

崇明岛不同典型功能区表层土壤中 有机氯农药分布及风险评价

潘 静, 杨永亮, 何 俊, 朱晓华, 路国慧, 刘晓端

(中国地质科学院生态地球化学重点开放实验室, 国家地质实验测试中心, 北京 100037)

摘 要:通过测定崇明岛不同功能区(农场、普通农业区、城镇和自然保护区)表层土壤样品中的有机氯农药(OCPs),对其残留现状、来源和潜在生态风险状况进行研究。结果表明,不同功能区土壤中 OCPs 残留水平为农场($39.2 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$)>普通农业区($8.0 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$)>城镇区($6.7 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$)>自然保护区($4.7 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$)。与 HCHs 相比,DDTs 残留污染要较高一些。不同功能地区土壤中 HCHs 没有新的污染源,而 DDTs 则仍有少量新污染源输入。农场(前进农场、富民农场)和城镇(堡镇长江边湿地)表层土壤中 DDTs 对鸟类和生物具有一定的生态风险,而普通农业区和自然保护区土壤中 DDTs 对该地区鸟类生态风险则较低。

关键词:表层土壤;有机氯农药;生态风险;崇明岛

中图分类号:X820.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2009)11-2286-07

Distribution and Ecological Risk Evaluation of Organochlorine Pesticides in Surface Soils from Different Land Use Areas in Chongming Island

PAN Jing, YANG Yong-liang, HE Jun, ZHU Xiao-hua, LU Guo-hui, LIU Xiao-duan

(The Open Laboratory of Eco-geochemistry, Chinese Academy of Geological Sciences, National Research Center for Geoanalysis, Beijing 100037, China)

Abstract: Surface soils from typical types of different land use such as farms, agricultural areas, residential areas, and national natural reserves in Chongming Island were collected and analyzed for organochlorine pesticides (OCPs). The residue conditions and ecological risk evaluation of OCPs were preliminarily studied. Compared with residue levels of OCPs in the other parts of Yangtze River Delta area, the distribution characteristics and sources were also discussed. The contamination levels of OCPs were in the order: farms ($39.2 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$)>agricultural areas ($8.0 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$)>residential areas ($6.7 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$)>national natural reserves ($4.7 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$). DDTs showed higher residue level than that of HCHs in the studied area. There are no new contamination sources for HCHs, while there are still a little of new input for DDTs. There was certain risk of DDTs to birds and soil organism in some farm soils (e.g. Qianjin farm and Fumin farm) and residential areas (e.g. Baozhen wetland along Yangtze River). While the ecological risk of DDTs was light in soils from agricultural areas and national natural reserves.

Keywords: surface soils; organochlorine pesticides; potential health risk; Chongming Island

有机氯农药(Organochlorine pesticides, OCPs)理化性质稳定,难以降解,容易在环境中积累。虽然中国自 1983 年开始逐步禁用 OCPs,但近年来的研究表明,HCHs 和 DDTs 在国内各地区的环境介质中都有

残留^[1-7]。土壤中的 OCPs 残留可通过农产品食物链的生物富集和扩大效应,对人体和动物的健康存在潜在风险,并通过地表径流释放到水体和湿地影响水生生物和鸟类^[8-9]。

崇明岛农业发达,是长三角地区重要农产品生产基地。一些学者对包括崇明岛东滩湿地在内的长江口湿地表层沉积物以及滨岸潮滩动物体样品中 OCPs 的研究表明,长江口滨岸潮滩动物均不同程度地受到污染,且污染已达中等水平;长江口潮滩表层沉积物

收稿日期:2009-04-23

基金项目:国家自然科学基金项目(40773010);科技部国际合作项目(2006DFA21280);中国地质调查局项目(06-D3-81)

