第 25 卷第 4 期
2005 年 4 月

环 境 科 学 学 报
Acta Scientiae Circumstantiae

Vol. 25, No. 4
Apr., 2005

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 Yuanhua, 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

南京地区土壤中有机氯农药残留及其分布特征

安 琼*,董元华,王 辉,葛成军

中国科学院南京土壤研究所,南京 210008

摘要:在 2002 年 4 月—2003 年 10 月间,以网格法在农田土壤内均匀布点,另选择典型林地、闲置地及工业区土地采样,对南京地区土壤中有机氯农药残留及分布状况进行了研究,侧重探讨有机氯在不同利用类型土壤中的残留量、残留物的组成和分布状况. 研究结果表明,试区土壤 HCHs 和 DDTs 的检出率均高达 100 %,残留范围分别为 2.7～130.6 和 6.3～1050.7 μg·kg^{-1},其中 > 65 %的样点土壤有机氯残留总量低于 60 μg·kg^{-1}. OCPs 主要残留物为 *p*,*p*'-DDE,占残留总量的 80 %以上. 工业用地土壤中有机氯农药残留量明显低于农业土壤,不同利用类型土壤中有机氯残留总量排序为:露天蔬菜地 > 大棚蔬菜地 > 闲置地 > 旱地 > 工业区土地 > 水稻土 > 林地. 与国内同类最新报道相比,南京地区土壤中 OCPs 的残留较低;而与国外相应值比较,南京地区土壤中 OCPs 残留量高于德国,低于阿根廷或波兰土壤中 OCPs 的残留.

关键词:土壤; 有机氯农药; 残留量; 残留组成; 分布状况

文章编号:0253-2468(2005)04-0470-05 **中图分类号**:X53 **文献标识码**:A

Residues and distribution character of organochlorine pesticides in soils in Nanjing area

AN Qiong*, DONG Yuanhua, WANG Hui, GE Chengjun

Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008 China

Abstract: Soil samples of arable land, woodland, unused land and industrial land were collected in April 2002 and October 2003 respectively. The residues and distribution character of organochlorine pesticides in the soils were measured by gas chromatography. HCHs and DDTs were found widely in all samples and with a range of 2.7～130.6 and 6.3～1050.7 μg·kg^{-1} respectively. More than 65 percent of samples had a total residue of less than 60 μg·kg^{-1}. And the *p*,*p*'-DDE, which was the main components in residues of organochlorine pesticides, took over 80 % of the total, indicated that the residues in soils were from historical use. The residues in industry area were lower than those in agricultural soils, exception of rice fields. The residue level in different lands was in the order as follows: open vegetable land > greenhouse vegetable land > wasteland > dry land > industry land > paddy field > woodland. Compared to the reference data, the pollution burden in soils of Nanjing was lower than those in other areas of China and in Argentina and Poland, but higher than those in German.

Keywords: organochlorine pesticide; residues; distribution character; land utilization

有机氯农药(OCPs)具有毒性、亲脂性和半挥发性等特点,是典型的化学性质稳定的持久性有机污染物(POPs). 鉴于滴滴涕(DDTs)和六六六(HCHs)在环境中长期持留并易在脂肪中积累的环境及生物毒理学特征,中国在 20 世纪 80 年代初已禁用. 自 20 世纪 50 年代开始使用有机氯农药到 1983 年禁止使用,我国共累计施用 DDTs 约 40 $\times 10^4$ t,HCHs 约 49 $\times 10^4$ t. 有资料[1]表明:20 世纪 70 年代我国 OCPs 使用量最大的棉田土壤中 HCHs 和 DDTs 的残留量分别为 11.68 和 0.80 mg·kg^{-1},1980 年全国农田耕层土壤 HCHs 和 DDTs 残留总量均值分别为 0.742 和 0.419 mg·kg^{-1}. 1985 年,全国农田耕层土壤 HCHs 和 DDTs 总体残留水平分别降至 0.181～0.254 和 0.222～0.273 mg·kg^{-1}. 但是,由于我国农田中 OCPs 的使用存在着很大的随意性和无序性,即便在一定范围中,土壤中有机氯农药的残留状况分布也存在明显的离散性. 此外,最新的研究报告表明:我国局部地区土壤中 OCPs 的残留量仍然较高,不可忽视[2～5]. 同时,国外亦有大量的研究报告表明:无论是农业国还是发达的工业国均频繁地从土壤中检出 OCPs 的残留物[6～8]. 因此,有机氯农药残留仍是土壤中主要化学污染物负荷的重要组成之一.

