

铜污染农田表层土壤的持久性有机氯农药残留状况*

高 军^{1,2,3} 骆永明^{2†} 滕 应² 章海波² 陈声明¹

(1 浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 杭州 310029)

(2 中国科学院南京土壤研究所土壤环境与污染修复重点实验室, 土壤与农业可持续发展国家重点实验室, 南京 210008)

(3 淮阴工学院生命科学与化学工程学院, 江苏淮安 223001)

摘 要 土壤中持久性有机污染物往往与重金属共存形成混合污染, 但过去的研究较少关注它们在土壤中的相互影响。本研究选择典型铜污染区农田, 分析了铜不同污染程度的表层土壤中 HCB、HCHs 与 DDTs 等持久性有机氯农药的组分及含量。结果表明: DDTs 在土壤中的残留量随着土壤铜污染程度的加剧而上升; 土壤中铜抑制了 DDT 向 DDE 或 DDD 的转化, DDTs 残留量相对较大。供试土壤中持久性有机氯农药含量与有机质之间的相关性分析表明, 污染土壤中两者之间的相关性大于未污染土壤, 说明铜促进了土壤中的 DDTs 和 HCHs 与土壤有机质结合, 这可能是导致水田土壤中 DDTs 的平均含量显著高于旱地和林灌地土壤的原因之一。

关键词 DDT; HCH; Cu; 混合污染

中图分类号 X524 文献标识码 A

六氯苯(Hexachlorobenzene, HCB)、六六六(Hexachlorocyclohexane, HCH)、滴滴涕(Dichlorodiphenyltrichloroethane, DDT)等有机氯农药(Organochlorine pesticides, OCPs)因其具有较高的亲脂性、生物累积性及抗生物降解性, 并能随空气长距离的扩散而成为全球性的污染问题, 近 30 年来一直受到广泛的关注^[1-4]。2001 年签署的《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》中首批控制的 12 种持久性有机污染物中就有 9 种是有机氯农药。中国曾经是有机氯农药生产和使用的大国, 自 1950 年至 1983 年累计生产 DDT 约 40 万 t, HCH 约 490 万 t^[5]。虽然从 1983 年开始禁止生产和使用有机氯农药至今已有 20a, 但是目前仍能在土壤、水体、河流沉积物等多种介质中被检测出^[6,7]。据估计^[8], 我国受重金属污染的耕地近 2 000 万 hm², 受农药污染的耕地面积约 1 300~1 600 万 hm², 其中有部分存在重金属和持久性有机氯农药形成的混合污染。

有关土壤中持久性有机氯农药的研究过去多集中在区域性的调查研究上, 且为某些单一的持久性有机氯农药污染的农田土壤或沉积物^[7,9], 而对重金属污染典型区域土壤中持久性有机氯农药的残留降解情况几乎没有关注。已有研究表明^[10,11], 土壤溶液中金属离子的浓度与电荷能对土壤有机质与一

些持久性疏水性有机化合物的关系产生影响。但自然土壤中重金属离子是否对上述关系产生影响, 至今尚未证实。因此, 本文以不同程度铜污染的自然土壤为对象, 研究土壤中铜及有机质含量与 HCB、HCHs、DDTs 残留量的关系, 旨在探讨土壤中重金属与持久性有机氯农药的污染规律, 为混合污染农田土壤的控制和修复提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 样品采集

研究区位于浙江省杭州市附近, 面积约 10 km² 的南北向狭长农垦区。农业耕作以水稻和蔬菜种植为主, 东西两侧有少量的林灌地分布。20 世纪 70 年代至 80 年代, DDT 和 HCH 是该地区使用的主要杀虫剂, 尤其 DDT 在稻田中大量施用。该地区从北到南分布着十多个提炼废弃矿渣中铜锌的中小型冶炼厂, 是该地区主要的重金属污染源。

