

# 我国水环境中 有机氯杀虫剂类 POPs 的研究进展

# Research Progress of the Organochloride Pesticides in the Water Environment of China

史双昕/黄业茹

(中日友好环境保护中心 北京 100029)

SHI Shuang-xin, HUANG Ye-ru

(Sino-Japan Friendship Center for Environmental Protection, Beijing  
100029, China)

**【摘要】**概述了有机氯杀虫剂类 POPs 的性质及在我国的使用情况, 汇总了我国关于水环境中有机氯杀虫剂类 POPs 的监测标准和标准分析方法, 分析总结了二十多年来我国关于水环境中有机氯杀虫剂类 POPs 的监测结果, 阐述了最新研究进展, 并针对我国目前的污染现状提出了建议。

**【关键词】**水环境; 有机氯杀虫剂; POPs; 沉积物

中图分类号: X508

文献标识码: A

文章编号: 1004-616X(2007)03-0194-04

**【ABSTRACT】** This paper presents properties of organochloride pesticides and status of its utilization in China. Monitoring criteria and standard methods of analysis about organochloride pesticides in China are summarized. Furthermore, the monitoring data of organochloride pesticides in water environment of China in recent two decades are analyzed, and then current research progress of organochloride pesticides is reviewed. Finally, some suggestions related to the existing problems in China are also provided.

**【KEY WORDS】** water environment; organochloride pesticides; POPs; sediment

持久性有机污染物(persistent organic pollutants, POPs)一般指在环境中难降解、高毒性、有生物蓄积性并可以远距离传输的一类有毒有机化合物。这类物质在环境中降解缓慢, 可在水体、土壤等生态系统中长期滞留; 还能以蒸汽形式存在或者吸附在大气颗粒物上, 在大气环境中作远距离迁移, 并通过所谓的“全球蒸馏效应”和“蚱蜢跳效应”沉积到地球的偏远极地地区; 这类物质对生物体有神经毒性、内分泌干扰毒性, 具有明显的致癌、致畸、致突变作用, 可以沿食物链逐级放大, 对处于较高营养级的生物造成损害, 严重威胁野生动物和人类的生存、繁衍<sup>[1]</sup>。目前全球都面临着 POPs 污染问题。

2001年5月由各国政府签署的《斯德哥尔摩公约》中明确提出, 采取行动减少并最终淘汰12种 POPs 物质的生产和排放。首批列入该公约受控名单的12种 POPs 物质有多氯联苯(PCBs)、二噁英(PCDD)、呋喃(PCDF)及9种有机氯杀虫剂, 包括艾氏剂、氯丹、滴滴涕、狄氏剂、异狄氏剂、七氯、毒杀芬、六氯苯、灭蚊灵。

## 1 有机氯杀虫剂类 POPs 的性质及在我国的使用情况

### 1.1 有机氯杀虫剂类 POPs 的性质

POPs 的基本特性常数包括溶解度、饱和蒸汽压、土壤吸附系数、辛醇/水分配系数、水解常数等。其中, 饱和蒸汽压是表征 POPs 半挥发性的参数, POPs 物质的半挥发性是引起它们全球迁移的根本原因<sup>[2-3]</sup>。另外两个重要的参数是依赖介质的半衰期( $t_{1/2}$ )及沿食物链的生物富集因子(BCF)。前者用于表征这些物质环境中的持久性, 后者用于表征生物累积性, 生物富集因子可以通过亲脂参数正辛醇/水分配系数  $\log K_{OW}$  反映。有机氯杀虫剂类 POPs 的基本性质见表 1。

### 1.2 有机氯杀虫剂类 POPs 在我国使用情况

目前, 在我国存在生产及使用的主要有机氯杀虫剂类 POPs 有滴滴涕、六氯苯、氯丹及灭蚊灵。我国从 20 世纪 50 年代开始生产滴滴涕, 60 年代中期到 80 年代初曾大量生产, 目前仅有 2 家滴滴涕生产企业, 即天津化工厂和扬州农药厂, 近年每年的总产量

