上海崇明岛农田土壤中有机氯农药残留特征

吕金刚，毕春娟*，陈振楼，周婕成
(华东师范大学资源与环境科学学院，地理信息科学教育部重点实验室，上海 200062)

摘要: 为研究崇明岛农田土壤中有机氯农药(OCPs)的残留特征，于 2008 年 7 月采集崇明岛农田表层土壤 30 个. 利用加速溶剂萃取仪(ASE)萃取，使用气相色谱-电子捕获检测器(GC-μECD)分析. 结果表明，在采集的土壤样品(干重)中，OCPs 的含量范围为 3.11 ~ 117.47 ng·g^{-1}(平均值 26.25 ng·g^{-1})；主要组分 DDTs 和 HCHs 的含量范围分别为 0.14 ~ 77.89 ng·g^{-1}(平均值 15.80 ng·g^{-1})和 1.14 ~ 22.43 ng·g^{-1}(平均值 4.52 ng·g^{-1})，另外六氯苯(0.23 ~ 11.63 ng·g^{-1})、艾氏剂(0.03 ~ 0.75 ng·g^{-1})、环氧七氯(0.05 ~ 1.44 ng·g^{-1})、狄氏剂(0.05 ~ 5.33 ng·g^{-1})、异狄氏剂(ND ~ 14.66 ng·g^{-1})和灭蚁灵(0.03 ~ 10.58 ng·g^{-1})都有检出. DDTs 已经大部分降解为 DDD 和 DDE，并以 DDE 为主(约 64.7%)，现存的 DDTs 主要是早期使用的残留. HCHs 的 4 种同分异构体都有检出，α-HCH(约 48.1%)和 β-HCH(约 33.4%)的含量最多. 与大棚种植和传统露天种植相比，集约化的农场种植 OCPs 的残留更高.

关键词: 崇明岛；农田土壤；有机氯农药；DDTs；HCHs
中图分类号: X53 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3301(2011)08-2455-07

Characteristics of Organochlorine Pesticide Residues in Agricultural Soil of Chongming Island in Shanghai

LÜ Jin-gang, BI Chun-juan, CHEN Zhen-lou, ZHOU Jie-cheng
(Key Laboratory of Geo-information Science, Ministry of Education, School of Resources and Environmental Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract: Thirty surface soil samples were collected to investigate the residue concentrations of organochlorine pesticides (OCPs) in agricultural soil of Chongming Island in July 2008. Those samples were extracted using accelerated solvent extraction (ASE) and determined by gas chromatography with an electron capture detector (GC-μECD). Results showed that the concentrations of OCPs (dry weight) ranged between 3.11-117.47 ng·g^{-1}, with mean value of 26.25 ng·g^{-1}. Two major contaminants of OCPs were DDTs and HCHs, the concentration of which varied from 0.14 ng·g^{-1} to 77.89 ng·g^{-1} and from 1.14 ng·g^{-1} to 22.43 ng·g^{-1}, respectively. At the same times, hexachlorobenzene (0.23-11.63 ng·g^{-1}), aldrin (0.03-0.75 ng·g^{-1}), heptachlor epoxide (0.05-1.44 ng·g^{-1}), dieldrin (0.05-5.33 ng·g^{-1}), endrin (ND-14.66 ng·g^{-1}) and mirex (0.03-10.58 ng·g^{-1}) could also be detected. Most of DDTs had been degraded to DDD and DDE, with the major compounds of DDE (about 64.7%), and the recent existed DDT was the residue of early input. All of the four isomers of HCHs were detected, and the contents of α-HCH (about 48.1%) and β-HCH (about 33.4%) were the maximum. The highest OCPs residues appeared in the soil of farm cultivation compared to greenhouse cultivation and ordinary open-air cultivation.

Key words: Chongming Island; agriculture soils; organochlorine pesticides(OCPs); DDTs; HCHs