围绕该地区冶炼厂附近(距离冶炼厂 100 m 以内)采集表层(0~15 cm)土壤样品, 并同步采集离冶炼厂距离 500 m 以上的表层(0~15 cm)土壤样品, 其中稻田、旱地、林灌地土壤样品分别为 28 个、14 个和 9

* 国家重点基础研究发展规划项目(2002CB4108010)、国家自然科学基金重点项目(40432005)和中国科学院知识创新项目(kzcx2-yw-404, CXTD-Z2005-4)共同资助

† 通讯作者, E-mail: ymluo@issas.ac.cn

作者简介: 高 军(1968~), 男, 汉族, 博士研究生, 主要从事污染土壤的生物修复研究

收稿日期: 2006-03-29; 收到修改稿日期: 2007-07-13

个。每样区(约 2 500 m²)内采用梅花式 5 点采样, 每个样品由 5 个样点的样品混合形成代表样, 所有样品在测定铜含量的基础上, 参考我国土壤环境质量标准中对土壤铜污染的临界值划分方法^[12], 将土壤样品分为三大类: 未污染(< 100 mg kg⁻¹, n = 15)、轻污染(100~ 200 mg kg⁻¹, n = 21)与重污染(> 200 mg kg⁻¹, n = 17), 以分析土壤铜污染程度对持久性有机氯农药残留量的影响。土壤样品的基本理化性质见表 1。

表 1 供试土壤基本理化性质

Table 1 Some physio-chemical properties of test soils

土壤 Soil	有机质 OM (g kg ⁻¹)	pH (H ₂ O)	颗粒组成		
			Particle size composition (%)		
			砂粒 Sand	粉粒 Silt	黏粒 Clay
未污染土壤 Uncontaminated soil	31.9	5.3	19.9	64.8	15.3
轻污染土壤 Slightly contaminated soil	37.5	6.1	18.8	57.2	24.0
重污染土壤 Heavily contaminated soil	45.2	6.8	16.5	55.0	28.5

注: 表中数据为 3 次重复的平均值 Note: The data in the table are average values of three replicates

1.2 样品处理与有机氯农药测定

土壤样品采集后, 室温下自然风干, 研磨, 过

100 目筛。土壤中有机氯农药采用 40 ml 正己烷-丙酮混合溶剂(1: 1, v/v)作提取剂, 用超声波法提取, 提取液净化方法参见文献[9]。样品中有机氯农药的含量测定采用气相色谱仪(Varian 3800 配⁶³Ni 电子捕获检测器), 色谱柱为 CP-sil 24CB(30 m × 0.25 mm × 0.25 mm)石英毛细管柱, 载气为高纯氮, 进样口温度为 260 °C, 检测器温度为 300 °C, 柱升温程序为初始温度 120 °C(保持 0.5 min), 以 10 °C min⁻¹升至 180 °C(保持 1 min), 再以 15 °C min⁻¹升至 250 °C(保持 25 min)。对所测化合物采用标准品(美国 Supelco 公司)保留时间定性, 外标法峰面积定量, 数据的采集与处理使用 WorkStar 6.0 化学工作站。该方法的检测限为 0.1 ng g⁻¹, 信噪比为 3, 回收率为 76% ~ 114%, 相对标准偏差为 6% ~ 17%, 满足痕量有机化合物分析要求。

1.3 数据处理

实验数据为 3 次重复的平均值, 数据统计采用 SPSS10.0 和 Excel 2000 软件。

2 结果与分析

2.1 不同程度铜污染土壤中持久性有机氯农药的含量与组成

不同程度铜污染土壤中三类有机氯农药的检测结果表明: DDTs 的检出率最高(80.9%), 其次为 HCHs(68.7%)和 HCB(48.9%)。从表 2 可以看出,

表 2 不同程度铜污染土壤中有机氯农药含量与组成

Table 2 Composition and content of OCPs in soils with different copper pollution in degree (ng g⁻¹)

