

黄河中下游表层沉积物中有机氯农药含量及分布

孙剑辉^{1,2}, 王国良², 张干¹, 李军¹, 柴艳², 王景芝², 段延佩²

(1. 中国科学院广州地球化学研究所有机地球化学国家重点实验室, 广州 510640; 2. 河南师范大学化学与环境科学学院河南省环境污染控制重点实验室, 新乡 453007)

摘要:利用 GC-ECD 检测了黄河中下游干支流 23 个表层沉积物中的有机氯农药, 主要检测出 HCHs、DDTs、六氯苯、氯丹等, 总含量范围为 0.35 ~ 22.92 ng/g, 其中 HCHs 和 DDTs 的含量较高, 分别为 0.09 ~ 12.88 ng/g 和 0.05 ~ 5.03 ng/g. 干流中有机氯农药的含量从中游到中游呈逐渐升高趋势, 主要支流中的含量为: 新蟒河 > 金堤河 > 汜水 > 伊洛河 > 沁河. 干流中 HCHs 含量较海河、珠江、长江和黄浦江明显偏高; DDTs 含量与除海河外的其它河流基本相同, 但两者均低于国外河流. 沿河流域工业废水和主要支流的汇入、农药的广泛施用所引起的长期残留与风化土壤是黄河有机氯农药污染的主要来源.

关键词:有机氯农药; 沉积物; 黄河

中图分类号: X592 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2007)06-1332-06

Distribution of Organochlorine Pesticides in Surface Sediments from the Middle and Lower Reaches of the Yellow River

SUN Jian-hui^{1,2}, WANG Guo-liang², ZHANG Gan¹, LI Jun¹, CHAI Yan², WANG Jing-zhi², DUAN Yan-pe²

(1. State Key Laboratory of Organic Geochemistry, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of sciences, Guangzhou 510640, China; 2. Henan Key Laboratory for Environmental Pollution Control, College of Chemistry and Environmental Sciences, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China)

Abstract: Organochlorine pesticides (OCPs) in twenty-three sediment samples from the middle and lower reaches of the Yellow River were analyzed by GC-ECD. The OCPs detected were comprised mainly of HCHs, DDTs, hexachlorobenzene, chlordane, etc. The range of total OCPs concentration was 0.35 ~ 22.92 ng/g. The concentrations of HCHs and DDTs were much higher than other compounds and varied from 0.05 ~ 5.03 ng/g and 0.09 ~ 12.88 ng/g, respectively. Contamination level of OCPs in sediment increased from middle to lower reaches along the Yellow River. The distribution of total OCPs in main tributaries followed the sequence: Xinmang River > Jindi River > Si River > Yiluo River > Qin River. The Yellow River had a much higher concentration of HCHs than Hai River, the Pearl River, the Yangtze River and Huangpu River, and almost the same concentration of DDTs as other rivers except Hai River. The contamination of OCPs in the sediments from the middle and lower reaches of the Yellow River derived mainly from industrial contamination in riverbasin, the inflow of the main tributaries and the residues of organochlorine pesticides widely used for a long term and the aged and weathered agricultural soils.

Key words: organochlorine pesticides; sediments; Yellow River

有机氯农药(OCPs)如六六六(HCHs)、滴滴涕(DDTs)、六氯苯(hexachlorobenzene, HCB)、氯丹(chlordane)、硫丹(endosulfan)等是一类典型的持久性有机污染物(POPs). 该类污染物具有脂溶性高、水溶性低、半衰期长等特点^[1,2], 进入水体后, 易于和矿物质与有机质结合而长期蓄积于沉积物中, 能够产生致畸、致癌、致突变及生态食物链毒理学效应^[3~5], 对人类健康和水生生态系统造成直接或者潜在的威胁, 是一个当今倍受关注的全球性环境问题. 尽管许多国家禁止使用有机氯农药已有多年, 但在各种环境介质中仍可检测到它们的存在^[6], 目前国内外对于一些重要河流和海域沉积物中的有机氯农药已进行了研究^[7~10], 但有关黄河表层沉积物中有机氯农药的研究尚鲜见报道.

