

# 华东某铀矿区土壤中重金属镉含量特征及污染评价

王一婷<sup>1</sup>, 刘平辉<sup>1,2\*</sup>, 张淑梅<sup>1</sup>

(1. 东华理工大学, 地球科学学院, 江西南昌 330013; 2. 核资源与环境教育部重点实验室(东华理工大学), 江西南昌 330013)

**摘要** [目的] 对华东某铀矿区土壤中重金属元素 Cd 含量进行评价研究。[方法] 采用单因子污染指数法, 对铀矿区土壤重金属镉污染程度进行评价。[结果] 所采样品 Cd 含量范围为 0.05~1.81 mg/kg, 采矿区与尾矿坝区所采土壤样品污染程度较高; 正在开采矿区位置上游土壤中 Cd 含量高于下游, 采矿区沿运输路线所采样品含量偏高。单因子污染指数评价结果表明, 整个采样区各区域土壤均受到重金属 Cd 不同程度的污染, 对照区单因子污染指数评价结果最小。[结论] 所采样品均受到不同程度的镉污染。各区域受污染程度大小依次为采矿区 > 整个矿区 > 尾矿坝 > 含矿未采区 > 对照区。

**关键词** 土壤; 镉含量; 污染评价; 铀矿区; 华东

**中图分类号** S158.4 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2015)34-015-03

## Cd Content and Contamination Assessment of Soil in Area of Uranium Mine, East China

WANG Yi-ting<sup>1</sup>, LIU Ping-hui<sup>1,2\*</sup>, ZHANG Shu-mei<sup>1</sup> (1. College of Earth Sciences, East China Institute of Technology, Nanchang, Jiangxi 330013; 2. Key Laboratory of Nuclear Resources and Environment (East China Institute of Technology), Ministry of Education, Nanchang, Jiangxi 330013)

**Abstract** [Objective] Cd contents in soil were studied in the area of a uranium mine, East China. [Method] The method of single factor pollution index was used to evaluate the soil heavy metal pollution of Cd in the uranium mine. [Result] The Cd contents of Cd in soil samples ranged from 0.05 mg/kg to 1.81 mg/kg. The Cd contents of the soil samples were at high pollution level in mining area and tailings dam. The Cd contents of soil samples were higher in upstream than those in downstream of deposit exploration area. The Cd contents of soil samples were high along the transport route. The single factor pollution evaluation results showed different levels of contamination in different parts of deposit exploration area. The single factor pollution index was minimal in control area. [Conclusion] All samples had varying degrees of cadmium pollution. The contamination results of the single factor pollution index showed deposit exploration area > whole mining area > tailings dam > not mining area > control area.

**Key words** Soil; Cd content; Contamination assessment; Uranium mine; East China

土壤作为环境的主要组成部分, 不仅提供人类生存所需的各种营养物质, 而且接受来自工业和生活废水、固体废物、农药化肥及大气降尘等物质的污染<sup>[1]</sup>。我国土壤污染研究经历了两个典型时期, 即 20 世纪 70 年代主要研究了以农药为主的有机物造成的土壤污染、底泥重金属污染和污灌对农田系统带来的影响; 20 世纪 80 年代国家组织全国范围内土壤背景值调查和环境容量研究等工作, 这个时期的研究成果系统化、理论化, 为土壤质量评价、土壤污染控制奠定基础<sup>[2]</sup>。矿山开发对区域环境影响的一个重要方面主要表现为对环境的污染, 并且由此直接影响人们的生命健康安全<sup>[3]</sup>。土壤重金属污染是不可逆的, 一旦重金属元素进入土壤环境, 就很难消解或降低这些化合物对土壤结构和功能的不利影响<sup>[4]</sup>。近年来, 针对华东某铀矿火山盆地深部铀资源的研究和勘查已取得显著进展, 在一些勘探程度很高的地段已探获一些新的富大铀矿体, 同时对一些基础地质问题提出新的认识<sup>[5]</sup>。我国对铀矿开采后矿区的污染评价主要集中在放射性污染。矿山开采对环境的影响大。研究区开采后的废水排放、废渣露天堆放会对矿区土壤造成一定污染。在前人对该区研究的基础上, 笔者主要对华东某铀矿区土壤重金属镉污染进行评价, 为今后铀矿区重金属污染评价治理及生态修复提供科学依据。

