

福州地区不同土地利用类型土壤中 六六六和滴滴涕的残留特征

毕峻奇¹, 严登峰², 郑丽丽¹, 李师炜², 易志刚^{1*}

(1.福建农林大学资源与环境学院, 福州 350002; 2.福建省环境监测中心站, 福州 350002)

摘要:采集福州地区 106 个表层土壤样品, 运用气相色谱-电子捕获检测器 (GC- μ ECD), 分析了不同土地利用类型土壤中六六六 (HCHs) 和滴滴涕 (DDTs) 残留水平、组成特征及来源。结果表明, 福州土壤 HCHs 总浓度为 0.581~66.9 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, DDTs 总浓度为 0.782~110 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。不同土地利用类型土壤中 HCHs 残留量为未利用地>水田>旱田>草地>林地。4 种 HCHs 异构体中, 草地、旱田和林地土壤中分别以 α -HCH、 β -HCH 和 γ -HCH 相对含量最高, 水田和未利用地土壤中 δ -HCH 含量最高。不同土地利用类型土壤中 DDTs 残留量为未利用地>旱田>水田>林地>草地, 除未利用地土壤中相对含量最高的同系物是 p,p'-DDD 外, 其余 4 种类型土壤中均是 p,p'-DDE 相对含量最高。来源分析表明, 福州可能有林丹 (主要成分为 γ -HCH) 输入, 草地可能还有工业 HCHs 的输入; 未利用地、旱田、林地土壤还存在新的 DDTs 输入, 水田和草地土壤近期无工业 DDTs 输入; 旱田、水田、未利用地可能还有少量三氯杀螨醇的使用或输入。

关键词:土地利用类型; 六六六; 滴滴涕; 福州

中图分类号: X833 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-2043(2012)09-1752-07

Residues Characteristics of HCHs and DDTs in Soils Under Different Land Utilizations in Fuzhou Region, China

BI Jun-qi¹, YAN Deng-feng², ZHENG Li-li¹, LI Shi-wei², YI Zhi-gang^{1*}

(1.College of Resources and Environment, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2.Fujian Environmental Monitoring Center Station, Fuzhou 350002, China)

Abstract: 106 soil samples from different land use pattern were collected in Fuzhou and the concentrations of HCHs and DDTs in the soils were determined by GC- μ ECD. The concentrations of Σ HCHs and Σ DDTs in soils were in the ranges of 0.581~66.9 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ and 0.782~110 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ respectively. The residue level of HCHs in different lands was as follows: unused land>paddy field>dry land>grassland>woodland. The highest relative content was α -HCH, β -HCH and γ -HCH in grassland, dry land and woodland, respectively, and the highest was δ -HCH in paddy field and unused land. The residue level of DDTs was as follows: unused land>dry land>paddy field>woodland>grassland. The highest relative content was p, p'-DDD in unused land while p, p'-DDE in the other four soils. Source analysis indicated that new input of lindane might exist in Fuzhou and industrial HCHs input in grassland. Newly input of DDTs might exist in unused land, dry land and woodland while no input of industrial DDTs were found in paddy field and grassland. Little amount use or input of dicofol might exist in dry land, paddy field and unused land.

Keywords: land use pattern; HCHs; DDTs; Fuzhou

有机氯农药 (OCPs) 大多为持久性有机污染物, 化学性质稳定、药效高, 在 20 世纪中期曾经在世界范

围内被大量生产和广泛使用。由于其持久性、半挥发性、生物蓄积性和高毒性, OCPs 已成为全球范围内普遍存在的有毒有害污染物^[1-4], 即使在极地地区也能够检测出 OCPs 的存在^[5-6]。

我国从 1983 年停止六六六 (HCHs) 和滴滴涕 (DDTs) 的生产和使用^[7], 但之前 30 年共生产 490 万 t HCHs 和 40 万 t DDTs^[8], 所以虽经过将近 30 年降解, 土

收稿日期: 2012-02-27

基金项目: 国家自然科学基金 (40971260); 福建省环境保护专项资金补助项目

作者简介: 毕峻奇 (1987—), 男, 福建三明人, 学士, 主要从事环境有机污染研究。E-mail: bj0802@126.com

* 通信作者: 易志刚 E-mail: zgyi@fjau.edu.cn

壤中 OCPs 的残留量仍非常高,许多地区都检测出了 OCPs 的存在^[9-12]。

福州市位于福建省东部沿海,闽江下游,其所在地区属于典型的河口盆地。曾分布很多化工、农药和制药等企业,由于过去 OCPs 的生产和长期使用,可能会存在土壤 OCPs 的残留。本研究主要分析福州市不同土地利用类型表层土壤中 HCHs 和 DDTs 的残留及分布特征,以期为该地区 POPs 污染防治提供依据。

