

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第2期

Vol.35 No.2

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

我国环境空气中颗粒物达标统计要求研究 ..... 王帅,丁俊男,王瑞斌,李健军,孟晓艳,杨彬,林宏 (401)

北京城区 PM<sub>2.5</sub>中致癌重金属季节变化特征及其来源分析 ..... 陶俊,张仁健,段菁春,荆俊山,朱李华,陈忠明,赵岳,曹军骥 (411)

北京地区冬春 PM<sub>2.5</sub>和 PM<sub>10</sub>污染水平时空分布及其与气象条件的关系 ..... 赵晨曦,王云琦,王玉杰,张会兰,赵冰清 (418)

北京市 PM<sub>2.5</sub>可吸入颗粒物反演及其时空分布分析 ..... 王艳慧,肖瑶 (428)

杭州市春季大气超细颗粒物粒径谱分布特征 ..... 谢小芳,孙在,杨文俊 (436)

春节期间南京市大气气溶胶粒径分布特征 ..... 王红磊,朱彬,沈利娟,刘晓慧,张泽锋,杨洋 (442)

南京市大气颗粒物中有机碳和元素碳粒径分布特征 ..... 吴梦龙,郭照冰,刘凤玲,刘杰,卢霞,姜琳娟 (451)

忻州市环境空气 PM<sub>10</sub>中有机碳和元素碳污染特征分析 ..... 史美鲜,彭林,刘效峰,牟玲,白慧玲,刘凤娟,杨花 (458)

广州某工业区大气中 PCDD/Fs 含量水平及其季节性变化特征 ..... 青亮,苏原,苏青,张素坤,任明忠 (464)

燃煤电厂锅炉 PM<sub>2.5</sub>排放危害度评价模型建立及案例分析 ..... 史妍婷,杜谦,高建民,边昕,王知涛,董鹤鸣,韩强,曹阳 (470)

中国南海大气降水化学特征 ..... 肖红伟,龙爱民,谢露华,肖化云,刘丛强 (475)

临安本底站酸雨长期观测特征分析 ..... 李正泉,马浩,毛裕定,冯涛 (481)

北京城区大气氮湿沉降特征研究 ..... 贺成武,任玉芬,王效科,毛宇翔 (490)

烟雾箱与数值模拟研究苯和乙苯的臭氧生成潜势 ..... 贾龙,徐永福 (495)

祁连山老虎沟 12 号冰川积雪中飞灰颗粒物的特征 ..... 董志文,秦大河,秦翔,杜志恒,陈记祖,任贾文 (504)

生活垃圾填埋场作业面恶臭散发率研究 ..... 羌宁,王红玉,赵爱华,袁文祥,邵俊,陈檬 (513)

生物滴滤塔处理苯酚气体研究 ..... 何觉聪,黄倩茹,陈洲洋,叶杞宏,罗雨薇,魏在山 (520)

国 V 柴油机燃用丁醇-柴油混合燃料颗粒粒径分布特性试验研究 ..... 楼狄明,徐宁,范文佳,张涛 (526)

翻堆频率对猪粪条堆肥过程温室气体和氨气排放的影响 ..... 赵晨阳,李洪枚,魏源送,钟佳,郑嘉嘉,韩圣慧,万合锋 (533)

CuBr<sub>2</sub> 分解缓释-膜催化对零价汞的氧化性能研究 ..... 胡林刚,瞿赞,晏乃强,郭永福,谢江坤,贾金平 (541)

浙闽沿海岸域总溶解态无机锡的分布及影响因素研究 ..... 张许州,任景玲,刘宗广,樊孝鹏,刘诚刚,吴莹 (547)

基于双向算法的湖库允许纳污负荷量计算及案例 ..... 贾海峰,郭羽 (555)

北京平原区第四系地下水污染风险评价 ..... 郭高轩,李宇,许亮,李志萍,杨庆,许苗娟 (562)

不同季节辽河口营养盐的河口混合行为 ..... 张晋华,于立霞,姚庆祯,田琳 (569)

太湖南运河入湖河口沉积物氮素分布特征 ..... 马久远,王国祥,李振国,张佳,周锋,魏宏农,欧媛 (577)

亚热带地区潜流人工湿地木本植物筛选与净化潜力评价 ..... 陈永华,吴晓芙,郝君,陈明利,朱光玉 (585)

潜流人工湿地基质结构与水力特性相关性研究 ..... 白少元,宋志鑫,丁彦礼,游少鸿,何珊 (592)

凤眼莲对铜绿微囊藻生长及藻毒素与营养盐释放的影响 ..... 周庆,韩士群,严少华,宋伟,刘国锋 (597)

不同预氧化剂对长江原水氯(胺)化 DBPs 生成潜能的影响 ..... 田富箱,徐斌,荣蓉,陈英英,张天阳,朱贺振 (605)

溴化十六烷基吡啶改性沸石对水中菲的吸附作用 ..... 李佳,林建伟,詹艳慧,陈祖梅,王鹏钧 (611)

四环素光催化降解特性与选择性研究 ..... 宋晨怡,尹大强 (619)

微生物电解系统生物阴极的硫酸盐还原特性研究 ..... 符诗雨,刘广立,骆海萍,张仁铎,章莹颖 (626)

市政污水 A/DAT-IAT 系统中溶解性有机物表征与生态安全 ..... 杨赛,周启星,华涛 (633)

膜-生物反应器处理高盐废水膜面污染物特性研究 ..... 李彬,王志伟,安莹,吴志超 (643)

臭氧-曝气生物滤池组合工艺处理石化二级出水的试验研究 ..... 刘明国,吴昌永,周岳溪,高祯,王佩超,杨琦,董德 (651)

厌氧生物法处理果胶废水的研究 ..... 陈兵兵,杨春平,黎想,代传花,彭蓝艳 (657)

氧氟沙星在碳纳米管上的吸附机制研究 ..... 赵兴兴,于水利,王哲 (663)

平菇菌糠对废水中铜离子的生物吸附性能 ..... 胡晓婧,戴婷婷,顾海东,金羽,曲娟娟 (669)

基于流态化作用的吸附反应动力学和穿透特征 ..... 王君,王瑶,黄星,袁益龙,陈瑞晖,周航,周丹丹 (678)

广州城市污泥中重金属形态特征及其生态风险评价 ..... 郭鹏然,雷永乾,蔡大川,张涛,吴锐,潘佳翎 (684)

中国农田土壤重金属富集状况及其空间分布研究 ..... 张小敏,张秀英,钟大洋,江洪 (692)

