

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第39卷 第1期

Vol.39 No.1

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

2006~2015年北京市不同地区 O₃ 浓度变化 王占山, 李云婷, 安欣欣, 李倩, 孙乃迪, 王步英, 潘锦秀 (1)

南京北郊黑碳气溶胶的来源解析 肖思晗, 于兴娜, 朱彬, 何稼祺, 吕睿, 沙丹丹 (9)

电镀厂周边大气 PM₁₀ 中重金属季节性分布特征及生态风险评价 赵珍丽, 赵委托, 黄庭, 程胜高, 余葱葱, 尹伊梦 (18)

广西玉林市大气 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 中有机碳和元素碳污染特征分析 黄炯丽, 陈志明, 莫招育, 李宏姣, 杨俊超, 刘慧琳, 毛敬英, 梁桂云, 张达标, 吴熊平, 郝爽 (27)

青岛近海及黄渤海大气气溶胶中不同形态氮磷质量浓度及组成特征 张瑞峰, 祁建华, 丁雪, 谢丹丹 (38)

大气环境分区管理: 以广东省为例 杨柳林, 李敏辉, 廖程浩, 曾武涛, 张晖, 张永波 (49)

基于高分影像的城市黑臭水体遥感识别: 以南京为例 温爽, 王桥, 李云梅, 朱利, 吕恒, 雷少华, 丁潇蕾, 苗松 (57)

基于 SWAT 模型的流域河道硝酸盐 δ¹⁵N 和 δ¹⁸O 模拟 王康, 冉宁, 林忠兵, 周祖昊 (68)

程河流域非点源污染负荷估算及其控制对策 陈学凯, 刘晓波, 彭文启, 董飞, 黄智华, 冯顺新, 王若男 (77)

陆浑水库饮用水源地水体中金属元素分布特征及健康风险评价 余葱葱, 赵委托, 高小峰, 程胜高, 谢地, 马鹏途 (89)

天津供水系统中抗生素分布变化特征与健康风险评价 张新波, 宋姿, 张丹, 刘楠楠, 李楠, 温海涛 (99)

西南丘陵区村镇典型供水水源有机物分布特征及对饮水水质的影响 王琼, 李乃稳, 李磊, 李龙国, 苟思, 杨凌肖 (109)

以 HKUST-1 为模板制备铜电极物活化过一硫酸氢钾降解罗丹明 B 陈卫平, 彭程伟, 杨阳, 吴玉梅 (117)

黄河岸边土壤中类二噁英类多氯联苯污染现状及风险 姚宏, 卢双, 张旭, 裴晋, 鲁垠涛 (123)

淹水落干下三峡水库消落带土壤无机磷形态转化特征 周健, 李春辉, 张志永, 胡红青, 万成炎, 胡莲, 潘晓洁 (130)

磷酸盐对铁锰复合氧化物膜去除地表水中氨氮的影响 卓瑞双, 黄廷林, 张瑞峰, 文刚 (137)

K₂S₂O₈ 强化 g-C₃N₄ 薄膜光电催化降解 Cu(CN)₂ 并同步回收 Cu 党聪哲, 李一兵, 王彦斌, 赵旭 (145)

以 HKUST-1 为模板制备铜电极物活化过一硫酸氢钾降解罗丹明 B 蒲嘉懿, 万金泉, 王艳, 马邕文, 武书彬 (152)

氨化松香基交联聚合树脂对水中诺氟沙星的吸附性能 马亚红, 黄婉婷, 刁开盛, 李鹏飞, 谭学才, 董慧岭, 覃方夸, 雷福厚, 刘绍刚 (161)

铁锰泥除砷颗粒吸附剂对 As(V) 的吸附去除 曾辉平, 吕赛赛, 杨航, 尹灿, 曹瑞华, 王艳菊, 李冬, 张杰 (170)

水铁矿及其胶体对砷的吸附与吸附形态 王玉玲, 马杰, 陈雅丽, 雷梅, 郭华明, 翁莉萍, 李永涛 (179)

阳(阴)离子复配修饰两性磁性膨润土的表面特征差异及对苯酚吸附的影响 任爽, 孟昭福, 王腾, 张洋, 田凯, 刘伟, 闫东旭 (187)

典型城市污水中对羟基苯甲酸酯的污染特征 赵雪, 张子峰, 祝富杰, 李一凡, 马万里 (195)

水力停留时间对活性炭生物转盘处理污水的影响 许雯佳, 戚小英 (202)

环丙沙星对膜生物反应器运行效能的影响及其去除特性 戴琦, 刘锐, 舒小铭, 张永明, 陈吕军 (212)

AAO 工艺低氧条件下的运行及其模拟 曹特特, 王林, 李咏梅 (219)

磷酸盐对亚硝化系统的抑制及恢复 顾澄伟, 陈方敏, 李祥, 张程锦 (227)

碳源对污水处理厂 SAD 工艺小试的影响 李冬, 赵世勋, 王俊安, 朱金凤, 关宏伟, 张杰 (232)

容积负荷对 ABR-MBR 工艺反硝化除磷性能的影响 吕亮, 尤雯, 韦佳敏, 吴鹏, 沈耀良 (239)

DNBF-O₃-GAC 组合工艺深度脱除氮磷及代谢产物 钟丽燕, 郝瑞霞, 王卫东, 万京京, 朱晓霞 (247)

交替好氧/缺氧运行模式对生物脱氮效能及活性污泥胞外聚合物的影响 孙洪伟, 陈翠忠, 吴长峰, 赵华南, 于雪, 方晓航 (256)

纳米零价铁对升流式颗粒污泥床反硝化性能的影响 周丰, 王翻翻, 钱飞跃, 黄慧敏, 沈耀良, 周建民 (263)

高含固污泥厌氧消化中 Fe/S 及 pH 对原位抑硫效率影响及其交互作用 韩芸, 曹玉芹, 卓杨, 王晓飞, 韩雅婷, 彭党聪 (269)

浑河流域贮存污泥成分特征及演变规律分析 刘甜甜, 崔崇威, 赫俊国, 唐建 (276)

去除城市生活污水中有机络合态金属强化其厌氧生物制气 卢怡清, 许颖, 董滨, 戴晓虎 (284)

污泥飞灰中重金属不同浸出方法比较及综合毒性评价 王丰, 李润东, 李彦龙, 赵云斌, 杨天华 (292)

初冬时期闽江河口区养殖塘排水后的 CH₄ 和 N₂O 通量日变化特征 杨平, 谭立山, 黄佳芳, 何清华, 全川 (300)

3 种土壤改良剂对河套灌区玉米田温室气体排放的影响 武岩, 红梅, 林立龙, 刘梅, 刘宇杰 (310)

有机替代比例对冬小麦/夏玉米轮作体系作物产量及 N₂O 排放的影响 侯苗苗, 吕凤莲, 张弘毅, 周应田, 路国艳, Ayaz Muhammad, 黎青慧, 杨学云, 张树兰 (321)

拔节期水稻光合碳输入的动态变化及其对施氮的响应: ¹³C-CO₂ 脉冲标记 陈珊, 祝贞科, 袁红朝, 王久荣, 彭佩钦, 葛体达, 吴金水 (331)

陕北黄土丘陵区不同土地利用方式下土壤碳剖面分布特征 兰志龙, 赵英, 张建国, 李会杰, 司炳成, 焦瑞, Muhammad Numan Khan, Tanveer Ali Sial (339)

不同地表条件下生物炭对土壤氮挥发的影响 邹娟, 胡学玉, 张阳阳, 陈窈君, 王向前, 刘扬 (348)

秸秆与生物炭还田对土壤团聚体及固碳特征的影响 徐国鑫, 王子芳, 高明, 田冬, 黄容, 刘江, 黎嘉成 (355)

县域尺度土壤铜的有效性及相关影响因素评估 李锦芬, 瞿明凯, 刘刚, 黄标 (363)

基于改进 LUR 模型的区域土壤重金属空间分布预测 曾菁菁, 沈春竹, 周生路, 陆春峰, 金志丰, 朱雁 (371)

沈北新区土壤中多环芳烃污染特征及源解析 李嘉康, 宋雪英, 魏建兵, 王颖怡, 李玉双, 郑学昊 (379)

磷酸盐、腐殖酸与粉煤灰联合钝化处理模拟铅镉污染土壤 赵庆圆, 李小明, 杨麒, 陈灿, 钟振宇, 钟宇, 陈飞, 陈寻峰, 王祥 (389)

控源及改良措施对稻田土壤和水稻镉累积的影响 封文利, 郭朝晖, 史磊, 肖细元, 韩晓晴, 冉洪珍, 薛清华 (399)

典型土壤双季稻对 Cd 吸收累积差异 李欣阳, 龙坚, 王树兵, 陈齐, 董霞, 蒋凯, 侯红波, 彭佩钦, 廖柏寒 (406)

松花江上游夹皮沟金矿开采区芦苇叶片汞分布特征 张曼胤, 李梦洁, 崔丽娟, 王贺年, 郭子良, 徐卫刚, 魏圆云, 杨思, 肖红叶 (415)

硝酸盐对土壤反硝化活性及厌氧降解的影响 代军帅, 左小虎, 王明霞, 姚炎红, 周志峰 (422)

长期施肥对稻田土壤微生物量、群落结构和活性的影响 王伟华, 刘毅, 唐海明, 孙志龙, 李宝珍, 葛体达, 吴金水 (430)

海洋沉积物中硫酸盐还原菌和硫酸化菌群落分析方法的比较 张玉, 米铁柱, 甄毓, 陈焯, 付璐璐, 王勋功 (438)

