

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第2期

Vol.34 No.2

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

16 届亚运会期间广州城区 PM_{2.5} 化学组分特征及其对霾天气的影响 陶俊, 柴发合, 高健, 曹军骥, 刘随心, 张仁健 (409)

北京地区秋季雾霾天 PM_{2.5} 污染与气溶胶光学特征分析 赵秀娟, 蒲维维, 孟伟, 马志强, 董璠, 何迪 (416)

上海市秋季大气 VOCs 对二次有机气溶胶的生成贡献及来源研究 王倩, 陈长虹, 王红丽, 周敏, 楼晟荣, 乔利平, 黄成, 李莉, 苏雷燕, 牟莹莹, 陈宜然, 陈明华 (424)

杭州市大气超细颗粒物浓度谱季节性特征 谢小芳, 孙在, 付志民, 杨文俊, 林建忠 (434)

保定市大气气溶胶中正构烷烃的污染水平及来源识别 李杏茹, 杜熙强, 王英锋, 王跃思 (441)

春节期间西安城区碳气溶胶污染特征研究 周变红, 张承中, 王格慧 (448)

华东区域高山背景点 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 背景值及污染特征 苏彬彬, 刘心东, 陶俊 (455)

基于电子鼻土壤与地下水污染修复现场 TVOC 和恶臭的评估 田秀英, 蔡强, 刘锐, 张永明 (462)

积融雪控制下土壤大气间汞交换通量特征 张刚, 王宁, 艾建超, 张蕾, 杨净, 刘子琪 (468)

靖海湾重金属污染及铅稳定同位素溯源研究 徐林波, 高勤峰, 董双林, 刘佳, 傅秀娟 (476)

正构烷烃及单体碳同位素记录的石臼湖生态环境演变研究 欧杰, 王延华, 杨浩, 胡建芳, 陈霞, 邹军, 谢云 (484)

干旱区城市昌吉降雪及积雪中 PGEs 含量分布及其影响因素 刘玉燕, 刘浩峰, 张兰 (494)

降尘收集方法对降尘效率的影响 张正德, 董治宝 (499)

海河流域水生生态功能一级二级分区 孙然好, 汲玉河, 尚林源, 张海萍, 陈利顶 (509)

长江中下游浅水湖泊水下辐照度漫射衰减特征研究 时志强, 张运林, 王明珠, 刘笑茵 (517)

内陆水体叶绿素反演模型普适性及其影响因素研究 黄昌春, 李云梅, 徐良将, 杨浩, 吕恒, 陈霞, 王延华 (525)

溶氧对富集培养的河口湿地表层沉积物氨氧化菌多样性及氨氧化速率的影响 邱昭政, 罗专溪, 赵艳玲, 颜昌宙 (532)

自然条件下盐城海滨湿地土壤水分/盐度空间分异及其与植被关系研究 张华兵, 刘红玉, 李玉凤, 安静, 薛星宇, 侯明行 (540)

淮河流域农业非点源污染空间特征解析及分类控制 周亮, 徐建刚, 孙东琪, 倪天华 (547)

高岚河不同降雨径流类型磷素输出特征 崔玉洁, 刘德富, 宋林旭, 陈玲, 肖尚斌, 向坤, 张涛 (555)

城市雨水径流水质演变过程监测与分析 董雯, 李怀恩, 李家科 (561)

复合人工湿地系统强化处理单元的运行特性与效果 任峰, 陆忆夏, 刘琴, 汤杨杨, 王世和, 高海鹰, 乔杰, 王为进 (570)

给水管网中耐氯分枝杆菌的灭活特性及机制研究 郑琦, 陈超, 张晓健, 陆品品, 刘源源, 陈雨乔 (576)

1 株溶藻菌的部分生物学特性及溶鱼腥藻作用 李三华, 张奇亚 (583)

水生植物热解生物油对中肋骨条藻抗氧化酶活性的影响 姚远, 李锋民, 李媛媛, 单时, 李杰, 王震宇 (589)

TiO₂ 光催化联合技术降解苯酚机制及动力学 张轶, 黄若男, 王晓敏, 王齐, 丛燕青 (596)

皮革废水有机污染物生物降解特性研究 王勇, 李伟光, 杨力, 宿程远 (604)

链霉菌 FX645 对偶氮染料红 AR30 的降解机制研究 谢练武, 方继超, 郭亚平 (611)

一种负载型生物载体的制备及性能研究 杨基先, 曾红云, 周义, 邱珊, 马放, 王蕾, 肖大伟 (616)

基于污泥资源化利用的蛋白核小球藻 (*Chlorella pyrenoidosa*) 培养研究 嵇雯雯, 夏会龙, 方治国, 刘惠君 (622)

温和热处理对低有机质污泥厌氧消化性能的影响 陈汉龙, 严媛媛, 何群彪, 戴晓虎, 周琪 (629)

天然和水热合成针铁矿对有机物厌氧分解释放 CH₄ 的影响 姚敦璠, 陈天虎, 王进, 周飞跃, 岳正波 (635)

蚀刻废液及其回收后生产的铜盐产品中 PCDD/Fs 含量水平及分布特征 青宪, 韩静磊, 温炎桑 (642)

基于特定场地污染概念模型的健康风险评估案例研究 钟茂生, 姜林, 姚珏君, 夏天翔, 朱笑盈, 韩丹, 张丽娜 (647)

区域地下水污染风险评价方法研究 杨彦, 于云江, 王宗庆, 李定龙, 孙宏伟 (653)

地下水有机污染源识别技术体系研究与示范 王晓红, 魏加华, 成志能, 刘培斌, 纪轶群, 张干 (662)

祁连山不同海拔土壤有机碳库及分解特征研究 朱凌宇, 潘剑群, 张威 (668)

黑土有机碳、氮及其活性对长期施肥的响应 骆坤, 胡荣桂, 张文菊, 周宝库, 徐明岗, 张敬业, 夏平平 (676)

根茬连续还田对镉污染农田土壤中镉赋存形态和生物有效性的影响 张晶, 于玲玲, 辛木贞, 苏德纯 (685)

长期施肥措施下稻田土壤有机质稳定性研究 罗璐, 周萍, 童成立, 石辉, 吴金水, 黄铁平 (692)

外源 Cr(III) 在我国 22 种典型土壤中的老化特征及关键影响因子研究 郑顺安, 郑向群, 李晓辰, 刘书田, 姚秀荣 (698)

某林丹生产企业搬迁遗留场地土壤中六六六的残留特征 潘峰, 王利利, 赵浩, 尤奇中, 刘林 (705)

大型炼锌厂周边土壤及蔬菜的汞污染评价及来源分析 刘芳, 王书肖, 吴清茹, 林海 (712)

天津成人头发指甲中有机氟污染物的残留特征 姚丹, 张鸿, 柴之芳, 沈金灿, 杨波, 王艳萍, 刘国卿 (718)

沉积物中雌激素及壬基酚、辛基酚、双酚 A 的测定 吴唯, 史江红, 陈庆彩, 张晖, 刘晓薇 (724)

动物饲料中砷、铜和锌调查及分析 姚丽贤, 黄连喜, 蒋宗勇, 何兆桓, 周昌敏, 李国良 (732)

氟虫双酰胺在水稻和稻田中的残留动态研究 王点点, 宋宁慧, 吴文铸, 由宗政, 何健, 石利利 (740)

2 株降解菲的植物内生细菌筛选及其降解特性 倪雪, 刘娟, 高彦征, 朱雪竹, 孙凯 (746)