**基金项目** 国家自然科学基金项目(41261081); 江西省研究生创新基金项目(YC2014-S323)。

**作者简介** 王一婷(1991-), 女, 新疆克拉玛依人, 硕士研究生, 研究方向: 环境地球化学。\* 通讯作者, 教授, 硕士生导师, 从事环境地球化学、土壤地理学、区域可持续发展方面的研究。

**收稿日期** 2015-11-04

## 1 材料与方法

**1.1 样品采集** 将采样区划分为采矿区、含矿未采区与尾矿坝区(图 1)。样品采集与文献[6]相似但略有不同。采集 0~20 cm 表层土壤组样品, 将所采集样品装入样品袋, 用记号笔写好标签, 使用 GPS 记录采样点坐标作为取样的点位置, 同时在记录本上记录各样点取样的详细信息。

在整个研究区, 共采集样品 230 个, 其中采矿区共采集样品 178 个, 含矿未采区共采集样品 45 个, 尾矿坝采集样品 7 个, 对照区(距离矿区 60 km, 远离矿区, 不受矿区水系、大气、矿石运输等的影响)采集样品 9 个。

**1.2 样品处理** 将野外取得的土壤样品在实验室自然风干, 待土壤样品干燥后将样品研碎, 去除砂石、植物根茎、虫体、石子以及其他杂质; 然后, 进行初步研磨, 过 60 目筛筛检。测试前, 采用四分法取样适量, 研磨至 200 目, 备用。将试样在 60 °C 下干燥 4 h 后, 准确称取 0.050 0 g 试样于聚四氟乙烯密封溶样罐中, 先用少量水润湿, 轻轻振动使样品均匀, 加入 3 ml 氢氟酸、1 ml 硝酸、1 ml 高氯酸, 盖上专用溶样罐盖, 在低温电热板上 200 °C 加热溶解 24 h 以上, 打开溶样罐盖, 在低温电热板上加热蒸至近干, 视消解情况再次加入 3 ml 氢氟酸、1 ml 硝酸、1 ml 高氯酸, 重复上述消解过程, 再次蒸至近干后加入 1:1 硝酸 3 ml, 盖上专用溶样罐盖, 焖置一段时间以溶解可溶性残渣。用浓度 1% 硝酸提取至 50 ml 容量瓶中, 摇匀后在 ICP-MS 上采用在线内标(Rh)法进行测量, 得到各样品的测定结果。