鄱阳湖微囊藻毒素时空分布格局及其与理化及生物因子的关系 袁丽娟, 廖且根, 张莉, 张大文, 罗林广, 刘聚涛 (450)

畜禽粪便中多重耐药细菌及耐药基因分布特征 张昊, 王盼亮, 杨清香, 俞宁 (460)

烟气净化工艺和焚烧炉类型对生活垃圾焚烧飞灰性质的影响 章骅, 于思源, 邵立明, 何晶晶 (467)

《环境科学》征稿简则(17) 《环境科学》征订启事(26) 信息(160, 255, 338)

南京北郊黑碳气溶胶的来源解析

肖思晗, 于兴娜*, 朱彬, 何稼祺, 吕睿, 沙丹丹

(南京信息工程大学气象灾害教育部重点实验室, 气候与环境变化国际合作联合实验室, 气象灾害预报预警与评估协同创新中心, 中国气象局气溶胶与云降水重点开放实验室, 南京 210044)

摘要: 利用七波段黑碳仪对 2015 年 1~12 月南京北郊地区黑碳 (black carbon, BC) 气溶胶实时监测, 并结合黑碳仪模型对该期间内 BC 进行来源解析, 探讨化石燃料排放产生 BC (BC_{ff}) 与生物质燃烧产生 BC (BC_{bb}) 各自的贡献大小. 结果表明, 观测期间 BC 的吸收波长指数 (α) 和生物质燃烧对 BC 的贡献百分比 (BB) 的变化范围都较大但趋势较为一致; 冬季 α 值偏高而夏季 α 值较低, 表明不同季节时间 BC 来源和强度的差异性. BC_{ff} 在各季节 BC 总浓度中占比略有不同但均高于 75%; BC_{ff} 和 BC_{bb} 的日变化趋势均呈双峰特征, 在 07:00~09:00 和 18:00~21:00 左右浓度有最大值; 全天中, BC_{ff} 对 BC 贡献最大, 浓度值约为 BC_{bb} 的 3~5 倍; 夜晚 BC 浓度普遍高于白天, 其平均浓度值是白天的 1.2 倍. 由浓度权重轨迹分析的结果可知, 影响南京北郊地区高浓度 BC 的源区主要集中在浙江、安徽以及江西和福建等地区.

关键词: 黑碳气溶胶; 来源解析; 化石燃料; 生物质燃烧; 南京

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2018)01-0009-09 DOI: 10.13227/j.hjxx.201706091

Source Apportionment of Black Carbon Aerosol in the North Suburb of Nanjing

XIAO Si-han, YU Xing-na*, ZHU Bin, HE Jia-qi, LÜ Rui, SHA Dan-dan

(Key Laboratory of Meteorological Disaster, Ministry of Education (KLME), Joint International Research Laboratory of Climate and Environment Change (ILCEC), Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters (CIC-FEMD), Key Laboratory for Aerosol-Cloud-Precipitation of China Meteorological Administration, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: Based on one year real-time measurements from a seven-wavelength Aethalometer combined with an Aethalometer model, the measured aerosol absorption coefficients at different wavelengths have been used to apportion the contribution of fossil fuel and biomass burning sources to the total black carbon (BC) mass concentration in the north suburb of Nanjing. Good consistency in the relationship between the Angstrom absorption exponent (α) and the ratio of BC from biomass burning sources to total BC (BB) was obtained during this period. The α was highest in winter and lowest in summer, which indicates the change in the source of the absorbing aerosols and their relative source strength. The BC and the BC from fossil fuel (BC_{ff}) and biomass burning (BC_{bb}) mass concentrations exhibit significant diurnal variation, with higher values during 07:00 to 09:00 (local time) and 18:00 to 21:00. The BC_{ff} was three to five times higher than the BC_{bb} and contributes greatest to the BC mass concentrations throughout the day. Night time BC values were about a factor of 1.2 higher than day time BC values. Meanwhile, the concentration weighted trajectory (CWT) analysis indicates that the highest value of BC was concentrated in the Zhejiang, Anhui, Jiangxi, and Fujian provinces.

Key words: black carbon aerosol; source apportionment; fossil fuel; biomass burning; Nanjing

大气气溶胶由于其复杂的物理、化学及光学特性,对区域乃至全球范围内地-气系统的辐射平衡都有重要影响^[1,2]. 大气气溶胶中包含大量的含碳物质 (carbonaceous matter, CM), 主要由有机碳 (organic carbon, OC) 和黑碳 (black carbon, BC) 组成. BC 是含碳物质中具有强吸光性的组分, 由于定义和测量方法的不同, 通常也被称作“煤烟 (soot)”、“元素碳 (elemental carbon, EC)”^[3]. BC 主要来源于化石燃料和生物质的不完全燃烧^[4], 其中化石燃料类型包括机动车、工业和民用燃煤等, 生物质燃烧类型包括秸秆、木柴、城市绿化废弃物等. 与其他种类气溶胶相比, 黑碳气溶胶有更独特的光学和辐射特性, IPCC^[5] 综合不同的研究给出黑碳气溶胶在大气项

的直接辐射强迫为 $(0.24 \pm 0.14) \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, 是大气中引起全球变暖的仅次于 CO_2 的重要成分. BC 具有典型的大气寿命 (7~10 d), 但其来源和排放水平随时空变化呈巨大差异^[6,7]. 大量 BC 可降低大气能见度^[8], 且以亚微米颗粒为主的 BC 能深入人体呼吸系统, 危害人体健康^[9]. 此外, BC 还会造成粮食减产, 建筑物腐蚀, 对陆地和水生生态系统也有不利

收稿日期: 2017-06-09; 修订日期: 2017-07-20

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2016YFA0602003, 2016YFC0203501); 国家自然科学基金项目 (91544229, 41475142, 41775154); 江苏省高校“青蓝工程”项目; 江苏高校优势学科建设工程项目 (PAPD)

作者简介: 肖思晗 (1993~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为大气物理学与大气环境, E-mail: sihanshaw@163.com

* 通信作者, E-mail: xnyu@nuist.edu.cn

影响^[10,11].

目前不同排放源对 BC 的相对贡献及其变化规律尚不明确,这已成为碳质气溶胶研究中不确定性的重要来源之一^[12-14]. 因此了解 BC 各种排放源的强度及相应贡献对于制定排放清单、准确估算大气气溶胶气候效应等问题都至关重要. 近些年来,随着科学技术的不断进步,有关化石燃料和生物质燃烧对环境 BC 质量浓度贡献的研究在全球范围内已经逐步开展^[15],采取的主要方法包括:碳同位素分析法^[16-19]、特征标志物比值分析法^[20]以及黑碳仪模型法等^[21-24]. 我国有关 BC 源解析的研究起步较晚,其中碳同位素分析法是使用最为广泛的方法. Liu 等^[17]结合左旋葡聚糖以及¹⁴C的解析结果,指出宁波 2009 年 7 月至 2010 年 3 月期间大气 PM_{2.5} 中化石燃烧源对 EC 的贡献率为 78%; Zhang 等^[18]利用¹⁴C、左旋葡聚糖以及 K⁺对西安、北京、上海和广州地区冬季重霾天污染事件中 BC 进行源解析,发现生物质燃烧排放对 BC 也有较高贡献; Li 等^[19]采用放射性碳同位素分析法研究了喜马拉雅山脉和青藏高原地区 BC 的化石燃料和生物质燃料的相对贡献,表明生物质燃烧排放的 BC 对青藏高原环境和气候具有更大作用. 总而言之,BC 来源受地理、气象和地域经济结构不同的影响而存在巨大差异. 现阶段,利用黑碳仪模型来测定含碳气溶胶的来源已在国内外不少地区开展,包括瑞士部分城市^[22]、印度戈勒克布尔^[23]和艾哈迈达巴德^[14]以及我国杭州地区^[24]等. 杭州和南京均位于长三角区域内,其气候条件、大气污染类型等都有较多相似之处. 因此,本研究采用黑碳仪模型估测 BC 的来源具有一定可行性.

鉴于此,本研究运用黑碳仪测得的南京北郊地区近 1 年 BC 浓度数据并结合黑碳仪模型,在了解其吸收特性的基础上对该地区 BC 来源进行解析,探讨化石燃料燃耗和生物质燃烧对 BC 的贡献以及其来源特征. 此外,利用浓度权重轨迹分析法来定性分析潜在 BC 来源的季节差异. 本研究对于加深 BC 污染本质以及不同排放源对 BC 相对贡献大小的认识具有重要意义,也为合理控制大气污染、评估黑碳气溶胶的环境和气候影响提供一定的科学依据和理论支撑.

1 材料与方法

1.1 观测地点

观测站点位于南京北郊(32° 12' 19" N,

118°43'37"E), BC 采样地点为南京信息工程大学气象楼楼顶,海拔高度为 62 m. 地面气象数据来源于同为校园内的中国气象局气象探测实验基地,二者距离约 1 km. 在其东北和东南方向上分布有扬子石化、南京钢铁集团等大型化工和能源企业,同时东面紧邻交通要道宁六公路,日均车流量约为 5 万辆^[25]. 具体位置如图 1 所示.



