

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 CO₂ 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 O₃/H₂O₂ 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, 王雅娇, 于里 (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, 阴方芳, 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, 麦碧娟 (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 与柠檬酸复配洗修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 N₂O 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 N₂O 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 CH₄ 和 N₂O 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 B₁₂ 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)

多溴联苯醚在市场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)

稀有鮐鮓 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)

中国水体硝酸盐氮氧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)

气象因素对广州市大气中二噁英污染特征的影响

杜国勇¹, 苏原^{1,2*}, 任明忠², 张素坤², 青宪²

(1. 西南石油大学化学化工学院, 成都 610500; 2. 环境保护部华南环境科学研究所, 广州 510655)

摘要: 采用高分辨气相色谱/高分辨质谱仪测定了广州市环境空气中 2,3,7,8-PCDD/Fs 的含量, 并对其来源进行初步分析. 重点研究了广州市大气二噁英浓度的空间和季节分布特征, 分析其毒性当量浓度变化与气象因素的相关性, 并利用美国空气资源实验室的拉格朗日混合单粒子轨道模型对气流轨迹进行模拟, 为了解广州市大气二噁英污染状况提供重要的基础数据. 结果表明, 工业区的二噁英浓度高于其他功能区; 大气二噁英毒性当量浓度最高值出现在春季; 风向和风速、温度和气压、相对湿度、降水等气象因素都会对大气二噁英的污染程度产生影响, 温度、风速与大气二噁英浓度呈负相关, 但相关性不明显; 经过气团后向轨迹分析, 秋季气流轨迹主要往西北地区延伸, 冬季大气团运移较慢, 主要来自内陆地区, 春夏季节气流主要经过东南沿海或海面到达广州.

关键词: 二噁英; 环境空气; 气象因素; 浓度; HYSPLIT 模型

中图分类号: X511 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)08-2857-07 DOI: 10.13227/j.hjxx.2014.08.003

Effect of Meteorological Factors on Characteristics of PCDD/F Pollution in Guangzhou

DU Guo-yong¹, SU Yuan^{1,2}, REN Ming-zhong², ZHANG Su-kun², QING Xian²

(1. School of Chemistry and Chemical Engineering, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China; 2. South China Institutes of Environmental Sciences, Ministry of Environmental Protection, Guangzhou 510655, China)

Abstract: High-resolution gas chromatography/high-resolution mass spectrometry (HRGC/HRMS) was used to measure contents of 2,3,7,8-polychlorinated dibenzo-*p*-dioxin and furan (PCDD/F) in ambient air in Guangzhou city, and its sources were traced and tracked preliminarily. Spatial and seasonal distributions, the correlation between PCDD/F concentrations and various kinds of meteorological factors were studied with emphasis, as well as the trajectory of air mass simulated by hybrid single-particle lagrangian integrated trajectory (HYSPLIT) model of the U. S. A Air Resources Laboratory, which will provide important basic data for understanding PCDD/F pollution levels in urban regions. The results show, PCDD/F concentrations in the industrial area are higher than others, and in spring, PCDD/F TEQs are the highest. Meteorological factors, like wind direction and speed, temperature, air pressure, relative humidity, precipitation all have influence on pollution levels of atmospheric PCDD/Fs. Temperature and wind speed has a negative correlation with the concentration, but it is not obvious. By the analysis of the backward trajectory of air mass, something are obtained that the trajectory extends mainly to northwest areas in autumn, and air masses from inland migrate slowly in winter, while they arrive at Guangzhou after passing southeast coast or sea.

Key words: PCDD/Fs; ambient air; meteorological factor; concentration; HYSPLIT model

二噁英作为持久性有机物 (POPs) 中的一种, 一直以来受到国内外学者的广泛关注. 二噁英是一种半挥发性的剧毒物质, 在环境中不易被降解, 且通过生物积累和生物放大效应对生物体产生影响. 人们对二噁英的暴露风险主要来自食物, 但呼吸暴露也是人体摄入二噁英比较重要的一种途径^[1]. 因此大气中的二噁英, 特别是城市区域大气中二噁英的污染水平及其特征研究成为了研究热点. 城市地区人口密度大, 工业种类繁多, 二噁英的排放源复杂, 使得城市大气二噁英的污染具有一定的典型性, 也更受到人们的关注.

