

香港土壤研究*

土壤中有机氯化化合物的含量和组成

章海波^{1,3} 骆永明^{1,3†} 赵其国^{1,3} 张甘霖^{1,3} 黄铭洪²

(1 中国科学院南京土壤研究所与香港浸会大学土壤与环境联合开放研究实验室,土壤与环境生物修复研究中心,土壤与农业可持续发展国家重点实验室,南京 210008)

(2 香港浸会大学裘槎环境科学研究所,香港九龙塘)

(3 中国科学院研究生院,北京 100039)

摘要 通过对香港地区 46 个代表性土壤表层样品的 8 种有机氯农药 (OCPs) 和 6 种多氯联苯 (PCBs) 含量及其组成的分析,初步揭示了香港土壤中有机氯化化合物的分布及残留情况。研究结果表明:香港土壤中有机氯农药主要是一些相对难降解的化合物如 γ -HCH 和 p, p -DDE,两者在土壤中的平均含量分别为 $6.12 \mu\text{g kg}^{-1}$ 和 $0.41 \mu\text{g kg}^{-1}$,远低于荷兰的土壤修复目标值。PCBs 在土壤中的检出率很低,且含量基本均小于 $0.1 \mu\text{g kg}^{-1}$ 。此外,六六六 (HCH) 在目前的残留状态下,可能受到土壤 pH (KCl) 和总有机碳 (TOC) 的影响,而其他有机氯农药的含量并未呈现出与土壤的理化性质的相关性。

关键词 香港土壤;有机氯农药 (OCPs);多氯联苯 (PCBs);残留;空间分布

中图分类号 X825 文献标识码 A

2000 年通过的《关于持久性有机污染物 (POPs) 的斯德哥尔摩公约》中列出了 12 类在环境中需要优先控制的持久性有机污染物,包括 8 种杀虫剂 (艾试剂和滴滴涕 (DDT) 等), 2 类工业化学物质 (多氯联苯 (PCBs) 和六氯苯 (HCB)) 和 2 类由氯或含氯物质燃烧产生的工业副产品 (二噁英和呋喃)。这 12 类物质加上六六六 (HCH) 都是含氯有机化合物,它们在环境中具有长期残留性、生物蓄积性、半挥发性和高毒性,能够在大气环境中长距离地迁移并且能沉积、回到地球,对人类健康和生态环境都具有严重的危害^[1]。香港地区的工业虽然不多,但每年仍然有一定量的工业和制造业的原料进口香港,成为该地区 POPs 污染的一个来源,比如液体电介质变压器在 1993~2000 年之间将近增加了 50 万台^[2],而这些变压器又是通常以 PCBs 类物质作为热稳定剂的,对废弃的变压器处理不当则会导致环境中 PCBs 的污染。过去的研究就发现香港的海洋沉积物和河流沉积物中具有严重的 PCB 污染^[1,3]。有机氯杀虫剂在过去几年里大都用于室内外的害虫控制,比如在高尔夫球场上的使用^[4]。其中 DDT 虽然于 1988 年在香港

就被禁止使用,但由于在环境中的持久性,在一些沉积物中仍然可以检测到 DDT、HCH 以及其他有机氯农药,并且在有些地方的含量还比较高^[5],在大气中也普遍检测到 HCH 和 HCB 的存在^[6]。

土壤作为环境中的一个重要组成部分,一方面可以承接来自其他环境介质的污染物,POPs 物质大都具有亲脂性特点,因此它可以被土壤中的有机物质强烈地吸附^[7];另一个方面,它也可以作为其他环境介质的污染源,对生态和人体健康构成危害。通过土壤与大气的交换,或者在表土遭侵蚀后进入水体,也可以通过食物链进入动植物甚至人体中^[1,8]。Wong 等^[9]调查发现香港和广州两地母乳中的 DDT 和 HCH 的平均含量要比一些欧洲国家母乳中的平均含量高 2~15 倍,具有严重的人体健康风险。但过去对香港地区的持久性有机氯化化合物的研究主要体现在土壤以外的环境介质和生物体中,而对土壤环境中的有机氯化化合物的残留情况知之甚少。本研究的目的是了解处于高度城市化而农业极度萎缩,且在热带海岛季风气候影响下的香港土壤中有机氯化化合物的残留含量和分布情况。以期更全面地了