嗜盐拟香味菌 Y6 降解硝基苯的特性研究 厉闾, 钱坤, 肖伟, 王进军, 邓新平 (753)

固定化条件对苯系物细胞传感器检测效果的影响 唐阔, 马安周, 于清, 邓雪梅, 吕迪, 庄国强 (760)

16S rDNA 克隆文库分析高含盐生物脱硫系统细菌多样性 刘卫国, 梁存珍, 杨金生, 王桂萍, 刘苗杰 (767)

氨氮浓度对 CANON 工艺功能微生物丰度和群落结构的影响 刘涛, 李冬, 曾辉平, 畅晓燕, 张杰 (773)

筒青霉 (*Penicillium simplicissimum*) 对木质纤维素的降解及相关酶活性特征 沈莹, 胡天觉, 曾光明, 黄丹莲, 尹璐, 刘杨, 吴娟娟, 刘晖 (781)

石油污染土壤微生物群落结构与分布特性研究 杨萌青, 李立明, 李川, 李广贺 (789)

土霉素在鸡粪好氧堆肥过程中的降解及其对相关参数的影响 王桂珍, 李兆君, 张树清, 马晓彤, 梁永超 (795)

生活垃圾填埋过程含水率变化研究 李睿, 刘建国, 薛玉伟, 张媛媛, 岳东北, 聂永丰 (804)

动物消化机制用于木质纤维素的厌氧消化 吴昊, 张盼月, 郭建斌, 吴永杰 (810)

《环境科学》征订启事(447) 《环境科学》征稿简则(493) 信息(508,588,610,731) 专辑征稿通知(788)

华东区域高山背景点 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 背景值及污染特征

苏彬彬¹, 刘心东¹, 陶俊²

(1. 福建省武夷山大气背景值监测站, 武夷山 354302; 2. 环境保护部华南环境科学研究所, 广州 510655)

摘要: 为了解华东森林及高山背景区域大气中 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 质量浓度的变化特征, 选取国家大气背景监测福建武夷山站 2011 年 3 月 ~ 2012 年 2 月 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 为期 1 a 的监测数据, 研究其浓度变化特征及其影响因子, 并利用后向轨迹模式探讨区域输送对背景区域 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 质量浓度的影响. 结果表明: 华东森林及高山区域现阶段 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 背景浓度分别为 $(23 \pm 16) \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 $(18 \pm 12) \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$; PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 浓度具有相同的季节变化特征, 即春季 > 秋季 > 冬季 > 夏季, 2011 年春季武夷山背景点因受沙尘远距离输送影响, PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 浓度明显高于其它三季; 武夷山背景地区主要以细粒子为主, $PM_{2.5}/PM_{10}$ 年平均比值为 0.76; PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 浓度与气体污染物均有较好的相关性, 表明 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 可能来源于区域人为污染源的输送和二次粒子转化; 2011 年 4 月的污染事件与北方沙尘输送有关, 而 9 月的污染事件主要与华东高污染负荷区的污染物输送有关.

关键词: 高山背景站; 颗粒物; 气体污染物; 沙尘; 区域输送

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)02-0455-07

Characteristics of PM_{10} and $PM_{2.5}$ Concentrations in Mountain Background Region of East China

SU Bin-bin¹, LIU Xin-dong¹, TAO Jun²

(1. Atmospheric Background Monitoring Station in Wuyishan of Fujian Province, Wuyishan 354302, China; 2. South China Institute of Environmental Sciences, Ministry of Environmental Protection, Guangzhou 510655, China)

Abstract: The online PM_{10} and $PM_{2.5}$ concentrations were measured from March 2011 to February 2012 at the national atmospheric background monitoring station in Wuyishan of Fujian Province to discuss the characteristic of PM_{10} and $PM_{2.5}$ concentrations and the impact factors in forest and mountain background region of East China. HYSPLIT (Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory) Model was used to investigate the potential sources of particulates during the pollution episodes. The results showed that the background concentrations of PM_{10} and $PM_{2.5}$ were $(23 \pm 16) \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ and $(18 \pm 12) \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, respectively. Seasonal variations of PM_{10} and $PM_{2.5}$ loadings were observed, and loadings decreased in the same order: spring > autumn > winter > summer. PM_{10} and $PM_{2.5}$ concentrations were obviously higher in spring than in other seasons because of the transportation of dust storm. The fine particles were the dominant pollutant which accounted for 76% of PM_{10} . The good correlation between $PM_{10}/PM_{2.5}$ and gas pollutants suggested that regional transportation and secondary aerosol were the major sources in the background station. One episode occurring in April 2011 was related with the transportation of dust storm. However, another episode occurring in September 2011 had close relationship with the transportation of higher pollutant loadings in East China.

Key words: high mountain background site; particle; gas pollutants; dust storm; regional transportation

大气颗粒物是影响我国城市空气质量的首要污染物^[1], 具有潜在的急性人群健康危害^[2]. PM_{10} 是空气动力学直径 $\leq 10 \mu\text{m}$ 的颗粒物的统称, 其中粗粒部分主要来自于扬尘、海盐粒子. 空气动力学直径 $\leq 2.5 \mu\text{m}$ 的部分称为 $PM_{2.5}$, 其不仅来源于工业生产、汽车尾气排放、火力发电和生物质燃烧^[3], 还来源于光化学反应生成的二次有机/无机颗粒物等^[4], 研究表明重金属及多环芳烃等有毒物质均主要富集于 $PM_{2.5}$ 中^[5~8]. 大气颗粒物可作为病毒、细菌的载体传播疾病^[9], 对能见度下降也有重要影响^[10,11], 因此受到广泛关注.

大气本底的观测研究是大气化学观测的重要内容, 它反映了某一时期一定区域环境质量的初始状

态, 对区域环境质量评价与环境污染趋势预测预报有着重要意义^[12]. 国内近几年对本底区域颗粒物进行了一些研究^[13~16], 但这些研究观测点位海拔均未超过 1 000 m, 且受人为影响相对比较明显, 不能较好地代表我国背景地区的大气环境现状. 而高山背景站通常海拔较高, 大气环境受到本地污染源影响较小, 更易受长距离传输影响, 因而能够在更大尺度上反映区域大气环境的特征^[17]. 尽管目前有学者在高山背景区域开展了一些颗粒物的短期加强观

收稿日期: 2012-04-30; 修订日期: 2012-06-25

基金项目: 2008 年中央财政主要污染物减排专项; 环境保护公益性行业科研专项(200709054)

作者简介: 苏彬彬(1980~), 女, 工程师, 主要研究方向为大气背景监测, E-mail: binwys@163.com

测^[17~19],但长时间序列的 PM₁₀和 PM_{2.5}观测研究较少,对华东背景区域颗粒物的研究也未见报道。

国家大气背景监测福建武夷山站是我国 14 个大气背景监测站之一,代表我国华东森林及高山区域的大气背景状况。为了解该区域大气中 PM₁₀和 PM_{2.5}质量浓度的变化特征,评估污染物输送的影响,本研究对武夷山背景点 2011 年 3 月~2012 年 2 月 PM₁₀和 PM_{2.5}为期 1 a 的监测数据进行研究与分析,以期为进一步开展华东背景区域颗粒物的观测研究提供基础信息和参考。

1 材料与方 法

1.1 监测点位

国家大气背景监测福建武夷山站由中国环境监测总站建立,监测点位于武夷山自然保护区摩天岭顶峰,东经 117°43',北纬 27°35',海拔高度 1 139 m。站点周边视野开阔,近距离内没有影响气流的障碍物,且周围 50 km 范围内无任何大气污染源,基本能客观反映华东森林及高山背景区域的空气质量状况。