目前对城市大气二噁英的研究主要集中于其空间与时间分布特征、气固分配、干湿沉降、来源解析等方面^[2~5], 对于气象因素对其污染特征影响的

研究较少. 而气象因素的影响主要体现在影响大气二噁英的季节性分布上. 大气二噁英呈现季节分布的原因有很多, 可能与冬季取暖而导致的家庭燃料燃烧增加, 以及气团运动和大气边界层高度的变化, 受季风影响, 还有颗粒物的浓度等原因有关^[6~8]. 田艺等^[9]通过在广州市天河区某住宅商业区开展 PCDD/Fs 一个月的连续采样监测, 同时收集该点的气象参数, 分析其与二噁英毒性当量浓度的分布规律的关系; 张丽华等^[10]通过对沈阳市不

收稿日期: 2014-01-07; 修订日期: 2014-03-05

基金项目: 环境保护公益性行业科研专项 (200909095B, 2011467001, PM-zx007-201106-139)

作者简介: 杜国勇 (1964~), 男, 博士, 教授, 主要研究方向为油气田环境保护, E-mail: guoyongdu@126.com

* 通讯联系人, E-mail: suesue18@126.com

同功能区大气二噁英的监测,分析其空间分布特征及呼吸暴露风险;青宪等^[11]通过对广州某商住区大气中二噁英的季节性监测,结合后向轨迹的计算,对大气中 PCDD/Fs 的浓度及其长距离迁移来源进行了分析. 另外,国内外学者们对大气二噁英的溯源分析主要是利用主成分分析方法,来研究大气二噁英受附近排放源影响的关系^[8,12,13];对于大气输送对区域大气污染的研究也主要集中在空气中的常规污染物(SO₂、NO_x、颗粒物等)^[14,15],对持久性污染物的相关研究较少. 本研究在 2010~2011 年期间,按春、夏、秋、冬这 4 个季节对广州市不同功能区的空气样品进行采集,以分析大气二噁英的浓度水平,并结合 HYSPLIT Model 模拟,对二噁英的来源进行初步探讨.

1 材料与方法

1.1 研究区域

广州市(北纬 22°26'~23°56'、东经 112°57'~114°03')地处广东省东南部,珠江三角洲北缘,濒临南海. 其气候属于海洋性亚热带季风气候,以温暖多雨、光热充足、夏季长、霜期短为特征. 受季风影响,夏季气温较高,潮湿多雨;冬季气温较低,干燥少雨. 其全年平均气温大约为 20~22℃,平均相对湿度约为 77%,市区年降雨量约为 1720 mm. 广州市地面风速较小,风向季节性转变较明显,4~8 月盛行东南风,9~次年 3 月主导北风. 一般 4~6 月为雨季,其降水量占全年降水量的 80%;而 7~9 月天气炎热,多台风;10、11 和 3 月气温适中;12~次年 2 月为阴凉的冬季. 在监测点位的选择布设上,综合考虑了广州市的区划特点、监测点的空间分布、区域环境情况等,选择了 6 个监测点位(见表 1、图 1).

表 1 监测点位布设

Table 1 Location of each sampling site

监测点位	位置	区域特征
BY	越秀区某中学	居住区
KY	天河区某客运站	交通区
MF	白云区某风景点	背景区
CH	从化市太平镇	郊区
TH	天河区某单位	商业区
XT	增城市新塘镇	工业区

1.2 样品采集

样品采集方法参考 EPA TO-9A 及我国环保部制定的 HJ 77.2-2008, 采样仪器为大流量环境空气



图 1 监测点位位置示意

Fig. 1 Location of each site in sketch map

采样器(Tecora, TCR, 意大利). 以玻璃纤维滤膜(Glass fiber filter, GFF, 20.3 cm × 25.4 cm)收集颗粒相, 聚氨酯泡沫(Polyurethane foam, PUF, Φ65 mm, 厚 76 mm)收集气相部分. 玻璃纤维使用前, 在 450℃ 的马弗炉中烧 4 h 以去除杂质; PUF 依次用煮沸的去离子水, 甲醇(B&J, USA)清洗去尘和脱水, 然后用二氯甲烷(B&J, USA)在索氏抽提器中抽提 16 h 进一步去除其中的杂质, 干燥后备用. 在秋(2010 年 11 月)、冬(2011 年 1 月)、春(2011 年 4 月)、夏(2011 年 9 月)这 4 个季节连续采样 7 d, 采样前加入采样标, 每个样品以约 300 L·min⁻¹ 的流量连续采集 24 h, 同时记录温度、大气压力、风速与风向、天气情况等.

1.3 样品前处理及仪器分析

样品采用同位素稀释高分辨气相色谱/高分辨质谱法进行分析. 样品的净化, 具体方法可以参照 EPA1613B 以及文献[11,16,17]. 总的来说, 前处理过程分为提取-浓缩-净化-再浓缩. 仪器分析, 采用高分辨气相色谱/高分辨质谱联用仪(Agilent 6890N, Waters Autospec Premier, 美国)进行分析.

