

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第3期

Vol.34 No.3

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

BP网络框架下MODIS气溶胶光学厚度产品估算中国东部PM _{2.5}	郭建平, 吴业荣, 张小曳, 李小微 (817)
北京市近地层颗粒物浓度与气溶胶光学厚度相关性分析研究	林海峰, 辛金元, 张文煜, 王跃思, 刘子锐, 陈传雷 (826)
气象因素对长三角背景地区甲烷浓度的影响分析	浦静姣, 徐宏辉, 顾骏强, 马千里, 方双喜, 周凌晔 (835)
密闭化填埋作业条件下的场内恶臭污染分布情况与分析	路鹏, 吴世新, 戴志锋, 张晓辉, 苏昭辉, 周小飞, 代占国, 卢旭飞, 郑斌, 沈凯, 卫潘明 (842)
冬季中国东海海水中挥发性卤代烃的分布特征和海-气通量	何真, 陆小兰, 杨桂朋 (849)
2000~2010年大鹏湾颗粒有机物的年变化和年际变化	李绪录, 周毅频, 夏华永 (857)
渤海湾浮游植物与环境因子关系的多元分析	周然, 彭士涛, 覃雪波, 石洪华, 丁德文 (864)
青藏高原淡水湖泊水化学组成特征及其演化	王鹏, 尚英男, 沈立成, 伍坤宇, 肖琼 (874)
漳卫南运河流域非点源污染负荷估算及最佳管理措施优选	徐华山, 徐宗学, 刘品 (882)
面向对象的湖泊污染控制智能工程设计方法	邹锐, 周璟, 刘永, 朱翔, 赵磊, 阳平坚, 郭怀成 (892)
九龙江口湿地植物凋落物对沉积物有机质赋存的贡献	罗专溪, 邱昭政, 王振红, 颜昌宙 (900)
修复达标土壤回填对地下水环境影响的层次化评估方法应用研究	钟茂生, 姜林, 姚珏君, 樊艳玲, 夏天翔, 李婷婷, 田美影 (907)
去除地下水中硝酸盐的渗透性反应墙研究	李秀利, 杨君君, 卢晓霞, 张姝, 侯珍 (914)
北京城区雨水管道沉积物污染负荷研究	李海燕, 徐波平, 徐尚玲, 崔爽 (919)
城市污水处理厂及其受纳水体中5种典型PPCPs的赋存特征和生态风险	温智皓, 段艳平, 孟祥周, 陈玲 (927)
城市景观娱乐水体微生物风险评价	孙傅, 沙婧, 张一帆, 刘彦华 (933)
模拟曝气生物滤池去除邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯试验研究	李伟, 赵晶, 余健, 任文辉 (943)
膜生物反应器处理工业废水中膜污染及膜过滤特性研究	范举红, 余素林, 张培帅, 兰亚琼, 刘锐, 陈吕军 (950)
γ -Al ₂ O ₃ 负载磷钨酸催化强化电化学法处理水中酸性大红3R的研究	岳琳, 王开红, 郭建博, 杨景亮, 刘宝友, 廉静, 王涛 (955)
活性炭催化过硫酸钠降解金橙G动力学	杨梅梅, 周少奇, 刘琳, 郑可 (962)
ABR反应器处理碱减量印染废水的启动研究	杨波, 钟启俊, 李方, 田晴 (968)
O ₃ -BAF深度处理制革废水中沿程污染物降解规律	余彬, 刘锐, 程家迪, 范举红, 李昌湖, 冉坤, 曹国华, 陈吕军 (974)
规模化猪场养殖废水UASB-SFSBR-MAP处理工艺中试研究	王亮, 陈重军, 陈英旭, 吴伟祥 (979)
连续流态下以城市污水培养好氧颗粒污泥及颗粒特性研究	牛姝, 段百川, 张祚薰, 刘士峰, 张家铭, 王聪, 周丹丹 (986)
乙酸/丙酸作为EBPR碳源的动力学模型研究(Ⅰ)——模型的建立	张超, 陈银广 (993)
乙酸/丙酸作为EBPR碳源的动力学模型研究(Ⅱ)——动力学模拟	张超, 陈银广 (998)
乙酸/丙酸作为EBPR碳源的动力学模型研究(Ⅲ)——模型的应用	张超, 陈银广 (1004)
三峡水库两条支流水-气界面CO ₂ 、CH ₄ 通量比较初探	李哲, 白镭, 郭劲松, 方芳, 蒋滔 (1008)
不同土地利用方式下土壤呼吸空间变异的影响因素	陈书涛, 刘巧辉, 胡正华, 刘艳, 任景全, 谢薇 (1017)
黄土区农田和草地生态系统土壤呼吸差异及其影响因素	周小刚, 张彦军, 南雅芳, 刘庆芳, 郭胜利 (1026)
层次化健康风险评估方法在苯污染场地的应用及效益评估	姜林, 钟茂生, 梁竞, 姚珏君, 夏天翔, 樊艳玲, 李敬东, 唐振强 (1034)
海州湾滩涂重金属污染的历史记录	张瑞, 张帆, 刘付程, 尹福军, 丁迎军, 高金荣, 陈晶, 邵威 (1044)
草海典型高原湿地表层沉积物重金属的积累、分布与污染评价	张清海, 林昌虎, 谭红, 林绍霞, 杨鸿波 (1055)
大金山岛土壤重金属污染评价及相关性分析	程芳, 程金平, 桑恒春, 于金莲, 席磊, 皮帅帅 (1062)
典型有色金属矿山城市小河流沉积物重金属形态分布及风险评估	李如忠, 姜艳敏, 潘成荣, 陈婧, 徐晶晶 (1067)
典型有色金属矿业城市零星菜地蔬菜重金属污染及健康风险评估	李如忠, 潘成荣, 徐晶晶, 陈婧, 姜艳敏 (1076)
城市表层土壤磁化率与重金属含量分布的相关性研究	陈秀端, 卢新卫, 杨光 (1086)
典型热带林地土壤团聚体颗粒中重金属的分布特征及其环境意义	龚仓, 徐殿斗, 成杭新, 任雅阁, 刘志明, 刘应汉, 刘飞, 聂海峰, 郑祥, 马玲玲 (1094)
生态沟渠底泥属性与磷吸附特性研究	张树楠, 贾兆月, 肖润林, 杨凤飞, 余红兵, 刘锋, 吴金水 (1101)
三峡库区澎溪河底泥及消落区土壤磷的形态及吸附特性研究	孙文彬, 杜斌, 赵秀兰, 何丙辉 (1107)
Triton X-100在黄土上的吸附行为及影响因素	钟金魁, 赵保卫, 朱琨, 钱小龙, 张杰西 (1114)
新疆哈密地区有机氯农药大气、土壤残留特征、气-土交换及潜在生态风险	马子龙, 毛蒲萱, 丁中原, 高宏, 黄韬, 田慧, 郭强 (1120)
青海省西宁市与天峻县大气中得克隆与十溴联苯醚的水平与来源	何畅, 金军, 马召辉, 王英, 扎西卓玛, 马丽花 (1129)
太湖沉积物中多溴联苯醚和类二噁英多氯联苯的水平垂直分布	马召辉, 金军, 元学奎, 王英, 姜霞, 何松洁, 李明圆 (1136)
典型电器工业区河涌沉积物中有机污染物特征分析	刘近, 邓代永, 许玫英, 孙国萍 (1142)
柴油轿车颗粒多环芳烃的排放特性	谭丕强, 周舟, 胡志远, 楼狄明 (1150)
机械炼焦过程生成飞灰中多环芳烃分布特征研究	牟玲, 彭林, 刘效峰, 白慧玲, 张建强 (1156)
污泥干化床与芦苇床稳定化污泥中多环芳烃的含量比较	崔玉波, 孙红杰, 冉春秋, 李金凤, 谢瑶 (1161)
固体添加剂对污泥焚烧过程中重金属迁移行为的影响	刘敬勇, 孙水裕, 陈涛 (1166)
铸造废砂的环境毒性研究	张海凤, 王玉珏, 王劲磷, 黄天佑, 熊鹰 (1174)
Cr ⁶⁺ 生物可利用度检测的微生物全细胞传感器CB10的构建及其响应特征	侯启会, 马安周, 庄绪亮, 庄国强 (1181)
反硝化脱硫工艺中微生物群落结构及动态分析	于皓, 王爱杰, 陈川 (1190)
农业废物好氧堆肥中环境因子对nirK、nirS和nosZ数量的影响	胡春晓, 陈耀宁, 张嘉超, 唐聪, 曾光明 (1196)
蚯蚓体内过氧化物还原蛋白PRDX基因对土壤PAHs污染胁迫的转录响应	林康丽, 郑森林, 宋玉芳, 邱晓燕, 薛文玲 (1204)
有序介孔碳载金/L-赖氨酸/纳米金修饰电极的制备及其对邻苯二酚、对苯二酚的检测响应研究	周耀渝, 汤琳, 李贞, 刘媛媛, 杨贵德, 伍梦诗, 雷晓霞, 曾光明 (1211)
新建核电站风险信息沟通实证研究	贺桂珍, 吕永龙 (1218)
《环境科学》征订启事(942) 《环境科学》征稿简则(992) 信息(932, 949, 1061, 1210) 专辑征稿通知(1173)	

