

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第3期

Vol.34 No.3

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

BP网络框架下MODIS气溶胶光学厚度产品估算中国东部PM_{2.5} 郭建平, 吴业荣, 张小曳, 李小红 (817)

北京市近地层颗粒物浓度与气溶胶光学厚度相关性分析研究 林海峰, 辛金元, 张文煜, 王跃思, 刘子锐, 陈传雷 (826)

气象因素对长三角背景地区甲烷浓度的影响分析 浦静姣, 徐宏辉, 顾骏强, 马千里, 方双喜, 周凌晔 (835)

密闭化填埋作业条件下的场内恶臭污染分布情况与分析 路鹏, 吴世新, 戴志锋, 张晓辉, 苏昭辉, 周小飞, 代占国, 卢旭飞, 郑斌, 沈凯, 卫潘明 (842)

冬季中国东海海水中挥发性卤代烃的分布特征和海-气通量 何真, 陆小兰, 杨桂朋 (849)

2000~2010年大鹏湾颗粒有机物的年变化和年际变化 李绪录, 周毅频, 夏华永 (857)

渤海湾浮游植物与环境因子关系的多元分析 周然, 彭士涛, 覃雪波, 石洪华, 丁德文 (864)

青藏高原淡水湖泊水化学组成特征及其演化 王鹏, 尚英男, 沈立成, 伍坤宇, 肖琼 (874)

漳卫南运河流域非点源污染负荷估算及最佳管理措施优选 徐华山, 徐宗学, 刘品 (882)

面向对象的湖泊污染控制智能工程设计方法 邹锐, 周环, 刘永, 朱翔, 赵磊, 阳平坚, 郭怀成 (892)

九龙江口湿地植物凋落物对沉积物有机质赋存的贡献 罗专溪, 邱昭政, 王振红, 颜昌宙 (900)

修复达标土壤回填对地下水环境影响的层次化评估方法应用研究 钟茂生, 姜林, 姚珏君, 樊艳玲, 夏天翔, 李婷婷, 田美影 (907)

去除地下水中硝酸盐的渗透性反应墙研究 李秀利, 杨君君, 卢晓霞, 张姝, 侯珍 (914)

北京城区雨水管道沉积物污染负荷研究 李海燕, 徐波平, 徐尚玲, 崔爽 (919)

城市污水处理厂及其受纳水体中5种典型PPCPs的赋存特征和生态风险 温智皓, 段艳平, 孟祥周, 陈玲 (927)

城市景观娱乐水体微生物风险评价 孙傅, 沙婧, 张一帆, 刘彦华 (933)

模拟曝气生物滤池去除邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯试验研究 李伟, 赵晶, 余健, 任文辉 (943)

膜生物反应器处理工业废水中膜污染及膜过滤特性研究 范举红, 余素林, 张培帅, 兰亚琼, 刘锐, 陈吕军 (950)

γ -Al₂O₃负载磷钨酸催化强化电化学法处理水中酸性大红3R的研究 岳琳, 王开红, 郭建博, 杨景亮, 刘宝友, 廉静, 王涛 (955)

活性炭催化过硫酸钠降解金橙G动力学 杨梅梅, 周少奇, 刘琳, 郑可 (962)

ABR反应器处理碱减量印染废水的启动研究 杨波, 钟启俊, 李方, 田晴 (968)

O₃-BAF深度处理制革废水中沿程污染物降解规律 余彬, 刘锐, 程家迪, 范举红, 李昌湖, 冉坤, 曹国华, 陈吕军 (974)

规模化猪场养殖废水UASB-SFSBR-MAP处理工艺中试研究 王亮, 陈重军, 陈英旭, 吴伟祥 (979)

连续流态下以城市污水培养好氧颗粒污泥及颗粒特性研究 牛姝, 段百川, 张祚薰, 刘士峰, 张家铭, 王聪, 周丹丹 (986)

乙酸/丙酸作为EBPR碳源的动力学模型研究(I)——模型的建立 张超, 陈银广 (993)

乙酸/丙酸作为EBPR碳源的动力学模型研究(II)——动力学模拟 张超, 陈银广 (998)

乙酸/丙酸作为EBPR碳源的动力学模型研究(III)——模型的应用 张超, 陈银广 (1004)

三峡水库两条支流水-气界面CO₂、CH₄通量比较初探 李哲, 白镭, 郭劲松, 方芳, 蒋滔 (1008)

不同土地利用方式下土壤呼吸空间变异的影响因素 陈书涛, 刘巧辉, 胡正华, 刘艳, 任景全, 谢薇 (1017)

黄土区农田和草地生态系统土壤呼吸差异及其影响因素 周小刚, 张彦军, 南雅芳, 刘庆芳, 郭胜利 (1026)

层次化健康风险评估方法在苯污染场地的应用及效益评估 姜林, 钟茂生, 梁竞, 姚珏君, 夏天翔, 樊艳玲, 李敬东, 唐振强 (1034)

海州湾滩涂重金属污染的历史记录 张瑞, 张帆, 刘付程, 尹福军, 丁迎军, 高金荣, 陈晶, 邵威 (1044)

草海典型高原湿地表层沉积物重金属的积累、分布与污染评价 张清海, 林昌虎, 谭红, 林绍霞, 杨鸿波 (1055)

大金山岛土壤重金属污染评价及相关性分析 程芳, 程金平, 桑恒春, 于金莲, 席磊, 皮帅帅 (1062)

典型有色金属矿山城市小河流沉积物重金属形态分布及风险评估 李如忠, 姜艳敏, 潘成荣, 陈婧, 徐晶晶 (1067)

典型有色金属矿业城市零星菜地蔬菜重金属污染及健康风险评估 李如忠, 潘成荣, 徐晶晶, 陈婧, 姜艳敏 (1076)

城市表层土壤磁化率与重金属含量分布的相关性研究 陈秀端, 卢新卫, 杨光 (1086)

典型热带林地土壤团聚体颗粒中重金属的分布特征及其环境意义 龚仓, 徐殿斗, 成杭新, 任雅阁, 刘志明, 刘应汉, 刘飞, 聂海峰, 郑祥, 马玲玲 (1094)

生态沟渠底泥属性与磷吸附特性研究 张树楠, 贾兆月, 肖润林, 杨凤飞, 余红兵, 刘锋, 吴金水 (1101)

三峡库区澎溪河底泥及消落区土壤磷的形态及吸附特性研究 孙文彬, 杜斌, 赵秀兰, 何丙辉 (1107)

Triton X-100在黄土上的吸附行为及影响因素 钟金魁, 赵保卫, 朱琨, 钱小龙, 张杰西 (1114)

新疆哈密地区有机氯农药大气、土壤残留特征、气-土交换及潜在生态风险 马子龙, 毛潇萱, 丁中原, 高宏, 黄韬, 田慧, 郭强 (1120)

青海省西宁市与天峻县大气中得克隆与十溴联苯醚的水平与来源 何畅, 金军, 马召辉, 王英, 扎西卓玛, 马丽花 (1129)

太湖沉积物中多溴联苯醚和类二噁英多氯联苯的水平垂直分布 马召辉, 金军, 元奎奎, 王英, 姜霞, 何松浩, 李明圆 (1136)

典型电器工业区河涌沉积物中有机污染物特征分析 刘近, 邓代永, 许玫英, 孙国萍 (1142)

柴油轿车颗粒多环芳烃的排放特性 谭丕强, 周舟, 胡志远, 楼狄明 (1150)

机械炼焦过程生成飞灰中多环芳烃分布特征研究 牟玲, 彭林, 刘效峰, 白慧玲, 张建强 (1156)