1.2 数据采集

PM₁₀和 PM_{2.5}观测采用 TEOM1405A 环境颗粒物监测仪(Thermo Fisher Scientific,美国),进行 24 h 连续在线监测,数据采集频率为 5 min。仪器最低检测限为 0.1 μg·m⁻³,质量分辨率为 1.0 μg·m⁻³,精度为 ±1.0 μg·m⁻³(24 h)。2011 年 3 月~2012 年 2 月共监测 352 d,其中 PM₁₀和 PM_{2.5}有效监测天数分别为 269 d 和 275 d,4 月底至 6 月初因断电或仪器故障造成数据缺失,负值或 PM_{2.5}>PM₁₀的情况也造成部分数据无效。参与日均值统计的小时均值,每天有效监测均≥12 h,仪器维护期间如更换滤膜等以及 PM₁₀、PM_{2.5}出现负值或 PM_{2.5}>PM₁₀的小时均值均作为无效数据剔除。监测期间 PM₁₀和 PM_{2.5}平均每天有效监测分别为 20.6 h 和 20.3 h,高于《环境空气质量自动监测技术规范》(HJ/T 193-2005)可吸入颗粒物应有不少于 12 个有效小时平均值参与有效日均值统计的要求,满足《环境空气质量标准》(GB 3095-2012)每日至少有 20 h 平均浓度值或采样时间的数据有效性规定。此外,同步测量的 SO₂采用 43iTLE 紫外荧光法气体分析仪(Thermo Fisher Scientific,美国),NO₂采用 42iTL 化学发光法气体分析仪(Thermo Fisher Scientific,美国),CO 采用 48iTLE 气体滤光相关法气体分析仪(Thermo Fisher Scientific,美国),O₃采用 49i 紫外光度法气体分析

仪(Thermo Fisher Scientific,美国),进行 24 h 连续在线监测,数据采集频率为 5 min。

2 结果与讨论

2.1 PM₁₀、PM_{2.5}背景浓度

一般认为,背景浓度应代表研究区域内未受人类活动直接影响的自然情况^[20]。但由于大气的流动性,监测的浓度不仅可能受研究区域内人为排放源的影响,而且可能受研究区域外排放源长距离输送的影响^[21]。武夷山背景点周围 50 km 范围内无任何大气污染源,基本没有本地污染源排放,受到区域输送影响显著,监测浓度中包含本地区的自然排放和区域外的远距离输送。因 2011 年 4 月底至 6 月初数据缺失,为避免对现阶段华东区域背景浓度的准确描述造成影响,故另选取 2011 年 6 月~2012 年 5 月监测数据进行年均值统计,以求能更客观地反映华东森林及高山区域的背景状况。在此期间共监测 366 d,其中 PM₁₀和 PM_{2.5}有效监测天数分别为 310 d 和 316 d,基本满足《环境空气质量标准》(GB 3095-2012)中每年至少有 324 个日平均浓度值的数据有效性规定;取得 PM₁₀和 PM_{2.5}有效小时数据分别为 6 558 个和 6 592 个,平均每天有效监测 21 h,满足《环境空气质量标准》(GB 3095-2012)的要求。统计得出现阶段武夷山背景点 PM₁₀和 PM_{2.5}年平均背景浓度分别为(23±16)μg·m⁻³和(18±12)μg·m⁻³。

2.2 PM₁₀、PM_{2.5}时间变化趋势浓度变化

2.2.1 逐日变化

图 1 为 2011 年 3 月~2012 年 2 月武夷山背景点 PM₁₀和 PM_{2.5}浓度逐日变化。结果显示,PM₁₀日均值范围为 4~111 μg·m⁻³,按照《环境空气质量标准》(GB 3095-1996)中日均浓度一级标准限值 50 μg·m⁻³评价,其超标率为 14.6%。较高的 PM₁₀浓度主要出现在 3~4 月,最大日均值出现在 4 月 19 日,是背景浓度 23 μg·m⁻³的 4.8 倍。日均值分布主要集中在 0~35 μg·m⁻³之间,占 71.9%。PM_{2.5}日均值范围为 3~60 μg·m⁻³,按照《环境空气质量标准》(GB 3095-2012)中日均浓度一级标准限值 35 μg·m⁻³评价,其超标率为 15.0%;PM_{2.5}浓度峰值主要出现在 4 月和 9 月,最大日均值出现在 4 月 21 日,是背景浓度 18 μg·m⁻³的 3.3 倍,比 PM₁₀最高值浓度出现时间滞后 2d。日均值分布主要集中在 0~25 μg·m⁻³之间,占 68.1%。

2.2.2 季节变化

根据气象统计,将季节划分为春季 3~5 月、夏

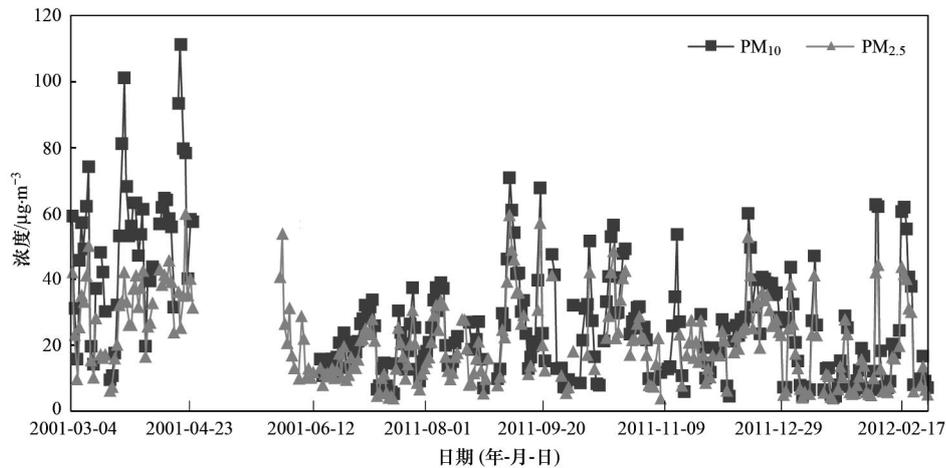


图1 武夷山背景点 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 日均值变化曲线

Fig. 1 Daily variation of PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations at Wuyishan background station

季 6~8 月、秋季 9~11 月、冬季 12~2 月。

如图 2 所示, PM₁₀ 和 PM_{2.5} 浓度具有明显且相同的季节变化特征。PM₁₀ 浓度季节变化特征为: 春季 ($52 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) > 秋季 ($27 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) > 冬季 ($23 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) > 夏季 ($19 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), PM_{2.5} 浓度季节变化特征为: 春季 ($31 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) > 秋季 ($24 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) > 冬季 ($19 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) > 夏季 ($15 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)。PM_{2.5}/PM₁₀ 年平均比值为 0.76, 说明武夷山背景地区可吸入颗粒物中以细粒子为主, 且 PM_{2.5}/PM₁₀ 比值具有明显的季节变化特征, 冬季 (0.82) > 秋季 (0.81) > 夏季 (0.75) > 春季 (0.62)。春季 PM₁₀ 浓度较为明显地高于其它 3 个季节, 且 PM_{2.5}/PM₁₀ 比值仅为 0.62, 明显低于其它 3 个季节和年平均比值, 可见 2011 年春季 PM₁₀ 受沙尘远距离输送影响较为明显。秋冬季 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 受区域性污染物输送影响浓度略高, 且秋冬季大气层结相对稳定, 易于污染物累积和粒子老化, 从而使 PM_{2.5}/PM₁₀ 比值升高。夏季区域内污染物浓度水平普遍较低, 因此武夷山背景点夏季 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 浓度最低, 但夏季温度较高比较有利于二次

