

汾河表层沉积物 PCBs 和 OCPs 含量、来源及生态风险

郭掌珍*,孟会生,张 渊,李维宏,郭青霞 (山西农业大学资源环境学院,山西 太谷 030801)

摘要: 利用 GC-ECD 方法测定了汾河太原段 30 个表层沉积物样品中多氯联苯(PCBs)和有机氯农药(OCPs)的含量,同时对沉积物中 PCBs 和 OCPs 的来源和生态风险进行了研究.结果表明,研究区 PCBs 和 OCPs 的含量分别为 n.d.~50.95 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 和 2.19~25.24 $\mu\text{g}/\text{kg}$.Aroclor 检出率最高为 Aroclor1260 和 Aroclor1254,这可能与我国主要生产和使用的 PCB 有关.OCPs 中 p,p' -DDE 含量占优势,研究区 HCH 和 DDT 来源于工业和农业输入.生态风险评价结果表明, γ -HCH、DDT(total), o,p' -DDT, p,p' -DDE,七氯环氧化物,PCBs 总量可能会对研究区水生生态环境造成潜在影响,但整体风险水平不高.

关键词: 多氯联苯; 有机氯农药; 含量; 来源; 生态风险; 汾河

中图分类号: X142 文献标识码: A 文章编号: 1000-6923(2013)04-0714-08

Polychlorinated biphenyl and organochlorine pesticides in surface sediments of Fenhe River: The concentration, sources and ecological risk. GUO Zhang-zhen*, MENG Hui-sheng, ZHANG Yuan, LI Wei-hong, GUO Qing-xia (College of Resources and Environmental, Shanxi Agriculture University, Taigu 030801, China). *China Environmental Science*, 2013,33(4): 714~721

Abstract: Concentration of polychlorinated biphenyls (PCBs) and organochlorine pesticides (OCPs) were determined with GC-ECD in thirty surface sediment samples collected from Fenhe River in Taiyuan, while the pollution sources and ecological risk were studied. The results indicated that the total concentrations of PCBs and OCPs in sediment ranged from n.d.~50.95 $\mu\text{g}/\text{kg}$ and 2.19~25.24 $\mu\text{g}/\text{kg}$, respectively. For PCBs, Aroclor1260 and Aroclor1254 were predominant isomers, which might be related to PCBs production and use of history in China. For OCPs, p,p' -DDE were predominant congeners. Hexachlorocyclohexane (HCH) and dichlorodiphenyltrichloroethanes (DDT) originated from industrial and agricultural usage. Ecological risk assessment of sediment indicated that sediments in Fenhe River were not constituted a serious threat to the ecological system, but γ -HCH, totle DDT, o,p' -DDT, p,p' -DDE, Heptachlor-exo-epoxide and totle PCBs likely to pose potential biological adverse impact.

Key words: polychlorinated biphenyls; organochlorine pesticides; concentrations; source; ecological risk; Fenhe River

多氯联苯(PCBs)和有机氯农药(OCPs)是广泛存在于环境中的持久性有机污染物(POPs),由于具有潜在的三致效应而备受关注.尽管对 PCBs 和有 OCPs 的生产和使用已受到严格的限制,但环境中仍残留有大量的此类物质^[1-4].

水体沉积物被认为是环境中 PCBs 和 OCPs 等 POPs 的重要归宿之一.一方面沉积物作为这些污染物的“汇”,另一方面,当水体环境条件发生改变时又可作为这些污染物的“源”,从而造成二次污染^[5-7].鉴于 PCBs 和 OCPs 的高毒性和潜在危害性,对其含量分布和潜在风险进行研究就显得非常必要^[8-11].

汾河是山西的“母亲河”,是流经山西太原市

的最大河流.山西是全国重要的能源重化工基地,太原市作为山西省中心城市长期以来一直以煤炭,化工,金属压延加工,机械制造,火力发电等重工业为主导产业.由于历史欠账,多数企业工艺落后,设备老化,对作为重要纳污水体的汾河造成了严重的污染.为了解汾河有机物污染状况以及由此带来的生态环境问题,本研究对汾河太原段表层沉积物 PCBs 和 OCPs 残留量进行分析,探讨其分布特征,来源和风险水平,以期为地区经济快速,

收稿日期: 2012-08-16

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41071345);山西省青年科技研究基金(2008021036-4);山西农业大学科技创新基金(2004046)

* 责任作者, 讲师, gzz191@126.com

健康发展提供依据。

1 样品与分析

1.1 试剂与仪器

Varian CP-3800 型气相色谱仪(带 ECD 检测器);VF-1701 石英弹性毛细管色谱柱(30m×0.25mm×0.25μm);SHZ-III 型循环水真空泵;RE-52AA 旋转蒸发器(上海精科实业有限公司);TTL-DC 氮吹仪(北京同泰联科技发展有限公司);冷冻干燥机(北京博医康实验仪器有限公司)。

