

天津郊区土壤与作物中有机氯农药残留现状与来源初析

张 泉, 楚 蕾, 曹 军

(北京大学城市与环境学院, 北京 100871)

摘 要:通过在天津塘沽和宁河地区野外实地采样分析,了解研究区域有机氯农药各异构体在土壤及作物各部位的残留水平,并通过特征比值推测其来源。结果表明,塘沽和宁河地区土壤中六六六的残留浓度均值分别为 $88.76 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 与 $98.46 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, β -HCH 占绝对优势而 γ -HCH 均未在土壤样品中检出, α -HCH 手性分析结果显示为非消旋体,均表明土壤中六六六来自历史残留而非新近输入或林丹的使用。塘沽和宁河地区滴滴涕的残留浓度均值分别为 $30.87 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 与 $1.30 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,亦来自历史残留,在个别点位可能曾使用过三氯杀螨醇。作物样品中六六六与滴滴涕的含量较高,经对数变换的生物富集系数变化范围分别为 0.24 ~ 0.73 与 2.02 ~ 2.90。六氯苯、七氯、艾氏剂、异艾氏剂、反式氯丹、顺式氯丹、狄氏剂与异狄氏剂在大部分土壤与作物样品中也有不同程度的检出。

关键词:土壤;作物;有机氯农药;对映体比值

中图分类号:X592 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2010)12-2346-05

Residual Levels and Chiral Signatures of Organochlorine Pesticides in Soil and Plants in Tianjin, China

ZHANG Quan, CHU Lei, CAO Jun

(College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: Residual level and enantiomeric composition of organochlorine pesticides (OCPs), including Hexachlorobenzene, Heptachlor, Aldrin, Isodrin, trans-chlordane, cis-Chlordane, Dieldrin, Endrin, Dichlorodiphenyl trichloroethane (DDT) and Hexachlorocyclohexane (HCH) in soil and plant samples from Tanggu and Ninghe in Tianjin, China were analyzed by GC/ECD. The results showed most of the OCPs were detectable in these samples. Mean levels of Σ HCHs in soil were $88.76 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ in Tanggu and $98.46 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ in Ninghe, respectively. The composition of β -HCH was in strongly dominated, accounting for 91.9%~99.9% of HCHs, and γ -HCH was undetected in soil samples, which suggested that source of HCHs was from historic residue but not recent input of technical HCHs or lindane. Average concentrations of Σ DDTs in soil were $30.87 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ in Tanggu and $1.30 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ in Ninghe. Metabolites of DDT (DDE+DDD) accounted more than 50% in all the samples and the ratio of o,p'-DDT and p,p'-DDT was higher than that in technical DDTs in samples from Tanggu, which implied that the residue of DDTs originated from historical usage of both dicofol-type DDT and technical DDT rather than new input. Besides isomer ratios, enantiomer ratio (ER) of chiral compounds could also provide helpful information about whether it was being currently applied or residue from past application. ER=1 meant new input of parent chiral compound, and no metabolism had occurred. α -HCH displayed the non-racemic signatures in all samples, also indicating the old source with the usage of technical HCHs, suggesting the effectively management for restricting the application of HCHs and DDTs. Accumulation by plants was an important step for OCPs into the food chains. In this study, the accumulative abilities, expressed as logarithmic transformed bioconcentration factor ($\lg BCF$) ranged from 0.24 to 0.73 for HCH and 2.02 to 2.90 for DDT, respectively. It was noticeable that the concentration of Dieldrin in Tanggu was obviously higher, that needed additional work to find its source. The levels of other organochlorine pesticides were within the ranges reported in other literatures.

Keywords: soil; plant; organochlorine pesticides; enantiomer ratio

有机氯农药具有脂溶性强、化学性质稳定、难生

物降解等特性,20世纪40年代后曾在中国大量使用,1983年被全面禁用后,环境介质中浓度呈显著下降的趋势,但鉴于这类物质的环境持久性,仍广泛存在于自然环境中,并通过生物积累和放大效应对生态系统和人体健康造成广泛而持久的影响。近年来,国内研究者对各种环境介质中 OCPs 的残留水平与分

收稿日期:2010-06-22

基金项目:国家自然科学基金面上项目(40773053)

