

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



2020

Vol.41 No.9
第41卷 第9期

目次

2020年天津市两次重污染天气污染特征分析·····	肖致美,徐虹,蔡子颖,李鹏,刘彬,元洁,郑乃源,唐遨,陈魁,邓小文(3879)
基于高分辨率MARGA分析成都市PM _{2.5} 中水溶性离子污染特征·····	尹寒梅,陈军辉,冯小琼,姜涛,钱骏,刘政(3889)
宿迁市PM _{2.5} 中水溶性无机离子的季节特征和来源分析·····	马红璐,赵欣,陆建刚,王辉,许纯领,欧阳琰,朱新胜,殷堂兵,漆丹,陆亚秋,汪玖阳,陆声兴(3899)
鼎湖山大气颗粒物中OC与EC的浓度特征及粒径分布·····	李安娜,温天雪,华维,杨员,孟泽,胡波,辛金元(3908)
鞍山市道路扬尘碳组分特征及来源解析·····	林孜,姬亚芹,林宇,国纪良,马妍,赵静琦(3918)
西安市冬季PM _{2.5} 中WSOC的光谱特性和来源解析·····	杨毅,张亚楠,刘焕武,田萍萍,李亚飞,雷颖,王一博(3924)
长三角地区气溶胶光学性质与新粒子生成观测·····	杜盈盈,陈军,张家洛,甘桂城,刘瑜存,苏明旭,楼晟荣,周敏,陶士康,乔利平(3932)
连云港市挥发性有机化合物的组分特征及来源解析·····	崔金梦,王体健,李秋潼,董立文,黄丛丞,曹云擎(3941)
成都市城区大气VOCs季节污染特征及来源解析·····	王成辉,陈军辉,韩丽,徐晨曦,王波,李英杰,刘政,钱骏(3951)
德州市夏季臭氧敏感性特征及减排方案·····	严茹莎(3961)
超低改造下中国火电排放清单及分布特征·····	屈加豹,王鹏,伯鑫,薛晓达,董广霞,崔磊,康明雄,王彤,汤铃,朱法华,李时蓓(3969)
浙江省人为源氨排放清单建立及分布特征·····	赵睿东,于兴娜,侯新红,沈丽(3976)
垃圾焚烧烟气中二噁英控制技术的评估与筛选·····	赵思岚,奚鹏飞,郭凤艳,邓双,贾建丽(3985)
兰州市两场典型降水事件稳定同位素特征及其水汽来源·····	韩婷婷,张明军,王圣杰,杜勤勤,马转转,郭蓉,曹晏风(3993)
然乌湖流域地表水水化学特征及控制因素·····	张涛,王明国,张智印,刘廷,何锦(4003)
河套灌区地下水化学演变特征及形成机制·····	崔佳琪,李仙岳,史海滨,孙亚楠,安海军,邢进平(4011)
石期河流域地下水化学特征及物质来源分析·····	李笑,于爽,李亮,郭永丽(4021)
长江中下游湖泊水体氮磷时空变化特征及其影响因素·····	季鹏飞,许海,詹旭,朱广伟,邹伟,朱梦圆,康丽娟(4030)
2016~2017年长荡湖流域湖库系统营养盐时空分布机制分析·····	李新艳,李恒鹏,姜三元,马培,赖锡军,邓建才,陈东强,耿建伟(4042)
菹草对湖泊水质及浮游植物群落结构的影响·····	康丽娟,许海,邹伟,朱广伟,朱梦圆,季鹏飞,陈洁(4053)
金泽水库库区细菌群落构建过程与关键驱动因子分析·····	刘明坤,童俊,朱慧峰,白晓慧(4062)
典型氟工业园周边河流沉积物中全(多)氟化合物的分布特征·····	孙琳婷,赵祯,唐建辉(4069)
微塑料对河水抗生素抗性基因的影响·····	周昕原,王言仔,苏建强,黄福义(4076)
莲花水库水体中抗生素污染特征及生态风险评价·····	廖杰,魏晓琴,肖燕琴,李青松,范洪勇,刘学军,庄马展,刘超翔(4081)
拟柱孢藻生长及碱性磷酸酶活性对不同磷浓度和磷形态响应的株系间差异·····	叶金梅,赵莉,罗旭,彭亮,雷腊梅(4088)
奶水河湿地植物作用及调水水质响应模拟·····	李亚娟,杜彦良,毕二平,王亮,陈翠柏(4095)
浅基质层干植草沟运行效果的现场实验·····	张佳炜,李田,张庭秀(4105)
海绵城市地块汇水区颗粒污染物的传输·····	李佳,谢文霞,姜智绘,单溪环,廖云杰,赵洪涛,李叙勇(4113)
天然黄铁矿吸附去除水中Sb(V):性能与机制·····	石松,吴乾元,李新正,黄满红(4124)
过硫酸盐氧化处理含苯磺酸废水·····	章晋门,卢钧,刘晓琛,陈泉源(4133)
温度对城市污水厌氧生物滤池运行效果与菌群结构的影响·····	刘智斌,刘秀红,周桐,章世勇,李健敏,杨庆(4141)
ABR-MBR耦合工艺启动及优化反硝化除磷性能·····	缪新年,汪倩,郭凯成,刘文如,沈耀良(4150)
低温下全自养脱氮颗粒污泥适应低基质效能·····	刘雨馨,王建芳,钱飞跃,陈倩苗,乔伟,沈聪(4161)
雄安新区土壤重金属地球化学监测关键问题探讨·····	郭志娟,周亚龙,杨峥,赵传冬,成杭新,孔牧,彭敏(4169)
基于土壤重金属及PAHs来源的人体健康风险定量评价:以北京某工业污染场地为例·····	吴志远,张丽娜,夏天翔,贾晓洋,李慧颖,王世杰(4180)
基于乡镇尺度的西南重金属高背景区土壤重金属生态风险评价·····	张富贵,彭敏,王惠艳,马宏宏,徐仁廷,成晓梦,侯召雷,陈子万,李括,成杭新(4197)
云南兰坪铅锌矿区优势植物重金属富集特性及应用潜力·····	张龙,张云霞,宋波,吴勇,周子阳(4210)
水培试验下水稻Pb吸收累积关键生育期·····	胡雨丹,周航,辜娇峰,霍洋,邓鹏辉,魏宾纭,刘俊,廖柏寒(4218)
田间条件下养分调控八宝景天Cd修复效率·····	郭俊梅,杨俊兴,杨军,郑国砥,周小勇,陈同斌,卞建林,孟晓飞,李玉峰(4226)
桉树枝条生物炭输入对桂北桉树人工林酸化土壤的作用效果·····	段春燕,沈育伊,徐广平,滕秋梅,张德楠,何成新,张中峰,周龙武,孙英杰(4234)
秸秆直接还田和炭化还田对红壤酸度、养分和交换性能的动态影响·····	杨彩迪,卢升高(4246)
土壤微生物群落结构对生活源和工业源再生水灌溉的差异化响应·····	王燕,程东会,檀文炳,余红,席北斗,姜永海,党秋玲(4253)
粪肥和有机肥施用对稻田土壤微生物群落多样性影响·····	理鹏,吴建强,沙晨燕,叶春梅,黄沈发(4262)
松花江下游沿江湿地土地利用变化对土壤细菌群落多样性的影响·····	张拓,徐飞,怀宝东,杨雪,隋文志(4273)
黄土高原草地土壤细菌群落结构对于降水变化的响应·····	李娜,王宝荣,安韶山,焦峰,黄倩(4284)
土地利用方式对会仙岩溶湿地土壤真菌群落和功能类群的影响·····	程跃扬,靳振江,王晓彤,贾远航,袁武,周军波(4294)
黑土真菌群落互作及其与梯度有机质碳分子结构的关系·····	尚秋彤,黄瑞林,倪浩为,隋跃宇,孙波,梁玉婷(4305)
贵州茂兰喀斯特森林不同演替下土壤真核微生物多样性·····	王显,龙健,李娟,刘灵飞,廖洪凯,李宜蓉,杨睿(4314)
玉米秸秆生物炭固化细菌对镉砷吸附·····	刘玉玲,朱虎成,彭鸥,李丹阳,杨蕊嘉,彭晶,铁柏清(4322)
无机态氮素转化机制及水土体氮源识别方法·····	梁杏,孙立群,张鑫,张洁,付鹏宇(4333)
《环境科学》征订启事(4061)	
《环境科学》征稿简则(4132)	
信息(4233, 4293, 4304)	

鼎湖山大气颗粒物中 OC 与 EC 的浓度特征及粒径分布

李安娜^{1,2}, 温天雪^{2*}, 华维¹, 杨员², 孟泽³, 胡波², 辛金元^{1,2}

(1. 成都信息工程大学大气科学学院, 成都 610225; 2. 中国科学院大气物理研究所, 大气边界层物理和大气化学国家重点实验室, 北京 100029; 3. 中国科学院华南植物园, 广州 510650)

摘要: 为了解华南背景区域鼎湖山站碳质气溶胶的浓度水平与来源, 采用 DRI Model 2001A 热/光碳分析仪测定了鼎湖山站大气颗粒物分级样品中的有机碳(OC)与元素碳(EC)浓度水平, 并分析了碳质组分的浓度特征和粒径分布。结果表明, 在 $PM_{1.1}$ 、 $PM_{2.1}$ 和 $PM_{9.0}$ 中, 鼎湖山 OC 的平均质量浓度分别为 (5.6 ± 2.0) 、 (7.3 ± 2.4) 和 $(12.8 \pm 4.0) \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, EC 的平均质量浓度分别为 (2.3 ± 1.4) 、 (2.7 ± 1.6) 和 $(3.4 \pm 1.7) \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 。 $PM_{1.1}$ 和 $PM_{2.1}$ 中 OC 分别占 $PM_{9.0}$ 中 OC 的 43.8% 和 57.0%, EC 占 67.6% 和 79.4%。 OC 和 EC 主要富集在细粒子中。 $PM_{1.1}$ 和 $PM_{2.1}$ 中 OC 和 EC 在秋季最高, OC 在冬季最低, EC 在夏季最低。 $PM_{9.0}$ 中 OC 夏季最高。鼎湖山中碳质气溶胶以 OC2、EC1、OC3 和 OC4 为主, 夏季 OC3 > EC1, 生物排放源增强, 冬季 EC1 质量浓度最高, 局部的机动车排放源更强。 OC 和 EC 在 4 个季节都呈现双峰型分布, 细粒径段峰值位于 $0.43 \sim 0.65 \mu\text{m}$, 粗粒径段峰值出现在 $3.3 \sim 5.8 \mu\text{m}$ 。 $PM_{1.1}$ 和 $PM_{2.1}$ 中 OC 以一次排放为主, 二次有机碳(SOC)在春季最高 $[(3.0 \pm 1.4) \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}]$, 冬季最低 $[(1.3 \pm 1.4) \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}]$, 春季二次转化更强。鼎湖山大气细粒径段 OC 主要来自燃煤和机动车排放, 粗粒径段主要来自生物源排放, EC 主要受到燃煤、机动车排放和扬尘的影响。

