

# 滇池流域农田土壤有机氯农药残留特征

尹可锁<sup>1,2</sup>, 吴文伟<sup>2</sup>, 张雪燕<sup>2</sup>, 郭志祥<sup>2</sup>, 代雪芳<sup>2</sup>, 何成兴<sup>2</sup>, 徐汉虹<sup>1</sup>

(1. 华南农业大学天然农药与化学生物学教育部重点实验室, 广州 510642; 2. 云南省农业科学院农业环境资源研究所, 昆明 650205)

**摘要** 在滇池流域农田, 重点是滇池滨湖区和入滇河流柴河流域, 选择不同土地利用类型、不同种植年限大棚采集土壤样品进行气相色谱(ECD)分析。结果表明, 试区土壤中有机氯农药(OCPs)检出率为 95.9%, OCPs 的残留量范围、平均值分别为 nd~63.4  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、6.3  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 以  $p, p'$ -DDE 为主要残留物, 98.3% 的样点达到国家《土壤环境质量标准》一级标准( $<50 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )。与国内同类报道相比, 滇池周边土壤中 OCPs 的残留较低。不同土地利用类型有机氯残留量排序为: 设施栽培>水稻田>露天菜地>荒草地>坡耕地; 不同大棚种植年限土壤中, 棚龄长于 15 a 的 OCPs 残留量要明显高于棚龄短于 15 a 的, 而棚龄短于 15 a 的, 土壤中 OCPs 含量差异不明显。

**关键词** 土壤; 有机氯农药; 残留

中图分类号: X592 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2010)04-0674-06

## Residues Characteristics of Organochlorine Pesticides in the Cultivated Soils from Dianchi Lake Watershed

YIN Ke-suo<sup>1,2</sup>, WU Wen-wei<sup>2</sup>, ZHANG Xue-yan<sup>2</sup>, GUO Zhi-xiang<sup>2</sup>, DAI Xue-fang<sup>2</sup>, HE Cheng-xing<sup>2</sup>, XU Han-hong<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Natural Pesticide and Chemical Biology, Ministry of Education, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2. Institute of Agricultural Environment and Resource, YAAS, Kunming 650205, China)

**Abstract** Surface soils (0~20 cm depth) of typical cultivated field were collected in Dianchi Lake watershed (especially Dianchi Lake side and Chaihe River watershed), and organochlorine pesticide residues (OCPs), represented with DDTs and HCHs, were analyzed by gas chromatography with ECD detector. The results showed that OCPs ranged from none to 63.4  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  were detected in 95.9% of the soil samples, and the average level was 6.3  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ . The  $p, p'$ -DDE was the main OCPs component, which indicated that the residues in soils were possibly resulted from historical use of OCPs. The concentrations of DDTs and HCHs in 98.3% of samples were lower than 50  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , which showed that these soils had reached the first level of the National Soil Environment Quality Standard. The effect of soil utilization and history of greenhouse cultivation on the level of pesticide residues in soils were also discussed. The amount of pesticide residues according to different land use in order was shown as follows: greenhouse soil>paddy soil>open vegetable soil>grassland soil>sloping land soil. The concentrations of OCPs in soil samples with more than 15 years cultivated history were higher, while the difference of OCPs residues amount was not significant in soils during the first 15 year cultivation in greenhouse. Comparing with the reference data, the pollution burden in soils of Dianchi Lake watershed was lower than those in other areas of China.

**Keywords** soil; organochlorine pesticides; residues

有机氯农药是典型的持久性有机污染物 (POPs), 低剂量的有机氯农药仍能给生物、人体带来高风险, 其危害正日益引起人们的关注<sup>[1-4]</sup>。虽然我国已于 1983 年禁止使用, 但近年来的研究表明, HCHs 和 DDTs 在国内各地区的环境介质中均有检出, 且局

部地区环境中其含量较高<sup>[4-7]</sup>。研究证实, 土壤中的有机氯农药残留对陆地生物有直接危害, 也能通过地表径流释放到水体影响水生生物, 并通过食物链的生物富集和扩大效应对人体造成间接危害<sup>[8]</sup>。

滇池流域面积 2 920 km<sup>2</sup>, 其水资源对昆明市工农业生产和人民生活起着至关重要的作用, 由于因污染物的大量排入, 滇池已成为水体富营养化程度最严重的湖泊之一。在滇池入湖污染负荷中, 农业面源污染是主要污染源之一<sup>[9]</sup>。有机氯农药在该地区农田土壤中检出, 说明其仍是滇池农业面源化学污染物

收稿日期 2009-08-26

基金项目 国家“十一五”科技支撑计划项目(2007BAD87B12), 云南省“十一五”科技攻关(2006NG18)

