

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第36卷 第2期

Vol.36 No.2

2015

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

霾与非霾期间汞在不同粒径颗粒物上的分布特征 朱琮宇,程金平,魏雨晴,薄丹丹,陈筱佳,江璇,王文华(373)

大气传输路径对上甸子本底站气溶胶光学特性的影响 蒲维维,石雪峰,马志强,赵秀娟,张小玲,徐晓峰(379)

近3年太原市夏季降水的化学特征研究 郭晓方,崔阳,王开扬,何秋生,王新明(388)

太原市PM_{2.5}中有机碳和元素碳的污染特征 刘珊,彭林,温彦平,白慧玲,刘凤娴,史美鲜,李丽娟(396)

青海省西宁市和天峻县大气颗粒物中有机氯农药和类二噁英多氯联苯的水平与分布 李秋旭,何畅,马召辉,马丽花,扎西卓玛,王英,金军(402)

北京10个常绿树种颗粒物吸附能力研究 王兵,张维康,牛香,王晓燕(408)

人工湿地空气微生物群落碳源代谢特征 宋志文,王琳,徐爱玲,吴等等,夏岩(415)

春季融雪补给后巩乃斯河水物理化学性质空间分布特征研究 刘翔,郭玲鹏,张飞云,马杰,牟书勇,赵鑫,李兰海(421)

青藏高原湖泊小流域水体离子组成特征及来源分析 李鹤,李军,刘小龙,杨曦,张伟,王洁,牛颖权(430)

亚热带深水水库——龙滩水库季节性分层与富营养化特征分析 张垒,李秋华,黄国佳,欧腾,李翎,吴迪,周黔兰,高廷进(438)

长江河口水库沉积物磷形态、吸附和释放特性 金晓丹,吴昊,陈志明,宋红军,何义亮(448)

黄河口溶解无机碳时空分布特征及影响因素研究 郭兴森,吕迎春,孙志高,王传远,赵全升(457)

苕溪干流悬浮物和沉积物的磷形态分布及成因分析 陈海龙,袁旭音,王欢,李正阳,许海燕(464)

滇池表层沉积物氮污染特征及其潜在矿化能力 孟亚媛,王圣瑞,焦立新,刘文斌,肖焱波,祖维美,徐天敏,丁帅,周童(471)

城郊排水沟渠溶质传输的暂态存储影响及参数灵敏性 李如忠,钱靖,董玉红,唐文坤,杨继伟(481)

艾比湖表层沉积物重金属的来源、污染和潜在生态风险研究 张兆永,吉力力·阿不都外力,姜逢清(490)

工矿业绿洲城郊排污渠沉积物重金属的形态分布规律及风险评估 臧飞,王胜利,南忠仁,王兆炜,任业萌,王德鹏,廖琴,周婷(497)

山东省典型工业城市土壤重金属来源、空间分布及潜在生态风险评估 戴彬,吕建树,战金成,张祖陆,刘洋,周汝佳(507)

UV协同ClO₂去除三氯生及其降解产物的研究 李玉瑛,何文龙,李青松,金伟伟,陈国元,李国新(516)

氯化铁絮凝-直接过滤工艺对地下水中As(V)的去除机制研究 康英,段晋明,景传勇(523)

负载纳米零价铁铜藻基活性炭的制备及其去除水中Cr(VI)的研究 曾淦宁,武晓,郑林,伍希,屠美玲,王铁杆,艾宁(530)

磁性石墨烯吸附水中Cr(VI)研究 刘伟,杨琦,李博,陈海,聂兰玉(537)

TiO₂@酵母复合微球固定床吸附荧光增白剂-VBL的研究 王菲,张凯强,白波,王洪伦,索有瑞(545)

MnO₂/CFP复合电极的制备及电吸附Pb²⁺特性的研究 刘方园,胡承志,李永峰,梁乾伟(552)

吸附相反应技术制备微弱光响应的多组分掺杂TiO₂催化剂 王挺,祝轶琛,孙志轩,吴礼光(559)

掺铁TiO₂纳米管阵列模拟太阳光光电催化降解双酚A的研究 项国梁,喻泽斌,陈颖,徐天佐,彭振波,刘钰鑫(568)

天然矿物负载Fe/Co催化H₂O₂氧化降解阳离子红3R 马楠,刘华波,谢鑫源(576)

臭氧微气泡处理酸性大红3R废水特性研究 张静,杜亚威,刘晓静,周玉文,刘春,杨景亮,张磊(584)

碳源类型、温度及电子受体对生物除磷的影响 韩芸,许松,董涛,王斌帆,王显耀,彭党聪(590)

低温低溶解氧EBPR系统的启动、稳定运行及工艺失效问题研究 马娟,李璐,俞小军,魏雪芬,刘娟丽(597)

O池溶解氧水平对石化废水A/O工艺污染物去除效果和污泥微生物群落的影响 丁鹏元,初里冰,张楠,王星,王建龙(604)

改善污泥脱水性能的丝状真菌的分离及其促进污泥脱水的机制初探 周雨璐,付豪逸,范先锋,王振宇,郑冠宇(612)

热碱处理对污水处理厂污泥特性的影响研究 杨世东,陈霞,刘操,肖本益(619)

不同退化程度羊草草原碳收支对模拟氮沉降变化的响应 齐玉春,彭琴,董云社,肖胜生,贾军强,郭树芳,贺云龙,闫钟清,王丽芹(625)

地表臭氧浓度升高对旱作农田N₂O排放的影响 吴杨周,胡正华,李岑子,陈书涛,谢燕,肖启涛(636)

亚热带次生林不同土壤呼吸组分的多年观测研究 刘义凡,陈书涛,胡正华,沈小帅,张旭(644)

川中丘陵县域土壤氮素空间分布特征及其影响因素 罗由林,李启权,王昌全,李冰,张新,冯文颖,翁倩,吴冕(652)

黄土丘陵区土地利用变化对深层土壤活性碳组分的影响 张帅,许明祥,张亚锋,王超华,陈盖(661)

汶川地震灾区不同气候区土壤微生物群落碳源代谢多样性 张广帅,林勇明,马瑞丰,邓浩俊,杜锟,吴承祯,洪伟(669)

土壤电动修复的电极空间构型优化研究 刘芳,付融冰,徐珍(678)

有机氯农药污染场地挖掘过程中污染物的分布及健康风险 张石磊,薛南冬,杨兵,李发生,陈宣宇,刘博,孟磊(686)

水稻不同生育期根际及非根际土壤砷形态迁移转化规律 杨文骏,王英杰,周航,易开心,曾敏,彭佩钦,廖柏寒(694)