有机氯农药(OCPs)是持久性有机污染物(POPs)的一种，广泛存在于环境中，由于其强烈的“三致”作用和持久稳定性对生态系统产生破坏作用[1~3]. 通过食物链的放大和富集作用会对高等动物以及人类产生毒害作用[4,5]. OCPs 不仅难以降解，而且还可以在大气中长距离传输、沉降，在全球尺度上扩散和分布[6,7]. 土壤中的 OCPs 主要来源于农药的使用、大气沉降等[8]，含量减少的途径主要有挥发到大气中实现远距离迁移、植物吸收和微生物降解[9~11]. 近年来，国内研究开始关注此方面研究，戴树桂等[12]的研究表明，有机氯农药在使用过程中有将近一半会降落到土壤表面，另外有部分会通过挥发和雨水淋溶进入土壤环境和水体；魏永霞等[13]对污灌区土壤 OCPs 残留和土壤理化参数进行了相关性分析，结果表明，TOC 和含水率是影响 OCPs 垂向迁移的重要影响因素；另外 OCPs 在大气[14,15]、水体[16,17]、沉积物[18,19]和生物[20,21]中的残留也都有研究，但是对于农业土壤中 OCPs 残留特征还鲜有研究. 上海市崇明岛以农业生产为主，目前还没有关于崇明岛农田土壤中 OCPs 残留的研究. 本研究采集崇明岛地区土壤，对 OCPs 的 13 种组分

收稿日期: 2010-09-19；修订日期: 2010-12-13
基金项目: 国家自然科学基金项目(40701164, 40971259)；国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07317-006)
作者简介: 吕金刚(1987 ~)，男，硕士研究生，主要研究方向为城市水环境与水资源，E-mail: lvjin_g@yahoo.com.cn
* 通讯联系人，E-mail: cjbi@geo.ecnu.edu.cn

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

进行分析,并分析不同组分残留特征以及不同种植方式下土壤中 OCPs 的残留特征,以期为崇明岛的生态建设提供 OCPs 残留的基础信息.

1 材料与方法

1.1 样品的采集

2008 年 7 月,根据崇明岛的土地利用状况,采用网格布点法,共采集土壤样品 30 个(其中 1 ~6 位于崇明岛西部、7 ~24 位于崇明岛中部、25 ~30 位于崇明岛东部). 样品涵盖卷心菜土壤、西瓜土壤、黄瓜土壤、茄子土壤、水稻土壤等. 每个样点所在地块均大于 100 m × 100 m. 根据实际情况,应用蛇形布点法多点采集表层土壤(0 ~20 cm),每个样点采集土壤重量均 >500 g,混合均匀后,使用四分法将足量样品装入聚乙烯自封袋中,并用 GPS 定位(图 1). 样品带回实验室后,冷冻保存. 取适量样品用冷冻干燥机冻干后,剔除石块和植物根系等,研磨,过 60 目不锈钢筛.

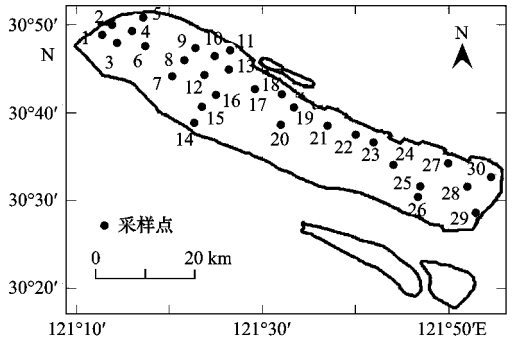

图 1 采样点位置示意

Fig. 1 Sampling sites location

1.2 样品的预处理

称取 20 g 样品,用 ASE300 加速溶剂萃取仪(DIONEX 公司,美国)进行萃取,萃取剂选择丙酮和二氯甲烷(1∶1,体积比). 萃取条件为: 萃取压力 10 342.14 kPa,静态萃取循环次数 2 次,加热温度为 100℃,溶剂快速冲洗样品体积比为 60%,氮气吹扫收集提取液时间为 60 s.

用丙酮和二氯甲烷分 3 次洗涤收集瓶,合并萃取液. 萃取液用 DryVap 全自动定量浓缩仪(LabTech 公司,美国)进行浓缩,浓缩至 2 ~3 mL,过硅胶和氧化铝层析柱进行净化,层析柱自下至上依次是脱脂棉(丙酮浸润)、石英砂、硅胶、氧化铝、无水硫酸钠. 层析柱硅胶和氧化铝的比例为2∶1. 首先用 15 mL 正己烷淋洗,弃去淋洗液. 然后萃取液以 2 mL·min^{-1} 的流速过柱净化,用 70 mL 二氯甲烷和正己烷(体积比3∶7)的混合溶液进行洗脱,洗脱液用 DryVap 定量至约 0.9 mL,加入 15 mL 正己烷进行溶剂转换,继续浓缩至 0.9 mL,用正己烷定容至 1 mL. 转入样品瓶,待上机分析.

实验中所用试剂(丙酮、二氯甲烷、正己烷)均为农残级,购自 Merck 公司(德国). 石英砂、无水硫酸钠、氧化铝均购自国药集团,并在马弗炉中经 450℃灼烧 4h,硅胶(国药集团)在130℃下活化 6 h.