作者简介 尹可锁(1980—), 男, 云南腾冲人, 硕士生, 助理研究员, 主要从事农药环境监测研究。E-mail yksuo@yahoo.com.cn

通讯联系 徐汉虹 E-mail dlhxu@seau.edu.cn

负荷的组成之一<sup>[10]</sup>。

近年来,国内学者对农田土壤有机氯农药残留作了很多报道<sup>[1-7,11-14]</sup>。我国农田中 OCPs 的使用存在着很大的随意性和无序性,对滇池流域土壤中 OCPs 分布特征的研究还未见综合性报道。本研究对滇池湖滨区乡镇、柴河流域土壤中 HCHs、DDTs 残留量进行了测定,侧重研究不同土地利用类型和大棚种植年限对土壤中有机氯农药残留影响,初步探讨其污染水平,考察其分布特征,以期对该地区 OCPs 污染物开展生态风险评价及滇池污染治理提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集

2009年3—6月,在滇池流域,重点是滇池湖滨区和入滇河流之一——柴河流域农田土壤范围内,综合考虑地形地貌、土地利用类型进行土壤样品采样。滇池湖滨区为沿滇池周边的10个农业种植乡镇,柴河发源于柴河水库,根据种植模式和距河流入滇口的位置,柴河流域分为3段:上游的上蒜乡、中游的上蒜乡和晋城镇、下游的晋城镇和新街乡,共包括4个乡镇,滇池湖滨区农业乡镇包括柴河流经的区域,样点分布见图1、图2。所有样点均以GPS定位,每个土样采取多点取样法(5~10点)采集0~20cm耕层土壤。柴

河流域的3个乡镇采样69个,在滇池流域湖滨区其他七个乡镇采样45个,样品共计114个。除去石块、植物枝等非土壤物质,在石英研磨罐中磨细,过20目筛,混匀装入棕色样品瓶中保存。

### 1.2 供试药剂和仪器

试剂均为分析纯,丙酮、石油醚(60~90℃)经全玻璃重蒸处理,无水硫酸钠、浓硫酸为优级纯。有机氯农药标准物质(GBW(E)060133)购自中国标准技术开发公司标样开发部,其中包含有 $\alpha$ -HCH、 $\beta$ -HCH、 $\gamma$ -HCH、 $\delta$ -HCH、 $p,p'$ -DDE、 $p,p'$ -DDD、 $o,p'$ -DDT、 $p,p'$ -DDT共8种农药。

HP5890型气相色谱仪配ECD检测器,BUCHI旋转蒸发仪,索氏提取器,离心机,氮吹仪。

### 1.3 样品前处理

本研究所用索氏提取方法参考GB/T14550—1993。简述如下:取20.0g土样,用体积比为1:1的石油醚/丙酮溶液60mL浸泡过夜,然后索氏提取6h,经2%无水硫酸钠溶液水洗、石油醚萃取3次、无水硫酸钠脱水,浓缩、定容至2mL,待净化。

浓硫酸净化:用移液器量取样品提取液于10mL样品反应瓶中,加入1mL浓硫酸,盖上密封盖,剧烈振摇1min,置于5000r·min<sup>-1</sup>离心机上离心10min,取上清液,待气相色谱分析。

