

北方典型区域果园表层土壤农药类 POPs 残留特征分析

杨世琦, 刘国强, 张爱平, 王永生, 杨正礼

(中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所/农业部农业环境与气候变化重点开放实验室, 北京 100081)

摘 要:在我国典型果业生产区域的黄土高原、胶东半岛和北京郊区选择 11 个采样区的 99 个果园,利用 GPS 定位仪共采集 0~20 cm 表土样品 99 份,测定了 DDT、六氯苯、七氯、氯丹、狄氏剂、异狄氏剂、灭蚊灵和艾氏剂等 8 种主要 POPs 残留量,对土壤 POPs 残留的环境安全性、土壤残留差异性以及区域分布特点进行了分析研究。结果表明:(1)果园表层土壤 8 种 POPs 残留浓度符合国家土壤环境质量标准,属于环境安全残留;(2)滴滴涕是果园土壤残留分布最广泛和残留量较高的 POPs,其次是六氯苯、氯丹和七氯,再其次是狄氏剂、异狄氏剂、灭蚊灵和艾氏剂;(3)果园土壤 POPs 残留种类多、广泛残留与高残留量地区的共同特征是建园早、园龄长、自然条件好和农业经济较发达。

关键词:POPs;果园;表土;残留特征;典型区域

中图分类号:X592 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2010)08-1515-05

Analysis on Remaining Characters of Pesticide Type POPs in Orchard Topsoil in Typical Production Zone of North China

YANG Shi-qi, LIU Guo-qiang, ZHANG Ai-ping, WANG Yong-sheng, YANG Zheng-li

(Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Agro-Environment and Climate Change, Ministry of Agriculture, Beijing 100081, China)

Abstract:In typical fruit production regions in China which are involved the Loess Plateau, Jiaodong Peninsular and Beijing suburb, where 99 orchards were chosen to be served as test. With the help of GPS the 99 samples of 0~20 centimetre topsoil were collected up and the content of 8 kinds of Persistent Organic Pollutants(POPs) of these samples was determined, which consists of Hexachlorobenzene(HCB), Chlordane, Dieldrin, Endrin, DDT, Mirex, Heptachlor and Aldrin. The environment security, differences of topsoil remaining and the characters of zone distribution of POPs were analysed. The results showed as follow: (1)The remaining content of 8 kinds of POPs in orchard topsoil accorded with the soil quality—Determination of BHC and DDT—Gas chromatography(GB/T14550—1993) and were all at the state of environment security; (2)DDT was one of the most extensive and highest remain of POPs in orchard topsoil, category two POPs were HCB, Chlordane and Heptachlor which all have similar characters of orchard topsoil remain, category three POPs are Dieldrin, Endrin, Mirex, and Aldrin which all have similar characters of orchard topsoil remain;(3)The common features of extensive and high and multi kinds of POPs remain zone had a long planting fruit period, in the meantime there had a good nature conditions and a developed agricultural economic conditions. Relatively, in not good nature condition and low agricultural productivity zones, the topsoil remain of POPs was lower because of little pesticides application. Although the topsoil remain of POPs was in environmental security condition, it did not simply equate with food safety and biosafety because of POPs bioconcentration amplification.

Keywords:POPs; orchard; topsoil; remaining characters; typical production zone

持久性有机污染物(Persistent Organic Pollutants, POPs)是指具有环境持久性、生物蓄积性、长距离迁移能力和高生物毒害的有机物污染物。2001 年 5 月

收稿日期:2010-03-20

基金项目:中央级公益科研基金;“十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAD09B04)

作者简介:杨世琦(1970—),男,陕西旬邑人,主要从事农业面源污染控制研究。E-mail:shiqiyang@126.com

通讯作者:杨正礼 E-mail:YangZl@cjac.org.cn

22 日联合国环境署在瑞典通过了《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》。首批列入公约控制的 POPs 共有 12 种(类),包括艾氏剂(aldrin)、狄氏剂(dieldrin)、异狄氏剂(endrin)、氯丹(chlordane)、滴滴涕(DDT)、七氯(Heptachlor)、灭蚊灵(Mirex)、毒杀芬(toxaphene)、六氯代苯(HCB)、多氯联苯(PCBs)、多氯代衍生物(PCDDs)和多氯代二苯并呋喃(PCDFs)^[1]。

