ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第9期

Vol.35 No.9

2014

中国科学院生态环境研究中心 主办

科学出版社 出版

中国期刊方阵 双奖期刊 中华人民共和国新闻出版总署

环境科学
(HUANJING KEXUE)
ENVIRONMENTAL SCIENCE
第35卷 第9期
2014年9月15日

目 次

长江三角洲地区霾判别方法的对比分析 …… 刘晓慧,朱彬,高晋徽,张恩红,王红磊,陈烨鑫,王姝(3239)
1980~2012年江苏省城市霾日的时空分布及成因分析 …… 刘端阳,魏建苏,严文莲,吕军,孙燕(3247)
瓦里关大气二氧化碳和甲烷时间变化特征 …… 刘鹏,张国庆,王剑琼,吴昊,李宝鑫,王宁章(3256)
上海城区$PM_{2.5}$中有机碳和元素碳变化特征及来源分析 …… 张懿华,王东方,赵倩彪,崔虎雄,李娟,段玉森,伏晴艳(3263)
亚青会期间南京市气溶胶中OC和EC的粒径分布 …… 王红磊,朱彬,安俊琳,段卿,邹嘉南,沈利娟(3271)
无锡市冬季典型天气$PM_{2.5}$中碳组分的污染特征 …… 云龙龙,陆钒,张天舒,伍德侠,盛世杰,陆亦怀,刘建国(3280)
高炉炼铁工艺细颗粒物$PM_{2.5}$排放特性分析 …… 范真真,赵亚丽,赵浩宁,梁兴印,孙静雯,王保贵,王亚军(3287)
重庆市北碚城区大气中VOCs组成特征研究 …… 祁心, 郝庆菊, 吉东生, 张军科, 刘子锐, 胡波, 王跃思, 江长胜(3293)
双组分VOCs的催化氧化及动力学分析 …… 卜龙利,杨力,孙剑宇,梁欣欣,虎雪姣,孟海龙(3302)
汽车排放超细微粒数浓度及粒径谱特征的实验研究 …… 陆叶强,陈秋方,孙在,蔡志良,杨文俊(3309)
疏勒河上游地表水水化学主离子特征及其控制因素 …… 周嘉欣,丁永建,曾国雄,吴锦奎,秦甲(3315)
河流库区沉积物-水界面营养盐及气态氮的释放过程和通量 …… 陈朱虹,陈能汪,吴殷琪,莫琼利,周兴鹏,鲁婷,田蕴(3325)
大辽河感潮段及其近海河口重金属空间分布及污染评价 …… 张雷,秦延文,马迎群,赵艳民,时瑶(3336)
雅鲁藏布江中段表层沉积物重金属形态分布及风险评价 …… 柏建坤,李潮流,康世昌,陈鹏飞,王建力(3346)
北京奥林匹克公园地表颗粒物粒度特征分析 …… 李海燕,石安邦,瞿杨晨,岳靖淋(3352)
黄河表层沉积物中类二噁英多氯联苯水平分布 …… 李光耀,金军,何畅,王英,马召辉,李明园(3358)
合肥城郊典型源头溪流不同渠道形态的氮磷滞留特征 …… 李如忠,杨继伟,钱靖,董玉红,唐文坤(3365)
基于水资源调度的平原河网区城市河道氮迁移转化研究 …… 刘波,盛明,朱强,杨霜,檀炳超,范冉,南旭军,何茂阳,王国祥(3373)
杭州湾潮滩湿地植物不同分解过程及其磷素动态 …… 邵学新,梁新强,吴明,叶小齐,蒋科毅(3381)
基于数据同化的太湖叶绿素多模型协同反演 …… 李渊,李云梅,吕恒,朱利,吴传庆,杜成功,王帅(3389)
天然日光辐照下两江交汇处溶解性有机质(DOM)光漂白过程:以涪江-嘉陵江为例 …… 高洁, 江韬, 闫金龙, 魏世强, 王定勇, 卢松, 李璐璐(3397)
利用紫外-可见吸收光谱估算三峡库区消落带水体、土壤和沉积物溶解性有机质(DOM)浓度 …… 李璐璐,江韬,卢松,闫金龙,高洁,魏世强,王定勇,郭念,赵铮(3408)
Cu_2O-Ag-AgBr/MA可见光催化剂的制备及其降解2-氯苯酚的研究 …… 王冉,周雪峰,胡学香,胡春(3417)
不同粒径零价铁活化过硫酸钠氧化降解酸性橙7的影响及动力学研究 …… 李欢旋,万金泉,马邕文,黄明智,王艳,陈杨梅(3422)
还原脱氯-生物联合降解2,4-二氯苯氧乙酸 …… 周红艺,曾思思,梁思,韩鉴(3430)
多介质土壤滤层系统(MSL)与潜流式人工湿地技术处理海水养殖废水的效能比较 …… 宋颖,黄玉婷,葛川,张浩,陈昕,张志剑,罗安程(3436)
不同碳源在污水处理过程中的变化规律研究 …… 金鹏康,常晋,王先宝,刘柯君,王晓昌(3443)
气升装置对厌氧氨氧化反应器脱氮效能的影响 …… 李祥,张大林,黄勇,陈宗姮,袁怡(3449)
微波及其组合工艺强化污泥厌氧消化研究 …… 刘吉宝,倪晓棠,魏源送,佟娟,王亚炜(3455)
"热水解-高温厌氧消化"工艺处理高含固率剩余污泥的中试研究 …… 吴静,王广启,曹知平,李中华,胡玉瑛,王凯军,左剑恶(3461)
温度对ABR-MBR复合工艺处理生活污水的影响及其微生物群落分析 …… 吴鹏,陆爽君,徐乐中,刘捷,沈耀良(3466)
污水处理厂尾水细菌群落结构分析 …… 徐爱玲, 任杰, 宋志文, 吴等等, 夏岩(3473)
沼液养殖钝顶螺旋藻的中试研究 …… 国青青,刘锐,罗金飞,王根荣,陈吕军,刘笑(3480)
内源呼吸过程溶解性代谢产物的光谱特性分析 …… 李志华,张芹,白旭丽,刘毅(3487)
基于呼吸图谱的自养菌与异养菌内源呼吸过程分析 …… 李志华,白旭丽,张芹,刘毅,贺春博(3492)
S-异丙甲草胺与镉对斜生栅藻光合作用的影响 …… 陈彩东,胡晓娜,章小强,刘惠君(3498)
影响浑太河流域鱼类群落结构的不同尺度环境因子分析 …… 李艳利,李艳粉,徐宗学(3504)
河口区新建河道轮虫群落演替及与水环境的关系 …… 马文华,张玮,顾琬雯,张瑞雷,王丽卿(3513)
Fontibacter sp. SgZ-2厌氧腐殖质/Fe(Ⅲ)还原特性及电子传递机制研究 …… 马晨,杨贵芹,陆琴,周顺桂(3522)
基于UNMIX模型的夹皮沟金矿区土壤重金属源解析 …… 艾建超,王宁,杨净(3530)
石河子市土壤环境磁学特征及空间分布研究 …… 杨涵, 熊黑钢, 陈学刚(3537)
不同施磷量(KH_2PO_4)作用对Cu、Zn在红壤中的迁移转化 …… 郭亮,李忠武,黄斌,王艳, 张艳(3546)
硫素对水稻吸收砷的生物有效性及其在土壤中形态影响 …… 杨世杰,唐冰培,王代长,饶伟,张亚楠,王丹,朱云集(3553)
硫对土壤中硒形态变化及油菜硒吸收的影响 …… 刘新伟,段碧辉,夏全杰,矫威,郭再华,胡承孝,赵竹青(3564)
再生水灌溉对土壤化学性质及可培养微生物的影响 …… 龚雪,王继华,关健飞,杨雪辰,陈黛慈(3572)
西南喀斯特山区寿竹林地土壤微生物量与酶活性在不同坡位和剖面层次的分布特征 …… 秦华军,何丙辉,赵旋池,李源,毛文韬,曾清平(3580)
黔中喀斯特石漠化区不同土壤类型对常见植物叶片$\delta^{13}C$值的影响 …… 杜雪莲,王世杰,罗绪强(3587)
碳底物含量对厌氧条件下水稻土N_2、N_2O、NO、CO_2和CH_4排放的影响 …… 陈诺,廖婷婷,王睿,郑循华,胡荣桂,Klaus Butterbach-Bahl(3595)
北京市典型绿化灌木阻滞吸附$PM_{2.5}$能力研究 …… 梁丹,王彬,王云琦,张会兰,杨松楠,李昂(3605)
污泥焚烧过程中氯化物对Cd迁移行为的影响 …… 刘敬勇, 卓钟旭,孙水裕,罗光前,李晓明,谢武明,王玉洁,杨佐毅,赵素莹(3612)
京津冀区域生产和消费CO_2排放的时空特点分析 …… 汪浩,陈操操,潘涛,刘春兰,陈龙,孙莉(3619)
水泥工业大气污染物排放控制水平确立研究 …… 任春,江梅,邹兰,李晓倩,魏玉霞,赵国华,张国宁(3632)
《环境科学》征稿简则(3279) 《环境科学》征订启事(3545) 信息(3364,3486,3552,3563)