植物根系体外溶液的提取方法研究:以多环芳烃为例 朱满党,都江雪,乐乐,李金凤,杨青青,陆守昆,占新华(700)

垂序商陆叶细胞壁结合锰机制研究 徐向华,刘翠英,李平,郎漫,赵小艳,杨建军,官敏(706)

1株筛自柴油污染土壤的铜绿假单胞菌对萘的降解特性研究 刘文超,吴彬彬,李晓森,卢滇楠,刘永民(712)

CdSe/ZnS量子点对斑马鱼胚胎发育的毒性效应 陈慕飞,黄承志,蒲德永,郑朝依,袁开米,金星星,张耀光,金丽(719)

锯齿新米虾对Cu²⁺和毒死蜱毒性的生理响应 李典宝,张玮,王丽卿,张瑞雷,季高华(727)

同步衍生超声乳化微萃取气相色谱法测定环境水样中的苯胺类化合物 田立勋,戴之希,王国栋,翁焕新(736)

热水环境中Na⁺活化斜发沸石吸附钙离子除硬过程研究 张硕,王栋,陈远超,张兴文,陈贵军(744)

区域经济-污染-环境三维评价模型的构建与应用 樊新刚,米文宝,马振宁(751)

《环境科学》征订启事(401) 《环境科学》征稿简则(437) 信息(489,522,726,735)

青海省西宁市和天峻县大气颗粒物中有机氯农药和类二噁英多氯联苯的水平与分布

李秋旭¹, 何畅¹, 马召辉¹, 马丽花¹, 扎西卓玛¹, 王英¹, 金军^{1,2*}

(1. 中央民族大学生命与环境科学学院, 北京 100081; 2. 北京市食品环境与健康工程技术研究中心, 北京 100081)

摘要: 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、冬两季大气颗粒物中有机氯农药(OCPs)和类二噁英多氯联苯(DL-PCBs)的浓度水平。结果表明,青海省大气颗粒物中 OCPs 主要为 DDTs、HCHs。西宁市 DDTs 和 HCHs 的平均水平分别为: 35 $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ 、5.9 $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ (夏季) 和 93 $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ 、11 $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ (冬季), 天峻县 DDTs 和 HCHs 的平均水平分别为: 83 $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ 、6.4 $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ (夏季) 和 28 $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ 、6.7 $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ (冬季)。与亚洲其它地区相比,青海省大气颗粒物中 OCPs 处于较低水平。西宁市大气颗粒物中 DL-PCBs 的平均水平分别为: 0.52 $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ (夏季), 0.99 $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ (冬季), 天峻县为: 0.58 $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ (夏季)、0.52 $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ (冬季)。西宁市夏、冬两季 OCPs 的平均水平均大于天峻县,而两地 DL-PCBs 的平均水平相当。本研究对高原地区 DL-PCBs 的分布特点及变化规律与极地地区的研究相比存在一定的相似性,而 DDTs 和 HCHs 则存在差异性。

关键词: 有机氯农药; 类二噁英多氯联苯; 青海省; 大气颗粒物水平

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2015)02-0402-06 DOI: 10.13227/j.hjxx.2015.02.005

Levels and Distribution of Organochlorine Pesticides and Dioxin-Like Polychlorinated Biphenyls in Atmospheric Particulates in Xining and Tianjun, Qinghai Province, China

LI Qiu-xu¹, HE Chang¹, MA Zhao-hui¹, MA Li-hua¹, ZHAXI Zhuo-ma¹, WANG Ying¹, JIN Jun^{1,2*}

(1. College of Life and Environmental Sciences, Minzu University of China, Beijing 100081, China; 2. Engineering Research Center for Food Environment and Health, Beijing 100081, China)

Abstract: The levels of OCPs and DL-PCBs in the atmospheric particulates of Xining city and Tianjun county in Qinghai province were determined. DDTs and HCHs were the main component of OCPs in the atmospheric particulates. The average levels of DDTs and HCHs in the atmospheric particulates of Xining city were 35 $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ and 5.9 $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ in summer and 93 $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ and 11 $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ in winter, respectively. In Tianjun county, they were 83 $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ and 6.4 $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ in summer and 28 $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ and 6.7 $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ in winter, respectively. Compared with other Asian areas, the average levels of them in Qinghai province were lower. Meanwhile, the average levels of DL-PCBs in Xining city were 0.52 $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ in summer and 0.99 $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ in winter, respectively, and in Tianjun county were 0.58 $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ in summer and 0.52 $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ in winter, respectively. The average levels of OCPs in summer and winter of Xining city were higher than those in Tianjun county, but the average levels of DL-PCBs in two cities were similar. Compared with the polar region, the distribution principles of DL-PCBs in the plateau area were certainly similar, while HCHs and DDTs were different.

Key words: organochlorine pesticides (OCPs); dioxin-like polychlorinated biphenyls (DL-PCBs); Qinghai province; atmospheric particulate levels

有机氯农药(organochlorine pesticides, OCPs)是历史上最早最大规模使用过的高效广谱杀虫剂,使用时间长、用量大,主要包括滴滴涕(DDTs)、六六六(HCHs)、六氯苯(HCB)、林丹等。虽然 OCPs 在我国已经不再生产和使用,但由于其具有挥发性小、水溶性差、半衰期长、不易降解和代谢以及能够在大气环境中长距离迁移等特点,在国内一些重要的河流^[1]、海域沉积物^[2]、鱼类^[3]、人乳^[4]中仍可广泛检出。多氯联苯(polychlorinated biphenyls, PCBs)是一类人工合成的氯代联苯类芳烃化合物,共有 209 种同族体,其中 12 种具有单邻位或无邻位取代的共平面 PCBs 能产生类似二噁英的毒性效应,称为

二噁英类 PCBs(DL-PCBs)。OCPs 和 DL-PCBs 在环境中难以被降解,可以通过大气“全球蒸馏效应”和“蚱蜢跳效应”实现长距离迁移^[5],它们先后被列入《斯德哥尔摩公约》首批 12 种受控制的持久性有机污染物(persistent organic pollutants, POPs)名单之中^[6,7]。

收稿日期: 2014-06-26; 修订日期: 2014-09-11

基金项目: 中央民族大学一流大学一流学科建设项目(YLDX01013); 高等学校学科创新引智计划项目(B08044); 教育部新世纪优秀人才计划项目(NCET-10-0106)

作者简介: 李秋旭(1990~),男,硕士研究生,主要研究方向为持久性有机污染物, E-mail: qqli1990@yeah.net

* 通讯联系人, E-mail: junjin3799@126.com

目前背景地区大气 POPs 的研究仅仅集中在北极、北美和大西洋等少数地区,而被称作“地球第三极”具有鲜明地域特色的青藏高原的研究相对较少. 青藏高原地处中纬度地区,平均海拔超过 4 000 m,具有独特的地理、生态环境. POPs 物质很有可能随着大气环流过程被输送到青藏高原地区,再加上冷凝效应的作用,青藏高原较低的气温和较高的海拔将加速 POPs 物质在高原上的凝结和聚集. 青藏高原远离人类活动,该地区可以作为北半球乃至全球的大气环境本底^[8],在研究大气 POPs 的传输机制、季节变化和空间差异等方面也具有重要意义. 基于此,本研究通过对青海省西宁市和海西蒙古族藏族自治州天峻县夏、冬两季大气颗粒物中 OCPs 和 DL-PCBs 的水平分析和研究,探讨 OCPs 与 DL-PCBs 在高原地区时间和空间上的分布特征.