作者简介:张 泉(1985—),男,硕士研究生,专业方向为环境科学。

E-mail:hellozhangquan@163.com

通讯作者:曹 军 E-mail:caoj@urban.pku.edu.cn

布特征进行了大量的研究,结果显示,六六六与滴滴涕在土壤中残留水平已经普遍下降到较低的水平,大多低于土壤环境质量一级标准($50 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$),但在个别点位,如农药厂旧址、废弃的工业场地、污灌农田等,仍可观察到较高残留^[1-4]。特征比值分析结果表明,这些地区土壤中的农药残留大都来自历史施用,部分地区中六六六、滴滴涕有可能来自近期林丹或三氯杀螨醇的使用^[5-10]。除特征比值外,其手性组分 α -HCH 和 o,p' -DDT 的对映体比值 (Enantiomer Ratio, 缩写为 *ER*) 也可用于辅助判断六六六和滴滴涕的施用历史。原药中 α -HCH 和 o,p' -DDT 均以外消旋体的形式存在,对映体的 *ER* 值为 1,施用到环境之后,在水体或土壤中微生物作用下发生选择性降解,导致 *ER* 值偏离 1。本文着重调查研究天津滨海地区土壤与植物样品中六六六、滴滴涕等有机氯农药的残留水平与成分组成,并对其中手性组分进行分析,以期了解其来源与潜在的健康风险。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况与样品采集

采样地点为天津塘沽区小梁子村玉米地与宁河县农场,其中在塘沽区化工厂分布较为集中。样品采集时间为 2009 年 6 月,农作物样品包括玉米(分别来自塘沽与宁河)、水稻和苜蓿(均来自宁河)。同时采集作物根部 0~10 cm 的表层土壤,自然风干后过 70 目筛,装入棕色广口瓶内避光保存。样品采集后 24 h 内运回实验室放入冰箱冷冻室($-18\text{ }^{\circ}\text{C}$)保存。

1.2 样品处理与分析

将 5.00 g 左右的风干土壤或冷冻的农作物样品放入冷干仪中处理 72 h 后进行索提(70 mL 丙酮与二氯甲烷 1:1 混合溶液, $80\text{ }^{\circ}\text{C}$, 20 h), 索提液旋蒸浓缩至约 1 mL 后经过佛罗里硅土-硅胶混合层析柱(下层 6 g 硅胶;上层 4 克佛罗里硅土,去活比为 9%,最上层装填 1 cm 无水硫酸钠)净化,淋洗液为 50 mL 正己烷溶液与 50 mL 3:7 的正己烷和二氯甲烷混合液,浓缩至 0.8 mL 后加入 125 μL 内标,采用气相色谱-电子捕获检测器法进行分析。色谱条件:HP-1, 30 m $\times$ 0.32 mm i.d. $\times$ 0.25 μm , 程序升温(初始温度 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, 保持 2 min; 以 $10\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 的速度升到 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$, 再以 $3\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 的速度升到 $240\text{ }^{\circ}\text{C}$, 保持 5 min; 再以 $10\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 的速度升到 $300\text{ }^{\circ}\text{C}$, 保持 5 min, 直至样品完全流出色谱柱)。手性色谱柱采用 BGB172 30 m $\times$ 0.25 mm i.d. $\times$ 0.25 μm , 初始温度 $120\text{ }^{\circ}\text{C}$, 停留 1 min, 以 $2\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$

的速度升到 $235\text{ }^{\circ}\text{C}$, 停留 10 min 至样品完全流出色谱柱。采用标准农药样品的保留时间定性,不进行定量分析,利用峰面积的比值计算 *ER* 值。

1.3 质量控制

OCPs 标准溶液来自 J&K Chemical Ltd., USA。 α -HCH、 β -HCH、 γ -HCH、 δ -HCH、六氯苯、七氯、艾氏剂、异艾氏剂、反式氯丹、顺式氯丹、狄氏剂和异狄氏剂的方法检出限为 $0.05\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, p,p' -DDE、 o,p' -DDE、 p,p' -DDD、 o,p' -DDD、 p,p' -DDT、 o,p' -DDT 的方法检出限为 $0.2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。方法对 PCB209 得到的回收率为 68%~148%, 六六六加标回收率为 58%~144%, 滴滴涕加标回收率为 36%~65%。实验中使用五氯硝基苯(PCNB)内标物校准实验误差,色谱分析时采用内标法峰面积定量。测试过程中每批样品(20 个左右)用标样校准曲线。

