

## 吉林省松原油田井场周边农田土壤重金属含量特征及生态风险评价

李景新<sup>1</sup>, 田忠宝<sup>2</sup>, 万政钰<sup>1</sup>, 陈文英<sup>1</sup>, 许芳铭<sup>3</sup>

(1. 吉林省环境科学研究院, 吉林长春 130012; 2. 辽源市辐射固体废物管理站, 吉林辽源 136200; 3. 北京师范大学地理学部, 北京 100088)

**摘要** 以吉林省松原油田采油井周边农田土壤重金属 Pb、Hg 和 As 为研究对象, 研究土壤中 Pb、As、Hg 的含量特征、潜在生态风险及其影响因素。结果表明: 重金属 Pb、Hg、As 平均含量分别为 6.392 8、0.0791 和 23.305 1 mg/kg, 为土壤背景值的 0.33、2.20 和 2.39 倍, Hg 和 As 在土壤中累积较明显。Hg 含量有 4% 处于中度污染, 16% 为中度—重污染状态, Pb 和 As 基本处于无污染状态。潜在生态风险由高到低为 Hg、As、Pb, Hg 有 20% 处于很强—极强生态风险级别。土壤重金属含量受到 pH、OM 含量的明显影响。

**关键词** 油田井场; 重金属; 污染; 生态风险

**中图分类号** X53 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)04-0128-02

### Heavy Metals Content Characteristics and Ecological Risk Assessment of Surrounding Soil of Production Wells in Songyuan Oilfield of Jilin Province

LI Jing-xin<sup>1</sup>, TIAN Zhong-bao<sup>2</sup>, WAN Zheng-yu<sup>1</sup> et al (1. Jilin Provincial Academy of Environmental Science, Changchun, Jilin 130012; 2. Liaoyuan Radioactive Solid Waste Management Centre, Liaoyuan, Jilin 136200)

**Abstract** Heavy metals of Pb, Hg and As in farmland soil surrounding the production wells of Songyuan oilfield in Jilin Province were taken as the research object, the content characteristics, potential ecological risk and its influencing factors of Pb, As, Hg in soil were studied. The results showed that the average contents of heavy metal Pb, Hg, As were 6.392 8, 0.0791, and 23.305 1 mg/kg, respectively, which were 0.33, 2.20 and 2.39 times of their background values in soil, indicating that Hg and As were accumulated apparently in soil. 4% of Hg was in the moderate pollution status, 16% was in the medium-heavy pollution status, but Pb and As were almost in a state of non-pollution status. The potential ecological risk of heavy metals in the sequence of descending was Hg, As, Pb, and 20% of Hg was in the strong-very strong ecological risk levels. Soil heavy metal contents were affected by pH, OM content obviously.

**Key words** Oil production well; Heavy metals; Pollution; Ecological risk

土壤不仅是植物生长的重要条件, 更是人类赖以生存的根本。随着社会的发展, 工业“三废”、农业废弃物的大量增加, 致使土壤受到不同程度的破坏, 土壤中的重金属通过食物链在人体中累积, 危害人群健康<sup>[1-2]</sup>。因而, 对农田土壤重金属含量水平与生态风险的研究具有十分重要的现实意义。油田开发给经济带来巨大推动力的同时, 在石油的开发和生产过程中, 井场附近的落地原油和生产活动对井场周围的农田土壤会造成一定程度的污染<sup>[3]</sup>。选取吉林省松原地区油田采油井附近农田土壤为研究区域, 分析重金属含量现状, 评价潜在生态风险特征及其影响因素, 可为该地区农田土壤污染防治提供基础数据支撑。

## 1 研究区概况及分析方法

**1.1 研究区概况** 松原市位于我国吉林省中西部(123°6′~126°11′E, 43°59′~45°32′N), 全市幅员面积 2.20 万 km<sup>2</sup>, 为吉林省第三大地级市。松原市属于温带大陆性季风气候, 春季干燥多风, 夏季湿热多雨, 秋季凉爽早霜, 冬季寒冷干燥。多年平均降水量为 400~500 mm, 年蒸发量为 1 600~2 000 mm。吉林油田位于松原市中西部地区, 共有 18 个油田区块, 年生产原油 650 万 t 以上, 是我国东北地区重要的石油开采与加工企业。