黄河是我国第 2 大河流, 是西北和华北地区重

要的水资源. 近年来, 由于有机氯农药的大量施用、水土流失、土地沙漠化、农田灌溉, 尤其是污染物排放的影响使黄河水质日益恶化, 给沿黄人民群众身体健康和经济建设可持续发展带来了严重威胁. 因此, 研究黄河水体中有毒污染物的含量分布及污染水平, 对于黄河水的治理和利用具有重要意义. 黄河横贯河南省北部, 西起灵宝市, 东到台前县, 流经三门峡、洛阳、郑州、新乡、开封、濮阳等 8 市 21 县, 全长 711 km, 该河段位于黄河的中下游, 是河南省沿黄城市群的饮用水源和工农业生产用水水源, 在河南省的经济发展中起着举足轻重的作用. 本研究主要分析了黄河中下游(河南段)干支流表层沉积物中

收稿日期: 2006-08-07; 修订日期: 2006-09-18

基金项目: 河南省重点科技攻关项目(0624440040)

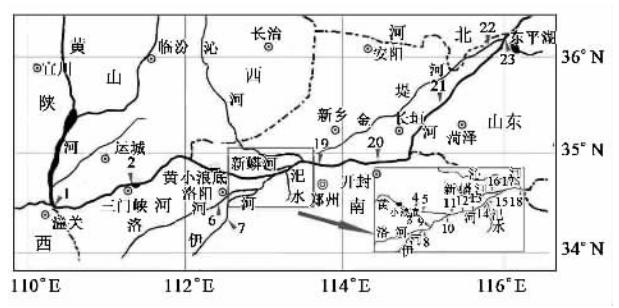
作者简介: 孙剑辉(1957 ~), 男, 博士研究生, 教授, 主要研究方向为水污染控制, E-mail: sunjh_hj@yahoo.com.cn

有机氯农药含量及分布,探讨了有机氯农药的结构特征和来源,以期为黄河水体的污染控制和持久性有机污染物数据库的建立提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 样品采集

于 2005-11 采集了黄河中下游(河南段)干支流 23 个表层沉积物样品,采样点包括黄河干流 13 个点位,主要支流伊洛河、汜水、沁河、新蟒河、金堤河 8 个点位和洛阳石化总厂、首阳山电厂入黄排污口 2 个点位(见图 1).采样工具为抓斗式采泥器,采样位置为左、中、右 3 点.样品采集后,放入冰柜内 -20℃ 保存备用.



1. 风陵渡大桥; 2. 三门峡水库; 3. 孟津大桥; 4. 洛阳石化总厂排污口; 5. 杨村沟; 6. 高崖寨; 7. 龙门公路大桥; 8. 伊洛河汇合口; 9. 首阳山电厂排污口; 10. 伊洛河入黄河前; 11. 黄河 I; 12. 黄河 II; 13. 黄河 III; 14. 汜水; 15. 汜水入黄河后; 16. 东平滩; 17. 沁河; 18. 沁河入黄河后; 19. 花园口; 20. 开封大桥; 21. 濮阳东明公路大桥; 22. 金堤河; 23. 金堤河入黄河后

图 1 黄河中下游表层沉积物采样点分布

Fig.1 Sampling sites of surface sediments from the middle and lower reaches of the Yellow River

1.2 样品处理

样品经冷冻干燥后,碾碎过筛.称取约 30 g 沉积物样品,加入回收率指示物,以二氯甲烷作溶剂,用索氏提取器抽提 48 h,抽提前在底瓶中加入约 2 g 铜片脱硫.提取液在旋转蒸发仪上($\leq 35^{\circ}\text{C}$)浓缩至 5 ~ 10 mL,然后分 3 次加入正己烷 10 ~ 15 mL,浓缩近 1 mL,转移至 5 mL 的样品瓶中,用高纯氮吹至约 0.5 mL.将浓缩液通过硫酸硅胶:硅胶:氧化铝(体积比)为 1:1:2 的玻璃层析柱,用正己烷:二氯甲烷体积比为 1:1 的 10 mL 混合液冲淋有机氯农药组分,将淋洗液氮吹浓缩至 0.5 mL,转移到 2 mL 样品瓶,用高纯氮气吹至 0.2 mL,加入内标物(PCNB),待分析.