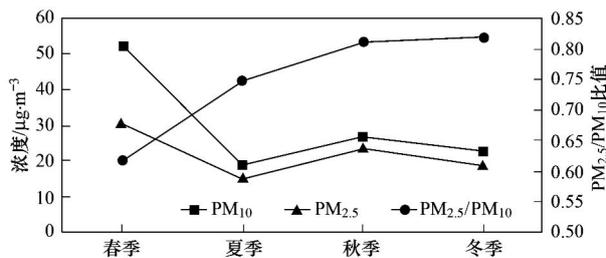


图2 武夷山背景点 PM₁₀、PM_{2.5} 浓度及 PM_{2.5}/PM₁₀ 比值季节变化

Fig. 2 Seasonal variation of PM₁₀, PM_{2.5} concentrations and PM_{2.5}/PM₁₀ value at Wuyishan background station

粒子的生成^[22], 使得 PM_{2.5}/PM₁₀ 比值明显高于春季。

2.2.3 日变化

图 3 为 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 日变化特征。如图所示, PM₁₀ 在 $26 \sim 36 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 范围内波动, 变化幅度很小, 且与城市点位的双峰型变化不同^[23~25], 呈现单谷型分布形态, 夜间至早晨浓度较高, 中午较低。其可能的原因是凌晨温度较低, 气流停滞, 使得 PM₁₀ 逐渐累积, 至 08:00~09:00 出现最大值; 随着温度逐渐上升, 扩散条件变好, 浓度逐渐降低, 并在 14:00 出现最小值; 之后随着对流发展, 周边区域污染物逐渐向背景点输送, PM₁₀ 浓度又开始上升; 夜间则因为温度下降, 大气层结趋于稳定, 不利于扩散, 使 PM₁₀ 浓度保持在较高水平。PM_{2.5} 在 $19 \sim 25 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 范围内波动, 最大值出现在 08:00, 最小值出现在 14:00, 变化趋势与 PM₁₀ 基本一致, 只是变化幅度更小。PM₁₀ 和 PM_{2.5} 浓度的日变化特征, 说明武夷山背景点受近距离人为活动影响很小, 而主要受气象条件影响。

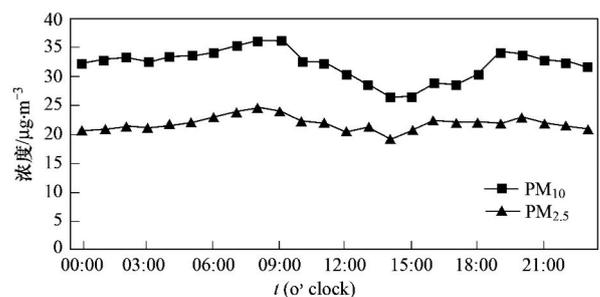


图3 武夷山背景点 PM₁₀、PM_{2.5} 浓度日内变化

Fig. 3 Diurnal variation of PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations at Wuyishan background station

2.3 PM₁₀和PM_{2.5}与其它气体污染物之间的关系

为了进一步探讨PM₁₀和PM_{2.5}可能的来源,对SO₂、NO₂、CO、O₃与PM₁₀和PM_{2.5}浓度全年日均值、各季度日均值进行相关性分析(见表1)。结果表明:O₃与PM₁₀和PM_{2.5}各个季节均呈较好的正相关性,表明二次粒子可能对PM₁₀和PM_{2.5}有一定贡献,尤其在秋季贡献较大。SO₂除在春季与PM_{2.5}浓度相关性较差外,在其它季节与PM₁₀、PM_{2.5}浓度的相关性均较好,说明武夷山背景点PM₁₀和PM_{2.5}可能有来自燃煤源的远距离输送影响,另外武夷山常年湿度较大,有利于SO₂通过非均相反应生成硫酸盐,较高的O₃背景浓度,同样有利于SO₂均相氧化反应生成硫酸盐^[26]。而春季SO₂与PM_{2.5}相关性较差,可能是由于春季PM_{2.5}受到自然源成分的影响较大,其较低的PM_{2.5}/PM₁₀比值也说明春季PM_{2.5}受到二次粒子的影响较小,但因目前未开展颗粒物的化学成份测定,这一结论还有待进一步验证。NO₂与PM₁₀和PM_{2.5}浓度在秋季和冬季均呈较好的正相关关系,在夏季与PM_{2.5}也有较好的正相关性,而与

PM₁₀相关性较差,在春季与PM₁₀和PM_{2.5}浓度均不相关,可见春季自然源的输送对PM₁₀和PM_{2.5}贡献比较明显,其它季节可能与区域输送和本地产生的二次粒子有关。CO与PM₁₀和PM_{2.5}浓度在夏季和秋季呈现较好的相关性,春冬季不相关,说明夏季和秋季CO与PM₁₀和PM_{2.5}有一定的同源性。冬季SO₂与PM₁₀和PM_{2.5}浓度相关性最好,NO₂与PM₁₀和PM_{2.5}浓度也有较好的相关性,反映冬季可能主要受燃煤源对武夷山背景点远距离输送的影响;NO₂、CO、O₃与PM₁₀和PM_{2.5}浓度相关性在秋季最好,反映秋季除了可能有二次粒子的转化作用外,还有来自机动车排放和生物质燃烧源对点位的输送影响;在夏季,各气态污染物与PM_{2.5}浓度的相关性大于与PM₁₀浓度的相关性,其它季度则基本上是各气态污染物与PM₁₀浓度的相关性大于与PM_{2.5}浓度的相关性,这体现了在夏季光化学反应较为强烈,气-粒转化细粒子的作用更为明显。相关性分析结果表明,武夷山背景点PM₁₀、PM_{2.5}浓度可能同时受区域传输和二次转化影响。

表1 SO₂、NO₂、CO、O₃与PM₁₀和PM_{2.5}浓度的相关性¹⁾

Table 1 Relationship of concentrations of PM₁₀ and PM_{2.5} with SO₂, NO₂, CO, O₃

相关系数	全年日均值	春季日均值	夏季日均值	秋季日均值	冬季日均值
SO ₂ -PM ₁₀	0.69*	0.63*	0.51*	0.66*	0.79*
SO ₂ -PM _{2.5}	0.59*	0.32	0.66*	0.59*	0.76*
NO ₂ -PM ₁₀	0.43*	0.15	0.35	0.68*	0.56*
NO ₂ -PM _{2.5}	0.44*	0.14	0.56*	0.64*	0.55*
CO-PM ₁₀	0.36*	0.02	0.52*	0.73*	0.16
CO-PM _{2.5}	0.37*	0.21	0.54*	0.63*	0.19
O ₃ -PM ₁₀	0.76*	0.69*	0.74*	0.84*	0.57*
O ₃ -PM _{2.5}	0.70*	0.60*	0.79*	0.80*	0.55*

1) *表示在置信度 $\alpha=0.01$ 水平上, $P<0.001$ (双侧检验)

2.4 PM₁₀、PM_{2.5}浓度受区域输送影响分析

后向轨迹方法在许多研究中被用来分析气团来向,研究不同来源的气团对区域污染的作用^[17,27]。为进一步了解区域输送对武夷山背景点PM₁₀、PM_{2.5}浓度的影响,对典型污染事件期间的气流后向轨迹进行追踪,探讨污染过程中PM₁₀和PM_{2.5}可能的来源。背景站与城市站不同,其日平均值的取值区间是00:00~次日00:00,根据世界时与北京时间的时差为8h,本研究采用世界时(UTC)前一日16:00的后向轨迹资料,对应北京时间当日00:00~次日00:00的监测数据日均值。

