

渤海湾主要入海河流入海口沉积物有机氯农药污染特征及其来源分析

秦延文, 张雷, 郑丙辉, 曹伟

(中国环境科学研究院河流与海岸带环境创新基地, 北京 100012)

摘要: 本文以渤海湾主要入海河流(蓟运河、永定新河、大沽河、独流减河、子牙新河、北排河)入海河口为研究区域, 利用超声提取技术, 使用气相色谱-电子捕获检测器(GC-ECD)方法测定了样品中的有机氯农药的含量。研究表明, 上述主要入海河流河口沉积物的 OCPs 含量在 $34.0\sim 518.3\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ 之间(以干质量计), 以大沽河的污染最为严重。各河流的主要 OCPs 分布模式不同, 其中永定新河、子牙新河 OCPs 污染以 DDTs 为主, 蓟运河和北排河则以 HCHs 为主, 独流减河七氯污染最为严重。与国内外其他地区沉积物相比, 该地区沉积物中 OCPs 污染处于较高水平。主成分分析结果表明主要入海河流中都存在着 OCPs 的近期输入。

关键词: 有机氯农药; 渤海湾主要入海河流; 污染特征; 来源分析

中图分类号: X592 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2010)10-1900-07

Distribution Characteristics and Sources of OCPs in Estuary Sediments of Main Runoff Flowed into Bohai Bay, China

QIN Yan-wen, ZHANG Lei, ZHENG Bing-hui, CAO Wei

(River and Coastal Environmental Research Center, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China)

Abstract: This work is focus on the occurrence and distribution of organochlorine pesticides (OCPs) in sediment, which are collected from the major Bohai sea-going rivers including Jiyun, Yongdingxin, Dagu, Duliujian, Ziyaxin and Beipai River. The analytes were ultrasonic extracted and determined by gas chromatography-electron capture detector (GC-ECD). The results indicated that the concentrations of OCPs in the sediment varied from $34.0\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ to $518.3\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$, and the highest value was found in Dagu River. The results also suggested different distribution patterns of OCPs in the sediments from these rivers, for example, DDTs were the main components in Yongdingxin River and Ziyaxin River, HCHs dominated in Jiyun River and Beipai River, heptachloro regnant dominated in Duliujian River compared with those in other national or international regions. The concentrations of OCPs in soils from estuary sediments of main runoff flowed into Bohai Bay were higher. It could be concluded that soil OCPs levels were relatively high in this area. In addition, results from principal components analysis disclosed newly inputs of OCPs into the rivers.

Keywords: organochlorine pesticides; main runoff flowed into Bohai Bay; pollution characteristics; source analysis

有机氯农药(Organochlorine pesticides, 简称OCPs)是一类氯代芳香烃的衍生物, 它分为两大类: 一类是氯苯类, 包括六六六、滴滴涕等; 另一类是氯化脂环类, 包括狄氏剂、毒杀芬、氮丹、七氯等。虽然我国在1983年禁止生产和使用一些有机氯农药, 但由于其半

衰期长, 性质稳定而长期残存在土壤、沉积物及人畜体内, 对环境和人类健康产生危害, 这一问题逐渐引起社会的广泛关注。USEPA 公布的优先污染物名单中有机氯农药就有 13 种, 同时有机氯农药也已经被列入我国 68 种环境优先控制污染物黑名单之中^[1], 并且在 2001 年通过的《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》中, 12 种被列为首批控制的持久性有机污染物中大部分为有机氯农药。因此有机氯农药的监测仍是环境监测中的重要内容, 而沉积物是水体中有机氯农药的主要归宿地之一^[2-3], 因此沉积物中的有机氯农药分析检测就显得尤为重要。

收稿日期: 2010-04-13

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2007CB407306); 中国环境科学研究院中央级公益性科研院所基本科研业务专项资助(2007KYYW08)

作者简介: 秦延文(1973—), 女, 山东青岛人, 博士, 主要从事河口污染物地球化学循环方面的研究。E-mail: qinyw@craes.org.cn

渤海海岸带是我国海岸带的重要组成部分,具有造地、防洪、减污、养殖、供饵、航运、旅游以及阻止海岸线侵蚀等多种环境功能和生态价值,对沿海地区的经济发展起着重要的作用。随着近年来渤海地区城市建设和经济的迅猛发展,渤海海岸带资源和环境结构发生了较大改变。在高强度开发背景下,渤海海岸带的生态环境面临前所未有的威胁,其中尤以 OCPs 的污染最为引人关注。由于 OCPs 类物质具有高脂溶性、生物累积性和持久性,因此对海岸带生态系统的潜在影响不容忽视,同时沉积物又是陆源 OCPs 的蓄积库,可能成为水体 OCPs 污染的二次污染源,因此对于渤海湾海岸带沉积物中 OCPs 污染的研究就显得尤为重要,对于确定区域环境质量变化的关键过程和主控要素具有重要的基础性意义。

