

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第10期

Vol.33 No.10

**2012**

中国科学院生态环境研究中心 主办  
科学出版社 出版



目次

淀山湖百年营养演化历史及营养物基准的建立 ..... 李小平, 陈小华, 董旭辉, 董志, 孙敦平 (3301)

矿化度作为蒙新高原湖泊营养物基准影响指标的可行性 ..... 席北斗, 张亚丽, 许秋瑾 (3308)

小波分析在湖泊常见浮游藻类荧光识别测定中的应用 ..... 张翠, 苏荣国, 宋志杰, 张珊珊, 王修林 (3314)

湖面亮温对巢湖水华影响的遥感监测分析 ..... 张红, 黄勇, 李莹 (3323)

基于地下水暴露途径的健康风险评价及修复案例研究 ..... 姜林, 钟茂生, 贾晓洋, 夏天翔, 姚珏君, 樊艳玲, 张丽娜, 唐振强 (3329)

基于多生物标志物污染指数法的北部湾潮间带污染程度评价 ..... 杜秀萍, 孟范平, 王志峰, 李祥蕾, 杨菲菲, 程凤莲, 杨跃志, 李正炎 (3336)

东海无机氮排海通量年际变化估算 ..... 吴家林, 方倩, 石晓勇, 李克强, 张传松, 王修林 (3344)

海洋酸化对大型海藻生长以及磷酸盐、硝酸盐吸收利用的影响 ..... 于娟, 张瑜, 杨桂朋, 田延旺 (3352)

北黄海表层沉积物中颗粒态磷的形态分布 ..... 孟佳, 姚庆祯, 陈洪涛, 于志刚 (3361)

湖泊疏浚对沉积物再悬浮及磷迁移影响的模拟研究 ..... 余居华, 钟继承, 张银龙, 范成新, 何伟, 张雷, 唐阵武 (3368)

降雨条件下岩溶泉水中悬浮颗粒物的运移特征及来源分析 ..... 杨平恒, 刘子琦, 贺秋芳 (3376)

三峡水库试验性蓄水前后大宁河富营养化状态比较 ..... 张佳磊, 郑丙辉, 刘录三, 王丽婧, 吴光应 (3382)

三峡库区不同土地利用类型氮磷流失特征及其对环境因子的响应 ..... 曾立雄, 黄志霖, 肖文发, 田耀武 (3390)

山地城市地表径流源区水质特征监测研究 ..... 李立青, 单保庆, 赵建伟, 郭树刚, 高勇 (3397)

唐山开滦煤矿区土壤及地表水中 Se 元素赋存状态及其生态效应研究 ..... 张秀芝, 马忠社, 王荫楠, 王志军, 谢伟民 (3404)

西藏地表水中砷的分布 ..... 王明国, 李社红, 王慧, 肖唐付, 郑宝山 (3411)

锡林河流域地表水痕量元素的时空分布 ..... 薛丽洋, 吴锦奎, 张明泉, 丁永建, 叶柏生 (3417)

天津滨海地区表层沉积物中持久性有机污染物的含量特征与生态风险 ..... 卢晓霞, 张姝, 陈超琪, 侯珍, 杨君君 (3426)

松花江流域河流沉积物中多氯联苯的分布、来源及风险评价 ..... 裴海峰, 赵传冬, 刘应汉, 彭敏, 李括, 杨柯, 刘飞 (3434)

长江口近岸表层沉积物中基质结合态磷化氢的分布特征 ..... 李涛, 侯立军, 刘敏, 赵迪, 尹国宇, 郑艳玲, 赵慧 (3443)

烟台四十里湾柱状沉积物氮形态地球化学特征 ..... 杨玉玮, 高学鲁, 李培苗 (3449)

黄河口湿地土壤中正构烷烃分子指标及物源指示意义 ..... 姚鹏, 尹红珍, 姚庆祯, 陈洪涛, 刘月良 (3457)

含藻水中壬基酚的光降解转化研究 ..... 彭章娥, 冯劲梅, 何淑英, 吴峰 (3466)

硝酸铁-过硫酸盐改性 GAC 催化 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 氧化橙黄 IV ..... 张瑛洁, 徐淑芬, 廖霞, 曹天静, 杨榕, 李大鹏 (3473)

Pd/CMK-3 的合成、表征及对甲酸的电催化氧化性能研究 ..... 还中科, 宗恩敏, 魏丹, 万海勤, 郑寿荣, 许昭怡 (3479)

曝气稳定塘处理农村生活污水曝气控制条件研究 ..... 李怀正, 姚淑君, 徐祖信, 陈卫兵 (3484)

以亲水化改性聚氨酯为多孔载体的生物膜移动床反应器处理污水中试研究 ..... 王玉晓, 孔秀琴, 冯权, 卢海涛, 王德源, 唐黎明, 邢新会 (3489)

光催化降解渗滤液 DOM 不同组分的相对分子量变化特征 ..... 贾陈忠, 王焰新, 张彩香 (3495)

短程硝化-反硝化生物滤池脱氮机制研究 ..... 孙迎雪, 徐栋, 田媛, 李燕飞 (3501)

CANON 反应器运行稳定性及温度冲击的影响 ..... 付昆明, 张杰, 曹相生, 李冬, 孟雪征 (3507)

MUCT 工艺全程硝化和短程硝化模式下反硝化除磷研究 ..... 曾薇, 王向东, 张立东, 李博晓, 彭永臻 (3513)

活性污泥胞外聚合物 (EPS) 的分层组分及其理化性质的变化特征研究 ..... 袁冬琴, 王毅力 (3522)

有机负荷条件对间歇式气提内循环反应器中好氧颗粒污泥形成的影响 ..... 刘孟媛, 周丹丹, 高琳琳, 马德方, 张予萌, 李克宇 (3529)

厌氧污泥降解解动力学与生物多样性研究 ..... 曹新垵, 杨琦, 郝春博 (3535)

雌二醇在土壤/沉积物中的吸附特征及猪粪 DOM 对吸附的影响 ..... 张丰松, 李艳霞, 黄泽春, 杨明 (3542)

近海沉积物对粪固醇的等温吸附和热力学研究 ..... 张晓蕾, 薛文平, 徐恒振, 马新东 (3547)

甲苯在北京褐潮土中的运移分布及其 STOMP 模拟研究 ..... 韩春媚, 冉娟, 张慧, 李发生, 李雁, 谷庆宝 (3554)

聚丙烯酸钠为结合相的梯度扩散薄膜技术预测甘蔗田土壤中镉的生物有效性 ..... 王芳丽, 宋宁宁, 赵玉杰, 张长波, 沈跃, 刘仲齐 (3562)

土壤改良剂及其组合原位钝化果园土壤中的 Pb、Cd ..... 汤民, 张进忠, 张丹, 陈舜, 张训, 刘万平, 余建 (3569)

基于不同通车时间的路旁土壤重金属健康风险: 以连霍高速郑州—商丘段为例 ..... 谷蕾, 仝致琦, 宋博, 马建华 (3577)

生活污水污泥制备的生物质炭对红壤酸度的改良效果及其环境风险 ..... 卢再亮, 李九玉, 姜军, 徐仁扣 (3585)

沉积物中多环芳烃对反硝化功能基因垂直分布的影响 ..... 吴艳阳, 吴群河, 黄珊, 叶嘉欣, 张恒军, 张仁铎 (3592)

阴离子黏土(层状双氢氧化物)对鲑鱼精 DNA 在重金属作用下的保护作用研究 ..... 唐旖旎, 吴平霄, 朱能武 (3598)

预处理后生物成因施氏矿物的矿物学特征及对 As(III) 吸附的影响 ..... 梁剑茹, 李浙英, 刘奋武, 周立祥 (3606)

铜绿假单胞菌 ZGKD2 的重金属耐性机制研究 ..... 张玉秀, 王姣, 柴团耀, 张倩, 刘金光, 李霞, 白志强, 苏增健 (3613)

1 株 1,2-二氯乙烷降解菌的分离及降解特性研究 ..... 王小春, 陈东之, 金小君, 陈建孟 (3620)

PCBs 降解菌的筛选及其降解特性研究 ..... 史舜燕, 冯流, 龚吉 (3627)

青草沙水库蓄水期间细菌群落结构变化的初步研究 ..... 彭青, 谢冰, 袁琦, 黄智婷, 崔璐璐, 王文婷 (3634)

华北平原玉米-小麦轮作农田 N<sub>2</sub>O 交换通量的研究 ..... 裴淑玮, 张圆圆, 刘俊锋, 伦小秀, 牟玉静 (3641)

影响南京地区的两次典型空气污染过程分析 ..... 王飞, 朱彬, 康汉清, 高晋徽, 王瑛, 江琪 (3647)

济南市夏季环境空气 VOCs 污染特征研究 ..... 刘泽常, 张帆, 侯鲁健, 刘玉堂, 吕波 (3656)

活性炭分解臭氧机制研究 ..... 刘海龙, 张智辉, 张忠明, 焦媛媛, 王瑞军 (3662)

大气 O<sub>3</sub> 浓度升高对 2 种基因型矮菜豆丛枝菌根 (AM) 结构及球囊霉素蛋白产生的影响 ..... 王鹏腾, 刁晓君, 王曙光 (3667)

