

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第3期

Vol.35 No.3

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

青岛近海生物气溶胶中可培养微生物浓度及群落多样性的季节变化 祁建华, 武丽婧, 高冬梅, 金川 (801)

基于重庆本地碳成分谱的 PM_{2.5} 碳组分来源分析 张灿, 周志恩, 翟崇治, 白志鹏, 陈刚才, 姬亚芹, 任丽红, 方维凯 (810)

重庆市北碚城区大气污染物浓度变化特征观测研究 徐鹏, 郝庆菊, 吉东生, 张军科, 刘子锐, 胡波, 王跃思, 江长胜 (820)

基于气溶胶光学特性垂直分布的一次浮尘过程分析 王苑, 邓军英, 史兰红, 陈勇航, 张强, 王胜, 徐婷婷 (830)

基于悬铃木叶片重金属累积特性的大气污染分析和评价 刘玲, 方炎明, 王顺昌, 谢影, 汪承润 (839)

典型染整企业定型机废气排放特征及潜在环境危害浅析 徐志荣, 王鹏, 王浙明, 许明珠, 吴剑波, 李嫣 (847)

火电厂大气污染物排放标准实施效果的数值模拟研究 王占山, 潘丽波 (853)

国IV天然气公交车实际道路颗粒物排放特性 楼狄明, 成伟, 冯谦 (864)

稻草和玉米秸秆烟尘中的正构脂肪醇 刘刚, 李久海, 吴丹, 徐慧 (870)

河口湿地近地面大气 CO₂ 浓度日变化和季节变化 张林海, 仝川, 曾从盛 (879)

三峡库区库中干流及支流水体夏季二氧化碳分压及扩散通量 李双, 王雨春, 操满, 钱慧君, 许涛, 周子然, 邓兵, 汪福顺 (885)

施用畜禽粪便堆肥的蔬菜地 CH₄、N₂O 和 NH₃ 排放特征 万合锋, 赵晨阳, 钟佳, 葛振, 魏源送, 郑嘉熹, 鄢玉龙, 韩圣慧, 郑博福, 李洪枚 (892)

干湿交替条件下不同晶型铁氧化物对水稻土甲烷排放的影响 张天娇, 汤佳, 庄莉, 熊格生, 刘志, 周顺桂 (901)

长江口邻近海域沉积物中生物硅溶解行为研究 吴彬, 吕伟香, 鲁超, 刘素美 (908)

汾河中下游浮游藻类群落特征及水质分析 王爱爱, 冯佳, 谢树莲 (915)

基于三维荧光光谱-平行因子技术联用的湖泊浮游藻化学分类学研究 陈小娜, 韩秀荣, 苏荣国, 石晓勇 (924)

三峡库区典型消落带土壤及沉积物中溶解性有机质 (DOM) 的紫外-可见光谱特征 李璐璐, 江韬, 闫金龙, 郭念, 魏世强, 王定勇, 高洁, 赵铮 (933)

黄河口湿地表层沉积物中磷赋存形态的分析 于子洋, 杜俊涛, 姚庆祯, 陈洪涛, 于志刚 (942)

太湖和呼伦湖沉积物对磷的吸附特征及影响因素 揣小明, 杨柳燕, 程书波, 陈小锋, 穆云松 (951)

黄浦江溶解有机质光学特性与消毒副产物 NDMA 生成潜能的关系 董倩倩, 张艾, 李咏梅, 陈玲, 黄清辉 (958)

纳米零价铁降解水中多溴联苯醚 (PBDEs) 及降解途径研究 杨雨寒, 徐伟伟, 彭思侃, 卢善富, 相艳, 梁大为 (964)

铸铁还原氯乙酸的影响因素与机制研究 唐顺, 杨宏伟, 王小任, 解跃峰 (972)

磷回收对厌氧/好氧交替式生物滤池蓄磷/除磷的影响 张顺, 田晴, 汤曼琳, 李方 (979)

预处理方法对玉米芯作为反硝化固体碳源的影响 赵文莉, 郝瑞霞, 李斌, 张文怡, 杜鹏 (987)

陶粒 CANON 反应器的接种启动与运行 付昆明, 左早荣, 仇付国 (995)

冬季低温下 MBR 与 CAS 工艺运行及微生物群落特征 黄菲, 梅晓洁, 王志伟, 吴志超 (1002)

烷基多苷促进污泥水解产酸的研究 陈灿, 孙秀云, 黄诚, 沈锦优, 王连军 (1009)

高温厌氧消化中底物浓度对病原指示微生物杀灭的影响 操宏庆, 章菲菲, 李健, 童子林, 胡真虎 (1016)

兰州市大气降尘重金属污染评价及健康风险评价 李萍, 薛粟尹, 王胜利, 南忠仁 (1021)

珠江河口水域有机磷农药水生生态系统风险评价 郭强, 田慧, 毛潇萱, 黄韬, 高宏, 马建民, 吴军年 (1029)

海州湾表层沉积物重金属的来源特征及风险评价 李飞, 徐敏 (1035)

再生水无计划间接补充饮用水的雌激素健康风险 吴乾元, 邵一如, 王超, 孙艳, 胡洪营 (1041)

瓦埠湖流域庄集镇农田土壤氮磷分布及流失风险评估 李如忠, 邹阳, 徐晶晶, 丁贵珍 (1051)

三峡库区消落带土壤汞形态分布与风险评估 张成, 陈宏, 王定勇, 孙荣国, 张金洋 (1060)

基于棕地的居民小区土壤重金属健康风险评价 陈星, 马建华, 李新宁, 刘德新, 李一蒙 (1068)

干旱区绿洲土壤氟污染生态风险评估研究 薛粟尹, 李萍, 王胜利, 南忠仁 (1075)

缙云山 3 种典型森林降雨过程及其氮素输入 孙素琪, 王玉杰, 王云琦, 张会兰, 于雷, 刘婕 (1081)

三峡库区兰陵溪小流域土地利用及景观格局对氮磷输出的影响 韩黎阳, 黄志霖, 肖文发, 田耀武, 曾立雄, 吴东 (1091)

黄土丘陵区县域农田土壤近 30 年有机碳变化及影响因素研究: 以甘肃庄浪县为例 师晨迪, 许明祥, 邱宇洁, 张志霞, 张晓伟 (1098)

