

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第37卷 第5期

Vol.37 No.5

2016

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

2015年12月北京市空气重污染过程分析及污染源排放变化	薛亦峰,周震,聂滕,潘涛,齐璐,聂磊,王占山,李云婷,李雪峰,田贺忠(1593)
北京 APEC 期间大气颗粒物中类腐殖酸的污染特征及来源	周雪明,仝雪娇,项萍,谭吉华,段菁春,何晓明,贺克斌,马永亮(1602)
利用 SPAMS 分析北京市硫酸盐、硝酸盐和铵盐季节变化特征及潜在源区分布	刘浪,张文杰,杜世勇,侯鲁健,韩斌,杨文,陈敏东,白志鹏(1609)
兰州城区大气 $PM_{2.5}$ 污染特征及来源解析	王新,聂燕,陈红,王博,黄韬,夏敦胜(1619)
成都市西南郊区春季大气 $PM_{2.5}$ 的污染水平及来源解析	林瑜,叶芝祥,杨怀金,张菊,殷蔚雯,李晓芬(1629)
中亚热带背景区重庆四面山大气气态总汞含量变化特征	刘伟明,马明,王定勇,孙涛,魏世强(1639)
固定源排放污染物健康风险评价方法的建立	陈强,吴焕波(1646)
北京市典型燃烧源颗粒物排放水平与特征测试	胡月琪,郭晓东,王琛,梁云平,马召辉(1653)
南京公园降尘中重金属污染水平及风险评价	王呈,钱新,李慧明,孙一轩,王金花(1662)
CoCuMnO ₂ 光催化氧化多组分 VOCs 特性及其动力学	孟海龙,卜龙利,刘嘉栋,高波,冯奇奇,谭娜,谢帅(1670)
大辽河感潮河段及近岸河口氮、磷的分布及潜在性富营养化	张雷,曹伟,马迎群,韩超南,秦延文,赵艳民,刘志超,杨晨晨(1677)
典型温冰川区湖泊的稳定同位素空间分布特征	史晓宜,蒲焘,何元庆,陆浩,牛贺文,夏敦胜(1685)
利用 $\delta^{15}N-NO_3^-$ 和 $\delta^{18}O-NO_3^-$ 示踪北京城区河流硝酸盐来源	赵庆良,马慧雅,任玉芬,王效科,彭剑锋,贺成武,武俊良,刘梦贞,闫苗苗(1692)
柳江盆地浅层地下水硝酸盐分布特征及影响因素分析	王贺,谷洪彪,迟宝明,李海君,姜海宁(1699)
三峡库区小流域不同土地利用类型对氮素流失影响	陈成龙,高明,倪九派,谢德体,邓华(1707)
亚热带农区生态沟渠对农业径流中氮素迁移拦截效应研究	王迪,李红芳,刘锋,王毅,钟元春,何洋,肖润林,吴金水(1717)
平原河网典型污染物生物降解系数的研究	冯帅,李叙勇,邓建才(1724)
沉水植物对沉积物微生物群落结构影响:以洪泽湖湿地为例	张丁予,章婷曦,董丹萍,李德芳,王国祥(1734)
苏南水库硅藻群落结构特征及其控制因素	任杰,周涛,朱广伟,金颖薇,崔扬,许海,朱梦圆,夏明芳,陈伟民(1742)
河北衡水湖湿地汞污染现状及生态风险评价	王乃姗,张曼胤,崔丽娟,马牧源,颜亮,穆泳林,秦鹏(1754)
顺德水道土壤及沉积物中重金属分布及潜在生态风险评价	蔡怡敏,陈卫平,彭驰,王铁宇,肖荣波(1763)
台州电子垃圾拆解区水和沉积物中多溴联苯醚污染特征与生态风险	陈香平,彭宝琦,吕素平,陈强,张勇,黄长江,董巧香(1771)
乌江中上游段河水主要离子化学特征及控制因素	黄奇波,覃小群,刘朋雨,蓝芳宁,张连凯,苏春田(1779)
岩溶流域地下水 TOC 输出及影响因素分析:以重庆丰都雪玉洞地下河流域为例	王巧莲,蒋勇军,陈宇(1788)
广东英德宝晶宫洞穴滴水元素季节变化与影响因素	黄嘉仪,陈琳,陈琼,刘淑华,杨亮,童晓宁,贺海波,米小建,邓肖敏,彭小桃,李汉杰,杨琰,周厚云(1798)
基于 PCR-DGGE 和拟杆菌(<i>Bacteroides</i>) 16S rRNA 的岩溶地下水粪便污染源示踪研究:以重庆南山老龙洞地下河系统为例	张弘,蒋勇军,张远瞩,段逸凡,吕现福,贺秋芳(1805)
典型岩溶区地下河中溶解态脂类生物标志物来源解析及其变化特征	梁作兵,孙玉川,李建鸿,王尊波,谢正兰,张媚,廖昱,江泽利(1814)
钴活化过一硫酸盐氧化过程中卤代副产物的生成	刘阔,金浩,董为,季跃飞,陆隽鹤(1823)
天冬氨酸在氯化过程中生成消毒副产物二氯乙腈的研究	丁春生,李乃军,张涛,章梦青(1831)
臭氧氧化饮用水过程中可同化有机碳生成的影响因素	董秉直,张佳丽,何畅(1837)
污水管网典型混流制区域水量水质波动特征解析	程珣,张明凯,刘艳臣,施汉昌(1845)
HDTMA 改性沸石的制备及吸附废水中对硝基苯酚的性能和动力学	郭俊元,王彬(1852)
放射性废水处理中吸附铀的优势藻种筛选	李鑫,胡洪营,余骏一,赵文玉(1858)
微米 Fe ₃ O ₄ 磁粉调理-压力电场污泥脱水工艺过程研究	钱旭,王毅力,赵丽(1864)
间歇曝气 SBR 处理养猪沼液的短程脱氮性能	宋小燕,刘锐,税勇,川岸朋树,占新民,陈吕军(1873)
不同灌溉方式对华北平原冬小麦田土壤 CO ₂ 和 N ₂ O 排放通量的影响	郭树芳,齐玉春,尹飞虎,彭琴,董云社,贺云龙,闫钟清(1880)
卫河新乡市区段春季溶解 CH ₄ 与 N ₂ O 浓度特征	侯翠翠,张芳,李英臣,王奇博,刘赛(1891)
模拟氮沉降对内蒙古克氏针茅草原 N ₂ O 排放的影响	杨涵越,张婷,黄永梅,段雷(1900)
土壤呼吸与土壤有机碳对不同秸秆还田的响应及其机制	曹湛波,王磊,李凡,付小花,乐毅全,吴纪华,陆兵,徐殿胜(1908)
黑土丘陵区小流域土壤有机质空间变异及分布格局	高凤杰,马泉来,韩文文,单培明,周军,张少良,张志民,王宏燕(1915)
耕作方式对紫色水稻土团聚体中有机质及重金属的分布特征影响	史琼彬,赵秀兰,常同举,卢吉文(1923)
北京东南郊典型地层重金属分布特征与潜在生态风险	赵倩,马琳,刘翼飞,何江涛,李广贺(1931)
准东煤田露天矿区土壤重金属污染现状评价及来源分析	刘巍,杨建军,汪君,王果,曹月娥(1938)
纳米 TiO ₂ 对土壤重金属释放及形态变化的影响	张金洋,王定勇,梁丽,李楚娟,张成,周雄,刘娟(1946)
纳米零价铁铜双金属对铬污染土壤中 Cr(VI) 的还原动力学	马少云,祝方,商执峰(1953)
低分子有机酸对硫杆菌活性的抑制作用及对土壤重金属脱除的影响	宋永伟,王鹤茹,曹艳晓,李飞,崔春红,周立祥(1960)
粒径和包裹物对纳米银在海洋微藻中的毒性影响	黄俊,衣俊,强丽媛,程金平(1968)
萱草修复石油烃污染土壤的根际机制和根系代谢组学分析	王亚男,程立娟,周启星(1978)
高温堆肥过程对猪粪来源抗生素抗性基因的影响	郑宁国,黄南,王卫卫,喻曼,陈晓旻,姚燕来,王卫平,洪春来(1986)
磺胺抗性消长与堆肥进程交互特征	林辉,汪建妹,孙万春,符建荣,陈红金,马军伟(1993)
《环境科学》征订启事(1830) 《环境科学》征稿简则(1977) 信息(1698,1851,1992)	

