地区细颗粒物碳组分特征及来源解析

康宝荣¹, 刘立忠^{1*}, 刘焕武², 李养养³, 艾双双¹, 曹宁¹, 雷颖¹

(1. 西安建筑科技大学环境与市政工程学院, 西安 710055; 2. 西安市环境监测站, 西安 710119; 3. 陕西省环境监测中心, 西安 710054)

摘要: 为研究关中地区细颗粒物中碳组分的污染特征及其来源, 于2017年9月4日至2018年1月19日在关中地区5个主要典型城市(西安、渭南、铜川、宝鸡和咸阳)设置采样点(XA、WN、TCH、BJ和XY)进行细颗粒物(PM_{2.5})的手工采样观测, 碳组分环境样品采用热光透射法(TOT)分析。结果表明, 细颗粒物中OC和EC平均浓度分别为(14.48 ± 7.86) μg·m⁻³和(2.27 ± 0.95) μg·m⁻³, 占比分别为18.04%和2.99%, 与其他城市相比污染较为严重。碳组分占比的空间分布为XY > WN > XA > BJ > TCH, 且季节差异明显, 冬季占比高于秋季。OC与EC的相关性显著(R² = 0.79), 有着较为相同的污染来源。OC1在碳组分中比例最高为23.44%, 碳组分的浓度顺序为OC1 > EC2 > EC3 > OC4 > EC1 > OC2 > OC3 > EC4 > EC6 > EC5。正矩阵因子分解模型的源解析结果表明, 该地区碳组分的4类主要贡献源为生物质燃烧与燃煤源、汽油车尾气、柴油车尾气和道路扬尘污染源, 贡献率分别为48.63%、23.07%、18.82%和9.47%, 各点位的污染贡献结构有着明显的差异。

关键词: 关中地区; 细颗粒物; 有机碳; 元素碳; 正矩阵因子分解(PMF)

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2019)08-3431-07 DOI: 10.13227/j.hjxx.201810189

Pollution Characteristics and Sources of Carbonaceous Components in PM_{2.5} in the Guanzhong Area

KANG Bao-rong¹, LIU Li-zhong^{1*}, LIU Huan-wu², LI Yang-yang³, AI Shuang-shuang¹, CAO Ning¹, LEI Ying¹

(1. School of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China; 2. Xi'an Environmental Monitoring Station, Xi'an 710119, China; 3. Shaanxi Environmental Monitoring Center, Xi'an 710054, China)

Abstract: In order to study the pollution characteristics and sources of fine particulate matter in the Guanzhong area of China, PM_{2.5} samples were collected and observed by hand from September 4, 2017 to January 19, 2018 at five sites (XA, WN, TCH, BJ and XY). The carbonaceous component of these samples was analyzed by thermal-optical transmission, which showed that the average concentrations of OC and EC in the fine particulate matter were (14.48 ± 7.86) μg·m⁻³ and (2.27 ± 0.95) μg·m⁻³, respectively. Percentages of OC and EC were 18.04% and 2.99%, respectively. Compared with other cities, the measured levels of pollution in the Guanzhong areas were more severe. The spatial distribution of percentage of carbon component in PM_{2.5} was XY > WN > XA > BJ > TCH, and the concentrations in winter were higher than in autumn. The correlation between OC and EC was significant (R² = 0.79), which indicates a common source. The highest proportion of OC1 was 23.44%. The concentration of the carbonaceous component from high to low was OC1 > EC2 > EC3 > OC4 > EC1 > OC2 > OC3 > EC4 > EC6 > EC5. The results of PMF modeling show that the four main contributing sources of carbon components in pollution in this area are biomass combustion and coal-burning, gasoline vehicle exhaust emissions, diesel vehicle exhaust emissions, and road dust, contribution 48.63%, 23.07%, 18.82%, and 9.47%, respectively. Furthermore, there were clear differences in the pollution structure at each study site.

Key words: Guanzhong area; fine particulate matter; organic carbon; element carbon; positive matrix factorization(PMF)

碳组分[主要指元素碳(EC)和有机碳(OC)]是大气颗粒物的重要组成部分, 影响光的散射与吸收, 为大气化学过程提供载体和催化活性点位, 对环境空气质量、大气能见度、全球气候变化、身体健康^[1~3]都有着重要的影响。目前我国已开始对部分城市的碳组分展开研究, 主要集中在量浓度、时空分布特征、二次有机碳估算、来源解析以及对人体健康影响等方面^[4~7], 但对于人口密集的关中区域却研究较少, 因此, 有必要对关中地区碳组分污染特征展开研究。

本研究通过对2017年秋冬季关中地区细颗粒物(PM_{2.5})中OC、EC进行观测, 分析颗粒物中碳组分特征, 采用PMF受体模型进行源解析, 对认识关中地区

碳组分的区域污染特征及形成机制有着重要的意义, 以为关中地区颗粒物污染控制提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集

本研究选取关中地区的西安、渭南、铜川、宝鸡、咸阳为典型城市代表, 并在西安城市运动公园、渭南师范学院、铜川新区环境保护局、宝鸡市

收稿日期: 2018-10-25; 修订日期: 2019-01-16

基金项目: 2017年关中地区秋冬季大气颗粒物及挥发性有机物来源解析项目(2017); 陕西省教育厅专项科研计划项目(18JK0459)

作者简介: 康宝荣(1993~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为大气污染控制, E-mail: kangbr0258@163.com

* 通信作者, E-mail: Liulizhong@xauat.edu.cn

环境保护局、陕西中医药大学设置采样点见表 1。日、2017 年 11 月 13 日至 2018 年 1 月 19 日, 采样秋冬季采样时间分别为 2017 年 9 月 4 日至 11 月 7 周期 14 d(当日 10:30 至次日 08:30)。

表 1 采样点位情况

Table 1 Details for the sampling sites					
点位名称	城市	编号	经纬坐标	海拔高度/m	点位概况
城市运动公园	西安	XA	N34°20'43", E108°56'23"	382	公园, 周边行政区, 邻近高速路, 交通干道
渭南师范学院	渭南	WN	N34°29'41", E109°27'37"	363	校园内, 周边居民区, 距高速道路 600 m
铜川环保局	铜川	TCH	N34°53'58", E108°56'59"	709	周边居民区, 污染源少
宝鸡市环境监测中心	宝鸡	BJ	N34°21'18", E107°08'35"	599	周边居民区, 旅游区, 邻近城市主干道路
陕西中医药大学	咸阳	XY	N34°19'01", E108°44'21"	382	校园内, 周边污染较少

采样仪器为 TH-150F 型智能中流量采样器(武汉天虹仪表有限责任公司, 中国), 采样流量 $100\text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$. 采样滤膜使用石英滤膜($\Phi 90\text{ mm}$, Whatman QMA, 英国). 执行《环境空气颗粒物($\text{PM}_{2.5}$)手工监测方法(重量法)技术规范》(HJ 656-2013)标准. 气象条件采用当地气象局同期数据.