天然林土壤有机碳及矿化特征研究 杨添, 戴伟, 安晓娟, 庞欢, 邹建美, 张瑞 (1105)

不同土壤湿润速率下中性紫色土磷素淋溶的动态变化 张思兰, 石孝均, 郭涛 (1111)

硫脲对酸性红壤 pH 值与金属元素有效性的影响 杨波, 王文, 曾清如, 周细红 (1119)

6 种陕北适生豆科植物生长对原油污染土壤的响应 山宝琴, 张永涛, 曹巧玲, 康振妍, 李淑媛 (1125)

基于 N:P 化学计量特征的高寒草甸植物养分状况研究 张仁懿, 徐当会, 陈凌云, 王刚 (1131)

人工生物结皮的发育演替及表土持水特性研究 吴丽, 陈晓国, 张高科, 兰书斌, 张德禄, 胡春香 (1138)

农田土壤自养微生物碳同化潜力及其功能基因数量、关键酶活性分析 陈晓娟, 吴小红, 简燕, 袁红朝, 周萍, 葛体达, 童成立, 邹冬生, 吴金水 (1144)

中亚热带马尾松林凋落物分解过程中的微生物与酶活性动态 宋影, 辜夕容, 严海元, 毛文韬, 吴雪莲, 万宇轩 (1151)

苏南地区香樟树皮中有机氯农药 (OCPs) 的污染水平及来源解析 周丽, 张秀蓝, 杨文龙, 李玲玲, 史双昕, 张利飞, 董亮, 黄业茹 (1159)

UV-B 辐射增强与 1,2,4-三氯苯污染复合胁迫对青菜生长的影响 刘翠英, 樊建凌, 徐向华 (1164)

Cu 和 Cd 胁迫下接种外生菌根真菌对油松根际耐热蛋白固持重金属能力的影响 张英伟, 柴立伟, 王东伟, 汪杰, 黄艺 (1169)

对硝基苯胺耐盐降解菌 S8 的筛选及特性研究 宋彩霞, 邓新平, 厉阆, 肖伟 (1176)

克雷伯氏菌生产絮凝剂 M-C11 的培养优化及其在污泥脱水中的应用 刘杰伟, 马俊伟, 刘彦忠, 杨娅, 岳东北, 王洪涛 (1183)

铅元素人为循环环境释放物形态分析 梁静, 毛建素 (1191)

污染排放与环境质量关系模型构建与应用 李名升, 孙媛, 陈远航, 张建辉 (1198)

微囊藻毒素微生物降解途径与分子机制研究进展 闫海, 王华生, 刘晓璐, 尹春华, 许倩倩, 吕乐, 马万彪 (1205)

《环境科学》征订启事 (809) 《环境科学》征稿简则 (819) 信息 (971, 978, 1050, 1175)

苏南地区香樟树皮中有机氯农药 (OCPs) 的污染水平及来源解析

周丽, 张秀蓝, 杨文龙, 李玲玲, 史双昕, 张利飞, 董亮, 黄业茹*

(国家环境分析测试中心, 北京 100029)

摘要: 利用树皮作为被动采样介质, 2012 年 8 月于苏南地区采集了 33 个香樟树皮进行有机氯农药 (OCPs) 的分析. 结果表明, 苏南地区香樟树皮中六氯苯 (HCB)、滴滴涕 (DDTs) 和氯丹 (Chlordanes) 的含量范围 (以干重计) 分别为 0.31 ~ 1.81、0.40 ~ 17.3 和 n. d. ~ 1.03 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$. 由于六氯苯挥发性较强, 其含量的空间差异性不明显. 同其它研究结果相比, 苏南地区树皮中六氯苯含量相对较低. 苏南地区 DDT 主要来源于工业 DDT 的历史残留和三氯杀螨醇的使用. 根据反式氯丹 (TC)/顺式氯丹 (CC) 的比值判定, 苏南地区城区中氯丹可能来源于近期的直接使用, 而乡村地区则来源于历史残留.

关键词: 香樟树; 树皮; 有机氯农药; 源解析; 苏南

中图分类号: X131 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)03-1159-05 DOI: 10.13227/j.hjxx.2014.03.048

Levels and Possible Sources of Organochlorine Pesticides (OCPs) in Camphor (*Cinnamomum camphora*) Tree Bark from Southern Jiangsu, China

ZHOU Li, ZHANG Xiu-lan, YANG Wen-long, LI Ling-ling, SHI Shuang-xin, ZHANG Li-fei, DONG Liang, HUANG Ye-ru

(National Research Center for Environmental Analysis & Measurement, Beijing 100029, China)

Abstract: Thirty-three camphor tree bark samples were collected from Southern Jiangsu in August 2012. They were analyzed for organochlorine pesticides (OCPs), including hexachlorobenzene (HCB), DDTs (*o,p'*-DDE, *p,p'*-DDE, *o,p'*-DDD, *p,p'*-DDD, *o,p'*-DDT and *p,p'*-DDT), *trans*-chlordane and *cis*-chlordane. The concentrations of HCB, \sum_6 DDTs and \sum Chlordanes ranged (dw) from 0.31 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ to 1.81 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$, 0.40 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ to 17.3 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ and n. d. to 1.03 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$, respectively. Due to the high volatility, the spatial distribution of HCB in Southern Jiangsu was uniform. Compared to the other results, the HCB concentration in Southern Jiangsu was lower. The historical usage of technical DDT mixture and the dicofol-type DDT were the major sources of DDTs in southern Jiangsu. The TC/CC ratio is usually used to distinguish between aged and fresh chlordane. According to the ratio of TC/CC, the chlordane in the urban area was derived from the fresh application of technical chlordane, and that in the rural area was attributed to the historical usage.

Key words: camphor; tree bark; organochlorine pesticides (OCPs); sources; Southern Jiangsu

在 20 世纪 60 ~ 80 年代有机氯农药曾是我国大量生产和使用的农药, 其中六氯苯、氯丹和 DDT 是我国环境介质中检出比例较高并占主要成分的有机氯农药^[1~4], 同时也是列入斯德哥尔摩公约首批禁用的持久性有机污染物 (POPs). 由于其在环境中的持久性, 并且在环境中通过生物链进行传递, 所以有机氯农药可造成环境危害, 影响人体健康. 有机氯农药具有半挥发性, 可以在大气中存在并且通过大气进行长距离传输^[5].

