

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第1期

Vol.35 No.1

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

雾霾重污染期间北京居民对高浓度 PM_{2.5} 持续暴露的健康风险及其损害价值评估 谢元博, 陈娟, 李巍 (1)

长白山 PM_{2.5} 中水溶性离子季节变化特征研究 赵亚南, 王跃思, 温天雪, 戴冠华 (9)

青岛大气颗粒物数浓度变化及对能见度的影响 柯馨姝, 盛立芳, 孔君, 郝泽彤, 屈文军 (15)

重庆市大气二噁英污染水平及季节变化 张晓岭, 卢益, 朱明吉, 蹇川, 郭志顺, 邓力, 孙静, 张芹, 罗财红 (22)

西南地区再生铝冶炼行业二噁英大气排放 卢益, 张晓岭, 郭志顺, 蹇川, 朱明吉, 邓力, 孙静, 张芹 (30)

西南地区新型干法水泥生产中的二噁英大气排放 张晓岭, 卢益, 蹇川, 郭志顺, 朱明吉, 邓力, 孙静, 张芹 (35)

杭州市办公场所室内空气中 PBDEs 的污染现状与特征 蒋欣慰, 孙鑫, 裴小强, 金漫彤, 李云龙, 沈学优 (41)

模拟不同排放源排放颗粒及多环芳烃的粒径分布研究 符海欢, 田娜, 商惠斌, 张彬, 叶素芬, 陈晓秋, 吴水平 (46)

川东北地区元素大气沉降通量及其季节变化 童晓宁, 周厚云, 游镇烽, 汤静, 刘厚均, 黄颖, 贺海波 (53)

重庆市铁山坪 2001 ~ 2010 年酸沉降变化 余德祥, 马萧萧, 谭炳全, 赵大为, 张冬保, 段雷 (60)

汉江上游金水河流域氮湿沉降 王金杰, 张克荣, 吴川, 张全发 (66)

麦秸及其烟尘中正构脂肪酸的组成 刘刚, 李久海, 吴丹, 徐慧 (73)

兰州市室内大气降尘环境磁学特征及其随高度变化研究 吴铎, 魏海涛, 赵瑞瑞, 张蕊, 刘建宝 (79)

中亚热带针阔混交林土壤-大气界面释汞通量研究 马明, 王定勇, 申源源, 孙荣国, 黄礼昕 (85)

水稻秸秆生物炭对耕地土壤有机碳及其 CO₂ 释放的影响 柯跃进, 胡学玉, 易卿, 余忠 (93)

黄海和东海海域溶解铋地球化学分布特征 吴晓丹, 宋金明, 吴斌, 李学刚 (100)

浑河上游(清原段)水环境中重金属时空分布及污染评价 马迎群, 时瑶, 秦延文, 郑丙辉, 赵艳民, 张雷 (108)

POCIS 采样技术应用于九龙江流域水环境中雌激素的检测 张利鹏, 王新红, 李永玉, 吴玉玲, 张祖麟 (117)

降雨条件下岩溶地下水微量元素变化特征及其环境意义 陈雪彬, 杨平恒, 蓝家程, 莫雪, 师阳 (123)

锡林河流域地表水水化学主离子特征及控制因素 唐玺雯, 吴锦奎, 薛丽洋, 张明泉, Frauke Barthold, Lutz Breuer, Hans-Georg Frede (131)

子牙河水系河流氮素组成及空间分布特征 赵钰, 单保庆, 张文强, 王超 (143)

水稻种植对中亚热带红壤丘陵区小流域氮磷养分输出的影响 宋立芳, 王毅, 吴金水, 李勇, 李裕元, 孟岑, 李航, 张满意 (150)

黄东海表层沉积物中磷的分布特征 宋国栋, 刘素美, 张国玲 (157)

河流沉积物中有机磷提取剂 (NaOH-EDTA) 提取比例与机制研究 张文强, 单保庆, 张洪, 唐文忠 (163)

沉积物短期扰动下 BAPP 再生和转化机制 武晓飞, 李大鹏, 汪明 (171)

三峡库区典型农村型消落带沉积物风险评价与重金属来源解析 敖亮, 雷波, 王业春, 周谐, 张晟 (179)

太湖东部不同类型湖区疏浚后沉积物重金属污染及潜在生态风险评价 毛志刚, 谷孝鸿, 陆小明, 曾庆飞, 谷先坤, 李旭光 (186)

滇池沉积物中主要污染物含量时间分异特征研究 王心宇, 周丰, 伊旋, 郭怀成 (194)

浓度层析荧光光谱局部匹配溢油鉴别技术 王春艳, 史晓凤, 李文东, 张金亮 (202)

光电 Fenton 技术处理污泥深度脱水液研究 王现丽, 王世峰, 吴俊峰, 濮文虹, 杨昌柱, 张敬东, 杨家宽 (208)

同步脱氮除磷颗粒污泥硝化反硝化特性试验研究 刘小英, 林慧, 马兆瑞, 王磊, 刘静伟, 郭超, 姜应和 (214)

垃圾填埋场渗滤液短程生物脱氮的长期稳定性实验研究 孙洪伟, 郭英, 彭永臻 (221)

油田区土壤石油烃组分残留特性研究 胡迪, 李川, 董倩倩, 李立明, 李广贺 (227)

水稻光合同化碳在土壤中的矿化和转化动态 谭立敏, 彭佩钦, 李科林, 李宝珍, 聂三安, 葛体达, 童成立, 吴金水 (233)

土地利用及退耕对喀斯特山区土壤活性有机碳的影响 廖洪凯, 李娟, 龙健, 张文娟, 刘云飞 (240)

水稻土团聚体 Cu²⁺ 吸附过程中铝的溶出及土壤溶液 pH 变化 许海波, 赵道远, 秦超, 李玉姣, 董长勋 (248)

Cr(VI) 对两种黏土矿物在单一及复合溶液中 Cu(II) 吸附的影响 刘娟娟, 梁东丽, 吴小龙, 屈广周, 钱勋 (254)

淹水时长对 3 种丛枝菌根 (AM) 真菌侵染 2 种湿地植物的影响 马雷猛, 王鹏腾, 王曙光 (263)

太湖水质与水生生物健康的关联性初探 周笑白, 张宁红, 张咏, 牛志春, 刘雷, 于红霞 (271)

3 种典型污染物对水生生物的急性毒性效应及其水质基准比较 姜东生, 石小荣, 崔益斌, 李梅 (279)

某制药废水对发光细菌急性毒性的评价研究 杜丽娜, 杨帆, 穆玉峰, 余若祯, 左剑恶, 高俊发, 余忻, 滕丽君, 汤薪瑶 (286)

异丙甲草胺与锌共存对斜生栅藻毒性手性差异影响 胡晓娜, 张淑娟, 陈彩东, 刘惠君 (292)

Biotic Ligand Model 的简化模型及预测性能评价 王万宾, 陈莎, 吴敏, 苏德丽, 赵婧 (299)

基于 USEtox 的焦化行业优先污染物筛选排序研究 郝天, 杜鹏飞, 杜斌, 曾思育 (304)

微囊藻毒素降解菌 *Paucibacter* sp. CH 菌的分离鉴定及其降解特性 游狄杰, 陈晓国, 向荟圻, 欧阳溱, 杨冰 (313)

硝酸盐抑制油田采出水中硫酸盐还原菌活性研究 杨德玉, 张颖, 史荣久, 韩斯琴, 李光哲, 李国桥, 赵劲毅 (319)

降解纤维素产甲烷的四菌复合系 吴俊妹, 马安周, 崔萌萌, 于清, 齐鸿雁, 庄绪亮, 庄国强 (327)

中国陆地生态系统土壤异养呼吸变异的影响因素 谢薇, 陈书涛, 胡正华 (334)

内蒙古羊草草原根呼吸和土壤微生物呼吸区分的研究 史晶晶, 耿元波 (341)

南京河流夏季水-气界面 N₂O 排放通量 韩洋, 郑有飞, 吴荣军, 尹继福, 孙霞 (348)

杀菌剂对湖泊水体温室气体浓度分析的影响 肖启涛, 胡正华, James Deng, 肖薇, 刘寿东, 李旭辉 (356)