1 材料与方法

1.1 仪器与试剂

分析用玻璃器皿使用前用 0.5% 的铬酸洗液浸泡,放置 4 h 后清洗,再在 450 °C 下灼烧 4 h 后使用。有机溶剂均为分析纯,并经二次蒸馏后使用。硅胶和中性氧化铝用二氯甲烷抽提 72 h,硅胶 180 °C、氧化铝 250 °C 活化后加入 3% 的二次水去活化。分析纯无水硫酸钠 450 °C 灼烧 4 h。

HCHs(α -HCH、 β -HCH、 γ -HCH、 δ -HCH)和 DDTs 标样(o,p'-DDT、p,p'-DDT、p,p'-DDE、p,p'-DDD)、回收率指示物四氯间二甲苯(TCMX)和十氯联苯

(PCB209)、内标化合物五氯硝基苯(PCNB)均购自 Accustandard 公司。所用分析仪器为 GC- μ ECD(Agilent 7890A)。

1.2 样品采集

2007 年 2—6 月,以网格法分别于仓山区、马尾区、晋安区、闽侯县、连江县、罗源县、闽清县、永泰县、平潭县、福清市和长乐市采集 0~15 cm 表层土壤样品,共采集土壤样品 106 个。采样同时调查周围污染源和土地利用情况。采样点分布见图 1。

1.3 样品的处理

样品风干过 0.15 mm 筛,取 20 g 样品,分别加入 20 ng TCMX 和 PCB209 作回收率指示物,2 g 活性铜片脱硫,二氯甲烷抽提 48 h。抽提液旋转蒸发浓缩后溶剂转化为正己烷,溶液过硅胶/酸性硅胶/氧化铝/无水硫酸钠(12 cm:6 cm:6 cm:1 cm)复合层析柱,用 70 mL 二氯甲烷/正己烷(3:7)淋洗得到目标组分。目标组分经旋转蒸发浓缩仪浓缩后,溶剂转换为正己烷,氮吹仪定容至 0.2 mL,加入 20 ng PCNB 作内标,进行 GC- μ ECD 分析^[13]。