中亚热带背景区重庆四面山大气气态总汞含量变化特征

刘伟明^{1,2}, 马明^{1,2}, 王定勇^{1,2}, 孙涛², 魏世强^{1,2*}

(1. 西南大学资源环境学院, 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400716; 2. 重庆市农业资源与环境研究重点实验室, 重庆 400716)

摘要: 以重庆市四面山森林自然保护区作为中亚热带背景区的典型代表, 利用高时间分辨率自动测汞仪 (Tekran 2537X) 于 2012-03 ~ 2013-02 对该区域大气气态总汞 (TGM) 进行了连续 1 年的野外观测. 结果表明, 四面山地区气态总汞的年平均含量为 $(2.88 \pm 1.54) \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$, 高于北半球大气汞含量的背景值, 低于国内大部分背景区监测点, 表明以四面山为代表的中亚热带背景区大气汞从区域尺度而言尚属正常范围, 但从全球大尺度比较, 大气背景汞浓度已经有了一定程度升高. TGM 浓度按季节表现为: 冬季 $(3.68 \pm 2.43) \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$ > 夏季 $(3.29 \pm 0.79) \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$ > 春季 $(2.44 \pm 0.69) \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$ > 秋季 $(2.13 \pm 0.97) \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$, 冬季 TGM 浓度变化波动较大. TGM 日变化特征为春季夜间 TGM 浓度较高, 秋、夏、冬三季白天 TGM 浓度较高, TGM 浓度日变化与温度和光照强度有显著的正相关关系. 从风向和后向轨迹模型分析的结果来看, 重庆本地燃煤排放等是该地区气态总汞的主要来源, 此外印度季风等造成的大气汞的长距离迁移也可能是该区域大气汞含量升高的原因.

关键词: 背景区; 气态总汞; 季节变化; 日变化; 后向轨迹分析

中图分类号: X51 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2016)05-1639-07 DOI: 10.13227/j.hjxx.2016.05.006

Variation Characteristics of Total Gaseous Mercury at Simian Mountain Background Station in Mid-subtropical Region

LIU Wei-ming^{1,2}, MA Ming^{1,2}, WANG Ding-yong^{1,2}, SUN Tao², WEI Shi-qiang^{1,2*}

(1. Key Laboratory of the Three Gorges Reservoir Region's Eco-Environment, Ministry of Education, College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China; 2. Chongqing Key Laboratory of Agricultural Resources and Environment, Chongqing 400716, China)

Abstract: Total gaseous mercury (TGM) was continuously monitored at the Simian Mountain Forest Nature Reserve in Chongqing, a representative of the mid-subtropical region, using high-resolution automatic atmospheric mercury vapor analyzer (Tekran 2537X) from March 2012 to February 2013. The results showed that the average concentration of TGM during the monitoring was $(2.88 \pm 1.54) \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$, which was much higher than the background TGM on north hemisphere but lower than those at most of the other monitoring sites in China. These results suggested that the TGM level in Simian Mountain was still in the normal range on regional scale, but had an increasing tendency globally. The TGM level exhibited a distinct seasonal variation, following the order of winter $(3.68 \pm 2.43) \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$ > summer $(3.29 \pm 0.79) \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$ > spring $(2.44 \pm 0.69) \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$ > autumn $(2.13 \pm 0.97) \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$, and the TGM concentration varied to a greater extent in winter. The diurnal variation of TGM concentration characterized as being higher at the nighttime in spring, while higher during the daytime in other seasons. The concentration variation of TGM had a positive correlation to temperature and light intensity. The result of backward trajectory analysis using HYSPLIT showed that the main source of the TGM in Simian Mountain was the local coal combustion, and long distance transportation by the Indian monsoon might also play a role in the increasing TGM level.

Key words: background area; total gaseous mercury; seasonal variation; diurnal variation; back trajectory analysis

汞是一种全球性污染物, 大气是汞迁移转化的重要传输通道. 汞在大气中以 3 种形式存在: 颗粒态汞 (particulate mercury, HgP)、活性气态汞 (reactive gaseous mercury, RGM)、气态单质汞 (gaseous elemental mercury, GEM)^[1], 活性气态汞和气态单质汞总称为气态总汞 (total gaseous mercury, TGM). 气态总汞约占大气汞的 90% 以上, 以气态单质汞为主, 活性气态汞占气态总汞的 1% ~ 3%, 气态单质汞性质稳定, 在大气中可滞留 0.5 ~ 2 a^[2], 可以进行长距离传输, 参与全球汞循环.

我国是全球最大的人为源大气汞排放国家^[3,4], 大气汞的源汇和大尺度迁移规律的研究将为我国汞减排提供依据. 目前我国的大气汞监测研究已在多地展开, 如城市监测广州^[5]、贵阳^[6]、厦门^[7], 背景区监测鼎湖山^[8]、崇明岛^[9]、长白山^[10]、五指山^[11]等. 其中, 城市环境大气汞的监测在评价汞的人群

收稿日期: 2015-10-01; 修订日期: 2015-12-23

基金项目: 国家重点基础研究发展规划 (973) 项目 (2013CB430000)

作者简介: 刘伟明 (1990 ~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为大气环境, E-mail: liuweiming1990@163.com

* 通讯联系人, E-mail: sqwei@swu.edu.cn

健康风险、识别主要汞污染源及汞污染控制具有重要作用;而背景区大气汞的监测则是构建大气汞模型,认识汞的大尺度迁移转化规律的重要基础.目前,我国在汞的大尺度迁移转化研究方面尚较为薄弱,监测点位较少,缺乏长期连续监测,难以有效揭示大气汞的时间和区域变化.

西南地区具有典型的中亚热带气候特征,区域汞释放量高,同时该区域山地气候特征明显,污染物扩散条件较差,有可能会形成比较高浓度的大气汞污染.西南林区作为我国森林覆盖率第二大区,林区内的四面山国家级自然保护区保存着该地区最具代表地带性植被类型之一,同时也是地球同纬度仅存的规模最大、保护最完好的亚热带常绿阔叶林(evergreen broad-leaf forest).因此,本研究选取无明显汞点排放源、受人为活动影响较小的重庆市四面山森林自然保护区作为中亚热带区域大气背景区的典型观测点,开展大气气态总(TGM)的长期监测.目的在于获得我国中亚热带地区气态总汞的区域背景值,变化趋势,影响因素及源汇,以期为建立汞的全球大气循环演化模型和更好地履行《国际防治汞污染公约》提供依据.

