

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第8期

Vol.34 No.8

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

2006 ~ 2009 年我国超大城市霾天气特征及影响因子分析	戴永立, 陶俊, 林泽健, 谢绍东, 曹军骥, 张仁健 (2925)
南京北郊秋季 VOCs 及其光化学特征观测研究	李用宇, 朱彬, 安俊琳, 高晋微, 夏丽, 张祥志, 秦玮, 汤莉莉 (2933)
大气 PM _{2.5} 中水溶性离子在线观测技术的应用研究	程萌田, 潘月鹏, 王辉, 刘全, 王跃思 (2943)
一种纳米气溶胶发生系统的设计及性能测试	麦华俊, 蒋靖坤, 何正旭, 郝吉明 (2950)
焦炉顶和厂区内环境中有机碳和元素碳的粒径分布	刘效峰, 彭林, 白慧玲, 牟玲, 宋耕芳 (2955)
昼夜增温对大豆田土壤 N ₂ O 排放的影响	胡正华, 周迎平, 崔海玲, 陈书涛, 肖启涛, 刘艳 (2961)
不同土地利用方式下冬季 N ₂ O 排放及其影响因素	伍延正, 张苗苗, 秦红灵, 侯海军, 陈春兰, 魏文学 (2968)
基于支持向量回归模型的水稻田甲烷排放通量预测研究	陈强, 蒋卫国, 陈曦, 袁丽华, 王文杰, 潘英姿, 王维, 刘孝富, 刘海江 (2975)
夏季黄海和渤海微表层和次表层海水中营养盐的分布特征	王文涛, 杨桂朋, 于娟, 吴冠伟 (2983)
氮磷浓度对东海原甲藻优势种群吸附 BDE28 和 BDE47 的影响	汪芳, 葛蔚, 柴超, 孟祥霞 (2992)
基于光学分类的太湖水体叶绿素 a 浓度高光谱遥感	孙德勇, 周晓宇, 李云梅, 陈晓玲, 黄昌春, 龚绍琦 (3002)
基于浮游细菌生物完整性指数的河流生态系统健康评价——以滇池流域为例	黄艺, 舒中亚 (3010)
珠江三角洲城市非点源 COD 影响因素分析及其负荷估算	廖义善, 卓慕宁, 李定强, 郭太龙 (3019)
珠江流域河流碳输出通量及变化特征	张连凯, 覃小群, 杨慧, 黄奇波, 刘朋雨 (3025)
三峡库区兰陵溪小流域养分流失特征	曾立雄, 肖文发, 黄志霖, 王佐庆 (3035)
三峡库区消落带典型草本植物淹水浸泡后可溶性有机碳的释放特征	谭秋霞, 朱波, 花可可 (3043)
混合层深度对藻类生长的影响研究	陈洋, 杨正健, 黄钰铃, 张平, 刘德富 (3049)
伊乐藻-氮循环菌联用对太湖梅梁湾水体脱氮的研究	赵琳, 李正魁, 周涛, 吴宁梅, 叶忠香, 刘丹丹 (3057)
组合型生态浮床对上覆水和沉积物之间氮磷的影响	郑立国, 杨仁斌, 王海萍, 宋建军 (3064)
生物炭覆盖对底泥污染物释放的影响	李扬, 李锋民, 张修稳, 吴召富, 于辉 (3071)
东莞石马河流域重金属污染及生态毒性的时空差异	高磊, 陈建耀, 柯志庭, 王江, 杨雪韵, 清水裕太 (3079)
连环湖牙门气泡沉积物重金属演化 and 污染研究	肖海丰, 臧淑英, 关莹, 刘少军, 徐海凤, 孙清展, 王京京, 李苗 (3088)
人工湿地净化工业区含非污染降雨径流的效果研究	敬丹丹, 王金泉, 马邕文, 李东亚, 王艳, 黄明智 (3095)
四环素抗性基因在人工湿地中的去除及累积	郑加玉, 刘琳, 高大文, 刘超翔 (3102)
不确定节点水量下水质监测点优化选址方法	刘书明, 吴雪, 欧阳乐岩 (3108)
饮用水中含氮消毒副产物三氯硝基甲烷的形成过程和影响因素	丁春生, 邹邦文, 缪佳, 傅洋平, 沈嘉辰 (3113)
漆酶催化氧化水中雌激素的研究	夏青, 谢卫平, 刘国强, 廖云燕, 王斌楠, 孔德洋, 陆隼鹤 (3119)
碳纳米管电极电还原降解水中头孢他啶	朱宏, 胡翔, 李俊峰 (3125)
UV-vis 光照下喹类抗菌药氟康唑的光化学反应类型	葛林科, 李凯, 杨凯, 邢广水, 于春艳, 张蓬, 姚子伟 (3132)
氙灯/TiO ₂ 体系下敌草隆光催化降解动力学研究	阳海, 曾健, 黎源, 阳立平, 易兵 (3137)
羟基磷灰石对水中刚果红的吸附作用研究	詹艳慧, 林建伟 (3143)
乙醇处理对树脂基纳米水合氧化铁结构及其除砷性能的影响	万琪, 李旭春, 潘丙才 (3151)
污水中溶解性有机氮类化合物的氯化反应特性及其消毒副产物生成潜能	刘冰, 于鑫, 余国忠, 古励, 赵承美, 翟慧敏, 李清飞 (3156)
短程深度脱氮中试工艺的低温启动和维持	顾升波, 王淑莹, 彭永臻 (3164)
生物活性炭厌氧氨氧化反应器启动过程研究	赖玮毅, 周伟丽, 何圣兵 (3171)
东北三省畜禽养殖粪固氮激素排放及其潜在污染风险	刘妹芳, 李艳霞, 张雪莲, 冯成洪, 鲁肖飞, 杨明, 李帷, 朱铁群, 黄泽春 (3180)
淮河流域土壤中全氟化合物的空间分布及组成特征	孟晶, 王铁宇, 王佩, 吕永龙 (3188)
华北平原典型区土壤氟的形态及其分布特征	易春瑶, 汪丙国, 靳孟贵 (3195)
长期施磷的产量效应及其环境风险评价	颜晓, 王德建, 张刚, 冉景, 郑继成 (3205)
污灌渠中有机氯农药对沿岸土壤的影响	徐亮, 张彩香, 刘敏, 廖小平, 姚林林, 李佳乐, 向青清 (3211)
表面活性剂及其组合洗脱污染土壤中的硫丹	熊佰炼, 郑国灿, 张进忠, 邢贻, 徐卫红 (3216)
黄土丘陵区不同坡向对土壤微生物生物量和可溶性有机碳的影响	赵彤, 蒋跃利, 闫浩, 黄懿梅, 安韶山 (3223)
氮素添加对樟树林红壤微生物的影响	郁培义, 朱凡, 宿少锋, 王志勇, 闫文德 (3231)
医疗废物焚烧炉周边环境介质中二噁英的浓度、同系物分布与来源分析	黄文, 张素坤, 杜国勇, 张漫雯, 冯桂贤, 任明忠 (3238)
固相微萃取和固相萃取评价多环芳烃降解过程中的生物有效性变化	郭美霞, 巩宗强, 李晓军, 刘丹, 王悦 (3244)
改良型固定化 <i>Pseudomonas oleovorans</i> DT4 降解四氢呋喃的研究	邵钱, 叶杰旭, 欧阳杜娟, 陈建孟, 陈东之 (3251)
PCR-DGGE 技术解析固体碳源表面生物膜的微生物群落结构	徐影, 仇天雷, 韩梅琳, 李军, 王旭明 (3257)
温度对嗜酸性硫杆菌活性和生物成因次生铁矿物形成的影响	宋永伟, 赵博文, 霍敏波, 崔春红, 周立祥 (3264)
小白菜对外源硝酸盐和亚硝酸盐动态吸收的差异及其机制研究	郭璐, 满楠, 梁东丽, 谢钧宇, 刘娟娟 (3272)
预处理对打捆麦秸贮存和厌氧生物产沼气的的影响	马慧娟, 陈广银, 杜静, 常志州, 叶小梅 (3280)
硝酸盐对淡水水生生物毒性及水质基准推导	张铃松, 王业耀, 孟凡生, 周岳溪, 于海斌 (3286)
生物毒性测试微孔板 MTOXPlate 的分析性能研究	林奕云, 张国霞, 贺丽苹, 孙国萍, 许玫英 (3294)
两种实验设计研究 DES 和 EV 对 MCF-7 细胞增殖的联合作用	刘倩, 雷炳莉, 安静, 尚羽, 钟玉芳, 康佳, 文育 (3303)
中国近海海洋环境多氯联苯 (PCBs) 污染现状及影响因素	刘敏霞, 杨玉玉, 李庆孝, 王俊 (3309)
城市污水处理厂出水中的药品和个人护理品	郑少奎, 李晓峰 (3316)
生物炭封存技术研究进展	姜志翔, 郑浩, 李锋民, 王震宇 (3327)
饮用水水源地严格管理水质的对策分析——对实行严格水资源管理问题上的看法和建议	傅国伟 (3334)
《环境科学》征稿简则 (2967) 《环境科学》征订启事 (3034) 信息 (3063, 3136, 3194, 3302)	

