

DOI:10.3969/j.issn.1004-6933.2014.02.011

岳阳市地下水有机氯农药浓度水平与污染特征分析

张光贵¹,王小毛¹,李照全²

(1. 湖南省洞庭湖生态环境监测中心,湖南 岳阳 414000; 2. 岳阳市环境监测中心,湖南 岳阳 414000)

摘要:为进一步了解岳阳市地下水有机氯农药(OCPs)污染状况,利用2008年地下水污染现状调查数据,对地下水OCPs的浓度水平与污染特征进行了分析。结果表明:OCPs总检出率为72.2%,其中六六六(HCHs)和滴滴涕(DDTs)的检出率分别为72.2%和22.2%,七氯、六氯苯(HCB)和五氯酚(PCP)未检出, ρ (OCPs)的平均值为0.035 2 $\mu\text{g/L}$,其中 ρ (HCHs)为0.023 2 $\mu\text{g/L}$,占65.9%, ρ (HCHs)和 ρ (DDTs)的最大值分别为0.080 9 $\mu\text{g/L}$ 和0.159 0 $\mu\text{g/L}$,均明显低于GB 5749—2006《生活饮用水卫生标准》限值;OCPs污染状况呈现出水田与城区污染水平大于旱地大于林地、岗地污染水平大于平原大于低丘、潜水污染水平大于承压水的特征。尽管岳阳市地下水OCPs污染程度较轻,但考虑到OCPs的难降解性和毒性在生物体内的逐步累积放大性,应对今后岳阳市OCPs的污染趋势加以重视,加强地下水环境质量监测。

关键词:地下水;有机氯农药;污染特征;岳阳市

中图分类号:X592 文献标志码:A 文章编号:1004-6933(2014)02-0052-05

Analysis of organochlorine pesticide concentrations and pollution characteristics in groundwater of Yueyang City

ZHANG Guanggui¹, WANG Xiaomao¹, LI Zhaoquan²

(1. Dongting Lake Eco-Environmental Monitoring Center of Hunan Province, Yueyang 414000, China;
2. Yueyang Environmental Monitoring Center, Yueyang 414000, China)

Abstract: In order to study the pollution status of organochlorine pesticides (OCPs) in the groundwater of Yueyang City, we analyzed the OCP concentrations and OCP pollution characteristics in the groundwater based on the groundwater pollution status survey data of 2008. The results show that the total detection ratio of OCPs was 72.2%, and the detection ratios of HCHs and DDTs were 72.2% and 22.2%, respectively, while heptachlor, HCB, and PCP were not detected. The average value of ρ (OCPs) was 0.035 2 $\mu\text{g/L}$, and the average value of ρ (HCHs) was 0.023 2 $\mu\text{g/L}$, accounting for 65.9% of that of ρ (OCPs). The maximum detectable values of ρ (HCHs) and ρ (DDTs) were 0.080 9 $\mu\text{g/L}$ and 0.159 $\mu\text{g/L}$, respectively, which were substantially lower than the limit values of the Standards for Drinking Water Quality (GB 5749—2006). According to the pollution status of OCPs, the OCP pollution was more serious in the paddy field and urban land than in the dry land and woodland, more serious in lowlands than in the plain, followed by low hillocks, and more serious in phreatic water than in confined water. Although the groundwater of Yueyang City was slightly polluted by OCPs, considering that the difficult degradation of OCPs and their harm can be magnified by gradual accumulation in organisms, we must pay attention to the trend of OCP pollution in the future and strengthen groundwater environmental quality monitoring in Yueyang City.