收稿日期: 2007-01-22; 修订日期: 2007-04-05

作者简介: 史双昕(1973-), 山东泰安人, 工程师, 硕士。E-mail: shishuangxin2001@163.com

约为 4000 吨。扬州农药厂生产的滴滴涕仅作为本厂生产三氯杀螨醇的中间体,不作为产品出厂。六氯苯在我国主要用作中间体生产五氯酚和五氯酚钠,目前中国只有 1 家六氯苯生产企业(天津大沽化工厂)在生产,产量约在 2000 吨。在我国,六氯苯不直接作为农药使用。氯丹、灭蚊灵在上世纪 80 年代初曾停产,但因南

方地区白蚁危害严重,分别于 1988 年、1997 年以后又恢复生产。目前,中国有氯丹生产企业约 9 家,年产量在 500~800 吨,灭蚊灵生产企业 5 家,年产量在 20~30 吨。毒杀芬及七氯均为曾经生产,但早在 1980 年就已停产,而艾氏剂、狄氏剂、异狄氏剂则从未在我国生产、进口及使用过<sup>[4]</sup>。见表 1。

表 1 中国有机氯杀虫剂类 POPs 的基本情况(截至 2003 年)

POPs	水中溶解度 g/L(25℃)	蒸汽压 mmHg(20℃)	Log KOW	半衰期	目前我国基本情况	累计产量或 排放量(吨)	使用领域
艾氏剂	27	$2.3 \times 10^{-5}$	5.17~7.4	20 d~1.6 a(土壤和地表水)	从无规模生产和使用	-	杀死白蚁、蝗虫、玉米食虫及其它害虫
氯丹	56	$0.98 \times 10^{-5}$	4.58~5.57	4 a(土壤)	目前 9 家生产企业	8 673	白蚁预防
狄氏剂	140(20℃)	$1.78 \times 10^{-7}$	3.69~6.2	3~4 a(土壤) 4~40 h(空气) 4月(水)	从无规模生产和使用	-	控制白蚁及纺织品害虫,控制农作物土壤中的其它昆虫,
异狄氏剂	220~260	$2.7 \times 10^{-7}$	3.21~5.34	12 a(土壤) 4 a(水) 5~9 d(大气)	从无规模生产和使用	-	杀死棉花和谷物的害虫,控制啮齿类动物
七氯	180	$0.3 \times 10^{-5}$	4.4~5.5	0.75~2a(土壤) 1 d(水)	曾生产,80年代停产	< 100	杀死昆虫和白蚁,棉花害虫、蝗虫、及携带疟疾的蚊子
六氯苯	50(20℃)	$1.09 \times 10^{-5}$	3.93~6.42	2.7~5.7 a(土壤), 0.5~4.2 a(空气) 8 h(水)	目前 1 家生产企业	> 79 278*	五氯酚原料,种子处理,杀死影响农作物根部的真菌,控制小麦黑穗病
灭蚊灵	0.07	$3 \times 10^{-7}$ (25℃)	5.28	10 a(土壤) 10.7 h(水)	数家生产企业	151	白蚁和蟑螂灭治
毒杀芬	550(20℃)	$3.3 \times 10^{-5}$	3.23~5.50	100 d~12 a(土壤) 6 h(水)	曾生产,80年代停产	20 660	控制粮食和棉花害虫
滴滴涕 (含 DDD、DDE)	1.2~5.5	$0.2 \times 10^{-6}$	5.7~6.19	15 a(土壤) 7 d(空气) > 150 a(水)	目前 2 家生产企业	459 000	三氯杀螨醇原料、油漆和蚊香添加剂、防疟疾伤寒