污灌渠中有机氯农药对沿渠土壤的影响

徐亮, 张彩香*, 刘敏, 廖小平, 姚林林, 李佳乐, 向青清

(中国地质大学(武汉)生物地质与环境地质国家重点实验室, 武汉 430074)

摘要: 为了研究污水灌渠侧渗对土壤的影响, 采用气相色谱-电子捕获检测器(GC-ECD)方法对太原市小店污灌区9个剖面土和2个灌溉污水样进行有机氯化合物(OCPs)分析。结果表明退水渠中有机氯农药主要由六六六(HCHs)组成, 滴滴涕(DDTs)及其它有机氯农药含量较低或未检出, 在8个离渠较近剖面的地表土中 $\sum$ OCPs和HCHs含量一定程度上符合随垂直于渠的直线距离增加而逐步降低的趋势, 表明污水渠侧渗对土壤存在着一定影响。8个剖面土壤中的HCHs含量随着深度的增加而降低, 在水平方向上, 同一深度土壤中的HCHs含量也沿远离渠的直线方向逐步递减。研究区土壤中HCHs含量与TOC之间存在较为显著的正相关性, 而与pH之间不存在相关性。

关键词: 污水渗漏; 有机氯农药; 剖面土; 垂直特征; 水平特征

中图分类号: X53 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)08-3211-05

Influence of Organochlorine Pesticides in Wastewater on the Soil Along the Channel

XU Liang, ZHANG Cai-xiang, LIU Min, LIAO Xiao-ping, YAO Lin-lin, LI Jia-le, XIANG Qing-qing

(State Key Laboratory of Biogeology and Environmental Geology, China University of Geoscience, Wuhan 430074, China)

Abstract: Nine profile soil samples and two sewage water samples were collected from Xiaodian sewage irrigation area in Taiyuan city, concentrations of organochlorine pesticides (OCPs) were determined by the gas chromatography coupled with electron capture detector (GC-ECD) to analyze the influence of the leakage of sewage water. The result shows that OCPs in sewage water were mainly composed of HCHs. Concentrations of DDTs and other organochlorine pesticides were very low or out of the detection limit. Concentrations of $\sum$ OCPs and HCHs in eight profiles near irrigation channels to some extent decreased with the increasing of the linear distance off the channel, which shows influences of the leakage of sewage water on the soil nearby. Concentrations of HCHs clearly decreased with the increasing of soil depth in most profile soils. For the horizontal direction, concentrations of HCHs also decreased with the increasing of the linear distance off the channel. The correlation between HCHs and TOC was positive, but no correlation between pH and HCHs was found.