作者简介:潘 静(1979—),女,博士,从事环境有机污染化学研究。

E-mail:wholf1979@yahoo.com.cn

通讯作者:杨永亮 E-mail:ylyang2003@yahoo.com.cn

标平行样品和样品平行样。用外标法和五点校正曲线进行定量。用保留时间进行定性,并用 GC-MS 进行确证。回收率指示物 2,4,5,6-四氯间二甲苯的回收率为 85%~109%,PCB209 为 73%~99%。OCPs 的方法检出限为 0.04~0.1 ng·g⁻¹。

2 结果与讨论

本文研究的 14 种 OCPs 目标分析物中七氯、艾氏剂、狄氏剂、异狄氏剂几乎全部低于检出限,在此不予讨论,其余 10 种 OCPs 目标分析物的含量测定结果见表 1,本文重点对 HCHs 和 DDTs 类化合物展开讨论。

2.1 土壤中 HCHs 的残留特征

崇明岛各功能区表层土壤样品中均检出 HCHs 的 4 种异构体(表 1)。农场、普通农业区、城镇和自然

保护区土壤中 HCHs 的残留水平分别为 0.57~12.9、0.46~2.39、0.42~1.76 和 0.60~1.16 ng·g⁻¹,平均值分别为 2.64、1.26、1.10 和 0.87 ng·g⁻¹,均未超过国家土壤环境质量标准一级阈值(50 ng·g⁻¹)^[15]。因此,可认为未受到 HCHs 的明显污染,HCHs 的残留在该地区也不会造成植物产品中的大量积累。

与附近地区相比,崇明岛表层土壤中 HCHs 残留水平显著低于苏南农田土壤中的 HCHs 水平(5.6~22.7 ng·g⁻¹,平均值 11.12 ng·g⁻¹)^[5],与浙北地区农田土壤(0.20~20.1 ng·g⁻¹,平均值 1.73 ng·g⁻¹)的水平相当^[6]。东滩湿地鸟类保护区表层土壤中 HCHs 处于低值区,只受到轻度污染,这对鸟类保护是非常有利的。

所有功能区表层土壤中 4 种 HCHs 异构体的质量分数与原工业产品^[16]相比有显著差异,分布特征均为 β -HCH> γ -HCH> α -HCH> δ -HCH,主要是由于各异构

表 1 崇明岛各功能区表层土壤中有机氯农药的残留状况(ng·g⁻¹)

Table 1 The residue levels of OCPs in soils from typical types of different land use areas of Chongming Island(ng·g⁻¹)