Key words: groundwater; organochlorine pesticides; pollution characteristics; Yueyang City

作者简介:张光贵(1964—),男,高级工程师,主要从事洞庭湖生态环境监测与研究。E-mail:zhangguanggui64@163.com

有机氯农药 (OCPs) 作为持久性有机污染物 (POPs), 是世界公认的环境优先控制污染物^[1], 具有毒性高、化学性质稳定、难生物降解等特点, 一直以来, OCPs 在环境中的赋存状态和污染水平都是学者们的研究热点^[2], 其中又以其在土壤、地表水和表层沉积物中的研究居多^[3-10], 但对 OCPs 在地下水环境中污染的研究相对较少。

岳阳市属于环洞庭湖典型农业区, 境内农业生产发达, 素有“鱼米之乡”之称, 同时区内血吸虫病流行, 由于过去农业生产以及血防灭螺时期曾使用大量六六六 (HCHs)、滴滴涕 (DDTs)、氯丹、五氯酚 (PCP)、五氯酚钠 (NaPCP) 等 OCPs, 历史上曾是 OCPs 的主要使用地区之一。20 世纪 80 年代末期以来, OCPs 对环洞庭湖区土壤、河湖沉积物、地表水、水生生物等的污染研究相继有一些报道^[11-15], 但 OCPs 对环洞庭湖区地下水污染的研究尚未见报道。除地表水外, 地下水是岳阳市城乡居民生活饮用水的重要来源, 因此开展岳阳市地下水环境中 OCPs 污染相关研究具有十分重要意义。

笔者根据岳阳市地下水污染现状调查数据, 探讨岳阳市地下水有机氯农药浓度水平及其污染特征, 旨在为正确评价有机氯农药的生态风险性、保护地下水环境质量、合理开发利用地下水资源提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

岳阳市位于湖南省的东北部, 两面环山, 自东南向西北倾斜, 东南为山丘区, 西北为洞庭湖平原, 中

部为过渡性的环湖浅丘地带, 水系发达, 水资源丰富, 境内有长江、汨罗江、新墙河、华容河等主要河流, 除洞庭湖外, 境内有大小内湖 165 个, 全市总面积 15 087 km²。

根据岩性、赋存条件、物理性质及水力学特征, 区内地下水类型分为松散堆积层孔隙水、基岩裂隙水、碳酸盐岩类岩溶水及碎屑岩类裂隙孔隙水四大类型, 大气降水是地下水的主要补给水源, 湖区还接受洞庭湖和长江干流的侧向补给, 东南山丘区还接受库渠稻田的渗漏补给, 地表水与地下水互相交替补充, 丰水时地表水补给地下水, 枯水时地下水补给地表水, 具有明显的季节变化。

岳阳市地处洞庭湖区, 农业相当发达。2008 年农、林、牧、渔业实现总产值 217.05 亿元, 粮食、生猪和水产品为农业三大主导产品。

岳阳市属血吸虫病流行疫区。截至 2010 年底, 全市仍有钉螺面积 6.90 万 hm², 约占湖南全省的 40%、全国的近 20%。

1.2 基础数据与研究方法

为全面了解全市地下水环境总体状况, 掌握地下水污染水平, 分析地下水污染原因, 预测地下水污染变化趋势, 2008 年 10—11 月, 岳阳市开展了全市地下水污染现状调查工作, 其中对全市 18 个调查点位地下水有机氯农药进行了采样分析, 采样点基本情况与点位分布分别见表 1、图 1。

此次调查, 采用气相色谱法对地下水中有机氯农药含量进行了分析测定, HCHs、DDTs、七氯、六氯苯 (HCB) 和 PCP 的质量浓度检出限分别为 0.004 μg/L、0.01 μg/L、0.01 μg/L、0.002 μg/L 和 0.02 μg/L。