1.3 仪器分析

样品测定用配有自动进样器 CTC、带有^{63}Ni 电子捕获检测器(μ-ECD)的气相色谱仪(Agilent 7890A,美国). 色谱柱选择 DB-35MS 石英毛细管柱(30 m × 0.25 mm × 0.25 μm). 进样方式: 不分流进样,进样量 1 μL; 升温程序: 柱温110℃,保持 0.5 min. 以10℃/min升温至300℃,保持 5 min. 使用保留时间定性,峰面积外标法定量.

选用的标准物质为有机氯农药混合标样,购自国家标准物质研究中心(BW3702),含有 4 种 HCHs、3 种 DDTs、六氯苯、艾氏剂、环氧七氯、狄氏剂、异狄氏剂和灭蚁灵,共 13 种组分. 为保证实验分析的准确性和精密性,样品分析时同时进行空白实验,并且每 20 个样品进行平行样检测. 方法的检出限为 0.01 ~0.23 ng·g^{-1},样品的加标回收率为 64.2% ~89.5%.

2 结果与讨论

2.1 崇明岛农田土壤中 OCPs 的含量和组成特征

在所采集的 30 个土壤样品中,土壤中总有机碳含量(TOC)在 0.64% ~4.29% 之间变化,平均含量为 2.14%; 土壤的平均粒径为 15.90 ~33.51 μm; 土壤 pH 为 6.54 ~7.71.

所有农田土壤样品中均能检测出 OCPs 的残留(表 1). OCPs 含量范围在 3.11 ~117.47 ng·g^{-1},平均值为 26.25 ng·g^{-1}. 其组成成分主要是 DDTs 和 HCHs,含量范围分别是 0.14 ~77.89 ng·g^{-1}和 1.14 ~22.43 ng·g^{-1}. HCHs 的 4 种同分异构体 α-HCH、γ-HCH、β-HCH 和 δ-HCH 全部都有检出. DDTs 类物质中 *p*,*p*′-DDT 和 *p*,*p*′-DDE 在所有样品中全部检出,*p*,*p*′-DDD 的检出率为 73.3%. 另外,六氯苯、艾氏剂、环氧七氯、狄氏剂、灭蚁灵也全部检出,只有异狄氏剂检出率为 86.7%. 单个有机氯农药残留量的变异系数均超过了 65%,最高为 244%,表现出较大的离散型. 结合采样点分布(图 1)和 OCPs 在各个样

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

点的残留量(图2),可以发现 OCPs 在全岛土壤中的分布,表现为崇东(平均值约为 11.12 ng·g^{-1})和崇西(平均值 7.08 ng·g^{-1})的含量明显低于崇明岛中部(平均值约为 37.67 ng·g^{-1}),可能是中部以农业为主,历史上曾经大量使用 DDT、HCHs 等农药,导致了 OCPs 残留较高[22].

将 OCPs 的组成成分为三大类,即 DDTs、HCHs 和其他(包括六氯苯、艾氏剂、环氧七氯、狄氏剂、异狄氏剂和灭蚁灵). 三大组分对 OCPs 贡献率明显不同(图3),DDTs 类物质对 OCPs 的贡献率为 2.4% ~74.4%,平均贡献率为 31.9%. HCHs 类物质的贡献率为 1.1% ~29.7%,平均贡献率为 27.4%. 以往的研究大部分只考虑了 DDTs 和 HCHs 对 OCPs 的贡献率,或者很少考虑其他有机氯农药的残留[23~25],本研究发现除了以上两类物质外,六氯苯、艾氏剂等物质也是崇明地区 OCPs 残留的主要组成部分,在各样点其贡献率在 4.1% ~60.8% 之间,平均值达到 40.8%,已经超越了 DDTs 和 HCHs 对 OCPs 的平均贡献率.