关于 POPs 的环境残留研究很多。POPs 的半衰期

大多在几十天至 20 a^[2],如六氯代苯(HCB)在土壤中分解 95%最长需 20 a^[3]。使用农药 20 a 后,土壤中农药残留量是六六六 6.6%、七氯 13.5%、杀毒芬 45.1%^[4]。全球生产的 PCBs 有 86%存在于气候温和的北半球工业地区的土壤中^[5],但由于 POPs 的全球蒸馏(global distillation)^[6]和蚱蜢效应(grasshopper effect)^[7]对环境与生物的影响力比较明显,促使 POPs 从低纬度向高纬度地区飘移与沉积,加上水溶性小于 0.5 mg·kg⁻¹的 POPs 很容易被生物富集^[8],在北极的高级肉食动物海豹、鲸类和北极熊体内脂肪中有较高的 POPs 浓度^[9]。研究表明,植物根际周围土壤的氯丹的浓度明显低于主体土壤,植物不同组织之间存在氯丹浓度梯度,在根部的含量最大,果实中最小^[10]。另外,研究证明植物体内的 PCDDs/PCDFs 主要是由于气相吸附造成的,土壤中的 PCDDs/PCDFs 主要是干湿沉积造成的^[11]。

过去 30 多年来,我国累计使用 HCB 和 DDT 约 500 万 t^[12],大多数农田土壤、江河湖泊水体、沉积物和近海海域水体中都能检出 DDT。1988 年调查的土壤有机氯农药的残留状况由南向北呈现南方> 中原> 北方,南方残留浓度是北方的 3.3 倍,南方和中原地区菜地中土壤残留量均高于农田^[13]。天津市郊污灌区农田土壤有机氯农药的检出率均为 100%,其中污水灌溉菜地的污染状况最为严重,六六六残留量达 404 μg·kg⁻¹,DDT 270 μg·kg⁻¹^[14],水产品中 POPs 残留量也高达 57 μg·kg⁻¹^[15]。

从 20 世纪 70 年代开始,许多国家禁止使用和限制使用。我国 1960—1980 年曾大量使用六氯苯,1982 年开始实施农药登记制度以后,先后停止了七氯、毒杀芬等的生产和使用,目前有滴滴涕、六氯苯、氯丹和

灭蚁灵等 4 种在少量使用。20 世纪由于我国有 2/3 的省份受到白蚁的危害,目前或多或少还在白蚁危害地区使用氯丹和灭蚁灵。

关于 POPs 农田土壤残留在区域尺度上的研究并不多见。本文针对集约水平较高的果园,选择典型区域,在农田区域尺度上分析表层土壤 POPs 残留现状及其分布规律,为农药类型 POPs 管理提供指导依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域

选择果业生产的典型区域黄土高原和胶东半岛、北京近郊县进行果园土壤 POPs 残留研究。黄土高原是世界上两大苹果适宜产区之一,苹果种植面积是全国的 35.1%,产量是全国的 31.5%^[16]。胶东半岛属暖温带湿润季风气候,热量充足,光照好,降水适量是优质苹果生产的有利气候条件,夏季冷凉、秋季长,光照充足,是我国中、晚熟苹果的最佳生产区域。北京昌平与通州北依燕山山脉,光照充足,降水与土壤等条件适宜苹果的生长,是北京苹果供应市场的重要部分。