1 材料与方法

1.1 监测点概况

四面山森林自然保护区,属于重庆市西南部江津区,位于重庆和贵州交界地带,是云贵高原大娄山北翼余脉,距离重庆市主城区 130 km.该地区具有典型的中亚热带季风气候特征,四季分明,雨量充沛,年均降水量 1 250 mm,无霜期 285 d,雨季集中在 6 ~ 10 月,年均气温 13.7℃,年日照时数高达 1 082.7 h,森林覆盖率达 95.41%.本研究监测点的地理坐标为东经 106°28'25",北纬 28°36'8",海拔 1 222 m,位于四面山洪海景区内(图 1),该站点四面环山,周边人口密度低,远离城市和人为污染源,是理想的中亚热带大气气态总汞背景监测点.

1.2 监测方法

大气气态总汞含量采用高时间分辨率自动测汞仪 Tekran 2537X 系统测定,采样点位于一个开阔地,距离地面垂直高度 5 m,周边约 15 km 范围内无明显人为汞污染源.该系统可将未过滤的大气吸收进入 Tekran 2537X 中,在这里 Hg 选择性地吸附在两个纯金收集管中生成金-汞齐.在进样时,收集管每 5 min 发生一次热解吸,汞通过冷蒸气原子荧光分光光谱仪 CVAFS 量化.采样工作于 2012 年 3 月

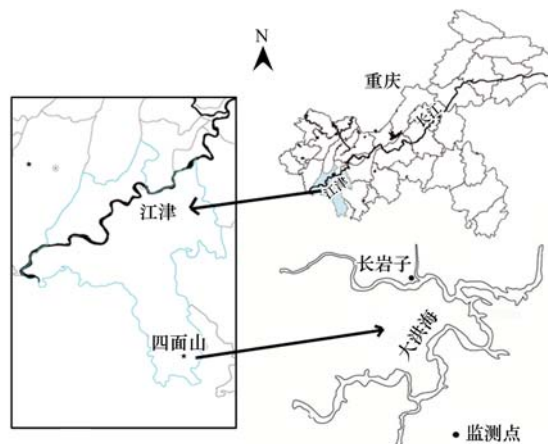


图 1 监测站点地理位置示意

Fig. 1 Location of sampling site in Mt. Simian

1 日至 2013 年 2 月 28 日完成,24 h 不间断采样,采样流速 $1.5 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$,仪器每 5 min 测定 1 组大气汞数据,由 A、B 两金管采样,仪器最低检测限为 $0.1 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$.在对大气汞进行连续监测的同时,还使用自动气象站(LVCJY-02)同步监测了温度、光照及风向、风速等气象指标.

1.3 轨迹计算

采用美国国家海洋和大气管理局(NOAA)大气资源实验室(ARL)研发的用于计算和分析大气污染物输送、扩散轨迹的拉格朗日混合单粒子轨道模型(HYSPLIT),结合 ARL 的 Gridded 气象数据档案库 EDAS(ETA Data Assimilation System)分析风场,计算出 TGM 的 72 h 后向轨迹.根据之前工作计算出后向轨迹的到达高度为 1 000 m.

1.4 质量保证与质量控制

为保证 TGM 数据质量,每 24 h 仪器采用 Hg^0 渗透元进行内部校正,采样期间使用外置汞源(Tekran2505)校正仪器,即每个采样循环和最后两次读数之前,在零气冲刷过程中的一次采样循环之后,对所有数据都采用两次读数的平均值进行空白校正.内外汞源数据偏差不超过 10%.该仪器的无空气平均空白值是 $(0.06 \pm 0.15) \text{ pg} \cdot \text{m}^{-3}$.仪器维护后数据的第一个循环的空白浓度较高,因此在计算中这些值被认定为无效而予以剔除.

2 结果与讨论

2.1 四面山背景区 TGM 含量总体状况

表 1 列出了四面山背景区 TGM 含量及国内外一些城市和背景点的大气汞监测结果.四面山背景区大气 TGM 年均含量为 $(2.88 \pm 1.54) \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$,高于北半球背景值 $1.5 \sim 1.7 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$ [12],

高于国内一些背景点含量如五指山^[11]和国外监测点如纽约^[13],与崇明岛^[9]地区气态总汞含量相当,但是略低于大部分背景点的 TGM 含量,如鼎湖山^[8]、长白山^[10]、万顷沙镇^[14]、嘎贡山^[15]等,明显低于国内外城市监测点,如广州^[5]、厦门^[7]、首尔^[16]等,远低于中亚热带地区如贵阳^[6]、北碚^[17]等. 这些对比结果表明,以四面山为代表的中亚热带背景区大气汞从区域尺度而言尚属正常范围,但从全球大尺度比较,大气背景汞浓度已经有了一定程度升高.

表 1 不同类型地区大气气态总汞含量水平
Table 1 TGM concentration in different types of areas

地区	采样时间	类型	监测方法	浓度/ $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$	文献
四面山	2012-03 ~ 2013-02	背景点	Tekran 2537X	2.88 ± 1.54	本研究
五指山	2011-05 ~ 2012-05	背景点	Tekran 2537B	1.58 ± 0.71	[11]
鼎湖山	2009-10 ~ 2010-04	背景点	Tekran 2537B	5.54 ± 2.89	[8]
崇明岛	2009-9 ~ 2009-12	背景点	Tekran 2537B	2.50 ± 1.50	[9]
万顷沙镇	2008-11 ~ 2008-12	背景点	Tekran 2537B	$2.94(0.58 \sim 18.67)$	[14]
长白山	2005-08 ~ 2006-07	背景点	Tekran 2537A	3.22 ± 1.78	[10]
嘎贡山	2005-05 ~ 2006-06	背景点	Tekran 2537A	3.98	[15]
纽约州	2000 ~ 2002	乡村	手动采样,加热解脱	$1.83 \sim 3.02$	[13]
广州	2010-11 ~ 2011-11	城区	Tekran 2537B	4.86 ± 1.36	[5]
厦门	2008-10 ~ 2008-12	城区	两次金汞齐-冷原子荧光光谱法	11.04 ± 17.68	[7]
首尔	2005-02 ~ 2006-02	城区	Tekran 2537A	3.22 ± 2.10	[16]
北碚	2003-01 ~ 2003-12	城区	RA-915 ⁺	$3.5 \sim 10.7$	[17]
贵阳	2001-01 ~ 2002-11	城区	Tekran 2537A	8.4	[6]
北半球		背景		$1.5 \sim 1.7$	[12]

2.2 背景区 TGM 的季节与月变化特征

四面山在整个研究期间(2012 年 3 月 1 日至 2013 年 2 月 28 日)大气气态总汞的变化分布情况如表 2 所示,TGM 的一般波动范围在 $0.79 \sim 5.09 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ 之间,但在冬季出现了极端最大值,达到 $27.54 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$,TGM 在冬季波动范围较大,标准偏差达到了 2.43,而在春夏秋 3 个季节的标准偏差均小于 1,TGM 浓度均比较稳定. 这一方面可能与监测点冬季温度低,易出现大气逆温层,风速较小,扩散条件相对较差有关,另一方面,根据调查,尽管监测点周边 15 km 范围内无明显人为活动点,冬季四面山游客稀少,但在四面山自然保护区核心区外周边区域仍然有居民居住,当地居民冬季取暖 等人为活动对大气 TGM 浓度也会产生影响. 从表 2 中可以看出四面山大气气态总汞平均浓度的顺序为冬季(12 月~次年 2 月)>夏季(6~8 月)>春季(3~5 月)>秋季(9~11 月).