铝胁迫下外源钙对外生菌根真菌抗氧化保护酶活性的影响 ..... 王明霞, 黄建国, 袁玲, 周志峰 (3675)

锌冶炼不同群落生境蟋蟀汞污染 ..... 郑冬梅, 李昕馨, 罗庆 (3680)

《环境科学》征订启事 (3313) 《环境科学》征稿简则 (3322) 信息 (3328, 3512, 3561, 3640)

## 影响南京地区的两次典型空气污染过程分析

王飞, 朱彬\*, 康汉清, 高晋徽, 王瑛, 江琪

(南京信息工程大学气象灾害省部共建教育部重点实验室, 南京 210044)

**摘要:** 2009 年 10 月下旬与 11 月上旬, 南京及其周边地区接连经历了两次严重的空气污染过程. 第一次污染过程表现为持续性灰霾天气, 第二次污染过程主要受秸秆焚烧和区域输送的混合影响. 利用地面污染监测数据、气象要素观测资料、卫星遥感火点资料结合后向轨迹模式, 采用聚类分析的方法讨论了局地源及区域输送对两次污染过程的影响. 结果表明, 两次污染过程积聚模态气溶胶数浓度较高, 与该地区之前观测结果比较气溶胶浓度峰值向大粒径偏移. 两次过程  $PM_{2.5}$  中  $SO_4^{2-}/NO_3^-$  的值分别为 1.30 和 0.99. 第一次污染过程受偏东、偏南方向局地排放源的影响,  $\leq 0.1 \mu m$  的气溶胶粒子逐渐累积. 第二次污染过程主要受东北方向短距离输送与西南方向局地排放的混合影响, 尤其是来自偏南方向气溶胶数浓度较高,  $\geq 0.1 \mu m$  粒子尤为明显, 说明秸秆焚烧的排放源主要来自此方向.

**关键词:** 气溶胶; 空气污染过程; 后向轨迹; 聚类分析; 南京地区

中图分类号: X51 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)10-3647-09

## Analysis of the Impact of Two Typical Air Pollution Events on the Air Quality of Nanjing

WANG Fei, ZHU Bin, KANG Han-qing, GAO Jin-hui, WANG Yin, JIANG Qi

(Key Laboratory of Meteorological Disaster of Ministry of Education, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China)

**Abstract:** Nanjing and the surrounding area have experienced two consecutive serious air pollution events from late October to early November in 2009. The first event was long-lasting haze pollution, and the second event was resulted from the mixed impact of crop residue burning and local transportation. The effects of regional transport and local sources on the two events were discussed by cluster analysis, using surface meteorological observations, air pollution index, satellite remote sensing of fire hot spots data and back trajectory model. The results showed that the accumulation-mode aerosol number concentrations were higher than those of any other aerosol modes in the two pollution processes. The peak value of aerosol particle number concentrations shifted to large particle size compare with the previous studies in this area. The ratio of  $SO_4^{2-}/NO_3^-$  was 1.30 and 0.99, indicating that stationary sources were more important than traffic sources in the first event and the reverse in the second event. Affected by the local sources from east and south, the particle counts below  $0.1 \mu m$  gradually accumulated in the first event. The second event was mainly affected by a short-distance transport from northeast and local sources from southwest, especially south, the concentration of aerosol particles was higher than those in other directions, indicating that the sources of crop residue burning were mainly in this direction.

**Key words:** aerosols; air pollution process; back trajectory; cluster analysis; Nanjing area

空气中高浓度的气溶胶粒子会导致大气能见度下降、灰霾天气增加等环境污染问题, 同时可以引发人体呼吸系统和心血管疾病, 对人体健康造成危害<sup>[1]</sup>. 近年来, 气溶胶污染的形成机制与气象条件的关系已引起不同领域科学家的广泛关注<sup>[2-6]</sup>.

大气气溶胶有着众多的自然源和人为源, 例如火山的喷发、海水的溅沫、地表的扬尘、生物体的燃烧及人类活动、燃料的使用等过程产生的各种颗粒物<sup>[7]</sup>. 但是确定某一污染过程中气溶胶的来源和浓度分布等特征有很大的困难, 这主要由于气溶胶在许多方面(如化学成分、粒子尺度分布、光学特性、吸湿性等)存在着密切的相关. Baik 等<sup>[8]</sup>认为  $PM_{2.5}$  中的水溶性化合物具有很强的吸湿性, 其含量和粒径会随相对湿度的升高而增加, 从而导致大气

消光系数增加, 能见度降低. Kiehl 等<sup>[9]</sup> 计算表明, 粒子的平均大小和化学中和特性的变化对气溶胶的光学性质有很大影响.

之前许多学者的研究主要集中在气溶胶光学厚度、谱分布特征、成分等理化性质和气溶胶与气候效应的数值模拟等方面, 但是对气溶胶污染物的来源研究较少. 已有研究<sup>[10,11]</sup> 表明, 大气气溶胶的时空分布与输送轨迹密切相关. 研究一个地区的气溶胶输送

收稿日期: 2011-12-18; 修订日期: 2012-03-12

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(41030962); 国家自然科学基金项目(41005089); 教育部高等学校博士学科点专项科研基金项目(20093228110003); 江苏省高校“青蓝工程”项目; 江苏高校优势学科工程项目(PAPD)

作者简介: 王飞(1988~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为大气环境与气溶胶, E-mail: wf2775@gmail.com

\* 通讯联系人, E-mail: binzhu@nuist.edu.cn

过程对确定该地区污染气溶胶的来源非常重要。一些学者利用后向轨迹模式模拟了不同方向远-近距离输送对研究地区气溶胶浓度的影响以及给该地区空气质量带来的变化<sup>[12,13]</sup>。有些学者运用统计学方法将相关轨迹的气溶胶数据提取出来,结合聚类分析的方法对研究区域的气溶胶和输送轨迹的变化规律进行了讨论<sup>[14,15]</sup>。可以说,轨迹模拟与聚类分析已成为研究区域性空气污染问题的重要手段之一。

近年来南京地区空气质量总体上略有好转,但由于其特殊的地理位置及日益增长城市规模,使得一旦遇到不利的气象条件,就会有污染事件频发。本研究选取了2009年10月下旬与11月上旬发生在南京地区的两次严重的污染事件,对影响两次污染过程的气象因素、污染气体、气溶胶浓度及其粒子成分进行对比,并应用轨迹模拟与聚类分析的方法,结合各尺度气溶胶数浓度及卫星遥感火点数据,分析了不同来向的气团对两次污染过程的影响。

## 1 材料与方法

本研究的空气污染指数(API)数据来源于中国环境保护部数据中心。地面气象数据来源于南京信息工程大学校园内中国气象局气象探测试验基地(南京),气溶胶数浓度和质量浓度采样点位于同为校园内的气象楼,二者距离约1 km。校园东北方向约3 km处为南京化工园区,东门距气象楼约200 m处为宁六高速公路,日均车流量约5万辆<sup>[16]</sup>。西南方向约2 km处为龙王山,最高点海拔114 m。其余方向为农田或居民区。能见度测量仪器为OBSERVATOR公司的VFP730,测量范围为10 m~75 km。

测量气溶胶质量浓度的仪器为Andersen-II型9级撞击采样器,尺度范围分为0.0~0.43 μm、0.43~0.65 μm、0.65~1.1 μm、1.1~2.1 μm、2.1~3.3 μm、3.3~4.7 μm、4.7~5.8 μm、5.8~9.0 μm、9.0~10 μm。Andersen撞击器的尺度是相对于密度为1 g·cm<sup>-3</sup>球形粒子的空气动力学等效直径,采样流量为28.3 L·min<sup>-1</sup>。收集了所有尺度范围内的气溶胶粒子,并得到粒径<2.1 μm的细粒子(PM<sub>2.5</sub>)、粒径>10 μm的粗粒子(PM<sub>10</sub>)的质量浓度。采样时间为每天07:30~22:00,采样前后均将滤膜进行恒温恒湿处理后称重,称重使用瑞士Mettler Toledo MX5型微量天平,每次称量前用标准砝码进行仪器校准。采样前后滤膜的质量差即为采集的颗粒物质量。

利用美国MSP公司生产的宽范围粒径谱仪

(wide-range particle spectrometer, WPS)测量气溶胶数浓度。WPS测量直径在0.01~10 μm之间的气溶胶粒子数浓度。仪器主要由微分迁移率分析仪(DMA)、凝结核计数器(CPC)和激光颗粒光谱仪(LPS)组成,DMA和CPC的测量范围为0.01~0.5 μm,LPS的测量范围为0.35~10 μm。二者在其交叉范围内的观测值有所差异。本次观测将测量范围0.01~10 μm分为67档,设定采样频率为5 min。以上所有数据均为同步采集。

本研究采用美国国家大气海洋和大气管理署(NOAA)开发的hybrid single-particle lagrangian integrated trajectory(HYSPLIT)<sup>[17]</sup>轨迹模式Version 4.9进行气流与轨迹模拟。该模式具有多种气象输入场、物理过程和不同类型排放源,且拥有较完整的输送、扩散和沉降过程,可进行气流后向轨迹模拟。该模式被广泛应用于大气输送研究及污染过程分析中<sup>[18,19]</sup>。