图 1 观测点及周边地区

Fig. 1 Measurement site and the surrounding areas

1.2 实验方法

1.2.1 仪器和数据

本研究采用美国 Magee 公司生产的 AE-33 型黑碳测量仪对大气中 BC 质量浓度进行实时监测. 该仪器有 7 个测量通道,对应波长分别为 370、470、525、590、660、880 和 940 nm,仪器校准后的采样流量为 5.0 L·min⁻¹,并连接 PM_{2.5} 的采样切割头. 黑碳仪通过测定石英滤膜上 BC 对光的衰减量来反算 BC 的光学吸收系数,进而推断出 BC 的质量浓度,属于光学灰度测量法. 采用此方法时,BC 的比衰减系数是一个关键参数,根据 BC 的不同来源、在大气中存在的时间及混合状态,其值在一定范围内变化^[26].

由于黑碳仪是基于膜采样分析,因此光线在滤膜中的多次散射以及采集的气溶胶粒子的负载效应会导致反算得到的结果存在一定误差^[27,28]. 而 Drinovec 等^[29]提出的双点位测量方法,解决了仪器响应因子受滤带上负载物质的影响,并将这一技术应用到黑碳仪(AE-33)的测量中. 其中,进入的气溶胶样气被分成两个不同流速的气流并经过同一滤带上的两个点,从而可同时测得两个不同负载程度的衰减点 ATN1 和 ATN2 各自 BC 的值.

原始数据的时间长度为 2015 年 1 月 1 日 ~ 2015 年 12 月 31 日,由于供电、仪器故障等影响,2015 年 2 月以及 7 月下旬至 8 月时间段内的数据

缺测. 仪器原始采样频率为 1 min, 数据处理成 1 h 平均值. 在平均过程中, 对明显异常值(与该小时平均值之差的绝对值超过 3 倍标准差)以及仪器标记为坏点的值进行剔除, 同时保证每小时可用数据不少于应测数量的 60%. 而数据的日平均、月平均等值的获取则通过质量筛选后的小时平均数据进一步计算得到.

1.2.2 吸收系数的波长指数计算

气溶胶对光的吸收特性与波长之间联系的幂律关系式可以表示为:

$$\sigma_{\text{abs}}(\lambda) = K\lambda^{-\alpha} \quad (1)$$

式中, σ_{abs} 是吸收系数; K 为常数; α 一般称为吸收系数的 Ångström 指数, 它反映了气溶胶颗粒的形状大小、化学成分以及混合状态^[30].

1.2.3 黑碳仪模型

黑碳仪模型的建立有利于了解化石燃料和生物质燃烧两种主要排放源对 BC 的贡献大小以及相应 BC 的变化特征. 其原理基于 Sandradewi 等^[31]的模型, 此模型表明光吸收系数是生物质燃烧和矿物质燃烧的和. 该模型基于不同波长下吸收系数的不同, 即生物质燃烧产生 BC 吸收系数对波长更为敏感, 对短波(370 nm 或 470 nm)吸收作用要远强于对长波(880 nm 或 940 nm)吸收作用^[32], 并假设生物燃料和矿物燃料分别遵从 λ^{-2} 和 λ^{-1} 的光谱依赖性. 因此, 某一波段下 BC 吸收的总和可以表示为:

$$\sigma_{\text{abs}}(\lambda) = \sigma_{\text{abs}}(\lambda)_{\text{ff}} + \sigma_{\text{abs}}(\lambda)_{\text{bb}} \quad (2)$$

式中, $\sigma_{\text{abs}}(\lambda)_{\text{ff}}$ 和 $\sigma_{\text{abs}}(\lambda)_{\text{bb}}$ 分别为化石燃料和生物质燃烧产生 BC 的吸收系数. 同时, 给出方程中的 σ_{abs} 、波长以及化石燃料和生物质燃烧对应的波长指数间的关系式:

$$\frac{\sigma_{\text{abs}}(370)_{\text{ff}}}{\sigma_{\text{abs}}(880)_{\text{ff}}} = \left(\frac{370}{880}\right)^{-\alpha_{\text{ff}}} \quad (3)$$

$$\frac{\sigma_{\text{abs}}(370)_{\text{bb}}}{\sigma_{\text{abs}}(880)_{\text{bb}}} = \left(\frac{370}{880}\right)^{-\alpha_{\text{bb}}} \quad (4)$$

假定 $\alpha_{\text{ff}} = 1$, $\alpha_{\text{bb}} = 2$; 结合公式(2)~(4)即可推算出生物质燃烧和化石燃料排放产生的 BC 总质量浓度.

1.2.4 浓度权重轨迹分析法

浓度权重轨迹分析法(CWT)是一种计算潜在源区气流轨迹的权重浓度, 反映不同轨迹污染程度的方法. 在浓度权重轨迹分析法中, 每个网格都有一个权重浓度, 通过计算经过该网格的轨迹对应观测点的 BC 质量浓度的平均值来实现^[33,34]:

$$C_{ij} = \frac{1}{\sum_{l=1}^M m_{ijl}} \sum_{l=1}^M C_l m_{ijl}$$

式中, C_{ij} 是网格 (i, j) 上的平均权重浓度; l 是经过网格 (i, j) 的轨迹之一; C_l 是轨迹 l 经过网格 (i, j) 时对应的 BC 质量浓度; m_{ijl} 是轨迹 l 在网格 (i, j) 停留的时间.

2 结果与讨论

2.1 基本气象状况

图 2 显示了研究期间南京北郊地区风速(WS)、相对湿度(RH)、累积降水量(RF)以及温度(T)的逐月变化趋势. 秋冬季的风速($1.5 \sim 1.9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)较小而春夏季风速较大($1.9 \sim 2.4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$); 整个观测期间 RH 值普遍较高($>60\%$), 其中, 7 月、10 月 RH 有最大值约为 80%; 月平均降水量大约 128 mm, 春季和秋季降水量大小相当, 降水量高值主要集中在夏季, 而冬季值偏低, 仅占观测期间总降水量的 3%; 温度月均值的季节变化最为显著, 夏季温度较高($24 \sim 27^\circ\text{C}$)而冬季较低($5 \sim 6^\circ\text{C}$).

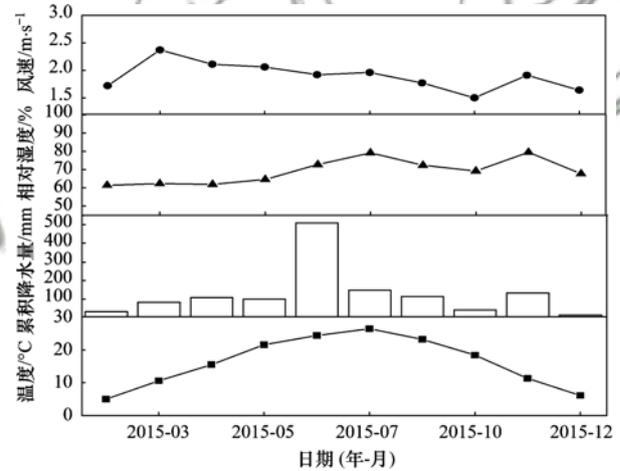


图 2 风速、相对湿度、降水量和温度的逐月变化趋势

Fig. 2 Monthly variation of wind speed, relative humidity, rainfall and temperature

2.2 BC 的吸收特性

图 3 为 BC 吸收系数对应不同波长下的季节分布情况. 四季中 BC 的吸收系数(σ_{abs})均随着波长的增大而减小, 但冬季各波段 σ_{abs} 的值明显高于其他三季, 平均吸收系数达到 96.1 Mm^{-1} , 其中夏季 σ_{abs} 值最小, 平均值为 60.6 Mm^{-1} . 由于局地气象条件和排放源的季节性转变以及不同季节内气流输送路径的差异, 气溶胶类型会随季节变化, 进而影响 BC 的来源和强度, 造成不同季节内 σ_{abs} 值存在差别^[35].

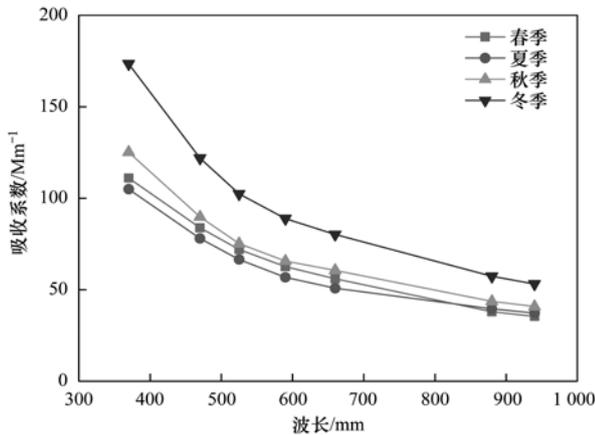
图3 不同季节吸收系数(α_{abs})的光谱变化分布

Fig. 3 Spectral variation of aerosol absorption coefficients in different seasons

2.3 BC 和 α 的分布特征

对于 BC 来说,当 BC 的产生主要与生物质燃烧有关时, α 的值约等于 2; 而当 BC 主要来源于化石燃料的排放, α 的值约等于 1^[32,36,37]. 观测期间南京北郊地区春、夏、秋、冬四季 α 的平均值分别为 1.24 ± 0.20 、 1.12 ± 0.24 、 1.25 ± 0.23 、 1.38 ± 0.11 , 总平均值约为 1.25 ± 0.21 . 从整体上推断,化石燃料的排放是该地区 BC 的主要来源,生物质燃烧对 BC 贡献较小,但不同季节不同月份间两种排放源对 BC 贡献的比值大小略有差异.

