

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第7期

Vol.34 No.7

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

唐山市大气颗粒物 OC/EC 浓度谱分布观测研究	郭育红, 辛金元, 王跃思, 温天雪, 李杏茹, 封孝信 (2497)
北京东灵山地区主要大气污染物浓度变化特征	于阳春, 胡波, 王跃思 (2505)
奥运前期与奥运期间北京市大气细颗粒物特征比较分析	张菊, 欧阳志云, 苗鸿, 王效科, 任玉芬, 宋文质 (2512)
华东森林及高山背景区域臭氧变化特征及影响因素	苏彬彬 (2519)
北京市居家空气微生物粒径及分布特征研究	方治国, 孙平, 欧阳志云, 刘芄, 孙力, 王小勇 (2526)
民用燃煤源中多环芳烃排放因子实测及其影响因素研究	海婷婷, 陈颖军, 王艳, 田崇国, 林田 (2533)
醇类汽油车醇醛酮、芳香烃和烯烃类排放的试验研究	张凡, 王建海, 王小臣, 王建昕 (2539)
微波解吸-催化燃烧净化甲苯研究	曹晓强, 张浩, 黄学敏 (2546)
生物滴滤池对 BTEX 的去除及相应细菌群落分析	李建军, 廖东奇, 许玫英, 孙国萍 (2552)
炼油厂废水处理站挥发性羰基化合物成分谱研究	周博宇, 刘旺, 王伯光, 周咪, 黄青, 周磊 (2560)
春季东、黄海溶解甲烷的分布和海气交换通量	曹兴朋, 张桂玲, 马啸, 张国玲, 刘素美 (2565)
千岛湖湖泊区水体季节性分层特征研究	董春颖, 虞左明, 吴志旭, 吴春金 (2574)
新安江流域土地利用结构对水质的影响	曹芳芳, 李雪, 王东, 赵越, 王玉秋 (2582)
长江中下游草型湖泊浮游植物群落及其与环境因子的典范对应分析	孟睿, 何连生, 过龙根, 席北斗, 李中强, 舒俭民, 刁晓君, 李必才 (2588)
河口盐度梯度下溶解态核酸的微生物可利用性	杨青青, 李朋辉, 黄清辉 (2597)
水藻暴发的影响因素定量化研究初步	张卓, 宋志尧, 黄昌春, 俞肇元 (2603)
深水型水库藻类功能组时空演替及生境变化的影响	卢金锁, 胡亚潘 (2611)
结合水体光学分类反演太湖总悬浮物浓度	周晓宇, 孙德勇, 李云梅, 李俊生, 龚绍琦 (2618)
Subwet 模型在人工湿地设计中的应用	李慧峰, 黄津辉, 林超 (2628)
白洋淀荷茎叶提取液对铜绿微囊藻及四尾栅藻化感效应	何连生, 孟繁丽, 刁晓君, 李一葳, 孟睿, 席北斗, 舒俭民 (2637)
苦草 (<i>Vallisneria spiralis</i>) 对城市缓流河道黑臭底泥理化性质的影响	许宽, 刘波, 王国祥, 马久远, 曹勋, 周峰 (2642)
铁屑-微生物协同还原去除水体中 Cr(VI) 研究	汤洁, 王卓行, 徐新华 (2650)
铁铜催化剂非均相 Fenton 降解苯酚及机制研究	杨岳主, 李玉平, 杨道武, 段锋, 曹宏斌 (2658)
不同形态无机氮对水中微量药物安替比林光降解效能影响	赵倩, 陈超, 封莉, 张立秋 (2665)
邻苯二甲酸二甲酯的紫外光-H ₂ O ₂ 降解机制研究	刘青, 陈成, 陈泓哲, 杨绍贵, 何欢, 孙成 (2670)
二胺基改性有序多孔 SBA-15 对溶液中 Cd ²⁺ 离子的吸附研究	张萌, 杨亚提, 秦睿, 王力, 张增强, 李忠宏, 李荣华, 孟昭福 (2677)
酸化蛭石的表面有机修饰及其对疏水性微污染物的吸附	蒋争明, 于旭彪, 胡芸, 任源, 李雪辉, 韦朝海 (2686)
基于废陶瓷的多孔陶瓷研制及其对 Ni ²⁺ 的吸附性能	张永利, 王承智, 史册, 尚玲玲, 马瑞, 董婉莉 (2694)
树皮支持的厌氧生物法去除地下水中的高氯酸盐	王蕊, 刘菲, 陈楠, 陈鸿汉 (2704)
Cr(VI) 污染地下水修复的 PRB 填料实验研究	朱文会, 董良飞, 王兴润, 翟亚丽 (2711)
化学沉淀法去除稀土湿法冶炼废水中钙与高浓度氨氮研究	王浩, 成官文, 宋晓薇, 徐子涵, 蒙金结, 董传强 (2718)
镍铁尾矿硫酸浸出动力学研究	陈安安, 周少奇, 黄鹏飞 (2729)
HRT 对 A ² O 工艺中典型多环麝香迁移转化的影响	刘鹏程, 黄满红, 陈东辉, 陈亮 (2735)
发酵液作为 EBPR 碳源的动力学模拟	张超, 陈银广 (2741)
强化污泥利用水解反应器改善碳源与污泥减量作用研究	熊娅, 王强, 宋英豪, 朱民, 林秀军 (2748)
污泥胞外聚合物的提取方法及其对污泥脱水性能的影响	周俊, 周立祥, 黄焕忠 (2752)
不同粒径铁铝泥对砷(Ⅲ)的吸附效果	林璐, 胥嘉瑞, 吴昊, 王昌辉, 裴元生 (2758)
我国畜禽粪便污染的区域差异与发展趋势分析	仇焕广, 廖绍攀, 井月, 栾江 (2766)
浙北平原富硒土壤资源区硒来源的定量分离	徐明星, 潘卫丰, 岑静, 马学文 (2775)
三江平原土地利用方式变化对土壤锰形态影响	张仲胜, 吕宪国, 宋晓林 (2782)
吉林前郭水田土壤有机碳垂直分布规律和储量研究	汤洁, 张雯辉, 李昭阳, 张楠, 胡猛 (2788)
关中地区农田土壤有机碳固存速率及影响因素: 以陕西武功县为例	张晓伟, 许明祥 (2793)
三峡库区不同林草措施土壤活性有机碳及抗蚀性研究	黄茹, 黄林, 何丙辉, 周立江, 于传, 王峰 (2800)
土壤自养微生物同化碳向土壤有机碳库输入的定量研究: ¹⁴ C 连续标记法	史然, 陈晓娟, 吴小红, 简燕, 袁红朝, 葛体达, 隋方功, 童成立, 吴金水 (2809)
西南丘陵区保护性耕作下小麦农田土壤呼吸及影响因素分析	张赛, 张晓雨, 王龙昌, 罗海秀, 周航飞, 马仲炼, 张翠微 (2815)
丹江口水库迁建区土壤有机氯农药的分布特征及风险评价	李子成, 秦延文, 郑丙辉, 张雷, 赵艳民, 时瑶 (2821)
农药企业场地苯系物污染风险及调控对策	庞博, 王铁宇, 杜立宇, 谭冰, 朱朝云, 吕永龙 (2829)
水分管理对硫铁镉在水稻根区变化规律及其在水稻中积累的影响	张雪霞, 张晓霞, 郑煜基, 王荣萍, 陈能场, 卢普相 (2837)
硝酸盐对沉积物中有机物氧化减量及微生物群落结构的影响	刘近, 邓代永, 孙国萍, 刘永定, 许玫英 (2847)
零价铁对脱色希瓦氏菌 S12 偶氮还原的促进作用	周庆, 陈杏娟, 郭俊, 孙国萍, 许玫英 (2855)
2 株好氧反硝化菌的筛选及其强化贫营养生物膜脱氮效果	全向春, 岑艳, 钱殷 (2862)
反硝化聚磷菌快速富集、培养及其荧光原位杂交技术鉴别	刘立, 汤兵, 黄绍松, 付丰连, 张启泰, 黎健彬, 罗建中 (2869)
1 株反硝化除磷菌的鉴定及其反硝化功能基因研究	张倩, 王弘宇, 桑穗姣, 李孟, 杨开, 马放 (2876)
1 株高效 BBP 降解菌的分离与特性研究	陈湖星, 杨雪, 张凯, 钟秋, 郭佳, 王攀, 熊丽, 刘德立 (2882)
微生物-化学水解联合作用下烟嘧磺隆的降解	张小林, 李咏梅, 袁志文 (2889)
扑草净降解菌的分离、筛选与鉴定及降解特性初步研究	周际海, 孙向武, 胡锋, 李辉信 (2894)
固定化 <i>Lysinibacillus cresolovorans</i> 的 PVA-SA-PHB-AC 复合载体制备及间甲酚的降解	李婷, 任源, 韦朝海 (2899)
生物破乳菌 <i>Alcaligenes</i> sp. S-XJ-1 表面活性物质提取与其破乳特性分析	黄翔峰, 张树聪, 彭开彰, 陆丽君, 刘佳 (2906)
A ² O 工艺活性污泥中可培养丝状细菌的多样性	高莎, 金德才, 赵志瑞, 齐嵘, 彭霞薇, 白志辉 (2912)
生活垃圾堆肥渗滤液污染物组成与演化规律研究	李丹, 何小松, 席北斗, 魏自民, 潘红卫, 赵国鹏, 崔东宇 (2918)
专辑征稿通知 (2551) 《环境科学》征稿简则 (2685) 《环境科学》征订启事 (2868) 信息 (2875)	