## 1.2 样品采集与分析

**1.2.1 样品采集** 利用 GPS 定位, 依据 NY/T 5335—2006《无公害食品产地环境质量调查规范》和 NY/T 5295—2004

《无公害食品产地环境评价准则》, 2015 年 10 月在松原市乾安县小率字井附近的采油井周边采集有代表性的 25 个 0~20 cm 表层土壤样品(图 1)。按 4 分法取样并装入聚乙烯塑料袋中, 带回实验室, 自然风干。

**1.2.2 样品处理与分析方法** 土壤样品自然风干, 每个样品去除动植物残体及石块后用玛瑙研钵研磨并过 0.15 mm 尼龙筛。前处理过程需保证土壤样品不接触任何金属物质, 以避免交叉污染。土壤样品采用三酸(HNO<sub>3</sub>、HF、HClO<sub>4</sub>)消解, 样品中的 Pb 采用火焰原子吸收光谱法测定, As、Hg 采用原子荧光光谱法测定, pH 采用玻璃电极法测定。

**1.2.3 质量控制** 选用 GBW07405(GSS-5)作为标准参考物质进行重金属分析的质量控制。同时, 进行空白试验和重复测试以确保分析的准确度和精密度, 3 种重金属的回收率都在 90%~110%。

**1.3 评价方法** 依据土壤背景值<sup>[4]</sup>, 采用 Muller 地累积指数法、Hakanson 潜在生态风险指数法<sup>[5]</sup>对土壤重金属累积状况与生态风险进行分析。采用 Pearson 相关分析与回归分析法进行数据统计分析。

## 2 结果与分析

**2.1 土壤重金属含量特征** 由表 1 可知, Pb、Hg 和 As 含量范围分别为 1.250~10.470、0.010~0.320 和 14.520~28.300 mg/kg; 平均含量分别为 6.392 8、0.079 1 和 23.305 1 mg/kg, 分别为土壤背景值的 0.33、2.20 和 2.39 倍, 表明 Hg 和 As 在土壤中累积较明显。变异系数可代表污染物分布的均匀程度和受人为影响程度。当变异系数大于 1.0 时, 属于强变异; 介于 0.1 和 1.0 之间的属于中等变异; 小于 0.1 的属于弱变异。变异系数越大, 元素在土壤中的含量分

**基金项目** 吉林省科技项目“吉林省地下水污染场地污染源反演识别的研究”(2015-11)。

**作者简介** 李景新(1975—), 男, 吉林长春人, 工程师, 从事环境体污染治理技术研究。

**收稿日期** 2017-11-22

布越不平均,说明受人类活动影响越大。Pb、Hg 和 As 的变异系数分别为 0.445 8、1.196 8 和 0.159 0,Hg 属于强变异水

平,Pb 和 As 属于中等变异,表明 Hg 含量受人类活动影响较大。

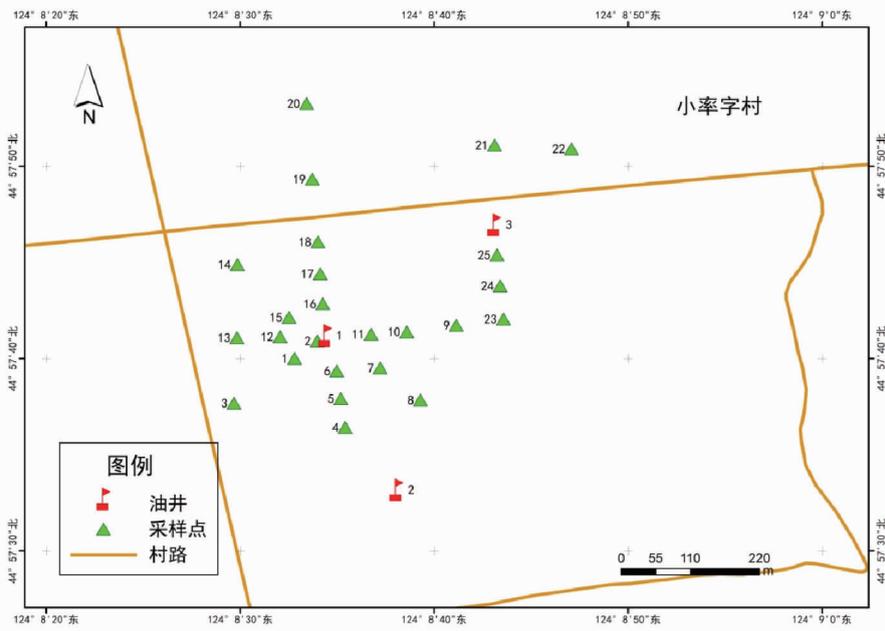


图 1 乾安油田小率字村周边采样点分布

Fig. 1 Farmland sample distribution around oil production wells in Xiaoshuazi Village ,Qian ' an County