1 材料与与方法

1.1 样品采集

本研究采样地点为青海省西宁市(A)和海西蒙古族藏族自治州天峻县(B),位置如图 1 所示. 据青海省第六次人口普查数据显示^[9],2010 年西宁市人口约为 221 万人,人口密度为 295.6 人·km⁻²,海西蒙古族藏族自治州天峻县地广人稀,2010 年海西蒙古族藏族自治州人口约为 49 万,人口密度为 1.5 人·km⁻².

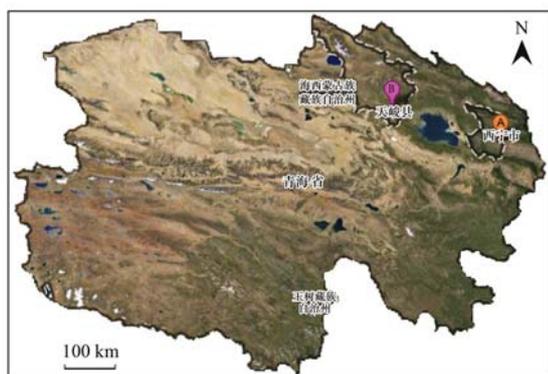


图 1 青海省大气采样点的地理分布示意

Fig. 1 Distribution of sampling sites in Qinghai Province, China

1.2 采样时间

于 2011 年夏季(8 月 5~7 日,8 月 9~13 日,共 8 d)和 2012 年冬季(1 月 12~19 日,共 8 d)分别采集西宁市(36.599 8°N,101.794 5°E; 海拔 2 298 m)和天峻县(37.466 7°N,99.054 2°E; 海拔 3 420 m)大气总悬浮颗粒物样品各 16 个,共 32 个. 每个样品连续采样 24 h,采样流速为 100 L·min⁻¹,采样体

积为 144 m³. 采样期间西宁市夏、冬两季平均气温分别为 20℃、-9℃,天峻县夏、冬两季平均气温分别为 13℃、-15℃. 样品保存于密封袋中,送到实验室置于 -20℃ 下保存至分析.

1.3 实验材料

Agilent 6890-5975N 气质联用仪(Agilent, USA); 旋转蒸发器(上海亚荣生化仪器厂); 氮气吹干仪(BF2000,北京八方世纪科技有限公司); 精密电子天平(日本岛津公司); 大气采样器(KB-6E 型,青岛金仕达电子科技有限公司).

正己烷、二氯甲烷、丙酮(农残级, J. T. Baker, USA). 标准物质: 六氯苯、 α -HCH、 β -HCH、 γ -HCH、 δ -HCH、七氯、艾氏剂、异艾氏剂、氧化氯丹、环氧七氯 A、环氧七氯 B、*trans*-氯丹、*o,p'*-DDE、*cis*-氯丹、硫丹 I、狄氏剂、*p,p'*-DDE、*o,p'*-DDD、异狄氏剂、硫丹 II、*p,p'*-DDD、*o,p'*-DDT、*p,p'*-DDT、甲氧 DDT、灭蚁灵均购自美国 Accu Standard 公司; ¹³C₆-Hexachlorobenzene、¹³C₆- β -HCH、¹³C₆- γ -HCH、¹³C₁₀-*trans*-Nonachlor、¹³C₁₂-*p,p'*-DDE、¹³C₁₀-Mirex、¹³C₁₂-Dieldrin 均购自美国 Cambridge Isotope laboratories. ¹²C₁₂-PCBs 标样(PCB-77、-81、-123、-118、-114、-105、-126、-167、-156、-169、-180、-189)购自 Labor Dr. Ehrenstorfer. 内标混合液¹³C₁₂-PCBs(PCB-77、-81、-123、-118、-114、-105、-126、-167、-156、-169、-180、-189)购自 Cambridge Isotope Laboratories.

1.4 样品前处理

在样品中加入 0.64 ng ¹³C₁₂-PCBs 和 2 ng ¹³C-OCPs 的内标混合液后,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(自下而上填充 1 g 中性硅胶、4 g 碱性硅胶、1 g 中性硅胶、8 g 酸性硅胶、2 g 中性硅胶、4 g 无水硫酸钠)分离纯化,用于测定 DL-PCBs,另一份用硅胶氧化铝柱(自下而上填充 2 g 无水硫酸钠、8 g 去活化硅胶、8 g 去活化氧化铝、2 g 无水硫酸钠)分离纯化,测定 OCPs. 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 μ L, GC-MS 测定.

1.5 仪器条件

OCPs: 色谱柱 DB-5MS 柱(30m \times 0.25 mm i. d. \times 0.1 μ m, 美国 Agilent Technologies, Palo Alto, CA, USA). 升温程序为初始 80℃, 保持 3 min, 以 6℃·min⁻¹ 升到 260℃. 以高纯氮气为载气, 柱流速

1.0 mL·min⁻¹; 前进样口温度 250℃, 进样量 1 μL, 采用不分流进样。

DL-PCBs: 色谱柱 DB-5MS 柱(30 m × 0.25 mm i. d. × 0.1 μm). 程序升温: 初始温度为 100℃, 保持 3 min, 然后以 5℃·min⁻¹ 的速率升至 250℃. 以高纯氦气为载气, 柱流速 1.0 mL·min⁻¹, 前进样口温度为 320℃, 进样量 1 μL, 采用不分流进样。

1.6 质量控制

实验前, 以基质(石英膜)加标, 验证方法回收率。¹³C-OCPs 的回收率为 80% ~ 101% ($n=3$), ¹³C-PCBs 的回收率为 70.3% ~ 103.1% ($n=3$), 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。

目标化合物的定量采用同位素内标法, 各物质的校准曲线相关系数 r 均大于 0.999 9. 信噪比大于 3 倍的峰进行定量. OCPs 的仪器检出限为 0.05 ~ 2 pg, 方法检出限为 0.01 ~ 0.5 pg·m⁻³. DL-PCBs 的仪器检出限为 0.01 ~ 0.1 pg, 方法检出限为 0.01 ~ 0.1 pg·m⁻³.