丹江口水库迁建区土壤有机氯农药的分布特征及风险评价

李子成^{1,2}, 秦延文^{1,2*}, 郑丙辉^{1,2}, 张雷^{1,2}, 赵艳民^{1,2}, 时瑶^{1,2}

(1. 中国环境科学研究院环境基准与风险评估国家重点实验室, 北京 100012; 2. 中国环境科学研究院环境保护河口与海岸带环境重点实验室, 北京 100012)

摘要: 利用 GC-MS 检测了丹江口水库迁建区 26 个表层土壤样品中的有机氯农药 (OCPs), 并对其分布特征、组成及来源进行了探讨, 评价了 OCPs 的污染水平和生态风险。结果表明, 丹江口水库迁建区土壤 OCPs 总含量范围为 $\text{nd} \sim 249.37 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$, 平均值为 $24.82 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ 。其中 HCHs 与 DDTs 的含量较高, 分别为 $\text{nd} \sim 69.68 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $\text{nd} \sim 104.53 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ 。土壤中的 DDTs 含量明显高于 HCHs。OCPs 可能主要来源于早期残留、大气沉降及近期新的含 OCPs 物质的输入等。土壤中有有机质与 OCPs 总量之间无显著性相关关系, 说明土壤中 OCPs 含量还受其他因素的影响。与国内其他区域表层土壤相比, 丹江口水库迁建区土壤 OCPs 含量处于中等偏低水平。分析认为, 丹江口水库迁建区土壤中有机氯农药风险较低, 但局部土壤仍有一定风险。

关键词: 丹江口; 迁建区; 土壤; 有机氯农药; 空间分布; 风险评价

中图分类号: X131.3; X820.4 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)07-2821-08

Distribution Characteristics and Risk Evaluation of Organochlorine Pesticides in Soil from Relocation Areas of the Danjiangkou Reservoir

LI Zi-cheng^{1,2}, QIN Yan-wen^{1,2}, ZHENG Bing-hui^{1,2}, ZHANG Lei^{1,2}, ZHAO Yan-min^{1,2}, SHI Yao^{1,2}

(1. National Key Laboratory of Environmental Criteria and Risk Assessment, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China; 2. State Environmental Protection Key Laboratory of Estuarine and Coastal Environment, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China)

Abstract: Twenty-six surface soil samples collected in Danjiangkou Reservoir were analyzed for organochlorine pesticides (OCPs) residues by GC-MS. The distribution characteristics, compositions and origin of OCPs were discussed. Pollution level and potential ecological risks of OCPs were also evaluated. The results showed that the concentration range of total OCPs in soil was $\text{nd} \sim 249.37 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ (with a mean of $24.82 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$). The recent occurrence levels in soil were $\text{nd} \sim 69.68 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ for HCHs and $\text{nd} \sim 104.53 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ for DDTs. DDTs concentrations in soil were higher than those of HCHs. The OCPs residues in soil were mainly originated from the early residues, atmospheric deposition and recent input of OCPs components. The correlation between OCPs contents and organic matter contents in soil was not significant, indicating that the contents of OCPs in soil were also affected by other factors. Compared with other soil samples from different regions, the contents of OCPs in soil of relocation areas of the Danjiangkou Reservoir were at medium-low level. The study suggested that the OCPs in soil of relocation areas of the Danjiangkou Reservoir are in a state of low danger, whereas OCPs still display risks locally in some places.

Key words: Danjiangkou Reservoir; relocation areas; soil; organochlorine pesticides; spatial distribution; risk evaluation

有机氯农药 (organochlorine pesticides, OCPs) 是一类性质稳定、难以降解的有毒的、持久性有机污染物 (POPs)。《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》规定首批控制的 12 种 POPs 中就包括滴滴涕 (DDTs)、六六六 (HCHs)、氯丹等 9 种有机氯农药^[1]。土壤是全球 POPs 重要的储存库, 全球大约 90% 的 POPs 存在土壤中, 那些不易降解、易吸附的半挥发性化合物可以在土壤中存储几年或几十年^[2,3]; 同时土壤又是一个开放体系, 它在不断地与大气、水体进行着物质交换^[4]。有机氯农药类 POPs 可以通过挥发、扩散、质流转移至大气、地表水和地下水, 并且可以通过生物富集和食物链对人体健

康产生威胁。因此, 有机氯农药类 POPs 在土壤中的残留性引起了人们的高度重视^[5]。

2002 年我国开始实施南水北调工程 (西线、中线及东线), 其中中线工程已于 2003 年 12 月 30 日正式开工建设, 2014 年一期工程将全面建成并投入运行。丹江口水库是南水北调中线工程水源地, 是南水北调工程集水区和受水区的转换地, 不仅为库

收稿日期: 2012-10-18; 修订日期: 2012-12-26

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项 (2012ZX07503-002); 国家标准制修订项目 (BJ5091104)

作者简介: 李子成 (1973 ~), 男, 高级工程师, 主要研究方向为环境规划与管理, E-mail: lizc@craes.org.cn

* 通讯联系人, E-mail: qinyw@craes.org.cn

区居民提供生活、生产及生态用水,更关系到南水北调中线受水区几亿人民的生活与生产用水. 因此丹江口库区环境保护与经济可持续发展是南水北调中线工程成功的关键^[6]. 丹江口水库通水后蓄水位将从 157 m 提到 170 m,库容从 174.5 亿 m³ 增加到 290.5 亿 m³,新增淹没区 305 hm²^[7]. 丹江口水源区经济主要以农业为主,近年来,水库流域耕作年农药施用量 639 t,除作物吸收部分外,大量残留在土壤或挥发到空气中,污染环境. 丹江口流域农业污染虽然强度小,但面积大,产生的污染总量已不能忽视^[8,9].

目前,对南水北调水源地环境中多环芳烃(PAHs)、有机氯农药(OCPs)等持久性有机污染物(POPs)残留的研究主要集中在库区农田地表径流、水体等研究区域^[10,11],而针对丹江口水库迁建区土壤有机氯农药残留的研究报道几近空白,缺乏足够的研究基础. 因此本研究主要以丹江口水库迁建区表层土壤为对象,分析其中有机氯农药的组成及分布特征,探讨其污染来源,并对有机氯农药的污染水平和生态风险进行初步评价,以了解丹江口水库迁建区土壤有机氯农药的残留状况,以为水源地的环境保护和管理决策提供科学的参考依据.

1 材料与方法

1.1 研究区域概况与站位设置

丹江口水库是一座具有防洪、发电、灌溉、航运、养殖等综合效益的大型水利工程. 涉及豫、鄂、陕 3 省 42 个县(市),控制面积 9.52×10^4 km²,多年平均径流量为 4.09×10^{10} m³. 水库于 1968 年建成,形成丹库和汉库 2 个库区^[12,13]. 其中丹江库区的主要入库支流有丹江、淇河、老灌河、滔河等^[8]. 研究区属北亚热带季风型大陆性气候,位于南北气候过渡带,四季分明,常年平均气温 15.4℃,年平均降水量为 808 mm. 研究区域内近年由于人类对森林植被的损毁、对土地资源的过度开垦以及对矿产资源的不合理开发利用,加上农业生产中不合理地使用化肥、农药和除草剂,导致水土流失和面源污染问题尤为突出,进一步加剧了丹江口水库水体污染的风险^[12].