新疆哈密地区有机氯农药大气、土壤残留特征、气-土交换及潜在生态风险

马子龙, 毛潇萱, 丁中原, 高宏*, 黄韬, 田慧, 郭强

(兰州大学资源环境学院, 兰州 730000)

摘要: 应用大气被动采样技术对新疆哈密地区城市、农村及林场点位大气和土壤中主要有机氯农药:HCHs 和 DDTs 进行了 1 a 的观测分析, 对其大气、土壤残留现状和气-土交换进行了分析研究, 并对其潜在生态风险进行了初步评估, 结果表明, 哈密地区大气中 HCHs 和 DDTs 在 1a 观测期的平均浓度分别为 $107.1 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 $43.9 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$; 大气中 HCHs 和 DDTs 浓度呈现季节性变化: 夏、秋两季 HCHs 和 DDTs 的浓度普遍高于冬、春两季, 推测为夏、秋季较高的温度造成更多的 HCHs 和 DDTs 挥发到空气中; 大气中两类 OCPs 污染以 HCHs 为主, HCHs 各类异构体残留以 α -HCH 为主, DDTs 残留以 p,p' -DDE 为主. 研究区大气中 α -HCH/ γ -HCH 的值普遍在 3~7 之间, 推测工业 HCHs 的使用或 HCHs 的大气长距离传输对该地区大气中 HCHs 含量有较为明显的影响; 大气中 $(\text{DDD} + \text{DDE})/\text{DDTs}$ 的值在 0.4~0.9 之间, 有 71.4% 的比值大于 0.5, 表明大气中 DDTs 主要来自于环境中的残留, 近期没有新源输入. 土壤中 HCHs 和 DDTs 含量范围分别为 $0.344 \sim 6.954 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ 和 $0.104 \sim 26.397 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$, 均未超过国家土壤环境质量标准规定的一级自然背景值; 土壤中两类 OCPs 污染以 DDTs 为主, HCHs 各异构体残留以 β -HCH 为主, DDTs 残留以 o,p' -DDT 为主, 根据 $(\text{DDD} + \text{DDE})/\text{DDTs} < 0.5$, 近期土壤中有新的 HCHs 和 DDTs 输入. 土壤和大气中 HCHs 和 DDTs 的来源不一致, 主要是由土壤和大气本身的不同特性以及哈密地区复杂的地理和气候条件导致的. 气-土交换研究表明: 哈密地区 HCHs 各异构体和 p,p' -DDE 的气-土交换主要以土壤向大气挥发为主; 而 o,p' -DDE、 o,p' -DDD、 p,p' -DDD、 o,p' -DDT、 p,p' -DDT 的气-土交换则主要是由大气向土壤沉降. 大部分 DDTs 的汇是土壤, 源是大气; 而 HCHs 和 p,p' -DDE 的汇则是大气, 源是土壤. 哈密地区土壤中 HCHs 的生态风险较低, 哈密城市和林场土壤中 DDTs 可能对该地区鸟类和土壤生物具有一定的潜在生态风险.

关键词: 哈密地区; 大气; 土壤; OCPs 污染; 气-土交换; 生态风险

中图分类号: X131; X820.4 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)03-1120-09

Residual Levels in Air, Soil and Soil-Air Exchange of Organochlorine Pesticides in Hami Region of Xinjiang and Its Potential Ecological Risk

MA Zi-long, MAO Xiao-xuan, DING Zhong-yuan, GAO Hong, HUANG Tao, TIAN Hui, GUO Qiang

(College of Earth and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The concentrations of HCHs and DDTs in soil and air of urban/rural/forestry centre locations in the Hami region of Xinjiang were monitored for a year by passive atmospheric sampling in order to study the residual levels and air-soil exchange and evaluate ecological risk. The study results showed that the annual average concentrations of HCHs and DDTs in the air of Hami were $107.1 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ and $43.9 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$, respectively, and the concentrations of HCHs and DDTs in summer and autumn were generally higher than those in winter and spring. It was deduced that the HCHs and DDTs tended to evaporate into the air because of the higher temperatures in summer and autumn. For OCPs in the air of study area, HCHs were dominated the main pollution compared with DDTs. Meanwhile, α -HCH contributed the largest portion among all HCHs isomers, and p,p' -DDE dominated the residual levels of DDTs. Moreover, the values of α -HCH/ γ -HCH were in the range of 3 to 7, which indicated that the use of technical HCHs or the long distance atmosphere transport of HCHs may play a significant role for HCHs in the air of Hami region. Furthermore, ratios of $(\text{DDD} + \text{DDE})/\text{DDTs}$ were in the range of 0.4-0.9, 71.4% of which were higher than 0.5, indicating that DDTs in the air were mainly from historical usage and no new DDTs sources emerged in Hami recently. The concentrations of HCHs and DDTs in soil were between $0.344\text{-}6.954 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ and $0.104\text{-}26.397 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$, respectively, which did not exceed the National Soil Quality Standard Level I. In addition, DDTs predominated in soil OCPs, in which β -HCH accounting for a huge percentage in HCHs isomers, while o,p' -DDT predominated in pollution caused by DDTs isomers. From study results, it was also suggested that the important cause of DDTs residues in soil of Hami area could be the recent inputs of new sources since the value of $(\text{DDD} + \text{DDE})/\text{DDTs}$ were lower than 0.5. The sources of HCHs and DDTs in soil and atmosphere were not consistent, which was mainly caused by the different characteristics of soil