模拟高度和轨迹运行时间的选取对HYSPLIT模式的模拟精度有很大影响。一般来讲,城市上空300 m以上主要以大尺度远距离输送为主,100 m以下则主要受城市尺度近距离污染源输送影响<sup>[20]</sup>。本研究的后向轨迹模拟高度选取为300 m,即可反映气流的区域性流动特征,又可减小下垫面摩擦力的影响<sup>[21]</sup>。由于延长轨迹的模拟时间可充分反映污染物的远距离输送,但会导致模拟精度的降低。为了对比两次典型污染周边地区对南京的输送,用该模式计算了从2009年的10月20~30日、11月3~9日的逐时12 h后向轨迹,并与气象要素进行对比。

为分析两次污染事件污染物的不同来源,本文对后向轨迹采用了聚类分析的方法。聚类分析是一种多元统计技术。该方法根据气团水平移动速度和方向对轨迹进行分类而得到不同的输送轨迹组,从而估计大气污染物(如气溶胶)的潜在源区<sup>[15]</sup>。分组遵循组间差异极大、组内差异极小的原则<sup>[22]</sup>。为了解造成两次污染的输送路径差异,对2009年的10月20~30日、11月3~9日的72 h后向轨迹进行分类,后向轨迹资料的时间间隔为1 h。考虑到边界层内的扩散与混合,轨迹起始点设置在海拔1 km,对应该地区边界层的中上部。

## 2 结果与讨论

### 2.1 污染过程概述

#### 2.1.1 气象条件

2009年10月下旬与11月上旬,南京及其周边

表 1 观测期间特殊天气及其发生时间  
Table 1 Special weather and its time of occurrence during the observation

日期 (年-月-日)	发生时间	天气状况	降水量 /mm
2009-10-25	06:00 ~ 09:00	雾、霾	
2009-10-26	05:00 ~ 08:00	雾、霾	
2009-10-28	02:00 ~ 04:00; 07:00 ~ 08:00	霾	
2009-10-29	07:00 ~ 08:00	霾	
2009-10-30	05:00 ~ 10:00	雾、霾	
2009-10-31	20:00 ~ 23:00	中雨	5.0
2009-11-01	01:00 ~ 05:00	中雨	0.6
2009-11-08	02:00 ~ 10:00	霾	
2009-11-09	02:00 ~ 08:00	霾	11.0
	14:00 ~ 20:00	中雨, 雷暴	
2009-11-10	全天	霾	23.0
2009-11-11	03:00 ~ 09:00	中雨	0.5
2009-11-12	14:00 ~ 23:00	小雨	10.0
2009-11-13	00:00 ~ 03:00	中雨	0.1
2009-11-15	16:00 ~ 23:00	中雨	12.0
2009-11-16	全天	小~中雪	10.0
2009-11-17	00:00 ~ 03:00	小雪	

地区接连经历了两次严重的空气污染过程。10月19日~11月18日,南京地区的API指数平均值达到103,为轻微污染,30d内空气质量在国家三级标准以上的天数超过53%达到16d。自10月20日起,南京地区连续11d为污染超标日(空气质量为3级或以上,空气质量状况为轻微污染或以上),为近10年来首次出现,已构成持续污染(污染超标日连

续在3d以上)。10月31日一场大范围的冷锋过境来大风和降水过程,大气中颗粒物浓度显著下降,直至11月4日南京地区空气质量都保持在国家二级标准范围内。此后API指数逐渐上升,11月8日达到319,为1a中污染最严重。尹聪等<sup>[23]</sup>认为,此次污染主要来源为秸秆焚烧,受秸秆焚烧和区域输送的混合影响。11月10日以后,南京地区多次出现不同程度的降水,API指数迅速下降并保持平稳,至此污染过程结束。表1为观测过程中特殊天气统计,两次污染过程中的天气现象不尽相同。API指数较高的10月25~30日每天都伴随有霾(部分时间有雾)过程发生,从图1中可以看出这几日气溶胶数浓度、质量浓度较高,能见度呈逐渐下降趋势,风速较低,平均为 $1.6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,风向以东、南风为主。10月31日夜一场大风伴随着强降水的到来使得污染浓度迅速下降,此间平均风速达到 $3.3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,以偏北风为主,能见度达到最高值,空气洁净。从11月3日开始,空气质量再次下降,气溶胶数浓度、质量浓度先后达到峰值,平均风速为 $2.1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,高于第一次污染过程,风向以偏南风为主。直至9日夜,风向转为偏东北并伴随着中雨、雷暴等强对流天气,风速迅速上升,10日风速达到最高的 $5.3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。此后降水较多,15日甚至出现了入秋以来第一场降雪,湿度上升,温度下降,较多的湿清除过程使得大气中气溶胶数浓度、质量浓度下降,空气质量转好。

污染物的扩散能力和大气稳定程度主要由大气

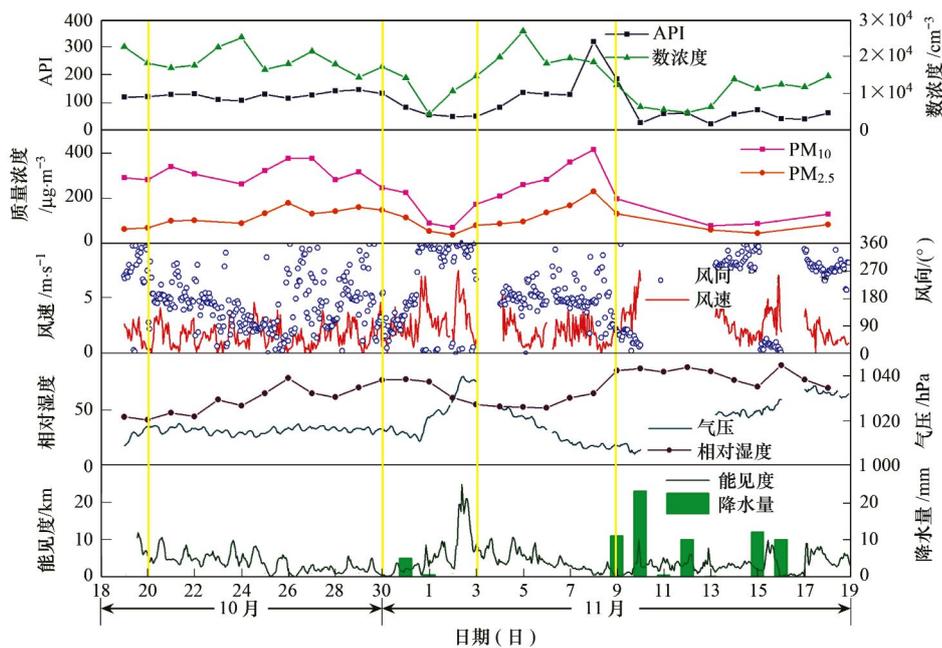
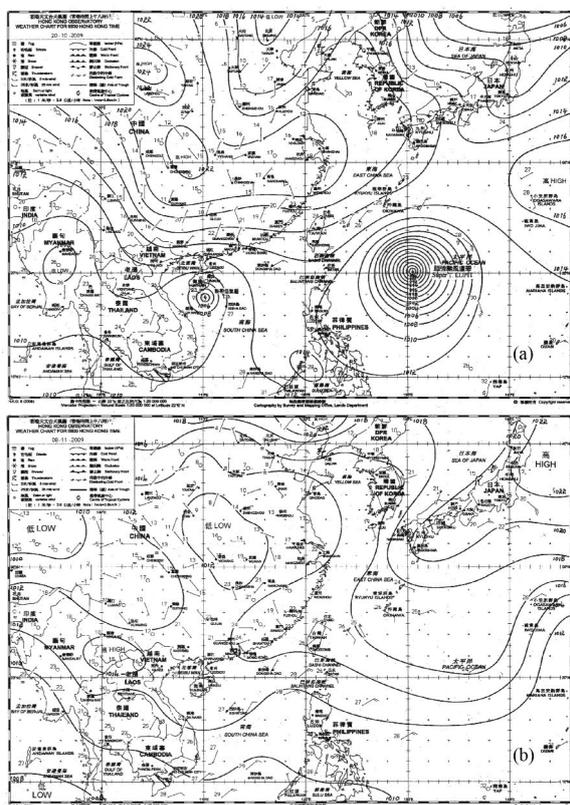


图 1 API 指数、气溶胶数浓度、质量浓度、气象要素时间序列

Fig. 1 Time series of API, aerosol number concentration, mass concentration and meteorological variables

环流特征决定<sup>[24]</sup>. 图 2(a) 为 2009 年 10 月 20 日 08:00 的地面气压场, 其中南京地区位于高压东北部, 等压线稀疏, 地面风速较小, 10 月 20~30 日的平均变压只有 2.6 hPa(图 1), 此次污染过程主要处于高压均压场控制中. 图 2(b) 为 2009 年 11 月 8 日 08:00 的地面气压场, 南京地区位于低压东部, 等压线稀疏, 24 h 变压 2.5 hPa, 受低压均压场控制. 该日南京地区污染最严重, API 指数达到 319. 选取图 2 的两幅地面天气图分别代表两次污染过程. 稳定的高压均压场和稳定的低压均压场是形成我国中尺度乃至大尺度重污染的主要天气系统<sup>[25]</sup>. 均压场往往会导致地面风速较小(两次污染过程平均风速均小于  $2.1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), 低层大气稳定, 不利于大气输送和污染物扩散.