1.3 样品分析

有机氯农药检测采用 HP6890 气相色谱(GC)仪,配以⁶³Ni 电子捕获检测器(ECD).色谱柱为 HP-

5MS 毛细管柱(30 m × 0.25 mm × 0.25 μm, 美国 Agilent Co.Ltd.),载气为高纯氦气,柱流量为 1.0 mL/min,进样量为 1.0 μL,非分流进样,检测器温度为 315℃.柱升温程序为,初始温度:60℃,保持 2 min,程序升温:6℃/min 升温至 200℃,1℃/min 升温至 210℃,10℃/min 升温至 290℃,保持 10 min.色谱数据以 Agilent 色谱工作站处理,化合物的定量采用 6 点校正曲线和内标法进行.

有机氯农药的标准物质(US-1128)购自美国 Accustandard 公司,其中包含有 α-HCH、β-HCH、γ-HCH、δ-HCH、六氯苯、氯丹(顺反式)、九氯(顺反式)、α-硫丹、β-硫丹、p, p'-DDE、p, p'-DDD、o, p'-DDT、p, p'-DDT、硫丹硫酸盐等 16 种农药.有机氯农药的回收率指示物为 2,4,5,6-四氯间二甲苯和多氯联苯(PCB209),回收率范围为:76% ~ 105%,所得数据均经回收率校正.方法检出限为 0.01 ~ 0.12 ng/g.整个实验过程中的质量控制/质量保证(QA/QC)措施按照文献[11]进行.

2 结果与讨论

2.1 有机氯农药的含量及分布特征

按照上述分析条件,对经处理后的沉积物样品提取液进行了分析,结果发现在黄河中下游表层沉积物中能够检测到绝大多数有机氯农药,其中以 DDTs、HCHs、六氯苯、氯丹类农药为主,检出率几乎为 100%,且含量较高,而其它类农药如九氯、硫丹及硫丹硫酸盐类的含量较低.各采样点的含量及分布特征如表 1 和图 2 所示.

由表 1 和图 2 可知,黄河中下游表层沉积物中有机氯农药的总量范围为 0.35 ~ 22.92 ng/g,平均值为 3.35 ng/g.最大值点位于 16 号采样点东平滩(新蟒河),最小值位于 12 号采样点(黄河 II).黄河干流从风陵渡大桥到金堤河汇入黄河后,沉积物中的有机氯农药含量有逐渐增大的趋势,但整体含量小于 1.0 ng/g.主要支流沉积物中总有机氯农药含量的大小顺序为:新蟒河(16 号) > 金堤河(22 号) > 汜水(14 号) > 伊洛河(10 号) > 沁河(17 号),新蟒河的含量高出其它支流数倍,支流沉积物中有机氯农药的含量明显大于干流,说明支流的汇入是黄河表层沉积物中有机氯农药的重要来源之一.沿黄河 2 大企业排污口 4 号(洛阳石化总厂)和 9 号(首阳山电厂)处有机氯农药含量较大,分别为 6.86 ng/g 和 4.19 ng/g,这可能是由于所排废水中含有较多的有机物(COD)和悬浮物(SS),进入水体中的有机氯农药直

表 1 黄河中下游表层沉积物中主要有机氯农药的含量/ $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$

