

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第8期

Vol.35 No.8

2014

中国科学院生态环境研究中心 主办

科学出版社 出版



目次

2012年春季京津冀地区一次沙尘暴天气过程中颗粒物的污染特征分析	刘庆阳, 刘艳菊, 赵强, 张婷婷, 张美根, 王存美 (2843)
杭州灰霾天气超细颗粒浓度分布特征	陈秋方, 孙在, 谢小芳 (2851)
气象因素对广州市大气中二噁英污染特征的影响	杜国勇, 苏原, 任明忠, 张素坤, 青宪 (2857)
龙凤山本底站大气 CO ₂ 数据筛分及浓度特征研究	栾天, 周凌晔, 方双喜, 姚波, 王红阳, 刘钊 (2864)
区域传输对华东森林及高山背景点位大气污染物浓度的影响	苏彬彬, 许榕洋, 张若宇, 纪贤鑫 (2871)
天津市夏季蜂窝状溶蚀器涂层溶液浓度确定的实验研究	张诗建, 姬亚芹, 张雷波, 赵雪艳, 朱振宇, 杨文 (2878)
铅锌冶炼厂不同工艺铅元素粒径分布特征	梁俊宁, 李文慧, 葛毅, 陈洁, 宋丽娜, 刘杰 (2883)
KI 改性黏土脱除烟气中单质汞的研究	沈伯雄, 陈建宏, 蔡记, 何川, 李卓 (2890)
污泥直接干化产生的恶臭及挥发性有机物特征研究	陈文和, 邓明佳, 罗辉, 张婧赢, 丁文杰, 刘俊新, 李琳 (2897)
基于风险管理的区域(流域)地下水污染预警方法研究	白利平, 王业耀, 郭永丽, 周友亚, 刘俐, 颜增光, 李发生 (2903)
1980~2010年浙江某典型河流硝态氮通量对净人类活动氮输入的动态响应	张柏发, 陈丁江 (2911)
南京仙林新市区土地利用结构与格局对湿地水环境氮、磷影响研究	蔡春晓, 刘红玉, 李玉凤, 王聪, 侯明行 (2920)
三江平原典型沼泽湿地养分累积与沉积特征	李瑞利, 柴民伟, 邱国玉, 石福臣, Sasa Kaichiro (2928)
岩溶地下河流域表层土壤多环芳烃污染特征及来源分析	蓝家程, 孙玉川, 师阳, 徐昕, 袁道先, 胡宁 (2937)
亚热带典型岩溶区地表溪流水文地球化学昼夜变化及其影响因素研究	张陶, 蒲俊兵, 袁道先, 章程, 何师意, 于爽, 刘文, 莫雪, 周建超, 杨会, 唐伟 (2944)
藏南干旱区湖泊及地热水体氢氧同位素研究	肖可, 沈立成, 王鹏 (2952)
广西五里峡水库夏季溶解无机碳行为的初步研究	刘文, 蒲俊兵, 于爽, 章程, 区绎如, 袁道先, 杨会, 唐伟 (2959)
铜陵相思河流域重金属分布特征研究	陈莉薇, 徐晓春, 王军, 陈芳 (2967)
不同压力作用下太湖蓝藻气囊体积分数及上浮特性研究	王巍, 丛海兵, 徐亚军, 陈雯婧, 徐思涛, 吴军, 蒋新跃 (2974)
酸性条件下Ti(IV)催化 O ₃ /H ₂ O ₂ 降解邻苯二甲酸二甲酯	高燕, 沈佟栋, 陈尧, 周慧华, 童少平 (2980)
无机离子与胡敏酸对零价铁去除水中Pb(II)、Hg(II)的影响	施秋伶, 周欣, 张进忠, 邱昕凯 (2985)
羟基磷灰石-四氧化三铁-沸石复合材料制备及去除水中刚果红研究	方巧, 林建伟, 詹艳艳, 杨孟娟, 郑雯婧 (2992)
不锈钢 201、304 和 316L 在模拟污水管道反应器中的腐蚀	鲍国栋, 左剑恶, 王雅娟, 千里里 (3002)
微滤过程中腐殖酸与膜表面黏附特性的试验研究	王磊, 王磊, 黄丹曦, 王旭东 (3007)
不同类型 LDHs 对垂直流人工湿地无烟煤基质的覆膜改性及其脱氮效果研究	张翔凌, 郭露, 陈俊杰, 刘小婷, 徐璐, 陈巧珍, 王晓晓 (3012)
SPG 膜曝气-基因工程菌生物膜反应器处理阿特拉津废水研究	刘春, 龚鹏飞, 肖太民, 张明, 年永嘉, 杨景亮, 张晶 (3018)
SPG 膜微气泡曝气生物膜反应器运行性能影响因素研究	张磊, 张明, 刘春, 张静, 刘俊良 (3024)
曝气膜生物反应器运行过程中污泥活性特征变化及其对膜污染的影响	陈烜, 汤兵, 张姿, 宾丽英, 黄绍松, 付丰连, 邱兵 (3031)
限量曝气进水时间对硝化颗粒污泥的影响特性研究	刘文如, 阴芳芳, 王建芳, 沈耀良 (3038)
UASBB 厌氧氨氧化反应器处理污泥脱水液的影响因素研究	李亚峰, 马晨曦, 张驰 (3044)
开封周边地区地表灰尘中汞背景值及其应用	陈彦芳, 马建华, 董运武, 刘德新, 陈星 (3052)
北京市幼儿园地面尘中有毒金属浓度及其健康风险	段恒轶, 吴亚涛, 王珏, 刘兆荣 (3060)
珠三角电子垃圾和城市地区家庭灰尘中多氯联苯的来源及暴露风险	朱智成, 陈社军, 丁南, 王璟, 罗孝俊, 麦碧娴 (3066)
温带典型草原土壤总有机碳及溶解性有机碳对模拟氮沉降的响应	齐玉春, 彭琴, 董云社, 肖胜生, 孙良杰, 刘欣超, 何亚婷, 贾军强, 曹丛丛 (3073)
不同肥料种类对稻田红壤碳氮淋失的影响	刘希玉, 邹敬东, 徐丽丽, 张心昱, 杨风亭, 戴晓琴, 王忠强, 孙晓敏 (3083)
低分子有机酸对土壤中 Cu 化学形态的影响	黄国勇, 付庆灵, 朱俊, 万田英, 胡红青 (3091)
EDTA 与柠檬酸复配洗涤修复多重金属污染土壤效果研究	尹雪, 陈家军, 蔡文敏 (3096)
不同生态系统土壤生化特征及其与土壤呼吸和 N ₂ O 排放的关系	陈玲, 范会, 蒋静艳 (3102)
黄河口不同恢复阶段湿地土壤 N ₂ O 产生的不同过程及贡献	孙文广, 孙志高, 甘卓亭, 孙万龙, 王伟 (3110)
猪粪化肥配施对双季稻田 CH ₄ 和 N ₂ O 排放及其全球增温潜势的影响	王聪, 沈健林, 郑亮, 刘杰云, 秦红灵, 李勇, 吴金水 (3120)
我国北方两地区环境臭氧浓度对矮菜豆生长的影响	袁相洋, 张巍巍, 孙敬松, 胡恩柱, 张玉龙, 张红星, 田媛, 冯兆忠 (3128)
丛枝菌根影响纳米 ZnO 对玉米的生物效应	王卫中, 王发园, 李帅, 刘雪琴 (3135)
丛枝菌根对翅荚木生长及吸收累积重金属的影响	李霞, 彭霞薇, 伍松林, 李志茹, 冯红梅, 江泽平 (3142)
含磷物质对水稻吸收土壤砷的影响	雷鸣, 曾敏, 廖柏寒, 胡立琼, 周航, 龙水波 (3149)
重金属铬(VI)的生态毒性及其土壤环境基准	王晓南, 刘征涛, 王婉华, 张聪, 陈丽红 (3155)
维生素 B ₁₂ 对脱氮功能蓝藻降解 2,4,4'-三氯联苯的促进作用研究	刘嘉裕, 肖文丰, 鲁莉萍, 张杭君 (3162)
己烯雌酚降解菌株沙雷氏菌的分离鉴定及其降解特性	徐冉芳, 孙敏霞, 刘娟, 汪泓, 李欣, 朱雪竹, 凌婉婷 (3169)
多溴联苯醚在市場鲫鱼体内分布和食鱼暴露量	王俊霞, 王春艳, 刘莉莉, 周啸宇, 刘洋成, 林匡飞 (3175)
稀有鮐鲫 HMGR 基因全长克隆及雌鱼经五氯酚暴露基因表达的分析	邓川, 毛思予, 熊力, 张晓峰, 李伟, 高香, 刘秋萍, 陈韵, 刘堰 (3183)
藻细胞和高岭土的存在对病毒 MS2 存活的影响	何强, 吴庆庆, 马红芳, 周真明, 苑宝玲 (3192)
多胺功能化介孔炭对 Pb(II) 的吸附动力学与机制	李坤权, 王艳锦, 杨美蓉, 朱志强, 郑正 (3198)
生物活性炭投加量对垃圾渗滤液处理效果的影响	崔延瑞, 郭焱, 吴青, 马罗丹, 孙剑辉, 崔凤灵 (3206)
经济结构调整的污染减排效应: 以 COD 减排为例	李名升, 周磊, 陈远航, 李茜, 张建辉 (3212)
中国铅流改变原因分析	马兰, 毛建素 (3219)
放牧阉牦牛提前出栏甲烷排放强度减排潜力探讨	汪诗平, Andreas Wilkes, 汪亚运, 白玲 (3225)
中国水体硝酸盐氮双稳定同位素溯源研究进展	徐志伟, 张心昱, 于贵瑞, 孙晓敏, 温学发 (3230)
《环境科学》征稿简则 (2936) 《环境科学》征订启事 (3051) 信息 (2882, 2927, 3059, 3218)	