近年来,国内学者对于该地区土壤中 OCPs 的研究做了大量工作,主要集中在有机氯农药在农业土壤、污灌土壤的残留分布^[4-5]和海河干流沿岸土壤中 OCPs 物质的分布上^[6-8],但是对于渤海湾主要的入海河流入海口沉积物中 OCPs 污染特征的研究甚少。有研究指出,陆源污染物是渤海近岸海域的主要污染源,约占入海污染物总量的 87%,而陆源污染物中,经由入海河口排入的约占总量的 95%,污染物主要来源于流域内的生活污水和工业废水^[9]。为了探讨河流输入污染物对近岸海域海水水质的影响,本调查选定的研究区域为渤海湾主要入海河流,通过研究渤海湾主要入海河流沉积物中 OCPs 的污染特征,为进一步探究渤海湾海岸带 OCPs 污染来源与污染过程提供支持。

1 材料与方法

1.1 样品采集

于 2007 年 5 月在渤海湾由北向南主要入海河流:蓟运河、永定新河、大沽排污河、独流减河、子牙新河、北排河入海口附近分别设置了 1 个断面,每个断面设置左、中、右 3 个采样点,用抓泥斗采集沉积物。采样点设置见图 1。采得的沉积物样品放于棕色螺口玻璃采样瓶中放于冰箱中冷冻(-20℃)保存至分析。

1.2 主要仪器及仪器条件

KXL-1010 型控温消煮炉,RE-52AA 旋转蒸发器(上海亚荣生化仪器厂)、JY92-II 超声波细胞粉碎机。

日本岛津 GC2010-ECD 色谱仪带 63Ni 电子捕获检测器载气为高纯氮气。

GC 条件:柱流量 0.86 mL·min⁻¹,气相色谱自动进样系统,进样量为 1 μL,无分流进样。进样口温度

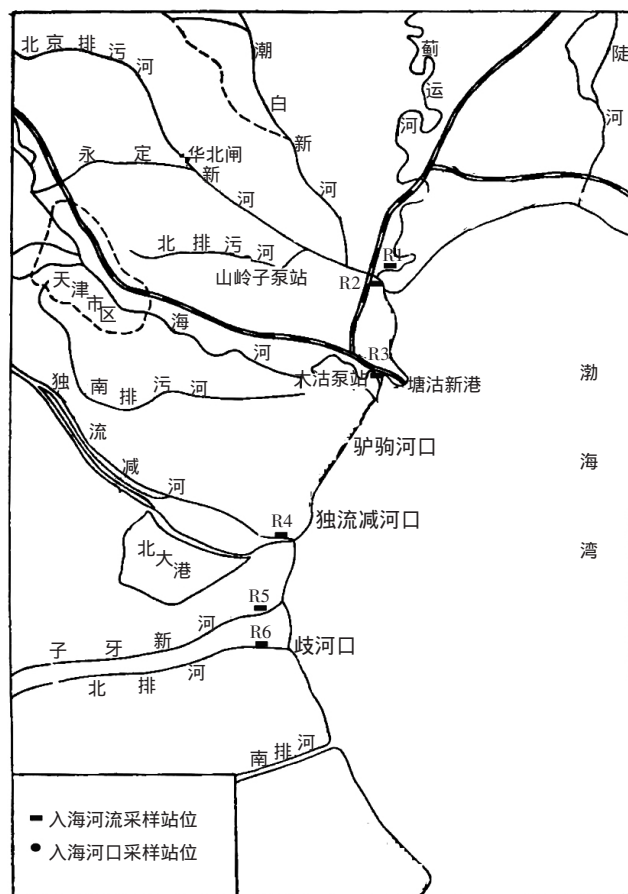


图 1 入海河流沉积物采样图

Figure 1 Sampling sites of the sediments from the rivers flowing into Bohai Sea

230℃,检测器温度 290℃,升温程序:100.0℃保持 2.00 min,10.00℃·min⁻¹至 160.0℃,4.00℃·min⁻¹至 230.0℃,保持 5.00 min,10.00℃·min⁻¹至 280.0℃,保持 5 min。外标法定量计算。

色谱柱:DB-5 30 m×0.25 μm×0.25 mm

1.3 主要试剂及标准

正己烷、丙酮均购自美国 J.T.Baker 公司,色谱级;甲醇、二氯甲烷均购自美国 Fisher Scientific 公司,色谱级;异辛烷购自美国 Tedia 公司,色谱级。