污泥干化床与芦苇床稳定化污泥中多环芳烃的含量比较 崔玉波, 孙红杰, 冉春秋, 李金凤, 谢瑶 (1161)

固体添加剂对污泥焚烧过程中重金属迁移行为的影响 刘敬勇, 孙水裕, 陈涛 (1166)

铸造废砂的环境毒性研究 张海凤, 王玉珏, 王劲磷, 黄天佑, 熊鹰 (1174)

Cr⁶⁺生物可利用度检测的微生物全细胞传感器CB10的构建及其响应特征 侯启会, 马安周, 庄绪亮, 庄国强 (1181)

反硝化脱硫工艺中微生物群落结构及动态分析 于皓, 王爱杰, 陈川 (1190)

农业废物好氧堆肥中环境因子对*nirK*、*nirS*和*nosZ*数量的影响 胡春晓, 陈耀宁, 张嘉超, 唐聪, 曾光明 (1196)

蚯蚓体内过氧化物还原蛋白PRDX基因对土壤PAHs污染胁迫的转录响应 林康丽, 郑森林, 宋玉芳, 邱晓燕, 薛文玲 (1204)

有序介孔碳载金/L-赖氨酸/纳米金修饰电极的制备及其对邻苯二酚、对苯二酚的检测响应研究 周耀渝, 汤琳, 李贞, 刘媛媛, 杨贵德, 伍梦诗, 雷晓霞, 曾光明 (1211)

新建核电站风险信息沟通实证研究 贺桂珍, 吕永龙 (1218)

《环境科学》征订启事(942) 《环境科学》征稿简则(992) 信息(932, 949, 1061, 1210) 专辑征稿通知(1173)

青海省西宁市与天峻县大气中得克隆与十溴联苯醚的水平与来源

何畅, 金军*, 马召辉, 王英, 扎西卓玛, 马丽花

(中央民族大学生命与环境科学学院, 北京 100081)

摘要: 十溴联苯醚(BDE-209)与得克隆(DP)是两种常见的添加型卤代阻燃剂, 被广泛应用于各种电子产品中. 由于其普遍存在于多种环境介质中, 现已成为一种广泛存在的污染物, 可能会对人体及生态系统产生潜在的危害. 本研究测定了青海省西宁市与海西蒙古族藏族自治州天峻县夏、冬两季大气中BDE-209与DP的水平. 结果表明, 青海省西宁市夏、冬两季大气中BDE-209的平均水平分别为 $370 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ 、 $470 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$, 天峻县为 $220 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ 、 $390 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$, 与其他城市和地区相比, 属于水平较高的地区. 而西宁市大气中DP的平均水平为 $0.85 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ 、 $0.25 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$, 天峻县为 $0.24 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ 、 $0.16 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$, 西宁市水平高于天峻县, 夏季水平高于冬季, 与其他地区相比, 青海省DP整体水平较低. 西宁市与天峻县DP的同分异构体中, *anti*-DP所占比例分别是 0.66 ± 0.04 与 0.68 ± 0.06 , 在时间与时空上的变化均不明显. 青海省BDE-209与DP呈现弱的负相关性, 说明两种污染物在青海省可能没有相同的本地源.

关键词: 卤代阻燃剂; 十溴联苯醚; 得克隆; 青海; 大气水平

中图分类号: X51 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)03-1129-07

Levels and Sources of Decabromodiphenyl Ether and Dechlorane Plus in Xining and Tianjun, Qinghai Province, China

HE Chang, JIN Jun, MA Zhao-hui, WANG Ying, ZHAXI Zhuo-ma, MA Li-hua

(College of Life and Environmental Sciences, Minzu University of China, Beijing 100081, China)

Abstract: Decabromodiphenyl ether (BDE-209) and dechlorane plus (DP), two common additive flame retardants, are widely used in electronic products. Since they are widely spread in both abiotic and biotic environmental samples, they have attracted worldwide attention. This study reported the measurement of the levels of BDE-209 and DP in the atmosphere of Xining City and Tianjun County in Qinghai Province. Compared with other areas, the average levels of BDE-209 in Xining City were higher, $370 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ in summer and $470 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ in winter, and that in Tianjun County were $220 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ and $390 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$, respectively. Meanwhile, the average level of DP was at a low level both in Xining ($0.85 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ and $0.25 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ in summer and winter) and Tianjun ($0.24 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ and $0.16 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ in summer and winter), which showed that the level of DP in Xining was higher than that in Tianjun and the level of DP in summer was higher than that in winter. The *anti*-DP fractional abundances (f_{anti}) in Xining City and Tianjun County were 0.66 ± 0.04 and 0.68 ± 0.06 , respectively. Neither seasonal variation nor spatial variation of f_{anti} was found at the sampling sites. A weak inverse correlation was found between the level of BDE-209 and DP in Qinghai, suggesting that the local sources of the two pollutants may be different.

Key words: halogenated flame retardant; decabromodiphenyl ether (BDE-209); dechlorane plus (DP); Qinghai Province; atmospheric level

阻燃剂是一类能够阻止聚合物材料引燃或者抑制火焰传播的添加剂, 卤代阻燃剂是一类最常用的阻燃剂, 具有添加量少、阻燃效果显著的特点. 阻燃剂的添加能够降低材料的可燃性, 从而降低火灾的威胁. 然而, 一些阻燃剂对人体与生态环境的威胁已逐渐被发现, 如多溴联苯醚(PBDE)、六溴环十二烷(HBCD)、四溴双酚A(TBBP-A)等具有持久性有机物污染(POPs)特征的溴代阻燃剂对人体和生态环境具有较大的影响. 虽然人们已经意识到卤代阻燃剂的毒性作用与潜在威胁, 但由于其良好的阻燃性能, 目前只有少数的国家明文禁止或限制卤代

阻燃剂的使用. 在找到合适的替代品之前, 卤代阻燃剂仍会在全世界范围内大量使用.

十溴联苯醚(BDE-209)是市场上多溴联苯醚类溴代阻燃剂中使用量最大的一种, 占全球PBDEs总产量的75%, 广泛用于橡胶、纺织、电子、塑料等产品^[1]. BDE-209已在空气^[2]、水体^[3]、沉积

收稿日期: 2012-06-02; 修订日期: 2012-09-07

基金项目: 中央民族大学(985)项目(MUC985-9); 中央民族大学自主科研计划项目(0910KYQN50)

作者简介: 何畅(1989~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为持久性有机污染物, E-mail: hechang010101@163.com

* 通讯联系人, E-mail: junjin3799@yahoo.com.cn

物^[4]、土壤^[5]、生物^[6]等环境介质中检出。欧盟已经将 BDE-209 列为禁止生产的产品^[7]。得克隆(双(六氯环戊二烯)环辛烷, dechlorane plus, DP)是美国 OxyChem 化学公司在 20 世纪 60 年代为了替代灭蚁灵而发明并生产^[8]。DP 包括顺式(*syn*-DP)与反式(*anti*-DP)两种同分异构体。由于 DP 具有阻燃特性,目前被广泛使用在电线、电缆、尼龙、电子元件、电视以及计算机外壳等高分子材料中。由于 BDE-209 已被加入《关于 POPs 的斯德哥尔摩公约》的审核名单^[9],寻找 BDE-209 的替代品成为一个全球性的热点问题。有报道称 DP 可能是 BDE-209 的替代品^[10]。在近 50 年中,OxyChem 化学公司 DP 的产量保持在每年 450 t^[11],中国江苏淮安安邦电化公司从 2003 年起生产 DP,每年的产量在 300~3 000 t。由于较高的年产量,DP 已被美国环境保护署列为高产量物质。然而,直到 2006 年 Hoh 等^[8]才最先在美国五大湖地区的大气和底泥中发现 DP。此后,大气^[12]、底泥^[14,15]、水体^[13,16]、水生生物^[17~19]、树皮^[20,21]、人体^[22,23]等多种环境介质中均发现了 DP,说明 DP 已经成为一种全球性污染物。