大气是半挥发性有机污染物扩散和迁移的主要途径, 近年来大气被动采样技术作为区域范围内开展大气环境科学研究的主要手段, 得到了广泛的应用, 比如 PUF 采样装置^[6,7]、XAD 和 SPMDs^[8], 但是这些采样器通常需放置几周或几个月, 并且不适用

于采集颗粒态化合物. 另外大气中有机污染物可通过干、湿沉降作用富集在植物中. 地衣、苔藓、树叶、树皮等被动采样介质也被广泛用于大气污染监测^[8~10]. 树皮与大气直接接触, 大气中颗粒态的 POPs 易被皮孔所捕获, 同时气态 POPs 可通过气体扩散经皮孔进入树皮, 树皮单位面积脂含量高以及生命周期长等特点, 使其可用作大气被动采样介质^[11]. 树皮被用来监测各种污染物包括无机物和有机物, 比如重金属、无机盐类、PAHs、OCPs、PCBs、

收稿日期: 2013-07-11; 修订日期: 2013-09-12

基金项目: 环境保护公益性行业科研专项 (20100902601); 科技部创新方法研究专项 (2010IM031000)

作者简介: 周丽 (1977 ~), 女, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为环境中持久性有机污染物, E-mail: zhliou@163.com

* 通讯联系人, E-mail: yrhuang@cneac.com

PBDEs 和 PCDD/Fs 等^[12~16]. Salamova 等^[10] 研究表明树皮中 DDTs 和氯丹 (Chlordanes) 同大气气态中的化合物含量有较好的线性关系. Simonich 等^[17] 通过分析树皮中有机氯农药, 显示有机氯农药的含量 (比如六氯苯、反式九氯和狄氏剂) 和不同国家与地区的社会经济发展水平是线性相关的.

江苏省是我国经济高速发展的省份之一, 尤其是苏南地区. 江苏省人均 GDP 在 2012 年位居全国第一 (<http://www.jssb.gov.cn/>). 苏南地区有很多高新技术产业带, 比如 IT 产业带、新材料和重化工产业带以及新医药产业带. 由于经济的高速发展, 城市的迅速扩张, 给环境带来了巨大的压力, 尤其是近年来大气污染问题愈加严重, 长江三角洲地区环境中的持久性有机物日益引起人们的关注. 本实验选取苏南地区作为研究区域, 分析了树皮中有机氯农药 (HCB、Chlordanes 和 DDTs) 的污染水平和空间分布特征, 并探讨其污染的可能来源.

1 材料与方法

1.1 试剂与材料

OCPs 混合标样、回收率指示物¹³C₁₂-*p,p'*-DDT、进样内标氟菲、氟苾和氟蒽均购自美国 AccuStandard 公司, 佛罗里硅土柱 (12 mL 2 g) 购于美国 Supelco 公司. 实验所用丙酮、正己烷和二氯甲烷均为农残级 (J. T. Baker, 美国). 无水硫酸钠、硅藻土和硅酸镁均为优级纯, 使用前于 500°C 马弗炉中灼烧 5 h, 冷却后密封存于干燥器中备用.

1.2 样品采集与保存

2012 年 8 月在江苏省境内采集香樟树皮, 香樟树是南方比较常见的树种. 采样点分别位于苏州、无锡、南通、常熟、张家港、昆山, 根据城市功能区的不同, 在每个城市选择市中心商业区、城乡结合部和远郊区进行采样. 采样点位置如图 1 所示. 在距离地面 1.5 m 左右的高度采集树皮, 尽量选择没有地衣、苔藓等附生植物类的区域. 采集后的样品用锡纸包裹, 封口袋密封后, -20°C 保存以备分析.

1.3 样品前处理

树皮经冷冻干燥、研磨混合均匀后, 称取 18 g 左右样品, 萃取池底部加入 3 g 硅藻土, 加入 10 μL 10 μg·mL⁻¹ ¹³C₁₂-*p,p'*-DDT 作为回收率指示物, 进行快速溶剂萃取后 (ASE 提取条件: 萃取溶剂 1:1 的丙酮和正己烷混合溶液; 温度 100°C; 压力 1 500 psi; 加热时间 5 min; 静态萃取时间 5 min; 循环 2 次; 吹扫时间 60 s), 在漏斗里加入 10 g 左右无水 Na₂SO₄

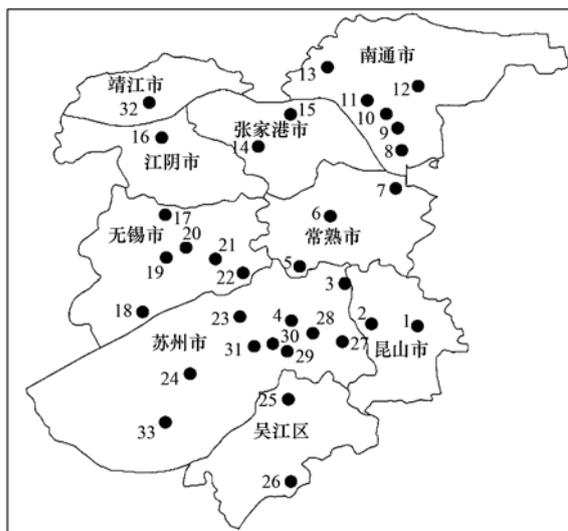


图 1 苏南地区采样点示意

Fig. 1 Map of the sampling sites in Southern Jiangsu

过滤, 旋转蒸发浓缩, 用 15 mL 正己烷交换一次溶剂, 浓缩至约 15 mL 左右, 加入 3 g MgSiO₃, 放入冰箱冷冻放置过夜后, 在漏斗里加入 3 g 左右无水 Na₂SO₄ 过滤, 然后旋转蒸发浓缩, 用 10 mL 正己烷交换两次溶剂, 浓缩至约 1 mL 左右, 过 Florisil 柱, 用 25 mL 20% CH₂Cl₂/Hexane 淋洗后, 旋转蒸发浓缩, 用 10 mL 正己烷交换两次溶剂, 浓缩至约 1 mL 左右, 提取氮吹仪浓缩, 添加进样内标 (phenanthrene-*d*10、pyrene-*d*10 和 chrysene-*d*12), 上机待测.