* 国家重点基础研究发展规划项目 (2002CB410810/09) 和中国科学院知识创新工程重点项目 (KZCX3-SW-429-2) 资助

† 通讯作者, E-mail: ymluo@mail.issas.ac.cn

作者简介:章海波 (1977~),男,浙江临安人,博士研究生,主要从事区域土壤污染与环境质量评价研究。E-mail: hbzhang@issas.ac.cn

收稿日期:2005-03-01;收到修改稿日期:2005-06-28

解这些《斯德哥尔摩公约》中需要控制或清除的持久性有机污染物在区域土壤环境介质中的分布规律及其健康风险评价提供一些基础资料。

1 材料与方法

研究区的概况以及样品的采集参见文献[10], 采集郊野土壤样品 271 个, 包括 51 个剖面样品和 44 个表层样品, 根据土地利用方式和空间分布的均匀性选择了其中的 46 个代表性的表层样品进行有机氯化化合物的分析。

土壤中有机氯化化合物采用超声提取法进行提取^[11], 提取后样品采用柱层析法进行纯化, 纯化分离后的样品经旋转蒸发后用正己烷定容至 1ml 后到 GC/ECD (Agilent 6890) 分析, 具体分析参见文献[12]。本研究的有机氯化化合物包括 6 种为全球环境监测规划/食品部分 (GEMS/ Food) 规定的作为环境污染指示物的 PCBs (PCB28、PCB52、PCB101、

PCB138、PCB153 和 PCB180) 和 8 种有机氯农药 (DDT、HCH、艾氏剂、狄氏剂、异狄氏剂、HCB、七氯、硫丹)。以这 8 种有机氯农药含量之和作为香港土壤有机氯农药的总含量。数据的统计分析采用 SPSS 11.0, 作图采用 SigmaPlot 7.0。

2 结果与讨论

2.1 香港土壤中有机氯农药的含量

从检测结果来看, 在香港土壤中能够检测到的有机氯农药为: DDT、HCH、异狄氏剂、HCB 和硫丹的异构体, Wong 和 Poon^[4] 过去对部分香港农用地土壤的检测中也发现有一定量的 DDT 和异狄试剂残留。但上述几种有机氯农药在土壤中的检出率有很大的差异: HCH 的检测率达到 100%, DDT 的检出率也有 93.5%, 异狄氏剂和 HCB 分别为在 32.6% 和 10.9%, 硫丹的异构体则只在一个样品中被检测到, 且含量甚微。表 1 是香港土壤中检测到的有机氯农药的含量。

表 1 香港土壤中有机氯农药的含量

Table 1 Mean and range of organochlorine pesticides contents ($\mu\text{g kg}^{-1}$) in soils of Hong Kong

有机氯农药 ¹⁾ Organochlorine pesticides	平均值 Mean value	最小值 Min. value	最大值 Max. value	Dutch List A 值 Dutch List A value
DDT	0.52	nd ²⁾	5.7	2.5
<i>o, p</i> -DDT	0.06	nd	0.2	—
<i>p, p</i> -DDT	0.03	nd	0.4	—
<i>p, p</i> -DDE	0.41	nd	5.7	—
<i>p, p</i> -DDD	0.02	nd	0.3	—
HCH	6.19	2.5	11	10
-HCH	0.06	nd	0.3	2.5
-HCH	6.12	2.5	11	1
-HCH	0.01	nd	0.1	0.05
异狄氏剂 Endrin	0.01	nd	0.1	1
六氯苯 Hexachlorbenzene	0.01	nd	0.3	2.5
-硫丹 -Endosulfan	极微量	—	—	—
OCPs	6.74	3.0	12.5	—