关键词: 有机碳(OC); 元素碳(EC); 浓度分布; 粒径分布; 季节变化

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2020)09-3908-10 DOI: 10.13227/j.hjxx.201911237

Characterization and Size Distribution of Carbonaceous Aerosols at Mountain Dinghu

LI An-na^{1,2}, WEN Tian-xue^{2*}, HUA Wei¹, YANG Yuan², MENG Ze³, HU Bo², XIN Jin-yuan^{1,2}

(1. School of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 2. State Key Laboratory of Atmospheric Boundary Layer Physics and Atmospheric Chemistry (LAPC), Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China; 3. South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China)

Abstract: To understand the characterization and sources of carbonaceous aerosols at Mountain Dinghu, organic carbon (OC) and elemental carbon (EC) in size-resolved aerosol samples were measured at a regional background site in South China using a DRI Model 2001A analyzer. The average mass concentrations of organic carbon (OC) are $(5.6 \pm 2.0) \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ in $PM_{1.1}$, $(7.3 \pm 2.4) \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ in $PM_{2.1}$, and $(12.8 \pm 4.0) \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ in $PM_{9.0}$; the average mass concentrations of elemental carbon (EC) are $(2.3 \pm 1.4) \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ in $PM_{1.1}$, $(2.7 \pm 1.6) \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ in $PM_{2.1}$, and $(3.4 \pm 1.7) \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ in $PM_{9.0}$. OC concentrations in $PM_{1.1}$ and $PM_{2.1}$ account for 43.8% and 57.0% of OC in $PM_{9.0}$, and EC concentrations in $PM_{1.1}$ and $PM_{2.1}$ account for 67.6% and 79.4%, respectively. OC and EC are enriched with fine particles. In $PM_{1.1}$ and $PM_{2.1}$, the highest concentrations of OC and EC are measured in autumn, and the lowest concentration of OC is measured in winter and EC in summer. In $PM_{9.0}$, the highest OC concentration is measured in summer. Carbonaceous aerosols are mainly composed of OC2, EC1, OC3, and OC4. In summer, the concentration of OC3 is higher than that of EC1, suggesting that biogenic sources are dominant during summer. The concentration of EC1 in winter is the highest, indicating that the impacts of motor vehicle emissions are prominent in the local area during winter. OC and EC both show bimodal distributions in four seasons, with peaks in the size ranges of $0.43 \sim 0.65 \mu\text{m}$ for fine particles and $3.3 \sim 5.8 \mu\text{m}$ for coarse particles. In $PM_{1.1}$ and $PM_{2.1}$, the sources of OC are mainly primary emissions. In $PM_{2.1}$, the highest concentration of SOC is measured in spring at $(3.0 \pm 1.4) \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ and the lowest in winter at $(1.3 \pm 1.4) \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, indicating that the secondary aerosol formation is significant in spring. At the Mountain Dinghu background site, OC is mainly from coal combustion and motor vehicle emissions for fine particles and from biogenic sources for coarse particles. EC is mainly from coal combustion, motor vehicle emissions, and dust.

Key words: organic carbon(OC); elemental carbon(EC); concentration distributions; size distributions; seasonal changes

碳质气溶胶是大气颗粒物的重要组分, 主要包括有机碳(organic carbon, OC)和元素碳(elemental carbon, EC)。OC 主要由燃烧排放源直接排放和经大气光化学反应二次生成, 也有部分来自生物源直接排放; EC 由生物质和化石燃料的不完全燃烧产生。OC 和 EC 对光具有散射和吸收作用, 从而影响着地球-大气辐射平衡、大气能见度、气候变化和人体健康

康^[1-4], 因此研究碳质气溶胶的污染特征具有重要意义。

收稿日期: 2019-11-26; 修订日期: 2020-03-21

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0202001); 国家自然科学基金项目(41375128)

作者简介: 李安娜(1994~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为大气物理与大气环境, E-mail: lianna@dq.cern.ac.cn

* 通信作者, E-mail: wtx@dq.cern.ac.cn

珠江三角洲是中国参与经济全球化的主体区域,是南方对外开放的门户.随着经济的快速发展和人口的剧增,珠江三角洲的大气环境特别是大气颗粒物污染也备受关注.近些年来,针对珠江三角洲大气颗粒物污染开展了大量的研究,大多集中在广州、深圳和中山等城市地区,围绕碳质气溶胶主要研究了城市区域有机碳和元素碳的浓度分布特征、季节变化特征或解析其来源及其贡献等^[5-12],背景区域大气颗粒物污染以水溶性无机盐、气态污染物、元素等的浓度分布特征及污染来源研究为主,对碳质气溶胶的研究相对较少,特别是长时间序列的粒径分布特征的研究则鲜见报导^[13-18].

鼎湖山属于国家级自然保护区,位于珠江三角洲内的西北区域,其大气环境主要受珠江三角洲的影响,是研究该区域大气环境的理想背景观测站点^[18].本文研究了鼎湖山背景站大气颗粒物中 OC 和 EC 的浓度水平、季节变化和粒径分布特征,探讨了 OC 与 EC 的可能来源,对研究珠江三角洲地区大气污染水平具有重要的参考意义,以期为之后的研究提供数据基础.

1 材料与方法

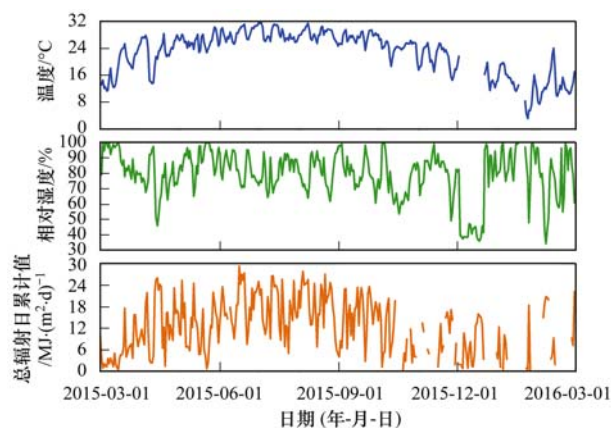
1.1 样品采集

鼎湖山采样点(23°10'N, 112°33'E)位于广东省肇庆市鼎湖山国家级自然保护区内的中国科学院鼎湖山森林生态系统定位研究站院内.采样点东距广州市 86 km,西距肇庆市 18 km,周边主要为森林和村庄,是中国科学院大气本底观测网的站点之一.

利用安德森八级撞击式采样器(Andersen, Series 20-800, 美国)分级采集了 2015 年 3 月至 2016 年 2 月期间鼎湖山大气颗粒物样品.采集流速为 $28.3 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$,粒子的 50% 切割等效空气动力学粒径为 9.0、5.8、4.7、3.3、2.1、1.1、0.65 和 $0.43 \mu\text{m}$,每隔一周采集一次,每次连续采集 48 h,共采集 24 组 216 个有效样品,同时将空白膜放置在仪器旁采集空白样品.采样前将石英纤维滤膜(PALL, America)放入马弗炉中在 450°C 下焙烧 4 h,以消除采样膜上可能的有机物质,接着在恒温恒湿箱中平衡 24 h [25°C , $(45 \pm 5)\%$],采样结束后冷冻保存样品直到分析,以减少有机碳的挥发.所有样品均扣除空白值,采样期间空白样品中 OC 与 EC 的平均质量浓度为 $0.31 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 与 $0.00 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$,OC1、OC2、OC3 与 OC4 的平均空白质量浓度分别为 0.03、0.11、0.12 和 $0.05 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$.

气象数据来自中国生态系统研究网络(Chinese Ecosystem Research Network, CERN)鼎湖山站自动

观测站,利用 Milos520(Vaisala, 芬兰)自动气象站与辐射表(Kipp & Zonen 荷兰)对气象要素和辐射进行观测,利用 DM520 数据采集器进行采集,采集频率为每分钟采集一次^[19].鼎湖山气候上属于亚热带湿润型季风气候,4~9 月为主要的降雨季节,植物植被类型丰富.观测期间鼎湖山的大气温度在 $3.1 \sim 31.6^\circ\text{C}$ 之间(图 1),变化范围较大,春季、夏季和秋季温度较高,平均气温均在 22°C 以上,冬季最低,为 13.9°C .大气相对湿度较大,春季与夏季分别为 84% 和 82%,秋季和冬季略低,分别为 79% 和 73%.夏季总辐射日累计值最高,为 $18.1 \text{ MJ} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$,冬季最低,为 $8.1 \text{ MJ} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$.



2015 年 12 月 2~22 日温度传感器故障,2016 年 1 月 17~22 日期间存储卡故障,所以一部分温度数据缺失;辐射数据缺失是因为剔除了一些异常数据和存储卡故障

图 1 气象变量的时间序列

Fig. 1 Meteorological data during sampling periods

1.2 样品分析

OC 和 EC 的分析采用 DRI 2001A 热光碳分析仪(Sunset Lab, America).该方法的主要测试原理是:将滤膜在纯氦气环境中分别在 140°C (OC1)、 280°C (OC2)、 480°C (OC3) 和 580°C (OC4) 的温度下进行逐步升温,使样品中的有机碳挥发出来并转化为 CO_2 ,接着在氦氧混合气体($90\% \text{ He}/10\% \text{ O}_2$)的环境中继续加热升温,在 580°C (EC1)、 740°C (EC2) 和 840°C (EC3) 的条件下使样品中的元素碳释放出来.生成的 CO_2 在还原炉中被还原为甲烷,甲烷经由氢火焰离子化检测器(FID)进行定量检测.在无氧阶段中部分有机碳会转变为焦炭碳(OPC),导致有机碳和元素碳不易区分,因此采用 633 nm 的氦-氖激光全程照射样品,监测光强的变化来确定元素碳氧化的起始点并科学区分 OC 和 EC.

根据 IMPROVE_A 协议^[20],OC 定义为: $\text{OC} = \text{OC1} + \text{OC2} + \text{OC3} + \text{OC4} + \text{OPC}$,EC 定义为: $\text{EC} = \text{EC1} + \text{EC2} + \text{EC3} - \text{OPC}$.