(a) 2009 年 10 月 20 日 08:00; (b) 2009 年 11 月 8 日 08:00

图 2 地面气压场

Fig. 2 Surface weather patterns over the eastern Asia

### 2.1.2 污染气体及气溶胶化学特性

一般来讲, 污染事件的发生伴随着各项污染指标的升高. 图 3 为观测期间常规污染气体 ( $\text{O}_3$ 、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_2$ ) 及  $\text{PM}_{2.5}$  中主要阴离子质量浓度的时间序列. 两次污染过程中污染气体浓度、 $\text{PM}_{2.5}$  浓度、阴离子的总质量浓度均达到峰值.  $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$  的比值在第一次污染过程与第二次污染最严重的几天

均呈明显上升趋势, 细粒子浓度的升高是造成该季节南京地区污染事件发生的原因之一. 影响第一次污染过程的污染气体以  $\text{SO}_2$  为主, 阴离子质量浓度  $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{F}^- > \text{NO}_2^-$ , 对  $\text{PM}_{2.5}$  的平均贡献率分别为: 14.1%、10.8%、1.71%、1.43%、0.82%; 第二次污染过程气体浓度  $\text{NO}_x > \text{SO}_2$ , 阴离子浓度  $\text{NO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_2^- > \text{F}^-$ , 对  $\text{PM}_{2.5}$  的平均贡献率较第一次有所下降, 分别为: 10.5%、10.4%、1.16%、0.48%、0.35%.

$\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{NO}_3^-$  为二次气溶胶, 是大气气溶胶中主要的阴离子, 可以反映人类活动对大气环境的影响. 二者的质量比可以作为判别固定源与移动源对大气中硫和氮贡献量的大小的依据. 如果  $\text{SO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$  的比值较高, 说明固定源对大气中  $\text{SO}_2$  和  $\text{NO}_x$  的贡献大于移动源; 反之, 如果  $\text{SO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$  的比值较低, 说明  $\text{SO}_2$  和  $\text{NO}_x$  主要来自移动源<sup>[26]</sup>. 此次观测期间, 两次污染过程平均  $\text{SO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$  的比值为 1.30 和 0.99. 说明第一次污染过程以固定源为主, 第二次污染过程主要受移动源的影响. 与国内其他城市秋冬季节结果相比, 远低于重庆市<sup>[27]</sup>、西安市<sup>[28]</sup> 的 4.61 和 3.00, 与上海市<sup>[29]</sup> 的 1.64 相近. 尤其是第二次污染过程,  $\text{NO}_3^-$  所占比例非常高, 分析原因可能与该地区受到秸秆焚烧的影响有关, 有待进一步观测验证. 曹国良等<sup>[30]</sup> 统计了近年来源于农田秸秆焚烧排放的污染物占总排放比例分别为:  $\text{NO}_x$  3.63%,  $\text{SO}_2$  0.05%. 这主要由于近年来大量含硫很低或不含硫的高浓度化肥如磷铵、尿素等的施用, 使我国土壤中的硫供需平衡出现失衡, 硫分一直处于亏损状态<sup>[31]</sup>.

### 2.2 轨迹模拟

为了对比两次污染过程中污染物的局地来源与输送路径, 选取 2009 年的 10 月 20~30 日、11 月 3~9 日分别代表两次污染过程, 以南京市为目标城市, 利用 HYSPLIT 模式运行每日逐时气团移动的 12 h 后向轨迹, 模拟结果的水平分量如图 4 所示. 对比两次污染过程中风向频率统计结果发现, 模式对气流输送的模拟值与风向频率较为吻合, 模拟效果较好. 第一次污染过程主要受偏东与偏南方向气流影响, 轨迹普遍较短, 说明多受局地源排放影响, 各方向上风向频率分布差别不大, 只在 E 与 S 方向上的风向频率达到 15.6% 和 14.4%. 11 月 3 日以后, 原来偏东方向的轨迹向北偏转, 偏南方向的气流继续加强, 东北方向轨迹较长说明气团移动速度快, 该方

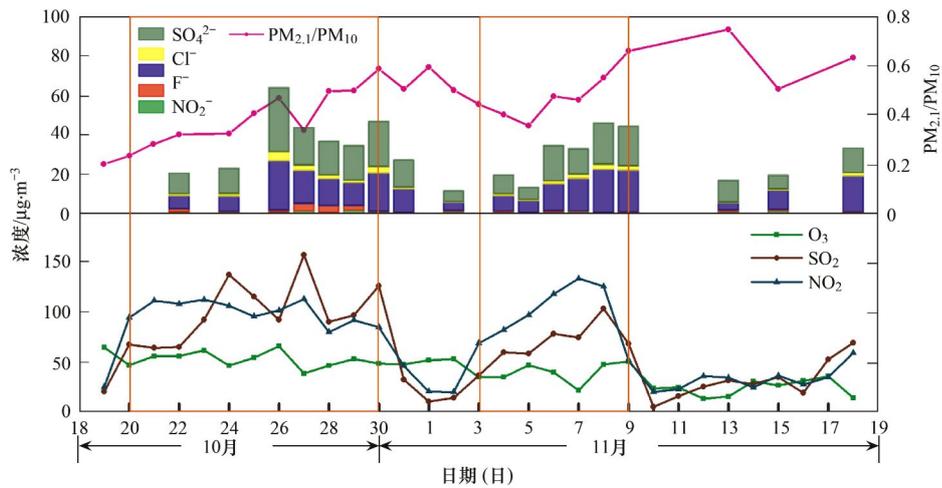


图3 污染气体及气溶胶化学特性时间序列

Fig. 3 Time series of  $PM_{2.1}/PM_{10}$ ,  $O_3$ ,  $SO_2$ ,  $NO_2$  and aerosol chemical properties

向的污染主要为近距离输送. 从图 4(b)可以看出, 影响第二次污染过程的风向主要为 S 和 ENE, S 风向上的频率最大, 达到 27.5%, 而 ENE 方向风频仅为 8.7%.

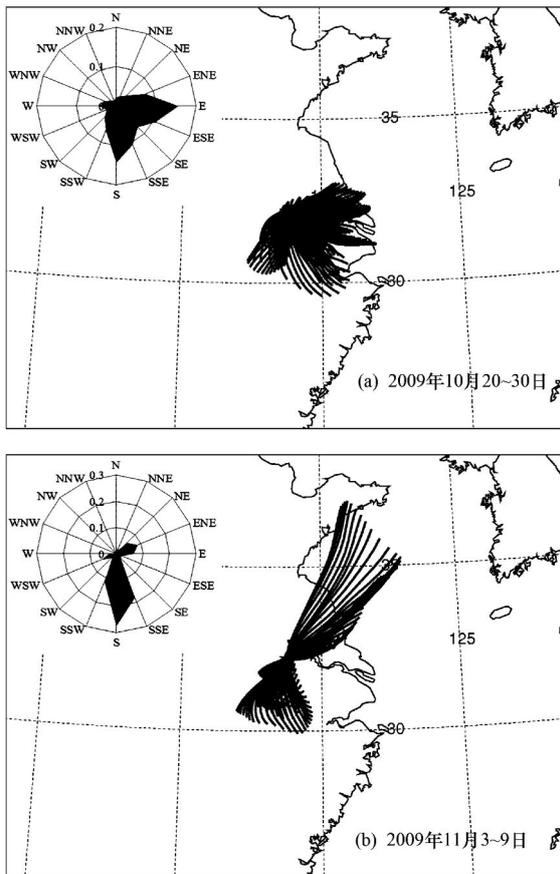


图4 以南京为起点的 12 h 气团后向轨迹及南京地区风向频率统计

Fig. 4 12-Hour backward trajectories and statistics of wind direction frequency in Nanjing area

污染过程的后向轨迹分布与该地区的地理位置和季风气候是相适应的, 南京地区位于西风带上, 又属于季风气候, 秋冬季节应以西北、偏北风为主. 但是从后向轨迹和风向频率来看这两次严重的污染过程均不是以西北方向气流为主要影响, 由此可见, 风向的异常容易导致严重污染事件的发生.