1.2 样品分析

1.2.1 样品称重分析

采样前后滤膜的称重使用精度为十万分之一($10\text{ }\mu\text{g}$)的电子天平(Mettler Toledo XAl05, 瑞士)进行称量, 称量条件为恒温($25^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$)、恒湿($40\%\pm 5\%$), 平衡时间为 24 h , 每张滤膜多次称量取平均值, 保证误差值小于 $\pm 40\text{ }\mu\text{g}$. 颗粒物浓度为颗粒物质量除以标况体积(0°C , 101.3 kPa).

1.2.2 碳组分分析

碳组分分析使用 Model 5L-NDIR 型 OC/EC 分析仪(Sunset Laboratory Inc), 采用热光透射法(Thermal-Optical Transmission, TOT), 遵循美国 EPA 推荐的 NIOSH870 分析方法^[8].

2 结果与讨论

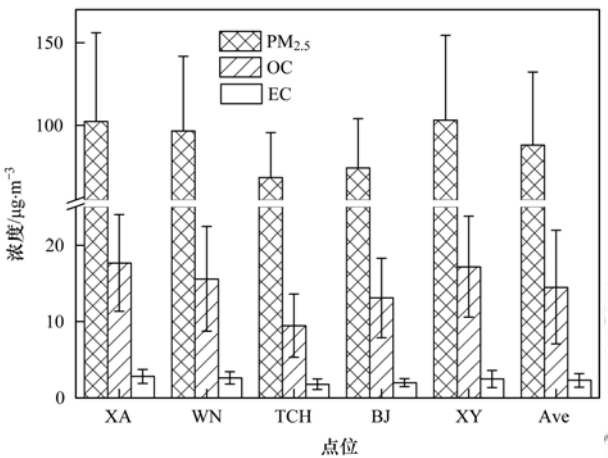
2.1 细颗粒物浓度分布特征

关中地区观测期间各点位细颗粒物及 OC、EC 浓度如图 1 所示, $\text{PM}_{2.5}$ 的平均浓度为 $(87.39\pm 46.54)\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 与我国《环境空气质量标准》(GB 3095-2012)规定的二级日均标准($\text{PM}_{2.5}$ 为 $75\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)相比, 整体来说受到细颗粒物的污染较为严重, XY、XA 和 WN 的浓度分别是标准浓度的 1.39、1.38 和 1.23 倍, 而 TCH 和 BJ 点位的颗粒物浓度均较低, 环境空气质量较好. 各点位 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度的空间分布为 $\text{XY}>\text{XA}>\text{WN}>\text{BJ}>\text{TCH}$, XA 与 XY 污染物浓度水平相当, 这与监测点位的地理位置相近、存在着相同的扩散条件和区域性污染结构密切相关.

2.2 细颗粒物碳组分浓度分布特征

2.2.1 OC、EC 浓度空间分布特征

观测期间关中地区大气 $\text{PM}_{2.5}$ 颗粒物中 OC 和



Ave 为 5 个监测点位颗粒物的平均浓度, 下同
图 1 关中地区细颗粒物及其 OC、EC 浓度分布特征
Fig. 1 Mass concentrations of $\text{PM}_{2.5}$, OC, and EC in the Guanzhong area

EC 的平均浓度分别为 $(14.48\pm 7.86)\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 $(2.27\pm 0.95)\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, OC 和 EC 浓度的空间分布与细颗粒物基本相同. XY 点位碳组分浓度最高, 细颗粒中 OC 浓度达到 $(17.8\pm 9.66)\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, EC 浓度达到 $(2.5\pm 1.18)\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 该点位东临沔河, 植被丰富, 北部有交通要道, 且咸阳工业较多, 明显存在多种污染源贡献.

2.2.2 OC、EC 浓度国内外对比

元素碳和有机碳目前没有标准的浓度限值, 可以相比于其它城市判断关中地区的污染状况, 如表 2 所示, 关中地区 $\text{PM}_{2.5}$ 中 OC 和 EC 的浓度低于较北的城市济南、北京和天津, 北方城市冬季需要供暖, 污染排放量增加, 碳组分的浓度普遍较高. 而天津是重要的工业城市, 化工行业、制造业等第二产业发达, 产业链接多为汽车集疏运输形式实现^[9], 北京和济南第二产业多, 有着密集的公路和航空线路, 燃料燃烧污染和交通污染可能是这些城市 OC 和 EC 浓度高的主要原因. 关中地区高于南方及沿海城市广州、香港及国外城市莱切(意大利)、洛杉矶(美国), 关中地区火电和煤化工行业集聚, 主要以煤炭消耗为主的单一能源结构, 煤炭消费量

占终端能源消费量的比重为 72.5%^[10]，加之盆地地形结构，不易于扩散，碳组分污染严重. 本研究监测浓度低于田鹏山等^[11]于 2012 年冬季监测的数据，低于王帆等^[12]2013 年西安市秋冬季监测数据，虽然碳组分测定方法及升温协议上存在差别，但其总碳组

分(TC)的含量基本上相同^[13]，说明近些年来碳组分的污染程度明显改善，这与关中地区区域联控政策和一系列大气污染防治工作如燃煤锅炉淘汰改造、清洁取暖及燃煤替代、散乱污企业整治、机动车限行和建筑施工扬尘管控等密切相关.

