

我国部分水体及沉积物中有机氯农药的污染状况

王彬¹, 米娟¹, 潘学军¹, 张金洋², 余方¹

(1. 昆明理工大学 环境科学与工程学院, 云南 昆明 650093 2. 上海交通大学 环境科学与工程学院, 上海 200240)

摘要: 为全面履行斯德哥尔摩“控制持久性有机污染物”国际公约, 通过对有机氯农药 (OCPs) 报道的研究, 深入分析我国部分水体及沉积物中有机氯农药的污染状况, 并与国外其他河流、港湾污染水平对比, 作了较为全面系统的总结。结果表明: 我国水体及沉积物中 OCPs 检出率较高, 大部分水体及沉积物已经受到不同程度的 OCPs 污染; 有些水体 OCPs 污染较严重, 存在极大的生态风险; 沉积物是 OCPs 富集程度较高的场所, 正成为新的 OCPs 污染源; 提出了今后防治工作的重点。

关键词: 有机氯农药; 水污染; 沉积物

中图分类号: X592 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2010)03-0093-07

Contamination of Organochlorine Pesticides in Waters and Sediments in China

WANG Bin¹, MI Juan¹, PAN Xue-jun¹, ZHANG Jin-yang², YU Fang¹

(1. Faculty of Environmental Science and Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China

2. School of Environmental Science and Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract In order to fulfill the Stockholm international treaty on controlling persistent organic pollutants, through analyzing a great number of reports on the contamination of Organochlorine Pesticides (OCPs), a profound research on contaminative situation of the OCPs from the regional water and sediment in China is made in this paper. An overall summary is made on this contamination by comparing with the polluted level of rivers or bays abroad. Results show that China has a higher residual rate of OCPs in water and sediment, most of which are polluted to some extent. Some of the waters are seriously contaminated and can cause great danger to ecology. Sediment has become a new polluting source because of the high residual rate of OCPs. Suggestions on how to prevent such pollution are finally put forward.

Key words organochlorine pesticide; water pollution; sediment

0 引言

有机氯农药 (Organochlorine Pesticides, 简称 OCPs) 是一类重要的持久性有机污染物 (POPs), 因其具有高效的杀虫、除草以及灭菌作用曾被广泛应用在农业生产中。OCPs 通常具有较高的疏水性和很强的亲脂性^[1], 易发生生物累积、生物放大和“三致”(致癌、致畸、致突变)作用。水体沉积物成为持久性有机污染物的最终归宿之一^[2,3]。有机氯农药被列入我国 68 种环境优先控制污染物黑名单之中, 美国环保局也将其列为优先治理的对象。OCPs 在环境中的残留导致人体健康和生态系统受到的危害是不容忽视的。国内

收稿日期: 2009-11-24 基金项目: 国家自然科学基金 (20767002); 云南省中青年学术技术带头人后备人才培养计划 (2006PY01-01)。

作者简介: 王彬 (1984-), 男, 在读博士。主要研究方向: 环境污染控制及分析化学。E-mail: gnaenworldwb@yahoo.cn

通讯作者: 潘学军 (1970-), 男, 博士, 教授, 博导。主要研究方向: 环境分析化学。

外已有很多环境工作者对水及沉积物中 OCPs 污染状况作了研究分析^[4,5], 但对我国现阶段各主要河段湖泊和港湾的研究, 尚没有总结性的报道. 本文主要以水及沉积物中 HCHs (α -HCH、 β -HCH、 γ -HCH、 δ -HCH) 和 DDTs (p,p' -DDE、 p,p' -DDD、 p,p' -DDT) 为分析探讨对象, 阐明这类化合物在我国的污染水平、残留分布形式及其来源, 为控制水体有机污染及制定环境保护对策提供依据.

1 有机氯农药总量的残留状况分析

1.1 表层水体中的残留状况的分析

水中 OCPs 污染是多途径综合作用的结果. 我国部分表层水体中 HCHs 和 DDTs 的污染状况见图 1 和图 2

由图 1 和图 2 可以得出, HCHs 或 DDTs 在国内外不同表层水中几乎均有检出, 存在明显的区域性差异. 根据我国 GB3838《地表水环境质量标准》($C_{HCHs} < 5000 \text{ ng/L}$, $C_{DDTs} < 1000 \text{ ng/L}$) 及 GB3097-1997《国家海水水质标准》一类海水水质标准 ($C_{HCHs} < 1000 \text{ ng/L}$, $C_{DDTs} < 50 \text{ ng/L}$), HCHs 和 DDTs 残留浓度均未超过《地表水环境质量标准》, 但大亚湾海水某些检测点位的 HCHs ($\leq 1228.6 \text{ ng/L}$) 和 DDTs ($\leq 975.9 \text{ ng/L}$) 以及珠江口内海某些检测点位的 DDTs ($\leq 86 \text{ ng/L}$) 残留浓度超过国家海水水质一类标准. 徐盈等^[6]对严家湖湖水连续三年的研究表明, 该地区可能没有新污染源输入. 从辽河中下游^[10-11]、珠江干流河口^[16]和福建兴化湾^[24]表层水丰枯两期 HCHs 和 DDTs 的浓度对比得出, 枯水期 OCPs 的浓度明显高于丰水期, 原因主要是丰水期河水水量较大, 起到稀释作用. 王英辉等^[26]对汨罗湖研究得出丰水期 OCPs 的浓度大于枯水期, 原因主要是雨水对大气的冲刷作用而形成湿沉降, 增加了 OCPs 图中值得注意的是, 白洋淀、东湖和大亚湾水体中 OCPs 的总残留量非常高, 分别为 659.439.66 和 400 ng/L. 窦薇等^[7]研究得出, 白洋淀 OCPs 高残留的主要原因可能与其地理特征及周围环境有关. 丘耀文等^[14]研究表明, 大亚湾仍有 DDTs 的输入, 沉积物中 OCPs 的二次释放对水体有重要影响, 沿岸种植业、工业废水、生活污水、船舶污水、水产养殖和水动力等因素与该海区 OCPs 含量高密切相关. 陈威等^[17]分析表明, 工业、农业、渔业和自然地理特征是武汉