1.4 质量控制与质量保证

空白实验包括了实验室空白和采样空白, 以及过程精密度和回收率实验(ongoing precision recovery, OPR). 实际样品中二噁英的浓度已减去空白值, 17 种 2,3,7,8-PCDD/Fs 的检出限从 0.005~0.452 pg·m⁻³ 间不等, 当样品目标物未检出, 计算时以零代替. 采样内标回收率在 38.9%~175.2% 之间, 提取内标的回收率范围在 27.0%~176.7% 之间.

1.5 HYSPLIT 模型

HYSPLIT 模型是美国国家海洋大气总署 (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) 和澳大利亚气象局 (Australian Bureau of Meteorology, ABOM) 的联合研究成果, 所用数据主要来源于美国国家环保中心 (National Centers for Environmental Prediction, NCEP), 数据齐全并不断更新^[18], 垂直方向分 23 层, 气象要素场包括温度、气压、相对湿度、地面降水、水平和垂直风速等^[15]. 该模式具有多种气象输入场、物理过程和不同类型排放源, 且拥有较完整的输送、扩散和沉降过程, 可进行分辨率最高精确到小时的气流来向及去向轨迹模拟, 已经被广泛地应用于多种污染物在各个地区的传输和扩散的研究中^[19].

2 结果与讨论

2.1 广州市各功能区大气二噁英污染特征分析

根据各监测点四个季度监测结果比较可以看出, 广州市大气二噁英的浓度范围为 0.705 ~ 75.4 $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$, 毒性当量浓度范围 (以 I-TEQ 计, 下同) 为 0.038 ~ 10.7 $\text{fg}\cdot\text{m}^{-3}$. 根据 6 个监测点的大气二噁英年均毒性当量浓度显示 (表 2), 工业区的二噁英毒性当量浓度特别高, 其他功能区的差别不是很大, 总的来说呈现出市区小于郊区的状态, 即是居住区 < 商业区 < 交通枢纽区 < 郊区 < 工业区. 从本

次监测结果中可以看出, 市区 (居住区、交通区、商业区) 大气二噁英毒性当量浓度水平与国内国外大部分国家研究结果大致相当 (表 3), 而工业区的大气二噁英毒性当量浓度水平则明显偏高. 综上所述, 结合广州市地图, 在监测点的覆盖范围内, 广州城市大气二噁英污染分布呈现出从东向西, 从北向南越来越低的趋势. 这种分布特征的原因, 可能由工业区位于广州偏东的位置和当地季风的影响造成. 而广州市 2010 ~ 2011 年环境空气中的二噁英年均毒性当量浓度为 680 $\text{fg}\cdot\text{m}^{-3}$, 没有超过美国城市大气中二噁英毒性当量浓度限值 (1.0 $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$), 但与国内外一些地区相比, 处于较高的污染水平.

从季节上看, 各监测点的情况显示 (图 2), BY、KY、MF、TH 的大气二噁英浓度均为秋冬季节偏高, 春夏季节偏低; 而 CH、XT 则显示出秋、冬、春 3 个季节的大气二噁英浓度均偏高, 夏季浓度最

表 2 各监测点大气二噁英年均浓度及年均毒性当量浓度

Table 2 Annually averaged concentrations and TEQs of atmospheric PCDD/Fs at each sampling site

监测点名称	大气二噁英浓度 / $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$	大气二噁英 I-TEQ 浓度 / $\text{fg}\cdot\text{m}^{-3}$
BY	9.85	323
KY	11.7	461
MF	11.1	356
CH	16.4	571
TH	8.46	370
XT	23.2	2 000

表 3 国内外不同区域大气二噁英 I-TEQ 污染水平/ $\text{fg}\cdot\text{m}^{-3}$

Table 3 Atmospheric PCDD/F pollution level (I-TEQ) in different regions/ $\text{fg}\cdot\text{m}^{-3}$

采样点位置	研究区域					
	德国 ^[20]	美国 ^[21]	西班牙 ^[22]	韩国 ^[12]	上海 ^[23]	天津 ^[24]
乡村	25 ~ 70	12 ~ 23	5 ~ 125	—	—	—
市区	70 ~ 350	16	13 ~ 357	31 ~ 620	143 ~ 289	14 ~ 1 010
工业区	350 ~ 1 600	9	18 ~ 954	31 ~ 1 918	497	1 040 ~ 7 123