表 2 关中地区 OC 和 EC 浓度与国内外城市对比¹⁾

Table 2 Comparison of OC and EC concentrations with other cities					
监测点位	采样时期	测定方法与协议	OC/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	EC/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	文献
关中地区	2017 年秋季	TOT, NIOSH	9.98 ± 4.90	1.93 ± 0.98	本研究
	2017 年冬季	TOT, NIOSH	18.18 ± 7.93	2.56 ± 0.83	本研究
	2012 年冬季	TOR, IMPROVE	$31.2 \sim 47.8$	$5.7 \sim 8.5$	[11]
西安	2017 年秋季	TOT, NIOSH	10.74 ± 4.12	2.34 ± 0.92	本研究
	2017 年冬季	TOT, NIOSH	21.63 ± 8.04	3.05 ± 0.85	本研究
西安	2013 年秋季	TOT, NIOSH	29.77	8.4	[12]
	2013 年冬季	TOT, NIOSH	51.58	9.87	[12]
北京	2013 年冬季	TOT, —	18.3 ± 15.1	4.7 ± 3.6	[14]
济南	2008 年秋季	TOT, NIOSH	24.55 ± 8.42	2.48 ± 1.18	[15]
	2008 年冬季	TOT, NIOSH	34.35 ± 18.76	5.09 ± 3.54	[15]
广州	2012 年秋季	TOT, NIOSH	7.6 ± 3.8	0.9 ± 0.4	[16]
	2012 年冬季	TOT, NIOSH	7.5 ± 4.7	1.0 ± 0.4	[16]
香港	2011 年秋季	TOT, NIOSH	3.76	—	[17]
	2012 年冬季	TOT, NIOSH	2.94	—	[17]
天津	2017 年 1 月	TOT, NIOSH	23.46	7.75	[18]
Lecce	2013 ~ 2016	TOT, NIOSH	4.68	0.62	[19]
Los Angeles	2012 ~ 2013	TOT, NIOSH	2.91 ± 0.74	0.52 ± 0.10	[20]

1) “—”表示文献中未提及

2.2.3 OC 和 EC 在 PM_{2.5} 中占比及季节分布

OC 和 EC 在细颗粒物中的占比如表 3 所示，比例范围分别为 6.54% ~ 31.54% 和 1.08% ~ 7.10%，平均占比分别为 18.04% 和 2.99%。TCH 点位碳组分浓度及占比均低于其它点位，这与铜川的海拔高度与地理位置有关，关中地区为南北两山夹一谷的地形，主要风向为东北风，秋冬季地面风速低，弱东风可将东部部分污染传输至西部，即 WN、XY、XA 和 BJ 点位方向的污染物积累，又由于关中地区的口袋形地形，没有西北强风的影响，污染物将在盆地内徘徊，不易扩散，呈明显的中部浓度高，周边相对较低特征，TCH 点位所受影响较小.

表 3 关中地区 OC 和 EC 在 PM_{2.5} 中平均占比¹⁾/%

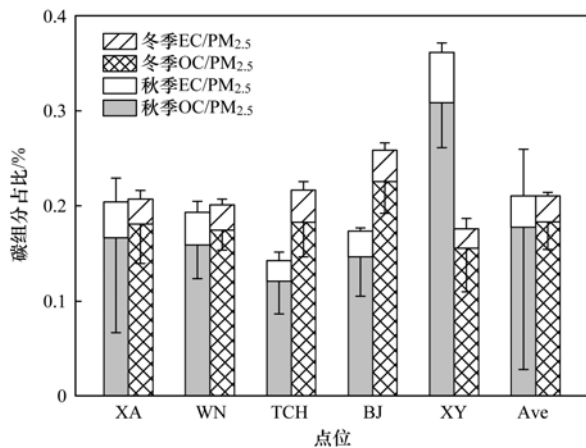
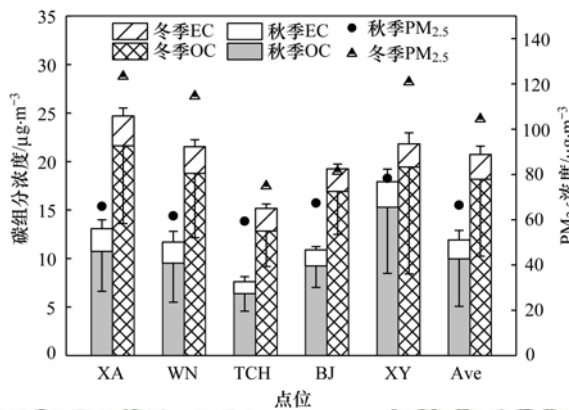
Table 3 Percentage of OC and EC in PM _{2.5} for the Guanzhong area/%				
采样点位	OC/PM _{2.5}	EC/PM _{2.5}	TC/PM _{2.5}	OC/EC
XA	17.55	3.03	20.58	6.19
WN	16.80	2.96	19.76	6.07
TCH	14.81	2.70	17.51	5.54
BJ	18.61	2.97	21.58	6.48
XY	21.59	3.28	24.87	7.16
Ave	18.04	2.99	21.04	6.33

1) Ave 为 5 个监测点位颗粒物的平均浓度

关中地区各点位秋冬季节的颗粒物污染特征如图 2 和图 3 所示，各点位 OC 和 EC 浓度季节分布明显，呈秋季低冬季高的特点. 冬季混合层降低，环境容量减少，污染物排放量增加，不易扩散导致污染加重. 且冬季低挥发性前体物低温情况下可在气相中凝聚并凝结于颗粒物表面，同时可溶性气体在颗粒物中的凝结也可增加 OC 的浓度. PM_{2.5} 碳组分占比中，XA 和 WN 点位秋冬季变化较小，而 XY 冬季细颗粒碳组分占比明显下降，可能原因是观测期间降雪天气居多，加之 EC 具有良好的表面吸附活性，比表面积较大的雪花在降落过程中更易黏附或者凝结碳气溶胶，沉降于地面从而减少碳气溶胶的含量，同时降雪天气常常伴随着冷锋过境的影响^[21].

2.2.4 OC 与 EC 相关性及其比值分析

不同污染源排放的颗粒物中 OC 与 EC 比值不同，因此在一定程度上能够定性判断污染的来源^[22]. 有研究结果表明，烟煤/沥青煤燃烧的 OC/EC 的值为 0.32 ~ 13.6，无烟煤燃烧的比值为 1.49 ~ 14.8，平均比值为 6.3^[23, 24]，机动车尾气污染为 4.1^[25]，由于生物质燃烧的种类较多，国内外对生物质燃烧污染的 OC/EC 值存在差异，Cachier 等^[26]

图2 OC和EC在PM_{2.5}中占比的季节分布Fig. 2 Seasonal variation of OC and EC ratios in PM_{2.5}图3 PM_{2.5}及其OC和EC浓度的季节分布Fig. 3 Seasonal variation of OC, EC, and PM_{2.5} concentrations