2 结果与分析

2.1 有机氯农药在土壤中的残留水平与部分组分的特征比值

表 1 中列举的 10 种有机氯农药在塘沽 2 个样品中均有不同程度的检出,宁河地区的大部分样品中也有所检出,与其他地区近期监测结果相比,宁河地区土壤中有机氯农药残留与其他地区处于同一水平,而塘沽地区土壤中有机氯农药残留显著偏高。

表 1 天津塘沽与宁河地区土壤有机氯农药残留水平($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)
Table 1 Mean residual levels of OCPs in soil sampled from Tanggu and Ninghe($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)

农药	塘沽, $n=2$			宁河, $n=8$		
	检出率	均值	方差	检出率	均值	方差
六氯苯	100%	1.58	0.36	100%	0.88	0.52
七氯	100%	2.48	1.09	88%	0.57	0.73
艾氏剂	100%	4.48	1.84	88%	1.05	1.40
异艾氏剂	100%	6.20	2.91	88%	0.46	0.31
反式氯丹	100%	6.13	1.74	100%	2.00	1.84
顺式氯丹	100%	3.38	3.48	63%	0.19	0.07
狄氏剂	100%	26.80	3.12	75%	0.93	1.22
异狄氏剂	100%	3.14	2.64	100%	0.47	0.43
滴滴涕	100%	30.87	24.87	100%	1.30	1.02
六六六	100%	88.76	24.24	100%	98.46	35.01
总量		173.82			106.31	

六六六与滴滴涕是我国在 20 世纪 70 年代与 80 年代初期大量使用的农药品种,禁用后在环境介质中浓度已显著下降,但在个别地区仍能监测出较高的残

留水平。研究地区农药厂分布较为集中,历史输入量高,六六六残留量低于土壤环境质量标准(GB 15618—1995)中二级土壤(作为一般农田、蔬菜地、茶园、果园和牧场)的标准限量($0.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)。在所有样点中, β -HCH 的比例均占绝对优势(91.9%~99.9%),而 γ -HCH 均低于检出下限,说明污染主要来自历史残留,且没有林丹的输入。在其他地区的研究中,滴滴涕的检出率与残留量往往高于六六六^[5-8],但在塘沽与宁河地区,滴滴涕的残留量要低于六六六,这可能与当地农药厂的产品结构有关。样点中(DDE+DDD)与 DDT 的比值均大于 0.5,说明土壤中的滴滴涕来自历史残留,而非新近输入。工业 DDTs 中, o,p' -DDT/ p,p' -DDT 比值在 0.2~0.3 之间,但在三氯杀螨醇中则为 1.3~9.3 甚至更高,在塘沽的两个滴滴涕残留量较高的样点, o,p' -DDT/ p,p' -DDT 比值分别为 9.84 和 0.72,说明近期可能存在三氯杀螨醇的输入。

狄氏剂从未在我国被公开生产与使用,在环境介质中所检出狄氏剂应主要来自大气远距离输送,其他文献均报道在土壤中残留量很低^[2,7-9,11-12],但在本次研究中,狄氏剂在塘沽两个样点的残留水平偏高($26.80 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$),而在宁河地区残留量属于正常水平。由于样本量与其他背景资料有限,暂时无法判断塘沽地区是否存在狄氏剂的非正常输入,需在今后的研究中予以重视。氯丹在研究区域的检出率也比较高。塘沽地区氯丹的平均残留量达到 $9.51 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,宁河地区的残留量较低,平均浓度为 $2.19 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。所有样点的氯丹残留水平均低于荷兰土壤中氯丹污染限量浓度($0.05 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)。工业氯丹是由 140 多种化合物组成的混合物,主要成分有 8%~13%的顺式氯丹(CC),8%~15%的反式氯丹(TC),6%~7%的反式九氯,以及七氯、顺式九氯等。氯丹从污染源区向周围环境扩散、迁移过程中伴随各种化学反应发生,如光化学降解、生物降解等。由于顺式氯丹与反式氯丹物理化学性质的差异,在迁移过程中二者比值会发生分异。反式氯丹与顺式氯丹的比值(TC/CC)可以用于区分来源和施用时间。一般环境条件下,该比值如与工业氯丹原始含量中的比值接近,表明该地区为氯丹的直接施用地或施用时间较短,反之说明可能来源于大气沉降及其与土壤之间的相互作用。样品中顺式氯丹/反式氯丹的比值除在高残留样点($13.2 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)为 1.26,接近工业氯丹原始比例之外,在其余样点的 TC/CC 均大于 5,显示环境中无来自本地的新的氯丹输入。六氯苯与异狄氏剂在该地区也有 100%检出,但残留水平与其他