有机氯农药标准物质 α-HCH, β-HCH, γ-HCH, δ-HCH, p,p'-DDD, p,p'-DDE, p,p'-DDT, p,p'-DDT 共 8 种化合物组成的混合标样,购自国家标准物质研究中心,七氯、艾氏剂、六氯苯标样购自农业部环境保护科研监测所。

有机氯农药定量分析所用指示物为:十氯联苯(PCB209),购自 Supelco Co.(Cat No.48460)。

1.4 OCPs 分析

样品风干后粉碎,称取 2 g 于 50 mL 离心管中,

加入 5 g 无水 Na_2SO_4 涡旋混匀, 再加入 20 mL 体积比为 1:1 丙酮/正己烷溶液, 涡旋混匀后, 超声提取 5 min 后涡旋, 然后 $1\ 500\ \text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ 下离心 15 min, 静置取上清液, 重复上述超声和离心操作 3 次, 将溶液旋转蒸发至 2~3 mL, 转移至离心管, 加入 15 mg 初级次级胺 (PSA), 30 mg MgSO_4 涡旋混匀, 然后用 20 mL 丙酮超声提取 5 min, $1\ 500\ \text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ 下离心 15 min, 静置取上清液, 重复上述超声和离心操作 3 次, 旋转蒸发至 2~3 mL, 转移至 K-D 浓缩瓶, 氮吹至 1 mL, 进样。

1.5 质量保证与质量控制

用回收率指标化合物(十氯联苯)和空白样品控制样品预处理过程中的质量, 回收率为 76%~112%, 方法最低检出限为 $0.05\ \text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ 。在样品分析过程中, 每隔 10 个样品增加一个溶剂空白、标准溶液以及过程空白, 进行 QA/QC 控制。

每个工作日分析前用 DDT 降解标样检查 GC 进样口是否引起 DDT 降解, DDT 降解率小于 15% 时才能进行样品的测定。

2 结果与分析

2.1 入海河流入海口沉积物中 OCPs 的空间分布及污染特征

渤海湾主要入海河流入海口沉积物样品中的 OCPs 含量见表 1, 由表 1 可以看出, 除艾氏剂外, 其余 10 种 OCPs 都有不同程度的检出。其中以 DDTs 含量最高为 $8.6\sim 154.8\ \text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ (干重, 下同), 平均值为 $60.8\ \text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$, HCHs 次之, 为 $6.2\sim 141.8\ \text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$, 平均值为 $56.4\ \text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$, 其后依次是七氯、六氯苯, 含量分别在未

表 1 渤海湾入海河流入海口沉积物中 OCPs 含量($\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$)

Table 1 The content of OCPs in sediments from rivers input into Bohai Sea($\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$)

OCPs 种类	蓟运河	永定新河	大沽河	子牙新河	北排河	独流减河
α -HCH	62.25	nd	70.19	2.57	19.65	25.64
六氯苯	129.01	9.02	272.56	7.16	nd	8.45
β -HCH	nd	2.87	nd	3.35	8.34	nd
γ -HCH	79.53	1.03	20.76	nd	4.68	28.14
δ -HCH	nd	2.31	nd	2.74	4.6	nd
T-HCHs	141.77	6.21	90.94	8.66	37.27	53.78
七氯	nd	1.83	nd	nd	11.54	93.82
艾氏剂	nd	nd	nd	nd	nd	nd
p,p'-DDE	0.90	3.15	nd	4.19	3.68	0.3
p,p'-DDD	11.94	5.47	nd	8.71	4.88	4.51
o,p'-DDT	nd	nd	66.32	nd	nd	nd
p,p'-DDT	75.58	8.36	88.43	20.74	nd	57.45
T-DDTs	88.42	16.97	154.75	33.65	8.56	62.26
OCPs	359.21	34.03	518.25	49.47	57.37	218.31

注 nd——未检出, 下同。

检出~ $93.8\ \text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ 、未检出~ $272.56\ \text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ 之间。OCPs 含量的最高值出现在大沽河, 为 $518.3\ \text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$, 次高值出现在蓟运河, 为 $359.2\ \text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$, 其后依次为独流减河、北排河、子牙新河、永定新河, 其含量分别为 218.3 、 57.4 、 49.5 、 $34.0\ \text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ 。

与部分国内外其他河流的表层沉积物相比 (表 2) 渤海湾主要入海河流的 OCPs 含量较高, 污染严重。

与此同时由图 2 可以看出不同的 OCPs 类物质在各主要入海河的含量百分比也有较大差别, 其中永定新河、子牙新河主要的 OCPs 污染物是 DDTs, 蓟运

表 2 不同河流表层沉积物中 HCHs 和 DDTs 的浓度对比($\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$)