我国有关的 BDE-209 和 DP 环境研究主要集中在

沿海发达地区^[12],而有关青藏高原地区 BDE-209 和 DP 的研究却非常有限。同时,该地区 DP 的来源是否与 BDE-209 相似,也不得而知。青藏高原是世界上面积最大、海拔最高的高原,具有地广人稀、工业化水平低,本地污染源少的特点。因此大气长距离输送是青藏高原地区各种半挥发性有机污染物的主要来源。本研究旨在分析位于青藏高原东北部的青海省西宁市与天峻县夏、冬两季大气中 DP 与 BDE-209 的水平,在此基础上分析两地的季节差异,探讨两种物质的可能来源,对于进一步了解它们的大气环境行为具有一定的意义。

1 材料与方 法

1.1 样品采集

本研究采样地点设在青海省西宁市(36.599 8°N, 101.794 5°E)和青海省海西蒙古族藏族自治州天峻县(37.466 7°N, 99.052 4°E),位置如图 1 所示。青海省海西蒙古族藏族自治州天峻县全年无绝对无霜期,畜牧业是全县的主导产业,全县总面积 2.57 万 km²,2003 年末总人口 1.8 万人,全县地广人稀。

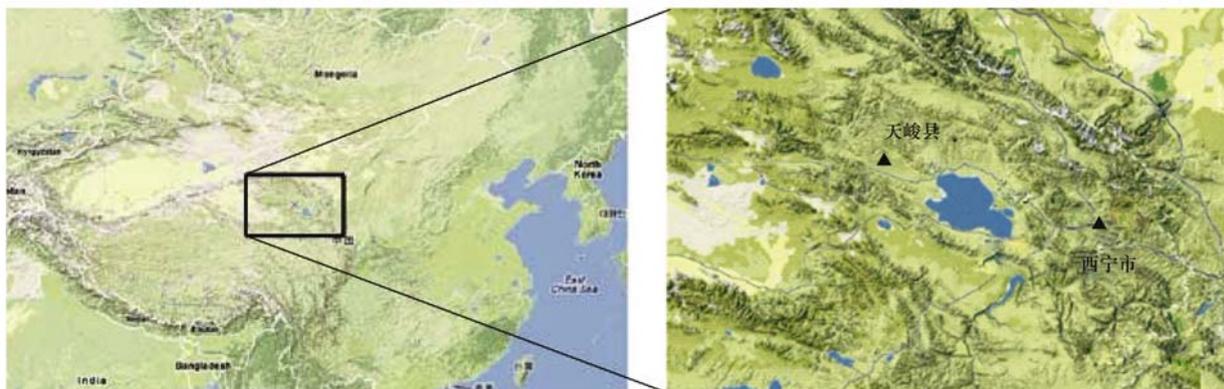


图 1 大气采样点的地理分布示意

Fig. 1 Distribution of sampling sites

1.2 采样时间

于 2011 年夏季(8 月 5~7 日,9~13 日)和 2012 年冬季(1 月 12~19 日)分别在西宁市和天峻县用 KB-6E 型大气采样器(青岛金仕达电子科技有限公司)采集大气总悬浮颗粒物样品 8 个,连续采

样 24 h,采样流速为 100 L·min⁻¹,采样的气象条件如表 1 所示。

1.3 实验材料

主要仪器包括 Agilent 6890N-5975 气质联用仪(Agilent, USA);旋转蒸发仪(上海亚荣生化仪器

表 1 大气采样信息

Table 1 Information of air sample collection

采样点	海拔 /m	平均气温/°C		平均气压/hPa		平均风速/m·s ⁻¹		平均湿度/%		标况下采样体积 /m ³
		冬季	夏季	冬季	夏季	冬季	夏季	冬季	夏季	
西宁市	2 298	-9	20	766	769	0.8	1.4	72	85	144
天峻县	3 420	-15	13	663	675	2.1	1.6	60	80	144

厂); BF2000 氮气吹干仪(北京八方世纪科技有限公司); 精密电子天平(日本岛津公司). 丙酮(美国 MREDA 公司)、二氯甲烷(美国 MREDA 公司)、正己烷(J. T. Baker 公司)均为农残级. 标准物质: ^{12}C -BDE-209、 $^{13}\text{C}_{12}$ -BDE-209、 $^{13}\text{C}_{10}$ -*syn*-DP, 均购自 Cambridge Isotope Laboratories; ^{12}C -*syn*-DP、 ^{12}C -*anti*-DP 购自 Wellington Laboratories.

1.4 样品前处理

在样品中加入 25 ng $^{13}\text{C}_{12}$ -BDE-209 和 4 ng $^{13}\text{C}_{10}$ -*syn*-DP 内标物后, 在索氏提取器中用 200 mL 正己烷-二氯甲烷混合液(1:1, 体积比)加热回流 24 h. 将提取液旋转蒸发浓缩至 4 mL. 浓缩后的样品平均分为两份, 一份用酸碱硅胶复合柱分离纯化, 用于测定 BDE-209, 另一份用硅胶氧化铝柱分离纯化, 测定 DP. 然后再次旋转蒸发至 1~2 mL, 转移至进样瓶, 高纯氮气吹至 100 μL , GC-MS 测定.

1.5 仪器条件

BDE-209: 色谱柱采用 DB-5MS 柱(15 m \times 0.25 mm i. d., 膜厚 0.1 μm ; J&W Scientific). 初始温度为 100 $^{\circ}\text{C}$, 保持 3 min, 然后以 4 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 的速率升至 300 $^{\circ}\text{C}$, 保持 22 min. 进样口, 离子源、四极杆的温度分别为 290 $^{\circ}\text{C}$, 150 $^{\circ}\text{C}$, 150 $^{\circ}\text{C}$. 载气流速为 1.0 mL $\cdot\text{min}^{-1}$, 采用不分流模式进样 1 μL . 用负化学电离源(NCI), 选择离子模式(SIM)进行定量分析. 监测离子选择 m/z 为 407、486, 内标物检测离子 m/z 为 486、494.

DP: 色谱柱采用 DB-5MS 柱(30 m \times 0.25 mm i. d., 膜厚 0.1 μm ; J&W Scientific). 初始温度为 100 $^{\circ}\text{C}$, 保持 5 min, 10 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 升至 300 $^{\circ}\text{C}$, 保持 5 min. 进样口温度为 250 $^{\circ}\text{C}$, 其他条件与 BDE-209 相同. 用 m/z 为 652, 654 监测 *syn*-DP 与 *anti*-DP, m/z 为 666, 668 监测 $^{13}\text{C}_{10}$ -*syn*-DP.

1.6 质量控制

syn-DP、BDE-209 均用同位素稀释法定量与 5 点校正曲线, *anti*-DP 用内标法定量和 5 点校正曲线. 3 种物质的校准曲线的相关系数 r 均大于 0.999 5. *syn*-DP 与 *anti*-DP 的仪器检出限为 0.1 pg, 方法检出限为 0.05 pg $\cdot\text{m}^{-3}$, BDE-209 的仪器检出限与方法检出限分别为 2.00 pg 和 1.00 pg $\cdot\text{m}^{-3}$.