地区的监测结果相比处于正常水平^[2,9,11-12],没有发现异常偏高。

2.2 有机氯农药在作物中的残留水平与富集系数

在采样点采集部分作物,测定其中有机氯农药的含量,结果如表 2 显示。各样品中仍以滴滴涕与六六六为主,范围分别在 $66.76 \sim 829.24 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ DW 与 $10.64 \sim 823.74 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ DW 之间。

表 2 天津塘沽与宁河地区作物中
有机氯农药平均残留水平($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ DW)

Table 2 Mean residual levels of OCPs in plants sampled from
Tanggu and Ninghe($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ DW)

农药	塘沽		宁河			
	玉米	玉米根	玉米	玉米根	水稻	苜蓿
六氯苯	162.88	15.51	78.97	107.88	52.96	62.40
七氯	118.22	10.59	25.10	43.48	88.18	59.85
艾氏剂	10.51	3.63	54.98	39.08	15.16	2.83
异艾氏剂	53.97	0.54	3.63	55.65	381.56	6.35
反式氯丹	5.69	1.25	7.84	8.62	23.62	12.42
顺式氯丹	13.53	51.02	1.76	15.48	93.64	42.86
狄氏剂	5.16	9.50	2.03	9.21	125.23	30.97
异狄氏剂	11.91	1.74	4.12	7.95	77.84	6.55
滴滴涕	515.74	66.76	114.13	416.35	829.24	459.39
六六六	823.74	10.64	181.52	561.57	266.91	200.94

生物富集系数(BCF)常被用于衡量目标化合物在作物体内的富集趋势。假定采样时有机氯农药在土壤与作物之间已经达到分配平衡,计算作物对上述 10 种有机氯农药的富集系数。结果显示,作物对有机氯农药的富集能力远低于水生生物(BCF 通常大于 5 000),鉴于本文处理数据时以干重计,所得富集系数高于其他文献中的报道(以鲜重计,作物中 DDT 含量与土壤基本处于同一数量级的水平)^[13-15]。由于环境条件与作物种间的差异,部分有机氯农药富集系数在不同作物间的变化范围可高达几个数量级(图 1,上),其中来自塘沽样点玉米根部的富集系数明显偏低。去掉塘沽样点之后,土壤中残留浓度较高的六氯苯、反式氯丹、滴滴涕和六六六的富集系数比较接近(图 1,下),经过对数处理后,与 $\lg K_{ow}$ 之间存在显著的相关关系(图 2),玉米根的富集系数均高于地上部位。塘沽地区玉米根部富集系数显著低于宁河地区玉米根部富集系数,且低于地上部位,其原因有待进一步探讨。