Aroclor1016,Aroclor1221,Aroclor1232,Aroclor1242,Aroclor1248,Aroclor1254,Aroclor1260 及 20 种 OCPs 混标均购自环境保护部标准样品研究所;二氯甲烷、正己烷均为农残级试剂;十氯联苯标品购自 sigma 公司。

1.2 沉积样品采集与处理

2012 年 4 月,从汾河水库至清徐总长 100 多 km 的区域采集 30 个汾河表层沉积物样品.样品采集采用抓斗采样器,采集 0~20cm 左右的表层沉积物.具体采样点名称见表 1,各样点站位见图 1.样品采集后立即装入具聚四氟乙烯瓶盖的棕色玻璃瓶中,运回实验室后在冰箱中冷冻,经冷冻干燥后过 60 目筛,在-20℃冰箱保存至分析。

表 1 站位编号及名称
Table 1 The serial number and name of sites

编号	名称	编号	名称	编号	名称
1	社交曲镇	11	迎泽桥	21	南马村
2	龙尾头村	12	南内环桥	22	长头村
3	镇城底	13	长风桥	23	孔村
4	河口镇	14	祥云桥	24	温南社村
5	北石槽村	15	古寨村	25	西罗白村
6	上兰村	16	大村村	26	南青堆村
7	柴村桥	17	孙家寨村	27	北程村
8	森林公园	18	北庄头村	28	齐南安村
9	胜利桥	19	北西柳林村	29	北东社村
10	漪汾桥	20	西里解村	30	韩武村

1.3 样品分析

称取 20g 沉积物干样,加入一定量的回收指示物十氯联苯,以净化的滤纸包样并置于索氏提取器中,并在底瓶中加入 2g 铜片脱硫,浸泡过夜

后用 200mL 二氯甲烷抽提 8h.提取液浓缩至 3~5mL,分 2~3 次加入 10mL 正己烷进行溶剂转换.浓缩至 1mL 后,采用弗罗里硅土层析柱分离纯化.用 30mL 正己烷/二氯甲烷(1:1,V/V)淋洗液淋洗层析柱,收集淋洗液并浓缩至小于 1mL,定容后供分析用.分析方法参考 USEPA3540、3620、3660、8081a、8082。

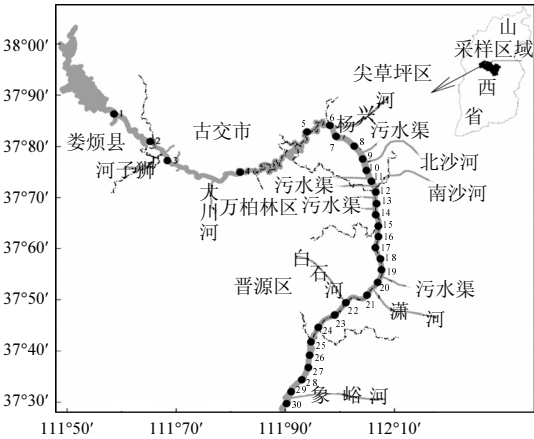


图 1 汾河表层沉积物样点站位
Fig.1 Map of the sampling sites

色谱条件:进样口温度 250℃,ECD 检测器温度 300℃,柱流速 2mL/min,初始柱温 150℃,恒温 1min,10℃/min 升至 190℃,2℃/min 升至 210℃,1℃/min 升至 220℃,20℃/min 升至 260℃,保持 3min。

本研究测定 α-HCH、β-HCH、γ-HCH、δ-HCH、p,p'-DDE、p,p'-DDD、p,p'-DDT、o,p'-DDT、o,p'-DDE、艾氏剂、α-氯丹、β-氯丹、七氯、七氯环氧化物、硫丹硫酸盐、异狄氏剂醛、狄氏剂、硫丹 I、硫丹 II、异狄氏剂、异狄氏剂酮共 21 种有机氯农药和七种目标 PCBs(Aroclor1016,Aroclor1221,Aroclor1232,Aroclor1242,Aroclor1248,Aroclor1254,Aroclor1260)。

1.4 质量保证与质量控制

实验过程进行严格的质量控制,用指示物的回收率来监测和评价实验质量.沉积物中 PCBs 回收率为 72.20%~92.37%,方法检出限为 0.094~0.772μg/kg;OCPs 回收率为 63.02%~91.88%,方法检出限为 0.024~0.058μg/kg。

2 结果与讨论

我国主要使用的 PCBs 类型相同^[12-14].