龙凤山本底站大气 CO₂ 数据筛分及浓度特征研究

栾天^{1,2}, 周凌晞^{1*}, 方双喜¹, 姚波¹, 王红阳¹, 刘钊¹

(1. 中国气象科学研究院中国气象局大气化学重点开放实验室, 北京 100081; 2. 南京信息工程大学大气物理学院, 南京 210044)

摘要: 针对黑龙江龙凤山区域大气本底站 2009 年 1 月~2011 年 12 月低层(离地 10 m)和高层(离地 80 m)大气 CO₂ 在线观测数据, 选取低层数据重点开展研究, 分析地面风向和风速等因素对观测 CO₂ 浓度的影响。结果表明, 龙凤山低层大气 CO₂ 浓度明显受局地源汇影响, 其与高层观测结果差异在白天 08:00~17:00 相对较小, 小于 $(0.5 \pm 0.5) \times 10^{-6}$ (物质的量比)。春、夏和秋这 3 个季节 E-ESE-SE-SSE 扇区来向的地面风会明显抬升大气 CO₂ 浓度, 而冬季 N-NNW-NW-WNW 扇区 CO₂ 浓度明显较高。该站 4 个季节近地面 CO₂ 浓度随着风速增大而逐渐减小, 在冬季尤为明显。结合日变化及地面风的影响, 对低层观测数据进行初步本底/非本底筛分, 筛选出代表东北区域混合均匀 CO₂ 水平的本底数据占总数据的 30.7%。本底 CO₂ 浓度季节变化显示该站大气 CO₂ 浓度呈现冬季高夏季低的趋势, 季振幅约为 $(36.3 \pm 1.4) \times 10^{-6}$, 明显大于同期 WMO/GAW 同纬度站点观测结果, 2009~2011 年龙凤山大气 CO₂ 平均增长率为 $2.4 \times 10^{-6} \text{ a}^{-1}$ 。

关键词: 大气 CO₂; 龙凤山; 数据筛分; 浓度; 趋势变化

中图分类号: X51 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)08-2864-07 DOI: 10.13227/j.hj.kx.2014.08.004

Atmospheric CO₂ Data Filtering Method and Characteristics of the Molar Fractions at the Longfengshan WMO/GAW Regional Station in China

LUAN Tian^{1,2}, ZHOU Ling-xi¹, FANG Shuang-xi¹, YAO Bo¹, WANG Hong-yang¹, LIU Zhao¹

(1. Key Laboratory for Atmospheric Chemistry, Chinese Academy of Meteorological Sciences, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China; 2. School of Atmospheric Physics, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: Based on the *in-situ* observation results of atmospheric CO₂ molar fractions at two levels (10 m and 80 m above the ground) at Longfengshan (LFS) regional background station in Heilongjiang Province during January 2009 to December 2011, this study mainly focused on the results from 10 m above the ground level (a. g. l.). The results indicated that the observed data from 10 m were strongly affected by the local sources/sinks. The differences between the 10 m and 80 m results were relatively small during the daytime (08:00-17:00) with values smaller than $(0.5 \pm 0.5) \times 10^{-6}$. In spring, summer and winter, higher CO₂ molar fractions were observed when surface winds came from the E-ESE-SE-SSE sectors, while, in winter, surface winds from the N-NNW-NW-WNW sectors obviously enhanced the observed values. Generally, lower CO₂ values were accompanied with higher wind speed in the four seasons. This phenomenon was most obvious in winter. Based on the analysis of the observed diurnal cycles and the local meteorological conditions, the observed data from 10 m were filtered into background/non-background events. About 30.7% valid hourly data were filtered as regional background representative. The background CO₂ variation displayed a peak in winter and a valley in summer with a seasonal peak to peak amplitude of $(36.3 \pm 1.4) \times 10^{-6}$, which was higher than the values at similar latitude from Marine Boundary Layer (MBL) References and WMO/GAW stations. The yearly CO₂ increasing rate at LFS was roughly estimated to be $2.4 \times 10^{-6} \text{ a}^{-1}$.

Key words: atmospheric CO₂; Longfengshan regional background station; data selection; molar fraction; trend variation

大气 CO₂ 是最重要的温室气体, 其产生的辐射强迫在所有长生命期温室气体中处于首位^[1]。2012 年大气 CO₂ 全球平均浓度(物质的量比, 下同)为 $(393.1 \pm 0.1) \times 10^{-6}$, 为工业革命前(1750 年)的 141%^[2], 大气 CO₂ 浓度的增加主要是由于化石燃料的燃烧和土地利用的变化^[3,4]。

全球大气 CO₂ 的源汇分布并不均匀, 加上各种输送过程的影响, 其在大气中的浓度存在明显的时空变化。掌握不同区域大气 CO₂ 浓度及变化, 是研究全球碳循环的重要手段之一^[5,6]。美国自 1959 年

起在夏威夷 Mauna Loa 站开展大气 CO₂ 浓度的长期观测, 已有 50 多年的观测记录^[7~9]。之后世界气象组织/全球大气观测网(WMO/GAW)在世界各地陆续建立了很多大气 CO₂ 观测站, 目的之一是将大气

收稿日期: 2013-12-09; 修订日期: 2014-02-24

基金项目: 国家自然科学基金项目(41175116); 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2010CB950601); 中国气象局气候变化专项(CCSF201345); 江苏省普通高校研究生科研创新计划项目(CXZZ13_0510); 中国气象局关键技术集成与应用项目(CMAGJ2013M73)

作者简介: 栾天(1988~), 女, 博士研究生, 主要研究方向为温室气体及相关微量成分, E-mail: luantianl08@163.com

* 通讯联系人, E-mail: zhoulx@cams.cma.gov.cn

CO₂ 的时空变化与反演模式相结合,研究全球碳循环^[10~12]. 我国在温室气体本底观测方面的工作起步较晚,1994 年在青海瓦里关站开展大气 CO₂ 在线观测^[13]. 截至 2013 年,共有青海瓦里关、北京上甸子、浙江临安、黑龙江龙凤山、云南香格里拉、湖北金沙和新疆阿克达拉这 7 个本底站开展了采样观测,其中 5 站还开展了在线观测,观测的 CO₂ 能够代表我国几个典型气候、生态和经济区的浓度水平. 龙凤山区域本底站在 2006 和 2009 年先后开始大气 CO₂ 每周一次玻璃瓶采样观测和在线观测^[14,15].