表 1 采样点基本情况

采样点 编号	地理位置		地下水 类型	井深/m	地形	周边主要 用地类型
	北纬	东经				
1	29°32'22.5"	112°29'09.5"	承压水	58.0	平原	水田
2	29°33'28.2"	112°50'41.3"	承压水	120.0	平原	旱地
3	29°26'30.2"	112°59'24.4"	承压水	130.0	平原	旱地
4	29°28'52.8"	113°11'41.6"	潜 水	5.6	平原	旱地
5	29°28'33.8"	113°19'50.1"	潜 水	1.3	低丘	林地
6	29°33'02.7"	113°22'52.9"	潜 水	5.7	岗地	旱地
7	29°27'00.2"	113°38'07.0"	潜 水	1.0	低丘	林地
8	29°24'04.8"	113°11'39.5"	潜 水	3.0	岗地	水田
9	29°19'46.8"	113°05'20.6"	承压水	80.0	低丘	林地
10	29°20'11.2"	113°09'20.2"	潜 水	2.8	岗地	旱地
11	29°07'55.1"	113°07'42.1"	潜 水	16.7	岗地	城区
12	28°54'24.3"	112°54'17.5"	潜 水	30.0	平原	水田
13	28°47'14.1"	113°08'05.1"	潜 水	13.0	平原	城区
14	28°46'57.8"	113°08'13.6"	潜 水	8.0	岗地	城区
15	28°45'07.4"	113°03'38.4"	潜 水	9.5	低丘	林地
16	28°44'57.9"	113°07'30.5"	潜 水	8.0	岗地	水田
17	28°40'55.1"	112°52'51.5"	承压水	70.0	岗地	城区
18	28°38'38.3"	113°33'51.3"	潜 水	8.4	低丘	林地

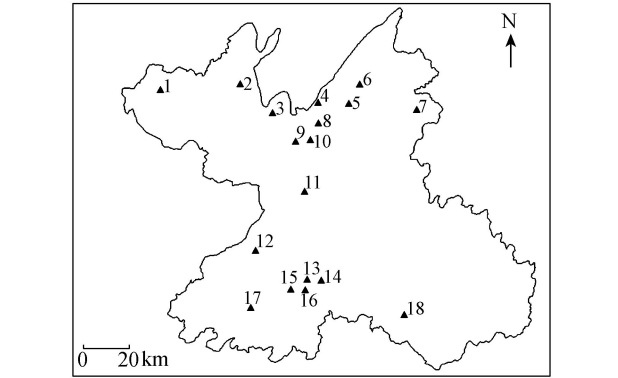


图1 采样点位分布

笔者在归纳整理岳阳市地下水污染现状调查数据的基础上,对岳阳市地下水有机氯农药浓度水平与污染特征进行了分析。

2 结果与讨论

2.1 有机氯农药浓度水平

岳阳市地下水 OCPs 检出情况见表 2。

表 2 岳阳市地下水 OCPs 质量浓度检出情况 $\mu\text{g/L}$

采样点 编号	$\rho(\text{HCHs})$	$\rho(\text{DDTs})$	$\rho(\text{七氯})$	$\rho(\text{HCB})$	$\rho(\text{PCP})$	$\sum \rho(\text{OCPs})$
1	0.0164	0.011	nd	nd	nd	0.0274
2	0.0174	nd	nd	nd	nd	0.0174
3	0.0065	nd	nd	nd	nd	0.0065
4	nd	nd	nd	nd	nd	nd
5	nd	nd	nd	nd	nd	nd
6	nd	nd	nd	nd	nd	nd
7	nd	nd	nd	nd	nd	nd
8	0.0211	nd	nd	nd	nd	0.0211
9	0.0766	nd	nd	nd	nd	0.0766
10	0.0809	nd	nd	nd	nd	0.0809
11	0.0571	nd	nd	nd	nd	0.0571
12	0.0099	nd	nd	nd	nd	0.0099
13	0.0266	0.159	nd	nd	nd	0.1856
14	0.0485	nd	nd	nd	nd	0.0485
15	0.0266	nd	nd	nd	nd	0.0266
16	0.0127	0.011	nd	nd	nd	0.0237
17	0.0172	0.033	nd	nd	nd	0.0502
18	nd	nd	nd	nd	nd	nd