废旧电容器封存点土壤中的 PCBs 污染特征和健康风险评价 ..... 周玲莉,吴广龙,薛南冬,杨兵,李发生,丁琼,周丹丹,燕云仲,刘博,韩宝禄 (704)

深圳市表层土壤多环芳烃污染及空间分异研究 ..... 章迪,曹善平,孙建林,曾辉 (711)

洋河流域万全段重金属污染风险及控制对策 ..... 谭冰,王铁宇,朱朝云,李奇峰,徐笠,吕永龙 (719)

施用组配固化剂对盆栽土壤重金属交换态含量及在水稻中累积分布的影响 ..... 曾卉,周航,邱琼瑶,廖柏寒 (727)

螯合剂复配对实际重金属污染土壤洗脱效率影响及形态变化特征 ..... 尹雪,陈家军,吕策 (733)

*Pseudomonas* sp. QJX-1 的锰氧化特性研究 ..... 周娜娜,柏耀辉,梁金松,罗金明,刘锐平,胡承志,袁林江 (740)

$n(\text{NO}_3^- - \text{N})/n(\text{NO}_2^- - \text{N})$  对混培养菌与纯培养菌同步脱氮除硫的影响 ..... 陈子爱,陈会娟,魏本平,刘刚金,邓良伟,吴力斌 (746)

杭州市空气微生物群落碳代谢特征研究 ..... 龚婵娟,许晶,方治国,楼秀芹,欧阳志云 (753)

鼠李糖脂逆胶束体系中纤维素酶的后萃研究 ..... 赵艳鸽,袁兴中,黄华军,崔凯龙,彭馨,彭子原,曾光明 (759)

黄海常见鱼类体内汞含量的种内和种间差异研究 ..... 朱艾嘉,许战洲,柳圭泽,邓丽杰,方宏达,黄良民 (764)

3 种 PAEs 对蚯蚓的毒性作用和组织酶活性影响的研究 ..... 王艳,马泽民,吴石金 (770)

新型保水剂应用于土壤-小白菜系统的环境安全评价 ..... 李希,贺纪正,郑袁明,郑明兰 (780)

黄河三角洲翅碱蓬湿地硫化氢和羧基硫磺排放动态研究 ..... 李新华,郭洪海,杨丽萍,朱振林,孙晓青 (786)

农田土壤 N<sub>2</sub>O 产生的关键微生物过程及减排措施 ..... 朱永官,王晓辉,杨小茹,徐会娟,贾炎 (792)

《环境科学》征订启事(691) 《环境科学》征稿简则(800) 信息(489,519,591,791)

# 广州某工业区大气中 PCDD/Fs 含量水平及其季节性变化特征

青宪<sup>1</sup>, 苏原<sup>2</sup>, 苏青<sup>3</sup>, 张素坤<sup>1</sup>, 任明忠<sup>1\*</sup>

(1. 环境保护部华南环境科学研究所, 广州 510655; 2. 西南石油大学化学与化工学院, 成都 610500; 3. 湖南师范大学资源与环境科学学院, 长沙 410012)

**摘要:** 通过对广州某工业区大气中 2,3,7,8-PCDD/Fs 的季节性监测, 并对大气中 PCDD/Fs 的浓度与季节性变化进行了分析。结果表明, 该工业区大气中 PCDD/Fs 的浓度范围为 2.33 ~ 75.4  $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ , 平均值为 23.2  $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ , 毒性当量浓度 I-TEQ 范围为 0.229 ~ 10.7  $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ , 平均值为 2.00  $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ , 高于日本环境空气质量标准推荐年均值 0.6  $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。该工业区 PCDD/Fs 浓度季节性变化明显, 最高的季节为春季(37.8  $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ ), 浓度最低的季节为夏季(13.5  $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ ), 其次为秋季(22.3  $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) 和冬季(19.1  $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ ); 毒性当量浓度变化高低顺序为: 春季(5.58  $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) > 夏季(1.06  $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) > 秋季(0.839  $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) > 冬季(0.525  $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ )。降雨、季风的季节性变化可能是引起大气中 PCDD/Fs 浓度季节性变化的原因。

**关键词:** 环境空气; 工业区; 季节性变化; 二噁英(PCDD/Fs); 分布特征

中图分类号: X131.1; X51 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)02-0464-06

## Seasonal Variation of Concentrations and Distribution Characteristics of PCDD/Fs in Atmosphere of an Industrial Area, Guangzhou

QING Xian<sup>1</sup>, SU Yuan<sup>2</sup>, SU Qing<sup>3</sup>, ZHANG Su-kun<sup>1</sup>, REN Ming-zhong<sup>1</sup>

(1. South China Institute of Environmental Sciences, Ministry of Environmental Protection, Guangzhou 510655, China; 2. College of Chemistry and Chemical Engineering, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China; 3. College of Resource and Environment Science, Hunan Normal University, Changsha 410012, China)

**Abstract:** Atmospheric concentrations of 2,3,7,8-substituted polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins and dibenzofurans (PCDD/Fs) were measured seasonally in an industrial area of Guangzhou City. And seasonal variation of concentrations and distribution characteristics of 2,3,7,8-PCDD/Fs was investigated. The PCDD/Fs concentrations and corresponding I-TEQ (toxic equivalent quantity) values were in the range of 2.33-75.4  $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$  (mean = 23.2  $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) and 0.229-10.7  $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$  (mean = 2.00  $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ ), respectively. The seasonal variation of PCDD/Fs concentrations was obvious, with the highest concentration was found in spring (37.8  $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) and the lowest in summer (13.5  $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ ). However, no obvious difference of concentrations was observed for autumn (22.3  $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) and winter (19.1  $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ ). The seasonal variation of I-TEQ values is as follows: spring (5.58  $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) > summer (1.06  $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) > autumn (0.839  $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) > winter (0.525  $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ ). The influences of monsoon and rainfall on the concentration of PCDD/Fs in atmosphere are discussed.