1) DDT 为 *o, p*-DDT、*p, p*-DDT、*p, p*-DDE 和 *p, p*-DDD 的含量之和; HCH 为 -HCH、-HCH 和 -HCH 的含量之和; OCPs 为所有检测到的有机氯农药的含量之和 DDT is the sum of *o, p*-DDT, *p, p*-DDT, *p, p*-DDE and *p, p*-DDD, HCH is the sum of -HCH, -HCH and -HCH, OCPs is the sum of all detectable OCPs in the soils of Hong Kong. 2) nd: 低于检测限 Below the detection limit

从表 1 中可以看出, 香港土壤中有机氯农药的总含量在 $3.0 \sim 12.5 \mu\text{g kg}^{-1}$ 之间, 平均为 $6.74 \mu\text{g kg}^{-1}$, 65% 以上检测的样品中有机氯农药的总含量在 $5.0 \sim 7.0 \mu\text{g kg}^{-1}$ 之间, 而含量相对较高 (大于 $10.0 \mu\text{g kg}^{-1}$) 的 3 个样品分别采自屯门 (Tun Men)、八仙岭 (Pat Sin Leng) 和大帽山 (Tai Mao Shan) 脚, 其

中后两处过去都曾作为农业用地。从整个香港地区有机氯农药的平均含量来看, DDT 和 HCH 是香港土壤中有机氯农药的重要组成部分, 其总的平均值 DDT 和 HCH 分别为 $0.52 \mu\text{g kg}^{-1}$ 和 $6.12 \mu\text{g kg}^{-1}$ 。与荷兰制定的土壤修复目标值 (Dutch List A 值)^[13] 相比, 显然要小些; 与我国的《土壤环境质量标准》

(GB15618-1995)中 DDT 和 HCH 的一级标准值 $50 \mu\text{g kg}^{-1}$ 相比也要小许多;也要比整个珠江三角洲地区土壤中的 DDT 和 HCH 的平均含量(分别为 $37.6 \mu\text{g kg}^{-1}$ 和 $12.2 \mu\text{g kg}^{-1}$)^[11] 低许多。DDT 和 HCH 在香港和内地都已经被禁止使用 10 多年,但这两种农药于 1983 年禁用后在珠江三角洲的个别地区却仍然发现有非法使用的情况^[14]。而香港具有严格的农药进出口登记和管理制度,并且农业用地的面积不到总土地面积的 6%,目前以有机农业为主^[15],这可能是两地土壤中 DDT 和 HCH 含量具有较大差异的一个原因。

其他发现的有机氯农药的含量都很低,如异狄试剂虽然在港岛以外地区的土壤中都有发现,但含量在 $0.007 \sim 0.093 \mu\text{g kg}^{-1}$ 之间,远小于 Dutch List A 值;HCB 的情况也是如此,检测到 HCB 的 5 个样品中的含量在 $0.007 \sim 0.31 \mu\text{g kg}^{-1}$ 之间,尽管作为除草剂已经被禁止使用,但如果一些含氯工业的废弃物处理不当可能会成为 HCB 的另一个来源^[16]。

2.2 香港土壤中 DDT 和 HCH 的组成

工业生产的 DDT 一般是由 1.0 5.55 的 *o, p*-DDT 和 *p, p*-DDT 的混合物组成^[17],进入土壤后,主要在微生物的作用下 *o, p*-DDT 降解为 *o, p*-DDE 和 *o, p*-DDD, *p, p*-DDT 降解为 *p, p*-DDE 和 *p, p*-DDD,但在香港土壤中并没有检测到 *o, p*-DDT 的代谢产物。通过计算 *o, p*-DDT 与 *p, p*-DDT 及其代谢产物 *p, p*-DDE 和 *p, p*-DDD 之和的比值,发现土壤中的 DDT 同工业生产的原始 DDT 的组成有很大差