\*从 1988 至 2003 年的累计产量

## 2 我国水环境中 POPs 的监测标准和标准分析方法

### 2.1 我国水环境中 POPs 的监测标准

在我国大多数的 POPs 物质尚未被纳入环境保护法规的控制

之列,也未纳入我国的环境检测体系之中。目前在我国已颁布和实施的各種水环境质量和污染控制标准中,涉及到有机氯杀虫剂类 POPs 的标准有限。见表 2。

### 2.2 我国水环境中 POPs 监测的标准方法和研究进展

表 2 水环境国家标准中涉及的有机氯杀虫剂类 POPs 物质及指标

标准名称及编号	POP <sub>s</sub> 物质控制限值	参考标准
渔业水质标准(GB 8978-96)	渔业水体中 $\rho_{DDT} \leq 0.001$ mg/L	[5]
海水水质标准(GB 3067-1997)	$\rho_{DDT} \leq 0.05$ $\mu$ g/L(一类海域) $\rho_{DDT} \leq 0.1$ $\mu$ g/L(二~四类海域)	[6]
地表水环境质量标准(GHZZB 1-1999)	$\rho_{六氯苯} \leq 0.05$ mg/L(三类水体水质)	[7]
地下水质量标准(GB/T 14848-1993)	$\rho_{DDT}$ : 未检出(Ⅰ类地下水); $\leq 0.005$ $\mu$ g/L(Ⅱ类); $\leq 1.0$ $\mu$ g/L(Ⅲ、Ⅳ类); $> 1.0$ $\mu$ g/L(Ⅴ类)	[8]
生活饮用水卫生标准(GB 5749-85)	$\rho_{DDT} \leq 1$ $\mu$ g/L	[9]

我国针对水环境中的有机氯杀虫剂类 POPs 的监测标准方法不仅缺少而且不完善,很难达到 POPs 监测的要求,目前可以引用或借鉴的监测标准方法见表 3。这些方法普遍是在 20 世纪 80~90 年代初建立起来的,均使用填充柱-气相色谱(电子捕获检测器)法,无论是从组分分离的角度和化合物检测的角度,都已失去其先进性,另外标准对沉积物 POPs 监测方法几乎是空白。

从目前报道的数据分析,我国有关 POPs 类污染物质的监测主要采用气相-电子捕获检测器(GC-ECD)、气相-质谱(GC-MSD)、气相-火焰光度检测器/氮磷检测器(GC-NPD/FPD)、高效液相色谱(HPLC)、高效气相-质谱(HRGC-HRMS)、液相质谱(LC-MS)、薄层色谱(TLC)等仪器和技术进行定量分析。

前处理方法主要为超声振荡、索式提取、液液萃取、半透膜装置、基质固相分散(MSPD)、超临界流体提取、吸附树脂、加速溶剂提取(ASE)、微波辅助提取(MAE)、固相萃取、固相微萃取等;常用的净化方法有:硅胶层析柱、佛罗里硅土、硫酸高锰酸净化、酸性

表 3 我国针对 POPs 的监测标准方法

POPs	水环境
艾氏剂	无
狄氏剂	GB 17378.4 1998 气相色谱法(海水) GB 17378.5 1998 气相色谱法(沉积物)
氯丹	无
异狄氏剂	无
滴滴涕	GB 7492-87 气相色谱法(水质) 生活饮用水卫生规范(2001) 气相色谱法(生活饮用水) HY 003.4-91 气相色谱法(海水) GB 17378.4-1998 气相色谱法(海水) GB 17378.5-1998 气相色谱法(沉积物)
六氯苯	生活饮用水卫生规范(2001) 气相色谱法
七氯	生活饮用水卫生规范(2001) 气相色谱法
灭蚊灵	无
毒杀芬	无