Key words: sewage leakage; organochlorine pesticides; profile soil; vertical characteristics; horizontal characteristics

污水灌溉一直是解决农业用水问题的主要途径, 近年来, 国内外学者对污水灌溉的利弊进行了大量研究, 研究表明污水灌溉能充分利用水中的营养物质使农作物增产, 但水中的重金属、难降解有机物等也可能对污灌区的土壤和地下水造成污染^[1-5]。太原市小店区位于市区东南部, 由于水资源缺乏, 该地区一直采用污水灌溉解决用水问题, 至今已有50多年历史。长期的污水灌溉已导致该区域土壤质量下降, 重金属和一些难降解有机污染物在土壤中富集^[6-10], 但迄今关于污灌渠污水侧向渗漏是否对土壤产生影响的研究还未涉及。

有机氯农药(OCPs)是一种理化性质稳定、持久性和生物富集性很强的有机污染物, 其在环境中难以自然降解, 并能通过迁移和食物链传递等多种途径对生态系统和人类健康造成危害^[11-14]。由于其难降解性和危害性, 它们在土壤等环境介质中的

存留问题一直是各国科学家的研究重点^[15-18]。本研究以太原市小店污灌区为对象, 在该灌区及国内外已有研究的基础上, 调查分析污灌渠中污水和沿渠土壤剖面中的有机氯残留, 以了解污灌渠对沿渠土壤的影响。

1 材料与方法

1.1 样品采集

小店区的污灌渠主要有东干渠、北张退水渠和太榆退水渠这3条。为了了解灌渠污水侧向渗漏对土壤中有机氯含量的影响, 依据污水灌渠的走向, 研究组于2011年8月在该区域采取9个剖面土系列

收稿日期: 2012-11-02; 修订日期: 2012-12-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(40972156)

作者简介: 徐亮(1988~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为有机污染物环境化学, E-mail: 270577253xl@gmail.com

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

(不同系列编号为 GS01~08 及 WS11-1) 和剖面土附近渠内水样两个(编号为 SW11-05 及 SW11-07)(图 1). 其中 GS01~04 位于北张和太榆退水渠之间的流涧地区, 主要分布在渠边的农田内, 分别离渠 2、7、16、35 m. GS05~08 位于北张和太榆退水渠交汇点下游的侯家堡地区, 样点位于渠边空地, 分别离渠 1、7、15、26 m. 两地区均采用污水灌溉, 最后结果进行对比验证. WS11-1 采取于清水灌溉地区, 作为研究背景点. 剖面土样用洛阳铲采集约 1~2 m, 每隔 10 cm 采样一次, 每个系列再进行编号(如 GS01-01~GS01-08 等), 每层土样去除混合层浮土取中间土样装入事先洗净并烘干的铝盒中, 铝盒用封口膜密封. 水样用采样桶采集渠中间地带流动水, 现场测定 pH 和电导率后装入塑料采样瓶中, 同样用封口膜密封. 以上样品均被及时送往实验室, 放入冰箱 -4℃ 保存, 一周内进行处理分析.

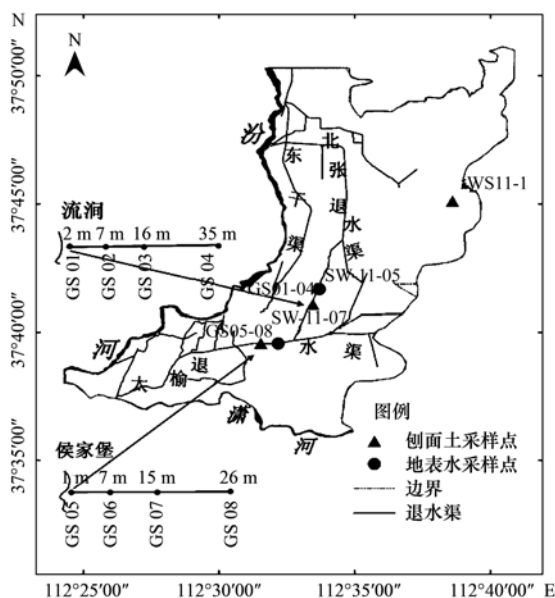


图 1 研究区采样点分布示意

Fig. 1 Map of the sampling sites in study area

1.2 样品预处理

土样预处理方法主要为索氏抽提和浓缩, 详细步骤参考文献[19]. 简述为: 土样经自然风干后研磨过 200 目筛, 准确称取 10 g 样品后加入回收率指示剂 2,4,5,6-四氯间二甲苯(TCMX) 和十氯联苯(PCB209), 经索氏抽提后上旋转蒸发仪浓缩, 后经过硅胶/氧化铝(体积比 2:1) 层析柱净化, 加内标五氯硝基苯(PCNB) 后保存.

水样预处理方法: 准确量取 500 mL 水样加入 1 L 的分液漏斗中, 迅速加入回收率指示剂后经液液萃取进行浓缩, 然后过层析柱净化, 吹氮后加标保

存. 详细步骤见文献[20].

1.3 主要试剂及分析仪器

主要试剂包括: 机氯农药标准物质由 24 种有机氯农药(α -HCH、 β -HCH、 γ -HCH、 δ -HCH、 o,p' -DDE、 p,p' -DDE、 o,p' -DDD、 p,p' -DDD、 o,p' -DDT、 p,p' -DDT、 α -endosulfan、 β -endosulfan、endosulfan-sulfate、*trans*-chlordan、*cis*-chlordan、hexachlorobenzene、aldrin、endri、dieldrin、heptachlor、heptachlor-epoxide、*trans*-nonchlor、*cis*-nonchlor、methoxychlor) 组成的混标; 回收率指示剂为 TCMX 和 PCB209; 内标化合物为 PCNB; 以上试剂均购自美国 Ultra Scientific 公司. 硅胶(青岛海洋化工厂分厂, 分析纯); 氧化铝(国药集团化学试剂有限公司, 分析纯); 无水硫酸钠(天津市福晨化学试剂厂, 分析纯); 氮气(武钢氧气气瓶检验厂, 99.99%); 二氯甲烷、正己烷、丙酮(美国 TEDIA 公司, 农残级).

主要分析仪器: 气相色谱-电子捕获器(GC-ECD, Agilent HP6890, USA). 色谱柱为 DB-5 石英毛细管柱(30 m $\times$ 0.32 mm $\times$ 0.25 μ m); Liqui TOC 总有机碳分析仪(德国 Elementar 公司); Sension-2 型 pH 计(美国 Hach 公司); Rotavapor R-210 型旋转蒸发仪(瑞士 Buchi 公司); EFCG-11155-DA 型 12 管氮吹仪(干浴, 美国 Thermo 公司). 冷却循环水机(美国 Organ-omation 公司).

1.4 质量保证与质量控制(QA/QC)

目标化合物采用内标法定量, 采用质量浓度分别为 10、20、50、100 μ g $\cdot$ L⁻¹ 的混标系列建立标准曲线, 每种物质的相关系数均大于 0.99, 依据信噪比(S/N) 为 3, 土样 OCPs 的检出限为 0.001~0.005 ng $\cdot$ g⁻¹, 水样检出限为 0.005~0.01 ng $\cdot$ L⁻¹. 样品中 TCMX 回收率平均值为 69%, PCB 209 回收率平均值为 76%, 每天做一个方法空白, 以检验分析过程中可能引起的污染, 结果表明空白样中没有检测到目标化合物; 用 Agilent 色谱工作站处理样品数据时, 每天的数据均通过分析有机氯农药标准物质(100 μ g $\cdot$ L⁻¹) 进行仪器日校正, 所以样品都经过回收率校正和仪器校正.