观测期间,PM₁₀峰值主要出现在3月和4月,PM_{2.5}峰值主要出现在4月和9月,故对4月和9月不同季节的两次PM₁₀、PM_{2.5}高浓度事件进行分析。

2.4.1 4月份污染过程

2011年4月16日~22日,武夷山背景点PM₁₀和PM_{2.5}浓度变化过程见图4。从中可知,16日各污染物浓度相对较低,17日因降雨湿度较大,出现PM₁₀、PM_{2.5}负值或PM_{2.5}大于PM₁₀的情况,导致数据无效缺失,18日PM₁₀浓度急剧上升至93 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,19日出现全年最大值111 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,PM_{2.5}浓度则在21日达到全年最大值60 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,22日PM₁₀、PM_{2.5}浓度均有较明显的回落。这次污染过程中,同步测量的SO₂、O₃浓度有相应的波动过程,但当PM₁₀浓度降低,O₃浓度并未降低。NO₂与CO浓度不受PM₁₀、PM_{2.5}波动过程影响,与前面的相关性分析结果一致。

为探讨高浓度颗粒物的可能来源,利用后向轨

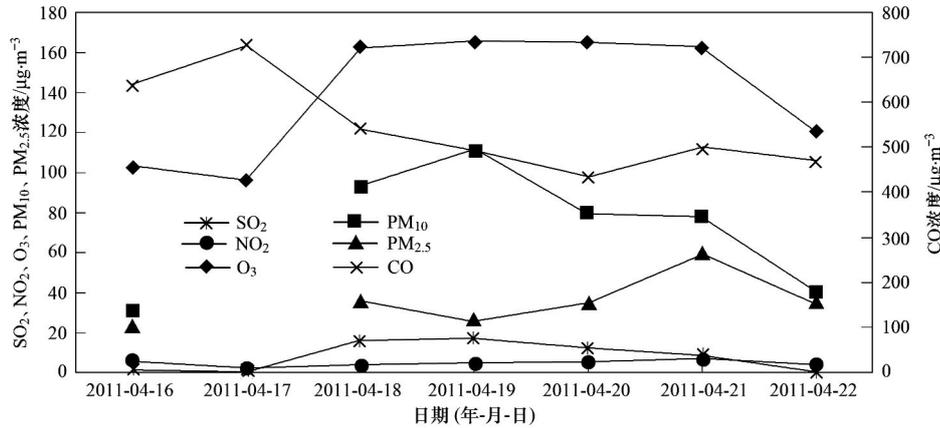


图 4 4 月 16 日~4 月 22 日 SO₂、NO₂、CO、O₃、PM₁₀、PM_{2.5} 日均浓度波动过程

Fig. 4 Variation of SO₂, NO₂, CO, O₃, PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations from April 16 to 22, 2011

迹方法 (<http://www.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>), 对 27.59、117.73、1 149 m (背景点坐标和采样点高程)4 月 19 日 00:00 (UTC18 日 16:00) 进行后向 48 h 气流轨迹追踪 (图 5)。由图 5 可知, 19 日气团起源于蒙古国, 穿过内蒙古中部、河北省、山东省和安徽省最终到达武夷山背景点。气团移动速度很快, 夹带的沙尘气溶胶迅速传输到武夷山背景点使得 PM₁₀ 浓度显著升高, PM_{2.5} 浓度也有所上升。随后两天随着气团方向转变, PM₁₀ 浓度逐渐下降, 而 PM_{2.5} 浓度却逐渐上升。经查看 4 月 21 日 48 h 后向气流轨迹 (图略), 所经区域多为人烟稀少的山区和森林地带, 并没有新的污染源输入, PM_{2.5} 浓度升高且最高浓度出现时间比 PM₁₀ 滞后 2 d, 可能是因为北方沙尘输送对 PM₁₀ 升高的影响比较直接, 而沙尘中的主要成分是碳酸盐, 在输送或本地区停留期间会发生酸化反应生成较多的水溶性阳离子 (如 Ca²⁺ 和 Mg²⁺) 进入 PM_{2.5}^[28]。此外, 还可能因为从 18 日起, O₃ 浓度始终保持在较高水平, 大气氧化性强, 再加上 SO₂ 的持续积累, 进一步加剧了大气均相和非均相反应, 使得二次粒子硫酸盐的浓度迅速增加^[24], 而当 22 日 SO₂ 和 O₃ 浓度降低, PM_{2.5} 浓度也相应降低。

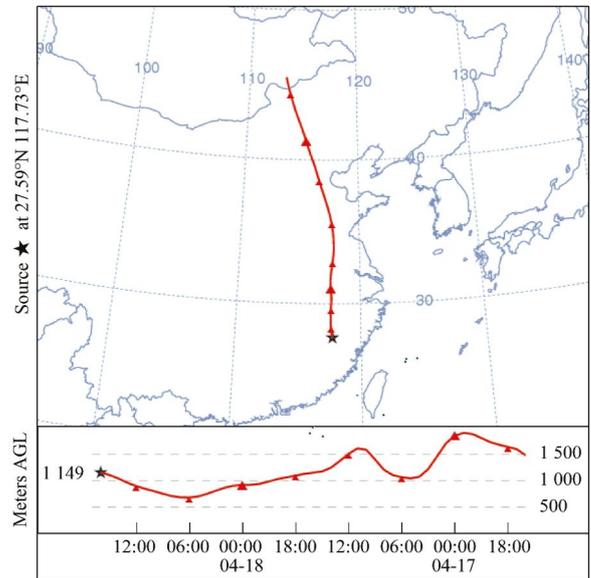


图 5 武夷山背景点 4 月 19 日后向气流轨迹

Fig. 5 Backward air mass trajectories reached Wuyishan background station on April 19, 2011

结合气流轨迹经过的主要城市的 API 数据 [来源于中华人民共和国环境保护部数据中心 (<http://datacenter.mep.gov.cn>)], 发现这些城市在此次气团的影响下, 根据气团经过的时间, PM₁₀ 的日均浓度均相继受到不同程度的影响。

表 2 气流轨迹经过主要城市及武夷山背景点 2011 年 4 月 17~20 日 API 指数
Table 2 API of the major cities and Wuyishan background station from April 17 to 20, 2011

API 指数	首要污染物	4 月 17 日	4 月 18 日	4 月 19 日	4 月 20 日
北京	可吸入颗粒物	164	99	83	127
天津	可吸入颗粒物	142	127	76	86
济南	可吸入颗粒物	85	98	67	75
合肥	可吸入颗粒物	77	110	128	93
武夷山背景点	可吸入颗粒物	—	72	81	65

2.4.2 9月污染过程

2011年9月3~10日,武夷山背景点PM₁₀和PM_{2.5}浓度变化过程见图6.从中可知,PM₁₀和PM_{2.5}浓度从9月3日开始持续升高,5日同步出现峰值,PM₁₀浓度达71 μg·m⁻³,PM_{2.5}浓度达59

μg·m⁻³.与4月沙尘污染事件不同的是,PM₁₀和PM_{2.5}浓度同步出现了峰值且具有完全一致的变化趋势,SO₂、NO₂、CO和O₃浓度也基本有相应的波动过程,在5日或6日出现峰值,与前面的相关性分析结果一致.