1.4 仪器分析

样品测定采用岛津公司 QP2010 plus 气质联用仪. 色谱柱为 Rtx-5MS (30 m × 0.25 mm × 0.25 μm, Restek). 程序升温为 60°C (2 min) → 30°C · min⁻¹ → 200°C → 5°C · min⁻¹ → 270°C → 30°C · min⁻¹ → 320°C (5 min). 不分流进样, 进样量为 2 μL; 载气流速为 1.03 mL · min⁻¹; 进样口温度为 270°C; 接口温度为 280°C; 质谱的电离方式为电子轰击源 (EI), 采集方式为选择离子模式 (SIM).

1.5 质量控制与质量保证

每 6 个样品做一个实验室全程序空白, 结果表明空白中未检出目标化合物. 每分析 10 个样品进行进样口惰性检查, 如果 *p,p'*-DDT 降解比例大于 20% 则需更换新的衬管或截取 10 cm 左右进样口端色谱柱. 使用丙酮萃取过的树皮样品作为清洁基体, OCPs 的清洁基体加标回收率为 70% ~ 116%, 回收率指示物¹³C₁₂-*p,p'*-DDT 的回收率为 76% ~ 110%. 分析结果未经回收率校正. OCPs 方法检出限 (以干

重计)为 $0.02 \sim 0.08 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

2 结果与讨论

2.1 六氯苯(HCB)

六氯苯不仅是一种杀菌剂也是某些含氯工业品(五氯酚和五氯酚钠)的中间体。在我国六氯苯只作为工业化学品进行登记,而非农药用途,截至2004年停止生产,累计生产约80 000 t^[18]。本研究六氯苯在所有样品中均有检出,分析结果见表1。六氯苯的含量范围为 $0.31 \sim 1.81 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$, 平均值

为 $0.79 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$, 同其它研究结果相比,苏南地区树皮中六氯苯含量相对较低(见表2),可能是松针比香樟树皮脂含量高、比表面积大,吸附能力强造成的^[11]。六氯苯含量的空间差异性不明显(图2),城市和乡村之间没有显著性差异(t 检验, $P > 0.05$),这主要是由于六氯苯挥发性较强以及在大气中的扩散传输造成的。Yang等^[2]和 Hellström等^[19]也分别报道了松针中六氯苯在青藏高原和欧洲的分布差别不大。在韩国大气中六氯苯的空间分布也无明显差别^[20]。

表1 苏南地区香樟树皮中有机氯农药含量(以干重计)¹⁾/ $\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$

Table 1 Summary of OCPs concentrations in camphor tree bark from Southern Jiangsu (dry weight)/ $\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$

化合物	含量范围	平均值	标准偏差	中位值
六氯苯(HCB)	0.31 ~ 1.81	0.79	0.34	0.68
<i>o,p'</i> -DDE	0.06 ~ 0.37	0.17	0.08	0.16
<i>p,p'</i> -DDE	0.35 ~ 2.90	1.52	0.69	1.37
<i>o,p'</i> -DDD	n. d. ~ 0.90	0.33	0.25	0.33
<i>p,p'</i> -DDD	n. d. ~ 3.33	1.42	0.84	1.24
<i>o,p'</i> -DDT	n. d. ~ 4.22	1.59	0.95	1.57
<i>p,p'</i> -DDT	n. d. ~ 6.1	1.65	1.21	1.60
\sum_6 DDTs	0.40 ~ 17.3	6.63	3.45	6.27
反式氯丹(TC)	n. d. ~ 0.77	0.08	0.06	0.07
顺式氯丹(CC)	n. d. ~ 0.26	0.06	0.05	0.06
\sum Chlordanes	n. d. ~ 1.03	0.16	0.19	0.13
<i>p,p'</i> -DDT / <i>p,p'</i> -DDE + <i>p,p'</i> -DDD	0 ~ 1.5	0.52	0.30	0.48
<i>o,p'</i> -DDT / <i>o,p'</i> -DDE + <i>o,p'</i> -DDD	0 ~ 12.8	3.72	2.79	3.65
<i>o,p'</i> -DDT / <i>p,p'</i> -DDT	0 ~ 4.49	1.23	0.93	1.01

1) n. d. 为未检出

表2 不同地区树皮中OCPs含量(以干重计)¹⁾/ $\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$

Table 2 Comparison of OCPs concentrations in plants of different regions (dry weight)/ $\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$

研究区域	HCB	DDTs	Chlordanes	采样介质	文献
苏南地区	0.31 ~ 1.81 (0.79)	0.45 ~ 17.3 (6.64)	n. d. ~ 1.03 (0.16)	树皮	本研究
青藏高原	0.69 ~ 4.3 (1.7)	1.9 ~ 20.5 (5.3)	—	松针	[2]
美国五大湖	—	0.14 ~ 3.08	n. d. ~ 2.17	树皮	[10]
中欧和东欧	n. d. ~ 10.1	0.03 ~ 18.0	—	松针	[19]

1) n. d. 为未检出;括号中数值为平均值

2.2 DDTs

\sum_6 DDTs (*o,p'*-DDE、*p,p'*-DDE、*o,p'*-DDD、*p,p'*-DDD、*o,p'*-DDT 和 *p,p'*-DDT) 的含量范围为 $0.40 \sim 17.3 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ (表1), 平均值为 $6.63 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ 。除1、4、26和27号外,6种DDT在所有采样点位均有检出,含量分布见图2。含量最高点为19号,位于无锡市监测站市中心附近。含量最低点为26号,位于吴江市盛泽镇中心。DDTs在城市和乡村之间没有明显差别($P > 0.05$)。苏南地区树皮中DDTs的含量水平与青藏高原以及中东欧的含量相近,但是高于美国五大湖地区的含量水平(表2)。