### 2.3 影响两次污染过程的气溶胶数浓度对比

图 5 为两次污染过程中气溶胶数浓度的谱分布, 两次过程的谱型相近, 呈现出明显的双峰分布, 最大峰值出现在  $0.1 \mu m$  左右, 而以往该地区观测到的气溶胶数浓度峰值一般  $< 0.1 \mu m$  [23,24]. 最大峰值出现以前,  $N_1$  (第一次污染过程中气溶胶粒子数浓度)  $> N_2$  (第二次污染过程中气溶胶粒子数浓度), 而达到最大峰值之后,  $N_1 < N_2$ . 说明  $\leq 0.1 \mu m$  的气溶胶对第一次污染过程的影响大于第二次,  $\geq 0.1 \mu m$  的气溶胶两次过程则相反. 将测量范围内 ( $0.01 \sim 10 \mu m$ ) 所有气溶胶粒子分为核膜态 ( $0.01 \sim 0.02 \mu m$ )、爱根核模态 ( $0.02 \sim 0.1 \mu m$ )、积聚

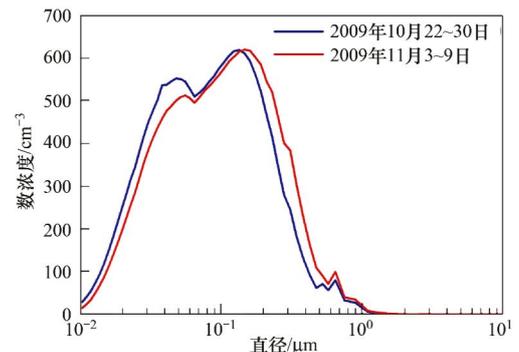


图5 两次污染过程气溶胶数浓度谱对比

Fig. 5 Spectrum distribution of aerosol in the two pollution processes

模态(0.1~1 μm)和粗模态(1~10 μm),并与该地区其他时次观测结果比较(表2). 这两次污染过程中核膜态与爱根核模态气溶胶数浓度较低,而积聚模态气溶胶粒子明显高于除2006年以外的其他观测时段. 猜想两次污染过程中粒径在核膜态和爱根核模态气溶胶粒子通过相互碰撞、凝结等过程逐渐增长为积聚模态的气溶胶,而灰霾天气、持续污染等因素可能有利于该过程的发生,导致气溶胶数浓度谱峰值向大粒径范围偏移. Wu等<sup>[36]</sup>研究北京地

区秋季污染事件中发现,气溶胶粒子在局地传输过程中不断凝结增大,造成积聚模态气溶胶浓度显著升高. 两次污染过程中不同粒径段气溶胶数浓度有所差别,总浓度 N<sub>1</sub> 略大于 N<sub>2</sub>,核膜态与爱根核模态气溶胶数浓度 N<sub>1</sub> > N<sub>2</sub>,说明受灰霾天气与持续污染的影响,第一次污染过程主要为 ≤0.1 μm 超细粒子的累积;积聚模态与粗模态气溶胶数浓度 N<sub>1</sub> < N<sub>2</sub>,说明秸秆焚烧对污染过程的贡献主要集中在 ≥0.1 μm 的粗粒子范围.

表2 本研究与南京地区其他观测时期气溶胶数浓度比较<sup>1)</sup>/cm<sup>-3</sup>

Table 2 Comparisons of particle number concentrations between this study and other studies in Nanjing area/cm<sup>-3</sup>

粒径范围/μm	时段1	时段2	2006年 <sup>[32]</sup>	粒径范围/μm	2007~2008年 <sup>[35]</sup>	粒径范围/μm	2008年 <sup>[34]</sup>	粒径范围/μm	2010年 <sup>[33]</sup>
0.01~0.02	1 244	915	9 686	0.01~0.1	17 240	0.01~0.02	17 394	0.01~0.02	3 151
0.02~0.1	10 363	9 333	26 232	0.1~1	4 668	0.02~0.08	31 467	0.02~0.1	9 776
0.1~1	7 039	8 248	9 187			0.08~2	4 118	0.1~0.5	2 230
1~10	16	18	7	1~10	2	2~10	1	0.5~2.5	110
总数	18 662	18 514	45 112	总数	21 910	总数	52 980	总数	15 267

1)时段1: 2009年10月20~30日;时段2:2009年11月3~9日

本研究中指出风向的异常是导致两次污染过程发生的原因之一. 为了探讨不同方向、流速的气团对气溶胶数浓度的影响,将两次污染过程中风向-风速-气溶胶数浓度雷达图进行对比(图6). 图中的颜色变化代表气溶胶数浓度,不同方向上距离圆心的长度代表风向、风速. 可以看出第二次污染过程期间的风速普遍大于第一次污染过程[为了与图6(a)进行对比,图6(b)中的风速区域并未完全显示,只给出了风速 < 5 m·s<sup>-1</sup> 范围的雷达图],风速较小时 (< 1 m·s<sup>-1</sup>),气溶胶数浓度普遍较高;风速为 1~2 m·s<sup>-1</sup>时,部分风向上气溶胶数浓度达到最高. 地面风场较小或静风条件下,低层大气层结稳定,不利于污染物扩散. 第一次污染过程[图6(a)]主要受东

南方向气流影响,尤其在 ESE 与 SE 风向范围,不论风向大小,气溶胶数浓度都较高. 相反若污染期间风向为西北方向,风速 > 1 m·s<sup>-1</sup>,则气溶胶数浓度较低,普遍小于 1.5 × 10<sup>4</sup> cm<sup>-3</sup>. 结合图4风向频率可以认为,东、南等来向的气流为第一次污染过程的主要污染气团,而西北来向的少量气流起到清洁作用. 第二次污染过程[图6(b)]中,使气溶胶数浓度上升的主要风向为 NNE、SE 和 SSW,当风速在 1 m·s<sup>-1</sup>左右,风向为 NE 时,气溶胶数浓度达到最大值,超过 3.5 × 10<sup>4</sup> cm<sup>-3</sup>. 偏北、偏南和东北方向在风速较大时对应的数浓度较低.

利用 HYSPLIT 模式对两次污染过程进行 72 h 后向轨迹计算,时间间隔为 1 h,将计算结果进

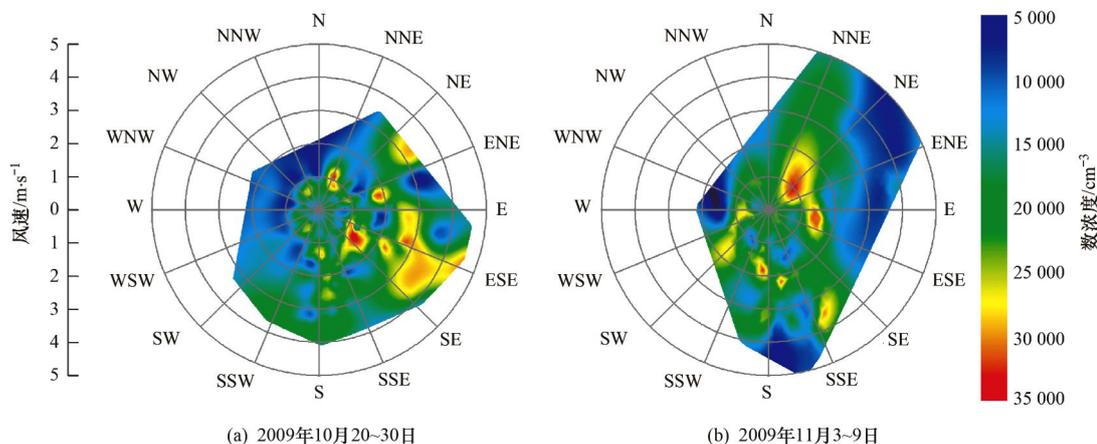


图6 风向-风速-气溶胶数浓度雷达图

Fig. 6 Distributions of wind direction, wind speed and particle number concentrations

行聚类分析,分别得到 3 组不同的后向轨迹,各组轨迹的水平分量分布图如图 7 所示,其中括号内的百分数表示各类型轨迹出现的平均值. 轨迹水平分量经过的路线和方向表示气团在到达本地以前所经过的地区,根据其长短可以判断气团

移动的速度,长得轨迹对应移动速度快的气团,短的轨迹对应气团移动速度较慢. 将聚类前每条轨迹对应时次的气溶胶数浓度数据按聚类分析后的类型进行分类,得到各类型气溶胶数浓度的平均值(图 8).