生物表面活性剂强化剩余污泥微生物燃料电池产电特性研究 彭海利, 张植平, 李小明, 杨麒, 罗琨, 易欣 (365)

不同硅铝比 Fe-ZSM-5 催化剂对氧化亚氮催化分解性能的研究 卢仁杰, 张新艳, 郝郑平 (371)

硫酸铵和尿素对废物焚烧过程中多种途径生成氯苯类的抑制作用 严密, 祁志福, 李晓东, 胡艳军, 陈彤 (380)

县域尺度的京津冀都市圈 CO₂ 排放时空演变特征 汪浩, 陈操操, 潘涛, 刘春兰, 陈龙, 孙莉 (385)

保水剂性能及其农用安全性评价研究进展 李希, 刘玉荣, 郑袁明, 贺纪正 (394)

《环境科学》征订启事 (65) 《环境科学》征稿简则 (220) 信息 (226, 270, 298, 364)

重庆市大气二噁英污染水平及季节变化

张晓岭, 卢益, 朱明吉, 蹇川, 郭志顺, 邓力, 孙静, 张芹, 罗财红*

(重庆市环境监测中心, 重庆 401147)

摘要: 一年内分季节对重庆市不同功能区大气中二噁英(PCDD/Fs)污染情况进行了监测研究。结果表明,重庆市大气中PCDD/Fs浓度范围和平均值(以TEQ计)分别为 $0.017 \sim 0.21 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 $(0.094 \pm 0.054) \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。PCDD/Fs污染水平区域分布和季节变化明显,分别为:商住区>郊区>对照点,冬季>春季>秋季>夏季。其中,冬季时大气中的二噁英浓度约为夏季时的2.2~4.6倍。主成分分析结果显示,PCDD/Fs同系物分布特征季节变化明显:冬、春季时主要表现为颗粒相中的分布特征,夏、秋季节则主要表现为气相中的。相关性分析表明,PCDD/Fs异构体质量浓度与SO₂、NO₂、PM₁₀和TSP等常规参数含量大都呈显著正相关,与O₃则呈负相关,但未达显著性水平。这表明,重庆大气PCDD/Fs的空间分布和季节变化与SO₂、NO₂、PM₁₀和TSP等环境空气质量常规指标的分布情况基本一致,重庆大气PCDD/Fs污染与常规污染物的排放源密切相关。

关键词: 二噁英; 大气; 季节变化; 功能区; 常规指标

中图分类号: X131.1 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)01-0022-08

Concentrations of PCDD/Fs in the Atmosphere of Chongqing City and Its Seasonal Variation

ZHANG Xiao-ling, LU Yi, ZHU Ming-ji, JIAN Chuan, GUO Zhi-shun, DENG Li, SUN Jing, ZHANG Qin, LUO Cai-hong

(Chongqing Environmental Monitoring Center, Chongqing 401147, China)

Abstract: As a comprehensive monitoring survey on polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins and dibenzofurans (PCDD/Fs) in Chongqing, 20 ambient air samples taken from 5 locations in four seasons were studied. The PCDD/F TEQ concentrations varied from $0.017 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ to $0.21 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$. The average value was $(0.094 \pm 0.054) \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$. The PCDD/F concentrations varied by locations and seasons, and the orders were: urban area > suburban area > background area, and Winter > Spring > Autumn > Summer. The concentrations of PCDD/Fs were 2.2-4.6 times higher in the winter than during the summer. The PCA results indicated that PCDD/F homologue pattern varied by seasons. The PCDD/F homologue pattern in particle dominated in winter and spring, and the pattern in gas dominated in summer and autumn. The mass concentration of PCDD/F congener was significantly positively correlated with that of SO₂, NO₂, PM₁₀ and TSP, and insignificantly negatively correlated with that of O₃, respectively. The results showed that spatial distribution and seasonal variation of atmospheric PCDD/Fs in Chongqing was consistent with that of these conventional indicators, and the PCDD/Fs pollution was closely related with the emission sources of SO₂, NO₂, PM₁₀ and TSP.

Key words: dioxin; atmosphere; seasonality; functional areas; conventional indicators

二噁英是多氯代二苯并二噁英(PCDDs)及多氯代二苯并呋喃(PCDFs)的总称,是《斯德哥尔摩公约》中首批优先控制的12种持久性有机污染物(POPs)之一,被世界各国公认为对人类健康具有极大潜在危害的全球性散布的典型有机污染物。

大气中的二噁英来源广泛,它能够接受来自污染源排放,长距离迁移,水体、土壤、沉积物和地表植被挥发等不同途径释放的二噁英。因此,一个地区的大气污染状况能够反映该地区环境污染的整体状况,具有很好的环境代表性。大气中的二噁英可直接进入人体呼吸系统,也可通过沉降和生物累积进入食物链,影响人体健康。欧美等发达国家均十分重视环境空气中二噁英的污染现状监测和研究,早于20世纪90年代起就纷纷开展全国范围内的大气中二噁英污染状况监测和评价^[1-3]。香港和日本

更是将环境空气二噁英纳入常规监测,并分别从1997年起每年公布大气中二噁英含量^[4,5]。

环境科学家非常注重环境空气中二噁英污染水平和时空分布规律研究。Hippelein等^[6]1996年研究发现,在德国农村地区,冬季大气中PCDD/Fs的含量比夏季大气高4~8倍。进一步研究结果显示,居民在冬季的取暖是冬季大气中PCDD/Fs浓度升高的主要原因。Lohmann等^[7]系统比较了全球13个国家共37个地区1985~1997年间大气中二噁英的污染状况发现,不同地区的浓度分布规律为:城市

收稿日期:2013-04-12; 修订日期:2013-05-21

基金项目:环境保护公益性行业科研专项(200909095-5);重庆市科技创新能力建设项目(cstc2011pt-kyyz20002)

作者简介:张晓岭(1978-),男,博士,高级工程师,主要研究方向为持久性有机污染物监测及环境迁移转化, E-mail: zxlj@aliyun.com

* 通讯联系人, E-mail: luocaihong2001@163.com

和工业区 > 乡村地区 > 偏远地区。以上研究表明,大气中二噁英浓度存在着一定的季节和空间变化规律,其可以揭示二噁英来源。

目前,我国关于环境介质中尤其是大气环境中 PCDD/Fs 污染水平的报道相当少,已有的研究也多集中于上海、广东、浙江和北京等经济发达地区和城市。关于西部地区大气中二噁英污染水平的报道几乎没有。本研究首次对重庆市不同功能区域大气中二噁英进行了监测和分析,初步了解了重庆市环境空气中二噁英污染水平及特征,并通过分析重庆市环境空气中二噁英污染的空间及季节变化趋势,探讨山城空气中二噁英污染的来源和影响因素,以期对环境管理部门制定针对性的二噁英污染防治政策和措施提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 样品采集

重庆市空气中二噁英监测点位布设情况见表

表 1 样品采集信息

Table 1 Sampling Information

点位代号	经度	纬度	海拔/m	采样日期	采样时间	采样器型号
A0	106°37'865"	29°82'789"	910	2011 年 1 月、5 月、 7 月和 10 月	72 h	TCR TECORA ECHO HiVol
A1	106°29'529"	29°59'834"	314			
A2	106°48'724"	29°59'516"	391			
A3	106°50'259"	29°53'559"	330			
A4	106°63'538"	29°49'021"	371			

1.2 样品分析

本实验所用标准溶液均购自 Wellington Laboratories。采样标: EPA-23SSS; 提取内标有两种: 一种为 EPA-1613LCS, 用于滤膜分析; 另一种为 EPA-23IS, 用作 PUF 分析。进样内标: EPA-1613ISS。

样品分析参照 HJ 77.2-2008 国家标准进行。大体流程如下: 样品提取前加入同位素提取内标。石英纤维滤纸和 PUF 用甲苯在索氏提取器中萃取 24 h, 萃取液浓缩后留待净化。净化过程主要采用酸碱多层硅胶柱、活性炭分散硅胶柱净化处理, 以除去样品中杂质。净化液旋转蒸发浓缩、氮吹、加进样内标、定容, 用高分辨气质联用仪 (HRGC/HRMS, Agilent 6890N/Waters Auto Spec Premier TM) 进行定性定量分析。色谱柱为 DB-5MS (60 m × 0.25 mm × 0.25 μm), 质谱动态分辨率 > 10 000。

