

王 晶, 裴国霞, 郝拉柱, 等. 内蒙古土默川黄灌区表层土壤中 HCHs 的分布特征及来源解析[J]. 农业环境科学学报, 2016, 35(11): 2131-2136.
WANG Jing, PEI Guo-xia, HAO La-zhu, et al. Distribution characteristics and source apportionment of HCHs in surface soil in Inner Mongolia Irrigation Area of Yellow River in Tumochuan[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2016, 35(11):2131-2136.

内蒙古土默川黄灌区表层土壤中 HCHs 的分布特征及来源解析

王 晶¹, 裴国霞^{1*}, 郝拉柱², 张 琦¹, 高丽惠¹

(1. 内蒙古农业大学水利与土木建筑工程学院, 呼和浩特 010018; 2. 内蒙古农业大学职业技术学院, 土默特右旗 014109)

摘 要: 选取土默川黄灌区蹬口扬水灌区与民族团结灌区为研究区域, 采用 GC-ECD 分析表层土壤样品中 HCHs 的含量。结果表明, HCHs 总含量在 ND~32.51 ng·g⁻¹ 之间, 平均浓度为 7.2 ng·g⁻¹。δ-HCH 在 4 种异构体中占主要成分, 平均值为 3.69 ng·g⁻¹, 且平均值含量顺序为 δ-HCH>γ-HCH>β-HCH>α-HCH。总体来说, 土默川蹬口扬水灌区与民族团结灌区表层土壤中 HCHs 残留水平处于较低水平。采用反距离加权法对 HCHs 在研究区的空间分布进行分析可知, 基本呈东西走向, 水平分布上东部要略高于西部, 向南北两侧分别呈递增趋势。此外, 分析探讨了不同影响因素下 HCHs 的分布特征, 并通过 α-HCH/γ-HCH 的比值对 HCHs 进行来源分析, 其比值介于 0.15~1.59 之间, 表明土默川蹬口扬水灌区与民族团结灌区表层土壤中发生了环境变化, 且一小部分土样中 α-HCH/γ-HCH 比值接近于 1, 说明本地区有新的 γ-HCH 输入。

关键词: 蹬口扬水灌区; 民族团结灌区; 表层土壤; 六六六; 分布特征; 来源分析

中图分类号: X53 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2016)11-2131-06 doi:10.11654/jaes.2016-0754

Distribution characteristics and source apportionment of HCHs in surface soil in Inner Mongolia Irrigation Area of Yellow River in Tumochuan

WANG Jing¹, PEI Guo-xia^{1*}, HAO La-zhu², ZHANG Qi¹, GAO Li-hui¹

(1. College of Water Conservancy and Civil Engineering, Inner Mongolia Agriculture University, Hohhot 010018, China; 2. Agriculture University Occupation Technical College of Inner Mongolia, Tuyouqi 014109, China)

Abstract: Selecting Tumochuan Dengkou pumping irrigation area and Minzutuanjie irrigation area as the study area, and analyzing the content of HCHs in surface soil samples by using GC-ECD method. The results showed that the total content of HCHs was between ND-32.51 ng·g⁻¹, and the average concentration was 7.27 ng·g⁻¹. δ-HCH is the main ingredient in four kinds of isomer, the average concentration was 3.69 ng·g⁻¹, the average concentration in order was δ-HCH>γ-HCH>β-HCH>α-HCH. Overall, HCHs residue levels in the surface soil of Tumochuan Dengkou pumping irrigation area and Minzutuanjie irrigation area was lower. Secondly, the spatial distribution of HCHs in the study area was analyzed by using the inverse distance weighting method. The basic level in East-West distribution was Eastern slightly higher than that of the west, to the north and south sides respectively showed increasing trend. Also analyzed and discussed the influence of different factors on the distribution characteristics of HCHs. The source of HCHs was analyzed by the ratio of α-HCH/γ-HCH. Due to its ratio was between 0.15~1.59, which indicates that the environmental changes have taken place in the surface soil of Tumochuan Dengkou pumping irrigation area and Minzutuanjie irrigation area, and a small fraction of the α-HCH/γ-HCH ratio in the soil sample is close to 1, which indicates that there is a new γ-HCH input in the local area.