2.1 PCBs 的含量、分布特征及污染状况

由表 2 可见,30 个样点中 7 种 Aroclor 的总量分布在 n.d.~50.95 $\mu\text{g/kg}$,均值为 $(21.81\pm 17.32)\mu\text{g/kg}$.检出率最高的为 Aroclor1260(70%),其余依次为 Aroclor1254(50%)、Aroclor1248(40%)、Aroclor1232(40%)、Aroclor1242(26.7%)、Aroclor1016(20%),30 个样点均未检出 Aroclor1221;含量百分比最大的为 Aroclor1254,占 30 个样点 PCBs 总量的 55.6%,其余依次为 Aroclor1242(16%)、Aroclor1248(14.7%)、Aroclor1232(8.9%)、Aroclor1260(4.1%)、Aroclor1016(0.7%).从检测结果看,汾河太原段表层沉积物 PCBs 以多氯代的 Aroclor1254、Aroclor1242 和 Aroclor1248 为主,占总检出含量的 85%以上,与

表 2 表层沉积物中 PCBs 的含量($\mu\text{g/kg}$,以干重计)

Table 2 Concentrations of PCBs in surface sediments ($\mu\text{g/kg}$,dry weight)

化合物组成	最大值	最小值	平均值	检出率 (%)	含量百分比 (%)
Aroclor1016	3.13	n.d.	0.16	20.0	0.7
Aroclor 1221	n.d.	n.d.	n.d.	0	0
Aroclor 1232	6.46	n.d.	1.94	40.0	8.9
Aroclor 1242	13.70	n.d.	3.50	26.7	16.0
Aroclor 1248	13.40	n.d.	3.20	40.0	14.7
Aroclor 1254	33.80	n.d.	12.13	50.0	55.6
Aroclor 1260	7.66	n.d.	0.89	70.0	4.1
ΣPCBs	50.95	n.d.	21.81		

注:“n.d.”为未检出

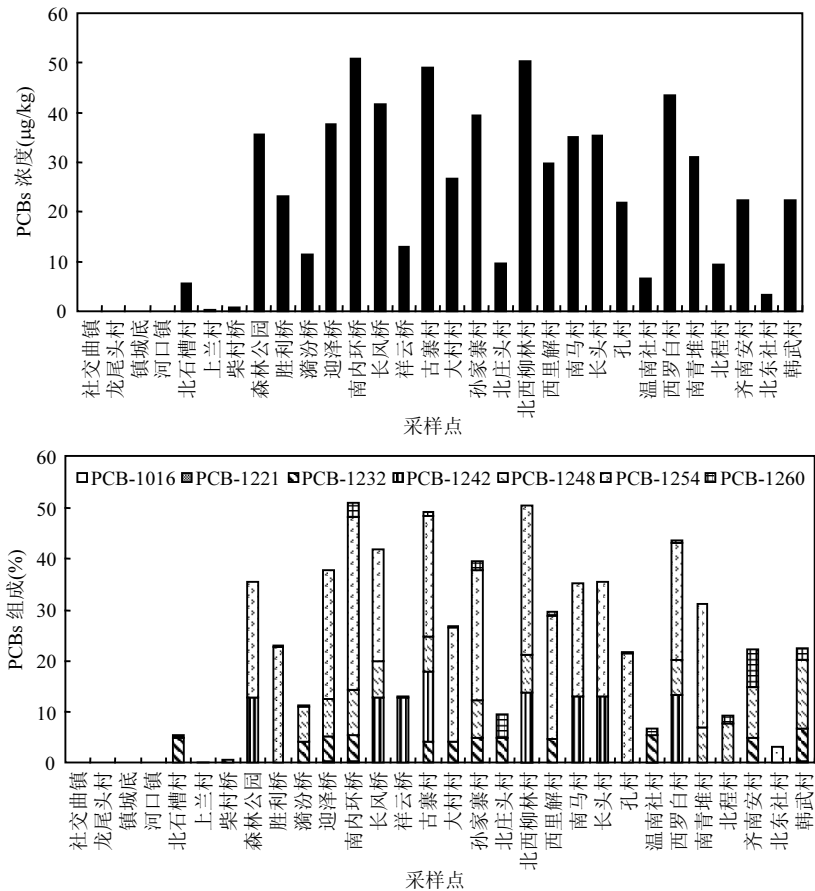


图 2 沉积物中 PCBs 的分布和组成

Fig.2 Distribution and composition of PCBs in surface sediments

由图 2 可见,汾河太原段上游娄烦县境内的 社交曲镇,龙尾头村,以及古交市镇城底和河口镇

均未检出 PCBs。这可能是由于该段属太原市水源保护地,上游工业废水和生活污水直接排放较少,且有来自汾河上游清洁来水补给的缘故。从太原市区北郊的 8[#]点位(森林公园)附近开始,PCBs 含量呈现由北到南迅速升高然后整体缓慢下降的趋势,最大值出现在 12[#]点位(南内环桥)附近。其原因一方面可能是由于太原市西北部钢铁冶炼、煤炭加工、化工等企业通过河道和污水渠向汾河或周边环境(图 1)排放含 PCBs 的废水,废气和废物,从而导致进入市区后汾河表层沉积物 PCBs 含量增高,且高氯代 PCBs 在水环境中主要与水体沉积物结合,迁移能力较弱^[15-16],因此导致该区域出现最大值;另外,随着近年太原市汾河沿岸公园的建设,加大了河道整治的力度,同时太原市南郊的小店区、清徐县均属农业生产区,含 PCBs 废物排放较少,使得 PCBs 含量缓慢下降。