站点	编号	α -HCH	β -HCH	γ -HCH	δ -HCH	HCHs	p,p'-DDE	p,p'-DDD	o,p'-DDT	p,p'-DDT	DDTs	HCB	灭蚊灵
前进农场 1	CMS-1	1.93	9.21	0.88	0.86	12.9	21.0	8.95	2.68	12.1	44.6	1.16	0.15
前进农场 2	CMS-2	0.18	2.84	0.52	0.18	3.71	21.8	3.19	2.15	13.6	40.7	1.31	0.60
前进农场 3	CMS-12	0.27	0.67	0.27	0.16	1.37	38.9	3.56	0.85	9.7	53.0	0.28	0.24
前哨农场 1	CMS-24	0.12	0.62	0.27	0.20	1.21	19.0	6.36	0.73	7.9	34.0	0.21	0.39
前哨农场 2	CM-36	0.23	0.27	0.17	nd	0.67	4.8	4.82	6.18	16.2	32.0	0.11	nd
前哨农场 3	CM-42	0.29	0.19	0.14	nd	0.62	14.7	2.31	0.74	10.1	27.9	0.37	nd
红星农场	CMS-8	0.27	0.99	0.36	0.24	1.86	11.7	2.80	0.91	3.0	18.5	0.25	0.83
长江农场	CMS-11	0.11	0.44	0.28	0.16	0.99	3.6	0.84	0.24	1.7	6.33	0.33	nd
跃进农场	CMS-6	0.82	4.17	0.59	0.43	6.00	18.9	4.78	1.56	8.6	33.9	0.42	nd
富民农场 1	CM-06	0.14	0.18	0.13	0.11	0.57	5.3	1.04	0.37	25.1	31.8	0.11	nd
富民农场 2	CM-09	0.23	0.35	0.12	0.11	0.82	8.4	1.18	0.48	28.0	38.0	0.17	nd
富民农场 3	CM-12	0.21	0.43	0.23	0.09	0.95	20.3	1.01	0.50	39.1	60.9	0.22	nd
中兴围垦农业区	CM-26	0.07	0.15	0.12	0.12	0.46	0.84	0.38	0.00	1.30	2.52	0.37	nd
港沿现代农业园区	CMS-19	0.48	1.03	0.61	0.26	2.39	4.23	2.42	0.20	0.78	7.63	0.88	nd
裕安镇围垦农业区	CM-51	0.07	0.32	0.18	0.09	0.67	2.07	0.60	0.00	2.45	5.12	0.11	nd
陈家镇农业区	CMS-16	0.26	0.78	0.32	0.34	1.70	3.25	1.95	0.27	0.79	6.26	2.75	0.56
陈家镇瀛东村	CMS-15	0.12	0.26	0.46	0.29	1.11	1.65	0.63	0.09	0.26	2.63	1.23	0.06
中兴镇	CM-23	0.23	0.47	0.19	0.05	0.94	4.67	1.08	0.45	1.85	8.05	0.60	nd
陈家镇	CMS-21	0.09	0.92	0.33	0.28	1.63	1.79	0.66	0.12	0.20	2.76	0.86	nd
城桥镇(南引河)	CMS-22	0.04	0.37	0.19	0.10	0.71	0.73	0.31	0.04	0.86	1.94	0.85	0.16
城桥镇	CMS-23	0.06	0.20	0.41	0.31	0.99	0.36	0.09	nd	0.12	0.56	0.57	nd
堡镇	CMS-14	0.19	0.06	0.13	0.04	0.42	0.43	0.13	0.16	1.44	2.14	0.31	nd
堡镇长江边湿地	CMS-13	0.28	0.59	0.57	0.32	1.76	9.71	2.41	0.40	0.87	13.4	1.81	0.10
东平国家森林公园	CMS-10	0.06	0.09	0.38	0.20	0.72	0.76	0.27	0.29	1.02	2.34	0.42	0.11
东滩湿地鸟类保护区	CMPM-1	0.21	0.30	0.08	0.02	0.60	1.72	0.61	0.05	0.15	2.53	1.00	nd
东滩自然保护区	CMS-20	0.17	0.25	0.28	0.31	1.01	0.62	0.34	0.27	0.10	1.32	1.69	0.10
东滩湿地团结沙	CMS-17	0.10	0.22	0.54	0.29	1.16	0.76	0.25	0.09	0.65	1.76	0.56	0.47

注:nd 为未检出。

体在环境中的代谢速度不同所致。4 种异构体的降解速率为 $\alpha\text{-HCH} > \gamma\text{-HCH} > \delta\text{-HCH} > \beta\text{-HCH}$ ^[17], $\alpha\text{-HCH}$ 除相对易降解外, 且较易挥发从而可远距离传输^[18]; $\beta\text{-HCH}$ 具有良好的对称性, 化学性质较其他异构体稳定^[19], 难以降解且不易挥发。另外, 环境中其他异构体亦可转化成 $\beta\text{-HCH}$, 以达到最稳定状态^[20-21], 因而 $\beta\text{-HCH}$ 在土壤中有相对富集的现象。常用 $\alpha\text{-HCH}/\gamma\text{-HCH}$ 比值判断 HCHs 的来源, 比值 < 1 表示有林丹在使用, 比值为 $3\sim 7$ 表示有 HCH 工业制品在使用或来源于大气远程传输^[22]。崇明岛农场、普通农业区、城镇和自然保护区土壤中 $\alpha\text{-HCH}/\gamma\text{-HCH}$ 比值分别为 $0.34\sim 2.19$ 、 $0.26\sim 0.79$ 、 $0.14\sim 1.21$ 、 $0.15\sim 2.63$, 推断普通农业区仍有林丹在使用, 其他功能区不排除使用林丹的可能性。