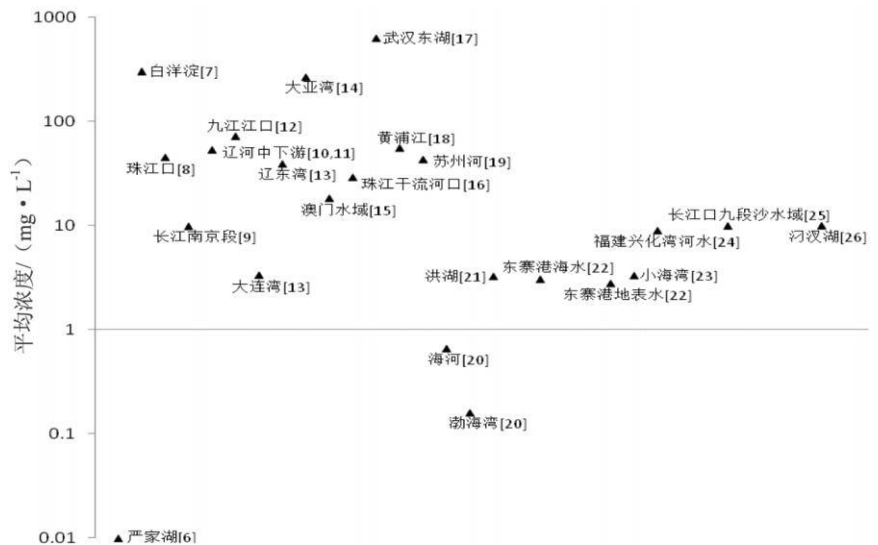


图1 部分水体中HCHs的污染状况
Fig.1 Contamination of HCHs in the regional waters

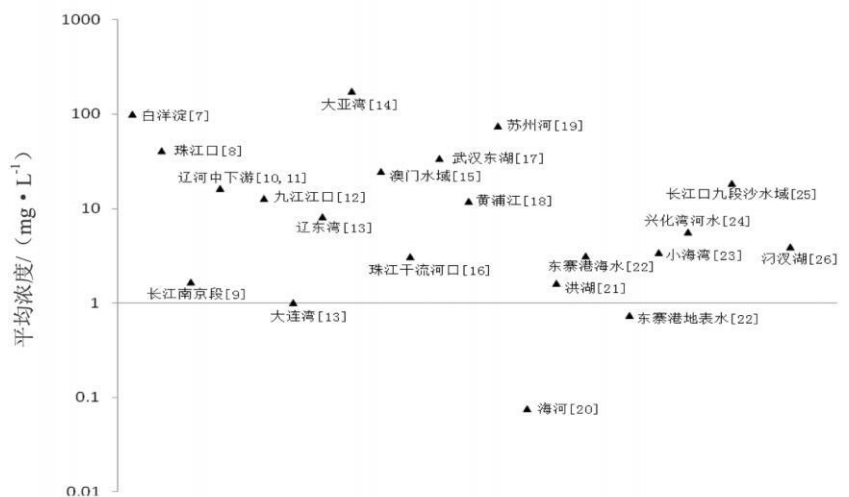


图2 部分水体中DDTs的污染状况
Fig.2 Contamination of DDTs in the regional waters

外已有很多环境工作者对水及沉积物中 OCPs 污染状况作了研究分析^[4,5], 但对我国现阶段各主要河段湖泊和港湾的研究, 尚没有总结性的报道. 本文主要以水及沉积物中 HCHs (α -HCH、 β -HCH、 γ -HCH、 δ -HCH) 和 DDTs (p,p' -DDE、 p,p' -DDD、 p,p' -DDT) 为分析探讨对象, 阐明这类化合物在我国的污染水平、残留分布形式及其来源, 为控制水体有机污染及制定环境保护对策提供依据.

东湖 OCPs 高残留的原因. 除此之外, 苏州河、珠江口、九江江口、辽河中下游、黄浦江、辽东湾、澳门水域、珠江干流河口和长江口九段沙水域 OCPs 的残留量相对较高. 福建兴化湾、汜汉湖、长江南京段、小海湾、洪湖、大连湾、海南东寨港、海河、渤海湾和严家湖表层水的水质相对较好.