观测期间南京北郊地区日均 BC 质量浓度、 α 以及 BB 的时间变化序列如图 4, 其中 BB 定义为生物质燃烧产生 BC 占 BC 总质量浓度的百分比. 可以看出,全年中 BC 浓度都有明显的季节变化. 冬季浓度值较高,而春夏季相对较低; 日均 BC 浓度为 $(2\ 658 \pm 1\ 363) \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$, 最大值为 $10\ 423 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$, 最小值为 $642 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$; α 和 BB 的日均波动范围也较大,分别在 $0.67 \sim 1.73$ 和 $5.1\% \sim 44.6\%$ 之间. BC 浓度及其吸收参数变化的原因比较复杂,它取决于大气边界层高度、盛行风向、降水量的大小以及气溶胶的源强等^[36,38,39].

从月平均 α 和 BB 的分布特征来看(图 5), 两者的变化趋势较为一致,并随季节变化明显. 不同月份中 α 和 BB 值的变化范围在 $0.93 \sim 1.45$ 和 $12.1\% \sim 27.4\%$ 以内. 总体而言,全年 α 月均值基本都大于 1, 且冬季 α 值偏高而夏季 α 值较低,其中 1 月有最大值($\alpha = 1.45$); 7 月有最小值($\alpha = 0.93$). 由于颗粒粒径对 BC 吸收指数影响较小^[21], 因此不同季节月份间 α 值的差异主要是由于黑碳气溶胶的化学组分发生了改变,BC 的来源及其贡献

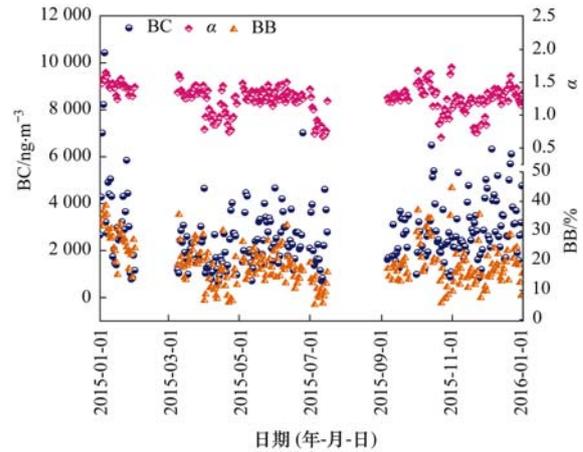
图4 BC 质量浓度、 α 和 BB 的日均时间变化序列

Fig. 4 Daily averaged time series of BC mass concentration, α , and BB

发生了变化. 如图 5, 高 α 值月份对应的 BB 也较高,说明该时间段内生物质燃烧对 BC 总质量贡献率有所上升.

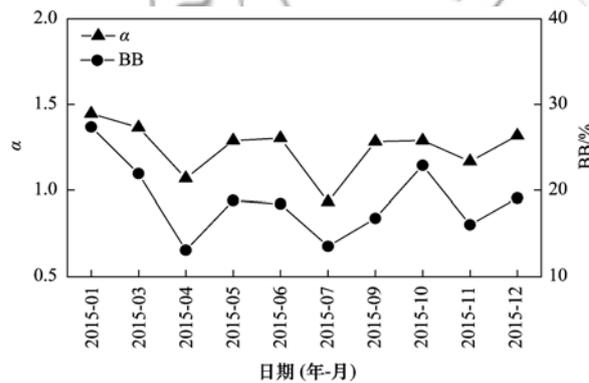
图5 α 和 BB 的月平均变化特征

Fig. 5 Monthly variations of α and BB

2.4 化石燃料排放产生 BC(BC_{ff})与生物质燃烧产生 BC(BC_{bb})的浓度变化特征

图 6 为计算得到的观测期间南京北郊地区 BC_{ff} 和 BC_{bb} 的日平均浓度变化情况. BC_{ff} 和 BC_{bb} 的整体分布特征比较一致,当 BC_{ff} 浓度偏高或偏低时,对应 BC_{bb} 值也在一定范围内波动; 日均 BC_{bb} 浓度约为 $(516 \pm 315) \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$, BC_{ff} 为 $(2\ 161 \pm 1\ 117) \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$. 表 1 列出了不同季节 BC_{ff} 和 BC_{bb} 各自的浓度特征. 各季节 BC_{ff} 浓度值均远高于 BC_{bb} , 其中冬季 BC 浓度最高,对应 BC_{ff} 和 BC_{bb} 的值也最大; 而春、夏、秋季 BC 整体水平差异较小,三季的 BC_{ff} 和 BC_{bb} 值也较为接近. BC_{ff} 在春夏秋冬四季 BC 总浓度中的占比分别是 82.4%、84.5%、81.7% 和 76.9%, BC_{bb} 的占比分别为 17.6%、15.5%、18.3% 和 23.1%. 可见化石燃料的排放是南京北郊

大气 BC 的主要来源,与 α 的结果一致. 同时冬季 BB 有最大值,夏季有最小值,春秋季节 BB 大小相当. 冬季 BB 的高值可能与本地冬季相对频繁的生物质燃烧活动以及受来自其他生物质燃烧地区气流的影响有关. 结合胡荣章^[40]等对南京地区碳气溶胶源排放估算的研究结果可知,燃烧源和交通源是该地区 BC 的主要来源,其贡献率分别为 30.3% 和 69.7%. 燃烧源中,点源(发电厂和钢铁厂)对 BC 的贡献为 59.2%,面源(低矮点源、生活面源和工业面源)的贡献率为 40.8%.

除了探讨 BC_{fr} 和 BC_{bb} 的整体分布和季节平均浓度特征,高时间分辨率下 BC 以及 BC_{fr} 、 BC_{bb} 的变化趋势也在这里给出,图 7 展示了不同季节 BC、 BC_{fr} 和 BC_{bb} 的日内变化情况. BC 的日内演变特征和人

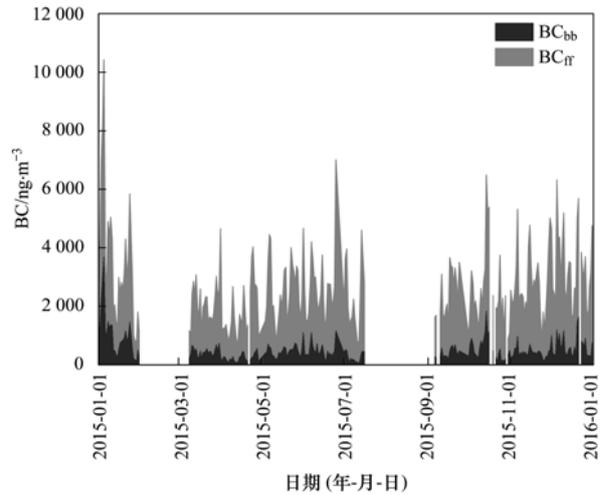


图 6 BC_{fr} 和 BC_{bb} 浓度的日均变化趋势

Fig. 6 Time series of the daily mean concentrations of BC_{fr} and BC_{bb}

表 1 BC_{fr} 和 BC_{bb} 季节平均浓度分布/ $ng \cdot m^{-3}$

Table 1 Seasonal average concentrations of BC_{fr} and BC_{bb} / $ng \cdot m^{-3}$

项目	春季	夏季	秋季	冬季
BC_{fr}	$1\ 769 \pm 829$	$2\ 077 \pm 896$	$2\ 143 \pm 952$	$2\ 656 \pm 1\ 207$
BC_{bb}	373 ± 177	383 ± 253	479 ± 279	834 ± 630

为排放的综合效应、近地层气象条件以及大气边界层的动力状况密切相关^[41]. 全观测时段 BC 浓度日内变化基本一致,呈明显双峰结构,峰值分别出现在 07:00~09:00 和 18:00~21:00,且早间峰值要略高

于夜间峰值. 对比其他季节,冬季早间峰值出现的时间要晚 1~2 h,而夜间峰值则早 3 h,冬季较短的日照时长引起当地人活动规律的变化可能是造成与其他三季差异的重要原因之一.