2.2 土壤中 DDTs 的残留特征

崇明岛各功能区表层土壤样品中均检出 DDTs

的 4 种异构体(表 1)。农场、普通农业区、城镇以及自然保护区土壤中 DDTs 的残留水平分别为 $6.33\sim 60.9$ 、 $2.52\sim 7.63$ 、 $0.56\sim 13.4$ 和 $1.32\sim 2.53\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$, 平均值分别为 35.1 、 4.83 、 4.16 和 $1.99\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ 。各功能区表层土壤中 DDTs 的平均残留水平低于国家土壤环境质量标准的一级阈值, 但在个别地点如前进农场、富民农场却有超标现象。与 HCHs 相比, DDTs 残留污染要高一些。与附近地区相比, 崇明岛各功能区表层土壤中 DDTs 残留水平明显低于苏南农田土壤(平均 $163.2\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$)^[5] 和浙北农田土壤(平均 $44.68\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$)^[6]。

从 DDD/DDE 的比值来看, 崇明岛所有土壤中 $\text{DDD}/\text{DDE} < 1$ (图 2a), 反映 DDT 在土壤中主要发生好氧环境下的降解, 这与农业土壤的利用方式相一致。多数站点表层土壤中 $(\text{DDD}+\text{DDE})/\text{DDTs}$ 比值 > 0.5 (图 2b), 表明这些站点土壤中检测到的 DDTs 只是过去使用后的残留物, 没有新的 DDTs 污染源^[23-24]。但富民农