收稿日期: 2012-05-20; 修订日期: 2012-08-13

基金项目: 国家自然科学基金项目(40971267); “春晖计划”国际合作科研项目(Z2008-1-62025); 甘肃省留学人员科技活动择优资助项目

作者简介: 马子龙(1984~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为干旱区典型 POPs 区域环境过程, E-mail: mazl10@lzu.cn

* 通讯联系人, E-mail: honggao@lzu.edu.cn

and atmosphere and the complex geographical environment and climatic conditions in Hami region. The study on air-soil exchange showed that the escaping tendency of the various isomers of HCHs and *p*, *p'*-DDE was mainly from the soil to the air, on the contrary, the escaping tendency of *o*, *p'*-DDE, *o*, *p'*-DDD, *p*, *p'*-DDD, *o*, *p'*-DDT, *p*, *p'*-DDT was mainly from the air to the soil in Hami, which indicated that the soil was the sink of most of DDTs, and the air was the source of most of DDTs; while the air was the sink of HCHs and *p*, *p'*-DDE, and the soil was the source of HCHs and *p*, *p'*-DDE. There were potential risks of DDTs to birds and soil organisms in urban soil and forestry centre soil of Hami region, while the ecological risk of HCHs was light in Hami surface soil.

Key words: Hami region; air; soils; organochlorine pesticides (OCPs) pollutions; air-soil exchange; ecological risk

有机氯农药 (organochlorine pesticides, OCPs) 是一种理化性质稳定, 具有“三致效应” (致癌、致畸、致突变) 的持久性有机污染物 (persistent organic pollutants, POPs). OCPs 由于其毒性、亲脂性和半挥发性、难降解等稳定的理化特性, 易在环境中积累从而对生态环境造成污染, 而且会严重威胁人类健康^[1]. 我国从 20 世纪 50 年代初到 1983 年共生产 490 多万 t 六六六 (HCHs) 和 40 多万 t 滴滴涕 (DDTs)^[2].

我国虽然从 1983 年开始禁止使用有机氯农药, 但由于其难降解性, 仍在多种环境介质中检出. 研究证实, 低剂量的 OCPs 仍能给生物和人体带来高风险, 其中一些具有潜在的致癌性, 也是典型的环境激素^[3]. 安琼等^[4]对南京地区土壤残留以及分布研究得出 HCHs 和 DDTs 的残留范围分别为 $2.7 \sim 130.6 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $6.3 \sim 1050.7 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$. 王俊等^[5]对珠江三角洲地区大气 OCPs 研究得出: 广东省大气中 DDTs 占总 OCPs 的 54.5%, 广东省仍有工业 DDTs 在使用, 而三氯杀螨醇是香港大气中 DDTs 高含量的重要来源, 广东省和香港 HCHs 主要源于林丹使用的残留. 邱黎敏等^[6]对浙北农田土壤中 DDTs 和 HCHs 的残留及其风险研究得出浙北农田土壤中的 HCHs 残留对于土壤生物的风险较低, 而 DDTs 对食物链高营养级生物具有一定的风险.

近年来对南京、上海、广州等沿海发达地区的有机氯农药残留和潜在风险有较多的研究^[4~9], 但

关于哈密地区有机氯农药的残留状况和气-土交换以及生态风险的研究鲜见报道, 哈密作为古“丝绸之路”重镇, 有“新疆缩影”之称, 该地区面积比辽宁、江苏等省区的面积都大^[10]. 为此, 本研究采集了哈密城市、农村、林场的大气和土壤样品, 探讨了 DDTs 和 HCHs 在 4 个季度的残留特征、气-土交换以及潜在生态风险, 以为哈密有机物污染风险评估和政策制定提供基础数据.

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

哈密地区是新疆的东大门, 是新疆连接内地的交通要道, 自古就是丝绸之路上的重镇, 素有“新疆门户”之称. 哈密地区南北相距最长有 440 km, 东西相距最长约 404 km, 总面积约 15.3 万 km^2 , 占新疆总面积的 9%, 为新疆第三大地州, 属典型的温带大陆性干旱气候, 春季多风、冷暖多变, 夏季酷热、蒸发强, 秋季晴朗、降温迅速, 冬季寒冷、低空气层稳定, 该地区森林覆盖率仅为 1.27%. 哈密地区主要种植哈密瓜、哈密大枣, 同时也是新疆主要的产棉区, 煤、石油、天然气、铁等矿产资源丰富.

1.2 样品采集

表层土壤样品: 2011 年 3 月在哈密城市 ($42^\circ 53' \text{N}$, $93^\circ 29' \text{E}$)、哈密农村 ($42^\circ 47' \text{N}$, $93^\circ 50' \text{E}$)、哈密林场 ($43^\circ 19' \text{N}$, $93^\circ 43' \text{E}$) 3 个采样点 (见图 1), 每个采样点采用五点混合法采集 0~15 cm 的表层土壤

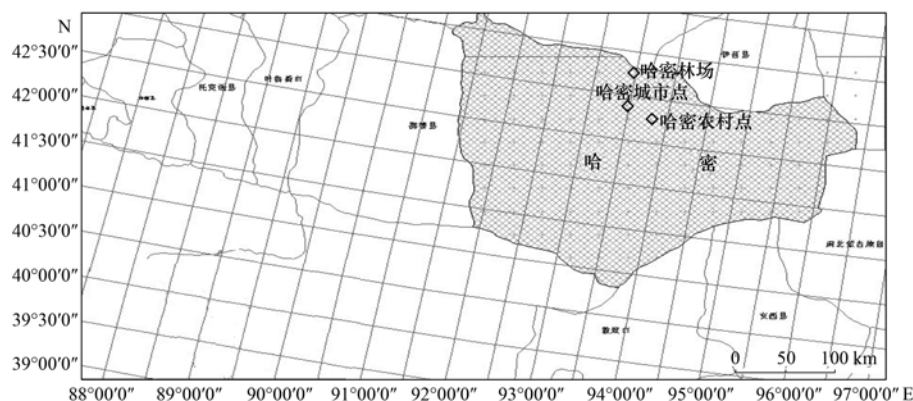


图 1 采样点位置示意

Fig. 1 Distribution of sample sites

样 5 个,混合均匀后取 1 kg 作为代表样装于聚乙烯实袋中,运回实验室 -20℃ 下冷存至分析。

大气被动采样:2010 年 8 月~2011 年 8 月在哈密布设 3 个采样:城市、农村、林场。本研究采用的大气被动采样器是由加拿大学者 Tom Harner 等研制的聚氨酯软性泡沫材料采样装置 (polyurethane foam-passive atmospheric sampling, PUF-PAS),利用软性聚氨酯泡沫材料作为吸附介质^[11]。共采集了 1 年 4 个季度的近地表的大气样品,每个季度采样期为 3 个月。采样前,用索氏抽提法将 3~4 个 PUF 叠起来卷紧,用滤纸包裹,再用细线扎紧,放入抽提管中,先后用分析纯丙酮、二氯甲烷和正己烷各 150 mL 提取 48 h。抽提结束后,将抽提干净的 PUF 放入真空干燥器中抽干,装入干净密实袋,放入冰箱 -20℃ 保存待用。赴采样点以及携带样品回实验室全程都要携带一个空白膜,做实验林场校正用。