四面山地区大气气态总汞月变化如图 2 所示,2012 年 3 月到 2012 年 7 月监测点 TGM 浓度逐渐上升,7 月达到最高($3.38 \pm 1.01 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$). 7~10 月,TGM 浓度逐渐下降,在 10 月份达到全年最小值($1.43 \pm 0.28 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$). 已有的研究表明 TGM 浓度最低值往往出现在夏季^[5,18],一般来说,四面山月平均最高气温在 8 月,达 31.5°C ,高温对边界层高度的稀释作用可能会加快 TGM 的扩散^[19,20],此外重

庆地区夏季降水充沛,是降水最多的季节,雨水对空气中大气汞的冲刷作用会极大降低大气中 TGM 的浓度^[21]. 但是夏季重庆主城区空调的大量使用会消耗大量能量,重庆市燃煤为主的能源结构会使 TGM 浓度升高^[22],夏季背景区主要风向为东北方向,经过主城区的气流带来大量汞,从而对背景区的 TGM 浓度造成影响. 2012 年 10 月到 2013 年 2 月,TGM 处于稳步上升的过程. 2013 年 2 月的 TGM 浓度是($4.10 \pm 2.53 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$),远高于全年平均值($2.88 \pm 1.54 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$). 这是因为在冬季,独特的山地气候造成区域大气稳定^[19,20],污染物难以扩散,加上本地人为源排放的影响,大气汞排放增加,大气汞在冬季发生聚集,浓度逐步升高. 2013 年 1 月和 2 月的 TGM 浓度波动较大,标准差分别为 3.00 和 2.53,在这个阶段四面山大气汞变化可能更多受到当地居民人为活动的影响.

表 2 四面山背景区气态总汞含量统计/ $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$

Table 2 Statistical summary of TGM concentration in Mt. Simian/ $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$

季节	样品数量	最小	最大	平均	标准偏差
春	288	0.99	4.1	2.44	0.69
夏	288	0.79	7.54	3.29	0.79
秋	288	0.98	5.09	2.13	0.97
冬	288	0.89	27.54	3.68	2.43
合计	1 152	0.79	27.54	2.88	1.54

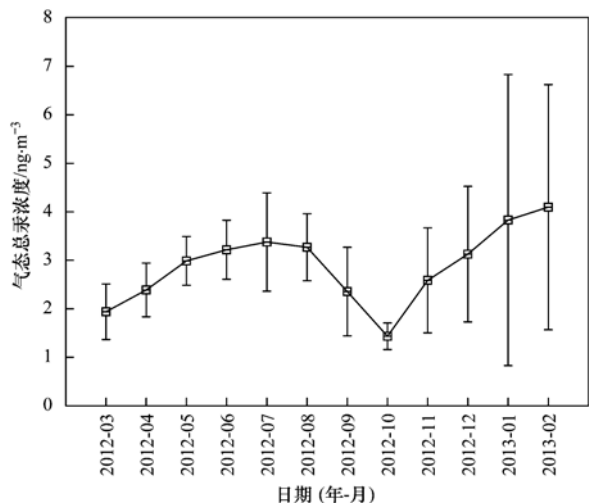


图2 四面山大气气态总汞月变化

Fig. 2 Monthly variation of TGM concentration in Mt. Simian

2.3 背景区 TGM 的日变化特征

图3表明了四面山地区一年四季气态汞浓度的日变化规律:春季 TGM 浓度比较稳定,白天 TGM 浓度平均值 $2.38 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$,夜晚 TGM 浓度平均值 $2.49 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$,是四季唯一夜晚 TGM 浓度大于白天的,TGM 浓度与温度、光强的相关系数分别为 0.868、0.794. 结合春季气象因子图(图4),在 00:00~06:00 点之间光照强度基本为 0,夜间汞在大气逆温层的累积导致大气气态总汞在 06:00 出现

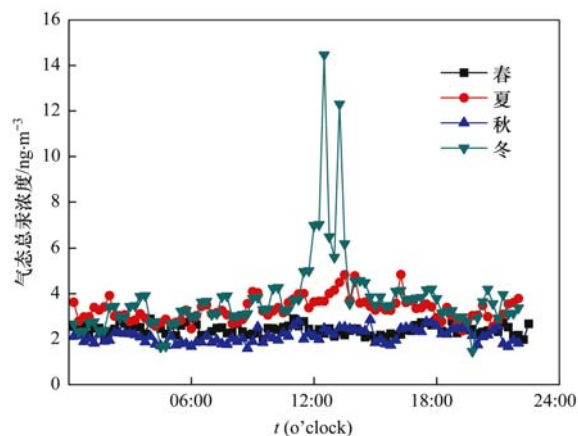


图3 四面山大气气态总汞日变化

Fig. 3 Daily variation of TGM in Mt. Simian

最大值 $2.99 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$. 夏季 TGM 浓度明显高于春季,白天 TGM 平均浓度达到 $3.57 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$,正午时分的 TGM 浓度值达到 $4.83 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$,在这段时间内,太阳辐射的作用比较复杂,一方面边界层高度升高会导致 TGM 扩散加快,但同时温度升高也会增加地表汞的释放^[23,24],加上重庆主城区人为源的影响,TGM 浓度整体上升. 秋季白天 TGM 浓度 $2.20 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$,夜晚 $2.05 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$,两者相近,最大值 $2.85 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$,出现在 15:00 左右. 根据秋季气象因子图(图4),秋季 TGM 浓度与温度的相关系数 $r = 0.618$,与光强的相关系数 $r = 0.818$,存在正相关关