表 1　崇明岛农业土壤 OCPs 残留统计特征值

Table 1　Statistical characteristics of the concentrations of OCPs in agriculture soils of Chongming Island

有机氯农药	含量范围 /ng·g^{-1}	平均值 /ng·g^{-1}	标准偏差 /ng·g^{-1}	变异系数 /%
α-HCH	0.18 ~ 2.51	1.02	0.64	65
β-HCH	0.04 ~ 19.35	2.76	4.42	191
γ-HCH	0.05 ~ 1.75	0.46	0.52	114
δ-HCH	0.05 ~ 0.76	0.24	0.25	105
∑ HCHs	1.14 ~ 22.43	4.52		
p,*p*′-DDE	0.05 ~ 61.58	13.59	20.62	152
p,*p*′-DDD	ND ~ 0.63	0.09	0.22	242
p,*p*′-DDT	0.05 ~ 24.34	2.12	5.19	244
∑ DDTs	0.14 ~ 77.89	15.80		
六氯苯	0.23 ~ 11.63	2.68	2.58	96
艾氏剂	0.03 ~ 0.75	0.20	0.19	97
环氧七氯	0.05 ~ 1.44	0.36	0.40	112
狄氏剂	0.05 ~ 5.33	0.68	1.34	199
异狄氏剂	ND ~ 14.66	1.36	2.99	220
灭蚁灵	0.03 ~ 10.58	1.23	2.19	179
∑ OCPs	3.11 ~ 117.47	26.25		

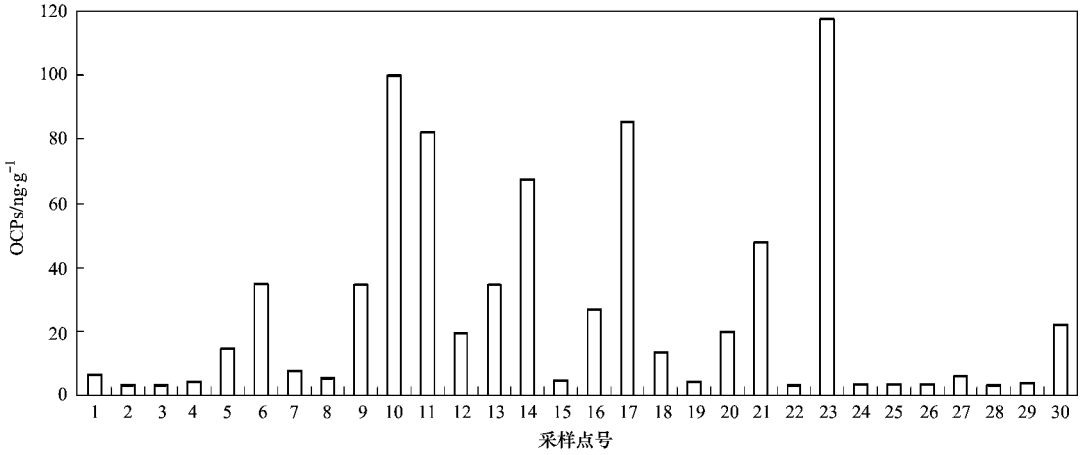

图 2　崇明岛农田土壤中 OCPs 的浓度分布

Fig. 2　Residues of OCPs in soil of Chongming Island

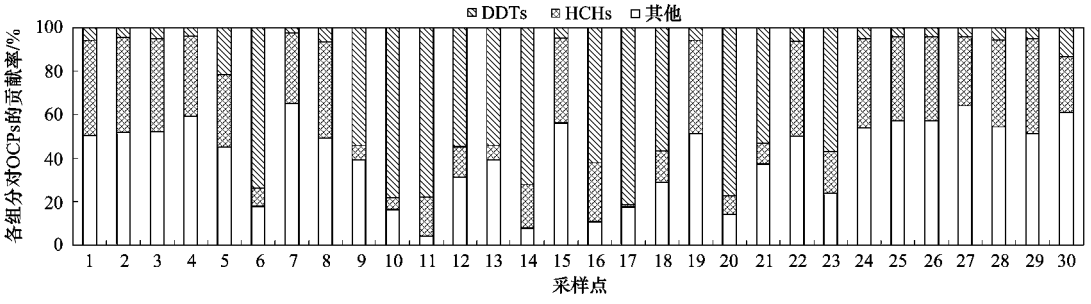

图 3　不同组分对 OCPs 的贡献率

Fig. 3　Contribution rate of different components to OCPs

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2.2 DDTs 组成及其来源分析

崇明农田土壤中,DDTs 以 *p*,*p*′-DDE 为主,其含量范围为 0.05 ~ 61.58 ng·g^{-1},对 DDTs 的平均贡献率达到 64.7%(图 4). 与土壤环境质量标准(GB 15618-1995)[26] 相比,只有 4 个样点的 DDTs 含量超过一级标准(50 ng·g^{-1}),但均低于二级标准(500 ng·g^{-1}). 与国内其它区域相比(表 2),崇明岛农业土壤中 DDTs 含量与贵州和广东省农田土壤大致相当,而明显低于南京、潮汕地区、昆明、天津和聊城地区农田土壤含量.