1.4 仪器分析

色谱柱为 DB-5 (30 m $\times$ 0.32 mm $\times$ 0.25 μ m,J&W,

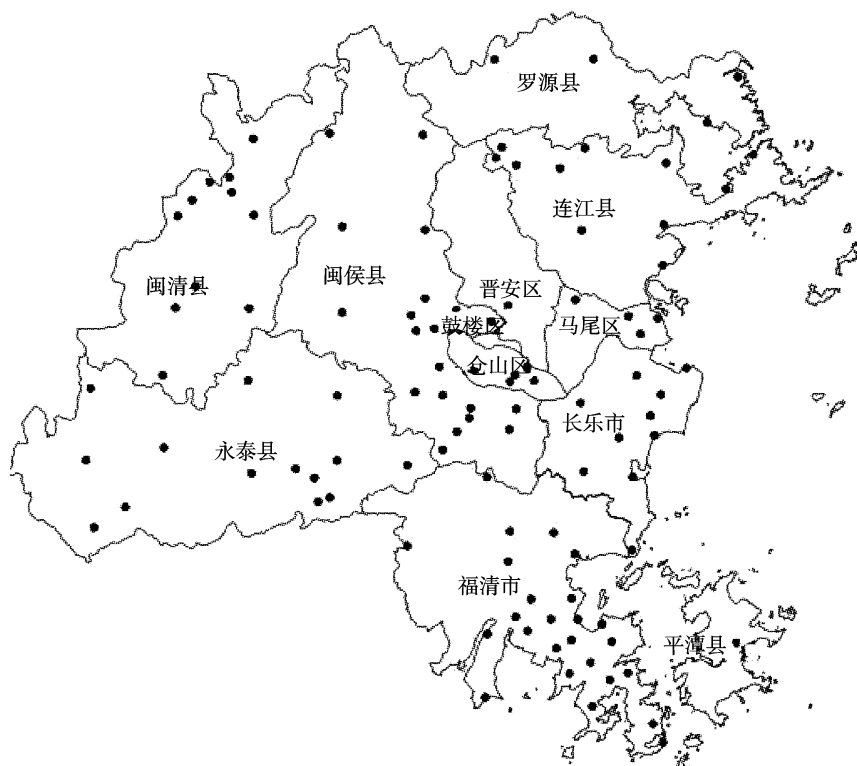


图1 采样点位置示意

Figure 1 Sampling sites location

Agilent),进样口温度 280 ℃,检测器温度 315 ℃,载气流量 1.5 mL·min⁻¹,无分流进样 1 μL。升温程序:初温 80 ℃,保持 0.5 min,以 10 ℃·min⁻¹升温至 200 ℃,再以 3 ℃·min⁻¹升温至 280 ℃,保持 10 min。

1.5 化合物的定性与定量

通过与标准物质的谱图进行对照,依据保留时间定性。采用五点校正曲线和内标法进行定量。

1.6 质量控制与质量保证(QA/QC)

分析过程采用 USEPA QA/QC 控制样监控:方法空白、加标空白、基质加标、基质加标平行样、样品平行样,并用回收率指示物监测分析流程。HCHs 和 DDTs 检测限均为 0.003~0.011 μg·kg⁻¹,TCMX 和 PCB209 回收率分别为 85.2%±13.5% 和 78.1%±15.7%;方法空白未检出目标化合物,实际样品不扣除空白;加标空白回收率为(85~105)%,基质加标回收率为(64~102)%,基质加标平行和样品平行的 RSD 为 5%~8%,所有样品定量结果未经回收率校正。每日进样前用 p,p'-DDT 标样做裂解检查,裂解率小于 15%方可进样,否则清洗衬管。详细分析方法及 QA/QC 参照文献[13]。

1.7 数据分析

数据统计分析采用 Excel 2003 及 SPSS 16.0 软件,绘图采用 Excel 2003 及 Origin 6.0 软件。

2 结果与分析

2.1 不同土地利用类型土壤 HCHs 和 DDTs 残留特征

不同利用类型土壤中 HCHs 残留量依次为:未利用地(45.4±89.8)μg·kg⁻¹>水田(15.9±12.8)μg·kg⁻¹>旱田(5.90±7.38)μg·kg⁻¹>草地(2.18±1.74)μg·kg⁻¹>林地(1.73±1.41)μg·kg⁻¹。残留浓度与本地区相关报道接近^[4],未利用地变异最大,最高值为 261 μg·kg⁻¹,林地变异相对最小(图 2)。DDTs 残留量依次为:未利用地(45.2±74.6)μg·kg⁻¹>旱田(33.6±59.1)μg·kg⁻¹>水田(12.3±8.73)μg·kg⁻¹>林地(5.02±13.4)μg·kg⁻¹>草地(0.794±0.212)μg·kg⁻¹。残留浓度与张家泉等结果接近^[4],最高值(270 μg·kg⁻¹)出现在旱田(图 3)。许多研究表明土壤中 DDTs 相对含量高于 HCHs^[10,14-17],本研究中旱田与林地土壤中 DDTs 相对含量(分别占 85.1% 和 74.4%)高于 HCHs(分别占 14.9% 和 25.6%);水田和草地土壤中 DDTs 相对含量(分别占