1.3 质量保证和质量控制

整个采样及分析过程严格执行 HJ 77.2-2008

1. A0、A1、A2、A3 和 A4 分别为背景区、郊区、商住区、交通枢纽区和工业区, 广泛分布于重庆市主城 5 个行政区内, 空间覆盖范围广。样品采集工作分别于 2011 年 1 月 (冬季)、5 月 (春季)、7 月 (夏季) 和 10 月 (秋季) 分 4 次进行, 一年内共采集 20 个大气样品。每个样品以流速为 220 L·min⁻¹ 连续采集 72 h。样品具体信息见表 1。

采样仪器为大流量空气采样器 (Echo HiVol, TCR), 吸附材料为石英纤维滤膜 (QFF, MUNKTELL) 和聚氨酯甲酸酯泡沫 (PUF, TISCH)。QFF 主要吸附空气中的颗粒物, 对 0.3 μm 颗粒物穿透率 < 0.002%, PUF 主要吸附气态有机物。采样之前 QFF 放入马弗炉中 400℃ 烘烤 8 h, 冷却后放入干燥器中恒重; PUF 水洗后, 先后用丙酮和二氯甲烷超声清洗, 然后真空干燥, 用铝箔包裹、密封待用。样品采集前, 现场将同位素采样标均匀加到 PUF 上。

规定的质量保证和质量控制体系, 从监测结果看, 实验室空白和全程空白都低于评价浓度的 1/10, 符合方法要求。采样标和净化标回收率分别为 80% ~ 120% 和 59% ~ 100%, 均符合 HJ 77.2-2008 质控要求 (采样内标: 70% ~ 130%; 提取内标: 17% ~ 185%)。目标物与 ¹³C 同位素相对保留时间和离子丰度比均符合 EPA1613 要求; S/N 比 > 10:1; 样品检出限为 0.003 ~ 0.057 pg·m⁻³。仪器检测期间, 中间浓度标准溶液的测定值变化 < 20%。

2 结果与讨论

2.1 大气中 PCDD/Fs 污染水平

重庆市各功能区不同季节大气中二噁英浓度 (以 TEQ 计) 见表 2。结果显示, 2011 年重庆市大气中二噁英浓度水平范围为 0.017 ~ 0.21 pg·m⁻³; 年平均浓度和中值分别为 (0.094 ± 0.054) pg·m⁻³ 和 0.084 pg·m⁻³; 所有样品中二噁英浓度水平均低于

日本二噁英空气质量标准($0.6 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$)。其中,对照点(A0)夏季时环境空气中的二噁英浓度水平最低,为 $0.017 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$,交通枢纽区(A2、A3)冬季时环境空气中二噁英浓度水平最高,皆为 $0.21 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。根据 Fiedler^[3]报道的二噁英浓度梯度标准,;除对照点(A0)外,其它点位空气中的二噁英浓度都在城市空气二噁英浓度水平区间范围内($0.070 \sim 0.35 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$);对照点(A0)空气中二噁英浓度低于 Fiedler 得出的城市空气的二噁英浓度水平。对照点(A0)大气中二噁英浓度范围(年均值)为 $0.017 \sim 0.078 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ ($0.040 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$),在所有监测点位中最低。A1 和 A4 点二噁英浓度范围(年均值)分别为 $0.052 \sim 0.13 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ ($0.091 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$)和 $0.042 \sim 0.12 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ ($0.080 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$)。这两点大气中二噁英浓度基本处于同一水平,这可能是因为 A1 和 A4 点皆处于郊区,其中 A4 点虽位于工业园区内,但园区内并未发现典型二噁英大气排放源。A2 和 A3 点均处于交通发达的商住区,其大气中二噁英浓度范围(年均值)分别为 $0.074 \sim 0.21 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ ($0.12 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$)和 $0.059 \sim 0.21 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ ($0.14 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$),两者处于同一水平,均高于对照点和郊区大气中二噁英浓度。综上所述发现,本研究大气中二噁英污染区域分布趋势如下:商住区(A2、A3) > 郊区(A1、A4) > 对照点(A0)。这一趋势与许多其他研究结果相一致^[2,8,9]。这可能主要因为城区汽车尾气排放造成的^[2]。

为了更好地理解重庆市大气二噁英污染程度,本研究列举了世界范围内城市大气二噁英研究结果(表 3)。如表 3 所列,各地城市大气中二噁英污染水平变化大,其中最高浓度出现在广州市($1.279 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$)^[10]和西班牙加泰罗尼亚的工业区($1.196 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$)^[11],最低浓度则出现于澳大利亚($0.009 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$)^[2]。与其他研究结果相比,重庆市大气中二噁英浓度水平明显低于北京、广州、杭州和上海等城区大气中二噁英污染水平($0.268 \sim 0.40 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$)^[10,12~14](表 3),也低于韩国、日本和巴西(圣保罗)等的研究结果^[15,16],与台湾和香港地区大气中二噁英浓度范围较一致^[17~19](表 3)。希腊、美国和澳大利亚等研究大气中的二噁英浓度相对较低,分别为 $0.044 \sim 0.119$ 、 $0.0074 \sim 0.055$ 和 $0.009 \sim 0.0172 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ ^[2,9,21~23]。英国一项长期监测研究表明,自 1991~2008 年,伦敦、曼彻斯特和米德尔斯布勒市大气中的二噁英浓度呈下降趋势:20 世纪 90 年代时,大气中二噁英浓度 $> 0.10 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$;2005~2008 年时则降至低于 $0.050 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ ^[9]。西班牙加泰罗尼亚工业区、市区和乡村大气中二噁英的平均浓度分别为 0.14 、 0.072 和 $0.028 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ ^[11],与本研究中相对应区域的二噁英平均浓度相近。意大利米兰市交通枢纽区大气中二噁英浓度为 $0.22 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ ^[9],与本研究 A2 和 A3 点冬季时的监测结果相一致。

表 2 重庆市大气中 PCDD/Fs 浓度¹⁾/ $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$

Table 2 Atmospheric PCDD/F TEQ concentrations in Chongqing/ $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$

采样时间	采样地点				
	A0	A1	(A2)	(A3)	(A4)
1 月	0.078	0.11	0.21	0.21	0.12
5 月	0.041	0.072	0.11	0.16	0.10
7 月	0.017	0.052	0.074	0.059	0.042
10 月	0.024	0.13	0.090	0.12	0.057
区域类型	RB	S	UT	UT	S
年平均值(sd)	0.040 (0.027)	0.091 (0.035)	0.12 (0.064)	0.14 (0.065)	0.080 (0.038)
总平均值(sd)			0.094 (0.054)		
中值			0.084		

1) R 农村; U 城市; I 工业; S 郊区; B 背景; T 交通

2.2 大气中 PCDD/Fs 污染季节变化

二噁英在空气中的浓度受许多因素,特别是气象条件影响较大,如温度、风速和阳光照射等,因此,空气中二噁英浓度经常随季节变化。本研究各监测点位空气中二噁英浓度也呈季节变化趋势。如

表 2 所示,除 A1 监测点环境空气中的二噁英浓度在 10 月稍高于 1 月外,其它点位均是冬季时(1 月)的二噁英浓度最高($0.078 \sim 0.21 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$),夏季(7 月)时最低($0.017 \sim 0.074 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$),春季和秋季时环境空气中的二噁英浓度则处于夏季和冬季时之

间,且除 A1 点外,其它点位空气中的二噁英浓度春季时均稍高于秋季. 综上所述,本研究中重庆市各

监测点环境空气中的二噁英浓度季节变化趋势为:冬季 > 春季 > 秋季 > 夏季.