1.2 土壤样品采集方法

五点法土壤采样,取表层土壤 0~20 cm,5 点土壤样品充分混合后采用四分法取 700~800 g 样品。取样区域包括黄土高原苹果主产区的陕西旬邑、武功、白水、宝塔和洛川,山西太谷和芮城典型果园,胶东半岛的栖霞与牟平,北京昌平与通州。果园选取涉及 3 个类型,按 10 a 以下、10~15 a 和 15 a 以上 3 个园龄段取样,每个园龄段各选 3 个果园。土壤取样时间 2007 年 10 月上旬—11 月上旬,共取 99 份土壤样品,土壤取样采用 GPS 定位系统。土壤采样信息见表 1。

表 1 果园土壤采样基本信息
Table 1 The basic information of sampling region orchard

采样点 Sampling region	土壤类型 Soil type	降水量 Precipitation/mm	海拔 Altitude/m	地理坐标 Geography coordinate
陕西旬邑 Xunyi, Shaanxi	黑垆土 hei loessial soil	600	1 202~1 215	N35°(06~07)'E108°(13~14)'
陕西武功 Wugong, Shaanxi	棕褐土 brown cinnamon soil	633	552~557	N34°(23~24)'E108°(04~06)'
陕西白水 Baishui, Shaanxi	黑垆土 hei loessial soil	568	957~966	N35°(15~16)'E109°(29~30)'
陕西宝塔 Baota, Shaanxi	黄绵土 Loess soil	500	1 069~1 237	N36°(31~32)'E109°(29~30)'
陕西洛川 Luochuan, Shaanxi	黑垆土 hei loessial soil	622	1 258~1 280	N35°(51~53)'E109°(32~33)'
山西太谷 Taigu, Shanxi	灰褐土 grey cinnamon soil	450	822~841	N37°(20~22)'E112°(26~30)'
山西芮城 Ruicheng, Shaxi	棕褐土 brown cinnamon soil	513	546~555	N34°(42~43)'E110°(40~41)'
山东栖霞 Qixia, Shandong	棕壤 brown soil	754	202~212	N 37°30'E 121°04'
山东牟平 Muping, Shandong	棕壤 brown soil	760	73~79	N 37°12'E 121°15'
北京昌平 Changping, Beijing	褐土 drab soil	576	77~85	N 40°13'E 116°18'
北京通州 Tongzhou, Beijing	潮土 fluvo-aquic soil	620	8~12	N 39°47'E 116°(53~52)'

POPs 测定参照土壤中六六六、滴滴涕的分析国家标准 (GB/T14550—2003) (Soil quality—Determination of BHC and DDT—Gas chromatography), 由中国农科院农业环境与可持续发展研究所测试中心承担测定。检测六六六包括 α 、 β 、 γ 和 δ -六六六 4 种异构体, 滴滴涕包括 p,p'-DDE、o,p'-DDT、p,p'-DDD 和 p,p'-DDT 4 种衍生物。

2 结果与分析

2.1 果园表层土壤 POPs 残留的安全性分析

我国制定的土壤环境质量标准中, 农田土壤执行二级标准, 六氯苯和 DDT 的残留标准均为 0.05~0.5 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。对 8 种 POPs 的土壤残留量进行了检测, 最大值 252.538 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 低于国家土壤环境质量标准中规定的二级标准 0.5 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 最高 POPs 浓度仅是国家标准的 50.1%。残留浓度最高的 POPs 是滴滴涕, 其次是六氯苯, 其他的残留浓度均低于 10 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 其中狄氏剂和艾氏剂分别仅有 1.054 和 0.926 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。除六氯苯和 DDT 以外的 POPs 的土壤残留量世界各国与我国暂时没有相关标准, 从检测结果看参量非常低, 参照六氯苯与 DDT 的标准, 其环境安全性相对要高一些。因此, 就总体结果看, POPs 残留浓度低于国家土壤环境质量标准, 但考虑到持久性有机物的生物富集放大作用, POPs 对生态安全、环境安全以及食品安全仍然存在一定的潜在风险。