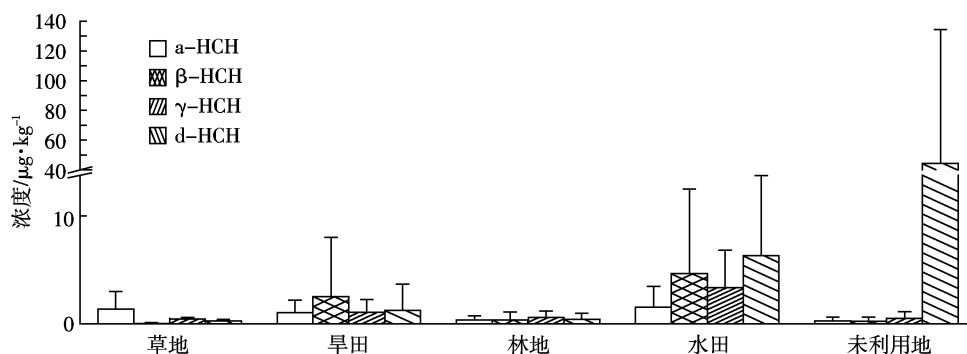


图 2 福州不同土地利用类型土壤中 HCHs 浓度

Figure 2 Concentrations of HCHs in different lands in Fuzhou

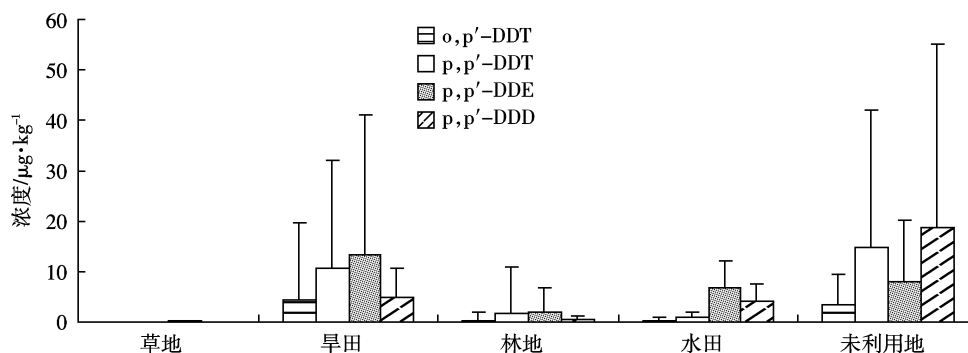


图 3 福州不同土地利用类型土壤中 DDTs 浓度

Figure 3 Concentrations of DDTs in different lands in Fuzhou

43.6%和26.7%)低于HCHs(分别占56.4%和73.3%),草地尤为明显;未利用地中二者相对含量基本相同(DDTs占49.9%,HCHs占50.1%)。

2.1.1 不同利用类型土壤中HCHs异构体组成

所有利用类型土壤中4种HCHs异构体均有检出。4种HCHs异构体中,草地土壤中 α -HCH的含量最高,占HCHs总量的63.1%;旱田土壤中 β -HCH含量最高,占土壤中HCHs总含量的42.8%;林地土壤中4种HCHs异构体的分布较为均匀,含量最高的是 γ -HCH,占总HCHs含量的34.0%;水田和未利用地土壤均表现出 δ -HCH的含量最高,分别占土壤中总HCHs的39.7%和97.6%(图4)。

2.1.2 不同利用类型土壤中DDTs同系物组成

DDTs同系物中,除草地土壤中 o,p' -DDT、 p,p' -DDT未检出外,其他利用类型土壤中均有4种DDTs同系物检出。除未利用地土壤含量最高的同系物是 p,p' -DDD外,其余4种利用类型土壤中均表现出 p,p' -DDE的含量最高(图5)。DDT在厌氧环境下降解成DDD,在好氧环境下降解成DDE。本研究样品采

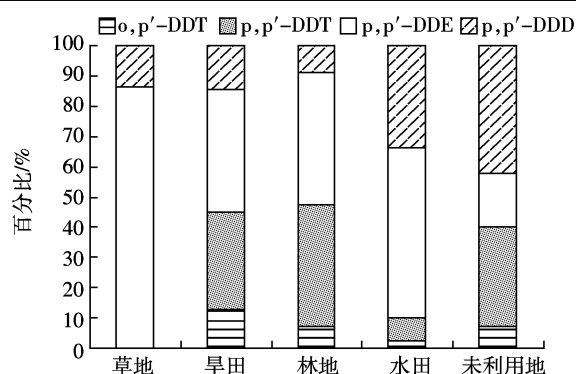


图5 福州不同土地利用类型土壤DDTs同系物的组成

Figure 5 DDTs homologue in different lands in Fuzhou

自表层土壤,处于有氧条件,故土壤中DDE的含量大于DDD。值得一提的是,本研究水田土壤也表现为DDE相对含量高于DDD,主要是由于水田土样采于水稻非生长季节,为非水淹条件,并非处于厌氧环境下。此外,水田种植水稻,由于地上部分可输送氧气到地下,且水田有部分时间处于晒田状态,故水田并非完全处于厌氧条件。

2.2 不同地区土壤中HCHs和DDTs残留特征

福州市土壤HCHs总浓度为 $0.581\sim66.9\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ [(7.47 ± 26.5) $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$],DDTs总浓度为 $0.782\sim110\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ [(16.8 ± 41.1) $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$]。福州HCHs浓度略低于苏南($11.1\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)和潮汕[(15.3 ± 19.4) $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$]等地区^[16,18],略高于武夷山北段[(3.98 ± 3.68) $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$]和珠江三角洲[(4.42 ± 6.29) $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$]等地区^[14,17],高于四川卧龙自然保护区土壤(春季 $0.640\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,秋季 $0.400\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)^[19]。福州DDTs浓度低于苏南地区($163\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)^[8],略低于潮汕地区[(26.9 ± 38.1) $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$]^[6],略高于武夷山北段[(7.48 ± 12.0) $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$]^[14],高于四川卧龙自然保护区(春季 $0.640\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,秋季 $0.370\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)^[19]。