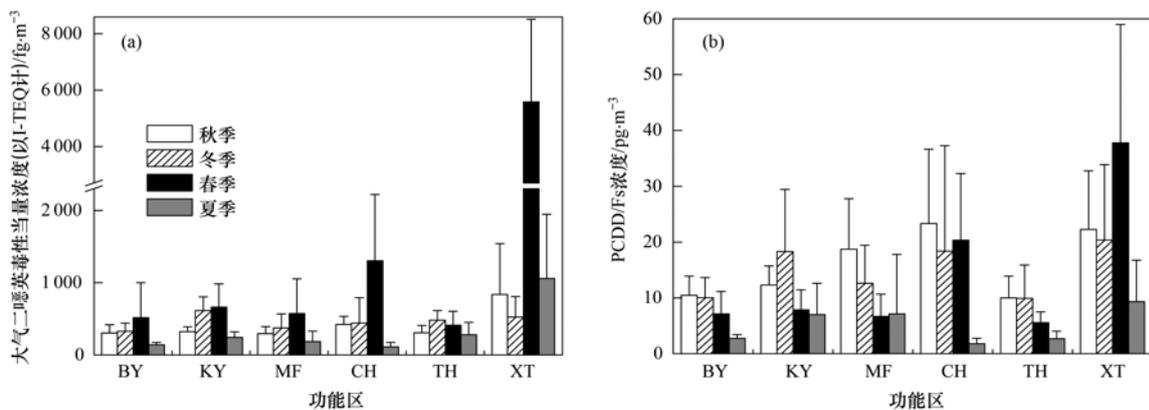


图 2 广州市不同季节大气二噁英浓度和毒性当量浓度比较

Fig. 2 Concentrations and TEQs of atmospheric PCDD/Fs in different seasons in Guangzhou

低,特别是XT,春季二噁英浓度最高.对于大气二噁英毒性当量浓度,除XT、CH显示出春季大气二噁英毒性当量特别高外,其他监测点均是春、秋季相对较高,冬季与之相差不大,夏季最低.广州市2010~2011年大气二噁英的总浓度情况,则显示为秋、冬、春季的大气二噁英浓度大致相当(16.2、14.3、14.3 $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$),明显高于夏季(6.10 $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$);而毒性当量浓度则显示出春季(1.51 $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$)明显高于秋、冬、夏这3个季节(0.415、0.460、0.337 $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$).总的来说,广州市大气二噁英污染出现季节性分布特征的原因,可能是由于夏季季风的影响明显,大气稳定度降低,利于颗粒物扩散,同时降雨增多而导致二噁英湿沉降增加,使得其浓度较低;秋冬季节主导风向为北风,冷空气南下的同时带来了内陆地区的污染物,且降雨少,导致其二噁英浓度偏高;而春季大气二噁英浓度偏高则可能还受其他气象因素的影响.

2.2 气象因子对大气二噁英浓度的影响

大气污染物的浓度和分布,不仅取决于污染物的排放量和污染源的远近,还取决于大气对污染物的扩散能力.而大气的扩散能力主要受气象条件的影响,因此,气象条件与污染物的稀释,扩散,传播,聚积和清除有密切关系^[25].下面将从风向与风速,温度与气压、相对湿度、降水这几个方面讨论各气象因子对大气二噁英浓度的影响.

2.2.1 风向与风速

风向决定大气污染物的扩散方向,通常在水平风的作用下,将污染物不断向下风方向输送.风速决定着大气污染物的稀释速度,根据高斯扩散模式,大气中污染物的浓度与排放源强度成正比,与风速呈反比,在其他条件不变的情况下,风速增加则会使下风侧污染物浓度减少.采样期间的风向,秋季主要是西北和东南方;冬季主要风向为东北、西北和北风;春夏两季主要为西北和东南风.XT在6个监测点中处于最东及最南面,其大气二噁英浓度在春季特别高,一方面是受周围污染源影响,另一方面可能是由于采样期间常出现静风情况,会形成局地输送易使污染物在本地累积,不利于污染扩散,导致污染物浓度升高^[19];而处于西北方向的CH监测点,其春季大气二噁英浓度也较高,此时的风向为西北风及北风,可能是受清远及韶关等周边城市排放源的影响.而风速对大气二噁英浓度的影响,从图3可以看出,风速与大气二噁英浓度呈负相关趋势,但相关性并不明显($R^2 = 0.1137$, $P =$

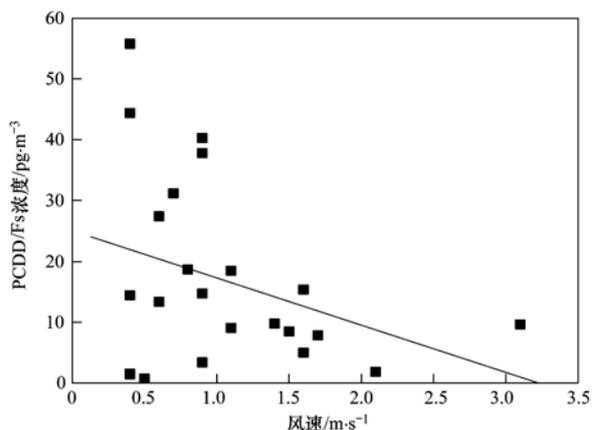


图3 风速与PCDD/Fs浓度的相关性

Fig. 3 Correlation between wind speed and PCDD/Fs concentrations

0.1156).

