

环鄱阳湖区蔬菜地土壤中有机氯农药分布特征及生态风险评价

胡春华^{1,2}, 周文斌^{1,2*}, 易纯^{1,2}, 肖化云^{1,2,3}, 王毛兰^{1,2}

(1.南昌大学鄱阳湖环境与资源利用教育部重点实验室, 南昌 330029; 2.南昌大学环境与化学工程学院, 南昌 330031; 3.中国科学院地球化学研究所, 贵阳 550002)

摘要:利用 GC-ECD 对环鄱阳湖区 11 个县市蔬菜地土壤中有机氯农药测定的数据,研究蔬菜地土壤中有机氯农药残留状况,并进行生态风险评价。结果显示,蔬菜地土壤中 HCHs、DDTs、氯丹和六氯苯均有检出,且 DDTs、HCHs 的残留量较高,总有机氯农药含量范围为 2.39~47.28 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。从整体上分析,处于工业分布区域的土壤中有机氯农药含量高于其他区域。有机氯农药组成特征研究表明,该地区土壤中除个别采样点有机氯农药主要来自于早期残留外,大部分地区有新的污染源输入。与国内其他地区蔬菜地土壤相比,环鄱阳湖区蔬菜地土壤中有机氯农药含量较低。生态风险分析显示,环鄱阳湖区蔬菜地土壤中 HCHs 残留对于土壤生物的风险较低,而 DDTs 可能对鸟类和土壤生物具有一定的生态风险。

关键词:有机氯农药;蔬菜地土壤;生态风险评价;环鄱阳湖区

中图分类号:X820.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2011)03-0487-05

Distribution and Eco-risk Evaluation of Organ Chlorine Pesticides in Vegetable Soil in the Area Around Poyang Lake, China

HU Chun-hua^{1,2}, ZHOU Wen-bin^{1,2*}, YI Chun^{1,2}, XIAO Hua-yun^{1,2,3}, WANG Mao-lan^{1,2}

(1.Key Lab of Lake Ecology and Bio-resource Utilization of Poyang Lake, Ministry of Education, Nanchang University, Nanchang 330029, China; 2.School of Environmental and Chemical Engineering, Nanchang University, Nanchang 330031, China; 3.Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China)

Abstract: The organochlorine pesticide residue in vegetable soil and its ecological risk were evaluated within 11 counties and cities around the Poyang Lake. The results showed that HCHs, DDTs, Chlordane, HCB could be detected in the samples from vegetable soil, and the residual concentrations of DDTs and HCHs were especially higher. According to the distribution of OCPs components, which ranged from 2.39~47.28 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, the higher concentrations of total OCPs could be found in the industrial regions. Contamination of OCPs in soils in the area around the Poyang Lake were relatively lower than other areas. The eco-risk analysis showed that HCHs residues in the soils had no obvious influence on the geobiont there, while DDTs might have certain ecological risks on birds and geobiont.

Keywords: organ chlorine pesticides; vegetables soil; eco-risk evaluation; Poyang Lake area

有机氯农药(OCPs)理化性质稳定、难降解,并具有低水溶性和高吸附系数等特点,很容易吸附在土壤

有机质中,并能通过植物的吸收进入食物链,对生态环境和人体健康存在潜在的威胁^[1-5]。我国从 1983 年开始逐步禁止有机氯农药的使用,但由于其难降解性,目前仍可在包括蔬菜地在内的多种土地利用类型的土壤中检出^[1-3]。近年来国内学者对农田土、蔬菜地土中有机氯农药有较多研究,但有关环鄱阳湖区蔬菜地土壤中有机氯农药的研究尚未有相关的报道。环鄱阳湖区土地面积占江西省的 12.3%,人口占江西省 15.9%,是江西省工业、人口和农业的集中区域,也是蔬菜种植和需求的集中地区^[6-7]。本文通过分析环鄱阳

收稿日期:2010-08-30

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(2008zx07526-008-03);国际科技合作资助项目(2006DFB91920);“十一五”国家科技支撑计划重点项目(2007BAB23C02);国家自然科学基金(40672159);中国经济改革实施技术援助项目(支援期 TCC5jxspyhzh09-03)