1.3 标准品和试剂

有机氯农药标准物质见文献[12]。正己烷、甲醇、二氯甲烷均为色谱纯,丙酮为分析纯,全玻璃仪器重蒸后使用。浓硫酸:优级纯,浓盐酸:分析纯,进口硅胶(70~230 目),进口 Al₂O₃ (80~200 目)。无水硫酸钠:分析纯,在 450℃ 马弗炉煅烧 5 h,密封保存于干燥器中。GPC 凝胶色谱柱:称取 12 g S-X3 biobeads 聚苯乙烯二乙烯苯凝胶树脂粉末 (Bio-Rad, USA),用二氯甲烷浸泡后装入带活塞的内径为 2 cm 的玻璃柱内(酸式滴定管),然后加入体积比为 1:1 的正己烷/二氯甲烷混合液覆盖,用玻璃塞盖住柱口备用。

1.4 前处理及分析

土壤样品前处理主要是通过索氏抽提装置,提

取 24 h,再依次过硅胶柱,过酸性硅胶柱,在高纯氮气吹脱至 1 mL,GPC 凝胶色谱柱进一步纯化,旋蒸至 1 mL,再氮吹至 0.5 mL,加 20 ng 内标物 PCB28 待测。应用 Agilent 7890-5975C GC-MSD 测定土壤样品中的有机氯农药,具体的前处理和分析步骤见文献[12]。

将大气被动采样的 PUF 样品用事先清洗干净的铁丝网包好后放入索氏抽提管进行抽提,其余前处理过程同土壤样品。应用 HP6890 GC-ECD 测定了大气样品中 DDTs 和 HCHs 的含量,具体的仪器分析步骤同土壤测定。

质量控制与质量保证:每 11 个样品增加一个实验室全分析过程空白,仪器检测过程中每 10 个样品增加一个标样,控制仪器偏差在 ±10% 以内。方法回收率介于 50%~120%,测得数据均经回收率校正。

2 结果与讨论

2.1 大气中 HCHs 和 DDTs 残留特征及来源分析

2.1.1 城乡大气残留特征

由表 1 和图 2 可知,2010 年 8 月~2011 年 8 月,哈密地区大气中 HCHs 含量在 30.2~220.5 pg·m⁻³之间,年均值 107.1 pg·m⁻³,各采样点依次是哈密林场 (138.9 pg·m⁻³) > 哈密农村 (103.6 pg·m⁻³) > 哈密城市 (78.8 pg·m⁻³),均高于兰州兴隆山背景点的 10 pg·m⁻³[12]。哈密林场、城市和农村大气 HCHs 中 α-HCH 的年均值均为最高,分别为 46.3 pg·m⁻³、34.4 pg·m⁻³和 44.9 pg·m⁻³,其次是 β-HCH 分别为 42.0、17.8 和 27.4 pg·m⁻³。而 γ-HCH 分别为 16.8、6.9 和 7.9 pg·m⁻³。大气中 DDTs 含量在 nd~179.7 pg·m⁻³之间,年均值 43.9

表 1 哈密地区大气中 HCHs 和 DDTs 的浓度分布¹⁾/pg·m⁻³

Table 1 Concentrations of DDTs and HCHs in the Hami air/pg·m⁻³

项目	哈密林场			哈密城市			哈密农村		
	最小值	最大值	年均值	最小值	最大值	年均值	最小值	最大值	年均值
α-HCH	12.1	63.5	46.3	18	78	34.4	13.5	72	44.9
β-HCH	20.2	58.6	42	0.7	38.6	17.8	9.6	52.2	27.4
γ-HCH	nd	28.8	16.8	0.7	19.9	6.5	nd	22.4	7.9
δ-HCH	0.2	15.5	7.9	0.7	11.4	5.3	nd	15.7	6.4
ε-HCH	0.1	64.2	25.9	nd	43	14.8	2.3	49.9	17.1
HCHs	84.4	220.5	138.9	40.1	190.8	78.8	30.2	191.5	103.6
o,p'-DDE	nd	17.6	6.2	nd	14.2	4.8	nd	5.6	1.4
p,p'-DDE	nd	65	33.2	nd	28.5	9.2	nd	11.1	2.8
o,p'-DDD	nd	78.7	31	nd	26.6	7	nd	3.1	0.8
p,p'-DDD	nd	7.4	2.5	nd	0.8	0.2	nd	3.2	0.8
o,p'-DDT	nd	16.8	9.7	nd	10	5.6	nd	5.5	1.5
p,p'-DDT	nd	1.8	0.9	nd	18.8	9.4	nd	12.3	4.5
DDTs	1	179.7	83.6	0.8	83.5	36.2	nd	40.8	11.7

1) nd 表示未检出

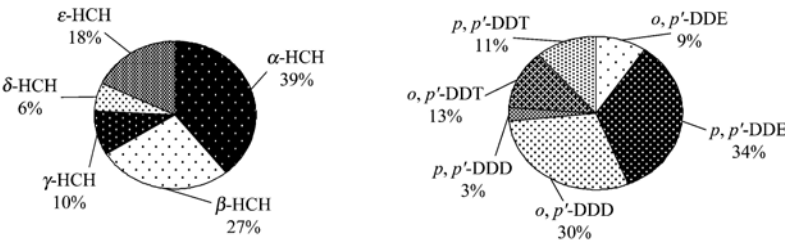


图2 哈密地区大气中 HCHs 和 DDTs 各异构体百分比
Fig. 2 Percentage of HCHs and DDTs isomers in the Hami air

$\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$,依次为哈密林场($83.6\text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$) > 哈密城市($36.2\text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$) > 哈密农村($19.6\text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$),均高于兰州兴隆山背景点的 $3.66\text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ [12]。 p,p' -DDE 在哈密林场的年均值最高为 $33.2\text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$,而 p,p' -DDT 在城市和农村的年均值最高,分别为 $9.4\text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 $4.5\text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。大气中 HCHs 各异构体中 α -HCH 和 β -HCH 比例最高; DDTs 各异构体中 p,p' -DDE 和 o,p' -DDD 比例最高。

哈密城市、农村及林场大气中 HCHs 和 DDTs 含量差异无明显规律,这主要是由于哈密地区地形、风向、风速的分布差异较大,从而导致各采样点中 DDTs 浓度含量差异较大且无明显规律[13]。

2.1.2 来源分析

图3是哈密地区大气中 HCHs 和 DDTs 的相关特征指数。其中 α -HCH/ γ -HCH 比值小于1则表示有林丹(γ -HCH)在使用,工业 HCHs 的 α -HCH/ γ -HCH 比值在4~7之间,当比值在这个范围内时表示有工业 HCHs 在使用或经历了远距离大气传输[14]。该地区 α -HCH/ γ -HCH 的值在3~7之间,推测工业 HCHs 使用或者 HCHs 在大气中的长距离传输对该地区大气中 HCHs 的含量有较为明显的影响。

(DDD + DDE)/DDTs 的值可以近似的反映环境中是否有新的外源 DDTs 进入,大气 (DDD + DDE)/DDTs 的值在0.4~0.9之间,除未检出区,71.4%的比值大于0.5,推测大气中 DDTs 主要来自于环境残留,近期没有新的 DDTs 污染输入。