表 3 世界各地大气中 PCDD/Fs TEQ 浓度比较/ $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$

Table 3 Worldwide comparison of atmospheric PCDD/F TEQ concentrations/ $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$

地区	时间	区域类型	浓度范围(平均值)	国别	文献
北京	2006-02 ~ 2006-12	城市	0.018 ~ 0.644(0.268)		[12]
广州	2004-07-2004-09		0.0567 ~ 1.279(0.341)		[10]
杭州	2009		0.34 ~ 0.44(0.40)		[13]
上海			0.36	中国	[14]
台湾(北部)	1999-11 ~ 2000-07		0.056 ~ 0.348		[17]
台湾(南部)	2003		0.063 ~ 0.15		[18]
高雄			0.032 ~ 0.26(0.092)		[19]
香港	2000-01 ~ 2000-08		0.018 ~ 0.43		[20]
	2002 ~ 2006		0.046 ~ 0.082		[4]
韩国	2000-06 ~ 2001-03		0.169 ~ 0.882	韩国	[15]
日本	2002 ~ 2004		0.066 ~ 0.84	日本	[5]
塞萨洛尼基(希腊)	1999-03 ~ 1999-10		0.04 ~ 0.119	欧洲	[21]
雅典(希腊)	2000-07	城市背景	0.042		[22]
			0.0078		
西班牙(Catalonia)	1994 ~ 2004	工业区	0.005 ~ 1.196(0.14)		[11]
		城市	0.010 ~ 0.357(0.072)		
		农村	0.005 ~ 0.045(0.028)		
英国	1991 ~ 2000	城市	> 0.10		[9]
	2005 ~ 2008	城市	< 0.05		
米兰市(意大利)		城市(交通枢纽)	0.22		
美国	2004 ~ 2007	城市、乡村	0.0074 ~ 0.035	美国	
休斯顿(美国)	2002-09 ~ 2003-04	城市	0.04 ~ 0.055		[23]
澳大利亚	2002-09 ~ 2004-02	城市/工业区	0.009 ~ 0.017	澳大利亚	[2]
圣保罗	2000 ~ 2001	城市	0.047 ~ 0.751	巴西	[16]

多项研究报道了环境空气中二噁英浓度冬季高于夏季的变化趋势. 如 Coutinho 等^[24]报道了葡萄牙监测地区冬季时环境空气中二噁英的平均浓度是夏季时的 3 倍,并认为冬季时家庭取暖焚烧和大气层边界高度变化是主要原因. Katsoyiannis 等^[9]报道了英国 6 个监测点位从 2001 ~ 2008 年空气中二噁英的连续监测结果:6 个点位大气中二噁英的平均浓度冬季时约为夏季的 1.5 ~ 8.0 倍. 本研究分别比较了冬季和夏季时各监测点位空气中 7 个 PCDDs、10 个 PCDFs 和 17 个 PCDD/Fs 比值. 如图 1 所示,5 个监测点冬季时环境空气中 PCDDs、PCDFs 和 PCDD/Fs 的浓度都分别较夏季时高,PCDD/Fs 浓度约为夏季时的 2.2 ~ 4.6 倍. 但各点位空气中 PCDDs 和 PCDFs 浓度在冬夏两季时相差倍数趋势并不一致. 如在 A0 和 A1 点时,PCDFs 的浓度相差倍数明显大于 PCDDs 的,说明冬季时大气中 PCDFs 所占比例升高. 而在 A2 和 A3 点时则相反,PCDDs 的相差倍数明显大于 PCDFs 的,说明冬季时 PCDFs 的比例有所下降; A4 点冬夏两季空气中 PCDDs 和 PCDFs 的倍数则基本保持一致.

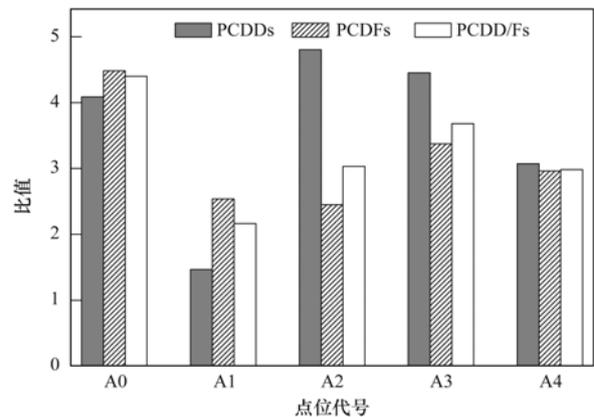


图 1 冬季和夏季环境空气中 PCDDs、PCDFs 和 PCDD/Fs 浓度比

Fig. 1 Winter/summer ratio of PCDDs, PCDFs and PCDD/Fs concentration

有研究显示,煤炭、生活垃圾、危险废物焚烧及金属冶炼等污染源烟气中的 PCDFs 比例都远大于 PCDDs ($R_{DF/DD} > 1$)^[25,26]. 大气中 PCDFs 所占比例升高表明,冬季时 A0 和 A1 点二噁英浓度升高表明其受此类污染源的影响较大. 这可能因为此两点均地处城郊,冬季时,附近居民多以家庭生火方式进

行取暖; A2 和 A3 点冬季时 PCDFs 下降, PCDDs 升高则可能与该两点位交通流量较大有关. Chang 等^[27]研究表明, 汽车在低速行驶 ($40 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) 和驻停时, 尾气排放的二噁英中 PCDDs 比例均高于 PCDFs, 其中 OCDD 百分比甚至达到了 70%~90%. 冬季较低的气温使得尾气排放的 PCDD/Fs 主要聚集在低空地面附近, 致使较低地面大气中 PCDD/Fs 的浓度升高, 同时也造成了 PCDDs 比例有所增加的现象.

2.3 PCDD/Fs 指纹特征

为了更好地理解重庆主城大气中 PCDD/Fs 指纹特征, 分别以 4~8 氯代同系物和 17 种 2,3,7,8-PCDD/Fs 异构体的质量浓度组成为变量将 20 个大气样品进行主成分分析 (PCA), 结果见图 2. 从中可知, 所有样品 4~8 氯代同系物特征明显按季节变化分为两组 [图 2(a)], 其中冬季和春季为一组, 夏季和秋季为另一组; 而 2,3,7,8-PCDD/Fs 异构体分布

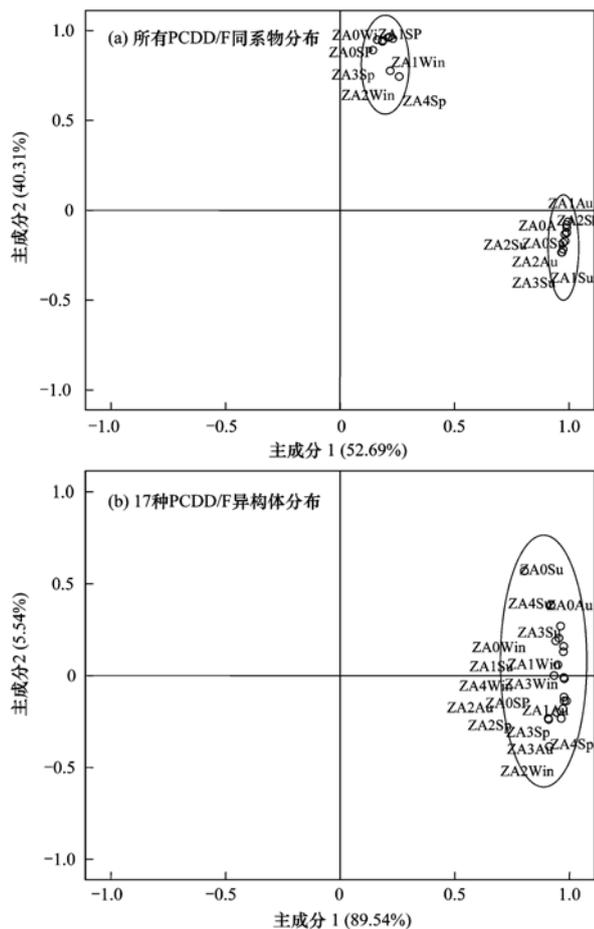
则没有明显分组 [图 2(b)]. 这表明, 所有 4~8 氯代 PCDD/F 同系物具有明显的季节变化, 而空间变化不明显; 2,3,7,8-PCDD/F 异构体分布特征则比较一致, 没有明显的空间和季节变化.