亚青会期间南京市气溶胶中 OC 和 EC 的粒径分布

王红磊[1],朱彬[1*],安俊琳[1],段卿[1],邹嘉南[1],沈利娟[2]
(1. 南京信息工程大学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-云-降水重点开放实验室,南京 210044;
2. 嘉兴市环境保护监测站,嘉兴 314000)

摘要: 采用 Anderson 9 级撞击式采样器和 DRI Model 2001A 热/光碳分析仪对南京 2013 年 8 月 10 ~ 28 日亚青会期间不同粒径段气溶胶中有机碳(OC)和元素碳(EC)的质量浓度进行了观测分析. 结果表明,51.55% 和 54.81% 的 OC 和 EC 富集于粒径 <1.1 μm 的细粒子中,亚青会期间 OC 和 EC 的最大浓度分别位于 0 ~ 0.43 μm 和 0.43 ~ 0.65 μm 粒径段,占总浓度的比例分别为 20.90% ±5.02% 和 22.68% ±9.90%. $PM_{1.1}$、$PM_{1.1\sim2.1}$和 $PM_{2.1\sim10}$中 OC 和 EC 的浓度在亚青会期间比亚青会前分别减少了 43.44% ~56.17% 和 59.17% ~73.55%. 亚青会期间 OC 的谱分布没有变化,均为双峰型分布; EC 的谱分布由双峰型变为单峰型. 观测期间不同粒径段的 EC 和 OC 具有较好的同源性. 亚青会前 OC 和 EC 主要来自汽车尾气; 亚青会期间 $PM_{1.1}$中 OC 和 EC 主要来自汽车尾气,$PM_{1.1\sim2.1}$和 $PM_{2.1\sim10}$中 OC 和 EC 主要来自汽车尾气和燃煤.

关键词:有机碳; 元素碳; 粒径分布; 二次有机碳; 亚青会
中图分类号: X513 **文献标识码**: A **文章编号**: 0250-3301(2014)09-3271-09 **DOI**: 10.13227/j.hjkx.2014.09.005

Size Distribution and Characterization of OC and EC in Atmospheric Aerosols During the Asian Youth Games of Nanjing, China

WANG Hong-lei[1], ZHU Bin[1], AN Jun-lin[1], DUAN Qing[1], ZOU Jia-nan[1], SHEN Li-juan[2]
(1. Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters, Key Laboratory for Aerosol-Cloud-Precipitation of China Meteorological Administration, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China; 2. Jiaxing Environmental Monitoring Station, Jiaxing 314000, China)

Abstract: Aerosol samples were collected by an Andersen cascade impactor (Andersen) in Nanjing during the Asian Youth Games (AYG), and organic carbon (OC) and elemental carbon (EC) in particles were determined by DRI Model 2001A carbon analyzer of USA. Observations indicated that OC (51.55%) and EC (54.81%) were enriched in the fine aerosol particles with size below 1.1 μm, the highest mass concentrations of OC and EC were located at 0-0.43 μm and 0.43-0.65 μm, respectively, accounting for 20.90% ±5.02% and 22.68% ±9.90% of the total concentration. The mass concentrations of OC and EC in $PM_{1.1}$, $PM_{1.1\text{-}2.1}$ and $PM_{2.1\text{-}10}$ during AYG period were decreased by 43.44%-56.17% and 59.17%-73.55% as compared to the values before AYG. The spectral distribution of OC was bimodal during the whole observation period, while the spectrum distribution of EC was changed from bimodal to unimodal. OC and EC during the observation period were in good homology. OC and EC were attributed to automobile exhaust fumes before AYG. During AYG, OC and EC in $PM_{1.1}$ were mostly from automobile exhaust fumes, while OC and EC in $PM_{1.1\text{-}2.1}$ and $PM_{2.1\text{-}10}$ were from automobile exhaust fumes and coal combustion.

Key words: organic carbon; elemental carbon; size distribution; secondary organic carbon; Asian Youth Games

大气气溶胶对能见度、人体健康和全球气候变化都起着重要作用,含碳气溶胶作为气溶胶的重要组成成分之一,约占气溶胶质量浓度的 10% ~ 50%[1],OC 具有较强的散射特性,EC 具有较强的吸收特性[2],因此可对能见度甚至全球气候变化产生重要影响[3~5]. 大气中的含碳气溶胶一般分为有机碳(OC)、元素碳(EC)和碳酸盐碳(CC). OC 主要来自直接排放的一次性有机碳(POC)和碳氢化合物经光化学反应生成的二次有机碳(SOC),OC 包含脂肪族、芳香族、羰基化合物(醛类、酮类)和有机酸等多种有机化合物,可对人体健康产生极大损害[6,7]. EC 又被称为碳黑或石墨碳, 主要来自化石燃料或木材等生物质的不完全燃烧产生并由污染源直接排放,所以 EC 只来自于由污染源直接排放的一次气溶胶中[8]. 而 CC 多存在于大粒子中,比如沙尘气溶胶,但在城市气溶胶中含量一般较低.

目前,国内外学者针对碳气溶胶开展了大量的观测研究. 在对 TSP、PM_{10}和 $PM_{2.5}$中 EC 和 OC 的

收稿日期: 2014-02-25; **修订日期**: 2014-04-12
基金项目: 国家自然科学基金项目(41275143,41305135); 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201206011); 中国科学院战略性先导科技专项(B 类)(XDB05020206); 江苏省高校自然科学研究重大基础研究项目(12KJA170003); 江苏省"333"高层次人才培养工程项目; 江苏省"六大人才高峰"计划项目; 江苏省江苏高校优势学科建设工程项目(PAPD)
作者简介: 王红磊(1988 ~),男,博士研究生,主要研究方向为大气环境与大气化学,E-mail:hongleiwang_2009@163.com
* 通讯联系人,E-mail:binzhu@nuist.edu.cn

浓度和定性分析其来源[9~12],季节和空间变化特征[3,13~15],粒径分布特征[16~19],与污染气体及气象条件的关系和对能见度的影响[20~22]等方面均进行了大量的观测研究. 研究表明 OC 和 EC 主要存在于细粒子中[23~26],吴梦龙等[25]研究表明南京四季 OC 和 EC 在 <0.43 μm 的粒径段中质量浓度最大;唐小玲等[26]在广州的研究也表明与 OC 相比,EC 更集中于 <0.49 μm 的粒径段上. 朱李华等[20]研究表明 SOC 与 O_3 的浓度显著相关,并且 OC 和 EC 受风向的影响较大. Andreae 等[27]和曾友石等[28]则结合水溶性 K^+ 分析了大气颗粒物中 EC 和 OC 来自生物质燃烧排放的分担率. Schauer 等[29~31]、Chen 等[32]、He 等[33]和 Zhang 等[34]则通过 OC/EC 的值来判断大气中碳气溶胶的来源.

第 2 届亚青会于 2013 年 08 月 16~24 日在南京举行. 为保证亚青会顺利进行,江苏省环保部门制定了《2013 年第二届亚青会举办期间环境质量保障临时管控措施》、《亚青会大气环境质量保障临时管控措施实施方案》和《亚青会环境保障工作实施方案》等一系列空气质量保障措施,为源排放控制对大气污染改善的研究提供了独特的环境条件. 本观测于 2013 年 08 月 10~28 日在位于南京北郊的南京信息工程大学开展. 使用 Anderson 9 级撞击式采样器和 DRI Model 2001A 热/光碳分析仪对亚青会前后不同粒径段大气气溶胶中的 OC 和 EC 进行了观测,分析了亚青会前、中和后 OC 和 EC 的粒径分布特征,并计算了 SOC 的浓度,探讨了碳质气溶胶的主要来源,以期为人为调控大气环境中的碳气溶胶浓度提供依据.

1 材料与方法

1.1 观测点和实验实施

采样点位于南京信息工程大学气象楼楼顶(32°21′N, 118°72′E),距地约 40 m,平均海拔 62 m. 其东面 500 m 左右是宁六路,双向六车道;东南方约 900 m 是南京龙王山风景区,海拔约为 100 m. 观测点西侧为南京信息工程大学校园主体,北侧为盘城镇住宅区和农田,没有明显的污染排放源. 观测点东南方 3 km 为南京工业园区,区内有扬子石化、南化集团、南钢集团等化工、钢铁、能源企业.

安德森 9 级撞击式采样器采样时间为 2013 年 8 月 10~28 日,其中 8 月 16~24 日为第 2 届亚洲青年运动会(亚青会)举办期,采样时间为 09:00~次日 08:00,共 23 h. 赛会期间,南京市共有 27 家企业实施不同程度的限产,41 家企业全部或部分停产,限产停产企业涉及扬子石化、南钢、梅钢、南京卷烟厂等大型企业. 在比赛期间对不符合环保标准的社会车辆,尤其是黄标车实行限行措施.