异。从整个香港地区的平均值来看,*o, p*-DDT 与 *p, p*-DDT 比值接近 1.0 1.25,表明 *p, p*-DDT 在该地区土壤中的活性要大于 *o, p*-DDT,与温带污染土壤中的 DDT 残留情况不同^[18]。DDT 在土壤中的降解有多种途径,一般在有氧条件下降解为 DDE,而在厌氧条件下转化为 DDD^[19,20];向 DDD 的转化可以是直接转化,也可以通过 DDE 间接转化^[6]。香港土壤中 *p, p*-DDE 的含量占了 *p, p*-DDT 的 80% 以上,是 DDT 的主要组成部分,一方面说明了 *p, p*-DDT 在土壤中的转化途径以有氧转化为主。通过对 DDD/DDE、DDD/DDT 和 DDE/DDT 三个比值的比较也证明了这一点,即 DDD/DDE 和 DDD/DDT 的值均明显小于 DDE/DDT 的值(表 2),说明 DDT 到 DDD 的直接转化和间接转化虽然可能存在,但都不是主要途径。另一方面以代谢产物 DDE 为主的 DDT 组成说明了土壤中的 DDT 属于残留 DDT,并非新的输入。因为如果根据 DDT/DDE 大于 1 作为有新的 DDT 输入的依据^[21],则香港土壤中绝大多数样品的 *p, p*-DDT/(*p, p*-DDD + *p, p*-DDE) 的比值都小于 1,证明目前土壤中检测到的只是过去使用后的残留物。香港是在 1988 年开始禁止使用 DDT,而 DDT 在土壤中的半衰期有 20~30 a 之久^[22]。但同时也发现从米浦(Mai Po)和大屿山愉景湾(Discovery Bay)两地采集的土壤中该比值分别为 17.5 和 8.52,远大于 1.0,不过这两处的 *p, p*-DDT 含量却分别只有 $0.35 \mu\text{g kg}^{-1}$ 和 $0.23 \mu\text{g kg}^{-1}$,远远小于荷兰的土壤修复目标值,所以可能是由于这两地的土壤环境不利于微生物对 *p, p*-DDT 的代谢转化有关^[23]。

表 2 香港土壤中检测到的 DDT 和 HCH 的组成情况

Table 2 Composition of detected DDT and HCH in soils of Hong Kong

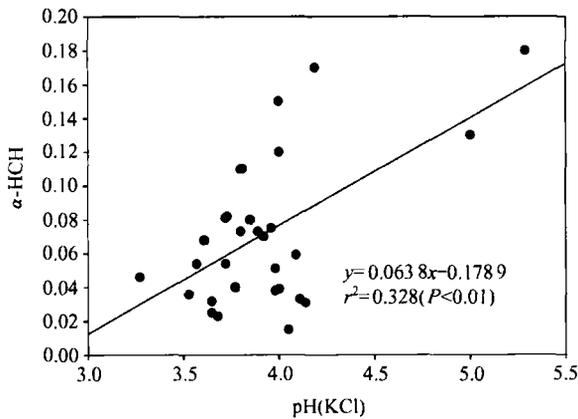
化合物比值 ¹⁾ Ratios of compounds	平均值 Mean value	最小值 Min. value	最大值 Max. value	参考值 Reference value
<i>o, p</i> -DDT/ <i>p, p</i> -DDT	0.8	0.1	7.8	1.8
DDT/(DDE + DDD)	0.8	0.1	18	1.0
DDD/DDE	0.4	0.1	1.0	—
DDD/DDT	1.2	0.4	2.9	—
DDE/DDT	3.2	0.1	17	—
γ -HCH/ α -HCH	6.0	0.3	52	3—10

1) DDT、DDE 和 DDD 分别表示 *p, p*-DDT、*p, p*-DDE 和 *p, p*-DDD; *p, p*-DDT 为 *p, p*-DDT、*p, p*-DDE 和 *p, p*-DDD 之和 DDT, DDE 和 DDD means *p, p*-DDT, *p, p*-DDE and *p, p*-DDD, respectively; *p, p*-DDT is the sum of *p, p*-DDT, *p, p*-DDE and *p, p*-DDD

环境中的 HCH 主要来自杀虫剂的使用,包括工业级 HCH 和林丹。工业级 HCH 是指以 γ -HCH 异构体为主的 HCH 异构体的混合物,而林丹则几乎为纯的 γ -HCH^[24]。目前,HCH 在香港已经被禁止使用,但没有资料表明过去使用哪种 HCH 较多和它们