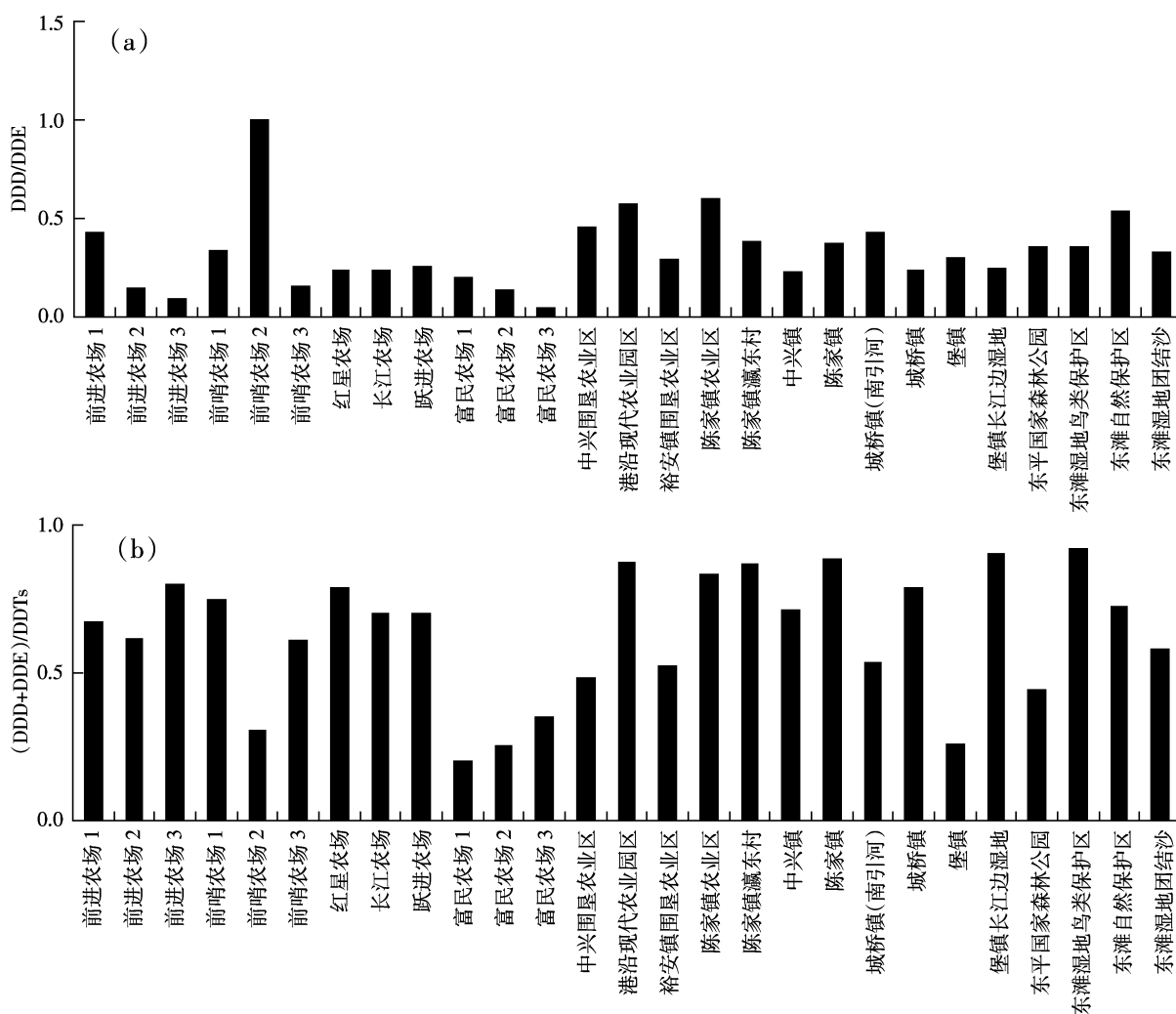


图 2 各采样点表层土壤 DDD/DDE(a)和 (DDD+ DDE)/DDTs(b)比值

Figure 2 DDD/DDE(a) and (DDD+ DDE)/DDTs(b) in surface soils

场、前哨农场、堡镇和东平国家森林公园等部分采样点该比值 <0.5 ,表明这些地区可能有新 DDTs 外源的输入。根据 o,p' -DDT/ p,p' -DDT 比值,推断外源 DDTs 不应该是工业合成的三氯杀螨醇。工业 DDTs 中 o,p' -DDT/ p,p' -DDT 的比值约为 0.18^[3],三氯杀螨醇 o,p' -DDT/ p,p' -DDT 的比值在 7.0 左右^[25],而崇明岛表层土壤的绝大多数 o,p' -DDT/ p,p' -DDT 比值 <1 。

2.3 崇明岛表层土壤中 OCPs 总体残留情况

崇明岛不同功能区土壤中总 OCPs 的残留水平为农场($39.2\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$) $>$ 普通农业区($8.0\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$) $>$ 城镇区($6.7\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$) $>$ 自然保护区($4.7\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$)。不同功能区土壤中 DDTs 为主要残留物,但 HCHs 和 DDTs 占总 OCPs 的比例有明显差别。农场土壤中 HCHs 和 DDTs 分别占 6.6%和 89.8%,HCB 和其他 OCPs 所占比例 $<3\%$;自然保护区土壤中 HCHs 和 DDTs 分别占 19.4%和 46.0%,HCB 所占比例高达 16.0%。其他两个功能区(普通农业区和城镇)的情况则介于农场和自然保护区之间。这种有机氯农药含量的区域差异主要是由各功能区农药施用量的高低和大气沉降的相对贡献在不同功能区的体现所决定的。农场土壤总 OCPs 含量是东滩湿地土壤的 8 倍多,表明不同功能区农药的使用量或来源不同。相对于普通农业区,由于农场大多数为国营或军垦,农药施用量较大,此外,农场大多位于崇明岛北侧,并且长江北支流较窄,流速较慢,受长江三角洲或苏南农业区 OCPs 残留影响所致^[5],因而残留较高。而东滩自然保护区从围垦以来(20 世纪 80 年代)一直禁止使用农药,OCPs 来源于大气沉降以及长江水与海水混合后溶解态在悬浮颗粒物上的吸附和随后的沉积,且受到东海潮汐冲刷的影响,因而 OCPs 含量较低。对于城镇区域的土壤可能为农用土壤或其他用地机械转移而来。因此,农药来源于原来所残存的农药,也可能来源于大气颗粒物的沉降。