2.2.2 温度与气压

就4个采样阶段来看,秋季、冬季、春季、夏季的平均温度分别为28.9、17.9、31.3、33.7 $^{\circ}\text{C}$,广州市温度差异并不大.有研究表明大气二噁英的浓度与温度呈负相关趋势,但其相关性并不明显^[9].气压的变化则与温度相反,冬季气压较高,夏季气压较低,一般情况,高气压容易造成大气污染物浓度增高.但从数据分析(图4)看来,大气二噁英浓度的确是与温度呈负相关趋势,但是线性相关性并不明显($R^2 = 0.5436$, $P < 0.0001$),且从本研究中的大气二噁英浓度看来,冬季平均气温最低,但其浓度并不是最高,这可能因为大气二噁英浓度还受其他气象因素的影响.

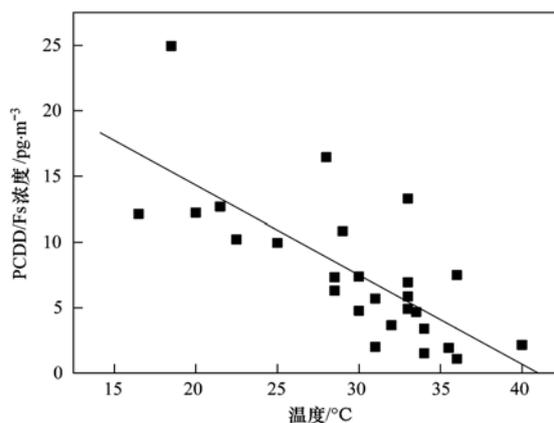


图4 采样温度与PCDD/Fs浓度的相关性

Fig. 4 Correlation between temperature and PCDD/Fs concentrations

2.2.3 相对湿度

一般情况,湿度大不利于颗粒物污染物扩散,一些极细的颗粒由于吸湿使本身含水量增加,粒子涨大从爱根核模态转化为积聚核模态,造成空气中

PM_{2.5}的质量浓度增加^[18]。苏青等^[26]发现广州市6个典型区域的大气二噁英毒性当量浓度的贡献主要来自颗粒相,贡献率范围为58.6%~94.3%,且毒性当量较高的高氯代PCDD/Fs主要分布在颗粒相上。还有研究表明二噁英主要富集在粒径小于2.1 μm的颗粒上^[27],说明大气二噁英的浓度与PM_{2.5}的浓度有一定的相关性,那么相对湿度的增加在引起PM_{2.5}浓度升高的同时,也可能造成大气二噁英浓度的升高。据广州气象台报道,2011年4月9~16日均有雾(霾),平均温度较高,相对湿度在40%~95%之间,且因为雾(霾)的出现,使得大气层结构稳定,湍流交换弱,不利于空气中污染物的扩散,空气中悬浮的雾滴极易捕获空气中的污染粒子及吸附气态污染物,加重低层空气的污染。因此,使得大气二噁英浓度在春季偏高。

2.2.4 降水

降水能对大气中的污染物进行有效的清除,而其净化作用与降水强度和持续时间有关。有研究表明大气中颗粒物的浓度与降水表现出负相关的关系^[9];Ren等^[28]在2007年对广州城市大气中二噁英含量进行了长时间的研究,发现雨季的沉降通量高于旱季,则指出降雨是雨季大气二噁英的一种有效的去除途径。但在本次采样期间基本没有降水发生。从2010年10~次年4月底,广东省普遍干旱,特别是从化,降水量仅为199 mm,为历史同期最少雨记录。由于大气中的污染物不能被降雨所清除,使得此阶段大气二噁英浓度较高;而2011年9月初,广州市受台风“南玛都”减弱后的低压槽影响,大部分地区出现中到大雨,使得大气中的污染物被降雨所清除,从而可以解释此阶段采集的大气样品中,二噁英浓度普遍偏低的原因。