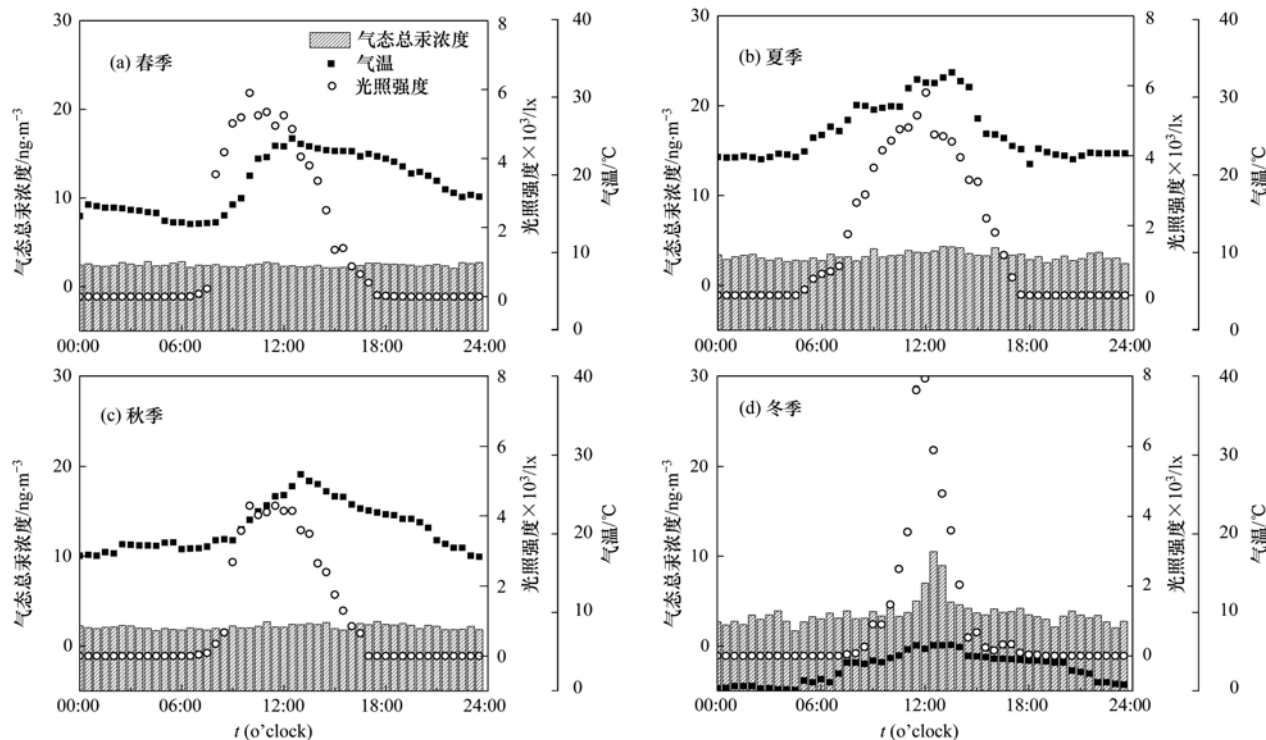


图4 四面山四季气象因子

Fig. 4 Figure of meteorological factors in four seasons in Mt. Simian

系,除了温度和光照的影响,秋季降雨也相对较多,当湿沉降、TGM 扩散作用对大气汞的稀释强度和汞源排放强度相互抵消时,秋季 TGM 浓度表现整体偏低现象. 冬季大气气态总汞浓度白天为 $4.44 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$,夜间 $2.92 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$,日变化幅度最大,变化规律显著. 根据冬季气象因子图(图 4),冬季平均温度 2.82°C ,光强 $1.90 \times 10^3 \text{ lx}$,均为全年最低,夜间 TGM 聚集,浓度逐渐升高,白天温度上升缓慢,由于夜间生成的大气逆温层,生成气流停滞区,TGM 难以扩散,TGM 进一步发生聚集,TGM 在中午 12:30 浓度达到最高值.

2.4 大气气态总汞来源分析

为了判断四面山地区大气汞的可能来源,利用风速风向仪同步采集的数据结合 TGM 浓度值作四面山全年风向的相对频率分布和大气气态总汞浓度的风向分布图(图 5),同时使用 HYSPLIT 后向轨迹模型,对四面山 2012 年 3 月到 2013 年 2 月的各个季节的气流团进行模拟聚类,得到各个季节气团的 72 h 后向轨迹图(图 6).

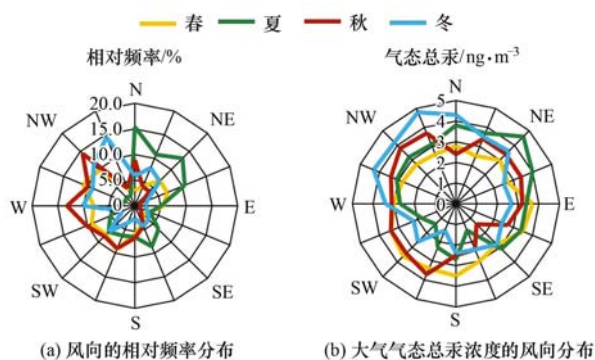


图 5 四面山全年风向的相对频率分布和大气气态总汞浓度的风向分布

Fig. 5 Relative frequency distribution of wind directions and mean distribution of TGM at wind directions in Mt. Simian

季风会对大气汞的长距离迁移和传输会造成很大的影响,特定风速和风向对高含量点源污染的扩散会起到主导作用,从而引起监测点 TGM 浓度的变化. 从图 6(a)中可以看到,在四面山背景区,春季西北方向长距离迁移气流(cluster4)和西南方向长距离气流(cluster2)所占比例为 7% 和 3%,主要气流为来自东面的短距离传输气流(cluster1),所占比例为 80%,春季的风向分布较均[图 5(a)],来自东面的大气气态总汞浓度为 $3.7 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$ 要大于其他方位[图 5(b)],春季 TGM 平均浓度为 $(2.44 \pm 0.69) \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$,略高于北半球背景值,重庆和贵州是汞的高污染地区^[25],来自贵州和重庆本地短距离气

流(cluster1),对四面山的大气汞污染起到了主要作用.

夏季主导风向为东北方向,其中 N 和 NE 方位风向所占频率达到 15.4% 和 13.1% [图 5(a)],从图 5(b)可以看到,夏季在 N 和 NE 方位风向的气流团 TGM 浓度较高,达到了 $3.8 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$ 和 $4.6 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$,说明在这段时间内,东北风既是该地区的主导风向,而且携带了高含量的汞. 夏季 TGM 平均浓度高达 $(3.29 \pm 0.97) \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$,根据图 6(b),来自东北方向的气流主要有两条,其中长距离迁移气流(cluster4)所占比例为 9%,短距离气流(cluster6)所占比例为 46%,气流(cluster4)从河南出发经过湖北,重庆地区最终到达监测点. 经由重庆市的气流(cluster6)可能携带了大量燃煤排放的汞,自北向南对四面山地区 TGM 浓度造成影响.

秋季风向主要集中在西北、西南方向,其中 NW 方位所占频率为 14.4% [图 5(a)],NW 方位气流大气汞浓度为 $3.8 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$ [图 5(b)]. 从图 6(c)可以看出,NW 方位的主要气流为长距离迁徙气流(cluster3),经过了甘肃陕西等地. 值得关注的是,背景区秋季与春季均受到同方向的气流(cluster4)的影响,我国属于典型的亚洲季风气候,季风交替在影响我国气候的同时,也极有可能对我国的大气环境产生影响^[26].

冬季 TGM 浓度为全年最高,从图 6(d)可以明显发现冬季主要气流为短距离气流(cluster1)和(cluster2),所占比例高达 91%,这些气流主要来自重庆本地跟贵阳等周边地区,这些气流对四面山冬季 TGM 浓度的控制是最主要的. 图 5(b)显示冬季西北方位的大气汞浓度明显高于其他方向,这可能是因为长距离迁移气流(cluster5)由北向南到达四面山地区,经过了重庆主城,因此携带了大量汞.