除 HCHs 和 DDTs 外,崇明岛土壤中 HCB 含量为 $0.11\sim 2.75\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ (均值 $0.70\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$),低于上海郊区土壤中 HCB 的含量($0.94\sim 9.80\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$)^[26]。HCB 在国外曾经作为农药一度使用,但现在早已禁用。在国内,HCB 并没有作为农药使用,而是作为生产五氯酚的中间体,也是一些化工生产过程中的副产物^[27]。崇明岛地区存在 HCB,其原因应是施入化肥和农药的杂质和大气沉降的结果。灭蚁灵含量范围 $\text{nd}\sim 0.83\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ (平均值 $0.31\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$)。七氯、艾氏剂、狄氏剂、异狄氏剂以及毒杀芬的检出率很低,它们未曾在我国生产和使用过^[28],因而其存在的原因应归于大气的

输送和沉降。

崇明岛农场土壤中的 HCHs 和 DDTs 大部分已经降解,残留水平很低,但个别站点如前进农场和富民农场的残留水平较高。研究表明,温带土壤中 DDT 的半衰期为 5.3 年^[29-30],以此推算降解 90%需要 26 年。据有关调查^[31],1980 年全国农田耕层土壤中平均 DDT 含量为 $419\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ 。1983 年禁用 DDT 后,土壤中 DDT 含量逐渐下降,到 1985 年全国农田耕层土壤中平均 DDT 含量下降为 $222\sim 273\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ 。本研究结果表明,与 1985 年全国农田耕层土壤 DDTs 残留总量均值^[32]相比,崇明岛的农场和其他农业土壤中 DDTs 残留量($4.83\sim 35.1\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$)分别下降了 87.1%和 98.2%。

2.4 潜在风险初探

根据 Urzelaia^[33]以污染物对土壤无脊椎动物的毒性影响为基准,对于标准土壤(28%粘土,4%有机质)计算得出 HCHs 异构体引起土壤中 10%物种风险浓度($80\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$)来看,崇明岛不同功能区表层土壤中 HCHs 的生态风险较低。根据 Jongbloed 等^[34]得到的 DDTs 产生次生毒性效应的土壤临界水平,土壤中 DDTs 最大允许残留水平对鸟类为 $11\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$,对哺乳动物为 $190\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$,对土壤生物为 $10\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ 。以此阈值为基准,崇明岛农场表层土壤 DDTs 的平均残留水平为 $35.1\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$,尤其是前进农场和富民农场的残留水平较高,可能对该地区鸟类和土壤生物具有一定的潜在生态风险。尽管崇明岛普通农业和城镇地区土壤中 DDTs 的平均浓度分别只有 4.16 和 $4.83\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$,但有个别采样点,如堡镇长江边湿地土壤中 DDTs 含量在 $10\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ 以上,对这些地点的鸟类和土壤生物可能存在潜在的风险。而东滩湿地鸟类自然保护区土壤中 DDTs(平均 $1.99\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$)对该地区鸟类生态风险则较低。

3 结论

崇明岛不同功能区土壤中 OCPs 残留水平依次为农场 $>$ 普通农业区 $>$ 城镇区 $>$ 自然保护区,与 HCHs 相比,DDTs 残留污染要较高一些。HCHs 低于国家《土壤环境质量标准》中一级标准阈值,没有新的 HCHs 输入源。前进农场和富民农场的 DDTs 含量高于土壤中一级标准阈值,除富民农场、前哨农场、堡镇和东平国家森林公园可能有新 DDTs 外源输入以外,其他站点土壤中没有新的 DDTs 污染源。不同功能区土壤中 HCHs 的生态风险较低,而前进农场、富民农场和堡镇长江边湿地土壤中 DDTs 可能对该地区鸟类和土壤生物具有一定的潜在生态风险。