如图 3 所示, 17 种 PCDD/Fs 异构体中, 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF、OCDF 和 OCDD 的丰度最高, 分别为 19.8%、18.9% 和 17.9%; 冬、春两季所有 4~8 氯代同系物的分布趋势一致, HxCDFs 含量最高, 其次为 HpCDFs. 这一分布特征不同于其他类似研究结果. Hagenmair 等^[28]研究认为: 非污染源地区大气中的二噁英分布呈现相对稳定的模式, 即大气中 PCDF 同系物浓度随氯代数的减少而逐渐升高, PCDD 同系物浓度则随氯代数的减少而降低. 本研究夏、秋两季的 PCDD/F 同系物分布趋势明显区别于冬、春两季的特征, PCDDs 和 PCDFs 均随着氯代数的升高而降低. 其中 PCDFs 同系物分布趋势与上述典型特征一致; PCDDs 同系物分布特征则与之相反. 与之相似的研究结果也出现于广州、杭州、名古屋和萨格勒布等城市的大气中^[29]. 上述 PCDD/Fs 同系物分布特征季节变化现象表明重庆市大气二噁英来源可能存在季节变化.

为了探讨造成 PCDD/Fs 同系物分布特征季节变化的原因, 本文研究了秋季大气气相和颗粒相中 PCDD/Fs 的分布情况 (图 4). 如图 4 所示, 气相中 PCDD/Fs 的分布趋势与夏、秋季节的一致; 而颗粒相中 PCDD/Fs 的分布趋势则与冬、春季节的相似. 这可能因为夏、秋季节时重庆雨水充沛, 且气温较高, 空气易于扩散, 大气中颗粒物含量较低, 同时蒸汽压相对较高的 TeCDD/Fs 和 PeCDD/Fs 易从土壤、水和颗粒物等环境介质中逸散到气相中, 增加了其在大气中的比例, 形成了 PCDD/Fs 同系物含量随氯代数增加而降低的特征. 而冬、春季节则正好相反, 大气颗粒物浓度增加, 气相中 TeCDD/Fs 和 PeCDD/Fs 的含量因气温较低而减少. 巩宏平等^[13]的研究结果也表明, 杭州大气夏季样品气相 TCDD/Fs、PeCDD/Fs、HxCDD/Fs、HpCDD/Fs、OCDD/F 分别为 92%、75%、50%、22%、6%. 本研究秋季大气样品中 TeCDD/Fs、PeCDD/Fs、HxCDD/Fs、HpCDD/Fs、OCDD/F 分别为 89%、65%、20%、6%、6%.

2.4 PCDD/Fs 质量浓度与 SO_2 、 NO_2 等参数的相关性分析

各监测点 PCDD/Fs 质量浓度与 SO_2 、 NO_2 、 PM_{10} 、 O_3 等同期在线监测指标及 TSP 的相关性分



图中 Win、Sp、Su 和 Au 分别代表 1、5、7 和 10 月

图 2 重庆市大气中二噁英质量浓度主成分分析

Fig. 2 Scope plot of principal component analysis for mass concentration of PCDD/Fs

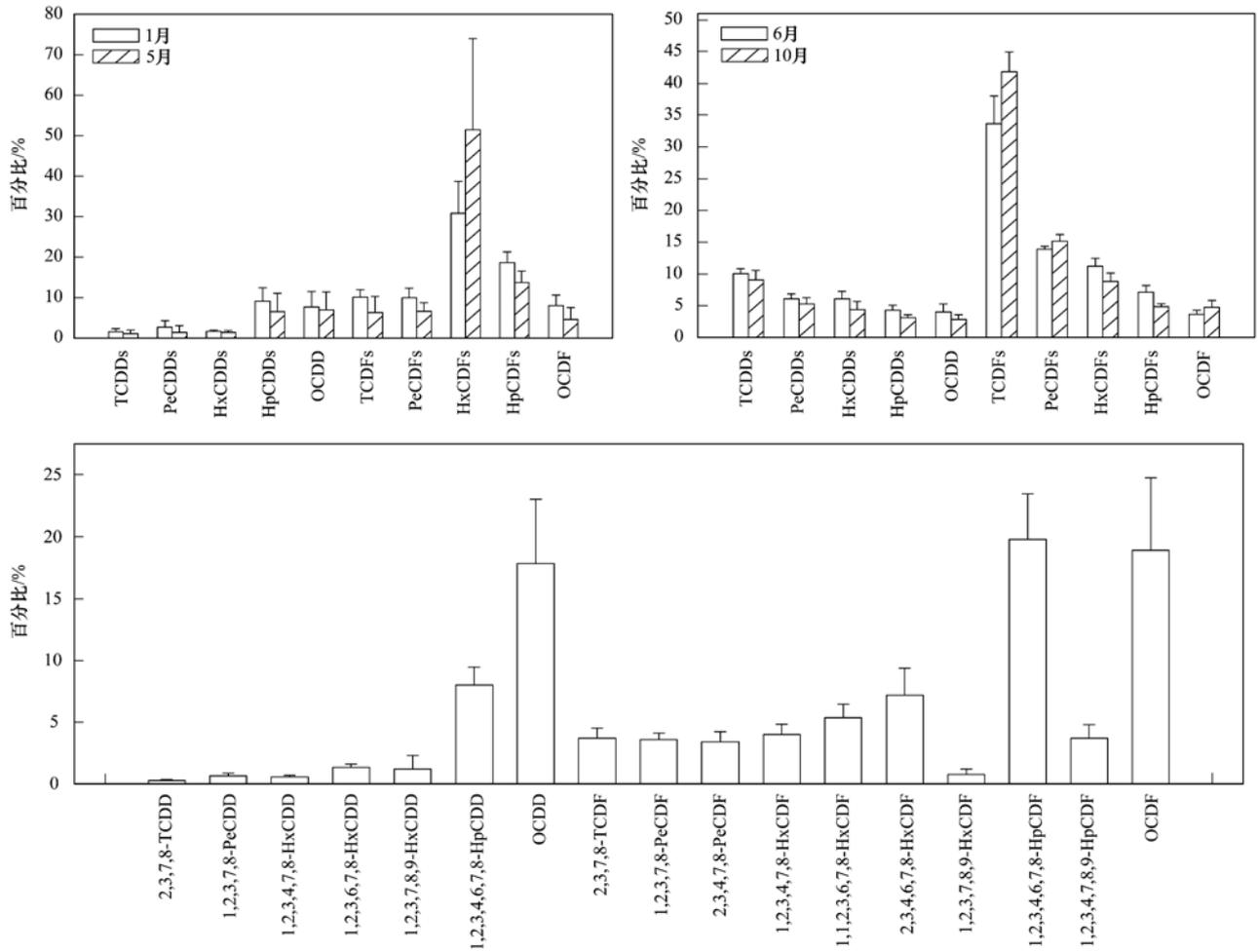


图3 重庆大气 PCDD/F 同系物和异构体平均分布特征

Fig. 3 Average distribution patterns of atmospheric PCDD/F homologue and congener in Chongqing

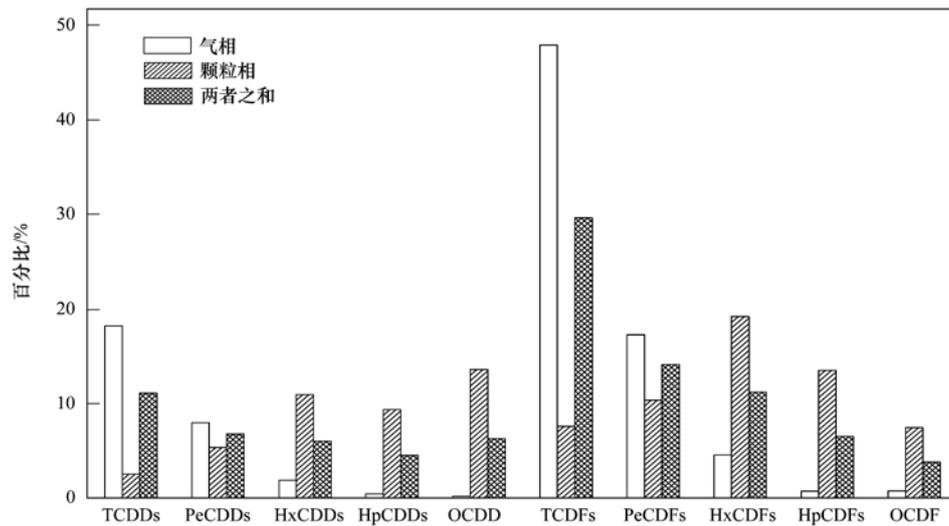


图4 重庆秋季大气样品中气相、颗粒相和两者之和中 PCDD/F 同系物分布特征

Fig. 4 PCDD/F homologue patterns in gas phase, particle phase and their sum of atmospheric sample in autumn in Chongqing City