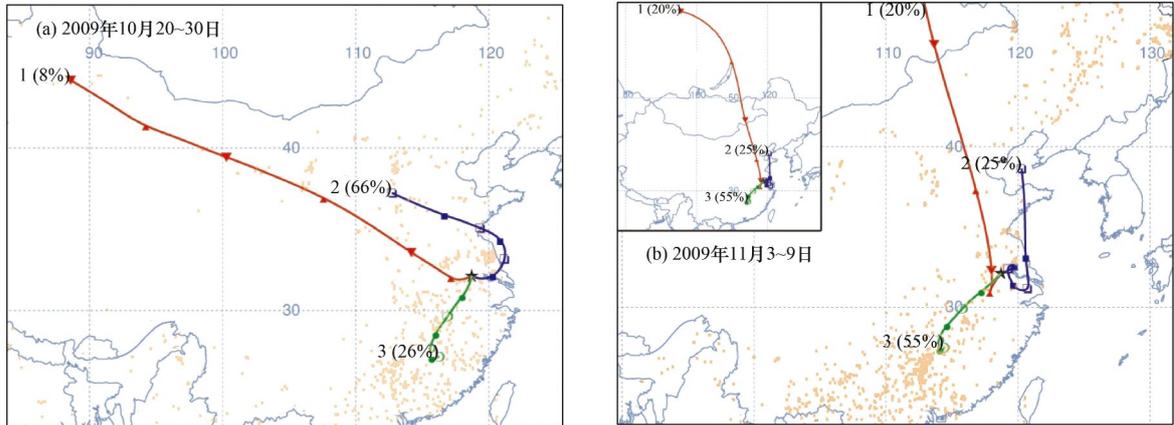
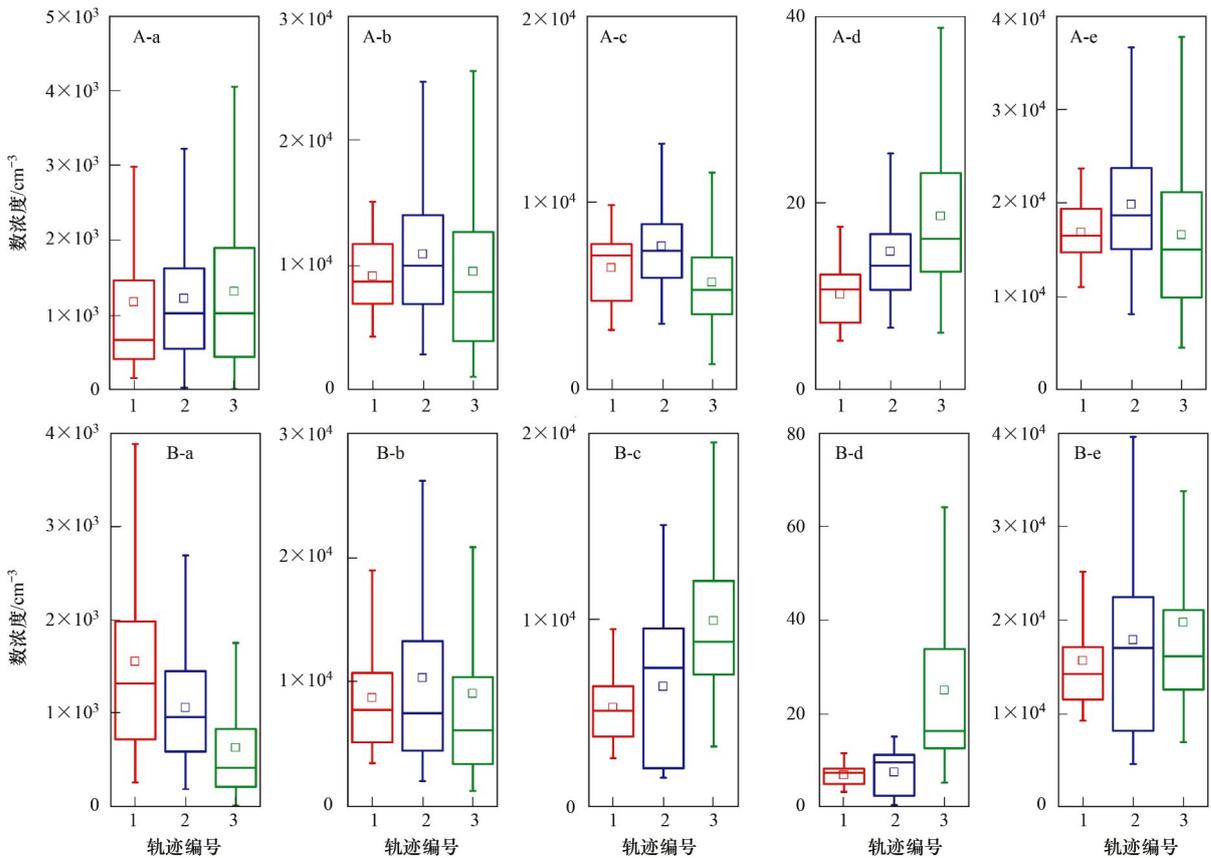


图 7 72 h 后向轨迹聚类及 MODIS 卫星火点分布

Fig. 7 Distributions of 72-hour cluster-mean back-trajectories and fire hot spots imaged by MODIS satellite



A:2009 年 10 月 20 ~ 30 日; B:2009 年 11 月 3 ~ 9 日; a:核模态; b:爱根核模态;c:积聚模态;d:粗模态; e:所有粒径范围. 每一组箱线代表一种轨迹类型下的数据,盒子内的横线代表中值,实心正方形代表平均值,盒子上下边分别代表浓度大小在 25% 和 75% 的值,盒子上下延伸虚线分别表示浓度在 10% 和 90% 的值

图 8 各输送类型对应不同粒径范围气溶胶数浓度箱线图

Fig. 8 Box-whisker plots of track types corresponding to particle number concentration in different size ranges

气流在两次污染过程的输送路径不尽相同,而不同方向轨迹对应的不同范围气溶胶数浓度也存在显著差异. 影响第一次污染过程主要为 2 号轨迹,自山西经河北向东,遇海后向西南偏转,经上海后输送至南京,出现频率达到 66%. 该条轨迹在输送过程中经过海洋,所以海盐携带的  $\text{Cl}^-$  不可忽视,从图 3 可以看出两次污染过程  $\text{Cl}^-$  的浓度相近,而生物质燃烧会产生大量的  $\text{Cl}^-$ ,可以间接说明秸秆焚烧对第二次污染过程的影响较大. 其次为来自西南方向的 3 号类型,占总轨迹数的 26%. 来自西北方向的气流移动速度快,轨迹最长,但出现频率只占总数的 8%,说明该类型对污染过程的影响较小. 对比各粒径范围气溶胶数浓度可以看出,对气溶胶总数浓度的贡献类型 2 > 类型 1  $\approx$  类型 3,3 种类型在 0.01 ~ 1  $\mu\text{m}$  范围内气溶胶数浓度差异不大,类型 2 对应的数浓度在埃根核模态与积聚模态略高. 西南方向(轨迹 3)气溶胶数浓度在粗模态达到三者中的最大值,说明该方向输送过来的气流以大粒子为主.

第二次污染过程的输送类型也可以分为 3 种,相比第一次过程,污染物的输送路径整体顺时针偏转. 类型 1 仍为长距离输送,自西伯利亚向东南经内蒙古河北在南京南部向东北偏转最后到达南京,20% 的轨迹出现频率为此过程最少. 2 号轨迹较为复杂,自胶东半岛向南经历两个尺度较大的旋转后从偏东方向到达南京,轨迹频率下降为 25%. 西南方向的气流变化不大,但出现频率达到 55%,成为影响第二次污染过程最主要的气流. 从 11 月 3 ~ 9 日的 MODIS 卫星火点图中可以看出,西南方向特别是江西、湖南部分地区有大范围的火点出现,而南京市处于焚烧区域气流输送的下风向,说明此次过程明显受到秸秆焚烧的区域输送的影响. 各条轨迹对气溶胶总数浓度的贡献与其出现频率成正比,分别为类型 3 > 类型 2 > 类型 1. 各粒径段不同类型轨迹对应的浓度差异较大,粒径越小时,类型 1 对应的气溶胶数浓度越大,核膜态气溶胶类型 1 约是类型 3 的 2.5 倍;随着粒径的增长,类型 3 对应的气溶胶数浓度逐渐增加,在粗模态范围,类型 3 约为类型 1 与类型 2 的 3.6 和 3.3 倍(类型 3 对应的气溶胶数浓度甚至占到该范围总气溶胶数浓度的 64%).

### 3 结论

(1) 两次污染过程期间,南京地区发生了不同程度的灰霾天气,都处于高(低)压均压场的控制下,近地面风速较小,大气层结稳定,相对湿度高,不

利于污染物的扩散.  $\text{PM}_{2.1}$  中  $\text{SO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$  的值分别为 1.30 和 0.99. 综合分析认为,由于正处于秋收时节,观测期间一定程度上会受到生物质燃烧的影响,第一次污染过程表现为持续性灰霾天气,第二次污染过程为秸秆焚烧和区域输送的混合影响.

(2) 利用 HYSPLIT 模式对南京地区 12 h 后向轨迹模拟结果显示:第一次污染过程主要受偏东、偏南方向局地排放源的影响;第二次污染过程主要受东北方向短距离输送与西南方向局地排放的混合影响. 风向的异常是导致这两次污染事件发生的原因之一.

(3) 相比南京地区的其他观测时段,这两次污染过程积聚模态气溶胶浓度较高,核膜态与爱根核模态粒子相互碰撞、凝结是导致气溶胶浓度峰值向大粒径偏移的原因之一. 第一次污染过程受持续性灰霾天气的影响,主要为 < 0.1  $\mu\text{m}$  超细粒子的累积;秸秆焚烧产生的气溶胶对第二次污染的贡献主要集中在 > 0.1  $\mu\text{m}$  的粗粒子范围.

(4) 第一次污染过程受到自山西从偏东方向输送至南京的气流影响最大,西北来向的少量气流起到清洁作用. 西南方向的区域输送使得第二次污染过程气溶胶数浓度较高, > 0.1  $\mu\text{m}$  粒子尤为明显,说明秸秆焚烧排放源主要来源于此方向.