收稿日期:2004-08-13;**修订日期**:2005-01-10

基金项目:国家重点基础研究发展规划项目(2002CB410805);中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-427)

作者简介:安 琼(1955—),副研究员,qan@issas.ac.cn; * 通讯作者(责任作者)

纵观国内外同类研究,尚缺乏在中等尺度范围内对不同利用类型土壤有机氯农药残留及其分布状况的研究.本文以地处长江三角州的南京市为试验区,侧重研究不同利用类型土壤中有机氯农药的残留量、残留物的组成和分布状况,试图通过对城市化程度较高的中等尺度范围内土壤中 OCPs 残留及分布特征的研究,掌握该地区不同类型土壤的 OCPs 负荷量,为从环境质量的角度上划分土壤的级别和进行土地利用结构化调整提供依据.

1　材料和方法

1.1　供试土壤

在 2002 年 4 月—2003 年 10 月间,在毗邻南京主城区的区域内采样,以网格法在农田土壤(侧重于蔬菜地)范围内均匀布点,另选择典型林地、闲置地及工业区(以钢铁和石油化工企业为代表)采样,样点分布见图 1.所有样点均以 GPS 定位,多点(5～10 点)采集 0～20 cm 深的土壤,混匀作为 1 个样品,置入布质样品袋.共采得土壤样 176 个,其中露天蔬菜地 117 个,大棚菜地 10 个,水稻田 21 个,旱地 10 个,闲置地 8 个,林地 6 个,工业区土地 4 个.土样风干,磨碎,过 60 目筛,待测有机氯农药残留量.

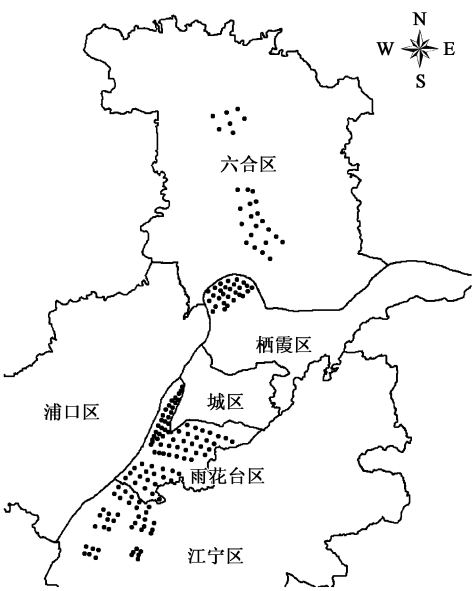

图 1　样点分布示意图

Fig. 1　The illustration sampling distribution

1.2　试验材料、测试方法及质控措施

本研究所用试验材料、测试方法及质控措施见文献[3].简述如下:20.0 g 土样,用体积比为 1∶1 的石油醚/丙酮溶液 60 mL 浸泡过夜,然后索氏提取 6 h,经水洗、磺化、水洗、无水硫酸钠脱水,浓缩至 10 mL,待 GC 测定.分析测定质量控制与保证措施:①加标样:每批分析样(约 20 个)需带 1 个待测样添加标样;②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;③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;④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.

1.3　色谱分析条件

工作条件:载气 He,流速 2 mL·min^{-1},辅助气高纯氮气,流速 60 mL·min^{-1};进样量:1 μL,不分流进样.进样口温 210 ℃,检测器温度 320 ℃,柱温 165 ℃,保持 2 min,以 6 ℃·min^{-1}的速度升温至 265 ℃,保持 2 min.以峰高外标法定量.