作者简介:胡春华(1976—),男,湖南永州人,博士,研究方向为水环境化学。E-mail:ouyangyinghui@126.com

* 通讯作者:周文斌 E-mail:wbzhou@ncu.edu.cn

湖区蔬菜地土壤中 OCPs 残留的分布特征,初步对土壤中有有机氯农药的污染水平及生态风险展开研究,进而为环鄱阳湖生态经济区建设与发展提供基础数据资料。

1 材料和方法

1.1 样品采集

根据环鄱阳湖区各区县的面积、人口及经济状况选取采样县区,分别为:南昌市(包括南昌县、新建县)、永修县、德安县、星子县、九江市辖区、湖口县、都昌县、鄱阳县、余干县、进贤县(图 1)。采集了环鄱阳湖区 11 个县市的 5~10 个主要的蔬菜生产基地的土壤样品,并随机抽取 5 个农家种植蔬菜的土样,以达到全面表征环鄱阳湖区蔬菜有机氯的使用现状(对人类健康的危害),以及蔬菜地土壤中有有机氯的残留情况(生态风险效应)。每个土壤样品采集 0~20 cm 深的土壤,并进行等量混匀,土壤冷冻风干后,磨碎,过筛,低温保存,以备后处理和分析用。

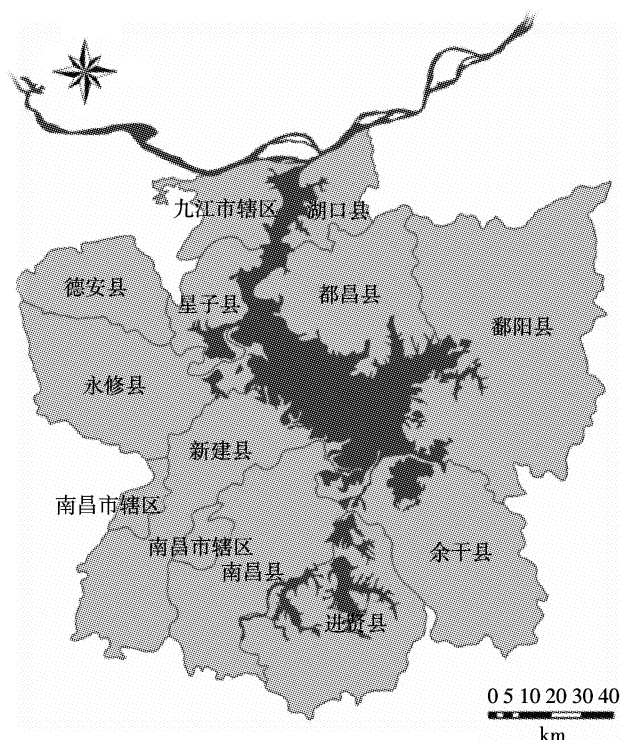


图 1 采样区域

Figure 1 Sampling sites area

1.2 样品处理

称取 10.00 g 土样和 2.00 g 硅藻土混合均匀。用 60 mL 的石油醚/丙酮溶液(体积分数 1:1)浸泡 12 h 后超声波提取 40 min。将萃取完的样品用布氏漏斗抽

滤,将滤液装入分液漏斗中,加入 50 mL 硫酸钠溶液,振荡 1 min,弃去下层丙酮溶液。在上层提取液中加入 4 mL 浓硫酸,振荡 1 min,弃去硫酸层,重复 4~5 次。在此提取液中加入 20 mL 硫酸钠溶液,摇振 10~20 次,弃去水层,重复此操作至溶液呈中性为止。提取液经无水硫酸钠干燥后在旋转蒸发仪上浓缩至 2~3 mL 并移入 10 mL 的离心管中,用石油醚定容至 10 mL,待气相色谱测定。

1.3 样品分析

有机氯农药采用 Agilent 6890N-59731 型气相色谱仪-⁶³Ni 电子捕获检测器(GC-ECD)测定,色谱柱 HP-5(5% Phenyl Methyl Siloxane 30 m×320 μ m×0.25 μ m)。

有机氯农药标准物质(由农业部环境保护科研监测所认证)包括 α -HCH、 β -HCH、 δ -HCH、 γ -HCH、p,p'-DDD、p,p'-DDE、p,p'-DDT、氯丹、七氯、环氧七氯。在样品分析过程中,在菜地土壤样品中加入 10 mL 浓度为 10 μ g·L⁻¹ 的混标,进行加标回收,经 4 次平行实验得到平均回收率。结果表明该方法对有机氯农药的回收率达到 83%~119%,符合美国环保局(EPA)分析方法对有机氯农药分析回收率的要求^[8]。相对标准偏差为 4.1%~9.5%,各待测物质的方法检测限为 0.05~0.36 μ g·kg⁻¹。