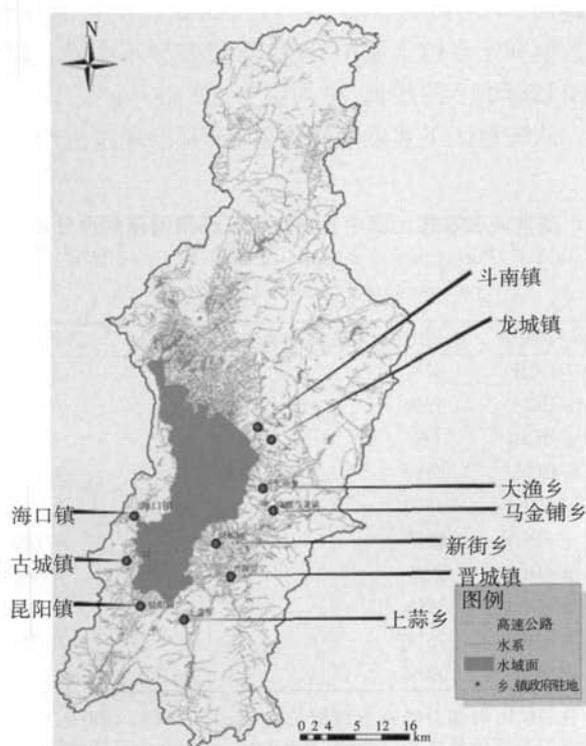


图1 滇池湖滨区采样点乡镇

Figure 1 The sampling distribution in Dianchi Lake side

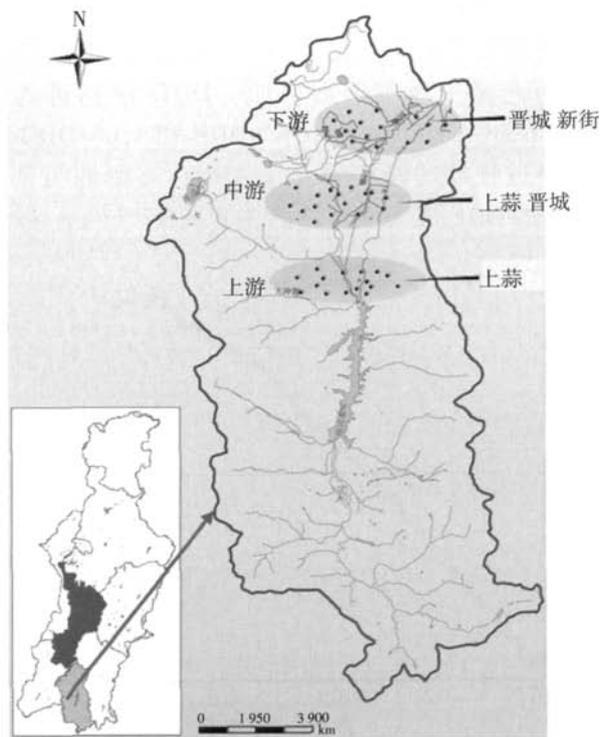


图2 柴河流域采样点区域

Figure 2 The sampling distribution in Chaihe River watershed

#### 1.4 色谱分析条件

HP5890 气相色谱仪 ( $^{63}\text{Ni}$  电子捕获检测器及HP化学工作站); 色谱柱 HP-5 30 m $\times$ 0.32 mm $\times$ 0.5  $\mu\text{m}$ 。检测温度: 检测器 300  $^{\circ}\text{C}$ 、进样口 250  $^{\circ}\text{C}$ 、柱温初温 150  $^{\circ}\text{C}$  保持 1 min, 以 10  $^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  的速率升至 280  $^{\circ}\text{C}$  保持 1 min。载气为高纯氮气, 柱流量为 1.0 mL $\cdot\text{min}^{-1}$ , 进样量为 1.0  $\mu\text{L}$ , 非分流进样。

方法对 OCP<sub>s</sub> 的加标回收率为 94%~108%, 检出最低限为 0.05~0.4  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

#### 1.5 方法质控措施

分析测定质量控制与保证措施<sup>[14]</sup>: ①空白样: 每批分析样需带 1 个空白样, 以确认试剂和容器的清洁程度; ②平行样: 每批分析样需带 2~3 个平行样(20%), 以确认测试结果的再现性; ③添加回收率: 每周 1 次, 待测样添加 2 种浓度标样(相差 1~2 个数量级), 平行 3~5 次, 以确认测试结果的准确性。

## 2 结果与讨论

### 2.1 滇池流域土壤中 OCP<sub>s</sub> 的残留特征

滇池流域农田土壤样品中残留的 OCP<sub>s</sub>, 主要为 DDT<sub>s</sub>、HCH<sub>s</sub> 占优势的是  $\beta$  和  $\delta$ -HCH, DDT<sub>s</sub> 以  $p, p'$ -DDE 为主, 与其他地区土壤中 OCP<sub>s</sub> 残留特征相似<sup>[13, 12]</sup>。当 HCH<sub>s</sub> 最初进入土壤后, 以  $\alpha$ -HCH 的残留量最高,  $\delta$ -HCH 最低, 经多年的降解, 4 种 HCH<sub>s</sub> 组分的相对含量发生了明显变化,  $\alpha$ -HCH 降低,  $\beta$  和  $\delta$ -HCH 在残留总量中所占比例增加。DDT<sub>s</sub> 最初进入土壤, 以  $p, p'$ -DDT 为主,  $p, p'$ -DDE 和  $o, p'$ -DDD 极少。经过长期的降解后,  $p, p'$ -DDT 残留量明显下降,  $p, p'$ -DDE 成为残留物的主要成份<sup>[1-2, 13]</sup>。一般用

$\alpha$ -HCH/ $\gamma$ -HCH 和 (DDD+DDE)/DDT 比值作为判断是否有新 HCH、DDT 输入源的标准<sup>[12, 14]</sup>。由于滇池周边检测的土样中  $\alpha$ -HCH、 $\gamma$ -HCH、 $p, p'$ -DDT 和  $o, p'$ -DDT 检出率都较低, 比值中出现大量的无效数据(低于检测限而规定为 0), 因此从  $\alpha$ -HCH/ $\gamma$ -HCH 和 (DDD+DDE)/ $p, p'$ -DDT 这一特征指数尚难以直接推断该区污染物的来源。但从 OCP<sub>s</sub> 代谢物(或异构体)在土壤中的百分残留量可推断<sup>[16]</sup>, 该区农田土壤 OCP<sub>s</sub> 污染可能主要是历史残留, 近期基本无新的污染输入, 部分样品中检出  $p, p'$ -DDT 和  $o, p'$ -DDT, 且残留量较高, 说明近几年来该地区可能依旧在使用滴滴涕或含有滴滴涕杂质的其他农药, 可能是使用三氯杀螨醇防治花卉作物上的红蜘蛛<sup>[2, 14, 17]</sup>。

