

洪涛,谢运球,赵一,等. 硫铁矿冶炼区不同土地利用方式及土壤类型对重金属迁移的影响[J]. 中国岩溶, 2016, 35(4): 439—445.
DOI:10.11932/karst20160412

硫铁矿冶炼区不同土地利用方式及土壤类型 对重金属迁移的影响

洪涛¹, 谢运球¹, 赵一¹, 杨利超²

(1. 中国地质科学院岩溶地质研究所/岩溶生态系统与石漠化治理重点实验室, 广西 桂林 541004;

2. 联合国教科文组织国际岩溶研究中心, 广西 桂林 541004)

摘要:为探讨硫铁矿冶炼区不同土地利用方式和土壤类型对重金属元素迁移的影响,采集了毕节市林口废弃硫铁矿冶炼厂内耕地砂壤土及附近林地石灰土表层和深层样共40组。室内测试土壤理化指标 Pb、Zn、Cd 全量和有效态含量,并对重金属元素含量的水平和垂直分布特征及重金属元素含量的相关性进行了讨论。结果表明:土壤中 Pb 和 Zn 的含量均符合土壤环境质量二级标准值,耕地表层土壤 Cd 含量是贵州省农业土壤背景值的7倍。土壤 Cd 有效态含量占全量的比值最大,而 Pb 和 Zn 有效态含量占全量的比值差别较小。耕地砂壤土 Zn 和 Cd 的全量随剖面深度的增加表现为先增大后减小,Pb 呈减少的趋势;Pb 和 Zn 的有效态含量随剖面深度的增加而减少,Cd 有效态含量呈波动变化。林地石灰土中 Pb、Zn、Cd 的全量和有效态含量均随剖面深度的增加而减少,且 Pb、Zn、Cd 全量之间及全量与有效态含量之间都具有显著的正相关关系,而在耕地中各元素的相关性不明显。土壤频繁的扰动和偏酸性的环境有利于重金属垂向迁移。

关键词:土壤;污染;重金属;分布特征;硫铁矿冶炼区;毕节;贵州

中图分类号:X53

文献标识码:A

文章编号:1001-4810(2016)04-0439-07

0 引言

矿山开采和冶炼活动会对矿区及周边土壤造成严重污染^[1-2],土壤中累积的重金属元素不仅可以向下迁移,对深层土壤甚至更深层地下水构成威胁^[3-4],而且可通过植物吸收进入食物链,对人体健康产生影响^[5]。

毕节市林口镇硫铁矿和煤矿资源丰富,当地有大大小小数十个采矿点和冶炼厂,渭河硫铁矿冶炼厂便是其中较大的一个,由于生产管理不规范且冶炼技术设备落后,尾气不经处理直接排放、废渣随意堆弃,严重威胁到当地居民和生物的安全。虽矿山已停产多年,雨季仍可见渭河河水呈乳白色,给当地的环境带来严重的污染。目前,厂区内及周边土地现已被开发为耕地和林地。

鉴于目前的环境状况,有必要对冶炼活动导致的重金属元素的释放和迁移活动对周围耕地的影响进行评价。许多研究表明,重金属的迁移受土地利用方式和土壤类型的影响,如陈宗娟^[6]研究了天津东南部某区域工业用地、居住用地和农业用地3种土地利用方式下的土壤表层重金属含量,结果显示,金属累积程度受土地利用的影响较大,总体表现为Cd为重度积累;李贵祥等^[7]分析了7种土地利用方式对土壤物理性状和表土重金属含量的影响;孙亚乔等^[8]研究表明水稻田土壤Pb含量大于玉米地土壤大于荒地土壤;钟晓兰等^[9]研究表明不同母质发育的土壤上重金属有效性差异较大,表现为乌桕土>青泥土>黄泥土。随着剖面层次的下降,重金属有效态含量和生物有效性逐渐降低,且Cd的污染最大。目前对硫铁矿采冶区土壤重金属的研究多集中于表层土壤重金属

基金项目:中国地质科学院岩溶地质研究所基本科研业务费专项资金项目(121237128100259);中国地质调查局项目(12120113052500)

第一作者简介:洪涛(1986-),男,实习研究员,硕士,主要从事水文地质环境地质研究。E-mail: hongt@karst.ac.cn.