2 结果与讨论

2.1 西宁市和天峻县大气颗粒物中的 OCPs

2.1.1 DDTs 浓度

西宁市夏、冬两季大气颗粒物中 DDTs 的水平(均值 ± 标准偏差, 下同)分别为(35 ± 19) pg·m⁻³、(93 ± 52) pg·m⁻³, 天峻县为(83 ± 49) pg·m⁻³、(28 ± 18) pg·m⁻³, 西宁市夏、冬两季大气颗粒物 DDTs 的平均水平大于天峻县, 两地 DDTs 水平在夏、冬两季均存在显著性差异. 青海省西宁市和天峻县大气颗粒物中 DDTs 的水平见图 2. 本研究中青海省大气颗粒物中 DDTs 的水平与我国主要城市、亚洲主要城市及极地地区大气中 DDTs 的水平比较见表

1. 其中亚洲大气中 DDTs 浓度最高值出现在印度^[9], 其 7 个主要城市 DDTs 的平均值为 1399 pg·m⁻³. 巴基斯坦旁遮普地区^[11]大气中 DDTs 的浓度也呈现较高水平, DDTs 的含量为 45 ~ 890 pg·m⁻³, 均值为 350 pg·m⁻³. 在我国大中城市中, 广州市大气中 DDTs 的水平呈现较高水平, 平均水平为 351 pg·m⁻³^[12]. 由此可见, 青海大气颗粒物中 DDTs 的水平与我国其他大中城市和印度、巴基斯坦等国家的城市大气中浓度相比处于较低水平. 但是却高于南极、北极^[26]及韩国背景区^[14]大气中 DDTs 的水平. DDE 主要来自于 DDT 的降解, 若样品中 p,p' -DDT/ p,p' -DDE 的比值 < 1 说明该地区的 DDTs 主要来源于历史残留, 若该比值大于 1 则意味着该地区最近可能有新源输入^[15]. 西宁市和天峻县夏、冬两季大气颗粒物中 p,p' -DDT/ p,p' -DDE 的比值范围为 0.7 ~ 115, 中值为 20.24 远大于 1, 说明了西宁市和天峻县近期仍旧有 p,p' -DDT 新的输入。

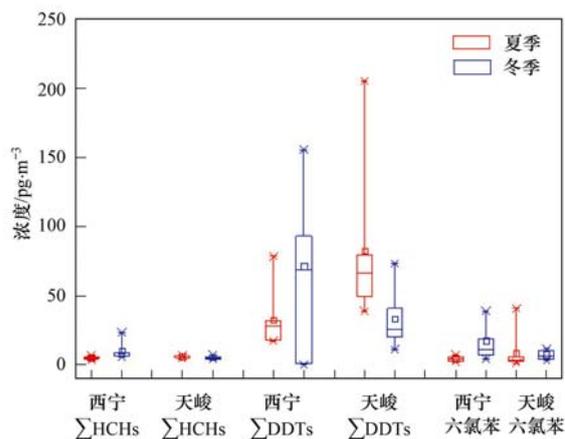


图 2 青海省西宁市与天峻县大气颗粒物中 OCPs 的浓度

Fig. 2 Levels of OCPs in the atmospheric particulates in Xining and Tianjun

表 1 不同地区大气中 OCPs 水平/pg·m⁻³

Table 1 Concentrations of OCPs in the atmosphere in different areas/pg·m⁻³

采样点	采样时间(年)	∑HCHs	∑DDTs	六氯苯	反式氯丹
旁遮普, 巴基斯坦 ^[16]	2011	55 ¹⁾	350	33	47
7 个主要城市, 印度 ^[10]	2006 ~ 2007	5 317	1 399	— ³⁾	621
新加坡 ^[17]	2006	244.9	7.7	—	—
日本 ^[18]	2004	—	7.82 ~ 770.4 ²⁾	14 ~ 95 ²⁾	—
背景地, 韩国 ^[19]	2008 ~ 2009	71	3.5	80	—
北京, 中国 ^[20]	2005 ~ 2009	150	140	220	1.4
长江三角洲, 中国 ^[21]	2010 ~ 2011	18.8	168	151	—
广州, 中国 ^[12]	2005 ~ 2006	93	351	—	82.3
西安, 中国 ^[22]	2008	199	167	75	104
香港, 中国 ^[23]	2004 ~ 2005	—	40.2	—	1.91
南极半岛西部 ^[14]	2001 ~ 2002	1.06	—	19.4	—
南极 ^[11]	2004 ~ 2005	—	0.09	—	0.7
北极 ^[11]	2005 ~ 2006	67	3.23	—	0.87
西宁, 中国(本研究)	2011 ~ 2012	8.45	64.0	11.25	0.35
天峻, 中国(本研究)	2011 ~ 2012	6.55	55.5	6.25	0.35

1) 平均值; 2) 浓度范围; 3) 无数据

2.1.2 HCHs 浓度

西宁市夏、冬两季大气颗粒物中 HCHs 的水平分别为 $(5.9 \pm 1.0) \text{ pg} \cdot \text{m}^{-3}$ 、 $(11 \pm 5.7) \text{ pg} \cdot \text{m}^{-3}$, 天峻县为 $(6.4 \pm 0.7) \text{ pg} \cdot \text{m}^{-3}$ 、 $(6.7 \pm 1.0) \text{ pg} \cdot \text{m}^{-3}$, 西宁市夏、冬两季大气颗粒物中 HCHs 平均水平大于天峻县, 两地 HCHs 水平在夏、冬两季均存在显著性差异. 青海省西宁市和天峻县大气颗粒物中 HCHs 的水平见图 2. 与 DDTs 不同, 青海省大气颗粒物中 HCHs 的水平与南极半岛西部^[13]的水平相当. 亚洲最高浓度主要出现在印度^[10], \sum HCHs 浓度高达 $5317 \text{ pg} \cdot \text{m}^{-3}$. 一般认为, α -HCH 来自于工业六六六产品, 而 γ -HCH 不仅来自于工业六六六产品 (γ -HCH 的质量分数为 10% ~ 15%), 也来自于林丹 (γ -HCH 的质量分数为 95%), 因此 α/γ 值常被用来指示 γ -HCH 的来源. 若样品中 α -HCH/ γ -HCH 值为 5 ~ 7 时, 表明污染源于工业品; 若 α -HCH/ γ -HCH 小于 1, 可以认为有林丹新源的输入^[10]. 西宁市和天峻县夏、冬两季 α -HCH/ γ -HCH 的比值范围为 0.11 ~ 0.52, 中值为 0.22, α -HCH/ γ -HCH < 1, 说明该区域均有林丹新源的输入.