表 2 国内不同地区农田土壤中 OCPs 残留量比较/ng·g^{-1}

Table 2 Comparison of OCPs residues in agriculture soils from different regions/ng·g^{-1}

土壤来源	HCHs	DDTs	文献
崇明农田土壤	1.14 ~ 22.43(4.52) 1)	0.14 ~ 77.89(15.86)	本研究
贵州农田土壤	2.46 ~ 11.44(5.47)	4.73 ~ 30.06(13.99)	[27]
南京市农田土壤	2.7 ~ 130.6(13.6)	6.3 ~ 1 050.7(64.1)	[28]
广东省农田土壤	ND 2) ~ 104.38(5.90)	ND ~ 157.75(10.18)	[29]
潮汕地区农田土壤	ND ~ 104.4(15.3)	ND ~ 152.7(26.9)	[30]
昆明地区农田土壤	0.08 ~ 2.33(1.05)	ND ~ 153(20.9)	[31]
天津市农田土壤	1.30 ~ 1 095(45.8)	0.071 ~ 972(56.0)	[32]
聊城地区农田土壤	ND ~ 52.25(11.16)	ND ~ 4 451.06(128.75)	[33]

1) 括号内为平均值; 2) ND 为未检出或低于检测线

DDT 在微生物的作用下,可以分解成 DDD 和 DDE,其中在厌氧条件下降解成 DDD,富氧条件下降解为 DDE[30]. 如图 4 所示本研究中 DDE 的含量远大于 DDD,可能是表层土壤富氧的环境导致的. 其中相对于其它土壤,在采集的所有样品中,水稻土壤中 DDD 与 DDE 的比值要远大于其它种植类型土壤,可能是由于水稻土壤长期处于淹没状态,厌氧的条件所致. 很多研究中常用(DDD + DDE)/$\sum$ DDTs 的比值表示 DDTs 的来源和降解程度[34,35],在所测定的 30 个土壤样品中(DDD + DDE)/$\sum$ DDTs 均大于 0.5(如图 5 所示),说明崇明岛地区的 DDTs 大部分已经降解成为 DDD 和 DDE,现在崇明土壤中的 DDTs 主要是早期使用 DDTs 类农药的残留. 由图 1 和图 5 可以看出崇明岛中部的 DDTs 的降解程度要高于崇东和崇西.

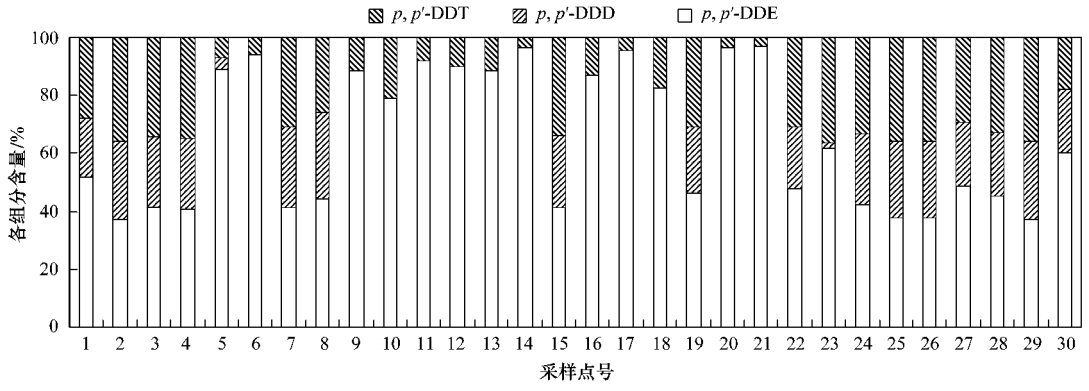

图 4 崇明岛土壤中 DDTs 组成特征

Fig. 4 Composition of DDTs in soils of Chongming Island

2.3 HCHs 组成和来源分析

崇明农田土壤中 HCHs 的平均含量为 4.52 ng·g^{-1},主要组分是 α-HCH 和 β-HCH(图 6). α-HCH对 HCHs 的贡献率在 3.1% ~ 89.3% 之间变化,平均贡献率为 48.1%;β-HCH 对 HCHs 的贡献率为 2.9% ~ 88.0%,平均贡献率达到 33.4%,这与 HCHs 的同分异构体具有的结构对称、性质稳定的特性有关[36]. 另外,γ-HCH 对 HCHs 的贡献率为 3.5% ~ 36.3%,平均贡献率达 11.5%;δ-HCH 对 HCHs 的贡献率为 1.3% ~ 27.7%,平均贡献率为 6.0%;与我国土壤环境质量标准(GB 15618-1995)[26] 相比,所有样点土壤中的 HCHs 含量都普遍低于一级标准(50 ng·g^{-1}). 与国内其他地区农田土壤相比,HCHs 残留量仅高于昆明地区土壤,与广