收稿日期:2015-12-20

含量特征和生物有效性上^[10-12],而针对不同的土地利用方式、石灰土^[13]对冶炼区重金属含量的影响及重金属元素垂向迁移特征研究较少^[14]。因此,本文以林口硫铁矿冶炼区为例,选取必需微量元素 Zn 和有害微量元素 Pb 和 Cd 为代表元素,探讨不同土地利用方式及土壤类型对重金属含量的影响,为当地的水土污染治理以及生态保护提供参考。

1 研究区概况

林口镇位于贵州省毕节市北部,与四川省叙永县隔河相望。气候属北亚热带季风湿润气候,夏无酷暑,冬无严寒,年平均气温 12~15.4℃;降雨量较为充沛,年平均降水量 727~1 193 mm。

渭河硫铁矿冶炼厂位于林口镇渭河村渭河左岸,面积约 1.5×10⁴ m²,于 2009 年废弃,出露地层为二叠中统茅口组(P₂m),岩性为浅灰色中至厚层泥晶灰岩夹生物灰岩,局部地段出露有 P₃l 的厚层砂岩、粘土岩及煤线。

厂区耕地距冶炼厂 200 m 范围内,主要种植玉

米、土豆等农作物;林地距冶炼厂 300 m 范围内,为次生林,主要为松树,已种植 3 年。耕地土壤为灰黑色砂质壤土,含矿渣和有机质较多,而林地土壤以黄褐色土壤为主,受冶炼活动影响相对较小。

2 材料与方法

2.1 样品采集

选取硫铁矿冶炼区周边耕地和林地作为样地,耕地底部基岩为砂岩,表层 30 cm 内土壤扰动较强烈;林地底部岩性主要为灰岩,表层土壤几乎无扰动,代表性土壤分别为砂壤土和石灰土。2014 年 10 月沿河流流向在耕地和林地分别采样,取样点间隔 30 m,取样深度(0~20 cm),各取 6 组,样品采集如图 1 所示。此外,为了解重金属在垂向分布特征,在 Sc01、Sc03、Sf01 和 Sf03 号样点各挖一个 1.5 m×1.5 m×1.2 m 的土坑,分层取样,采样深度(cm)为 10、20、30、40、60、80、100 cm,采用四分法各取 1 kg 土壤样装入聚乙烯封口袋中,共取 28 组,另用 100 cm³ 环刀取各层土壤,用于容重和含水率测定。

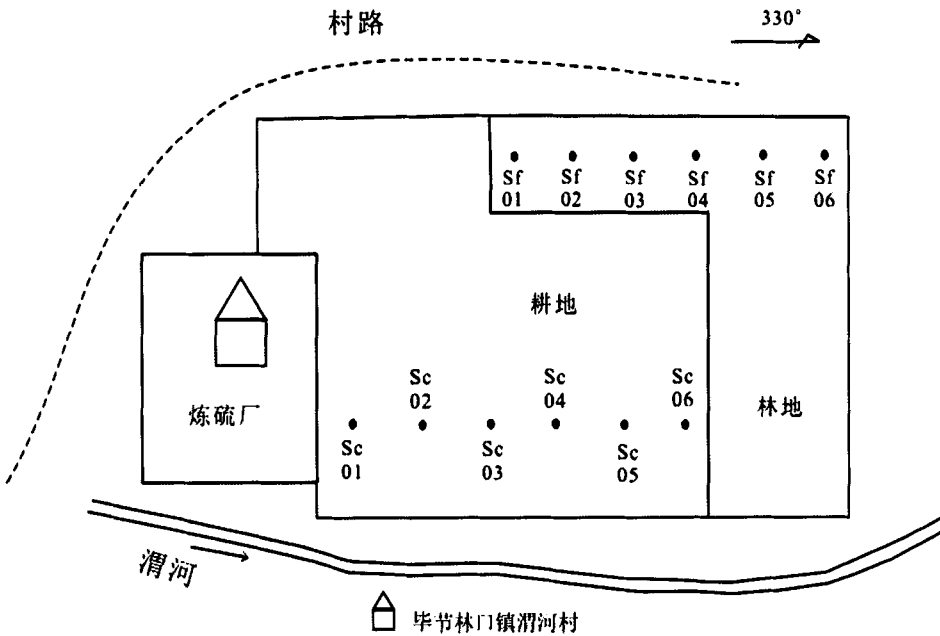


图 1 采样点分布示意图

Fig. 1 Sketch showing distribution of sampling sites

2.2 样品分析

样品全部送至国土资源部合肥矿产资源监督检测中心测试。检测方法为:土壤 pH 值—电位法。取 0.05 g 样品用硝酸、盐酸、氢氟酸和高氯酸溶解样品,定容后用美国热电公司的等离子质谱仪(ICP—