2.2 果园表层土壤 POPs 残留特征分析

2.2.1 典型果园表层土壤 POPs 种类残留特征分析

全部样品的 POPs 检出率为 42.17%, 不同 POPs 的检出率存在较大的差异。滴滴涕的检出率最高

87.88%, 六氯苯和七氯 63.64%, 氯丹 48.48%, 狄氏剂 26.26%, 艾氏剂 22.22%, 异狄氏剂 14.14%, 灭蚊灵 11.11% 最低, 最高与最低检出率之间差距将近 8 倍。

POPs 检测的平均值, 滴滴涕最高 21.394 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 其次异狄氏剂 4.003 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 艾氏剂的平均值最低 0.102 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 最高 (滴滴涕) 与最低 (艾氏剂) 平均值之间差距将近 210 倍。检出最大值与最小值之间差距 263 倍。从标准差能够看出, 不同果园的滴滴涕残留具有较大的差异性, 其次是六氯苯, 异狄氏剂、氯丹和灭蚊灵, 狄氏剂与艾氏剂残留差异较小。8 种 POPs 的偏度系数均大于 0 表明 POPs 的残留量大值较少, 峰度系数均大于 0 表明测定值分布陡峭, 反映了果园表土土壤 POPs 残留不具有正态分布特征 (表 2)。

利用 SPSS 软件的 Hierarchical Cluster 过程, 对果园表层土壤 POPs 残留进行分类, 分类结果见图 1。在分成两类的情况下, 可以看出滴滴涕与其他 POPs 的土壤残留特征明显不同, 结合前面的检测结果, 可以

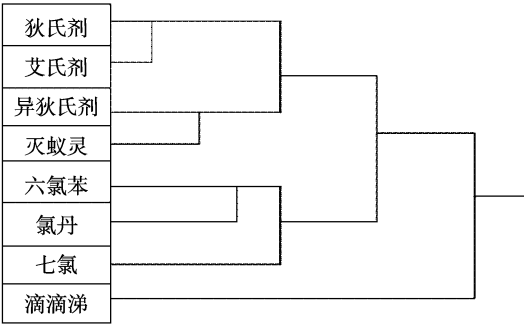


图 1 北方典型果园表层土壤 POPs 分类情况

Figure 1 Clusters of POPs of orchard topsoil on typical production zone of North China

表 2 北方区域典型果园表层土壤 POPs 种类残留特征

Table 2 The remaining characters of POPs of orchard topsoil on typical production zone of North China

项目	六氯苯 HCB	氯丹 Chlordane	狄氏剂 Dieldrin	异狄氏剂 Endrin	滴滴涕 DDT	灭蚊灵 Mirex	七氯 Heptachlor	艾氏剂 Aldrin
样品个数 Sample number	99	99	99	99	99	99	99	99
检出样品数 Detected sample number	63	48	26	14	87	11	63	22
检出率 Ratio of detection/%	63.64	48.48	26.26	14.14	87.88	11.11	63.64	22.22
最低检出限值 Min-detected limits/ $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	0.236	0.333	0.178	2.484	0.353	0.529	0.539	0.131
检出最小值 Min-detect value / $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	0.242	0.351	0.185	2.493	0.456	0.540	0.543	0.161
检出最大值 Max-detect value/ $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	14.071	7.163	1.054	9.860	252.538	9.582	3.241	0.926
检出样平均值 Mean of detected value/ $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	1.118	1.517	0.425	4.003	21.394	2.459	0.999	0.459
全样品平均值 Mean of all sample value/ $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	0.678	0.735	0.112	0.566	18.800	0.273	0.636	0.102
标准差 Std. Deviation/ $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	2.265	1.289	0.233	1.579	43.398	1.301	0.633	0.228
偏度系数 Skewness	5.461	2.871	2.520	3.404	4.031	5.912	1.489	2.391
峰度系数 Kurtosis	28.977	9.799	6.160	13.682	17.637	36.068	4.281	4.867