的使用量。通过对土壤中检测到的 γ -HCH 与 α -HCH 的比较发现,大多数样品的 γ -HCH/ α -HCH 比值在 0.3~5.0 之间,整个香港地区平均为 6.0(表 2),而该比值在典型的工业级 HCH 中为 3~10^[25],比较接近,认为过去在香港地区使用的可能主要为

工业级 HCH,但考虑到 α -HCH 的蒸汽压比 γ -HCH 要高,即比 γ -HCH 更容易从土壤中挥发到空气中^[26],所以仅仅从土壤中检测到的结果并不能排除过去有林丹的使用。在组成香港土壤的 HCH 的异构体中, α -HCH 占了 HCH 的 95.8%~100%,是 HCH 异构体混合物中的主要成分,与原始的工业 HCH 和林丹的成分相比发生了很大的变化,说明土壤中的 HCH 是过去使用后的残留,在该区域没有新的 HCH 投入使用。与几乎在同时期该区域内的河流沉积物、港口沉积物以及大气样品中检测到的 HCH 相比,后三者以 α -HCH 和 γ -HCH 为主^[3,27],表明 α -HCH 在土壤中是相对稳定的。这与它本身的物理化学性质有关,因为 α -HCH 的分子结构中氯原子的排布关系,使得它没有像其他 HCH 的异构体那样容易被微生物降解^[28,29],同时辛醇水分配系数 ($\text{Log } K_{ow} = 3.78$) 较高和蒸汽压 (3.6×10^{-7} mmHg, 20) 较低使它更容易与土壤有机质结合而相对较少地随水流迁移或挥发进入大气^[26,30],这些特性使它能够在土壤中长期稳定的存在。另外,Wu 等^[31]通过培养实验证明 α -HCH 能在微生物作用下异构化为 γ -HCH,这也是 α -HCH 在 HCH 异构体中占主要成份的原因之一。



2.3 土壤理化性质对有机氯农药残留的影响

有机氯化物因为具有疏水性而在土壤中常与有机物质紧密结合,所以土壤有机碳的含量对有机氯化物在土壤中的含量往往具有很大的影响^[18,29,32]。也有报道认为,因为土壤 pH 的改变会影响腐殖质的结构,从而间接地影响了有机氯农药在土壤中的残留量^[6,33]。但在对香港土壤的研究发现,pH 和有机碳含量除了对 HCH 有一定的影响外,对其他几种有机氯农药并没有发现有很好的相关性。Alexander^[34]认为,土壤中长期残留的疏水性物质如有机氯农药趋于“老化”,它们在土壤中或存在于极微孔隙,或被有机质包被,因此其残留量可能主要受到土壤微结构和有机质性质的影响。在 HCH 的 3 种异构体中也只有 α -HCH 与土壤 pH 和总有机碳 (TOC) 含量有一定的相关性(图 1)。pH(KCl) 在酸性范围内与 α -HCH 有极显著的正相关 ($P < 0.01$),这与 Wenzel 等^[6]在德国酸性森林土壤中的研究结果一致。TOC 含量与 $\text{Log}(\alpha\text{-HCH})$ 有显著的负相关 ($P < 0.05$),其原因可能是有机碳含量的增加导致了土壤中微生物生物量和活性的增加,从而加快了 α -HCH 的降解,使其在土壤中残留量相应地减少^[31]。