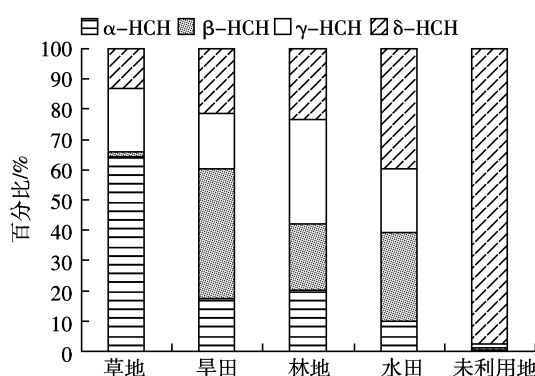


图4 福州不同土地利用类型土壤HCHs异构体的组成

Figure 4 HCHs isomeric composition in different lands in Fuzhou

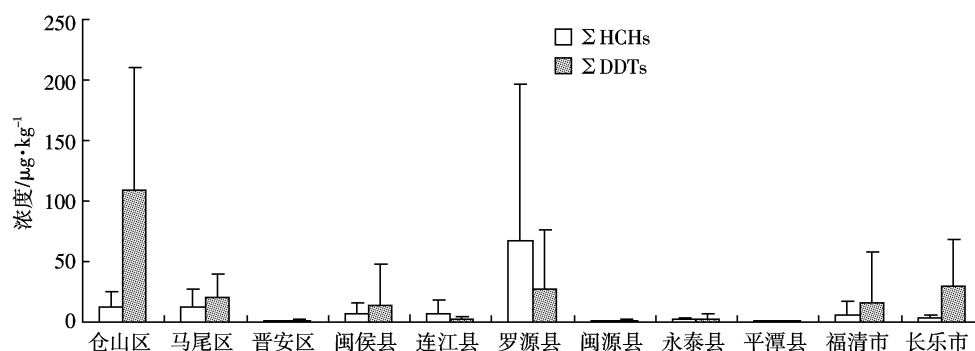


图6 福州市各地区土壤HCHs和DDTs浓度

Figure 6 Concentrations of HCHs and DDTs in soils in Fuzhou

在福州市不同区县中,罗源县和仓山区 HCHs 和 DDTs 浓度最高,平潭县 HCHs 和 DDTs 最低(图 6)。

3 讨论

由于土地利用类型的差异,不同土地利用土壤中 HCHs 和 DDTs 的输入量不同,且由于土壤理化性质的差异,HCHs 和 DDTs 的降解速率不同,从而不同土地利用类型土壤中 HCHs 和 DDTs 的残留量也存在一定差异。本研究中 HCHs 和 DDTs 的残留量以林地和草地土壤最低,未利用地最高。林地和草地一般生长自然植被,没有人为耕作,也就很少有人为的喷洒农药,而且部分采样点位于自然保护区内,所以林地和草地的土壤中 HCHs 及 DDTs 的残留量最低;水田与旱田由于农作物的种植,农药使用量较大,故其土壤中 HCHs、DDTs 的残留量相对较高;未利用地多为农田形成,有些采样点附近存在生活污水、水产养殖基地等污染源,因而未利用地土壤中 HCHs 和 DDTs 的残留量最高。此外,未利用地土壤 δ -HCH 含量高达 97.6%,具体原因有待进一步研究。

3.1 HCHs 来源分析

工业使用的 HCHs 是 α -HCH (60%~70%)、 β -HCH (5%~12%) 和 γ -HCH (10%~15%) 以及其他一些 HCHs 的异构体^[20]。我国自 1983 年开始禁用 HCHs,但林丹(γ -HCH 质量分数>99%)在农业和林业上还在大量应用。工业品 HCH 中 α -HCH/ γ -HCH 的组分比值在 4~7 之间,而林丹的 α -HCH/ γ -HCH<0.1,所以一般用 α -HCH/ γ -HCH 判断环境中的 HCHs 来源^[21],若土壤中该比值在 4~7 之间,说明 HCH 来源于工业 HCHs;若比值接近于 1,则说明该地区有新的 γ -HCH 输入^[22-23]。除草地外,其余 4 种类型土壤该比值均小于 1,说明福州市可能还有林丹的使用或输入,草地土壤 α -HCH/ γ -HCH 远高于 1,但又略小于 4,说明草地除有林丹输入外,可能还有工业 HCHs 的使用或输入(表 1)。