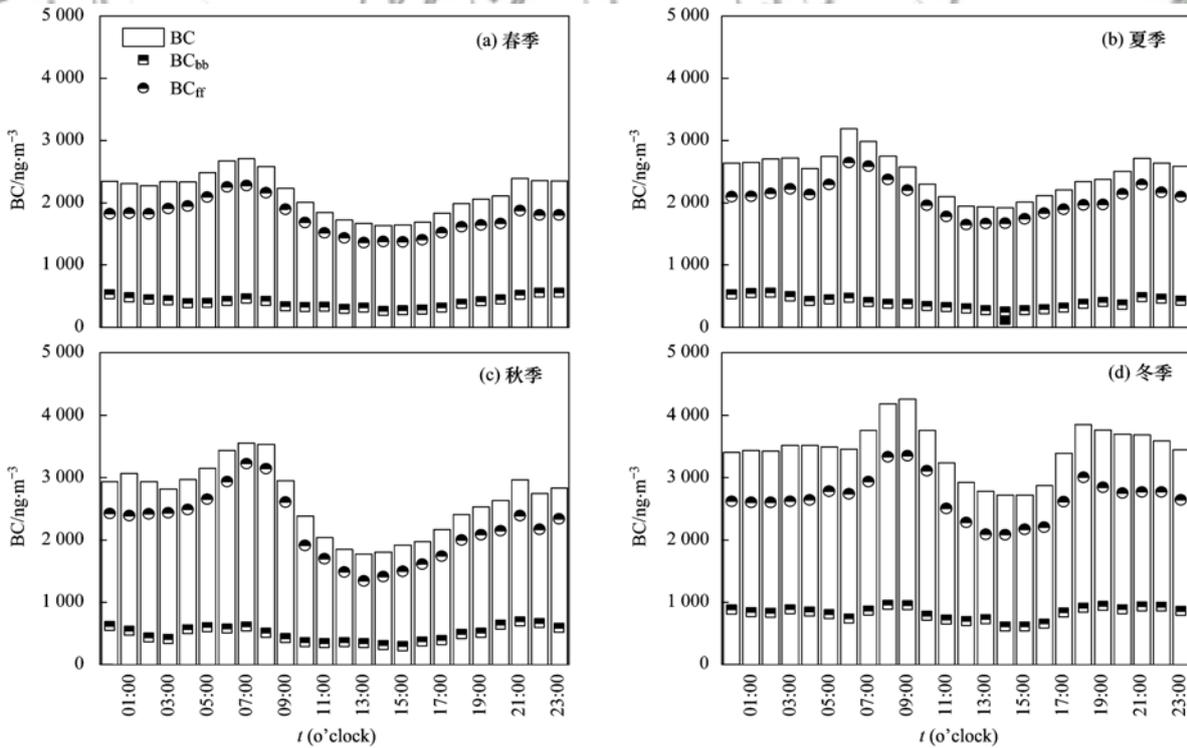


图 7 不同季节 BC、 BC_{fr} 和 BC_{bb} 浓度的日变化特征

Fig. 7 Seasonal diurnal variation of BC, BC_{fr} , and BC_{bb} concentrations

BC_{ff} 和 BC_{bb} 的日内演变特征各季节内也比较相似, 并与 BC 变化趋势对应, 有最大值和最小值. 全天来看, BC_{ff} 对 BC 浓度贡献最大, 约为 BC_{bb} 的 3~5 倍, 表明化石燃料燃烧在该地区 BC 的来源中占主导地位. 清晨和傍晚 BC_{ff} 、 BC_{bb} 浓度的高值说明该时间段内来往机动车辆以及生物质燃烧活动的增加; 而夜间至凌晨各自浓度的高值主要归因于地表逆温的存在, 且一般夜间风速较低, 通风系数 (大气边界层高度和水平风速的乘积) 也随之急速降低, 导致污染物在近地层不断堆积, 使得 BC_{ff} 、 BC_{bb} 浓度在夜间仍维持较高水平. 而与 BC_{ff} 变化不同的是, BC_{bb} 的日变化趋势较为平缓, 全天内 BC_{bb} 除清晨和傍晚的高值外, 其余时间内浓度值基本稳定. 这一特性在春季和夏季表现得更为突出.

为更清楚了解昼夜不同背景条件下 BC 浓度变

化的差异, 分别计算了 BC 、 BC_{ff} 和 BC_{bb} 白天 (06:00~18:00) 和夜晚 (18:00~次日 06:00) 的浓度均值 (图 8). 如图 8 所示, 昼夜 BC 、 BC_{ff} 和 BC_{bb} 分布存在一定季节性差异. 总体上白天浓度要普遍低于夜晚, 夜晚 BC 年平均浓度值是白天的 1.2 倍. BC_{ff} 夜晚平均浓度约为 $(2\,267 \pm 1\,328) \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$, 白天为 $(2\,041 \pm 1\,302) \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$; 而 BC_{bb} 夜晚平均浓度为 $(588 \pm 548) \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$, 白天为 $(461 \pm 371) \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$; 可见相对于白天, 夜晚 BC 受气象条件影响更大. 春、夏、秋、冬季白天 BC 浓度对全天 BC 贡献的百分比依次是 45.5%、45.8%、44.7% 和 49.3%; 夜晚则为 54.5%、54.2%、55.3% 和 50.7%. 对比其它三季, 冬季 BC 昼夜浓度比值最为接近, 冬季由于大气边界层高度和风速变化较其他季节小^[41], 使得昼夜 BC 差异不显著. 类似地, BC_{ff} 和 BC_{bb} 的昼夜浓度分布也有相似结论.

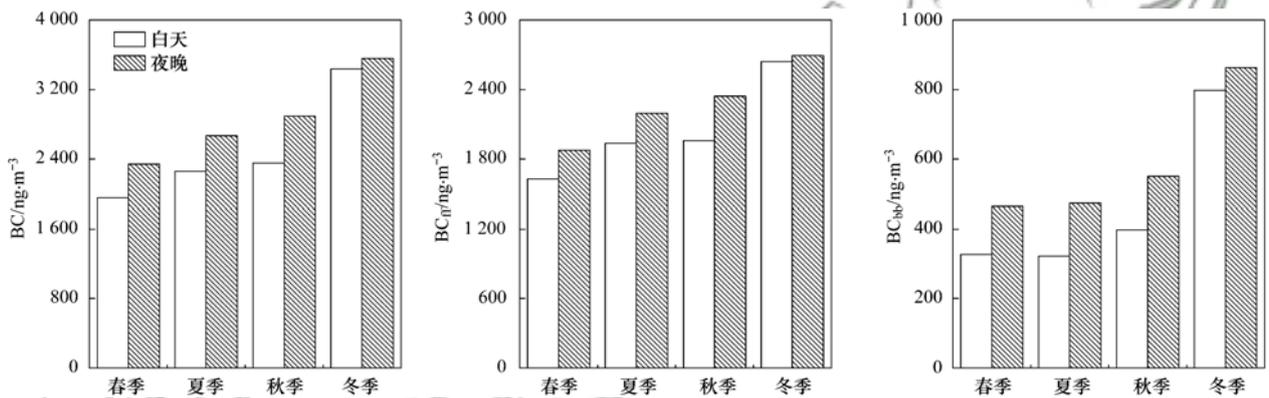


图 8 不同季节 BC 、 BC_{ff} 和 BC_{bb} 浓度的昼夜对比

Fig. 8 Seasonal variations of BC , BC_{ff} , and BC_{bb} concentrations averaged for daytime and nighttime

2.5 BC 的潜在源区分析

BC 除了受到本地源排放的影响, 其他地区气流远距离的输送也是造成该地区 BC 浓度变化的重要因素. 因此, 利用浓度权重轨迹分析法 (CWT) 来计算分析影响南京北郊不同季节 BC 浓度变化的可能潜在源区及其贡献.

本研究采用 500 m 作为研究区的大气边界层的平均流场高度, 利用 TrajStat 对研究区每日气团移动的 72 h 后向轨迹进行计算模拟, 以此反映研究区周围气流的运动特征. 图 9 为研究期间南京北郊各季节 BC 的 CWT 计算结果. 从中可见, 气流轨迹季节性变化明显, 各季节潜在源区及其贡献大小也不尽相同. 在春、夏、秋季, 虽然有大量气流轨迹来自海上, 但其贡献值较小 ($< 2\,500 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$). 其中春季 CWT 较大值主要分布在安徽中部、浙江西部等地

区, 除此之外, 来自福建北部至江西东部的小范围区域内的气流对 BC 也有较大贡献在 $5\,000 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$ 左右; 夏季 CWT 的较大值出现在浙江、安徽和江西三省交界地区, 对 BC 质量浓度贡献在 $3\,500 \sim 4\,500 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$ 间. 而秋季 CWT 的高值分布在浙江中部至安徽中南部以及河南东北部至山东西部区域, 对南京北郊 BC 质量浓度贡献在 $3\,500 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$ 以上, 这可能是秋季这些区域生物质燃烧等人为活动排放的污染物随冷空气扩散, 较易影响到南京; 冬季 CWT 的高值主要分布在福建、浙江、江西交界处和安徽大部分地区, 对南京北郊 BC 质量浓度贡献在 $6\,000 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$ 左右, 同时, 浓度值较大的地方在山西、河南和山东的局部地区也有分布. 生物质的燃烧以及北方采暖、燃烧锅炉排放大量的污染物都是造成 BC 贡献高值的可能原因.