2　结果

从试区土壤中有机氯农药残留的状况(表 1)看来:HCHs 和 DDTs 检出率均高达 100 %,DDTs 残留量明显高于 HCHs.农田土壤中有机氯农药残留总量范围为:10.3～1059.6 μg·kg^{-1},显示出相当大的离散性.工业土壤中 DDTs 残留量低于农田,但 HCHs 比农田略高.此外,工业区土壤中有机氯农药残留量的离散度低于农田土壤.

表 1　试区土壤中有机氯农药残留状况

Table 1　Residues of OCPs in Soils

检测物质	农田土壤			工业用地		
	均值	范围	标准偏差	均值	范围	标准偏差
Σ-HCHs	13.6	2.7～130.6	11	19.8	13.8～26.1	6.6
Σ-DDTs	64.1	6.3～1050.7	138.63	31.3	11.2～61.7	22.5
Σ-OCPs	77.6	10.3～1059.6	138.48	51.1	25.5～87.8	28.6
DDE/DDTs	1.03	0.06～5.1	0.8	0.6	0.4～0.7	0.1

OCPs 残留量的百分比分布状况如图 2 示.约有 30 %的土样中 DDTs 的残留量为 10～20 μg·kg^{-1},13 %的土样中 DDTs 残留量超过 100 μg·kg^{-1}.绝大部分(约 65 %)土样 OCPs 残留量集中于 20～60 μg·kg^{-1},15 %的土样 OCPs 残留量大于 100 μg·kg^{-1}.

研究结果还表明:不同区域农田土壤中有机氯的残留状况不仅存在着明显的差异(表 2),而且同一地区有机氯残留量离散度极大.

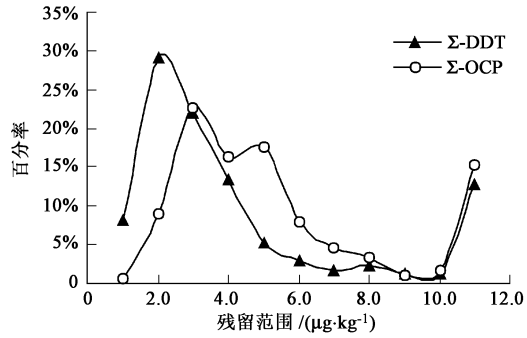

图 2 试区土壤中有机氯残留的分布

Fig. 2 Distribution of OCPs residues in soils

表 2 不同区域农田土壤中有机氯农药残留状况

Table 2 Residues of OCPs in agricultural soil from difference area in Nanjing μg·kg⁻¹

区域代码	样品数	Σ-HCH	Σ-DDT	Σ-OCP	DDE/DDT
雨花	56	9.2～130.6	8.8～388.5	18.6～411.8	0.1～3.0
江心洲	30	3.0～16.8	6.5～1050.7	15.5～1059.6	0.1～5.1
江宁	32	2.7～31.1	12.9～163.2	19.0～172.4	0.4～4.2
六合	27	4.3～42.6	8.7～97.5	18.0～119.3	0.2～1.6
栖霞	28	3.3～36.3	6.3～98.7	10.3～113.4	0.1～2.6

不同利用类型土壤中有机氯农药残留状况的研究结果(图 3)表明:1)露天蔬菜地土壤中 OCPs 残留量最高,不同利用类型土壤中有机氯农药残留量排序为:露天蔬菜地 > 大棚蔬菜地 > 闲置地 > 旱地 > 工业区土地 > 水稻土 > 林地;2)土壤中 OCPs 残留总量主要来源于 DDTs 类,而 HCHs 的贡献很小,尤其是大棚土壤中 HCH 在有机氯农药残留总量中仅占不到 20 %.