1.2 仪器和分析方法

滤膜采样使用 Anderson 9 级撞击式采样器(美国),采样流量为 28.3 $L\cdot min^{-1}$,粒径范围分别为 ≤0.43、0.43~0.65、0.65~1.1、1.1~2.1、2.1~3.3、3.3~4.7、4.7~5.8、5.8~9.0 和 9.0~10.0 μm. 滤膜使用 Whatman 公司石英滤膜(英国),采样前在马弗炉中以 800℃焙烧 5 h,冷却至室温后放入恒温恒湿箱中平衡 24 h,用1/100 000的精密电子天平称重后放入冰箱中低温保存. 采样结束称重后同样将样品低温保存在冰箱中直至分析.

OC、EC 分析使用美国沙漠所研制的 Model 2001A 热/光碳分析仪,在热光炉中,先通入氦气,在无氧的情况下升温,逐步加热所采集样品,使样品中有机碳(OC1、OC2、OC3 和 OC4)挥发,之后再通 2% 氧/98% 氦混合气,在有氧的情况下继续加热,使得样品中的元素碳(EC1、EC2 和 EC3)燃烧. 释放出的有机物质经 MnO_2 催化氧化转化生成 CO_2,再在还原炉中被还原成甲烷(CH_4),最后由火焰离子化检测器(FID)定量检测. 无氧加热时的焦化效应可使部分有机碳转变为裂解碳,因此,采用 633 nm 的 He-Ne 激光全程检测滤纸,监测加热升温过程中反射光强的变化,以初始光强作为指示,准确确定有机碳和元素碳的区分点. 关于仪器的详细原理参见文献[3].

1.3 质量控制

样品分析开始、结束和每 15 个样品间都采用 He/CH_4(5% CH_4 +95% He)标准气体对仪器进行校准,确保初始和最终 FID 信号漂移在 ±3 以内、校准峰面积相对偏差在 5% 以内. 实验开始前,对仪器检漏,5 s 内样品炉的压力不变即为不漏气. 分析样品前,高温烘烤并做仪器空白确保已除去所残留的杂质. 为保证数据精确可靠,对每套样品的空白膜进行分析,且每 10 个样品随机抽取一个进行平行分析,前后误差在 10% 内可再进行后续样品分析.

2 结果与讨论

2.1 OC 和 EC 在各粒径段污染特征

由香港天文台(http://gb.weather.gov.hk/contentc.htm)公布的天气图表明南京市在观测期间主要受副热带高压影响,天气形势相对比较稳定.

08 月 10 ~ 18 日和 08 月 25 ~ 28 日南京多处于均压场；08 月 18 ~ 24 日受台风影响，南京主要受低压控制，期间并出现短时阵雨天气. 10 ~ 18 日以偏南风为主，平均风速为 1.8 $m \cdot s^{-1}$. 18 ~ 28 日以偏东风为主，平均风速为 2.5 $m \cdot s^{-1}$. 观测期温度较高，平均为 30.4℃；相对湿度较高，平均为 65%.

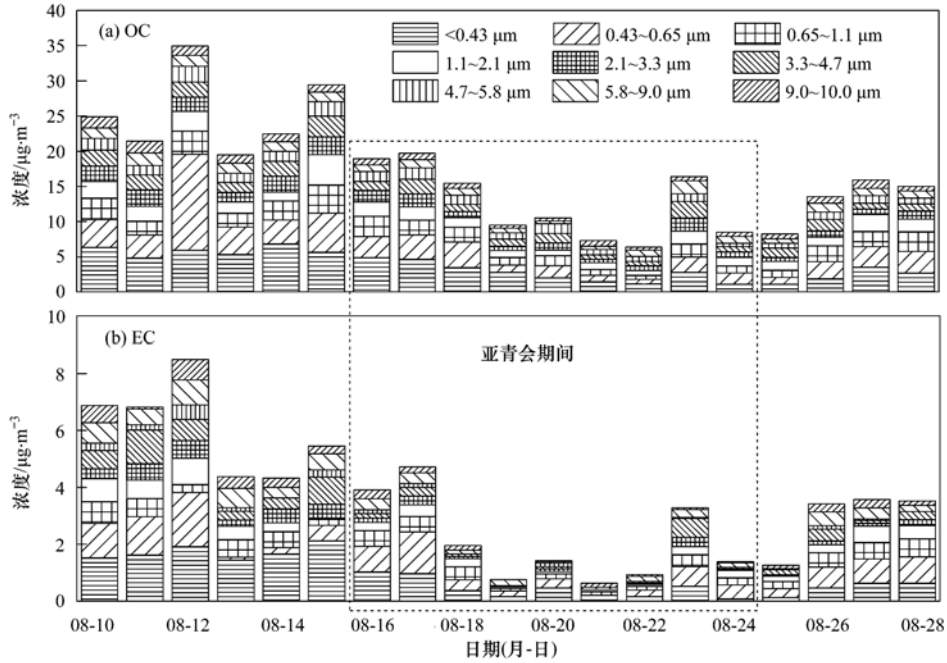


图 1　不同粒径气溶胶中 OC 和 EC 质量浓度

Fig. 1　Mass concentration of OC and EC in aerosol particles of different size

气溶胶的粒径分布与气溶胶的来源和化学组分密切相关. 由图 1 可发现 OC 在 0 ~ 0.43 μm 和 0.43 ~ 0.65 μm 的平均浓度最大，分别为 3.59 $\mu g \cdot m^{-3}$ ± 1.90 $\mu g \cdot m^{-3}$ 和 3.23 $\mu g \cdot m^{-3}$ ± 2.83 $\mu g \cdot m^{-3}$，所占 PM_{10} 中 OC 总浓度的比例分别为 28.89% ± 5.22% 和 17.48% ± 6.32%. 在亚青会前、中、后 OC 的粒径分布基本一致，最大浓度均出现在 0 ~ 0.43 μm 和 0.43 ~ 0.65 μm，所占比例分别为 23.59% ± 5.06%、20.90% ± 5.02%、16.83% ± 4.11% 和 20.74% ± 9.23%、15.46% ± 4.37%、17.13% ± 3.63%. EC 粒径分布与 OC 相似，最大平均浓度也出现在 0 ~ 0.43 μm 和 0.43 ~ 0.65 μm，分别为 0.85 $\mu g \cdot m^{-3}$ ± 0.67 $\mu g \cdot m^{-3}$ 和 0.71 $\mu g \cdot m^{-3}$ ± 0.50 $\mu g \cdot m^{-3}$，所占 PM_{10} 中 EC 总浓度的比例分别为 22.62% ± 9.17% 和 19.85% ± 9.32%. 在亚青会前和亚青会期间 EC 最大浓度出现在 0 ~ 0.43 μm 和 0.43 ~ 0.65 μm，所占比例分别为 29.79% ± 7.90%、21.24% ± 8.68% 和 12.88% ± 8.19%、22.68% ± 9.90%. 在亚青会后 EC 最大浓度出现在 0.43 ~ 0.65 μm 和 0.65 ~ 1.1 μm，所占比例分别为 23.93% ± 2.18% 和 17.50% ± 2.25%. 这与李杏茹等[19]和吴梦龙等[25]的结果基本一致，说明 OC、EC 更容易富集在细粒子上.

由图 1 可发现 OC 和 EC 在亚青会期间浓度对比亚青会前后明显降低，尤其是 EC 的浓度. EC 一般来自汽车尾气、燃煤等的直接排放，由于在亚青会期间对工厂和汽车的一系列的限排措施，使得 EC 的浓度显著降低. 由表 1 可知，$PM_{1.1}$ 中 OC 和 EC 的浓度在亚青会期间分别为 6.25 $\mu g \cdot m^{-3}$ ± 3.13 $\mu g \cdot m^{-3}$ 和 1.27 $\mu g \cdot m^{-3}$ ± 0.93 $\mu g \cdot m^{-3}$，分别比亚青会前减少了 56.17% 和 59.17%. 亚青会后 $PM_{1.1}$ 中 OC 和 EC 的浓度分别为 6.70 $\mu g \cdot m^{-3}$ ± 2.59 $\mu g \cdot m^{-3}$ 和 1.67 $\mu g \cdot m^{-3}$ ± 0.68 $\mu g \cdot m^{-3}$，比亚青会期间高 7.2% 和 31.5%. 可发现 EC 的增幅要远大于 OC，主要是由于 OC 和 EC 的源不同造成的. 由于在 08 月 25 日有降水，亚青会期间的一些调控措施一直持续到 8 月底，因此亚青会后 OC 和 EC 的质量浓度并没有出现激增的现象. $PM_{1.1 \sim 2.1}$ 和 $PM_{2.1 \sim 10}$ 中的 OC 在亚青会期间浓度分别为 1.30 $\mu g \cdot m^{-3}$ ± 0.51 $\mu g \cdot m^{-3}$ 和 4.96 $\mu g \cdot m^{-3}$ ± 1.80 $\mu g \cdot m^{-3}$，比亚青会前分别降低了 45.61% 和 43.44%，亚青会后浓度分别为 1.65 $\mu g \cdot m^{-3}$ ± 0.56 $\mu g \cdot m^{-3}$ 和 4.82 $\mu g \cdot m^{-3}$ ± 0.79 $\mu g \cdot m^{-3}$. $PM_{1.1 \sim 2.1}$ 和 $PM_{2.1 \sim 10}$ 中的 EC 在亚青会期间浓度分别为 0.20

μg·m^{-3} ± 0.13 μg·m^{-3} 和 0.64 μg·m^{-3} ± 0.49 μg·m^{-3},比亚青会前分别降低了 67.74% 和 73.55%,亚青会后浓度分别为 0.37 μg·m^{-3} ±0.17 μg·m^{-3}和 0.90 μg·m^{-3} ±0.42 μg·m^{-3}.