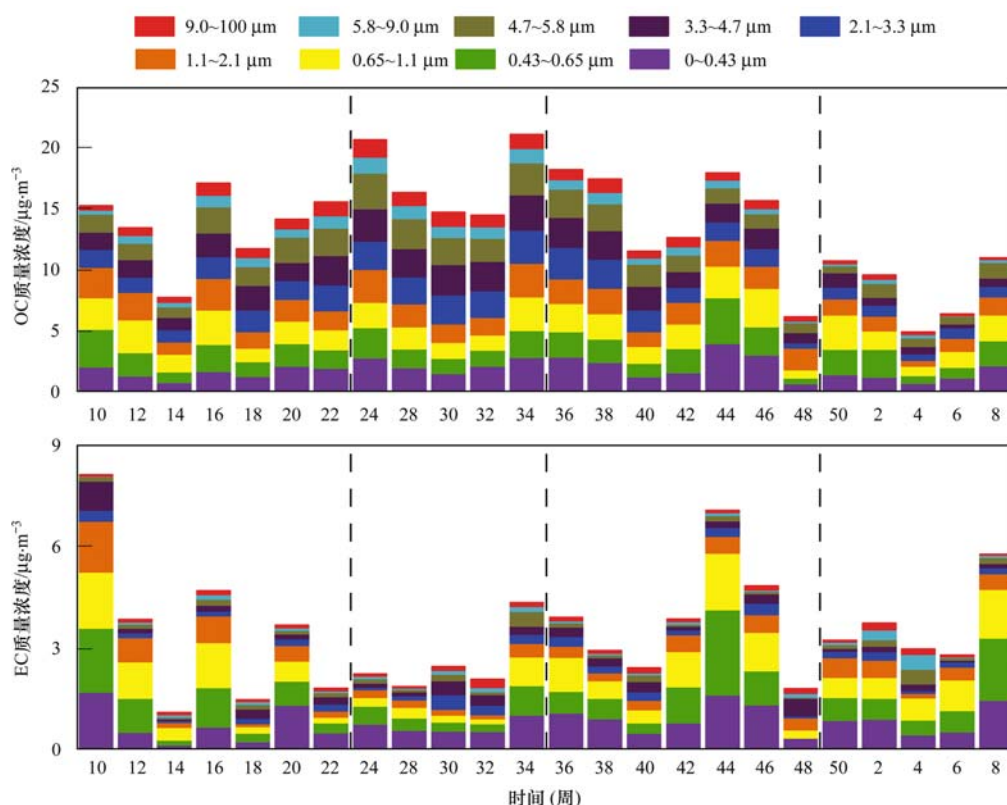
2 结果与讨论

2.1 OC 与 EC 的质量浓度

2.1.1 质量浓度特征

采样期间鼎湖山大气颗粒物中的 OC 和 EC 质量浓度变化见图 2. OC 的浓度变化范围较大,为 $4.9 \sim 21.0 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. EC 变化相对较小,为 $1.1 \sim 8.1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. OC 明显高于 EC,鼎湖山大气颗粒物中碳

质气溶胶以 OC 为主. $\text{PM}_{1.1}$ 中 OC 和 EC 的平均质量浓度为 $(5.6 \pm 2.0) \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 $(2.3 \pm 1.4) \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, $\text{PM}_{2.1}$ 中为 $(7.3 \pm 2.4) \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 $(2.7 \pm 1.6) \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, $\text{PM}_{9.0}$ 中为 $(12.8 \pm 4.0) \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 $(3.4 \pm 1.7) \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. $\text{PM}_{1.1}$ 和 $\text{PM}_{2.1}$ 中 OC 分别占 $\text{PM}_{9.0}$ 中 OC 的 43.8% 和 57.0%, EC 占 67.6% 和 79.4%. 由此可见鼎湖山大气颗粒物中 OC 和 EC 特别是 EC 主要富集在 $\text{PM}_{2.1}$ 的细粒子范围内.



横坐标 10 表示 2015 年第 10 周, 2 表示 2016 年第 2 周, 以此类推

图 2 采样期间 OC 与 EC 的质量浓度 (2015 年 3 月 ~ 2016 年 2 月)

Fig. 2 Mass concentration of OC and EC of different size during sampling periods

全国各站点的 OC 与 EC 浓度水平见表 1. 鼎湖山 $\text{PM}_{2.1}$ 中 OC 和 EC 低于广州^[21]、佛山^[22]、珠海^[23]和肇庆^[24]等珠江三角洲地区的城市站, 但与这些城市站的浓度水平相差不大, 也远低于北京^[25]、天津^[26]、南京^[27]、杭州^[28]、乌鲁木齐^[29]、兰州^[30]和重庆^[31]等城市站. 但鼎湖山高于鹤咀^[24]、尖峰岭^[32]、长白山^[32]、崇明^[32]、黄山^[33]、庐山^[34]、珠穆朗玛峰^[35]和纳木错^[36]等背景站, 低于上甸子^[37]和临安^[38]背景站. $\text{PM}_{1.1}$ 中 OC 和 EC 也呈现出相似的结果^[39,40]. 由此可见鼎湖山所代表的珠江三角洲区域浓度水平较高, OC 和 EC 高于大部分背景站, 尤其是 EC, 和城市地区的浓度水平相当, 仅低于华北、长三角地区背景站, 体现出区域排放量的差异. 相比于 2006 年^[32,41], 鼎湖山 OC 质量浓度仅增加了 37.7%, EC 却增加了 285.7%, EC 排放量的显著增

加与珠三角地区近十年来机动车排放的显著增加密切相关.

2.1.2 季节变化

鼎湖山大气颗粒物 $\text{PM}_{1.1}$ 、 $\text{PM}_{2.1}$ 和 $\text{PM}_{9.0}$ 中不同季节的 OC 和 EC 平均质量浓度见表 2. 从中可知, 鼎湖山大气颗粒物中 OC 和 EC 有明显的季节变化.

$\text{PM}_{2.1}$ 中 OC 的季节变化表现为秋季 > 夏季 > 春季 > 冬季, 在秋季、夏季和春季较高的 OC 说明鼎湖山细粒径段中的 OC 可能来自化石燃料等燃烧源排放的细粒子和燃烧源以及植物排放的挥发性有机物经过光化学反应生成^[42]. 鼎湖山植物生长旺盛, 会排放较多的挥发性有机物 (volatile organic compounds, VOCs)^[43], 并且大气平均温度较高, 相对湿度大, 总辐射强 (图 1), 有利于 OC 的二次生成, 春、夏和秋季较高的二次有机碳 (secondary

表 1 各站点 OC 和 EC 的质量浓度及比值¹⁾
Table 1 Mass concentration of OC and EC at different sites

站点	日期(年-月-日)	OC/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	EC/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	OC/EC	方法	文献
鼎湖山	2015-03 ~ 2016-02	7.3 ± 2.4	2.7 ± 1.6	2.7	TOR	本研究
广州	2015-01 ~ 2015-11	8.31 ± 4.53	3.56 ± 2.72	2.3	TOR	[21]
佛山	2008-11 ~ 2014-12	12.9 ± 13.9	5.1 ± 2.5	$2.19 \sim 4.13$	—	[22]
珠海	2015-01-10 ~ 2015-11-10	11.62	3.56	3.6	TOR	[23]
肇庆	2006-08-14 ~ 2007-08-28	8.2 ± 5.6	3.9 ± 2.0	2.1	TOR	[24]
北京	2015-04 ~ 2016-03	13.49 ± 4.32	5.41 ± 1.83	2.5	TOR	[25]
天津	2016-02-22 ~ 2016-03-22	13.1	4.3	3	TOR	[26]
南京	2015-01-09 ~ 2015-01-31	20.32 ± 10.3	5.39 ± 3.07	3.8	TOR	[27]
杭州	2013-12 ~ 2014-02	23.7 ± 7.5	5.0 ± 2.4	5.3 ± 1.9	TOR	[28]
乌鲁木齐	2013-01 ~ 2014-02	15.73 ± 8.50	5.48 ± 2.70	2.9	TOR	[29]
兰州	2014-12 ~ 2015-11	25.4 ± 15.3	6.7 ± 4.5	4.1	—	[30]
成都(PM _{1.1})	2015-04、2015-07、2015-10 和 2016-01	10.38 ± 7.15	2.85 ± 1.75	3.6	—	[40]
成都	2014-10、2015-01、2015-04 和 2015-07	10.9 ± 7.6	3.6 ± 2.7	—	TOR	[31]
重庆	2014-10、2015-01、2015-04 和 2015-07	13.1 ± 10.0	4.5 ± 2.6	—	TOR	[31]
上甸子	2015-01 ~ 2015-12	8.6 ± 6.0	1.6 ± 1.1	2.8	TOR	[37]
临安	2015-06-07 ~ 2015-08-31	14.3	3.33	4.75	TOR	[38]
鹤咀	2006-08-14 ~ 2007-08-28	4.1 ± 3.0	1.8 ± 1.2	2.3	TOR	[24]
长白山	2007-07-23 ~ 2007-07-28	4.9	0.5	9.8	—	[32]
黄山(PM _{2.1})	2014-06-30 ~ 2014-07-27	3.76 ± 2.05	0.17 ± 0.24	22.1	TOR	[33]
泰山	2014-09-19 ~ 2014-10-18	7.37 ± 4.12	0.90 ± 0.34	8.20 ± 4.32	TOT	[39]
泰山(PM _{1.1})	2014-09-19 ~ 2014-10-18	5.57 ± 3.42	0.61 ± 0.21	9.13 ± 5.02	TOT	[39]
庐山	2011-08 ~ 2011-09	3.78	1.28	3.8	TOR	[34]
崇明东平国家森林公园	2006-06-13 ~ 2006-06-15	9.8	1.6	6.1	—	[32]
尖峰岭	2006-11-20 ~ 2006-11-26	2.4	0.2	12	—	[32]
珠穆朗玛峰	2009-08 ~ 2010-07	1.43 ± 1.16	0.25 ± 0.22	6.69	TOR	[35]
纳木错	2015-11-23 ~ 2015-12-30	0.85	0.09	9.4	TOR	[36]
鼎湖山	2006-08-02 ~ 2006-08-14	5.1	0.69	7.4	TOT	[32]
鼎湖山	2006-08-02 ~ 2006-08-10	5.3	0.7	7.6	TOT	[41]

1)未注明 PM_{1.1}与 PM_{2.1}的站点均为 PM_{2.5}中的 OC 与 EC 的质量浓度;“—”表示文章中无相关数据

organic carbon, SOC) 质量浓度也印证了这一点。PM_{1.1} 中 OC 的季节变化与 PM_{2.1} 相同,但 PM_{9.0} 中 OC 的季节变化与 PM_{2.1} 明显不同,呈现为夏季最高,冬季最低的变化趋势。夏季粗粒子 (PM_{2.1-9.0}) 中 OC [$(8.4 \pm 0.8) \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$] 远高于其他季节和细粒径段的浓度,由此看出鼎湖山夏季在粗粒径段的排放源对 OC 的影响较大,推测一方面可能是夏季旅游旺季带来的车扬尘源增加,另一方面可能是夏季旺盛的植物排放如花粉孢子类增加造成的。夏季虽然降水较多,但降水对真菌孢子排放无