推断 DDT 曾经被大量和普遍使用, 因此土壤中残留分布广泛, 残留量较大。在分成 3 类的情况下, DDT 单独为第 1 类; 六氯苯、氯丹和七氯为第 2 类, 表明具有相似的土壤残留特征, 分布广泛性和残留仅次于第 1 类滴滴涕; 狄氏剂、异狄氏剂、灭蚁灵和艾氏剂为第 3 类, 表明具有相似的土壤残留特征, 土壤分布广泛性与残留又次于第 2 类。这一结果为研究土壤 POPs 残留提供了一定的依据。

2.2.2 典型果园表层土壤 POPs 区域残留特征分析

11 个采样点各取得 72 个土壤样品, 最低检出限值 $0.131\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, POPs 检出值中最小值差异不大, 最大值差异比较明显, 最大差距达到 200 倍以上。从表 3 中可以看出, POPs 最高检出率山东栖霞 75% 是最低检出率陕西宝塔 15.28% 的 5 倍多。POPs 检出样品平均值较高是山东栖霞、北京通州和山西太谷, 其他点较低且基本接近; 全部样品 POPs 平均值较高的是山东栖霞、北京通州、山西太谷和山东牟平, 其他采样点较低且接近。山西太谷、山东栖霞和牟平, 以及北京通州 POPs 的检测值的标准差较大, 反映这 4 个采样点的果园表层土壤 POPs 含量 (或者不同种类 POPs) 差异较大, 其他采样点差异则较小。

全部采样点的表层土壤 POPs 含量的偏度均大于 0, 属于右偏, 表明 POPs 的残留量大值较少; 峰度均大于 0, 测定值分布比较陡峭。反映果园 POPs 土壤表土残留不同区域不是正态分布。

利用 SPSS 软件的 Hierarchical Cluster 过程, 对不同地区表层土壤 POPs 含量进行分类研究, 结果见图 2。在分成两类的情况下, 山东栖霞与其他点的果园表层土壤 POPs 残留具有显著的不同, 表明山东栖霞果园表层土壤 POPs 残留属于高值区, 同时也是 POPs 残留分布广泛区域。进一步分成 3 类: 山东栖霞为第 1 类地区; 第 2 类地区包括陕西武功、白水、洛川、山

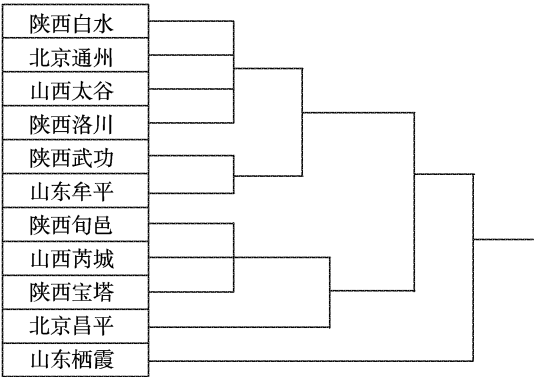


图 2 北方典型果园表层土壤 POPs 区域分类情况
Figure 2 Zone clusters of POPs of orchard topsoil on typical production zone of North China

西太谷、山东牟平和北京通州; 第 3 类地区包括陕西旬邑、宝塔、山西芮城和北京昌平。第 1 类地区山东栖霞位于胶东半岛, 属于农业经济发达地区, 果园起步早和自然条件优越, 果园使用农药历史长, 土壤 POPs 残留累积多。第 3 类地区如陕西旬邑和宝塔位于黄土高原高海拔与沟壑区, 属于经济区欠发达区域, 苹果起步晚和生产条件较差, 果园使用农药累积少。第 2 类地区介乎第 1 类与第 3 类之间。总之, 在建国时期长、自然条件较好和农业发达地区, 果园表层土壤 POPs 残留量较高且残留普遍。

3 讨论

(1) 果园表层土壤 8 种 POPs 残留符合国家土壤环境质量标准。由于 POPs 显著的生物富集放大作用, 通过食物链途径在植物与动物体内的残留浓度显著升高, 因此, 环境安全并非等同食物安全、生物安全与生态安全, 尤其对于 POPs 而言, 环境安全同样能产生食物风险、生物风险与生态风险, 由此可见, 对 POPs 的环境残留不能轻视。