DDT及其代谢产物间的比例通常可用来判定DDT的来源。工业DDT由65%~80%的*p,p'*-DDT和15%~21%的*o,p'*-DDT组成,因此*o,p'*-DDT/*p,p'*-DDT的比值在0.2~0.3之间,而在三氯杀螨醇中*o,p'*-DDT/*p,p'*-DDT的比值是 7.0 ± 2.2 ^[21]。三氯杀螨醇是通过工业DDT合成的,所以工业三氯杀螨醇中*o,p'*-DDT的比例高于*p,p'*-DDT。*o,p'*-DDT/*p,p'*-DDT间的比值可用来判定DDT是否来源于三氯杀螨醇的使用。DDT/DDE + DDD的比值 > 1 ,说明有新的DDTs输入源,反之DDTs来源于历史残留。本研究中*p,p'*-DDT/*p,p'*-DDE + *p,p'*-DDD的比值在

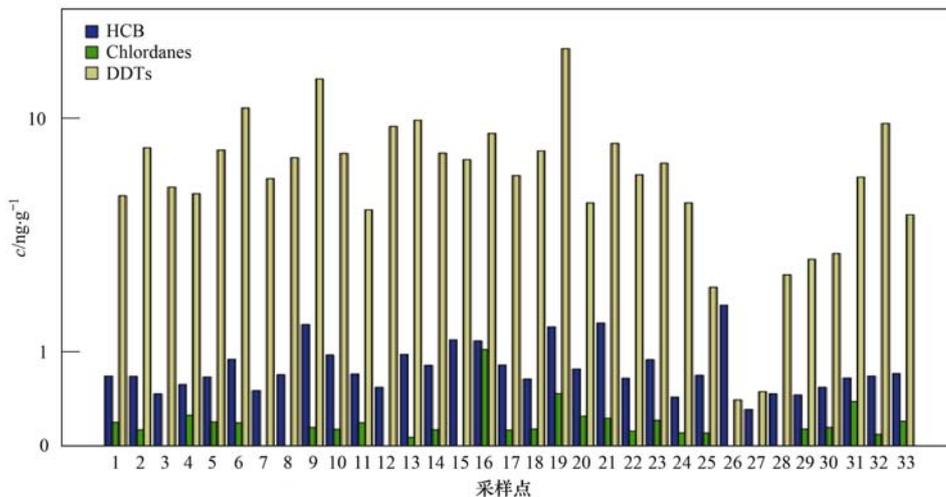


图2 各采样点的 HCB、Chlordanes 和 \sum_6 DDTs 的含量分布

Fig. 2 Concentrations of HCB, Chlordanes and \sum_6 DDTs in the sampling sites

0 ~ 1.497 之间. 除 21 号比值为 1.497 外, 其余均小于 1, 说明苏南地区的 p, p' -DDT 主要来源于工业 DDT 的历史残留. 大部分采样点位 (大于 90%) 的 o, p' -DDT/ o, p' -DDE + o, p' -DDD 的比值大于 1, 说明有新的 o, p' -DDT 源的输入. 26 号和 27 号点位未检出 o, p' -DDT, o, p' -DDT/ p, p' -DDT 的比值在 0 ~ 4.49 之间, 除 26 号和 27 号点位之外, 其余点位 o, p' -DDT/ p, p' -DDT 的比值均大于 0.3, 这解释了新输入的 o, p' -DDT 主要来源于三氯杀螨醇. 综上所述, 苏南地区的 DDTs 主要来源于工业 DDT 的历史残留和三氯杀螨醇的使用. 在 1983 年禁用以前, 中国共使用了 270 000 t 工业 DDT^[21]. 在此之后, 工业 DDT 主要用于防治疟疾、防锈漆和合成三氯杀螨醇等用途. 1988 ~ 2002 年间, 国内生产的 DDT, 近 80% 用来生产三氯杀螨醇^[22]. 众多研究表明, 三氯杀螨醇类 DDTs 已成为我国环境介质中 DDT 类农药残留新的主要来源, 比如大气^[1,23,24]、水^[4]、土壤^[3,22,25]、底泥^[26]和生物体^[27], 因此控制三氯杀螨醇的使用将可以有效控制我国 DDT 的污染.

2.3 氯丹 (Chlordanes)

工业氯丹由多种化合物组成, 其主要成分是反式氯丹 (TC, 13%)、顺式氯丹 (CC, 11%)、反式九氯 (TN, 5%) 和七氯 (5%), 工业氯丹中 TC/CC 的比值为 1.18^[28]. 氯丹在我国仍在生产和使用, 江苏省历史上有多家生产氯丹的化工厂, 2004 年的生产量为 363 t^[18]. 反式氯丹含量为 n. d. ~ 0.77 ng·g⁻¹ (见表 1), 平均值为 0.08 ng·g⁻¹. 顺式氯丹含量为 n. d. ~ 0.26 ng·g⁻¹, 平均值为 0.06 ng·g⁻¹. \sum Chlordanes 的含量范围为 n. d. ~ 1.03 ng·g⁻¹,

平均值为 0.16 ng·g⁻¹. 树皮中 TC (反式氯丹) 与 CC (顺式氯丹) 之间有显著的相关性 ($r^2 = 0.759$, $P = 0.01$). 苏南地区树皮中氯丹的含量水平同 Salamova 等^[10]报道的美国五大湖地区树皮中含量水平相似 (表 2). Chlordanes 在城市和乡村之间没有明显差别 ($P > 0.05$), 但是对于氯丹含量最高的几个采样点 16 号 (1.03 ng·g⁻¹)、19 号 (0.47 ng·g⁻¹) 和 31 号 (0.39 ng·g⁻¹), 都位于城市居民区附近. 氯丹在我国南方主要用于白蚁防治, 在房屋建筑时, 大量的氯丹用来处理房基, 这可能是这几个采样点氯丹含量较高的原因. 在环境介质中, 反式氯丹比顺式氯丹易降解, 因此它们之间的比值常用来区分是历史残留还是新污染源的输入^[20]. 本研究中 TC/CC 的比值为 0 ~ 2.96, 中位值为 1.19. 11、19 和 31 号点位氯丹的比值大约 1.18, 应该来源于工业氯丹的直接使用. 同时在比值大于 1.18 的采样点位中大部分也分布在城市附近, 而比值小于 1.18 的采样点位多分布在乡村或偏远地区, 说明苏南地区城区中氯丹可能来源于近期的直接使用, 而乡村地区则来源于历史残留.