表 1 乾安油田采油井周边农田土壤重金属含量

Table 1 Heavy metals content in farmland soil surrounding the production wells of Qian ' an oilfield

重金属 Heavy metals	分布范围 Range // mg/kg	最小值 Min. // mg/kg	最大值 Max. // mg/kg	平均值 Mean // mg/kg	变异系数 CV	标准差 SD // mg/kg
Pb	1.250 ~ 10.470	1.250	10.470	6.392 8	0.445 8	2.913 80
Hg	0.010 ~ 0.320	0.010	0.320	0.079 1	1.196 8	0.094 67
As	14.520 ~ 28.300	14.520	28.300	23.305 1	0.159 0	3.705 80

2.2 污染程度分析 由表 2 可知,Pb 的地累积指数介于 -4.542 3 ~ -1.481 0,均为无污染状态。Hg 的地累积指数介于 -2.433 0 ~ 2.567 0,16% 的地累积指数介于 0 ~ 1,为轻度污染状态;4.00% 地累积指数介于 1 ~ 2,为中度污染状态;16% 为中度一重污染状态,其余为无污染。As 的地累积指数介于 -0.013 0 ~ 0.949 3,96% 为轻度污染状态,最大值为 0.949 3,接近中度污染。

表 2 Muller 地累积指数分级体系

Table 2 Classification system of Muller geoaccumulation index

地累积指数 (I <sub>geo</sub> )	分级 Grade	污染程度 Pollution degree	重金属污染程度百分比 Pollution degree ratio of heavy metals // %		
			Pb	Hg	As
<0	0	无污染	100	64	4
0 ~ <1	1	轻度污染	0	16	96
1 ~ <2	2	中度污染	0	4	0
2 ~ <3	3	中度污染—重污染	0	16	0
3 ~ <4	4	重污染	0	0	0
4 ~ <5	5	重污染—极重污染	0	0	0
≥5	6	极重污染	0	0	0

2.3 潜在生态风险评价 由表 3 可知,Pb 潜在生态风险指数全部介于 0.32 ~ 17.65,处于轻度生态风险级别,说明吉林省油田周边农田土壤中 Pb 污染没有形成明显的生态风险。

Hg 潜在生态风险指数在 11.11 ~ 355.56,48% 处于轻度风险级别,28% 处于中度风险级别,4% 处于强生态风险级别,12% 处于很强生态风险级别,8% 处于极强生态风险级别。油田周边农田土壤中 Hg 污染具有较高的潜在风险,对其土壤生态环境已经形成严重潜在威胁。As 潜在生态风险指数在 14.87 ~ 28.96,全部处于轻生态风险级别。潜在风险级别由高到低为 Hg、As、Pb。主要是因为 Hg 的毒性响应系数较其他污染物高很多。

表 3 潜在生态风险评价分级特征

Table 3 Classification characteristics of potential ecological risk

潜在生态 风险值 (E <sub>r</sub> <sup>i</sup> )	风险程度 Risk degree	重金属污染程度百分比 Pollution degree ratio of heavy metals // %		
		Pb	Hg	As
E <sub>r</sub> <sup>i</sup> < 40	轻度	100	48	100
40 ≤ E <sub>r</sub> <sup>i</sup> < 80	中度	0	28	0
80 ≤ E <sub>r</sub> <sup>i</sup> < 160	强	0	4	0
160 ≤ E <sub>r</sub> <sup>i</sup> < 320	很强	0	12	0
E <sub>r</sub> <sup>i</sup> ≥ 320	极强	0	8	0

2.4 土壤重金属含量与土壤理化性质的关系 土壤中有机质(OM)含量与 pH 对 As、Hg 等重金属在土壤中的吸收与滞 (下转第 137 页)