**Key words:** atmosphere; industrial area; seasonal variation; polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins and dibenzofurans (PCDD/Fs); distribution characteristics

多氯代二苯并-对-二噁英(PCDDs)和多氯代二苯并呋喃(PCDFs)通常总称为二噁英(PCDD/Fs), 是一类剧毒物质, 受到各国政府和公众的高度关注, 同时也被列入《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》需优先控制的持久性有机污染物之一。

二噁英在环境空气中非常稳定, 可通过大气传输到全球任何角落<sup>[1]</sup>。同时, 环境空气中二噁英可直接进入人体呼吸系统, 也可通过沉降进入食物链, 从而影响人体健康<sup>[2,3]</sup>。发达国家和地区均十分重视区域大气环境中二噁英的污染现状监测和研究<sup>[4,5]</sup>。在英国大气二噁英监测历史已长达几十年, 而韩国的监测数据则已基本覆盖全国范围<sup>[6,7]</sup>。我

国在大气中二噁英含量水平研究方面起步相对较晚, 目前主要集中在北京、上海、广州等经济较发达的城市和地区<sup>[8-10]</sup>。

由于季节的变换通常伴随着主导风向, 温度, 光照强度, 干湿沉降等因素的改变, 研究大气中二噁英的浓度与季节变化的关系, 一方面可以揭示其来源问题, 如 Hippelein 等<sup>[11]</sup>研究发现, PCDD/Fs 在大气

收稿日期: 2013-05-15; 修订日期: 2013-09-04

基金项目: 环境保护公益性行业科研专项(2011467001, 200909095-2)

作者简介: 青宪(1981~), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向为痕量持久性有机污染物在环境中的迁移与转化, E-mail: qingxian@scies.org

\* 通讯联系人, E-mail: renmingzhong@scies.org

中的浓度在冬夏两季具有明显差别,在德国农村地区,冬季大气中 PCDD/Fs 的含量比夏季的高 4~8 倍. 其进一步研究结果证实,居民取暖是冬季大气中 PCDD/Fs 浓度升高的主要原因. Wallenhorst 等<sup>[12]</sup>在研究城区大气中二噁英的分布与温度的关系时,也得到了上述结论. 另一方面,大气中二噁英的浓度与季节变化的关系也反映 PCDD/Fs 在大气中的某种亏损过程或去向问题. Ren 等<sup>[13]</sup>在 2007 对城市和郊区大气中的二噁英沉降通量进行了报道,并指出了雨季的沉降通量高于旱季. 该报道从一个侧面解释了雨季大气中 PCDD/Fs 浓度可能偏低的原因.

然而,大气中二噁英含量与温度、季节之间没有固定的规律可循. 在不同的国家和地区,二噁英的季节性变化规律也不同,有的地区则不存在任何季节性变化趋势. 如 Jones 等<sup>[14]</sup>在研究中则发现,在英国城市地区大气中 PCDD/Fs 的含量在冬夏两季变化并不明显. Wang 等<sup>[15]</sup>对台湾高雄某工业区大气中二噁英的浓度与单体特征的季节性变化进行了研究,结果发现工业区大气中二噁英主要受当地电弧炉和烧结厂排放影响,无任何季节性变化趋势.

目前,关于城市大气中二噁英浓度季节变化报道多集中在冬夏两季,报道中对大气中二噁英的研究方法也略有不同<sup>[16,17]</sup>. 本研究通过主动采样的方法采集广州某工业区春、夏、秋、冬这 4 个季节大气中颗粒相与气相样品. 通过每个季度对大气进行连续 7 天的监测,取得了工业区各季节大气中 PCDD/Fs 浓度数据,探讨了该工业区大气中 PCDD/Fs 浓度随季节变化的规律,主要结合了各个季节的主导风向、降雨等气象特点对工业区大气中 PCDD/Fs 浓度季节性变化的影响进行了分析.

## 1 材料与方法

### 1.1 试剂耗材

实验中用到的试剂与耗材有:二氯甲烷、正己烷、甲苯、甲醇、丙酮和正十四烷(农残级, J. T. Baker, 美国); 硅胶(70~230 目, Merck, 德国); 佛罗里硅酸镁(Fluka, 美国); 碱性氧化铝(Fluka, 美国); 石英滤膜(whatman, 美国); 聚氨基甲酸乙酯泡沫(长 75 mm, 直径 65 mm, 密度  $0.025 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ ); 参考 EPA 23 方法中<sup>13</sup>C<sub>12</sub>标记的 PCDD/Fs 标准溶液均购自 CIL, 美国.

### 1.2 样品采集

样品采集所用仪器为大流量环境空气采样器

(TCR Tecora, 意大利). 大气颗粒相与气相中目标物的吸附材料分别为石英滤膜(QFF)和聚氨基甲酸乙酯泡沫(PUF). 在使用前 QFF 在 450℃ 马弗炉中经过 5 h 的处理, PUF 经过 85℃ 烧开过的水清洗后, 再用甲醇清洗, 最后用二氯甲烷抽提.

采样点布设在广州某工业区中污水处理厂楼顶, 附近有牛仔服装厂、五金工艺厂、橡胶厂、印刷厂、设备制造厂、汽配加工厂、造纸厂等工厂企业. 整个采样过程参考我国 HJ 77.2-2008 及美国 EPA T-09 方法. 采样时间分为 4 期, 每期连续采集 7 d, 分别是 2010-11-04~2010-11-11(秋季), 2011-01-14~2011-01-21(冬季), 2011-04-09~2011-04-16(春季), 2011-09-13~2011-09-20(夏季). 平均每隔 24 h 更换 QFF 和 PUF, 并在 PUF 上添加 EPA23 方法采样内标.

### 1.3 样品前处理

样品中 PCDD/Fs 采用索氏抽提的方法提取. 提取前每个样品添加一定量<sup>13</sup>C<sub>12</sub>标记的 2,3,7,8-氯取代 PCDD/Fs 的混合标准溶液. 经旋转蒸发浓缩后依次通过酸/碱性混合硅胶柱(40 g 40% 硫酸硅胶, 3 g 中性硅胶, 4 g 1.2% 氢氧化钠硅胶, 3 g 中性硅胶)与氧化铝-佛罗里硅酸镁柱(1 g 碱性氧化铝, 1 g 佛罗里硅酸镁)进行净化<sup>[18]</sup>. 将洗脱液浓缩并转移至进样瓶, -20℃ 保存. 仪器分析前添加一定量的同位素进样内标.

### 1.4 仪器分析

分析仪器为高分辨气相色谱-高分辨双聚焦磁质谱联用仪(HP6890GC/AutoSpec Premier, HRMS, Waters).

仪器条件: 载气流速为  $1.0 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ , 色谱柱为 DB-5 ( $60 \text{ m}\times 0.25 \text{ mm}\times 0.25 \mu\text{m}$ ), 进样量为  $1 \mu\text{L}$ , 不分流进样. 色谱柱升温程序: 初始温度为 120℃, 保持 2 min, 然后以  $8 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  的速率升至 220℃,  $1.4 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  升至 260℃, 最后  $4 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  升至 310℃, 保持 4 min. 进样口温度为 280℃. 质谱条件: 电离能: 35 eV; 离子化电流: 600  $\mu\text{A}$ ; EI 源温度: 300℃; 分辨率 > 10 000.