Table 1 Concentration of main organochlorine pesticides in surface sediments from the middle and lower reaches of the Yellow River/ $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$												
采样点	HCB	α -HCH	β -HCH	γ -HCH	δ -HCH	p,p' -DDT	o,p' -DDT	p,p' -DDE	p,p' -DDD	TC ²⁾	CC ³⁾	Σ OCPs ⁴⁾
1	0.03	n.d.	0.03	0.06	n.d. ¹⁾	0.02	0.02	0.04	0.05	0.08	0.06	0.44
2	1.63	0.11	0.42	0.28	0.09	0.21	0.43	0.78	0.42	0.12	0.10	4.94
3	0.13	0.02	0.08	0.10	0.01	0.01	0.02	0.04	0.04	0.06	0.05	0.58
4	0.73	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.25	0.39	0.96	0.61	1.84	0.58	6.86
5	0.08	0.01	0.04	0.13	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.07	0.05	0.46
6	0.79	0.03	0.13	0.12	0.04	0.07	0.07	0.28	0.15	0.11	0.11	1.93
7	0.36	0.03	0.14	0.11	0.03	0.58	0.04	0.51	0.28	0.05	0.04	2.17
8	0.50	0.05	0.17	0.13	0.03	0.21	0.14	0.41	0.18	0.07	0.04	2.37
9	0.31	0.37	0.79	0.22	0.17	0.06	0.05	1.30	0.72	0.06	0.07	4.19
10	1.43	0.12	0.59	0.29	0.06	0.31	0.08	0.59	0.35	0.08	0.05	4.15
11	0.09	0.02	0.06	0.12	0.02	0.01	0.02	0.03	0.02	0.08	0.05	0.54
12	0.07	0.02	0.05	0.08	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.04	0.03	0.35
13	0.13	0.02	0.06	0.12	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.05	0.04	0.52
14	3.51	0.18	0.78	0.37	0.08	0.39	0.30	0.72	0.33	0.12	0.63	7.42
15	0.14	0.03	0.16	0.09	0.02	0.14	0.25	0.20	0.15	0.36	0.18	2.02
16	4.58	1.52	8.94	2.43	n.d.	0.45	0.68	1.25	1.11	0.76	0.29	22.92
17	0.16	0.03	0.10	0.14	0.02	0.07	0.05	0.11	0.08	0.08	0.07	1.05
18	0.12	0.02	0.14	0.08	0.02	0.05	0.04	0.10	0.07	0.05	0.04	0.84
19	0.12	0.02	0.09	0.12	0.03	0.02	0.03	0.05	0.03	0.06	0.04	0.63
20	0.36	0.07	0.41	0.39	n.d.	0.03	0.03	0.13	0.07	0.07	0.06	1.66
21	0.11	0.03	0.10	0.11	0.02	0.10	0.13	0.18	0.12	0.06	0.03	1.12
22	0.89	0.24	1.10	0.89	0.26	0.57	0.12	1.88	2.45	0.38	0.33	9.41
23	0.10	0.02	0.06	0.13	0.01	0.01	0.01	0.07	0.05	0.06	0.04	0.58

1) n.d.表示未检出或低于检出限,下同; 2) *trans*-chlordane(TC); 3) *cis*-chlordane(CC); 4) Σ OCPs表示16种有机氯农药的总量

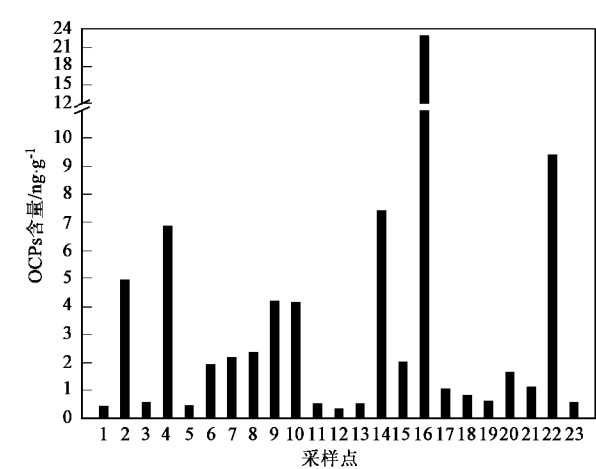


图 2 黄河中下游表层沉积物中有机氯农药分布特征
Fig.2 Distribution of OCPs in surface sediments from the middle and lower reaches of the Yellow River