影响^[44]。PM_{2.1} 中 EC 的季节变化与 OC 不同,表现为秋季 > 冬季 > 春季 > 夏季,除夏季外其他 3 个季节浓度均较高。秋季、冬季和春季可能均受到化石燃料燃烧和机动车排放的影响,夏季可能由于季风带来较干净的海洋气团并且受到湿清除作用因而浓度最低。PM_{1.1} 和 PM_{9.0} 中 EC 与 PM_{2.1} 中的 EC 变化一致。EC 在 4 个季节粗粒径段的平均质量浓度相差不大,均小于 $1.0 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,可以看出 EC 的排放源在粗粒径段贡献较小。

表 2 PM_{1.1}、PM_{2.1} 和 PM_{9.0} 中 OC 与 EC 的季节平均质量浓度/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
Table 2 Seasonal mean mass concentrations of OC and EC in PM_{1.1}, PM_{2.1}, and PM_{9.0}/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

季节	PM _{1.1}		PM _{2.1}		PM _{9.0}	
	OC	EC	OC	EC	OC	EC
春	5.4 ± 1.5	2.3 ± 1.5	7.3 ± 2.0	2.8 ± 2.0	12.9 ± 2.7	3.5 ± 2.3
夏	5.9 ± 1.5	1.5 ± 0.7	7.9 ± 2.0	1.7 ± 0.8	16.3 ± 2.8	2.5 ± 0.9
秋	6.3 ± 2.6	2.7 ± 1.6	8.1 ± 2.8	3.1 ± 1.6	13.5 ± 3.9	3.7 ± 1.6
冬	4.6 ± 1.7	2.5 ± 1.1	5.7 ± 2.0	2.9 ± 1.2	8.3 ± 2.4	3.6 ± 1.1

2.2 OC 与 EC 各组分的浓度特征

研究碳质气溶胶中各组分的分布特征和季节变化有助于了解鼎湖山大气颗粒物的来源。有研究表

明 OC1 来自生物质燃烧排放、机动车排放和植物排放的挥发性有机物^[45],OC2 为燃煤排放,OC3、OC4 来自生物质碎片排放^[42],OC3、OC4 和 EC1 来自汽

油车尾气排放, EC2 和 EC3 来自柴油车尾气排放^[46]. OC 和 EC 各组分的分级平均质量浓度见图 3. 其中 OC1 在各粒径段的质量浓度较低, 这可能因为挥发性有机物在大气中容易发生反应并转化. OC2 的平均质量浓度除冬季外在各粒径段都大于其他组分, 说明鼎湖山的 OC 在春季、夏季和秋季这 3 个季节可能以燃煤排放源为主; 在 $2.1 \sim 5.8 \mu\text{m}$ 粗粒径段上 OC2 的质量浓度比细粒径段略大, 可能是燃煤排放的 OC 在输送过程中附着在扬尘或花粉孢子等粗粒子上, 此外 OC3 在 $2.1 \sim 4.7 \mu\text{m}$ 也有相同的变化趋势, 表明粗粒径段的 OC2 可能部分来自植物的直接排放. OC4 则相反, 在细粒径段质量浓度比粗粒径段大, 且 EC1 与 OC4 的变化趋势相同, 两者之间相关性较好 ($\text{PM}_{0.0}$, $R^2 = 0.76$, $P < 0.01$), 说明鼎湖山的这两种组成具有同源性, 可能都来自尾气排放.

不同粒径中 OC 和 EC 各组分的季节变化如图 4 所示. $\text{PM}_{2.1}$ 中碳质气溶胶组分主要为 OC2、EC1、OC3 和 OC4, 在春季和秋季均表现为 $\text{OC2} > \text{EC1} > \text{OC3} > \text{OC4} > \text{EC2} > \text{OC1} > \text{EC3}$, 由此看出鼎湖山细粒子中春、秋季节以燃煤和机动车源为主, 夏季则在 OC3 和 EC1 上略微有点不同, 表现为 $\text{OC3} > \text{EC1}$, 表明夏季生物质排放源增强, 而冬季则表现为 $\text{EC1} > \text{OC3} > \text{OC4} > \text{OC2} > \text{EC2} > \text{OC1} > \text{EC3}$ 的变化趋势, 这表明冬季局部的机动车排放源更强, 这与 Cao 等^[47]的研究结果一致. $\text{PM}_{2.1 \sim 9.0}$ 中 OC3 [$(1.3 \pm$

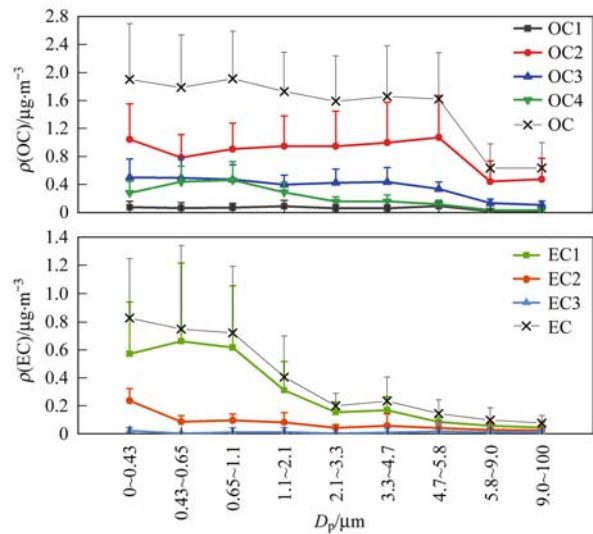


图 3 不同粒径 OC 和 EC 各组分的平均质量浓度的分布

Fig. 3 Mean mass concentrations of carbon fractions of different diameters

$0.5) \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$] 的质量浓度较高, 而其他组分相差不大, 均值均小于 $0.5 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, 由此可知鼎湖山粗粒径段主要是以生物质排放源为主.

2.3 OC 与 EC 的粒径分布特征

由于 OC 与 EC 的来源与粒径分布关系密切^[48], 所以研究鼎湖山 OC 与 EC 的粒径分布对进一步判断源有着重要意义. OC 和 EC 平均质量浓度的粒径分布及季节变化如图 5 所示. OC 和 EC 的质量浓度在 4 个季节都呈现双峰型分布, OC 在 4 个季节的峰值都位于 $0.43 \sim 0.65 \mu\text{m}$ 和 $4.7 \sim 5.8 \mu\text{m}$

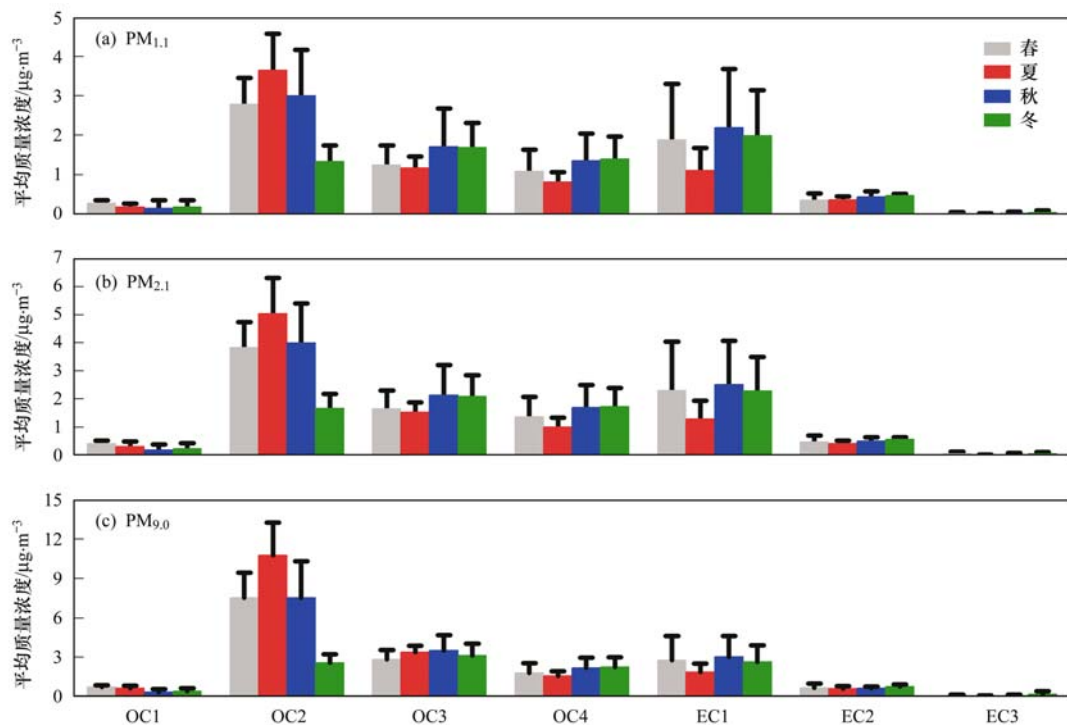


图 4 $\text{PM}_{1.1}$ 、 $\text{PM}_{2.1}$ 和 $\text{PM}_{9.0}$ 中碳组分的季节变化

Fig. 4 Seasonal variations of carbonaceous fractions in $\text{PM}_{1.1}$, $\text{PM}_{2.1}$, and $\text{PM}_{9.0}$

粒径段上,这与段卿等^[49]的研究结果相同,细粒径段主要由燃煤和机动车排放的一次有机碳 POC (primary organic carbon, POC) 和燃烧源及植物排放的 VOCs 经过一系列大气光化学反应生成^[42],粗粒径段来自扬尘和生物气溶胶如花粉、孢子和植物残体等^[50]. OC 在春季、夏季和秋季在粗粒径段的峰值远高于细粒径段的峰值,冬季相差不大,夏季尤其高与鼎湖山的自然背景相符. 尽管冬季边界层相对较低易于污染物积累,但鼎湖山各粒径段的 OC 在冬季均低于其他季节,这可能是由于冬季气温和相对湿度降低,总辐射减少,植物排放相对于其他季节减少. 所以从粒径分布来看,鼎湖山 OC 以燃煤、机动车和生物源占主导.