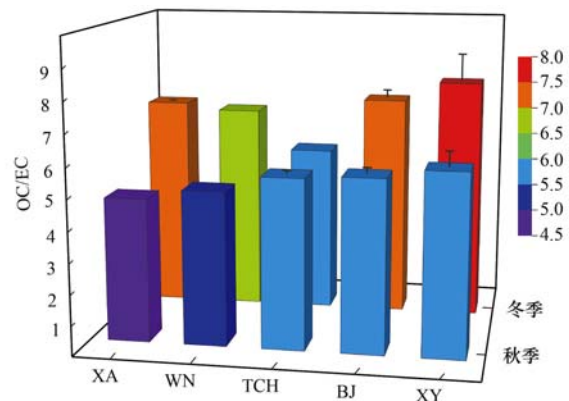
的研究结果为9, Chen等^[24]得到国内部分地区生物质燃烧中OC/EC的比值为13~15, 关中地区细颗粒物中OC/EC比值范围为3.14~10.76, 说明关中地区燃煤污染和机动车污染源是主要的污染贡献源。如图4所示, 各点位颗粒物中OC/EC比值有着明显的差异, 这也与当地不同的污染源结构有关。

空间分布上, XY的比值最高, 其次是BJ、XA和WN, TCH的比值最低, 季节分布来看, 除TCH外其它点位冬季明显地高于秋季, TCH点位秋冬季污染结构未发生较为明显的变化, 也可能监测期间有良好的扩散条件。对关中地区细颗粒物中秋冬季OC与EC进行相关性分析可知, 秋季相关系数 R^2 ($P < 0.05$) 为0.799, 冬季 R^2 ($P < 0.05$) 为0.792, 均表现为显著性相关, 说明关中地区秋冬季细颗粒物中OC与EC有着较为相同的来源。

2.3 碳组分污染来源解析

2.3.1 碳组分特征分析

本研究采用NIOSH870协议, 通过热光透射法在不同的温度梯度下能够得到10种碳组分, 在一定程度上能够表现源谱特征, 实现颗粒物中碳组分

图4 PM_{2.5}中OC/EC值分布Fig. 4 Distribution of OC/EC ratios in PM_{2.5}

的来源解析。各点位碳组分浓度分布如图5所示, 分布顺序为OC1 > EC2 > EC3 > OC4 > EC1 > OC2 > OC3 > EC4 > EC6 > EC5, OC1在碳组分中比例最高为23.44%, EC2和EC3的比例均约为15%, EC5和EC6的比例均小于1%。各点位中组分浓度分布情况较为一致, 比例存在明显的差异, 其中EC3和OC1在TCH点位的比例高, OC2在XA点位的比例最高, EC2在XY点位的比例较高。季节分布中, OC1、OC2和OC3的比例秋冬季基本保持不变, OC4、EC4、EC5和EC6的比例低, 季节特征明显, 秋季高于冬季。EC1、EC2和EC3则表现为秋季低冬季高。

2.3.2 正矩阵因子分解法来源解析

正矩阵因子分解法(positive matrix factorization, PMF)目前已经广泛地应用于气溶胶及其组分污染来源的定量解析, 本研究采用美国国家环境保护署(EPA)发布的PMF 5.0模型, 输入的组分种类为OC1、OC2、OC3、OC4、EC1、EC2、EC3、EC4、EC5、EC6和TC, 不确定性设置为相应浓度的10%, 运行前需对异常值数据进行排除, 以尽量减少数据误差。

本研究通过对不同因子数量的对比, 得出4类(factor=4)因子运行的结果中 $Q_{\text{robust}}/Q_{\text{exp}}$ 的减少量最小为1.84, 因此选择4类污染因子进行关中地区颗粒物污染来源解析^[27]。PMF模型模拟计算的数据与实际监测数据的相关性如表4所示, 每组物种除EC5外其它 R^2 值均大于0.85, TC的相关性达到0.99, 数据值较为准确。为确定本次运行结果的稳定性, 需对PMF模型结果进行误差评估分析(error estimation, EE), 结果显示, 运行4种污染因子, DISP方法误差分析中, Q 值的变化率小于0.1%, 因子的交换个数为0, BS方法误差分析中, 因子映射率(mapping)均大于80%, 说明模型运行结果较为稳定^[27]。

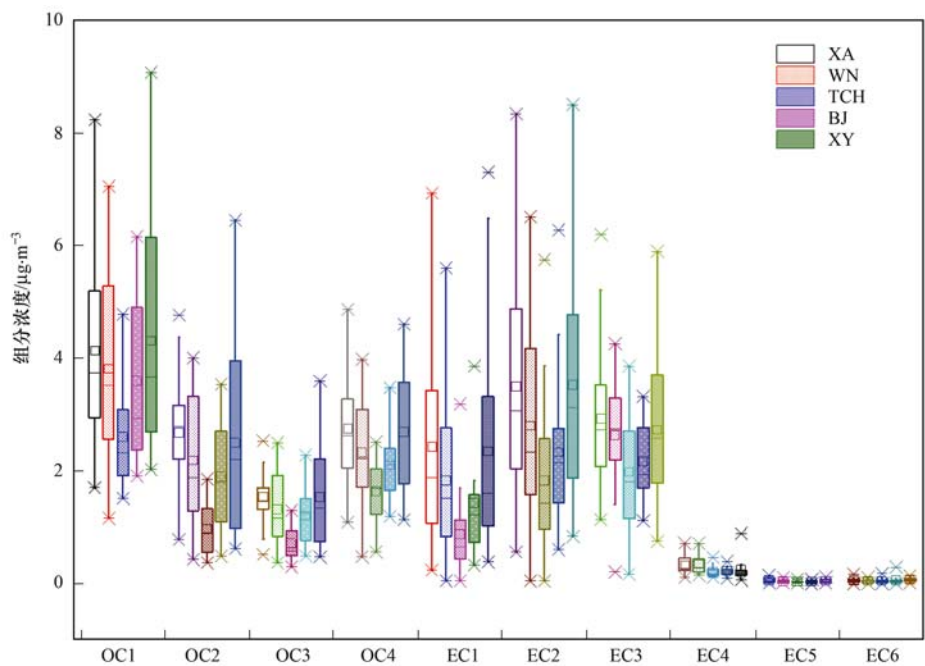


图 5 关中地区细颗粒中各类碳组分浓度

Fig. 5 Concentrations of carbon components in PM_{2.5}

表 4 监测数据与 PMF 模型模拟计算结果相关性分析

Table 4 Linear fitting between monitoring data and simulation results of the PMF model