因不同站点的地理位置、地形地貌和环境状况等因素有很大差别,对温室气体进行长期、系统、准确观测时,应确定观测资料的时空代表性,分离出未受局地源汇影响的本底值,以用于研究全球或区域尺度的异同和变化趋势^[16]. 非本底数据则用于反演特定区域碳循环温室气体的源汇分布的动态变化^[17],以及进一步结合数值模式研究其长距离输送情况^[18]. 因此数据筛分在分析大气背景浓度值时非常重要. 周凌晔等^[19]将地面风统计平均数据作为大气 CO₂ 本底资料的过滤因子之一,提出了适用于我国内陆高原地区大气 CO₂ 本底数据筛选方法. 龙凤山区域本底站由于其独特的地理气候特征,瓦里关数据筛分方法不能完全适用于区域本底站的筛分. 本研究根据 2009~2011 年在线观测资料,对观测数据进行了本底/非本底筛分,在准确提取区域混合均匀 CO₂ 浓度信息的基础上,系统分析了我国东北区域大气 CO₂ 浓度及变化特征.

1 材料与方法

1.1 观测站点信息

黑龙江龙凤山区域大气本底站(127.6°E, 44.73°N, 海拔 330.5 m)已经纳入 WMO/GAW 区域本底站系列,是科技部“国家大气成分本底野外观测研究站”之一,其观测结果能够代表东北区域浓度水平. 该站地理位置如图 1 所示,地处黑龙江省五常市(县级)境内的龙凤山山顶,西北方向距离五常市 40 km,哈尔滨市 175 km. 龙凤山的北面和西面是松嫩平原,主要种植水稻和玉米等农作物. 在东南方向有一个中等规模的水库. 龙凤山水库向西是一条通往五常的乡村公路,有客车及农用车通行. 附近村民基本以柴草为做饭和取暖的燃料. 站址方圆 40 km 无大城市和工业区,四周森林覆盖良好,属典型的温带季风气候.

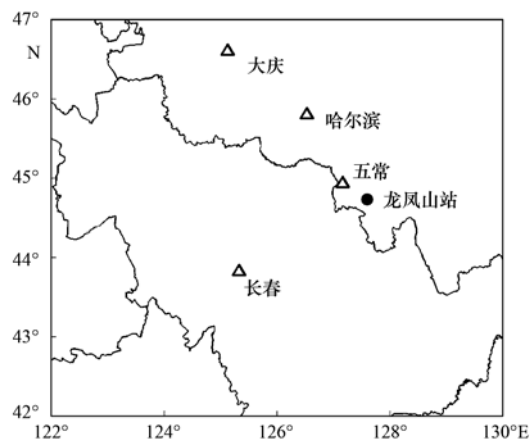


图 1 龙凤山区域本底站的地理位置示意

Fig. 1 Location of the Longfengshan regional background station

1.2 分析方法及数据处理

大气 CO₂ 浓度在线观测系统主机采用基于波长扫描光腔衰荡技术(Ws-CRDS)的 G1301 型高精度分析仪(美国 Picarro 公司)^[20]. 系统的组成、工作原理和质量控制详见文献[14, 21]. 该系统稳定性和线性均较好,与传统的气相色谱法相比,具有精度高,分析迅速,无需载气和助燃气,操作维护简便等优点. 系统使用的高浓度工作标气(WH)、低浓度工作标气(WL)和目标气(T)均以干燥空气为底气,储存在 0.029 m³ 铝合金气瓶(美国 Scott-Marrin 公司)中,可溯源至 WMO/GAW 一级标气序列. 系统运行时每隔 6 h 分析 1 次 WH、WL 或 T,每次分析 5 min. Picarro 主机每 3 s 左右可产生 1 组数据,由于管线死体积的影响,系统多口阀在切换时可能导致观测数据的不稳定,为了保证分析精度,剔除前 2 min 数据,取后 3 min 数据进行平均值计算,计算的值得代表这 5 min 的平均浓度. 样品浓度由相邻 WH 和 WL 的测量值和标称浓度线性拟合校准定值. 目标气 T 视为“未知浓度”样品定时参与测量,若校准值与标称浓度之差在 $\pm 0.1 \times 10^{-6}$ 范围内,则认为系统是稳定的,观测数据准确.

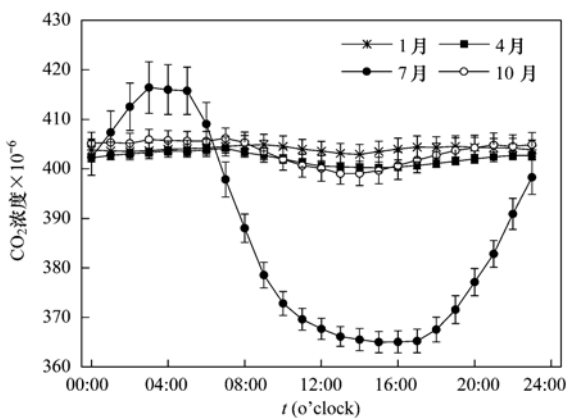
龙凤山站 CO₂ 分 2 层观测,低层(10 m)开始于 2009 年,进样口架设于观测场的风杆上,进样口附近安装有风向和风速探测器. 2010 年 8 月开始增加高层(80 m)观测,进样口架设于室外采样塔顶. 之后 Picarro 在线观测系统在 10 m 和 80 m 进样口切换观测,每层观测 5 min. 由于 80 m 数据时间序列相对较短,本研究主要分析 10 m 观测数据. 观测数据在用于分析之前,剔除由于系统故障及其它因素导致的明显不合理数据(例如采样口附近焚烧垃

圾,有汽车和生畜活动等),保留约 97% 的有效数据,把有效的 5 min 平均浓度计算成小时平均浓度. 数据的缺测主要是由于仪器故障原因引起. 地面风向和风速由长春气象仪器有限公司 DYYZ II 型自动气象站自动测定.