鼎湖山 4 个季节 EC 的峰值都在 $0.43 \sim 0.65 \mu\text{m}$ 上,春季和秋季在粗粒径段的峰值位于 $3.3 \sim 4.7 \mu\text{m}$ 粒径段上,夏季和冬季的峰值在 $4.7 \sim 5.8 \mu\text{m}$ 粒径段上. 细粒径段 EC 的峰值在春季、秋季和冬季均高于夏季峰值,这可能与鼎湖山夏季季风带来的降水对粒子的湿清除作用有关. 4 个季节的 EC 在细粒径段的峰值明显高于粗粒径段,粗粒径段各季节之间峰值相差不大,可见鼎湖山的 EC 主要受到燃煤和机动车尾气排放的影响.

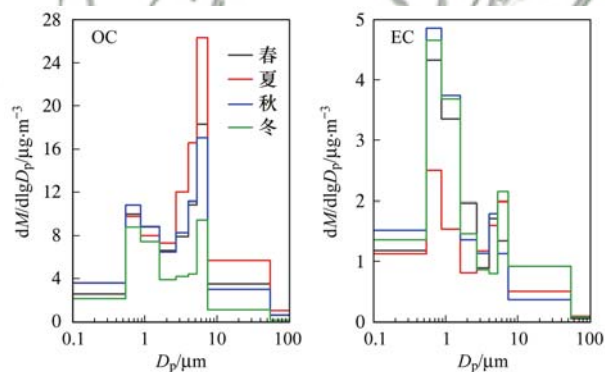


图 5 OC 与 EC 的粒径分布

Fig. 5 Size distribution of OC and EC

2.4 OC 与 EC 的相关性分析

通过 OC 与 EC 的相关性分析可以识别碳质气溶胶的来源,若相关性好,表明 OC 与 EC 的污染来源具有一致性,反之则表明污染来源复杂^[51]. 鼎湖山 OC 和 EC 的季节相关性见图 6. 春季和秋季 $\text{PM}_{1.1}$ 中 R^2 分别为 0.87 ($P < 0.01$) 和 0.87 ($P < 0.01$), $\text{PM}_{2.1}$ 中 R^2 分别为 0.85 ($P < 0.01$) 和 0.85 ($P < 0.01$), OC 和 EC 显著相关,而夏季 $\text{PM}_{1.1}$ 与 $\text{PM}_{2.1}$ 中 OC 和 EC 的相关系数分别为 0.73 ($P < 0.1$) 和 0.72 ($P < 0.1$),在 10% 的水平上相关,以上表明春季、夏季和秋季 $\text{PM}_{1.1}$ 和 $\text{PM}_{2.1}$ 中 OC 和 EC 的来源都具有同源性,3 个季节可能都受到化石燃料

燃烧源的影响;冬季 $\text{PM}_{1.1}$ 和 $\text{PM}_{2.1}$ 中 OC 和 EC 的相关性较差,表明其来源相对较复杂,可能冬季 EC 主要来自机动车排放,而 OC 则更多的与燃煤和生物质燃烧等排放有关. $\text{PM}_{9.0}$ 中 OC 和 EC 在各季节相关性较差,表明 OC 和 EC 同源性较差,在鼎湖山背景区域粗粒径段 OC 主要来自植物排放,而 EC 可能来自车扬尘等的影响,所以表现为不相关.

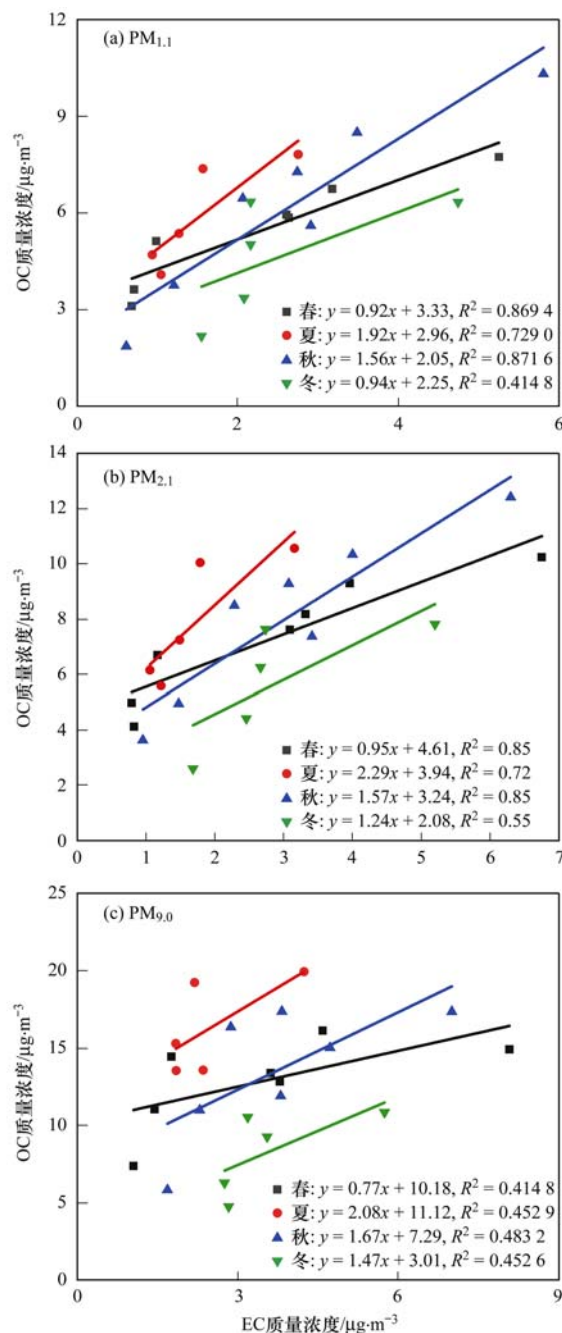


图 6 $\text{PM}_{1.1}$ 、 $\text{PM}_{2.1}$ 与 $\text{PM}_{9.0}$ 中 OC 和 EC 的季节相关性

Fig. 6 Seasonal correlation of OC and EC in $\text{PM}_{1.1}$, $\text{PM}_{2.1}$, and $\text{PM}_{9.0}$

2.5 OC/EC 值与 SOC 估算

鼎湖山 $\text{PM}_{2.1}$ 与 $\text{PM}_{2.1 \sim 9.0}$ 中 OC/EC 值如图 7 所示. $\text{PM}_{2.1}$ 中 OC/EC 值在 1.5 ~ 6.3 之间,春夏的比

值相对于秋冬较高,4个季节的OC/EC值与年均值分别为3.7、4.8、2.9、2.0和 3.4 ± 1.5 。夏季OC/EC值较大是因为鼎湖山夏季以生物质源为主,冬季机动车源较强,所以冬季比值较低,四季OC与EC的比值体现出季节间源强的差异。 $PM_{9.0}$ 与 $PM_{2.1}$ 的变化趋势一致,而 $PM_{2.1-9.0}$ 中OC/EC值在春季、夏季和秋季较高,夏季最高达到22,冬季最低,均小于7。有研究表明当OC/EC值为1.0~4.2代表柴油和汽油排放^[52],乔木树枝燃烧烟尘中OC/EC值为2.5~8.4^[53],燃煤排放为2.5~10^[54],木材燃烧的OC/EC值为10.8,地面扬尘为13.1,生物质燃烧为16.8~40。从上述比值来看,鼎湖山 $PM_{2.1}$ 中OC和EC主要受到机动车尾气排放、燃煤和森林乔木树枝燃烧等燃烧源排放的影响, $PM_{2.1-9.0}$ 中OC和EC则主要受扬尘、生物源排放等影响。鼎湖山 $PM_{2.1}$ 中OC/EC值与东莞(2.3)、广州和深圳(2.6)、佛山(2.9)、从化(3.8)和珠海(4.6)等珠三角城郊站点的比值接近^[4],更加体现了珠三角地区较强的机动车源环境背景。

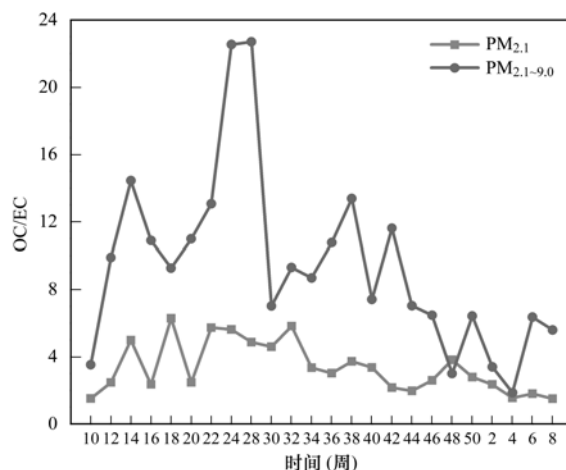
本文综合采用了Turpin等^[51]和Castro等^[55]提出的估算SOC的方法,计算公式为:

$$\rho(OC_{pri}) = \rho(EC) \times [\rho(OC)/\rho(EC)]_{min}$$

$$\rho(OC_{sec}) = \rho(OC) - \rho(OC_{pri})$$

式中, $\rho(OC_{pri})$ 为一次有机碳, $\rho(OC_{sec})$ 为二次有机碳即SOC,将 $[\rho(OC)/\rho(EC)]_{min}$ 看作一次排放过程中的OC/EC值。

不同粒径段的POC与SOC的季节变化见图8。从中可见 $PM_{1.1}$ 和 $PM_{2.1}$ 中4个季节下SOC的质量浓度均小于POC,说明鼎湖山细粒径段OC以一次排放为主。 $PM_{2.1}$ 中,POC的平均质量浓度表现为秋



横坐标10表示2015年第10周,2表示2016年第2周,以此类推

图7 $PM_{2.1}$ 与 $PM_{2.1-9.0}$ 中OC/EC值

(2015年3月~2016年2月)

Fig. 7 OC/EC in $PM_{2.1}$ and $PM_{2.1-9.0}$ during sampling periods

季 $[(6.1 \pm 3.3) \mu g \cdot m^{-3}] >$ 夏季 $[(5.8 \pm 2.5) \mu g \cdot m^{-3}] >$ 冬季 $[(4.4 \pm 1.8) \mu g \cdot m^{-3}] >$ 春季 $[(4.3 \pm 3.0) \mu g \cdot m^{-3}]$,SOC表现为春季 $[(3.0 \pm 1.4) \mu g \cdot m^{-3}] >$ 夏季 $[(2.1 \pm 1.3) \mu g \cdot m^{-3}] >$ 秋季 $[(2.0 \pm 1.3) \mu g \cdot m^{-3}] >$ 冬季 $[(1.3 \pm 1.4) \mu g \cdot m^{-3}]$,4个季节 $\rho(SOC)/\rho(OC)$ 比值为41.0%、26.4%、25.0%和22.9%,由此看出鼎湖山夏季、秋季和冬季以一次排放为主,而春季二次转化更强。 $PM_{2.1-9.0}$ 中SOC的季节变化为秋季 $[(3.5 \pm 1.9) \mu g \cdot m^{-3}] >$ 春季 $[(3.3 \pm 1.7) \mu g \cdot m^{-3}] >$ 夏季 $[(3.1 \pm 2.4) \mu g \cdot m^{-3}] >$ 冬季 $[(1.4 \pm 0.7) \mu g \cdot m^{-3}]$,粗粒子中SOC的质量浓度相比于细粒子在相应季节均有上升, $PM_{2.1}$ 和 $PM_{2.1-9.0}$ 中SOC分别约占 $PM_{9.0}$ 中OC的16.9%和22.7%,因为粒径较大的颗粒物为气粒转化反应提供了较大的反应表面,