于 2011 年 11 月在丹江口水库(河南省辖区)丹江库区周边迁建区共设置 10 个主要站点进行采集,布点编号为 1~10(图 1). 在每个站点根据不同土地利用类型及环境状况又分别取数个采样点进行分析研究,共计 26 个样品,具体采样点设置情况见

表 1.

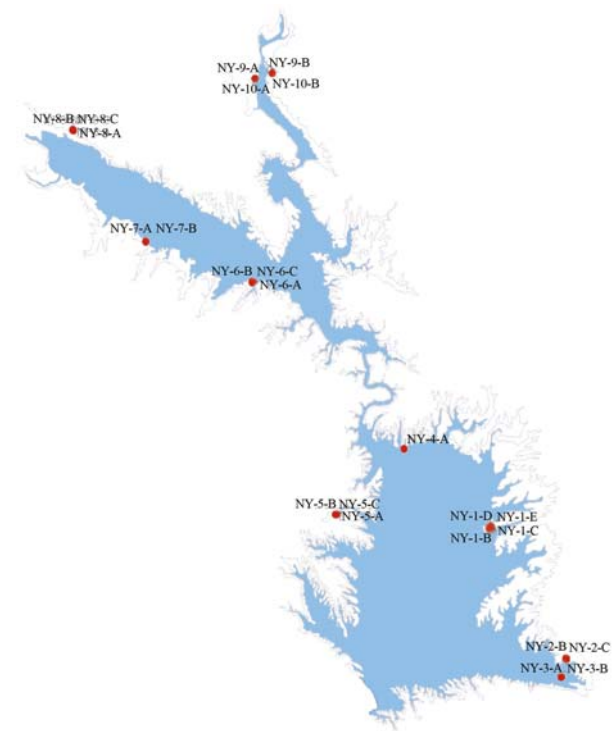


图 1 丹江口水库周边迁建区采样站位分布示意

Fig. 1 Sampling sites in the relocation areas of the Danjiangkou Reservoir, China

1.2 样品采集

多点采集表层土壤(0~20 cm),每个样点采集土壤重量均 >500 g,将足量样品用铝箔包好,放入便携式冷藏箱内,带回实验室后于 -20℃ 冷冻保存. 分析前经 FD-1A-50 型冷冻干燥机冷冻干燥处理至少 48 h,并研磨过 80 目筛(0.18 mm),避光保存,待进行有机氯农药的分析.

1.3 主要试剂及标准

正己烷、二氯甲烷均购自美国 J. T. Baker 公司(J. T. Baker; USA),农残级;甲醇、二氯甲烷、丙酮均购自北京化工厂,分析纯;无水硫酸钠(北京化工厂,优级纯);柱层层析硅胶(粒径 100~200 目,青岛海洋化工厂);硅藻土(DIONEX, USA); Bio-Beads SX-3 凝胶填料(美国 Bio-Rad 公司);有机氯农药标准物质: α -HCH、 β -HCH、 γ -HCH、 δ -HCH、 p,p' -DDD、 p,p' -DDE、 p,p' -DDT、 o,p' -DDT 共 8 种化合物组成的混合标样,购自国家标准物质研究中心;七氯、艾氏剂、六氯苯标样购自农业部环境保护科研监测所;回收指示标 ¹³C PCB209 和二氟联苯(2-FB)、2,4,5,6-Tetrachloro-*m*-xylene (TCMX) 替代标准物质购自美国 Supelco Co. .

1.4 有机氯农药的提取、净化和测定

表1 采样点设置

Table 1 Fundamental information of the sampling sites in the relocation areas

站位编号	乡镇	村	经度/(°)	纬度/(°)	土地类型和环境
NY-1-A	香花镇	刘楼村	111.633 8	32.764 3	居住地
NY-1-B	香花镇	刘楼村	111.633 7	32.764 2	厕所/养殖
NY-1-C	香花镇	刘楼村	111.632 7	32.763 7	菜地
NY-1-D	香花镇	刘楼村	111.632 2	32.762 9	玉米地
NY-1-E	香花镇	刘楼村	111.634 3	32.763 9	果园(梨、苹果)
NY-2-A	九重镇	张仪港	111.693 0	32.671 8	耕地
NY-2-B	九重镇	张冲村	111.692 6	32.672 2	居住地
NY-2-C	九重镇	张冲村	111.692 9	32.672 3	菜地
NY-3-A	九重镇	张冲村	111.687 3	32.659 9	居住地
NY-3-B	九重镇	张冲村	111.687 4	32.659 9	耕地(小麦)
NY-4-A	马蹬镇	石桥村	111.561 8	32.820 3	林地
NY-5-A	仓房镇	陈庄村	111.498 3	32.779 7	居住地
NY-5-B	仓房镇	陈庄村	111.498 8	32.779 8	菜地(小白菜、菠菜)
NY-5-C	仓房镇	陈庄村	111.498 8	32.779 8	耕地(小麦)
NY-6-A	盛湾镇	宋湾村	111.437 6	32.939 8	居住地
NY-6-B	盛湾镇	宋湾村	111.437 8	32.939 7	耕地(芝麻地)
NY-6-C	盛湾镇	宋湾村	111.437 3	32.938 9	菜地
NY-7-A	滔河乡	张庄村	111.345 6	32.971 3	居住地
NY-7-B	滔河乡	张庄村	111.345 8	32.971 4	耕地(小麦地)
NY-8-A	大石桥乡	东岳庙村	111.287 8	32.049 0	居住地
NY-8-B	大石桥乡	东岳庙村	111.287 3	32.049 4	菜地
NY-8-C	大石桥乡	东岳庙村	111.287 2	32.049 6	耕地
NY-9-A	金河镇	张湾村	111.450 6	32.075 4	居住地
NY-9-B	金河镇	张湾村	111.451 1	32.075 5	耕地
NY-10-A	上集镇	周岭村	111.466 3	32.078 0	居住地
NY-10-B	上集镇	周岭村	111.466 3	32.078 3	耕地

准确称取 2.000 g 预处理好的样品,与一定量硅藻土充分混合后,用 ASE300 加速溶剂萃取仪(DIONEX 公司,美国)进行萃取,萃取剂选择正己烷和二氯甲烷(1:1,体积比)的混合溶剂,萃取条件为:加热温度为 100℃,压力为 1.03×10^7 Pa,静态萃取时间为 5 min,循环 2 次。

用旋转蒸发仪(R-215, BüCHI Labortechnik)将萃取液旋转蒸发至 1~2 mL,过硅胶柱和 GPC 柱分离净化。用氮吹仪(SE-812, 帅恩科技有限公司)浓缩定容至 0.5 mL,待上机分析。有机氯农药含量采用气相色谱-质谱联用仪(Agilent 7890A-5975C, USA)测定,色谱柱为 HP-5MS 石英毛细管色谱柱(30 m×250 μm×0.25 μm),进样口温度 250℃,接口温度 290℃,不分流进样。升温程序:初温 70℃,保持 1 min,而后再以 4℃·min⁻¹升温到 280℃,保持 5 min。外标法进行定量分析。

1.5 质量保证与质量控制(QA/QC)

初始精密度实验和回收率:取丹江口水库迁建区表层土壤样品,进行初始精密度和回收率实验。操作步骤:称取 4 份土壤,每份约 2 g,分别加入 4 ng 目标化合物,平衡 24 h,按照 1.4 节的方法进行提

取、净化和测定。有机氯农药的加标回收率为 55%~104%,相对标准偏差<10%。

实验进行中的精密度实验:实验过程中,每 10 个样品为一批次,进行实验中的精密度实验,即取一份表层土壤样品进行如上实验,初始精密度的偏差<20%。

为了控制提取及分离操作过程中可能带来的污染,在进行样品分析前,进行方法空白实验,目标化合物的量要低于方法检出限,实验过程中每 10 个样品增加 1 个方法空白,并以信噪比的 3 倍作为方法的检出限,有机氯农药的检出限为 0.02~2.0 ng·g⁻¹。

1.6 表层土壤有机质的测定

土壤有机质含量采用重铬酸钾容量法测定^[14]。

2 结果与讨论

2.1 土壤中有机氯农药的含量和分布特征

对丹江口水库迁建区土壤中有机氯农药进行分析,结果表明,在丹江口水库迁建区 26 个土壤样品中共检出 13 种有机氯农药,分别为 HCHs 的 4 种异构体(α-HCH、β-HCH、γ-HCH、δ-HCH),DDTs 的 4

种异构体(*p,p'*-DDE、*o,p'*-DDT、*p,p'*-DDD、*p,p'*-DDT)和 α -硫丹、 β -硫丹、异狄氏醛、硫丹硫酸酯、狄氏剂(表2). 表明在丹江口水库迁建区土壤中有有机氯农药的残留比较普遍.