2 结果与讨论

2.1 污水及地表土中有机氯农药含量及组成

表 1 为 9 个剖面土的表层土壤(0~10 cm) 和邻近污水渠中的有机氯农药含量. 两个水样中有机氯农药含量分别为 825.6 ng $\cdot$ L⁻¹ 和 450.22 ng $\cdot$ L⁻¹, 污水渠中的有机氯药基本由六六六(HCHs) 组成, 分

别占到总含量的 95.7% 和 97.6%, 其它物质含量极低或未检测出. 污灌区 8 个表层土壤中大部分有机氯农药均被检出, 含量范围为 3.71 ~ 61.27 ng·g⁻¹, 平均值为 21.48 ng·g⁻¹ 其主要由 HCHs、DDTs 和 methoxychlor 组成. 背景点武宿地区采用清水进行灌溉, 其表层土中 OCPs 含量为 31.82 ng·g⁻¹ 高于大部分污灌区表层土中的 OCPs, 其组成中 DDTs 含量高达 20.02 ng·g⁻¹, 占到总量的 62.9%. 可能与该地区种植蔬菜大量使用滴滴涕农药有关^[21]. 两个污灌区中 $\sum$ OCPs 和 HCHs 值在最靠近渠的 GS01

和 GS05 剖面表层土中最大, 而离渠较远的点其对应值则相对小很多, 两条研究直线上 $\sum$ OCPs 和 HCHs 值大致上符合随距离增加而逐步降低的趋势. 考虑到同一研究区的土壤质地基本相同, 污水灌溉采用漫灌的方式, 化肥的使用、作物的吸收和土壤矿物对各个采样点之间 $\sum$ OCPs 和 HCHs 含量的差异没有影响. 由于两地的污水灌渠大部分未进行防渗处理可以推断研究区地表土中 $\sum$ OCPs 在平面上的差异主要由于污水灌渠的侧向渗漏引起的.

表 1 污灌区表层土及污水中有机氯含量¹⁾

Table 1 Concentration of organochlorine pesticides in topsoils of sampling sites and in sewage water											
有机氯农药	SW11-05 ^a	GS01 ^b	GS02 ^b	GS03 ^b	GS04 ^b	SW11-07 ^c	GS05 ^d	GS06 ^d	GS07 ^d	GS08 ^d	WS11-1 ^e
HCHs ²⁾	790.82	6.60	2.34	2.80	1.50	439.54	36.89	0.82	3.34	6.10	4.33
DDTs ³⁾	2.31	6.94	3.56	3.24	3.02	3.44	12.61	0.82	3.14	3.65	20.02
endosulfans ⁴⁾	2.85	0.67	1.45	1.02	0.44	3.31	1.01	0.36	0.30	0.37	0.47
HCB	2.03	2.30	0.59	0.35	0.51	2.65	2.96	0.21	0.52	0.83	0.79
heptachlor	0.85	N. D. ⁵⁾	0.64	0.06	0.04	0.26	0.31	0.01	0.13	0.04	0.02
Aldrin	19.33	5.54	3.97	2.26	2.17	N. D.	1.01	0.10	1.90	0.24	1.87
heptachlor-epoxide	5.37	N. D.	N. D.	0.35	0.64	N. D.	0.55	0.25	N. D.	N. D.	N. D.
trans-chlordane	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	0.06	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.
cis-chlordane	1.31	N. D.	N. D.	N. D.	0.16	N. D.	0.74	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.
non-TC	N. D.	N. D.	0.14	0.03	0.06	N. D.	0.16	N. D.	0.06	0.06	N. D.
dieldrin	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.
endrin	N. D.	0.68	0.74	0.32	0.05	N. D.	0.05	0.43	1.78	0.02	N. D.
non-CC	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	1.05	0.14	N. D.	0.08	0.23	N. D.
methoxychlor	0.72	5.88	3.21	4.23	4.98	N. D.	4.85	0.71	5.87	4.64	4.33
$\sum$ OCPs	825.60	28.61	16.63	14.67	13.63	450.22	61.27	3.71	17.13	16.18	31.82

1) a: 流涧污灌区水样, b: 流涧污灌区土样, c: 侯家堡污灌区水样, d: 侯家堡污灌区土样, e: 武宿背景点土样; 土壤单位: ng·g⁻¹, 水样单位: ng·L⁻¹; 2) HCHs = α -HCH + β -HCH + γ -HCH + δ -HCH; 3) DDTs = o, p' -DDE + p, p' -DDE + o, p' -DDD + p, p' -DDD + o, p' -DDT + p, p' -DDT; 4) endosulfans = α -endosulfan + β -endosulfan + endosufan-sulfate; 5) N. D. = Not Detection

2.2 沿渠土壤中 HCHs 的垂直及水平变化特征

2.2.1 HCHs 在土层中的垂直变化特征

图 2 为两个研究区中 HCHs 随深度的增加的变化趋势. GS01 ~ 04 系列的 4 个剖面中 HCHs 的含量基本随着深度的增加而逐渐降低, 表明 HCHs 在渗入土壤中后在垂直向下的过程中逐渐被土壤吸附或降解^[22, 23]. 整个系列剖面中 HCHs 的含量在 0 ~ 50 cm 的土层中逐步降低的幅度较大, 而在 50 cm 深度以下变化幅度则明显减小. GS04 剖面中 HCHs 含量先降低后在第 3 个层位 (25 cm) 达到最大, 然后再逐步降低, 可能与该采样点位于农田中, 浅层土壤在频繁的耕作过程中发生相互混合有关. GS05 ~ 08 系列相对于前一个研究区情况较为复杂, 但总体上仍呈逐渐降低的趋势. GS05 在表层土中 (5 cm) 含量相对其他数值明显较大, 可能与该点离渠最近 (1 m) 在丰水期被污水长期淹没有关. GS08 剖面中 HCHs 的含量变化最为复杂, 在 0 ~ 45 cm 的层位中

出现反复变化, 在 35 cm 处到达最大值. 由于该点位于农田边一条已经废弃的引水渠中, 可能是在以前的使用过程中污水中大量的 HCHs 在 25 ~ 35 cm 处被富集而未被及时吸附和降解^[24], 表层土壤 (5 ~ 15 cm) 中的 HCHs 较低可能是该渠废弃后其中的残留 HCHs 被表层土壤中大量的微生物所降解或挥发. 清灌区武宿剖面中 HCHs 在浅层土壤中 (5 ~ 35 cm) 含量要高于同深度部分剖面, 而在较深层土壤中含量已降至很低, 基本上低于大部分剖面或持平. 可能是由于表层土壤中受到含 HCHs 农药的污染.