Keywords: Dengkou pumping irrigation area; Minzutuanjie irrigation area; surface soil; HCHs; distribution characteristics; source analysis

收稿日期: 2016-06-02

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51469023, 51169018, 51369021)

作者简介: 王 晶(1990—), 女, 硕士, 主要从事水污染控制方面的研究。E-mail: 1019335546@qq.com

* 通信作者: 裴国霞 E-mail: peiguoxia@126.com

六六六(HCHs)是环己烷每个碳原子结合的一个氢原子被氯原子取代形成的饱和化合物^[1]。由于具有长期残留性、生物蓄积性、半挥发性和高毒性而使得HCHs对环境造成了长期而复杂的危害,严重威胁着人类的健康和生态环境安全。尽管对HCHs的使用已大规模禁止,但因其残留期久^[2-5],致使其在各地土壤仍不断被检测出^[6-11]。

内蒙古土默川黄灌区包括磴口扬水灌区和民族团结灌区两部分。近年来发现黄河内蒙古段水体中有持久性有机污染物HCHs的检出^[12],而土默川黄灌区作为内蒙古黄河干流引黄灌区的六大灌区之一,因其属于极端大陆性气候,降水年际变化较大,且年内分配不均匀,蒸发量大,导致农作物缺水严重,所以该灌区的农业生产全依赖黄河水灌溉。大量污染物的排放导致黄河水体的严重污染,其中持久性有机污染物可以通过淋溶、渗滤等途径进入土壤环境,从而对土壤造成污染。本文以土默川黄灌区为研究区域,选择HCHs为目标污染物,分析了磴口扬水灌区与民族团结灌区表层土壤中HCHs残留水平及分布特征,同时也对土壤中HCHs的来源进行分析,以期科学评价土默川黄灌区表层土壤环境质量及其污染特点和发展趋势提供参考和数据支持。

1 材料与方法

1.1 样品采集

在研究区域内以蛇形布点法布设采样点,现场利用GPS确定样点具体位置,并详细记录实地状况,共计30个采样点(如图1所示)。在一定面积内采集土壤表层0~10 cm若干土样,使其形成均匀的土壤混合样,用四分法留取1 kg土样装入干净的铝盒中,带回实验室冷冻保存直至分析。实验前去除土壤中碎石、败叶等杂物,经自然风干后研磨,过60目筛冷藏贮存备用。

1.2 仪器与材料

实验仪器:快速溶剂萃取仪(戴安 ASE-300)、SHB-III A 循环水式多用真空泵、SPE 固相萃取装置(SUPELCO)、Varian 450-GC 气相色谱仪。

实验材料:佛罗里硅土柱、高纯氮气(99.999%)、正己烷、丙酮均为色谱纯。

标准样品:购自美国 AccuStandard 公司,溶剂为正己烷,浓度为 $0.1 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$, 体积为 1 mL, 组分包括 α -HCH、 β -HCH、 γ -HCH、 δ -HCH。

1.3 样品预处理

将研磨后的土样利用快速溶剂萃取仪进行萃取。

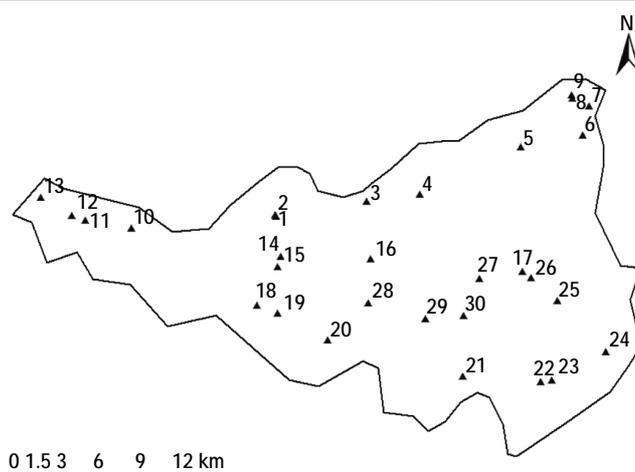


图1 土默川黄灌区采样点示意图

Figure 1 Map of soil samples distribution in irrigation area of Yellow River in Tumochuan