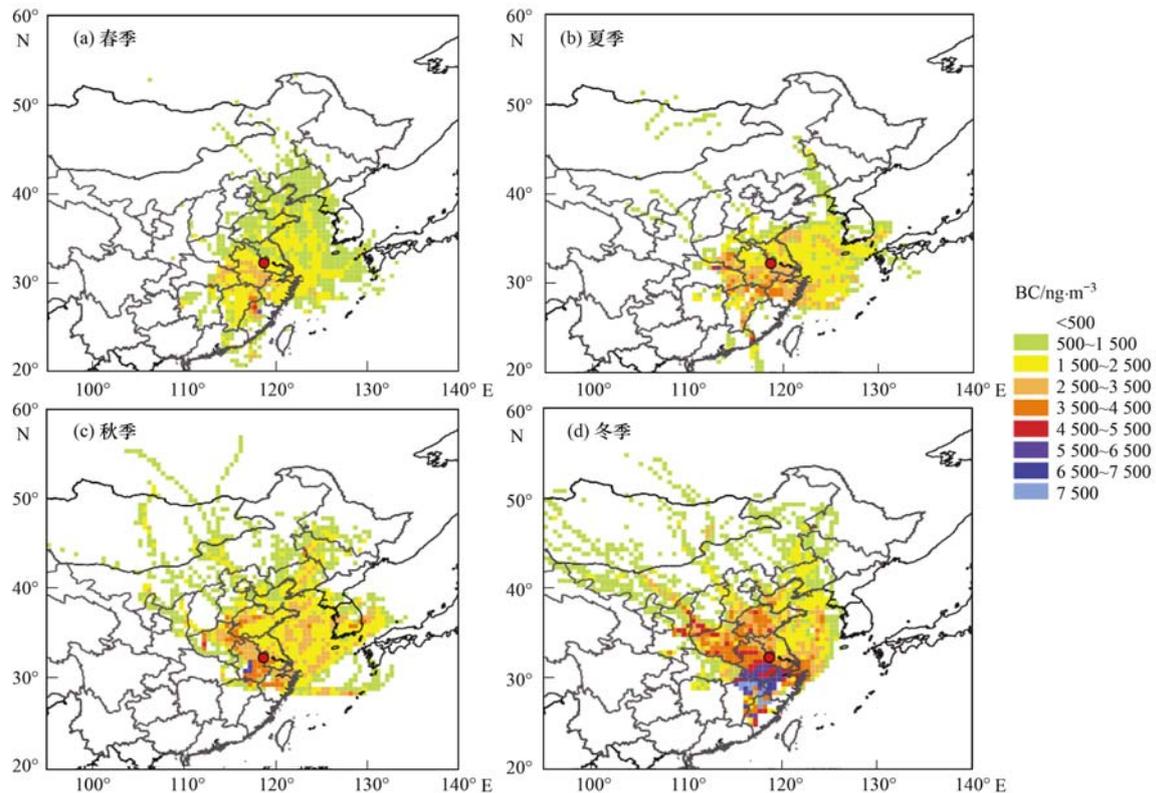


图9 BC浓度权重轨迹的季节分布

Fig. 9 Seasonal distribution of concentration-weighted trajectory (CWT) of BC

3 结论

(1) 观测期间南京北郊地区 BC 的吸收波长指数 (α) 和生物质燃烧产生 BC 占 BC 总质量浓度的百分比 (BB) 的日均和月均变化范围都较大, 但二者趋势较为一致, 高 α 值月份对应的 BB 也较高; 全年 α 月均值基本大于 1, 且冬季 α 值偏高而夏季 α 值较低, 表明了不同季节时间 BC 来源和强度的差异性。

(2) BC_{ff} 在各季节 BC 总浓度中占比略有不同但均高于 75%, 表明化石燃料燃烧排放是南京北郊大气 BC 的主要来源。BC、 BC_{ff} 和 BC_{bb} 的日变化趋势都较为一致, 呈现双峰特征, 在 07:00 ~ 09:00 和 18:00 ~ 21:00 左右浓度有最大值; BC_{bb} 的日变化趋势相对于 BC_{ff} 更为平缓, 除清晨和傍晚的高值外, 其余时间内浓度值基本稳定; 全天中, BC_{ff} 对 BC 浓度贡献最大, 约为 BC_{bb} 的 3 ~ 5 倍。白天 BC 浓度值普遍低于夜晚, 夜晚平均浓度值是白天的 1.2 倍, 也一定程度上反映了气象条件对 BC 的重要作用。

(3) 结合浓度权重轨迹分析 (CWT) 的结果可知, 影响南京北郊地区高浓度 BC 的主要源区除浙江、安徽以及江西和福建地区以外, 山西、河南和山东等局部地区对于南京北郊 BC 的浓度高值亦有

一定贡献。

参考文献:

- [1] Quaas J. Global warming: the soot factor [J]. *Nature*, 2011, **471**(7339): 456-457.
- [2] Bond T C, Bergstrom R W. Light absorption by carbonaceous particles: an investigative review [J]. *Aerosol Science and Technology*, 2006, **40**(1): 27-67.
- [3] Petzold A, Ogren J A, Fiebig M, *et al.* Recommendations for reporting "black carbon" measurements [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2013, **13**(16): 8365-8379.
- [4] 许黎, 王亚强, 陈振林, 等. 黑碳气溶胶研究进展 I: 排放、清除和浓度 [J]. *地球科学进展*, 2006, **21**(4): 352-360. Xu L, Wang Y Q, Chen Z L, *et al.* Progress of black carbon aerosol research I: emission, removal and concentration [J]. *Advances in Earth Science*, 2006, **21**(4): 352-360.
- [5] IPCC. Climate change 2007: the physical science basis [M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007.
- [6] 张楠, 覃栎, 谢绍东. 中国黑碳气溶胶排放量及其空间分布 [J]. *科学通报*, 2013, **58**(19): 1855-1864. Zhang N, Qin Y, Xie S D. Spatial distribution of black carbon emissions in China [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2013, **58**(31): 3830-3839.
- [7] Srivastava A K, Singh S, Pant P, *et al.* Characteristics of black carbon over Delhi and Manora peak—a comparative study [J]. *Atmospheric Science Letters*, 2012, **13**(3): 223-230.
- [8] Chow J C, Bachmann J D, Wierman S S, *et al.* Visibility: science and regulation [J]. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 2002, **52**(9): 973-999.

- [9] Li Y, Henze D K, Jack D, *et al.* Assessing public health burden associated with exposure to ambient black carbon in the United States. [J]. *Science of the Total Environment*, 2015, **539**: 515-525.
- [10] Cao J J, Zhu C S, Chow J C, *et al.* Black carbon relationships with emissions and meteorology in Xi'an, China[J]. *Atmospheric Research*, 2009, **94**(2): 194-202.
- [11] Udayasoorian C, Jayabalakrishnan RM, Suguna A R, *et al.* Aerosol black carbon characteristics over a high-altitude western Ghats location in southern India [J]. *Annales Geophysicae*, 2014, **32**(10): 1361-1371.
- [12] Venkataraman C, Habib G, Eiguren-Fernandez A, *et al.* Residential biofuels in South Asia: carbonaceous aerosol emissions and climate impacts[J]. *Science*, 2005, **307**(5714): 1454-1456.
- [13] Gustafsson Ö, Kruså M, Zencak Z, *et al.* Brown clouds over South Asia; biomass or fossil fuel combustion? [J]. *Science*, 2009, **323**(5913): 495-498.
- [14] Rajesh T A, Ramachandran S. Characteristics and source apportionment of black carbon aerosols over an urban site[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2017, **24**(9): 8411-8424.
- [15] Crilley L R, Bloss W J, Yin J, *et al.* Sources and contributions of wood smoke during winter in London: assessing local and regional influences [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2015, **15**(6): 3149-3171.
- [16] Zhang Y L, Li J, Zhang G, *et al.* Radiocarbon-based source apportionment of carbonaceous aerosols at a regional background site on Hainan island, South China[J]. *Environmental Science & Technology*, 2014, **48**(5): 2651-2659.
- [17] Liu D, Li J, Zhang Y L, *et al.* The use of levoglucosan and radiocarbon for source apportionment of PM_{2.5} carbonaceous aerosols at a background site in East China[J]. *Environmental Science & Technology*, 2013, **47**(18): 10454-10461.
- [18] Zhang Y L, Huang R J, El Haddad I, *et al.* Fossil vs. non-fossil sources of fine carbonaceous aerosols in four Chinese cities during the extreme winter haze episode of 2013 [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2015, **15**(3): 1299-1312.
- [19] Li C L, Bosch C, Kang S C, *et al.* Sources of black carbon to the Himalayan-Tibetan plateau glaciers [J]. *Nature Communications*, 2016, **7**: 12574.
- [20] Harrison R M, Beddows D C S, Hu L, *et al.* Comparison of methods for evaluation of wood smoke and estimation of UK ambient concentrations[J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2012, **12**(17): 8271-8283.
- [21] Sandradewi J, Prévôt A S H, Weingartner E, *et al.* A study of wood burning and traffic aerosols in an alpine valley using a multi-wavelength aethalometer [J]. *Atmospheric Environment*, 2008, **42**(1): 101-112.
- [22] Herich H, Hueglin C, Buchmann B. A 2.5 year's source apportionment study of black carbon from wood burning and fossil fuel combustion at urban and rural sites in Switzerland [J]. *Atmospheric Measurement Techniques*, 2011, **4**(7): 1409-1420.
- [23] Vaishya A, Singh P, Rastogi S, *et al.* Aerosol black carbon quantification in the central Indo-Gangetic plain: seasonal heterogeneity and source apportionment [J]. *Atmospheric Research*, 2017, **185**: 13-21.
- [24] 颜明明, 吴建, 沈建东, 等. 基于黑碳仪模型的含碳气溶胶来源解析[J]. *激光与光电子学进展*, 2017, **54**(5): 103-110.
- Yan M M, Wu J, Shen J D, *et al.* Source apportionment of carbonaceous aerosol based on aethalometer model[J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2017, **54**(5): 103-110.
- [25] 王飞, 朱彬, 康汉清, 等. 影响南京地区的两次典型空气污染过程分析[J]. *环境科学*, 2012, **33**(10): 3647-3655.
- Wang F, Zhu B, Kang H Q, *et al.* Analysis of the impact of two typical air pollution events on the air quality of Nanjing [J]. *Environmental Science*, 2012, **33**(10): 3647-3655.
- [26] 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*, 2002, **107**(D24): AAC 11-1-AAC 11-11.
- [27] Weingartner E, Saathoff H, Schnaiter M, *et al.* Absorption of light by soot particles; determination of the absorption coefficient by means of aethalometers [J]. *Journal of Aerosol Science*, 2003, **34**(10): 1445-1463.
- [28] Corrigan C E, Ramanathan V, Schauer J J. Impact of monsoon transitions on the physical and optical properties of aerosols[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2006, **111**(D18): D18208.
- [29] Drinovec L, Močnik G, Zotter P, *et al.* The "dual-spot" aethalometer: an improved measurement of aerosol black carbon with real-time loading compensation [J]. *Atmospheric Measurement Techniques*, 2015, **8**(5): 1965-1979.
- [30] Bergstrom R W, Pilewskie P, Russell P B, *et al.* Spectral absorption properties of atmospheric aerosols [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2007, **7**(23): 5937-5943.
- [31] Sandradewi J, Prévôt A S H, Szidat S, *et al.* Using aerosol light absorption measurements for the quantitative determination of wood burning and traffic emission contributions to particulate matter [J]. *Environmental Science & Technology*, 2008, **42**(9): 3316-3323.
- [32] Kirchstetter T W, Novakov T, Hobbs P V. Evidence that the spectral dependence of light absorption by aerosols is affected by organic carbon[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2004, **109**(D21): D21208.
- [33] 李莉, 蔡黎琳, 周敏. 2013 年 12 月中国中东部地区严重灰霾期间上海市颗粒物的输送途径及潜在源区贡献分析[J]. *环境科学*, 2015, **36**(7): 2327-2336.
- Li L, Cai J L, Zhou M. Potential source contribution analysis of the particulate matters in Shanghai during the heavy haze episode in eastern and middle China in December, 2013 [J]. *Environmental Science*, 2015, **36**(7): 2327-2336.
- [34] Kompalli S K, Babu S S, Moorthy K K, *et al.* Aerosol black carbon characteristics over Central India; temporal variation and its dependence on mixed layer height [J]. *Atmospheric Research*, 2014, **147-148**: 27-37.
- [35] Gogoi M M, Babu S S, Moorthy K K, *et al.* Absorption characteristics of aerosols over the northwestern region of India: distinct seasonal signatures of biomass burning aerosols and mineral dust[J]. *Atmospheric Environment*, 2013, **73**: 92-102.
- [36] Guha A, De Kumar B, Dhar P, *et al.* Seasonal characteristics of aerosol black carbon in relation to long range transport over Tripura in Northeast India [J]. *Aerosol and Air Quality*