研究区域各站位有机氯农药总含量的变化范围为nd~249.37 ng·g⁻¹,平均值24.82 ng·g⁻¹. 有机氯农药总含量的最高值出现在NY-5-A站,为249.37 ng·g⁻¹. 其次在NY-8-A站和NY-6-C站含量也较高,分别为:173.34 ng·g⁻¹和119.34 ng·g⁻¹(图2). 由表2可知,有机氯农药的变异系数较高,

离散程度大,表明不同采样点有机氯农药的含量差异较大. 由图2可知,有机氯农药总量和HCHs、DDTs类农药总量分布具有相似的空间变化趋势,即高值区与低值区吻合,其沿程分布出现了多峰值变化. 表明高值区可能与采样点周围环境有关,研究区域NY-5-A站和NY-8-A站所处采样环境均为居住地(表1),实际调查发现居住地周边即为大面积的蔬菜地,而NY-6-C站本身所处环境即为菜地,耕作频繁. 推测这些高含量点位是由于长期蔬菜种植施用有机氯农药所致.

表2 丹江口水库迁建区表层土壤中有有机氯农药残留统计特征值

Table 2 Statistical characteristics of the OCPs concentrations in surface soil from the relocation areas of the Danjiangkou Reservoir					
有机氯农药	含量范围/ng·g ⁻¹	平均值/ng·g ⁻¹	标准偏差/ng·g ⁻¹	变异系数/%	检出率/%
α -HCH	nd ¹⁾ ~5.45	0.94	1.56	167	57.69
β -HCH	nd~30.45	1.27	5.97	470	7.69
γ -HCH	nd~4.74	0.37	1.14	306	11.54
δ -HCH	nd~33.79	1.40	6.63	475	7.69
$\sum$ HCHs	nd~69.68	3.98			
<i>p,p'</i> -DDE	nd~58.28	5.33	15.04	282	53.85
<i>o,p'</i> -DDT	nd~4.91	0.37	1.31	353	7.69
<i>p,p'</i> -DDD	nd~8.18	0.56	1.71	303	19.23
<i>p,p'</i> -DDT	nd~37.61	1.61	7.39	458	7.69
$\sum$ DDTs	nd~104.53	7.88			
α -硫丹	nd~4.29	0.32	1.13	353	7.69
β -硫丹	nd~9.08	0.35	1.78	510	3.85
狄氏剂	nd~2.61	0.15	0.56	378	7.69
异狄氏醛	nd~4.41	0.17	0.86	510	3.85
硫丹硫酸酯	nd~3.34	0.13	0.65	510	3.85
$\sum$ OCPs	nd~249.37	24.82			

1) nd 为未检出或低于检出限

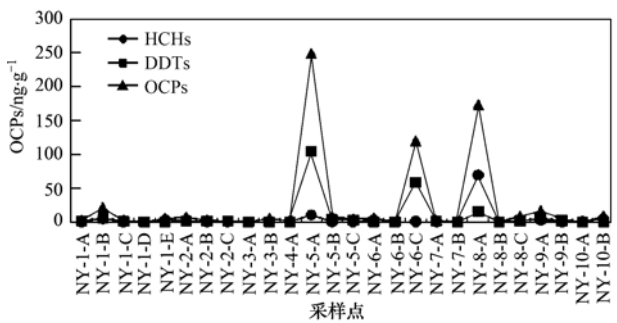


图2 丹江口水库迁建区表层土壤中有有机氯农药的分布

Fig. 2 Distribution of OCPs in surface soil from the relocation areas of the Danjiangkou Reservoir

与国内其他区域表层土壤有机氯农药残留量进行比较,可以看出,丹江口水库迁建区表层土壤有机氯农药含量高于官厅水库周边土壤,低于崇明农田、贵州农田和天津农田土壤,与武夷山北段土壤持平,即处于中等偏低水平(表3). 这些差别亦反映了不

同地区农药使用数量、种类、环境条件等的差异性.

2.2 土壤中有有机氯农药的组成特征

2.2.1 HCHs

HCHs 曾以2种形态被使用,一种是含有4种形态的HCHs,其含量分别为 α -HCH(65%~70%)、 γ -HCH(12%~14%)、 δ -HCH(6%)、 β -HCH(5%~6%)^[20]. 一种俗称林丹, γ -HCH含量达99%以上. 有研究表明, β -HCH的抗生物降解能力最强. HCHs在环境中存在的越久,该化合物的比例就会越高^[21]. 环境中HCHs残留的各异构体组成特征可以作为一种环境指示指标,其中 α -HCH/ γ -HCH在指示HCHs的环境地球化学行为方面有重要意义. 根据Kim等^[22]对HCHs来源的判定方法,采用 α -HCH/ γ -HCH的比值作为特征指数. 若样品中的 α -HCH/ γ -HCH值在4~7之间,则认为源于新的工业

表3 国内不同地区表层土壤中有机氯农药残留量比较/ $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$
Table 3 Comparison of OCPs residues in surface soil from different regions/ $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$

来源	HCHs	DDTs	文献
崇明农田土壤	1.14 ~ 22.43 (4.52) ¹⁾	0.14 ~ 77.89 (15.86)	[15]
贵州农田土壤	2.46 ~ 11.44 (5.47)	4.73 ~ 30.06 (13.99)	[16]
天津农田土壤	1.30 ~ 1 095 (45.8)	0.071 ~ 972 (56.0)	[17]
武夷山北段土壤	1.05 ~ 25.07 (3.98)	0.01 ~ 107.99 (7.48)	[18]
官厅水库周边土壤	nd ~ 14.97 (0.73)	nd ~ 64.91 (6.46)	[19]
丹江口水库迁建区土壤	nd ~ 69.68 (3.98)	nd ~ 104.53 (7.88)	本研究

1) 括号内为平均值

品 HCHs; 若比值接近于 1, 说明环境中可能有新的工业品林丹输入; 若比值 > 7 , 则说明样品中的 HCHs 更可能来源于大气长距离的传输^[22,23]。

丹江口水库迁建区土壤中 HCHs 含量为 $\text{nd} \sim 69.68 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$, 平均值为 $3.98 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$, 最高值出现在 NY-8-A 站。HCHs 类农药中 α -HCH 的检出率最高, 约为 57.69% (表 2), 同时从图 3 中也可以看出 α -HCH 在各个站位中普遍存在。表明在研究区域内 HCHs 残存时间较短, 但也可能是由于生物降解作用较弱的缘故。其次是 γ -HCH, 检出率仅约为 11.54% (表 2)。这是因为沉积物中的 HCHs 不单来源于林丹, 还可能来源于工业 HCHs, 且 γ -HCH 水溶

性较高, 在自然界中可降解为 α -HCH^[23]。研究区域内只有 NY-1-B 站、NY-5-A 站和 NY-9-A 站计算出 α -HCH/ γ -HCH 比值, 范围为 0.18 ~ 0.67, 且均小于 1, 所以推断丹江口水库迁建区这 3 个站点的 HCHs 可能主要来源于林丹。而在分析其他站位 HCHs 的来源时主要结合 HCHs 组分分析结果, 其他站位 HCHs 主要组成成分为 α -HCH, 说明这些站位的土壤中 α -HCH 可能有新的污染输入, 因为如果在一些环境样品中 α -HCH 占优势, 则反映最近有使用 HCHs 的可能^[24]; 还有可能是通过大气远距离传输而至, 因为 α -HCH 相对其它异构体挥发性强, 易于进入大气发生远距离迁移^[25]。