按质量比为4:1的比例将4 g土样和1 g硅藻土混合后装入34 mL的萃取池中,预热时间5 min,以体积比为1:1的丙酮、正己烷混合溶剂静态萃取6 min,萃取温度为100 °C,萃取压力为1500 psi(1 psi=6.895 kPa),冲洗体积为90%,萃取循环3次,之后用高纯氮气吹扫100 s并收集萃取液。将萃取液旋转蒸发后浓缩至1 mL,依次用30 mL丙酮和20 mL正己烷以1滴·s⁻¹的速度活化佛罗里硅土柱,弃去淋洗液,再用15 mL正己烷和15 mL含2%丙酮的正己烷依次淋洗佛罗里硅土柱,收集洗脱液。收集的洗脱液经旋转蒸发、氮吹,使其浓缩定容至1 mL,以备色谱分析。

1.4 样品分析测定

HCHs的浓度采用GC-ECD测定。载气为高纯氮气,进样口温度为250 °C,检测器温度为300 °C;待测样品以6:1分流比进样1 μL ;色谱柱升温程序:初始温度120 °C停留18 min,以5 °C·min⁻¹升温至180 °C停留5 min,以10 °C·min⁻¹升温至230 °C停留20 min;柱头压0.12 MPa。分别用色谱峰的相对保留时间和峰面积稳定性与定量。

1.5 质量控制与质量保证

样品测试过程采用US EPA的质量保证方法,设置方法空白、平行样及加标空白实验。加标空白实验基质样品为质量4:1的石英砂和硅藻土。加入已知浓度的目标化合物混标,加标空白实验方法和预处理方法相同。HCHs加标回收率为89.78%~110.25%,方法的相对标准偏差RSD为15%以内,方法的检测限为0.1~0.3 ng·g⁻¹。

2 结果与讨论

2.1 六六六的赋存水平及污染状况

土默川黄灌区表层土壤中检出的HCHs包括 α -HCH、 β -HCH、 γ -HCH、 δ -HCH,总含量介于ND~32.51 ng·g⁻¹之间,平均浓度为7.27 ng·g⁻¹。HCHs中各组分的残留量见表1。

表1 土默川黄灌区表层土壤中六六六的残留量

Table 1 HCHs residual amounts in surface soil from the irrigation area of Yellow River in Tumochuan

残留指标	α -HCH	β -HCH	γ -HCH	δ -HCH	Σ HCHs
最大值/ng·g ⁻¹	3.16	14.43	11.41	8.59	32.52
最小值/ng·g ⁻¹	ND	ND	ND	ND	ND
平均值/ng·g ⁻¹	0.38±0.74	0.68±2.73	2.53±2.79	3.69±3.13	7.27±6.16
检出率/%	26.67	10	70	70	86.67

注:ND为未检出或低于检测限。

Note: ND is not detected or below the detection limit.

土默川黄灌区表层土壤中 γ -HCH和 δ -HCH的检出率较高,为70%; α -HCH检出率次之,为26.67%; β -HCH检出率最低,为10%。HCHs的组成以 δ -HCH为主,其占总含量的50.75%; γ -HCH的含量次之,占总含量的34.73%; β -HCH占总含量的9.31%; α -HCH的含量最低,占总含量的5.2%。这与我国《土壤环境质量标准》(GB15618—1995)中HCHs的二级标准值(农业用地)0.5 mg·kg⁻¹相比要小很多。

图2比较了本研究区域与国内其他灌区农田土壤中HCHs的含量。结果表明,土默川黄灌区表层土壤中 Σ HCHs平均浓度略高于黄淮海地区农田土壤(4.01 ng·g⁻¹),但远低于天津市农田土壤(45.80 ng·g⁻¹)、广州地区农田土壤(42.75 ng·g⁻¹)及安徽省农田表层土壤(28.64 ng·g⁻¹),与潮汕地区农田土壤(15.30 ng·g⁻¹)、南京市农田土壤(13.60 ng·g⁻¹)及苏南农田土壤(11.12 ng·g⁻¹)大致相当。综上比较可看出,磴口扬水灌区与民族团结灌区表层土壤中HCHs残留处于较低水平。