与国外部分表层水 HCHs 和 DDTs 含量相比, 我国 OCPs 污染比发达国家严重, 如: 西班牙的 Ebro River^[27] (HCHs 3.1 ng/L, DDTs 3.4 ng/L)、加拿大的 St. Lawrence River^[28] (HCHs 0.06 ng/L, DDTs 9~22 ng/L) 等; 但比其他发展中国家轻, 如: 土耳其的 Küçük Menderes River^[29] (HCHs 187~337 ng/L, DDTs 72~120 ng/L)、埃及的 El-Haram Giza 地区^[30] (HCHs 20700~86200, DDTs 2300~61000 ng/L) 等. 这可能与发达国家较早停用 OCPs 使用农药新品种有关.

1.2 在水体沉积物中的残留状况分析

沉积物是水体 OCPs 的巨大储库, 在环境条件改变后 (如温度升降、酸碱度变化、含氧量变化等), 都可能再次向周围水体释放, 甚至引起突发性污染. 图 2 归纳了我国水体沉积物中 OCPs 的总残留量状况.

图 3 表明我国大部分水域沉积物中均有 OCPs 检出, 含量主要在 0.80~10.50 ng/g 之间. 珠江口、大连湾和泉州湾表层沉积物中浓度均远小于我国 (GB18668-2002)《海洋沉积物质量》一类标准的限值 (HCHs ≤ 500 ng/g, DDTs ≤ 20 ng/g), 而大沽排污河、辽东湾、海河、太湖和永磨河沉积物中 OCPs 总残留水平非常高. 胡雄星等^[19, 34, 39] 研究表明: 表层沉积物中 OCPs 高残留主要是环境中的早期残留, 水和沉积物中 OCPs 具有较好的相关性, 沉积物既是 OCPs 的重要归宿又是二次释放的主要来源. 除此之外, 南京市南河、苏州河和汜汉湖沉积物中 OCPs 残留量也相对较高, 其余水体沉积物中 OCPs 含量较低, 生态风险较小. 沉积物已成为水体中 OCPs 的“储存库”, 对人类及其他生物的生存构成了潜在威胁.

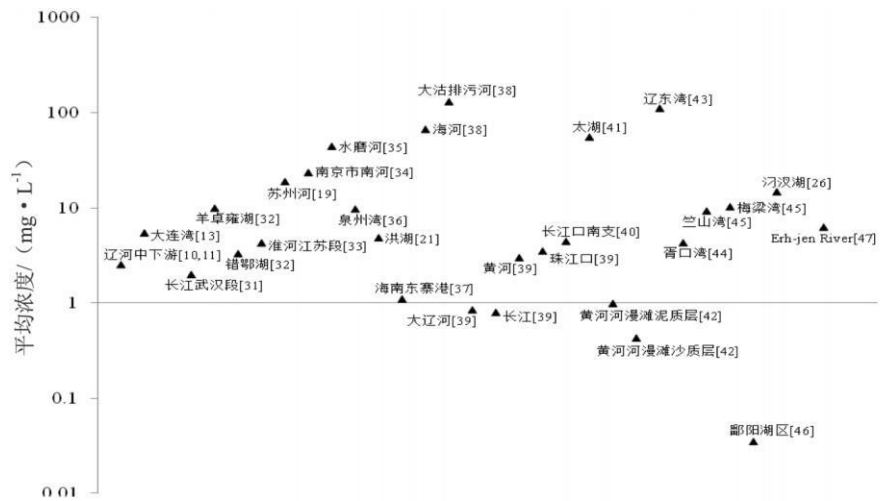


图3 部分水域沉积物中有机氯农药的污染状况

Fig.3 Contamination of organochlorine pesticides in the regional sediments

水和沉积物中 OCPs 具有较好的相关性, 沉积物既是 OCPs 的重要归宿又是二次释放的主要来源. 除此之外, 南京市南河、苏州河和汜汉湖沉积物中 OCPs 残留量也相对较高, 其余水体沉积物中 OCPs 含量较低, 生态风险较小. 沉积物已成为水体中 OCPs 的“储存库”, 对人类及其他生物的生存构成了潜在威胁.

2 有机氯农药的残留成分分析

2.1 各成分的残留水平分析

HCHs 产品一般包括 5 种异构体, 即 α -HCH, β -HCH, γ -HCH, δ -HCH 和 ϵ -HCH (一般主要监测前 4 种); DDTs 主要包括 p, p' -DDT 及其降解产物 p, p' -DDE 和 p, p' -DDD. 我国部分地区水和沉积物中有机氯农药残留状况如表 1 和表 2

我国《地表水环境质量标准》暂没有对 OCPs 各形态的浓度限值作出规定, 故参照美国 EPA 地表水水质推荐标准 (EPA 822-Z-99-001) 中对 OCPs 的限值 (α -HCH: 3.9 ng/L, β -HCH: 14 ng/L, γ -HCH: 19 ng/L, p, p' -DDE: 0.59 ng/L, p, p' -DDD: 0.83 ng/L, p, p' -DDT: 0.59 ng/L) 评价表 1 得出我国表层水大部存在超标现象. 表 1 中 α -HCH, β -HCH, γ -HCH, p, p' -DDE, p, p' -DDD 和 p, p' -DDT 标有“#”, 说明浓度已超过推荐标准限值, 水环境污染状况较严重. 针对表 1 和表 2 中某些 $\rho(\text{DDT}) > \rho(\text{DDE})$ 的状况, 可能原因是: ①沉积物将 DDT 转化为 DDE 的能力较低, 或 DDE 比 DDT 更具挥发性, 导致 $\rho(\text{DDE}) < \rho(\text{DDT})$; ②降水将土壤颗粒洗脱并冲刷至水体中成为悬浮物, 经过水力扰动或 pH 值、电导率的变化等, 使得细小颗粒物上吸附或附着的 DDT 类污染物被释放出来, 导致水体 $\rho(\text{DDT})$ 增大; ③大气沉降也是 DDT 的来源之一.