Table 2 Comparison the concentration of HCHs and DDTs in surface sediments taken from different rivers($\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$)

河流	国家或地区	HCHs	DDTs	参考文献
海河干流	中国	3.30~75.96(18.25)	1.57~221.57(48.78)	[10](张爱华等, 2006)
Wu-shi River	台湾	0.99~14.5(3.78)	nd~11.4(2.51)	[11](吴启航等, 2004)
厦门西港	中国	0.14~1.12	4.45~17.4(3.27)	[12](Hong H et al, 1995)
Cilwung River	印尼	4.1	13	[13](Iwata H et al, 1994)
Simvriizzi Lake	意大利	0.26	1.45	[14](Kalajzic T et al, 1998)
Guadalquivi river	西班牙	1.44	18.2	[15](Hernandez et al, 1992)
Ebro river	西班牙	0.038	51.8	[16](Mangani F et al, 1991)
Laveri 河	印度	4.35~158.4	0.69~4.85	[17](Rajendran et al, 1999)
Key largo	佛罗里达	nd~2.62	nd~1.9	[18](Glynn PW et al, 1995)
大辽河	中国	0.50~0.80(0.65)	0.2	[19](Wu Y et al, 1999)
长江	中国	0.40~0.70(0.60)	0.10~0.20(0.20)	[19](Wu Y et al, 1999)
黄河	中国	1.00~5.00(3.00)	nd	[19](Wu Y et al, 1999)

注 括号内为平均值。

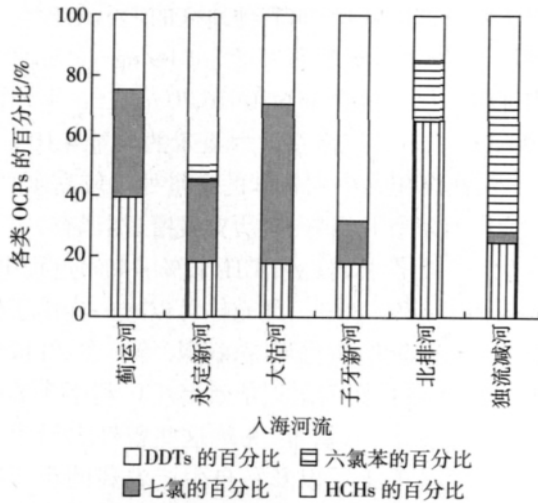


图 2 主要入海河流沉积物中 OCPs 类物质的含量百分比
Figure 2 The composition of OCPs in the sediments from the rivers flowing into Bohai Sea

河和北排河则以 HCHs 为主要的 OCPs 污染物,独流减河则以七氯污染最为严重。而污染最严重的大沽排污河的六氯苯含量则高达 52.59%。各主要入海河流七氯和六氯苯的高含量应该值得进一步调查以引起相关部门的注意,不同入海河流呈现的不同的 OCPs 污染特征进一步说明渤海湾 OCPs 污染的复杂性和治理任务的艰巨性。

2.2 入海河流沉积物中 OCPs 来源分析

污染物及其降解产物的组成分析能够帮助我们更好地了解污染源、污染历史和污染物的降解途径。

历史上 HCHs 曾以两种形态被使用,一种是含有 4 种形态的 HCHs,工业 HCHs 产品各同分异构体的含量是 α -HCH(占 60%~70%)> γ -HCH(占 10%~15%)> δ -HCH(占 6%~10%)> β -HCH(占 5%~12%)^[20]。另一种俗称林丹,主要含有 γ -HCH,含量达 99% 以上。HCHs 的组成特征也可用于判定其是否是长时间降解后的农药残留或是输入时间较短的新污染物。一般认为如果样品中 α -HCH/ γ -HCH 在 4~7 之间,表明样品的 HCHs 来自于工业 HCHs 产品的历史残留;大于或小于这一范围说明发生了环境变化,而林丹中的 γ -HCH>99%,其 α -HCH/ γ -HCH 的比值接近于 0,则认为其来源为林丹。

HCHs 异构体氯原子的空间位置决定了它的热稳定性 β -HCH> δ -HCH> α -HCH> γ -HCH 和生物转化速率 β -HCH< δ -HCH< α -HCH< γ -HCH。由于 γ -HCH 易溶于水,且易降解为 α -HCH, β -HCH 较其他异构体具有较好的对称性,较稳定的化学和物理性