在 4 种 HCHs 异构体中, β -HCH 最为稳定,最难降解,随着时间推移,最终将在土壤中占优势,故可用

β -HCH/ $(\alpha+\gamma)$ -HCH 比值和 β -HCH 相对含量来判断是否为历史污染^[24]。由表 1 可知,福州市旱田和水田等农业用地土壤 β -HCH/ $(\alpha+\gamma)$ -HCH 的比值较高,意味着曾有 HCHs 历史污染,其他利用类型土壤该比值小于 0.5,可能存在其他 HCHs 的来源,如通过干湿沉降或大气传输等进入这些地区^[25]。草地该比值仅为 0.02,很可能是由于草地还有 HCHs 的直接输入。

3.2 DDTs 来源分析

环境中的 p,p'-DDE 主要来自 p,p'-DDT 在好氧条件下的降解,p,p'-DDT 施用时间越长,母体中 p,p'-DDT 的含量就越少,故可用 p,p'-DDE/p,p'-DDT 判断历史来源,若该比值较低,表示有新的 DDTs 输入,否则为历史污染^[17]。本研究中,具有长期耕作历史的水田土壤的 p,p'-DDE/p,p'-DDT 值远大于 1,草地所有采样点的 p,p'-DDT 值均低于检测限,说明水田和草地土壤近期无 DDTs 输入,而其他利用类型土壤的比值均小于或接近于 1,说明可能还存在新的 DDTs 输入(表 1)。

工业品 DDTs 中 o,p'-DDT 和 p,p'-DDT 含量分别为 15%和 85%,且在土壤中降解速度和光降解半衰期接近,故 o,p'-DDT/p,p'-DDT 值为 0.175 左右^[26]。三氯杀螨醇主要成分为 o,p'-DDT,且含有较多 DDTs 类杂质,其 o,p'-DDT/p,p'-DDT 值约为 7^[27]。本研究中旱田、水田、未利用地土壤该比值略大于 0.175,林地的比值十分接近 0.175,而草地所有采样点的 o,p'-DDT 和 p,p'-DDT 值均低于检测限,说明旱田、水田、未利用地可能还有少量三氯杀螨醇的使用或输入,林地和草地近期无三氯杀螨醇输入。

4 结论

(1)福州市土壤中 HCHs 的总浓度为 0.581~66.9 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,DDTs 总浓度为 0.782~110 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,处于相对较低水平。不同土地利用类型土壤中 HCHs 残留量:未利用地>水田>旱田>草地>林地;DDTs 残留量:未利用地>旱田>水田>林地>草地。

表 1 福州不同利用类型土壤中 HCHs 和 DDTs 来源分析
Table 1 Sources of HCHs and DDTs in different lands in Fuzhou

化合物比例 Ratio of compounds	草地	旱田	林地	水田	未利用地
α -HCH/ γ -HCH	3.05	0.95	0.58	0.46	0.51
β -HCH/ $(\alpha+\gamma)$ -HCH	0.02	1.20	0.40	0.95	0.32
p,p'-DDE/p,p'-DDT	—	1.26	1.10	7.74	0.54
o,p'-DDT/p,p'-DDT	—	0.41	0.18	0.36	0.22

(2) 4种HCHs异构体中, 草地土壤中 α -HCH的相对含量最高; 旱田土壤中 β -HCH的相对含量最高; 水田和未利用地土壤均表现为 δ -HCH的相对含量最高; 林地土壤中各异构体的分布较均匀。4种DDTs同系物中, 除未利用地土壤中p,p'-DDD的相对含量最高外, 其余4种利用类型均表现为土壤中p,p'-DDE的相对含量最高。