2 结果与讨论

2.1 有机氯农药残留量的分布特征

环鄱阳湖区蔬菜地土壤的有机氯含量的统计结果见图 2,总有机氯农药的含量范围为 2.39~47.28 μ g·kg⁻¹,平均值为 14.72 μ g·kg⁻¹。但各地区存在较大差异,永修、德安、鄱阳、南昌市残留量较高,其他地区残留量较低。土壤中有有机氯农药主要来自于农药施用、污水灌溉、工业“三废”排放、大气沉降等^[9],永修、德安、南昌市是南昌-九江工业走廊的重要组成部分,工业“三废”排放对这些地区土壤中有有机氯农药有较大输入,并且永修、德安两地一直都是江西省的棉花主产区,棉农曾大量使用三氯杀螨醇来防治红蜘蛛,而三氯杀螨醇中含有一定量的有机氯农药成分^[3],其对这些地区的土壤中有有机氯残留量的影响也不可忽略。而九江市辖区蔬菜种植主要集中在九江市长江河道中的江洲镇,其远离工业带,并处于上风口,人类因素对其影响较小,是该采样点土壤中有有机氯残留量相对于其他工业区较低的主要原因。鄱阳、余干、进贤主要为农业区;星子、湖口、都昌以发展旅游业为主,所

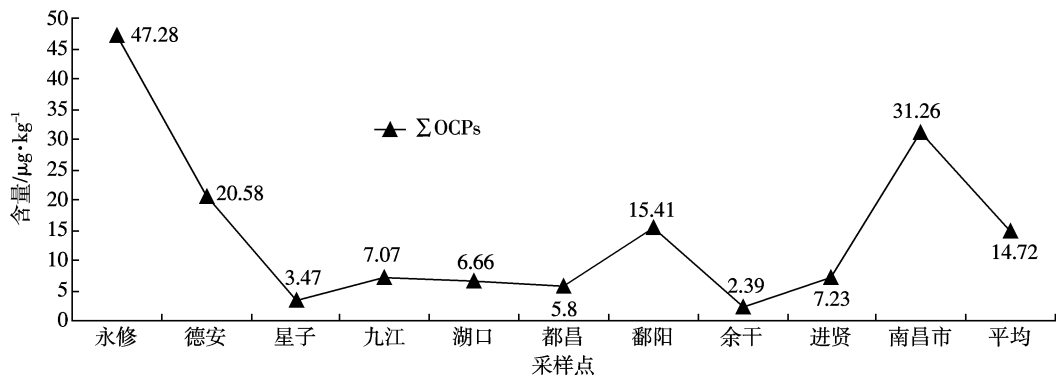


图 2 环鄱阳湖地区蔬菜地土壤中总有机氯农药残留的分布特征
Figure 2 Distribution of ΣOCPs in vegetable soil along Poyang Lake

以总体污染水平较低。

与 GB 15618—1995 土壤环境质量一级标准($50\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)和我国南方其他地区蔬菜地土壤中的有机氯含量相比较(表 1),环鄱阳湖区蔬菜地土壤中 HCHs、DDTs 总体残留水平较低,这与江西省的农药使用水平较低一致^[14]。

表 1 不同地区蔬菜地土壤中有机氯农药含量比较($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)
Table 1 Comparisons of OCPs in vegetable soil from different area($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)

采样点	土壤利用方式	ΣHCHs	ΣDDTs
南京城郊 ^[10]	蔬菜生产基地	2.48~17.80	3.36~74.19
广州 ^[11]	菜地	0.19~41.30	3.58~831.00
湖南省东北部 ^[12]	蔬菜地	0.15~16.80	6.05~57.91
浙北 ^[12]	菜地	0.18~2.77	1.52~143.96
苏南 ^[13]	菜地	4.5~22.8	17~1 115.4
环鄱阳湖区	蔬菜地	ND~7.53	1.65~55.03

2.2 有机氯农药组成特征及来源分析

由表 2 分析可得,土壤中能够检测到的有机氯农药为:DDTs、HCHs、氯丹和六氯苯。但上述几种有机氯农药在土壤中的检出率有很大差异,DDTs 检出率为 100%,HCHs 检出率为 40%,而六氯苯、氯丹分别只为 20%、10%。从平均含量水平来看,含量较高的组分有 HCHs、DDTs,平均含量分别为 $1.86\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $12.35\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,这和我国 DDT 类农药和 HCH 类农药曾大量使用有关。