MS)直接测定 Pb、Zn、Cd 全量。用 0.1 mol/L 盐酸浸提酸性或中性土壤中有效态 Pb、Zn、Cd,再用等离子光电直读光谱仪(ICP—AES)测定。对于石灰性土壤,则用 DTPA 浸提有效态金属阳离子,ICP—AES 测定。有机质含量测定采用重铬酸钾容量法。

土壤容重和质量含水率采用烘干法测量。采用美国 Spectrum 公司便携式土壤原位 pH 值计现场测量土壤温度,精度±0.1℃,得到剖面土壤理化性质如表 1 所示。

表 1 土壤剖面理化指标
Table 1 Physical and chemical properties of soil samples in two profiles

耕地(砂壤土)						林地(石灰土)					
埋深/ cm	干容重/ g/cm ³	质量含水率/ %	温度/ ℃	pH 值	有机质/ g/kg	埋深/ cm	干容重/ g/cm ³	质量含水率/ %	温度/ ℃	pH 值	有机质/ g/kg
10	1.13	27.56	20.8	6.93	35.2	10	0.94	27.37	21.2	7.00	27.2
20	1.15	27.61	21.0	6.09	31.8	20	0.98	26.64	20.5	7.37	29.5
30	1.18	31.97	21.4	6.35	24.1	30	1.13	27.57	20.4	7.77	31.4
40	1.20	28.55	21.1	6.17	32.6	40	1.16	24.93	20.2	7.40	26.4
60	1.22	26.69	20.9	6.34	26.4	60	1.24	24.88	18.4	7.17	28.0
80	1.23	27.39	20.7	6.38	47.9	80	1.27	34.66	18.3	7.13	24.5
100	1.25	26.95	20.9	5.93	34.9	100	1.28	31.20	18.4	7.26	25.3

2.3 数据处理
数据的作图和分析采用 Grapher 9.1 和 Matlab 7.0 软件。

3 结果和讨论

3.1 表层土壤重金属含量特征

由表 1 可看出耕地土壤偏酸性,林地土壤偏碱性。表层土壤重金属含量如表 2 所示。耕地和林地土壤重金属 Pb、Zn、Cd 全量均表现为 Zn>Pb>Cd。孙慧珍等^[15]在研究哈尔滨市不同类型人工林土壤重金属含量时得出了相同的结果,该结果主要受元素环境背景值的制约。此外,耕地土壤表层相应重金属含量大于林地土壤,且基本表现出重金属含量与冶炼厂距离呈反比的特征,说明土壤中重金属含量受冶炼活动的影响较明显。

检测土壤中 Pb 和 Zn 全量的最大值均未超过土壤环境质量二级标准值^[16](Pb≤300 mg/kg,Zn ≤250 mg/kg(pH 为 6.5~7.5)),说明土壤未受到 Pb、Zn 污染。而耕地和林地表层土壤 Cd 全量的平均值分别达到二级标准值(Cd≤0.3 mg/kg)的 5.8 倍和 1.2 倍,为贵州农业土壤背景值^[17](0.248 mg/kg)的 7 倍和 1.5 倍,表明耕地土壤受 Cd 污染较严重,林地土壤 Cd 没有出现明显的累积,这可能与耕地的高强度翻耕有关^[18]。一般来说,矿石冶炼废渣堆放地及附近表层土壤重金属含量空间分布差异较大,但从变异系数看,差异不明显,主要原因为该冶炼厂已废弃多年,在降雨冲刷下,土壤重金属随坡面流流失和通

过淋滤作用向深部迁移,使得重金属大量减少,甚至接近本底值。

表 2 表层土壤重金属含量
Table 2 Contents of heavy metals in topsoil

样品 编号	耕地/mg/kg			样品 编号	林地/mg/kg		
	Pb	Zn	Cd		Pb	Zn	Cd
Sc01	41.6	181.9	2.12	Sf01	27.1	120.4	0.53
Sc02	45.1	152.4	1.71	Sf02	33.4	164.9	0.92
Sc03	28.7	169.3	1.93	Sf03	18.6	111.3	0.23
Sc04	42.8	156.0	1.86	Sf04	20.4	111.5	0.22
Sc05	34.1	145.1	1.43	Sf05	18.1	97.3	0.21
Sc06	31.2	136.3	1.43	Sf06	20.2	97.2	0.20
Mean	37.3	156.9	1.75	Mean	23.0	117.1	0.38
Std.	6.80	16.45	0.27	Std.	6.04	25.10	0.29
CV	0.18	0.10	0.16	CV	0.26	0.21	0.76

