

# 赣江流域中下游底泥中有机氯农药污染特征

赵慈, 刘小真, 周立峰, 梁越, 赵信, 洪桂平

南昌航空大学环境与化学工程学院, 江西 南昌 330063

**摘要:** 为了解赣江流域有机氯农药污染状况, 采用索氏提取方法(Soexhlet Extraction, SE)和气相色谱法(GC-ECD), 对所采集的 18 个底泥样品中 10 种有机氯农药(OCPs)的残留进行测定, 并对其组分分布和来源进行了分析。结果表明, 所有样品均检出 10 种有机氯农药, 底泥中 $\Sigma$ OCPs 质量分数范围为 11.813~39.197  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , HCHs、DDTs 质量分数范围分别为 1.636~20.877  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  和 5.590~14.092  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , HCHs 的质量分数低于 DDTs, 六氯苯(HCB)和七氯(Heptachlor)的质量分数相对较低, 分别为 0.229~6.940  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  和 0.507~3.936  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。组分分布特征分析表明, 它们除了来自环境中的早期残留外, 仍然具有大量新的外源 HCHs 和 DDTs 的输入, 可能是新的林丹输入以及三氯杀螨醇的使用, 这可能与近年来沿江农业的发展有关。

**关键词:** 赣江; 中下游; 底泥; 有机氯农药

中图分类号: X522

文献标识码: A

文章编号: 1674-5906 (2010) 10-2419-06

有机氯农药(organochlorine pesticides, 简称 OCPs)是一类重要的难降解有机物, 是主要的持久性有机污染物(persistent organic pollutants, 简称 POPs), 具有生物富集性、高毒性(致癌、致畸、致突变)和生物放大作用, 其稳定持久、易挥发、高残留、水溶性低、脂溶性高的特点, 使其能够从土壤、水体挥发到空气中, 以蒸汽的形式存在于空气中或吸附在大气颗粒物上, 从而在大气环境中远距离迁移和沉积, 并通过食物链积累在生态系统中构成恶性循环<sup>[1-2]</sup>。上世纪 60~80 年代初, 我国农药的生产使用以有机氯农药为主。在 70 年代达到高峰, 工业 HCHs 和 DDTs 曾是我国最主要的农药品种, 由于大量使用后引起的残毒及环境问题, 我国于 1983 年起停止其生产<sup>[3]</sup>。有机氯农药对生态系统的危害以及给人类的经济活动带来的损失尤为严重, 这已成为各国环保局确定的优先控制黑名单中的主要成员。

赣江是江西省内第一大河, 是沿江居民饮用水的主要来源。长期以来, 赣江流域的污染日趋严重, 几乎汇集了各种水污染物, 尤其是 80 年代以前, 农业生产过程中广泛使用的有机氯农药(OCPs)还大量的残留于环境之中, 并通过各种途径进入到赣江流域, 给沿江居民及生态环境带来严重威胁。近年来, 国内外对于河流、湖泊、海域等沉积物中的 OCPs 有较多研究, 但涉及赣江流域底泥中 OCPs 的研究鲜有报道。根据赣江流域的自然地理状况, 上游流域典型丘陵山区, 矿产资源居于突出的地位, 农业用地较少。基于此, 本研究以赣江流域中

下游底泥中 OCPs 质量分数及分布为切入点, 探讨了 OCPs 的分布特征和来源, 以期对赣江流域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 仪器与试剂

#### 1.1.1 仪器

气相色谱仪(PerkinElmer, Autosystem XL); Autosystem XL6.3.1 色谱工作站; <sup>63</sup>Ni-ECD 电子捕获检测器; RE-52B 旋转蒸发器(上海申生科技有限公司); 数显恒温水浴锅 HH-8(江苏金坛市荣华仪器制造有限公司); MTN-2800W 氮吹浓缩装置(天津奥特赛思仪器有限公司); KQ-500 超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司); 250 ml 索氏提取器。

#### 1.1.2 试剂

载气: 氮气(纯度 99.999%, 用装 5A 分子筛净化管净化); 石油醚(AR, 60~90 °C 重蒸); 丙酮(AR 重蒸); 浓硫酸(GR); 无水硫酸钠(AR, 500 °C 灼烧 3 h, 冷却后在干燥器中密闭保存); 氢氧化钠(GR); 异辛烷(GR); 农药标准样品: 有机氯农药标准物质包括:  $\alpha$ -BHC,  $\gamma$ -BHC,  $\beta$ -BHC,  $\delta$ -BHC, p,p'-DDE、p,p'-DDD、o,p'-DDT、p,p'-DDT, HCB, Heptachlor 共 10 种, 均购自中国农业部环境保护科研监测所, 浓度为 100  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ , 按所需浓度配制混合标样。