接或与某些有机物结合后吸附于悬浮物上^[12]沉积所致.最大支流伊洛河的上游伊河(7号)和洛河(6号)沉积物中的有机氯农药含量相近,但伊河和洛河汇合口(8号)的含量却明显增加,这是由于沿途接纳了大量的工业废水所引起的.干流从孟津大桥到开封大桥段,沉积物中有机氯农药的含量较高,究其

原因:一方面是由于几条主要支流的汇入;另一方面是由于洛阳、郑州等城市大量的炼油、化工、制药、纺织、热电、冶金、机械制造工业废水的排入;更重要的是由于该区域分布着广阔的农田,耕地面积高达100多 km^2 ,同全国一样,作为广谱杀虫剂的有机氯农药在二十世纪50年代开始应用至1983年被禁用期间曾大量施用,这些农药一般只有少量附着于农作物上,其余绝大部分残留在土壤或飘浮在大气中,进而通过地表径流、大气沉降等进入到黄河水体并蓄积在沉积物中.

HCHs和DDTs是有机氯农药的典型代表性污染物,美国、日本、中国等国家都将其列入优先监测污染物黑名单,在国内外不同地区河流表层沉积物中均被检出(见表2).本次监测数据与1984年黄河入海口表层沉积物中HCHs和DDTs的分析结果^[13]相比,HCHs由1.00~5.00 ng/g 增加到0.09~12.88 ng/g ,DDTs由未检出增加到0.05~5.03 ng/g ,两者虽已被禁止和限制作为农药使用22a,但在表层沉积物中的含量却明显增加,说明该流域是历史上HCHs和DDTs使用量较多、污染较为严重的地区,除其在环境中的残留外,近年来果树和棉花等作物上杀虫

还在使用的三氯杀螨醇(内含 3.5% ~ 10.8%左右的 DDT)农药。用于三氯杀螨醇原料和部分供出口的 DDT 的生产以及用于三氯苯中间体的六氯环己烷(HCH)的生产所排放的废水、废气可能是黄河中下游地区新近 HCHs 和 DDTs 农药污染的主要来源。本监测数据与国外其它河流表层沉积物中的 HCHs 和

DDTs 相比较,两者总体上含量较低,均远远小于国外河流沉积物中的测定值,但与国内相比,HCHs 含量明显高于海河、珠江、长江和黄浦江,DDTs 含量与除海河外的其它河流基本相同,说明黄河已成为我国有机氯农药污染较严重的河流之一。

2.2 有机氯农药的组成特征

表 2 不同地区河流表层沉积物中 HCHs 和 DDTs 的含量比较/ng·g⁻¹

河流	HCHs	DDTs	参考文献
Keelung River (中国台湾)	5	10	[14]
Parramata River (澳大利亚)	7.7	26	[14]
Mert Stream (土耳其)	14 ~ 16	71	[15]
Matanido River (所罗门群岛)	140	750	[14]
Kaveri River (印度)	4.35 ~ 158.4	0.69 ~ 4.85	[16]
海河(中国)	7.8 ~ 10.8	9.5 ~ 11.5	[13]
珠江(中国)	1.42 ~ 3.80	2.22 ~ 5.02	[17]
长江(南京段)(中国)	0.18 ~ 1.67	0.21 ~ 4.50	[18]
黄浦江(中国)	0.14 ~ 0.77	0.68 ~ 4.43	[19]
黄河入海口(1984 年,中国)	1.00 ~ 5.00	n. d.	[13]
黄河(本研究,中国)	0.09 ~ 12.88	0.05 ~ 5.03	