注:Mean、Std.、CV 分别表示平均值、标准差和变异系数。

3.2 重金属全量垂向分布特征

土壤剖面的重金属金量分布如图 2 所示(全量取相同土地利用方式下,同一剖面深度的样品重金属含量的平均值,有效态相同)。由图 2 可知,耕地中 Zn 和 Cd 全量随剖面深度的增加先增大后减小,在 80 cm 处达最大,而在林地中呈现出相反的变化趋势,且最大值出现在土壤表层;Pb 全量的分布规律为随剖面深度的增加呈减小,这与石占飞^[14],梁国玲等^[19]的研究结果相似。主要原因为:一方面,土地利用方式的不同导致重金属垂向分布差异,土壤扰动越强,

越有利于重金属的垂向迁移^[8];另一方面,偏酸性的土壤环境也有利于重金属的垂向迁移^[20]。

受人类活动影响较小的林地表层土壤存在重金属富集的现象,赵志忠等^[21]在研究海南岛西部地区砖红壤中微量元素含量时得出类似的结果。一般林

地地表盖层有机质含量较高,而有机质对重金属的络合作用比较强,因此,重金属常累积于有机质含量较高的表层土壤^[24]。且耕地由于受人类活动影响较大,重金属在土壤表层富集作用弱。

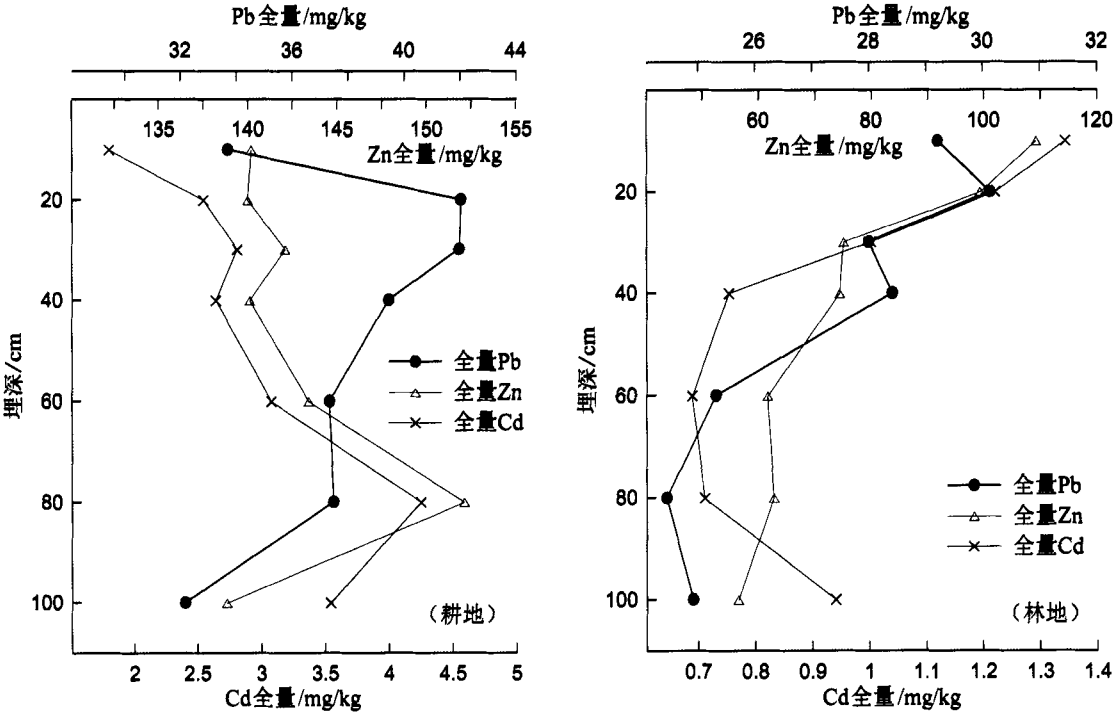


图 2 不同土地利用下重金属含量随埋深的变化

Fig. 2 Variation of content of heavy metals with burial depths for different land uses

3.3 重金属有效态含量垂向分布特征

重金属在土壤中以不同的形态存在,其中被植物直接利用的部分即为有效态。有效态含量比全量更能反映重金属的生态效应^[22]。

由图 3 可知,耕地和林地剖面土壤中 Pb、Zn 和 Cd 有效态含量远小于全量,耕地 Pb、Zn、Cd 有效态含量占全量的百分比分别为 2%~11%、2%~5%和 15%~31%,林地分别为 2%~6%、1%~10%和 8%~32%,其中 Cd 占比例最大,耕地土壤有效态 Cd 含量超出土壤环境质量二级标准和贵州农业土壤背景值,说明 Cd 具有较强的生物有效性和环境污染。