综上,重庆市本地或是对四面山地区大气汞污染贡献最高的地区. 这可能有两方面的原因,一方面,重庆市是西南地区工业重镇,1997 年直辖以来,地区经济高速发展,能源需求量迅速增加,以高硫分煤为主的能源结构,排放了包括汞在内的大量其他污染物进入大气环境^[22],另外一方面重庆地区独特的“山地环绕”型地势和“雾都”型气候特征也使污染物难以扩散稀释,最终形成高浓度的大气汞污染物,根据满洪喆等^[27]的研究显示重庆主城区的大气汞浓度范围达到了 $(6.45 \pm 0.03) \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$. 此外贵州四川等周边地区对背景区可能造成的影响,季风变化造成的大气汞的长距离迁移,以及内陆大气的

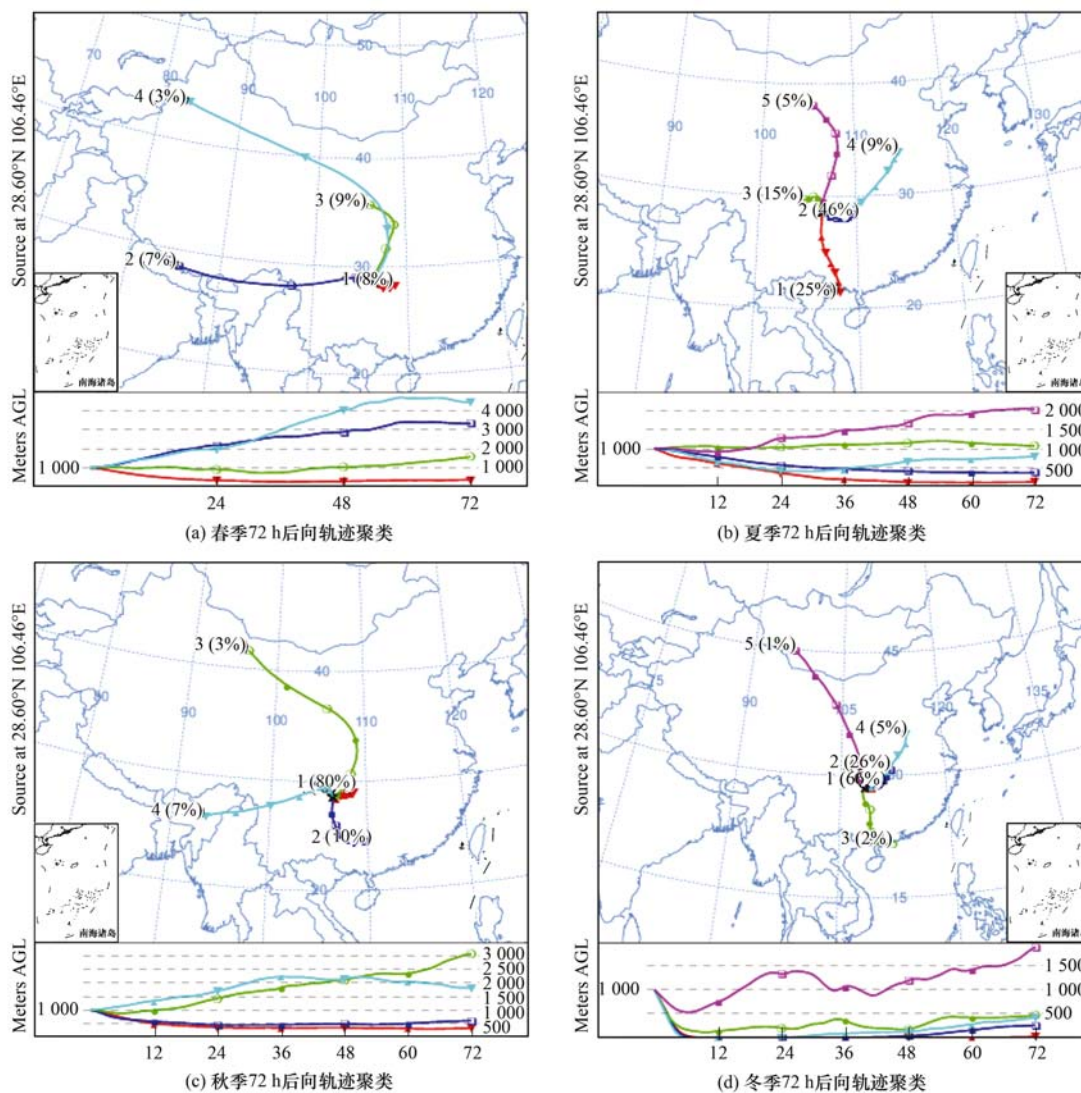


图 6 四面山春、夏、秋、冬四季 72 h 后向轨迹聚类分析

Fig. 6 The 72 h back trajectories of air masses in Mt. Simian in spring, summer, fall and winter at a height of 1000 m

长距离迁移带来的大气汞污染对四面山背景区 TGM 浓度造成的影响也是不可忽视的。

3 结论

(1) 四面山地区大气气态总汞年均值为 $(2.88 \pm 1.54) \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$, 明显高于北半球大气汞含量背景值 $1.5 \sim 1.7 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$, 低于国内大部分背景区监测点, 表明以四面山为代表的中亚热带背景区大气汞从区域尺度而言尚属正常范围, 但从全球大尺度比较, 大气背景汞浓度已经有了一定程度升高。

(2) 大气 TGM 平均浓度的顺序为冬季 > 夏季 > 春季 > 秋季, 冬季的 TGM 浓度波动较大, 2012 年 10 月达到全年最小值 $1.43 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$, 2013 年 2 月最高, TGM 浓度是 $4.10 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

(3) 该区域气态总汞表现出明显的日变化特

征, 春季夜间 TGM 含量较高, 其他三季白天 TGM 含量较高, TGM 浓度变化与温度、光照强度有显著的正相关关系。

(4) 大气气态总汞来源分析表明, 重庆市本地或是对四面山背景区大气汞污染贡献最高的地区, 此外贵州等周边地区、气流的长距离迁移也会对其造成一定影响。

参考文献:

- [1] Zhou J, Feng X B, Liu H Y, *et al.* Examination of total mercury inputs by precipitation and litterfall in a remote upland forest of Southwestern China[J]. *Atmospheric Environment*, 2013, **81**: 364-372.
- [2] Schroeder W H, Munthe J. Atmospheric mercury-an overview [J]. *Atmospheric Environment*, 1998, **32**(5): 809-822.
- [3] 吴晓云, 郑有飞, 林克思. 我国大气环境中汞污染现状[J]. *中国环境科学*, 2015, **35**(9): 2623-2635.