实验前, 以基质(石英膜)加标, 验证方法回收率. $^{13}\text{C}_{10}$ -*syn*-DP 的回收率为 94% \pm 5% ($n=3$), $^{13}\text{C}_{12}$ -BDE-209 的回收率为 95% \pm 3% ($n=3$), 每批样品做一个空白对照, 空白样品结果满足质量保证的要求.

1.7 后向气流轨迹

对两个采样点分别 HYSPLIT 模型研究大气气流的来源. 该模式通常用来跟踪气流所携带的离子或气体移动方向, 可以实时预报风场形式, 研究轨迹. 每条后向轨迹的运行时间为 72 h, 气象场资料为 NOAA 的 GDAS 资料. 开始时间设为每天 08:00、14:00、20:00 及第二天凌晨 02:00, 并对采样点夏、冬两季 8 d 的后向轨迹进行聚类分析, 得到地面上空 500 m 处的后向轨迹.

2 结果与讨论

2.1 青海省西宁市和天峻县大气中 BDE-209 的水平

青海西宁市与天峻县大气样品中均检出了 BDE-209. 西宁市夏、冬两季大气中 BDE-209 水平(均值 \pm 标准偏差, 下同)分别为 (370 \pm 220) pg $\cdot\text{m}^{-3}$ 、(470 \pm 110) pg $\cdot\text{m}^{-3}$, 天峻县为 (220 \pm 95) pg $\cdot\text{m}^{-3}$ 、(390 \pm 120) pg $\cdot\text{m}^{-3}$. 青海省西宁市和天峻县大气中 BDE-209 的水平见图 2. Hoh 等^[24]测定了美国 Chicago 地区大气中 PBDEs 的浓度, BDE-209 含量为 1.5~878 pg $\cdot\text{m}^{-3}$, 均值为 60.1 pg $\cdot\text{m}^{-3}$, 占 \sum PBDEs 总量的 60% 以上. 日本 Kyoto 地区 BDE-209 的含量为 n. d. ~48 pg $\cdot\text{m}^{-3}$ ^[25], 广州城区 BDE-209 含量为 99.9~443.7 pg $\cdot\text{m}^{-3}$, 均值为 263.8 pg $\cdot\text{m}^{-3}$ ^[26]. 青海省大气中 BDE-209 的含量与上述人口稠密、经济发达的城市水平相当, 尤其是人口密度极低、人类活动影响程度较低的天峻县大气中 BDE-209 的水平仍处于较高水平.

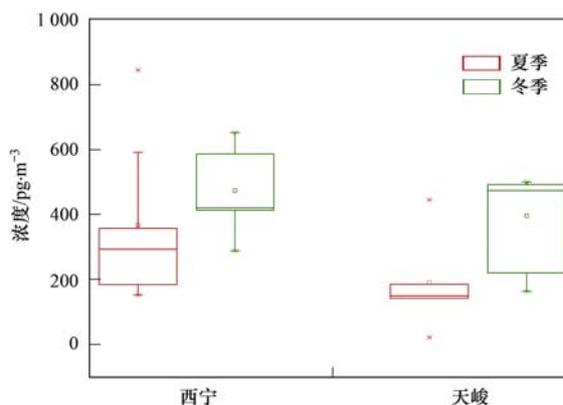


图 2 青海省西宁市与天峻县大气中 BDE-209 浓度

Fig. 2 Level of BDE-209 in the atmosphere of Xining and Tianjun

2.2 青海省西宁市和天峻县大气中 DP 的水平

西宁市大气中夏、冬两季 DP 水平分别是 (0.85 \pm 0.45) pg $\cdot\text{m}^{-3}$ 、(0.25 \pm 0.17) pg $\cdot\text{m}^{-3}$, 而天峻县分别为 (0.24 \pm 0.11) pg $\cdot\text{m}^{-3}$ 、(0.16 \pm 0.05)

$\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$. *anti*-DP 在所有大气样品中均有检出, *syn*-DP 的检出率为 69%. 西宁市大气中 DP 浓度范围为 $0.05 \sim 1.47 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$, 中位数为 $0.41 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$. 天峻县则为 $0.10 \sim 0.46 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$, 中位数为 $0.15 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$. 青海省西宁市和天峻县大气中 DP 的水平见图 3.

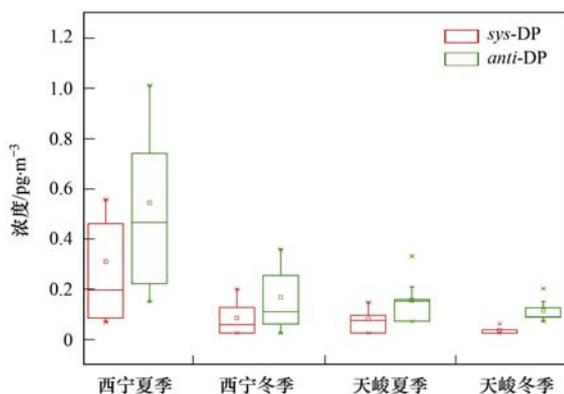


图3 青海省西宁市与天峻县大气中 DP 的浓度

Fig. 3 Level of DP in the atmosphere of Xining and Tianjun

由于 DP 具有较高的 K_{oa} 值 ($\lg K_{oa} = 14$), 因此大气中的 DP 绝大部分分布在颗粒态中^[27]. Hoh^[8] 和 Chen^[30] 等分别测得颗粒态中的 DP 含量占大气中 DP 总含量的 99% 和 98%, 因此可以用颗粒态中

DP 的含量来近似表示大气中 DP 的水平. 表 2 中列出了国内外城市和地区大气中 DP 的水平, 通过对比可以发现, 青海省大气中 DP 与表 2 中所列国内外其他城市的水平相比处于较低水平. 从 DP 总浓度来看, 西宁市大气中水平明显高于天峻县, 这与 Ren 等^[27] 得出的结论类似, 城市及工业化水平高的地区大气中 DP 含量明显高于农村等人口密度小, 城市化水平低的地区. 由于远离典型污染源, 且当地的工业活动并不剧烈, 导致了青海大气中 DP 水平低于大部分已报道的城市.

f_{anti} 值表示 *anti*-DP 含量与总 DP 含量的比值, 常被用来表示 DP 中异构体的组成. 对于不同 DP 的商业产品 f_{anti} 值的报道有所差异. 不同学者对 OxyChem 化学公司的产品的 f_{anti} 值分析结果分别为 $0.75 \sim 0.80$ ^[8]、 0.65 ^[15]、 0.64 ^[28]; 对中国安邦电化公司产品的分析结果为 0.60 ± 0.01 ^[33]. 西宁市夏、冬两季的 f_{anti} 平均值分别为 0.66 ± 0.06 、 0.66 ± 0.01 , 而天峻县分别为 0.64 ± 0.05 、 0.69 ± 0.04 , 均接近中国产商业 DP 的 f_{anti} 值, 而且无论是季节差异还是空间差异均不明显. 这也说明在远离 DP 生产源以及电子垃圾拆卸地的地区, 大气对 DP 的立体选择性不会随时间、空间以及温度的变化而变化.