- Research, 2015, **15**(3): 786-798.
- [37] Dumka U C, Moorthy K K, Kumar R, *et al.* Characteristics of aerosol black carbon mass concentration over a high altitude location in the central Himalayas from multi-year measurements [J]. *Atmospheric Research*, 2010, **96**(4): 510-521.
- [38] Rehman I H, Ahmed T, Praveen P S, *et al.* Black carbon emissions from biomass and fossil fuels in rural India [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2011, **11**(14): 7289-7299.
- [39] Ran L, Deng Z Z, Wang P C, *et al.* Black carbon and wavelength-dependent aerosol absorption in the North China plain based on two-year aethalometer measurements [J]. *Atmospheric Environment*, 2016, **142**: 132-144.
- [40] 胡荣章, 刘红年, 张美根, 等. 南京地区碳气溶胶的数值模拟研究[J]. *中国粉体技术*, 2010, **16**(1): 68-75.
- Hu R Z, Liu H N, Zhang M G, *et al.* Numerical simulation on carbonaceous aerosol in urban area of Nanjing [J]. *China Powder Science and Technology*, 2010, **16**(1): 68-75.
- [41] Begam G R, Vachaspati C V, Ahammed Y N, *et al.* Measurement and analysis of black carbon aerosols over a tropical semi-arid station in Kadapa, India [J]. *Atmospheric Research*, 2016, **171**: 77-91.

《环境科学》征稿简则

1. 来稿报道成果要有创新性, 论点明确, 文字精炼, 数据可靠. 全文不超过8 000字(含图、表、中英文摘要及参考文献). 国家自然科学基金项目、国家科技攻关项目、国际合作项目或其它项目请在来稿中注明(在首页以脚注表示). 作者投稿时请先登陆我刊网站(www.hjks.ac.cn)进行注册, 注册完毕后以作者身份登录, 按照页面给出的提示信息投稿即可.

2. 稿件请按 GB 7713-87《科学技术报告、学位论文和学术论文的编写格式》中学术论文的规范撰写. 论文各部分的排列顺序为: 题目; 作者姓名; 作者工作单位、地址、邮政编码; 中文摘要; 关键词; 中图分类号; 英文题目; 作者姓名及单位的英译名; 英文摘要; 关键词; 正文; 致谢; 参考文献.

3. 论文题目应简练并准确反映论文内容, 一般不超过 20 字, 少用副标题.

4. 中文摘要不少于 300 字, 以第三人称写. 摘要内容包括研究工作的目的、方法、结果(包括主要数据)和结论, 重点是结果和结论. 英文摘要与中文对应, 注意人称、时态和语言习惯, 以便准确表达内容.

5. 前言包括国内外前人相关工作(引文即可)和本工作的目的、特点和意义等. 科普知识不必赘述.

6. 文中图表应力求精简, 同一内容不得用图表重复表达, 要有中英文对照题目. 图应大小一致, 曲线粗于图框, 图中所有字母、文字字号大小要统一. 表用三线表. 图表中术语、符号、单位等应与正文一致.

7. 计量单位使用《中华人民共和国法定计量单位》(SI). 论文中物理计量单位用字母符号表示, 如 mg(毫克), m(米), h(小时)等. 科技名词术语用国内通用写法, 作者译的新名词术语, 文中第一次出现时需注明原文.

8. 文中各级标题采用 1, 1.1, 1.1.1 的形式, 左起顶格书写, 3 级以下标题可用 (1), (2)……表示, 后缩 2 格书写.

9. 文中外文字母、符号应标明其大小写, 正斜体. 生物的拉丁学名为斜体. 缩略语首次出现时应给出中文全称, 括号内给出英文全称和缩略语.

10. 未公开发表资料不列入参考文献, 可在出现页以脚注表示. 文献按文中出现的先后次序编排. 常见文献书写格式为:

期刊: 作者(外文也要姓列名前). 论文名[J]. 期刊名, 年, 卷(期): 起页-止页.

图书: 作者. 书名[M]. 出版地: 出版社, 年. 起页-止页.

会议文集: 作者. 论文名[A]. 见(In): 编者. 文集名[C]. 出版地: 出版社(单位), 年. 起页-止页.

学位论文: 作者. 论文名[D]. 保存地: 保存单位, 年份.

报告: 作者. 论文名[R]. 出版地: 出版单位, 出版年.

专利: 专利所有者. 专利题名[P]. 专利国别: 专利号, 出版日期.

11. 来稿文责自负, 切勿一稿多投. 编辑对来稿可作文字上和编辑技术上的修改和删节. 在 3 个月内未收到本刊选用通知, 可来电询问.

12. 投稿请附作者单位详细地址, 邮编, 电话号码, 电子邮箱等. 编辑部邮政地址: 北京市 2871 信箱; 邮编: 100085; 电话: 010-62941102, 010-62849343; 传真: 010-62849343; E-mail: hjks@reecs.ac.cn; 网址: www.hjks.ac.cn