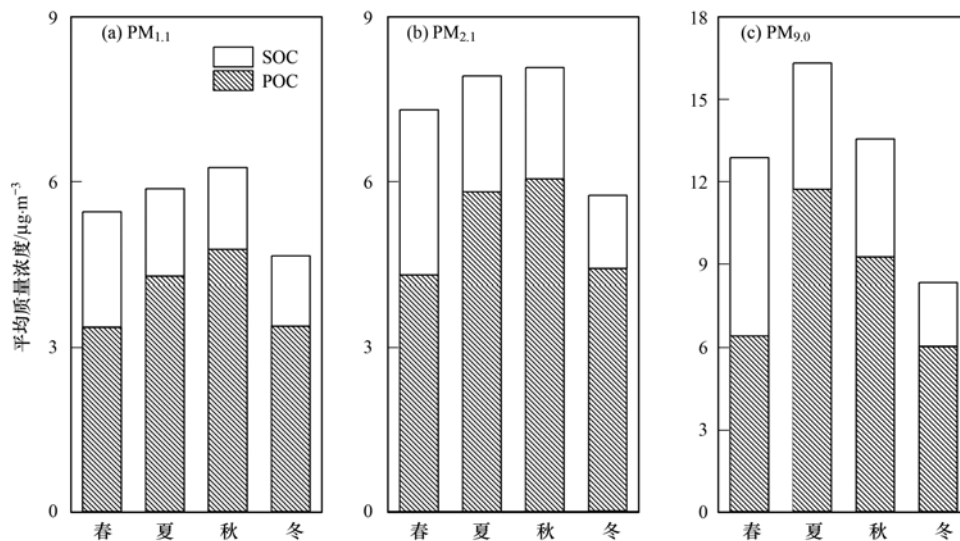


图8 $PM_{1.1}$ 、 $PM_{2.1}$ 和 $PM_{9.0}$ 中POC与SOC的季节变化

Fig. 8 Seasonal variations of POC and SOC in $PM_{1.1}$, $PM_{2.1}$, and $PM_{9.0}$

所以 OC 在粗粒径段的二次转化更多. 与佛山禅城^[56]冬季 SOC $[(7.75 \pm 5.34) \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}]$ 大于夏季 $[(2.01 \pm 1.3) \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}]$ 不同的是鼎湖山夏季大于冬季, 鼎湖山在冬季的二次转化较弱.

3 结论

(1) 鼎湖山的碳质气溶胶以 OC 为主, OC 和 EC 特别是 EC 主要富集在 $\text{PM}_{2.5}$ 的细粒子范围内. OC 和 EC 呈现出明显的季节变化. $\text{PM}_{1.1}$ 和 $\text{PM}_{2.5}$ 中 OC 的季节变化表现为秋季 > 夏季 > 春季 > 冬季, $\text{PM}_{9.0}$ 中 OC 呈现为夏季最高, 冬季最低的变化趋势. 各粒径段 EC 的季节变化一致, 均表现为秋季 > 冬季 > 春季 > 夏季.

(2) 鼎湖山碳质气溶胶主要组分为 OC2、EC1、OC3 和 OC4, 春秋两季 OC2 和 EC1 质量浓度最高, 夏季 OC3 > EC1, 而冬季 EC1 质量浓度最高. 夏季生物源排放增强, 而冬季局地机动车排放源更强.

(3) 鼎湖山 OC 和 EC 的平均质量浓度在 4 个季节都呈现双峰型分布, 峰值位于 $0.43 \sim 0.65 \mu\text{m}$ 和 $3.3 \sim 5.8 \mu\text{m}$ 粒径段.

(4) 鼎湖山 $\text{PM}_{1.1}$ 和 $\text{PM}_{2.5}$ 中 OC 和 EC 在春季、夏季和秋季的相关性较好, 具有同源性, 冬季相关性较差, $\text{PM}_{9.0}$ 中 OC 和 EC 在各季节相关性也较差, 粗粒径段 OC 和 EC 来自不同的源.

(5) 鼎湖山碳质气溶胶以燃煤、机动车和生物源占主导, OC 以一次排放为主, 春季二次转化更强, 冬季二次转化较弱. 细粒径段 OC 主要来自化石燃料排放, 粗粒径段主要来自生物源排放. 鼎湖山 EC 主要受到燃煤和机动车排放以及扬尘的影响.

参考文献:

- [1] Zhao Z Z, Wang Q Y, Xu B Q, *et al.* Black carbon aerosol and its radiative impact at a high-altitude remote site on the southeastern Tibet Plateau[J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2017, **122**(10): 5515-5530.
- [2] Kim D C, Wang C E, Ekman A M L, *et al.* Distribution and direct radiative forcing of carbonaceous and sulfate aerosols in an interactive size-resolving aerosol-climate model[J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2008, **113**(D16): D16309.
- [3] 杨丝絮, 马玉霞, 周建丁, 等. 上海市大气污染对感冒疾病相对危险度的影响[J]. *环境科学*, 2018, **39**(4): 1552-1559.
Yang S X, Ma Y X, Zhou J D, *et al.* Effect of air pollution on the cold disease in Shanghai[J]. *Environmental Science*, 2018, **39**(4): 1552-1559.
- [4] 杨毅红, 瞿群, 刘随心, 等. 夏季珠江三角洲地区 $\text{PM}_{2.5}$ 化学组分特征及其对大气能见度的影响[J]. *环境科学*, 2015, **36**(8): 2758-2767.
Yang Y H, Qu Q, Liu S X, *et al.* Chemical compositions in $\text{PM}_{2.5}$ and its impact on visibility in summer in Pearl River Delta, China[J]. *Environmental Science*, 2015, **36**(8): 2758-2767.
- [5] 黄虹, 李顺诚, 曹军骥, 等. 广州市夏季室内外 $\text{PM}_{2.5}$ 中有机碳、元素碳的分布特征[J]. *环境科学学报*, 2005, **25**(9): 1242-1249.
Huang H, Lee S C, Cao J J, *et al.* Characterization of indoor/outdoor organic and elemental carbon in $\text{PM}_{2.5}$ during summer in Guangzhou city[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2005, **25**(9): 1242-1249.
- [6] 刘新民, 邵敏, 曾立民, 等. 珠江三角洲地区气溶胶中含碳物质的研究[J]. *环境科学*, 2002, **23**(S1): 54-59.
Liu X M, Shao M, Zeng L M, *et al.* Study on EC and OC compositions of ambient particles in Pearl River Delta region[J]. *Environmental Science*, 2002, **23**(S1): 54-59.
- [7] Ho K F, Cao J J, Harrison R M, *et al.* Indoor/outdoor relationships of organic carbon (OC) and elemental carbon (EC) in $\text{PM}_{2.5}$ in roadside environment of Hong Kong[J]. *Atmospheric Environment*, 2004, **38**(37): 6327-6335.
- [8] Tao J, Zhang L M, Cao J J, *et al.* Source apportionment of $\text{PM}_{2.5}$ at urban and suburban areas of the Pearl River Delta region, south China-with emphasis on ship emissions[J]. *Science of the Total Environment*, 2017, **574**: 1559-1570.
- [9] 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.
- [10] Zheng M, Wang F, Hagler G S W, *et al.* Sources of excess urban carbonaceous aerosol in the Pearl River Delta Region, China[J]. *Atmospheric Environment*, 2011, **45**(5): 1175-1182.
- [11] Hu D, Bian Q J, Lau A K H, *et al.* Source apportionment of primary and secondary organic carbon in summer $\text{PM}_{2.5}$ in Hong Kong using positive matrix factorization of secondary and primary organic tracer data[J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2010, **115**(D16): D16204.
- [12] 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.
- [13] 陈林, 王莉莉, 吉东生, 等. 广州亚运会期间鼎湖山站大气污染特征[J]. *应用气象学报*, 2013, **24**(2): 151-161.
Chen L, Wang L L, Ji D S, *et al.* Characteristics of atmospheric pollutants at Dinghushan station during the Asian Games in Guangzhou[J]. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2013, **24**(2): 151-161.
- [14] 刘子锐, 王跃思, 刘全, 等. 鼎湖山秋季大气细粒子及其二次无机组分的污染特征及来源[J]. *环境科学*, 2011, **32**(11): 3160-3166.
Liu Z R, Wang Y S, Liu Q, *et al.* Pollution characteristics and source of the atmospheric fine particles and secondary inorganic compounds at Mount Dinghu in autumn season[J]. *Environmental Science*, 2011, **32**(11): 3160-3166.
- [15] 赵亚南, 王跃思, 刘全. 鼎湖山秋季大气气溶胶中水溶性离子浓度与粒径分布[J]. *环境化学*, 2012, **31**(8): 1277-1278.
Zhao Y N, Wang Y S, Liu Q. The concentration and the size distributions of water-soluble ions in atmospheric aerosols at Dinghushan in autumn[J]. *Environmental Chemistry*, 2012, **31**(8): 1277-1278.
- [16] 刘鲁宁, 郝庆菊, 刘子锐, 等. 鼎湖山地区大气颗粒物中水溶性无机盐粒径分布特征[J]. *中国农学通报*, 2010, **26**(17): 357-361.
Liu L N, Hao Q J, Liu Z R, *et al.* Size distributions of water