有机氯农药 Organochlorine pesticides	未污染土壤 Uncontaminated soil		轻污染土壤 Slightly contaminated soil		重污染土壤 Heavily contaminated soil	
	均值 Mean	范围 Range	均值 Mean	范围 Range	均值 Mean	范围 Range
	HCB	1.16	n. d. ~ 3.72	1.24	1.03 ~ 1.51	1.31
α-HCH	2.54	n. d. ~ 4.34	2.92	n. d. ~ 9.41	2.24	n. d. ~ 4.02
β-HCH	n. d.	n. d.	0.42	n. d. ~ 1.41	0.14	n. d. ~ 0.56
γ-HCH	0.24	n. d. ~ 0.90	0.24	n. d. ~ 0.96	0.49	n. d. ~ 1.95
δ-HCH	0.11	n. d. ~ 0.44	1.27	n. d. ~ 5.09	1.32	n. d. ~ 5.07
∑HCH	2.89	n. d. ~ 4.87	4.85	n. d. ~ 16.9	4.05	n. d. ~ 9.07
p, p'-DDD	0.77	n. d. ~ 1.42	2.09	n. d. ~ 5.11	2.05	n. d. ~ 6.52
p, p'-DDE	0.85	n. d. ~ 1.96	2.77	1.25 ~ 5.47	4.66	2.84 ~ 7.50
p, p'-DDT	2.29	n. d. ~ 4.70	7.53	3.80 ~ 12.7	28.1	6.92 ~ 45.8
∑DDT	3.91	n. d. ~ 7.01	12.38	5.08 ~ 18.3	34.8	11.1 ~ 50.4
OCPs	7.96	n. d. ~ 15.6	18.47	6.11 ~ 36.6	40.1	11.3 ~ 63.4

n. d. 表示低于检测限 n. d. is below the detectable value; ∑DDT 为 p, p'-DDT、p, p'-DDE 和 p, p'-DDD 含量之和 ∑DDT is the sum of p, p'-DDT, p, p'-DDE and p, p'-DDD; ∑HCH 为 α-HCH、β-HCH、γ-HCH 和 δ-HCH 的含量之和 ∑HCH is the sum of α-HCH, β-HCH, γ-HCH and δ-HCH; ∑OCPs 为所有检测到的有机氯农药的含量之和 ∑OCPs is the sum of HCB, ∑DDT and ∑HCH

从铜未污染到重污染的三个水平下, 三种有机氯农药在土壤中的残留量都表现出了不同的趋势。HCB 残留量随铜污染程度上升略有升高; HCHs 的异构体中, γ -HCH 和 δ -HCH 的含量均随铜污染程度上升略有上升, Σ HCH 的含量在铜轻污染土壤中达到最高, 在重污染水平下又略有下降, 但它们在含量上均未达到显著差异($p > 0.05$); 而 DDT 及其代谢物中 p , p' -DDE、 p , p' -DDT 和 Σ DDT 的含量均随着铜污染水平的上升而显著增加, 铜重污染土壤中 DDT 的总量是未污染土壤中的 10 倍左右。不同程度铜污染土壤中 HCH、DDT 异构体组成以 α -HCH、 p , p' -DDT 为主。

2.2 不同利用方式下土壤中持久性有机氯农药的含量与组成

如图 1 所示, Σ DDT 的含量在水稻土中平均值为 21.3 ng g^{-1} , 明显高于旱地和林灌地土壤中的含量(分别为 11.9 ng g^{-1} 和 3.8 ng g^{-1}), 但是其他两种有机氯农药(HCB 和 HCHs) 在三种利用方式土壤中的含量未发现这一差异。这可能是持久性有机氯农药的使用量不同造成的。DDTs 在 20 世纪 70 年代作为主要杀虫剂广泛应用于水稻生产中^[5]。龚忠明等^[9]对天津地区农田表层土壤研究发现, 20 多年前 DDT 的使用量对所研究土壤中其残留水平起主要作用。本研究三种利用方式下土壤有机氯农药组分百分含量表明: 稻田土壤中以 p , p' -DDT 与 p , p' -DDE 为主, 分别占 DDTs 总量的 62.2% 和 27.4%, 而旱地土壤中 p , p' -DDT 与 p , p' -DDE 分别占其总量的 77.9% 和 15.1%。HCB 与 HCHs 在三种土地利用方式下总量未表现出明显差异, 其中 HCHs 在旱地与稻田土壤中均以 α -HCH 为主, 分别为 59.0% 和 72.9%; 而在林灌地土壤中以 β -HCH 为主(49.0%), α -HCH 仅占总量的