项目	OC1	OC2	OC3	OC4	EC1	EC2	EC3	EC4	EC5	EC6	TC
R^2	0.927	0.983	0.986	0.939	0.943	0.986	0.877	0.944	0.779	0.943	0.995

根据不同污染因子的特征谱图可以判断污染因子的类型^[8, 28]，观测期间关中地区 PM_{2.5} 中碳组分

各类污染源特征谱图如图 6，因子 1 中 OC1 (52.15%)、OC2(68.17%)、OC3(58.61%) 和 EC1

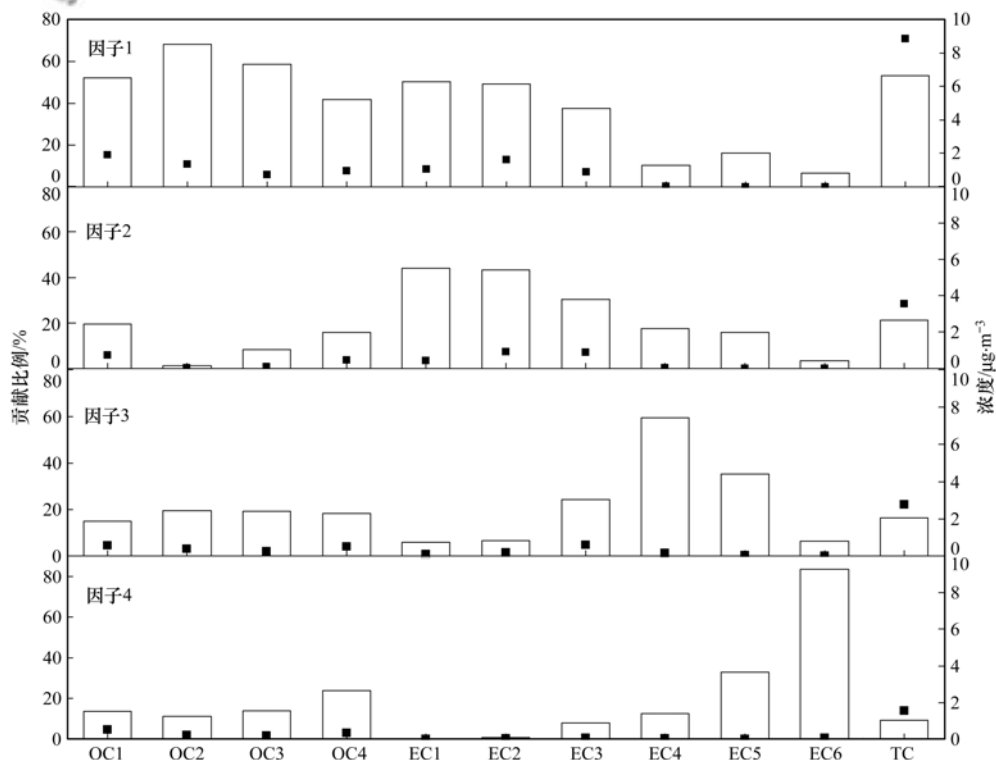


图 6 细颗粒物碳组分不同污染来源成分谱图

Fig. 6 Contributions of different carbonaceous components to factors 1-4

(50.82%)的贡献较大,主要是较易挥发的有机物,将其识别为生物质燃烧与燃煤污染源;因子2中EC1(44.04%)、EC2(43.25%)和OC1(19.37%)的贡献比例大,将其识别为汽油车尾气污染源;因子3中EC3(24.22%)和EC4(59.59%)的贡献比例较大,将其识别为柴油车污染;因子4中OC4(15.5%)、EC5(32.84%)和EC6(83.51%)的贡献比例较大,还有少量的EC4和EC3存在,将其识别为道路扬尘类污染源,该类源可能含有碳酸盐类的其它扬尘污染,也可能为石英膜在高温条件下自身的物质被分解出来造成的,有待进一步研究。

监测期间大气颗粒物细颗粒物中碳组分的源解析结果如图7所示,饼图为该城市点位观测期间各污染源的贡献分布。碳组分主要的污染贡献来源是生物质燃烧与燃煤源,所占比例为48.63%,其次是汽油车尾气源(23.07%),柴油车尾气源(18.82%),道路扬尘类污染(9.47%)。从季节分布来看,生物质燃烧与燃煤污染在冬季明显增加,由于冬季供暖开始,散煤燃烧以及城市供热系统等污染排放量增加。汽油车尾气污染贡献有所增加,可能是冬季低温条件下机动车冷启动引起的排放量增加,柴油车尾气排放污染与道路扬尘类污染均有所减少,可能受到了冬季“禁土”与柴油车限行政策的影响。

从点位分布来看,XA、WN、BJ和XY点位生物质燃烧与燃煤是主要贡献源,其中XY影响最大,而TCH点位主要是机动车尾气源污染,其受到的道路扬尘污染贡献比例最大为13.28%,因扩散条件良好,TCH点位污染物混合及化学反应条件不足,直接排放和尘类污染影响相对较大。XY点位秋冬季生物质与燃煤燃烧源贡献变化相对较小,污

染程度均高。BJ点位冬季生物质与燃煤燃烧贡献最大,可能受到污染传输累积于此。不同城市点位的污染结构有所不同,这与城市的地理位置、气象扩散条件、发展水平、能源结构等有很大的关系。

3 结论

(1)观测期间关中地区5个点位细颗粒物浓度的空间分布差异明显,XY、WN和XA观测点位颗粒物浓度均超标,而BJ和TCH空气质量相对较好。细颗粒物中OC和EC的浓度分别为 $(14.48 \pm 7.86) \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 和 $(2.27 \pm 0.95) \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$,占比分别为18.04%和2.99%,与其他城市相比污染较为严重。碳组分含量的空间分布为 $\text{XY} > \text{WN} > \text{XA} > \text{BJ} > \text{TCH}$,且季节差异明显冬季含量高于秋季。

(2)关中地区细颗粒物中OC/EC比值范围为3.14~10.76,说明燃煤污染和机动车污染源是主要的污染贡献源,OC与EC的相关性显著,有着较为相同的污染来源。

(3)关中地区细颗粒物中各点位各类碳组分的平均浓度分布序列为 $\text{OC1} > \text{EC2} > \text{EC3} > \text{OC4} > \text{EC1} > \text{OC2} > \text{OC3} > \text{EC4} > \text{EC6} > \text{EC5}$,OC1组分比例最高为23.44%,EC2和EC3的比例约为15%。PMF模型源解析结果表明,该地区碳组分污染来源主要有生物质燃烧与燃煤污染源、汽油车尾气污染、柴油车尾气污染、道路扬尘污染源4类,其贡献率分别为48.63%、23.07%、18.82%和9.47%,其中铜川受到的机动车尾气污染源的影响最大,其它点位生物质燃烧与燃煤污染贡献最大。燃煤类污染源贡献季节变化最为明显,这与关中地区供暖有直接关系。