### 参考文献:

- [1] Ruuskanen J, Tuch T, Brink H T, *et al.* Concentrations of ultrafine, fine and  $\text{PM}_{2.5}$  particles in three European cities[J]. *Atmospheric Environment*, 2001, **35**(21): 3729-3738.
- [2] Marcezzan G M, Vaccaro S, Valli G, *et al.* Characterization of  $\text{PM}_{10}$  and  $\text{PM}_{2.5}$  particulate matter in the ambient air of Milan (Italy)[J]. *Atmospheric Environment*, 2001, **35**(27): 4639-4650.
- [3] Salvador P, Artfñano B, Alonso D G, *et al.* Identification and characterization of sources of  $\text{PM}_{10}$  in Madrid (Spain) by statistical methods[J]. *Atmospheric Environment*, 2004, **38**(3): 435-447.
- [4] 黄鹂鸣,王格慧,王荟,等. 南京市空气中颗粒物  $\text{PM}_{10}$ 、 $\text{PM}_{2.5}$  污染水平[J]. *中国环境科学*, 2002, **22**(4): 334-337.
- [5] Akimoto H. Global air quality and pollution[J]. *Science*, 2003, **302**(5651): 1716-1719.
- [6] 周素玉,尚可政,王式功,等. 兰州市主要颗粒污染物( $\text{PM}_{10}$ )重污染的天气形势分析[J]. *高原气象*, 2001, **20**(增刊): 45-50.
- [7] 毛节泰,张军华,王美华. 中国大气气溶胶研究综述[J]. *气象学报*, 2002, **60**(5): 625-634.
- [8] Baik N J, Kim Y P, Moon K C. Visibility study in Seoul, 1993[J]. *Atmospheric Environment*, 1996, **30**(13): 2319-2328.
- [9] Kiehl J T, Briegleb B P. The relative roles of sulfate aerosols and greenhouse gases in climate forcing[J]. *Science*, 1993, **260**

- (5106): 311-314.
- [10] Merrill J T, Kim J. Meteorological events and transport patterns in ACE-Asia[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2004, **109**: D19S18, doi:10.1029/2003JD004124.
- [11] Kim J, Yoon S C, Jefferson A, *et al.* Air mass characterization and source region analysis for the Gosan super-site, Korea, during the ACE-Asia 2001 field campaign [J]. *Atmospheric Environment*, 2005, **39**(35): 6513-6523.
- [12] Buchanan C M, Beverland I J, Heal M R. The influence of weather-type and long-range transport on airborne particle concentrations in Edinburgh, UK [J]. *Atmospheric Environment*, 2002, **36**(34): 5343-5354.
- [13] Baker J. A cluster analysis of long range air transport pathways and associated pollutant concentrations within the UK [J]. *Atmospheric Environment*, 2010, **44**(4): 563-571.
- [14] Brankov E, Rao S T, Porter P S. A trajectory-clustering-correlation methodology for examining the long-range transport of air pollutants [J]. *Atmospheric Environment*, 1998, **32**(9): 1525-1534.
- [15] 石春娥, 姚叶青, 张平, 等. 合肥市 PM<sub>10</sub> 输送轨迹分类研究 [J]. *高原气象*, 2008, **27**(6): 1383-1391.
- [16] 新华网. 宁六公路车流量 30 年增 10 倍 [EB/OL]. [http://www.js.xinhuanet.com/xin\\_wen\\_zhong\\_xin/2008-12/04/content\\_15091047.htm](http://www.js.xinhuanet.com/xin_wen_zhong_xin/2008-12/04/content_15091047.htm).
- [17] Draxler R R. Description of the HYSPLIT\_4 modeling system [R]. NOAA Technical Memorandum. 1997.
- [18] 徐祥德, 周丽, 周秀骥, 等. 城市环境大气重污染过程周边源影响域 [J]. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2004, **34**(10): 958-966.
- [19] Chen L W A, Doddridge B G, Dickerson R R, *et al.* Origins of fine aerosol mass in the Baltimore-Washington corridor: implications from observation, factor analysis and ensemble air parcel back trajectories [J]. *Atmospheric Environment*, 2002, **36**(28): 4541-4554.
- [20] 邓雪娇, 黄健, 吴兑, 等. 深圳地区典型大气污染过程分析 [J]. *中国环境科学*, 2006, **26**(增刊): 7-11.
- [21] 王芳, 陈东升, 程水源, 等. 基于气流轨迹聚类的大气污染输送影响 [J]. *环境科学研究*, 2009, **22**(6): 637-642.
- [22] Dorling S R, Davies T D, Pierce C E. Cluster analysis: a technique for estimating the synoptic meteorological controls on air and precipitation chemistry-method and applications [J]. *Atmospheric Environment*, 1992, **26**(14A): 2575-2581.
- [23] 尹聪, 朱彬, 曹云昌, 等. 秸秆焚烧影响南京空气质量的成因探讨 [J]. *中国环境科学*, 2011, **31**(2): 207-213.
- [24] 朱彬, 苏继峰, 韩志伟, 等. 秸秆焚烧导致南京及周边地区一次严重空气污染过程的分析 [J]. *中国环境科学*, 2010, **30**(5): 585-592.
- [25] 刘兴中, 严从路, 牛玉琴, 等. 南京大气高浓度污染的特征及与气象条件的关系 [J]. *气象科学*, 1992, **12**(1): 107-112.
- [26] Huebert B J, Wang M X, Lv W X. Atmospheric nitrate, sulfate, ammonium and calcium concentrations in China [J]. *Tellus B*, 1988, **40B**(4): 260-269.
- [27] 陶俊, 陈刚才, 钟昌琴. 重庆市大气 TSP 中水溶性无机离子的化学特征 [J]. *中国环境监测*, 2006, **22**(6): 71-74.
- [28] 沈振兴, 霍宗权, 韩月梅, 等. 采暖期和非采暖期西安大气颗粒物中水溶性组分的化学特征 [J]. *高原气象*, 2009, **28**(1): 151-158.
- [29] Ye B, Ji X L, Yang H Z, *et al.* Concentration and chemical composition of PM<sub>2.5</sub> in Shanghai for a 1-year period [J]. *Atmospheric Environment*, 2003, **37**: 499-510.
- [30] 曹国良, 张小曳, 王亚强, 等. 中国区域农田秸秆露天焚烧排放量的估算 [J]. *科学通报*, 2007, **52**(15): 1826-1831.
- [31] 崔岩山, 王庆仁. 土壤与大气环境中硫行为及其对植物的影响 [J]. *中国生态农业学报*, 2002, **10**(3): 80-82.
- [32] 钱凌, 银燕, 童尧青, 等. 南京北郊大气细颗粒物的粒径分布特征 [J]. *中国环境科学*, 2008, **28**(1): 18-22.
- [33] 王飞, 朱彬, 康汉清, 等. APS-SMPS-WPS 对南京夏季气溶胶浓度的对比观测 [J]. *中国环境科学*, 2011, **31**(9): 1416-1423.
- [34] 康汉清, 朱彬, 樊曙先. 南京北郊冬季大气气溶胶及其湿清除特征研究 [J]. *气候与环境研究*, 2009, **14**(5): 523-530.
- [35] 谭稳, 银燕, 郭莉, 等. 南京夏季清洁与污染区气溶胶微物理特征分析 [J]. *环境科学与技术*, 2010, **33**(S1): 280-286.
- [36] Wu Z J, Hu M, Lin P, *et al.* Particle number size distribution in the urban atmosphere of Beijing, China [J]. *Atmospheric Environment*, 2008, **42**(34): 7967-7980.