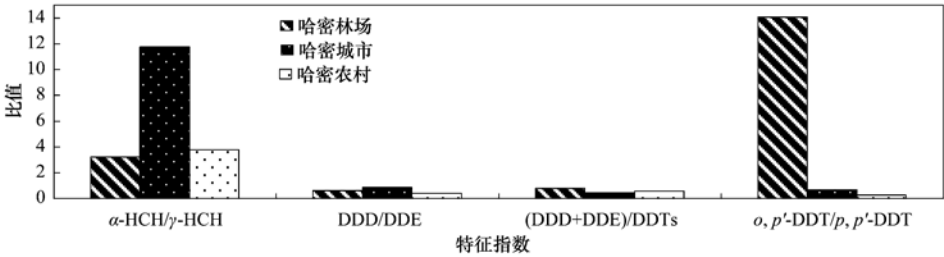


图3 哈密大气中 HCHs 和 DDTs 来源分析
Fig. 3 Source analysis of DDTs and HCHs in the air of Hami region

2.1.3 季节变化

哈密大气中 HCHs 和 DDTs 浓度季节变化如图4所示。4个季节采集的 HCHs 和 DDTs 的 HCHs/DDTs 的值都是大于1,可认为该地区大气中 HCHs 的污染比 DDTs 的污染要严重。HCHs 各异构体中,春秋两季 α -HCH 浓度都是最高,而夏冬两季, β -HCH 和 α -HCH 的浓度最高且二者差别不大;春夏秋3个季节 δ -HCH 的浓度都是最低,冬季 γ -HCH 的浓度最低。DDTs 各异构体中,春夏两季 p,p' -DDT 的浓度都是最高,秋季 o,p' -DDD 的浓度最高,冬季 p,p' -DDE 的浓度最高。HCHs 和 DDTs 浓度季节变化:秋季 HCHs 和 DDTs 浓度明显高于其他季节,春

季 HCHs 和 DDTs 浓度最低;夏、秋两季 HCHs 和 DDTs 的含量普遍高于冬、春两季,可能是夏、秋季较高的温度造成 HCHs 和 DDTs 挥发到空气中的量较大所致。

2.1.4 与国内外研究比较

表2为近年来国内外部分地区大气中 HCHs 和 DDTs 残留状况[5,15~20]。哈密大气中 DDTs 浓度比国内崇明岛、西安、珠江口及南海北部、广东、大连、香港都要低,但比国外 Niigate (日本) 和 Seoul (韩国) 要高; HCHs 含量只比珠江口及南海北部高,比国外和国内崇明岛、西安、广东、大连、香港都低。哈密地区 DDTs 和 HCHs 含量在国内处于较低水

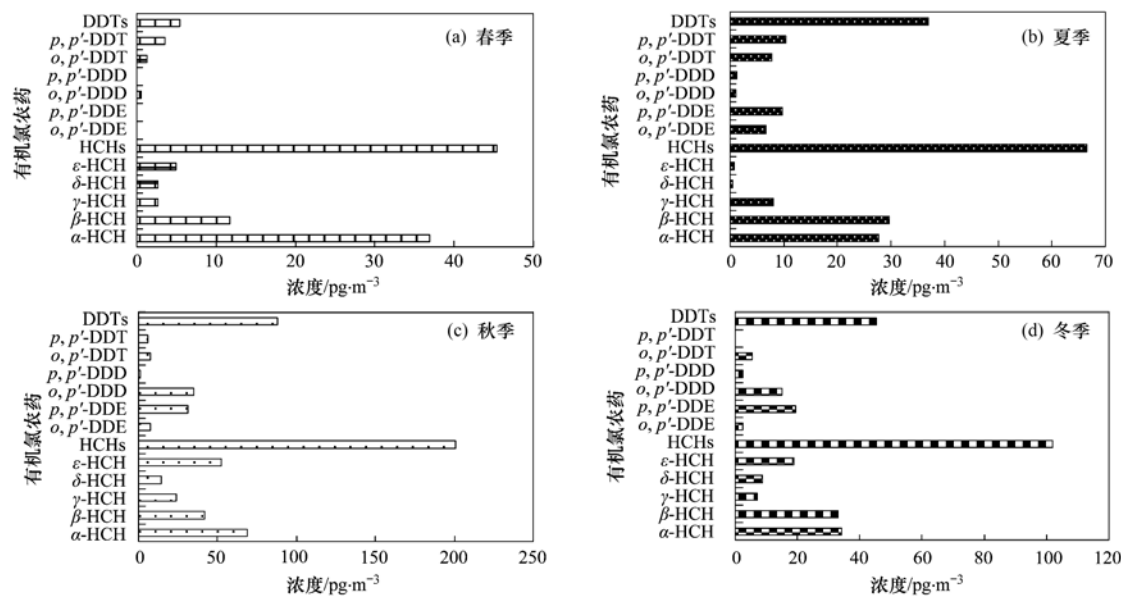


图 4 哈密地区大气中 HCHs 和 DDTs 浓度的季节变化

Fig. 4 Seasonal variation of the DDTs and HCHs concentrations in the air of Hami region

表 2 国内外部分地区大气中 HCHs 和 DDTs 残留状况比较¹⁾

大气来源	年份	浓度/ $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$		文献
		DDTs	HCHs	
Niigate(日本)	2000 ~ 2001	11	—	[15]
Seoul(韩国)	—	39	—	[16]
崇明岛	2006	380 ~ 2 260	170 ~ 980	[17]
西安	2008	199.3	167.4	[18]
珠江口及南海北部	2003	73 ~ 390	13 ~ 99	[19]
广东	2005	1 458	655	[5]
大连市	2008	106.57	219.18	[20]
香港	2005	444	161	[5]
哈密	2010 ~ 2011	43.9	107.1	本研究

1) “—”表示文章中没有相关数据

平,同时,数据不是同一时间采集,如今这些大气中 DDTs 和 HCHs 含量如何,有待进一步研究.

2.2 表层土壤中 HCHs 和 DDTs 残留特征及来源分析

2.2.1 城乡土壤残留特征

从图 5 可知,哈密地区土壤中 HCHs 残留总量范围为 $0.344 \sim 6.954 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$, 低于兰州兴隆山背景点的 $0.18 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ ^[12], 各采样点依次是哈密林场 ($6.954 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$) > 哈密农村 ($0.492 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$) > 哈密城市 ($0.344 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$), 哈密林场是 HCHs 的主要污染区. 土壤中 DDTs 残留总量范围为 $0.104 \sim 26.397 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$, 各采样点依次是哈密城市 ($26.397 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$) > 哈密林场 ($9.096 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$) > 哈密农村 ($0.104 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$), 哈密城市是 DDTs 的主要污染区. 哈密地区土壤中 DDTs 污染要比 HCHs 严重的多, 这与国内外相关报道一致^[21,22]. 尽管 HCHs 使用总

量比 DDTs 大,但由于 HCHs 在土壤中持留性较小, 所以 DDTs 仍是现存于土壤中的主要有机氯农药残留. 哈密地区 HCHs 和 DDTs 的浓度均未超过国家土壤环境质量标准^[23]规定的 $50 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$. 由图 6 可知哈密地区土壤中 HCHs 各异构体中 β -HCH 和 α -HCH 比例最高; DDTs 各异构体中: o,p' -DDT 和 p,p' -DDT 比例最高. 哈密地区城市、农村及林场土壤中 DDTs 和 HCHs 含量无明显规律.