2 结果与讨论

2.1 平均日变化

选取 1、4、7 和 10 月分别代表冬季、春季、夏季和秋季. 以上各月 CO_2 浓度(摩尔分数,下同)的日变化如图 2 所示. 在计算平均值时,滤除一天中 24 h CO_2 浓度数据不全的天数,这样算出的各时刻平均浓度才能更好地表现一天中 CO_2 浓度的变化趋势. 3 a 中 1、4、7 和 10 月有效天数分别为 56、63、63 和 58 d. 近地面大气 CO_2 浓度一般受到区域源/汇和中短距离传输两方面影响^[22]. 4 个季节龙凤山站大气 CO_2 浓度均呈现白天低,夜间高的变化趋势. 日出后地面温度升高大气垂直运动增强,大气混合均匀,并且植被开始光合作用, CO_2 浓度逐渐降低,在 13:00~15:00 达到最低值. 傍晚受到稳定边界层较弱垂直输送过程及植物呼吸作用的影响,大气 CO_2 浓度逐渐累积升高,在日出前后出现峰值. 夏季 CO_2 浓度日振幅高达 $(51.4 \pm 7) \times 10^{-6}$,明显大于其它季节和国内其它区域站点^[23, 24],这与夏季该区域植被较强的吸收/排放作用有关. 大面积的森林、稻田及其它农作物白天光合作用吸收更多的 CO_2 ,使白天 CO_2 浓度偏低,也低于同时间其它季节的 CO_2 浓度;夜间呼吸作用释放更多的 CO_2 ,使夜间 CO_2 浓度偏高,也高于同时间其它季节的 CO_2



误差棒代表 95% 的置信区间

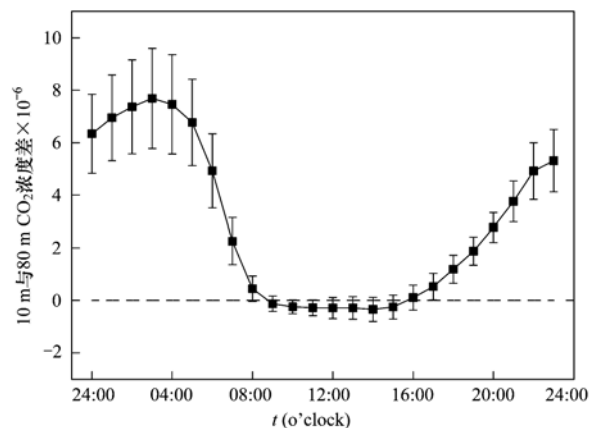
图 2 1、4、7 和 10 月 CO_2 浓度的日变化曲线

Fig. 2 Mean diurnal variations of CO_2 molar fractions in January, April, July and October

浓度. 春季和秋季 CO_2 浓度日振幅分别为 $(4.0 \pm 1.7) \times 10^{-6}$ 和 $(7.1 \pm 2.2) \times 10^{-6}$. 冬季该区域被冰雪覆盖,大气 CO_2 主要源为取暖化石燃料的燃烧,日变化振幅最小,为 $(1.9 \pm 4.1) \times 10^{-6}$.

2.2 高低层 CO_2 小时平均浓度差异分析

为了解局地源汇对观测 CO_2 浓度的影响,对比分析了 2011 年 1 月~2011 年 12 月在 10 m 和 80 m 高度层观测的 CO_2 浓度差异. 选取一天中 24 h 浓度数据完整的天数(共 246 d)做日变化分析,其中低层和高层有效数据的百分比分别为 75.0% 和 70.3%. 图 3 为低层和高层 CO_2 小时浓度差的日变化. 总体来说,低层 CO_2 浓度大于高层. 高低层浓度之差在夜间较大,白天较小,这与夜间植被呼吸作用产生的 CO_2 在近地面积聚,白天光合作用吸收 CO_2 并在边界层内均匀混合有关. 高低层浓度差在夜间 3:00 达到最大值 $(7.7 \pm 1.9) \times 10^{-6}$,夜间较大的差异说明龙凤山近地面 CO_2 浓度受局地源影响较强. 中午二者浓度之差小,且相对稳定,在 08:00~17:00 时间段小于 $(0.5 \pm 0.5) \times 10^{-6}$.



误差棒代表 95% 的置信区间

图 3 10 m 和 80 m CO_2 浓度差异的日变化曲线

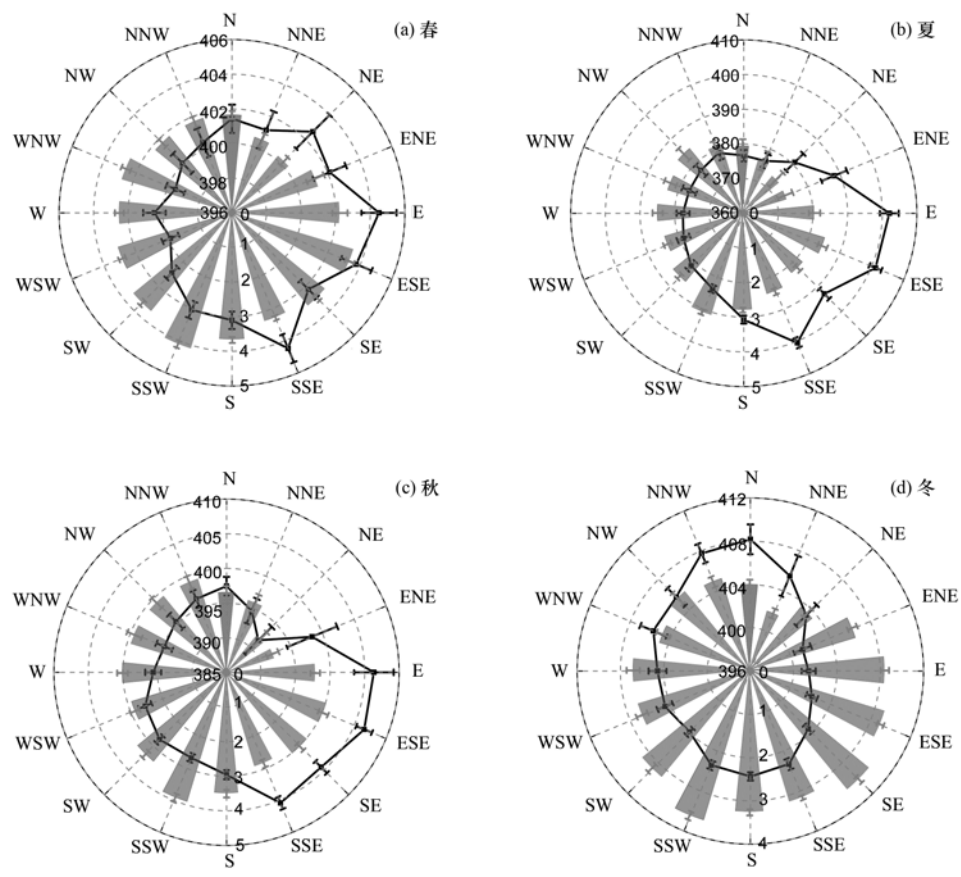
Fig. 3 Diurnal differences of hourly averaged CO_2 molar fractions between the 10 m and 80 m a. g. l.

2.3 地面风的影响

为了研究地面风对观测 CO_2 浓度的影响,将 2009~2011 年小时浓度和风速按春季(3、4、5 月)、夏季(6、7、8 月)、秋季(9、10、11 月)和冬季(1、2、12 月)在 16 个风向上取算术平均,并绘制 CO_2 浓度-风速风向玫瑰图,如图 4 所示. 春、夏、秋和冬季有效数据量分别为 5 453、5 811、5 935 和 5 711 条. 春、夏和秋 3 个季节 E-ESE-SE-SSE 扇区的风一般会带来较高浓度的 CO_2 ,其中最大抬升来自于夏季 E 扇区,相对于夏季 CO_2 平均浓度(388.7

$\pm 0.5) \times 10^{-6}$ 抬升约 $(13 \pm 3.2) \times 10^{-6}$. 龙凤山地区土地覆盖主要以森林和稻田为主, 它们是大气 CO₂ 强烈的汇, 而在观测点的东南方向, 坐落着龙凤山水库, 大范围的水面使得这个方向 CO₂ 的汇较弱, 可能是导致 CO₂ 浓度相对较高的原因. 冬季龙凤山平均温度在 -17°C , 生态系统对大气 CO₂ 浓度

影响小, 此时取暖化石燃料燃烧及村民生活柴草燃烧是大气 CO₂ 的主要源. 受到站点北部一些小村庄冬季生活取暖的影响, 且风速较小, N-NNW-NW-WNW 扇区来向的风会带来较高浓度的 CO₂, 其中 N 扇区相对冬季平均浓度 $(404.6 \pm 0.2) \times 10^{-6}$ 抬升了 $(3.6 \pm 1.6) \times 10^{-6}$.