2.1.3 六氯苯和反式氯丹浓度

六氯苯早期被用作杀菌剂, 目前主要用做氯化物生产的中间体, 也是某些工业过程的副产品. 西宁市夏、冬两季大气颗粒物中六氯苯的水平分别为 $(4.5 \pm 1.5) \text{ pg} \cdot \text{m}^{-3}$ 、 $(18 \pm 12) \text{ pg} \cdot \text{m}^{-3}$, 天峻县为 $(8.4 \pm 12) \text{ pg} \cdot \text{m}^{-3}$ 、 $(4.1 \pm 3.1) \text{ pg} \cdot \text{m}^{-3}$. 西宁市夏、冬两季大气颗粒物中六氯苯的平均水平大于天峻县, 两地六氯苯水平在夏、冬两季均存在显著性差异. 此外, 西宁市夏、冬两季大气颗粒物中反式氯丹的水平分别为 $(0.3 \pm 0.1) \text{ pg} \cdot \text{m}^{-3}$ 、 $(0.4 \pm 0.2) \text{ pg} \cdot \text{m}^{-3}$, 天峻县为 $(0.3 \pm 0.04) \text{ pg} \cdot \text{m}^{-3}$ 、 $(0.4 \pm 0.1) \text{ pg} \cdot \text{m}^{-3}$, 两地的水平相当, 在夏、冬两季均存在显著性差异. 与极地地区水平相比较^[11,14], 六氯苯与反式氯丹的水平和极地地区水平处于同一数量级, 与国内及亚洲其他城市水平相比处于较低水平. 亚洲反式氯丹最高浓度出现在印度^[10], 浓度为 $621 \text{ pg} \cdot \text{m}^{-3}$, 该浓度远高于青海省大气颗粒物中反式氯丹的浓度水平.

2.2 西宁市和天峻县大气颗粒物中 DL-PCBs 的浓度水平及构成

西宁市夏、冬两季大气颗粒物中 DL-PCBs 的水平分别为 $(0.52 \pm 0.14) \text{ pg} \cdot \text{m}^{-3}$ 、 $(0.99 \pm 0.23) \text{ pg} \cdot \text{m}^{-3}$, 天峻县为 $(0.58 \pm 0.25) \text{ pg} \cdot \text{m}^{-3}$ 、 $(0.52 \pm$

$0.12) \text{ pg} \cdot \text{m}^{-3}$. 西宁市夏、冬两季大气颗粒物中 DL-PCBs 的水平与天峻县的水平相当, 两地 DL-PCBs 水平在夏、冬两季均存在显著性差异. 西宁市与天峻县在 DL-PCBs 同族体分布上有很大差异, 西宁市夏、冬两季大气颗粒物 DL-PCBs 中高氯代(六氯、七氯)占 \sum DL-PCBs 的比例分别为 23.7%、19.3%, 天峻县为 15.7%、10.6%, 西宁市大气颗粒物中高氯代的 DL-PCBs 比例大于天峻县. Daly 等^[24]认为 PCBs 中轻质同族体随海拔的升高所占的比例增加, Jaward 等^[25]发现从英国经挪威到达北极点的路径上, 大气 PCBs 的分布呈现出明显的分馏, 重质 PCBs 浓度随纬度增加而减少. 西宁市和天峻县的海拔分别为 2298 m 和 3420 m, 纬度分别为 36.5998°N 和 37.4667°N , 天峻县无论在海拔还是纬度上都大于西宁市, 因此海拔和纬度的差异可能是造成西宁市大气颗粒物 DL-PCBs 中高氯代 DL-PCBs 比例较高的原因之一.

2.3 高原地区与极地地区大气颗粒物中 OCPs 和 DL-PCBs 的差异

相比于人口密集的西宁市, 天峻县地广人稀, 其持久性有机污染物的水平及特点更与高原地区的水平及特点相接近, 因而本研究利用天峻县大气颗粒物中的 OCPs 和 DL-PCBs 的水平及分布特点与极地地区进行比较, 来研究 OCPs 和 DL-PCBs 在高原地区及极地地区之间的水平和分布的差异. Choi 等^[11]利用被动采样器对南极与北极大气中的 OCPs 进行了测量, p, p' -DDT 与 p, p' -DDE 的比值为 0.16, 小于 1, 因此认为 DDTs 在极地地区不存在源的排放, 主要来自于历史残留. 与此相反, 本研究中天峻县大气颗粒物中的 p, p' -DDT 与 p, p' -DDE 的比值为 20.24, 说明该地区近期有 p, p' -DDT 新源的输入, 而天峻县地广人稀, 全年无绝对无霜期, 主要产业为畜牧业, 因此本地源输入的可能性很小, 所以 DDTs 的水平有可能受到周边环境远距离输送的影响. Sheng 等^[26]对青藏高原 DDTs 进行了 3 a 的持续检测, 结果表明青藏高原 DDTs 的水平与印度季风指数大小有相关性, 说明在印度季风的影响下, 周边环境大气中 DDTs 的水平会影响青藏高原大气中 DDTs 的水平, 而印度、巴基斯坦等青藏高原周边国家的主要城市 DDTs 的浓度均处于较高水平, 因此 DDTs 很可能被印度季风输送到青藏高原.

Baek 等^[13]分析了极地地区大气中 HCHs 的 3 a 数据, 认为 α -HCH 为主要的异构体, 而 β -HCH 的检

出率很低,认为极地海洋可能是 HCHs 的源. Wu 等^[27]2008 年测定了自上海至北极海洋大气中 HCHs 的水平,认为相比于 5 年前,相同地区大气中 HCHs 的水平上升了 4 倍, α -HCH 的水平与冰山的分布有一定的相关性,认为北极冰山中原有的 HCHs 随着冰山的融化重新进入环境中. 与此不同,本研究中天峻县大气颗粒物中 HCHs 以 β -HCH 和 γ -HCH 为主, α -HCH 在夏、冬两季的含量仅为 10.5%、25.5%, α -HCH/ γ -HCH 的比值很低,说明该地区有林丹的输入.