2.2.2 来源分析

由图 5 可知, HCHs 各异构体中, β -HCH 的浓度偏高, 这是由于其不易挥发 (20°C 蒸汽压 0.0529 Pa)^[24], 并且环境中其它异构体亦可转化成 β -HCH, 达到稳定状态^[24-26], 因而 β -HCH 在土壤中有相对富集的现象. α -HCH/ γ -HCH 的范围在 $0.023 \sim 0.151$ 之间, 推测哈密地区近年来有使用林丹.

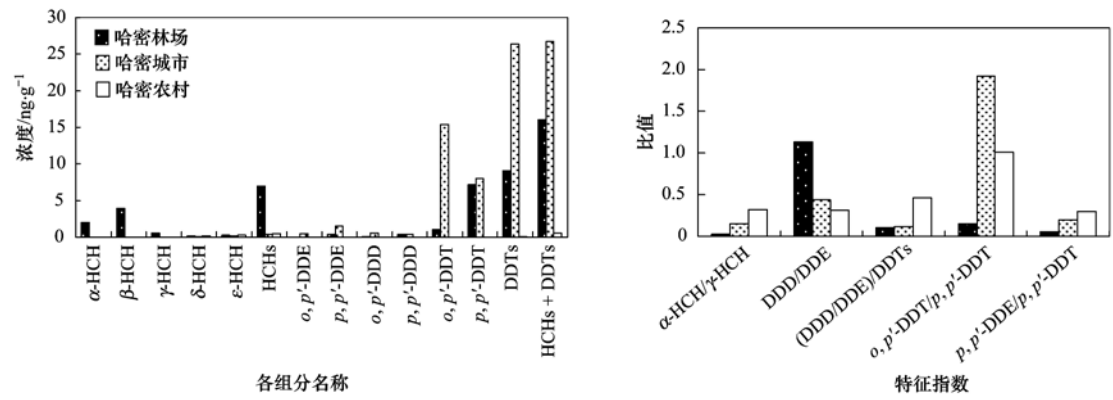


图5 哈密地区土壤中 HCHs 和 DDTs 浓度和来源分析

Fig. 5 Concentrations and source analysis of HCHs and DDTs in the soil of Hami region

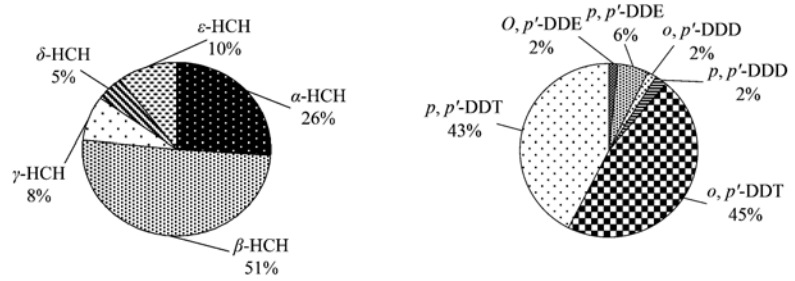


图6 哈密地区土壤中 HCHs 和 DDTs 各异构体百分比

Fig. 6 Percentage of every isomer of HCHs and DDTs in the soil of Hami region

DDE 和 DDD 分别为 DDT 的好氧和厌氧降解产物^[25],样品中哈密林场的 DDE/DDD > 1,说明该采样区域 DDTs 有氧分解作用大于厌氧分解;而哈密城市和哈密农村的 DDE/DDD < 1,表明 DDTs 厌氧分解作用大于有氧分解,这可能是因为哈密地区采矿业发达,产生的工业“三废”改变了土壤环境. 整个哈密地区 (DDD + DDE)/DDTs < 0.5,据此推测哈密土壤中近几年仍有 DDTs 类农药的使用和排放. 工业 DDTs (比如防腐漆内含有工业 DDTs) 中 o,p' -DDT/ p,p' -DDT 约为 0.18^[27],三氯杀螨醇的 o,p' -DDT/ p,p' -DDT 比值在 7 左右^[28]. 哈密城市和农村表层土壤 o,p' -DDT/ p,p' -DDT 都大于 1,同时由于 o,p' -DDT 的降解要易于 p,p' -DDT^[29],工业 DDTs 的降解不可能导致土壤中 o,p' -DDT/ p,p' -DDT 的比值大于工业 DDT 中的该比值,因此,城市和农村 DDTs 的残留可能还有三氯杀螨醇的输入贡献. 而林场表层土壤的 o,p' -DDT/ p,p' -DDT 为 0.147,推测工业 DDTs 是林场区域 DDTs 的重要来源.

土壤和大气中 HCHs 和 DDTs 的来源不一致,主要是由土壤和大气本身的不同特性以及哈密地区复杂的地理和气候条件导致的. 一般情况下,土壤的性质比较稳定,受地区气候的影响较小. 而大气

由于流动性大,受气候条件(比如温度,风向)和地理条件影响较大. 最终导致二者的来源不一致.

2.2.3 与国内外研究比较

表 3 为近年来国内外部分地区土壤中 HCHs 和 DDTs 残留状况^[4,17,21,22,30],哈密土壤中 DDTs 浓度比国外和国内南京,崇明岛、上海要低,但比香港高;土壤中 HCHs 浓度比国外和国内南京,崇明岛、上海、香港都要低. 可见,哈密土壤中 DDTs 和 HCHs 浓度在国内外处于相对较低水平.

2.3 气-土交换

大气与土壤之间除大气中的污染物通过沉降进入土壤外,还通过分子两相间的扩散进行物质交换. 简单判断研究区域气-土平衡状态,可以用该物质在两相交换的逸度值的比较. 据 1979 年 Mackay 的逸度模型,国内外许多学者根据逸度模型对预测不同地区有机污染物的迁移归趋作了大量的研究工作^[31~34],在气-土交换方面的研究取得了一定进展. 土壤和大气中的一级逸度模型公式如下:

$$f_s = c_s RT / 0.411 / \Phi_{om} / K_{oa} \quad (1)$$
$$f_a = c_a RT \quad (2)$$

式中, f_s 和 f_a 分别表示土壤和大气中污染物的逸度, Pa; c_s 和 c_a 分别表示土壤和大气中该污染物的浓

度, $\text{mol}\cdot\text{m}^{-3}$; $R = 8.31 \text{ Pa}\cdot\text{m}^3\cdot(\text{mol}\cdot\text{K})^{-1}$; T 为环境温度, K ; Φ_{om} 为土壤中的总有机物, 其值等于 1.7

倍的 TOC; K_{oa} 为辛醇-气分配系数, 本研究采用文献 [24,35] 的推荐值.