**1.3 评价方法与标准** 运用单因子污染指数评价法进行评价研究。评价方法选取的评价标准为国家土壤镉背景值, 国

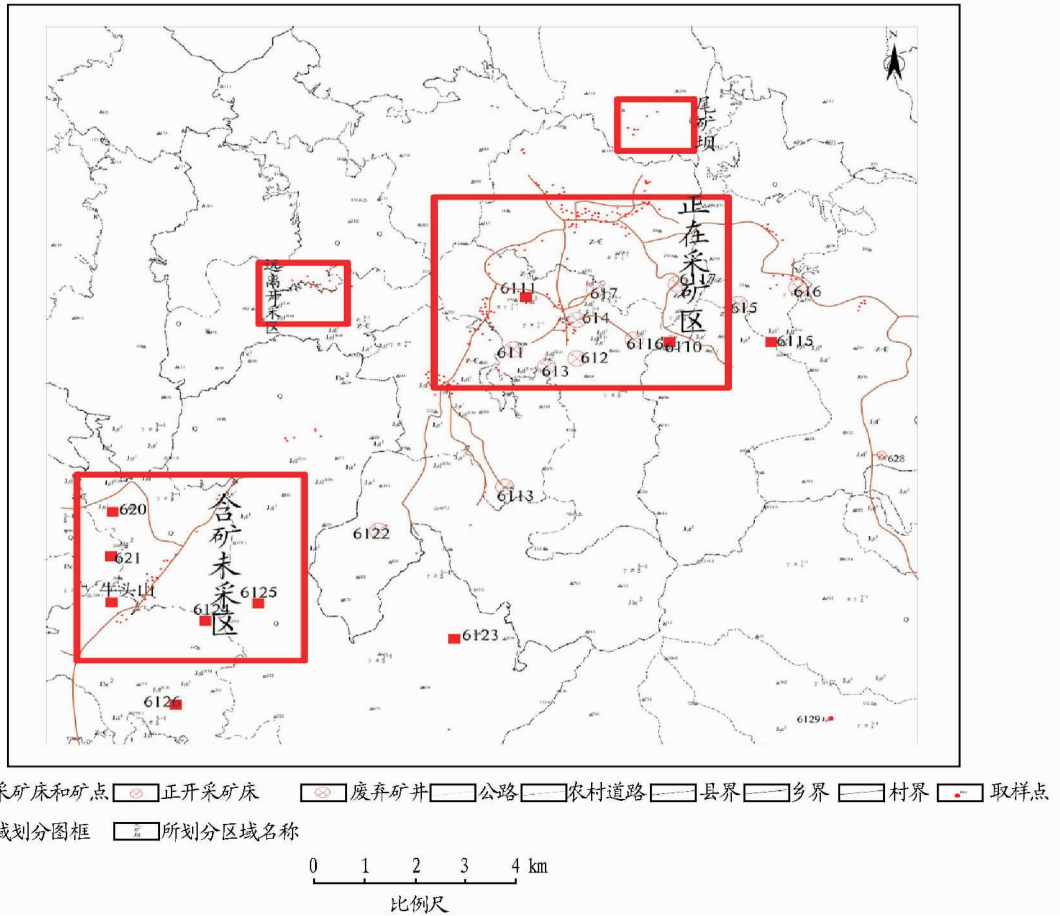


图1 研究区土壤取样

家土壤镉环境背景值为  $0.074 \text{ mg/kg}$ <sup>[7]</sup>。

单因子污染指数评价即对土壤样品中的某一污染物的污染程度进行评价。单因子指数法是国内通用的一种重金属污染评价的方法,是国内评价土壤、水、大气和河流沉积物重金属污染的常用方法<sup>[8-9]</sup>。

$$P_i = C_i/S$$

式中, $P_i$  为污染物单因子指数; $C_i$  为实测浓度; $S$  为土壤环境质量标准。

$P_i < 1$  表示未受到污染; $P_i > 1$  表示受到污染; $1 < P_i \leq 2$  为轻度污染; $2 < P_i \leq 3$  为中度污染; $P_i > 3$  为重度污染。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤中镉元素含量特征

通过分析测试,所采集 230 个土壤样品中 Cd 的含量范围为  $0.05 \sim 1.81 \text{ mg/kg}$ 。超过江西省土壤背景值的样品有 226 个,仅有 4 个样品低于江西省土壤环境背景值;超过国家土壤背景值的样品有 228 个,仅有 2 个样品低于国家土壤背景值。土壤中 Cd 含量特征见表 1。矿区共采土壤样品 230 个。Cd 含量超过江西省土壤镉元素背景值  $0.10 \text{ mg/kg}$  的土壤样品个数为 226 个,样品个数占总样品个数的 98.26%;超过国家土壤镉元素背景值  $0.074 \text{ mg/kg}$  的样品个数为 228 个,占总样品个数比例的 99.13%。对照区样品中 Cd 含量均超过江西省土壤背景值与国家背景值,但与江西省土壤背景值差别不大。

矿区土壤中正在采矿区、尾矿坝土壤样品中 Cd 的平均

含量接近,含矿未采区与对照区土壤中 Cd 含量低于正在采矿区及尾矿坝区土壤中 Cd 含量。正在采矿区的 6111 附近两个村土壤中 Cd 含量平均值分别为  $0.24$ 、 $0.21 \text{ mg/kg}$ ,6122 矿床下游村庄土壤中 Cd 平均含量  $0.18 \text{ mg/kg}$ 。从正在采矿区 Cd 含量平均值可以看出,土壤中 Cd 含量 611 矿床附近土壤中 Cd 含量  $> 6111$  矿床附近土壤中 Cd 含量。