质而难于降解,其他异构体在环境中会转化为 β -HCH^[21],HCHs 在环境中存在的越久,该化合物的比例就会越高,因此,高含量的 β -HCH 意味着原来的污染源。在闽江河口、九龙江口都曾发现 β -HCH 是主要六六六组分^[22]。

在环境中 DDT 主要有以下两种降解途径,在充氧的环境下,可以由土壤或沉积物中的微生物等降解为 DDE 和 DBP,DDE 在环境中基本不再降解;而在厌氧的条件下,可以由一些厌氧微生物主要降解为 DDD,DDD 可以进一步降解为 DDMU 与其他降解产物^[23]。

DDT 与其代谢物 DDE、DDD 的相对浓度关系可以用来示踪 DDT 类农药的降解环境和降解速度,并被用来判别污染源。DDT 在厌氧条件下降解转化为 DDD,在好氧条件下转化为 DDE。若 DDT 的含量相对较低, $(DDE+DDD)/(DDTs)>0.5$,表明没有新的 DDT 的输入,污染物可能主要是环境中的残留;如果 DDT 的含量相对较高, $(DDE+DDD)/(DDTs)<0.5$,表明存在新的污染物的输入^[24]。如果在降解产物中,DDD 的含量高于 DDE,即 $DDD/DDE>1$,表明降解环境为厌氧条件;如果 DDE 含量高于 DDD 的含量, $DDD/DDE<1$,表明降解环境为好氧环境。

由图 3 可以看出,所有样品中 HCHs(α -HCH、 β -HCH、 γ -HCH、 δ -HCH) 均检出,HCHs 类农药在不同的表层沉积物中组成存在着差别。在大沽河沉积物中 α -HCH 相对丰度较高,蓟运河和独流减河沉积物中以 γ -HCH 相对丰度较高, γ -HCH 所占的比例分别

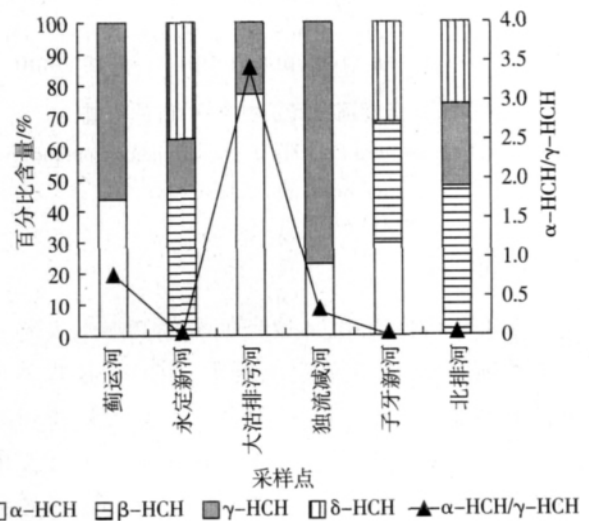


图 3 入海河流沉积物中 HCHs 的组成
Figure 3 Composition of HCHs in the sediments from the rivers flowing into Bohai Sea

达到了 56.09% 和 76.90% ; 其余入海河流的 HCHs 均以 β -HCH、 δ -HCH 为主 , 其平均含量达到了 38.69%、26.12% 以上。

对所测定的 DDTs 进行了成分分析 , 图 3 给出了渤海湾各入海河流沉积物中 DDTs 的组成特征。由图 4 可知对于 DDTs 而言 , 最主要的单体为 p, p' -DDT , 其平均含量达到了 59.44%。

从图 4 的研究结果看 , 除北排河沉积物的 $(DDE+DDD)/(DDTs)$ 大于 0.5 , 表明沉积物中的 DDT 已有相当一部分降解为 DDE 和 DDD , 现存的 DDTs 主要为环境中的残留外 , 其余各个入海河流均可能存在着 DDTs 类物质的输入 , 与已发表的有关海河的研究结果不同^[10]。可能的输入源是上游部分地区园林使用的三氯杀螨醇 (由滴滴涕原药生产的 , 产品中原料 DDT 含量高达 3.54%~10.8%) 以及仍在进行生产的农药厂。

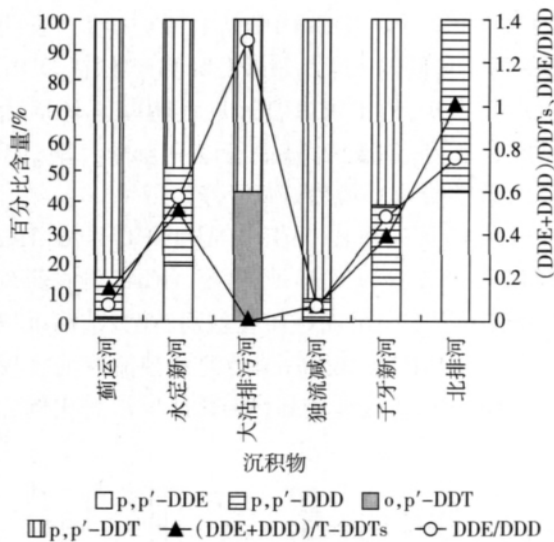


图 4 入海河流沉积物中 DDTs 的组成

Figure 4 Compositions of DDTs in the sediments from the rivers flowing into Bohai Sea