2.2.2 HCHs 垂直于渠的水平变化特征

图 3 中 GS01 ~ 04 和 GS05 ~ 08 均为垂直于污水渠的一条直线上的不同距离样点. 从中可以看出在流涧研究区大部分土壤层位中 HCHs 随着离渠距离的增加存在一定程度上的减小趋势. 在表层土壤中 (5 cm) 这种趋势尤为明显, 而随着土壤层位深度的增加, 这种趋势变得不十分明显, 可能是土壤的

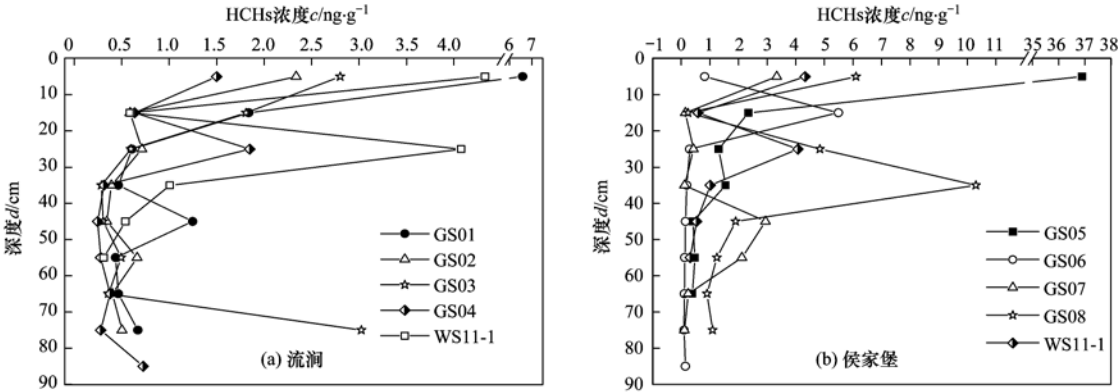


图 2 研究区域剖面土中 HCHs 的垂直变化规律

Fig. 2 Vertical changes of HCHs in the profile soils from sampling sites

吸附作用和微生物降解使得 HCHs 在深层土壤中的含量达到很低,使之变化的幅度很小. 在 GS03 和 GS04 采样剖面处部分层位土中的 HCHs 含量出现大幅度增加,且以浅层土位居多,可能与这两个采样点位于农田中,受含 HCHs 农药和频繁耕作的影响有关. 在侯家堡污灌区情况则更为复杂,在前两个剖面中沿距离递减的趋势较为明显,而后两个剖面中则出现部分逐步递增或先增后减的趋势. 由于

GS08 采样点位于一条废弃的灌溉沟中曾长期受污水浸泡,水中的 HCHs 不断向土壤迁移,使得 GS08 的部分层位中 HCHs 的值比其它 3 点都要高,同时由于高程差的原因使得较低点的 GS07 中部分层位 HCHs 含量也处于较高值.

2.2.3 HCHs 含量变化与土壤理化性质的关系

图 4 为部分样品土壤中 HCHs 的含量与 pH 以及 TOC 的对比,通过 SPSS 进行相关性分析得到

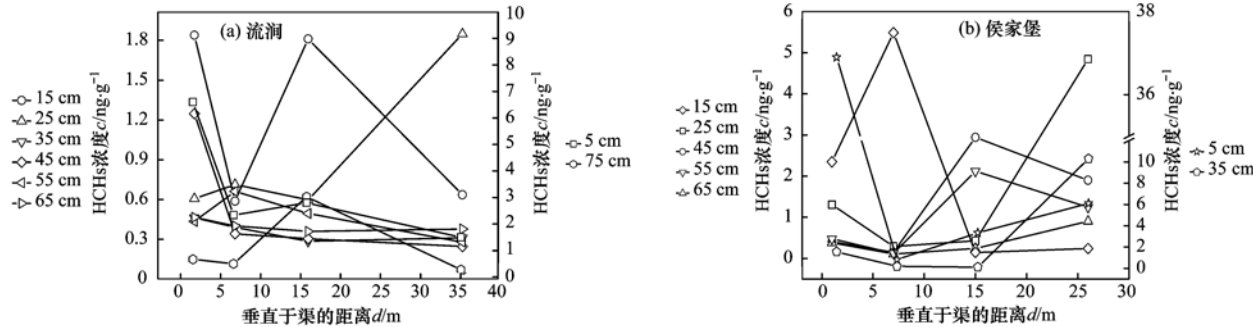


图 3 研究区域剖面土中 HCHs 的水平变化规律

Fig. 3 Horizontal changes of HCHs in the profile soils from sampling sites

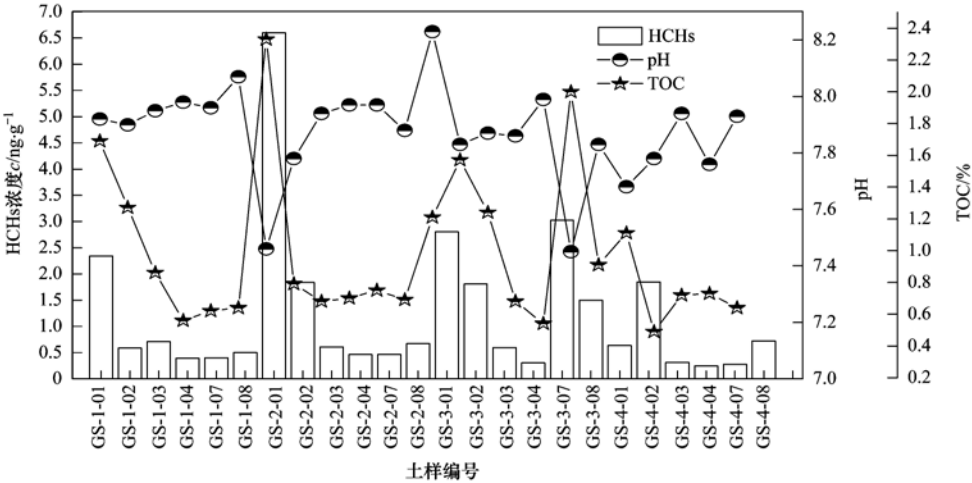


图 4 研究区域部分土壤中 HCHs 含量与土壤理化性质的关系

Fig. 4 Relationship between HCHs content and soil physicochemical properties in soils of the study area

HCHs 与 TOC 之间存在显著的正相关性($r = 0.691$, $P = 0.001$),与已有研究结论保持一致^[25,26].而与 pH 之间不存在相关性($r = -0.386$, $P = 0.310$).