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[J]. *Chemosphere*, 2003, 52: 1411-1422.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 高 凡, 贾建业, 王 好, 等. 广州市农业土壤中六六六(HCH)的残留特征[J]. 环境科学与技术, 2006, 29(11): 10-14.
GAO Fan, JIA Jian-ye, WANG Hao, et al. Characteristics of HCH residue in agricultural soil of Guangzhou[J]. *Environmental Science and Technology*, 2006, 29(11): 10-14.
- [5] 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.
- [6] 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 of Zhejiang and its risk evaluation[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2005, 24(6): 1161-1165.
- [7] Willett K L, Ulrich E M, Hites R A. Differential toxicity and environmental fates of hexachloro-cyclohexane isomers[J]. *Environmental Science and Technology*, 1998, 32: 2197-2207.
- [8] 郜红建, 蒋 新. 土壤中结合残留态农药的生态环境效应[J]. 生态环境, 2004, 13(3): 399-402.
GAO Hong-jian, JIANG Xin. Eco-environmental impacts of bound pesticide residues in soil: a review[J]. *Ecology and Environment*, 2004, 13(3): 399-402.
- [9] Ta N, Zhou F, Gao Z Q, et al. The status of pesticide residues in the drinking water sources in Meiliangwan Bay, Taihu Lake of China[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2006, 123: 351-370.
- [10] 刘华林, 刘 敏, 杨 毅, 等. 长江口滨岸潮滩动物体中 PCBs 和 OCPs 的分布[J]. 环境科学, 2004, 25(6): 69-73.
LIU Hua-lin, LIU Min, YANG Yi, et al. Polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in animals from the Yangtze River Estuary and coastal areas[J]. *Environmental Science*, 2004, 25(6): 69-73.
- [11] 许士奋, 蒋 新, 冯建昉, 等. 气相色谱法测定长江水体悬浮物和沉积物中有机氯农药的残留量[J]. 环境科学学报, 2000, 20(4): 494-498.
XU Shi-fen, JIANG Xin, FENG Jian-fang, et al. Gas chromatographic method for the determination of organochlorine pesticides in suspended solids and sediments of the Yangtze River [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2000, 20(4): 494-498.
- [12] 叶新荣, 杨和福, 竺建奋. 长江口及毗邻海域水体中 PCBs, BHC 和 DDT[J]. 海洋环境科学, 1991, 10(4): 52-56.
YE Xin-rong, YANG He-fu, ZHU Jian-fen. Distribution of PCBs, BHC and DDT in the sea water of Yangtze Estuary[J]. *Marine Environmental Science*, 1991, 10(4): 52-56.
- [13] 杨 毅, 刘 敏, 许世远, 等. 长江口潮滩表层沉积物中 PCBs 和 OCPs 分布[J]. 中国环境科学, 2003, 23(2): 215-219.
YANG Yi, LIU Min, XU Shi-yuan, et al. Distribution of polychlorinated biphenyls (PCBs) and organochlorine pesticides (OCPs) in the tidal beach surface sediments of Yangtze Estuary[J]. *China Environmental Science*, 2003, 23(2): 215-219.
- [14] 徐祖信, 黄沈发, 王 敏. 崇明岛生态建设与环境保护规划研究[J]. 上海环境科学, 2003, 22(3): 161-166.
XU Zu-xin, HUANG Shen-fa, WANG Min. Study on ecological construction and environmental protection planning in Chongming Island[J]. *Shanghai Environmental Sciences*, 2003, 22(3): 161-166.
- [15] GB15618—1995, 土壤环境质量标准[S].
GB15618—1995, National Environmental Quality Standard for Soils[S].
- [16] Vijgen J. The legacy of Lindane HCH isomer production, annexes of a global overview of residue management, formulation and disposal[R]. International HCH and Pesticides Association, 2006.
- [17] Li Y F. Global technical hexachlorocyclohexane usage and its contamination consequences in environment: from 1948 to 1997[J]. *Science of the Total Environment*, 1999, 232: 123-160.
- [18] Wania F, Mackay D. Global fractionation and cold condensation of low volatility organochlorine compounds in polar regions[J]. *Ambio*, 22: 10-18.
- [19] Mackay D, Shiu W Y, Ma K C. Illustrated handbook of physical hemical properties of environmental fate of organic chemicals[M]. Lewis Publishers, Boca Raton, 1997.
- [20] Li S, Wania F. Compilation, evaluation, and selection of physical-chemical property data for organochlorine pesticides[J]. *Journal of Chemical and Engineering Data*, 2005, 50: 742-768.
- [21] Middeldorp P J M, Jaspers M, Zehnder A J B, et al. Biotransformation of α -, β -, γ -, and δ -hexachlorocyclohexane under methanogenic conditions[J]. *Environmental Science and Technology*, 1996, 30: 2345-2349.
- [22] Kalbitz K, Popp P, Geyer W, et al. β -HCH mobilization in polluted wetland soils as influenced by dissolved organic matter[J]. *Science of the Total Environment*, 1997, 204: 37-48.
- [23] Hong H, Xu L, Zhang L, et al. Environmental fate and chemistry of organic pollutants in the sediment of Xiamen and Victoria Harbors[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 1995, 31: 229-236.
- [24] Heberer T, Dunnbier U. DDT metabolite bis (chlorophenyl) acetic acid: the neglected environmental contaminant[J]. *Environmental Science and Technology*, 1999, 33: 2346-2351.
- [25] Qiu X H, Zhu T, Li J, et al. Organochlorine pesticides in the air around the Taihu Lake, China[J]. *Environmental Science and Technology*, 2004, 38: 1368-1374.
- [26] 贾丽娟, 邓芸芸. 气相色谱-串联质谱法测定土壤中的有机氯农药[J].