### 1.5 质量保证和质量控制(QA/QC)

分析样品的同时, 进行方法空白与空白加标实验, 实际样品中 PCDD/Fs 的浓度已扣除全程空白. 样品检测限定义为 3 倍信噪比. 样品中<sup>13</sup>C<sub>12</sub>标记的 2,3,7,8-氯取代 PCDD/Fs 的回收率为 50%~110%, 采样标回收率为 70%~100%.

## 2 结果与讨论

### 2.1 工业区大气中 PCDD/Fs 的浓度水平

本研究通过 4 期采样,共采集大气样品 28 个,获得有效结果的样品有 27 个,结果表明,该工业区大气中 PCDD/Fs 的浓度范围为 2.33 ~ 75.4  $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,平均值为 23.2  $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,毒性当量浓度 I-TEQ 范围为 0.229 ~ 10.7  $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,平均值为 2.00  $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ . 表 1 为工业区大气中 PCDD/Fs 各期的平均浓度及总平均浓度.

该结果高于 Yu 等<sup>[10]</sup>在 2004 年测得的广州工业区总悬浮颗粒中 PCDD/Fs 的 I-TEQ 值. 相比于其它国家和地区,该工业区的 I-TEQ 值大于各文献中报道的我国天津,西班牙和韩国工业区大气中 PCDD/Fs 的 I-TEQ 值,如表 2 所示.

### 2.2 工业区大气中 PCDD/Fs 浓度的季节与日变化特征

通过 4 个季度的监测,该工业区大气 PCDD/Fs 浓度最高的季节为春季,浓度最低的季节为夏季,其

表 1 广州工业区大气中 PCDD/Fs 的平均浓度/ $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$   
Table 1 Mean value of PCDD/Fs in the ambient air in Guangzhou industry area/ $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$

化合物名称	秋季 (n=7)	冬季 (n=7)	春季 (n=6)	夏季 (n=7)	总平均值
2,3,7,8-TCDF	0.245	0.220	1.390	0.180	0.510
1,2,3,7,8-PeCDF	0.303	0.310	2.460	0.450	0.880
2,3,4,7,8-PeCDF	0.647	0.390	5.820	0.630	1.870
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.810	0.580	3.530	0.640	1.390
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0.765	0.460	3.210	0.610	1.261
2,3,4,6,7,8-HxCDF	1.061	0.550	4.140	0.690	1.610
1,2,3,7,8,9-HxCDF	ND <sup>1)</sup>	0.210	1.510	0.420	0.536
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	3.906	2.230	4.910	1.560	3.153
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0.497	0.540	0.830	0.500	0.591
OCDF	3.518	5.920	0.860	1.250	2.887
2,3,7,8-TCDD	0.004	ND	0.320	0.220	0.136
1,2,3,7,8-PeCDD	0.119	0.070	0.990	0.270	0.363
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0.105	0.060	0.670	0.070	0.227
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0.342	0.140	1.130	0.350	0.489
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0.238	0.100	0.850	0.350	0.382
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	2.495	1.040	2.730	1.140	1.850
OCDD	7.213	6.300	2.420	4.210	5.035
$\sum$ PCDD/Fs	22.267	19.100	37.770	13.540	23.170
$\sum$ I-TEQ	0.839	0.520	5.580	1.060	2.000

1) ND 表示未检出

表 2 广州工业区同世界其它地区大气中 PCDD/Fs 浓度比较<sup>1)</sup>

Table 2 Comparison of concentrations of PCDD/Fs in the ambient air in Guangzhou industry area with those in other cities of the world

国家或地区	采样城市/地区	区域类型	I-TEQ/ $\text{fg}\cdot\text{m}^{-3}$	采样时间(年)	文献
中国	天津	工业区	14.2 ~ 1010	2008-2009	[17]
	唐山	工业区	44.2 ~ 396.1	2009	[19]
	广州	工业区	229 ~ 10700	2010 ~ 2011	本研究
	广州	工业区	769.3 *	2004	[10]
	广州	市区	56.7 ~ 1279 *	2004	[10]
	北京	郊区	289	2007	[8]
	上海	工业区	497	2008	[9]
	香港	路边	21 ~ 139	2000	[20]
中国台湾	高雄	工业源附近	31.9 ~ 256	2009	[15]
西班牙	兰卡斯特	工业区	5 ~ 954	1994 ~ 2002	[21]
韩国	天安市	工业区	1 ~ 25	2008	[7]
韩国	龟尾市	工业区	1 ~ 46	2008	[7]
美国	新泽西	市区	0.6 ~ 55	2003	[22]
	休斯顿	市区	4 ~ 55	2004	[23]

1) \* 为总悬浮颗粒物中 PCDD/Fs 的 I-TEQ 数据

次是秋季和冬季(见图 1)。各季节 PCDD/Fs 平均浓度高低顺序为春季( $37.8 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) > 秋季( $22.3 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) > 冬季( $19.1 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) > 夏季( $13.5 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ )；二噁英毒性当量浓度的季节性变化略有不同,其中春季毒性浓度最大,是其它季节的 5~9 倍。其平均毒性当量浓度变化高低顺序为春季( $5.58 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) > 夏季( $1.06 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) > 秋季( $0.839 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) > 冬季( $0.525 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ )。

由于本地排放源相对稳定,所以该工业区大气中二噁英含量季节性变化可能与海洋性亚热带季风气候有关。广州秋冬两季属于旱季,雨水较少,局部区域大气扩散条件较好,因此工业区近地面监测到的二噁英含量相对较低。另一方面,由于秋冬两季供暖造成燃煤量激增,导致排放到大气中的二噁英增加,所以秋冬两季大气中二噁英含量水平还可能受到北方大气远距离传输的影响<sup>[24]</sup>。

广州夏季属于雨季,降雨频繁,大气中二噁英湿沉降通量较大<sup>[13]</sup>。同时广州夏季盛行东南季风,大气扩散条件好,来自我国东南海面上空的大气对广州大气有很好的稀释作用。由于这些因素的影响,夏季是该工业区大气中 PCDD/Fs 浓度最低的季节。

春季是该工业区大气中 PCDD/Fs 浓度和毒性当量浓度最大的季节,远超其他季节大气中二噁英含量水平。导致这种现象的原因可能有两个:①春季冷热交替频繁,导致大气对流层出现逆温现象增多,大气扩散条件差;②也可能与该区工厂存在不规范排放或工况不稳定有关。