表 1 $PM_{1.1}$, $PM_{1.1\sim2.1}$和 $PM_{2.1\sim10}$中 OC、EC、OC/EC、SOC 和 POC 的特征

Table 1 Characteristics of OC, EC, OC/EC, SOC and POC in $PM_{1.1}$, $PM_{1.1\text{-}2.1}$ and $PM_{2.1\text{-}10}$

粒径	项目	亚青会前	亚青会期间	亚青会后
$PM_{1.1}$	OC/μg·m^{-3}	14.26 ±4.57	6.25 ±3.13	6.70 ±2.59
	EC/μg·m^{-3}	3.11 ±0.75	1.27 ±0.93	1.67 ±0.68
	OC/EC	4.59 ±1.10	4.92 ±2.57	4.01 ±0.27
	$(OC/EC)_{min}$	2.79	3.43	3.85
	SOC/μg·m^{-3}	6.68 ±2.95	2.14 ±1.45	0.38 ±0.27
	POC/μg·m^{-3}	8.42 ±2.20	3.62 ±2.47	6.37 ±3.20
$PM_{1.1\sim2.1}$	OC/μg·m^{-3}	2.39 ±1.08	1.30 ±0.51	1.65 ±0.56
	EC/μg·m^{-3}	0.62 ±0.25	0.20 ±0.13	0.37 ±0.17
	OC/EC	3.85 ±0.45	6.50 ±4.56	4.46 ±1.47
	$(OC/EC)_{min}$	2.94	4.63	3.83
	SOC/μg·m^{-3}	0.22 ±0.11	0.42 ±0.28	0.30 ±0.24
	POC/μg·m^{-3}	1.71 ±1.20	0.80 ±0.51	1.31 ±0.76
$PM_{2.1\sim10}$	OC/μg·m^{-3}	8.77 ±1.15	4.96 ±1.80	4.82 ±0.79
	EC/μg·m^{-3}	2.42 ±0.68	0.64 ±0.49	0.90 ±0.42
	OC/EC	3.62 ±0.83	7.75 ±3.64	5.36 ±2.59
	$(OC/EC)_{min}$	2.68	5.4	4.07
	SOC/μg·m^{-3}	2.74 ±0.82	1.67 ±0.86	1.53 ±0.67
	POC/μg·m^{-3}	5.93 ±1.35	3.14 ±2.60	2.95 ±1.19

2.2 OC、EC 谱分布特征

由图 2 可发现 OC 在亚青会前、中和后均呈双峰型分布,峰值位于 0.43 ~0.65 μm 和 4.7 ~5.8 μm,这与唐小玲等[26]在广州的观测结果类似. 细粒子段中的 OC 主要来自燃烧源及机动车尾气排放等,粗粒子中的 OC 主要来自传输过程中含有可溶性 OC 的颗粒物的吸湿增长及周边非燃烧工业活动过程中产生的 POC. 由图 2(a)可知南京地区 OC 主要集中在细粒子段,最大可达 25.58 μg·(m^3·μm)$^{-1}$. EC 在亚青会前后呈现双峰型分布,峰值分别位于 0.43 ~0.65 μm 和 3.3 ~4.7 μm;而在亚青会期间为单峰型分布,峰值位于 0.43 ~0.65 μm. 由图 2(b)还可发现,亚青会前 <0.65 μm 的 EC 浓度较高,可达到 4 μg·(m^3·μm)$^{-1}$,而在亚青会期间该粒径段 EC 浓度大幅度降低,尤其是 <0.43 μm 粒径段,亚青会前为 4.0 μg·(m^3·μm)$^{-1}$,亚青会期间仅为 1.02 μg·(m^3·μm)$^{-1}$. 细粒子段 EC 主要来自周边工厂燃煤和机动车尾气排放等的一次排放. 由于南京北郊大气存在各种污染物,因此刚刚产成的 EC 可迅速老化,导致 EC 表面形成有机物/硫酸涂层,其具有较好的亲水性[35],因此在传输过程中,细粒径的 EC 易发生颗粒物混合及吸湿增长为粗粒径粒子. 此外粗粒子 EC 还可能来自土壤尘埃的再悬浮及车辆轮胎的机械摩擦等贡献[36].

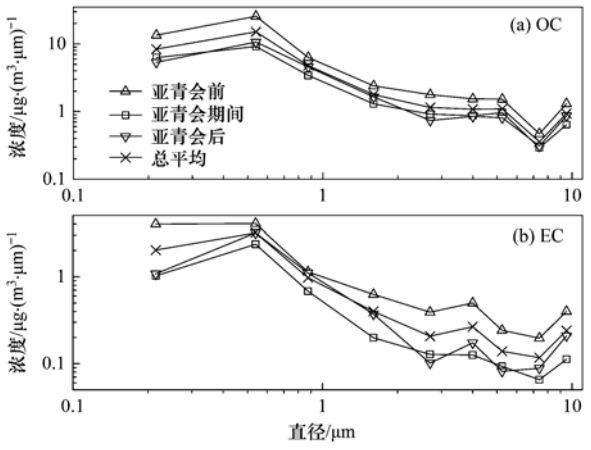


图 2 不同时段 OC 和 EC 的谱分布

Fig. 2 Size distribution of OC and EC during different sampling period

由图 2 可发现亚青会期间 OC 和 EC 的浓度在整个粒径段均存在明显的降低,且这种降低的趋势在细粒子段要比粗粒子段更加显著. 表明亚青会期间的限车措施对含碳气溶胶的影响较大,这与李杏茹等[19]对北京奥运会期间含碳气溶胶的研究结果类似.

2.3 OC/EC 的特征及二次有机碳估算

大气中的含碳气溶胶一般分为一次来源(EC 和 POC)和二次有机碳(SOC),其中 SOC 主要来自光化学反应. EC 主要来自化石燃料和生物质的不完全燃烧,由于其化学惰性和热稳定性,可以用来作

为一次污染物的指示物，常用来估算 SOC 的含量. Chow 等[37]认为 OC/EC 的值大于 2 时，存在二次反应生成的有机碳. 本研究采用 Turpin 等[38]提出 SOC 的计算方法：

$$OC_{pri} = EC \times (OC/EC)_{pri} \quad (1)$$

式中，OC_{pri}为一次有机碳(POC)的含量($\mu g \cdot m^{-3}$)，$(OC/EC)_{pri}$为污染源一次排放的 OC 和 EC 浓度的比值. 然而，由于 OC 的来源复杂，很难确定 $(OC/EC)_{pri}$的值. 因此 Castro 等[39]提出用 OC/EC 的最小比值近似地代替$(OC/EC)_{pri}$，即：

$$(OC/EC)_{pri} \approx (OC/EC)_{min} \quad (2)$$

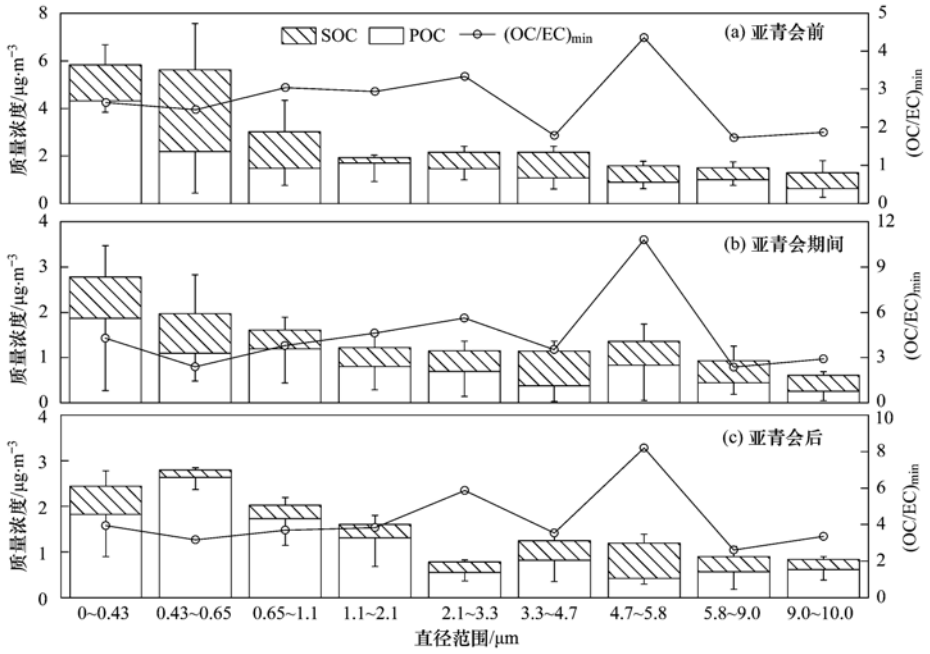
式中，$(OC/EC)_{min}$为所观测的 OC/EC 的最小值.