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

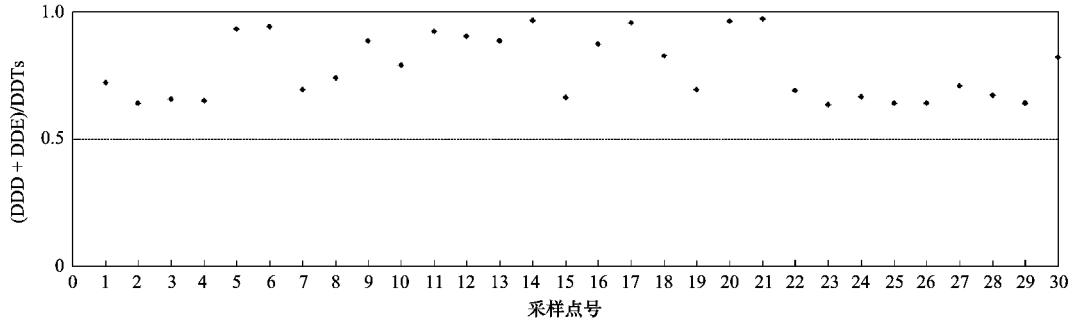

图 5　崇明岛土壤中(DDD + DDE) /DDTs 值的变化

Fig. 5　Changes of the value of (DDD + DDE) /DDTs in soil of Chongming Island

东和贵州地区农田土壤大致相当,而明显低于南京市和天津市土壤(表 2) .

HCHs 的产品中主要有工业 HCH 和林丹 2 种产品,工业品中 γ-HCH 的含量为 8% ~15%,而林丹中 γ-HCH 的含量 >99%,因此可以用 α-HCH/γ-HCH的比值来解析土壤中 HCHs 的来源[30] . 如果 α-HCH/γ-HCH 的比值 <1,HCHs 可能主要来源于林丹的使用,介于 4 ~7 之间,则可能来源于工业 HCH,而此比值增大则可能来源于大气的长距离运输[35] . 研究中有接近一半样品此比值接近于 1,还有接近一半的样品此比值 >7,同时崇明岛以农业为主,处于长江入海口,接受来自上游河段的泥沙沉积,并处于东部季风区,说明所采集的样品中 HCHs 主要来源于林丹使用以及长距离的大气传输等.

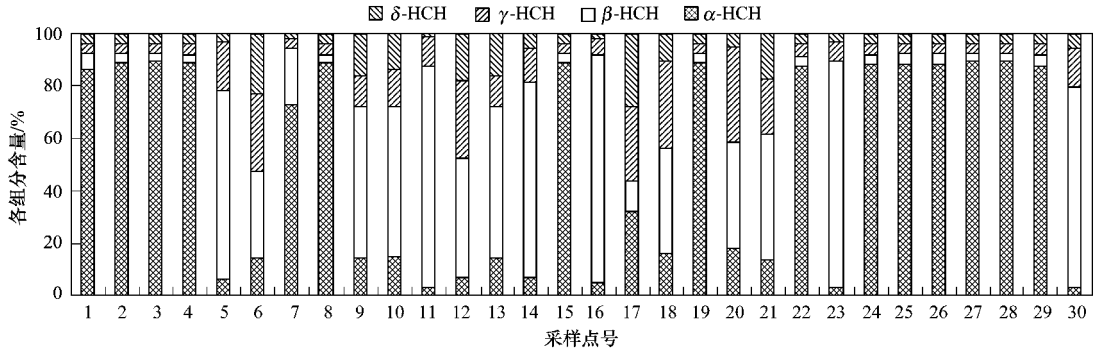

图 6　崇明岛土壤中 HCHs 组成特征

Fig. 6　Composition of HCHs in soils from Chongming Island

2.4　不同土地利用方式对 OCPs 残留特征的影响

按照土地利用的集约化程度和人为参与和改造强度将崇明岛的种植方式分为大棚种植、传统露天散户种植和农场集约化种植. 在采集的 30 个土壤样品中,分别涉及了上述 3 种土地利用方式. 不同的土地利用方式下,OCPs 的残留表现出很大的差异性(图 7) . OCPs 在农场集约化种植土壤中的残留量远高于其他的种植方式,这一特点在所采集的卷心菜土壤中较为明显. 并且 OCPs 的各个组分(如 HCHs、DDTs) 也明显高于其他的种植方式. 这可能是农场的集约化种植在以前曾经大量使用农药,导致了较高的 OCPs 残留. 而传统的散户露天种植和大棚种植在 OCPs 的残留量上没有明显差异.