表 3 国内外部分河流表层沉积物中 PCBs 的含量
(μg/kg,以干重计)

Table 3 Concentrations of PCBs in the sediments from different river (μg/kg,dry weight)

河流	PCBs 含量 范围	均值	文献来源
黄河中下游	n.d. ~5.98	—	[18]
太湖	1.35 ~13.8	4.86	[19]
青岛近海	1.53 ~36.36	6.87	[20]
辽宁大伙房水库	1.46 ~3.52	2.42 ~0.64	[21]
胶州湾东岸	1.84 ~105.22	10.39 ~2.26	[22]
Venice Lagoon	2 ~2049	—	[23]
Belgian coast	0.23 ~21.1	—	[24]
Mersey Estuary, U. K.	36 ~1409	—	[6]
Southern Yellow Sea	518 ~5848	1715	[10]
Houston Ship Channel	4.18 ~4601	168	[25]
Houston Ship Channel	1.4 ~108	26.0 ~31.0	[26]

注:“—”为无此项内容

检测结果还发现,汾河表层沉积物 PCBs 含量水平低于我国《含多氯联苯废物污染控制标准》(GB13015-1991)的相关规定^[17],低于前苏联健康部于 1991 年规定的污染允许水平 60μg/kg,有 10 个点位高于加拿大为保持水生生态系统长期稳定设置的淡水沉积物环境质量指导值 34.1μg/kg,且主要分布在太原市区及南近郊范围内。

与国内外不同地区表层沉积物 PCBs 含量相比(表 3),表层沉积物 PCBs 含量与青岛近海污染水平接近或稍高,远低于污染严重的威尼斯泻湖,英国默西河,休斯顿航道和黄海南部区域,应属于轻度到中度污染水平。

2.2 OCPs 的含量、分布特征和污染状况

表 4 表层沉积物中 OCPs 的组成和含量
(μg/kg,以干重计)

Table 4 Composition and concentrations of OCP in surface sediments (μg/kg, dry weight)

化合物组成	最大值	最小值	平均值	检出率 (%)	含量百分比 (%)
α-HCH	0.63	0.13	0.28±0.11	100.0	4.5
β-HCH	1.62	0.19	0.58±0.35	100.0	9.3
γ-HCH	4.09	0.07	0.40±0.76	100.0	6.3
δ-HCH	0.96	0.09	0.41±0.21	100.0	6.5
p,p'-DDE	10.00	n.d.	0.93±2.07	100.0	14.8
p,p'-DDD	0.64	n.d.	0.09±0.15	100.0	1.4
p,p'-DDT	8.70	n.d.	0.78±1.67	100.0	12.4
o,p'-DDT	0.44	n.d.	0.16±0.12	100.0	2.6
o,p'-DDE	1.99	n.d.	0.57±0.58	26.7	2.4
艾氏剂	1.12	n.d.	0.35±0.18	96.7	5.3
α-氯丹	0.66	n.d.	0.22±0.15	50.0	1.7
γ-氯丹	0.21	n.d.	0.16±0.02	70.0	1.8
环氧七氯	0.78	n.d.	0.24±0.17	66.7	2.5
硫丹硫酸盐	1.17	n.d.	0.43±0.34	80.0	5.4
七氯	1.10	n.d.	0.42±0.31	96.7	6.4
异狄氏剂醛	0.80	n.d.	0.32±0.18	53.3	2.7
狄氏剂	0.28	n.d.	0.14±0.04	53.3	1.2
硫丹 I	1.00	n.d.	0.45±0.29	56.7	4.0
硫丹 II	3.57	n.d.	0.64±0.92	60.0	6.1
异狄氏剂	0.84	n.d.	0.30±0.22	50.0	2.4
异狄氏剂酮	0.36	n.d.	0.28±0.10	6.7	0.3
OCPs 总量	25.24	2.19	6.30±4.67		

注:“n.d.”为未检出

由表 4 可见,汾河表层沉积物 OCPs 含量变化范围为 2.19~25.24μg/kg,均值为(6.28±4.66)μg/kg。在检测的 30 个沉积物样点中,20 种 OCPs 均有不同程度的检出,4 种 HCH 异构体检出率均为 100%,艾氏剂和七氯检出率均为 96.7%,异狄氏剂酮检出率为 6.7%。从检测结果看,p,p'-DDE 和 p,p'-DDT 占样点 OCPs 总量百分数较大,分别为 14.8%和 12.4%,其余依次为 β-HCH、δ-HCH、七氯、γ-HCH、硫丹 II 和硫丹硫酸盐,含量百分

数均在 5%以上,其余 12 种 OCPs 含量约占总量 的 27.5%.