广州各功能区四期监测过程中每天监测结果与

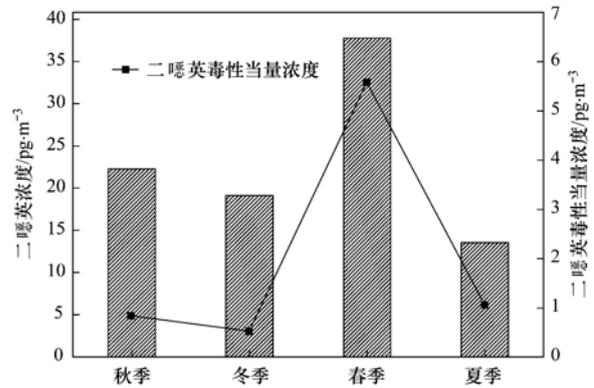


图 1 工业区大气中 PCDD/Fs 浓度与毒性当量浓度季节变化示意

Fig. 1 Seasonal variation of concentrations and I-TEQ values of PCDD/Fs in atmosphere of the industry area

随时间变化如图 2 所示。从中可以看出该工业区二噁英浓度呈现一种间歇性冲高的特点。春季波动幅度最大,同时也是平均浓度最高的季节。而这些冲高浓度数据拉高了整个工业区大气中二噁英浓度的总体水平。毒性当量浓度的变化相对较平稳,只有春季的日变化较大,且整体处于一个较高的水平。

### 2.3 PCDD/Fs 单体分布特征

对工业区大气 4 个季度中 17 种 2,3,7,8-PCDD/Fs 单体的平均质量分数进行了分析,如图 3 所示。从秋季的单体分布特征图中可以看出,1,2,3,4,6,7,8-HpCDF、OCDF 和 OCDD 的质量分数最高,分别为 18.4%、17.8% 和 31.2%,其余单体质量分数都较小,总体呈现出高氯代单体质量分数高于低氯代单体质量分数的趋势。冬季单体的分布特征与秋季相似,1,2,3,4,6,7,8-HpCDF、OCDF

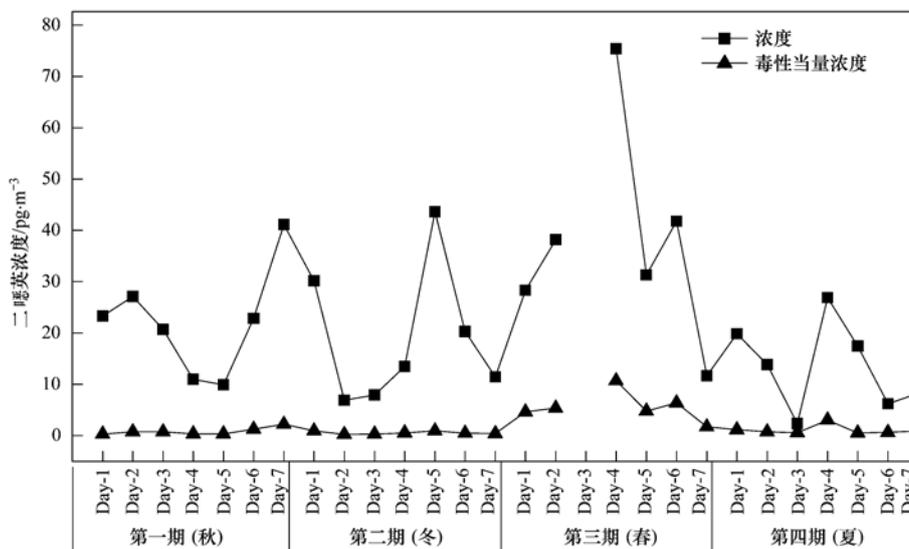


图 2 工业区大气中 PCDD/Fs 浓度与毒性当量浓度示意

Fig. 2 Concentrations and I-TEQ values of PCDD/Fs in atmosphere of the industry area

和 OCDD 的质量分数最高,分别为 13.4%、33.2% 和 26.8%。

春季单体质量分数最大的为 2,3,4,7,8-PeCDF、2,3,4,6,7,8-HxCDF 和 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF,分别为 15.5%、11.1% 和 12.7%,而在秋

冬两季质量分数较高的 OCDF 和 OCDD 却只占 2.20% 和 1.15%。夏季质量分数最高单体同样为 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF、OCDF 和 OCDD,但其质量分数较秋冬两季的含量低,分别为 13.1%、9.10% 和 30.4%。