### 1.2 样品采集

2009 年 10 月根据赣江流域中下游采样地实际情况以及交通的便利条件, 间隔 15~25 km 的距离进行采样。具体采样点包括泰和(TH)、沿溪(YX)、

基金项目: 江西省科学技术厅基金项目(2009AE00600)

作者简介: 赵慈(1983 年生), 女, 硕士研究生, 研究方向为持久性有机物的污染与控制技术。E-mail: zhaociella@126.com

\*通讯作者: 刘小真(1965 年生), 男, 教授, 博士, E-mail: l\_xiaozhen2003@yahoo.com.cn

收稿日期: 2010-09-20

井冈山大桥(JGSDQ)、文峰(WF)、江口(JK)、巴邱(BQ)、漳口(ZHK)、沂江(YJ)、大洋洲(DYZ)、樟树(ZS)、拖船(TC)、小港(XG)、生米大桥(SMDQ)、龙王庙(LWM)、赣江大桥(GJDQ)、昌东(CD)、蒋巷(JX)、樵舍(QS)18个采样点(见图1及表1)。采用临



图1 赣江流域中下游底泥采样点位置

Fig.1 Position of sampling spots of sediment in the middle and lower reaches of Ganjiang River

水垂直插管法<sup>[4]</sup>,用助推式柱状土壤采样器(专利号:200720200676.0)垂直插入底泥采集表层底泥样品18个,采样深度大约5cm。同时对采样点进行GPS卫星定位。样品装入聚四氟乙烯袋内并做好标签。所采样品于实验室冷冻保存。将采集的底泥样品解冻后,自然风干、除杂、研碎,过60目金属筛,放入干燥器中保存,备用。

### 1.3 样品前处理

采用索氏提取方法对已处理好的底泥样品进行提取,用浓硫酸磺化法进行净化,用旋转蒸发器浓缩至小体积,再用氮吹浓缩装置浓缩,最后定容保存样品瓶中,供气相色谱测定。详细步骤按照文献[4]进行。

### 1.4 样品分析

样品用电子捕获检测器气相色谱仪(GC-ECD, Autosystem XL)进行测定,采用OV-17毛细管色谱柱(30m×0.32mm×0.25μm)。仪器运行条件:进样口温度为250℃;检测器放射源为<sup>63</sup>Ni,温度320℃;柱温225℃;载气为高纯N<sub>2</sub>(99.999%),流量1.49mL·min<sup>-1</sup>(柱压15psi,恒流方式);尾吹(高纯N<sub>2</sub>)71.4mL·min<sup>-1</sup>,进样分流比为1:27;进样量1μL。

在上述色谱条件下,利用10种OCPs的混合标样进样1μL,获得各色谱峰保留时间,并据此对实际样品中的OCPs进行定性分析。采用外标法和多点标准校正曲线进行定量分析,即配制标准的混合溶液系列确定线性范围。方法的线性范围为8.0×10<sup>-3</sup>~4.0×10<sup>-1</sup>μg·mL<sup>-1</sup>,方法检出限为2.0×10<sup>-6</sup>~

表1 赣江流域中下游底泥采样点坐标位置

Table 1 Coordinates position of sampling spots of sediment in the middle and lower reaches of Ganjiang river

采样点编号	采样点	纬度(N)	经度(E)	采样点编号	采样点	纬度(N)	经度(E)
YX	沿溪	26°49'01"	114°58'20"	ZS	樟树	28°05'12"	115°33'36"
TH	泰和	26°47'28"	114°54'43"	TC	拖船	28°09'10"	115°40'21"
JGSDQ	井冈山大桥	27°07'10"	115°00'25"	XG	小港	28°15'04"	115°51'31"
WF	文峰	27°13'46"	115°07'29"	SMDQ	生米大桥	28°37'15"	115°49'50"
JK	江口	27°21'01"	115°07'11"	LWM	龙王庙	28°39'18"	115°55'45"
BQ	巴邱	27°30'54"	115°08'11"	GJDQ	赣江大桥	28°42'45"	115°54'46"
ZHK	漳口	27°39'34"	115°18'04"	CD	昌东	28°43'37"	116°01'09"
YJ	沂江	27°42'15"	115°20'47"	JX	蒋巷	28°46'22"	116°00'51"
DYZ	大洋洲	27°53'57"	115°26'42"	JX	樵舍	28°50'48"	115°59'04"