HCHs 作为 1 种残留于环境中的主要有机氯农药,主要来源于工业纯六氯环己烷(HCH)和作为杀虫剂的林丹。工业 HCH 通常由 65% ~ 70%(质量分数,下同)的 α -HCH、7% ~ 10% 的 β -HCH、14% ~ 15% 的 γ -HCH 以及约 10% 的 δ -HCH 和其它异构体组成,林丹的主要成分为 γ -HCH,约占总林丹的 97%。有研究表明^[20], α -HCH 的挥发性强,易于进入大气发生远距离迁移,而 β -HCH 抗生物降解能力最强,化学性质比其它异构体稳定,在环境中的残留较其它组分高。在闽江河口、九龙江口^[10]都曾发现 β -HCH 是 HCHs 的主要组分。本监测除 4 号采样点未检出 HCHs 外,其余各点均有检出,其含量范围为 0.09 ~ 12.88 ng/g。图 3 给出了黄河中下游表层沉积物中 HCHs 4 种同分异构体的组成特征,由图 3 可知,黄河表层沉积物中 HCHs 主要以 β -HCH、 γ -HCH 为主,两者分别占 HCHs 总量的 20% ~ 79% 和 18.8% ~ 53.8%, β/γ 大部分(77%)比值在 1.0 ~ 3.5 之间,因而黄河表层沉积物中 HCHs 主要源于有机氯类农药长期降解后的蓄积残留及林丹类农药在农田的大面积使用。

DDTs 类有机氯农药在不同的自然环境中,可以降解为不同的代谢产物。在厌氧条件下,DDT 通过还原反应脱氯生成 DDD;在好氧条件下,DDT 主要降解为 DDE,因而,如果存在持续的 DDT 的输入,则 DDTs 的相对含量就会维持在一个较高的水平;如果没有新的 DDT 的输入,则 DDT 的相对含量就会不断

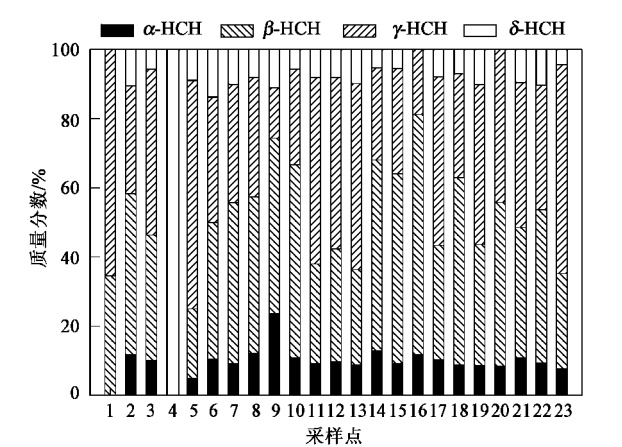


图 3 黄河中下游表层沉积物中 HCHs 的组成特征
Fig.3 Composition of the HCHs in the surface sediments from the middle and lower reaches of the Yellow River

降低,而相应的产物含量就会不断升高。因此,DDT/(DDD + DDE)和 DDD/DDE 的比值能够用来示踪 DDTs 农药的降解环境和降解程度,并用于判定是否有新的 DDT 农药的输入。当 DDT/(DDE + DDD)比值小于 2 时,认为 DDTs 是来自于早期残留或者施用农药后的长期风化残留^[21]。本监测检出的 DDTs 主要以 DDD 和 DDE 为主,其含量范围为 0.05 ~ 5.03 ng/g。图 4 给出了黄河中下游表层沉积物中 DDT 的组成特征,由图 4 可知,沿河流从上游到下游,DDT/(DDD + DDE)的比值逐渐增高,最高值为 15 号采样点(汜水河),但该比值普遍小于 1,平均值为 0.49,

说明黄河表层沉积物中新的 DDTs 类有机氯农药输入的量比较少,DDTs 的污染主要源自长期风化的土壤和施用农药后在土壤中的残留.另从 DDD/DDE 的比值看,除 1 号(三门峡水库)和 22 号(金堤河)采样

点外均小于 1,表明沉积物中的有机氯农药多发生有氧性生物降解,这与黄河中下游地区流量大、水质中含有大量的沙质,水流的扰动比较大有关;而 1 号和 22 号点发生了 DDT 厌氧性生物降解,可能是由