3 讨论

由表 1 可以看出 , 本文所研究的渤海湾入海河流中大沽河的 OCPs 污染最为严重 , HCHs、DDTs、六氯苯的最高值均出现在此 , 主要原因是在大沽排污河下游沿岸有天津化工厂、天津大沽化工厂等多家化工厂 , 尤其是天津化工厂 , 在历史上曾是我国最大的 HCHs 生产厂 , 其生产过程排放的各种污水含有大量的 HCHs , 直接导致该区域内 HCHs 的残留量较高 , 六氯苯的含量为 $272.56 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$, 远远高于其他入海河流

沉积物中六氯苯的含量。与其他地区的六氯苯含量相比 (太湖沉积物中六氯苯的含量为 $1.09 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ ^[25] , 海河天津市区段六氯苯的含量 $6.80 \sim 16.70 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$, 平均值为 $11.90 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ ^[26] , 长江南京段六氯苯的含量 $4.10 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ ^[27]) , 大沽河沉积物中六氯苯的含量处于较高水平。可能的原因有以下几点 : 一是历史残留。据调查 , 历史上大沽化工厂生产林丹 (γ -HCH , 12%~14%) 过程中 , 其他无效体占 86%~88% , 无效体可以进一步用于生产六氯苯、五氯酚钠、氯化苦 (杀螨剂) 等。在 20 世纪 90 年代末 , 大沽排污河附近依然有小厂利用无效体 HCHs 生产三氯苯、六氯苯 , 无疑这些曾经大量生产 HCHs 和六氯苯的工厂以及私自生产农药的小工厂是导致大沽排污河底泥高浓度六氯苯存在的重要原因。二是由于六氯苯作为五氯酚的中间体 , 目前主要在天津大沽化工厂生产。此外 , 大气传输也有可能是重要的源。

对渤海湾主要入海河流入海口沉积物中 OCPs 的来源分析结果显示 , 蓟运河和独流减河沉积物中 γ -HCH 所占的比例 (56.09%、76.90%) , 远远高于工业 HCHs 里 γ -HCH 的含量 , 同时永定新河、北排河沉积物的 α -HCH/ γ -HCH 均接近于 0 或为 0 , 说明在这两条河流附近还存在着林丹的使用。而大沽河沉积物中 α -HCH 的残留量最大 , 并且 α -HCH/ γ -HCH 的比值为 3.34 , 小于 4 说明部分 γ -HCH 转化为 α -HCH 或者有新的 HCHs 输入。

统计 DDE/DDD 比值发现 , 除大沽河沉积物的 DDE/DDD 略大于 1 (1.3) , 其余所有入海河流沉积物的 DDE/DDD 均小于 1 , 反映出研究的入海河流沉积物环境的厌氧还原性 , 沉积物中大部分 DDT 发生的主要是厌氧性微生物降解 , 沉积环境主要为还原环境。这一结果与刘文新等^[28]对渤海表层沉积物中 DDTs 的研究结果一致 , 同时和国外现代沉积物中 DDT 主要是还原环境的观点相一致。

4 结论

(1) 渤海湾主要入海河流均受到不同程度的 OCPs 的污染 , 其最高值出现在大沽河 , 为 $518.25 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$, 次高值出现在蓟运河 , 为 $359.21 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$, 其后依次为独流减河、北排河、子牙新河、永定新河 , 其含量分别为 218.31 、 57.37 、 49.47 、 $34.03 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$, 平均值为 $206.11 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

(2) 不同河流的主要 OCPs 类污染物不同 , 其中永定新河、子牙新河主要的 OCPs 污染物是 DDTs ; 蓟

运河和北排河则以 HCHs 为主要的 OCPs 污染物, 独流减河则以七氯污染最为严重。而污染最严重的大沽排污河的六氯苯所占污染比例则高达 52.59%。

(3) 通过对 HCHs、DDT 进行来源分析, 结果表明入海河流存在着不同程度的 OCPs 的近期输入。

(4) 本文结果表明渤海湾的 OCPs 污染含量较高, 污染较严重, 因此研究渤海湾主要入海河流入海口沉积物中的 OCPs 的污染特征及其来源可以为进一步探究渤海湾海岸带 OCPs 污染过程提供支持, 具有重要的意义。