表 1 我国部分地区水中有机氯农药的残留状况

ng/L

Tab 1 The residual components of organochlorine pesticides in the regional waters of China

水体来源	时间	α -HCH	β -HCH	γ -HCH	δ -HCH	p,p'-DDE	p,p'-DDD	p,p'-DDT
严家湖 ^[6]	1993. 10	0. 003	0. 005	0. 001	0. 003	-	-	-
辽河中下游 ^[11]	1998. 12	3. 05~ 17. 90 (7. 2875) [#]	2. 83~ 9. 37 (4. 5625)	1. 55~ 3. 55 (2. 1125)	-	ND~ 1. 97 (1. 255) [#]	ND~ 0. 88 (0. 585)	ND~ 1. 45 (0. 93) [#]
九江江口 ^[12]	1999. 6	0. 17~ 23. 5 (3. 1084)	ND~ 99. 6 (35. 3005) [#]	0. 23~ 7. 84 (1. 8995)	ND~ 249 (23. 3242)	0. 06~ 40. 9 (9. 1421) [#]	ND~ 12. 6 (1. 4353) [#]	ND~ 9. 73 (0. 6753) [#]
大连湾 ^[13]	1999. 7	0. 04~ 0. 26 (0. 16)	0. 65~ 1. 81 (1. 37)	0. 24~ 2. 66 (1. 67)	0. 03~ 0. 21 (0. 15)	0. 06~ 0. 81 (0. 26)	0. 11~ 1. 01 (0. 34)	0. 22~ 0. 80 (0. 41)
辽东湾 ^[13]	1999. 7	5. 26~ 8. 98 (7. 11) [#]	18. 80~ 34. 22 (26. 94) [#]	1. 80~ 7. 54 (4. 31)	ND~ 0. 77 (0. 54)	ND~ 5. 33 (1. 05) [#]	ND~ 21. 54 (3. 90) [#]	ND~ 14. 50 (3. 23) [#]
澳门水域 ^[15]	2001. 4	4. 48 [#]	3. 08	5. 33	5. 37	1. 49 [#]	10. 13 [#]	13. 11 [#]
珠江干流 ^[16]	2001. 3	6. 1~ 70. 3 (27. 233) [#]	3. 2~ 12. 7 (7. 233)	1. 8~ 9. 6 (4. 133)	2. 7~ 18. 0 (7. 5)	0. 96~ 1. 70 (1. 212) [#]	1. 89~ 3. 75 (3. 112) [#]	0. 68~ 2. 25 (1. 303) [#]
	2001. 8	1. 58~ 7. 53 (4. 097) [#]	1. 02~ 3. 08 (1. 775)	0. 43~ 7. 11 (2. 448)	2. 29~ 5. 54 (3. 49)	0. 09~ 0. 21 (0. 157)	0. 15~ 0. 37 (0. 255)	0. 11~ 0. 21 (0. 157)
	两期均值	15. 665	4. 504	3. 291	5. 495	0. 685	1. 684	0. 73
苏州河 ^[19]	2004. 2	ND~ 44 (11. 5) [#]	ND~ 46 (13. 5)	9~ 41 (16. 8)	ND~ 8 (1. 3)	ND~ 75 (35) [#]	8~ 62 (19. 8) [#]	9~ 33 (20) [#]
武汉东湖 ^[17]	2005	8 [#]	27 [#]	24 [#]	566	34	-	-
洪湖 ^[21]	2005. 1	0. 21~ 2. 08 (0. 99)	0. 08~ 0. 68 (0. 27)	0. 18~ 2. 51 (1. 05)	0. 22~ 6. 61 (1. 55)	ND~ 0. 11 (0. 07)	0. 01~ 0. 08 (0. 03)	0. 03~ 0. 57 (0. 22)
福建兴化湾河水 ^[24]	2006 两期均值	1. 95	1. 61	1. 64	3. 75	0. 95 [#]	2. 34 [#]	2. 36 [#]

注: ND表示未检出; -表示未检测; #表示超过美国 EPA 地表水水质标准 (EPA 822-Z-99-001) 中对 OCPs 的限值; () 为平均值。

表 2 我国部分地区沉积物中有机氯农药的残留状况

ng/g

Tab 2 The residual components of organochlorine pesticides in the regional sediments of China