作物中 β -HCH 的比例仍占绝对优势,但鉴于其独特的物理性质(水溶性较差, K_{oc} 高于其他组分),

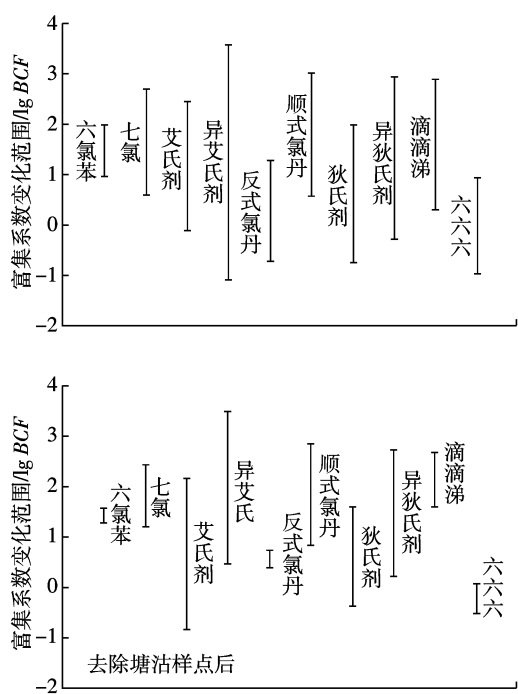


图 1 作物样品富集系数变化范围

Figure 1 Variation range of BCF (bioconcentration factor) of plant samples

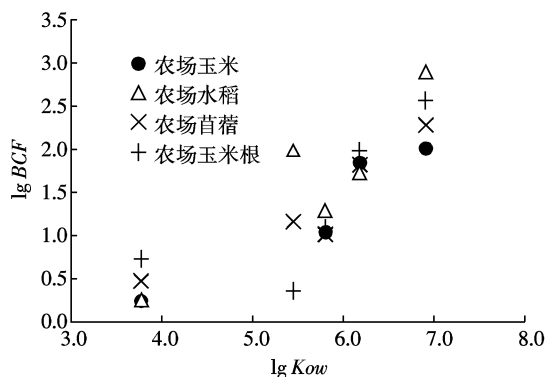


图 2 生物富集系数与辛醇-水分配系数之间的关系

Figure 2 Relationship between lg BCF and lg Kow

与土壤结合紧密,不易进入到植物体内,因此较土壤中的比例有显著下降(47.3%~73.5%)。 γ -HCH 是六六六中主要具有杀虫活性成分,具有较高的 K_{ow} 与富集系数,尽管在土壤中残留水平低于检出下限,在植物体内仍可检测到。滴滴涕在宁河土壤样品中的检出水平并不高,但由于该类有机氯农药 K_{ow} 与生物富集系数高于六六六 2 个数量级左右,在植物体内的残留水平甚至高于六六六的残留水平。这与他人研究结果有所差异^[5],其原因有待进一步研究。DDT 在进入植物体内,进一步降解为 DDE 和 DDD 代谢产物,(DDE+DDD)与 DDT 的比值大于在土壤中二者

的比值。

2.3 土壤与作物样品中 α -HCH 的对映体比值特征

手性对映异构体具有相同的物化性质,在纯物化过程中不会发生组分分馏,但在酶参与合成或降解的生物过程中可以产生分异现象,导致对映体比值 ER 发生变化。

$$ER = \frac{(+)}{(-)}$$

式中:(+)为右旋对映体含量,(-)为左旋对映体含量。由于二者响应因子相同,可以用出峰面积代替浓度信息。

该比值可用于指示有机氯农药的施用时间^[6]。环境中新施用的有机氯农药由于所经历的生物作用过程较少或时间较短,手性组分分异不显著, ER 往往接近 1,而历史残留的有机氯农药,由于经历过较长时间的复杂生物作用, ER 往往与 1 之间具有较大的偏离。

对样品中具有手性特征的组分进行分析。在含量较低的情况下,复杂的基质对手性化合物的定性与定量分析干扰较大,因此只有部分样品(3 个土壤样品与 5 个作物样品)中的 α -HCH 在手性柱上得以成功分离检测。其中土壤样品的 ER 分别为 0.38、0.77、0.36;作物样品的 ER 则分别为 0.42(宁河苜蓿)、1.09(宁河水稻)、2.50(宁河玉米根)、0.58(塘沽玉米)、1.98(塘沽玉米根),除采自宁河的水稻之外,样品 ER 均偏离外消旋体 ER 值(1),说明土壤与作物体内的滴滴涕与六六六已经过较长时间的降解,而非新的输入。在土壤中,(+)- α -HCH 倾向于优先选择降解,但在玉米根部,(-)- α -HCH 倾向于优先选择降解,由于样本量有限,是否存在该规律,还有待于进一步探讨。

3 结论

来自天津塘沽与宁河地区表层土壤样品中均检出六六六与滴滴涕,平均残留水平分别为 $88.76 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (塘沽,六六六)、 $30.84 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (塘沽,滴滴涕)、 $98.46 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (宁河,六六六)、 $1.30 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (宁河,滴滴涕)。六氯苯、七氯、艾氏剂、异艾氏剂、反式氯丹、顺式氯丹、狄氏剂、异狄氏在大部分样品中也有所检出。特征比值法分析结果显示,土壤中残留浓度较高的六六六、滴滴涕与氯丹均来自于以往使用的残留。上述有机氯农药在该地区作物样品中也有检出,不同种类农药的富集系数差别较大,其中土壤中残留浓度较高的六氯苯、反式氯丹、滴滴涕和六六六的富集系数相