参考文献:

- [1] 竹涛,徐东耀,于妍. 大气颗粒物控制[M]. 北京:化学工业出版社,2013.
- [2] 张承中,丁超,周变红,等. 西安市冬、夏两季 $\text{PM}_{2.5}$ 中碳气溶胶的污染特征分析[J]. 环境工程学报,2013,7(4): 1477-1481.
Zhang C Z, Ding C, Zhou B H, et al. Pollution characteristics of carbon aerosol in $\text{PM}_{2.5}$ of Xi'an during winter and summer[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2013, 7(4): 1477-1481.
- [3] Sharma S, Brook J R, Cachier H, et al. Light absorption and thermal measurements of black carbon in different regions of Canada[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2002, 107(D24): 4771.
- [4] 陶李. 西安市大气中 $\text{PM}_{2.5}$ 及其碳气溶胶污染特征研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2011.
- [5] Cao J J, Lee S C, Ho K F, et al. Spatial and seasonal variations of atmospheric organic carbon and elemental carbon in Pearl River Delta Region, China[J]. Atmospheric Environment, 2004, 38(27): 4447-4456.
- [6] 唐小玲,毕新慧,陈颖军,等. 不同粒径大气颗粒物中有机

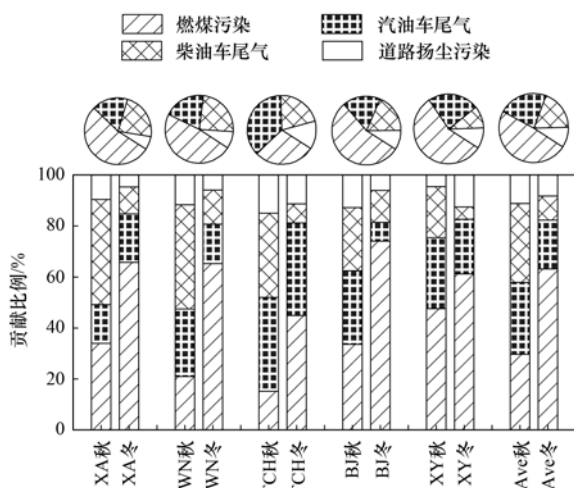


图7 细颗粒物中碳组分污染源PMF解析结果

Fig. 7 Results of the PMF modeling of carbon components and pollution sources

- 碳(OC)和元素碳(EC)的分布[J]. 环境科学研究, 2006, **19**(1): 104-108.
- Tang X L, Bi X H, Chen Y J, *et al.* Study on the size distribution of organic carbon (OC) and elemental carbon (EC) in the aerosol[J]. Research of Environmental Sciences, 2006, **19**(1): 104-108.
- [7] 杜博涵, 黄晓锋, 何凌燕, 等. 宁波市 $PM_{2.5}$ 中碳组分的时空分布特征和二次有机碳估算[J]. 环境科学, 2015, **36**(9): 3128-3134.
- Du B H, Huang X F, He L Y, *et al.* Seasonal and spatial variations of carbon fractions in $PM_{2.5}$ in Ningbo and the estimation of secondary organic carbon [J]. Environmental Science, 2015, **36**(9): 3128-3134.
- [8] Bian Q J, Alharbi B, Shareef M M, *et al.* Sources of $PM_{2.5}$ carbonaceous aerosol in Riyadh, Saudi Arabia[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2018, **18**(6): 3969-3985.
- [9] 宋天月. 浅谈天津市主导产业 [DB/OL]. <https://wenku.baidu.com/view/70561f780029bd64793e2c5b.html>, 2016-03-07.
- [10] 陕西省统计局. 新常态下陕西能源生产平稳发展 能源消费结构改善 [DB/OL]. <http://www.shaanxitj.gov.cn/site/1/html/126/131/138/17854.htm>, 2018-05-23.
- [11] 田鹏山, 曹军骥, 韩永明, 等. 关中地区冬季 $PM_{2.5}$ 中碳气溶胶的污染特征及来源解析[J]. 环境科学, 2016, **37**(2): 427-433.
- Tian P S, Cao J J, Han Y M, *et al.* Pollution characteristics and sources of carbonaceous aerosol in $PM_{2.5}$ during winter in Guanzhong area [J]. Environmental Science, 2016, **37**(2): 427-433.
- [12] 王帆, 韩婧, 张俊, 等. 西安城区大气 $PM_{2.5}$ 中有机碳与元素碳的污染特征[J]. 环境保护科学, 2015, **41**(2): 80-85.
- Wang F, Han J, Zhang J, *et al.* Simple analysis of pollution characteristics of organic carbon and elemental carbon in $PM_{2.5}$ in the atmosphere of Xi'an city [J]. Environmental Protection Science, 2015, **41**(2): 80-85.
- [13] Chow J C, Watson J G, Crow D, *et al.* Comparison of IMPROVE and NIOSH carbon measurements [J]. Aerosol Science and Technology, 2001, **34**(1): 23-34.
- [14] Ji D S, Zhang J K, He J, *et al.* Characteristics of atmospheric organic and elemental carbon aerosols in urban Beijing, China [J]. Atmospheric Environment, 2016, **125**: 293-306.
- [15] Zhou S Z, Yang L X, Gao R, *et al.* A comparison study of carbonaceous aerosols in a typical North China Plain urban atmosphere: seasonal variability, sources and implications to haze formation[J]. Atmospheric Environment, 2017, **149**: 95-103.
- [16] Lai S C, Zhao Y, Ding A J, *et al.* Characterization of $PM_{2.5}$ and the major chemical components during a 1-year campaign in rural Guangzhou, Southern China[J]. Atmospheric Research, 2016, **167**: 208-215.
- [17] Zhou S Z, Wang T, Wang Z, *et al.* Photochemical evolution of organic aerosols observed in urban plumes from Hong Kong and the Pearl River Delta of China [J]. Atmospheric Environment, 2014, **88**: 219-229.
- [18] 元洁, 刘保双, 程渊, 等. 2017 年 1 月天津市 $PM_{2.5}$ 化学组分特征及高时间分辨率来源解析研究[J]. 环境科学学报, 2018, **38**(3): 1090-1101.
- Yuan J, Liu B S, Cheng Y, *et al.* Study on characteristics of $PM_{2.5}$ and chemical components and source apportionment of high temporal resolution in January 2017 in Tianjin urban area [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2018, **38**(3): 1090-1101.
- [19] Cesari D, Merico E, Dinioi A, *et al.* Seasonal variability of carbonaceous aerosols in an urban background area in Southern Italy [J]. Atmospheric Research, 2018, **200**: 97-108.
- [20] Shirmohammadi F, Hasheminassab S, Saffari A, *et al.* Fine and ultrafine particulate organic carbon in the Los Angeles basin: trends in sources and composition [J]. Science of the Total Environment, 2016, **541**: 1083-1096.
- [21] 热比古丽·达木拉. 乌鲁木齐大气多环芳烃、有机碳/元素碳粒径及季节性分布 [D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2013.
- [22] 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.
- [23] Tian J, Ni H Y, Cao J J, *et al.* Characteristics of carbonaceous particles from residential coal combustion and agricultural biomass burning in China [J]. Atmospheric Pollution Research, 2017, **8**(3): 521-527.
- [24] Chen Y J, Zhi G R, Feng Y L, *et al.* Measurements of emission factors for primary carbonaceous particles from residential raw-coal combustion in China [J]. Geophysical Research Letters, 2006, **33**(20): L20815.
- [25] 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.
- [26] Cachier H, Brémond M P, Buat-Ménard P. Carbonaceous aerosols from different tropical biomass burning sources [J]. Nature, 1989, **340**(6232): 371-373.
- [27] Brown S G, Eberly S, Paatero P, *et al.* Methods for estimating uncertainty in PMF solutions: examples with ambient air and water quality data and guidance on reporting PMF results [J]. Science of the Total Environment, 2015, **518-519**: 626-635.
- [28] Watson J G, Chow J C, Lowenthal D H, *et al.* Differences in the carbon composition of source profiles for diesel- and gasoline-powered vehicles [J]. Atmospheric Environment, 1994, **28**(15): 2493-2505.