- 色谱, 2008, 26(6):697-703.
- JIA Li-juan, DENG Yun-yun. Determination of organochlorine pesticides in soils using gas chromatography tandem mass spectrometry[J]. *Chinese Journal of Chromatography*, 2008, 26(6):697-703.
- [27] Barber J, Sweetman A, Jones K C. Science Dossier:hexachlorobenzene-sources, environmental fate and risk characterisation[R]. Euro Chlor, 2005.
- [28] Wei D B, Kameya T, Urano K. Environmental management of pesticidal POPs in China: past, present and future[J]. *Environment International*, 2007, 33(7):894-902.
- [29] Woodell G M, Craig P P, Johnson H A. DDT in the biosphere; where does it go[J]. *Science*, 1971, 174: 1101-1107.
- [30] WHO. Environmental health criteria 83 (DDT and its Derivatives-Environmental Aspects)[R]. Geneva, 1989:14-151.
- [31] 林玉锁, 龚瑞忠, 朱忠林. 农药与生态环境保护[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000:13-331.
- LIN Yu-suo, GONG Rui-zhong, ZHU Zhong-lin. Pesticide and ecological environment protection[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2000:13-331.
- [32] 张金良, 王舜钦. 中国 DDT 污染及对人群健康影响的研究现状[J]. 预防医学情报杂志, 2006, 22(4):446-421.
- ZHANG Jin-liang, WANG Shun-qin. Environmental pollution and toxicity studies of DDT in China[J]. *Journal of Preventive Medicine Information*, 2006, 22(4):446-421.
- [33] Urzelai A, Vega M, Angulo E. Deriving ecological risk-based soil quality values in the basque county[J]. *Science of the Total Environment*, 2000, 247(2):279-284.
- [34] Jongbloed R H, Traas T P, Luttik R. A probabilistic model for deriving soil quality criteria based on secondary poisoning of top predators II. Calculations for dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT) and cadmium[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 1996, 34:279-306.
- 致谢:**感谢上海地质调查勘探院何中发工程师的帮助和支持。