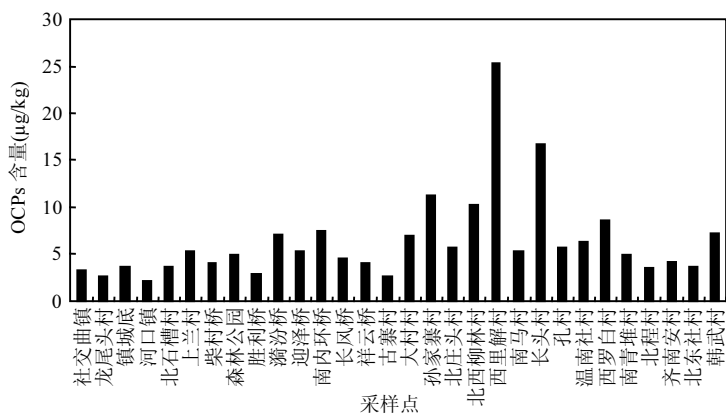


图 3 沉积物中 OCPs 的含量

Fig.3 Concentrations of OCPs in surface sediments

由图 3 可见,汾河太原段表层沉积物多数点
位 OCPs 含量相差不大,但 20[#]点位(西里解村)和
22[#]点位(长头村)OCPs 含量偏高.考虑到以上点
位均位于太原市南郊区,属太原市蔬菜生产基地,
存在多年污灌历史,且附近分布有污水渠道(图 1),
因此 OCPs 含量偏高可能与长期施用农药、废水
排放和污水灌溉有关.

与国内不同河流表层沉积物 OCPs 含量相
比(表 5),汾河太原段表层沉积物 OCPs 含量明显
高于辽宁大伙房水库、厦门西港等地,略低于杭
州湾滨岸潮滩,应属于中度污染水平.

表 5 国内部分河流表层沉积物中 OCPs 的含量
(µg/kg,以干重计)

Table 5 Concentrations of OCPs in the sediments from various domestic river (µg/kg, dry weight)			
河流	OCPs 含量 范围	均值	文献 来源
巢湖	0.58~32.91	3.81±2.71	[27]
辽宁大伙房水库	1.55~8.42	3.52±1.53	[21]
杭州湾滨岸潮滩	2.38~17.71	7.80	[28]
山东半岛南部近海	2.09~19.96	n.d.~15.57	[20]
黄河表层沉积物	0.35~22.92	3.35	[29]
珠江三角洲及南海近海	0.176~12.85	1.16~6.53	[30]
厦门西港	n.d.~0.58		[31]

80% α -HCH,5%~14% β -HCH,8%~15% γ -HCH,
农业使用的林丹以 γ -HCH 为主(大于 99%).基于
HCH 各异构体在工业和农业用 HCH 中的百分
含量,较高的 α -HCH/ γ -HCH(3.67~ 10.00 之间)比
率提示沉积物中 HCH 可能来源于工业使用,而
较低的 α -HCH/ γ -HCH(<0.01)比率则提示可以来
源于农业应用^[32].分析发现,研究区表层沉积物
 α -HCH/ γ -HCH 的比率平均为 1.42±0.71,低于工
业 HCH,但高于农业 HCH,提示研究区 HCH 可能
来源于工业和农业输入.

在 HCH 各异构体中, β -HCH 的稳定性和抗
降解能力最强,高含量的 β -HCH 意味着污染多
来源于历史输入^[33].研究发现(图 4),研究区
 β -HCH 占 HCH 总量的(36.23±16.01)%,除 20[#](西
里解村)和 25[#](西罗白村)点位外,其余样点
 β -HCH 含量占 HCH 总量的百分比均大于 15%,
说明该区域多数地区无新 HCH 输入.

自然环境中,DDT 在好氧条件下微生物降解
为 p,p' -DDE,厌氧条件下降解为 p,p' -DDD^[20,32].
因此(DDD+DDE)/ Σ DDT 可指示 DDT 的降解程
度及来源,高于 0.5 则污染物可能主要来自土壤
中长期分化残留的 DDT.统计发现,监测区域内
部分点位(DDD+DDE)/ Σ DDT 小于 0.5,且主要集
中在太原市南郊,说明该区域内有新的 DDT 输入.
一般认为 o,p' -DDT 与 p,p' -DDT 的比值在

工业用 HCH 异构体相对含量分别为 55%~

0.2~0.3 之间,主要源于工业 DDT,比值在 4.8~9.2 域表层沉积物 DDT 来源于工业和农业 DDT 的
则主要来源于三氯杀螨醇^[34-35].结果显示,研究区 使用.
域 *o,p'*-DDT/*p,p'*-DDT 在 0.05~0.84,说明研究区 2.3 表层沉积物中 PCBs 和 OCPs 的生态风险