表 2 不同地区大气中 DP 水平¹⁾

Table 2 Concentration of DP in the atmosphere in different areas

采样点	采样时间 (年)	DP 浓度 $/\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$	样本类型	文献
Sturgeon point, NY, USA (生产源区)		34 ± 24		
Cleveland, OH, USA (生产源区)		23 ± 9.8		
Chicago, IL, USA	2004	3.19 ± 0.88	颗粒态	[8]
Point Petre, ON, USA		3.40 ± 0.07		
Sleeping Bear Dunes, MI, USA		0.30 ± 0.07		
Eagle Harbor, MI, USA		0.15 ± 0.05		
Sturgeon point, NY, USA (生产源区)		20 ± 6		
Cleveland, OH, USA		7.2 ± 1.2		
Chicago, IL, USA	2005 ~ 2006	2.4 ± 0.3	气态 + 颗粒态	[29]
Sleeping Bear Dunes, MI, USA		0.8 ± 0.3		
Eagle Harbor, MI, USA		0.8 ± 0.6		
Urban areas, China	2005	15.6 ± 15.1	气态 + 颗粒态	[11]
rural areas, China		3.5 ± 5.6		
Urban area of China	2008 ~ 2009	$0.47 \sim 35.7 (5.65)$	气态 + 颗粒态	[30]
Qingyuan China (电子垃圾拆卸地)		$13.1 \sim 1794 (363)$		
Harbin, China	2008	0.35 ± 0.21	颗粒态	[16]
East Greenland Sea and Atlantic Ocean	2009	$0.05 \sim 4.2$	气态 + 颗粒态	[31]
rural areas Spain	2009	0.81 ± 0.72	气态 + 颗粒态	[32]
urban areas, Spain		11.3 ± 10.2		
Anpon, Huai'an, China (生产源区)	2009	$7737 \sim 26734$	气态 + 颗粒态	[33]
青海西宁	2011	0.55 ± 0.46	颗粒态	本研究
青海天峻		0.19 ± 0.10		

1) 括号内为均值

2.3 青海大气中 BDE-209、DP 与 TSP 的相关性

西宁市夏、冬两季大气中 TSP 水平分别为 $(0.260 \pm 0.065) \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 、 $(0.262 \pm 0.143) \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$, 天峻县为 $(0.121 \pm 0.044) \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 、 $(0.107 \pm 0.027) \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. 相同采样点的季节差异不明显, 但采样点之间的差异较大. 由于 *sys*-DP 的检出率仅为 69%, 所以仅研究了 *anti*-DP 与 BDE-209 与 TSP 浓度之间的相关性. 研究发现, *anti*-DP 与 TSP 浓度之间存在较强的相关性, Pearson 相关系数 $r = 0.549$ ($P = 0.01$). 而 BDE-209 与 TSP 之间没有显著相关性 ($P > 0.05$).

2.4 青海大气中 BDE-209 与 DP 的季节变化

西宁市夏、冬两季大气中 BDE-209 的水平如图

2 所示. 两地大气中 BDE-209 水平均出现季节性的变化, 冬季大气中 BDE-209 的水平高于夏季. 这与 Li 等^[34]对广州与香港 BDE-209 季节性变化的研究结果相一致. 大气后向轨迹(如图 4)显示, 青海省夏季气流主要来源于其东南方向人口稠密地区, 而冬季大气气流主要来自其西南方向的印度洋. 夏、冬两季不同方向的气流可能是造成青海省西宁市和天峻县冬季大气中 BDE-209 的水平高于夏季的原因之一. Wang 等^[35]同样认为来自印度洋的季风, 会影响青藏高原地区 PBDEs 的水平. Zhang 等^[36]报道了印度较高的 BDE-209 水平. 因此, 青海省西宁市和天峻县冬季大气中 BDE-209 的较高水平, 不排除来自印度的影响.

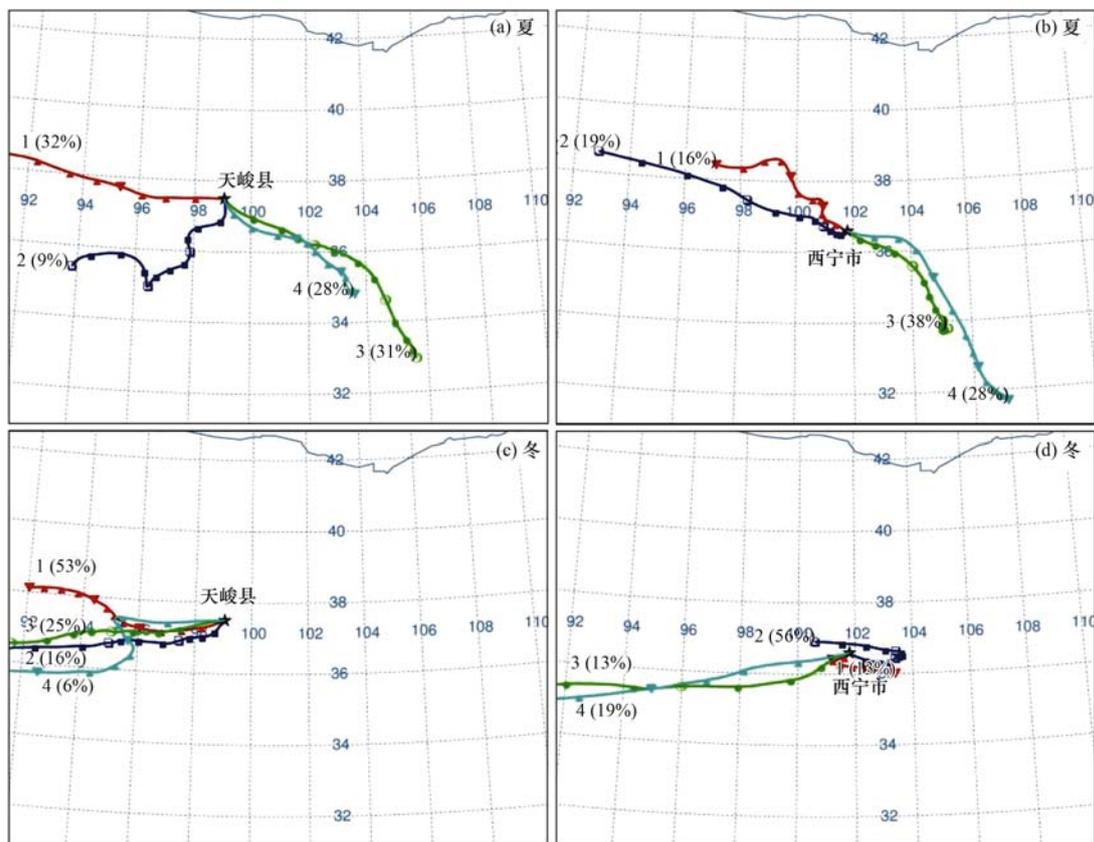


图 4 青海省西宁市和天峻县夏、冬两季采样期间后向气流轨迹

Fig. 4 Backward trajectories distribution in Xining and Tianjun during the sampling period

西宁市大气中夏、冬两季 DP 水平如图 3 所示. 大气中夏季 DP 的水平高于冬季, 呈现出季节的变化, 季节变化趋势与 BDE-209 不同. 此外, 大气中 DP 的水平与温度之间呈现显著性正相关 ($P < 0.01$). 天峻县夏季气流来源广, 大部分来源于东南部, 其中约 28% 的气流来源于西宁市附近, 西宁市大气中的 DP 可以通过这一部分的气流输送到天峻县, 造成天峻县夏季大气中 DP 水平的升高. 但是天

峻县冬季主要气流来源于西侧人口稀少的地区, 西宁市大气很难影响到天峻县, 这也是天峻县冬季大气中 DP 含量低的原因之一.