相比于低挥发性的高氯代 DL-PCBs,挥发性强的低氯代 DL-PCBs 更容易向高原地区、高纬度地区输送,Shen 等^[28]测定了北纬 20°到北纬 80°美国大气中 PCBs 的水平,低氯代的 PCBs 含量从低纬度的 75% 增加到高纬度的 95%,随着纬度的增加,低氯代的含量也随之增加. 本研究中高海拔的天峻县夏、冬两季 DL-PCBs 中的低氯代 DL-PCBs 的含量均大于海拔低的西宁市,随着海拔的增加,低氯代的含量也随之增加. 说明海拔和纬度的变化对低氯代 DL-PCBs 分布的影响是相同的. 对本研究中天峻县冬季和夏季 DL-PCBs 同族体进行配对样品 t 检验,结果显示天峻县冬季和夏季 DL-PCBs 同族体分布存在显著的相关性($P < 0.01$),极地地区研究^[29,30]同样也认为 PCBs 在不同季节同族体分布无差异. 说明已经禁止多年的 DL-PCBs,由于全球蒸馏效应及蚱蜢跳效应,使得其在高原地区与极地地区的同族体组成及季节差异均具有相似性.

3 结论

本研究结果显示,青海省西宁市和天峻县 OCPs 水平在亚洲范围内处于较低水平,西宁市夏、冬两季 OCPs 平均水平大于天峻县,两地近期可能有 p,p' -DDT 和林丹新源的输入. 西宁市夏、冬两季 DL-PCBs 平均水平与天峻县水平相当,两地在 DL-PCBs 同族体分布上有一定差异. 两地 OCPs 和 DL-PCBs 水平在夏、冬两季均存在显著性差异. 本研究中的高原地区和其他研究中的极地地区在 DL-PCBs 的分布特征及变化规律上存在一定的相似性,对于 DDTs 和 HCHs 则存在差异性.

参考文献:

- [1] Tang Z W, Yang Z F, Shen Z Y, *et al.* Residues of organochlorine pesticides in water and suspended particulate matter from the Yangtze River catchment of Wuhan, China[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2008, **137**: 427-439.
- [2] Tan L, He M C, Men B, *et al.* Distribution and sources of organochlorine pesticides in water and sediments from Daliao River estuary of Liaodong Bay, Bohai Sea (China) [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2009, **84**(1): 119-127.
- [3] Zhou R B, Zhu L Z, Kong Q X. Levels and distribution of organochlorine pesticides in shellfish from Qiantang River, China [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2008, **152**(3): 1192-1200.
- [4] Zhou J, Zeng X Y, Zheng K W, *et al.* Musks and organochlorine pesticides in breast milk from Shanghai, China: Levels, temporal trends and exposure assessment [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2012, **84**: 325-333.
- [5] Kramer S, Hikel S M, Adams K, *et al.* Current status of the epidemiologic evidence linking polychlorinated biphenyls and Non-Hodgkin lymphoma, and the role of immune dysregulation [J]. *Environmental Health Perspectives*, 2012, **120**(8): 1067-1075.
- [6] Mohammed A, Peterman P, Echols K, *et al.* Polychlorinated biphenyls (PCBs) and organochlorine pesticides (OCPs) in harbor sediments from Sea Lots, Port-of-Spain, Trinidad and Tobago [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2011, **62**(6): 1324-1332.
- [7] Vijgen J, Abhilash P C, Li Y F, *et al.* Hexachlorocyclohexane (HCH) as new Stockholm Convention POPs—a global perspective on the management of Lindane and its waste isomers [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2011, **18**(2): 152-162.
- [8] 王小萍, 龚平, 姚檀栋. 偏远地区大气中持久性有机污染物研究进展[J]. *环境科学*, 2008, **29**(2): 274-282.
- [9] 中华人民共和国国家统计局网站: [http://www. stats. gov. cn/](http://www.stats.gov.cn/).
- [10] Chakraborty P, Zhang G, Li J, *et al.* Selected organochlorine pesticides in the atmosphere of major indian cities; levels, regional versus local variations, and sources [J]. *Environmental Science & Technology*, 2010, **44**(21): 8038-8043.
- [11] Choi S D, Baek S Y, Chang Y S, *et al.* Passive air sampling of polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides at the korean arctic and antarctic research stations: implications for long-range transport and local pollution [J]. *Environmental Science & Technology*, 2008, **42**(19): 7125-7131.
- [12] Yang Y Y, Li D L, Mu D H. Levels, seasonal variations and sources of organochlorine pesticides in ambient air of Guangzhou, China [J]. *Atmospheric Environment*, 2008, **42**(4): 677-687.
- [13] Baek S Y, Choi S D, Chang Y S. Three-year atmospheric monitoring of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in polar regions and the south pacific [J]. *Environmental Science & Technology*, 2011, **45**(10): 4475-4482.
- [14] Dickhut R M, Cininelli A, Cochran M, *et al.* atmospheric concentrations and air-water flux of organochlorine pesticides along the western antarctic peninsula [J]. *Environmental Science & Technology*, 2005, **39**(2): 465-470.