- soluble ions of atmosphere in the Mountain Dinghu[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, **26**(17): 357-361.
- [17] 赵亚南, 王跃思, 温天雪, 等. 鼎湖山 PM_{2.5} 中水溶性离子浓度特征分析[J]. 环境科学, 2013, **34**(4): 1232-1235.
Zhao Y N, Wang Y S, Wen T X, *et al.* Characterization of water-soluble ions in PM_{2.5} at Dinghu Mount[J]. Environmental Science, 2013, **34**(4): 1232-1235.
- [18] 杨勇杰, 王跃思, 温天雪, 等. 鼎湖山 PM_{2.5} 中化学元素的组成及浓度特征和来源[J]. 环境科学, 2009, **30**(4): 988-992.
Yang Y J, Wang Y S, Wen T X, *et al.* Element characteristics and sources of PM_{2.5} at Mount Dinghu in 2006 [J]. Environmental Science, 2009, **30**(4): 988-992.
- [19] 刘慧, 胡波, 王跃思, 等. 山东禹城紫外辐射变化特征及其估测方程的建立[J]. 大气科学, 2015, **39**(3): 503-512.
Liu H, Hu B, Wang Y S, *et al.* Variation characteristics and establishment of estimating equation for ultraviolet radiation in Yucheng, Shandong Province [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2015, **39**(3): 503-512.
- [20] Chow J C, Watson J G, Chen L W A, *et al.* The IMPROVE_A temperature protocol for thermal/optical carbon analysis: maintaining consistency with a long-term database[J]. Journal of the Air & Waste Management Association, 2007, **57**(9): 1014-1023.
- [21] 张晓雨, 赵欣, 应蓉蓉, 等. 广州大气 PM_{2.5} 中含碳组分的污染特征及来源解析[J]. 生态与农村环境学报, 2018, **34**(7): 659-666.
Zhang X Y, Zhao X, Ying R R, *et al.* Characteristics and source apportionments of carbonaceous components in atmospheric fine particles in Guangzhou [J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2018, **34**(7): 659-666.
- [22] Tan J H, Duan J C, Ma Y L, *et al.* Long-term trends of chemical characteristics and sources of fine particle in Foshan City, Pearl River Delta; 2008-2014[J]. Science of the Total Environment, 2016, **565**: 519-528.
- [23] Liang Z B, Zhao X F, Chen J Y, *et al.* Seasonal characteristics of chemical compositions and sources identification of PM_{2.5} in Zhuhai, China [J]. Environmental Geochemistry & Health, 2019, **41**(2): 715-728.
- [24] Huang H, Ho K F, Lee S C, *et al.* Characteristics of carbonaceous aerosol in PM_{2.5}: pearl Delta River Region, China [J]. Atmospheric Research, 2012, **104-105**: 227-236.
- [25] 张婷婷, 马文林, 元学奎, 等. 北京城区 PM_{2.5} 有机碳和元素碳的污染特征及来源分析[J]. 环境化学, 2018, **37**(12): 2758-2766.
Zhang T T, Ma W L, Qi X K, *et al.* Characteristics and sources of organic carbon and element carbon in PM_{2.5} in the urban areas of Beijing[J]. Environmental Chemistry, 2018, **37**(12): 2758-2766.
- [26] 程渊, 刘保双, 毕晓辉, 等. 天津市区夏冬季环境空气 PM_{2.5} 中碳组分污染特征及来源研究[J]. 环境科学学报, 2018, **38**(9): 3394-3405.
Cheng Y, Liu B S, Bi X H, *et al.* Character and source analysis of carbonaceous aerosol in PM_{2.5} during summer-winter period, Tianjin urban area[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2018, **38**(9): 3394-3405.
- [27] 康晖, 朱彬, 王红磊, 等. 长三角典型站点冬季大气 PM_{2.5} 中 OC/EC 污染特征[J]. 环境科学, 2018, **39**(3): 961-971.
Kang H, Zhu B, Wang H L, *et al.* Characterization and variation of organic carbon (OC) and elemental carbon (EC) in PM_{2.5} during the winter in the Yangtze River Delta Region, China[J]. Environmental Science, 2018, **39**(3): 961-971.
- [28] 杜荣光, 齐冰, 徐宏辉, 等. 杭州市 PM_{2.5} 中碳气溶胶污染特征[J]. 环境化学, 2013, **32**(12): 2400-2401.
Du R G, Qi B, Xu H H, *et al.* Pollution characterization of carbonaceous aerosols in PM_{2.5} in Hangzhou[J]. Environmental Chemistry, 2013, **32**(12): 2400-2401.
- [29] 刘新春, 陈红娜, 赵克蕾, 等. 乌鲁木齐大气细颗粒物 (PM_{2.5}) 有机碳和元素碳污染特征分析[J]. 生态环境学报, 2016, **25**(5): 821-828.
Liu X C, Chen H N, Zhao K L, *et al.* Analysis the pollution characteristics on organic carbon (OC) and elemental carbon (EC) of fine particulate matter (PM_{2.5}) in Urumqi[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2016, **25**(5): 821-828.
- [30] Zhang Y L, Kang S C. Characteristics of carbonaceous aerosols analyzed using a multiwavelength thermal/optical carbon analyzer: a case study in Lanzhou City[J]. Science China Earth Sciences, 2019, **62**(2): 389-402.
- [31] Wang H B, Tian M, Chen Y, *et al.* Seasonal characteristics, formation mechanisms and source origins of PM_{2.5} in two megacities in Sichuan Basin, China[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2018, **18**(2): 865-881.
- [32] Li L, Wang W, Feng J L, *et al.* Composition, source, mass closure of PM_{2.5} aerosols for four forests in eastern China [J]. Journal of Environmental Sciences, 2010, **22**(3): 405-412.
- [33] 缪青, 张泽锋, 李艳伟, 等. 黄山夏季大气颗粒物中碳粒径分布特征及其输送潜在源区[J]. 中国环境科学, 2015, **35**(7): 1938-1946.
Miao Q, Zhang Z F, Li Y W, *et al.* Size distributions of carbonaceous aerosols and their potential sources at Mt. Huang during summer [J]. China Environmental Science, 2015, **35**(7): 1938-1946.
- [34] Li P H, Wang Y, Li T, *et al.* Characterization of carbonaceous aerosols at Mount Lu in South China: implication for secondary organic carbon formation and long-range transport [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2015, **22**(18): 14189-14199.
- [35] Cong Z Y, Kang S, Kawamura K, *et al.* Carbonaceous aerosols on the south edge of the Tibetan Plateau: concentrations, seasonality and sources[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2015, **15**(3): 1573-1584.
- [36] 张丹, 楚宝临, 赵丽, 等. 拉萨市大气颗粒物碳组分污染特征及来源分析[J]. 环境影响评价, 2018, **40**(3): 65-70.
Zhang D, Chu B L, Zhao L, *et al.* Characteristics and source of carbonaceous species in PM of Lhasa City [J]. Environmental Impact Assessment, 2018, **40**(3): 65-70.
- [37] Li Y, Tao J, Zhang L M, *et al.* High contributions of secondary inorganic aerosols to PM_{2.5} under polluted levels at a regional station in Northern China [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2016, **13**(12): 1202.
- [38] Liang L L, Engling G, Zhang X Y, *et al.* Chemical characteristics of PM_{2.5} during summer at a background site of the Yangtze River Delta in China[J]. Atmospheric Research, 2017, **198**: 163-172.
- [39] 林瑜, 叶芝祥, 杨怀金, 等. 成都市中心城区大气 PM₁ 的污染特征及来源解析[J]. 中国环境科学, 2017, **37**(9): 3220-3226.
Lin Y, Ye Z X, Yang H J, *et al.* Pollution level and source apportionment of atmospheric particles PM₁ in downtown area of Chengdu [J]. China Environmental Science, 2017, **37**(9): 3220-3226.

- [40] Zhao T, Yang L X, Yan W D, *et al.* Chemical characteristics of $PM_{10}/PM_{2.5}$ and influence on visual range at the summit of Mount Tai, North China[J]. *Science of the Total Environment*, 2017, **575**: 458-466.
- [41] Wang W, Wu M H, Li L, *et al.* Polar organic tracers in $PM_{2.5}$ aerosols from forests in eastern China[J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2008, **8**(24): 7507-7518.
- [42] Duan J C, Tan J H, Wang S L, *et al.* Roadside, Urban, and Rural comparison of size distribution characteristics of PAHs and carbonaceous components of Beijing, China [J]. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 2012, **69**(4): 337-349.
- [43] Fehsenfeld F, Calvert J, Fall R, *et al.* Emissions of volatile organic compounds from vegetation and the implications for atmospheric chemistry [J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 1992, **6**(4): 389-430.
- [44] Li L, Lai W, Pu J G, *et al.* Polar organic tracers in $PM_{2.5}$ aerosols from an inland background area in Southwest China: correlations between secondary organic aerosol tracers and source apportionment[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2018, **69**: 281-293.
- [45] 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.
- [46] 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.
- [47] Cao J J, Huang H, Lee S C, *et al.* Indoor/outdoor relationships for organic and elemental carbon in $PM_{2.5}$ at residential homes in Guangzhou, China [J]. *Aerosol and Air Quality Research*, 2012, **12**(5): 902-910.
- [48] 樊晓燕, 温天雪, 徐仲均, 等. 北京大气颗粒物碳质组分粒径分布的季节变化特征[J]. *环境化学*, 2013, **32**(5): 742-747.
- Fan X Y, Wen T X, Xu Z J, *et al.* Characteristics and size distributions of organic and element carbon of atmospheric particulate matters in Beijing, China [J]. *Environmental Chemistry*, 2013, **32**(5): 742-747.
- [49] 段卿, 安俊琳, 王红磊, 等. 南京北郊夏季大气颗粒物中有有机碳和元素碳的污染特征[J]. *环境科学*, 2014, **35**(7): 2460-2467.
- Duan Q, An J L, Wang H L, *et al.* Pollution characteristics of organic and elemental carbon in atmospheric particles in Nanjing northern suburb in summer[J]. *Environmental Science*, 2014, **35**(7): 2460-2467.
- [50] 石广玉, 檀赛春, 陈彬. 沙尘和生物气溶胶的环境和气候效应[J]. *大气科学*, 2018, **42**(3): 559-569.
- Shi G Y, Tan S C, Chen B. Environmental and climatic effects of mineral dust and bioaerosol [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2018, **42**(3): 559-569.
- [51] 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.
- [52] Schauer J J, Kleeman M J, Cass G R, *et al.* Measurement of emissions from air pollution sources. 5. C_1 - C_{32} organic compounds from gasoline-powered motor vehicles [J]. *Environmental Science & Technology*, 2002, **36**(9): 1169-1180.
- [53] 黄柯, 刘刚, 周丽敏, 等. 森林生物质燃烧烟尘中的有机碳和元素碳[J]. *环境科学*, 2015, **36**(6): 1998-2004.
- Huang K, Liu G, Zhou L M, *et al.* Organic carbon and elemental carbon in forest biomass burning smoke [J]. *Environmental Science*, 2015, **36**(6): 1998-2004.
- [54] 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.
- [55] Castro L M, Pio C A, Harrison R M, *et al.* Carbonaceous aerosol in urban and rural European atmospheres: estimation of secondary organic carbon concentrations [J]. *Atmospheric Environment*, 1999, **33**(17): 2771-2781.
- [56] 秦娟娟, 杨艳蓉, 周雪明, 等. 佛山市大气细粒子碳质组分时空分布特征及其影响因素[J]. *生态环境学报*, 2018, **27**(11): 2081-2087.
- Qin J J, Yang Y R, Zhou X M, *et al.* Spatial and temporal distribution and influence factors of carbonaceous species of fine particles in Foshan City [J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2018, **27**(11): 2081-2087.