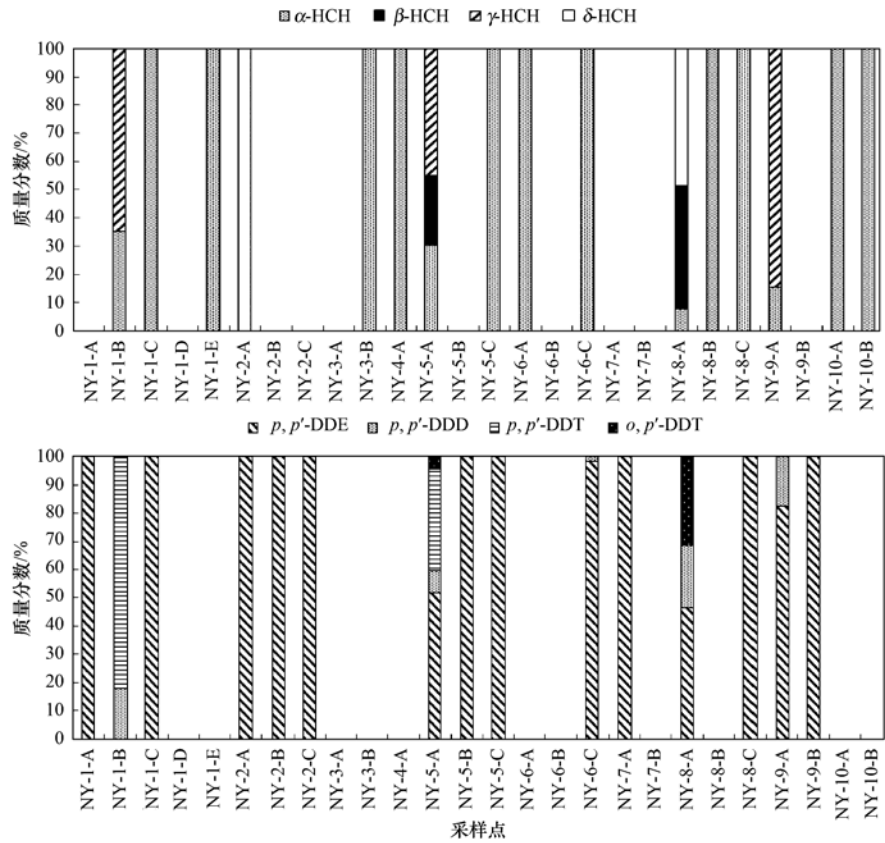


图3 丹江口水库迁建区土壤中 HCHs 和 DDTs 的含量组成

Fig. 3 Compositions of HCHs and DDTs in surface soil from the relocation areas of the Danjiangkou Reservoir

2.2.2 DDTs

我国 1983 年禁止使用含氯农药,新 DDTs 的来源主要包括工业 DDTs 和三氯杀螨醇^[26]. 如果土壤中出现多 o,p' -DDT 而少 p,p' -DDT 的污染特征,则表明此 DDTs 可能主要源于三氯杀螨醇^[27]. 同时,有报道表明在船舶运输业中仍存在工业 DDTs 的使用,这也成为环境中 DDTs 的主要来源之一^[28]. DDTs 可降解为 DDE 和 DDD,DDTs 在好氧条件下转化为 DDE,厌氧条件下微生物降解为 DDD,因此 DDD/DDE 比值可指示 DDTs 降解条件. 通常用 $(DDE + DDD)/DDTs$ 比值来示踪 DDTs 类农药的降解程度,并判定是否有新的 DDTs 农药输入. $(DDE + DDD)/DDTs > 0.5$ 表明 DDTs 主要来自风化较完全的土壤,比值低说明有新的 DDTs 来源^[29].

丹江口水库迁建区表层土壤中 DDTs 含量为 nd ~ 104.53 $\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$,平均值为 7.88 $\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$. DDTs 类农药以 p,p' -DDE 含量为最高,平均值为 5.33 $\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$ (表 2). 从图 3 也可以看出 p,p' -DDE 在各个站位中普遍存在,检出率为 53.85%. 本研究结果表明 DDTs 含量要比 HCHs 含量高,这与国内外相关报道相符合^[30],这可能与两类有机氯农药的物理化学性质有关,已有研究表明,DDTs 比 HCHs 有更强的亲脂憎水性,因此更易被土壤吸附,从而使得其在土壤中含较高^[31]. 从表 2 可以看出,丹江口水库迁建区土壤中只有 NY-5-A 站和 NY-8-A 站检测出 o,p' -DDT,且其平均值为 0.37 $\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$,含量较低. 而 p,p' -DDT 的平均值为 1.61 $\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$,说明周围使用三氯杀螨醇的可能性不大. 丹江口水库迁建区土壤中 DDD/DDTs 的比值为 nd ~ 0.22,平均值为 0.03; DDE/DDTs 的比值为 nd ~ 1.00,平均为 0.49; DDD/DDE 值为 nd ~ 0.47,平均值为 0.03. DDD/DDE 值在多数站位 < 1 ,说明迁建区土壤中多发生有氧化性生物降解,可能主要来自环境中的残留. 本研究表明,检测到 DDTs 的站位其 $(DDD + DDE)/DDTs$ 的比值范围在 0.18 ~ 1.00 之间,其中 $(DDD + DDE)/DDTs > 0.5$ 的站位占 93.33%,说明这些站位的 DDTs 主要来自于早期残留或是施用农药长期风化后的土壤,且降解较完全. 仅有 1 个站位 $(DDD + DDE)/DDTs < 0.5$,推断该站在采样前不久可能仍有含 DDTs 成分的物质输入.

2.2.3 其他类有机氯农药

研究区域表层土壤中未检测出氯丹,由此推断历史上该地区未用或很少使用氯丹. α -硫丹、 β -硫丹、异狄氏醛、硫丹硫酸酯、狄氏剂均有不同程度

地检出,但残留量不高. 其中在 NY-5-A 站均检测出 α -硫丹、 β -硫丹、硫丹硫酸酯、狄氏剂,属于局部污染,推测该站点曾经使用过这些农药. 总体上在丹江口水库迁建区土壤中使用这些农药的范围不是很广,使用量也不大. 这或许与我国艾氏剂、狄氏剂、异狄氏剂还没有形成生产规模相关^[32].

2.3 不同土地利用类型和有机质对有机氯农药残留特征的影响

由表 1 可知,在采集的 26 个土壤样品中共涉及 7 种土地利用类型. 由图 4 可知,不同的土地利用类型,有机氯农药残留的差异性很大. 其中 HCHs 残留量排序为:居住地 (9.47 $\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$) > 厕所/养殖 > 果园 > 耕地 > 林地 > 菜地; DDTs 残留量排序为:居住地 (14.33 $\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$) > 菜地 > 厕所/养殖 > 耕地.

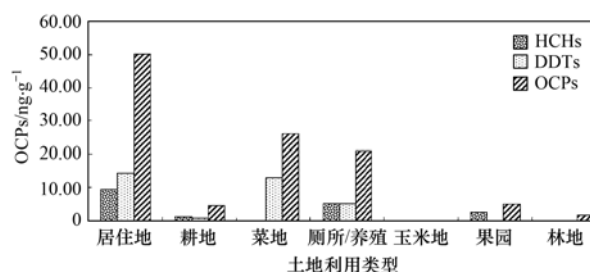


图 4 不同土地利用方式下有机氯农药的残留特征

Fig. 4 Characteristics of OCPs in different land use patterns

调查发现居住地周边一般即为菜地,在蔬菜种植过程中曾经大量使用农药,而且居住地环境又相对封闭,灌溉水源主要来自生活用水. 相比之下,其它类型的土地环境比较开阔,所施农药大多随地表径流流失,从而使得居住地周边土壤残留了相对较高的 OCPs. 因此,建议今后在利用该区域土地时将表面的土壤层剥除. 由于不同利用类型的土地种植方式、农药使用量、土壤条件等都存在差异,势必会影响到土壤中农药的残留量. 同时不同利用方式又使土壤形成不同的生化条件,土壤翻耕程度、透气性以及微生物活动强弱不同,造成的降解速度也不同,从而直接影响有机氯农药的环境归趋,造成其残留和分布的差异^[33]. 研究表明,土壤中有有机氯农药残留总量主要来源于 DDTs,而 HCHs 的贡献相对较小,仅占 30% 左右. 该地区有机氯农药残留也主要是 DDTs,与以上国内外相关研究成果一致^[34,35].