- [15] Qiu X H, Zhu T, Yao B, *et al.* Contribution of dicofol to the current DDT pollution in China [J]. *Environmental Science & Technology*, 2005, **39**(12): 4385-4390.
- [16] Syed J H, Malik R N, Liu D, *et al.* Organochlorine pesticides in air and soil and estimated air-soil exchange in Punjab, Pakistan [J]. *Science of the Total Environment*, 2013, **444**: 491-497.
- [17] He J, Balasubramanian R, Karthikeyan S, *et al.* Determination of semi-volatile organochlorine compounds in the atmosphere of Singapore using accelerated solvent extraction [J]. *Chemosphere*, 2009, **75**(5): 640-648.
- [18] Jaward F M, Zhang G, Nam J J, *et al.* Passive air sampling of Polychlorinated biphenyls, Organochlorine compounds, and Polybrominated diphenyl ethers across Asia [J]. *Environmental Science & Technology*, 2005, **39**(22): 8638-8645.
- [19] Jin G Z, Kim S M, Lee S Y, *et al.* Levels and potential sources of atmospheric organochlorine pesticides at Korea background sites [J]. *Atmospheric Environment*, 2013, **68**: 333-342.
- [20] Zhang L F, Huang Y R, Dong L, *et al.* Levels, seasonal patterns, and potential sources of organochlorine pesticides in the urban atmosphere of Beijing, China [J]. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 2010, **61**(2): 159-165.
- [21] Zhang L F, Dong L, Yang W L, *et al.* Passive air sampling of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in the Yangtze River Delta, China: Concentrations, distributions, and cancer risk assessment [J]. *Environmental Pollution*, 2013, **181**: 159-166.
- [22] 刘焱明, 张承中, 李文慧, 等. 西安城区大气有机氯农药的污染特征及来源分析 [J]. *环境科学研究*, 2010, **23**(3): 267-271.
- [23] Choi M P K, Kang Y H, Peng X L, *et al.* Stockholm convention organochlorine pesticides and polycyclic aromatic hydrocarbons in Hong Kong air [J]. *Chemosphere*, 2009, **77**(6): 714-719.
- [24] Daly G L, Wania F. Organic contaminants in mountains [J]. *Environmental Science & Technology*, 2004, **39**(2): 385-398.
- [25] Jaward F M, Meijer S N, Steinnes E, *et al.* Further studies on the latitudinal and temporal trends of persistent organic pollutants in norwegian and U. K. background air [J]. *Environmental Science & Technology*, 2004, **38**(9): 2523-2530.
- [26] Sheng J J, Wang X P, Gong P, *et al.* Monsoon-driven transport of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls to the tibetan plateau: three year atmospheric monitoring study [J]. *Environmental Science & Technology*, 2013, **47**(7): 3199-3208.
- [27] Wu X G, Lam G C W, Xia X H, *et al.* Atmospheric HCH concentrations over the marine boundary layer from Shanghai, China to the arctic ocean: role of human activity and climate change [J]. *Environmental Science & Technology*, 2010, **44**(22): 8422-8428.
- [28] Shen L, Wania F, Lei Y D, *et al.* Polychlorinated biphenyls and polybrominated diphenyl ethers in the North American atmosphere [J]. *Environmental Pollution*, 2006, **144**(2): 434-444.
- [29] Stern G A, Halsall C J, Barrie L A, *et al.* Polychlorinated biphenyls in arctic air. I. temporal and spatial trends: 1992-1994 [J]. *Environmental Science & Technology*, 1997, **31**(12): 3619-3628.
- [30] Helm P A, Bidleman T F, Li H H, *et al.* Seasonal and spatial variation of polychlorinated naphthalenes and non-/mono-ortho-substituted polychlorinated biphenyls in arctic air [J]. *Environmental Science & Technology*, 2004, **38**(21): 5514-5521.