39.8%, 可见不同土地利用方式下土壤中的残留农药组成比例存在一定程度的差异。

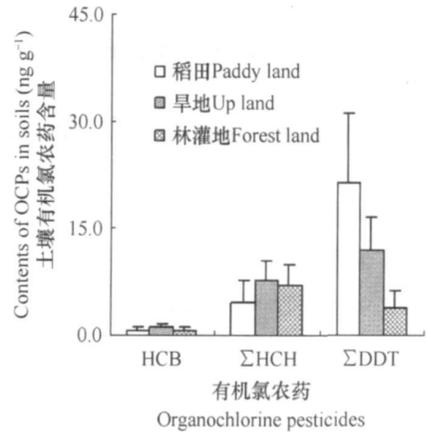
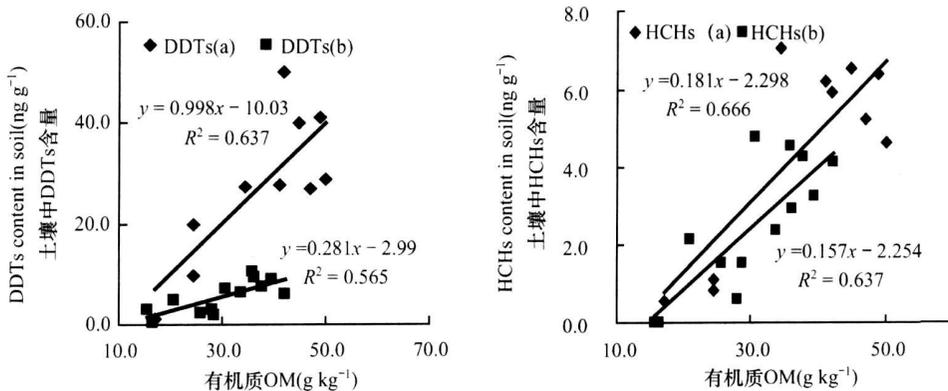


图 1 不同利用方式下土壤中有有机氯农药的含量

Fig. 1 Contents of organochlorine pesticides (OCPs) in the soils different in land use

2.3 铜污染土壤中持久性有机氯农药与有机质的关系

HCB、HCHs 与 DDTs 均为疏水性有机化合物, 很容易与土壤有机质相结合, 因而土壤有机质含量往往影响其在土壤中的残留水平^[13]。为了进一步分析土壤中铜含量对持久性有机氯农药含量与土壤有机质关系的影响, 对 pH 在 5.0~7.0 范围内, 铜未污染($< 100 \text{ mg kg}^{-1}$, $n = 12$) 和铜污染($> 100 \text{ mg kg}^{-1}$, $n = 10$) 水稻土中持久性有机氯农药与土壤有机质含量进行了相关性分析(图 2)。结果表明, 铜污染土壤中 DDTs、HCHs 的残留量受土壤有机质的影响比未污染土壤中要大, 但两者的差异 DDTs 表现更为明显。



(a) 污染土壤 Contaminated soil; (b) 未污染土壤 Uncontaminated soil

图 2 不同程度铜污染土壤中 DDTs、HCHs 与土壤有机质含量关系

Fig. 2 Correlations between DDTs, HCHs and OM in soils different in soil copper content