参考文献:

- [1] Chen W, Kan A T, Tomson M B. Irreversible adsorption of chlorinated benzenes to natural sediments: Implications for sediment quality criteria [J]. *Environmental Science & Technology*, 2000(34): 385-392.
- [2] Gustafsson Q, Haghseta F, Chan C, et al. Quantification of the dilute sedimentary soot phase: implications for PAH speciation and bioavailability[J]. *Environmental Science & Technology*, 1997(31): 203-207.
- [3] Weber WJ Jr, Leboenf E J, Younga T, et al. Contaminant interactions with geosorbent organic matter: Insights drawn from polymer sciences [J]. *Water Research*, 2001(35): 853-868.
- [4] Gong Z M, Xu F L, Dawson R, et al. Residues of hexachlorocyclohexane isomers and their distribution characteristics in soils in the Tianjin area, China[J]. *Arch Environ Contam Toxicol*, 2004, 46: 432-437.
- [5] 龚钟明, 曹军, 朱雪梅, 等. 天津市郊灌区农田土壤中的有机氯农药残留[J]. 农业环境保护, 2002, 21(5): 459-461.
GONG Zhong-ming, CAO Jun, ZHU Xue-mei, et al. Organochlorine pesticides residues in agricultural soils from Tianjin [J]. *Agro-environmental Protection*, 2002, 21(5): 459-461.
- [6] 赵龙, 侯红, 郭平毅, 等. 海河干流及河口地区土壤中有机氯农药的分布特征[J]. 环境科学, 2009, 30(2): 543-550.
ZHAO Long, HOU Hong, GUO Ping-yi, et al. Distribution of organochlorine pesticides in soils in Haihe River and Haihe estuary area, China[J]. *Environment Science*, 2009, 30(2): 543-550.
- [7] 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.
WANG Tai, ZHANG Zu-lin, HUANG Jun, et al. Occurrence of dissolved polychlorinated biphenyls and organic chlorinated pesticides in the surface water of Haihe River and Bohai Bay, China[J]. *Environment Science*, 2007, 28(4): 730-735.
- [8] 程远梅, 祝凌燕, 田胜艳, 等. 海河及渤海表层沉积物中多环芳烃的分布与来源[J]. 环境科学学报, 2009, 29(11): 2420-2426.
CHENG Yuan-mei, ZHU Ling-yan, TIAN Sheng-yan, et al. Distribution and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediments from the Haihe River and the Bohai Sea[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2009, 29(11): 2420-2426.
- [9] 刘成, 王兆印, 何耘, 等. 环渤海湾诸河口水质现状的分析[J]. 环境污染与防治, 2003, 25(4): 222-225.
LIU Cheng, WANG Zhao-yin, HE Geng, et al. Analysis on water quality of the estuary around Bohai Bay [J]. *Environmental Pollution & Control*, 2003, 25(4): 222-225.
- [10] 干爱华, 刘军, 丁辉, 等. 海河干流表层沉积物中的有机氯农药残留[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(1): 232-236.
GAN Ai-hua, LIU Jun, DING Hui, et al. Organochlorine pesticides in surficial sediments of Haihe River[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25(1): 232-236.
- [11] 吴启航, 麦碧娴, 陈永亨, 等. 珠江(广州段)沉积物中多环芳烃分布及富集研究[J]. 广州大学学报(自然科学版), 2004, 3(4): 351-356.
WU Qi-hang, MAI Bi-xian, CHEN Yong-heng, The distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments of Guangzhou channel of Pearl River [J]. *Journal of Guangzhou University (Natural Science Edition)*, 2004, 3(4): 351-356.
- [12] 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.
- [13] Iwata H, Tanabe S, Skakai N, et al. Geographical distributions of persistent organochlorines in air, water and sediments from Asia and Oceania and their implications for global redistribution from lower latitudes[J]. *Environmental Pollution*, 1994a, 85: 15-33.
- [14] Kalajzic T, Bianchi M, Mutall H, et al. Polychlorinated biphenyls (PCOCs) and organochlorine pesticides (OCPs) in the sediments of an Italian drinking water reservoir[J]. *Chemosphere*, 1998, 36: 1615-1625.
- [15] Hernandez L M, Fernandez M A, Gonzolez M J. Organochlorine pollutants in water, soils and earthworms in Guadalquivir river, Spain[J]. *Bulletin of Environmental Contaminant Toxicology*, 1992, 49: 192-198.
- [16] Mangani F, Crecenini G, Sisti E, et al. PAHs, PCBs and chlorinated pesticides in mediterranean coastal sediments[J]. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 1991, 45(2): 89-100.
- [17] Rajendran R B. 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.
- [18] Glynn P W, Rumbold D G, Snedaker S C. Organochlorine pesticide residues in marine sediment and biota from the Northern Florida Reef Tract[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 1995, 30(6): 397-402.
- [19] Wu Y, Zhang J, Zhou Q. Persistent organochlorine residues in sediments from Chinese river/estuary[J]. *Environmental Pollution*, 1999, 105(1): 143-150.
- [20] Walker K, Vallero D A, Lewis R G. Factors influencing the distribution of lindane and other hexachlorocyclohexanes in the environment [J]. *Environ Sci Technol*, 1999, 33: 4373-4378.
- [21] 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.
LUO Xiao-jun, CHEN She-jun, MAI Bi-xian, et al. Distribution of organochlorine pesticides (OCPs) in surface sediments in Pearl River Delta and its adjacent coastal areas of South China Sea[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2005, 25(9): 1272-1279.
- [22] Yuan D X, Yang D N, Chen M, et al. Concentrations and distribution of