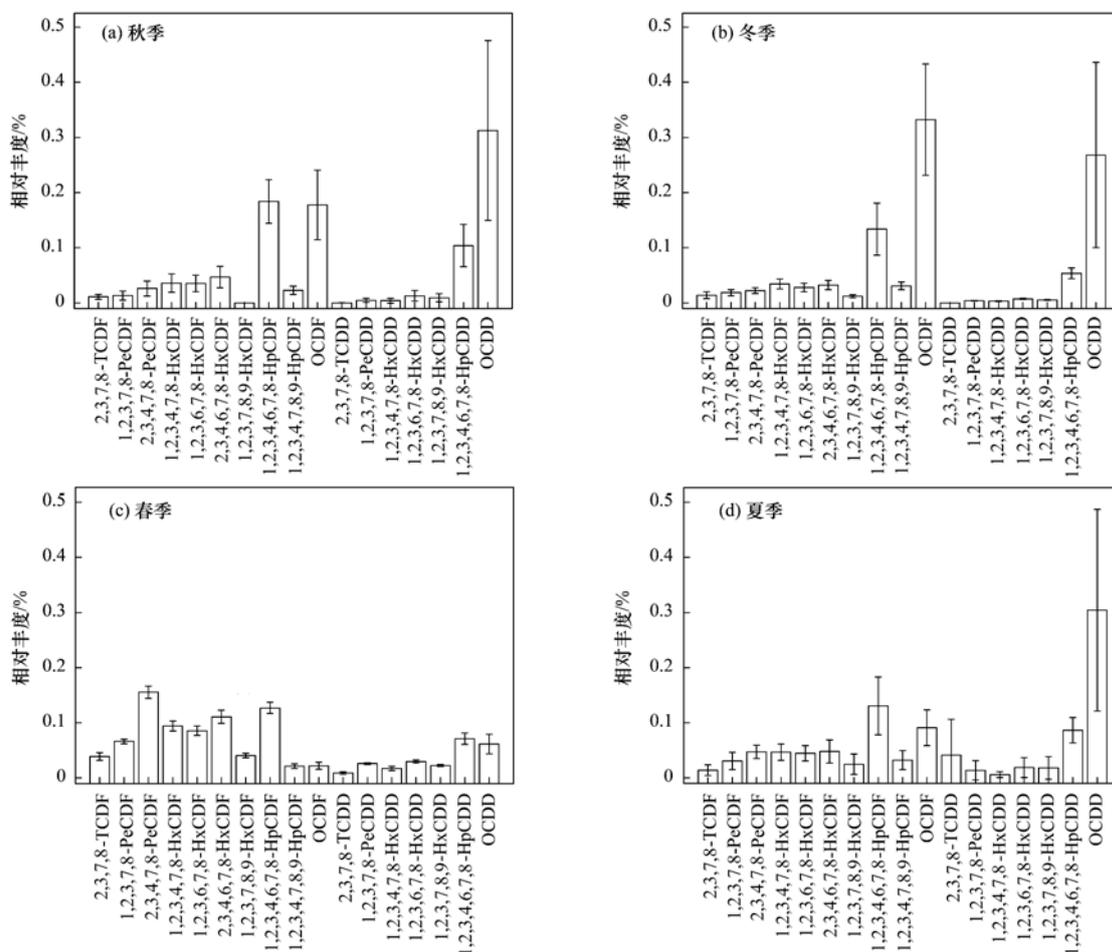


图3 工业区大气中2,3,7,8-PCDD/Fs单体分布特征

Fig. 3 Abundance of PCDD/Fs congeners in atmosphere of the industry area

由于大气中高氯代 PCDD/Fs 单体主要集中在颗粒相中,所以,秋冬两季高氯代 PCDD/Fs 单体质量分数偏高可能与该季节比较干燥,空气中颗粒物含量增多有关<sup>[25]</sup>;而春季以 2,3,4,7,8-PeCDF 和 1,2,3,7,8-PeCDD 为主的二噁英单体分布特征是典型的燃煤或木头燃烧排放源的特征,说明该工业区可能存在排放二噁英的燃烧源<sup>[26]</sup>。

### 3 结论

(1)该工业区 PCDD/Fs 浓度季节性变化明显,最高的季节为春季,最低的季节为夏季,其次为秋季和冬季;二噁英毒性当量浓度的季节性变化略有不同,其中春季毒性当量浓度最大,是其它季节的 5 ~

9 倍。其各季节平均毒性当量浓度变化高低顺序为春季( $5.58 \text{ pg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) > 夏季( $1.06 \text{ pg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) > 秋季( $0.839 \text{ pg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) > 冬季( $0.525 \text{ pg} \cdot \text{m}^{-3}$ )。该工业区大气中 PCDD/Fs 浓度季节性变化是本地废气排放,季节性风向变化与降雨量变化综合作用的结果。

(2)不同季节大气中 PCDD/Fs 单体特征不同。秋冬季节高氯代 PCDD/Fs 百分比偏高,春季 2,3,4,7,8-PeCDF 和 1,2,3,7,8-PeCDD 的百分比偏高,而夏季高氯代 PCDD/Fs 百分比偏低。这些特征佐证了各季节气候特点与本地废气排放对大气中 PCDD/Fs 浓度的影响。

### 参考文献:

[1] Wania F, Mackay D. Peer reviewed; Tracking the distribution of

- persistent organic pollutants [J]. *Environment Science & Technology*, 1996, **30**(9): 390A-396A.
- [ 2 ] Wen S, Gong Y, Li J, *et al.* Particle-bound PCDD/Fs in the atmosphere of an electronic waste dismantling area in China [J]. *Biomedical and Environmental Sciences*, 2011, **24**(2): 102-111.
- [ 3 ] Song Y, Wu N X, Han J L, *et al.* Levels of PCDD/Fs and DL-PCBs in selected foods and estimated dietary intake for the local residents of Luqiao and Yuhang in Zhejiang, China [J]. *Chemosphere*, 2011, **85**(3): 329-334.
- [ 4 ] Carroll W F Jr, Berger T C, Borrelli F E, *et al.* Characterization of emissions of dioxins and furans from ethylene dichloride, vinyl chloride monomer and Polyvinyl chloride facilities in the United States. Consolidated Part [J]. *Chemosphere*, 2001, **43**(4-7): 689-700.
- [ 5 ] Cleverly D, Winters D, Ferrario J, *et al.* Atmospheric measurements of CDDs, CDFs and coplanar PCBs in rural and remote locations of the united states for the years 1998-2001 from the national dioxin air monitoring network (NDAMN) [J]. *Organohalogen Compounds*, 2004, **66**: 2193-2198.
- [ 6 ] Katsoyiannis A, Gioia R, Sweetman A J, *et al.* Continuous monitoring of PCDD/Fs in the UK atmosphere: 1991-2008 [J]. *Environment Science & Technology*, 2010, **44**(15): 5735-5740.
- [ 7 ] 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.
- [ 8 ] Li Y M, Jiang G B, Wang Y W, *et al.* Concentrations, profiles and gas-particle partitioning of polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins and dibenzofurans in the ambient air of Beijing, China [J]. *Atmospheric Environment*, 2008, **42**(9): 2037-2047.
- [ 9 ] 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.
- [ 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 ] Hippelein M, Kaupp H, Dörr G, *et al.* Baseline contamination assessment for a new resource recovery facility in Germany part II: atmospheric concentrations of PCDD/F [J]. *Chemosphere*, 1996, **32**(8): 1605-1616.
- [ 12 ] Wallenhorst T, Krau R P, Hagenmaier H. PCDD/F in ambient air and deposition in baden-württemberg, germany [J]. *Chemosphere*, 1997, **34**(5-7): 1369-1378.
- [ 13 ] 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.
- [ 14 ] Jones K C, Duarte-Davidson R. Transfers of airborne PCDD/Fs to bulk deposition collectors and herbage [J]. *Environment Science & Technology*, 1997, **31**(10): 2937-2943.
- [ 15 ] 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.
- [ 16 ] Menichini E, Iacovella N, Monfredini F, *et al.* Atmospheric pollution by PAHs, PCDD/Fs and PCBs simultaneously collected at a regional background site in central Italy and at an urban site in Rome [J]. *Chemosphere*, 2007, **69**(3): 422-434.
- [ 17 ] 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*, 2012, **24**(11): 1966-1971.
- [ 18 ] 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.
- [ 19 ] Ren Z Y, Zhang B, Lu P, *et al.* Characteristics of air pollution by polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins and dibenzofurans in the typical industrial areas of Tangshan City, China [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2011, **23**(2): 228-235.
- [ 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 ] Abad E, Caixach J, Rivera J, *et al.* Temporal trends of PCDDs/PCDFs in ambient air in Catalonia (Spain) [J]. *Science of the Total Environment*, 2004, **334-335**: 279-285.
- [ 22 ] Lohmann R, Brunciak P A, Dachs J, *et al.* Processes controlling diurnal variations of PCDD/Fs in the New Jersey coastal atmosphere [J]. *Atmospheric Environment*, 2003, **37**(7): 959-969.
- [ 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 ] Man C K, Shih M Y. Identification of sources of PM<sub>10</sub> aerosols in Hong Kong by wind trajectory analysis [J]. *Journal of Aerosol Science*, 2001, **32**(10): 1213-1223.
- [ 25 ] 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.
- [ 26 ] Lohmann R, Lee R G M, Abbott J, *et al.* Verifying emission factors and national POPs emission inventories for the UK using measurements and modelling at two rural locations [J]. *Journal of Environmental Monitoring*, 2006, **8**(1): 79-88.