因此有：

$$SOC = TOC - OC_{pri} \approx TOC - EC \times (OC/EC)_{min} \quad (3)$$

式中，SOC 为二次有机碳的含量($\mu g \cdot m^{-3}$)，TOC 为总有机碳的含量($\mu g \cdot m^{-3}$).

由图 3 可发现亚青会前 SOC 主要集中在 1.1 μm 以下，占总 SOC 的 62.73%；其中 0.43 ~ 0.65 μm 的 SOC 浓度最大，可达 3.44 $\mu g \cdot m^{-3}$，占总 SOC 的 33.22%. 而在亚青会期间 SOC 则集中在 0 ~ 0.65 μm 和 4.7 ~ 5.8 μm，分别占总 SOC 的 34.24% 和 14.72%，其中在 0 ~ 0.43 μm 中 SOC 最大，可达 0.91 $\mu g \cdot m^{-3}$，占总 SOC 的 17.45%. 而在亚青会后 SOC 分别集中在 0 ~ 0.43 μm 和 4.7 ~ 5.8 μm，分别占总 SOC 的 18.29% 和 23.12%，其中 4.7 ~ 5.8 μm 中 SOC 最大，可达 0.77 $\mu g \cdot m^{-3}$. 由图 3 可发现在亚青会前、中、后 POC 的浓度几乎在所有粒径段中都要大于 SOC 的浓度. 计算表明亚青会前、中、后 PM_{10} 中 SOC 占 TOC 的比例分别为 41.26%、40.91% 和 24.20%，可能由于亚青会期间调控措施使得 SO_2、NO_x、O_3 和 VOCs 等光化学前体反应物的浓度急剧下降，从而使得光化学反应较弱，故形成的 SOC 较少.



图中柱状图 SOC 和 POC 的误差线均为正负误差线，但因误差线重合，图中 SOC 仅标注正误差线，POC 仅标注负误差线

图 3　不同时段 POC、SOC 及 $(OC/EC)_{min}$ 的粒径分布

Fig. 3　Size distribution of POC, SOC and $(OC/EC)_{min}$ during different sampling period

此外由表 1 可发现亚青会前 SOC 和 POC 在 $PM_{1.1}$ 和 $PM_{2.1\sim10}$ 中相差较小，在 $PM_{1.1\sim2.1}$ 中相差较大. 在亚青会期间 SOC 和 POC 在 $PM_{1.1}$、$PM_{1.1\sim2.1}$ 和 $PM_{2.1\sim10}$ 中差异基本一致，SOC 约为 POC 的一半. 亚青会后 SOC 和 POC 的差异随着粒径的增大而减小. 通常人为源排放产生的多为细粒子，由于亚青会期间较强的减排限行措施，使得人为源排放的 OC 与 VOCs 等污染物通过化学转化生成的 SOC 减少，这是造成亚青会前后 SOC 和 POC 分布差异的主要原因.

2.4　OC 和 EC 来源分析

Turpin 等[38]认为，通过研究 OC 和 EC 的相关性，可以区分碳质气溶胶的来源. 如果 EC 和 OC 的相关性较好，表明其存在相似或者一致的

污染源. 由图 4 可知,$PM_{1.1}$、$PM_{2.1}$和 $PM_{2.1\sim10}$中 EC 和 OC 的相关性较好,R 分别为 0.87、0.84 和 0.93,表明其具有共同的来源. 此外,所有粒径段中 EC 和 OC 的相关性也高达 0.80,说明在观测期间不同粒径段的 EC 和 OC 也具有较好的同源性.

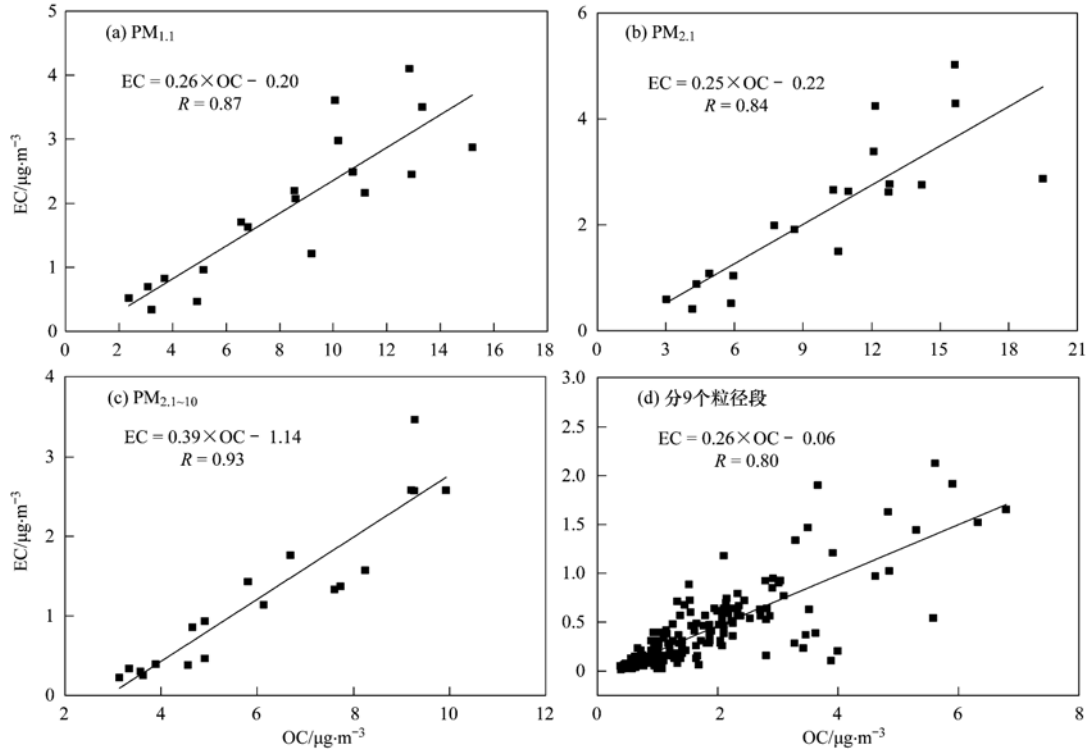


图 4 不同粒径段 EC 和 OC 的相关性

Fig. 4 Correlation of EC and OC in aerosol particles of different size

研究表明 OC/EC 的值也可用来分析含碳颗粒物的来源:OC/EC 的比值为 1.0 ~ 4.2 为柴油和汽油车的尾气排放[29,30],比值为 16.8 ~ 40.0 为生物质燃烧排放[31],2.5 ~ 10.5 为燃煤排放[32],32.9 ~ 81.6 为烹调排放[33],13.1 为地面扬尘排放,12.7 为家庭天然气排放[34]. 由表 1 可知 $PM_{1.1}$、$PM_{1.1\sim2.1}$和 $PM_{2.1\sim10}$中 OC/EC 的值均在 2 ~ 10 之间,说明在观测期间南京地区 OC、EC 主要来自尾气排放和燃煤. 此外由表 1 可发现 $PM_{1.1}$中 OC/EC 的值在亚青会前、中和后均在 4 ~ 5 之间,说明其受汽车尾气的影响较大. $PM_{1.1\sim2.1}$和 $PM_{2.1\sim10}$中 OC/EC 的值在亚青会期间多在 6 以上,主要受燃煤影响较大; 但是在亚青会前多在 4 以下,主要为汽车尾气排放. 这也表明亚青会期间限行措施效果显著.

2.5 与其他城市对比

由表 2 可发现国内不同城市夏季 OC 和 EC 的浓度差异较大,香港和上海浓度较低,可能主要由于其能源结构和地理位置的影响,其 OC/EC 的值在 1.6 ~ 2.3,说明主要来自汽车尾气的排放. 南京和厦门 OC、EC 的浓度相近,广州和杭州 OC、EC 的浓度相近,西安浓度最高,北京车公庄的浓度要远高于郊区的上甸子的浓度.

由表 2 可发现亚青会期间 OC 和 EC 与 2011 年相比浓度显著降低,且 OC/EC 的值为 6.28 ± 2.70,说明汽车尾气的贡献进一步降低. 亚青会期间 EC 的浓度与北京上甸子比较接近,但是 OC 的浓度要远高于上甸子、上海和香港,由上文分析可知亚青会期间 OC 以 POC 为主,说明南京地区 OC 的一次排放仍较高. 此外南京地区 OC/EC 的值均大于 5,而其他城市夏季 OC/EC 的值多在 4.0 以下,这说明南京地区夏季碳质气溶胶的来源比较复杂,因此单纯依靠限排限行措施并不能取得特别显著的效果.

3 结论

(1)在亚青会前、中、后的 OC 和亚青会前、中的 EC 最大浓度均出现在 0 ~ 0.43 μm 和 0.43 ~ 0.65 μm,在亚青会后 EC 最大浓度出现在 0.43 ~ 0.65 μm 和 0.65 ~ 1.1 μm. 亚青会前、中、后 OC 和 EC 主要富集于粒径 < 1.1 μm 的细粒子中.