注:数据来源于 2009 年 3 月《岳阳市地下水污染现状调查报告》,nd 表示未检出,以“0”参与统计。

从表 2 可以看出,在检测的 HCHs、DDTs、七氯、HCB 和 PCP 等 5 种有机氯农药中,共检出 HCHs 和 DDTs 等 2 种,其检出率分别为 72.2% 和 22.2%,其最大质量浓度检出值分别为 0.0809 $\mu\text{g/L}$ 和 0.1590 $\mu\text{g/L}$,均未超过 GB 5749—2006《生活饮用水卫生标准》限值($\rho=5 \mu\text{g/L}$ 和 $\rho=1 \mu\text{g/L}$);地下水 OCPs 的总检出率为 72.2%,质量浓度平均值为 0.0352 $\mu\text{g/L}$,其中 $\rho(\text{HCHs})$ 为 0.0232 $\mu\text{g/L}$,占 65.9%。

岳阳市地下水 OCPs 污染主要来自 HCHs 和 DDTs。研究表明,我国环境中残留的七氯更多地源于氯丹的施用^[16],商品氯丹中通常含有七氯(质量

分数约 10%),HCB 在我国的主要用途之一一是作为 PCP 和 NaPCP 的工业生产前体,在使用 PCP 和 NaPCP 的过程中会向水环境中释放 HCB^[17],尽管研究区曾使用了大量氯丹、PCP 和 NaPCP,但本次调查地下水中未检出七氯、HCB 和 PCP。

2.2 有机氯农药的污染特征

2.2.1 不同用地类型测点地下水 OCPs 检出情况对比

不同用地类型测点地下水 OCPs 检出情况见表 3。

从表 3 可以看出,HCHs 在林地、旱地、水田和城区测点地下水中均有检出,其中水田和城区测点地下水中 HCHs 的检出率为 100%,DDTs 只在水田和城区测点检出,地下水 OCPs 污染程度表现为水田、城区污染水平大于旱地大于林地,与太湖流域某农业区呈现出基本相同的分布规律^[18]。

表 3 不同用地类型测点地下水 OCPs 检出率比较

用地 类型	测点数	检出率/%			污染物浓度 最大值出现 个数
		HCHs	DDTs	$\sum \text{OCPs}$	
林地	5	40.0	0	40.0	0
旱地	5	60.0	0	60.0	1
水田	4	100.0	40.0	100.0	0
城区	4	100.0	40.0	100.0	1

2.2.2 不同地形测点地下水 OCPs 检出情况对比

不同地形测点地下水 OCPs 检出情况见表 4。

表 4 不同地形测点地下水 OCPs 检出率比较

地形 类型	测点数	检出率/%			污染物浓度 最大值出现 个数
		HCHs	DDTs	$\sum \text{OCPs}$	
低丘	5	40.0	0	40.0	0
岗地	7	85.7	28.6	85.7	1
平原	6	83.3	33.3	83.3	1

从表 4 可以看出,HCHs 在低丘、岗地和平原测点地下水中均有检出,其中岗地测点地下水中 HCHs 的检出率最高,达 85.7%,DDTs 只在岗地和平原测点地下水中有检出,不同地形测点地下水 OCPs 污染程度表现为岗地污染水平大于平原大于低丘。

2.2.3 不同类型地下水 OCPs 检出情况对比

不同类型地下水 OCPs 质量浓度检出情况见表 5。

表 5 不同类型地下水 OCPs 检出情况比较

地下水 类型	测点数	检出点质量浓度平均值/ ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)		污染物浓度 最大值出现 个数
		$\rho(\text{HCHs})$	$\rho(\text{DDTs})$	
潜水	13	0.0354	0.085	2
承压水	5	0.0268	0.022	0