果,该研究结果与上述报道结论基本一致。不同药剂对烟粉虱的田间药效试验结果表明,供试的 4 种药剂对烟粉虱均有较好的防治效果。张淑莲等<sup>[7]</sup>报道了噻虫嗪、吡虫啉对烟粉虱有较好的防治效果。马亚杰等<sup>[20]</sup>研究表明,阿维菌素、啶虫脒对烟粉虱具有较好的防治效果,且阿维菌素不仅速效性好,而且持效期较长。而该研究与上述报道结论基本一致,但是马亚杰等<sup>[20]</sup>报道了阿维菌素防治效果优于啶虫脒,而该研究认为啶虫脒药后 7 d 的防治效果优于阿维菌素,药后 15 d 的防治效果基本一致,有待进一步研究。

2014—2016 年系统监测结果显示,棉蚜和烟粉虱的种群动态呈相似的发生规律,棉蚜发生高峰在 6—7 月,烟粉虱发生高峰在 9 月中旬,而棉铃虫呈无规律波形变化,发生高峰在 6—7 月。因此,在田间进行防治时,应根据不同害虫的虫情分布采取有效的防治措施,以达到较好的防治效果,从而减少农药的使用。该研究以吐鲁番市棉田的 3 种害虫为调查对象,今后应扩大调查区域和天敌进行调查,以期对棉田害虫的预测预报提供更详细的数据资料。

### 参考文献

[1] 贾尔恒·伊力亚斯. 浅谈新疆棉花产业发展存在的问题及建议[J]. 中国棉花, 2014, 41(12): 39.  
 [2] 雒珺瑜, 崔金杰, 王春义. 不同生态调控方式对棉田棉叶螨种群消长动态的影响[J]. 中国棉花, 2014, 41(1): 19-21.  
 [3] 冯志超, 王永安, 程国荣. 新疆北部棉区棉蚜大发生原因及综合防治[J]. 新疆农业科学, 2005, 42(4): 265-268.  
 [4] 罗亮, 马德英, 苗伟, 等. 北疆气温与棉蚜发生量之间关系的探讨[J]. 新疆农业科学, 2007, 44(4): 423-428.

[5] 张建华, 李小燕, 刘国军, 等. 北疆棉铃虫种群发生动态分析及常用农药的药效比较[J]. 新疆农业科学, 2008, 45(S2): 102-106.  
 [6] 吴孔明, 徐广, 郭予元. 华北北部地区棉田烟粉虱成虫季节性动态[J]. 植物保护, 2001, 27(2): 14-15.  
 [7] 张淑莲, 张锋, 陈志杰, 等. 陕西棉田烟粉虱发生为害与综合防治对策[J]. 西北农业学报, 2007, 16(1): 90-94.  
 [8] 贺欢, 田长彦, 王林霞. 不同覆盖对棉田棉蚜和棉叶螨及其天敌种群动态的影响[J]. 中国沙漠, 2011, 31(1): 180-184.  
 [9] 陈芳, 邢晓东. 北疆农六师地区不同邻作方式下棉铃虫发生动态调查[J]. 中国棉花, 2013, 40(7): 28-31.  
 [10] 吕丽敏, 张帅, 雒珺瑜, 等. 2013-2014 年冀鲁豫 Bt 棉田烟粉虱发生动态监测[J]. 中国棉花, 2015, 42(12): 7-9, 10.  
 [11] 王林霞, 田长彦, 马英杰, 等. 玉米诱集带对棉田天敌种群动态的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2004, 22(1): 86-89.  
 [12] 崔金杰, 夏敬源. 一熟转 Bt 基因棉田主要害虫及其天敌的发生规律[J]. 植物保护学报, 2000, 27(2): 141-145.  
 [13] 李子, 罗树凯, 刘蓉, 等. 阿拉尔地区抗虫棉田主要害虫的发生特点及防治对策[J]. 新疆农业科技, 2010(1): 50-51.  
 [14] 徐遥, 吴孔明, 李号宾, 等. 转基因抗虫棉对新疆棉田主要害虫及天敌群落的影响[J]. 新疆农业科学, 2004, 41(5): 345-347.  
 [15] 韩波, 周柱生, 顾巍菊, 等. 转 Bt 基因抗虫棉和常规棉田主要害虫与天敌种群数量的比较[J]. 安徽农业科学, 2005, 33(8): 1361-1362, 1366.  
 [16] 刘珍, 范巧兰, 张丽萍, 等. 转 Bt 棉田 Q 型烟粉虱消长动态及黄板诱杀技术[J]. 中国棉花, 2015, 42(3): 14-16.  
 [17] 买合甫皮古丽·阿不力米提, 王岩平, 李京, 等. 瓜套棉田烟粉虱与棉蚜种群动态及竞争干扰行为研究[J]. 生物安全学报, 2017, 26(1): 39-46.  
 [18] 于江南, 任志成, 努尔比亚·托木尔, 等. 几种生物农药对棉蚜的防治效果及毒力研究[J]. 新疆农业大学学报, 2008, 31(4): 44-46.  
 [19] 刘政, 孙艳, 蒋欢, 等. 0.3% 苦参碱水剂等新型药剂对北疆棉蚜防治的研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(15): 7056-7057.  
 [20] 马亚杰, 马艳, 马小艳, 等. 几种新型杀虫剂对棉田烟粉虱防治效果研究[J]. 中国棉花, 2013, 40(4): 18-19.