滇池流域不同取样点 OCP<sub>s</sub> 残留分布, 从图 3 可看出, 其值较分散地分布在 0 概率线两侧, 没有出现明显的某种有规律的趋势, 反映了在滇池流域土壤中 OCP<sub>s</sub> 残留量的随机性。

### 2.2 滇池流域土壤中 OCP<sub>s</sub> 的区域性分布

#### 2.2.1 湖滨区土壤中 OCP<sub>s</sub> 的区域性分布

从表 1 可看出, 滇池湖滨区农田中 OCP<sub>s</sub> 检出率为 100%, 除龙城、昆阳、古城以外, 其他采样点的 DDT<sub>s</sub> 残留量明显高于 HCH<sub>s</sub>。OCP<sub>s</sub> 残留总量范围为 2.3~31.9  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (表 2)。其中以斗南镇土壤中 OCP<sub>s</sub> 含量最高, 平均值为 31.9  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 明显高于其他乡镇; 而其他 9 个乡镇土壤中 OCP<sub>s</sub> 含量差异不明显, 以马金铺和新街乡的最低, 平均值为 2.3  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

从该地区工业发展历史看, 没有出现过生产有机

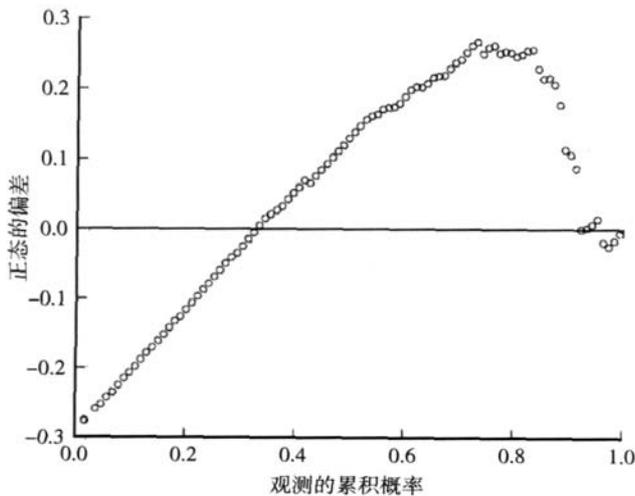


图 3 不同样点 OCP<sub>s</sub> 残留的趋降 P-P 图

Figure 3 Detrended normal P-P plot of different OCP<sub>s</sub> residual

表 1 滇池流域农田土壤中各有机氯农药残留量的百分占有率  
Table 1 Percentage of residues of OCP<sub>s</sub> in agricultural soils collected from Dianchi Lake watershed

农药种类	原药组成	农田土壤残留量/ $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	百分残留量
$\alpha$ -HCH	67%	0.1	8.6%
$\beta$ -HCH	15%	0.4	30.0%
$\gamma$ -HCH	8%	0.1	6.2%
$\delta$ -HCH	7%	0.8	55.3%
$\Sigma\text{HCHs}$	100%	1.4	-
$p, p'$ -DDE	微量	2.3	47.0%
$p, p'$ -DDD	微量	0.5	10.0%
$o, p'$ -DDT	25%	0.5	9.4%
$p, p'$ -DDT	75%	1.6	33.7%
$\Sigma\text{DDTs}$	100%	4.9	-

注: HCH<sub>s</sub> 各组分的百分残留量为  $R_i = C_i / \Sigma\text{HCHs} \times 100\%$ ; DDT<sub>s</sub> 各组分的百分残留量为  $R_i = C_i / \Sigma\text{DDTs} \times 100\%$ ; 式中  $R_i$  为各组分的百分残留量,  $C_i$  为残留量,  $\Sigma\text{HCHs}$  和  $\Sigma\text{DDTs}$  分别为 4 种 HCH<sub>s</sub> 及 4 种 DDT<sub>s</sub> 残留量之和。

氯农药的农药厂,由此推断土壤中 OCP<sub>s</sub> 残留主要来自农业施用有机氯农药。土壤中 OCP<sub>s</sub> 残留量的变异系数较大,分布呈非均一性,总体反映了农药使用的无序性,多为农户零散性生产管理模式,农药使用随意性较大<sup>[3]</sup>。在滇池滨湖区乡镇,斗南镇发展蔬菜和花卉种植较其他乡镇早,并且大棚覆盖率高,蔬菜和花卉较水稻更多使用农药防治病虫害,因而使用农药量大,斗南土壤中残留量自然较高。