有机氯农药是一种典型的疏水性有机化合物,易在沉积物颗粒、生物体中,特别是有机碳颗粒上积聚. 总有机碳代表了沉积物中的有机质含量^[36]. 沉积物的有机质含量将会影响污染物在其中的吸附状况,并最终影响其在沉积物中的分布^[37]. 丹江口

水库迁建区土壤中有有机氯农药与总有机质含量之间的相关系数非常低(图 5),说明总有机质对丹江口水库迁建区土壤中有有机氯农药分布的影响较小,土壤中有有机氯农药的含量分布可能还受到土壤环境条件、土壤吸附剂类型以及区域污染排放等多种因素的综合影响^[38].

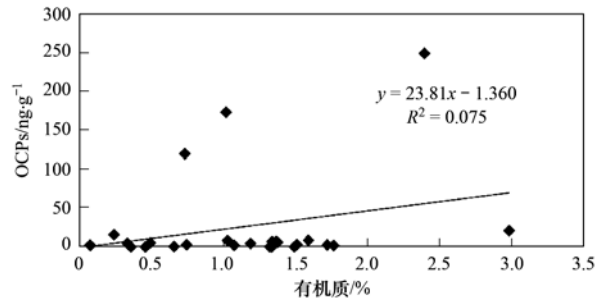


图 5 有机氯农药与有机质含量的关系
Fig. 5 Relationship between OCPs and organic matter

2.4 土壤中有有机氯农药的风险评价

目前对于沉积物中污染物风险评价尚未建立统一的标准,而丹江口迁建区土壤将来会因水库蓄水容量扩大而成为库底,将具有沉积物的特征,因此本文主要采用 Long 等^[39]确定的针对底泥和土壤中风险评估低值 ERL(effects range-low,生物效应几率 < 10%)和风险评估中值 ERM(effects range-median,生物效应几率 > 50%)来评价土壤中有有机污染物的风险程度. 根据该土壤风险评估值,对丹江口水库迁建区表层土壤中有有机氯农药进行了生态风险评价(表 4),由表 4 可知,大部分有机氯农药的含量都小于 ERL 值,其中部分样品(主要位于 NY-6-C 站和 NY-5-A 站)的 *p,p'*-DDE、*p,p'*-DDT 和 DDTs 含量均超过 ERL 值,说明这些区域周边土壤存在一定的生态风险,土壤中的有机氯农药可能会对环境造成一定的生态危害.

表 4 丹江口水库迁建区土壤中有有机氯农药的生态风险评价

Table 4 Risk evaluation of OCPs in soil from relocation areas of the Danjiangkou Reservoir						
化合物	ERL/ng·g ⁻¹	ERM/ng·g ⁻¹	OCPs 含量/ng·g ⁻¹	< ERL/%	ERL-ERM/%	> ERM/%
<i>p,p'</i> -DDE	2. 2	27	nd ~ 58. 28	80. 77	11. 54	7. 69
<i>p,p'</i> -DDD	2	20	nd ~ 8. 28	92. 31	7. 69	0
<i>p,p'</i> -DDT	1	7	nd ~ 37. 61	92. 31	3. 85	3. 85
DDTs	3	46. 1	nd ~ 104. 53	76. 92	15. 38	7. 69

3 结论

(1)丹江口水库迁建区表层土壤样品中共检出 13 种有机氯农药,有机氯农药总量的变化范围为 nd ~ 249. 37 ng·g⁻¹,平均值为 24. 82 ng·g⁻¹. 其中 HCHs 类农药含量在 nd ~ 69. 68 ng·g⁻¹之间,DDTs 类农药含量在 nd ~ 104. 53 ng·g⁻¹之间.

(2)有机氯农药总量、HCHs 和 DDTs 类农药的分布具有相似的空间变化趋势,其沿程分布均出现了多峰值变化,且高值区可能与采样点周围环境有关. 与国内其他区域表层土壤相比,研究区域土壤中有有机氯农药污染处于中等偏低水平.

(3)HCHs 类农药以 α -HCH 和 γ -HCH 为主,可能主要来源于近期新的含 HCHs 农药物质的输入或者大气远距离的输送. DDTs 类农药主要以 *p,p'*-DDE 为主,主要来源于早期残留或是施用农药长期风化后的土壤,并且丹江口迁建区表层土壤为好氧环境.

(4)有机氯农药含量与有机质含量之间无显著性相关关系,说明该区域土壤中有有机氯农药与有机质含量之间的相关系数较低,有机氯农药含量可能

还受到其他因素的影响,有待今后进一步研究.

(5)生态风险分析结果表明,大部分站位有机氯农药的含量都小于 ERL 值,但部分样品的 *p,p'*-DDE、*p,p'*-DDT 和 DDTs 含量超过 ERL 值,说明这些区域土壤中的有机氯农药可能对环境造成了一定的生态危害.

参考文献:

[1] 岳瑞生.《关于就某些持久性有机污染物采取国际行动的斯德哥尔摩公约》及其谈判背景[J]. 世界环境, 2001, (1): 24-28.

[2] Sweetman A J, Valle M D, Prevedouros K, et al. The role of soil organic carbon in the global cycling of persistent organic pollutants (POPs): interpreting and modelling field data[J]. Chemosphere, 2005, 60(7): 959-972.

[3] Shete A, Gunale V R, Pandit G G. Organochlorine pesticides in Avicennia marina from the Mumbai mangroves, India [J]. Chemosphere, 2009, 76(11): 1483-1485.

[4] 张家泉, 祁士华, 邢新丽, 等. 闽江干流沿岸土壤及河口沉积柱中有有机氯农药分布特征[J]. 环境科学, 2011, 32(3): 673-679.

[5] 史双昕, 周丽, 邵丁丁, 等. 北京地区土壤中有有机氯农药类 POPs 残留状况研究[J]. 环境科学研究, 2007, 20(1): 24-29.