4.0×10<sup>-3</sup>μg·mL<sup>-1</sup>,平均加标回收率范围为77.2%~118.4%(见表2)。

## 2 结果与讨论

### 2.1 底泥中OCPs的残留量检测结果及分布特征

赣江流域中下游18个采样点底泥中HCHs、DDTs、HCB、Heptachlor等10种有机氯农药(表3)均被检出,检出率为100%,平均质量分数排序为:

DDTs>HCHs>HCB>Heptachlor。可以看出,赣江流域历史上曾广泛大量地使用过HCHs、DDTs等有机氯农药。总有机氯农药的质量分数为11.813~39.197μg·kg<sup>-1</sup>,平均质量分数为22.565μg·kg<sup>-1</sup>。如图2所示,所采集的底泥样品中HCHs的主要存在形式是β-HCH(43.3%)和γ-HCH(36.9%);DDTs的主要存在形式是o,p'-DDT(30.5%)和p,p'-DDT(53.7%),其

表2 标准曲线方程及相关系数  
Table 2 Standard curve equation and related coefficient

项目名称	标准曲线方程	相关系数(R)	RSD/%
$\alpha$ -HCH	$Y=(49.145\ 718)+(66\ 065.445\ 718)X$	0.999 126	4.086
HCB	$Y=(166.659\ 181)+(92\ 138.708\ 672)X$	0.997 185	3.488
$\beta$ -HCH	$Y=(263.929\ 757)+(2\ 257.385\ 376)X$	0.991 428	6.556
$\gamma$ -HCH	$Y=(32.884\ 159)+(62\ 501.212\ 521)X$	0.998 855	5.556
$\delta$ -HCH	$Y=(28.563\ 563)+(43\ 537.714\ 742)X$	0.998 562	5.736
Heptachlor	$Y=(-30.822\ 976)+(64\ 488.677\ 850)X$	0.999 554	7.208
p,p'-DDE	$Y=(-83.483\ 159)+(56\ 062.219\ 559)X$	0.998 844	7.358
p,p'-DDD	$Y=(-35.655\ 285)+(29\ 282.008\ 640)X$	0.997 871	4.359
o,p'-DDT	$Y=(-221.716\ 022)+(14\ 422.592\ 890)X$	0.998 682	7.302
p,p'-DDT	$Y=(-534.043\ 683)+(20\ 015.934\ 496)X$	0.996 538	3.350

表3 赣江流域中下游底泥中OCPs的质量分数  
Table 3 Concentration of organochlorine pesticides in sediments from the middle and lower reaches of Ganjiang River  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$

采样点编号	w(污染物)										$\Sigma\text{HCHs}$	$\Sigma\text{DDTs}$	$\Sigma\text{OCPs}$
	$\alpha$ -HCH	$\beta$ -HCH	$\gamma$ -HCH	$\delta$ -HCH	p,p'-DDE	p,p'-DDD	o,p'-DDT	p,p'-DDT	HCB	Heptachlor			
YX	0.480	0.874	1.880	0.270	0.527	0.387	4.087	5.693	6.940	0.507	3.504	10.693	21.644
TH	0.183	1.948	1.680	0.533	0.527	1.313	3.083	5.077	2.740	2.217	4.345	10.000	19.302
JGSDQ	2.680	5.945	2.080	0.550	1.495	0.825	3.990	5.820	1.050	2.700	11.255	12.130	27.135
WF	0.244	1.048	2.948	0.224	0.380	0.476	3.492	5.416	2.960	0.522	4.464	9.764	17.710
JK	0.340	3.335	2.055	0.095	0.475	1.100	3.405	6.235	1.240	0.680	5.825	11.215	18.960
BQ	0.200	4.040	1.117	0.550	0.540	1.217	3.853	6.277	2.083	1.237	5.907	11.887	21.113
ZHK	0.586	2.524	1.772	3.436	0.420	8.396	4.386	4.452	2.108	3.936	8.318	17.654	32.016
YJ	0.827	5.333	3.760	2.873	0.453	0.447	3.540	5.587	2.840	1.593	12.793	10.027	27.253
DYZ	0.633	2.993	4.927	0.293	1.067	0.367	2.400	6.000	2.613	2.700	8.847	9.833	23.993
ZS	0.337	5.183	3.477	2.013	0.377	1.077	2.890	4.767	2.857	1.427	11.010	9.110	24.403
TC	0.869	5.434	2.666	0.494	0.503	0.514	3.169	5.791	2.654	0.940	9.463	9.977	23.034
XG	1.900	2.140	3.900	0.020	0.190	0.420	2.230	2.750	4.990	1.200	7.960	5.590	19.740
SMDQ	0.140	0.457	1.449	0.431	0.315	0.595	2.094	4.377	0.532	1.422	2.477	7.382	11.813
LWM	1.777	9.980	7.940	1.180	3.317	0.983	3.447	5.540	3.977	1.057	20.877	13.287	39.197
GJDQ	0.392	3.648	5.008	0.192	1.332	0.784	3.204	8.772	2.200	1.568	9.240	14.092	27.100
CD	0.480	5.836	3.471	0.493	1.060	0.507	3.298	5.782	1.847	1.389	10.280	10.647	24.162
JX	0.262	0.002	0.809	0.562	0.802	1.011	2.291	7.167	0.229	1.109	1.636	11.271	14.244
QS	0.662	0.682	1.373	0.742	0.956	1.173	1.576	3.953	0.480	1.747	3.460	7.658	13.344