误差棒代表 95% 的置信区间, 折线代表 CO₂ 浓度 ($\times 10^{-6}$), 扇形代表风速 ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

图 4 龙凤山不同季节的 CO₂ 浓度-风速风向玫瑰图

Fig. 4 Seasonal hourly averaged CO₂ molar fractions in the 16 horizontal wind directions at Longfengshan

根据蒲氏风级定义: $<0.3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (0 级)、 $0.3 \sim 1.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (1 级)、 $1.6 \sim 3.3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (2 级)、 $3.4 \sim 5.4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (3 级)、 $5.5 \sim 7.9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (4 级)、 $8.0 \sim 10.7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (5 级) 和大于等于 $10.8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (大于 6 级). 表 1 为不同季节各风级出现频率及平均 CO₂ 浓度, 可以看出, 水平风速变化对大气 CO₂ 浓度影响在各季节有所不同. 冬季风速越大, CO₂ 浓度越低, 1 级风速对应 CO₂ 浓度为 $(406.7 \pm 0.6) \times 10^{-6}$, 4 级为 $(400.3 \pm 0.6) \times 10^{-6}$. 冬季风速越大越有利于局地污染物的扩散, 进一步说明冬季 N-NNW-NW-WNW 高浓度可能由局地 (村庄) 排放引起. 春夏秋 3 季 2 级和 3 级风对应的 CO₂ 浓度要大于 1 级风, 说明龙凤山站周边地区的输送对 CO₂ 浓度有一

定的贡献. 当风速增强到 4、5 级时, CO₂ 浓度还会减小. 总体来说, 春、夏和秋季当风速足够大时, CO₂ 浓度会降低, 但没有冬季趋势明显.

2.4 本底数据筛分

地面风是影响近地面 CO₂ 浓度的重要因子之一^[19]. 提取未受局地因素直接影响且能反映大气本底状况的观测数据, 是研究区域大气 CO₂ 本底特征及其它相关分析的基础. 结合以上分析, 采用 3 个步骤对观测数据进行筛分: ①根据大气 CO₂ 高低层浓度差异的日变化特征, 滤除一天中 00:00 ~ 07:00 和 18:00 ~ 23:00 时段的观测数据, 保留 08:00 ~ 17:00 大气 CO₂ 混合相对均匀时段的观测数据 (非本底值占原始数据量的 55.7%). ②根据地面

表 1 不同季节各风级出现频率及平均 CO₂ 浓度¹⁾

Table 1 Mean CO ₂ molar fractions and frequency distribution of horizontal wind speed in different seasons							
项目	季节	<0.3 m·s ⁻¹ 0 级	0.3~1.5 m·s ⁻¹ 1 级	1.6~3.3 m·s ⁻¹ 2 级	3.4~5.4 m·s ⁻¹ 3 级	5.5~7.9 m·s ⁻¹ 4 级	8.0~10.7 m·s ⁻¹ 5 级
出现频率/%	春	0.09	9.87	41.43	38.68	9.04	0.90
	夏	0.14	22.35	59.13	17.33	0.91	0.12
	秋	0.34	10.56	48.83	34.98	4.87	0.42
	冬	0.02	11.15	46.16	38.26	4.29	0.12
平均浓度 × 10 ⁻⁶	春	403.1 ± 1.6	400.3 ± 0.6	402.5 ± 0.3	402.3 ± 0.3	400.3 ± 0.4	399.7 ± 1.4
	夏	386.0 ± 12.9	383.5 ± 1.1	390.4 ± 0.7	390.2 ± 1.2	378.3 ± 2.5	385.0 ± 3.1
	秋	407.5 ± 3.3	397.0 ± 1.1	399.6 ± 0.4	400.3 ± 0.4	397.7 ± 0.9	397.6 ± 2.1
	冬	407.8	406.7 ± 0.6	405.3 ± 0.3	403.7 ± 0.2	400.3 ± 0.6	397.8 ± 1.7

1) 冬季 0 级风速样本量 1 个

风对大气 CO₂ 浓度的影响,春季滤除 E-ESE 扇区和 SSE 方向测量值,夏秋季滤除 E-ESE-SE-SSE 扇区测量值,冬季滤除 N-NNW-NW-WNW 扇区测量值(非本底值占原始数据量的 7.3%)。③ 4 个季节滤除受局地影响大的 0 级(静风)和 1 级风时对应的 CO₂ 小时浓度(非本底值占原始数据量的 6.3%)。经过上述步骤筛选出区域本底浓度数据 7029 条,占总数据的 30.7%。春季、夏季、秋季和冬季分别为 1 754、1 442、1 880 和 1 953 条,分别占各季节的 32.1%、24.8%、31.7% 和 34.2%。筛选结果如图 5 所示,黑色和灰色圆点分别代表区域本底数据和局地污染数据。

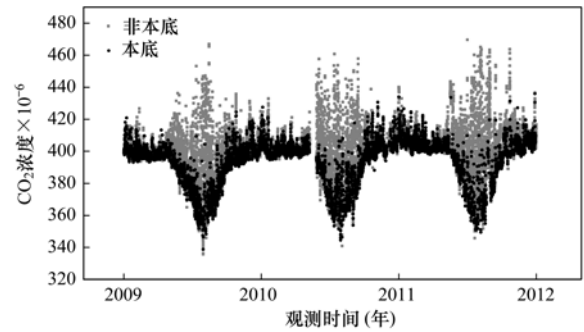


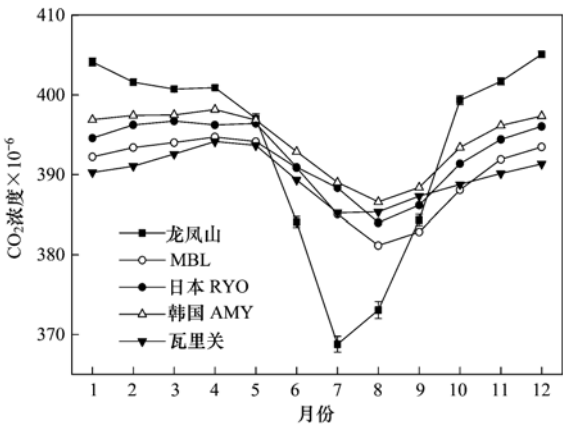
图 5 2009~2011 年龙凤山区域本底站 10 m 高度大气 CO₂ 小时平均浓度

Fig. 5 Hourly averaged CO₂ molar fractions from 10 m above the ground at Longfengshan during 2009 to 2011

2.5 本底趋势变化

图 6 为龙凤山站大气 CO₂ 浓度月均值与同时期同纬度海洋边界层(marine boundary layer references, MBL)参比值^[25]以及 WMO/GAW 国际站点的比较情况,其中日本 Ryori 和韩国 Anmyeon-do 属于沿海区域本底站,我国龙凤山属于内陆区域本底站。龙凤山与 MBL 和同纬度站点都有相同的季节变化趋势,冬半年大气 CO₂ 浓度高,夏半年较低,