表 2　国内城市大气碳质颗粒物中的 OC、EC 浓度特征

Table 2　Concentration characteristics of OC and EC in different cities in China

采样地点	采样时间	分析方法	OC/μg·m^{-3}	EC/μg·m^{-3}	OC/EC/%	粒径范围
本研究	2013-08(夏)	TOR DRI	10.06 ± 4.59	2.27 ± 1.36	5.25 ± 2.21	$PM_{2.1}$
本研究	亚青会期间	TOR DRI	7.55 ± 3.58	1.47 ± 1.04	6.28 ± 2.70	$PM_{2.1}$
南京鼓楼区[25]	2011-07(夏)	TOR DRI	11.41 ± 4.67	2.17 ± 1.04	5.74 ± 2.06	$PM_{2.1}$
南京浦口区[25]	2011-07(夏)	TOR DRI	9.53 ± 5.46	1.77 ± 1.07	5.86 ± 2.28	$PM_{2.1}$
北京上甸子[40]	2004-07(夏)	TOT SUNSET	5.07 ± 2.66	1.26 ± 0.66	4.0	$PM_{2.1}$
西安[41]	2003-09(秋)	TOR DRI	24.9 ± 10.3	8.3 ± 4.5	3.3	$PM_{2.5}$
上海复旦[42]	2002-08(夏)	TOT DRI	3.9 ± 1.4	1.8 ± 0.6	2.17	$PM_{2.5}$
北京车公庄[42]	2002-06～08(夏)	TOT DRI	13.4	6.3	2.13	$PM_{2.5}$
杭州朝晖[43]	2006 年(夏)	TOR DRI	13.1 ± 3.8	4.7 ± 2.3	3.10	$PM_{2.5}$
上海徐家汇[11]	2008-07(夏)	TOR DRI	5.53 ± 2.47	3.41 ± 1.33	1.62	$PM_{2.5}$
香港[9]	2001-07～08(夏)	TOR DRI	5.9 ± 3.8	3.6 ± 2.1	2.3	$PM_{2.5}$
广州珠海区[12]	2002-06～07(夏)	TOR DRI	13.10 ± 3.00	4.80 ± 0.96	2.8	$PM_{2.5}$
天津[18]	2008(夏)	TOR DRI	10.2	5.5	1.8	$PM_{2.5}$
厦门思明区[15]	2009(夏)	TOT SUNSET	9.90 ± 0.67	2.34 ± 0.52	4.4 ± 1.4	$PM_{2.5}$

(2)$PM_{1.1}$中 OC、EC 的浓度在亚青会期间分别为 6.25 μg·m^{-3} ± 3.13 μg·m^{-3}和 1.27 μg·m^{-3} ± 0.93 μg·m^{-3},分别比亚青会前减少了 56.17% 和 59.17%. $PM_{1.1\sim2.1}$中的 OC 和 EC 在亚青会期间浓度比亚青会前分别降低了 45.61% 和 67.74%. $PM_{2.1\sim10}$中的 OC 和 EC 在亚青会期间浓度比亚青会前分别降低了 43.44% 和 73.55%.

(3)OC 在亚青会前、中和后均双峰型分布,峰值位于 0.43～0.65 μm 和 4.7～5.8 μm. EC 在亚青会前后呈现双峰型分布,峰值分别位于 0.43～0.65 μm 和 3.3～4.7 μm; 而在亚青会期间为单峰型分布,峰值位于 0.43～0.65 μm. 亚青会期间 OC 和 EC 的浓度在整个粒径段均存在明显的降低,且这种降低的趋势在细粒子段要比粗粒子段更加显著.

(4)亚青会前中后 PM_{10}中 SOC 占 TOC 的比例分别为 41.26%、40.91% 和 24.20%,亚青会前、中、后 SOC 最大浓度分别出现在 0.43～0.65、0～0.43 和 4.7～5.8 μm,占总 SOC 的比例分别为 33.22%、17.45% 和 23.12%. 观测期间不同粒径段的 EC 和 OC 具有较好的同源性. 亚青会前、中和后 $PM_{1.1}$中 OC/EC 的值在 4～5,主要受汽车尾气的影响. $PM_{1.1\sim2.1}$和 $PM_{2.1\sim10}$中 OC/EC 的值在亚青会期间多在 6 以上,主要受燃煤影响较大; 但是在亚青会前多在 4 以下,主要为汽车尾气排放. 与国内其他城市相比,南京地区夏季碳质气溶胶的来源比较复杂.

参考文献:

[1] Schauer J J, Mader B T, Deminter J T, *et al*. ACE-Asia intercomparison of a thermal-optical method for the determination of particle-phase organic and elemental carbon [J]. Environmental Science & Technology, 2003, **37**(5): 993-1001.

[2] Watson J G. Visibility: Science and regulation[J]. Journal of the Air & Waste Management Association, 2002, **52**(6): 628-713.

[3] 曹军骥, 李顺诚, 李杨, 等. 2003 年秋冬季西安大气中有机碳和元素碳的理化特征及其来源解析[J]. 自然科学进展, 2005, **15**(12): 1460-1466.

[4] Shekar Reddy M, Venkataraman C. Atmospheric optical and radiative effects of anthropogenic aerosol constituents from India [J]. Atmospheric Environment, 2000, **34**(26): 4511-4523.

[5] Hitzenberger R, Berner A, Giebl H, *et al*. Contribution of carbonaceous material to cloud condensation nuclei concentrations in European background (Mt. Sonnblick) and urban (Vienna) aerosols[J]. Atmospheric Environment, 1999, **33**(17): 2647-2659.

[6] Boonyatumanond R, Murakami M, Wattayakorn G, *et al*. Sources of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in street dust in a tropical Asian mega-city, Bangkok, Thailand [J]. Science of the Total Environment, 2007, **384**(1): 420-432.

[7] Zhang Y L, Liu D, Shen C D, *et al*. Development of a preparation system for the radiocarbon analysis of organic carbon in carbonaceous aerosols in China[J]. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 2010, **268**(17-18): 2831-2834.

[8] 段凤魁, 贺克斌, 刘咸德, 等. 含碳气溶胶研究进展: 有机碳和元素碳[J]. 环境工程学报, 2007, **1**(8): 1-8.

[9] Ho K F, Lee S C, Cao J J, *et al*. Variability of organic and elemental carbon, water soluble organic carbon, and isotopes in Hong Kong[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2006, **6**: 4569-4576.

[10] Duan F K, He K B, Ma Y L, *et al*. Characteristics of carbonaceous aerosols in Beijing, China [J]. Chemosphere, 2005, **60**(3): 355-364.

[11] 王杨军, 董亚萍, 冯加良, 等. 上海市 $PM_{2.5}$中含碳物质的特

征和影响因素分析[J]. 环境科学, 2010, **31**(8): 1755-1761.

[12] 赖森潮, 叶计朋, 张颖仪, 等. 广州夏季大气中碳气溶胶浓度水平及污染特征[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2004, **43**(5): 61-65.

[13] 吴梦龙, 郭照冰, 刘凤玲, 等. 南京市 $PM_{2.1}$ 中有机碳和元素碳污染特征及影响因素[J]. 中国环境科学, 2013, **33**(7): 1160-1166.

[14] Philip S, Martin R V, Pierce J R, *et al*. Spatially and seasonally resolved estimate of the ratio of organic mass to organic carbon [J]. Atmospheric Environment, 2014, **87**: 34-40.

[15] Zhang F W, Zhao J P, Chen J S, *et al*. Pollution characteristics of organic and elemental carbon in $PM_{2.5}$ in Xiamen, China[J]. Journal of Environmental Sciences, 2011, **23**(8): 1342-1349.

[16] 袁宁, 刘卫, 赵修良, 等. 上海市含碳大气颗粒物的粒径分布[J]. 环境科学, 2013, **34**(5): 1995-2002.

[17] 王广华, 位楠楠, 刘卫, 等. 上海市大气颗粒物中有机碳(OC)与元素碳(EC)的粒径分布[J]. 环境科学, 2010, **31**(9): 1993-2001.

[18] Gu J X, Bai Z P, Liu A X, *et al*. Characteristics of atmospheric organic and element carbon of $PM_{2.5}$ and PM_{10} at Tianjin, China [J]. Aerosol and Air Quality Research, 2010, **10**: 167-176.

[19] 李杏茹, 王英锋, 郭雪清, 等. 2008 年奥运期间北京不同粒径大气颗粒物中元素碳和有机碳的变化特征[J]. 环境科学, 2011, **32**(2): 313-318.

[20] 朱李华, 陶俊, 张仁健, 等. 冬夏季广州城区碳气溶胶特征及其与 O_3 和气象条件的关联[J]. 环境科学学报, 2010, **30**(10): 1942-1949.

[21] 谭吉华, 段菁春, 赵金平, 等. 广州市灰霾期间大气颗粒物中有机碳和元素碳的粒径分布[J]. 环境化学, 2009, **28**(2): 267-271.