土壤中 DDTs 的组成特征见图 3。该图为等边三角形,3 个顶点分别为 DDT、DDD 和 DDE,X、Y、Z 轴分别代表 DDE、DDT、DDD 占总 DDTs 的质量比。根据 Hitch 等的研究成果,该三角图可划分为 A、B、C 3 个区域,在 A 区的所有样点,其 $W_{\text{DDT}}/(W_{\text{DDD}}+W_{\text{DDE}})>1$,表明有新的 DDT 输入;在 B 区的所有样点, $W_{\text{DDD}}/$

表 2 环鄱阳湖地区蔬菜地土壤中有机氯农药组成及含量($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)
Table 2 Component and concentration of organochlorine pesticides in vegetable soil along Poyang Lake($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)

检测物质	范围/ $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	平均值/ $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	检出率/%
α-HCH	ND~3.88	0.58	20
β-HCH	ND	ND	0
γ-HCH	ND	ND	0
δ-HCH	ND~5.47	1.28	30
ΣHCHs	ND~7.53	1.86	40
p,p'-DDE	ND~10.1	3.09	80
o,p'-DDT	ND~4.11	0.41	10
p,p'-DDD	ND~7.96	1.29	30
p,p'-DDT	ND~32.86	7.56	100
ΣDDTs	1.65~55.03	12.35	100
七氯	ND	ND	0
六氯苯	ND~2.10	0.22	20
环氧七氯	ND	ND	0
氯丹	ND~2.90	0.29	10
ΣOCPs	2.39~47.28	14.72	100

注:ND 为未检出或低于检出限,下同。

$W_{\text{DDE}}>1$,表明代谢产物主要为 DDD,并且其代谢环境为厌氧条件;在 C 区的所有样点, $W_{\text{DDD}}/W_{\text{DDE}}<1$,表明代谢产物主要为 DDE 且其代谢环境为好氧条件^[15]。据此可以判断,在环鄱阳湖区余干、都昌、星子、德安、永修、鄱阳、进贤、湖口土壤中有新的 DDT 输入,这可能与工业“三废”排放及 DDTs 的替代品三氯杀螨醇的使用有关^[9,16],南昌市、九江土壤中没有新的 DDT 输入。环鄱阳湖区蔬菜地土壤 $W_{\text{DDD}}/W_{\text{DDE}}$ 均小于 1,表明土壤中 DDT 降解环境为好氧条件,这与蔬菜地土壤翻耕程度大,土壤透气性好相一致^[2]。

2.3 生态风险评价

对于土壤生态风险评价模式,目前尚未建立统一

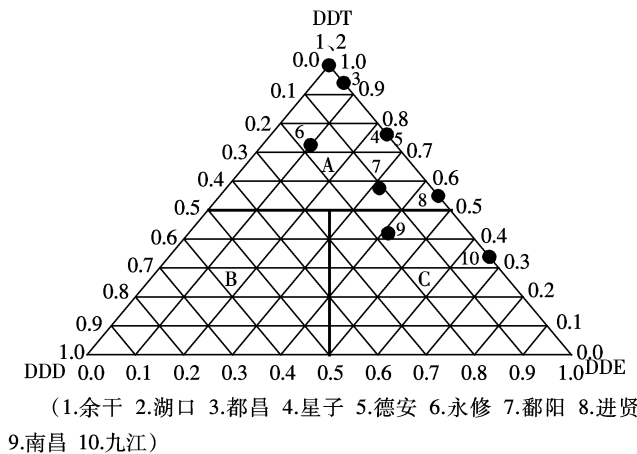


图 3 环鄱阳湖区蔬菜地土壤中 DDTs 组分三角图

Figure 3 Triangle diagram for DDTs compositions in vegetable soil along Poyang Lake

标准^[17],Urzelai 和 Jongbloed 等的土壤生态风险评价模式适用于菜地、水田、果园、林灌地等不同土壤类型^[18-20]。本研究对鄱阳湖区土壤 HCH 和 DDT 的风险评价拟分别参考 Urzelai 和 Jongbloed 等的研究成果,初步探讨环鄱阳湖区蔬菜地土壤中 HCH 和 DDT 的生态风险。