表 3 国内外部分地区土壤 HCHs 和 DDTs 残留状况比较¹⁾

Table 3 Comparison of HCHs and DDTs concentrations in the soil of China and other areas in the world

土壤来源	年份	浓度/ $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$		文献
		DDTs	HCHs	
德国	—	23.7 ~ 173	5.25 ~ 10.0	[21]
波兰克拉科夫市	—	4.3 ~ 2 400	0.36 ~ 1 101	[22]
南京	2002 ~ 2003	6.3 ~ 1 050.7	2.7 ~ 130.6	[4]
崇明岛	2006	0.78 ~ 163.2	0.4 ~ 20.0	[17]
上海	2007	nd ~ 38.58	1.81 ~ 79.61	[8]
香港	—	nd ~ 5.7	2.5 ~ 11	[30]
哈密	2010 ~ 2011	0.104 ~ 26.397	0.344 ~ 6.954	本研究

1) “—”表示文章中没有相关数据; nd 表示未检出

根据测定的土壤密度和含水率以及污染物的摩尔质量, 将污染物的土壤浓度由 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ 转为 $\text{mol}\cdot\text{m}^{-3}$ [14]. 根据式(1)和(2)计算出哈密地区大气和土壤中各自的逸度值, 并求出 f_a/f_s 的值. 若 $f_a/f_s > 1$, 说明污染物有大气向土壤迁移的趋势; 若 $f_a/f_s = 1$, 说明污染物达到了气-土平衡; 若 $f_a/f_s < 1$, 说明污染物有土壤向大气迁移的趋势.

由图 7 的结果可以得出 (除去未检出点), HCHs 和 DDTs 各异构体 $f_a/f_s < 1$ 的比例分别为: α -HCH 占 100%, β -HCH 占 83.3%, γ -HCH 占 90%, δ -HCH 占 100%, ε -HCH 占 91%, o,p' -DDE 占 42.9%, p,p' -DDE 占 67.6%, o,p' -DDD 占 0, p,p' -

DDD 占 16.7%, o,p' -DDT 占 12.5%, p,p' -DDT 占 12.5%. 总体上来看, 2010 年 8 月 ~ 2011 年 8 月 HCHs 各异构体和 p,p' -DDE 的 f_a/f_s 比值总体都是小于 1, 这几类物质主要是由土壤向大气挥发; 而 o,p' -DDE、 o,p' -DDD、 p,p' -DDD、 o,p' -DDT、 p,p' -DDT 主要是由大气向土壤沉降. 由图 8 可知, HCHs 各异构体 f_a/f_s 的比值四季均小于 1, 各异构体差别不大; 而 DDTs 各异构体 f_a/f_s 的比值四季都是均大于 1, 并且 p,p' -DDD 冬季的 f_a/f_s 高达 2571.7. HCHs 和 DDTs 的 f_a/f_s 比值差异明显, 哈密地区大部分 DDTs 的汇是土壤, 源是大气; 而 HCHs 和 p,p' -DDE 的汇则是大气, 源是土壤.

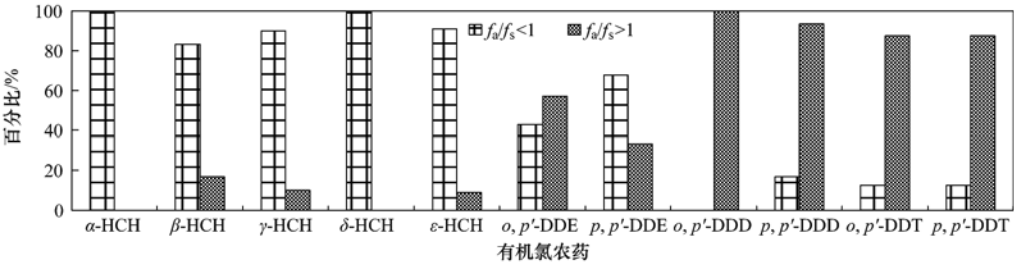


图 7 哈密地区 HCHs 和 DDTs 各异构体 $f_a/f_s > 1$ 和 < 1 所占比例

Fig. 7 Proportion of $f_a/f_s > 1$ and < 1 of every isomer of HCHs and DDTs in Hami region

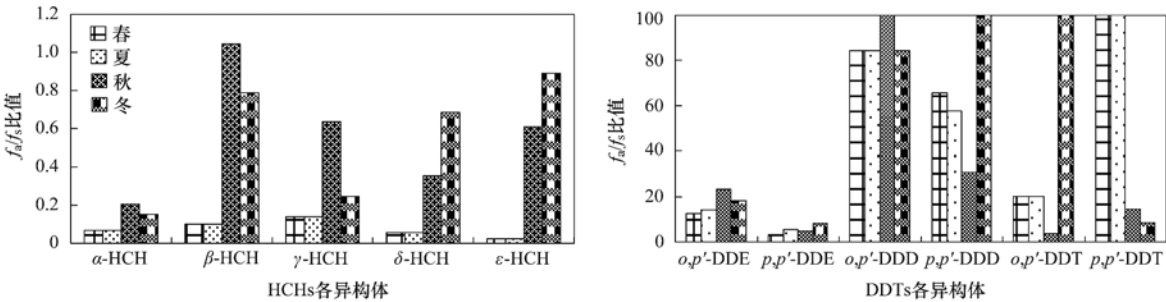


图 8 哈密地区 HCHs 和 DDTs 各异构体气-土交换季节性差异

Fig. 8 Seasonal variations for air-soil exchange of every isomer of HCHs and DDTs in Hami region

2.4 潜在风险初探

目前已有不少关于 HCHs、DDTs 对土壤生物的毒性研究,但尚无确定的土壤生态风险评价模式。根据 Urzelaia 等^[36]以污染物对土壤无脊椎动物的毒性响应为基准,对于标准土壤(28%黏土,4%有机质)计算得出 HCHs 异构体引起土壤中 10% 物种风险浓度($80 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$)来看,哈密地区表层土壤中 HCHs 的生态风险较低。

根据 Jongbloed 等^[37]得到的 DDTs 产生次生毒性效应的土壤临界水平,土壤中 DDTs 最大允许残留水平对鸟类为 $11 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$,对哺乳动物为 $190 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$,对土壤生物为 $10 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ 。以此阈值为基准,哈密城市和林场表层土壤中 DDTs 的残留水平为 $26.397 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $9.096 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$,可能对该地区鸟类和土壤生物具有一定的潜在生态风险,而哈密农村土壤中 DDTs($0.104 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$)的生态风险则较低。

3 结论

(1)哈密地区大气中 HCHs 和 DDTs 年均浓度分别为 $107.1 \text{ pg} \cdot \text{m}^{-3}$ 和 $43.9 \text{ pg} \cdot \text{m}^{-3}$,大气中 OCPs 污染以 HCHs 为主;通过同系物特征指数法推测:工业 HCHs 的使用或 HCHs 的大气长距离传输对大气中 HCHs 含量有较大贡献,大气中 DDTs 主要来自环境残留。

(2)哈密地区表层土壤中 HCHs 和 DDTs 浓度均未超过国家土壤环境质量标准规定的一级自然背景值 $50 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$;土壤中 OCPs 污染以 DDTs 为主;通过同系物特征指数法推测:近期土壤中有 HCHs 和 DDTs 的新源输入,城市和农村土壤中的 DDTs 可能还有三氯杀螨醇的微量带入。

(3)哈密地区 HCHs 和 DDTs 的 f_a/f_s 比值差异明显。HCHs 各异构体和 p,p' -DDE 的气-土交换主要是由土壤向大气挥发;而 o,p' -DDE、 o,p' -DDD、 p,p' -DDD、 o,p' -DDT、 p,p' -DDT 的气-土交换主要由大气向土壤沉降。