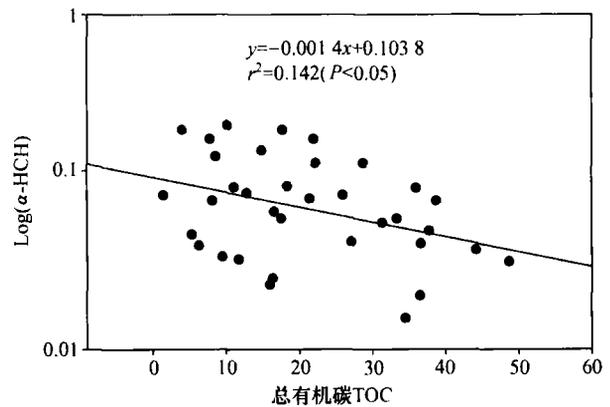


图 1 土壤 pH、TOC 含量和 α -HCH 的相关性拟合曲线

Fig. 1 Regression between soil pH, TOC concentration and α -HCH

2.4 香港土壤中 PCBs 的含量和分布

香港土壤中能够检测到的 PCBs 有三氯联苯中的 PCB28 和六氯联苯中的 PCB138 两种,空间分布上主要在八仙岭长山古寺边 (Pat Sin Leng)、太平山山腰 (Victoria Peak)、清水湾钓鱼翁径 (High Junk Peak)、清水湾红屋村和大蒲窰郊野公园 (Tai Po Kau) 这 5 个采样点,其中在八仙岭采样点同时发现有两种 PCBs 存在。但这些土壤中的 PCBs 含量都很

低,除了在八仙岭采样点的含量在 $0.1 \mu\text{g kg}^{-1}$ (PCB28 和 PCB138 分别为 $0.12 \mu\text{g kg}^{-1}$ 和 $0.04 \mu\text{g kg}^{-1}$) 以上外,其余四处的含量均在 $0.1 \mu\text{g kg}^{-1}$ 以下,远远小于香港海域沉积物中 $5.0 \sim 9.8 \mu\text{g kg}^{-1}$ 的含量^[35]。这一方面可能与 PCBs 的污染源有关,大量的船舶运输和工业废水的排放是香港海域沉积物中 PCBs 的主要来源^[3];另一方面也与 PCBs 的物理化学性质有关,大多数 PCBs 的蒸汽压低,除了三

氯和四氯联苯化合物容易随大气迁移以外,其他 PCBs 都相对比较稳定^[25]。因此,香港土壤中检测到的低 PCBs 的状况与采样点附近没有特定的污染源有关。

3 结 论

香港土壤中可以检测到 5 种斯德哥尔摩公约规定需要消除和限制使用的有机氯化物及 HCH。这 6 种物质在土壤中的平均含量依次为: HCH > DDT > HCB = 异狄氏剂 = PCBs > 硫丹。土壤中检测到的 HCH 和 DDT 主要是难降解的同分异构体 - HCH 和 *p, p*-DDE, 两者在土壤中的平均含量分别为 $6.12 \mu\text{g kg}^{-1}$ 和 $0.41 \mu\text{g kg}^{-1}$ 。其残留水平远低于荷兰的土壤修复目标值和珠江三角洲土壤的平均残留量,对人体健康和生态环境的影响相对较小。此外,通过相关性分析也初步揭示土壤 pH(KCl) 和有机碳含量对 HCH 在土壤中的残留具有一定的影响,而对其他有机氯农药的残留未发现相关性。

致 谢 香港浸会大学基金的资助;中国科学院南京土壤研究所吴胜春助理研究员、南京大学城市与资源学系的周生路副教授和原香港浸会大学生物系的叶志鸿博士、马英博士和 Fung Ka Fai 先生协同采集香港土壤样品,在此深表谢意。