3 讨论

3.1 铜污染对土壤中持久性有机氯农药残留组成的影响

通过对 DDE/DDT、DDD/DDT 和 DDD/DDE 比值的比较,可以看出 DDT 在土壤中的降解途径^[14]。以往的研究将 DDT/(DDE+DDD)的比值与 1.0 作比较来判断有无新的 DDT 输入^[15],但实际上可能由于土壤环境的改变,导致 DDT 不适宜向 DDE 或

表 3 DDTs 在不同铜水平土壤中的组成比例

Table 3 Composition ratios of DDTs in soils with different Cu contents

DDT 异构体比值 Ratio of isomers of DDTs	水稻田土壤 Paddy soil		旱地土壤 Upland soil	
	Cu < 100 mg kg ⁻¹	Cu > 100 mg kg ⁻¹	Cu < 100 mg kg ⁻¹	Cu > 100 mg kg ⁻¹
	DDT/(DDE+DDD)	1.53	2.28	2.87
DDD/DDE	0.32	0.66	0.48	0.35
DDD/DDT	0.16	0.17	0.11	0.06
DDE/DDT	0.49	0.26	0.23	0.17

Gaw 等^[17]认为土壤中铜能够抑制 DDT 降解成 DDE,在铜含量较高的土壤中,土壤中的微生物群落结构发生了改变,耐铜微生物取代了降解 DDT 的微生物的优势地位而成为优势种群。滕应等^[18]对尾矿区土壤的微生物生态调查也发现,土壤中铜的含量能显著改变土壤微生物群落结构。赵祥伟等^[19]对该采样区土壤微生物群落遗传多样性研究表明,土壤中铜等重金属的污染能明显改变微生物群落遗传多样性。

在本研究中,不同程度铜污染水平下土壤中 HCHs 与 HCB 的含量均未表现出明显差异 ($p > 0.05$),这可能是由于它们本身的性质或参与降解这两种农药的微生物对铜的生理反应机制不同于降解 DDT 的微生物导致的。

3.2 铜污染对土壤中持久性有机氯农药与有机质含量关系的影响

土壤中的有机质主要通过疏水性有机化合物结合来影响持久性有机氯农药在土壤中的残留量和存在状态^[13,20,21]。本研究发现在水稻土中 DDTs 和 HCHs 的残留量随着土壤有机质含量的增加而增加(图 2),且在铜污染土壤中的增幅要较非污染土壤中大,尤其 DDTs 增幅二者相差 1 倍左右。说明在铜污染土壤中有有机质对 DDTs 和 HCHs 的吸附能力大于未污染的土壤。导致这种结果的原因可能是一方

面由于污染土壤中较高浓度的铜含量改变了有机质的结构。有研究表明^[10],金属离子能与有机质的极性官能团(如 -COOH, -OH)结合,尤其是当二价金属离子存在时,这种结合能导致有机质分子形成团聚体,使得极性区域减少,而非极性区域增加,更有利于疏水性有机化合物的结合;另一方面,铜影响有机质对持久性有机氯农药的吸附,其可能机制是通过影响持久性有机氯农药在土壤溶液中的浓度来实现的。因为疏水性有机化合物在土壤溶液中的浓度也受到土壤溶液中金属离子的影响,随着金属离子价数的增加,化合物在土壤溶液中的浓度会下降,而与土壤有机质的亲和力反而会上升^[11]。DDTs 和 HCHs 均为典型的疏水性有机氯化合物,土壤铜对他们与有机质关系的影响有可能是通过上述两种机制来实现的,最终形成铜-有机质-农药团聚体。

铜污染土壤中有有机质与持久性有机氯农药的这种关系,使得水稻土中 DDTs 残留量显著高于其他土地利用类型中的残留量。土壤中的残留量与过去使用量具有一定的相关性^[22],DDT 在 20 世纪 70 年代作为主要杀虫剂,广泛用于水稻生产^[5];另一方面与水稻土有机质含量高于旱地、林灌地土壤有关,该地区水稻土中有机质平均含量为 42.3 g kg⁻¹,而旱地和林灌地土壤有机质平均含量分别为 29.1 g kg⁻¹和 18.8 g kg⁻¹。