这主要受到北半球陆地生物圈的影响^[26]。但是龙凤山 CO₂ 浓度在 12 月达到最大值,而 MBL 和其它站点最高值出现时间在 4 月,主要因龙凤山站冬季受到周边取暖化石燃料燃烧和柴草燃烧的影响。龙凤山站的月振幅远大于 MBL 及同纬度其它站点,本底 CO₂ 浓度月均值振幅大约为 $(36.3 \pm 1.4) \times 10^{-6}$ 。龙凤山冬半年的本底浓度值都高于 MBL 及同纬度其它站点。夏季龙凤山站 CO₂ 浓度受当地植被主要是森林和稻田的强烈影响,CO₂ 浓度明显低于 MBL 及同纬度其它站点,在 7 月与 MBL 差异可达 $(16.2 \pm 2.5) \times 10^{-6}$,说明龙凤山夏季可能为区域大气 CO₂ 的汇。



误差棒代表 95% 的置信区间

[LFS (127.6°E, 44.73°N, 330.5 m a. s. l.), 中国龙凤山区域本底站,内陆; AMY (36.54°N, 126.33°E, 46 m a. s. l.), 韩国 Anmyeon-do 区域本底站,沿海; RYO (39.03°N, 141.82°E, 46 m a. s. l.), 日本 Ryori 区域本底站,沿海; Mt. WLG (36.29°N, 100.89°E, 3 810 m a. s. l.), 中国瓦里关全球本底站,内陆; MBL(纬度的正弦值为 0.7),沿海]

图 6 2009~2011 龙凤山 CO₂ 浓度月平均与海洋边界层以及同纬度其它站点比较

Fig. 6 Monthly averaged CO₂ molar fractions at Longfengshan during 2009 to 2011

龙凤山站与 WMO/GAW 纬度接近的国际站点大气 CO₂ 年平均浓度如表 2 所示. 国际各站点数据自世界温室气体数据中心(WDCGG)下载(已经过各站点数据拥有者的许可). 龙凤山站大气 CO₂ 年平均浓度大于全球本底 CO₂ 浓度值[2009、2010 和 2011 年分别为 $(386.8 \pm 0.1) \times 10^{-6}$ 、 $(389.0 \pm 0.1) \times 10^{-6}$ 和 $(390.9 \pm 0.1) \times 10^{-6}$]^[27-29], 也大于我国 WLG 和瑞士 JFJ 全球本底站. 龙凤山站大气 CO₂ 年平均浓度稍大于日本 RYO 区域本底站, 但小于韩国 AMY 区域本底站. 2009~2011 年龙凤山大气 CO₂ 小时浓度数据做线性拟合, 平均增长率为 $2.4 \times 10^{-6} \text{ a}^{-1}$.

表 2 龙凤山站与 WMO/GAW 纬度接近站点大气 CO₂ 年平均浓度的比较 $\times 10^{-6}$

年份	LFS	WLG	JFJ ¹⁾	RYO	AMY
2009	390.4 ± 7.2	388.5 ± 1.4	388.2 ± 2.1	389.8 ± 2.9	392.5 ± 2.6
2010	394.2 ± 6.7	389.1 ± 1.8	390.7 ± 2.1	393.5 ± 2.1	394.5 ± 2.1
2011	395.8 ± 7.4	392.1 ± 1.8	392.2 ± 2.0	— ²⁾	395.7 ± 2.3

1) JFJ (46.55°N, 7.99°E, 3 580 m a. s. l.), 瑞士 Jungfraujoch 全球本底站, 内陆; 其它站点信息见图 6; 2) “—”少于 12 个月的数据没有计算年平均浓度

3 结论

(1) 4 个季节龙凤山区域本底站大气 CO₂ 浓度白天低, 夜间高, 夏季 CO₂ 浓度日振幅明显大于其它季节, 这主要受当地植被光合/呼吸作用等过程的影响.

(2) 龙凤山低层(10 m)大气 CO₂ 浓度比高层(80 m)受局地源汇影响大. 在 8:00~17:00 时段低层大气 CO₂ 浓度受局地影响最小.

(3) 受不同季节输送过程和局地源汇的影响, 地面风对 CO₂ 浓度的影响在各季节有明显不同. 春、夏、秋 3 个季节 E-ESE-SE-SSE 扇区的地面风一般会带来较高浓度的 CO₂. 冬季 N-NNW-NW-WNW 扇区的风会带来较高浓度的 CO₂. 总的来说, 水平风速越大越有利于局地污染物的扩散, 这种趋势在冬季特别明显.

(4) 根据龙凤山地面风和大气 CO₂ 日变化特征, 对观测数据进行了本底/非本底筛分, 龙凤山本底 CO₂ 浓度夏季最低, 冬季最高. 龙凤山大气 CO₂ 浓度季振幅明显大于 MBL 及其它站点. 龙凤山夏季可能为区域大气 CO₂ 的汇.

致谢: 感谢黑龙江龙凤山站工作人员对在线观测系统的安装和维护工作, 感谢美国国家海洋大气局/地球系统研究实验室(NOAA/ESRL)、日本 Ryori、韩国 Anmyeon-do、瑞士 Jungfraujoch 本底站以及世界温室气体数据中心(WDCGG)提供的数据支持.

参考文献:

[1] Solomon S, Qin D, Manning M, *et al.* IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change): Climate change 2007: the physical

science basis [R]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

[2] WMO Greenhouse Gas Bulletin: The state of greenhouse gases in the atmosphere based on global observations through 2012 [R]. Geneva: World Meteorological Organization, 2013.

[3] Houghton R A. Revised estimates of the annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use and land management 1850-2000 [J]. *Tellus B*, 2003, **55**(2): 378-390.

[4] Peters G P, Marland G, Le Quére C, *et al.* Rapid growth in CO₂ emissions after the 2008-2009 global financial crisis [J]. *Nature Climate Change*, 2012, **2**: 2-4.

[5] Peters W, Jacobson A R, Sweeney C, *et al.* An atmospheric perspective on North American carbon dioxide exchange: CarbonTracker [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2007, **104**(48): 18925-18930.

[6] Tans P P, Fung I Y, Takahashi T. Observational constraints on the global atmospheric CO₂ budget [J]. *Science* 1990, **247**(4949): 1431-1438.

[7] Keeling C D. The concentration and isotopic abundances of carbon dioxide in the atmosphere [J]. *Tellus*, 1960, **12**(2): 200-203.

[8] Keeling C D, Bacastow R B, Bainbridge A E, *et al.* Atmospheric carbon dioxide variations at Mauna Loa observatory, Hawaii [J]. *Tellus*, 1976, **28**(6): 538-551.

[9] Pales J C, Keeling C D. The concentration of atmospheric carbon dioxide in Hawaii [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1965, **70**(24): 6053-6076.

[10] World Meteorological Organization Global Atmosphere Watch Report No. 206: The 16th WMO/IAEA Meeting on Carbon Dioxide, Other Greenhouse Gas, and Related Measurement Techniques [R]. Wellington: World Meteorological Organization, 2011.