CONTENTS

Characterization of Two Heavy Pollution Episodes in Tianjin in 2020	XIAO Zhi-mei, XU Hong, CAI Zi-ying, <i>et al.</i> (3879)
Analysis of Characteristics of Water-soluble Ions in PM _{2.5} in Chengdu Based on the MARGA	YIN Han-mei, CHEN Jun-hui, FENG Xiao-qiong, <i>et al.</i> (3889)
Seasonal Characteristics and Source Analysis of Water-soluble Inorganic Ions in PM _{2.5} in Suqian City	MA Hong-lu, ZHAO Xin, LU Jian-gang, <i>et al.</i> (3899)
Characterization and Size Distribution of Carbonaceous Aerosols at Mountain Dinghu	LI An-na, WEN Tian-xue, HUA Wei, <i>et al.</i> (3908)
Characteristics and Source Apportionment of Carbon Components in Road Dust in Anshan	LIN Zi, JI Ya-qin, LIN Yu, <i>et al.</i> (3918)
Spectral Characteristics and Source Analysis of WSOC of PM _{2.5} in Winter of Xi'an	YANG Yi, ZHANG Ya-nan, LIU Huan-wu, <i>et al.</i> (3924)
Observation of Aerosol Optical Properties and New Particle Formation in the Yangtze River Delta	DU Ying-ying, CHEN Jun, ZHANG Jia-luo, <i>et al.</i> (3932)
Component Characteristics and Source Appointment of Volatile Organic Compounds in Lianyungang City	CUI Jin-meng, WANG Ti-jian, LI Qiu-tong, <i>et al.</i> (3941)
Seasonal Pollution Characteristics and Analysis of the Sources of Atmospheric VOCs in Chengdu Urban Area	WANG Cheng-hui, CHEN Jun-hui, HAN Li, <i>et al.</i> (3951)
Ozone Sensitivity Analysis and Emission Controls in Dezhou in Summer	YAN Ru-sha (3961)
Inventory and Distribution Characteristics of China's Thermal Power Emissions Under Ultra-Low Reconstruction	QU Jia-bao, WANG Peng, BO Xin, <i>et al.</i> (3969)
Establishment and Spatial Distribution of Anthropogenic Ammonia Emission Inventory in Zhejiang Province	ZHAO Rui-dong, YU Xing-na, HOU Xin-hong, <i>et al.</i> (3976)
Evaluation and Screening of Dioxin Control Technology in Waste Incineration Flue Gas	ZHAO Si-lan, XI Peng-fei, GUO Feng-yan, <i>et al.</i> (3985)
Characteristics of Stable Isotopes and Moisture Sources of Two Typical Precipitation Events in Lanzhou City	HAN Ting-ting, ZHANG Ming-jun, WANG Sheng-jie, <i>et al.</i> (3993)
Hydrochemical Characteristics and Possible Controls of the Surface Water in Ranwu Lake Basin	ZHANG Tao, WANG Ming-guo, ZHANG Zhi-yin, <i>et al.</i> (4003)
Chemical Evolution and Formation Mechanism of Groundwater in Hetao Irrigation Area	CUI Jia-qi, LI Xian-yue, SHI Hai-bin, <i>et al.</i> (4011)
Chemical Characteristics of Groundwater and Material Sources Analysis in Shiqi River Basin	LI Xiao, YU Shi, LI Liang, <i>et al.</i> (4021)
Spatial-temporal Variations and Driving of Nitrogen and Phosphorus Ratios in Lakes in the Middle and Lower Reaches of Yangtze River	JI Peng-fei, XU Hai, ZHAN Xu, <i>et al.</i> (4030)
Spatiotemporal Variations in Nutrient Loads in River-lake System of Changdang Lake Catchment in 2016-2017	LI Xin-yan, LI Heng-peng, JIANG San-yuan, <i>et al.</i> (4042)
Influence of <i>Potamogeton crispus</i> on Lake Water Environment and Phytoplankton Community Structure	KANG Li-juan, XU Hai, ZOU Wei, <i>et al.</i> (4053)
Phylogenetic Processes and Key Driving Factors of Bacterial Communities in Jinze Reservoir	LIU Ming-kun, TONG Jun, ZHU Hui-feng, <i>et al.</i> (4062)
Distribution Characteristics of Per-/polyfluoralkyl Substances in River Sediments Around Typical Fluorine Industrial Parks	SUN Lin-ting, ZHAO Zhen, TANG Jian-hui (4069)
Microplastics-Induced Shifts of Diversity and Abundance of Antibiotic Resistance Genes in River Water	ZHOU Xin-yuan, WANG Yan-zi, SU Jian-qiang, <i>et al.</i> (4076)
Pollution Characteristics and Risk Assessment of Antibiotics in Lianhua Reservoir	LIAO Jie, WEI Xiao-qin, XIAO Yan-qin, <i>et al.</i> (4081)
Intraspecific Variation in Growth and Alkaline Phosphatase Activity of <i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> Strains in Response to Different Phosphorus Concentrations and Sources	YE Jin-mei, ZHAO Li, LUO Xu, <i>et al.</i> (4088)
Simulation of Water Quality Response of Guishui River Wetland Plants and Water Diversion	LI Ya-juan, DU Yan-liang, BI Er-ping, <i>et al.</i> (4095)
Performance Assessment of Field-scale Dry Grass Swale with Shallow Substrate Layer	ZHANG Jia-wei, LI Tian, ZHANG Ting-xiu (4105)
Transition of Particulate Pollutant in the Parcel-based Catchment of Sponge City	LI Jia, XIE Wen-xia, JIANG Zhi-hui, <i>et al.</i> (4113)
Adsorption of Sb(V) in Water by Natural Pyrite: Performance and Mechanism	SHI Song, WU Qian-yuan, LI Xin-zheng, <i>et al.</i> (4124)
Treatment of Wastewater Containing Naphthalene Sulfonic Acid by Persulfate Oxidation	ZHANG Jin-men, LU Jun, LIU Xiao-chen, <i>et al.</i> (4133)
Effect of Temperature on Performance and Microbial Community Structure of Anaerobic Biofilter-Treated Domestic Wastewater	LIU Zhi-bin, LIU Xiu-hong, ZHOU Tong, <i>et al.</i> (4141)
Start-up and Optimization of Denitrifying Phosphorus Removal in ABR-MBR Coupling Process	MIAO Xin-nian, WANG Qian, GUO Kai-cheng, <i>et al.</i> (4150)
Adaptability of Completely Autotrophic Nitrogen Removal over Granular Sludge to Low-Strength at Low Temperature	LIU Yu-xin, WANG Jian-fang, QIAN Fei-yue, <i>et al.</i> (4161)
Discussion on Key Issues of Geochemical Monitoring of Soil Heavy Metal in Xiongan New District	GUO Zhi-juan, ZHOU Ya-long, YANG Zheng, <i>et al.</i> (4169)
Quantitative Assessment of Human Health Risks Based on Soil Heavy Metals and PAHs Sources: Take a Polluted Industrial Site of Beijing As an Example	WU Zhi-yuan, ZHANG Li-na, XIA Tian-xiang, <i>et al.</i> (4180)
Ecological Risk Assessment of Heavy Metals at Township Scale in the High Background of Heavy Metals, Southwestern, China	ZHANG Fu-gui, PENG Min, WANG Hui-yan, <i>et al.</i> (4197)
Potential of Accumulation and Application of Dominant Plants in Lanping Lead-zinc Mine, Yunnan Province	ZHANG Long, ZHANG Yun-xia, SONG Bo, <i>et al.</i> (4210)
Key Growth Stage of Pb Accumulation in Rice Through a Hydroponic Experiment with Pb Stress	HU Yu-dan, ZHOU Hang, GU Jiao-feng, <i>et al.</i> (4218)
Effect of Nutrient Regulation and Control on Cd Accumulation Efficiency of <i>Hylotelephium spectabile</i> Under Field Conditions	GUO Jun-mei, YANG Jun-xing, YANG Jun, <i>et al.</i> (4226)
Effects of <i>Eucalyptus</i> Branches Biochar Application on Soil Physicochemical Properties of Acidified Soil in a <i>Eucalyptus</i> plantation in Northern Guangxi	DAUN Chun-yan, SHEN Yu-yi, XU Guang-ping, <i>et al.</i> (4234)
Dynamic Effects of Direct Returning of Straw and Corresponding Biochar on Acidity, Nutrients, and Exchangeable Properties of Red Soil	YANG Cai-di, LU Sheng-gao (4246)
Different Responses of Soil Microbial Community Structure to Irrigation with Treated Wastewater from Domestic and Industrial Sources	WANG Yan, CHENG Dong-hui, TAN Wen-bing, <i>et al.</i> (4253)
Effects of Manure and Organic Fertilizer Application on Soil Microbial Community Diversity in Paddy Fields	LI Peng, WU Jian-qiang, SHA Chen-yan, <i>et al.</i> (4262)
Effects of Land Use Changes on Soil Bacterial Community Diversity in the Riparian Wetland Along the Downstream of Songhua River	ZHANG Tuo, XU Fei, HUAI Bao-dong, <i>et al.</i> (4273)
Response of Soil Bacterial Community Structure to Precipitation Change in Grassland of Loess Plateau	LI Na, WANG Bao-rong, AN Shao-shan, <i>et al.</i> (4284)
Effect of Land-use on Soil Fungal Community Structure and Associated Functional Group in Huixian Karst Wetland	CHENG Yue-yang, JIN Zhen-jiang, WANG Xiao-tong, <i>et al.</i> (4294)
Interactions of Fungi Community and Relationship with the Carbon Structure in Arable Mollisols with Gradient Organic Matter Content	SHANG Qiu-tong, HUANG Rui-lin, NI Hao-wei, <i>et al.</i> (4305)
Diversity of Soil Eukaryotic Microbes in Different Succession Stages in Maolan Karst Forest of Guizhou	WANG Xian, LONG Jian, LI Juan, <i>et al.</i> (4314)
Adsorption of Cadmium and Arsenic by Corn Stalk Biochar Solidified Microorganism	LIU Yu-ling, ZHU Hu-cheng, PENG Ou, <i>et al.</i> (4322)
Mechanism of Inorganic Nitrogen Transformation and Identification of Nitrogen Sources in Water and Soil	LIANG Xing, SUN Li-qun, ZHANG Xin, <i>et al.</i> (4333)