4 结 论

铜污染典型区农田土壤中,不同程度铜污染对表层土壤中 DDTs 的残留量产生了显著影响,而对 HCB 和 HCHs 的影响不显著。铜增加了 DDTs 与土壤有机质的结合能力,也可能存在新的 DDT 源;而 HCHs 和 HCB 可能由于其自身特性及不同的微生物降解机制使得它们受铜污染的影响较小。这一结果提示我们,在重金属与持久性有机氯农药混合污染土壤修复中,应对重金属、持久性有机氯农药以及土壤中降解微生物的相互关系方面给予高度重视。

致 谢 本研究中土壤样品的野外采集、室内整理以及土壤重金属含量和基本理化性质的分析,得到了中国科学院南京土壤研究所土壤与环境生物修复研究中心全体人员的帮助,在此深表谢意!

参 考 文 献

- [1] Woodwell G M, Craig P P, Johnson H A. DDT in the biosphere: Where does it go? *Science*, 1971, 174: 1 101~ 1 107
- [2] Merier P G, Fook D C, Lagler K F. Organochlorine insecticides in rice paddies in Malaysia. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 1983, 30: 351~ 357
- [3] Wu Y, Zhang J, Zhou Q. Persistent organochlorine residues in sediments from Chinese river/estuary systems. *Environmental Pollution*, 1999, 105: 143~ 150
- [4] Fu J M, Mai B X, Sun G Y, *et al.* Persistent organic pollutants in environment of the Pearl River Delta, China: An overview. *Chemosphere*, 2003, 52: 1 411~ 1 422
- [5] 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. *环境科学进展*, 1996, 4(2): 33~ 45. Hua X M, Shan Z J. The production and application of pesticides and factor analysis of their pollution in environment in China (In Chinese). *Advances in Environmental Science*, 1996, 4(2): 33~ 45
- [6] Zhang Z L, Hong H S, Zhou J L, *et al.* Fate and assessment of persistent organic pollutants in water and sediment from Minjiang River Estuary, Southeast China. *Chemosphere*, 2003, 52: 1 423~ 1 430
- [7] 袁旭音, 王禹, 陈骏, 等. 太湖沉积物中有机氯农药的残留特征及风险评估. *环境科学*, 2003, 24(1): 121~ 125. Yuan X Y, Wang Y, Chen J, *et al.* Organochlorine residues of sediments in Taihu Lake and its risk evaluation (In Chinese). *Environmental Science*, 2003, 24(1): 121~ 125
- [8] 朱荫涓, 周启星. 土壤污染与我国农业环境保护的现状、理论和展望. *土壤通报*, 1999, 30(3): 132~ 135. Zhu Y M, Zhou Q X. Status, theories and prospects of soil pollution and agricultural environmental protection in China (In Chinese). *Chinese Journal of Soil Science*, 1999, 30(3): 132~ 135
- [9] Gong Z M, Tao S, Xu F L, *et al.* Level and distribution of DDT in surface soils from Tianjin, China. *Chemosphere*, 2004, 54: 1 247~ 1 253
- [10] Saison C, Perrin Ganier C, Amellal S. Effect of metals on the adsorption and extractability of ¹⁴C phenanthrene in soils. *Chemosphere*, 2004, 55: 477~ 485
- [11] Jones K D, Tiller C L. Effect of solution chemistry on the extent of binding of phenanthrene by a soil humic acid: a comparison of dissolved and clay bound humic acids. *Environmental Science & Technology*, 1999, 33: 580~ 587
- [12] 国家环境保护总局. GB15618 1995 土壤环境质量标准. 北京: 中国标准出版社, 1995. 84~ 86. State Environmental Protection Administration of China. *Environmental Quality Standard for Soils (GB15618—1995)* (In Chinese). Beijing: China Standards Press, 1995. 84~ 86
- [13] Meijer S N, Ockenden W A, Sweetman A, *et al.* Global distribution and budget of PCBs and HCB in background surface soils: implications for sources and environmental process. *Environmental Science and Technology*, 2003, 37: 667~ 672
- [14] Fellenberg G. *The chemistry of pollution*. England: John Wiley & Sons, 2000, 113~ 127
- [15] Hamer T, Wideman J L, Jantunen L M N, *et al.* Residues of organochlorine pesticides in Alabama soils. *Environmental Pollution*, 1999, 106: 323~ 332
- [16] 孙淑娟. 浅谈乌牛早茶卫生质量管理. *中国茶叶加工*, 2004, (1): 18~ 19. Sun S J. Primary analysis on the treatment of tea sarritation (In Chinese). *The Process of Chinese Tea*, 2004, (1): 18~ 19
- [17] Gaw S K, Palmer G, Kim N D, *et al.* Preliminary evidence that copper inhibits the degradation of DDT to DDE in pip and stonefruit orchard soils in the Auckland region, New Zealand. *Environmental Pollution*, 2003, 122: 1~ 5
- [18] 滕应, 黄昌勇, 骆永明, 等. 铅锌银尾矿区土壤微生物活性及其群落功能多样性研究. *土壤学报*, 2004, 41(1): 113~ 119. Teng Y, Huang C Y, Luo Y M, *et al.* Microbial activities and functional diversity of community in soils polluted with Pb Zn Ag mine tailings (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2004, 41(1): 113~ 119
- [19] 赵祥伟, 骆永明, 滕应, 等. 重金属复合污染农田土壤的微生物群落遗传多样性研究. *环境科学学报*, 2005, 25(2): 186~ 191. Zhao X W, Luo Y M, Teng Y, *et al.* Genetic diversity of microbial communities in farmland soils contaminated with mixed heavy metals (In Chinese). *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2005, 25(2): 186~ 191
- [20] Ribes A, Grimalt J O. Temperature and organic matter dependence of the distribution of organochlorine compounds in mountain soils from the subtropical Atlantic (Teide, Tenerife Island). *Environmental Science and Technology*, 2002, 36: 1 879~ 1 885
- [21] Valle M D, Jurado E, Dachs J, *et al.* The maximum reservoir capacity of soils for persistent organic pollutants: Implications for global cycling. *Environmental Pollution*, 2005, 134: 153~ 164
- [22] Miersman T A, Pepper C B, Anderson T A, *et al.* Organochlorine pesticides in elementary school yards along the Texas Mexico border. *Environmental Pollution*, 2003, 126: 65~ 71