硅藻土柱净化、硫酸钠柱、氧化铝净化等。其中固相萃取、固相微萃取、顶空固相微萃、ASE 和 MAE 萃取都是近年来有关水环境中



POPs 监测新技术新方法。

### 3 我国水环境中有机氯杀虫剂 POPs 的监测工作

#### 3.1 概述

大多数杀虫剂类 POPs 在水中溶解度都很低,但水作为一种重要的环境介质,在 POPs 的环境迁移和转化中起着重要的作用,一些 POPs 附着在颗粒物上,通过平流输送到达远离使用地点的偏远地区。而且水生哺乳动物是受 POPs 污染危害最大的种群之一,水中鱼类贝类等是 POPs 通过饮食进入人体的重要途径,因而,杀虫剂类 POPs 的水污染广泛受到人们的关注,这方面的研究也开展较早。统计数据显示,我国水环境对 POPs 物质的研究主要集中于监测水体、沉积物和间隙水方面,主要工作内容为含量测定、迁移规律的研究。检测对象主要还是滴滴涕,有关其他有机氯杀虫剂的报道很少。

总结近 20 年来我国部分水环境有机氯杀虫剂类 POPs 监测研究,有以下特点:

①我国所进行的关于水体中 POPs 残留的监测工作主要集中在北京、珠江三角洲、长江入海口、福建和辽河流域等东部发达地区,广大的中部和西部地区开展监测工作很少。

②中国水环境监测 POPs 物质的水体主要为河流、海湾和湖泊。据最近十几年的统计数据显示,河流主要有:长江、珠江、九龙江、松花江、第二松花江、辽河、黄浦江、黄河、闽江、吴川河、运河、香港东江水、滦河、海河、钱塘江、北京通惠河等。湖泊有太湖、官厅水库、武汉东湖、云南抚仙湖、辽宁乌金塘水库、西藏错鄂湖和羊卓雍湖、鸭儿湖、白洋淀等。海域有:长江口海域、香港澳门海域、大连湾、厦门湾、珠江口、大亚湾等。其他水体有:高碑店污水厂污水、江西省莲塘镇地区工业污水、西安饮用水、H 省 18 城市饮用水等。

③早期水环境中检测的有机氯杀虫剂类 POPs 主要是滴滴涕,从上世纪 90 年代后期,随着测量技术的提高,其他如七氯、狄氏剂、艾试剂、异狄氏剂、六氯苯等杀虫剂类 POPs 也都被检测出来。而且 DDT 的分析也更加细致,不同的异构体和代谢产物也都区分开来,而毒杀酚、灭蚊灵未见报道。

#### 3.2 水体中有机氯杀虫剂 POPs 的污染特征

水体中监测涉及有机氯杀虫剂 POPs 物质最多的是滴滴涕类,而其他有机氯杀虫剂 POPs 不多,最近十年,关于七氯、艾氏剂、异狄氏剂、氯丹、六氯苯的报道增加了许多,但是由于国家没有相关的环境标准,所以,关于这些物质的监测一般只提供具体的监测数据,而没有作环境评估。以下是水体中有机氯杀虫剂 POPs 含量监测的几个特点:

①从检测滴滴涕的数据上看,早期的滴滴涕在水环境中的浓度明显高于近些年的滴滴涕浓度。如 1976 年李清淑等<sup>[10]</sup>就对天津蓟运河汉沽区段水体中的 DDT 进行监测,上游河水中总 DDT 浓度高达 21 900 ng/L,1980 年测得的总 DDT 浓度就降到 69 ng/L。郎佩珍等<sup>[11]</sup>在 1984 年对松花江中游(哨口-松花江村段)等进行的河流有机氯农药残留的研究,总 DDT 浓度最高可达 3 100 ng/L。近些年的监测结果 DDT 浓度逐渐降低,但也有很多地域均有高浓度监测结果报道,这说明我国目前 DDT 等杀虫剂在禁用后依然存在污染状况严重的地区。