[11] Conway T J, Tans P P, Waterman L S, *et al.* Evidence for interannual variability of the carbon cycle from the National Oceanic and Atmospheric Administration/Climate Monitoring and

- Diagnostics Laboratory global air sampling network [J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984-2012), 1994, **99** (D11): 22831-22855.
- [12] Tans P P, Conway T J, Nakazawa T. Latitudinal distribution of the sources and sinks of atmospheric carbon dioxide derived from surface observations and an atmospheric transport model [J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984-2012), 1989, **94**(D4): 5151-5172.
- [13] 周凌晞, 周秀骥, 张晓春, 等. 瓦里关温室气体本底研究的主要进展 [J]. *气象学报*, 2007, **65**(3): 458-468.
- [14] 方双喜, 周凌晞, 臧昆鹏, 等. 光腔衰荡光谱 (CRDS) 法观测我国 4 个本底站大气 CO₂ [J]. *环境科学学报*, 2011, **31** (3): 624-629.
- [15] 刘立新, 周凌晞, 张晓春. 我国 4 个国家级本底站大气 CO₂ 浓度变化特征 [J]. *中国科学 D 辑*, 2009, **39**(2): 222-228.
- [16] Thoning K W, Tans P P, Komhyr W D. Atmospheric carbon dioxide at Mauna Loa Observatory: 2. Analysis of the NOAA GMCC data, 1974-1985 [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1989, **94**(D6): 8549-8565.
- [17] Zhang F, Zhou L X. Implications for CO₂ emissions and sinks changes in western China during 1995-2008 from atmospheric CO₂ at Waliguan [J]. *Tellus B*, 2013, **65**: 19576.
- [18] Balzani Lööv J M, Henne S, Legreid G, *et al.* Estimation of background concentrations of trace gases at the Swiss Alpine site Jungfraujoch (3580 m asl) [J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984-2012), 2008, **113** (D22305): doi: 10.1029/2007JD009751.
- [19] 周凌晞, 汤洁, 温玉璞, 等. 地面风对瓦里关山大气 CO₂ 本底浓度的影响分析 [J]. *环境科学学报*, 2002, **22**(2): 135-139.
- [20] Crosson E R. A cavity ring-down analyzer for measuring atmospheric levels of methane, carbon dioxide, and water vapor [J]. *Applied Physics B*, 2008, **92**(3): 403-408.
- [21] 臧昆鹏, 周凌晞, 方双喜, 等. 新型 CO₂ 和 CH₄ 混合标气标校流程及方法 [J]. *环境化学*, 2011, **30**(2): 511-516.
- [22] Artuso F, Chamard P, Piacentino S, *et al.* Influence of transport and trends in atmospheric CO₂ at Lampedusa [J]. *Atmospheric Environment*, 2009, **43**(19): 3044-3051.
- [23] 李邹, 方双喜, 和春荣, 等. 香格里拉本底站大气 CO₂ 浓度及变化特征初步研究 [J]. *环境化学*, 2012, **31**(12): 1996-2001.
- [24] 浦静姣, 徐宏辉, 顾骏强, 等. 长江三角洲背景地区 CO₂ 浓度变化特征研究 [J]. *中国环境科学*, 2012, **32**(6): 973-979.
- [25] NOAA Greenhouse Gas Marine Boundary Layer Reference. NOAA Earth System Research Laboratory [EB/OL]. <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/mb/mb.html>.
- [26] Nevison C D, Mahowald N M, Doney S C, *et al.* Contribution of ocean, fossil fuel, land biosphere, and biomass burning carbon fluxes to seasonal and interannual variability in atmospheric CO₂ [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2008, **113**(G1): doi: 10.1029/2007JG000408.
- [27] WMO Greenhouse Gas Bulletin; The state of greenhouse gases in the atmosphere based on global observations through 2011 [R]. Geneva: World Meteorological Organization, 2012.
- [28] WMO Greenhouse Gas Bulletin; The state of greenhouse gases in the atmosphere based on global observations through 2010 [R]. Geneva: World Meteorological Organization, 2011.
- [29] WMO Greenhouse Gas Bulletin; The state of greenhouse gases in the atmosphere based on global observations through 2009 [R]. Geneva: World Meteorological Organization, 2010.