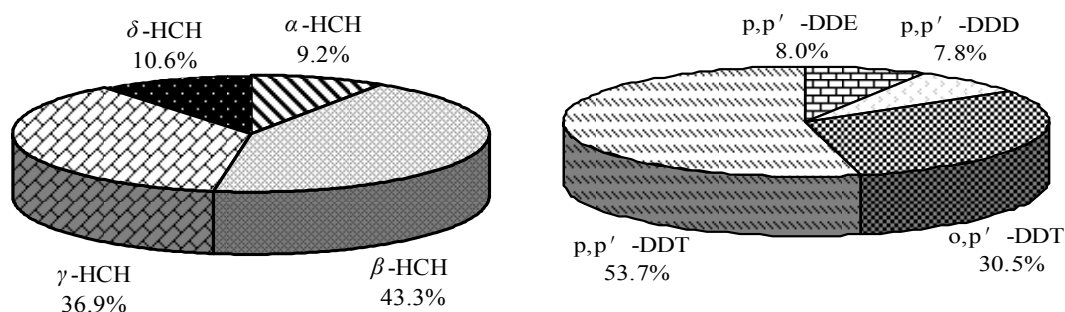


图2 底泥中HCHs、DDTs各异构体所占比例  
Fig.2 Percentage of HCHs, DDTs isomers in sediments

中 p,p'-DDT 平均质量分数最高(见图3),达到  $5.525\ \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。在龙智勇<sup>[5]</sup>等研究的鄱阳湖流域沉积物中有机氯农药残留特征报道中,测定结果也显示了鄱

阳湖流域沉积物中 p,p'-DDT 平均残留质量分数最高。图4显示有机氯农药质量分数最高点出现在LWM点,其质量分数的变化可能与当地农业发展

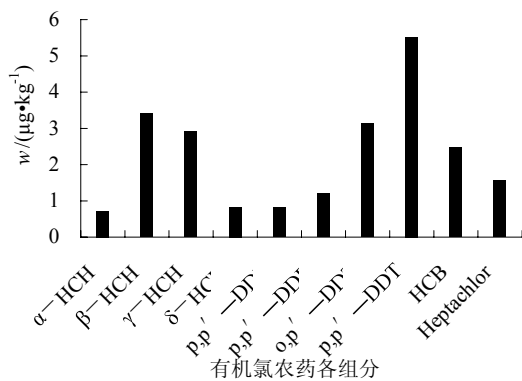


图 3 赣江流域中下游底泥中有机氯农药各组分分布情况

Fig.3 Component distribution of OCPs in sediments from the middle and lower reaches of Ganjiang River