2.2 六六六的分布特征

利用反距离加权法对采样点进行插值分析,绘出 Σ HCHs在研究区域土壤中空间分布图(图3)。研究区域西面HCHs浓度较低,高浓度HCHs主要集中在民生干渠与跃进干渠周边区域,基本呈东西走向,水平分布上东部要略高于西部,向南北两侧分别呈递增趋势。有研究表明,持久性有机污染物在土壤中的残

留和迁移,除了与其本身的理化性质有关外,还与土壤因素(如土壤质地、粘粒含量和类型、有机质含量、pH)、生物因素(土壤微生物群落和作物种类)以及气候因素(温度、湿度和光照强度等)等有关^[13-14]。该研究区域中高浓度HCHs位于黄灌域,且土质为中壤土,种植作物为葵花,因其三者的结合而使得该区域HCHs浓度最高。

2.2.1 不同类型土质中HCHs的残留分布特征

灌区土质主要有六种类型,即砂土、砂壤土、轻壤土、中壤土、重壤土和粘土。从图4来看 Σ HCHs的残留量顺序为:中壤土>重壤土>轻壤土>粘土>砂土>砂壤土。相比而言,中壤土中 Σ HCHs的残留量较高,其平均值为9.60 ng·g⁻¹。这是由于HCHs是疏水性物质,易于到达土壤表面且极易粘附于土粒表面,而粘附于土粒表面的HCHs易于进一步粘附更多的HCHs^[15]。此

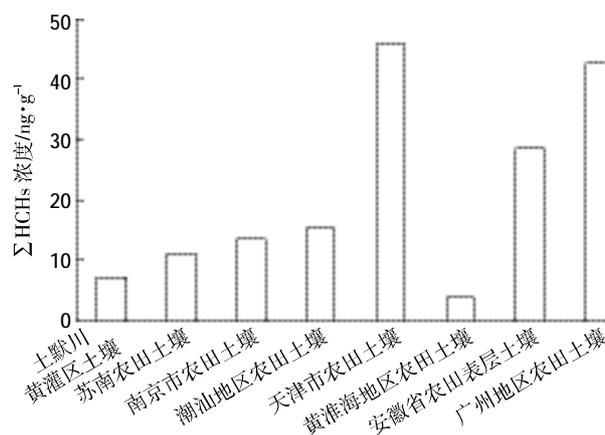


图2 不同灌区农田土壤中HCHs含量比较

Figure 2 Comparison of HCHs content in farmland soil of different irrigation districts