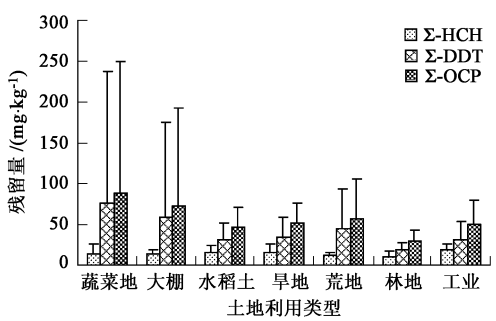

图 3 不同土地利用方式农田土壤中有机氯残留状况

Fig. 3 OCPs residues in different utilized soils

农业用土壤中各有机氯农药残留分布状况如表 3 所示. 与 HCHs 原药组成相比,β和 δ-HCH 的显著增加,γ-HCH 变化不明显,α-HCH 降低几乎近半;*p*,*p*′-DDT 则转化成为以 *p*,*p*′-DDE 为主,OCPs 各异构体组分的残留分布特征为:α-HCH > β-HCH > δ-HCH > γ-HCH 及 *p*,*p*′-DDE > *p*,*p*′-DDT > *o*,*p*′-DDT > *p*,*p*′-DDD. 在工业用地、荒地及林地土壤中有机氯各组分的分布状况则略有不同,依次为:α-HCH > β-HCH > γ-HCH > δ-HCH 和 *p*,*p*′-DDT > *p*,*p*′-DDE > *o*,*p*′-DDT > *p*,*p*′-DDD.

表 3 农用土壤中各有机氯农药残留量的百分占有率

Table 3 Percentage of residues of OCPs in agricultural soils

农药种类	原药组成	农田土壤残留量/(μg·kg⁻¹)	百分残留量[1)]
α-HCH	67 %	5.8	38.3 %
γ-HCH	15 %	2.6	17.3 %
β-HCH	8 %	4.4	28.9 %
δ-HCH	7.5 %	2.4	15.6 %
p,*p*′-DDE	微量	32.4	50.6 %
o, *p*′-DDT	25 %	6.9	10.7 %
p, *p*′-DDD	微量	4.6	7.1 %
p, *p*′-DDT	75 %	20.2	31.6 %

1) HCHs 各组分的百分残留量为: $Ri = \left(Ci / \Sigma C_{HCHs} \right) \times 100\ \%$; DDTs 各组分的百分残留量为: $Ri = \left(Ci / \Sigma C_{DDTs} \right) \times 100\ \%$;式中 *Ri* 为各组分的百分残留量,*Ci* 为残留量,C_{HCHs}和 C_{DDTs}分别为 4 种 HCHs 及 4 种 DDTs 残留量之和.

3 讨论

3.1 土壤有机氯农药残留现状

研究结果表明:试区所有土样中均检出 OCPs,残留物以 DDTs 为主. 与近期相关研究报告比较,南京市土壤中 OCPs 的残留范围低于国内相应值[3,9],其原因可能是由于:南京周边以水稻种植为主,历史上 OCPs 用量不高,再加上以轮作方式种植水稻,土壤处于干湿交替条件下,这既有利于 OCPs 的厌气降解,也有利于 OCPs 的好气降解,因此土壤 OCPs 残留量较低. 与 1980 年、1985 年全国农田耕层土壤 HCHs 和 DDTs 残留总量均值[1]相比,试区农田土壤 HCHs 残留量分别下降了 98.2 %和 93.7 %,DDTs 残留量下降了 84.7 %和 74.1 %.