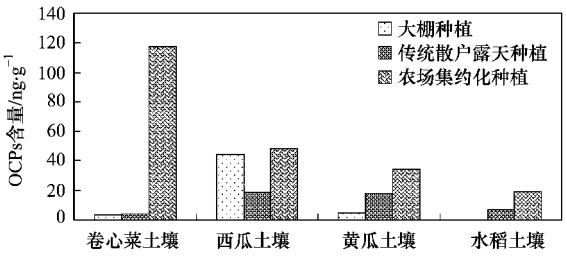

图 7　不同种植方式下 OCPs 的残留特征

Fig. 7　Characteristics of OCPs in different cropping patterns

3　结论

(1) 在所采集的土壤样品中,OCPs 总量在 3. 11 ~117. 47 ng·g^{-1}之间,平均值为 26. 25 ng·g^{-1},各个

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

组分在不同样点的离散性较强. 主要组成部分为 DDTs 和 HCHs,对 OCPs 的贡献率分别为 2.4% ~ 74.4%(平均贡献率为 31.9%)和 1.1% ~29.7%(平均贡献率为 27.4%). 另外六氯苯、异狄氏剂、灭蚁灵等有机氯农药残留均有检出,六氯苯、艾氏剂等 6 种其它有机氯农药残留的总和对 OCPs 贡献率为 4.1% ~60.8%,平均贡献率为 40.8%.

(2)崇明岛农业土壤中 DDTs 含量水平在 0.14 ~77.89 ng·g^{-1},平均含量为 15.80 ng·g^{-1},大部分样点土壤中 DDTs 含量优于土壤环境质量标准中的一级土壤含量,现存的 DDTs 主要是早期 DDTs 类农药使用的残留. HCHs 含量范围为 1.14 ~ 22.43 ng·g^{-1},均值为 4.52 ng·g^{-1},全部优于《GB 15618-1995 土壤环境质量标准》中规定的一级土壤含量. 所有样点中 HCHs 的 4 种同分异构体均有检出,含量最多的是 α-HCH 和 β-HCH. 可能来源于林丹使用、生物降解和长距离的大气传输.

(3)在大棚种植、传统散户露天种植和农场集约化种植 3 种种植方式下,OCPs 在农场种植下的残留量最高,可能是早期农药大量使用的残留.

参考文献:

[1] Miglioranza K S B, Moreno J E A, Moreno V J, *et al*. Fate of organochlorine pesticides in soils and terrestrial biota of "Los Padres" pond watershed, Argentina [J]. Environmental Pollution, 1999, **105** (1): 91-99.

[2] 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.

[3] 岳瑞生.《关于就某些持久性有机污染物采取国际行动的斯德哥尔摩公约》及其谈判背景 [J]. 世界环境, 2001, (1): 24-28.

[4] Daly G L, Lei Y D, Teixeira C, *et al*. Organochlorine pesticides in the soils and atmosphere of Costa Rica [J]. Environmental Science and Technology, 2007,**41** (4): 1124-1130.

[5] Wania F, Mackay D. Tracking the distribution of persistent organic pollutions [J]. Environmental Science and Technology, 1996, **30** (9): 390-396.

[6] Iwata H, Tanabe S, Sakai N, *et al*. Geographical distribution of persistent organochlorines in air, water and sediments from Asia and Oceania and their implications for global redistribution from lower latitudes [J]. Environmental Pollution, 1994, **85** (1): 15-33.

[7] Loganathan B G, Kannan K. Global organochlorine contamination trends: an overview [J]. AMBIO, 1994, **23** (3): 187-191.

[8] Jones K C, Voogt P. Persistent organic pollutants (POPs): State of the science [J]. Environmental Pollution, 1999, **100** (1-3): 209-221.

[9] Rapaport R A, Eisenreich S J. Historical atmospheric inputs of high molecular weight chlorinated hydrocarbons to eastern North America [J]. Environmental Science and Technology, 1988, **22** (8): 931-941.