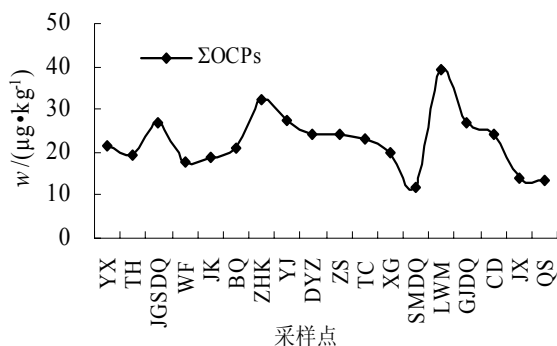


图 4 赣江流域中下游底泥中 OCPs 分布情况

Fig.4 Distribution of OCPs in sediments from the upper reaches of Ganjiang river

程度的变化有关。

## 2.2 底泥中 HCHs 的分布特征及来源分析

工业品 HCHs 中,通常有 65%~70%(质量分数)的  $\alpha$ -HCH、7%~10%的  $\beta$ -HCH、14%~15%的  $\gamma$ -HCH 和约 10%的  $\delta$ -HCH。林丹中  $\gamma$ -HCH 质量分数在 99% 以上。很多研究用  $\alpha$ -HCH/ $\gamma$ -HCH 的比值作为特征指数来判断 HCHs 的来源,一般而言,当水体和沉积物中  $\alpha$ -HCH/ $\gamma$ -HCH 的比值小于 3 时,表示周围环境中林丹代替了工业 HCHs 在使用;当比值介于 3~7 时,表示来源于工业 HCHs,并可能经过大气远距离迁移<sup>[6]</sup>。由于异构体结构的差异  $\gamma$ -HCH 在环境中的分解速度比  $\alpha$ -HCH 要快,当工业 HCHs 进入环境后,如果没有新的工业 HCHs 的输入,  $\gamma$ -HCH 可以转化为  $\alpha$ -HCH,当长时间停止使用工业 HCHs 后,  $\alpha$ -HCH/ $\gamma$ -HCH 的比值将大于 7;如果有  $\gamma$ -HCH(林丹)的输入,  $\alpha$ -HCH/ $\gamma$ -HCH 的比值将小于 3<sup>[7]</sup>。如图 5 所示  $\alpha$ -HCH/ $\gamma$ -HCH 比值均远远小于 3,说明赣江流域中下游底泥中  $\alpha$ -HCH 大部分被降解或者有新的林丹输入<sup>[8]</sup>。

测的结果显示 4 种异构体中  $\alpha$ -HCH 残留量最

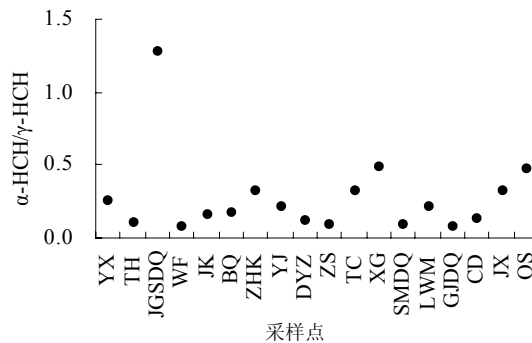


图 5 赣江流域中下游底泥中  $\alpha$ -HCH/ $\gamma$ -HCH 的比值

Fig.5 Ratio of  $\alpha$ -HCH/ $\gamma$ -HCH in sediments from the middle and lower reaches of Ganjiang River

低,  $\beta$ -HCH 残留量最高(见图 2)。可能的原因是  $\beta$ -HCH 具有良好的对称性,化学性质较其他异构体稳定,降解较慢<sup>[9]</sup>,还有研究认为  $\gamma$ -HCH 易溶于水,且易降解为  $\alpha$ -HCH,  $\alpha$ -HCH 可转化为  $\beta$ -HCH<sup>[10]</sup>。

赣江流域中下游底泥中 HCHs 总质量分数为 1.636~20.877  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 平均质量分数为 7.870  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 与国内其他河流、湖泊相比,明显高于大连湾<sup>[11]</sup>(0.030~5.780  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )、太湖梅梁湾<sup>[12]</sup>(0.230~1.810  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )等底泥中 HCHs 总质量分数,接近于闽江口<sup>[13]</sup>(2.990~16.210  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )、洪湖<sup>[6]</sup>(2.050~19.000  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )等底泥中 HCHs 总质量分数,远小于太湖<sup>[14]</sup>(0.250~374.920  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )底泥中 HCHs 的总质量分数。与国外相比, HCHs 平均质量分数远高于多瑙河<sup>[15]</sup>(0.130  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )、西伯利亚海<sup>[16]</sup>(0.440  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )、加拿大 Yukon 湖<sup>[17]</sup>(0.590  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )等底泥中 HCHs 平均质量分数。

## 2.3 底泥中 DDTs 的分布特征及来源分析

DDTs 是一类广泛使用的杀虫剂,在自然界中随环境的不同而降解为不同的产物,在厌氧条件下, DDTs 通过微生物降解还原脱氯转化成 DDD; 在好氧条件下, DDTs 主要降解为 DDE<sup>[18]</sup>。工业 DDTs 包含 75%的 p,p'-DDT, 15%的 o,p'-DDT, 5%的 p,p'-DDE, 小于 5%的 p,p'-DDD 和其他物质<sup>[19]</sup>。虽然我国在 1983 年已禁止生产和使用 DDTs,但迄今为止,三氯杀螨醇杀螨谱广,活性高,对作物安全,仍在大量使用,其中间体残留物(DDT 为 3%~5%)是环境中“新”DDTs 的重要来源<sup>[20]</sup>。