### 2.2.2 柴河流域土壤中 OCP<sub>s</sub> 的区域性分布

土壤中有机氯农药残留量从表 3 可看出:(1)柴河流域上、中、下游农田土壤样品中,OCP<sub>s</sub> 的检出率都在 90%以上,OCP<sub>s</sub> 的残留量差异不明显,上游土壤中 OCP<sub>s</sub> 的检出率和平均值最高,分别为 100%、3.9 μg·kg<sup>-1</sup>,中、下游的平均值为 3.0 和 2.5 μg·kg<sup>-1</sup>。8 种有机氯农药异构体、代谢物中 p,p'-DDE 的均值最高,而 HCH 异构体的残留量要明显小于 DDT 异构体、代谢物的含量,特别是 γ-HCH 的检出率和均值都较低。(2)OCP<sub>s</sub> 各异构体组分的残留分布特征为:δ-HCH>β-HCH>α-HCH>γ-HCH 及 p,p'-DDE>p,p'-DDT>o,p'-DDT>p,p'-DDD。

柴河是入滇池的主要河流之一,流经的 3 个乡镇

具有滇池湖滨区种植模式的典型性。残留于农田中的 OCP<sub>s</sub> 经雨水的冲洗和淋溶被带入水体,在此过程中发生降解、沉淀或以悬浮物吸附态存在于水体<sup>[8,18]</sup>。为了解河流水体对农田土壤中 OCP<sub>s</sub> 残留量的影响,对柴河流域农田土壤中 OCP<sub>s</sub> 进行了检测,结果表明土壤中 OCP<sub>s</sub> 残留差异不明显,该区过去主要以种植水稻为主的相似条件下,施用 OCP<sub>s</sub> 的总量大概是相当的,可判断柴河流域农田土壤中残留的 OCP<sub>s</sub> 主要源自当地农业施用,水体对 OCP<sub>s</sub> 迁移影响较小。

### 2.3 滇池流域土壤中 OCP<sub>s</sub> 残留的影响因素

#### 2.3.1 土地利用类型的影响

根据样点周边环境的现场调查资料,将研究区域内的土地利用类型总体划分为荒草地、坡耕地、水稻田、露天菜地、设施栽培地 5 类<sup>[3-4]</sup>。土地利用类型的差别往往意味着有机氯农药的输入量不同,也使土壤形成不同的生化条件,从而直接影响 OCP<sub>s</sub> 的环境归趋<sup>[1,18]</sup>。不同利用方式土壤中 OCP<sub>s</sub> 残留量如图 4 所示,以坡耕地土壤 OCP<sub>s</sub> 残留最低,设施栽培土壤中 OCP<sub>s</sub> 残留最高,而水稻田、露天蔬菜地土壤中 OCP<sub>s</sub> 残留差异不明显。OCP<sub>s</sub> 在我国禁用前,被普遍用于防治作物害虫,土地种植作物较大影响农药的使用量,坡耕地仅

表 2 滇池湖滨区农田(地)土壤中 HCH<sub>s</sub>、DDT<sub>s</sub> 的残留特征(μg·kg<sup>-1</sup>)

Table 2 Concentrations of HCH<sub>s</sub> and DDT<sub>s</sub> in the cultivated soils collected from Dianchi Lake shore(μg·kg<sup>-1</sup>)

有机氯农药	采样点乡镇									
	斗南	龙城	大渔	马金铺	上蒜	新街	昆阳	古城	海口	晋城
ΣHCH <sub>s</sub>	1.1~9.9	0.9~8.1	0.3~7.3	nd~1.1	nd~4.1	nd~1.0	0.4~8.1	0.4~14.0	0.2~5.6	nd~6.9
ΣDDT <sub>s</sub>	2.7~63.4	1.3~3.2	0.6~2.7	0.5~4.8	0.1~23.5	0.1~6.7	0.7~7.8	0.3~8.4	0.4~16.7	0.3~21.7
ΣOCP <sub>s</sub>	3.7~70.7	2.1~10.2	0.8~11.1	1.3~4.8	0.3~23.6	0.3~6.8	2.6~10.6	2.3~16.8	0.6~22.3	0.3~23.0
OCP <sub>s</sub> 平均值	31.9(±7.94)	5.2(±0.49)	5.0(±0.19)	2.3(±0.46)	3.4(±0.23)	2.3(±0.17)	6.8(±0.29)	8.8(±0.27)	6.3(±0.12)	3.9(±0.38)
OCP <sub>s</sub> 检出率	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
OCP <sub>s</sub> 变异系数	74.5%	58.4%	70.8%	71.9%	151.7%	93.7%	38.9%	64.3%	115.2%	159.3%

表 3 柴河流域土壤中 HCH<sub>s</sub>、DDT<sub>s</sub> 的残留特征(μg·kg<sup>-1</sup>)

Table 3 Concentrations of HCH<sub>s</sub> and DDT<sub>s</sub> in the soils collected from the Chaihe River watershed (μg·kg<sup>-1</sup>)