3 结论

(1)退水渠中有机氯农药主要由 HCHs 组成,表层土壤中有有机氯农药主要由 HCHs、DDTs 和 methoxychlor 组成.表层土壤中 $\sum$ OCPs 和 HCHs 值大体符合随垂直于渠距离增加而逐步降低的趋势,表明污水中的 HCHs 向土壤中发生了一定的侧渗.

(2)8 个沿渠剖面中大部分剖面 HCHs 的含量随着深度的增加而逐渐降低,且在 0~50 cm 土层范围内变化幅度较大.

(3)在垂直于渠的直线上,大部分相同层位的土壤中 HCHs 含量沿远离渠的方向逐步递减.表明污水渠对沿渠土壤同一层位土壤中 HCHs 含量存在着一定影响.

(4)研究区土壤中 HCHs 含量与 TOC 之间存在显著的正相关性,而与 pH 不存在相关性.

(5)由于沿渠土壤已一定程度上受到污水侧渗的影响,建议对小店区 3 条主灌渠进行必要的防渗处理.

参考文献:

- [1] Qadir M, Wichelns D, Raschid-Sally L, *et al.* The challenges of wastewater irrigation in developing countries [J]. *Agricultural Water Management*, 2010, **97**(4): 561-568.
- [2] Asano T, Levine A D. Wastewater reclamation, recycling and reuse: past, present, and future [J]. *Water Science and Technology*, 1996, **33**(10-11): 1-14.
- [3] Rebol V, Cerezo M, Roig A, *et al.* Influence of wastewater vs groundwater on young *Citrus* trees [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2000, **80**(10): 1441-1446.
- [4] Kalavrouziotis I K, Robolas P, Koukoulakis P H, *et al.* Effects of municipal reclaimed wastewater on the macro- and micro-elements status of soil and of *Brassica oleracea* var. *Italica*, and *B-oleracea* var. *Gemmifera* [J]. *Agricultural Water Management*, 2008, **95**(4): 419-426.
- [5] 张超品,刘洪禄,吴文勇,等.再生(污)水灌溉利用研究[J]. *北京水利*, 2004, (4): 17-19.
- [6] 张乃明,李保国,胡克林.太原污灌区土壤重金属和盐分含量的空间变异特征[J]. *环境科学学报*, 2001, **21**(3): 349-353.
- [7] 张乃明,邢承玉,贾润山,等.太原污灌区土壤重金属污染研究[J]. *农业环境保护*, 1996, **15**(1): 21-23.
- [8] 孙强,马腾,祁志冲,等.污水灌溉区包气带中重金属元素空间分布特征——以太原市某污水灌溉区为例[J]. *地质科技情报*, 2010, **29**(3): 86-90.
- [9] 罗雪梅,刘昌明,何孟常.土壤与沉积物对多环芳烃类有机物的吸附作用[J]. *生态环境*, 2004, **13**(3): 394-398.
- [10] 杜斌,龚娟,李佳乐.太原市污水灌溉对水土环境的有机污染研究[J]. *人民长江*, 2010, **41**(17): 58-61.
- [11] Jones K C, De Voogt P. Persistent organic pollutants (POPs): state of the science [J]. *Environmental Pollution*, 1999, **100**(1-3): 209-221.
- [12] Wania F, Mackay D. Peer reviewed: tracking the distribution of persistent organic pollutants [J]. *Environmental Science and Technology*, 1996, **30**(9): 390A-396A.
- [13] Li Y F, Macdonald R W. Sources and pathways of selected organochlorine pesticides to the Arctic and the effect of pathway divergence on HCH trends in biota: a review [J]. *Science of the Total Environment*, 2005, **342**(1-3): 87-106.
- [14] Mishra K, Sharma R C, Kumar S. Contamination levels and spatial distribution of organochlorine pesticides in soils from India [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2012, **76**: 215-225.
- [15] Erkmen B, Kolankaya D. Determination of organochlorine pesticide residues in water, sediment, and fish samples from the Meriç, Delta, Turkey [J]. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 2006, **86**(1-2): 161-169.
- [16] Liu G M, Li J, Yin L L, *et al.* Distribution characteristics of organochlorine pesticides in surface and vertical sediments from the Zha Long Wetland, China [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2011, **19**(7): 2681-2689.
- [17] Su Y S, Hung H, Blanchard P, *et al.* A circumpolar perspective of atmospheric organochlorine pesticides (OCPs): Results from six Arctic monitoring stations in 2000-2003 [J]. *Atmospheric Environment*, 2008, **42**(19): 4682-4698.
- [18] Yang D, Qi S H, Zhang J Q, *et al.* Residues of organochlorine pesticides (OCPs) in agricultural soils of Zhangzhou city, China [J]. *Pedosphere*, 2012, **22**(2): 178-189.
- [19] 廖小平,张彩香,赵旭,等.太原市污灌区地表土中有机氯农药分布特征[J]. *环境化学*, 2012, **31**(9): 1321-1327.
- [20] 王珺,祁士华,穆倩,等.小海湾水体有机氯农药的浓度水平和特征[J]. *环境科学与技术*, 2007, **30**(8): 33-34, 46.
- [21] Wang X J, Piao X Y, Chen J, *et al.* Organochlorine pesticides in soil profiles from Tianjin, China [J]. *Chemosphere*, 2006, **64**(9): 1514-1520.
- [22] 马文洁,何江涛,金爱芳,等.北京市郊再生水灌区土壤有机氯农药垂直向分布特征[J]. *生态环境学报*, 2010, **19**(7): 1675-1681.
- [23] 朴秀英,王学军,陶澍,等.有机氯农药在天津耕作土壤剖面中的分布[J]. *环境科学研究*, 2004, **17**(2): 26-29.
- [24] Weaver T B, Ghadiri H, Hulugalle N R, *et al.* Organochlorine pesticides in soil under irrigated cotton farming systems in Vertisols of the Namoi Valley, north-western New South Wales, Australia [J]. *Chemosphere*, 2012, **88**(3): 336-343.
- [25] 龚钟明,曹军,李本纲,等.天津地区土壤中六六六(HCH)的残留及分布特征[J]. *中国环境科学*, 2003, **23**(3): 311-314.
- [26] Park J W, Dec J, Kim J E, *et al.* Dehalogenation of xenobiotics as a consequence of binding to humic materials [J]. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 2000, **38**(4): 405-410.