- polycyclic aromatic hydrocarbons and organ-chlorides in surface sediments of Xiamen Western Harbour and Minjiang Estuary[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2001, 21(1) :7-12.
- [23] Wilfred E Pereira, Frances D Hostettler, John B Rapp. Distributions and fate of chlorinated pesticides, 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.
- [24] Doong R A, Peng C K, Sun Y C, et al. Composition and distribution of organochlorine pesticide residues in surface sediments from the Wu Shi River estuary, Taiwan[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2002(b), 45 :246-253.
- [25] 袁旭音, 王禹, 陈俊, 等. 太湖沉积物中有机氯农药的残留特征及风险评估[J]. *环境科学*, 2003, 24(1) :121-125.
YUAN Xu-yin, WANG Yu, CHEN Jun, et al. Organochlorine residues of sediments in Taihu Lake and its risk evaluation[J]. *Environmental Science*, 2003, 24(1) :121-125.
- [26] 丁辉, 王胜强, 孙津生, 等. 海河干流底泥中六氯苯残留及其释放规律[J]. *环境科学*, 2006, 27(3) :533-537.
DING Hui, WANG Sheng-qiang, SUN Jin-sheng, et al. HCB residue and desorption kinetics of HCB in sediments from Haihe River main branch[J]. *Environmental Science*, 2006, 27(3) :533-537.
- [27] 蒋新, 许士奋, Martens D, 等. 长江南京段水、悬浮物及底泥中多氯有毒有机污染物[J]. *中国环境科学*, 2000, 20(3) :193-197.
JIANG Xin, XU Shi-fen, Martens D, et al. Polychlorinated organic contaminants in waters, suspended solids and sediments of the Nanjing section, Yangtze River[J]. *China Environmental Science*, 2000, 20(3) :193-197.
- [28] LIU Wen-xin, CHEN Jiang-lin, LIN Xiu-mei, et al. Distribution and characteristics of organic micropollutants in surface sediments from Bohai Sea[J]. *Environmental Pollution*, 2006(140) :4-8.

欢迎订阅

2011年《农业环境科学学报》

《农业环境科学学报》是由农业部主管、农业部环境保护科研监测所、中国农业生态环境保护协会主办的全国性学术期刊。是中文核心期刊、中国科技核心期刊、中国科学引文数据库核心期刊, 列入被引频次最高的中国科技期刊100名之内并入编《中国学术期刊(光盘版)》。本刊还被国外多家著名检索机构收录, 如美国《化学文摘》(CA)和俄罗斯《文摘杂志》(AJ), 美国《剑桥科学文摘社网站》水系统、水科学与渔业文摘、环境工程、水资源文摘及环境科学与污染管理》等7种国际检索系统列为来源期刊。本刊主要刊登农业生态环境科学领域具有创新性的研究成果, 包括新理论、新技术和新方法。读者对象为从事农业科学、环境科学、林业科学、生态学、医学和资源保护等领域的科技人员和院校师生。

《农业环境科学学报》为月刊, 大16开, 208页, 每本定价40.00元, 全年定价480.00元。国内外公开发行, 全国各地邮局征订, 邮发代号6-64。如读者在当地邮局漏订, 可通过邮局汇款至本刊编辑部补订。此外, 编辑部存有2000年以前的各卷合订本, 欢迎选购。

编辑部地址: 300191 天津市南开区复康路31号

电话 (022)23674336, 23006209

电子信箱: caep@vip.163.com

传真 (022)23006209

网址 www.aes.org.cn