3 大气二噁英溯源与追踪分析

广州市是热带季风活动最典型地区,为跟踪气流轨迹,本研究运用HYSPLIT模型对指定高度和时间范围内简单的大气团运动轨迹进行模拟,以分析气团运动对广州大气中二噁英含量的影响。每个采样阶段采样时间为7 d,从每个采样阶段收取最后一个样品的那一天00:00(UTC时间)往前溯源10 d,共240 h。气流轨迹每隔24 h标记一个点,后推起始位置的地理坐标为N23°,E113°,模拟高度选择了100、300和500 m。100 m是以低层城区尺度内近距离污染源影响为主,300 m既可代表近地层的流动,反映气流的区域性流动特征,又可减

小近地面摩擦力的影响,而500 m高度的风场能较准确反映边界层的平均流场特征,反映远距离输送对大气污染物浓度的影响^[15,19]。如图5所示。

可以看出,秋季气流轨迹拐点较多,可能其运移过程中受各种气象条件的影响较大[图5(a)],3条轨迹都经过湖北、陕西、甘肃、新疆再往北延伸到俄罗斯境内,500 m高度的大气团甚至经过北欧到达了挪威海;冬季的气流轨迹图显示,3条轨迹各不相同,100 m高度的大气团运移较慢,往北福建、安徽、河南、陕西,然后又拐向南进入四川境内;300 m高度的大气团运移速度很快,一直往北经蒙古和俄罗斯进入了北冰洋;500 m高度的大气团围绕广州一圈后由广西进入越南,最后延伸到了缅甸南部[图5(b)];春季的气流轨迹沿南海、东海进入内陆向北延伸,500 m高度的气流最后延伸至河北,另外两条继续往北进入蒙古和俄罗斯[图5(c)];夏季气流轨迹经江西、安徽、江苏进入东海,再拐进内陆,经蒙古、俄罗斯进入北冰洋[图5(d)]。总的来说,受季风气候的影响,广州市气流输送具有明显的季节性变化特征,春夏两季受来自海上的洁净气流影响,使大气中污染物浓度偏低;秋冬两季受来自内陆的偏北气流影响,污染物浓度偏高。而春季采样期间出现的大气二噁英浓度偏高,可能是受不利气象条件以及周边城市排放源的影响。

4 结论

(1) 广州市不同功能区的大气二噁英中工业区(XT)的二噁英毒性当量浓度特别高,其他功能区的差别不是很大,总的来说呈现出市区小于郊区的状态;结合地图广州城市大气二噁英浓度分布呈现出从东向西,从北向南越来越低的趋势。这种分布特征的原因,可能由工业区位于广州偏东的位置和当地季风的影响造成。

(2) 工业区(XT)和郊区(CH)的季节分布特征显示春季浓度(I-TEQ)偏高,而其他功能区则显示秋冬季节浓度偏高,春季的浓度(I-TEQ)偏高;各功能区夏季的二噁英浓度(I-TEQ)均偏低。广州市大气二噁英的总毒性当量浓度春季较高,夏季较低;分析其二噁英污染季节性分布的原因,除工业区和郊区,可能受污染源及风向影响较大,其他则可能受季风影响更大。