2.5 大气中 BDE-209 与 DP 的相关性

由于 BDE-209 与 DP 都具有阻燃性的特点, 均被广泛运用于各种电子产品中. 它们均能通过这些电子产品进入到环境介质, 特别是大气中, 因而它们可能具有相似的来源与途径. Yang 等^[37]测得大连

市大气中 \sum_{12} PBDE (含 BDE-209) 与 DP 浓度分别为 $(104 \pm 95) \text{ pg} \cdot \text{m}^{-3}$, $(3 \pm 6) \text{ pg} \cdot \text{m}^{-3}$, 而 BDE-209 与 DP 在分布上具有某些相似性, 秋季与冬季的水平较高, 而夏季水平低, 两种物质表现出强烈的正相关 ($P < 0.001$), 这就说明大连市大气中的 BDE-209 与 DP 有相同或相似的源. 而在本研究中, 西宁市和天峻县大气中 BDE-209 与 DP 的水平存在弱的负相关 ($r = -0.249$, $P = 0.187$), 说明青海大气中 BDE-209 与 DP 的来源不同. 与 Yang 的实验相比, 青海大气中 BDE-209 的水平明显高于大连, 而 DP 的水平仅为大连水平的 1/10. 这可能是由于全球蒸馏效应^[38]或本地源的叠加效果使青海大气中 BDE-209 浓度明显高于大连, 而 DP 的本地源较少, DP 可能主要源于大气的长距离输送, 因而浓度远低于大连. 这说明 BDE-209 与 DP 在青海可能不存在相同的来源.

3 结论

(1) 青海省西宁市与天峻县 BDE-209 在全球范围内处于较高水平, 而 DP 水平较低. 在夏、冬两季, BDE-209 与 DP 出现了不一样的季节变化趋势. 冬季大气中 BDE-209 的水平高于夏季, 认为来自印度洋的季风可能会影响青藏高原地区大气中 PBDEs 的水平.

(2) 青海省大气中 BDE-209 与 DP 呈现弱的相关性, 说明它们不具有相同的本地源. 大气中 DP 的 f_{anti} 值与商业产品的比值变化不大, 说明随大气迁移, 两种异构体在时间和空间上变化不显著.

参考文献:

- [1] Sjödin A, Jakobsson E, Kierkegaard A, *et al.* Gas chromatographic identification and quantification of polybrominated diphenyl ethers in a commercial product, Bromkal 70-5DE [J]. *Journal of Chromatography A*, 1998, **822**(1): 83-89.
- [2] Strandberg B, Dodder N G, Basu I, *et al.* Concentrations and spatial variations of polybrominated diphenyl ethers and other organohalogen compounds in Great Lakes air [J]. *Environmental Science and Technology*, 2001, **35**(6): 1078-1083.
- [3] Möller A, Xie Z Y, Sturm R, *et al.* Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) and alternative brominated flame retardants in air and seawater of the European Arctic [J]. *Environmental Pollution*, 2011, **159**(6): 1577-1583.
- [4] Song W L, Ford J C, Li A. Polybrominated diphenyl ethers in the sediments of the Great Lakes. 1. Lake Superior [J]. *Environmental Science and Technology*, 2004, **38**(12): 3286-3293.
- [5] Sun K, Zhao Y, Gao B, *et al.* Organochlorine pesticides and polybrominated diphenyl ethers in irrigated soils of Beijing, China: levels, inventory and fate [J]. *Chemosphere*, 2009, **77**(9): 1199-1205.
- [6] Liu Y P, Li J G, Zhao Y F, *et al.* Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) and indicator polychlorinated biphenyls (PCBs) in marine fish from four areas of China [J]. *Chemosphere*, 2011, **83**(2): 168-174.
- [7] De Wit C A, Herzke D, Vorkamp K. Brominated flame retardants in the Arctic environment-trends and new candidates [J]. *Science of the Total Environment*, 2010, **408**(15): 2885-2918.
- [8] Hoh E, Ling Y, Hites R A. Dechlorane Plus, a chlorinated flame retardant, in the Great Lakes [J]. *Environmental Science and Technology*, 2006, **40**(4): 1184-1189.
- [9] United Nations Environment Programme (UNEP). Stockholm Convention text and annexes as amended in 2009 [EB/OL]. <http://chm.pops.int/Convention/tabid/54/language/en-US/Default.aspx#convtext>
- [10] Sverko E, Tomy G T, Reiner E J, *et al.* Dechlorane Plus and related compounds in the environment: a review [J]. *Environmental Science and Technology*, 2011, **45**(12): 5088-5098.
- [11] Xian Q, Siddique S, Li T, *et al.* Sources and environmental behavior of dechlorane plus - a review [J]. *Environmental International*, 2011, **37**(7): 1273-1284.
- [12] Ma W L, Liu L Y, Qi H, *et al.* Dechlorane plus in multimedia in northeastern Chinese urban region [J]. *Environment International*, 2011, **37**(1): 66-70.
- [13] Qiu X H, Zhu T, Hu J X. Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) and other flame retardants in the atmosphere and water from Taihu Lake, East China [J]. *Chemosphere*, 2010, **80**(10): 1207-1212.
- [14] Qiu X H, Marvin C H, Hites R A. Dechlorane Plus and other flame retardants in a sediment core from Lake Ontario [J]. *Environmental Science and Technology*, 2007, **41**(17): 6014-6019.
- [15] Tomy G T, Pleskach K, Ismail N, *et al.* Isomers of Dechlorane Plus in Lake Winnipeg and Lake Ontario food webs [J]. *Environmental Science and Technology*, 2007, **41**(7): 2249-2254.
- [16] Ma W, Li Y, Qi H, *et al.* Particle-bound Dechlorane Plus in the atmosphere of Harbin, China [J]. *Organohalogen Compound*, 2009, **71**: 206-210.
- [17] Wu J P, Zhang Y, Luo X J, *et al.* Isomer-specific bioaccumulation and trophic transfer of Dechlorane Plus in the freshwater food web from a highly contaminated site, south China [J]. *Environmental Science and Technology*, 2010, **44**(2): 606-611.
- [18] Kang J H, Kim J C, Jin G Z, *et al.* Detection of Dechlorane Plus in fish from urban-industrial rivers [J]. *Chemosphere*, 2010, **79**(8): 850-854.