CONTENTS

Characteristics of PM _{2.5} Pollution and the Efficiency of Concentration Control During a Red Alert in the Beijing-Tianjin-Hebei Region, 2016	ZHANG Chong, LANG Jian-lei, CHENG Shui-yuan, <i>et al.</i> (3397)
Concentration Characteristics of PM _{2.5} and the Causes of Heavy Air Pollution Events in Beijing During Autumn and Winter	XU Ran, ZHANG Heng-de, YANG Xiao-wen, <i>et al.</i> (3405)
Elemental Composition Characteristics of PM _{2.5} and PM ₁₀ , and Heavy Pollution Analysis in Hefei	LIU Ke-ke, ZHANG Hong, LIU Gui-jian (3415)
Pollution Characteristics and Source Apportionment of Fine Particulate Matter in Autumn and Winter in Puyang, China	CHEN Chu, WANG Ti-jian, LI Yuan-hao, <i>et al.</i> (3421)
Pollution Characteristics and Sources of Carbonaceous Components in PM _{2.5} in the Guanzhong Area	KANG Bao-rong, LIU Li-zhong, LIU Huan-wu, <i>et al.</i> (3431)
Molecular Composition and Source Apportionment of Fine Organic Aerosols in Autumn in Changchun	WU Xia, CAO Fang, ZHAI Xiao-yao, <i>et al.</i> (3438)
Effects of Urban Expansion and Changes in Urban Characteristics on PM _{2.5} Pollution in China	WANG Gui-lin, ZHANG Wei (3447)
Effect of a Wet Flue Gas Desulphurization System on the Emission of PM _{2.5} from Coal-Fired Power Plants	DENG Jian-guo, MA Zi-zhen, LI Zhen, <i>et al.</i> (3457)
Pollution Characteristics and Emission Coefficients for Volatile Organic Compounds from the Synthetic Leather Industry in Zhejiang Province	XU Jia-qí, WANG Zhe-míng, SONG Shuang, <i>et al.</i> (3463)
Particle Size Distribution and Population Characteristics of Airborne Bacteria Emitted from a Sanitary Landfill Site	MA Jia-wei, YANG Kai-xiong, CHAI Feng-guang, <i>et al.</i> (3470)
Distribution of Total Microbes in Atmospheric Bioaerosols in the Coastal Region of Qingdao	GONG Jing, QI Jian-hua, LI Hong-tao (3477)
Distribution, Sources, and Health Risk Assessment of PAHs in Water Supply Source Regions of Guangzhou	SONG Yu-mei, WANG Chang, LIU Shang, <i>et al.</i> (3489)
Distribution of 16 Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Dianchi Lake Surface Sediments After the Integrated Water Environment Control Project	HU Xin-yi, GAO Bing-li, CHEN Tan, <i>et al.</i> (3501)
Distribution Characteristics and Source Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Salinized Farmland Soil from the Oil Mining Area of the Yellow River Delta	QIU Hui, LIU Yue-xian, XIE Xiao-fan, <i>et al.</i> (3509)
Wind Field Influences on the Spatial Distribution of Cyanobacterial Blooms and Nutrients in Meiliang Bay of Lake Taihu, China	YU Mao-lei, HONG Guo-xi, ZHU Guang-wei, <i>et al.</i> (3519)
Spatial and Temporal Distribution Characteristics and the Retention Effects of Nutrients in Xiangjiaba Reservoir	WANG Yao-yao, LÜ Lin-peng, JI Dao-bin, <i>et al.</i> (3530)
Effects of Exogenous Inputs on Phosphorus Recovery and Transport in Newborn Surface Layers from Sediment Dredging	LI Xin, GENG Xue, WANG Hong-wei, <i>et al.</i> (3539)
Chemical Characteristics and Sources of Groundwater Sulfate in the Kashgar Delta, Xinjiang	WEI Xing, ZHOU Jin-long, NAI Wei-hua, <i>et al.</i> (3550)
Groundwater Chemistry Characteristics and the Analysis of Influence Factors in the Luochuan Loess Tablelands	LI Zhou, LI Chen-xi, HUA Kun, <i>et al.</i> (3559)
Analysis of River Zooplankton Community Characteristics in Autumn in Beijing	WANG Hai-lin, LIU Yu-fei, REN Yu-fen, <i>et al.</i> (3568)
Benthic Diatom Communities in the Main Stream of Three Gorges Reservoir Area and Its Relationship with Environmental Factors	LIU Li, HE Xin-yu, FU Jun-ke, <i>et al.</i> (3577)
Environmental Response and Ecological Function Prediction of Aquatic Bacterial Communities in the Weihe River Basin	WAN Tian, HE Meng-xia, REN Jie-hui, <i>et al.</i> (3588)
Community Composition of <i>nirS</i> -type Denitrifying Bacteria in the Waters of the Lower Reaches of the Fenne River and Its Relationship with Inorganic Nitrogen	WANG Yin-long, FENG Min-quan, DONG Xiang-qian (3596)
Metabolic Functional Analysis of Dominant Microbial Communities in the Rapid Sand Filters for Drinking Water	HU Wan-chao, ZHAO Chen, WANG Qiao-juan, <i>et al.</i> (3604)
Control Measure Effects on the Effluent Quality from Extensive Green Roofs Based on Stabilized Sludge Recycling	PENG Hang-yu, LI Tian, QI Yue, <i>et al.</i> (3612)
Impacts of Vegetation on Quantity and Quality of Runoff from Green Roofs	ZHANG Sun-xun, ZHANG Shou-hong, ZHANG Ying, <i>et al.</i> (3618)