水体来源	时间	α -HCH	β -HCH	γ -HCH	δ -HCH	p,p'-DDE	p,p'-DDD	p,p'-DDT
严家湖 ^[6]	1993. 10	1. 03	1. 42	0. 39	1. 10	-	-	-
辽河中下游 ^[11]	1998. 12	ND~ 2. 82 (0. 705)	ND~ 0. 77 (0. 22)	0. 14~ 1. 13 (0. 5025)	-	0. 09~ 1. 58 (0. 5175)	ND~ 0. 71 (0. 27)	0. 12~ 0. 25 (0. 1875)
大连湾 ^[13]	1999. 7	0. 03~ 0. 82 (0. 25)	1. 08~ 5. 78 (2. 42)	ND~ 1. 28 (0. 43)	ND~ 0. 15 (0. 06)	0. 19~ 1. 25 (0. 58)	0. 32~ 2. 24 (0. 92)	0. 12~ 3. 23 (0. 81)
苏州河 ^[19]	2004. 2	ND~ 0. 84 (0. 27)	ND~ 11. 28 (2. 473)	ND~ 1. 69 (0. 522)	ND~ 2. 10 (0. 842)	4. 76~ 20. 19 (9. 908)	ND~ 8. 28 (2. 36)	ND~ 4. 32 (2. 515)
水磨河 ^[35]	2004. 3~ 5	2. 283~ 38. 95 (17. 974)	1. 158~ 10. 358 (6. 662)	0. 525~ 15. 675 (4. 549)	0. 541~ 7. 582 (2. 454)	1. 186~ 4. 719 (2. 632)	0. 695~ 3. 234 (1. 82)	2. 221~ 14. 15 (8. 413)
泉州湾 ^[36]	2004. 7	ND~ 0. 21 (0. 1)	ND~ 1. 21 (0. 15)	ND~ 1. 60 (0. 29)	ND~ 4. 59 (0. 57)	0. 08~ 1. 93 (0. 60)	0. 05~ 10. 28 (2. 69)	0. 90~ 34. 47 (5. 32)
洪湖 ^[21]	2005. 1	0. 04~ 5. 11 (0. 56)	0. 03~ 0. 47 (0. 24)	0. 03~ 2. 29 (0. 61)	0. 05~ 15. 00 (1. 85)	0. 09~ 2. 04 (0. 80)	0. 01~ 1. 37 (0. 38)	ND~ 2. 78 (0. 44)
海河 ^[38]	2006	1. 16~ 62. 13 (10. 56)	0. 45~ 9. 08 (4. 76)	0. 38~ 3. 93 (1. 85)	0. 27~ 2. 97 (1. 09)	0. 73~ 71. 75 (17. 78)	0. 69~ 141. 19 (27. 57)	0. 15~ 8. 62 (3. 44)
大沽排污河 ^[38]	2006	0. 77~ 69. 98 (20. 59)	0. 50~ 37. 64 (15. 01)	0. 65~ 19. 38 (6. 22)	0. 06~ 19. 02 (6. 13)	2. 30~ 124. 61 (47. 94)	1. 17~ 79. 18 (29. 53)	1. 03~ 78. 27 (35. 00)
长江口南支 ^[40]	2006. 4	ND~ 0. 64	ND~ 1. 24	0. 05~ 0. 3	0. 05~ 2. 84	0. 07~ 3. 34	0. 03~ 2. 17	0. 20~ 6. 08
太湖 ^[41]	2006. 5	0. 01~ 0. 53 (0. 15)	0. 06~ 64. 15 (15. 93)	0. 02~ 1. 16 (0. 22)	0. 12~ 309. 57 (42. 84)	0. 01~ 0. 57 (0. 14)	0. 02~ 1. 62 (0. 36)	0. 03~ 4. 53 (1. 26)
辽东湾 ^[43]	2006. 9	1. 8~ 18. 9 (10. 6)	0. 4~ 5. 2 (2. 9)	17. 7~ 67 (41)	0. 2~ 20. 3 (14. 1)	2. 9~ 21. 4 (13. 9)	ND~ 4. 2 (2. 6)	2. 4~ 41. 7 (19. 3)

注: -表示未对该物质进行检测; () 内为平均值。

2.2 HCHs 残留成分及源解析

由表 1 和表 2 数据, 绘制出图 4 和图 5 得出 β -HCH 在大部水及沉积物中含量均较高, β -HCH 质量分数在武汉东湖湖水、洪湖水及沉积物和辽东湾沉积物中分别为 4.32%、6.99%、7.36% 和 4.22%, 接近 5%; 在澳门水域、珠江干流和福建兴化湾表层水及辽河中下游和泉州湾沉积物中质量分数分别为 16.87%、15.55%、17.99%、15.41% 和 13.51%, 接近 12%; 其他水及沉积物检测点都大于 21% 且大多数点位都在 25% ~ 77% 之间, 远远高于工业产品中的含量 (5% ~ 12%), 而 β -HCH 是环境中最稳定和最难降解的异构体, 其他异构体会转型成 β -HCH 以达最稳定状态. 由此可推论, 在国家禁止 OCPs 生产和使用后, 大部分地区 HCHs 污染物主要源于环境的早期残留.