CONTENTS

Characteristics of Haze and Its Impact Factors in Four Megacities in China During 2006-2009	DAI Yong-li, TAO Jun, LIN Ze-jian, <i>et al.</i> (2925)
Characteristics of VOCs and Their Photochemical Reactivity in Autumn in Nanjing Northern Suburb	LI Yong-yu, ZHU Bin, AN Jun-lin, <i>et al.</i> (2933)
On-Line Measurement of Water-Soluble Composition of Particulate Matter in Beijing	CHENG Meng-tian, PAN Yue-peng, WANG Hui, <i>et al.</i> (2943)
Design and Evaluation of an Aerosol Nanoparticle Generation System	MAI Hua-jun, JIANG Jing-kun, HE Zheng-xu, <i>et al.</i> (2950)
Aerosol Size Distribution of Organic Carbon and Elemental Carbon on the Top of Coke Oven and in the Plant Area	LIU Xiao-feng, PENG Lin, BAI Hui-ling, <i>et al.</i> (2955)
Effects of Diurnal Warming on Soil N ₂ O Emission in Soybean Field	HU Zheng-hua, ZHOU Ying-ping, CUI Hai-ling, <i>et al.</i> (2961)
N ₂ O Flux in Winter and Its Affecting Factors Under Different Land Use Patterns	WU Yan-zheng, ZHANG Miao-miao, QIN Hong-ling, <i>et al.</i> (2968)
Prediction of Methane Emission of Paddy Field Based on the Support Vector Regression Model	CHEN Qiang, JIANG Wei-guo, CHEN Xi, <i>et al.</i> (2975)
Distributional Characteristics of Nutrients in the Sea-surface Microlayer and Subsurface Water of the Bohai and Yellow Sea in Summer	WANG Wen-tao, YANG Gui-peng, YU Juan, <i>et al.</i> (2983)
Effect of Nitrogen and Phosphorus Concentrations on the Adsorption of BDE28 and BDE47 by <i>Prorocentrum donghaiense</i> Dominant Population	WANG Fang, GE Wei, CHAI Chao, <i>et al.</i> (2992)
Hyperspectral Remote Sensing of Chlorophyll a Concentrations in the Lake Taihu, Based on Water Optical Classification	SUN De-yong, ZHOU Xiao-yu, LI Yun-mei, <i>et al.</i> (3002)
Bacterioplankton Index of Biotic Integrity (BP-IBI): An Approach for Assessing River Ecosystem Health in Dianchi Watershed	HUANG Yi, SHU Zhong-ya (3010)
Estimation of Urban Non-Point Source Pollution Loading and Its Factor Analysis in the Pearl River Delta	LIAO Yi-shan, ZHUO Mu-ning, LI Ding-qiang, <i>et al.</i> (3019)
Transported Fluxes of the Riverine Carbon and Seasonal Variation in Pearl River Basin	ZHANG Lian-kai, QIN Xiao-qun, YANG Hui, <i>et al.</i> (3025)
Characteristics of Nutrient Loss of Lanlingxi Watershed in the Three Gorges Reservoir Area	ZENG Li-xiong, XIAO Wen-fa, HUANG Zhi-lin, <i>et al.</i> (3035)
Characteristics of Dissolved Organic Carbon Release Under Inundation from Typical Grass Plants in the Water-Level Fluctuation Zone of the Three Gorges Reservoir Area	TAN Qiu-xia, ZHU Bo, HUA Ke-ke (3043)
Research on the Influence of Mixing Layer Depth on Algal Growth	CHEN Yang, YANG Zheng-jian, HUANG Yu-ling, <i>et al.</i> (3049)
Denitrification Study of <i>Elodea nuttallii</i> -Nitrogen Cycling Bacteria Restoration in Meiliang Bay, Taihu Lake	ZHAO Lin, LI Zheng-kui, ZHOU Tao, <i>et al.</i> (3057)
Influence of Combined Ecological Floating Bed on Nitrogen and Phosphorus Between Overlying Water and Sediment	ZHENG Li-guo, YANG Ren-bin, WANG Hai-ping, <i>et al.</i> (3064)
Effects of Biochar Covering on the Release of Pollutants from Sediment	LI Yang, LI Feng-min, ZHANG Xiu-wen, <i>et al.</i> (3071)
Temporal-spatial Difference of Ecotoxicity and Heavy Metals Pollution in Shima Catchment, Dongguan	GAO Lei, CHEN Jian-yao, KE Zhi-ting, <i>et al.</i> (3079)
Evolution and Pollution of Heavy Metals in Core Sediments from Yamenqi Lake in Lianhuan Lake, China	XIAO Hai-feng, ZANG Shu-ying, GUAN Ying, <i>et al.</i> (3088)
Effect of Constructed Wetland on the Purification of Industrial Zone Rainfall Runoff Contaminated with Phenanthrene	JING Dan-dan, WAN Jin-quan, MA Yong-wen, <i>et al.</i> (3095)
Removal and Accumulation of the Tetracycline Resistance Gene in Vertical Flow Constructed Wetland	ZHENG Jia-yu, LIU Lin, GAO Da-wen, <i>et al.</i> (3102)
Method for Optimal Sensor Placement in Water Distribution Systems with Nodal Demand Uncertainties	LIU Shu-ming, WU Xue, OUYANG Le-yan (3108)
Formation Process of Nitrogenous Disinfection Byproduct Trichloronitromethane in Drinking Water and Its Influencing Factors	DING Chun-sheng, ZOU Bang-wen, MIAO Jia, <i>et al.</i> (3113)
Removal of Estrogens in Laccase Catalyzed Oxidative Processes	XIA Qing, XIE Wei-ping, LIU Guo-qiang, <i>et al.</i> (3119)
Study on Electrochemical Degradation of Cefazidime by Carbon Nanotubes Electrode	ZHU Hong, HU Xiang, LI Jun-feng (3125)
Photochemical Reaction Types of the Azole Fungicide Fluconazole Under UV-vis Irradiation	GE Lin-ke, LI Kai, YANG Kai, <i>et al.</i> (3132)