Manz 等人 2001 年曾报道[10]:在德国农田土壤中 DDTs (*p*,*p*′-DDD + *p*,*p*′-DDT + *p*,*p*′-DDE)残留量范围为 23.7～173 μg·kg⁻¹,Σ-HCH(包括 α-HCH、β-HCH、γ-HCH 和 δ-HCH)残留量范围为 5.25～10.0 μg·kg⁻¹,其中 γ-HCH 为 1.54～5.23 μg·kg⁻¹;阿根廷农田土壤中有机氯农药残留量为 26.3 ±265 μg·kg⁻¹[11];波兰南部发达地区克拉科夫市土壤中主要污染物为 DDTs,其残留量范围为:4.3～2400[(260 ±620) ng·g⁻¹],HCHs 0.36～1101[(1 ±29) ng·g⁻¹][12]. 本试区 HCHs 的土壤残留范围为 2.7～130.6 μg·kg⁻¹,其中 γ-HCH 为 ND～15.7 μg·kg⁻¹,DDT 土壤残留范围为 6.3～1050.7 μg·kg⁻¹. 与国外同类研究结

果相比,试区农田土壤中有机氯农业残留状况显示出 2 个特点: ①农田土壤中有机氯残留物主要为 DDTs,这与国内外相关报道一致[2~4,10~12]. 可见,尽管 HCHs 使用总量比 DDTs 大,但由于 HCHs 在土壤环境中持留性较小,所以 DDTs 仍是现存于土壤中的主要有机氯农药残留. ②试区农田土壤中 DDTs 和 HCHs 的残留量均高于德国,但低于阿根廷或波兰克拉科夫土壤中的相应值. 究其原因,应归结于有机氯使用量和禁用时间的长短,使用量大,禁用期短,则土壤残留高. ③土壤有机氯残留量的离散度大. 这种现象多发生在农业欠发达国家或地区,总体反映了农药使用的无序性,多为的零散性生产管理模式,大型集约化管理出现这种情况的可能性要低的多.

3.2　土壤有机氯残留量分布特征

就工业用地和林地而言,OCPs 残留量分布较为均匀,但农田土壤 OCPs 残留量分布离散度较大,闲置地多为近年来农田闲置而成,故残留量分布也较分散. 尽管如此,南京市土壤 OCPs 残留量分布主要集中在 100 μg·kg^{-1} 以下的范围之内(图 1),大部分(约 65 %)样点 OCPs 残留量集中于 20～60 μg·kg^{-1}. 对于这些污染物负荷低的土壤,完全可保障农产品的安全生产,其潜在的经济价值远比受污染的土壤高得多. 就不同区域农田土壤中有机氯农药的残留状况而言,存在着一定的差异(表 2). 此外,即使同一地区农田土壤中有机氯农药残留量的分布状况也呈现出极大的离散度,这种情况一定程度上反映了历史上农药使用的无序性.

3.3　土壤利用类型对有机氯农药残留的影响

不同利用方式土壤中 OCPs 残留量有一定的差异(图 2),以林地土壤 OCPs 残留最低;闲置地多为农田形成,所以其中仍含较高的 OCPs 残留量;工业用地土壤中 OCPs 残留量不仅低于农田土壤(除水稻土外),而且相对偏差较小. 鉴于本研究采集的工业用地位于钢铁工业和石油化工区内,所以土壤中 OCPs 主要有 2 方面来源:1) 原农用地转化成工业用地,在作为农用地时施用过有机氯农药,只是使用期短,所以土壤中的残留量低. 2) 大气沉降. 与农业土壤不同的是:工业用地土壤中 HCHs 残留量较高,DDE/DDT 小于 1. 其原因可能是工业用地土壤多处于好气条件,HCHs 降解较慢,而 DDTs 的降解也并非主要通过厌气还原性脱氯形成 DDE,因此 DDE 在 DDTs 残留总量中所占份额并不重要.

对农用土壤而言,不同利用方式下土壤中的农药用量不同,而不同利用方式又使土壤形成不同的生化条件,从而直接影响 OCPs 的环境归趋,造成其残留和分布的差异. 通常旱地条件下不利于 OCPs 的还原性脱氯降解,因此同一地区水稻土中 OCPs 的残留量较低;相对于粮食作物,蔬菜更易遭受虫害,因而使用农药量较大,蔬菜地农药残留量自然较高. 在城市化过程中,城郊原有露天菜地部分转化为城区或工业用地,而远郊的水稻田部分转变为露天菜地或大棚蔬菜地. 土地利用方式改变后,土壤条件不利于 OCPs 的降解,结果大棚土壤有机氯的残留量高于水稻土. 总之,在城市化过程中,原主要存在于农田土壤中的农药残留进入到城市生活或工业用地中,并且,这种利用方式的改变使土壤中 OCPs 的降解速率降低.