有机氯农药	柴河上游			柴河中游			柴河下游		
	检出率	平均值	变异系数	检出率	平均值	变异系数	检出率	平均值	变异系数
α-HCH	35.7%	0.2	8.8%	9.5%	0.2(±0.01)	63.3%	28.6%	0.2(±0.01)	65.8%
β-HCH	28.6%	0.2(±0.01)	81.1%	9.5%	0.2	1.5%	33.3%	0.4(±0.01)	34.7%
γ-HCH	nd			9.5%	0.2	9.8%	28.6%	0.1	62.1%
δ-HCH	21.4%	0.2(±0.1)	80.5%	33.3%	0.6(±0.02)	83.1%	33.3%	0.7(±0.06)	185.7%
p,p'-DDE	92.9%	2.9(±0.40)	193.2%	90.5%	1.5(±0.09)	121.2%	95.2%	1.6(±0.09)	122.5%
p,p'-DDD	14.3%	1.1(±0.05)	56.1%	14.3%	0.6(±0.02)	56.2%	42.9%	0.6(±0.02)	84.1%
o,p'-DDT	35.7%	1.2(±0.08)	100.6%	47.6%	1.8(±0.12)	145.7%	14.3%	1.0(±0.04)	103.9%
p,p'-DDT	28.6%	1.2(±0.04)	47.0%	28.6%	1.6(±0.01)	88.7%	9.5%	1.8(±0.06)	70.1%
ΣHCH <sub>s</sub>	64.3%	0.6(±0.01)	65.4%	38.1%	0.7(±0.02)	73.1%	66.7%	0.6(±0.05)	160.2%
ΣDDT <sub>s</sub>	92.9%	4.0(±0.45)	156.1%	90.5%	3.0(±0.23)	158.7%	95.2%	2.2(±0.13)	133.1%
ΣOCP <sub>s</sub>	100.0%	3.9(±0.44)	156.7%	90.5%	3.0(±0.24)	166.5%	95.2%	2.5(±0.13)	119.9%

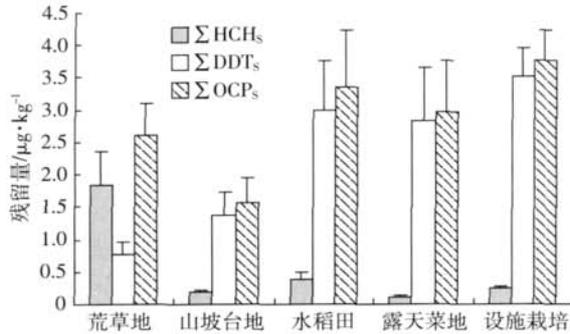


图4 不同土地利用类型土壤中 OCP<sub>s</sub> 残留  
Figure 4 OCP<sub>s</sub> residues in different utilized soils

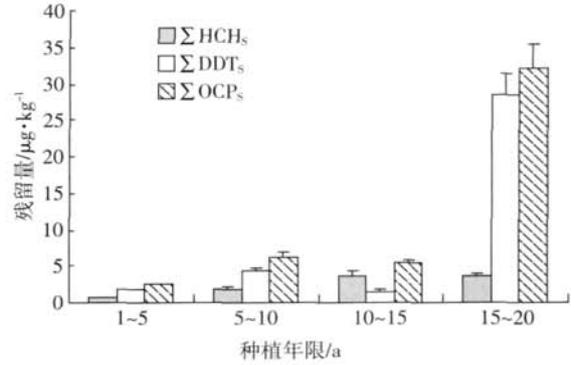


图5 不同种植年限大棚土壤中有有机氯农药残留  
Figure 5 OCP<sub>s</sub> residues in the soils of greenhouse with different cultivated durations

种植单季作物——玉米,而露天菜地和设施栽培多为水稻田改种而成,而改种前的水稻田一般种植双季作物——水稻和油菜或小麦,并且水稻、油菜和小麦较玉米更易被虫害危害,用药量也大,因而水稻田、露天菜地、设施栽培地土壤中有机氯残留量高。

在坡耕地、水稻田、露天菜地、设施栽培地土壤中有有机氯农药残留总量主要来源于 DDT<sub>s</sub> 类,而 HCH<sub>s</sub> 的贡献较小,荒草地土壤中主要以 HCH<sub>s</sub> 为主。荒草地土壤中仍含一定的 OCP<sub>s</sub> 残留量,特别是 HCH<sub>s</sub> 在 OCP<sub>s</sub> 的百分残留量较高,其土壤中 OCP<sub>s</sub> 主要有两方面来源:在过去的时间里,OCP<sub>s</sub> 被用于防治林业害虫,OCP<sub>s</sub> 残留在土壤中;大气沉降,进入了气相中的 HCH<sub>s</sub>,特别是 β-HCH 容易发生湿沉降<sup>[15]</sup>。荒草地有较少的人为活动干扰,沉降的 HCH<sub>s</sub> 残留于表土层,β-HCH 在土壤有机组分中比较稳定,造成其在荒草地中的残留。