CONTENTS

Variation of O ₃ Concentration in Different Regions of Beijing from 2006-2015	WANG Zhan-shan, LI Yun-ting, AN Xin-xin, <i>et al.</i>	(1)
Source Apportionment of Black Carbon Aerosol in the North Suburb of Nanjing	XIAO Si-han, YU Xing-na, ZHU Bin, <i>et al.</i>	(9)
Seasonal Characteristics and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in PM ₁₀ Around Electroplating Plants	ZHAO Zhen-li, ZHAO Wei-tuo, HUANG Ting, <i>et al.</i>	(18)
Characteristics of Organic and Elemental Carbon in PM ₁₀ and PM _{2.5} in Yulin City, Guangxi	HUANG Jiong-li, CHEN Zhi-ming, MO Zhao-yu, <i>et al.</i>	(27)
Concentrations and Compositions of Different Forms of Nitrogen and Phosphorus in Atmospheric Aerosols in the Qingdao Coastal Region and over the Yellow and Bohai Sea	ZHANG Rui-feng, QI Jian-hua, DING Xue, <i>et al.</i>	(38)
Air Quality Subarea Management: A case study of Guangdong Province	YANG Liu-lin, LI Min-hui, LIAO Cheng-hao, <i>et al.</i>	(49)
Remote Sensing Identification of Urban Black-Odor Water Bodies Based on High-Resolution Images; A Case Study in Nanjing	WEN Shuang, WANG Qiao, LI Yun-mei, <i>et al.</i>	(57)
Simulation of Nitrate Isotopic ($\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{18}\text{O}$) by Coupling the Hydrology and Transport Processes Described by the SWAT Model	WANG Kang, RAN Ning, LIN Zhong-bing, <i>et al.</i>	(68)
Estimation of and Control Strategies for Pollution Loads from Non-point Sources in the Chenghai Watershed	CHEN Xue-kai, LIU Xiao-bo, PENG Wen-qi, <i>et al.</i>	(77)
Distribution Characteristics and Health Risk Assessment of Metals in Drinking Water Sources from the Luhun Reservoir	YU Cong-cong, ZHAO Wei-tuo, GAO Xiao-feng, <i>et al.</i>	(89)
Distribution Characteristics and Health Risk Assessment of Antibiotics in the Water Supply System in Tianjin	ZHANG Xin-bo, SONG Zi, ZHANG Dan, <i>et al.</i>	(99)
Organic Distribution Characteristics and Influence on Drinking Water Quality in the Typical Water Sources for Towns in the Southwest Hilly Area of China	WANG Qiong, LI Nai-wen, LI Lei, <i>et al.</i>	(109)
Health Risk Evaluation of Organochlorine and Organophosphorus Pesticides in Groundwater in Beijing	CHEN Wei-ping, PENG Cheng-wei, YANG Yang, <i>et al.</i>	(117)
Pollution Status and Risks of Dioxin-like Polychlorinated Biphenyls in the Soil of the Yellow River	YAO Hong, LU Shuang, ZHANG Xu, <i>et al.</i>	(123)
Effects of Flooding and Drying on the Transformation of Soil Inorganic Phosphorus in the Water-Level-Fluctuating Zone of the Three Gorges Reservoir, China	ZHOU Jian, LI Chun-hui, ZHANG Zhi-yong, <i>et al.</i>	(130)
Effect of Phosphate on the Ammonium Removal Performance of Iron-Manganese Co-oxide Film in Surface Water Treatment	ZHUO Rui-shuang, HUANG Ting-lin, ZHANG Rui-feng, <i>et al.</i>	(137)
Enhanced Photoelectrocatalytic Oxidation of Cu(CN) ₃ ²⁻ and Synchronous Cathodic Deposition of Cu by Peroxydisulfate	DANG Cong-zhe, LI Yi-bing, WANG Yan-bin, <i>et al.</i>	(145)
Using HKUST-1 as a Template for Copper Oxides Preparation to Activate Peroxymonosulfate for RhB Degradation	PU Jia-yi, WAN Jin-quan, WANG Yan, <i>et al.</i>	(152)
Evaluation of Performance of an Aminated Rosin-based Resin for Adsorption of Norfloxacin from Aqueous Solutions	MA Ya-hong, HUANG Wan-ting, DIAO Kai-sheng, <i>et al.</i>	(161)
Arsenic(V) Removal by Granular Adsorbents Made from Backwashing Residuals from Biofilters for Iron and Manganese Removal	ZENG Hui-ping, LÜ Sai-sai, YANG Hang, <i>et al.</i>	(170)
Arsenic Adsorption and Its Species on Ferrihydrite and Ferrihydrite Colloid	MA Yu-ling, MA Jie, CHEN Ya-li, <i>et al.</i>	(179)
Comparison of Amphoteric-Cationic and Amphoteric-Anionic Modified Magnetic Bentonites: Characterization and Sorption Capacity of Phenol	REN Shuang, MENG Zhao-fu, WANG Teng, <i>et al.</i>	(187)
Pollution Characteristics of Parabens in Typical Sewage Wastewater	ZHAO Xue, ZHANG Zi-feng, ZHU Fu-jie, <i>et al.</i>	(195)
Influence of Hydraulic Retention Time on the Treatment of Polluted River Water by an Activated Carbon Rotating Biological Contactor	XU Wen-jia, CHENG Xiao-ying, <i>et al.</i>	(202)
Removal and Influence of Ciprofloxacin in a Membrane Bioreactor	DAI Qi, LIU Rui, SHU Xiao-ming, <i>et al.</i>	(212)
Operation of the AAO Process Under Low Dissolved Oxygen Conditions and Its Simulation	CAO Te-te, WANG Lin, LI Yong-mei, <i>et al.</i>	(219)
Inhibitory Effects of Phosphate and Recovery on a Nitrification System	GU Cheng-wei, CHEN Fang-min, LI Xiang, <i>et al.</i>	(227)
Effect of Carbon Source on Lab-scale SAD Process in a Wastewater Treatment Plant	LI Dong, ZHAO Shi-xun, WANG Jun-an, <i>et al.</i>	(232)
Effect of Volume Loading Rate (VLR) on Denitrifying Phosphorus Removal by the ABR-MBR Process	LÜ Liang, YOU Wen, WEI Jia-min, <i>et al.</i>	(239)
Combined Process of DNBf-O ₃ -GAC for Nitrogen and Phosphorus and Metabolite Advanced Removal	ZHONG Li-yan, HAO Rui-xia, WANG Wei-dong, <i>et al.</i>	(247)
Influence of Operating Modes for the Alternating Anoxic/Oxic Process on Biological Nitrogen Removal and Extracellular Polymeric Substances of Activated Sludge	SUN Hong-wei, CHEN Cui-zhong, WU Chang-feng, <i>et al.</i>	(256)
Effects of Nanoscale Zero-valent Iron (nZVI) on Denitrifying Performance of an Upflow Granular Sludge Bed Reactor	ZHOU Feng, WANG Fan-fan, QIAN Fei-yue, <i>et al.</i>	(263)
Influence on Desulfurization Efficiency and Interactions of Fe/S and pH During H ₂ S in situ Depression of High Solid Anaerobic Digestion	HAN Yun, CAO Yu-qin, ZHUO Yang, <i>et al.</i>	(269)
Analysis of Storage Sludge Composition Characteristics and Evolutionary Regularity in the Hunhe River Basin	LIU Tian-tian, CUI Chong-wei, HE Jun-guo, <i>et al.</i>	(276)
Enhancement of Anaerobic Methane Production by Removal of Organic-bonding Metals from Sewage Sludge	LU Yi-qing, XU Ying, DONG Bin, <i>et al.</i>	(284)
Comparison of Different Leaching Methods for Heavy Metals in Sludge Fly Ash and Comprehensive Toxicity Evaluation	WANG Feng, LI Run-dong, LI Yan-long, <i>et al.</i>	(292)
Diurnal Variations of CH ₄ and N ₂ O Fluxes from the Drained Aquaculture Pond in the Minjiang River Estuary During Early Winter	YANG Ping, TAN Li-shan, HUANG Jia-fang, <i>et al.</i>	(300)
Effects of Three Soil Amendments on Greenhouse Gas Emissions From Corn Fields in the Hetao Irrigation District	WU Yan, HONG Mei, LIN Li-long, <i>et al.</i>	(310)
Effect of Organic Manure Substitution of Synthetic Nitrogen on Crop Yield and N ₂ O Emission in the Winter Wheat-Summer Maize Rotation System	HOU Miao-miao, LÜ Feng-lian, ZHANG Hong-tao, <i>et al.</i>	(321)
Dynamics of Rice Photosynthesized Carbon Input and Its Response to Nitrogen Fertilization at the Jointing Stage: ¹³ C-CO ₂ Pulse-labeling	CHEN Shan, ZHU Zhen-ke, YUAN Hong-zhao, <i>et al.</i>	(331)
Profile Distribution of Soil Organic and Inorganic Carbon Under Different Land Use Types in the Loess Plateau of Northern Shaanxi	LAN Zhi-long, ZHAO Ying, ZHANG Jian-guo, <i>et al.</i>	(339)
Effect of Biochar on Ammonia Volatilization from Soils of Different Surface Conditions	ZOU Juan, HU Xue-yu, ZHANG Yang-yang, <i>et al.</i>	(348)
Effects of Straw and Biochar Return in Soil on Soil Aggregate and Carbon Sequestration	XU Guo-xin, WANG Zi-fang, GAO Ming, <i>et al.</i>	(355)
Assessment of the Availability of Soil Copper and Related Influencing Factors at a County Scale	LI Jin-fen, QU Ming-kai, LIU Gang, <i>et al.</i>	(363)
Application of the LUR Model in the Prediction of Spatial Distributions of Soil Heavy Metals	ZENG Jing-jing, SHEN Chun-zhu, ZHOU Sheng-lu, <i>et al.</i>	(371)
Pollution Characteristics and Source Apportionment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Soils of Shenyang North New Area	LI Jia-kang, SONG Xue-ying, WEI Jian-bing, <i>et al.</i>	(379)
Passivation of Simulated Pb- and Cd-Contaminated Soil by Applying Combined Treatment of Phosphate, Humic Acid, and Fly Ash	ZHAO Qing-yuan, LI Xiao-ming, YANG Qi, <i>et al.</i>	(389)
Distribution and Accumulation of Cadmium in Paddy Soil and Rice Affected by Pollutant Sources Control and Improvement Measures	FENG Wen-li, GUO Zhao-hui, SHI Lei, <i>et al.</i>	(399)
Differences in Cd Accumulation in Typical Soils Under the Double Rice System	LI Xin-yang, LONG Jian, WANG Shu-bing, <i>et al.</i>	(406)
Distribution Characteristics of Mercury in Reed Leaves from the Jiapigou Gold Mine in the Songhua River Upstream	ZHANG Man-yin, LI Meng-jie, CUI Li-juan, <i>et al.</i>	(415)
Effect of Nitrate Amendment on Soil Denitrification Activity and Anthracene Anaerobic Degradation	DAI Jun-shuai, ZUO Xiao-hu, WANG Ming-xia, <i>et al.</i>	(422)
Effects of Long-term Fertilization Regimes on Microbial Biomass, Community Structure and Activity in a Paddy Soil	WANG Wei-hua, LIU Yi, TANG Hai-ming, <i>et al.</i>	(430)
Analysis of Sulfate-Reducing and Sulfur-Oxidizing Prokaryote Community Structures in Marine Sediments with Different Sequencing Technologies	ZHANG Yu, MI Tie-zhu, ZHEN Yu, <i>et al.</i>	(438)
Seasonal and Spatial Variations of Microcystins and Their Relationships with Physicochemical and Biological Factors in Poyang Lake	YUAN Li-juan, LIAO Qie-gen, ZHANG Li, <i>et al.</i>	(450)
Distribution of Multidrug-Resistant Bacteria and Antibiotic-Resistant Genes in Livestock Manures	ZHANG Hao, WANG Pan-liang, YANG Qing-xiang, <i>et al.</i>	(460)
Influence of Air Pollution Control (APC) Systems and Furnace Type on the Characteristics of APC Residues from Municipal Solid Waste Incinerators	ZHANG Hua, YU Si-yuan, SHAO Li-ming, <i>et al.</i>	(467)