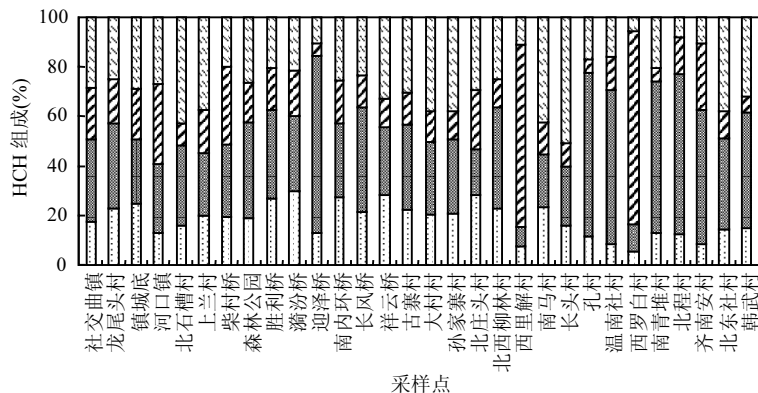


图 4 沉积物中 HCH 的分布

Fig.4 Distribution of HCH in surface sediments

□ α-BHC ▨ β-BHC ▩ γ-BHC ▤ δ-BHC

表 6 研究区 OCP 和 PCBs 含量与 ISQG、PEL、NEL、LEL、SEL 值比较结果
Table 6 Comparison of OCP and PCBs concentrations in the study area with ISQG、PEL、NEL、LEL and SEL values

污染物	CCME 指导值*		安大略省沉积物质量指导值*			超标率(%)		
	ISQG	PEL	NEL	LEL	SEL	>ISQG	>PEL	>LEL
Aldrin	—	—	—	2	8000	—	—	0
α-HCH	—	—	—	6	10000	—	—	0
β-HCH	—	—	—	5	21000	—	—	0
γ-HCH	0.94	1.38	—	—	—	6.7(2)	6.7(2)	—
Chlordane	4.50	8.87	—	—	—	0	0	—
DDT(total)	—	—	—	7	12000	—	—	6.7(2)
<i>o,p'</i> + <i>p,p'</i> -DDT	1.19	4.77	—	—	—	13.3(4)	6.7(2)	—
<i>p,p'</i> -DDD	3.54	8.51	—	—	—	0	0	—
<i>p,p'</i> -DDE	1.42	6.75	—	—	—	16.7(5)	6.7(2)	—
Dieldrin	2.85	6.67	—	—	—	0	0	—
Endrin	2.67	62.4	—	—	—	0	0	—
Heptachlor	—	—	0.3	—	—	—	—	—
Hept-epoxide	0.60	2.74	—	—	—	3.3(1)	0	—
PCB(total)	34.1	277	—	—	—	33.3(10)	0	—
Aroclor1254	60	340	—	—	—	0	0	—
Aroclor1248	—	—	—	30	150000	—	—	0
Aroclor1016	—	—	—	7	53000	—	—	0
Aroclor1260	—	—	—	5	24000	—	—	3.3(1)

注:表格内“—”列指导值数字单位均为μg/kg,干重;括号内数字为超过指导值点位数;超标率(%)=超标点位数×100/样点总数;“—”表示无此项内容;ISQG为淡水沉积物质量指导值;PEL为可能影响水平;NEL为无效应水平;LEL为最低效应水平;SEL为严重影响水平

水体沉积物中污染物重新释放进入水体会 质.目前国内外尚无系统的针对河流沉积物中
形成二次污染,对环境具有潜在和持久的危害,其 PCBs 和 OCPs 生态风险的评价标准.本研究采用
残留量水平决定了对水生生物的危害程度和性 加拿大环保部环境部长委员会(CCME)关于“加

拿大保护水生环境沉积物质量指导值^[36]对研究区域 OCP 和 PCBs 进行潜在环境风险评价,对 CCME 中未规定的项目,采用加拿大安大略省为保护和管理水生环境沉积物质量指导值^[37]进行潜在环境风险评价,评价结果见表 6.其中 ISQG 表示淡水沉积物质量指导值,沉积物污染物浓度低于此浓度一般不会或仅会对水生生态产生较小负面影响;PEL 表示可能影响水平,沉积物中污染物浓度接近此浓度会对水生生物产生一定的不利影响;NEL 为无效应水平,沉积物中污染物浓度低于此水平不会对水生鱼类和底栖生物产生影响,沉积物为清洁水平;LEL 为最低效应水平,该水平是大多数底栖生物的耐受浓度,污染物接近该浓度,沉积物为清洁到轻微污染水平;SEL 为严重影响水平,此浓度下,污染物可能会对底栖生物产生不利影响,污染物浓度高于此浓度的沉积物为重污染水平.