(3) 大气二噁英浓度与气象因素的相关性分析显示,温度和风速与二噁英浓度呈负相关关系,但

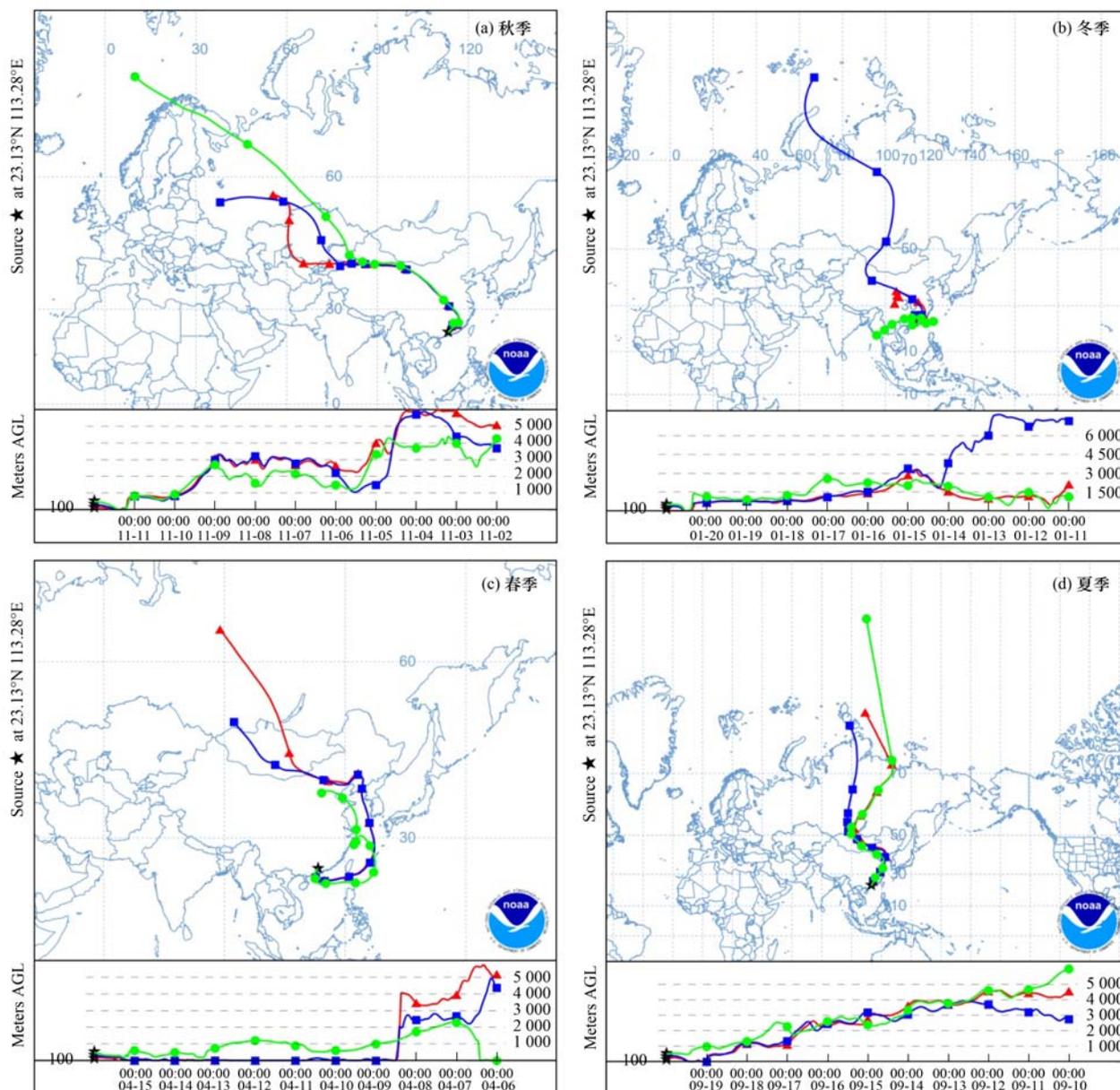


图5 广州市不同季节气流运动轨迹

Fig. 5 Backward trajectory of air mass in different seasons in Guangzhou

相关性并不明显,而相对湿度大也不利于污染物扩散,降雨对大气中的二噁英有一定的清除作用.总的来说,大气二噁英浓度与气象因素的相关性分析能够进一步说明其季节性分布的原因.而春季浓度偏高可能由于不利气象条件的出现导致.

(5) 气流的后向轨迹显示秋冬季节的大气团主要来自西北方的内陆地区,冬季气团的运移速度较慢;春夏季节的大气团主要经过东南沿海到达广州,夏季气团的运移速度较快.

参考文献:

[1] 卜元卿, 骆永明, 滕应, 等. 环境中二噁英类化合物的生态和健康风险评估研究进展[J]. 土壤, 2007, 39(2): 164-

172.

- [2] Tung J W T, Yu J Z, Lau A K H, *et al.* Abundance and sources of ambient dioxins in Hong Kong: A review of dioxin measurements from 1997 to 2001 [J]. *Chemosphere*, 2005, 59(10): 1387-1398.
- [3] Park J S, Kim J G. Regional measurements of PCDD/PCDF concentrations in Korean atmosphere and comparison with gas-particle partitioning models [J]. *Chemosphere*, 2002, 49(7): 755-764.
- [4] Correa O, Raun L, Rifai H, *et al.* Depositional flux of polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins and polychlorinated dibenzofurans in an urban setting [J]. *Chemosphere*, 2006, 64(9): 1550-1561.
- [5] Lee W S, Chang-Chien G P, Wong L C, *et al.* Source