从表 5 可以看出,HCHs 和 DDTs 在潜水和承压水中均有检出,潜水中 HCHs 和 DDTs 的检出点平

均值均大于承压水,HCHs 和 DDTs 的质量浓度最大值均出现在潜水测点,不同类型地下水 OCPs 污染程度表现为潜水污染水平大于承压水。

2.2.4 污染特征成因分析

岳阳市地下水 OCPs 污染特征形成原因主要有:

a. 不同土地利用方式下 OCPs 的使用量不同。一般情况下,水稻田中 HCHs 和 DDTs 等 OCPs 的施用量最大,旱地次之,林地最小,城市区域地下水除受农用 OCPs 影响外,还受到工业用 OCPs 的污染。

b. 土壤含水量不同。水稻田中土壤含水量高,表面多被水分子包围,吸附位较少,因此土壤截留 OCPs 较少,致使地下水中 OCPs 的检出率较高,而在旱地和林地中土壤含水量较少,吸附位较多,阻碍 OCPs 向下迁移,导致这些地段地下水中 OCPs 浓度相对较低^[18]。

c. 土地开发利用强度不同。受地形、交通、气候和人口分布等条件的影响,岳阳市土地开发利用强度以岗地和平原较大,这些区域工农业生产发达,单位面积 OCPs 施用量大,而丘陵、山区土地开发利用强度较小,单位面积 OCPs 施用量小。

d. 地下水埋深不同。潜水或浅层地下水埋深较浅,更易受人类活动的影响^[19],承压水埋深较深,OCPs 进入其中的可能性相对较小,致使潜水污染程度相对较重。

2.3 不同地区地下水中有机氯农药浓度对比

关于地下水环境中 OCPs 的研究较少,本文只能做一下粗略对比。从表 6 可以看出,岳阳市地下水中 HCHs 和 DDTs 的浓度均低于太湖流域,与杭州市处在同一数量级,但均明显高于珠三角地区。岳阳市属典型的农业区,地下水中 OCPs 浓度相对较高主要与过去大量施用 OCPs 有关,地下水中 DDTs 残留还可能与其替代品三氯杀螨醇的使用有关^[20]。

表 6 不同地区地下水有机氯农药质量浓度对比

ng/L			
地 区	ρ (HCHs)	ρ (DDTs)	参考文献
岳阳市	nd ~ 80. 9	nd ~ 159	本文
珠三角地区	0. 60 ~ 8. 11	nd ~ 3. 41	[21]
杭州市	nd ~ 23. 21	nd ~ 811. 13	[22]
太湖流域	nd ~ 450	nd ~ 1370	[18]

注:nd 表示未检出,以“0”参与统计。

3 结 论

a. 岳阳市地下水已受到 HCHs 和 DDTs 的污染,但污染程度较轻,HCHs 和 DDTs 的最大检出浓度均明显低于 GB 5749—2006《生活饮用水卫生标准》限值。

b. 岳阳市地下水 OCPs 呈现水田、城区大于旱地大于林地、岗地大于平原大于低丘、潜水大于承压水的污染特征,这主要与周边土地利用方式、土壤含水量、区域土地开发利用强度和地下水埋深有关。

c. 岳阳市地下水中 HCHs 和 DDTs 的浓度均低于太湖流域,但明显高于珠三角地区,与杭州市相当,地下水中 OCPs 浓度相对较高主要与过去大量施用 OCPs 有关。

d. 尽管岳阳市地下水环境中 OCPs 污染程度较轻,但考虑到 OCPs 的难降解性和毒性在生物体内的逐步累积放大性,须对今后 OCPs 的污染趋势加以重视,加强地下水环境质量监测。

参考文献:

[1] 张家泉,肖宇伦. 我国湖泊水环境中有机氯农药污染的研究进展[J]. 黄石理工学院学报,2012,28(1):22-27. (ZHANG Jiaquan, XIAO Yulun. Progress on organochlorie pesticides (OCPs) in China’ s lakes[J]. Journal of Huangshi Institute of Technology ,2012,28(1): 22-27. (in Chinese))

[2] 杨磊,陆徐荣,陆华. 某岩溶水源地地下水中有有机氯农药的分布特征[J]. 地质科技情报,2010,29(5):102-106. (YANG Lei, LU Xurong, LU Hua. Distribution characteristics of organochlorine pesticides in groundwater in a Karst groundwater source[J]. Geological Science and Technology Information , 2010 , 29 (5): 102-106. (in Chinese))