析见表4。从中可知,SO₂、NO₂、PM₁₀和TSP等指标与PCDD/Fs皆呈正相关,且除极少数情况外,都达

到了显著性水平;O₃则与PCDD/Fs呈负相关,但大都没有达到显著性水平。这表明,重庆大气PCDD/

Fs 的空间分布和季节变化与 SO_2 、 NO_2 、 PM_{10} 和 TSP 等环境空气质量常规指标的分布基本一致。大量研究表明,煤炭燃烧是 SO_2 、 NO_2 和颗粒物的主要来源,汽车尾气排放是 NO_2 和颗粒物,特别是可吸入颗粒物的重要来源之一。以上结果表明,煤炭燃烧和汽车尾气排放可能是重庆主城区大气中 PCDD/Fs 的主要污染源。另外,交通枢纽区(A2 和 A3)大气中 PCDD/Fs 浓度明显高于其它点的现象表明

汽车尾气排放对城区大气二噁英的贡献较大。有研究认为,重庆市 SO_2 、 NO_2 、 PM_{10} 和 TSP 浓度冬季高于夏季的现象与重庆地形和气象因素密切相关^[28,29]。重庆冬季气层中性与稳定占绝对多数,空气乱流输送力弱,风小,静风频率高,逆温最甚,稳定的气层使污染物积聚在低层,大大加重地面污染,是最不利于污染物扩散的时段^[28,29]。这可能也是冬季 PCDD/Fs 浓度最高的主要原因之一。

表 4 重庆市大气 PCDD/Fs 质量浓度与 SO_2 、 NO_2 等参数的相关性分析¹⁾

Table 4 Correlation analysis of PCDD/Fs concentration and SO_2 , NO_2 etc in Chongqing atmosphere

异构体	SO_2	PM_{10}	TSP	NO_2	O_3
2,3,7,8-TCDD	0.440	0.804 (**)	0.577 (*)	0.562 (*)	-0.333
1,2,3,7,8-PeCDD	0.524 (*)	0.799 (**)	0.672 (*)	0.579 (*)	-0.379
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0.555 (*)	0.693 (**)	0.648 (*)	0.569 (*)	-0.497
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0.626 (**)	0.739 (**)	0.791 (**)	0.643 (**)	-0.436
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0.292	0.545 (*)	0.700 (**)	0.275	0.018
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0.600 (*)	0.670 (**)	0.760 (**)	0.605 (*)	-0.417
OCDD	0.576 (*)	0.522 (*)	0.691 (**)	0.543 (*)	-0.350
2,3,7,8-TCDF	0.607 (*)	0.804 (**)	0.704 (**)	0.775 (**)	-0.510
1,2,3,7,8-PeCDF	0.568 (*)	0.796 (**)	0.730 (**)	0.694 (**)	-0.470
2,3,4,7,8-PeCDF	0.562 (*)	0.525 (*)	0.750 (**)	0.661 (**)	-0.670 (**)
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.466	0.621 (*)	0.711 (**)	0.593 (*)	-0.562 (*)
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0.539 (*)	0.783 (**)	0.726 (**)	0.611 (*)	-0.377
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0.649 (**)	0.786 (**)	0.590 (*)	0.558 (*)	-0.241
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0.755 (**)	0.612 (*)	0.259	0.493	-0.240
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0.711 (**)	0.703 (**)	0.737 (**)	0.662 (**)	-0.566 (*)
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0.664 (**)	0.797 (**)	0.716 (**)	0.629 (**)	-0.355
OCDF	0.514 (*)	0.639 (**)	0.737 (**)	0.666 (**)	-0.617 (*)
PCDD/Fs	0.658 (**)	0.743 (**)	0.782 (**)	0.680 (**)	-0.485

1) * 表示相关性在 0.05 水平上显著(双边检验); ** 表示相关性在 0.01 水平上显著(双边检验)

3 结论

(1) 与国内其他城市相比,重庆市大气中 PCDD/Fs 污染水平较低。

(2) 重庆市大气中二噁英浓度存在明显的区域差异和季节变化,分布趋势分别为:商住区 > 郊区 > 对照点; 冬季 > 春季 > 秋季 > 夏季。

(3) 重庆市大气中 PCDD/F 同系物分布特征季节变化明显,而空间差异不大。其中,冬、春季时主要表现为颗粒相分布特征;夏、秋季节则主要表现为气相分布特征。

(4) 相关性分析显示,PCDD/Fs 各异构体质量浓度与 SO_2 、 NO_2 、 PM_{10} 和 TSP 等常规参数大都呈显著性成正相关;这表明,重庆大气 PCDD/Fs 的空间分布和季节变化与 SO_2 、 NO_2 、 PM_{10} 和 TSP 等环境空气质量常规指标的分布基本一致。

致谢:感谢重庆市环境监测中心翟崇治、余家燕、鲍雷、唐晓等提供各测点大气自动监测数据!

参考文献:

- [1] Cleverly J R, Dahm C N, Thibault J R, et al. Seasonal estimates of actual evapo-transpiration from *Tamarix ramosissima* stands using three-dimensional eddy covariance [J]. *Journal of Arid Environments*, 2002, 52(2): 181-197.
- [2] Gras J, Müller J, Graham B, et al. Dioxins in Ambient Air in Australia, National Dioxins Program Technical Report No. 4 [R]. Australian Government Department of the Environment and Heritage, Canberra, 2004.
- [3] Fiedler H. Sources of PCDD/PCDF and impact on the environment [J]. *Chemosphere*, 1996, 32(1): 55-64.
- [4] Environmental Protection Department, Government of Hong Kong Special Administrative Region. Summary of ambient dioxin levels in Hong Kong [EB/OL]. Available from: <http://www.epd-asg.gov.hk/English/report/report.php>.
- [5] Government of Japan. Information brochure dioxins 2005 [EB/OL]. Available from: <http://www.env.go.jp/en/chemi/dioxins/brochure2005.pdf>.
- [6] Hippelein M, Kaupp H, Dorr G, et al. Baseline concentration assessment for a new resource recovery facility in Germany Part II: atmospheric concentrations of PCDD/PCDF [J].