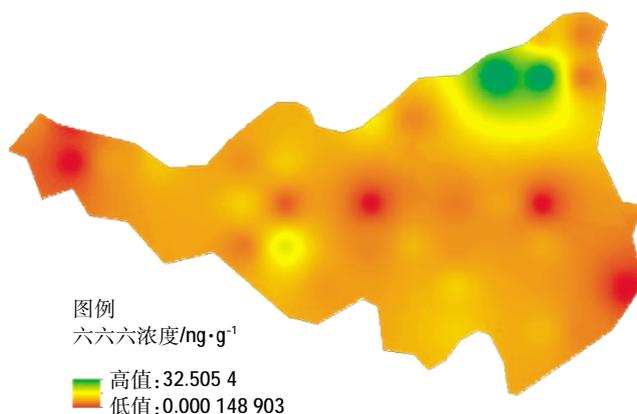


图3 Σ HCHs在研究区域表层土壤中空间分布图

Figure 3 Spatial distribution of Σ HCHs in surface soil in the study area

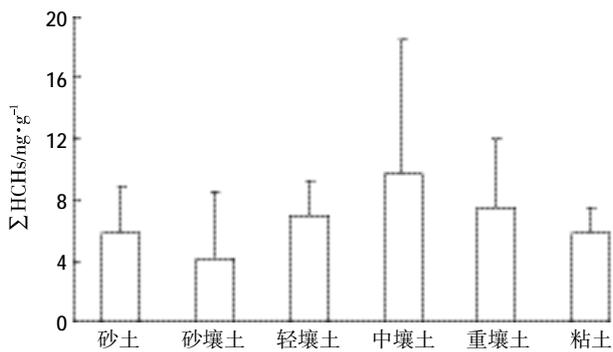


图 4 不同类型土壤中 ΣHCHs 的残留量

Figure 4 Residues of ΣHCHs in different types of soil

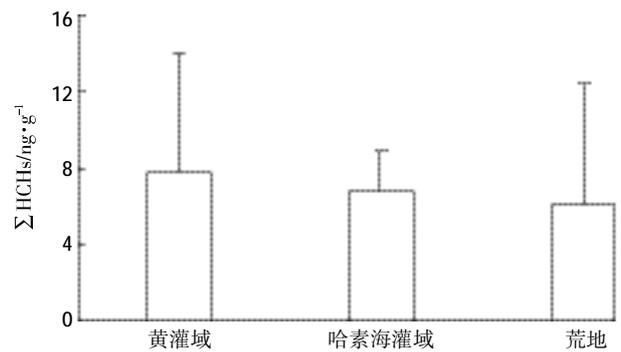


图 5 不同灌溉条件下土壤中 ΣHCHs 的残留量

Figure 5 Residues of ΣHCHs in soil of different irrigation conditions

外,还可能与其表面植被的降解能力有关,中壤土一部分种植葵花,种植作物不同导致微生物活动强弱不同,降解速度也不同,从而造成其残留和分布的差异。

砂壤土中 ΣHCHs 残留量较低,其平均值为 4.11 ng·g⁻¹,主要因为其结构疏松,透水性强,有机质含量较低,粘性小,对 HCHs 的吸附性小,HCHs 流失的速度快,HCHs 含量的降速相对较快^[16]。

2.2.2 不同灌溉条件下土壤中 HCHs 的残留分布特征

研究区灌溉区域主要有 3 类,即黄灌域、哈素海灌域和荒地。从图 5 来看 ΣHCHs 的残留量顺序为:黄灌域>哈素海灌域>荒地。这可能是因为,土壤中的 HCHs 可通过渗透的方式从土壤表层迁移到土壤下层,而黄灌域水体中本身有 HCHs 的存在^[12],故黄灌域中 ΣHCHs 的残留量相对较高;而荒地中未种植作物,对 HCHs 使用量较少,所以荒地表层土壤中 HCHs 残留量最低。

2.2.3 种植不同作物土壤中 HCHs 的残留分布特征

灌区种植的主要作物有玉米、小麦、荒地和葵花。从图 6 来看 ΣHCHs 的残留量顺序为葵花>玉米>小麦>荒地,且玉米、小麦和荒地中 ΣHCHs 的残留量基本持平,玉米中的 HCHs 含量稍微高于小麦。这与关中盆地中六六六的研究相吻合^[15]。荒地中 HCHs 含量最低可能是因为荒地中未种植作物从而对 HCHs 的使用量较少;而葵花中 ΣHCHs 的残留量远高于这三种作物,则可能是由于玉米和麦子本身的分泌物对持久性有机污染物有降解作用^[15,17]。其次还可能由于种植葵花的采样点位于灌区首部,距离黄河近,故受黄河水体中 HCHs 的影响更为严重。

2.3 六六六的来源分析

工业 HCH 和林丹的使用是环境中 HCHs 的直接来源。我国自 20 世纪 50 年代开始使用该类农药,至

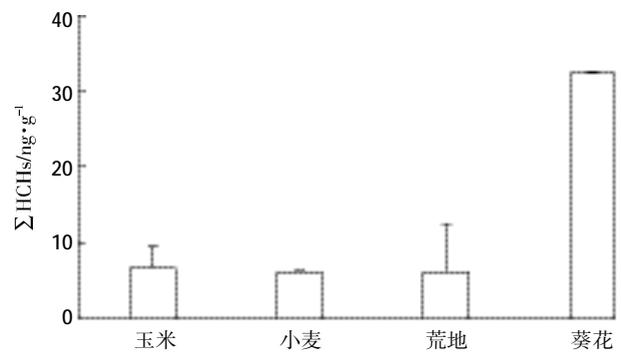


图 6 不同种植作物土壤中 ΣHCHs 的残留量

Figure 6 Residues of ΣHCHs in soil of different planting crops

20 世纪 70 年代达到高峰。我国于 1983 年开始禁止工业 HCH 在农业上使用,但林丹在我国仍有少量生产和使用^[18]。HCHs 是由多个异构体组成的混合物,其中 α-HCH 与 γ-HCH 在环境中最不稳定,且易降解;β-HCH 具有良好的对称性,难于降解,且较其他异构体更为稳定。因此在使用过六六六的地区,若近期内没有六六六的新源出现,环境中 β-HCH 在 HCHs 中的百分含量应较高^[19]。图 7 为研究区域表层土壤中 HCHs 浓度及各组分比例分布图。由图 7 可看出,在该地区大部分土壤中 β-HCH 的浓度为 0 或低于检测限,说明该地区未使用过六六六或在很久以前曾少量使用过六六六。