参 考 文 献

- [1] Fu J M, Mai B X, Sheng G Y, *et al.* Persistent organic pollutants in environment of the Pearl River Delta, China: An overview. *Chemosphere*, 2003, 52: 1 411 ~ 1 422
- [2] Department of Census and Statistics. *Hong Kong Trade Statistics Import*. Census and Statistics Department, Hong Kong. 1993, 1 996 ~ 2 000
- [3] Richardson B J, Zheng G J. Chlorinated hydrocarbon contaminants in Hong Kong surficial sediments. *Chemosphere*, 1999, 39(6): 913 ~ 923
- [4] Wong M H, Poon B H T. Sources, fates and effects of persistent organic pollutants in China, with emphasis on the Peal River Delta. *In: Fiedler H. ed. The Handbook of Environmental Chemistry*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2003. 356 ~ 359
- [5] Breivik K, Pacyna J M, Munch J. Use of *o*-, *B*- and *p*-hexachlorocyclohexane in Europe, 1970 ~ 1996. *The Science of Total Environment*, 1999, 239: 151 ~ 163
- [6] Wenzel K D, Manz M, Hubert A, *et al.* Fate of POPs (DDX, HCHs, PCBs) in upper soil layers of pine forests. *The Science of Total Environment*, 2002, 286: 143 ~ 154
- [7] Wilcke W. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in soil- A review. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 2000, 163: 229 ~ 248
- [8] Bidleman T F, Leone A D. Soil-air exchange of organochlorine pesticides in the Southern United States. *Environmental Pollution*, 2004, 128: 49 ~ 57
- [9] Wong C K C, Leung K M, Poon B H T, *et al.* Organochlorine hydrocarbons in human breast milk collected in Hong Kong and Guangzhou. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 2002, 43: 364 ~ 372
- [10] 章海波, 骆永明, 吴龙华, 等. 香港土壤研究. 土壤硒的含量、分布及其影响因素. *土壤学报*, 2005, 42(3): 404 ~ 410. Zhang H B, Luo Y M, Wu L H, *et al.* Hong Kong soil researches. Distribution and content of selenium in soils (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42(3): 404 ~ 410
- [11] 马玲玲, 劳文剑, 王学彤, 等. 北京近郊土壤中痕量半挥发性有机污染物的分析方法研究. *分析化学*, 2003, 9: 1 025 ~ 1 029. Ma L L, Lao W J, Wang X T, *et al.* Analytical method for trace semi-volatile organic compounds in the soil of Beijing suburbs (In Chinese). *Chinese Journal of Analytical Chemistry*, 2003, 9: 1 025 ~ 1 029
- [12] Sun C, Dong Y, Xu S, *et al.* Trace analysis of dissolved polychlorinated organic compounds in the water of the Yangtse River (Nanjing, China). *Environmental Pollution*, 2002, 117: 9 ~ 14
- [13] Netherlands Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment. *Intervention Values and Target Values-Soil Quality Standards*. Netherlands, 2001
- [14] Zhou J L, Maskaoui K, Qiu Y W, *et al.* Polychlorinated biphenyl congeners and organochlorine insecticides in the water column and sediments of Daya Bay. *Environment Pollution*, 2001, 113: 373 ~ 384
- [15] Agriculture, Fisheries and Conservation Department of Hong Kong SAR Government. *Department Annual Report 2001 ~ 2002*. Hong Kong SAR, 2002
- [16] Meijer S N, Halsall C J, Ockenden W A, *et al.* Organochlorine pesticide residues in archived UK soil. *Environ. Sci. Technol.*, 2001, 35: 1 989 ~ 1 995
- [17] US Department of Health and Human Services. *Toxicological Profile for Chlordane (Draft for Public Comment)*. US Government Printing Office, Washington, DC. 1992
- [18] 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
- [19] Fellenberg G. *The chemistry of pollution*. England: John Wiley & Sons, 2000. 113 ~ 127
- [20] Heberer T, Dumbier U. DDT metabolite bis(chlorophenyl) acetic acid: The neglected environmental contaminant. *Environ. Sci. Technol.*, 1999, 33: 2 346 ~ 2 351
- [21] Harner T, Wideman J L, Jantunen L M M, *et al.* Residues of organochlorine pesticides in Alabama soils. *Environ. Pollut.*, 1999, 106: 323 ~ 332
- [22] Dimond J B, Owen R B. Long-term residue of DDT compounds in forest soils in Maine. *Environmental Pollution*, 1996, 92(2): 227 ~ 230