由表 6 可见,对水生态环境可能造成潜在危害的污染物有 γ -HCH、DDT(total)、 o,p' -DDT、 p,p' -DDE、七氯环氧化物、PCBs 六类.超过 ISQG 或 LEL 值点位依次为 PCB(total)> p,p' -DDE> o,p' -DDT> γ -HCH>DDT(total)>Hept-epoxide=PCB1260= γ -HCH.统计发现,共涉及点位 13 个,占样点总数的 43.3%,分布在森林公园往南的区域,且主要集中在太原市南郊区.

表 6 可见,PCBs 大于 ISQG 值点位共 10 个,且均小于 PEL 值; p,p' -DDE 大于 ISQG 和 PEL 点位分别为 5 个和 2 个,主要分布在市区的漪汾桥、南内环桥和南郊区,且大于 PEL 的两个点位均分布于南郊区; o,p' -DDT 和 p,p' -DDT 总量超过 ISQG 点位 4 个,超过 PEL 点位 2 个,均分布在南郊区; γ -HCH 超过 PEL 点位 2 个,分布在南郊区;DDT(total)超过 LEL 点位 2 个,分布在南郊区的 20[#]和 22[#]点位,但均未超过 SEL 值,说明 DDT(total)具有引起以上 2 个点位较小生态风险的可能性;七氯环氧化物大于 ISQG 点位 1 个,位于 8[#]点位,其值小于 PEL,说明环氧七氯可能引起该点位较小生态影响;Aroclor1260 超过 LEL 点位 1 个,位于 28[#]点位,其值小于 SEL,也可能造成较小生态影响.

3 结论

3.1 汾河太原段表层沉积物中共检出 6 种 Aroclor 形态的 PCBs,PCBs 总量为 ND~50.95 μ g/kg,均值为(21.81 $\pm$ 17.32) μ g/kg.检出率最大为 Aroclor1260 和 Aroclor1254,质量分数最大的为 Aroclor1254.

3.2 研究区 20 种 OCPs 均有不同程度的检出,各样点 OCPs 总量为(2.19~25.24) μ g/kg,均值为(6.28 $\pm$ 4.67) μ g/kg.检出率最大为 4 种 HCH 异构体.OCPs 中质量分数最大为 p,p' -DDE.研究区 HCH 和 DDT 来源于工业和农业输入.

3.3 研究区 γ -HCH、DDT(total)、 o,p' -DDT、 p,p' -DDE、七氯环氧化物、PCBs 可能造成一定的生态风险,涉及点位 13 个,但总体生态风险水平不高.

参考文献:

- [1] 孙振中,戚隽渊,曾智超,等.长江口九段沙水域环境及生物体内多氯联苯分布 [J]. 环境科学研究, 2008,21(3):92-97.
- [2] Muñoz-Armanz Juan, Jiménez Begoña. New DDT inputs after 30 years of prohibition in Spain. A case study in agricultural soils from south-western Spain [J]. Environ. Poll., 2011,159:3640-3646.
- [3] Hoh E, Hites R A. Sources of toxaphene and other organochlorine pesticides in North America as determined by air measurements and potential source contribution function analyses [J]. Environment Science and Technology, 2004,38:4187-4194.
- [4] Bidleman T F, Leone A D. Soil-air exchange of organochlorine pesticides in the Southern United States [J]. Environ. Poll. 2004, 128:49-57.
- [5] Yang R Q, Jiang G B, Zhou Q F, et al. Occurrence and distribution of organochlorine pesticides (HCH and DDT) in sediments collected from East China Sea [J]. Environ. Int. 2005,31(6):799-804.
- [6] Vane C H, Harrison I, Kim A W. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) in sediments from the Mersey Estuary, U.K. [J]. Science of the Total Environment, 2007,374:112-126.
- [7] Hu Guocheng, Luo Xiaojun, Li Fengchao, et al.Organochlorine compounds and polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediment from Baiyangdian Lake, North China: Concentrations, sources profiles and potential risk [J]. Journal of Environmental Sciences, 2010,22(2):176-183.