(3) 来源分析表明, 5种利用类型土壤可能都有林丹的使用或输入, 草地可能还有工业HCHs的输入; 未利用地、旱田、林地土壤存在新的DDTs输入, 水田和草地土壤近期无工业DDTs输入; 旱田、水田、未利用地可能还有少量三氯杀螨醇的使用或输入, 林地和草地近期无三氯杀螨醇输入。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] Kishimba M A, Henry L, Mwevura H, et al. The status of pesticide pollution in Tanzania[J]. *Talanta*, 2004, 64(1):48-53.
- [3] Jabir H S, Riffat N M. Occurrence and source identification of organochlorine pesticides in the surrounding surface soils of the Ittehad Chemical Industries Kalashah Kaku, Pakistan[J]. *Environmental Earth Sciences*, 2011, 62:1311-1321.
- [4] Rebeca I, Martinez S, Fernando D, et al. Assessment of the levels of DDT and its metabolites in soil and dust samples from Chiapas, Mexico[J]. *Bulletin of Environment Contamination and Toxicology*, 2011, 86:33-37.
- [5] Braune B, Muir D, DeMarch B, et al. Spatial and temporal trends of contaminants in Canadian Arctic freshwater and terrestrial ecosystems a review[J]. *The Science of the Total Environment*, 1999, 230:145-207.
- [6] Hung H, Blanchard P, Halsall C J, et al. Temporal and spatial variabilities of atmospheric polychlorinated biphenyls (PCBs), organochlorine (OC) pesticides and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the Canadian Arctic: Results from a decade of monitoring[J]. *Science of the Total Environment*, 2005, 342(1-3):119.
- [7] 华小梅, 江希流. 我国农药环境污染与危害的特点及控制对策[J]. 环境科学研究, 2000, 13(3):40-43.
HUA Xiao-mei, JIANG Xi-liu. Characteristics and control countermeasures of pesticide pollution and its damage on environment in China[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2000, 13(3):40-43.
- [8] HUA X M, SHAN Z J. Production and application of pesticides and factor analysis for their pollution in environment in China[J]. *Advanced Environmental Science*, 1996, 2:33-45.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 张凯, 祁士华, 邢新丽, 等. 成都经济区土壤中HCH和DDT含量及其分布特点[J]. 环境科学与技术, 2009, 32(5):66-70, 78.
ZHANG Kai, QI Shi-hua, XING Xin-li, et al. Levels and distribution of HCHs and DDTs in soils from Chengdu economic zone[J]. *Environmental Science & Technology*, 2009, 32(5):66-70, 78.
- [12] 尹可锁, 吴文伟, 张雪燕, 等. 滇池流域农田土壤有机氯农药残留特征[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(4):674-679.
YIN Ke-suo, WU Wen-wei, ZHANG Xue-yan, et al. Residues characteristics of organochlorine pesticides in the cultivated soils from Dianchi Lake watershed[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(4):674-679.
- [13] 林峰, 麦碧娴, 张干, 等. 沉积物中多环芳烃和有机氯农药的质量保证和质量控制[J]. 环境化学, 1999, 18(2):115-121.
LIN Zheng, MAI Bi-xian, ZHANG Gan, et al. Quality assurance/quality control in quantitative analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons & organochlorine pesticides in sediments[J]. *Environmental Chemistry*, 1999, 18(2):115-121.
- [14] 张家泉, 祁士华, 谭凌智, 等. 福建武夷山北段土壤中有机氯农药的残留及空间分布[J]. 中国环境科学, 2011, 31(4):662-667.
ZHANG Jia-quan, QI Shi-hua, TAN Ling-zhi, et al. Distribution characteristics of organochlorine pesticides in soil samples from the northern Wuyi Mountains, Fujian[J]. *China Environmental Science*, 2011, 31(4):662-227.
- [15] 葛成军, 安琼, 董元华, 等. 南京某地农业土壤中有机污染分布状况研究[J]. 长江流域资源与环境, 2006, 15(3):361-365.
GE Cheng-jun, AN Qiong, DONG Yuan-hua, et al. Distribution of organic pollutants in agricultural soil in Nanjing City[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2006, 15(3):361-365.
- [16] 郝蓉, 宋艳墩, 万洪富, 等. 南亚热带典型地区农业土壤中多环芳烃和有机氯农药研究[J]. 生态学报, 2007, 27(5):2021-2029.
HAO Rong, SONG Yan-tun, WAN Hong-fu, et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons and organochlorine pesticides in agricultural soils from typical area of south subtropics, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(5):2021-2029.
- [17] 马晓轩, 冉勇. 珠江三角洲土壤中的有机氯农药的分布特征[J]. 生态环境学报, 2009, 18(1):134-137.
MA Xiao-xuan, RAN Yong. The research for organochlorine pesticides in soils of the Pearl River Delta[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2009, 18(1):134-137.
- [18] 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):414-419.
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):414-419.