Organic Matter Removal and Membrane Fouling Control of Secondary Effluents Using a Combined Nanofiltration Process	FAN Ke-wen, LI Xing, YANG Yan-ling, <i>et al.</i> (3626)
Adsorption Properties of Ammonia Nitrogen in Aqueous Solution by Various Materials	JIAO Ju-long, YANG Su-wen, XIE Yu, <i>et al.</i> (3633)
Effects of Different Concentrations of Ammonia Nitrogen on the Growth and Enzyme Activity of Four Common Algae Strains	CHANG Ting, XU Zhi-hui, CHENG Peng-fei, <i>et al.</i> (3642)
Treatment of Highly Concentrated Swine Wastewater and Its Degradation Processes Using Three Matrix Materials	LIU Ming-yu, XIA Meng-hua, LI Yuan-hang, <i>et al.</i> (3650)
Phosphorus Removal Performance and Mechanism of Modified Zeolite Using Alum Sludge Acidified Extraction Liquid	HAN Yun, HU Yu-jie, LIAN Jie, <i>et al.</i> (3660)
Advanced Denitrification of Municipal Wastewater Achieved via Partial ANAMMOX in Anoxic MBBR	YANG Lan, PENG Yong-zhen, LI Jian-wei, <i>et al.</i> (3668)
Effect of an Aerobic Unit and a Sedimentation Unit on Sludge and Nitrogen Removal in an Anoxic Unit in a Continuous-flow System	XUE Huan-ting, YUAN Lin-jiang, LIU Xiao-bo, <i>et al.</i> (3675)
Performance and Mechanisms of Advanced Nitrogen Removal via FeS-driven Autotrophic Denitrification Coupled with ANAMMOX	MA Jing-de, PAN Jian-xin, LI Ze-min, <i>et al.</i> (3683)
Simultaneous Conversion Conditions of Ammonia and Sulfate in ANAMMOX Systems	DONG Shi-yu, BI Zhen, ZHANG Wen-jing, <i>et al.</i> (3691)
Potential Source Environments for Microbial Communities in Wastewater Treatment Plants (WWTPs) in China	ZHANG Bing, WU Lin-wei, WEN Xiang-hua (3699)
Comparison of the Microbial Community Structure in Nitrifying Processes Operating with Different Dissolved Oxygen Concentrations	LIU Wen-ru, GU Guang-fa, SONG Xiao-kang, <i>et al.</i> (3706)
Simultaneous Nitrogen and Phosphorus Removal and Kinetics by the Heterotrophic Nitrifying Bacterium <i>Acinetobacter junii</i> NP1	YANG Lei, CHEN Ning, REN Yong-xiang, <i>et al.</i> (3713)
Realization of Limited Filamentous Bulking with Type 0092 Filamentous Bacteria as the Dominant Filamentous Bacteria in Shortcut Nitrification	GAO Chun-di, AN Ran, HAN Hui, <i>et al.</i> (3722)
Nitrification, Denitrification, and N ₂ O Production Under Saline and Alkaline Conditions	DAI Wei, ZHAO Jian-qiang, DING Jia-zhi, <i>et al.</i> (3730)
Effect of Biochar on Ammonia Volatilization in Saline-Alkali Soil	WANG Yi-yu, WANG Sheng-sen, DAI Jiu-lan (3738)
Effect of Two Soil Synergists on Ammonia Volatilization in Paddy Fields	ZHOU Yu-ling, HOU Peng-fu, LI Gang-hua, <i>et al.</i> (3746)
Determination of Heavy Metal Geochemical Baseline Values and Its Accumulation in Soils of the Luanhe River Basin, Chengde	SUN Hou-yun, WEI Xiao-feng, GAN Feng-wei, <i>et al.</i> (3753)
Migration and Source Analysis of Heavy Metals in Vertical Soil Profiles of the Drylands of Xiamen City	ZHANG Wei-hua, YU Rui-lian, YANG Yu-jie, <i>et al.</i> (3764)
Heavy Metal Pollution Characteristics and Influencing Factors in Baoji Urban Soils	ZHANG Jun, DONG Jie, LIANG Qing-fang, <i>et al.</i> (3774)
Stabilizing Effects of Fe-Ce Oxide on Soil As(V) and P	LIN Long-yong, YAN Xiu-lan, YANG Shuo (3785)
Stabilization of Arsenic-Contaminated Soils Using Fe-Mn Oxide Under Different Water Conditions	ZHOU Hai-yan, DENG Yi-rong, LIN Long-yong, <i>et al.</i> (3792)
Effects of Biochar Amendment on Soil Microbial Biomass Carbon, Nitrogen and Dissolved Organic Carbon, Nitrogen in Paddy Soils	LIU Jie-yun, QIU Hu-sen, TANG Hong, <i>et al.</i> (3799)
Effects of Organic Amendments on Microbial Biomass Carbon and Nitrogen Uptake by Corn Seedlings Grown in Two Purple Soils	WANG Yue, ZHANG Ming-hao, ZHAO Xiu-lan (3808)
Effects of Land Use Type on the Content and Stability of Organic Carbon in Soil Aggregates	LUO Xiao-hong, WANG Zi-fang, LU Chang, <i>et al.</i> (3816)
Effects of Converting Farmland into Forest and Grassland on Soil Nitrogen Component and Conversion Enzyme Activity in the Mountainous Area of Southern Ningxia	GAO Han, XIAO Li, NIU Dan, <i>et al.</i> (3825)
Leaching Behavior of Dissolved Organic Matter in Biochar with Different Extracting Agents	HE Pin-jing, ZHANG Hao-hao, QIU Jun-jie, <i>et al.</i> (3833)
Toxicity of PM _{2.5} Based on a Battery of Bioassays	JIANG Xiao-dong, XUE Yin-gang, WEI Yong, <i>et al.</i> (3840)