## CONTENTS

Form of the Particulate Matter Ambient Air Standards in China .....	WANG Shuai, DING Jun-nan, WANG Rui-bin, <i>et al.</i> ( 401 )
Seasonal Variation of Carcinogenic Heavy Metals in PM <sub>2.5</sub> and Source Analysis in Beijing .....	TAO Jun, ZHANG Ren-jian, DUAN Jing-chun, <i>et al.</i> ( 411 )
Temporal and Spatial Distribution of PM <sub>2.5</sub> and PM <sub>10</sub> Pollution Status and the Correlation of Particulate Matters and Meteorological Factors During Winter and Spring in Beijing .....	ZHAO Chen-xi, WANG Yun-qi, WANG Yu-jie, <i>et al.</i> ( 418 )
Inversion and Spatial-Temporal Distribution Analysis on PM <sub>5.0</sub> Inhalable Particulate in Beijing .....	WANG Yan-hui, XIAO Yao ( 428 )
Characterization of Ultrafine Particle Size Distribution in the Urban Atmosphere of Hangzhou in Spring .....	XIE Xiao-fang, SUN Zai, YANG Wen-jun ( 436 )
Size Distributions of Aerosol During the Spring Festival in Nanjing .....	WANG Hong-lei, ZHU Bin, SHEN Li-juan, <i>et al.</i> ( 442 )
Size Distributions of Organic Carbon and Elemental Carbon in Nanjing Aerosol Particles .....	WU Meng-long, GUO Zhao-bing, LIU Feng-ling, <i>et al.</i> ( 451 )
Characterization of Organic and Elemental Carbon in PM <sub>10</sub> in Xinzhou City .....	SHI Mei-xian, PENG Lin, LIU Xiao-feng, <i>et al.</i> ( 458 )
Seasonal Variation of Concentrations and Distribution Characteristics of PCDD/Fs in Atmosphere of an Industrial Area, Guangzhou .....	QING Xian, SU Yuan, SU Qing, <i>et al.</i> ( 464 )
Hazard Evaluation Modeling of Particulate Matters Emitted by Coal-Fired Boilers and Case Analysis .....	SHI Yan-ting, DU Qian, GAO Jian-min, <i>et al.</i> ( 470 )
Chemical Characteristics of Precipitation in South China Sea .....	XIAO Hong-wei, LONG Ai-min, XIE Lu-hua, <i>et al.</i> ( 475 )
Analysis of Acid Rain Characteristics of Lin'an Regional Background Station Using Long-term Observation Data .....	LI Zheng-quan, MA Hao, MAO Yu-ding, <i>et al.</i> ( 481 )
Characteristics of Atmospheric Nitrogen Wet Deposition in Beijing Urban Area .....	HE Cheng-wu, REN Yu-fen, WANG Xiao-ke, <i>et al.</i> ( 490 )
Studies of Ozone Formation Potentials for Benzene and Ethylbenzene Using a Smog Chamber and Model Simulation .....	JIA Long, XU Yong-fu ( 495 )
Characteristics of Fly Ash Particles Deposition in the Snowpack of Laohugou Glacier No. 12 in Western Qilian Mountains, China .....	DONG Zhi-wen, QIN Da-he, QIN Xiang, <i>et al.</i> ( 504 )
Odor Emission Rate of Municipal Solid Waste from Landfill Working Area .....	QIANG Ning, WANG Hong-yu, ZHAO Ai-hua, <i>et al.</i> ( 513 )
Gaseous Phenol Removal in a Bio-Trickling Filter .....	HE Jue-cong, HUANG Qian-ru, CHEN Zhou-yang, <i>et al.</i> ( 520 )
Particulate Distribution Characteristics of Chinese Phrase V Diesel Engine Based on Butanol-Diesel Blends .....	LOU Di-ming, XU Ning, FAN Wen-jia, <i>et al.</i> ( 526 )
Effects of Turning Frequency on Emission of Greenhouse Gas and Ammonia During Swine Manure Windrow Composting .....	ZHAO Chen-yang, LI Hong-mei, WEI Yuan-song, <i>et al.</i> ( 533 )
Oxidation of Mercury by CuBr <sub>2</sub> Decomposition Under Controlled-Release Membrane Catalysis Condition .....	HU Lin-gang, QU Zan, YAN Nai-qiang, <i>et al.</i> ( 541 )
Distributions and Influencing Factors of Total Dissolved Inorganic Antimony in the Coastal Area of Zhejiang and Fujian .....	ZHANG Xu-zhou, REN Jing-ling, LIU Zong-guang, <i>et al.</i> ( 547 )
Calculation of Allowable Pollution Loads for Lake and Reservoir Based on Bi-direction Algorithm and Its Case Study .....	JIA Hai-feng, GUO Yu ( 555 )
Risk Assessment of Quaternary Groundwater Contamination in Beijing Plain .....	GUO Gao-xuan, LI Yu, XU Liang, <i>et al.</i> ( 562 )
Mixing Behavior of Nutrients in Different Seasons at Liaohe Estuary .....	ZHANG Jin-hua, YU Li-xia, YAO Qing-zhen, <i>et al.</i> ( 569 )
Distribution of Nitrogen in the Sediment of Taige South River Estuary .....	MA Jiu-yuan, WANG Guo-xiang, LI Zhen-guo, <i>et al.</i> ( 577 )
Selection and Purification Potential Evaluation of Woody Plant in Vertical Flow Constructed Wetlands in the Subtropical Area .....	CHEN Yong-hua, WU Xiao-fu, HAO Jun, <i>et al.</i> ( 585 )
Correlation of Substrate Structure and Hydraulic Characteristics in Subsurface Flow Constructed Wetlands .....	BAI Shao-yuan, SONG Zhi-xin, DING Yan-li, <i>et al.</i> ( 592 )
Impacts of <i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms Stress on the Growth Characteristics, Microcystins and Nutrients Release of <i>Microcystis aeruginosa</i> .....	ZHOU Qing, HAN Shi-qun, YAN Shao-hua, <i>et al.</i> ( 597 )