[22] Andreae M O, Schmid O, Yang H, *et al*. Optical properties and chemical composition of the atmospheric aerosol in urban Guangzhou, China [J]. Atmospheric Environment, 2008, **42**(25): 6335-6350.

[23] Offenberg J H, Baker J E. Aerosol size distributions of elemental and organic carbon in urban and over-water atmospheres [J]. Atmospheric Environment, 2000, **34**(10): 1509-1517.

[24] 郭育红, 辛金元, 王跃思, 等. 唐山市大气颗粒物 OC/EC 浓度谱分布观测研究[J]. 环境科学, 2013, 34(7): 2497-2504.

[25] 吴梦龙, 郭照冰, 刘凤玲, 等. 南京市大气颗粒物中有机碳和元素碳粒径分布特征[J]. 环境科学, 2014, **35**(2): 451-457.

[26] 唐小玲, 毕新慧, 陈颖军, 等. 不同粒径大气颗粒物中有机碳(OC)和元素碳(EC)的分布[J]. 环境科学研究, 2006, **19**(1): 104-108.

[27] Andreae M O, Merlet P. Emission of trace gases and aerosols from biomass burning[J]. Global Biogeochemical Cycles, 2001, **15**(4): 955-966.

[28] 曾友石, 王广华, 姚剑, 等. 上海市郊大气含碳颗粒物污染特征[J]. 环境科学学报, 2013, **33**(1): 189-200.

[29] Schauer J J, Kleeman M J, Cass G R, *et al*. Measurement of emissions from air pollution sources: 2. C1 through C30 organic compounds from medium duty diesel trucks[J]. Environmental Science and Technology, 1999, **33**(10): 1578-1587.

[30] Schauer J J, Kleeman M J, Cass G R, *et al*. Measurement of emissions from air pollution sources: 5. C1-C32 organic compounds from Gasoline-powered motor vehicles [J]. Environmental Science and Technology, 2002, **36**(6): 1169-1180.

[31] Schauer J J, Kleeman M J, Cass G R, *et al*. Measurement of emissions from air pollution sources: 3. C1-C29 organic compounds from fireplace combustion of wood[J]. Environmental Science and Technology, 2001, **35**(9): 1716-1728.

[32] Chen Y J, Zhi G R, Feng Y L, *et al*. Measurement of emission factors for primary carbonaceous particles from residential raw-coal combustion in China [J]. Geophysical Research Letters, 2006, **33**(L20815), doi: 10.1029/2006GL026966.

[33] He L Y, Hu M, Huang X F, *et al*. Measurement of emissions of fine particulate organic matter from Chinese cooking [J]. Atmospheric Environment, 2004, **38**(38): 6557-6564.

[34] Zhang Y X, Shao M, Zhang Y H, *et al*. Source profiles of particulate organic matters emitted from cereal straw burnings [J]. Journal of Environmental Sciences, 2007, **19**(2): 167-175.

[35] Yu H, Wu C, Wu D, *et al*. Size distributions of elemental carbon and its contribution to light extinction in urban and rural locations in the Pearl River delta region, China[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2010, **10**(11): 5107-5119.

[36] Shah S D, Cocker D R Ⅲ, Miller J W, *et al*. Emission rates of particulate matter and elemental and organic carbon from In-use diesel engines[J]. Environmental Science Technology, 2004, **38**(9): 2544-2550.

[37] Chow J C, Waston J G, Lu Z Q, *et al*. Descriptive analysis of $PM_{2.5}$ and PM_{10} at regionally representative locations during SJVAQS/AUSPEX [J]. Atmospheric Environment, 1996, **30**(12): 2079-2112.

[38] Turpin B J, Huntzicker J J. Identification of secondary organic aerosol episodes and quantification of primary and secondary organic aerosol concentrations during SCAQS[J]. Atmospheric Environment, 1995, **29**(23): 3527-3544.

[39] Castro L M, Harrison R M, Smith D J T. Carbonaceous aerosol in urban and Rural European atmospheres: estimation of secondary organic carbon concentrations [J]. Atmospheric Environment, 1999, **33**(17): 2771-2781.

[40] 颜鹏, 郇宁, 张养梅, 等. 北京乡村地区分粒径气溶胶 OC 及 EC 分析[J]. 应用气象学报, 2012, **23**(3): 285-293.

[41] 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.

[42] Feng J J, Hu M, Chan C K, *et al*. A comparative study of the organic matter in $PM_{2.5}$ from three Chinese megacities in three

different climatic zones[J]. Atmospheric Environment, 2006, **40**(21): 3983-3994.

[43] 包贞, 焦荔, 洪盛茂. 杭州市大气 $PM_{2.5}$ 中碳分布特征及来源分析[J]. 环境化学, 2009, **28**(2): 304-305.

《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. hjkx. 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:hjkx@ rcees. ac. cn;网址:www. hjkx. ac. cn

HUANJING KEXUE

Environmental Science (monthly)

Vol. 35 No. 9

Sep. 15, 2014

CONTENTS

Comparative Analysis Methods of Haze Distinction over Yangtze River Delta Region ····· LIU Xiao-hui, ZHU Bin, GAO Jin-hui, *et al.* (3239)

Trends of Urban Haze in Jiangsu Province China over the Past 33 Years ····· LIU Duan-yang, WEI Jian-su, YAN Wen-lian, *et al.* (3247)

Temporal Variation of Background Atmospheric CO_2 and CH_4 at Mount Waliguan, China ····· LIU Peng, ZHANG Guo-qing, WANG Jian-qiong, *et al.* (3256)

Characteristics and Sources of Organic Carbon and Elemental Carbon in $PM_{2.5}$ in Shanghai Urban Area ····· ZHANG Yi-hua, WANG Dong-fang, ZHAO Qian-biao, *et al.* (3263)

Size Distribution and Characterization of OC and EC in Atmospheric Aerosols During the Asian Youth Games of Nanjing, China ····· WANG Hong-lei, ZHU Bin, AN Jun-lin, *et al.* (3271)

Pollution Characteristics of Carbonaceous Aerosols in $PM_{2.5}$ During Typical Winter Days in Wuxi City ····· YUN Long-long, LU Fan, ZHANG Tian-shu, *et al.* (3280)

Emission Characteristics of $PM_{2.5}$ from Blast Furnace Iron Making ····· FAN Zhen-zhen, ZHAO Ya-li, ZHAO Hao-ning, *et al.* (3287)

Composition Characteristics of Atmospheric Volatile Organic Compounds in the Urban Area of Beibei District, Chongqing ····· QI Xin, HAO Qing-ju, JI Dong-sheng, *et al.* (3293)

Catalytic Oxidation of Two-component VOCs and Kinetic Analysis ····· BO Long-li, YANG Li, SUN Jian-yu, *et al.* (3302)

Ultrafine Particle Number Concentration and Size Distribution of Vehicle Exhaust Ultrafine Particles ····· LU Ye-qiang, CHEN Qiu-fang, SUN Zai, *et al.* (3309)

Major Ion Chemistry of Surface Water in the Upper Reach of Shule River Basin and the Possible Controls ····· ZHOU Jia-xin, DING Yong-jian, ZENG Guo-xiong, *et al.* (3315)

Sediment-water Flux and Processes of Nutrients and Gaseous Nitrogen Release in a China River Reservoir ····· CHEN Zhu-hong, CHEN Neng-wang, WU Yin-qi, *et al.* (3325)

Spatial Distribution and Pollution Assessment of Heavy Metals in the Tidal Reach and Its Adjacent Sea Estuary of Daliaohe Area, China ··· ZHANG Lei, QIN Yan-wen, MA Ying-qun, *et al.* (3336)

Chemical Speciation and Risk Assessment of Heavy Metals in the Middle Part of Yarlung Zangbo Surface Sediments ····· BAI Jian-kun, LI Chao-liu, KANG Shi-chang, *et al.* (3346)

Analysis of Particle Size Characteristics of Road Sediments in Beijing Olympic Park ····· LI Hai-yan, SHI An-bang, QU Yang-sheng, *et al.* (3352)

Levels and Distribution of the Dioxin-Like Polychlorinated Biphenyls (PCBs) in the Surface Sediment of the Yellow River ····· LI Guang-yao, JIN Jun, HE Chang, *et al.* (3358)

Characteristics of Nitrogen and Phosphorus Retention in Two Different Channel Forms in a Typical Headwater Stream in the Suburb of Hefei City, China ····· LI Ru-zhong, YANG Ji-wei, QIAN Jing, *et al.* (3365)

Migration and Transformation of Nitrogen in Urban Stream Located in Plain River-net Area Based on Water Resources Regulation ····· LIU Bo, SHENG Ming, ZHU Qiang, *et al.* (3373)

Decomposition and Phosphorus Dynamics of the Litters in Standing and Litterbag of the Hangzhou Bay Coastal Wetland ····· SHAO Xue-xin, LIANG Xin-qiang, WU Ming, *et al.* (3381)

Muti-model Collaborative Retrieval of Chlorophyll a in Taihu Lake Based on Data Assimilation ····· LI Yuan, LI Yun-mei, LÜ Heng, *et al.* (3389)