(DDD+DDE)/DDTs 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<sup>[21]</sup>。当 DDD/DDE>1 时,表明代谢产物为 DDD,代谢环境为厌氧条件;当 DDD/DDE<1 时,表明代谢产物为 DDE,其代谢环境为好氧条件。当 (DDD+DDE)/DDTs<0.5 时,表明有新的 DDT 输入;

当 $(DDD+DDE)/DDTs > 0.5$  时,表明没有新的 DDT 输入<sup>[22]</sup>。如图 6 所示,对于 18 个采样点中,YX(沿溪)、JGSDQ(井冈山大桥)、YJ(沂江)、DYZ(大洋洲)、LWM(龙王庙)、GJDQ(赣江大桥)、CD(昌东)采样点的 DDT 降解环境为好氧条件,其它采样点均为厌氧的降解环境。18 个采样点中 $(DDE+DDD)/DDTs < 0.5$ ,说明赣江中下游地区 DDTs 的质量分数始终维持在一个较高的水平,DDTs 类农药分解不完全,仍然具有大量新的外源 DDTs 的输入。江西作为柑橘的重要产地,三氯杀螨醇防治柑橘红蜘蛛、壁虱等,作为杀虫剂,不排除是三氯杀螨醇的使用。这可能与近年来沿江农业的发展有关。

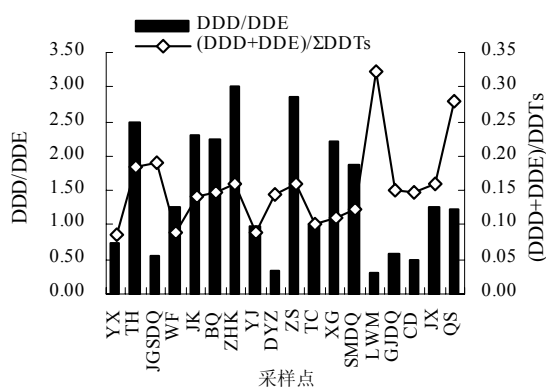


图 6 赣江流域中下游底泥中 DDTs 组成特征

Fig.6 Component characteristics of DDTs in sediments from the middle and lower reaches of the Ganjiang River

赣江流域中下游底泥中 DDTs 的总质量分数为  $5.590 \sim 14.092 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 平均质量分数为  $10.282 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 高于白令海峡<sup>[16]</sup>( $nd \sim 0.090 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )、Wu-Shi 河<sup>[23]</sup>( $2.510 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )、大连湾<sup>[11]</sup>( $0.730 \sim 5.720 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) 等 DDTs 质量分数,但小于鄱阳湖区洲滩<sup>[24]</sup>( $34.393 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )、土耳其 Mert Stream<sup>[25]</sup>( $71.000 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )底泥中 DDTs 的质量分数。

### 3 结论

(1) 赣江流域中下游底泥中检出的 OCPs 以 DDTs 和 HCHs 残留量最高, HCB 和 Heptachlor 的残留量相对较低。

(2) 本研究结果显示 HCHs 类农药检出的单体平均质量分数依次为:  $\beta\text{-HCH} > \gamma\text{-HCH} > \delta\text{-HCH} > \alpha\text{-HCH}$ ; DDTs 类农药检出的单体平均质量分数依次为:  $p,p'\text{-DDT} > o,p'\text{-DDT} > p,p'\text{-DDE} > p,p'\text{-DDD}$ 。

(3) HCHs 以  $\beta\text{-HCH}$  和  $\gamma\text{-HCH}$  为主,  $\alpha\text{-HCH}$  和  $\delta\text{-HCH}$  质量分数相对较低。DDTs 残留以 DDT 降解代谢产物 DDD 和 DDE 为主。其残留主要是历史原因造成的,但部分江段在该研究采样前较近的时期内仍有含 HCHs 和 DDTs 成分物质的输入,可能是林丹和三氯杀螨醇的使用。