CONTENTS

Chemical Characteristics in Airborne Particulate Matter (PM ₁₀) During a High Pollution Spring Dust Storm Episode in Beijing, Tianjin and Zhangjiakou, China	LIU Qing-yang, LIU Yan-ju, ZHAO Qiang, <i>et al.</i> (2843)
Distribution of Atmospheric Ultrafine Particles During Haze Weather in Hangzhou	CHEN Qiu-fang, SUN Zai, XIE Xiao-fang (2851)
Effect of Meteorological Factors on Characteristics of PCDD/F Pollution in Guangzhou	DU Guo-yong, SU Yuan, REN Ming-zhong, <i>et al.</i> (2857)
Atmospheric CO ₂ Data Filtering Method and Characteristics of the Molar Fractions at the Longfengshan WMO/GAW Regional Station in China	LUAN Tian, ZHOU Ling-xi, FANG Shuang-xi, <i>et al.</i> (2864)
Influence of Atmospheric Transport on Air Pollutant Levels at a Mountain Background Site of East China	SU Bin-bin, XU Ju-yang, ZHANG Ruo-yu, <i>et al.</i> (2871)
Determining the Concentration of Coating Solution Attaching to Honeycomb Denuder in Summer in Tianjin	ZHANG Shi-jian, JI Ya-qin, ZHANG Lei-bo, <i>et al.</i> (2878)
Characterization of Lead Size Distributions with Different Process in Lead-Zinc Smelter	LIANG Jun-ning, LI Wen-hui, GE Yi, <i>et al.</i> (2883)
Effect of KI Modified Clay on Elemental Mercury Removal Efficiency	SHEN Bo-xiong, CHEN Jian-hong, CAI Ji, <i>et al.</i> (2890)
Characteristics of Odors and VOCs from Sludge Direct Drying Process	CHEN Wen-he, DENG Ming-jia, LUO Hui, <i>et al.</i> (2897)
Research of Early-warning Method for Regional Groundwater Pollution Based on Risk Management	BAI Li-ping, WANG Ye-yao, GUO Yong-li, <i>et al.</i> (2903)
Dynamic Response of Riverine Nitrate Flux to Net Anthropogenic Nitrogen Inputs in A Typical River in Zhejiang Province over the 1980-2010 Period	ZHANG Bai-fa, CHEN Ding-jiang (2911)
Research on the Influence of Urban Land Use Structure and Pattern on Nitrogen, Phosphorus of Wetland Water Environment in Xianlin New Town of Nanjing	CAI Chun-xiao, LIU Hong-yu, LI Yu-feng, <i>et al.</i> (2920)
Profile Nutrient Distribution and Sedimentary Characteristics in Typical Marshes of Sanjiang Plain	LI Rui-li, CHAI Min-wei, QIU Guo-yu, <i>et al.</i> (2928)
Source and Contamination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surface Soil in Karst Underground River Basin	LAN Jia-cheng, SUN Yu-chuan, SHI Yang, <i>et al.</i> (2937)
Diel Variations of Hydrochemistry and Influencing Factors in a Surface Stream in Subtropical Karst Area, SW China	ZHANG Tao, PU Jun-bing, YUAN Dao-xian, <i>et al.</i> (2944)
Hydrogen and Oxygen Isotopes of Lake Water and Geothermal Spring Water in Arid Area of South Tibet	XIAO Ke, SHEN Li-cheng, WANG Peng (2952)
Preliminary Research on the Feature of Dissolved Inorganic Carbon in Wulixia Reservoir in Summer, Guangxi, China	LIU Wen, PU Jun-bing, YU Shi, <i>et al.</i> (2959)
Distribution of Heavy Metals in Xiangsi River Valley of Tongling, China	CHEN Li-wei, XU Xiao-chun, WANG Jun, <i>et al.</i> (2967)
Volume Fraction of Gas Vesicle and Floating Characteristics of Cyanobacteria in Taihu Lake Under Different Pressures	WANG Wei, CONG Hai-bing, XU Ya-jun, <i>et al.</i> (2974)
Degradation of Dimethyl Phthalate by Ti(IV)-catalyzed O ₃ /H ₂ O ₂ Under Acidic Conditions	GAO Yan, SHEN Tong-dong, CHEN Yao, <i>et al.</i> (2980)
Influence of Inorganic Ions and Humic Acid on the Removal of Pb(II) and Hg(II) in Water by Zero-Valent Iron	SHI Qiu-ling, ZHOU Xin, ZHANG Jin-zhong, <i>et al.</i> (2985)
Synthesis of Hydroxyapatite/Magnetite/Zeolite Composite for Congo Red Removal from Aqueous Solution	FANG Qiao, LIN Jian-wei, ZHAN Yan-hui, <i>et al.</i> (2992)
Corrosion of Stainless Steel 201, 304 and 316L in the Simulated Sewage Pipes Reactor	BAO Guo-dong, ZUO Jian-e, WANG Ya-jiao, <i>et al.</i> (3002)
Experimental Study of Adhesion Properties Between Membrane Surface and Humic Acid During Microfiltration	WANG Lei, WANG Lei, HUANG Dan-xi, <i>et al.</i> (3007)
Coating Modification of Anthracite Substrates in Vertical-flow Constructed Wetlands by LDHs Synthesized from Different Metal Compounds and the Nitrogen Removal Efficiencies	ZHANG Xiang-ling, GUO Lu, CHEN Jun-jie, <i>et al.</i> (3012)
Atrazine Wastewater Treatment in a SPC Membrane-Aerated Genetically Engineered Microorganism Biofilm Reactor	LIU Chun, GONG Peng-fei, XIAO Tai-min, <i>et al.</i> (3018)
Influencing Factors for Operational Performance of a Biofilm Reactor with Microbubble Aeration Using SPG Membrane	ZHANG Lei, ZHANG Ming, LIU Chun, <i>et al.</i> (3024)
Variations in the Active Characteristics of Sludge During the Operation of an Aerobic Membrane Bioreactor and Their Effects on Membrane Fouling	CHEN Xuan, TANG Bing, ZHANG Zi, <i>et al.</i> (3031)
Effects of Anaerobic Feeding Period on Nitrifying Granular	LIU Wen-ru, YIN Fang-fang, WANG Jian-fang, <i>et al.</i> (3038)
Influencing Factors of Sludge Liquor Treatment in UASBB	LI Ya-feng, MA Chen-xi, ZHANG Chi (3044)
Background Values of As and Hg in Surface Dusts in the Vicinity of Kaifeng City and Their Application	CHEN Yan-fang, MA Jian-hua, DONG Yun-wu, <i>et al.</i> (3052)
Concentrations and Health Risks of Toxic Metals in Surface Dust in Kindergartens of Beijing	DUAN Heng-yi, WU Ya-tao, WANG Jue, <i>et al.</i> (3060)
Polychlorinated Biphenyls in House Dust at an E-waste Site and Urban Site in the Pearl River Delta, Southern China; Sources and Human Exposure and Health Risks	ZHU Zhi-cheng, CHEN She-jun, DING Nan, <i>et al.</i> (3066)
Responses of Soil Total Organic Carbon and Dissolved Organic Carbon to Simulated Nitrogen Deposition in Temperate Typical Steppe in Inner Mongolia, China	QI Yu-chun, PENG Qin, DONG Yun-she, <i>et al.</i> (3073)
Effects of Different Fertilizer Species on Carbon and Nitrogen Leaching in a Reddish Paddy Soil	LIU Xi-yu, ZOU Jing-dong, XU Li-li, <i>et al.</i> (3083)
Effects of Low Molecular Weight Organic Acids on Speciation of Exogenous Cu in an Acid Soil	HUANG Guo-yong, FU Qing-ling, ZHU Jun, <i>et al.</i> (3091)
Evaluation of Compounding EDTA and Citric Acid on Remediation of Heavy Metals Contaminated Soil	YIN Xue, CHEN Jia-jun, CAI Wen-min (3096)
Soil Biochemical Characteristics in Different Ecological Systems and Their Relationships with Soil Respiration and N ₂ O Emission	CHEN Ling, FAN Hui, JIANG Jing-yang (3102)
Contribution of Different Processes in Wetland Soil N ₂ O Production in Different Restoration Phases of the Yellow River Estuary, China	SUN Wen-guang, SUN Zhi-gao, GAN Zhuo-ting, <i>et al.</i> (3110)
Effects of Combined Applications of Pig Manure and Chemical Fertilizers on CH ₄ and N ₂ O Emissions and Their Global Warming Potentials in Paddy Fields with Double-Rice Cropping	WANG Cong, SHEN Jian-lin, ZHENG Liang, <i>et al.</i> (3120)
Influence of Ozone on Snap Bean Under Ambient Air in Two Sites of Northern China	YUAN Xiang-yang, ZHANG Wei-wei, SUN Jing-song, <i>et al.</i> (3128)
Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis Influences the Biological Effects of Nano-ZnO on Maize	WANG Wei-zhong, WANG Fa-yuan, LI Shuai, <i>et al.</i> (3135)
Effect of Arbuscular Mycorrhizae on Growth, Heavy Metal Uptake and Accumulation of <i>Zenia insignis</i> Chun Seedlings	LI Xia, PENG Xia-wei, WU Song-lin, <i>et al.</i> (3142)
Effects of Phosphorus-containing Substances on Arsenic Uptake by Rice	LEI Ming, ZENG min, LIAO Bo-han, <i>et al.</i> (3149)
Ecotoxicological Effect and Soil Environmental Criteria of the Heavy Metal Chromium(VI)	WANG Xiao-nan, LIU Zheng-tao, WANG Wan-hua, <i>et al.</i> (3155)
Promotion Effects of Vitamin B ₁₂ on the Degradation of 2,4,4'-Trichlorobiphenyl by <i>Nostoc</i> PD-2	LIU Jia-yu, XIAO Wen-feng, LU Li-ping, <i>et al.</i> (3162)
Isolation, Identification and Characterization of a Diethylstilbestrol-degrading Bacterial Strain <i>Serratia</i> sp.	XU Ran-fang, SUN Min-xia, LIU Juan, <i>et al.</i> (3169)
Distribution of Polybrominated Diphenyl Ethers in Wild Crucian Carp and Exposure Estimation of Dietary Intake	WANG Jun-xia, WANG Chun-yan, LIU Li-li, <i>et al.</i> (3175)
Cloning of Full-length cDNA of HMGR from <i>Gobiocypris rarus</i> and Analysis of Its Expression Profiles in Male Exposed to Pentachlorophenol	DENG Chuan, MAO Si-yu, XIONG Li, <i>et al.</i> (3183)
Effects of Algae and Kaolinite Particles on the Survival of Bacteriophage MS2	HE Qiang, WU Qing-qing, MA Hong-fang, <i>et al.</i> (3192)
Adsorption Kinetics and Mechanism of Lead(II) on Polyamine-Functionalized Mesoporous Activated Carbon	LI Kun-quan, WANG Yan-jin, YANG Mei-rong, <i>et al.</i> (3198)
Influence of Biological Activated Carbon Dosage on Landfill Leachate Treatment	CUI Yan-rui, GUO Yan, WU Qing, <i>et al.</i> (3206)
Effect of Economic Structure Adjustment on Pollution Emission: A Case Study of COD	LI Ming-sheng, ZHOU Lei, CHEN Yuan-hang, <i>et al.</i> (3212)
Reasons for the Changes in Anthropogenic Lead Flows of China	MA Lan, MAO Jian-su (3219)
Discussion on Reduction Potential of CH ₄ Emission Intensity for Early Off-take Practice of Grazing Yak	WANG Shi-ping, Andreas Wilkes, WANG Ya-yun, <i>et al.</i> (3225)
Review of Dual Stable Isotope Technique for Nitrate Source Identification in Surface- and Groundwater in China	XU Zhi-wei, ZHANG Xin-yu, YU Gui-rui, <i>et al.</i> (3230)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2014年8月15日 第35卷 第8期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 8 Aug. 15, 2014

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

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行