- [19] Guerra P, Fernie K, Jiménez B, *et al.* Dechlorane Plus and related compounds in peregrine falcon (*Falco peregrinus*) eggs from Canada and Spain [J]. *Environmental Science and Technology*, 2011, **45**(4): 1284-1290.
- [20] Qiu X H, Hites R A. Dechlorane Plus and other flame retardants in tree bark from the Northeastern United States [J]. *Environmental Science and Technology*, 2008, **42**(1): 31-36.
- [21] Salamova A, Hites R A. Evaluation of tree bark as a passive atmospheric sampler for flame retardants, PCBs, and organochlorine pesticides [J]. *Environmental Science and Technology*, 2010, **44**(16): 6196-6201.
- [22] Ren G F, Yu Z Q, Ma S T, *et al.* Determination of Dechlorane Plus in serum from electronics dismantling workers in south China [J]. *Environmental Science and Technology*, 2009, **43**(24): 9453-9457.
- [23] Siddique S, Xian Q M, Abdoulouahab N, *et al.* Levels of dechlorane Plus and polybrominated diphenylethers in human milk in two Canadian cities [J]. *Environment International*, 2012, **39**(1): 50-55.
- [24] Hoh E, Hites R A. Brominated flame retardants in the atmosphere of the East-Central United States [J]. *Environmental Science and Technology*, 2005, **39**(20): 7794-7802.
- [25] Hayakawa K, Takatsuki H, Watanabe I, *et al.* Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs), polybrominated dibenzo-p-dioxins/dibenzofurans (PBDD/Fs) and monobromo-polychlorinated dibenzo-p-dioxins/dibenzofurans (MoBPXDD/Fs) in the atmosphere and bulk deposition in Kyoto, Japan [J]. *Chemosphere*, 2004, **57**(5): 343-356.
- [26] 陈来国, 麦碧娴, 徐振成, 等. 广州市夏季大气中多氯联苯和多溴联苯醚的含量及组成对比 [J]. *环境科学学报*, 2008, **28**(1): 150-159.
- [27] Ren N Q, Sverko E, Li Y F, *et al.* Levels and isomer profiles of Dechlorane Plus in Chinese Air [J]. *Environmental Science and Technology*, 2008, **42**(17): 6476-6480.
- [28] Sverko E, Tomy G T, Marvin C H, *et al.* Dechlorane Plus levels in sediment of the lower Great Lakes [J]. *Environmental Science and Technology*, 2008, **42**(2): 361-366.
- [29] Venier M, Hites R A. Flame retardants in the atmosphere near the Great Lakes [J]. *Environmental Science and Technology*, 2008, **42**(13): 4745-4751.
- [30] Chen S J, Tian M, Wang J, *et al.* Dechlorane Plus (DP) in air and plants at an electronic waste (e-waste) site in South China [J]. *Environmental Pollution*, 2011, **159**(5): 1290-1296.
- [31] Möller A, Xie Z Y, Stur R, *et al.* Large-scale distribution and transport of Dechlorane Plus in air and seawater from the Arctic to Antarctic [J]. *Environmental Science and Technology*, 2010, **44**(23): 8977-8982.
- [32] De la Torre A, Papeavicius G, Shen L, *et al.* Dechlorane Plus and related compounds in Spanish air [J]. *Organohalogen Compound*, 2010, **72**: 929-932.
- [33] Wang D, Yang M, Qi H, *et al.* An Asia-specific source of Dechlorane Plus: concentration, isomer profiles, and other related compounds [J]. *Environmental Science and Technology*, 2010, **44**(17): 6608-6613.
- [34] Li J, Liu X, Yu L L, *et al.* Comparing polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in airborne particles in Guangzhou and Hong Kong: sources, seasonal variations and inland outflow [J]. *Journal of Environmental Monitoring*, 2009, **11**(6): 1185-1191.
- [35] Wang Y W, Yang R Q, Wang T, *et al.* Assessment of polychlorinated biphenyls and polybrominated diphenyl ethers in Tibetan butter [J]. *Chemosphere*, 2010, **78**(6): 772-777.
- [36] Zhang G, Chankraborty P, Li J, *et al.* Passive atmospheric sampling of organochlorine pesticides, polychlorinated biphenyls, and polybrominated diphenyl ethers in urban, rural, and wetland sites along the coastal length of India [J]. *Environmental Science and Technology*, 2008, **42**(22): 8218-8223.
- [37] Yang M, Jia H L, Ma W L, *et al.* Levels, compositions, and gas-particle partitioning of polybrominated diphenyl ethers and Dechlorane Plus in air in a Chinese northeastern city [J]. *Atmospheric Environment*, 2012, **55**: 73-79.
- [38] Zheng X Y, Liu X D, Jiang G B, *et al.* Distribution of PCBs and PBDEs in soils along the altitudinal gradients of Balang Mountain, the east edge of the Tibetan Plateau [J]. *Environmental Pollution*, 2012, **161**: 101-106.