- [4] Pan L, Chai T F, Carmichael G R, *et al.* Top-down estimate of mercury emissions in China using four-dimensional variational data assimilation [J]. *Atmospheric Environment*, 2007, **41** (13): 2804-2819.
- [5] 刘明, 陈来国, 陶俊, 等. 广州市大气气态总汞含量季节和日变化特征[J]. *中国环境科学*, 2012, **32**(9): 1554-1558.
- [6] Feng X B, Shang L H, Wang S F, *et al.* Temporal variation of total gaseous mercury in the air of Guiyang, China[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2004, **109**(D3): D03303.
- [7] 李红英, 罗津晶, 李金兰, 等. 厦门市秋冬季节大气汞污染调查[J]. *环境科学与管理*, 2009, **34**(9): 48-52, 194.
- [8] 刘明, 陈来国, 范瑞芳, 等. 鼎湖山大气气态总汞含量和变化特征的初步研究[J]. *环境科学学报*, 2012, **32**(4): 932-939.
- [9] 窦红颖, 王书肖, 王龙, 等. 长三角背景地区秋冬季节大气气态总汞含量特征研究[J]. *环境科学*, 2013, **34**(1): 1-7.
- [10] 万奇, 冯新斌, 郑伟, 等. 长白山地区大气气态总汞含量的季节性特征研究[J]. *环境科学*, 2008, **29**(2): 296-299.
- [11] 雷育涛, 刘明, 陈来国, 等. 海南五指山大气气态总汞含量变化特征[J]. *环境科学*, 2015, **36**(3): 817-823.
- [12] Lindberg S, Bullock R, Ebinghaus R, *et al.* A synthesis of progress and uncertainties in attributing the sources of mercury in deposition[J]. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 2007, **36**(1): 19-32.
- [13] Han Y J, Holsen T M, Lai S O, *et al.* Atmospheric gaseous mercury concentrations in New York State: relationships with meteorological data and other pollutants [J]. *Atmospheric Environment*, 2004, **38**(37): 6431-6446.
- [14] Li Z, Xia C H, Wang X M, *et al.* Total gaseous mercury in Pearl River Delta region, China during 2008 winter period [J]. *Atmospheric Environment*, 2011, **45**(4): 834-838.
- [15] Fu X W, Feng X B, Zhu W Z, *et al.* Total gaseous mercury concentrations in ambient air in the eastern slope of Mt. Gongga, South-Eastern fringe of the Tibetan plateau, China [J]. *Atmospheric Environment*, 2008, **42**(5): 970-979.
- [16] Kim S H, Han Y J, Holsen T M, *et al.* Characteristics of atmospheric speciated mercury concentrations (TGM, Hg(II) and Hg(p)) in Seoul, Korea [J]. *Atmospheric Environment*, 2009, **43**(20): 3267-3274.
- [17] 王平安, 张成, 王春晓, 等. 重庆市北碚区大气汞时空变异研究[J]. *西南大学学报*, 2007, **29**(3): 125-129.
- [18] Carpi A, Lindberg S E. Sunlight-mediated emission of elemental mercury from soil amended with municipal sewage sludge [J]. *Environmental Science & Technology*, 1997, **31**(7): 2085-2091.
- [19] Lee D S, Dollard G J, Pepler S. Gas-phase mercury in the atmosphere of the United Kingdom [J]. *Atmospheric Environment*, 1998, **32**(5): 855-864.
- [20] Blanchard P, Froude F A, Martin J B, *et al.* Four years of continuous total gaseous mercury (TGM) measurements at sites in Ontario, Canada [J]. *Atmospheric Environment*, 2002, **36**(23): 3735-3743.
- [21] Bergan T, Rodhe H. Oxidation of elemental mercury in the atmosphere; Constraints imposed by global scale modelling [J]. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 2001, **40**(2): 191-212.
- [22] 蒋靖坤, 郝吉明, 吴烨, 等. 中国燃煤汞排放清单的初步建立[J]. *环境科学*, 2005, **26**(2): 34-39.
- [23] Bonzongo J C J, Donkor A K. Increasing UV-B radiation at the earth's surface and potential effects on aqueous mercury cycling and toxicity [J]. *Chemosphere*, 2003, **52**(8): 1263-1273.
- [24] Fu X W, Feng X B, Zhang H, *et al.* Mercury emissions from natural surfaces highly impacted by human activities in Guangzhou province, South China [J]. *Atmospheric Environment*, 2012, **54**: 182-193.
- [25] 仇广乐, 冯新斌, 王少锋, 等. 贵州汞矿区不同位置土壤中总汞和甲基汞污染特征的研究[J]. *环境科学*, 2006, **27**(3): 550-555.
- [26] 屈文军, 张小曳, 王亚强, 等. 云南迪庆地区大气本底碳气溶胶的理化特征[J]. *中国环境科学*, 2006, **26**(3): 266-270.
- [27] 满洪喆, 杨永奎, 王定勇. 重庆市主城区大气汞调查研究[J]. *西南大学学报(自然科学版)*, 2009, **31**(9): 131-137.