- identification of PCDD/Fs for various atmospheric environments in a highly industrialized city [J]. *Environmental Science & Technology*, 2004, **38**(19): 4937-4944.
- [6] Lohmann R, Jones K C. Dioxins and furans in air and deposition, a review of levels, behaviour and processes [J]. *The Science of the Total Environment*, 1998, **219**(1): 53-81.
- [7] 余莉萍. 广州大气中二噁英的浓度分布和几种典型二噁英排放源的初步研究[D]. 广州: 中国科学院广州地球化学研究所, 2007. 34-39, 52-55.
- [8] Wang J B, Chang-Chien G P, Lin W Y, *et al.* A seasonality study of polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins and dibenzofurans in ambient air in Kaohsiung (Taiwan) clustered with metallurgical industries [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, **162**(1): 103-110.
- [9] 田艺, 张素坤, 李杰, 等. 广州某观测点春季大气样品中二噁英日均浓度变化分析[J]. *中国环境监测*, 2013, **29**(5): 64-68.
- [10] 张丽华, 王恩德. 沈阳市环境空气不同功能区二噁英含量与暴露风险分析[J]. *环境污染与防治*, 2013, **35**(2): 82-84.
- [11] 青宪, 冯桂贤, 杨艳艳, 等. 基于后向轨迹对城市大气中二噁英长距离迁移来源的探讨[J]. *环境科学学报*, 2013, **33**(11): 2959-2964.
- [12] Shin S K, Jin G Z, Kim W I, *et al.* Nationwide monitoring of atmospheric PCDD/Fs and dioxin-like PCBs in South Korea [J]. *Chemosphere*, 2011, **83**(10): 1339-1344.
- [13] Colombo A, Benfenati E, Bugatti S G, *et al.* PCDD/Fs and PCBs in ambient air in a highly industrialized city in Northern Italy [J]. *Chemosphere*, 2013, **90**(9): 2352-2357.
- [14] 赵恒, 王体健, 江飞, 等. 利用后向轨迹模式研究 TRACE-P 期间香港大气污染物的来源[J]. *热带气象学报*, 2009, **25**(2): 181-186.
- [15] 王茜. 利用轨迹模式研究上海大气污染的输送来源[J]. *环境科学研究*, 2013, **26**(4): 357-363.
- [16] 张漫雯, 张素坤, 李艳静, 等. 检测沉积物中多氯代二苯并对二噁英和多氯代二苯并呋喃(PCDD/Fs)的前处理方法优化[J]. *环境化学*, 2011, **30**(3): 723-724.
- [17] 黄文, 张素坤, 杜国勇, 等. 医疗废物焚烧炉周边环境介质中二噁英的浓度、同系物分布与来源分析[J]. *环境科学*, 2013, **34**(8): 3238-3243.
- [18] 陈媛, 岑况, Norra S, 等. 北京市区大气气溶胶 PM_{2.5} 污染特征及颗粒物溯源与追踪分析[J]. *现代地质*, 2010, **24**(2): 345-354.
- [19] 王芳, 陈东升, 程水源, 等. 基于气流轨迹聚类的大气污染输送影响[J]. *环境科学研究*, 2009, **22**(6): 637-642.
- [20] Fiedler H. Sources and environmental impact of PCDD/PCDF [OL]. http://www.chem.unep.ch/pops/pops_inc/proceedings/slovenia/FIEDLER1.html.
- [21] Raun L H, Correa O, Rifai H, *et al.* Statistical investigation of polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins and dibenzofurans in the ambient air of Houston, Texas [J]. *Chemosphere*, 2005, **60**(7): 973-989.
- [22] Abad E, Caixach J, Rivera J, *et al.* Surveillance programme on dioxin levels in ambient air sites in Catalonia (Spain) [J]. *Chemosphere*, 2002, **49**(7): 697-702.
- [23] Li H R, Feng J L, Sheng G Y, *et al.* The PCDD/F and PBDD/F pollution in the ambient atmosphere of Shanghai, China [J]. *Chemosphere*, 2008, **70**(4): 576-583.
- [24] Ding L, Li Y M, Wang P, *et al.* Seasonal trend of ambient PCDD/Fs in Tianjin City, northern China using active sampling strategy[J]. *Journal of Environmental Sciences(China)*, 2012, **24**(11): 1966-1971.
- [25] 罗森波, 罗秋红, 谢炯光, 等. 广州市大气污染与气象条件关系的统计分析[J]. *热带气象学报*, 2006, **22**(6): 567-573.
- [26] 苏青, 任明忠, 张素坤, 等. 广州市不同功能区大气二噁英含量和分布特征研究[J]. *环境科学学报*, 2012, **32**(11): 2704-2711.
- [27] Oh J E, Chang Y S, Kim E J, *et al.* Distribution of polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins and dibenzofurans (PCDD/Fs) in different sizes of airborne particles [J]. *Atmospheric Environment*, 2002, **36**(32): 5109-5117.
- [28] Ren M, Peng P A, Zhang S K, *et al.* Atmospheric deposition of polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins and dibenzofurans (PCDD/Fs) in Guangzhou, China[J]. *Atmospheric Environment*, 2007, **41**(3): 592-605.

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 JIAN, <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/Zelite 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 SPG 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-yan (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-ni, 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