3 结论

苏南地区香樟树皮中六氯苯 (HCB)、滴滴涕 (DDTs) 和氯丹 (Chlordanes) 的含量范围分别为 0.31 ~ 1.81 ng·g⁻¹、0.40 ~ 17.3 ng·g⁻¹ 和 n. d. ~ 1.03 ng·g⁻¹. 由于六氯苯挥发性较强, 城市和乡村之间没有显著性差异 ($P > 0.05$), 其含量的空间差异性不明显. 同其它研究结果相比, 苏南地区树皮中六氯苯含量相对较低, 可能是松针比香樟树皮脂含

量高、比表面积大, 吸附能力强造成的. 苏南地区 DDT 主要来源于工业 DDT 的历史残留和三氯杀螨醇的使用. 根据 TC/CC 的比值判定, 苏南地区城区中氯丹可能来源于近期的直接使用, 而乡村地区则来源于历史残留.

参考文献:

- [1] 李志刚, 周志华, 古添发, 等. 深圳市冬、夏两季大气中有机氯农药的研究[J]. 中国环境科学, 2011, **31**(5): 724-728.
- [2] Yang R Q, Yao T D, Xu B Q, *et al.* Distribution of organochlorine pesticides (OCPs) in conifer needles in the southeast Tibetan Plateau[J]. Environmental Pollution, 2008, **153**(1): 92-100.
- [3] 蒋焯峰, 王学彤, 孙阳昭, 等. 上海市城区土壤中有机氯农药残留研究[J]. 环境科学, 2010, **31**(2): 409-414.
- [4] Lin T, Li J, Xu Y, *et al.* Organochlorine pesticides in seawater and the surrounding atmosphere of the marginal seas of China: Spatial distribution, sources and air-water exchange[J]. Science of the Total Environment, 2012, **435-436**: 244-252.
- [5] Li J, Zhang G, Guo L L, *et al.* Organochlorine pesticides in the atmosphere of Guangzhou and Hong Kong: Regional sources and long-range atmospheric transport[J]. Atmospheric Environment, 2007, **41**(18): 3889-3903.
- [6] Harner T, Pozo K, Gouin T, *et al.* Global pilot study for persistent organic pollutants (POPs) using PUF disk passive air samplers[J]. Environmental Pollution, 2006, **144**(2): 445-452.
- [7] Li Y M, Geng D W, Liu F B, *et al.* Study of PCBs and PBDEs in King George Island, Antarctica, using PUF passive air sampling[J]. Atmospheric Environment, 2012, **51**: 140-145.
- [8] Schrlau J E, Geiser L, Hageman K J, *et al.* Comparison of lichen, conifer needles, passive air sampling devices, and snowpack as passive sampling media to measure semi-volatile organic compounds in remote atmospheres [J]. Environmental Science and Technology, 2011, **45**(24): 10354-10361.
- [9] Tian M, Chen S J, Wang J, *et al.* Plant uptake of atmospheric brominated flame retardants at an E-waste site in southern China [J]. Environmental Science and Technology, 2012, **46**(5): 2708-2714.
- [10] 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.
- [11] 赵玉丽, 杨利民, 王秋泉. 植物——实时富集大气持久性有机污染物的被动采样平台[J]. 环境化学, 2005, **24**(3): 233-240.
- [12] Schulz H, Popp P, Huhn G, *et al.* Biomonitoring of airborne inorganic and organic pollutants by means of pine tree barks. I. Temporal and spatial variations [J]. Science of the Total Environment, 1999, **232**(1-2): 49-58.
- [13] Satake K, Tanaka A, Kimura K. Accumulation of lead in tree trunk bark pockets as pollution time capsules[J]. Science of the Total Environment, 1996, **181**(1): 25-30.
- [14] Guéguen F, Stille P, Millet M. Air quality assessment by tree bark biomonitoring in urban, industrial and rural environments of the Rhine Valley: PCDD/Fs, PCBs and trace metal evidence [J]. Chemosphere, 2011, **85**(2): 195-202.
- [15] Orecchio S, Gianguzza A, Culotta L. Absorption of polycyclic aromatic hydrocarbons by Pinus bark; analytical method and use for environmental pollution monitoring in the Palermo area (Sicily, Italy) [J]. Environmental Research, 2008, **107**(3): 371-379.
- [16] Wen S, Yang F, Li J G, *et al.* Polychlorinated dibenzo-*p*-dioxin and dibenzofurans (PCDD/Fs), polybrominated diphenyl ethers (PBDEs), and polychlorinated biphenyls (PCBs) monitored by tree bark in an E-waste recycling area[J]. Chemosphere, 2009, **74**(7): 981-987.
- [17] Simonich S L, Hites R A. Relationships between socioeconomic indicators and concentrations of organochlorine pesticides in tree bark [J]. Environmental Science and Technology, 1997, **31**(4): 999-1003.
- [18] 国家环境保护总局. 中华人民共和国履行《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》国家实施计划[EB/OL]. <http://wenku.baidu.com/view/dab475a30029bd64783e2c62.html>.
- [19] Hellström A, Kylin H, Strachan W M J, *et al.* Distribution of some organochlorine compounds in pine needles from Central and Northern Europe [J]. Environmental Pollution, 2004, **128**(1-2): 29-48.
- [20] Park J S, Shin S K, Kim W I, *et al.* Residual levels and identify possible sources of organochlorine pesticides in Korea atmosphere [J]. Atmospheric Environment, 2011, **45**(39): 7496-7502.
- [21] Qiu X H, Zhu T. Using the *o,p'*-DDT/*p,p'*-DDT ratio to identify DDT sources in China[J]. Chemosphere, 2010, **81**(8): 1033-1038.
- [22] Yang X L, Wang S S, Bian Y R, *et al.* Dicolofol application resulted in high DDTs residue in cotton fields from northern Jiangsu province, China [J]. Journal of Hazardous Materials, 2008, **150**(1): 92-98.
- [23] Qiu X H, Zhu T, Li J, *et al.* Organochlorine pesticides in the air around the Taihu Lake, China [J]. Environmental Science and Technology, 2004, **38**(5): 1368-1374.
- [24] 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): 266-271.
- [25] 朱晓华, 杨永亮, 潘静, 等. 广州部分区域表层土壤中有机氯农药分布特征 [J]. 环境科学研究, 2012, **25**(5): 519-525.
- [26] Zhang J Q, Qi S H, Xing X L, *et al.* Organochlorine pesticides (OCPs) in soils and sediments, southeast China: A case study in Xinghua Bay [J]. Marine Pollution Bulletin, 2011, **62**(6): 1270-1275.
- [27] Guo J Y, Wu F C, Zhang L, *et al.* Characteristics of DDTs in fish from Lake Taihu: An indicator of continual DDTs input in China [J]. Science of the Total Environment, 2012, **437**: 196-199.
- [28] Bidleman T F, Jantunen L L M, Helm P A, *et al.* Chlordane enantiomers and temporal trends of chlordane isomers in Arctic air [J]. Environmental Science and Technology, 2000, **36**(4): 539-544.