(4)哈密地区土壤中 HCHs 的生态风险较低,城市和林场表层土壤中 DDTs 可能对该地区鸟类和土壤生物具有一定的潜在生态风险,而农村土壤中 DDTs 的生态风险则较低。

参考文献:

- [1] Harner T, Bidleman T F, Jantunen L M, *et al.* Soil-air exchange model of persistent pesticides in the United States cotton belt[J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2001, **20**(7): 1612-1621.
- [2] 华小梅,单正军. 我国农药的生产,使用状况及其环境污染因子分析[J]. *环境科学进展*, 1996, **4**(2): 33-45.
- [3] Willett K L, Ulrich E M, Hites R A. Differential toxicity and environmental fates of hexachlorocyclohexane isomers [J]. *Environmental Science & Technology*, 1998, **32**(15): 2197-2207.
- [4] 安琼,董元华,王辉,等. 南京地区土壤中有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.
- [5] 王俊,张干,李向东,等. 珠江三角洲地区大气中有机氯农药的被动采样观测[J]. *环境化学*, 2007, **26**(3): 395-398.
- [6] 邱黎敏,张建英,骆永明. 浙江农田土壤中 HCH 和 DDT 的残留及其风险[J]. *农业环境科学学报*, 2005, **2**(6): 1161-1165.
- [7] Fu J M, Mai B X, Sheng G Y, *et al.* Persistent organic pollutants in environment of the Pearl River Delta, China: an overview[J]. *Chemosphere*, 2003, **52**(9): 1411-1422.
- [8] 蒋煜峰,王学彤,孙阳昭,等. 上海市城区土壤中有有机氯农药残留研究[J]. *环境科学*, 2010, **31**(2): 409-414.
- [9] 袁旭音,王禹,陈骏,等. 太湖沉积物中有有机氯农药的残留特征及风险评估[J]. *环境科学*, 2003, **24**(1): 121-125.
- [10] 屠月青,慕彩芸. 哈密市空气污染物浓度分布特征及其与气象因子的关系[J]. *沙漠与绿洲气象*, 2010, **4**(6): 42-46.
- [11] Shoeib M, Harner T. Characterization and comparison of three passive air samplers for persistent organic pollutants [J]. *Environmental Science & Technology*, 2002, **36**(19): 4142-4151.
- [12] 柳敏,吴有方,方利江,等. 河西走廊及兰州地区土壤中典型有机氯农药残留研究[J]. *农业环境科学学报*, 2012, **31**(2): 338-344.
- [13] 哈密政府网. 哈密地区志-自然环境-气候[EB/OL]. <http://www.hami.gov.cn/10037/10037/00016/00013/10000/2010/80605.htm>.
- [14] Kalbitz K, Popp P, Geyer W, *et al.* β -HCH mobilization in polluted wetland soils as influenced by dissolved organic matter [J]. *Science of the Total Environment*, 1997, **204**(1): 37-48.
- [15] Yeo H G, Choi M, Sunwoo Y. Seasonal variations in atmospheric concentrations of organochlorine pesticides in urban and rural areas of Korea[J]. *Atmospheric Environment*, 2004, **38**(28): 4779-4788.
- [16] Murayama H, Takase Y, Mitobe H, *et al.* Seasonal change of persistent organic pollutant concentrations in air at Niigata area, Japan[J]. *Chemosphere*, 2003, **52**(4): 683-694.
- [17] 朱晓华,杨永亮,路国慧,等. 崇明岛东北部表层土壤及近地表大气中 HCHs DDTs 污染及土-气交换[J]. *农业环境科学学报*, 2010, **29**(3): 444-450.
- [18] 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.
- [19] 刘国卿,张干,李军,等. 珠江口及南海北部近海海域大气有机氯农药分布特征与来源[J]. *环境科学*, 2008, **29**(12): 3320-3325.
- [20] 程翠莉. 大连地区大气中 DDT 和 HCH 的监测与来源解析[D]. 大连:大连海事大学, 2009. 33-54.

- [21] Manz M, Wenze K D, Dietze U, *et al.* Persistent organic pollutants in agricultural soils of central Germany[J]. *Science of the Total Environment*, 2001, **277**(1): 187-198.
- [22] Falandysz J, Brudnowska B, Kawano M, *et al.* Polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in soils from the southern part of Poland[J]. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 2001, **40**(2): 173-178.
- [23] GB 15618-1995, 土壤环境质量标准[S].
- [24] Shen L, Wania F. Compilation, evaluation, and selection of physical-chemical property data for organochlorine pesticides[J]. *Journal of Chemical and Engineering Data*, 2005, **50**(3): 742-768.
- [25] 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): 229-236.
- [26] Middeldorp P J M, Jaspers M, Zehnder A J B, *et al.* Biotransformation of α -, β -, γ -, and δ -hexachlorocyclohexane under methanogenic conditions[J]. *Environmental Science & Technology*, 1996, **30**(7): 2345-2349.
- [27] 章海波, 骆永明, 滕应, 等. 珠江三角洲地区典型类型土壤中 DDT 残留及其潜在风险[J]. *土壤*, 2006, **38**(5): 547-551.
- [28] Qiu X, Zhu T, Li J, *et al.* Organochlorine pesticides in the air around the Taihu Lake, China[J]. *Environmental Science & Technology*. 2004, **38**(5): 1368-1374.
- [29] Feng K, Yu B Y, Ge D M, *et al.* Organo-chlorine pesticide (DDT and HCH) residues in the Taihu Lake Region and its movement in soil-water system I. Field survey of DDT and HCH residues in ecosystem of the region[J]. *Chemosphere*, 2003, **50**(6): 683-687.
- [30] 章海波, 骆永明, 赵其国, 等. 香港土壤研究——IV. 土壤中有有机氯化化合物的含量和组成[J]. *土壤学报*, 2006, **44**(2): 220-225.
- [31] Mackay D. Multimedia environmental models: the fugacity approach (2nd ed.) [M]. Boca Raton, FL: Lewis Publishers, 2001.
- [32] Mackay D. Finding fugacity feasible[J]. *Environmental Science & Technology*, 1979, **13**(10): 1218-1223.
- [33] Wang X L, Tao S, Xu F L, *et al.* Modeling the fate of benzo[a]pyrene in the wastewater-irrigated areas of Tianjin with a fugacity model[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2002, **31**(3): 896-903.
- [34] 曹红英, 龚钟明, 曹军, 等. 估算天津环境中 γ -HCH 归宿的逸度模型[J]. *环境科学*, 2003, **24**(2): 77-81.
- [35] Mackay D, Shiu W Y, Ma K C. Illustrated handbook of physical-chemical properties and environmental fate for organic chemicals [M]. Boca Raton, FL: Lewis Publishers, 1997. 804-2111.
- [36] UrZelai A, Vega M, Angulo E. Deriving ecological risk-based soil quality Values in the basque country[J]. *Science of the Total Environment*, 2000, **247**(2): 279-284.
- [37] Jongbloed R H, Traas T P, Luttik R. A probabilistic model for deriving soil quality criteria based on secondary poisoning of top predators: II. Calculations for dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT) and cadmium[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 1996, **34**(3): 279-306.

CONTENTS

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

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2013年3月15日 34卷 第3期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 3 Mar. 15, 2013

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行人