表 3 北方典型果园表层土壤 POPs 残留的区域特征

Table 3 The zone characters of POPs remain of orchard topsoil on typical production zone of North China

项目	旬邑 Xunyi	武功 Wugong	白水 Baishui	宝塔 Baotai	洛川 Luochuan	太谷 Taigu	芮城 Ruicheng	栖霞 Qixia	牟平 Muping	昌平 Changping	通州 Tongzhou
检出率 ratio of detection/%	27.78	51.39	47.22	15.28	44.44	45.83	20.83	75.00	54.17	30.56	48.61
检出最小值 Min-detected value/ $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	0.243	0.220	0.176	0.185	0.231	0.161	0.242	0.340	0.200	0.245	0.344
检出最大值 Max-detected value/ $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	3.241	11.580	5.682	1.849	16.290	102.811	3.844	252.511	44.060	23.484	98.454
检出样平均值 mean of detected value/ $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	1.112	1.480	1.045	0.945	1.811	10.449	1.248	16.936	6.378	2.170	12.281
全样品平均值 mean of all value/ $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	0.309	0.760	0.494	0.144	0.805	4.789	0.260	12.467	3.455	0.663	5.970
标准差 Std. Deviation/ $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	0.688	1.882	0.970	0.428	2.146	16.328	0.709	46.731	9.416	2.809	17.954
偏度系数 Skewness	2.891	4.390	3.550	3.230	5.741	4.479	3.540	4.683	3.193	7.771	3.654
峰度系数 Kurtosis	8.695	21.232	14.950	9.520	39.179	21.559	13.120	20.857	9.361	63.609	13.524

(2)滴滴涕是果园土壤残留分布最广泛和残留量较高的 POPs。由于滴滴涕(第1类)曾经是农业上广泛使用的杀虫剂,土壤中残留分布广泛,残留量较大;六氯苯、氯丹和七氯(第2类)具有相似的土壤残留特征,分布广泛性和残留仅次于滴滴涕;狄氏剂、异狄氏剂、灭蚁灵和艾氏剂(第3类)具有相似的土壤残留特征,土壤分布广泛性与残留次于第2类。从持久性有机物的使用过程看,DDT 是二战后世界各国广泛使用的杀虫剂,由于空间飘移和难以降解原因,在南极生态系统中也能检测到残留;有机氯农药属于主要的农药类型,农田中普遍残留,检出率相对较高;艾氏剂、狄氏剂和异狄氏剂在我国基本没有过大规模生产和使用,残留量很少,灭蚁灵只在部分地区使用过。因此,检测结果与农药施用实际情况基本相符。但是从8种 POPs 的广泛的空间分布看,空间飘移是 POPs 污染防治的主要困难,以往的研究已经有充分的证据。

(3)在果园起步早、自然条件较好和农业经济较发达的区域,单产高,果园土壤 POPs 残留表现为种类多、分布广与残留量高,如山东省栖霞取样点就是这一类型的典型代表。个别低龄果园表现出 POPs 残留高的原因是建园之前就已经存在一个较长的 POPs 残留累积期,如陕西武功、白水、洛川、山西太谷、山东牟平和北京通州等取样点就是这一类型的典型代表。相比较而言,在自然条件较差与生产力低的区域,单产低,农药投入少,土壤 POPs 的累积也少,如陕西旬邑和宝塔就是这一类地区的典型代表。

4 结论

果园表层土壤残留主要 POPs 种类是 DDT 与有机氯农药,其他 POPs 残留数量很低,均在国家相关标准之内,没有达到环境危害程度,但潜在威胁长期存在;POPs 的区域残留主要表现为发达地区高于落后地区,城镇地区高于农村地区,高产果园高于低产果园。

参考文献:

- [1] UNEP. 关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约(POPs)[R]. 2001: 46-47.
UNEP. Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants[R]. 2001: 46-47.
- [2] 刘相梅, 彭平安, 黄伟林, 等. 六六六在自然界中的环境行为及研究动向[J]. 农业环境与发展, 2001(2): 38-40.
LIU X M, PENG P A, HUANG W L, et al. The environmental behavior and study Trends of benzene hexachloride[J]. *Agro-environment and Development*, 2001(2): 38-40.
- [3] 余刚, 黄俊, 张彭义. 持久性有机污染物: 倍受关注的全球性环境问题[J]. 环境保护, 2001(4): 37-39.
YU G, HUANG J, ZHANG P Y. Persistent Organic Pollutants; the global environmental problem[J]. *Environmental Protection*, 2001(4): 37-39.
- [4] Nash R G, Harris W G. Soil moisture influence on treatment and extraction of DDT from soil[J]. *J Assoc of Anal Chem*, 1972, 56(3): 532-536.
- [5] Wendy A, Ockenden, et al. The global re-cycling of persistent organic pollutants is strongly retarded by soils[J]. *Environmental Pollution*, 2003, 121: 75-80.
- [6] Wania F, Mackay D. Global fractionation and cold condensation of low volatility organochlorine compounds in Polar Regions[J]. *Ambio*, 1993, 22: 10-18.
- [7] Wania F, Mackay D. Tracking the distribution of persistent organic pollutants[J]. *Environ Sci Technol*, 1996(30): 377-392.
- [8] 蔡道基. 化学农药对环境安全性评价[J]. 环境化学, 1991, 10(3): 41-46.
CAI D J. Environmental safety assessment of chemical pesticides[J]. *Environmental Chemistry*, 1991, 10(3): 41-46.
- [9] Shannon Mala Bard. Global transport of anthropogenic contaminants and the consequences for the Arctic Marine Ecosystem[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 1999, 38(5): 356-379.
- [10] Jason C. White, et al. Tracking chlordane compositional and chiral profiles in soil and vegetation[J]. *Chemosphere*, 2002, 47: 639-646.
- [11] Montserrat Meneses, et al. A design of two simple models to predict PCDD/F concentrations in vegetation and soils[J]. *Chemosphere*, 2002, 46: 1393-1402.
- [12] 杨嘉谟, 王君, 苏青青. 长江武汉段水体悬浮物中有机氯农药的残留状况[J]. 环境科学研究, 2004, 17(6): 27-29.
YANG J M, WANG J, SU Q Q. Investigation of organochlorine pesticides residue in the suspended solid of Wuhan Section of the Yangtze River[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2004, 17(6): 27-29.
- [13] 江孝倬, 李瑞琴. 土壤及作物中农药残留量所揭示的问题[J]. 环境科学研究, 1993, 6(5): 6-10.
JIANG X Z, LI R Q. Questions discovered on residue of pesticide in soil and crop[J]. *Research of Environmental Sciences*, 1993, 6(5): 6-10.
- [14] 龚钟明, 曹军, 朱雪梅, 等. 天津市郊污灌区农田土壤中的有机氯农药残留[J]. 农业环境保护, 2002, 21(5): 459-461.
GONG Z M, CAO J, ZHU X M. Organochlorine pesticide residues in agricultural soils from Tianjin[J]. *Agro-environmental Protection*, 2002, 21(5): 459-461.
- [15] 曹启民, 王华, 张黎明, 等. 中国持久性有机污染物污染现状及治理技术进展[J]. 中国农学通报, 2006, 22(2): 361-365.
CAO Q M, WANG H, ZHANG L M, et al. Contamination of persistent organic pollutants(POPs) and its progress in treatment technology in China[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2006, 22(2): 361-365.
- [16] 杨世琦, 杨正礼. 黄土高原生态系统演替中土壤有机质和 pH 值变化规律[J]. 水土保持研究, 2008, 15(2): 159-163.
YANG S Q, YANG Z L. The changes of soil organic matter and pH value in the course of ecosystem succession in the Loess Plateau[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2008, 15(2): 159-163.