CONTENTS

Concentration and Community Diversity of Microbes in Bioaerosols in the Qingdao Coastal Region	QI Jian-hua, WU Li-jing, GAO Dong-mei, <i>et al.</i> (801)
Carbon Source Apportionment of PM _{2.5} in Chongqing Based on Local Carbon Profiles	ZHANG Can, ZHOU Zhi-en, ZHAI Chong-zhi, <i>et al.</i> (810)
Observation of Atmospheric Pollutants in the Urban Area of Beibei District, Chongqing	XU Peng, HAO Qing-ju, JI Dong-sheng, <i>et al.</i> (820)
A Floating-Dust Case Study Based on the Vertical Distribution of Aerosol Optical Properties	WANG Yuan, DENG Jun-ying, SHI Lan-hong, <i>et al.</i> (830)
Analysis and Assessment of Atmospheric Pollution Based on Accumulation Characterization of Heavy Metals in <i>Platanus acerifolia</i> Leaves	LIU Ling, FANG Yan-ming, WANG Shun-chang, <i>et al.</i> (839)
Study on the Emission Characteristics and Potential Environment Hazards of the Heat-setting Machine of the Typical Dyeing and Finishing Enterprise	XU Zhi-rong, WANG Peng, WANG Zhe-ming, <i>et al.</i> (847)
Implementation Results of Emission Standards of Air Pollutants for Thermal Power Plants; a Numerical Simulation	WANG Zhan-shan, PAN Li-bo (853)
On Road Particle Emission Characteristics of a Chinese Phase IV Natural Gas Bus	LOU Di-ming, CHENG Wei, FENG Qian (864)
Chemical Compositions of <i>n</i> -Alkanols in Smoke from Rice and Maize Straw Combustion	LIU Gang, LI Jiu-hai, WU Dan, <i>et al.</i> (870)
Diurnal and Seasonal Variations of Surface Atmospheric CO ₂ Concentration in the River Estuarine Marsh	ZHANG Lin-hai, TONG Chuan, ZENG Cong-sheng (879)
Partial Pressure and Diffusion Flux of Dissolved Carbon Dioxide in the Mainstream and Tributary of the Central Three Gorges Reservoir in Summer	LI Shuang, WANG Yu-chun, CAO Man, <i>et al.</i> (885)
Emission of CH ₄ , N ₂ O and NH ₃ from Vegetable Field Applied with Animal Manure Composts	WAN He-feng, ZHAO Chen-yang, ZHONG Jia, <i>et al.</i> (892)
Effects of Different Iron Oxides on Methane Emission in Paddy Soil as Related to Drying/Wetting Cycles	ZHANG Tian-jiao, TANG Jia, ZHUANG Li, <i>et al.</i> (901)
Study on the Dissolution Behavior of Biogenic Silica in the Changjiang Estuary Adjacent Sea	WU Bin, LÜ Wei-xiang, LU Chao, <i>et al.</i> (908)
Phytoplankton Community Structure and Assessment of Water Quality in the Middle and Lower Reaches of Fenhe River	WANG Ai-ai, FENG Jia, XIE Shu-lian (915)
Lake Algae Chemotaxonomy Technology Based on Fluorescence Excitation Emission Matrix and Parallel Factor Analysis	CHEN Xiao-na, HAN Xiu-rong, SU Rong-guo, <i>et al.</i> (924)
Ultraviolet-Visible (UV-Vis) Spectral Characteristics of Dissolved Organic Matter (DOM) in Soils and Sediments of Typical Water-Level Fluctuation Zones of Three Gorges Reservoir Areas	LI Lu-lu, JIANG Tao, YAN Jin-long, <i>et al.</i> (933)
Distribution of Phosphorus in Surface Sediments from the Yellow River Estuary Wetland	YU Zi-yang, DU Jun-tao, YAO Qing-zhen, <i>et al.</i> (942)
Characteristics and Influencing Factors of Phosphorus Adsorption on Sediment in Lake Taihu and Lake Hulun	CHUAI Xiao-ming, YANG Liu-yan, CHENG Shu-bo, <i>et al.</i> (951)
Linking Optical Properties of Dissolved Organic Matter with NDMA Formation Potential in the Huangpu River	DONG Qian-qian, ZHANG Ai, LI Yong-mei, <i>et al.</i> (958)
Reductive Debromination of Polybrominated Diphenyl Ethers in Aquifer by Nano Zero-valent Iron: Debromination Kinetics and Pathway	YANG Yu-han, XU Wei-wei, PENG Si-kan, <i>et al.</i> (964)
Influencing Factors and Reaction Mechanism of Chloroacetic Acid Reduction by Cast Iron	TANG Shun, YANG Hong-wei, WANG Xiao-mao, <i>et al.</i> (972)
Effect of Phosphorus Recovery on Phosphorous Bioaccumulation/Harvesting in an Alternating Anaerobic/Aerobic Biofilter System	ZHANG Shun, TIAN Qing, TANG Man-lin, <i>et al.</i> (979)
Effects of Pretreatment Methods on Corncob as Carbon Source for Denitrification	ZHAO Wen-li, HAO Rui-xia, LI Bin, <i>et al.</i> (987)
Start-Up by Inoculation and Operation of a CANON Reactor with Haydite as the Carrier	FU Kun-ming, ZUO Zao-rong, QIU Fu-guo (995)
Diversity of Operation Performance and Microbial Community Structures in MBRs and CAS Processes at Low Temperature	HUANG Fei, MEI Xiao-jie, WANG Zhi-wei, <i>et al.</i> (1002)
Enhanced Hydrolysis and Acidification of Waste Activated Sludge by Alkyl Polyglycosides	CHEN Can, SUN Xiu-yun, HUANG Cheng, <i>et al.</i> (1009)
Effect of Substrate Concentration on Pathogen Indicators Inactivation During Thermophilic Anaerobic Digestion	CAO Hong-qing, ZHANG Fei-fei, LI Jian, <i>et al.</i> (1016)