Urzelai 等^[18]以标准土壤(28%粘土,4%有机质)的污染物对土壤无脊椎动物的毒性影响为基准,计算得到 α -HCH、 β -HCH、 γ -HCH 引起土壤中 50%物种的风险残留水平分别为 $100.40\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $10000\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。由表 2 可以看出,蔬菜地土壤中 α -HCH、 β -HCH 和 γ -HCH 平均值分别为 $0.58\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、未检出和未检出,均远低于各自的风险残留水平,说明环鄱阳湖地区蔬菜地土壤 3 种主要有机氯农药对土壤无脊椎动物均没有造成毒性影响或毒性非常小,总体上环鄱阳湖地区蔬菜地土壤 HCHs 生态风险较低。

Jongbloed 等^[20]通过简单食物链模型计算得到了 DDT 产生次生毒性效应的土壤临界水平:对于鸟类,土壤 DDT 最大允许残留水平为 $11\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,对于哺乳动物为 $190\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,对土壤生物则为 $10\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。风险评估结果见表 3。由表 3 可见,环鄱阳湖区土壤中 DDTs 含量范围为 $1.65\sim45.36\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,最大值出现在永修,为 $45.36\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,湖口含量最低,为 $1.65\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。永修、德安、鄱阳、南昌市蔬菜地土壤中 DDTs 残留量高于 DDT 对土壤生物和鸟类产生次生毒性效应的临界风险水平,但都低于 DDT 对哺乳动物产生次生毒性效应的临界水平;其他如星子等地的 DDTs 残留量均低于 DDT 对土壤生物、鸟类和哺乳动物产生次生毒性效应临界水平。永修、德安地区 DDT 生态风险较

表 3 环鄱阳湖区蔬菜地土壤中 DDTs 的生态风险评价($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Table 3 Comparison of vegetable soil quality guidelines with DDTs along Poyang Lake($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)

采样点	土壤中 DDTs 含量	与 DDT 产生次生毒性效应对土壤生物、鸟类、哺乳动物的临界风险水平比较		
		土壤生物	鸟类	哺乳动物
永修	45.36	高	高	低
德安	20.58	高	高	低
星子	3.47	低	低	低
九江	7.07	低	低	低
湖口	1.65	低	低	低
都昌	2.14	低	低	低
鄱阳	15.41	高	高	低
余干	2.39	低	低	低
进贤	1.75	低	低	低
南昌市	23.62	高	高	低

高,而湖口、进贤地区生态风险较低,需要引起注意。总体上环鄱阳湖区蔬菜地土壤 DDTs 残留对该地区鸟类和土壤生物具有一定的生态风险,对哺乳动物风险较低。

3 结论

- (1)有机氯农药普遍残留在环鄱阳湖区蔬菜地土壤中,不同种类的有机氯农药含量差别较大。总 OCPs 含量范围为 $2.39\sim47.28\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,平均值为 $14.72\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,其中 DDTs、HCHs 是 OCPs 的主要组分。
- (2)环鄱阳湖区不同地区蔬菜地土壤 OCPs 的残留量存在较大差异,处于工业分布区域土壤中的有机氯农药含量高于其他区域,并且大部分地区的土壤中有新的污染源输入环境中,主要来源于工业污染物的排放和三氯杀螨醇的使用。
- (3)环鄱阳湖区蔬菜地土壤中的 HCHs 和 DDTs 总体残留水平较低,HCHs 对生态环境的风险较低,但 DDTs 可能对鸟类和土壤生物具有一定的生态风险。

参考文献:

[1] 杨国义,万开,张天彬,等. 广东省典型区域农业土壤中六六六(HCHs)和滴滴涕(DDTs)的残留及其分布特征[J]. 环境科学研究, 2008, 21(1):113-117.

YANG Guo-yi, WANG Kai, ZHANG Tian-bin, et al. Residues and distribution character of HCHs and DDTs in agricultural soils from the typical areas of Guangdong Province[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2008, 21(1):113-117.