正在采矿区上游所采土壤样品 Cd 含量偏高,平均值为  $0.20 \text{ mg/kg}$ ,正在开采矿床下游稍离开采区处所采样品平均值为  $0.16 \text{ mg/kg}$ ;水系由开采矿床上游流向下流地区,上游地区土壤中 Cd 含量高于下游附近以及稍远于正在采矿区下游的地区。结果表明,正在开采矿区 6122 矿床位置上游土壤中 Cd 含量高于下游,上游与下游土壤中 Cd 含量平均值均高于江西省土壤背景值与国家背景值。采矿区沿运输路线所采样品含量偏高,平均含量为  $0.21 \text{ mg/kg}$ ,超过江西省背景值与国家背景值。在尾矿坝处所采样品含量超过江西省土壤背景值与国家土壤背景值。

标准差与变异系数表征数据离散程度。变异系数大小依次为正在采矿区  $>$  整个矿区  $>$  尾矿坝  $>$  含矿未采区  $>$  对照区。变异系数越大,表明人为活动的干扰作用越强烈<sup>[10]</sup>。

### 2.2 土壤中 Cd 单因子污染评价

由表 2 可知,整个矿区土壤中 Cd 污染程度为无污染到极重度污染,各个区域单因子污染指数均大于 1,整个矿区中采矿区与尾矿坝污染较严重,含矿未采区污染较轻。与对照区相比,整个矿区各个划分区

域单因子污染指数均大于对照区,对照区单因子污染指数最小。由此可知,整个采样区各区域土壤均受到不同程度的重金属 Cd 污染。

表 1 各区域土壤中 Cd 的含量特征

区域划分	最小值 mg/kg	最大值 mg/kg	平均含量 mg/kg	标准差 (SD)	变异系数 (CV) // %
整个矿区 (n=230)	0.050	1.810	0.210	1.340	63.46
正在采矿区 (n=178)	0.050	1.810	0.230	1.540	68.45
含矿未采区 (n=45)	0.050	0.310	0.150	0.040	26.67
尾矿坝 (n=7)	0.140	0.370	0.230	0.090	39.13
对照区 (n=9)	0.137	0.149	0.133	0.014	10.53

表 2 土壤中 Cd 中重金属污染指数统计分析结果

采样区域	最大值	最小值	平均值	污染等级
整个矿区	24.46	0.68	2.84	无污染~极重度污染
采矿区	24.46	0.68	3.04	无污染~极重度污染
含矿未采区	4.19	0.62	2.09	无污染~中度污染
尾矿坝	5.00	1.89	3.11	轻度污染~重度污染
对照区 (不受矿区影响)	2.01	1.43	1.80	轻度污染

### 3 结论与讨论

土壤重金属污染是矿区普遍存在的环境问题之一。重金属 Cd 可对土壤构成持久性污染,而 Mo、Sn、Sb、U 等重金属的污染程度随土壤风化的进行因淋失而趋于降低<sup>[11]</sup>。研究表明,所采 230 个土壤样品中 Cd 含量范围为 0.05~1.81 mg/kg, Cd 含量在采矿区与尾矿坝较高。对华东某铀矿区重金属镉污染评价表明,从单因子污染指数来看,整个矿区土壤污染程度为轻度~重度污染,采矿区为轻度~极重度污

(上接第 5 页)

*microphylla*)。大籽蒿 (*Artemisia sieversiana*)、猪毛蒿 (*Artemisia scoparia*)、羊草 (*Leymus chinensis*)、二裂委陵菜 (*Potentilla bifurca*)、冰草 (*Agropyron cristatum*) 等最为常见,密度和盖度较高。样方 3 寸草 (*Carex duriuscula*)、样方 4 早熟禾 (*Poa annua*)、样方 5 远东芨芨草 (*Achnatherum extremorientale*) 等虽出现的频率不高,但在特定样方内发展成优势种。无心菜 (*Arenaria serpyllifolia*)、柳穿鱼 (*Linaria vulgaris subsp. sinensis*)、地蔷薇 (*Chamaerhodos erecta*) 则是样方内的偶见种。

**2.3 干扰因素的影响** 干扰作为自然界普遍存在的现象,是造成生态系统结构和功能长期波动的主要因素之一<sup>[4]</sup>。放牧、围封活动是人类对草原的最主要的干扰活动<sup>[5-6]</sup>。锥叶柴胡是一种耐贫瘠和干旱的阳性植物,对环境的的适应性较强,但各种干扰对其生长状况产生不同程度的影响。