②大多数检测出的 DDT 类物质主要以滴滴涕(DDE)为主,含量在总滴滴涕(DDTs)的 50% 以上,说明环境中的 DDTs 主要降解为 DDE。但是也有其他情况,如 1998 年 7 月,张祖麟等<sup>[12]</sup>对厦门西港的 9 个站位表层水体中的 DDTs 进行了分析,DDTs 的含量顺序为 DDT > DDE > DDD,表明近年来可能仍有新的 DDT 输入。丘耀文等<sup>[13]</sup>于 1999 年 8 月采集了大亚湾次表层水样品,DDT/DDE + DDD 比值较大,表明近期仍有此类化学物质输入大亚湾海域。

③相对于表层水,间隙水的有机氯杀虫剂类 POPs 更高,如张祖麟<sup>[14]</sup>测定了九龙江、闽江、珠江河口样品中有机氯杀虫剂,九龙江的总 DDT 为 0.16 ~ 63.2 ng/L;而间隙水中总 DDT 的含量为 1.00 ~ 193 ng/L。间隙水中浓度明显比表层水高。

④对海水来说,微表层海水对有机氯杀虫剂类 POPs 有较强的富集作用。如吕景才等<sup>[15]</sup>于 1999 年 7 月测定了大连湾、辽东湾表层和微表层海水中的有机氯农药的含量,大连湾各站位微表层海水有机氯杀虫剂类 POPs 含量显著高于表层水。同样对于海水,深层海水的有机氯杀虫剂类 POPs 浓度要比表层高。例如,蔡福龙等<sup>[16]</sup>在 1994 年 11 月测定了旱季珠江口水体中的 DDT 的含量和分布,结果表明总 DDT 的含量在表层海水和深层海水中分别为 80 ng/L 和 506 ng/L。另外,高浓度有机氯杀虫剂在一些港湾海水,河流入海口和少数水库含量比较高,如闽江口表层水中 DDTs 的含量范围是 89.1 ~ 234 ng/L,均值为 159 ng/L。窦薇<sup>[17]</sup>1994 ~ 1995 年对河北白洋淀水体中 DDT 进行了检测,水中 DDT 及其衍生物含量在 0 ~ 900 ng/L 之间,平均值为 250 ng/L。而大江大河大湖和远离大陆的海域浓度较低,中国东海和南海的 DDTs 的含量范围分别是 1.5 ~ 41 ng/L 及 3.5 ~ 12 ng/L<sup>[18]</sup>。

#### 3.3 沉积物中有机氯杀虫剂类 POPs 的污染特征

沉积物是 POPs 环境迁移和转化过程中的主要归宿介质。研究表明,在杀虫剂 POPs 停止或限制使用多年的情况下,同土壤、水和大气相比,沉积物中积累的 POPs 浓度最高。在没有新的杀虫剂类 POPs 陆地排放源的情况下,一些水体的沉积物成为杀虫剂 POPs 向水和大气排放的排放源,尤其是内陆湖泊水体,中国现有近年对内陆湖泊水体和近岸海域沉积物的监测研究也都基本反映了这一现象。所以监测水环境沉积物中的杀虫剂类 POPs 有着很重要的研究意义。

从我国部分水环境沉积物中有机氯杀虫剂类 POPs 监测结果来看,我们可以总结以下几点:

①与水中相对均匀的分布情况不同,河底沉积物中有机氯污染物含量差异甚大,悬浮物的沉积不均匀。但总体上,与 80 年代初的监测结果相比,沉积物中的 DDT 的浓度已大大降低。对同一采样点不同时期的监测数据对比,降低趋势较为明显。刘现明等<sup>[19]</sup>于 1998 年对大连湾沉积物中的有机氯农药进行了监测,与 1996 年调查数据相比,沉积物中的有机氯农药含量有明显下降。但个别地区还是超出国外海洋和河口沉积物化学品风险评价标准的最低值,这可能会对生态环境产生严重的影响。麦碧娴等<sup>[20]</sup>于 1997 年对珠江三角洲广州、西江、伶仃洋等几个河口沉积物中的有机氯农药残留情况进行了研究,每克沉淀物中 DDT 类物质残留达数十纳克,显著高于 Fowler 报道的全球近岸表层沉积物中 DDTs 的含量范围 (< 0.1 ~ 44 ng/g),这说明我国目前 DDT 等杀