### 2.3.2 设施栽培年限的影响

滇池流域设施农业面积大、分布广。处于流域范围内的晋宁县、呈贡县皆有大量分布。通过对不同种植年限大棚土壤中有有机氯农药残留量的比较,从图5可看出,种植年限 15~23 a 的大棚土壤中 OCP<sub>s</sub> 残留量要明显高于种植年限短于 15 a 的大棚,而大棚种植年限短于 15 a 的大棚土壤中 OCP<sub>s</sub> 含量差异不明显,以短于 5 a 的大棚土壤中 OCP<sub>s</sub> 含量最低,OCP<sub>s</sub> 残留量中又以 DDT<sub>s</sub> 为主,HCH<sub>s</sub> 差异不明显。有机氯农药禁用以后,可能在很长一段时间,有机氯农药或含有机氯的其他农药仍在使用,有机氯农药残留于土壤中<sup>[16]</sup>。种植模式的改变,大棚人为地改变了传统露天种植的土壤环境,具有常年的高温、高湿、无降水淋洗的特殊环境,随着大棚种植年限的增加,pH 逐渐降低,微生物种群平衡被破坏,根际微生态平衡失调,酶活性下降<sup>[19-20]</sup>。相对于露地,土壤环境条件的改变影响

了有机氯农药在土壤中的降解。结果种植年限长的大棚有机氯农药的残留量高。

### 2.4 滇池流域土壤中 OCP<sub>s</sub> 残留量与其他地区比较

滇池流域的土壤样品中 OCP<sub>s</sub> 检出率为 95.9%,OCP<sub>s</sub> 的残留量范围、平均值分别为 nd~63.4 μg·kg<sup>-1</sup>、6.3 μg·kg<sup>-1</sup>。除 2 个样点的 DDT 残留量,其余样点 HCH<sub>s</sub> 和 DDT<sub>s</sub> 的残留量均低于国家《土壤环境质量标准》(GB15618—1995)一级标准(<50 μg·kg<sup>-1</sup>)。

该地区 DDT<sub>s</sub> 和 HCH<sub>s</sub> 的残留量低于南京地区、天津地区土壤中的相应值<sup>[17]</sup>,但高于北京官厅水库周边土壤、卧龙自然保护区土壤中的相应值<sup>[11,15]</sup>。总的来看,研究区域内土壤有机氯农药的残留污染较轻。就不同区域和种植模式农田土壤中有有机氯农药的残留状况而言,存在着一定的差异。

## 3 结论

(1)滇池流域农田土壤中 OCP<sub>s</sub> 检出率高达 95.9%,HCH<sub>s</sub> 和 DDT<sub>s</sub> 的残留量平均值分别为 1.4、4.8 μg·kg<sup>-1</sup>,其中以 p,p'-DDE 为主要残留物。除 2 个样点(大棚种植长于 15 a 的土壤)的 DDT 残留量,其余样点 HCH<sub>s</sub> 和 DDT<sub>s</sub> 的残留量均低于国家《土壤环境质量标准》(GB15618—1995)一级标准(<50 μg·kg<sup>-1</sup>)。

(2)滇池滨湖区农田中 OCP<sub>s</sub> 检出率为 100%,其中以斗南镇土壤中 OCP<sub>s</sub> 含量最高,平均值为 31.9 μg·kg<sup>-1</sup>,明显高于其他乡镇。入滇河流——柴河流域上、中、下游农田土壤样品中 OCP<sub>s</sub> 的含量差异不明显。

(3)不同土地利用类型土壤中 OCP<sub>s</sub> 残留量排序为设施栽培地>水稻地>露天菜地>荒草地>坡耕地;不同种植年限大棚土壤中,棚龄长于 15 a 的,土壤中 OCP<sub>s</sub> 残留量要明显高于棚龄短于 15 a 的,而棚龄短于 15 a 的,OCP<sub>s</sub> 含量差异不明显。