CONTENTS

Estimation of PM _{2.5} over Eastern China from MODIS Aerosol Optical Depth Using the Back Propagation Neural Network	GUO Jian-ping, WU Ye-rong, ZHANG Xiao-ye, <i>et al.</i> (817)
Comparison of Atmospheric Particulate Matter and Aerosol Optical Depth in Beijing City	LIN Hai-feng, XIN Jin-yuan, ZHANG Wen-yu, <i>et al.</i> (826)
Impacts of Meteorological Factors on Atmospheric Methane Mole Fractions in the Background Area of Yangtze River Delta	PU Jing-jiao, XU Hong-hui, GU Jun-qiang, <i>et al.</i> (835)
Dispersion and Analysis of Odor Pollution in Landfill Area Under the Enclosed Operation Condition	LU Peng, WU Shi-xing, DAI Zhi-feng, <i>et al.</i> (842)
Distribution Characteristics and Sea-Air Fluxes of Volatile Halocarbons in the East China Sea in Winter	HE Zhen, LU Xiao-lan, YANG Gui-peng (849)
Intra- and Inter-annual Variabilities of Particulate Organic Matter in the Mires Bay from 2000 to 2010	LI Xu-lu, ZHOU Yi-pin, XIA Hua-yong (857)
Phytoplankton Assemblages and Their Relation to Environmental Factors by Multivariate Statistic Analysis in Bohai Bay	ZHOU Ran, PENG Shi-tao, QIN Xue-bo, <i>et al.</i> (864)
Characteristics and Evolution of Hydrochemical Compositions of Freshwater Lake in Tibetan Plateau	WANG Peng, SHANG Ying-nan, SHEN Li-cheng, <i>et al.</i> (874)
Estimation of Nonpoint Source Pollutant Loads and Optimization of the Best Management Practices (BMPs) in the Zhangweinan River Basin	XU Hua-shan, XU Zong-xue, LIU Pin (882)
An Object-Oriented Intelligent Engineering Design Approach for Lake Pollution Control	ZOU Rui, ZHOU Jing, LIU Yong, <i>et al.</i> (892)
Contribution of Plant Litters to Sediments Organic Matter in Julong River Estuary Wetland	LUO Zhuan-xi, QIU Zhao-zheng, WANG Zhen-hong, <i>et al.</i> (900)
Application of Tiered Approach to Assess the Impact of Backfilling Remediated Soil on Groundwater	ZHONG Mao-sheng, JIANG Lin, YAO Jue-jun, <i>et al.</i> (907)
Removal of Nitrate from Groundwater Using Permeable Reactive Barrier	LI Xiu-li, YANG Jun-jun, LU Xiao-xia, <i>et al.</i> (914)
Research on Pollution Load of Sediments in Storm Sewer in Beijing District	LI Hai-yan, XU Bo-ping, XU Shang-ling, <i>et al.</i> (919)
Occurrence and Risk Assessment of Five Selected PPCPs in Municipal Wastewater Treatment Plant and the Receiving Water	WEN Zhi-hao, DUAN Yan-ping, MENG Xiang-zhou, <i>et al.</i> (927)
Microbial Risk Assessment of Urban Water Bodies for Aesthetical and Recreational Uses	SUN Fu, SHA Jing, ZHANG Yi-fan, <i>et al.</i> (933)
Study on Removal of Di-(2-Ethylhexyl) Phthalate by Using of Small-Scale Biological Aerated Filter	LI Wei, ZHAO Jing, YU Jian, <i>et al.</i> (943)
Mechanism of Membrane Fouling and Filtration Characteristics in a Membrane Bioreactor for Industrial Wastewater Treatment	FAN Ju-hong, YU Su-lin, ZHANG Pei-shuai, <i>et al.</i> (950)
Enhanced Electro-Chemical Oxidation of Acid Red 3R Solution with Phosphotungstic Acid Supported on γ -Al ₂ O ₃	YUE Lin, WANG Kai-hong, GUO Jian-bo, <i>et al.</i> (955)
Degradation Kinetics of Activated Carbon Catalyzed Persulfate Oxidation Orange G	YANG Mei-mei, ZHOU Shao-qi, LIU Dan, <i>et al.</i> (962)
Study on the Start-up of the Anaerobic Baffled Reactor for Treating Alkali-deweeding and Dyeing-printing Wastewater	YANG Bo, ZHONG Qi-jun, LI Fang, <i>et al.</i> (968)
Study on the Pollutants Removal Performance Along the Advanced Treatment in Tannery Wastewater by O ₃ -BAF	YU Bin, LIU Rui, CHENG Jia-di, <i>et al.</i> (974)
Effect of Pilot UASB-SFSBR-MAP Process for the Large Scale Swine Wastewater Treatment	WANG Liang, CHEN Chong-jun, CHEN Ying-xu, <i>et al.</i> (979)
Cultivation of Aerobic Granular Sludge with Municipal Wastewater and Studies on Its Characteristics Under the Continuous Flow	NIU Shu, DUAN Bai-chuan, ZHANG Zuo-li, <i>et al.</i> (986)
Kinetic Model of Enhanced Biological Phosphorus Removal with Mixed Acetic and Propionic Acids as Carbon Sources (I) : Model Constitution	ZHANG Chao, CHEN Yin-guang (993)
Kinetic Model of Enhanced Biological Phosphorus Removal with Mixed Acetic and Propionic Acids as Carbon Sources (II) : Process Simulation	ZHANG Chao, CHEN Yin-guang (998)
Kinetic Model of Enhanced Biological Phosphorus Removal with Mixed Acetic and Propionic Acids as Carbon Sources (III) : Model Application	ZHANG Chao, CHEN Yin-guang (1004)
Comparative Study on Water-air CO ₂ , CH ₄ Flux in Two Tributaries in the Three Gorges Reservoir, China	LI Zhe, BAI Lei, GUO Jin-song, <i>et al.</i> (1008)
Factors Influencing the Spatial Variability in Soil Respiration Under Different Land Use Regimes	CHEN Shu-tao, LIU Qiao-hui, HU Zheng-hua, <i>et al.</i> (1017)
Differences in Soil Respiration Between Cropland and Grassland Ecosystems and Factors Influencing Soil Respiration on the Loess Plateau	ZHOU Xiao-gang, ZHANG Yan-jun, NAN Ya-fang, <i>et al.</i> (1026)
Application and Benefit Evaluation of Tiered Health Risk Assessment Approach on Site Contaminated by Benzene	JIANG Lin, ZHONG Mao-sheng, LIANG Jin, <i>et al.</i> (1034)
History of Heavy Metal Pollution from Tidal Flat in Haizhou Bay	ZHANG Rui, ZHANG Fan, LIU Fu-cheng, <i>et al.</i> (1044)
Accumulation, Distribution and Pollution Assessment of Heavy Metals in Surface Sediment of Caohai Plateau Wetland, Guizhou Province	ZHANG Qing-hai, LIN Chang-hu, TAN Hong, <i>et al.</i> (1055)
Assessment and Correlation Analysis of Heavy Metals Pollution in Soil of Dajinshan Island	CHENG Fang, CHENG Jin-ping, SANG Heng-chun, <i>et al.</i> (1062)
Fraction Distribution and Risk Assessment of Heavy Metals in Stream Sediments from a Typical Nonferrous Metals Mining City	LI Ru-zhong, JIANG Yan-min, PAN Cheng-rong, <i>et al.</i> (1067)
Contamination and Health Risk for Heavy Metals via Consumption of Vegetables Grown in Fragmentary Vegetable Plots from a Typical Nonferrous Metals Mine City	LI Ru-zhong, PAN Cheng-rong, XU Jing-jing, <i>et al.</i> (1076)
Correlativity Study of the Distribution of Soil Magnetic Susceptibility and the Heavy Metal Contents in Xi'an City	CHEN Xiu-duan, LU Xin-wei, YANG GUANG (1086)
Distribution Characteristics and Environmental Significance of Heavy Metals in Soil Particle Size Fractions from Tropical Forests in China	GONG Cang, XU Dian-dou, CHENG Hang-xin, <i>et al.</i> (1094)
Study on Phosphorus Adsorption Characteristic of Sediments in an Ecological Ditch	ZHANG Shu-nan, JIA Zhao-yue, XIAO Run-lin, <i>et al.</i> (1101)
Fractions and Adsorption Characteristics of Phosphorus on Sediments and Soils in Water Level Fluctuating Zone of the Pengxi River, a Tributary of the Three Gorges Reservoir	SUN Wen-bin, DU Bin, ZHAO Xiu-lan, <i>et al.</i> (1107)
Sorption Behavior of Triton X-100 on Loess and Affecting Factors	ZHONG Jin-kui, ZHAO Bao-wei, ZHU Kun, <i>et al.</i> (1114)
Residual Levels in Air, Soil and Soil-Air Exchange of Organochlorine Pesticides in Hami Region of Xinjiang and Its Potential Ecological Risk	MA Zi-long, MAO Xiao-xuan, DING Zhong-yuan, <i>et al.</i> (1120)
Levels and Sources of Decabromodiphenyl Ether and Dechlorane Plus in Xining and Tianjun, Qinghai Province, China	HE Chang, JIN Jun, MA Zhao-hui, <i>et al.</i> (1129)
Vertical Distribution of PBDEs and DL-PCBs in Sediments of Taihu Lake	MA Zhao-hui, JIN Jun, QI Xue-kui, <i>et al.</i> (1136)
Characteristics of Organic Pollutants in the Sediments from a Typical Electronics Industrial Zone	LIU Jin, DENG Dai-yong, XU Mei-ying, <i>et al.</i> (1142)
Emission Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Exhaust Particles from a Diesel Car	TAN Pi-qiang, ZHOU Zhou, HU Zhi-yuan, <i>et al.</i> (1150)
Characterization of PAHs in Fly Ashes from Coke Production	MU Ling, PENG Lin, LIU Xiao-feng, <i>et al.</i> (1156)
Comparison of PAHs Distribution in Stabilized Sludge by Sludge Drying Bed and Reed Bed	CUI Yu-bo, SUN Hong-jie, RAN Chun-qiu, <i>et al.</i> (1161)
Effects of Adsorbents on Partitioning and Fixation of Heavy Metals in the Incineration Process of Sewage Sludge	LIU Jing-yong, SUN Shui-yu, CHEN Tao (1166)
Environmental Toxicity of Waste Foundry Sand	ZHANG Hai-feng, WANG Yu-jue, WANG Jin-lin, <i>et al.</i> (1174)
Construction and Properties of a Microbial Whole-cell Sensor CB10 for the Bioavailability Detection of Cr ⁶⁺	HOU Qi-hui, MA An-zhou, ZHUANG Xu-liang, <i>et al.</i> (1181)
Structure and Dynamics of Microbial Community in the Denitrifying Sulfide Removal Process	YU Hao, WANG Ai-jie, CHEN Chuan (1190)
Effects of Physico-chemical Parameters on the Abundance of the Denitrification-associated Genes <i>nirK</i> , <i>nirS</i> and <i>nosZ</i> During Agricultural Waste Composting	HU Chun-xiao, CHEN Yao-ning, ZHANG Jia-chao, <i>et al.</i> (1196)
Impact of PAHs on the Expression of PRDX in Earthworm (<i>Eisenia fetida</i>)	LIN Kang-li, ZHENG Sen-lin, SONG Yu-fang, <i>et al.</i> (1204)
Preparation of OMC-Au/L-Lysine/Au Modified Glassy Carbon Electrode and the Study on Its Detection Response to Hydroquinone and Catechol	ZHOU Yao-yu, TANG Lin, LI Zhen, <i>et al.</i> (1211)
Risk Communication in Construction of New Nuclear Power Plant	HE Gui-zhen, LÜ Yong-long (1218)

《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)

2013年3月15日 34卷 第3期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 3 Mar. 15, 2013

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