3.4　农田土壤有机氯农药残留的组成

按 HCHs 原药组成分析,当 HCHs 最初进入土壤后,以 α-HCH 的残留量最高,δ-HCH 最低,分别为 HCHs 总量的 67.0 %和 7.5 %(表 3). 经多年的降解,HCHs 残留量已降至相当低的水平. 同时,4 种 HCHs 组分的相对含量也发生了明显变化,α-HCH 降低几乎近半,γ-HCH 维持原有相对含量. 值得注意的是,β和 δ-HCH 在残留总量中所占比例的增加,尤其是 β-HCH,较原药中所占百分含量增加了 20 %以上. 由于 β-HCH 具有良好的对称性,化学和物理性质较其他异构体稳定,难于降解,同时环境中其他异构体亦可转型成为 β-HCH,以达到最稳定状态,随时间的推移,最终在土壤中占优势可能是 β和 δ-HCH.

同样,最初进入土壤的 DDTs 以 *p*,*p*'-DDT 为主,*p*,*p*'-DDE 和 *p*,*p*'-DDD 极少. 经过长期的降解后,试区农田土壤中 *p*,*p*'-DDT 残留量显著下降,*p*,*p*'-DDE 成为残留物的主要成份. 根据相关研究报道[13]:DDT 在厌氧条件下通过土壤中的微生物降解转化为 DDD,在好氧条件下转化为 DDE. 也有研究者认为,DDT 的降解产物主要是脱氯物 DDE 和 DDD,其降解途径可能是 DDT→DDE→DDD,或者直接从 DDT→DDD. 即使经过了 40 余年的研究,这些途径并未完全确定[14]. Quensen 等人曾发现,在厌气条件下,DDE 可降解成为 DDMU[15]. 看来 DDT 在不同环境条件下降解产物是复杂的并且大多也是持久性的,系列降解产物的稳定性最终左右 DDT 在土壤中的残留期. 就本研究结果而言,现阶段农田土壤中优势 OCPs 残留物是 *p*,*p*'-DDE.

研究 HCHs 或 DDTs 异构体及母体物质和代谢产物之比,可以区别污染物质究竟是历史使用的还是新的污染输入. DDE/DDT 的比值大于 1,意味着 *p*,*p*'-DDT 经长期降解,不仅残留量降低,而且残留物的形态已转化为 *p*,*p*'-DDE. 据此可以确定,试区绝大部分土壤中 DDTs 来源于 20 世纪 80 年代初期前 DDT 的使用. 值得注意的是,极少数样点不仅 DDE/DDT 的比值远小于 1,而且 *p*,*p*'-DDT 的残留量相当高,可断定其中近年来有 DDT 的输入.

4 结论

1) 南京地区土壤中 HCHs 和 DDTs 的检出率高达 100 %,其中 HCHs 和 DDTs 残留范围分别为 2.66～130.6 μg·kg^{-1} 和 6.3～1050.7 μg·kg^{-1},DDTs 残留量超过 100 μg·kg^{-1} 的占 11 %. 土壤中有机氯农药残留以 *p*,*p*'-DDE 为主,占 OCPs 残留总量的 80 %以上,绝大部分土壤中 DDE/DDT 的比值大于 1.

2) 工业用地土壤中有机氯农药残留量明显低于农业土壤,而且残留量较均匀. 不同利用类型土壤中 OCPs 残留总量排序为:露天蔬菜地 > 大棚蔬菜地 > 闲置地 > 旱地 > 工业区土地 > 水稻土 > 林地.