## CONTENTS

Nutrient Dynamics over the Past 100 Years and Its Restoration Baseline in Dianshan Lake .....	LI Xiao-ping, CHEN Xiao-hua, DONG Xu-hui, <i>et al.</i> (3301)
Possibility of Total Dissolved Solid as one of Nutrient Baselines in Inner Mongolia-Xinjiang Plateau .....	XI Bei-dou, ZHANG Ya-li, XU Qiu-jin (3308)
Fluorescence Discrimination Technique for Phytoplankton Based on the Wavelet Analysis .....	ZHANG Cui, SU Rong-guo, SONG Zhi-jie, <i>et al.</i> (3314)
Analysis of Algae Bloom and Lake Surface Bright Temperature in Chaohu Lake Based on Remote Sensing Data .....	ZHANG Hong, HUANG Yong, LI Kun (3323)
Case Study on Groundwater Health Risk Assessment and Remediation Strategy Based on Exposure Pathway .....	JIANG Lin, ZHONG Mao-sheng, JIA Xiao-yang, <i>et al.</i> (3329)
Pollution Assessment in the Intertidal Zone of Beibu Gulf Using Multi-biomarker Pollution Index .....	DU Xiu-ping, MENG Fan-ping, WANG Zhi-feng, <i>et al.</i> (3336)
Estimation of the Flux of Inorganic Nitrogen Flowing into the East China Sea .....	WU Jia-lin, FANG Qian, SHI Xiao-yong, <i>et al.</i> (3344)
Effects of Ocean Acidification on Growth, Phosphate and Nitrate Uptake of Macroalgae .....	YU Juan, ZHANG Yu, YANG Gui-peng, <i>et al.</i> (3352)
Forms and Distributions of Particulate Phosphorus in the Surface Sediments of North Yellow Sea .....	MENG Jia, YAO Qing-zhen, CHEN Hong-tao, <i>et al.</i> (3361)
Influence of Dredging on Sediment Resuspension and Phosphorus Transfer in Lake; A Simulation Study .....	YU Ju-hua, ZHONG Ji-cheng, ZHANG Yin-long, <i>et al.</i> (3368)
Transportation and Sources of the Suspended Particle in a Karst Spring During a Storm Event .....	YANG Ping-heng, LIU Zi-qi, HE Qiu-fang (3376)
Comparison of Trophic Status Analysis of the Daning River Within the Three Gorges Reservoir Before and After Experimental Impoundment .....	ZHANG Jia-lei, ZHENG Bing-hui, LIU Lu-san, <i>et al.</i> (3382)
Nitrogen and Phosphorus Loss in Different Land Use Types and Its Response to Environmental Factors in the Three Gorges Reservoir Area .....	ZENG Li-xiong, HUANG Zhi-lin, XIAO Wen-fa, <i>et al.</i> (3390)
Research on Stormwater Runoff Quality of Mountain City by Source Area Monitoring .....	LI Li-qing, SHAN Bao-qing, ZHAO Jian-wei, <i>et al.</i> (3397)
Occurrence Form and Ecological Effect of Selenium in Soil and Surface Water of Kailuan Coalfield of Tangshan .....	ZHANG Xiu-zhi, MA Zhong-she, WANG Yin-nan, <i>et al.</i> (3404)
Distribution of Arsenic in Surface Water in Tibet .....	WANG Ming-guo, LI She-hong, WANG Hui, <i>et al.</i> (3411)
Spatial and Temporal Distribution of Trace Elements in Surface Water in the Xilin River Basin .....	XUE Li-yang, WU Jin-kui, ZHANG Ming-quan, <i>et al.</i> (3417)
Concentration Characteristics and Ecological Risk of Persistent Organic Pollutants in the Surface Sediments of Tianjin Coastal Area .....	LU Xiao-xia, ZHANG Shu, CHEN Chao-qi, <i>et al.</i> (3426)
Distribution, Sources and Ecological Risk Assessment of Polychlorinated Biphenyl in Sediments from Songhua River Basin .....	NIE Hai-feng, ZHAO Chuan-dong, LIU Ying-han, <i>et al.</i> (3434)
Distributions of Matrix-Bound Phosphine in Surface Sediments of the Yangtze Estuary .....	LI Tao, HOU Li-jun, LIU Min, <i>et al.</i> (3443)
Geochemical Characteristics of Nitrogen in Core Sediments from Sishili Bay, China .....	YANG Yu-wei, GAO Xue-lu, LI Pei-miao (3449)
Composition of <i>n</i> -Alkanes in Soils of the Yellow River Estuary Wetlands and Their Potential as Organic Matter Source Indicators .....	YAO Peng, YIN Hong-zhen, YAO Qing-zhen, <i>et al.</i> (3457)
Study on the Degradation and Transformation of Nonylphenol in Water Containing Algae .....	PENG Zhang-e, FENG Jin-mei, HE Shu-ying, <i>et al.</i> (3466)
Degradation of Orange IV Dye Solution Catalyzed by Fe(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ·(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>8</sub> Modified GAC in the Presence of H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	ZHANG Ying-jie, XU Shu-fen, LIAO Xia, <i>et al.</i> (3473)
Synthesis, Characterization and Electrocatalytic Performance of Pd/CMK-3 for Formic Acid Oxidation .....	HUAN Zhong-ke, ZONG En-min, WEI Dan, <i>et al.</i> (3479)
Research of Controlling Condition for Aeration Stabilization Pond Dealing with Sanitary Waste of Countryside .....	LI Huai-zheng, YAO Shu-jun, XU Zu-xin, <i>et al.</i> (3484)
Pilot-Scale Study on Treatment of Municipal Sewage by Moving-Bed Biofilm Reactor with the Hydrophobically Modified Polyurethane Cubes as Biofilm Carriers .....	WANG Yu-xiao, KONG Xiu-qin, FENG Quan, <i>et al.</i> (3489)
Variation Characteristics of Relative Molecular Mass of Different Fractions of Dissolved Organic Matter from Landfill Leachate During Photocatalytic Degradation .....	JIA Chen-zhong, WANG Yan-xin, ZHANG Cai-xiang (3495)
Mechanism of Nitrogen Removal by Partial Nitrification-Denitrification Biological Filter .....	SUN Ying-xue, XU Dong, TIAN Yuan, <i>et al.</i> (3501)
Performance Stability of CANON Reactor and Temperature Impact .....	FU Kun-ming, ZHANG Jie, CAO Xiang-sheng, <i>et al.</i> (3507)
Denitrifying Phosphorus Removal in a Modified University of Cape Town (MUCT) Process Treating Domestic Wastewater Under Nitrification and Nitritation .....	ZENG Wei, WANG Xiang-dong, ZHANG Li-dong, <i>et al.</i> (3513)
Study on the Stratification Components of Extracellular Polymeric Substances (EPS) in Activated Sludge and Their Variation Characteristics in Physicochemical Properties .....	YUAN Dong-qin, WANG Yi-li (3522)
Influence of Organic Loading Rate on the Start-up of a Sequencing Airlift Aerobic Granular Reactor .....	LIU Meng-yuan, ZHOU Dan-dan, GAO Lin-lin, <i>et al.</i> (3529)
Degradation Kinetics of Naphthalene by Anaerobic Sludge and Analysis of the Bacterial Biodiversity .....	CAO Xin-kai, YANG Qi, HAO Chun-bo (3535)
Sorption of 17β-estradiol to Soils and Sediment and Influence of Pig Manure DOM .....	ZHANG Feng-song, LI Yan-xia, HUANG Ze-chun, <i>et al.</i> (3542)
Sorption Isotherms and Sorption Thermodynamics of Faecal Sterols on Offshore Sediment .....	ZHANG Xiao-lei, XUE Wen-ping, XU Heng-zhen, <i>et al.</i> (3547)
Research on the Characteristic of Toluene Migration and Distribution in Fluvio-Aquic Soil and Its Simulation Using STOMP Model .....	HAN Chun-mei, RAN Juan, ZHANG Hui, <i>et al.</i> (3554)
Predicting the Cadmium Bioavailability in the Soil of Sugarcane Field Based on the Diffusive Gradients in Thin Films with Binding Phase of Sodium Polycrylate .....	WANG Fang-li, SONG Ning-ning, ZHAO Yu-jie, <i>et al.</i> (3562)
<i>In Situ</i> Immobilization of Pb and Cd in Orchard Soil Using Soil Ameliorants .....	TANG Min, ZHANG Jin-zhong, ZHANG Dan, <i>et al.</i> (3569)
Health Assessment of Heavy Metals in Roadside Soils at Different Operation Time; A Case Study of Zhengzhou-Shangqiu Section Along the Lianyungang-Horgas Highway .....	GU Lei, TONG Zhi-qi, SONG Bo, <i>et al.</i> (3577)
Amelioration Effects of Wastewater Sludge Biochars on Red Soil Acidity and Their Environmental Risk .....	LU Zai-liang, LI Jiu-yu, JIANG Jun, <i>et al.</i> (3585)
Effect of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons on the Vertical Distribution of Denitrifying Genes in River Sediments .....	WU Yan-yang, WU Qun-he, HUANG Shan, <i>et al.</i> (3592)
Role of Layered Double Hydroxide (LDH) in the Protection of Herring Testis DNA from Heavy Metals .....	TANG Yi-ni, WU Ping-xiao, ZHU Neng-wu (3598)
Mineralogical Characteristics of Biogenic Schwertmannite Amended with Different Pretreatment Methods and the Effects on As(III) Absorption .....	LIANG Jian-ru, LI Zhe-ying, LIU Fen-wu, <i>et al.</i> (3606)
Mechanism of Heavy-Metal Tolerance in <i>Pseudomonas aeruginosa</i> ZGKD2 .....	ZHANG Yu-xiu, WANG Jiao, CHAI Tuan-yao, <i>et al.</i> (3613)
Isolation, Degradation Characteristics of a 1,2-Dichloroethane-Degrading Strain .....	WANG Xiao-chun, CHEN Dong-zhi, JIN Xiao-jun, <i>et al.</i> (3620)
Isolation and Degradation Characteristics of PCB-degrading Strain .....	SHI Shun-yan, FENG Liu, GONG Ji (3627)
Preliminary Study on the Changes of Bacterial Community Structure in Qingcaosha Reservoir During Water Storage Period .....	PENG Qing, XIE Bing, YUAN Qi, <i>et al.</i> (3634)
N <sub>2</sub> O Exchange Fluxes from Wheat-Maize Crop Rotation System in the North China Plain .....	PEI Shu-wei, ZHANG Yuan-yuan, LIU Jun-feng, <i>et al.</i> (3641)
Analysis of the Impact of Two Typical Air Pollution Events on the Air Quality of Nanjing .....	WANG Fei, ZHU Bin, KANG Han-qing, <i>et al.</i> (3647)
Pollution Characteristics of VOCs in Ambient Air of Ji'nan City in Summer .....	LIU Ze-chang, ZHANG Fan, HOU Lu-jian, <i>et al.</i> (3656)
Effects and Mechanism of Catalytic Decomposition of Ozone by Activated Carbon .....	LIU Hai-long, ZHANG Zhi-ye, ZHANG Zhong-ming, <i>et al.</i> (3662)
Effect of Elevated O <sub>3</sub> on the Arbuscular Mycorrhizal (AM) Structure and Glomalin Production in Two Genotypes of Snap Bean .....	WANG Peng-teng, DIAO Xiao-jun, WANG Shu-guang (3667)
Effect of Exogenous Calcium on the Activities of Antioxidative Protective Enzymes in Ectomycorrhizal Fungi Under Aluminum Stress .....	WANG Ming-xia, HUANG Jian-guo, YUAN Ling, <i>et al.</i> (3675)
Mercury Pollution in Cricket in Different Biotopes Suffering from Pollution by Zinc Smelting .....	ZHENG Dong-mei, LI Xin-xin, LUO Qing (3680)

# 《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)

2012年10月15日 33卷 第10期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 10 Oct. 15, 2012

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. sciencecp. com	Distributed	by	Science Press Tel: 010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencecp. com
订 购 处	全国各地邮局	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: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发刊