[10] Patton G W, Walla M D, Bidleman T F. Polycyclic aromatic and organochlorine compounds in the atmosphere of northern Ellesmere Island, Canada [J]. Journal of Geophysical Research, 1991, (6): 10867-10877.

[11] Kolpin D W, Thurman E M, Goolsby D A. Occurrence of selected pesticides and their metabolites in Near-Surface Aquifers of the Midwestern United States [J]. Environmental Science and Technology, 1995, **30**(1): 335-340.

[12] 戴树桂. 环境化学进展 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2005. 319.

[13] 魏永霞,何江涛,金爱芳,等. 污灌区土壤理化参数与有机氯农药含量的相关性分析 [J]. 农业环境科学学报, 2009, **28** (8): 1607-1612.

[14] 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.

[15] 杨丹,祁士华,吴辰熙,等. 气象因子对洪湖有机氯农药大气沉降的影响 [J]. 地质科技情报, 2010, **29** (1): 103-107.

[16] 王珺,祁士华,穆倩,等. 小海湾水体有机氯农药的浓度水平和特征 [J]. 环境科学与技术, 2007, **30** (8): 33-46.

[17] 许国飞,马玲玲,徐殿斗,等. 北京地区雨水中溶解态有机氯农药的特征及源解析 [J]. 中国环境科学, 2009, **29** (11): 1153-1157.

[18] 计勇,陆光华,秦健,等. 太湖北部湾沉积物有机氯农药残留特征及评价 [J]. 农业环境科学学报, 2010, **29** (3): 551-555.

[19] 赵仕兰,高昕,赵骞,等. 胶州湾岩心柱沉积物中有机氯农药的气相色谱法测定 [J]. 海洋环境科学, 2008, **27** (1): 71-73.

[20] 李天云,孙凡,黄圣彪,等. 闽江某河段河蚬组织中多环芳烃和有机氯农药的蓄积特征 [J]. 西南师范大学学报, 2007, **32** (6): 72-77.

[21] 迟杰,郑岩. 有机氯农药在海河菹草根际和非根际沉积物中的分布特征 [J]. 环境科学学报, 2009, **29** (9): 1978-1983.

[22] Cai D J. Dynamics, fate and toxicity of pesticides in soil and ground-water and remediation strategies in mainland China [A]. In: Huang P M, Iskandar I K. Soil and groundwater pollution and remediation [M]. Washington: CRC Press LLC, 2000. 225-253.

[23] 赵龙,侯红,郭平毅,等. 海河干流及河口地区土壤中有机氯农药的分布特征 [J]. 环境科学, 2009, **30** (2): 542-550.

[24] 刘贵春,黄清辉,李建华,等. 长江口南支表层沉积物中有机氯农药的研究 [J]. 中国环境科学, 2007, **27** (4): 503-507.

[25] 肖春艳,郜超,赵同谦,等. 黄河湿地孟津段水体及沉积物中有机氯农药的分布特征 [J]. 环境科学, 2009, **30**(6): 1614-1620.

[26] GB 15618-1995, 土壤环境质量标准 [S].

[27] 魏中青,刘丛强,梁小兵,等. 贵州红枫湖地区水稻土多氯联苯和有机氯农药的残留 [J]. 环境科学, 2007, **28** (2): 255-

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

260.

[28] 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.

[29] 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极其分布特征 [J]. 农业环境科学学报, 2007, **26** (5): 1619–1623.

[30] 郝蓉,宋艳暾,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研究 [J]. 生态学报, 2007, **27** (5): 2021–2029.

[31] 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): 37–40.

[32] Wang X J, Piao X Y, Chen J, *et al*. Organochlorine pesticides in soils profiles from Tianjin, China [J]. Chemosphere, 2006, **60** (9): 1514–1520.

[33] 曹建荣,张保华,董杰,等. 鲁西粮食主产区更低土壤重金属与有机氯农药污染状况研究 [J]. 江苏农业科学, 2010, (1): 307–309.

[34] Willett K L, Ulrich E M, Hites S A. Differential toxicity and environmental fates of hexachlorocyclohexane isomers [J]. Environmental Science and Technology, 1998, **32** (15): 2197–2207.

[35] Adrian C, Carmen H, Paul S. Selected Persistent Organochlorine Pollutants in Romania [J]. Science of the Total Environment, 2001, **280** (1): 143–152.

[36] Walker K. Factors influencing the distribution of lindane and other hexachloroclohexanes in the environment [J]. Selected Persistent Organochlorine Pollutants in Romania, 1999, **33** (24): 4373–4378.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net