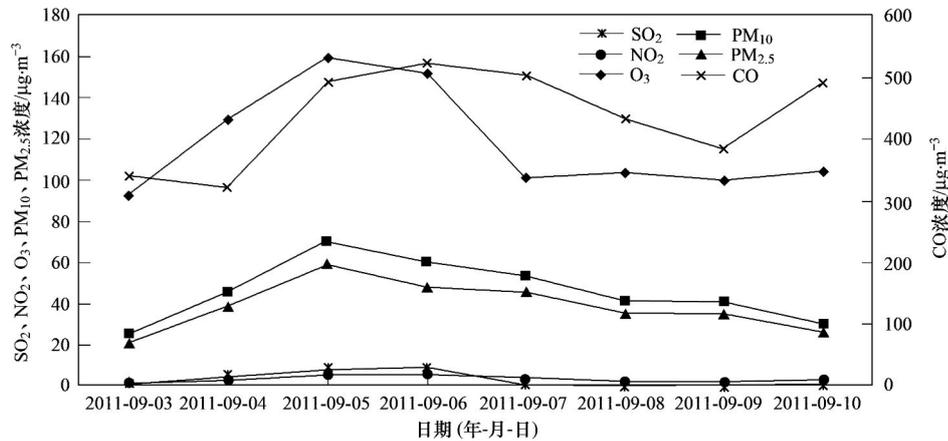


图6 9月3日~9月10日SO₂、NO₂、CO、O₃、PM₁₀、PM_{2.5}日均浓度波动过程

Fig. 6 Variation of SO₂, NO₂, CO, O₃, PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations from September 3 to 10, 2011

利用后向轨迹方法,对27.59、117.73、1149 m波动期间内每天00:00(UTC前一日16:00)进行后向48 h气流轨迹追踪(每天一条气流轨迹)(图7).由图7可知,气流轨迹主要分布在东北方向.9月3日气团起源于东海,海洋性气团相对干净,且移动高度较高,携带的污染物浓度较低,故3日背景点污染物浓度较低;4日气团起源于东北方向的浙江省的嘉兴市,途经金华市到达武夷山背景

点,气流移动高度低、速度较慢,夹带我国东部经济发达、人口密集高污染区的大量污染物到达武夷山背景点,致使背景点污染物浓度明显增加;5日气团同样来源东北方向江苏省的江阴市,进一步携带江苏省城市群的污染物,随着污染物的沉降累积和不断的输送过程,背景点浓度进一步升高,达到本次波动的最大值;6日气团起源于黄海,气团移动速度快,相对洁净,到达武夷山背景点时对污染物有稀释作用,背景点浓度有所下降;7日气团虽也来自东北方向,但起源于太湖,且沿途所经区域多为人烟稀少的山区,森林自然保护区,气流受人为活动影响小,故到达武夷山背景点时对点位污染物进一步稀释,使得浓度进一步降低;8~10日气团起源于山区或人烟稀少的区域,且沿途所经区域多为山区,故气团到达武夷山背景点时使背景点浓度不断降低.总体来讲,连续的东北气流是导致这次污染事件的主要因素.

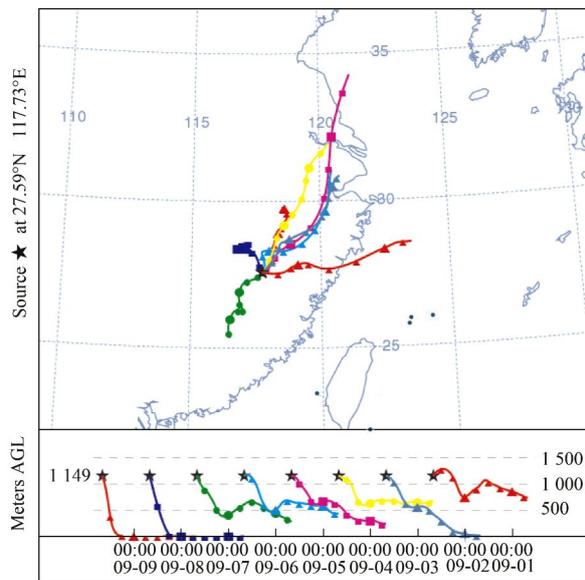


图7 武夷山背景点9月3日~9月10日后向气流轨迹

Fig. 7 Backward air mass trajectories reached Wuyishan background station during September 3 to 10, 2011

3 结论

(1) 华东森林及高山区域现阶段PM₁₀背景浓度为(23 ± 16) μg·m⁻³,PM_{2.5}背景浓度为(18 ± 12) μg·m⁻³,基本满足《环境空气质量标准》(GB 3095-2012)一级标准的要求;武夷山背景点受近距离人为活动的影响很小,主要受远距离输送和气象条件影响.

(2) PM_{2.5}/PM₁₀ 年平均比值为 0.76, 且有明显的季节变化特征, 一方面表明可吸入颗粒物中以细粒子为主, 另一方面表明不同的季节二者的贡献源有差异。

(3) 武夷山背景点 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 可能来源于区域传输和本地生成的二次粒子。

致谢: 感谢中国环境监测总站大气室提供的项目基础资料, 以及中华人民共和国环境保护部数据中心提供的 API 数据。

参考文献:

- [1] 孙小莉, 李生才, 曾庆轩, 等. 城市空气污染及其防治对策[J]. 安全与环境学报, 2008, 8(4): 73-76.
- [2] 戴海夏, 宋伟民, 高翔, 等. 上海市 A 城区大气 PM₁₀、PM_{2.5} 污染与居民日死亡数的相关分析[J]. 卫生研究, 2004, 33(3): 293-297.
- [3] Duan J C, Tan J H, Cheng D X, *et al.* Sources and characteristics of carbonaceous aerosol in two largest cities in Pearl River Delta Region, China[J]. Atmospheric Environment, 2007, 41(14): 2895-2903.
- [4] Duan J C, Tan J H, Liu Y, *et al.* Concentration, sources and ozone formation potential of volatile organic compounds (VOCs) during ozone episode in Beijing [J]. Atmospheric Research, 2008, 88(1): 25-35.
- [5] Duan J C, Tan J H, Wang S L, *et al.* Size distributions and sources of elements in particulate matter at curbside, urban and rural sites in Beijing [J]. Journal of Environmental Sciences, 2012, 24(1): 87-94.
- [6] Vallius M, Janssen N A H, Heinrich J, *et al.* Sources and elemental composition of ambient PM_{2.5} in three European cities [J]. Science of the Total Environment, 2005, 337(1-3): 147-162.
- [7] Na K, Cocker III D R. Characterization and source identification of trace elements in PM_{2.5} from Mira Loma, Southern California [J]. Atmospheric Research, 2009, 93(4): 793-800.
- [8] Duan J C, Bi X H, Tan J H, *et al.* The differences of the size distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) between urban and rural sites of Guangzhou, China [J]. Atmospheric Research, 2005, 78(3-4): 190-203.
- [9] 谢媚, 刘涛, 陆小安, 等. 广州市 SARS 传播与空气污染相关性研究[J]. 安全与环境学报, 2004, 4(3): 73-76.
- [10] Tan J H, Duan J C, Chen D H, *et al.* Chemical characteristics of haze during summer and winter in Guangzhou [J]. Atmospheric Research, 2009, 94(2): 238-245.
- [11] 陶俊, 张仁健, 许振成, 等. 广州冬季大气消光系数的贡献因子研究[J]. 气候与环境研究, 2009, 14(5): 484-490.
- [12] 杨龙元. 大气本底污染监测中的几个问题介绍[J]. 高原气象, 1990, 9(3): 337-346.
- [13] 王力福, 李娟, 刘涛. 阿克达拉可吸入颗粒物本底浓度变化特征[J]. 沙漠与绿洲气象, 2009, 3(1): 20-23.
- [14] 温天雪, 王跃思, 徐宏辉, 等. 夏末秋初北京市区与背景区大气污染物的对比分析[J]. 环境科学研究, 2007, 20(5): 7-11.
- [15] 吴丹, 辛金元, 孙扬, 等. 2008 年奥运期间华北区域大气污染物本底浓度变化与分析[J]. 环境科学, 2010, 31(5): 1130-1138.
- [16] 刘子锐, 王跃思, 刘全, 等. 鼎湖山秋季大气细粒子及其二次无机组分的污染特征及来源[J]. 环境科学, 2011, 32(11): 3160-3166.
- [17] 戴文婷, 李建军, 成春雷, 等. 中国中东部高山和城市夏季大气气溶胶浓度及粒径分布[J]. 地球环境学报, 2011, 2(1): 263-271.
- [18] Xu H, Wang Y, Wen T, *et al.* Characteristics and source apportionment of atmospheric aerosols at the summit of Mount Tai during summertime [J]. Atmospheric Chemistry and Physics Discussions, 2009, 9(4): 16361-16379.
- [19] Wang G H, Kawamura K, Umemoto N, *et al.* Water-soluble organic compounds in PM_{2.5} and size-segregated aerosols over Mount Tai in North China Plain [J]. Journal of Geophysical Research-Atmospheres, 2009, 114: D19208, doi: 10.1029/2008JD011390.
- [20] 环境科学大辞典编辑委员会. 环境科学大辞典[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1991. 14.
- [21] 蔡旭晖, 张睿, 宋宇, 等. 北京地区大气 PM₁₀ 和 SO₂ 的背景浓度分析[J]. 气候与环境研究, 2004, 9(3): 445-453.
- [22] Kocak M, Mihalopoulos N, Kubilay N. Contributions of natural sources to high PM₁₀ and PM_{2.5} events in the eastern Mediterranean [J]. Atmospheric Environment, 2007, 41(18): 3806-3818.
- [23] 于建华, 虞统, 魏强, 等. 北京地区 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 质量浓度的变化特征[J]. 环境科学研究, 2004, 17(1): 45-47.
- [24] 吴莹, 吉东生, 宋涛, 等. 夏秋季北京及河北三城市的大气污染联合观测研究[J]. 环境科学, 2011, 32(9): 2741-2749.
- [25] 洪盛茂, 焦荔, 包贞. 杭州市区可吸入颗粒物的污染特征分析[J]. 中国科学院研究生院学报, 2007, 24(5): 571-577.
- [26] 陶俊, 张仁健, 董林, 等. 夏季广州城区细颗粒物 PM_{2.5} 和 PM_{1.0} 中水溶性无机离子特征[J]. 环境科学, 2010, 31(7): 1417-1424.
- [27] 徐晓斌, 刘希文, 林伟立. 输送对区域本底站痕量气体浓度的影响[J]. 应用气象学报, 2009, 20(6): 656-664.
- [28] Maxwell-Meier K, Weber R, Song C, *et al.* Inorganic composition of fine particles in mixed mineral dust-pollution plumes observed from airborne measurements during ACE-Asia [J]. Journal of Geophysical Research, 2004, 109: D19S07, doi: 10.1029/2003JD004464.