## 参考文献：

- [1] 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.
- [2] 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, 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.
- [3] 杨开义,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 Kai-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.
- [4] 安琼,董元华,王辉,等.苏南农田土壤有机氯农药残留规律[J].土壤学报,2004,41(3):414-418.  
An Qiong, Dong Yuan-hua, WANG Hui, et al. Organochlorine pesticide residues in cultivated soils, in the south of Jiangsu, China[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2004, 41(3):414-418.
- [5] 李倦生,陈一清,吴小平,等.洞庭湖流域土壤中有机氯杀虫剂的残留规律研究[J].中国环境监测,2008,24(3):75-78.  
LI Juan-sheng, CHEN Yi-qing, WU Xiao-ping, et al. Studies on residues of organochloride pesticides in the soils of Dongting Lake Basin [J]. *Environmental Monitoring in China*, 2008, 24(3):75-78.
- [6] 郝洪涛,孙波,周生路,等.太湖地区蔬菜地土壤中有机氯农药残留的变化[J].农业环境科学学报,2008,27(3):862-866.  
HAO Hong-tao, SUN Bo, ZHOU Sheng-lu, et al. Changes of organochlorine pesticides(OCPS) residues in vegetable soil in Taihu Lake Area[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2008, 27(3):862-866.
- [7] 龚钟明,朱雪梅,崔艳红,等.天津市郊农田土壤中有机氯农药残留的局地分异[J].城市环境与城市生态,2002,15(4):4-6.  
GONG Zhong-ming, ZHU Xue-mei, CUI Yan-hong, et al. Local spatial variation of organochlorine pesticides in agricultural soils from Tianjin[J]. *Urban Environment & Urban Ecology*, 2002, 15(4):4-6.
- [8] 安琼,董元华,葛成辉,等.南京市小河流表层沉积物中的有机氯农药残留及其分布现状[J].环境科学,2006,27(4):737-741.  
AN Qiong, DONG Yuan-hua, GE Cheng-hui, et al. Residues and distribution character of organochlorine pesticides in stream sediments in southwestern suburb of Nanjing[J]. *Environmental Science*, 2006, 27(4):737-741.
- [9] 段永蕙,张乃明.滇池流域农村面源污染状况分析[J].自然生态保护,2003(7):28-30.  
DUAN Yong-hui, ZHANG Nai-ming. Analysis on current status of rural area non-point pollution in Dianchi Lake Basin[J]. *Nature Ecological Conservation*, 2003(7):28-30.
- [10] 陈建军,张乃明,秦丽,等.昆明地区土壤重金属与农药残留分析[J].农村生态环境,2004,20(4):1-5.  
CHEN Jian-jun, ZHANG Nai-ming, QIN Li, et al. Heavy metal pollution and pesticide residues in soils of Kunming area[J]. *Rural Eco-Environment*, 2004, 20(4):1-5.
- [11] 张红,王铁宇,吕永龙,等.官厅水库周边土壤中有有机氯农药残留的统计分布特征[J].环境科学学报,2004,24(3):550-554.  
ZHANG Hong, WANG Tie-yu, LV Yong-long, et al. Distribution of organochlorine pesticide residues in soils in Guanting Reservoir[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2004, 24(3):550-554.
- [12] 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.  
SHI Shuang-xin, ZHOU Li, SHAO Ding-ding, et al. Studies on residues of organochloride pesticides POPs in the soils in Beijing Area [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2007, 20(1):24-29.
- [13] 张海秀,蒋新,王芳,等.南京市城郊蔬菜生产基地有机氯农药残留特征[J].生态与农村环境学报,2007,23(2):76-80.  
ZHANG Hai-xiu, JIANG Xin, WANG Fang, et al. Characteristics of organochlorine pesticide residue in soils in baguazhou non-polluted food base in Nanjing[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2007, 23(2):76-80.
- [14] 张慧,刘红玉,张利,等.湖南省东北部蔬菜土壤中有有机氯农药残留及其组成特征[J].农业环境科学学报,2008,27(2):555-559.  
ZHANG Hui, LIU Hong-yu, ZHANG Li, et al. Residues and distribution characters of organochlorine pesticides in vegetable soil in the northeast of Hunan[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2008, 27(2):555-559.
- [15] 刘文杰,谢文明,陈大舟,等.卧龙自然保护区土壤中有有机氯农药的来源分析[J].环境科学研究,2007,20(6):27-32.  
LIU Wen-jie, XIE Wen-ming, CHEN Da-zhou, et al. The source analysis for organochlorine pesticides in Wolong Natural Reserve soils[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2007, 20(6):27-32.
- [16] Xing lun Yang, Shi sheng Wang, Yong rong Bian, et al. Dicolof application resulted in high DDTs residue in cotton fields from northern Jiangsu Province, China[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2008, 150:92-98.
- [17] Zhang Hong, Lu Yong long, R. W. Dawson, et al. Classification and ordination of DDT and HCH in soil samples from the Guanting Reservoir, China[J]. *Chemosphere*, 2005, 60:762-769.
- [18] 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.
- [19] 董艳,董坤,郑毅,等.种植年限和种植模式对设施土壤微生物区系和酶活性的影响[J].农业环境科学学报,2009,28(3):527-532.  
DONG Yan, DONG Kun, ZHENG Yi, et al. Soil microbial community and enzyme activities in greenhouse with different cultivation years and planting system [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(3):527-532.
- [20] 费颖恒,黄艺,严昌荣,等.大棚种植对农业土壤环境的胁迫[J].农业环境科学学报,2008,27(1):243-247.  
FEI Ying-heng, HUANG Yi, YAN Chang-rong, et al. Influence of greenhouse cultivation on agricultural soil environment[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2008, 27(1):243-247.

致谢:在本项研究中,大理学院生命科学与化学学院 2009 届普亚楠同学参与了样品采集和样品分析前处理的工作,特此致谢!