CONTENTS

Size Distribution Characteristics of Particulate Mercury on Haze and Non-haze Days	ZHU Qiong-yu, CHENG Jin-ping, WEI Yu-qing, <i>et al.</i> (373)
Impact of Atmospheric Pollutants Transport Pathways on Aerosol Optical Properties at Shangdianzi Background Station	PU Wei-wei, SHI Xue-feng, MA Zhi-qiang, <i>et al.</i> (379)
Chemical Characteristics of 3-year Atmospheric Precipitation in Summer, Taiyuan	GUO Xiao-fang, CUI Yang, WANG Kai-yang, <i>et al.</i> (388)
Pollution Characteristics of Organic and Elemental Carbon in PM _{2.5} in Taiyuan	LIU Shan, PENG Lin, WEN Yan-ping, <i>et al.</i> (396)
Levels and Distribution of Organochlorine Pesticides and Dioxin-Like Polychlorinated Biphenyls in Atmospheric Particulates in Xining and Tianjun, Qinghai Province, China	LI Qiu-xu, HE Chang, MA Zhao-hui, <i>et al.</i> (402)
Particulate Matter Adsorption Capacity of 10 Evergreen Species in Beijing	WANG Bing, ZHANG Wei-kang, NIU Xiang, <i>et al.</i> (408)
Carbon Sources Metabolic Characteristics of Airborne Microbial Communities in Constructed Wetlands	SONG Zhi-wen, WANG Lin, XU Ai-ling, <i>et al.</i> (415)
Spatial Distribution Characteristics of the Physical and Chemical Properties of Water in the Kunes River After the Supply of Snowmelt During Spring	LIU Xiang, GUO Ling-peng, ZHANG Fei-yun, <i>et al.</i> (421)
Composition Characteristics and Source Analysis of Major Ions in Four Small Lake-watersheds on the Tibetan Plateau, China	LI He, LI Jun, LIU Xiao-long, <i>et al.</i> (430)
Seasonal Stratification and Eutrophication Characteristics of a Deep Reservoir, Longtan Reservoir in Subtropical Area of China	ZHANG Lei, LI Qiu-hua, HUANG Guo-jia, <i>et al.</i> (438)
Phosphorus Fractions, Sorption Characteristics and Its Release in the Sediments of Yangtze Estuary Reservoir, China	JIN Xiao-dan, WU Hao, CHEN Zhi-ming, <i>et al.</i> (448)
Spatial-Temporal Distributions of Dissolved Inorganic Carbon and Its Affecting Factors in the Yellow River Estuary	GUO Xing-sen, LÜ Ying-chun, SUN Zhi-gao, <i>et al.</i> (457)
Distributions of Phosphorus Fractions in Suspended Sediments and Surface Sediments of Tiaoxi Mainstreams and Cause Analysis	CHEN Hai-long, YUAN Xu-yin, WANG Huan, <i>et al.</i> (464)
Characteristics of Nitrogen Pollution and the Potential Mineralization in Surface Sediments of Dianchi Lake	MENG Ya-yuan, WANG Sheng-ru, JIAO Li-xin, <i>et al.</i> (471)
Influence of Transient Storage on Solute Transport and the Parameter Sensitivity Analysis in a Suburban Drainage Ditch	LI Ru-zhong, QIAN Jing, DONG Yu-hong, <i>et al.</i> (481)
Sources, Pollution Statue and Potential Ecological Risk of Heavy Metals in Surface Sediments of Aibi Lake, Northwest China	ZHANG Zhao-yong, Jilili Abuduwaili, JIANG Feng-qing (490)
Speciation Distribution and Risk Assessment of Heavy Metals in Sediments in Suburban Outfall of Industrial Oasis Region	ZANG Fei, WANG Sheng-li, NAN Zhong-ren, <i>et al.</i> (497)
Assessment of Sources, Spatial Distribution and Ecological Risk of Heavy Metals in Soils in a Typical Industry-based City of Shandong Province, Eastern China	DAI Bin, LÜ Jian-shu, ZHAN Jin-cheng, <i>et al.</i> (507)
Removal of Triclosan with the Method of UV/ClO ₂ and Its Degradation Products	LI Yu-ying, HE Wen-long, LI Qing-song, <i>et al.</i> (516)
Mechanism of Groundwater As(V) Removal with Ferric Flocculation and Direct Filtration	KANG Ying, DUAN Jin-ming, JING Chuan-yong (523)
Preparation of Nano Zero-valent Iron/ <i>Sargassum horneri</i> Based Activated Carbon for Removal of Cr(VI) from Aqueous Solution	ZENG Gan-ming, WU Xiao, ZHENG Lin, <i>et al.</i> (530)
Adsorption of Cr(VI) on Magnetic Graphene from Aqueous Solution	LIU Wei, YANG Qi, LI Bo, <i>et al.</i> (537)
Adsorption of the TiO ₂ @Yeast Composite Microspheres for Adsorbing Fluorescent Whitening Agent-VBL in Fixed Bed	WU Fei, ZHANG Kai-qiang, BAI Bo, <i>et al.</i> (545)
Preparation and Pb ²⁺ Electrosorption Characteristics of MnO ₂ /CFP Composite Electrode	LIU Fang-yuan, HU Cheng-zhi, LI Yong-feng, <i>et al.</i> (552)
Preparation of Weak Light Driven TiO ₂ Multi Composite Photocatalysts via Adsorption Phase Synthesis	WANG Ting, ZHU Yi-chen, SUN Zhi-xuan, <i>et al.</i> (559)
Photoelectrocatalytic Degradation of Bisphenol A in Water by Fe Doped-TiO ₂ Nanotube Arrays Under Simulated Solar Light Irradiation	XIANG Guo-liang, YU Ze-bin, CHEN Ying, <i>et al.</i> (568)
Oxidation of Cationic Red 3R in Water with H ₂ O ₂ Catalyzed by Mineral Loaded with Fe/Co	MA Nan, LIU Hua-bo, XIE Xin-yuan (576)
Characteristics of Acid Red 3R Wastewater Treatment by Ozone Microbubbles	ZHANG Jing, DU Ya-wei, LIU Xiao-jing, <i>et al.</i> (584)
Effects of Carbon Sources, Temperature and Electron Acceptors on Biological Phosphorus Removal	HAN Yun, XU Song, DONG Tao, <i>et al.</i> (590)
Startup, Stable Operation and Process Failure of EBPR System Under the Low Temperature and Low Dissolved Oxygen Condition	MA Juan, LI Lu, YU Xiao-jun, <i>et al.</i> (597)
Effects of Dissolved Oxygen in the Oxidative Parts of A/O Reactor on Degradation of Organic Pollutants and Analysis of Microbial Community for Treating Petrochemical Wastewater	DING Peng-yuan, CHU Li-bing, ZHANG Nan, <i>et al.</i> (604)
Isolation of Filamentous Fungi Capable of Enhancing Sludge Dewaterability and Study of Mechanisms Responsible for the Sludge Dewaterability Enhancement	ZHOU Yu-jun, FU Hao-yi, FAN Xian-feng, <i>et al.</i> (612)
Impacts of Alkaline Thermal Treatment on Characteristics of Sludge from Sewage Treatment Plant	YANG Shi-dong, CHEN Xia, LIU Cao, <i>et al.</i> (619)
Responses of Ecosystem Carbon Budget to Increasing Nitrogen Deposition in Differently Degraded <i>Leymus chinensis</i> Steppes in Inner Mongolia, China	QI Yu-chun, PENG Qin, DONG Yun-she, <i>et al.</i> (625)
Impacts of Elevated Ozone Concentration on N ₂ O Emission from Arid Farmland	WU Yang-zhou, HU Zheng-hua, LI Cen-zi, <i>et al.</i> (636)
Multi-Year Measurement of Soil Respiration Components in a Subtropical Secondary Forest	LIU Yi-fan, CHEN Shu-tao, HU Zheng-hua, <i>et al.</i> (644)
Spatial Variability of Soil Nitrogen and Related Affecting Factors at a County Scale in Hilly Area of Mid-Sichuan Basin	LUO You-lin, LI Qi-quan, WANG Chang-quan, <i>et al.</i> (652)
Effects of Land Use Change on Soil Active Organic Carbon in Deep Soils in Hilly Loess Plateau Region of Northwest China	ZHANG Shuai, XU Ming-xiang, ZHANG Ya-feng, <i>et al.</i> (661)
Carbon Source Metabolic Diversity of Soil Microbial Community Under Different Climate Types in the Area Affected by Wenchuan Earthquake	ZHANG Guang-shuai, LIN Yong-ming, MA Rui-feng, <i>et al.</i> (669)
Optimization of Electrode Configuration in Soil Electrokinetic Remediation	LIU Fang, FU Rong-bing, XU Zhen (678)
Distribution and Health Risk of HCHs and DDTs in a Contaminated Site with Excavation	ZHANG Shi-lei, XUE Nan-dong, YANG Bing, <i>et al.</i> (686)
Transformation and Mobility of Arsenic in the Rhizosphere and Non-Rhizosphere Soils at Different Growth Stages of Rice	YANG Wen-tao, WANG Ying-jie, ZHOU Hang, <i>et al.</i> (694)
Extraction of Plant Root Apoplast Solution; A Case Study with Polycyclic Aromatic Hydrocarbons	ZHU Man-dang, DU Jiang-xue, YUE Le, <i>et al.</i> (700)
Mechanism of Manganese Binding to Leaf Cell Wall of <i>Phytolacca americana</i> L.	XU Xiang-hua, LIU Cui-ying, LI Ping, <i>et al.</i> (706)
Degradation Characteristics of Naphthalene with a <i>Pseudomonas aeruginosa</i> Strain Isolated from Soil Contaminated by Diesel	LIU Wen-chao, WU Bin-bin, LI Xiao-sen, <i>et al.</i> (712)
Toxic Effects of CdSe/ZnS QDs to Zebrafish Embryos	CHEN Mu-fei, HUANG Cheng-zhi, PU De-yong, <i>et al.</i> (719)
Physiological Response of <i>Neocaridina denticulata</i> to the Toxicity of Cu ²⁺ and Chlorpyrifos	LI Dian-bao, ZHANG Wei, WANG Li-qing, <i>et al.</i> (727)
Determination of Anilines in Environmental Water Samples by Simultaneous Derivatization and Ultrasound Assisted Emulsification Microextraction Combined with Gas Chromatography-Flame Ionization Detectors	TIAN Li-xun, DAI Zhi-xi, WANG Guo-dong, <i>et al.</i> (736)
Adsorption of Calcium Ion from Aqueous Solution Using Na ⁺ -Conditioned Clinoptilolite for Hot-Water Softening	ZHANG Shuo, WANG Dong, CHEN Yuan-chao, <i>et al.</i> (744)
Construction and Application of Economy-Pollution-Environment Three-Dimensional Evaluation Model for District	FAN Xin-gang, MI Wen-bao, MA Zhen-ning (751)

《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)

2015年2月15日 第36卷 第2期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 36 No. 2 Feb. 15, 2015

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: 120.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行