- [8] Vane C H, Harrison I, Kim A W. Assessment of polyaromatic hydrocarbons (PAHs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) in surface sediments of the Inner Clyde Estuary, UK [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2007,54:1287-1306.
- [9] Muñoz-Armanz Juan, Jiménez B. New DDT inputs after 30 years of prohibition in Spain. A case study in agricultural soils from south-western Spain [J]. *Environ Poll*, 2011,159: 3640-3646.
- [10] Zhang Peng, Song Jinming, Liu Zhigang, et al. PCBs and its coupling with co-environments in Southern Yellow Sea surface sediments [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2007,54:1105-1115.
- [11] Sugiura K, Kitamura M, Matsumoto E, et al. Polychlorobiphenyls (PCBs) in sediments of Tokyo Bay, Japan [J]. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 1986,15,69-76.
- [12] China SEPA. Building the capacity of the People's Republic of China to implement the Stockholm Convention on POPs and develop a national implementation plan [R]. GEF Project Brief (GF/CPR/02/010), <http://www.gefweb.org>, 2003:23-48.
- [13] 计勇, 陆光华, 吴昊, 等. 太湖北部湾多氯联苯分布特征及生态风险评价 [J]. *生态环境学报*, 2009,18(3):839-843.
- [14] 陈静生, 高学民. 我国东部河流沉积物中的多氯联苯 [J]. *环境科学学报*, 1999,19(6):614-618.
- [15] Lakshmanan D, Howell N L, Rifai H S, et al. Spatial and temporal variation of polychlorinated biphenyls in the Houston Ship Channel [J]. *Chemosphere*, 2010,80:100-112.
- [16] Swackhamer D L, Skoglund R S. Bioaccumulation of PCB by algae: kinetics versus equilibrium [J]. *Environ. Toxicol. Chem.*, 1993,12:831-838.
- [17] GB13015-1991 含多氯联苯污染物控制标准 [S].
- [18] 孙艳, 何孟常, 杨志峰, 等. 黄河中下游表层沉积物中多氯联苯的污染特征 [J]. *环境化学*, 2005,24(5):590-594.
- [19] 陈燕燕, 尹颖, 王晓蓉. 太湖表层沉积物中 PAHs 和 PCBs 的分布及风险评价 [J]. *中国环境科学*, 2009,29(2):118-124.
- [20] 王江涛, 谭丽菊, 张文浩, 等. 青岛近海沉积物中多环芳烃、多氯联苯和有机氯农药的含量和分布特征 [J]. *环境科学*, 2010, 31(11):2713-2722.
- [21] 林田, 秦延文, 张雷, 等. 辽宁大伙房水库沉积物中有机氯农药和多氯联苯的分布来源及风险评价 [J]. *环境科学*, 2011, 32(11):3295-3299.
- [22] 郭军辉, 殷月芬, 郑立, 等. 胶州湾东岸表层沉积物中多氯联苯的分布特征及风险评价 [J]. *农业环境科学学报*, 2011,30(5): 965-972.
- [23] Frignani M, Bellucci L G, Carraro C, et al. Polychlorinated biphenyls in sediments of the Venice Lagoon [J]. *Chemosphere*, 2001,43:567-575.
- [24] Danis B, Wantier P, Dutrieux S, et al. Contaminant levels in sediments and asteroids (*Asterias rubens* L., *Echinodermata*) from the Belgian coast and Scheldt estuary: polychlorinated biphenyls and heavy metals [J]. *Sci. Tot. Environ.*, 2004, 333:149-165.
- [25] Howell N L, Suarez M P, Rifai H S, et al. Concentrations of polychlorinated biphenyls (PCBs) in water, sediment, and aquatic biota in the Houston Ship Channel, Texas [J]. *Chemosphere*, 2008,70:593-606.
- [26] Lakshmanan D, Howell N L, Rifai H S, et al. Spatial and temporal variation of polychlorinated biphenyls in the Houston Ship Channel [J]. *Chemosphere*, 2010,80:100-112.
- [27] 王雁, 何伟, 秦宁, 等. 巢湖表层沉积物中有机氯农药的残留与风险 [J]. *环境科学学报*, 2012,32(2):308-316.
- [28] 高效江, 周桂平, 胡姝, 等. 杭州湾滨岸潮滩表层沉积物中有机氯农药的分布特征 [J]. *环境科学学报*, 2011,31(2):322-327.
- [29] 孙剑辉, 王国良, 张干, 等. 黄河表层沉积物中有机氯农药的相关性分析与风险评价 [J]. *环境科学学报*, 2008,28(2):342-348.
- [30] 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.
- [31] 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.
- [32] Li Jun, Zhang Gan, Qi Shihuan, et al. Concentrations, enantiomeric compositions, and sources of HCH, DDT and chlordane in soils from the Pearl River Delta, South China [J]. *Sci. Tot. Environ.*, 2006,372:215-224.
- [33] Hong H., Chen W, Xu L, et al. Distribution and fate of organochlorine pollutants in the Pearl River Estuary [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 1999,39:376-382.
- [34] Qiu X H, Zhu T, Yao B, et al. Contribution of dicofol to the current DDT pollution in China [J]. *Environment Science and Technology*, 2005,39:4385-4390.
- [35] Qiu Xinghua, Zhu Tong. Using the o, p-DDT/p, p-DDT ratio to identify DDT sources in China [J]. *Chemosphere*, 2010,81:1033-1038.
- [36] CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment). Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life [R]. Canadian Environmental Quality Guidelines. Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg, MB. 2002.
- [37] Fletcher R. Environmental Monitoring and Reporting Branch Paul Welsh and Tim Fletcher. Standards Development Branch Ontario Ministry of the Environment. Guidelines for identifying, assessing and managing contaminated sediments in Ontario [R]. 2008.

作者简介: 郭掌珍(1978-),男,山西省岚县人,讲师,硕士,主要从事环境 POPs 监测、评价和毒理学方面的研究.发表论文 3 篇.