### 参考文献:

- [1] RIPPEY B, ROSE N, YANG H, et al. An assessment of toxicity in profundal lake sediment due to deposition of heavy metals and persistent organic pollutants from the atmosphere[J]. *Environment International*, 2008, 34: 345-356.
- [2] 余刚, 黄俊, 张俊义. 持久性有机污染物: 倍受关注的全球性环境问题[J]. *环境保护*, 2001, 11(4): 37-39.  
YU Gang, HUANG Jun, ZHANG Junyi. Persistent organic pollutant: one of the important global environmental problems [J]. *Environmental Protection*, 2001, 11(4): 37-39.
- [3] 李红莉, 李国刚, 高虹, 等. 南四湖表层沉积物中有机氯农药的含量及分布特征[J]. *中国环境监测*, 2005, 21(6): 11-14.  
LI Hongli, LI Guogang, GAO Hong, et al. Concentrations and distribution characteristic of organochlorine pesticides in surface sediments of lake nasihu[J]. *Environmental Monitoring In China*, 2005, 21(6): 11-14.
- [4] 刘小真, 周文斌, 魏洽, 等. 鄱阳湖区海会镇洲滩底泥有机氯农药污染研究[J]. *环境与健康杂志*, 2008, 25(5): 385-388.  
LIU Xiaozhen, ZHOU Wenbin, WEI Qia, et al. Bottomland sediment organic chlorine pesticide contamination in Haihui Town in Poyang lake area[J]. *Journal of Environment and Health*, 2008, 25(5): 385-388.
- [5] 龙智勇, 周文斌, 胡春华, 等. 鄱阳湖流域沉积物中有机氯农药的残留特征及风险评估[J]. *南昌大学学报: 理科版*, 2009, 33(6): 576-584.  
LONG Zhiyong, ZHOU Wenbin, HU Chunhua, et al. Organochlorine residues in sediments from Poyang lake basin and their risk evaluation[J]. *Journal of Nanchang University: Natural Science*, 2009, 33(6): 576-584.
- [6] 龚香宜, 祁士华, 吕春玲, 等. 洪湖表层沉积物中有机氯农药的含量及组成[J]. *中国环境科学*, 2009, 29(3): 269-273.  
GONG Xiangyi, QI Shihua, LV Chunling, Concentrations and composition of organochlorine pesticides in surface sediments from Hong Lake[J]. *China Environmental Science*, 2009, 29(3): 269-273.
- [7] 陈伟, 宋琪, 刘梦, 等. 新疆孔雀河表层沉积物中有机氯农药的分布及风险评估[J]. *环境化学*, 2009, 28(2): 289-292.  
CHEN Wei, SONG Qi, LIU Meng, et al. Distribution and risk assessment of organochlorine pesticides in surface sediment from the peacock river in Xinjiang, China[J]. *Environmental Chemistry*, 2009, 28(2): 289-292.
- [8] 刘华林, 刘敏, 程书波, 等. 长江口南岸水体 SPM 和表层沉积物中 OCPs 的赋存[J]. *中国环境科学*, 2005, 25(5): 622-626.  
LIU Hualin, LIU Min, CHENG Shubo, et al. Occurrence of organochlorine pesticides (OCPs) in suspended particle matters (SPMs) and surface sediments of the south bank of the Yangtze estuary[J]. *China Environmental Science*, 2005, 25(5): 622-626.
- [9] 张利, 刘红玉, 张慧, 等. 湖南东部地区稻田土壤中有有机氯农药残留及分布[J]. *环境科学研究*, 2008, 21(1): 118-123.  
ZHANG Li, LIU Hongyu, ZHANG Hui, et al. The Residues and Distribution of Organochlorine Pesticides in Arable Land in the East of Hunan Province[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2008, 21(1): 118-123.
- [10] SAHSUVAR L, HELM P A, JANTUNEN L M, et al. Henry's law constants for  $\alpha$ -,  $\beta$ -, and  $\gamma$ -hexachlorocyclohexanes (HCHs) as a function of temperature and revised estimates of gas exchange in Arctic regions[J]. *Atmospheric Environment*, 2003, 37: 983-992.
- [11] 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]. *海洋环境学*, 2002, 20(4): 40-44.  
LIU Xianming, XU Xueren, ZHANG Xiaotian, et al. Organochlorine pesticides and PCBs in Dalian Bay[J]. *Marine Environmental Science*, 2002, 20(4): 40-44.
- [12] 乔敏, 王春霞, 黄圣彪, 等. 太湖梅梁湾沉积物中有机氯农药的残留现状[J]. *中国环境科学*, 2004, 24(5): 592-595.  
QIAO Min, WANG Chunxia, HUANG Shengbiao, et al. Present re-