Effects of Different Pre-oxidants on DBPs Formation Potential by Chlorination and Chloramination of Yangtze River Raw Water .....	TIAN Fu-xiang, XU Bin, RONG Rong, <i>et al.</i> ( 605 )
Adsorption of Phenanthrene from Aqueous Solution on Cetylpyridinium Bromide (CPB)-Modified Zeolite .....	LI Jia, LIN Jian-wei, ZHAN Yan-hui, <i>et al.</i> ( 611 )
Characteristics and Selectivity of Photocatalytic-Degradation of Tetracycline Hydrochloride .....	SONG Chen-yi, YIN Da-qiang ( 619 )
Characterization of Biocatalysed Sulfate Reduction in a Cathode of Microbial Electrolysis System .....	FU Shi-yu, LIU Guang-li, LUO Hai-ping, <i>et al.</i> ( 626 )
Characteristics of Dissolved Organic Matter in A/DAT-IAT System for Municipal Wastewater Treatment Based on Ecological Safety .....	YANG Sai, ZHOU Qi-xing, HUA Tao ( 633 )
Membrane Surface Fouling Properties in MBRs for High-Salinity Wastewater Treatment .....	LI Bin, WANG Zhi-wei, AN Ying, <i>et al.</i> ( 643 )
Treatment of Petrochemical Secondary Effluent by Ozone-biological Aerated Filter .....	LIU Ming-guo, WU Chang-yong, ZHOU Yue-xi, <i>et al.</i> ( 651 )
Treatment of Pectin Wastewater by Anaerobic Biological Process .....	CHEN Bing-bing, YANG Chun-ping, LI Xiang, <i>et al.</i> ( 657 )
Sorption Mechanism of Ofloxacin by Carbon Nanotubes .....	ZHAO Xing-xing, YU Shui-li, WANG Zhe ( 663 )
Biosorption Characteristics of Cu <sup>2+</sup> by Spent Substrate of Pleurotus Oyster .....	HU Xiao-jing, ZANG Ting-ting, GU Hai-dong, <i>et al.</i> ( 669 )
Adsorption Dynamics and Breakthrough Characteristics Based on the Fluidization Condition .....	WANG Jun, WANG Yao, HUANG Xing, <i>et al.</i> ( 678 )
Characteristics of Speciation and Evaluation of Ecological Risk of Heavy Metals in Sewage Sludge of Guangzhou .....	GUO Peng-ran, LEI Yong-qian, CAI Da-chuan, <i>et al.</i> ( 684 )
Spatial Distribution and Accumulation of Heavy Metal in Arable Land Soil of China .....	ZHANG Xiao-min, ZHANG Xiu-ying, ZHONG Tai-yang, <i>et al.</i> ( 692 )
Pollution Patterns and Health Risk Assessment for Polychlorinated Biphenyls in Soils from a Capacitor Storage Site .....	ZHOU Ling-li, WU Guang-long, XUE Nan-dong, <i>et al.</i> ( 704 )
Occurrence and Spatial Differentiation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surface Soils from Shenzhen, China .....	ZHANG Di, CAO Shan-ping, SUN Jian-lin, <i>et al.</i> ( 711 )
Risk Assessment and Countermeasures of Heavy Metals Pollution in Wanquan Segment of Yanghe River .....	TAN Bing, WANG Tie-yu, ZHU Zhao-yun, <i>et al.</i> ( 719 )
Effects of Group Matching Curing Agent on Exchangeable Pb, Cd, Zn Contents in the Potted Soils and their Accumulation in Rice Plants .....	ZENG Hui, ZHOU Hang, QIU Qiong-yao, <i>et al.</i> ( 727 )
Impact of Compound Chelants on Removal of Heavy Metals and Characteristics of Morphologic Change in Soil from Heavy Metals Contaminated Sites .....	YIN Xue, CHEN Jia-jun, LÜ Ce ( 733 )
Characterization of Manganese Oxidation by <i>Pseudomonas</i> sp. QJX-1 .....	ZHOU Na-na, BAI Yao-hui, LIANG Jin-song, <i>et al.</i> ( 740 )
Effects of the Ratio of NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N to NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N on the Removal of Sulfide and Nitrogen by Mixed Culture and Pure Culture .....	CHEN Zi-ai, CHEN Hui-juan, WEI Ben-ping, <i>et al.</i> ( 746 )
Carbon Metabolic Characteristics of Airborne Microbes in Hangzhou .....	GONG Chan-juan, XU Jing, FANG Zhi-guo, <i>et al.</i> ( 753 )
Study on the Backward Extraction of Cellulase in Rhamnolipid Reverse Micelles .....	ZHAO Yan-ge, YUAN Xing-zhong, HUANG Hua-jun, <i>et al.</i> ( 759 )
Inner- and Inter-Species Differences of Mercury Concentration in Common Fishes from the Yellow Sea .....	ZHU Ai-jia, XU Zhan-zhou, LIU Gui-ze, <i>et al.</i> ( 764 )
Study on the Effect of Enzymatic Activity and Acute Toxicity of Three PAEs on <i>Eisenia foetida</i> .....	WANG Yan, MA Ze-min, WU Shi-jin ( 770 )
Environmental Safety Assessment on the New Super Absorbent Polymers Applied into a Soil-Chinese Cabbage System .....	LI Xi, HE Ji-zheng, ZHENG Yuan-ming, <i>et al.</i> ( 780 )
Study on Dynamics of Hydrogen Sulfide and Carbonyl Sulfide Emission Fluxes from <i>Suaeda salsa</i> Marsh in the Yellow River Estuary .....	LI Xin-hua, GUO Hong-hai, YANG Li-ping, <i>et al.</i> ( 786 )
Key Microbial Processes in Nitrous Oxide Emissions of Agricultural Soil and Mitigation Strategies .....	ZHU Yong-guan, WANG Xiao-hui, YANG Xiao-ru, <i>et al.</i> ( 792 )

# 《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2月15日 35卷 第2期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 2 Feb. 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