RESIDUE OF PERSISTENT ORGANOCHLORINE PESTICIDES IN AGRICULTURAL SURFACE SOIL CONTAMINATED WITH COPPER

Gao Jun^{1,2,3} Luo Yongming^{2†} Teng Ying² Zhang Haibo² Chen Shenming¹

(1 College of Biosystem Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

(2 Key Laboratory of Soil Environment and Pollution Remediation, Key State Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture,
Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

(3 College of Life Science and Chemistry Engineering, Huaiyin Institute of Technology, Huai'an, Jiangsu 223001, China)

Abstract Soil pollution mixed by persistent organic pollutants (POPs) and heavy metals is widely distributed in farmland. However, little attention has been paid to their interaction in soil. Surface soil samples were collected from a typical copper contaminated farmland in Fuyang of Zhejiang province and analyzed for organochlorine pesticides (OCPs), such as HCB, HCHs and DDTs. The results showed that soil total content of DDT increased with the degree of copper contamination in soil probably as a result of an inhabitation from DDT metabolized to DDE or to DDD by the high copper content. Correlation analysis indicated a closer relationship between the content of OCPs and the content of organic matter in the copper contaminated soil, implying that copper pollution might have promoted combination of DDTs and HCHs with organic matter in the soil. This result also likely accounted for the higher content of DDTs in paddy soil than that in upland soil since higher content of copper were generally found in paddy field in this investigation area.

Key words Copper; Organochlorine pesticides; Soil mixed pollution