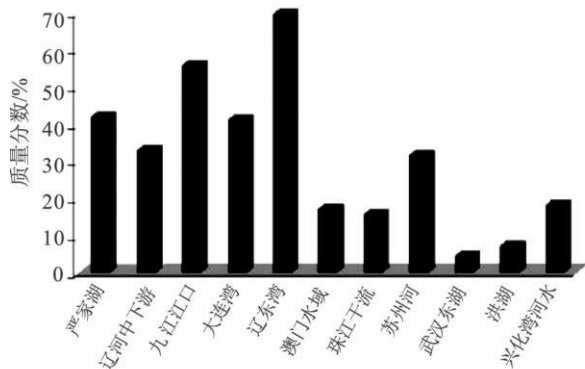


图 4 水中 β -HCH 的质量分数
Fig.4 Mass fraction of β -HCH in waters

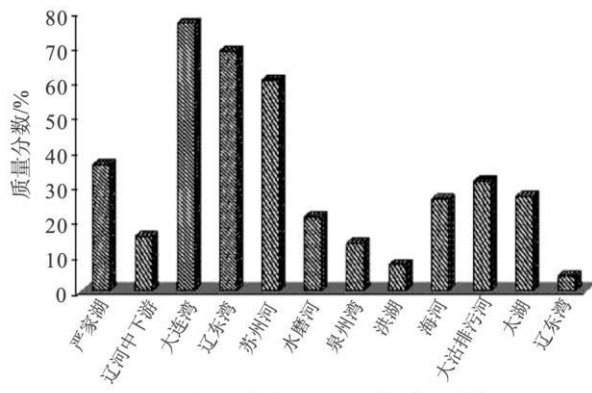


图 5 沉积物中 β -HCH 的质量分数
Fig.5 Mass fraction of β -HCH in sediments

一般认为, 若样品中六六六异构体中 α/γ 的比值在 4~7, 则源于工业品; 若比值接近于 1, 说明有林丹 γ -HCH 的使用; 若样品中比值增大, 则说明样品中六六六更可能来自长距离大气传输. 澳门水域表层水、福建兴化湾河水、洪湖水及沉积物和辽河中下游沉积物中 α/γ 分别为 0.84、1.19、0.94、0.92 和 1.40 接近 1, 说明以上地区近期可能有林丹 γ -HCH 输入; 珠江干流河口河水 α/γ 为 4.76, 则污染极可能源于工业品; 武汉东湖湖水、辽东湾沉积物和泉州湾沉积物中 α/γ 分别为 0.33、0.26 和 0.34 表明近期没有 HCHs 输入.

2.3 DDTs 的残留成分及源解析

DDT 厌氧条件下经微生物作用转化为 DDD, 好氧条件下转化为 DDE 研究 (DDE + DDD) / DDTs 和 DDE / DDD, 可以指示 DDT 的降解程度、输入情况及降解过程中的氧化还原状况. 根据表 1 和表 2 绘制水和沉积物样品中 (DDE + DDD) / DDTs 和 DDE / DDD 的分布图 (图 6 和图 7).

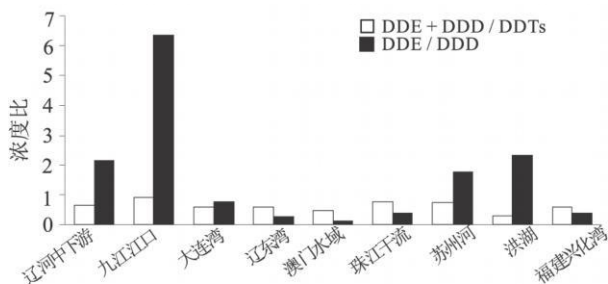


图 6 水体中 (DDE+DDD)/DDTs 和 DDE/DDD
Fig.6 Ratios of (DDE+DDD)/DDTs and DDE/DDD in waters

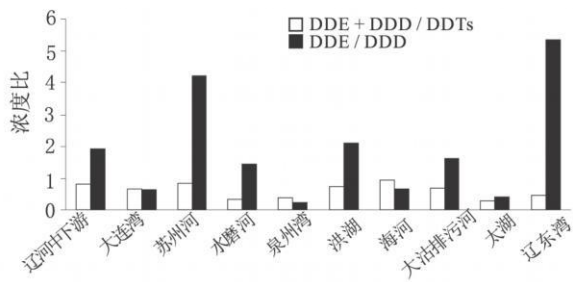


图 7 沉积物中 (DDE+DDD)/DDTs 和 DDE/DDD
Fig.7 Ratios of (DDE+DDD)/DDTs and DDE/DDD in sediments

若 (DDE + DDD) / DDTs > 0.5 则说明 OCPs 主要为施用农药后环境的早期残留, 近年来没有新的污染物输入. 由图 6 和图 7 看出, 我国水及沉积物中 (DDE + DDD) / DDTs 的比值基本在 0.582~0.930 之间且大部分比值均高于 0.65 而澳门水域、洪湖表层水和辽东湾、泉州湾、水磨河及太湖沉积物中 (DDE +

DDD)/DDTs 的比值分别为 0.47、0.312、0.461、0.382、0.346 和 0.284, 说明以上水体近期可能有新的 DDT 污染物输入。九江江口河水、苏州河水及沉积物、洪湖水及沉积物、辽河中下游水及沉积物、辽东湾沉积物、大沽排污河沉积物和水磨河沉积物中 DDE/DDD 的比值均在 1.45~6.37 之间, 表明降解主要在好氧环境下进行; 而在大连湾、辽东湾、澳门水域、珠江干流和福建兴化湾表层水及大连湾、泉州湾、海河和太湖表层沉积物中的比值都在 0.15~0.76 之间, 表明降解处于还原环境, 污染程度较重。