- Chemosphere, 1996, **32**(8): 1605-1616.
- [7] Lohmann R, Jones K C. Dioxins and furans in air and deposition: a review of levels, behaviour and processes[J]. The Science of Total Environment, 1998, **219**(1): 53-81.
- [8] Coleman K, Jenkinson D S. RothC- 26. 3-A Model for the turnover of carbon in soil[A]. In: Powlson D S, Smith P, Smith J U (Eds.). Evaluation of Soil Organic Matter Models Using Existing, Long-Term Datasets[C]. Berlin: NATO ASI Series I. Springer-Verlag, 1996. 237-246.
- [9] Katsoyiannis A, Gioia R, Sweetman A J, et al. Continuous Monitoring of PCDD/Fs in the UK Atmosphere: 1991-2008[J]. Environmental Science and Technology, 2010, **44**(15): 5735-5740.
- [10] Yu L P, Mai B X, Meng X Z, et al. Particle-bound polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins and dibenzofurans in the atmosphere of Guangzhou, China [J]. Atmospheric Environment, 2006, **40**(1): 96-108.
- [11] Abad E, Martínez K, Gustems L, et al. Ten years measuring PCDDs/PCDFs in ambient air in Catalonia (Spain) [J]. Chemosphere, 2007, **67**(9): 1709-1714.
- [12] Li Y M, Jiang G B, Wang Y W, et al. Concentrations pro-files and gas-article partitioning of polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins and dibenzofurans in the ambient air of Beijing, China [J]. Atmospheric Environment, 2008, **42**(9): 2037-2047.
- [13] 巩宏平, 刘劲松, 潘荷芳, 等. 杭州市环境空气中二噁英类物质检测与分析[J]. 环境监测管理与技术, 2012, **24**(2): 27-30.
- [14] 应媛媛. 上海市典型区域大气和土壤样品中二噁英初探 [D]. 上海: 华东理工大学, 2010.
- [15] Park J S, Kim J G. Regional measurements of PCDD/PCDF concentrations in Korean atmosphere and comparison with gas-particle portioning models [J]. Chemosphere, 2002, **49**(7): 755-764.
- [16] Assuncao J V, Pesquero C R, Bruns R E, et al. Dioxins and furans in the atmosphere of São Paulo city, Brazil [J]. Chemosphere, 2005, **58**(10): 1391-1398.
- [17] Chang M B, Weng Y M, Lee T Y, et al. Sampling and analysis of ambient dioxins in northern Taiwan [J]. Chemosphere, 2003, **51**(10): 1103-1110.
- [18] Lee W S, Chang-Chien G P, Wang L C, et al. Source identification of PCDD/Fs for various atmospheric environments in a highly industrialized city [J]. Environmental Science and Technology, 2004, **38**(19): 4937-4944.
- [19] Wang L C, Lee W J, Lee W S, et al. Characterizing the emission of polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins and dibenzofurans from crematories and their impacts to the surrounding environment [J]. Environmental Science and Technology, 2003, **37**(1): 62-67.
- [20] Sin D W, Choi J Y, Louie P K. A study of polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins and dibenzofurans in the atmosphere of Hong Kong [J]. Chemosphere, 2002, **47**(6): 647-653.
- [21] Kouimtzis T H, Samara C, Voutsas D, et al. PCDD/Fs and PCBs in air borne particulate matter of the greater Thessaloniki Area, N. Greece [J]. Chemosphere, 2002, **47**(2): 193-205.
- [22] Mandalakis M, Tsapakis M, Tsoga A, et al. Gas-particle concentrations and distribution of aliphatic hydrocarbon, PAHs, PCBs, and PCDD/Fs in the atmosphere of Athens (Greece) [J]. Atmospheric Environment, 2002, **36**(25): 4023-4035.
- [23] Correa O, Rifai H, Raun L, et al. Concentrations and vapor-particle partitioning of polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins and dibenzofurans in ambient air of Houston, TX [J]. Atmospheric Environment, 2004, **38**(39): 6687-6699.
- [24] Coutinho M, Pereira M, Borrego C. Monitoring of ambient air PCDD/F levels in Portugal [J]. Chemosphere, 2007, **67**(9): 1715-1721.
- [25] Liu G R, Zhang M G, Liu W B, et al. Atmospheric emission of PCDD/Fs, PCBs, hexachlorobenzene, and pentachlorobenzene from the coking industry [J]. Environmental Science and Technology, 2009, **43**(24): 9196-9201.
- [26] Lin L F, Lee W J, Li H W, et al. Characterization and inventory of PCDD/F emissions from coal-fired power plants and other sources in Taiwan [J]. Chemosphere, 2007, **68**(9): 1642-1649.
- [27] Chang M B, Chang S H, Chen Y W, et al. Dioxin emission factors for automobiles from tunnel air sampling in Northern Taiwan [J]. Science of the Total Environment, 2004, **325**(1-3): 129-138.
- [28] Hagenmair H, Lindig C, She J, et al. Correlation of environmental occurrence of polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins and dibenzofurans with possible source [J]. Chemosphere, 1994, **29**(9): 2163-2173.
- [29] Xu M X, Yan J H, Lu H Y, et al. Concentrations, profiles, and sources of atmospheric PCDD/Fs near a municipal solid waste incinerator in Eastern China [J]. Environmental Science and Technology, 2009, **43**(4): 1023-1029.
- [30] 邓小红, 宋仲容, 李晓. 重庆市主城区大气环境质量变化分析及对策研究 [J]. 中国环境监测, 2007, **23**(3): 85-88.
- [31] 孟庆珍, 万敏. 重庆近 12 年大气稳定度综合研究 [J]. 成都气象学院学报, 1994, **28**(1): 75-82.