- [19] 郑晓燕,刘威德,刘文杰,等.卧龙自然保护区土壤中有机氯农药的浓度水平及来源分析[J]. 科学通报, 2009, 54(1):33-40.
ZHENG Xiao-yan, LIU Xian-de, LIU Wen-jie, et al. Concentrations and source identification of organochlorine pesticides (OCPs) in soils from Wolong Natural Reserve[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2009, 54(1):33-40.
- [20] Iwata H, Tanabe S, Sakai N, et al. Distribution of persistent organochlorines in the oceanic air and surface seawater and the role of ocean on their global transport and fate[J]. *Environmental Science and Technology*, 1993, 27:1080-1098.
- [21] Walker K, Vallero D A, Lewis R G. Factors influencing the distribution of lindane and other hexachlorocyclohexanes in the environment [J]. *Environmental Science and Technology*, 1999, 33(24):4373-4378.
- [22] Zhang Z, Hong H, Zhou J, et al. Fate and assessment of persistent organic pollutants in water and sediment from Minjiang River Estuary, Southeast China[J]. *Chemosphere*, 2003, 52(9):1423-1430.
- [23] 章海波, 骆永明, 赵其国, 等. 香港土壤研究: IV. 土壤中有机氯化物的含量和组成[J]. 土壤学报, 2006, 43(2):220-225.
ZHANG Hai-bo, LUO Yong-ming, ZHAO Qi-guo, et al. Hong Kong soil researches: IV. contents and compositions of organochlorines in soil [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2006, 43(2):220-225.
- [24] 易志刚, 杨雯清, 吴燕华, 等. 福建茶园茶叶中六六六和滴滴涕残留水平及来源分析[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(1):24-29.
YI Zhi-gang, YANG Wen-qing, WU Yan-hua, et al. Residues and sources of HCHs and DDTs in tea leaves in Fujian tea gardens[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2012, 31(1):24-29.
- [25] 吕秋莲, 檀剑锋, 余兰贵, 等. 福建茶园土壤六六六和滴滴涕残留水平及来源分析[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(9):1718-1722.
LÜ Qiu-lian, TAN Jian-feng, YU Lan-gui, et al. Residues and sources of HCHs and DDTs in soils in Fujian tea gardens[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(9):1718-1722.
- [26] Kaufman D D. Degradation of organochlorine pesticides by soil microorganisms[A]//Guenzi W D, Dinuer R C, Daviss M E, et al. Pesticides in soil and water. Madison, Wisconsin: Soil Science Society of America, 1974:133-202.
- [27] Qiu X H, Zhu T, Yao B, et al. Contribution of dicofol to the current DDT pollution in China[J]. *Environmental Science and Technology*, 2005, 39:4385-4390.

欢迎订阅 2013 年 《农业环境科学学报》

《农业环境科学学报》(原《农业环境保护》)是由农业部主管、农业部环境保护科研监测所、中国农业生态环境保护协会主办的全国性学术期刊。是中文核心期刊、中国科技核心期刊、中国科学引文数据库核心期刊, 列于被引频次最高的中国科技期刊 100 名之内并入选《中国学术期刊(光盘版)》。本刊还被国外多家著名检索机构收录, 如美国《化学文摘》(CA)和俄罗斯《文摘杂志》(AJ), 美国《剑桥科学文摘社网站: 水系统、水科学与渔业文摘、环境工程、水资源文摘及环境科学与污染管理》等 7 种国际检索系统列为来源期刊。本刊主要刊登农业生态环境科学领域具有创新性的研究成果, 包括新理论、新技术和新方法。读者对象为从事农业科学、环境科学、林业科学、生态学、医学和资源保护等领域的科技人员和院校师生。

《农业环境科学学报》为月刊, 每月 20 日出版, 大 16 开, 224 页, 每本定价 75.00 元, 全年定价 900.00 元。国内外公开发行, 全国各地邮局征订, 邮发代号 6-64。如读者在当地邮局漏订, 可通过邮局汇款至本刊编辑部补订。此外, 编辑部存有 2010 年以前的各卷合订本, 欢迎选购。

编辑部地址: 天津市南开区复康路 31 号

邮编: 300191

电话: (022)23674336

传真: (022)23674336

邮箱: caep@vip.163.com

网址: <http://www.aes.org.cn>