[6] 尹炜, 蒋固政, 雷阿林, 等. 丹江口库区环境保护科技需求

- 分析研究[J]. 人民长江, 2011, **42**(S2): 112-114, 133.
- [7] 翁立达, 叶闵, 娄保峰, 等. 南水北调中线工程水源地的水质保护[J]. 人民长江, 2005, **36**(12): 24-26.
- [8] 封光寅, 胡家庆, 陈学谦, 等. 南水北调中线水源区水质状况及防治对策[J]. 中国水利, 2005, (8): 48-50.
- [9] 吴海峰. 南水北调中线工程对农业发展的影响及对策——河南省南阳市个案调查分析[J]. 黄河科技大学学报, 2010, **12**(4): 65-69.
- [10] 邵超, 周天健, 赵同谦, 等. 丹江口水库淅川淹没区农田土壤中有机氯农药的分布特征及生态风险研究[J]. 农业环境科学学报, 2010, **29**(4): 680-685.
- [11] 彭彪, 黄苗, 王彻华. 丹江口水库水体中微量有机污染物种类初探[J]. 人民长江, 1997, **28**(1): 27-29.
- [12] 乔卫芳, 赵同谦, 邵超. 丹江口水库河南汇水区土地利用景观格局分析[J]. 河南理工大学学报(自然科学版), 2011, **30**(3): 350-356.
- [13] 汪兴中, 蔡庆华, 李凤清, 等. 南水北调中线水源区溪流大型底栖动物群落结构的时空动态[J]. 应用与环境生物学报, 2009, **15**(6): 803-807.
- [14] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. (第四版). 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [15] 吕金刚, 毕春娟, 陈振楼, 等. 上海崇明岛农田土壤中有机氯农药残留特征[J]. 环境科学, 2011, **32**(8): 2455-2461.
- [16] 魏中青, 刘丛强, 梁小兵, 等. 贵州红枫湖地区水稻土多氯联苯和有机氯农药的残留[J]. 环境科学, 2007, **28**(2): 255-260.
- [17] Wang X J, Piao X Y, Chen J, *et al.* Organochlorine pesticides in soil profiles from Tianjin, China[J]. Chemosphere, 2006, **60**(9): 1514-1520.
- [18] 张家泉, 祁士华, 谭凌智. 福建武夷山北段土壤中有机氯农药的残留及空间分布[J]. 中国环境科学, 2011, **31**(4): 662-667.
- [19] 金广远, 王铁宇, 颜丽, 等. 北京官厅水库周边土壤 DDTs 和 HCHs 暴露特征与风险评价[J]. 环境科学, 2010, **31**(5): 359-1364.
- [20] Lee K T, Tanabe S, Koh C H. Distribution of organochlorine pesticides in sediments from Kyeonggi Bay and nearby areas, Korea[J]. Environmental Pollution, 2001, **114**(2): 207-213.
- [21] Hong H, Xu L, Zhang L, *et al.* Environmental fate and chemistry of organic pollutants in the sediment of Xiamen and Victoria Harbours[J]. Marine Pollution Bulletin, 1995, **31**(4-12): 229-236.
- [22] Kim J H, Smith A. Distribution of organochlorine pesticides in soils from South Korea[J]. Chemosphere, 2001, **43**(2): 137-140.
- [23] Tao S, Liu W X, Li Y, *et al.* Organochlorine pesticides contaminated surface soil as reemission source in the Haihe Plain, China[J]. Environmental Science and Technology, 2008, **42**(22): 8395-8400.
- [24] Hong H S, Chen W Q, Li X H, *et al.* Distribution and fate of organochlorine pollutants in the Pearl River Estuary[J]. Marine Pollution Bulletin, 1999, **39**(1-12): 376-382.
- [25] Kannan K, Tanabe S, Tatsukawa R. Geographical distribution and accumulation features of organochlorine residues in fish in tropical Asia and Oceania[J]. Environmental Science and Technology, 1995, **29**(10): 2673-2683.
- [26] Qiu X H, Zhu T, Yao B, *et al.* Contribution of dicofol to the current DDT pollution in China[J]. Environmental Science and Technology, 2005, **39**(12): 4385-4390.
- [27] Jaward T 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 and Technology, 2005, **39**(22): 8638-8645.
- [28] 黄韬. 毒药 DDT 何日远离海洋! [J]. 环境, 2009, (9): 26-28.
- [29] Zeng E Y, Venkatesan M I. Dispersion of sediment DDTs in the coastal ocean off southern California[J]. Science of the Total Environment, 1999, **229**(3): 195-208.
- [30] 安琼, 董元华, 王辉, 等. 南京地区土壤中有机氯农药残留及其分布特征[J]. 环境科学学报, 2005, **25**(4): 470-474.
- [31] 刘贵春, 黄清辉, 李建华, 等. 长江口南支表层沉积物中有机氯农药的研究[J]. 中国环境科学, 2007, **27**(4): 503-507.
- [32] 余刚, 牛军峰, 黄俊, 等. 持久性有机污染物: 新的全球性环境问题[M]. 北京: 科学出版社, 2005. 217-219.
- [33] 关卉, 杨国义, 李丕学, 等. 雷州半岛典型区域土壤有机氯农药污染探查研究[J]. 生态环境, 2006, **15**(2): 323-326.
- [34] Manz M, Wenzel K D, Dietze U, *et al.* Persistent organic pollutants in agricultural soils of central Germany[J]. Science of the Total Environment, 2001, **277**(1-3): 187-198.
- [35] 孟飞, 张建, 刘敏, 等. 上海农田土壤中六六六和滴滴涕污染分布状况研究[J]. 土壤学报, 2009, **46**(2): 361-364.
- [36] 邢云青, 尹方, 黄宏, 等. 长江口及东海近岸表层沉积物中有机氯农药赋存特征[J]. 海洋环境科学, 2011, **30**(1): 52-56.
- [37] 林田, 秦延文, 张雷, 等. 辽宁大伙房水库沉积物中有机氯农药和多氯联苯的分布、来源及风险评价[J]. 环境科学, 2011, **32**(11): 3294-3299.
- [38] Rockne K J, Shor L M, Young L Y, *et al.* Distributed sequestration and release of PAHs in weathered sediment: The role of sediment structure and organic carbon properties[J]. Environmental Science and Technology, 2002, **36**(12): 2636-2644.
- [39] Long E R, Macdonald D D, Smith S L, *et al.* Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments[J]. Environmental Management, 1995, **19**(1): 81-97.