Photocatalytic Degradation Kinetics of Diuron by TiO ₂ and Simulated Sunlight	YANG Hai, ZENG Jian, LI Yuan, <i>et al.</i> (3137)
Adsorption of Congo Red from Aqueous Solution on Hydroxyapatite	ZHAN Yan-hui, LIN Jian-wei (3143)
Ethanol-Induced Influence on the Structure and Arsenate Adsorption of Resin-based Nano-hydrated Ferric Oxide	WAN Qi, LI Xu-chun, PAN Bing-cai (3151)
Chlorination Characteristic and Disinfection By-product Formation Potential of Dissolved Organic Nitrogen Compounds in Municipal Wastewater	LIU Bing, YU Xin, YU Guo-zhong, <i>et al.</i> (3156)
Start-up and Maintenance Method for Short-Cut Advanced Nitrogen Removal Process in a Pilot-Scale Reactor at Low Temperature	GU Sheng-bo, WANG Shu-ying, PENG Yong-zhen (3164)
Study on the Start-Up of Anaerobic Ammonium Oxidation Process in Biological Activated Carbon Reactor	LAI Wei-yi, ZHOU Wei-li, HE Sheng-bing (3171)
Excretion of Manure-Borne Steroid Hormones and Their Potential Risk in the Three Northeast Provinces of China	LIU Shu-fang, LI Yan-xia, ZHANG Xue-lian, <i>et al.</i> (3180)
Spatial Distribution and Composition of Perfluorinated Compounds in Soils Around the Huaihe River	MENG Jing, WANG Tie-yu, WANG Pei, <i>et al.</i> (3188)
Fluorine Speciation and Its Distribution Characteristics in Selected Agricultural Soils of North China Plain	YI Chun-yao, WANG Bing-guo, JIN Meng-gui (3195)
Effects of Long-Term Manure and Crop Residues Incorporation on Yield and Phosphorus Saturation in a Paddy Soil	YAN Xiao, WANG De-jian, ZHANG Gang, <i>et al.</i> (3205)
Influence of Organochlorine Pesticides in Wastewater on the Soil Along the Channel	XU Liang, ZHANG Cai-xiang, LIU Min, <i>et al.</i> (3211)
Elution of Endosulfan from Contaminated Soil by Surfactants and Their Combination	XIONG Bai-lian, ZHENG Guo-can, ZHANG Jin-zhong, <i>et al.</i> (3216)
Effects of Different Aspects on Soil Microbial Biomass and Dissolved Organic Carbon of the Loess Hilly Area	ZHAO Tong, JIANG Yue-li, YAN Hao, <i>et al.</i> (3223)
Effects of Nitrogen Addition on Red Soil Microbes in the <i>Cinnamomum camphora</i> Plantation	YU Pei-yi, ZHU Fan, SU Shao-feng, <i>et al.</i> (3231)
Concentration, Profile Distribution and Source Identification of PCDD/Fs in Environmental Medium Around a HSWI	HUANG Wen, ZHANG Su-kun, DU Guo-yong, <i>et al.</i> (3238)
Assessment of Bioaccessibility of PAHs in Microbial Degradation Process Using Solid Phase Micro Extraction and Solid Phase Extraction	GUO Mei-xia, GONG Zong-qiang, LI Xiao-jun, <i>et al.</i> (3244)
Biodegradation of Tetrahydrofuran by Combined Immobilized of <i>Pseudomonas oleovorans</i> DT4	SHAO Qian, YE Jie-xu, OUYANG Du-juan, <i>et al.</i> (3251)
Analysis on Microbial Community in Biofilm Coating onto Solid Carbon Source Using the PCR-DGGE Technique	XU Ying, QIU Tian-lei, HAN Mei-lin, <i>et al.</i> (3257)
Effect of Temperature on Activity of <i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i> and Formation of Biogenic Secondary Iron Minerals	SONG Yong-wei, ZHAO Bo-wen, HUO Min-bo, <i>et al.</i> (3264)
Differences of Selenium Uptake Pattern of Pakchoi and the Possible Mechanism When Amended with Selenate and Selenite	GUO Lu, MAN Nan, LIANG Dong-li, <i>et al.</i> (3272)
Effect of Pretreatment on Storage and Biogas Production of Baling Wheat Straw	MA Hui-juan, CHEN Guang-yin, DU Jing, <i>et al.</i> (3280)
Toxicity of Nitrate-N to Freshwater Aquatic Life and Its Water Quality Criteria	ZHANG Ling-song, WANG Ye-yao, MENG Fan-sheng, <i>et al.</i> (3286)
Analysis Performance of Biological Toxicity Testing MTOXPlate Using Microplate	LIN Yi-yun, ZHANG Guo-xia, HE Li-ping, <i>et al.</i> (3294)
Study of Combined Effects of DES and EV on the Proliferation of MCF-7 Cells by Two Experimental Designs	LIU Qian, LEI Bing-li, AN Jing, <i>et al.</i> (3303)
Status and Influencing Factors of Polychlorinated Biphenyls (PCBs) Pollution in the Coastal Areas in China	LIU Min-xia, YANG Yu-yi, LI Qing-xiao, <i>et al.</i> (3309)
Pharmaceuticals and Personal Care Products (PPCPs) in the Effluent of Sewage Treatment Plants	ZHENG Shao-kui, LI Xiao-feng (3316)
Research Progress on Biochar Carbon Sequestration Technology	JIANG Zhi-xiang, ZHENG Hao, LI Feng-min, <i>et al.</i> (3327)
Countermeasures for Strict Water Quality Management of Drinking Water Sources: Some Thoughts and Suggestions on Implementing Strict Water Resources Management	FU Guo-wei (3334)

《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8月15日 34卷 第8期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 8 Aug. 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

国内外公开发刊