虫剂在禁用后依然存在污染状况严重的地区,滴滴涕污染在当今仍不能忽视。

②不同类型水体中,以港口、湖泊、海湾地区沉积物中残留 POPs 浓度最高,河流沉积物中残留相对较低,海洋、海峡中的浓度最低。例如,珠江三角洲河口 1997 年滴滴涕含量范围 4.94~90.99 ng/g,长江 1998 年为 6.78~17.95 ng/g,而北太平洋<sup>[21]</sup> 1983 年为 0.1~0.3 ng/g,目前有机氯杀虫剂类 POPs 残留浓度较高的地区有珠江口、闽江口、九龙江口等。

③对滴滴涕来说,大多数检测出的 DDT 类物质主要以 DDE 为主,但是也有其他情况,例如,海河中(DDE+DDD)/ $\Sigma$ DDT 的比率为 0.52~0.96,表明 DDT 在环境中发生了显著的降解作用。然而在大沽排污河两采样点 p,p'-DDT 所占的比例竟为 70%、81%,较高  $\Sigma$ DDT 含量和较高的 p,p'-DDT 百分含量表明在大沽排污河有 DDT 的近期输入<sup>[22]</sup>。另外,通过 DDE/DDT 比值推测,九龙江和珠江河口附近可能仍有新的 DDT 输入,而且离排污口越近,含量越高。

#### 4 对我国水环境中有机氯杀虫剂类 POPs 的环境监测和环境控制的建议

根据我国的环境保护计划,现阶段我国环境科技工作的重要内容之一就是加强有毒 POPs 类物质污染的控制,确定新的环境优先控制有毒污染物名单,并开展相关有害物质的监测和环境控制标准等的研究。因此对水环境中有机氯杀虫剂类 POPs 物质监测控制的建议如下:

①迫切需要建立水环境中持久性有机污染物的技术管理体系,包括水环境安全与人体健康的管理标准、评估体系、监测方法与水环境标准等。重点是将国外先进的 POPs 标准分析方法系统的引入,建立既适合我国国情又尽可能与国际接轨的测试方法,为水环境中有机氯杀虫剂类 POPs 的监测开创新途径,建立我国完整的分析测试体系。

②加强除滴滴涕以外其它 POPs 的研究、加强对水环境中 POPs 迁移及转化行为规律的研究。一方面通过监测不同水环境的各种 POPs 含量,了解其空间分布,另一方面通过长期跟踪研究或调查环境历史资料,得到其随时间的变化规律。在此基础上,通过数值模拟方法得到关于时空变化规律的数学模型,并对模型进行验证和改进,以掌握 POPs 在水环境中的迁移及转化行为,及 POPs 在多介质环境(主要是在空气-水-土壤-底泥)中迁移和转化行为。通过对有机氯杀虫剂类 POPs 物质迁移机制、反应机理、去除机制的认识,准确确认其污染源,并研究适合我国国情的 POPs 物质控制、预警技术与削减技术,提出监督和控制 POPs 物质排放国家行动计划等,为最终消除水环境 POPs 打下理论和理论基础。

③加强对 POPs 毒理学的研究。由于很多 POPs 物质同系物众多,而生物对 POPs 物质的反应很复杂,难以判定特定毒性是某种化学品的单独作用还是几种同系物的共同作用,亦是生物自身的新陈代谢所致。因此目前的毒理学研究重点应确定各个 POPs 物质的毒性当量因子及生物反应机理,并综合考虑浓度因素来决定对目标生物或组织的总毒性负荷。从而建立符合中国国情的