CONTENTS

Observation of Size Distribution of Atmospheric OC/EC in Tangshan, China	GUO Yu-hong, XIN Jin-yuan, WANG Yue-si, <i>et al.</i> (2497)
Changing Characteristics of the Main Air Pollutants of the Dongling Mountain in Beijing	YU Yang-chun, HU Bo, WANG Yue-si (2505)
Characteristic Comparative Study of Particulate Matters in Beijing Before and During the Olympics	ZHANG Ju, OUYANG Zhi-yun, MIAO Hong, <i>et al.</i> (2512)
Characteristics and Impact Factors of O ₃ Concentrations in Mountain Background Region of East China	SU Bin-bin (2519)
Studies on the Size Distribution of Airborne Microbes at Home in Beijing	FANG Zhi-guo, SUN Ping, OUYANG Zhi-yun, <i>et al.</i> (2526)
Emission Factors of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Residential Coal Combustion and Its Influence Factors	HAI Ting-ting, CHEN Ying-jun, WANG Yan, <i>et al.</i> (2533)
Experimental Research on Alcohols, Aldehydes, Aromatic Hydrocarbons and Olefins Emissions from Alcohols Fuelled Vehicles	ZHANG Fan, WANG Jian-hai, WANG Xiao-cheng, <i>et al.</i> (2539)
Combination Process of Microwave Desorption-Catalytic Combustion for Toluene Treatment	CAO Xiao-qiang, ZHANG Hao, HUANG Xue-min (2546)
Removal of BTEX by a Biotrickling Filter and Analysis of Corresponding Bacterial Communities	LI Jian-jun, LIAO Dong-qi, XU Mei-ying, <i>et al.</i> (2552)
Source Profile of Volatile Carbonyl Compounds in Wastewater Treatment Plant of an Oil Refinery	ZHOU Bo-yu, LIU Wang, WANG Bo-guang, <i>et al.</i> (2560)
Distribution and Air-Sea Fluxes of Methane in the Yellow Sea and the East China Sea in the Spring	CAO Xing-peng, ZHANG Gui-ling, MA Xiao, <i>et al.</i> (2565)
Study on Seasonal Characteristics of Thermal Stratification in Lacustrine Zone of Lake Qiandao	DONG Chun-ying, YU Zuo-ming, WU Zhi-xu, <i>et al.</i> (2574)
Effects of Land Use Structure on Water Quality in Xin'anjiang River	CAO Fang-fang, LI Xue, WANG Dong, <i>et al.</i> (2582)
Canonical Correspondence Analysis Between Phytoplankton Community and Environmental Factors in Macrophtic Lakes of the Middle and Lower Reaches of Yangtze River	MENG Rui, HE Lian-sheng, GUO Long-gen, <i>et al.</i> (2588)
Microbial Bioavailability of Dissolved Nucleic Acids Across the Estuarine Salinity Gradient	YANG Qing-qing, LI Peng-hui, HUANG Qing-hui (2597)
Elementary Quantitative Study on Factors of Phytoplankton Bloom	ZHANG Zhuo, SONG Zhi-yao, HUANG Chang-chun, <i>et al.</i> (2603)
Spatiotemporal Succession of Algae Functional Groups and the Influence of Environment Change in a Deep-water Reservoir	LU Jin-suo, HU Ya-pan (2611)
Hyperspectral Remote Sensing of Total Suspended Matter Concentrations in Lake Taihu Based on Water Optical Classification	ZHOU Xiao-yu, SUN De-yong, LI Yun-mei, <i>et al.</i> (2618)
Application of Subwet Model in the Design of Constructed Wetland	LI Hui-feng, HUANG Jin-hui, LIN Chao (2628)
Allelopathic Effect of <i>Nelumbo nucifera</i> Stem and Leaf Tissue Extract on the Growth of <i>Microcystis aeruginosa</i> and <i>Scenedesmus quadricauda</i>	HE Lian-sheng, MENG Fan-li, DIAO Xiao-jun, <i>et al.</i> (2637)
Influence of <i>Vallisneria spiralis</i> on the Physicochemical Properties of Black-odor Sediment in Urban Sluggish River	XU Kuan, LIU Bo, WANG Guo-xiang, <i>et al.</i> (2642)
Removal of Cr(VI) by Iron Filings with Microorganisms to Recover Iron Reactivity	TANG Jie, WANG Zhuo-xing, XU Xin-hua (2650)
Degradation of Phenol with a Fe/Cu-Catalytic Heterogeneous-Fenton Process	YANG Yue-zhu, LI Yu-ping, YANG Dao-wu, <i>et al.</i> (2658)
Effect of Different Forms of Inorganic Nitrogen on the Photodegradation of Antipyrine in Water	ZHAO Qian, CHEN Chao, FENG Li, <i>et al.</i> (2665)
Degradation Mechanisms of Dimethyl Phthalate in the UV-H ₂ O ₂ System	LIU Qing, CHEN Cheng, CHEN Hong-zhe, <i>et al.</i> (2670)
Adsorption of Cd ²⁺ Ions in Aqueous by Diamine-Modified Ordered Mesoporous SBA-15 Particles	ZHANG Meng, YANG Ya-ti, QIN Rui, <i>et al.</i> (2677)
Surface Organic Modification of Acid Vermiculite and Its Adsorption of Hydrophobic Micro Pollutants in Aqueous Solutions	JIANG Zheng-ming, YU Xu-biao, HU Yun, <i>et al.</i> (2686)
Preparation of Porous Ceramics Based on Waste Ceramics and Its Ni ²⁺ Adsorption Characteristics	ZHANG Yong-li, WANG Cheng-zhi, SHI Ce, <i>et al.</i> (2694)
Perchlorate Removal from Underground Water by Anaerobic Biological Reduction with Bark	WANG Rui, LIU Fei, CHEN Nan, <i>et al.</i> (2704)
Experimental Study on the Remediation of Chromium Contaminated Groundwater with PRB Media	ZHU Wen-hui, DONG Liang-fei, WANG Xing-run, <i>et al.</i> (2711)
Removal of Calcium and High-strength Ammonia Nitrogen from the Wastewater of Rare-earth Elements Hydrometallurgical Process by Chemical Precipitation	WANG Hao, CHENG Guan-wen, SONG Xiao-wei, <i>et al.</i> (2718)
Leaching Kinetics of Josephinite Tailings with Sulfuric Acid	CHEN An-an, ZHOU Shao-qi, HUANG Peng-fei (2729)
Effects of HRT on Fate of Typical Polycyclic Musk by A ² O Process	LIU Peng-cheng, HUANG Man-hong, CHEN Dong-hui, <i>et al.</i> (2735)
Kinetic Simulation of Enhanced Biological Phosphorus Removal with Fermentation Broth as Carbon Source	ZHANG Chao, CHEN Yin-guang (2741)
Effluent Carbon Source Improvement and Sludge Reduction by Hydrolysis Reactor with Enhanced Sludge Utilization	XIONG Ya, WANG Qiang, SONG Ying-hao, <i>et al.</i> (2748)
Optimization of Extracellular Polymeric Substance Extraction Method and Its Role in the Dewaterability of Sludge	ZHOU Jun, ZHOU Li-xiang, WONG Woo-chung (2752)
Effectiveness of Arsenite Adsorption by Ferric and Alum Water Treatment Residuals with Different Grain Sizes	LIN Lu, XU Jia-rui, WU Hao, <i>et al.</i> (2758)
Regional Differences and Development Tendency of Livestock Manure Pollution in China	QIU Huan-guang, LIAO Shao-pan, JING Yue, <i>et al.</i> (2766)
Quantitative Partitioning of Soil Selenium in the Selenium-Rich Area of Northern Zhejiang Plain	XU Ming-xing, PAN Wei-feng, CENG Jing, <i>et al.</i> (2775)
Effects of Land Use on Manganese Distribution and Fractions in Wetland Soil of Sanjiang Plain, Northeast China	ZHANG Zhong-sheng, LU Xian-guo, SONG Xiao-lin (2782)
Research on Vertical Distribution Pattern and Reserve of Organic Carbon in Paddy Field Soil of Qianguo, Jilin	TANG Jie, ZHANG Wen-hui, LI Zhao-yang, <i>et al.</i> (2788)
Soil Organic Carbon Sequestration Rate and Its Influencing Factors in Farmland of Guanzhong Plain; A Case Study in Wugong County, Shanxi Province	ZHANG Xiao-wei, XU Ming-xiang (2793)
Effects of Biological Regulated Measures on Active Organic Carbon and Erosion-Resistance in the Three Gorges Reservoir Region Soil	HUANG Ru, HUANG Lin, HE Bing-hui, <i>et al.</i> (2800)
Quantifying Soil Autotrophic Microbes-Assimilated Carbon Input into Soil Organic Carbon Pools Following Continuous ¹⁴ C Labeling	SHI Ran, CHEN Xiao-juan, WU Xiao-hong, <i>et al.</i> (2809)
Analysis of Soil Respiration and Influence Factors in Wheat Farmland Under Conservation Tillage in Southwest Hilly Region	ZHANG Sai, ZHANG Xiao-yu, WANG Long-chang, <i>et al.</i> (2815)
Distribution Characteristics and Risk Evaluation of Organochlorine Pesticides in Soil from Relocation Areas of the Danjiangkou Reservoir	LI Zi-cheng, QIN Yan-wen, ZHENG Bing-hui, <i>et al.</i> (2821)
Risk Assessment and Countermeasure of BTEX in Pesticide Factory	PANG Bo, WANG Tie-yu, DU Li-yu, <i>et al.</i> (2829)
Accumulation of S, Fe and Cd in Rhizosphere of Rice and Their Uptake in Rice with Different Water Managements	ZHANG Xue-xia, ZHANG Xiao-xia, ZHENG Yu-ji, <i>et al.</i> (2837)
Effects of Nitrate on Organic Removal and Microbial Community Structure in the Sediments	LIU Jin, DENG Dai-yong, SUN Guo-ping, <i>et al.</i> (2847)
Zero-Valent Iron-Enhanced Azoreduction by the <i>Shewanella decolorationis</i> S12	ZHOU Qing, CHEN Xing-juan, GUO Jun, <i>et al.</i> (2855)
Isolation, Identification of Two Aerobic Denitrifiers and Bioaugmentation for Enhancing Denitrification of Biofilm Under Oligotrophic Conditions	QUAN Xiang-chun, CEN Yan, QIAN Yin (2862)
Rapid Enrichment and Cultivation of Denitrifying Phosphate-Removal Bacteria and Its Identification by Fluorescence <i>in situ</i> Hybridization Technology	LIU Li, TANG Bing, HUANG Shao-song, <i>et al.</i> (2869)
Identification of a Denitrifying Polyphosphate-accumulating Organism (DPAO) and Study on Its Denitrifying Functional Genes	ZHANG Qian, WANG Hong-yu, SANG Wen-jiao, <i>et al.</i> (2876)
Isolation and Characterization of a Highly Efficient BBP-degrading Bacterium	CHEN Hu-xing, YANG Xue, ZHANG Kai, <i>et al.</i> (2882)
Degradation of Nicosulfuron by Combination Effects of Microorganisms and Chemical Hydrolysis	ZHANG Xiao-lin, LI Yong-mei, YUAN Zhi-wen (2889)
Isolation, Screening and Identification of Prometryne-Degrading Bacteria and Their Degrading Characteristics	ZHOU Ji-hai, SUN Xiang-wu, HU Feng, <i>et al.</i> (2894)
Preparation of PVA-SA-PHB-AC Composite Carrier and <i>m</i> -Cresol Biodegradation by Immobilized <i>Lysinibacillus cresolivorans</i>	LI Ting, REN Yuan, WEI Chao-hai (2899)
Extraction of Surface Active Substance and Analysis of Demulsifying Characteristics for the Demulsifying Strain <i>Alcaligenes</i> sp. S-XJ-1	HUANG Xiang-feng, ZHANG Shu-cong, PENG Kai-ming, <i>et al.</i> (2906)
Diversity of Culturable Filamentous Bacteria in the Activated Sludge from A ² O Wastewater Treatment Process	GAO Sha, JIN De-cai, ZHAO Zhi-rui, <i>et al.</i> (2912)
Composition and Transformation of Leachates During Municipal Solid Waste Composting	LI Dan, HE Xiao-song, XI Bei-dou, <i>et al.</i> (2918)

《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7月15日 34卷 第7期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 7 Jul. 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