3) 农田土壤 OCPs 残留物的组成依次为:α-HCH > β-HCH > δ-HCH > γ-HCH; *p*,*p*'-DDE > *p*,*p*'-DDT > *p*,*p*'-DDD > *o*,*p*'-DDT. 根据残留物的组成可以确定,试区土壤有机氯农药残留主要源于 20 世纪 80 年代初.

参考文献(References):

[1] Cai D J. Dynamics, fate and toxicity of pesticides in soil and groundwater and remediation strategies in mainland China[A]//Huang P M, Iskandar I K. Soil and Groundwater Pollution and Remediation[M]. washington: CRC Press LLC, 2000: 225—253

[2] Zhao L, Ma Y J. Effect of organochlorine residues on soil environment[J]. Soils, 2001, 32(6): 310—313(in Chinese)

[3] An Q, Dong Y H, Wang H, *et al*. Organochlorine Pesticide Residues in Cultivated Soils in the South of Jiangsu, China[J]. Acta Pedologica Sinica, 2004, 41(3): 414—419(in Chinese)

[4] Zhao Y W, Chen K, Ma X Y, *et al*. A Study on the Residue of the Organochloride Pesticide in Soil and Rice[J]. Zhejiang Prev Med, 2002, 14(12): 1—3(in Chinese)

[5] Zhang H L, Che H Y, Li G, Analysis for organic chlorine pesticides residues in soils from green food base, Liaoning province[J]. Rain Fed Crops, 2001, 21(3): 44—45(in Chinese)

[6] Feidieker D, Kampfer P, Dott W. Field-scale investigations on the biodegradation of chlorinated aromatic compounds and HCH in the subsurface environment[J]. J Contam Hydrol, 1995, 19: 145—169

[7] Corona-Cruz A, Gold-Bouchot G, Gutierrez-Rojas M, *et al*. Anaerobic - aerobic biodegradation of DDT (dichlorodiphenyl trichloroethane) in soils[J]. Bull Environ Contam Toxicol, 1999, 63: 219—225

[8] Harner T, Wideman J L, Jantunen L M M, *et al*. Residues of organochlorine pesticides in Alabama soils[J]. Environ Pollut, 1999, 106: 323—332

[9] Gong Z M, Cao J, Li B G, *et al*. Residues and distribution characters of HCH in soils of Tianjin area[J]. China Environmental Science, 2003, 23(3): 311—314(in Chinese)

[10] Manz M, Wenze K D, Dietze U, *et al*. Persistent organic pollutants in agricultural soils of central Germany[J]. The Science of the Total Environment, 2001, 277: 187—198

[11] Miglioranza K S B, Aizpuân de Moreno J E, 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: 91—99

[12] Falandysz J, Brudnowska B, Kawano M, *et al*. Polychlorinated Biphenyls and Organochlorine Pesticides in Soils from the Southern Part of Poland[J]. Arch Environ Contam Toxicol, 2001, 40: 173—178

[13] Hitch R K, Day H P. Unusual persistence of DDT in some Western USA soils[J]. Bull Environ Contam Toxicol, 1992, 48: 255—264

[14] Babu G S, Farooq M, Ray R S, *et al*. DDT and residues in basmati rice (Oryza Sativa) cultivated in Dehradun (India) [J]. Water, Air, and Soil Pollution, 2003, 144: 149—157

[15] Quensen J P, Mueller S A, Jain M K, *et al*, Dechlorination of DDE to DDMU in Marine Sediment Microcosms[J]. Science, 1998, 280: 722—724

附中文参考文献:

[2] 赵 玲,马永军. 有机氯农药残留对土壤环境的影响[J]. 土壤, 2001, 32(6): 310—313

[3] 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

[4] 赵玉婉,陈 坤,马新源,等. 土壤与大米中有机氯污染及其关系研究[J]. 浙江预防医学, 2002, 14(12): 1—3

[5] 张惠兰, 车宏宇, 李 广. 辽宁省绿色食品生产基地土壤中有机氯农药残留分析[J]. 杂粮作物, 2001, 21(3): 44—45

[9] 龚钟明, 曹 军, 李本刚, 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