(上接第 129 页)

起着重要的作用<sup>[6]</sup>。表 4 为土壤重金属与 pH、OM 间 Pearson 相关分析,由表 4 可知,采油井周边农田土壤 Pb 与 pH、有机质含量呈弱负相关关系;Hg、As 与 pH 呈正相关关系,与有机质含量呈负相关关系。表明土壤 OM 的吸附解析作用可显著影响 As、Hg 在土壤中的迁移转化及其含量水平;由于研究区土壤 pH 均为碱性,因而随着 pH 的降低会促进土壤对重金属的保持能力降低,重金属含量减少。

表 4 土壤重金属与 pH、OM 间 Pearson 相关分析

Table 4 Pearson correlation analysis between soil heavy metals and pH, OM

研究区 Study area	指标 Index	元素 Element		
		Pb	Hg	As
乾安油田小率字村 Xiaoshuazi Village, Qianan County	pH	-0.011	0.051	0.162
	OM 含量(%)	-0.150	-0.120	-0.033

注: \* 在 0.05 水平(双侧)上显著相关; \*\* 在 0.01 水平(双侧)上显著相关

Note: \* stands for significant correlation at 0.05 level (double sides); \*\* stands for significant correlation at 0.01 level (double sides)

### 3 结论

油田采油井周边农田土壤重金属 Pb、Hg 和 As 平均含量分别为 6.392 8、0.079 1 和 23.305 1 mg/kg,为土壤背景值的 0.33、2.20 和 2.39 倍,表明 Hg 和 As 在土壤中累积较明显, Hg 为强变异水平,含量受人类活动影响较大。重金属含量

地累积指数分布特征表明 Hg 的地累积指数介于 -2.433 0 ~ 2.567 0,4% 为中度污染状态,16% 为中度—重污染状态, Pb 和 As 基本处于无污染状态。

潜在生态风险评价表明重金属潜在风险级别由高到低为 Hg、As、Pb, Hg 有 12% 处于很强生态风险级别, 8% 处于极强生态风险级别, 主要是因为 Hg 在土壤中累积明显, 而且毒性响应系数较其他污染物高。土壤重金属含量受土壤 pH、OM 含量的影响明显。

### 参考文献

[1] ANDERSON R H, FARRAR D B, ZODROW J M. Terrestrial metals bio-availability: A comprehensive review and literature-derived decision rule for ecological risk assessment [J]. Human and ecological risk assessment, 2013, 19(6): 1488-1513.  
 [2] MACHENDER G, DHAKATE R, RAO G T, et al. Assessment of trace element contamination in soils around Chinnaru River Basin, Nalgonda District, India [J]. Environmental earth science, 2013, 70(3): 1021-1022.  
 [3] FU X W, CUI Z J, ZANG G L. Migration, speciation and distribution of heavy metals in an oil-polluted soil affected by crude oil extraction processes [J]. Environmental science processes and impacts, 2014, 16(7): 1737-1744.  
 [4] 孟宪玺, 李生智. 吉林省土壤元素背景值研究 [M]. 北京: 科学出版社, 1995.  
 [5] KRISHNA A K, MOHAN K R, MURTHY N N, et al. Assessment of heavy metal contamination in soils around chromite mining areas, Nuggihalli, Karnataka, India [J]. Environmental earth science, 2013, 70(2): 700-708.  
 [6] 曹会聪, 王金达, 张学林. 吉林黑土中 Cd、Pb、As 的空间分布及潜在生态风险 [J]. 中国环境科学, 2007, 27(1): 89-92.