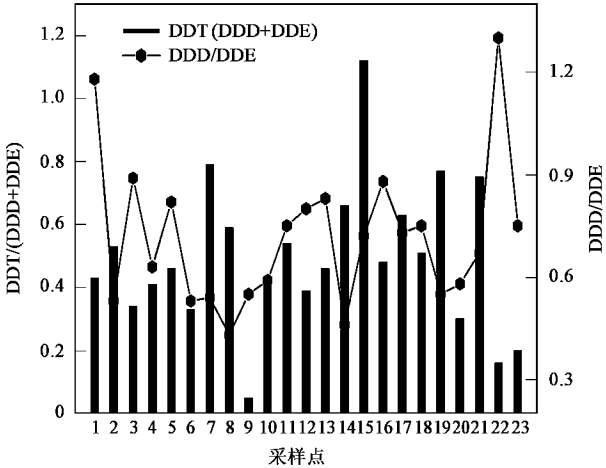
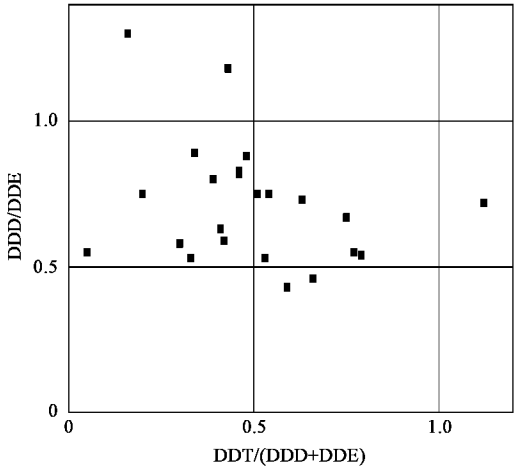


图 4 黄河中下游表层沉积物中 DDTs 组成特征

Fig.4 Composition of DDTs in surface sediments from the middle and lower reaches of the Yellow River

于采样点的河水形成相对封闭的水域所致.

3 结论

(1) 黄河中下游表层沉积物中的有机氯农药以 DDTs、HCHs 和六氯苯、氯丹等为主,其总含量为 0.35 ~ 22.92 ng/g,平均值为 3.35 ng/g,其中 DDTs 与 HCHs 的含量较高,分别为 0.05 ~ 5.03 ng/g和 0.09 ~ 12.88 ng/g.

(2) 从中游到中下游,有机氯农药含量呈现逐渐增加趋势,主要支流中的有机氯农药含量大小顺序为:新蟒河>金堤河>汜水>伊洛河>沁河.

(3) 与其它河流沉积物中有机氯农药的监测数据相比,干流中 HCHs 含量较海河、珠江、长江和黄浦江明显偏高;DDTs 含量与除海河外的其它河流基本相同,但两者均低于国外河流.

(4) 黄河表层沉积物中有机氯农药的污染,一是源于沿河流区域工业废水和主要支流的汇入,二是由于有机氯农药的广泛施用,长期残留在环境中的农药及其风化土壤通过地表径流、大气沉降等进入到水体中所致.

参考文献:

[1] Smith A G, Gangolli S D. Organochlorine chemicals in seafood: occurrence and health concerns[J]. Food and Chemical Toxicology, 2002, 40(6): 767 ~ 779.

[2] 王连生. 有机污染化学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.792 ~ 830.

[3] Colborn T, Smolen M J. Epidemiological analysis of persistent organochlorine contaminants in cetaceans [J]. Review of Environmental Contamination and Toxicology, 1996, 146: 91 ~ 172.

[4] 徐晓白,金祖亮,许后效. 有毒有机物环境行为和生态毒理理论论文集[M]. 北京: 科学出版社,1990.1 ~ 672.

[5] Patlak M. Estrogens may link pesticides, breast cancer [J]. Environmental Science & Technology, 1996, 30(5): 210A ~ 211A.