- sidual state of organochlorine pesticides in the sediments of Meiliang Bay, Taihu Lake[J]. *China Environmental Science*, 2004, 24(5): 592-595.
- [13] 张祖麟, 洪华生, 陈伟琪, 等. 闽江口水、间隙水和沉积物中有机氯农药的含量[J]. *环境科学*, 2003, 24(1): 117-120.  
ZHANG Zulin, HONG Huasheng, ChengWeiqi, et al. Contents of Organochlorine Pesticides in Water, Pore Water and Sediment in Minjiang River Estuary of China[J]. *Environmental Sciences*, 2003, 24(1): 117-120.
- [14] 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.  
ZHAO Zhonghua, ZHANG Lu, YU Xin, et al. Distribution of organochlorine pesticide residues and potential genotoxicity in surface sediments from Lake Taihu[J]. *Lake Sciences*, 2008, 20(5): 579-584.
- [15] MALDONADO C, BAYONA J M. Organochlorine compounds in the northwestern Black Sea water: distribution and water column process[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2002, 54(3): 527-540.
- [16] YAO Z W, JIANG G B, XU H Z, et al. Distribution of organochlorine pesticides in seawater of the Bering and Chukchi Sea[J]. *Environmental Pollution*, 2002, 116(1): 49-56.
- [17] 黄宏, 肖乾芬, 王连生. 淮河沉积物中有机氯农药的残留与风险评估[J]. *环境科学研究*, 2008, 21(1): 41-45.  
HUANG Hong, XIAO Qiaofen, WANG Liansheng. Residues and Risk Evaluation of Organochlorine Pesticides in Sediments from Huaihe River[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2008, 21(1): 41-45.
- [18] LI Y F, CAI D J, SHAN Z J, et al. Gridded usage inventories of technical hexachlorocyclohexane and lindane for China with 1/6° latitude by 1/4° longitude resolution [J]. *Archives of Environmental Contamination Toxicology*, 2001, 41: 261-266.
- [19] 李娟娟, 陈家玮, 刘晨, 等. 北京郊区土壤中 DDT(滴滴涕)残留调查及评价[J]. *地质通报*, 2008, 27(2): 252-256.  
LI Juanjuan, CHEN Jiawei, LIU Chen, et al. Investigation and evaluation of DDT residues in soils in the suburbs of Beijing, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 2008, 27(2): 252-256.
- [20] 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.  
LIU Guoqing, LIN Haitao, ZHANG Gan, et al. Sedimentary records of organochlorine pesticides in the Taihu Lake[J]. *China Environmental Science*, 2007, 27(4): 441-444.
- [21] PEREIRA W E, HOSTETTLER F D, RAPP J B. 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: 299-314.
- [22] HITCH R K, DAY H R. Unusual persistence of DDT in some western USA soils[J]. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 1992, 48(2): 259-264.
- [23] DONG 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, 45: 246-253.
- [24] 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.  
LIU Xiaozhen, ZHOU Wenbin, HU Lina, et al. Perpendicularity pollution characteristics of organochlorine pesticides in bottomland sediment of Poyang Lake area[J]. *Ecology and Environment*, 2008, 17(4): 1348-1353.
- [25] BAKAN G, ARIMAN S. Persistent organochlorine pesticide residues in sediments along the coast of mid-Black Sea region of Turkey[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2004, 48(11/12): 1031-1039.

## Pollution characteristics of organochlorinated pesticides in sediments from the middle and lower reaches of Ganjiang river

ZHAO Ci, LIU Xiaozhen, ZHOU Lifeng, LIANG Yue, ZHAO Xin, HONG Guiping

School of Environmental & Chemical Engineering, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China

**Abstract:** This research is designed to study the OCPs residue in sediments of Ganjiang River. Concentrations of 10 organochlorine pesticides (OCPs) residues in 18 sediments samples from the middle and lower reaches of Ganjiang River have been determined by gas chromatography with electron capture detector after being pretreated by Soxhlet extraction, and their composition distribution and source analyzed. The total OCPs amount in the samples is 11.813-39.197  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ; the concentrations of HCHs and DDTs are respectively 1.636-20.877  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  and 5.590-14.092  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ; and the concentrations of HCHs are lower than those of DDTs. By contrast, the concentrations of Hex and Hep are comparatively lower, 0.229-6.940  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  and 0.507-3.936  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  respectively. Analysis of distribution characteristics of components shows that they are related not only to the earlier residues in the environment, but also to fresh input of HCHs, DDTs components, such as Lindane and Dicolof, which may have resulted from the development of agriculture along the river in recent years.

**Key words:** Ganjiang river; middle and lower reaches; sediments; organochlorine pesticides.