大部分土壤中,δ-HCH 在 4 种异构体中占主要成分,平均值含量顺序为 δ-HCH>γ-HCH>β-HCH>α-HCH。因为 α-HCH 比 γ-HCH 更容易降解,所以还可用 α-HCH 与 γ-HCH 的比值来判断环境中 HCHs 的来源,该比值高则指示来源于工业 HCH,反之则来源于林丹。工业纯 HCHs 中 α-HCH 与 γ-HCH 的比值约为 4~7,大于或小于这一范围则说明发生了环境变化:如果 α-HCH 与 γ-HCH 的比值在 4~7 之间,说

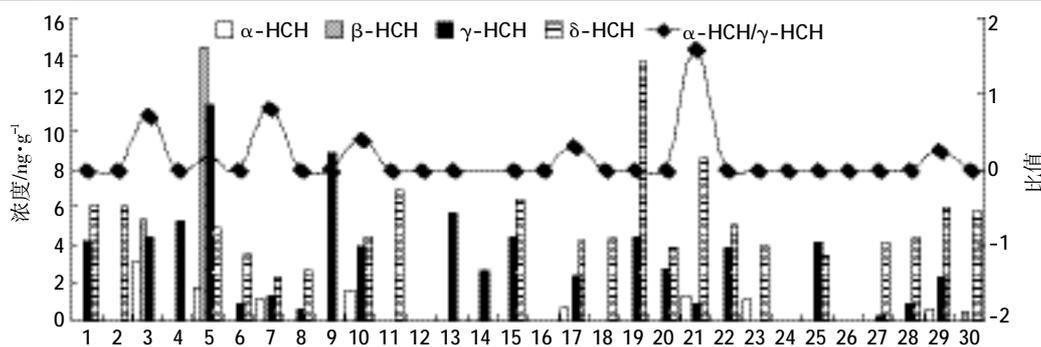


图7 研究区域表层土壤中HCHs的浓度(y轴左侧)以及各组分比例(y轴右侧)

Figure 7 Concentration of HCHs(y axis on the left) and compositional ratios(y axis on the right) in the soil of study area

明HCHs来源于工业纯;若比值接近于1,则说明本地区有新的 γ -HCH输入^[20-21]。磴口扬水灌区与民族团结灌区表层土壤样品中 α -HCH/ γ -HCH的比值介于0.15~1.59之间,表明磴口扬水灌区与民族团结灌区表层土壤中发生了环境变化。由于环境变化,土壤中HCHs的同系物之间发生了明显转化。影响转化的因素很多,可能与时间、降水、季节、污染物等有关,也可能与林丹的使用有关^[22]。此外, α -HCH/ γ -HCH的比值平均值为0.14,在2以下,且一小部分荒地土样中 α -HCH/ γ -HCH比值接近于1,说明本地区有新的 γ -HCH输入。这些新输入的林丹可能来自于当地生产和使用的挥发,也可能来自大气的远距离输送。

3 结论

(1) δ -HCH在4种异构体中占主要成分,其平均含量为 $3.69 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$,其占总含量的50.75%。4种异构体平均值含量顺序为 δ -HCH $>$ γ -HCH $>$ β -HCH $>$ α -HCH,其中HCHs总含量在ND~ $32.51 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ 之间,平均浓度为 $7.27 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ 。整个灌区内HCHs普遍存在,但与我国《土壤环境质量标准》(GB15618—1995)中HCHs的二级标准值(农业用地)相比,总体来说污染水平较轻。