[6] Iwata H, Tanabe S, Aramoto M, et al. Persistent organochlorine residues in sediments from the Chukchi Sea, Bering Sea and Gulf of Alaska[J]. Marine Pollution Bulletin, 1994, 28(12): 746 ~ 753.

[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价[J]. 环境科学, 2003, 24(1): 121 ~ 125.

[8] Pereira W E, Hostertler F D, Rapp J B. Distribution and fate of chlorinated insecticides, biomarkers and polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments along a contamination gradient from a point-source in San Francisco Bay, California [J]. Marine Environmental Research, 1996, 41(3): 299 ~ 314.

[9] 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.

[10] Yuan D X, Yang D N, Chen M, et al. Concentrations and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons and organo-chlorides in Surface sediments of Xiamen Western Harbour and Mingjiang Estuary[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2001, 21(1): 7 ~ 12.

[11] 林峥,麦碧娴,张干,等. 沉积物中多环芳烃和有机氯农药定量分析的质量保证和质量控制[J]. 环境化学, 1999, 18(2): 115 ~ 121.

[12] 陈静生, 陶澍, 邓宝山, 等. 水环境化学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1987. 220 ~ 222.

[13] Wu Y, Zhang J, Zhou Q. Persistent organochlorine residues in sediments from Chinese river/estuary systems[J]. Environmental Pollution, 1999, 105(1): 143 ~ 150.

[14] Iwata H, Tanabe S, Sakai N, et al. Geographical distribution of persistent organochlorine in air, water and sediments from Asia and Oceania, and their implications for global redistribution from lower latitudes[J]. Environmental Pollution, 1994, 85(1): 15 ~ 33.

[15] Bakan G, Ariman S. Persistent organochlorine residues in sediments along the coast of mid-Black Sea region of Turkey[J]. Marine Pollution Bulletin, 2004, 48(11-12): 1031 ~ 1039.

[16] Rajendran R B, Surbramanian A N. Chlorinated pesticide residues in surface sediments from the River Kaveri, South India[J]. Journal of Environmental Science and Health Part B—Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes, 1999, 34(2): 269 ~ 288.

[17] 罗孝俊, 陈社军, 麦碧娴, 等. 珠江三角洲河流及南海近海区域表层沉积物中有机氯农药含量及分布[J]. 环境科学学报, 2005, 25(9): 1272 ~ 1279.

[18] Jiang X, Martens D, Schramm K W, et al. Polychlorinated organic compounds (PCOCs) in waters, suspended solids and sediments of the Yangtse River[J]. Chemosphere, 2000, 41(6): 901 ~ 905.

[19] 胡雄星, 韩中豪, 周亚康, 等. 黄浦江表层沉积物中有机氯农药的分布特征及风险评价[J]. 环境科学, 2005, 26(3): 44 ~ 48.

[20] Willett K L, Ulrich E M, Hites R A. Differential toxicity and environmental fates of hexachlorocyclohexane isomers [J]. Environmental Science & Technology, 1998, 32(15): 2197 ~ 2207.

[21] 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(4 ~ 12): 229 ~ 236.

《环境科学》编辑部关于启用编辑信息管理系统公告

《环境科学》编辑部决定自 2006 年 8 月 1 日起开通本刊网站并启用编辑信息管理系统(网站地址: <http://www.hjkx.ac.cn>). 该系统能实现在线投稿、在线审稿、期刊浏览检索等功能, 欢迎广大作者、读者和审稿专家使用. 自 2006 年 8 月 1 日起, 我刊所有来稿都将通过网站编辑信息管理系统进行. 作者使用编辑信息管理系统投稿时请先进行注册, 注册完毕后以作者身份登录, 按照页面上给出的提示投稿即可. 如果您在使用过程中有问题, 请及时与我刊编辑部联系.

邮政地址: 北京市海淀区双清路 18 号《环境科学》编辑部

邮 编: 100085

电 话: 010-62941102, 010-62849343

传 真: 010-62849343

E-mail: hjkx@rcees.ac.cn

网 址: www.hjkx.ac.cn

《环境科学》编辑部