POPs 生态效应判别指标,最终为人类的身体健康提供技术参考。

#### 参考文献:

- [1] 徐晓白. 有毒化学品安全性评价 [M]. 北京:中国高等科学技术中心,134.
- [2] Scheringer M. Characterization of the environmental distribution behavior of organic chemicals by means of persistence and spatial range[J]. *Environ Sci Technol*, 1997, 31: 2891-2897.
- [3] Webster E, Mackay D, Wania F. The effects of snow and ice on the environmental behaviour of hydrophobic organic chemicals[J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 1998, 17: 2148-2158
- [4] 黄俊,李刚,钱易. 我国的持久性有机污染物问题与研究对策[J]. 环境保护, 2001, 11: 3-6.
- [5] 国家技监局. GB 8978-96 污水综合排放标准[S]. 北京:中国标准出版社, 2000.
- [6] 国家环境保护局. GB 3097-1997 海水水质标准[S]. 北京:中国环境科学出版社, 1998.
- [7] 国家环境保护局. GHZB 1-1999 地表水环境质量标准[S]. 北京:中国环境科学出版社, 2000.
- [8] 国家技监局. GB/T 14848-1993 地下水质量标准[S]. 北京:中国标准出版社, 1985.
- [9] 中华人民共和国卫生部. GB 5749-85, 生活饮用水卫生标准[S]. 北京:中国标准出版社, 1985.
- [10] 李清淑. 天津汉沽区 PCOCs 污染水平的综合分析[J]. 环境科学丛刊, 1985, 6: 5-14.
- [11] 郎佩珍,龙凤山. 松花江中游(哨口-松花江村段)水中有毒有机物污染研究[J]. 环境科学进展, 1993, 1(6): 47-56
- [12] 张祖麟,洪华生,哈里德,等. 厦门西港表层沉积物中有机氯化物的污染特征及变化趋势[J]. 环境科学学报, 2000, 20(6): 731-735.
- [13] 丘耀文,周俊良, K. Maskaoui. 大亚湾海域多氯联苯及有机氯农药研究[J]. 海洋环境科学, 2002, 21(1): 46-51
- [14] 张祖麟,陈伟琪,哈里德,等. 九龙江口水体中有机氯农药分布特征及归宿的初步研究[J]. 环境科学, 2001, 22(3): 88-92.
- [15] 吕景才,赵元凤,徐恒振大连湾、辽东湾养殖水域有机氯农药污染状况[J]. 中国水产科学, 2002, 9(1): 73-77
- [16] 蔡福龙,林志锋,陈英,等. 热带海洋环境中 BHC 和 DDT 的行为特征研究(I)[J]. 海洋环境科学, 1997, 16(2): 9-14
- [17] 窦薇,赵忠宪. 白洋淀水生食物链 BHC、DDT 生物浓缩分析[J]. 环境科学, 1997, 9(5): 41-43.
- [18] 徐恒振,马永安,周传光,等. 海岸带环境难降解有机污染物的分析[J]. 海洋学报, 2000, 22 (增刊): 384-391.
- [19] 刘现明,徐学仁,张笑天,等. 大连湾沉积物中的有机氯农药和多氯联苯[J]. 海洋环境科学, 2001, 20(4): 40-44.
- [20] 麦碧娴,林峥,张干,等. 珠江三角洲河流和珠江口表层沉积物中有机氯农药研究——多环芳烃和有机氯农药的分布及特征[J]. 环境科学学报, 2000, 20(2): 192-197.
- [21] 张守法,刘彬昌. 北太平洋海水及沉积物中有机氯农药的含量分布[J]. 黄渤海海洋, 1986, 4(1): 78-82
- [22] 刘军,干爱华,丁辉,等. 海河干流、大沽排污河沉积物中有机氯农药的残留状况[J]. 环境污染与防治, 2006, 28(3): 169-174