[3] 冯雪,李剑,滕彦国,等. 吉林松花江沿岸土壤中有有机氯农药残留特征及健康风险评估[J]. 环境化学,2011,30(9):1604-1610. (FENG Xue, LI Jian, TENG Yanguo, et al. Residues and health risk assessment of organochlorine pesticides in soils on the shore of Songhua River in Jilin City, China[J]. Environmental Chemistry , 2011,30(9):1604-1610. (in Chinese))

[4] 吴志昇,谢光英,杨国义,等. 广州市农业土壤中六六六(HCHs)和滴滴涕(DDTs)的残留特征[J]. 生态环境学报, 2009 , 18 (4): 1256-1260. (WU Zhisheng, XIE Guangying, YANG Guoyi, et al. Residual and characteristics of HCHs and DDTs in agricultural soils from Guangzhou [J]. Ecology and Environmental Sciences,2009,18(4):1256-1260. (in Chinese))

[5] 万译文,康天放,周忠亮,等. 北京官厅水库中有机氯类农药的分布和来源[J]. 生态与农村环境学报,2009,25(1):53-56,68. (WAN Yiwen, KANG Tianfang ZHOU Zhongliang, et al. Distribution and sources of organochlorine pesticides in Beijing Guanting Reservoir [J]. Journal of Ecology and Rural Environment,2009,25(1):53-56,68. (in Chinese))