- [23] Hitch R K, Day H R. Unusual persistence of DDT in some western USA soils. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 1992, 48: 259 ~ 264
- [24] UNEP. Towards Global Action. Presented at International Experts Meeting on Persistent Organic Pollutants, UNEP. Vancouver, Canada. 1995
- [25] Yeo H G, Choi M, Chun M Y, *et al.* Concentration distribution of polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides and their relationship with temperature in rural air of Korea. *Atmospheric Environment*, 2003, 37: 3 831 ~ 3 839
- [26] Hazardous Substances Data Bank (HSDB). Hexachlorocyclohexanes. Environmental Standards and Regulations, Hazardous Substances Data Bank, Bethesda, MD. 2003
- [27] Louie P K K, Sin D W M. A preliminary investigation of persistent organic pollutants in ambient air in Hong Kong. *Chemosphere*, 2003, 52: 1 397 ~ 1 403
- [28] Middeldorp P J M, Jaspers M, Zehnder A J B, *et al.* Biotransformation of *o*-, *m*-, *p*-, and *σ*-hexachlorocyclohexane under methanogenic conditions. *Environ. Sci. Technol.*, 1996, 30: 2 345 ~ 2 349
- [29] Kalbitz K, Popp P, Ceyer W, *et al.* *o*-HCH mobilization in polluted wetland soils as influenced by dissolved organic matter. *The Science of Total Environment*, 1997, 204: 37 ~ 48
- [30] Hansch C, Leo A. Substituent constants for correlation analysis in chemistry and biology. New York: John Wiley and Sons, 1979. 202
- [31] Wu W Z, Xu Y, Schramm K W, *et al.* Study of sorption, biodegradation and isomerization of HCH in stimulated sediment/ water system. *Chemosphere*, 1997, 35 (9) : 1 887 ~ 1 894
- [32] Borisover M D, Graber E R. Specific interaction of organic compounds with soil organic carbon. *Chemosphere*, 1997, 34: 1 761 ~ 1 776
- [33] Alawi M, Khalili F, Da 'as K. Interaction behavior of organochlorine pesticides with dissolved Jordanian humic acid. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 1995, 28: 513 ~ 518
- [34] Alexander M. Aging, bioavailability, and overestimation of risk from environmental pollutants. *Environ. Sci. & Technol.*, 34 (20) : 4 259 ~ 4 265
- [35] Connell D W, Wu R S S, Richardson B J, *et al.* Occurrence of persistent organic contaminants and related substances in Hong Kong marine areas: An overview. *Marine Pollution Bulletin*, 1998, 36: 376 ~ 384

HONG KONG SOIL RESEARCHES

. CONTENTS AND COMPOSITIONS OF ORGANOCHLORINES IN SOIL

Zhang Haibo^{1,3} Luo Yongming^{1,3†} Zhao Qiguo^{1,3} Zhang Ganlin^{1,3} Wong Minghung²

(1 Soil and Environment Joint Open Laboratory between Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences and Hong Kong Baptist University, Soil and Environmental Bioremediation Research Center, State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Nanjing 210008, China)

(2 Croucher Institute for Environmental Science, Hong Kong Baptist University, Kowloon Tong, Hong Kong, China)

(3 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract Persistent organic pollutants (POPs) listed in the Stockholm Convention of 2000 all belong to the category of organochlorine chemicals and deserve high priority for investigation. However, researches on organochlorines in Hong Kong area used to be focused mainly on those in sediments, marine organisms and human milk in the past, and little was reported on their presence in soils. Forty six samples of surface (0 ~ 10 cm) soils typical in Hong Kong were collected and analyzed for organochlorine pesticides and polychlorinated Biphenyls with the aid of GC/ ECD (gas chromatograph/ electronic capturer detector), six Stockholm Convention substances including pesticides and PCBs as well as HCH were detected in the samples and they were lined up in a decreasing sequence of HCH > dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT) > hexachlorobenzene (HCB) = Endrin = PCBs > *o*-endosulfan in terms of concentration. The major components of the organochlorine pesticide residues were *o*-HCH and *p,p*-DDE due to their stable molecular structures compared with other homologues. The average contents of these two compounds were only 6.12 $\mu\text{g kg}^{-1}$ and 0.41 $\mu\text{g kg}^{-1}$, respectively, which was much lower than the corresponding target values in the Dutch List. As for the PCBs, five samples were detected to have PCB28 and PCB138, which were lower than 0.1 $\mu\text{g kg}^{-1}$ in content. Moreover, the regression analysis results presented that residual contents of HCH in the soils were related to pH (KCl) and total organic carbon (TOC) content, but such relationship was not found with the other detectable organochlorines.

Key words Hong Kong soil; Organochlorine pesticides (OCPs); Polychlorinated biphenyls (PCBs); Residues; Spatial distribution