[2] 张慧,刘红玉,张利,等. 湖南省东北部蔬菜土壤中有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.
- [3] 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):543-550.
- ZHAO Long, HOU Hong, GUO Ping-yi, et al. Distribution of organochlorine pesticides in soils in Haihe River and Haihe estuary area, China[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2009, 30(2):543-550.
- [4] Bidleman T F, Leone A D. Soil air exchange of organochlorine pesticides in the Southern United States[J]. *Environ Pollut*, 2004, 128(1/2):49-57.
- [5] 任 磊, 毕宇强, 苏 燕, 等. 五指山地区水和沉积物中 HCHs、DDTs 和 PCBs 分布特征及生态风险[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(5):1707-1713.
- REN Lei, BI Yu-qiang, SU Yan, et al. Distribution and risk assessment of DDTs, HCHs and PCBs in waters and surface sediments of Wuzhi-shan area [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26(5):1707-1713.
- [6] 熊智伟. 环鄱阳湖经济圈的发展研究[J]. 江西农业大学学报:社会科学版, 2007, 6(2):35-39.
- XIONG Zhi-wei. Research on the development of economic circle ring Poyang Lake[J]. *Journal of Jiangxi Agricultural University (Social Sciences Edition)*, 2007, 6(2):35-39.
- [7] 朱丽萌. 环鄱阳湖地区县域人口、城镇化与经济可持续发展的协同思考[J]. 当代财经, 2006(8):84-89.
- ZHU Li-meng. Thoughts on the relationship among such factors as population, urbanization and sustainable development of Poyang Lake ring counties[J]. *Contemporary Finance & Economics*, 2006(8):84-89.
- [8] Methods for organic chemical analysis of municipal and industrial waste water[S]. Method608-organochlorine pesticides and PCBs.
- [9] 刘 潇, 王 婷. 持久性有机污染物的现状及来源分析[J]. 安徽农学通报, 2008, 14(21):71-73.
- LIU Xiao, WANG Ting. Analysis present situation and source of persistent organic pollutant[J]. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2008, 14(21):71-73.
- [10] 张海秀, 蒋 新, 王 芳, 等. 南京市城郊蔬菜生产基地有机氯农药残留特征[J]. 生态与农村环境学报, 2007, 23(2):76-80.
- ZHANG Hai-xiu, JIANG Xin, WANG Fang, et al. Characteristics of organochlorine pesticide in soils in baguazhou non-polluted food base in Nanjing[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2007, 23(2):76-80.
- [11] Chen L G, Ran Y, Xing B S, et al. Contents and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons and organochlorine pesticides in vegetable soils of Guangzhou, China[J]. *Chemosphere*, 2005, 60(7):879-890.
- [12] 邱黎敏, 张建英, 骆永明. 浙北农田土壤中 HCH 和 DDT 的残留及其风险[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(6):1161-1165.
- QIU Li-min, ZHANG Jian-ying, LUO Yong-ming. Residues of HCH and DDT in agricultural soils of north if Zhejiang and its risk evaluation [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2005, 24(6):1161-1165.
- [13] 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.
- [14] 华小梅, 单正军. 我国农药的生产、使用状况及其污染环境因子分析[J]. 环境科学进展, 1996, 4(2):33-45.
- HUA Xiao-mei, SHAN Zheng-jun. The Production and application of pesticides and factor analysis of their pollution in environment in China [J]. *Advances in Environmental Science*, 1996, 4(2):33-45.
- [15] 张 颖, 摆亚军, 徐福留, 等. 河北水库及湖泊沉积物中 DDT 农药的残留特征与风险评估[J]. 环境科学学报, 2006, 26(4):626-631.
- ZHANG Ying, BAI Ya-jun, XU Fu-liu, et al. DDTs residues in sediments from Hebei Lakes and reservoirs and their risk evaluation[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2006, 26(4):626-631.
- [16] Gao H J, Xin J S, Wang F, et al. Residual levels and new inputs of chlorinated POPs in agricultural soils from Taihu Lake Region [J]. *Pedosphere*, 2005, 15(3):301-309.
- [17] 邵学新, 吴 明, 蒋科毅. 西溪湿地土壤有机氯农药残留特征及风险分析[J]. 生态与农村环境学报, 2008, 24(1):55-58.
- SHAO Xue-xin, WU Ming, JIANG Ke-yi. Distribution and risk assessment of organochlorine pesticides in the soils of Xixi wetland park[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2008, 24(1):55-58.
- [18] Urzela I A, Vega M, Angulo E. Deriving ecological risk based soil quality values in the Basque County[J]. *The Science of the Total Environment*, 2000, 247(2):279-284.
- [19] 章海波, 骆永明, 滕 应, 等. 珠江三角洲地区典型类型土壤中 DDT 残留及其潜在风险[J]. 土壤, 2006, 38(5):547-551.
- ZHANG Hai-bo, LUO Yong-ming, TENG Ying, et al. DDT residual in the typical soil types of Pearl River Delta region and its potential risk [J]. *Soils*, 2006, 38(5):547-551.
- [20] Jongbloed R H, Traas T P, Luttik R. A probabilistic model for deriving soil quality criteria based on econdary poisoning of top predators:II Calculations for Dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT)and Cadmium [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 1996, 34(3):279-306.