对比接近,与农药的 K_{ow} 之间具有显著的正相关关系。土壤与作物样品的 ER 均偏离消旋体 ER 值,表明已经过较长时间的降解,而非新的输入,这与采用比值法得到的结论是一致的。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 史双昕,周 丽,邵丁丁,等. 北京地区土壤中有机氯农药类 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.
- [3] 金爱芳,何江涛,陈素媛,等. 北京东南郊污灌区土壤有机氯农药的垂向分布特征[J]. 环境科学学报, 2009, 29(9):1970-1977.
JIN Ai-fang, HE Jiang-tao, CHEN Su-nuan, et al. Distribution of organochlorine pesticides in soil profiles from wastewater irrigated areas in the southeast suburbs of Beijing[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2009, 29(9):1970-1977.
- [4] 丛 鑫,薛南冬,梁 刚,等. 某有机氯农药企业搬迁遗留场地表层土壤中污染物残留特征研究[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(3):850-854.
CONG Xin, XUE Nan-dong, LIANG Gang, et al. Residual characteristics of pollutants in topsoil of a former organochlorine pesticide manufacturing enterprise [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2008, 27(3):850-854.
- [5] 蒋煜峰,王学彤,孙阳昭,等. 上海市城区土壤中有机氯农药残留研究[J]. 环境科学, 2010, 31(2):409-414.
JIANG Yu-feng, WANG Xue-tong, SUN Yang-zhao, et al. Residues of organochlorine pesticides in urban soil of Shanghai[J]. *Environmental Science*, 2010, 31(2):409-414.
- [6] 金士威,黎 明,廖 涛,等. 武汉市郊农田土壤中有机氯农药的残留分析[J]. 武汉工程大学学报, 2009, 31(7):1-3.
JIN Shi-wei, LI Ming, LIAO Tao, et al. Residue analysis of organochlorine pesticides in soil from Wuhan rural[J]. *Journal of Wuhan Institute of Technology*, 2009, 31(7):1-3.
- [7] 张 慧,刘红玉,张 利,等. 湖南省东北部蔬菜土壤中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.
- [8] 张 利,刘红玉,张 慧,等. 湖南东部地区稻田土壤中有机氯农药残留及分布[J]. 环境科学研究, 2008, 21(1):118-123.
ZHANG Li, LIU Hong-yu, ZHANG Hui, et al. The residues and distribution of organochlorine pesticides in arable land in the East of Hunan Province[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2008, 21(1):118-123.
- [9] 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, 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, 1:103-112.
- [10] 郝红涛,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.
- [11] 廖凤蓉,唐跃刚,吴明远,等. 唐山市土壤中有机氯农药的初步研究[J]. 农业环境与发展, 2008, 5:132-135.
LIAO Feng-rong, TANG Yue-gang, WU Ming-yuan, et al. Preliminary study in organochlorine pesticides(OCPs) residues in soil in Tangshan [J]. *Agro-Environment & Development*, 2008, 5:132-135.
- [12] 吴对林,张天彬,刘 申,等. 珠江三角洲典型区域蔬菜地土壤中有机氯农药的污染特征[J]. 生态环境学报, 2009, 18(4):1261-1265.
WU Dui-lin, ZHANG Tian-bin, LIU Shen, et al. Pollution characteristics of organochlorinated pesticides in the soils of vegetable fields in typical area of Pearl River Delta: A case study of Dongguan[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2009, 18(4):1261-1265.
- [13] 安 琼,董元华,王 辉,等. 水稻对土壤中 DDT 及其系列降解物的吸收[J]. 土壤学报, 2008, 45(4):686-692.
AN Qiong, DONG Yuan-hua, WANG Hui, et al. Uptake of aged residual and current-applied DDT and its metabolites, DDD, DDMS and DDMU by paddy rice (*Oryza Sativa*)[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45(4):686-692.
- [14] 郜红建,蒋 新,王 芳,等. 蔬菜不同部位对 DDTs 的富集与分配作用[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(6):1240-1245.
GAO Hong-jian, JIANG Xin, WANG Fang, et al. Accumulation and distribution of DDTs in different parts of vegetables [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(6):1240-1245.
- [15] 周晓燕. 小麦中有机氯农药的来源及分布、积累规律研究[D]. 济南:山东大学, 2009:46-47.
ZHOU Xiao-yan. Sources, accumulations and distributions of OCPs in wheat plants[D]. Jinan: Shandong University, 2009:46-47.
- [16] Shen L, Wania F, Lei Y D, et al. Hexachlorocyclohexanes in the North American atmosphere[J]. *Environ Sci Technol*, 2004, 38:965-975.