(2)土壤中HCHs高含量地区主要分布民生干渠与跃进干渠周边区域。不同类型土质中 Σ HCHs的残留量顺序为中壤土 $>$ 重壤土 $>$ 轻壤土 $>$ 粘土 $>$ 砂土 $>$ 砂壤土;不同灌溉条件下 Σ HCHs的残留量顺序为黄灌域 $>$ 哈素海灌域 $>$ 荒地;不同种植作物下 Σ HCHs的残留量顺序为葵花 $>$ 玉米 $>$ 小麦 $>$ 荒地。

(3)4种HCHs异构体在磴口扬水灌区与民族团结灌区表层土壤环境中均有不同程度的残留,但残留量差异很大。灌区表层土壤样品中 α -HCH/ γ -HCH

的比值介于0.15~1.59之间,表明磴口扬水灌区与民族团结灌区表层土壤中发生了环境变化。此外, α -HCH/ γ -HCH的比值平均值为0.14,在2以下,且一小部分土样中 α -HCH/ γ -HCH比值接近于1,说明该地区有新的 γ -HCH输入。

参考文献:

- [1] 刘相梅,彭平安,黄伟林,等.六六六在自然界中的环境行为及研究动向[J].农业环境与发展,2001,18(2):38-40.
LIU Xiang-mei, PENG Ping-an, HUANG Wei-lin, et al. HCHs environmental behavior and research trends in nature[J]. Agro-Environment and Development, 2001, 18(2): 38-40.
- [2] 刘文新,李尧,左谦,等.渤海湾西部表土中HCHs与DDTs的残留特征[J].环境科学学报,2008,28(1):142-149.
LIU Wen-xin, LI Yao, ZUO Qian, et al. Residual characteristics of HCHs and DDTs in surface soils from the western zone of Bohai Bay[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2008, 28(1): 142-149.
- [3] 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.
MENG Fei, ZHANG Jian, LIU Min, et al. Distribution of HCHs and DDTs in agricultural soil of Shanghai[J]. Acta Pedologica Sinica, 2009, 46(2): 361-364.
- [4] 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.
AN Qiong, DONG Yuan-hua, WANG Hui, et al. Residues and distribution character of organochlorine pesticides in soils in Nanjing area[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2005, 25(4): 470-474.
- [5] 孙可,刘希涛,高博,等.北京通州灌区土壤和河流底泥中有机氯农药残留的研究[J].环境科学学报,2009,29(5):1086-1093.
SUN Ke, LIU Xi-tao, GAO Bo, et al. Studies on organochloride pesticides (OCPs) residues of soils and sediments in the Tongzhou irrigation area of Beijing[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2009, 29(5): 1086-1093.
- [6] 吴志昇,谢光炎,杨国义,等.广州市农业土壤中六六六(HCHs)和滴滴涕(DDTs)的残留特征[J].生态环境学报,2009,18(4):1256-1260.