Photobleaching of Dissolved Organic Matter (DOM) from Confluence of Two Rivers Under Natural Solar Radiation: A Case Study of Fujiang River-Jialingjiang River ····· GAO Jie, JIANG Tao, YAN Jin-long, *et al.* (3397)

Using Ultraviolet-Visible (UV-Vis) Absorption Spectrum to Estimate the Dissolved Organic Matter (DOM) Concentration in Water, Soils and Sediments of Typical Water-Level Fluctuation Zones of the Three Gorges Reservoir Areas ····· LI Lu-lu, JIANG Tao, LU Song, *et al.* (3408)

Synthesis of Cu_2O-Ag-AgBr/MA Visible Photocatalyst and Its Performance in Degradation of 2-Chlorophenol ····· WANG Ran, ZHOU Xue-feng, HU Xue-xiang, *et al.* (3417)

Effects of Particle Size of Zero-Valent Iron on the Reactivity of Activating Persulfate and Kinetics for the Degradation of Acid Orange 7 ····· LI Huan-xuan, WAN Jin-quan, MA Yong-wen, *et al.* (3422)

Degradation of 2,4-D by Combined Catalytic Dechlorination and Biological Oxidation ····· ZHOU Hong-yi, ZENG Si-si, LIANG Si, *et al.* (3430)

Treatment of Marine-Aquaculture Effluent by the Multi-Soil-Layer (MSL) System and Subsurface Flow Constructed Wetland ····· SONG Ying, HUANG Yu-ting, GE Chuan, *et al.* (3436)

Variation of Different Carbon Sources in the Sewage Treatment Process ····· JIN Peng-kang, CHANG Jin, WANG Xian-bao, *et al.* (3443)

Effect of Gas-lift Device on Nitrogen Removal Efficiency of ANAMMOX Reactor ····· LI Xiang, ZHANG Da-lin, HUANG Yong, *et al.* (3449)

Enhancement for Anaerobic Digestion of Sewage Sludge Pretreated by Microwave and Its Combined Processes ····· LIU Ji-bao, NI Xiao-tang, WEI Yuan-song, *et al.* (3455)

Pilot Study of Thermal Treatment/Thermophilic Anaerobic Digestion Process Treating Waste Activated Sludge of High Solid Content ····· WU Jing, WANG Guang-qi, CAO Zhi-ping, *et al.* (3461)

Effects of Temperature on Combined Process of ABR and MBR for Domestic Sewage Treatment and Analysis of Microbial Community ····· WU Peng, LU Shuang-jun, XU Yue-zhong, *et al.* (3466)

Microbial Community of Municipal Discharges in A Sewage Treatment Plant ····· XU Ai-ling, REN Jie, SONG Zhi-wen, *et al.* (3473)

Pilot-Scale Cultivation of *Spirulina plantensis* with Digested Piggery Wastewater ····· GUO Qing-qing, LIU Rui, LUO Jin-fei, *et al.* (3480)

Spectral Characteristics of Soluble Metabolites During Endogenous Respiration ····· LI Zhi-hua, ZHANG Qin, BAI Xu-li, *et al.* (3487)

Endogenous Respiration Process Analysis of Heterotrophic Biomass and Autotrophic Biomass Based on Respiration Map ····· LI Zhi-hua, BAI Xu-li, ZHANG Qin, *et al.* (3492)

Influence of *S*-Metolachlor and Cd^{2+} on Photosynthesis of *Scenedesmus obliquus* ····· CHEN Cai-dong, HU Xiao-na, ZHANG Xiao-qiang, *et al.* (3498)

Effect of Environmental Factors on Fish Community Structure in the Huntai River Basin at Multiple Scales ····· LI Yan-li, LI Yan-fen, XU Zong-xue (3504)

Succession of Rotifer Community and Its Relationship with Environmental Factors in a New Estuarial Landscape River, Shanghai ····· MA Wen-hua, ZHANG Wei, GU Wan-wen, *et al.* (3513)

Anaerobic Reduction of Humus/Fe(Ⅲ) and Electron Transport Mechanism of *Fontibacter* sp. SgZ-2 ····· MA Chen, YANG Gui-qin, LU Qin, *et al.* (3522)

Source Apportionment of Soil Heavy Metals in Jiapigou Goldmine Based on the UNMIX Model ····· AI Jian-chao, WANG Ning, YANG Jing (3530)

Environmental Magnetic Properties and Their Spatial Variability of Topsoil in Shihezi City ····· YANG Han, XIONG Hei-gang, CHEN Xue-gang (3537)

Effects of Different Amounts of Phosphate Fertilizers on Copper, Zinc Transfer in Red Soil Under the Application of KH_2PO_4 ····· GUO Liang, LI Zhong-wu, HUANG Bin, *et al.* (3546)

Influence of Sulfur on the Bioavailability of Arsenic Uptake by Rice (*Oryza. sativa* L.) and Its Speciation in Soil ····· YANG Shi-jie, TANG Bing-pei, WANG Dai-chang, *et al.* (3553)

Effects of Sulfur on Transformation of Selenium in Soil and Uptake of Selenium in Rape ····· LIU Xin-wei, DUAN Bi-hui, XIA Quan-jie, *et al.* (3564)

Impact of Reclaimed Water Irrigation on Soil Chemical Properties and Culturable Microorganisms ····· GONG Xue, WANG Ji-hua, GUAN Jian-fei, *et al.* (3572)

Influence of Different Slope Position and Profile in *Disporopsis pernyi* Forest Land on Soil Microbial Biomass and Enzyme Activity in Southwest Karst Mountain of China ····· QIN Hua-Jun, HE Bing-Hui, ZHAO Xuan-chi, *et al.* (3580)

Effects of Different Soil Types on the Foliar $\delta^{13}C$ Values of Common Local Plant Species in Karst Rocky Desertification Area in Central Guizhou Province ····· DU Xue-lian, WANG Shi-jie, LUO Xu-qiang (3587)

Effect of Carbon Substrate Concentration on N_2, N_2O, NO, CO_2 and CH_4 Emissions from a Paddy Soil in Anaerobic Condition ····· CHEN Nuo, LIAO Ting-ting, WANG Rui, *et al.* (3595)

Ability of Typical Greenery Shrubs of Beijing to Adsorb and Arrest $PM_{2.5}$ ····· LIANG Dan, WANG Bin, WANG Yun-qi, *et al.* (3605)

Effects of Chlorides on Cd Transformation in a Simulated Grate Incinerator During Sludge Incineration Process ····· LIU Jing-yong, ZHUO Zhong-xu, SUN Shui-yu, *et al.* (3612)

Spatial Temporal Differentiation of Product-based and Consumption-based CO_2 Emissions and Balance in the Beijing-Tianjin-Hebei Region: an Economic Input-Output Analysis ····· WANG Hao, CHEN Cao-cao, PAN Tao, *et al.* (3619)

Study on Feasible Emission Control Level of Air Pollutions for Cement Industry ····· REN Chun, JIANG Mei, ZOU Lan, *et al.* (3632)

《环境科学》第 6 届编辑委员会

主　编：欧阳自远

副主编：赵景柱　郝吉明　田　刚

编　委：（按姓氏笔画排序）

万国江　王华聪　王凯军　王绪绪　田　刚　田　静　史培军

朱永官　刘志培　汤鸿霄　陈吉宁　孟　伟　周宗灿　林金明

欧阳自远　赵景柱　姜　林　郝郑平　郝吉明　聂永丰　黄　霞

黄　耀　鲍　强　潘　纲　潘　涛　魏复盛

环境科学

（HUANJING KEXUE）

（月刊　1976 年 8 月创刊）

2014 年 9 月 15 日　第 35 卷　第 9 期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

（Monthly　Started in 1976）

Vol. 35　No. 9　Sep. 15, 2014

主　　管	中国科学院	**Superintended** by	Chinese Academy of Sciences
主　　办	中国科学院生态环境研究中心	**Sponsored** by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协　　办	（以参加先后为序） 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	**Co-Sponsored** by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主　　编	欧阳自远	**Editor-in -Chief**	OUYANG Zi-yuan
编　　辑	《环境科学》编辑委员会 北京市 2871 信箱（海淀区双清路 18 号，邮政编码：100085） 电话：010-62941102，010-62849343 传真：010-62849343 E-mail：hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	**Edited** by	The Editorial Board of Environmental Science（HUANJING KEXUE） P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel：010-62941102, 010-62849343; Fax：010-62849343 E-mail：hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出　　版	科学出版社 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码：100717	**Published** by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing　100717, China
印刷装订	北京北林印刷厂	**Printed** by	Beijing Bei Lin Printing House
发　　行	科学出版社 电话：010-64017032 E-mail：journal@ mail. sciencep. com	**Distributed** by	Science Press Tel：010-64017032 E-mail：journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	**Domestic**	All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 （北京 399 信箱）	**Foreign**	China International Book Trading Corporation（Guoji Shudian）, P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号：ISSN 0250-3301 / CN 11-1895/X　　国内邮发代号：2-821

国 内 定 价：90.00 元　　国外发行代号：M 205

国内外公开发行