吕景才等^[13]研究表明, 大连湾、辽东湾表层海水均属一类水质, OCPs 污染主要来自农田和工业污水排放。杨清书等^[15-16]研究表明, 澳门水域水体除与该区属半封闭海湾、潮差小及水交换较弱有关外, 目前可能仍有少量 DDT 农药排入; 珠江干流河口水体丰枯两期 OCPs 的含量季节变化明显, 沿程不断有浓度相对较高的 DDT 输入或仍有新使用的 DDT 农药进入。张菲娜等^[24]研究表明, 福建兴化湾河水污染与莆田市各区县的海水养殖、港口和围垦等开发活动造成的工业、生产污水直接排放等有关。龚香宜等^[36]研究表明, 泉州湾 OCPs 污染来源为下层沉积物中 DDT 的向上迁移和新 DDT 污染源的出现。刘军等^[38]研究表明, 海河 DDTs 污染可能主要来自农田土壤残留, 近期基本无新的污染源输入。赵中华等^[41]研究表明, 太湖中仍具有 DDT 的输入特征。

3 措施

OCPs 污染防治可从以下几方面入手: ①在农业生态网络监测基础上, 进行农业生态环境功能区划, 对重点区域进行集中污染治理, 采取生物修复等技术; ②加大环境监测力度和扩展监测项目, 对农田土壤污染因子进行综合评价; ③继续加大对农药新品种的研发力度, 开发高效、低毒、低残留的农药新品种, 积极发展生物制药; ④加强国内外研究机构之间的沟通与合作, 在系统研究水体 OCPs 污染特征和生态毒理的同时, 建立全面系统的管理体系、风险评估、经济评估和预警机制。

参考文献:

- [1] Goedkoop W, Peterson M. The fate, distribution, and toxicity of lindane in tests with *Chironomus riparius*: Effects of bioturbation and sediment organic matter content [J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2003, 22(1): 67-76
- [2] Gülfem Bakan, Sema Arman. Persistent organochlorine residues in sediments along the coast of the Black Sea region of Turkey [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2004, 48: 1031-1039.
- [3] Ruey-An Doong, Yuh-Chang Sun, Pei-Ling Liao, et al. Distribution and fate of organochlorine pesticide residues in sediments from the selected rivers in Taiwan [J]. *Chemosphere*, 2002, 48: 237-246.
- [4] Li Tan, Mengchang He, Bin Men, et al. Distribution and sources of organochlorine pesticides in water and sediments from Daliao River estuary of Liaodong Bay, Bohai Sea (China) [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2009, 84: 119-127.
- [5] Godfried Darko, Osei Akoto, Caleb Oppong. Persistent organochlorine pesticide residues in fish, sediments and water from Lake Bosomtwe, Ghana [J]. *Chemosphere*, 2008, 72: 21-24.
- [6] 徐盈, 吴文忠, 张银华, 等. 鸭儿湖地区六氯环己烷的残留动态与长期归宿 [J]. *水生生物学报*, 1999, 23(4): 337-345.
- [7] 冀薇, 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, 18(5): 41-43.
- [8] 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 [J]. *海洋环境科学*, 1998, 17(2): 1-7.
- [9] 蒋新, 许士奋, Martens D, 等. 长江南京段水、悬浮物及沉积物中多氯有毒有机污染物 [J]. *中国环境科学*, 2000, 20(3): 193-197.
- [10] 张秀芳, 全雯, 陈景文, 等. 辽河中下游水体中多氯有机物的残留调查 [J]. *中国环境科学*, 2000, 20(1): 31-35.
- [11] 张秀芳, 董晓丽. 辽河中下游水体中有机氯农药的残留调查 [J]. *大连轻工业学院学报*, 2002, 21(2): 102-104.
- [12] 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 [J]. *环境科学*, 2001, 22(3): 88-92.
- [13] 吕景才, 赵元凤, 徐恒振, 等. 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.
- [14] 丘耀文, 周俊良, Maskaoui K, 等. 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.
- [15] 杨清书, 麦碧娴, 罗孝俊, 等. 澳门水域水体有机氯农药的垂线分布特征 [J]. *环境科学学报*, 2004, 24(3): 428-434.
- [16] 杨清书, 麦碧娴, 傅家谟, 等. 珠江干流河口水体有机氯农药的研究 [J]. *中国环境科学*, 2005, 25: 47-51.
- [17] 王新华, 陆晓华, 沈温芬. PFU 微型生物群落采样法研究有机氯污染物在水中相间分布 [J]. *水生生物学报*, 2005, 29(1): 65-69.