Pollution Evaluation and Health Risk Assessment of Heavy Metals from Atmospheric Deposition in Lanzhou	LI Ping, XUE Su-yin, WANG Sheng-li, <i>et al.</i> (1021)
Ecological Risk Assessment of Organophosphorus Pesticides in Aquatic Ecosystems of Pearl River Estuary	GUO Qiang, TIAN Hui, MAO Xiao-xuan, <i>et al.</i> (1029)
Source Characteristics and Contamination Evaluation of Heavy Metals in the Surface Sediments of Haizhou Bay	LI Fei, XU Min (1035)
Health Risk Induced by Estrogens During Unplanned Indirect Potable Reuse of Reclaimed Water from Domestic Wastewater	WU Qian-yuan, SHAO Yi-ru, WANG Chao, <i>et al.</i> (1041)
Distribution Characteristics and Erosion Risk of Nitrogen and Phosphorus in Soils of Zhuangnu Town in Lake Wabuhu Basin	LI Ru-zhong, ZOU Yang, XU Jing-jing, <i>et al.</i> (1051)
Distribution and Risk Assessment of Mercury Species in Soil of the Water-Level-Fluctuating Zone in the Three Gorges Reservoir	ZHANG Cheng, CHEN Hong, WANG Ding-yong, <i>et al.</i> (1060)
Health Risk Assessment of Soil Heavy Metals in Residential Communities Built on Brownfields	CHEN Xing, MA Jian-hua, LI Xin-ning, <i>et al.</i> (1068)
Study on Ecological Risk Assessment Technology of Fluoride Pollution from Arid Oasis Soil	XUE Su-yin, LI Ping, WANG Sheng-li, <i>et al.</i> (1075)
Rainfall Process and Nitrogen Input in Three Typical Forests of Jinyun Mountain	SUN Su-qi, WANG Yu-jie, WANG Yun-qi, <i>et al.</i> (1081)
Effects of Land Use and Landscape Pattern on Nitrogen and Phosphorus Exports in Lanlingxi Watershed of the Three Gorges Reservoir Area, China	HAN Li-yang, HUANG Zhi-lin, XIAO Wen-fa, <i>et al.</i> (1091)
Changes and Influencing Factors of the Soil Organic Carbon in Farmland in the Last 30 Years on Hilly Loess Plateau; A Case Study in Zhuanglang County, Gansu Province	SHI Chen-di, XU Ming-xiang, QIU Yu-jie, <i>et al.</i> (1098)
Organic Carbon and Carbon Mineralization Characteristics in Nature Forestry Soil	YANG Tian, DAI Wei, AN Xiao-juan, <i>et al.</i> (1105)
Dynamic Change of Phosphorus Leaching of Neutral Purple Soil at Different Re-wetting Rate	ZHANG Si-lan, SHI Xiao-jun, GUO Tao (1111)
Effects of Thiourea on pH and Availability of Metal Ions in Acid Red Soil	YANG Bo, WANG Wen, ZENG Qing-ru, <i>et al.</i> (1119)
Growth Responses of Six Leguminous Plants Adaptable in Northern Shaanxi to Petroleum Contaminated Soil	SHAN Bao-qin, ZHANG Xiong-tao, CAO Qiao-ling, <i>et al.</i> (1125)
Plant N Status in the Alpine Grassland of the Qinghai-Tibet Plateau; Base on the N:P Stoichiometry	ZHANG Ren-yi, XU Dang-hui, CHEN Ling-yun, <i>et al.</i> (1131)
Development and Succession of Artificial Biological Soil Crusts and Water Holding Characteristics of Topsoil	WU Li, CHEN Xiao-guo, ZHANG Gao-ke, <i>et al.</i> (1138)
Carbon Dioxide Assimilation Potential, Functional Gene Amount and RubisCO Activity of Autotrophic Microorganisms in Agricultural Soils	CHEN Xiao-juan, WU Xiao-hong, JIAN Yan, <i>et al.</i> (1144)
Dynamics of Microbes and Enzyme Activities During Litter Decomposition of <i>Pinus massoniana</i> Forest in Mid-subtropical Area	SONG Ying, GU Xi-rong, YAN Hai-yuan, <i>et al.</i> (1151)
Levels and Possible Sources of Organochlorine Pesticides (OCPs) in Camphor (<i>Cinnamomum camphora</i>) Tree Bark from Southern Jiangsu, China	ZHOU Li, ZHANG Xiu-lan, YANG Wen-long, <i>et al.</i> (1159)
Combined Stress of Enhanced UV-B Radiation and 1,2,4-Trichlorobenzene Contamination on the Growth of Green Vegetable	LIU Cui-ying, FAN Jian-ling, XU Xiang-hua (1164)
Effect of Ectomycorrhizae on Heavy Metals Sequestration by Thermostable Protein in Rhizosphere of <i>Pinus tabulaeformis</i> Under Cu and Cd Stress	ZHANG Ying-wei, CHAI Li-wei, WANG Dong-wei, <i>et al.</i> (1169)
Isolation and Characterization of a Halotolerant <i>p</i> -nitroaniline Degrading Strain S8	SONG Cai-xia, DENG Xin-ping, LI Tian, <i>et al.</i> (1176)
Optimized Cultivation of a Bioflocculant M-C11 Produced by <i>Klebsiella pneumoniae</i> and Its Application in Sludge Dewatering	LIU Jie-wei, MA Jun-wei, LIU Yan-zhong, <i>et al.</i> (1183)
Speciation Analysis of Lead Losses from Anthropogenic Flow in China	LIANG Jing, MAO Jian-su (1191)
Establishment and Application of Pollutant Discharge-Environment Quality Model	LI Ming-sheng, SUN Yuan, CHEN Yuan-hang, <i>et al.</i> (1198)
Advances in the Pathway and Molecular Mechanism for the Biodegradation of Microcystins	YAN Hai, WANG Hua-sheng, LIU Xiao-lu, <i>et al.</i> (1205)

《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3月15日 35卷 第3期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 3 Mar. 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