[6] 杨洪达,王祥云,邓勋飞,等. 杭州西湖表层水体中有机氯农药的时空分布特征[J]. 浙江农业学报,2013,25

- (1): 124-129. (YANG Hongda, WANG Xiangyun, DENG Xunfei, et al. Spatial and temporal distribution of organochlorine pesticides in surface water of West Lake of Hangzhou[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2013, 25 (1): 124-129. (in Chinese))
- [7] 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. (WANG Yan, HE Wei, QIN Ling, et al. Residual levels and ecological risks of organochlorine pesticides in surface sediments from Lake Chaohu [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2012, 32(2): 308-316. (in Chinese))
- [8] 田海珍,王玲,高丽荣,等. 珠江表层沉积物中有机氯农药含量及分布[J]. 环境化学, 2013, 32(2): 225-231. (TIAN Haizhen, WANG Ling, GAO Lirong, et al. Distribution of organochlorine pesticides (OCPs) in the surface sediments of Zhujiang River [J]. Environmental Chemistry, 2013, 32(2): 225-231. (in Chinese))
- [9] LEE K T, TANABE S, KOH C H. Distribution of organochlorine pesticides in sediments from Kyeonggi Bay and nearby areas, Korea [J]. Environmental Pollution, 2001, 114: 207-213.
- [10] FENG K, YOU B Y, GE D M, et al. Organochlorine pesticide (DDT and HCH) residues in the Taihu Lake region and its movement in soil-water system [J]. Chemosphere, 2003, 50: 683.
- [11] 李倦生,陈一清,吴小平,等. 湖南省土壤中有机氯农药的残留规律研究[J]. 环境科学研究, 2008, 21(5): 85-90. (LI Juansheng, CHEN Yiqing, WU Xiaoping, et al. Studies on residues of organochloride pesticides in the soils of Hunan province [J]. Research of Environmental Sciences, 2008, 21(5): 85-90. (in Chinese))
- [12] QIAN Y, ZHENG M H, ZHANG B, et al. Determination and assessment of HCHs and DDTs residues in sediments from Lake Dongting, China [J]. Environmental Monitoring Assessment, 2006, 116: 157-167.
- [13] 谭建强. 洞庭湖环境中有机氯农药污染水平及有关迁移转化规律探讨[J]. 环境科学动态, 1988(1): 15-18. (TAN Jianqiang. Study on organochlorine pesticides contamination levels and its regularities of migration and transformation in Dongting Lake environment [J]. Environmental Science Trends, 1988 (1): 15-18. (in Chinese))
- [14] 张兵,郑明辉,刘芑岩,等. 五氯酚在洞庭湖环境介质中的分布[J]. 中国环境科学, 2001, 21(2): 165-167. (ZHANG Bing, ZHENG Minghui, LIU Pengyan, et al. Distribution of pentachlorophenol in Dongting Lake environmental medium [J]. China Environmental Science, 2001, 21(2): 165-167. (in Chinese))
- [15] 史双昕,卢婉云,邵丁丁,等. 太湖、洞庭湖野生青虾肌肉中有机氯农药的气相色谱-质谱法测定[J]. 湖泊科学, 2009, 21(5): 631-636. (SHI Shuangxin, LU Wanyun, SHAO Dingding, et al. Determination of organochlorine pesticides in wild shrimps muscle tissue in Lake Taihu and Lake Dongting by Gas Chromatography/Mass Spectrometry [J]. Journal of Lake Sciences, 2009, 21(5): 631-636. (in Chinese))
- [16] 李尧,左谦,刘文新,等. 河北表层土壤中七氯残留污染现状及其空间分异特征[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(1): 230-234. (LI Yao, ZUO Qian, LIU Wenxin, et al. Contamination of heptachlor in surface soil from Hebei [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2007, 26(1): 230-234. (in Chinese))
- [17] 王俊,孙津生. 河流底泥沉积物中五氯酚和六氯苯残留的同时测定[J]. 质谱学报, 2006, 27(2): 79-83, 89. (WANG Jun, SUN Jinsheng. Simultaneous determination of pentachlorophenol and hexachlorobenzene in river sediments [J]. Journal of Chinese Mass Spectrometry Society, 2006, 27(2): 79-83, 89. (in Chinese))
- [18] 李炳华,任仲宇,陈鸿汉,等. 太湖流域某农业区浅层地下水有机氯农药残留特征初探[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(5): 1714-1718. (LI Binghua, REN Zhongyu, CHEN Honghan, et al. Residues of organochlorine pesticides in shallow groundwater of agricultural region in Taihu Basin [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2007, 26(5): 1714-1718. (in Chinese))
- [19] 王金哲,张光辉,母海东,等. 浅层地下水补给对人类活动影响的响应特征研究[J]. 地球学报, 2010, 31(4): 557-562. (WANG Jinzhe, ZHANG Guanghui, MU Haidong, et al. The shallow groundwater recharging characteristics responding to human activities [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2010, 31(4): 557-562. (in Chinese))
- [20] 张家泉,祁士华,邢新丽,等. 闽江干流沿岸土壤及河口沉积柱中有机氯农药分布特征[J]. 环境科学, 2011, 32(3): 673-679. (ZHANG Jiaquan, QI Shihua, XING Xinli, et al. Distribution characteristics of organochlorine pesticides in bank soil samples and estuarial sediment core of the Minjiang River, southeast China [J]. Environmental Science, 2011, 32(3): 673-679. (in Chinese))
- [21] 黄冠星,孙继朝,汪珊,等. 珠江三角洲地下水有机氯农药分布特征的初探[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(4): 1471-1475. (HUANG Guanxing, SUN Jichao, WANG Shan, et al. Elementary research of organochlorine pesticides of Pear River Delta [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2008, 27(4): 1471-1475. (in Chinese))
- [22] 俞光明,刘红樱,张泰丽,等. 杭州市浅层地下水有机污染及其风险初步评价[J]. 资源调查与环境, 2007, 28(3): 198-204. (YU Guangming, LIU Hongying, ZHANG Taili, et al. Assessment of the organic pollution and is risk for the surficial groundwater in Hangzhou City [J]. Resources Survey and Environment, 2007, 28(3): 198-204. (in Chinese))

(收稿日期: 2013-06-05 编辑: 高渭文)