CONTENTS

An Assessment of PM _{2.5} Related Health Risks and Impaired Values of Beijing Residents in a Consecutive High-Level Exposure During Heavy Haze Days	XIE Yuan-bo, CHEN Juan, LI Wei (1)
Seasonal Variation of Water-Soluble Ions in PM _{2.5} at Changbai Mountain	ZHAO Ya-nan, WANG Yue-si, WEN Tian-xue, <i>et al.</i> (9)
Variation of Atmospheric Particle Number Concentrations in Qingdao and Its Impact on Visibility	KE Xin-shu, SHENG Li-fang, KONG Jun, <i>et al.</i> (15)
Concentrations of PCDD/Fs in the Atmosphere of Chongqing City and Its Seasonal Variation	ZHANG Xiao-ling, LU Yi, ZHU Ming-ji, <i>et al.</i> (22)
Atmospheric Emission of PCDD/Fs from Secondary Aluminum Metallurgy Industry in the Southwest Area, China	LU Yi, ZHANG Xiao-ling, GUO Zhi-shun, <i>et al.</i> (30)
Atmospheric Emission of PCDD/Fs from Modern Dry Processing Cement Kilns with Preheating in the Southwest Area, China	ZHANG Xiao-ling, LU Yi, JIAN Chuan, <i>et al.</i> (35)
Pollution Status and Characteristics of PBDEs in Indoor Air of Hangzhou	JIANG Xin-wei, SUN Xin, PEI Xiao-qiang, <i>et al.</i> (41)
Size Distribution of Particle and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Particle Emissions from Simulated Emission Sources	FU Hai-huan, TIAN Na, SHANG Hui-bin, <i>et al.</i> (46)
Atmospheric Deposition Fluxes and Seasonal Variations of Elements in Northeast of Sichuan, Central China	TONG Xiao-ning, ZHOU Hou-yun, YOU Chen-feng, <i>et al.</i> (53)
Trend in Acid Deposition at Tieshanping, Chongqing During 2001-2010	YU De-xiang, MA Xiao-xiao, TAN Bing-quan, <i>et al.</i> (60)
Wet Deposition of Atmospheric Nitrogen of the Jinshui Watershed in the Upper Hanjiang River	WANG Jin-jie, ZHANG Ke-rong, WU Chuan, <i>et al.</i> (66)
Chemical Compositions of <i>n</i> -Alkanoic Acids in Wheat Straw and Its Smoke	LIU Gang, LI Jiu-hai, WU Dan, <i>et al.</i> (73)
Magnetic Properties of Indoor Dustfall at Different Heights in Lanzhou	WU Duo, WEI Hai-tao, ZHAO Rui-rui, <i>et al.</i> (79)
Mercury Fluxes from Conifer-Broadleaf Forested Field in Central Subtropical Forest Zone	MA Ming, WANG Ding-yong, SHEN Yuan-yuan, <i>et al.</i> (85)
Impacts of Rice Straw Biochar on Organic Carbon and CO ₂ Release in Arable Soil	KE Yue-jin, HU Xue-yu, YI Qing, <i>et al.</i> (93)
Geochemical Distribution of Dissolved Bismuth in the Yellow Sea and East China Sea	WU Xiao-dan, SONG Jin-ming, WU Bin, <i>et al.</i> (100)
Temporal-spatial Distribution and Pollution Assessment of Heavy Metals in the Upper Reaches of Hunhe River (Qingyuan Section), Northeast China	MA Ying-qun, SHI Yao, QIN Yan-wen, <i>et al.</i> (108)
Determination of Estrogenic Compounds in Water of Jiulong River Using Polar Organic Chemical Integrative Sampler	ZHANG Li-peng, WANG Xin-hong, LI Yong-yu, <i>et al.</i> (117)
Variation Characteristics and Environmental Significant of Trace Elements Under Rainfall Condition in Karst Groundwater	CHEN Xue-bin, YANG Ping-heng, LAN Jia-cheng, <i>et al.</i> (123)
Major Ion Chemistry of Surface Water in the Xilin River Basin and the Possible Controls	TANG Xi-wen, WU Jin-kui, XUE Li-yang, <i>et al.</i> (131)
Forms and Spatial Distribution Characteristics of Nitrogen in Ziya River Basin	ZHAO Yu, SHAN Bao-qing, ZHANG Wen-qiang, <i>et al.</i> (143)
Impact of Rice Agriculture on Nitrogen and Phosphorus Exports in Streams in Hilly Red Soil Earth Region of Central Subtropics	SONG Li-fang, WANG Yi, WU Jun-shui, <i>et al.</i> (150)
Study on Distribution of Phosphorus in Surface Sediments of the Yellow Sea and the East China Sea	SONG Guo-dong, LIU Su-mei, ZHANG Guo-ling (157)
Characterization and Optimization of the NaOH-EDTA Extracts for Solution ³¹ P-NMR Analysis of Organic Phosphorus in River Sediments	ZHANG Wen-qiang, SHAN Bao-qing, ZHANG Hong, <i>et al.</i> (163)
Regeneration and Transformation of BAPP in Suspended Solids Under Short-term Sediment Disturbance	WU Xiao-fei, LI Da-peng, WANG Ming (171)
Sediment Risk Assessment and Heavy Metal Source Analysis in Typical Country Water Level Fluctuated Zone (WLFZ) of the Three Gorges	AO Liang, LEI Bo, WANG Ye-chun, <i>et al.</i> (179)
Pollution Distribution and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Sediments from the Different Eastern Dredging Regions of Lake Taihu	MAO Zhi-gang, GU Xiao-hong, LU Xiao-ming, <i>et al.</i> (186)
Study on the Stages of Major Sediments in Dianchi Lake	WANG Xin-yu, ZHOU Feng, YI Xuan, <i>et al.</i> (194)
Oil Spill Identification Using Partial Surface Fitting Method Based on Concentration-Synchronous-Matrix-Fluorescence Spectra	WANG Chun-yan, SHI Xiao-feng, LI Wen-dong, <i>et al.</i> (202)
Treatment of Sludge Liquor Produced in Deep Dehydration by Photoelectro-Fenton Process	WANG Xian-li, WANG Shi-feng, WU Jun-feng, <i>et al.</i> (208)
Characteristics of Nitrification and Denitrification for Simultaneous Nitrogen and Phosphorus Removal by Granular Sludge	LIU Xiao-ying, LIN Hui, MA Zhao-rui, <i>et al.</i> (214)
Study on Long-Term Stability of Biological Nitrogen Removal via Nitrite from Real Landfill Leachate	SUN Hong-wei, GUO Ying, PENG Yong-zhen (221)
Compositions and Residual Properties of Petroleum Hydrocarbon in Contaminated Soil of the Oilfields	HU Di, LI Chuan, DONG Qian-qian, <i>et al.</i> (227)
Dynamics of the Mineralization and Transformation of Rice Photosynthesized Carbon in Paddy Soils - a Batch Incubation Experiment	TAN Li-min, PENG Pei-qin, LI Ke-lin, <i>et al.</i> (233)
Effects of Land Use and Abandonment on Soil Labile Organic Carbon in the Karst Region of Southwest China	LIAO Hong-kai, LI Juan, LONG Jian, <i>et al.</i> (240)
Aluminum Dissolution and Changes of pH in Soil Solution During Sorption of Copper by Aggregates of Paddy Soil	XU Hai-bo, ZHAO Dao-yuan, QIN Chao, <i>et al.</i> (248)
Effect of Cr(VI) Anions on the Cu(II) Adsorption Behavior of Two Kinds of Clay Minerals in Single and Binary Solution	LIU Juan-juan, LIANG Dong-li, WU Xiao-long, <i>et al.</i> (254)
Effect of Flooding Time Length on Mycorrhizal Colonization of Three AM Fungi in Two Wetland Plants	MA Lei-meng, WANG Peng-teng, WANG Shu-guang (263)
Preliminary Study on the Relationship Between the Water Quality and the Aquatic Biological Health Status of Taihu Lake	ZHOU Xiao-bai, ZHANG Ning-hong, ZHANG Yong, <i>et al.</i> (271)
Acute Toxicity of Three Typical Pollutants to Aquatic Organisms and Their Water Quality Criteria	JIANG Dong-sheng, SHI Xiao-rong, CUI Yi-bin, <i>et al.</i> (279)
Evaluation of the Acute Toxicity of Pharmaceutical Wastewater to Luminescent Bacteria	DU Li-na, YANG Fan, MU Yu-feng, <i>et al.</i> (286)
Influence of the Coexistence of Zn ²⁺ on the Enantioselective Toxicity of Metolachlor to <i>Scenedesmus obliquus</i>	HU Xiao-na, ZHANG Shu-xian, CHEN Cai-dong, <i>et al.</i> (292)
Simplification of Biotic Ligand Model and Evaluation of Predicted Results	WANG Wan-bin, CHEN Sha, WU Min, <i>et al.</i> (299)
Priority Pollutants Ranking and Screening of Coke Industry based on USEtox Model	HAO Tian, DU Peng-fei, DU Bin, <i>et al.</i> (304)
Isolation, Identification and Characterization of a Microcystin-degrading Bacterium <i>Paucibacter</i> sp. Strain CH	YOU Di-jie, CHEN Xiao-guo, XIANG Hui-yi, <i>et al.</i> (313)
Inhibition of the Activity of Sulfate-reducing Bacteria in Produced Water from Oil Reservoir by Nitrate	YANG De-yu, ZHANG Ying, SHI Rong-jiu, <i>et al.</i> (319)
Bioconversion of Cellulose to Methane by a Consortium Consisting of Four Microbial Strains	WU Jun-mei, MA An-zhou, CUI Meng-meng, <i>et al.</i> (327)
Factors Influencing the Variability in Soil Heterotrophic Respiration from Terrestrial Ecosystem in China	XIE Wei, CHEN Shu-tao, HU Zheng-hua (334)
Study on the Distinguishing of Root Respiration from Soil Microbial Respiration in a <i>Leymus chinensis</i> Steppe in Inner Mongolia, China	SHI Jing-jing, GENG Yuan-bo (341)
Nitrous Oxide Flux at the Water-Air Interface of the Rivers in Nanjing During Summer	HAN Yang, ZHENG You-fei, WU Rong-jun, <i>et al.</i> (348)
Effects of Antiseptic on the Analysis of Greenhouse Gases Concentrations in Lake Water	XIAO Qi-tao, HU Zheng-hua, James Deng, <i>et al.</i> (356)
Electricity Generation of Surplus Sludge Microbial Fuel Cell Enhanced by Biosurfactant	PENG Hai-li, ZHANG Zhi-ping, LI Xiao-ming, <i>et al.</i> (365)
Fe-ZSM-5 Catalysts with Different Silica-Alumina Ratios for N ₂ O Catalytic Decomposition	LU Ren-jie, ZHANG Xin-yan, HAO Zheng-ping (371)
Inhibition of Chlorobenzene Formation via Various Routes During Waste Incineration by Ammonium Sulfate and Urea	YAN Mi, QI Zhi-fu, LI Xiao-dong, <i>et al.</i> (380)
County Scale Characteristics of CO ₂ Emission's Spatial-Temporal Evolution in the Beijing-Tianjin-Hebei Metropolitan Region	WANG Hao, CHEN Cao-cao, PAN Tao, <i>et al.</i> (385)
Characterization and Soil Environmental Safety Assessment of Super Absorbent Polymers in Agricultural Application	LI Xi, LIU Yu-rong, ZHENG Yuan-ming, <i>et al.</i> (394)

《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1月15日 35卷 第1期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 1 Jan. 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