- [18] 夏凡, 胡雄星, 韩中豪, 等. 黄浦江表层水体中有机氯农药的分布特征 [J]. 环境科学研究, 2006, 19(2): 11-15.
- [19] 胡雄星, 夏德祥, 韩中豪, 等. 苏州河水及沉积物中有机氯农药的分布与归宿 [J]. 中国环境科学, 2005, 25(1): 124-128.
- [20] 王泰, 张祖麟, 黄俊, 等. 海河与渤海湾水体中溶解态多氯联苯和有机氯农药污染状况调查 [J]. 环境科学, 2007, 28(4): 730-735.
- [21] 苏秋克, 祁士华, 吴辰熙, 等. 洪湖特色水产品对湖水及沉积物中有机氯农药的积累模式 [J]. 地质科技情报, 2007, 26(4): 85-90.
- [22] 刘华峰, 祁士华, 李敏, 等. 海南东寨港区域水体中有机氯农药组成与时空分布 [J]. 环境科学研究, 2007, 20(4): 70-74.
- [23] 王珺, 祁士华, 穆倩, 等. 小海湾水体有机氯农药的浓度水平和特征 [J]. 环境科学与技术, 2007, 30(8): 33-36.
- [24] 张菲娜, 祁士华, 苏秋克, 等. 福建兴化湾水体有机氯农药污染状况 [J]. 地质科技情报, 2006, 25(4): 86-91.
- [25] 曾智超, 孙振中, 洪波, 等. 长江口九段沙水域有机氯农药分布 [J]. 长江流域资源与环境, 2007, 16(Z2): 85-89.
- [26] 王英辉, 祁士华, 王伟. 沔汉湖水体和表层沉积物中有机氯农药分布特征 [J]. 环境污染与防治, 2007, 29(6): 415-418.
- [27] Fernández M A, Abonso C, González M J, et al. Occurrence of organochlorine insecticides, PCBs and PCB congeners in waters and sediments of the Ebro river (Spain) [J]. *Chemosphere*, 1999, 38(1): 33-43.
- [28] Bernadette Quénerais, Claire Lenoir, Ken R Lum. Concentrations and sources of PCBs and organochlorine pesticides in the St. Lawrence River (Canada) and its tributaries [J]. *Chemosphere*, 1994, 29(3): 591-610.
- [29] Turgut C. The contamination with organochlorine pesticides and heavy metals in surface water in Küçük Menderes River in Turkey, 2000-2002 [J]. *Environment International*, 2003, 29(1): 29-32.
- [30] Samia El-Kabbany, Rashed M M, Zayed M A. Monitoring of the pesticide levels in some water supplies and agricultural land in El-Haram, Giza (A. R. E.) [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2000, 72(1): 11-21.
- [31] 杨嘉谟, 王赞, 苏青青. 有机氯农药在长江武汉段的残留状况调查 [J]. 武汉化工学院学报, 2004, 26(4): 38-41.
- [32] 张伟玲, 张干, 祁士华, 等. 西藏错鄂湖和羊卓雍湖水体及沉积物中有机氯农药的初步研究 [J]. 地球化学, 2003, 32(4): 363-367.
- [33] 黄宏, 肖乾芬, 王连生. 淮河流域沉积物中有机氯农药的残留与风险评价 [J]. 环境科学研究, 2008, 21(1): 41-45.
- [34] 安琼, 董元华, 葛成军, 等. 南京市小河流表层沉积物中的有机氯农药残留及其分布现状 [J]. 环境科学, 2006, 27(4): 737-741.
- [35] 吕爱华, 杨晓光, 熊建新. 水磨河流域有机氯农药污染调查及防治对策 [J]. 中国环境监测, 2007, 23(3): 65-68.
- [36] 龚香宜, 祁士华, 吕春玲, 等. 泉州湾沉积物柱状样中有机氯农药的垂直分布特征 [J]. 海洋环境科学, 2007, 26(4): 369-372.
- [37] 刘华峰, 祁士华, 苏秋克, 等. 海南东寨港表层沉积物中有机氯农药的组成特征 [J]. 中国环境科学, 2007, 27(1): 97-201.
- [38] 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): 169-173.
- [39] 刘军, 干爱华, 丁辉, 等. 大沽排污河表层沉积物中有机氯农药残留状况 [J]. 化学工业与工程, 2006, 23(4): 365-369.
- [40] 刘贵春, 黄清辉, 李建华, 等. 长江口南支表层沉积物中有机氯农药的研究 [J]. 中国环境科学, 2007, 27(4): 503-507.
- [41] 赵中华, 张路, 于鑫, 等. 太湖表层沉积物中有机氯农药残留及遗传毒性初步研究 [J]. 湖泊科学, 2008, 20(5): 579-584.
- [42] 何巧林, 靳孟贵, 祁士华, 等. 三门峡水库黄河河漫滩沉积柱有机氯农药垂直分布特征 [J]. 地质科技情报, 2008, 27(2): 108-112.
- [43] 路瑞, 秦延文, 郑丙辉, 等. 沉积物中有机氯农药超声提取分析方法研究 [J]. 环境科学研究, 2008, 21(3): 135-140.
- [44] 刘国卿, 林海涛, 张干, 等. 太湖沉积物中有机氯农药的污染历史 [J]. 中国环境科学, 2007, 27(4): 441-444.
- [45] 舒卫先, 李世杰. 北太湖沉积岩芯中有机氯农药 HCH 和 DDT 残留垂直分布特征及沉积环境意义 [J]. 第四纪研究, 2008, 28(4): 683-689.
- [46] 刘小真, 周文斌, 胡利娜, 等. 鄱阳湖区洲滩底质有机氯农药的垂直污染特征 [J]. 生态环境, 2008, 17(4): 1348-1353.
- [47] Ruey-An Doong, Chin-Kai Peng, Yuh-Chang Sun, et al. Composition and distribution of organochlorine pesticide residues in surface sediments from the Wu-Shi River estuary, Taiwan [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2002(45): 246-253.