在该研究的 3 种干扰设置中,公路防护带附近 2 个样方的生长状况最好,盖度(均为 3%)和高度(分别为 30 和 20 cm)最大。这可能与该地段没有受到牛羊等牲畜的啃食和践

踏,尾矿坝为中度~重度污染,含矿未采区则为无污染~中度污染,对照区则为轻度污染。各采样区变异系数为 10.53%~68.45%,说明矿区土壤污染受人为因素的影响较大。从综合污染指数来看,整个矿区、采矿区、尾矿坝与含矿未采区均为重度污染,远离矿区且不受采矿影响的对照区为轻度污染。采样区农田中种植水稻,土壤中 Cd 含量偏高与种植水稻中使用农药有关;矿石运输路线中土壤 Cd 含量同样偏高,与运输中矿石废渣、汽车尾气的排出可能有一定关系。华东某铀矿区污染程度依次为采矿区>整个矿区>尾矿坝>含矿未采区。

### 参考文献

- [1] 高太忠,李景印.土壤重金属污染研究与治理现状[J].土壤与环境,1999,8(2):137-140.
- [2] 温志良,莫大伦.土壤污染研究现状与趋势[J].重庆环境科学,2000,22(3):55-57.
- [3] 陈翠华,倪师军,何彬彬,等.江西德兴矿区土壤重金属污染的富集因子分析[J].金属矿山,2005,354(12):57-60.
- [4] DONG J H, YU M, BIAN Z F, et al. The safety study of heavy metal pollution in wheat planted in reclaimed soil of mining areas in Xuzhou, China [J]. Environ Earth Sci, 2012, 66:673-682.
- [5] 张士红,林子瑜.东相山铀矿田航空能谱数据图像处理与分析[J].东华理工大学学报(自然科学版),2012,35(2):124-128.
- [6] 黄玉溢,陈桂芬,熊柳梅,等.广西稻田土壤重金属污染评价[J].安徽农业科学,2013,41(26):10648-10649.
- [7] 何纪力,徐光炎,朱惠民,等.江西省土壤环境背景值研究[M].北京:中国环境科学出版社,2006:1-314.
- [8] 宋伟,陈百明,刘琳.中国耕地土壤重金属污染概况[J].水土保持研究,2013,20(2):293-298.
- [9] 徐燕,李淑芹,郭书海,等.土壤重金属污染评价方法的比较[J].安徽农业科学,2008,36(11):4615-4617.
- [10] 石平,王恩德,魏忠义,等.青城县铅锌矿区土壤重金属污染评价[J].金属矿山,2010(4):172-175.
- [11] 彭勃,唐晓燕,余昌训,等.湘中 HJC 铀矿区黑色页岩土壤重金属污染地球化学分析[J].地质学报,2009,83(1):89-105.

踏而自然生长有关。开发废弃地附近 2 个样方中的个体生长较弱,盖度仅为 1%,植株高度低于上一个样地。牛羊放牧地样方中的锥叶柴胡长势最弱,植株仅 5~6 cm,在样方 6 的 12 个个体中多数只在一个分枝上形成花序或仅保持在营养生长阶段。造成这种状态的原因是锥叶柴胡产生对牛羊践踏和啃食的保护性适应,通过减少形成花序来减少生殖生长所需的营养消耗。锥叶柴胡是多年生植物。放牧的强度干扰抑制了有性生殖产生实生苗的机率,影响种群扩增。

### 参考文献

- [1] 中国科学院植物志编辑委员会.中国植物志:55 卷:柴胡属[M].北京:科学出版社,1979:95-215.
- [2] 唐智芳.柴胡属化学成分及质量研究[D].北京:北京中医药大学,2010:31-39.
- [3] 刘世彪,张代贵,陈功锡,等.八大公山自然保护区绞股蓝伴生群落特征研究[J].生命科学研究,2010,11(2):172-176
- [4] 李博,杨持,林鹏.生态学[M].北京:高等教育出版社,2000.
- [5] 王明君,韩国栋,崔国文,等.放牧强度对草甸草原生产力和多样性的影响[J].生态学杂志,2010,29(5):862-868.
- [6] 陈宝瑞,杨桂霞,张宏斌,等.不同干扰类型下羊草种群的空间格局[J].生态学报,2010,30(21):5868-5874.