- WU Zhi-sheng, XIE Guang-yan, YAN Guo-yi, et al. Residual characteristics of HCHs and DDTs in agricultural soils from Guangzhou[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2009, 18(4): 1256-1260.
- [7] 高凡, 贾建业, 王好, 等. 广州市农业土壤中六六六(HCH)的残留特征[J]. *环境科学与技术*, 2006, 29(11): 10-11, 14, 115.
- GAO Fan, JIA Jian-ye, WANG Hao, et al. Characteristics of HCH residue in agricultural soil of Guangzhou[J]. *Environmental Science & Technology*, 2006, 29(11): 10-11, 14, 115.
- [8] 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.
- GONG Zhong-ming, CAO Jun, LI Ben-gang, et al. Residues and distribution characters of HCH in soils of Tianjin area[J]. *China Environmental Science*, 2003, 23(3): 311-314.
- [9] 邱黎敏, 张建英, 骆永明. 浙北农田土壤 HCH 和 DDT 的残留及其风险[J]. *农业环境科学学报*, 2005, 24(6): 1161-1165.
- QIU Li-min, ZHANG Jian-ying, LUO Yong-ming, et al. Residues of HCH and DDT in agricultural soils of North of Zhejiang and its risk evaluation[J]. *Journal of Agro-environment Science*, 2005, 24(6): 1161-1165.
- [10] YANG Dan, QI Shi-hua, ZHANG Jia-quan, et al. Residues of organochlorine pesticides (OCPs) in agricultural soils of Zhangzhou city, China[J]. *Pedosphere*, 2012, 22(2): 178-189.
- [11] Wang X, Ren N, Qi H, et al. Levels distributions and source identification of organochlorine pesticides in the topsoils in Northeastern China[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2009, 21(10): 1386-1392.
- [12] 裴国霞, 张岩, 马太玲, 等. 黄河内蒙古段水体中六六六和多氯联苯的分布特征[J]. *水资源与水工程学报*, 2010, 21(4): 25-27, 33.
- PEI Guo-xia, ZHANG Yan, MA Tai-ling, et al. Distribution of HCHs and PCBs in water body of Inner Mongolia section of Yellow River[J]. *Journal of Water Resources and Water Engineering*, 2010, 21(4): 25-27, 33.
- [13] 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.
- GUAN Hui, YANG Guo-yi, LI Pei-xue, et al. Investigation on organochlorine pesticides pollution in soil of typical area in Leizhou Peninsula[J]. *Ecology and Environment*, 2006, 15(2): 323-326.
- [14] 杨国义, 万开, 张天彬, 等. 广东省典型区域农业土壤中有机氯农药含量及其分布特征[J]. *农业环境科学学报*, 2007, 26(5): 1619-1623.
- YANG Guo-yi, WAN Kai, ZHANG Tian-bin, et al. Residues and distribution characteristics of organochlorine pesticides in agricultural soils from typical areas of Guangdong Province[J]. *Journal of Agro-environment Science*, 2007, 26(5): 1619-1623.
- [15] 冯秀芳. 六六六在关中盆地典型土壤中的迁移转化规律研究[D]. 西安: 长安大学, 2006: 47-49.
- FENG Xiu-fang. The Research on the transport and transformation of HCHs in typical soils of Guanzhong Basin[D]. Xi'an: Chang'an University, 2006: 47-49.
- [16] 王兴琴, 花日茂, 潘锦勇, 等. 安徽农田表层土壤中有氯农药的分布及其组成[J]. *应用生态学报*, 2011, 22(12): 3285-3292.
- WANG Xing-qin, HUA Ri-mao, PAN Jin-yong, et al. Distribution and composition of organochlorine pesticides in farmland top soils of Anhui Province[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(12): 3285-3292.
- [17] 王春辉, 吴绍华, 周生路, 等. 典型土壤持久性有机污染物空间分布特征及环境行为研究进展[J]. *环境化学*, 2014, 33(11): 1828-1840.
- WANG Chun-hui, WU Shao-hua, ZHOU Sheng-lu, et al. A review on spatial distribution and environmental behavior of typical persistent organic pollutants in soil[J]. *Environmental Chemistry*, 2014, 33(11): 1828-1840.
- [18] 龚香宜, 祁士华, 吕春玲, 等. 洪湖表层沉积物中有机氯农药的含量及组成[J]. *中国环境科学*, 2009, 29(3): 269-273.
- GONG Xiang-yi, QI Shi-hua, LÜ Chun-ling, et al. Concentrations and composition of organochlorine pesticides in surface sediments from Hong Lake[J]. *China Environmental Science*, 2009, 29(3): 269-273.
- [19] 刘丽艳. 黑龙江流域(中国)土壤中六六六和滴滴涕污染研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2007: 39-41.
- LIU Li-yan. Pollution in surface soil of HCHs and DDTs in Heilongjiang River Basin, China[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2007: 39-41.
- [20] 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(1/2/3): 187-198.
- [21] 马瑾, 邱兴华, 周永章, 等. 湛江市土壤有机氯农药残留状况及空间分布特征[J]. *地理学报*, 2010, 65(1): 103-112.
- MA Jin, QIU Xing-hua, ZHOU Yong-zhang, et al. Residues and spatial distributions of OCPs in soils of Zhanjiang[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(1): 103-112.
- [22] 邵学新, 吴明, 蒋科毅. 西溪湿地土壤有机氯农药残留特征及风险分析[J]. *生态与农村环境学报*, 2008, 24(1): 55-58, 62.
- SHAO Xue-xin, WU Ming, JIANG Ke-yi, et al. Distribution and risk assessment of organochlorine pesticides in the soils of Xixi Wetland Park[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2008, 24(1): 55-58, 62.