CONTENTS

Exploring the Severe Haze in Beijing During December, 2015; Pollution Process and Emissions Variation	XUE Yi-feng, ZHOU Zhen, NIE Teng, <i>et al.</i> (1593)
Pollution Characteristics and Source of HULIS in the Fine Particle During the Beijing APEC	ZHOU Xue-ming, QI Xue-jiao, XIANG Ping, <i>et al.</i> (1602)
Seasonal Variation Characteristics and Potential Source Contribution of Sulfate, Nitrate and Ammonium in Beijing by Using Single Particle Aerosol Mass Spectrometry	LIU Lang, ZHANG Wen-jie, DU Shi-yong, <i>et al.</i> (1609)
Pollution Characteristics and Source Apportionment of PM _{2.5} in Lanzhou City	WANG Xin, NIE Yan, CHEN Hong, <i>et al.</i> (1619)
Pollution Level and Source Apportionment of Atmospheric Particles PM _{2.5} in Southwest Suburb of Chengdu in Spring	LIN Yu, YE Zhi-xiang, YANG Huai-jin, <i>et al.</i> (1629)
Variation Characteristics of Total Gaseous Mercury at Simian Mountain Background Station in Mid-subtropical Region	LIU Wei-ming, MA Ming, WANG Ding-yong, <i>et al.</i> (1639)
Establishment of Method for Health Risk Assessment of Pollutants from Fixed Sources	CHEN Qiang, WU Huan-bo (1646)
Testing of Concentration and Characteristics of Particulate Matters Emitted from Stationary Combustion Sources in Beijing	HU Yue-qi, WU Xiao-dong, WANG Chen, <i>et al.</i> (1653)
Pollution Evaluation and Risk Assessment of Heavy Metals from Atmospheric Deposition in the Parks of Nanjing	WANG Cheng, QIAN Xin, LI Hui-ming, <i>et al.</i> (1662)
CoCuMnO ₂ Photocatalyzed Oxidation of Multi-component VOCs and Kinetic Analysis	MENG Hai-long, BO Long-li, LIU Jia-dong, <i>et al.</i> (1670)
Distribution of Nitrogen and Phosphorus in the Tidal Reach and Estuary of the Daliao River and Analysis of Potential Eutrophication	ZHANG Lei, CAO Wei, MA Ying-qun, <i>et al.</i> (1677)
Spatial Distribution of Stable Isotope from the Lakes in Typical Temperate Glacier Region	SHI Xiao-yi, PU Tao, HE Yuan-qing, <i>et al.</i> (1685)
$\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$ and $\delta^{18}\text{O-NO}_3^-$ Tracing of Nitrate Sources in Beijing Urban Rivers	ZHAO Qing-liang, MA Hui-ya, REN Yu-fen, <i>et al.</i> (1692)
Distribution Characteristics and Influencing Factors of Nitrate Pollution in Shallow Groundwater of Liujiang Basin	WANG He, GU Hong-biao, CHI Bao-ming, <i>et al.</i> (1699)
Nitrogen Losses Under the Action of Different Land Use Types of Small Catchment in Three Gorges Region	CHEN Cheng-long, GAO Ming, NI Jiu-pai, <i>et al.</i> (1707)
Interception Effect of Ecological Ditch on Nitrogen Transport in Agricultural Runoff in Subtropical China	WANG Di, LI Hong-fang, LIU Feng, <i>et al.</i> (1717)
Biodegradation Coefficients of Typical Pollutants in the Plain Rivers Network	FENG Shuai, LI Xu-yong, DENG Jian-cai (1724)
Influence of Submerged Plants on Microbial Community Structure in Sediment of Hongze Lake	ZHANG Ding-yu, ZHANG Ting-xi, DONG Dan-ping, <i>et al.</i> (1734)
Community Structure Characteristics of Diatom in Reservoirs Located in the South of Jiangsu Province, China and Its Control Factors	REN Jie, ZHOU Tao, ZHU Guang-wei, <i>et al.</i> (1742)
Contamination and Ecological Risk Assessment of Mercury in Hengshuihu Wetland, Hebei Province	WANG Nai-shan, ZHANG Man-yin, CUI Li-juan, <i>et al.</i> (1754)
Spatial Distribution and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Soils and Sediments in Shunde Waterway, Southern China	CAI Yi-min, CHEN Wei-ping, PENG Chi, <i>et al.</i> (1763)
Pollution Characteristics and Ecological Risk of PBDEs in Water and Sediment from an Electronic Waste Dismantling Area in Taizhou	CHEN Xiang-ping, PENG Bao-qi, LÜ Su-ping, <i>et al.</i> (1771)
Major Ionic Features and Their Controlling Factors in the Upper-Middle Reaches of Wujiang River	HUANG Qi-bo, QIN Xiao-qun, LIU Peng-yu, <i>et al.</i> (1779)
Export of Total Organic Carbon (TOC) from Karst Watershed and Its Influencing Factors; An Example from Xueyudong Underground River System, Chongqing	WANG Qiao-lian, JIANG Yong-jun, CHEN Yu (1788)
Seasonal Variations and Controlling Factors of the Element Contents in Drip Waters Collected from the Baojingong Cave in Guangdong Province	HUANG Jia-yi, CHEN Lin, CHEN Qiong, <i>et al.</i> (1798)
Tracing the Fecal Contamination Sources Based on <i>Bacteroides</i> 16S rRNA PCR-DGGE in Karst Groundwater; Taking Laolongdong Underground River System, Nanshan, Chongqing as an Example	ZHANG Hong, JIANG Yong-jun, ZHANG Yuan-zhu, <i>et al.</i> (1805)
Sources and Variation Characteristics of Dissolved Lipid Biomarkers in a Typical Karst Underground River	LIANG Zuo-bing, SUN Yu-chuan, LI Jian-hong, <i>et al.</i> (1814)
Formation of Halogenated By-products in Co ²⁺ Activated Peroxymonosulfate Oxidation Process	LIU Kuo, JIN Hao, DONG Wei, <i>et al.</i> (1823)
Aspartic Acid Generated in the Process of Chlorination Disinfection By-product Dichloroacetonitrile	DING Chun-sheng, LI Nai-jun, ZHANG Tao, <i>et al.</i> (1831)
Influencing Factors of Assimilable Organic Carbon (AOC) Formation in Drinking Water During Ozonation Process	DONG Bing-zhi, ZHANG Jia-li, HE Chang (1837)
Wastewater Quantity and Quality Fluctuation Characteristics of Typical Area of Hybrid Sewage System	CHENG Xun, ZHANG Ming-kai, LIU Yan-chen, <i>et al.</i> (1845)
Preparation of HDTMA-modified Zeolite and Its Performance in Nitro-phenol Adsorption from Wastewaters	GUO Jun-yuan, WANG Bin (1852)
Selection of Suitable Microalgal Species for Sorption of Uranium in Radioactive Wastewater Treatment	LI Xin, HU Hong-ying, YU Jun-yi, <i>et al.</i> (1858)
Magnetic Fe ₃ O ₄ Microparticles Conditioning-Pressure Electro-osmotic Dewatering (MPEOD) of Sewage Sludge	QIAN Xu, WANG Yi-li, ZHAO Li (1864)
Stability of Short-cut Nitrification Nitrogen Removal in Digested Piggery Wastewater with an Intermittently Aerated Sequencing Batch Reactor	SONG Xiao-yan, LIU Rui, SHUI Yong, <i>et al.</i> (1873)
Effect of Irrigation Patterns on Soil CO ₂ and N ₂ O Emissions from Winter Wheat Field in North China Plain	GUO Shu-fang, QI Yu-chun, YIN Fei-hu, <i>et al.</i> (1880)
Characteristics of Dissolved CH ₄ and N ₂ O Concentrations of Weihe River in Xinxiang Section in Spring	HOU Cui-cui, ZHANG Fang, LI Ying-chen, <i>et al.</i> (1891)
Effect of Stimulated N Deposition on N ₂ O Emission from a <i>Stipa krylovii</i> Steppe in Inner Mongolia, China	YANG Han-yue, ZHANG Ting, HUANG Yong-mei, <i>et al.</i> (1900)
Response of Soil Respiration and Organic Carbon to Returning of Different Agricultural Straws and Its Mechanism	CAO Zhan-bo, WANG Lei, LI Fan, <i>et al.</i> (1908)
Spatial Variability and Distribution Pattern of Soil Organic Matter in a Mollisol Watershed of China	GAO Feng-jie, MA Quan-lai, HAN Wen-wen, <i>et al.</i> (1915)
Effects of Tillage on Distribution of Heavy Metals and Organic Matter Within Purple Paddy Soil Aggregates	SHI Qiong-bin, ZHAO Xiu-lan, CHANG Tong-ju, <i>et al.</i> (1923)
Distribution Characteristics and Potential Ecological Hazards Assessment of Soil Heavy Metals in Typical Soil Profiles in Southeast Suburb of Beijing	ZHAO Qian, MA Lin, LIU Yi-fei, <i>et al.</i> (1931)
Contamination Assessment and Sources Analysis of Soil Heavy Metals in Opencast Mine of East Junggar Basin in Xinjiang	LIU Wei, YANG Jian-jun, WANG Jun, <i>et al.</i> (1938)
Effect of Nano-TiO ₂ on Release and Speciation Changes of Heavy Metals in Soil	ZHANG Jin-yang, WANG Ding-yong, LIANG Li, <i>et al.</i> (1946)
Reduction Kinetics of Cr(VI) in Chromium Contaminated Soil by Nanoscale Zerovalent Iron-copper Bimetallic	MA Shao-yun, ZHU Fang, SHANG Zhi-feng (1953)
Inhibition of Low Molecular Organic Acids on the Activity of <i>Acidithiobacillus</i> Species and Its Effect on the Removal of Heavy Metals from Contaminated Soil	SONG Yong-wei, WANG He-ru, CAO Yan-xiao, <i>et al.</i> (1960)
Contribution of Particle Size and Surface Coating of Silver Nanoparticles to Its Toxicity in Marine Diatom <i>Skeletonema costatum</i>	HUANG Jun, YI Jun, QIANG Li-yuan, <i>et al.</i> (1968)
Rhizospheric Mechanisms of <i>Hemerocallis middendorffii</i> Trautv. et Mey. Remediating Petroleum-contaminated Soil and Metabonomic Analyses of the Root Systems	WANG Ya-nan, CHENG Li-juan, ZHOU Qi-xing (1978)
Effects of Thermophilic Composting on Antibiotic Resistance Genes (ARGs) of Swine Manure Source	ZHENG Ning-guo, HUANG Nan, WANG Wei-wei, <i>et al.</i> (1986)
Interaction Between Sulfonamide Antibiotics Fates and Chicken Manure Composting	LIN Hui, WANG Jian-mei, SUN Wan-chun, <i>et al.</i> (1993)

《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 刘 毅 汤鸿霄 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)

2016年5月15日 第37卷 第5期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 37 No. 5 May 15, 2016

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: 120.00 元

国外发行代号: M 205

国 内 外 公 开 发 行