CONTENTS

Characterization of Chemical Compositions in PM _{2.5} and Its Impact on Hazy Weather During 16 th Asian Games in Guangzhou	TAO Jun, CHAI Fa-he, GAO Jian, <i>et al.</i> (409)
PM _{2.5} Pollution and Aerosol Optical Properties in Fog and Haze Days During Autumn and Winter in Beijing Area	ZHAO Xiu-juan, PU Wei-wei, MENG Wei, <i>et al.</i> (416)
Forming Potential of Secondary Organic Aerosols and Sources Apportionment of VOCs in Autumn of Shanghai, China	WANG Qian, CHEN Chang-hong, WANG Hong-li, <i>et al.</i> (424)
Study on Number Concentration Distribution of Atmospheric Ultrafine Particles in Hangzhou	XIE Xiao-fang, SUN Zai, FU Zhi-min, <i>et al.</i> (434)
Pollution Characteristics and Source Identification of Atmospheric Particulate Matters <i>n</i> -Alkanes in Baoding City	LI Xing-ru, DU Xi-qiang, WANG Ying-feng, <i>et al.</i> (441)
Study on Pollution Characteristics of Carbonaceous Aerosols in Xi'an City During the Spring Festival	ZHOU Bian-hong, ZHANG Cheng-zhong, WANG Ge-hui (448)
Characteristics of PM ₁₀ and PM _{2.5} Concentrations in Mountain Background Region of East China	SU Bin-bin, LIU Xin-dong, TAO Jun (455)
Assessment of TVOC and Odor in the Remediation Site of Contaminated Soil and Groundwater Using Electronic Nose	TIAN Xiu-ying, CAI Qiang, LIU Rui, <i>et al.</i> (462)
Characteristics of Mercury Exchange Flux Between Soil and Atmosphere Under the Snow Retention and Snow Melting Control	ZHANG Gang, WANG Ning, AI Jian-chao, <i>et al.</i> (468)
Study on Heavy Metal Contaminations and the Sources of Pb Pollution in Jinghai Bay Using the Stable Isotope Technique	XU Lin-bo, GAO Qin-feng, DONG Shuang-lin, <i>et al.</i> (476)
Eco-environmental Evolution Inferred from <i>n</i> -Alkanes and δ ¹³ C Records in the Sediments of Shijiu Lake	OU Jie, WANG Yan-hua, YANG Hao, <i>et al.</i> (484)
Distribution of PGEs Contents and Its Factors in Snowfall and Snow Cover over the Arid Region in Changji City	LIU Yu-yan, LIU Hao-feng, ZHANG Lan (494)
Effect of Dust Deposition Collection Methods on Collection Efficiency	ZHANG Zheng-cai, DONG Zhi-bao (499)
Regionalization of the Freshwater Eco-regions in the Haihe River Basin of China	SUN Ran-hao, JI Yu-he, SHANG Lin-yuan, <i>et al.</i> (509)
Characteristics of Diffuse Attenuation Coefficient of Underwater Irradiance in the Lakes in the Middle and Lower Reaches of Yangtze River	SHI Zhi-qiang, ZHANG Yun-lin, WANG Ming-zhu, <i>et al.</i> (517)
Study on Influencing Factors and Universality of Chlorophyll- <i>a</i> Retrieval Model in Inland Water Body	HUANG Chang-chun, LI Yun-mei, XU Liang-jiang, <i>et al.</i> (525)
Effect of Dissolved Oxygen on Diversity of Ammonia-Oxidizing Microorganisms in Enrichment Culture from Estuarine Wetland Surface Sediments and Ammonia-oxidizing Rate	QIU Zhao-zheng, LUO Zhuan-xi, ZHAO Yan-ling, <i>et al.</i> (532)
Spatial Variation of Soil Moisture/Salinity and the Relationship with Vegetation Under Natural Conditions in Yancheng Coastal Wetland	ZHANG Hua-bing, LIU Hong-yu, LI Yu-feng, <i>et al.</i> (540)
Spatial Heterogeneity and Classified Control of Agricultural Non-Point Source Pollution in Huaihe River Basin	ZHOU Liang, XU Jian-gang, SUN Dong-qi, <i>et al.</i> (547)
Phosphorus Output Characteristics Under Different Rainfall-Runoffs in Gaolan River	CUI Yu-jie, LIU De-fu, SONG Lin-xu, <i>et al.</i> (555)
Monitoring and Analysis on Evolution Process of Rainfall Runoff Water Quality in Urban Area	DONG Wen, LI Huai-en, LI Jia-ke (561)
Characteristics and Contribution of the Strengthening Units of Composite Constructed Wetland for Treating Urban Sewage	REN Feng, LU Yi-xia, LIU Qin, <i>et al.</i> (570)
Inactivation of <i>Mycobacteria mucogenicum</i> in Drinking Water: Chlorine Resistance and Mechanism Analysis	ZHENG Qi, CHEN Chao, ZHANG Xiao-jian, <i>et al.</i> (576)
Partial Biological Characteristics and Algicidal Activity of an Algicidal Bacterium	LI San-hua, ZHANG Qi-ya (583)
Effects of Macrophytes Pyrolysis Bio-oil on <i>Skeletonema costatum</i> Antioxidant Enzyme Activities	YAO Yuan, LI Feng-min, LI Yuan-yuan, <i>et al.</i> (589)
Mechanism and Kinetics of Phenol Degradation by TiO ₂ Photocatalytic Combined Technologies	ZHANG Yi, HUANG Ruo-nan, WANG Xiao-min, <i>et al.</i> (596)
Biodegradation Characteristics of Organic Pollutants Contained in Tannery Wastewater	WANG Yong, LI Wei-guang, YANG Li, <i>et al.</i> (604)
Microbial Degradation Mechanism of Disperse Azo Dye Red 30 by <i>Streptomyces</i> sp. FX645	XIE Lian-wu, FANG Ji-qian, GUO Ya-ping (611)
Study on Preparation and Performance of a Biological Carrier with Tourmaline	YANG Ji-xian, ZENG Hong-yun, ZHOU Yi, <i>et al.</i> (616)
Study on the <i>Chlorella pyrenoidosa</i> Cultivation Technology Based on the Excess Sludge Utilization	JI Wen-wen, XIA Hui-long, FANG Zhi-guo, <i>et al.</i> (622)
Effects of Mild Thermal Pretreatment on Anaerobic Digestibility of Sludge with Low Organic Content	CHEN Han-long, YAN Yuan-yuan, HE Qun-biao, <i>et al.</i> (629)
Effect of Natural and Hydrothermal Synthetic Goethite on the Release of Methane in the Anaerobic Decomposition Process of Organic Matter	YAO Dun-fan, CHEN Tian-hu, WANG Jin, <i>et al.</i> (635)
Concentrations and Distribution Characteristics of PCDD/Fs in Spent Etching Solution and Its Copper Salt Recycling Products	QING Xian, HAN Jing-lei, WEN Yan-shen (642)
Case Study on Health Risk Assessment Based on Site-Specific Conceptual Model	ZHONG Mao-sheng, JIANG Lin, YAO Jue-jun, <i>et al.</i> (647)
Study on the Risk Assessment Method of Regional Groundwater Pollution	YANG Yan, YU Yun-jiang, WANG Zong-qing, <i>et al.</i> (653)
Groundwater Organic Pollution Source Identification Technology System Research and Application	WANG Xiao-hong, WEI Jia-hua, CHENG Zhi-neng, <i>et al.</i> (662)
Study on Soil Organic Carbon Pools and Turnover Characteristics Along an Elevation Gradient in Qilian Mountain	ZHU Ling-yu, PAN Jian-jun, ZHANG Wei (668)
Response of Black Soil Organic Carbon, Nitrogen and Its Availability to Long-term Fertilization	LUO Kun, HU Rong-gui, ZHANG Wen-ju, <i>et al.</i> (676)
Phytoavailability and Chemical Speciation of Cadmium in Different Cd-Contaminated Soils with Crop Root Return	ZHANG Jing, YU Ling-ling, XIN Shu-zhen, <i>et al.</i> (685)
Study on Mechanism of SOM Stabilization of Paddy Soils Under Long-term Fertilizations	LUO Lu, ZHOU Ping, TONG Cheng-li, <i>et al.</i> (692)
Aging Process of Cr(III) in 22 Typical Soils of China and Influence Factors Analysis	ZHENG Shun-an, ZHENG Xiang-qun, LI Xiao-chen, <i>et al.</i> (698)
Residual Characteristics of HCHs in Soils of a Former Lindane Production Enterprise	PAN Feng, WANG Li-li, ZHAO Hao, <i>et al.</i> (705)
Evaluation and Source Analysis of the Mercury Pollution in Soils and Vegetables Around a Large-scale Zinc Smelting Plant	LIU Fang, WANG Shu-xiao, WU Qing-ru, <i>et al.</i> (712)
Residue of Organic Fluorine Pollutants in Hair and Nails Collected from Tianjin	YAO Dan, ZHANG Hong, CHAI Zhi-fang, <i>et al.</i> (718)
Analysis of Estrogens, Nonylphenol, 4-tert-Octylphenol and Bisphenol A in the Sediments	WU Wei, SHI Jiang-hong, CHEN Qing-cai, <i>et al.</i> (724)
Investigation of As, Cu and Zn Species and Concentrations in Animal Feeds	YAO Li-xian, HUANG Lian-xi, JIANG Zong-yong, <i>et al.</i> (732)
Residue Dynamics of Flubendiamide in Paddy Field	WANG Dian-dian, SONG Ning-hui, WU Wen-zhu, <i>et al.</i> (740)
Isolation of Two Endophytic Phenanthrene-Degrading Strains and Their Degradation Capacity	NI Xue, LIU Juan, GAO Yan-zheng, <i>et al.</i> (746)
Biodegradation of Nitrobenzene by a Halophilic <i>Myroides odoratimimus</i> Strain Y6	LI Tian, QIAN Kun, XIAO Wei, <i>et al.</i> (753)
Effect of Immobilization on Biosensor for Benzene Derivates Detection	TANG Kuo, MA An-zhou, YU Qing, <i>et al.</i> (760)
Investigation of Bacterial Diversity in the Biological Desulfurization Reactor for Treating High Salinity Wastewater by the 16S rDNA Cloning Method	LIU Wei-guo, LIANG Cun-zhen, YANG Jin-sheng, <i>et al.</i> (767)
Assessment of the Effect of Influent NH ₄ ⁺ -N Concentration on the Abundance and Community Structure of Functional Bacteria in CANON Process	LIU Tao, LI Dong, ZENG Hui-ping, <i>et al.</i> (773)
Biodegradation of Lignocellulose by <i>Penicillium simplicissimum</i> and Characters of Lignocellulolytic Enzymes	SHEN Ying, HU Tian-jue, ZENG Guang-ming, <i>et al.</i> (781)
Microbial Community Structure and Distribution Characteristics in Oil Contaminated Soil	YANG Meng-qing, LI Li-ming, LI Chuan, <i>et al.</i> (789)
Degradation of Oxytetracycline in Chicken Feces Aerobic-Composting and Its Effects on Their Related Parameters	WANG Gui-zhen, LI Zhao-jun, ZHANG Shu-qing, <i>et al.</i> (795)
Research of Moisture Content Variation in MSW Landfill	LI Rui, LIU Jian-guo, XUE Yue-wei, <i>et al.</i> (804)
Anaerobic Digestion of Lignocellulosic Biomass with Animal Digestion Mechanisms	WU Hao, ZHANG Pan-yue, GUO Jian-bin, <i>et al.</i> (810)

《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)

2013年2月15日 34卷 第2期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 2 Feb. 15, 2013

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

国内外公开发刊