有效态 Pb、Zn 和 Cd 含量的变化总趋势是随埋深的增加而减少,耕地土壤有效态 Cd 除外,其随埋深的增加呈波动变化。对比图 2 和图 3 可知,耕地土壤中 Pb 的有效态含量和全量随埋深的变化规律相似,Zn 的有效态分布规律与全量变化规律相反,而 Cd 的有效态分布规律与全量差异较大;但在林地中,Pb、Zn、Cd 元素的有效态含量垂向上分布规律与全

量分布规律相似,均随剖面埋深的增加而减少,但 Zn 在 30~100 cm、Cd 在 30~80 cm 深度范围内变化较平缓;说明受人类活动干扰较少的林地,其土壤 Pb、Zn、Cd 元素有效态含量和分布特征主要由其总量决定且存在向下迁移的现象;而耕地由于受干扰作用较强烈,土壤理化性质不断发生改变,使 Pb、Zn、Cd 等重金属元素有效态和全量分布存在较大差异^[23-24]。

3.4 相关性分析

耕地土壤中各重金属元素全量之间的相关关系不明显(表 3),Zn 元素全量与有效态含量呈极显著正相关性,而 Pb 和 Cd 的全量与有效态含量的相关性不显著。此外,Zn 全量与有效 Cd 含量、Cd 全量与有效 Zn 含量、有效 Zn 和有效 Cd 含量分别呈极显著、显著和极显著的正相关关系。林地土壤中各元素的全量之间、全量与有效态含量之间均存在极显著的正相关关系,相关系数都在 0.5 以上(表 4)。Pb 的有效态含量与 Cd 全量和有效态含量的相关性不显著。

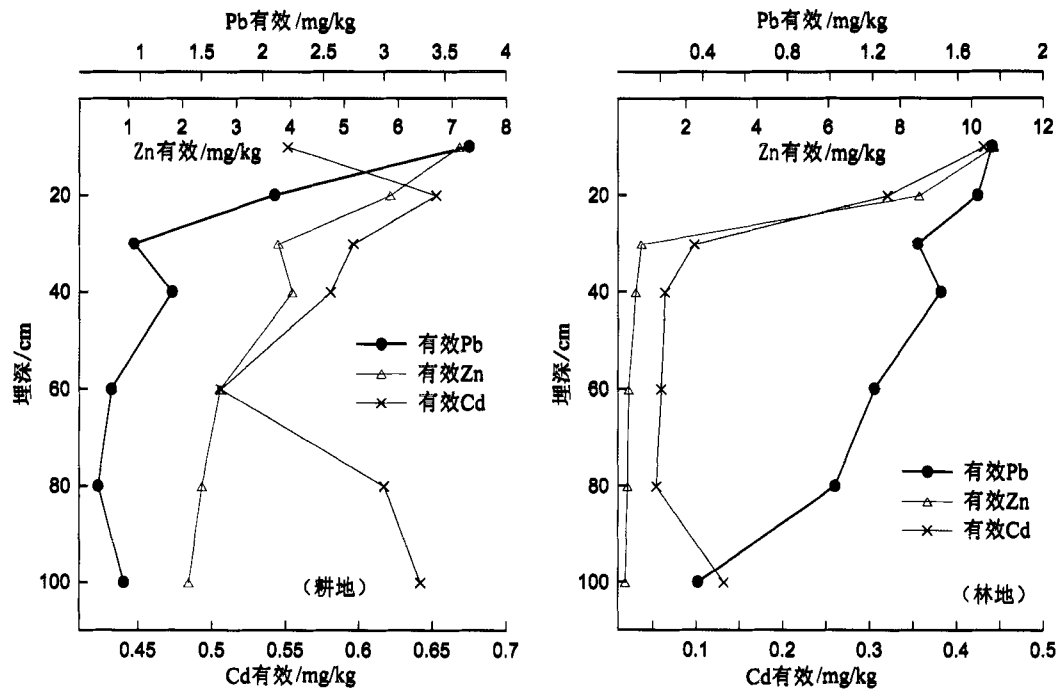


图 3 有效态含量随埋深的变化

Fig. 3 Variation of content of available heavy metals with burial depths

对比耕地和林地土壤中各元素全量之间、全量和有效态含量之间的相关性可知,林地土壤中各重金属元素的相关性要好于耕地,而较高的相关性说明这些重金属有着共同的人为和自然来源^[25],全量和有效态含量之间较好的相关性表明重金属有效态含量由其总量决定^[27]。而耕地土壤由于扰动作用较强加上可能施用了含重金属元素较多的农药、化肥等,导致重金属元素含量存在显著差异^[26]。耕地和林地土壤中 Zn 元素和 Cd 元素的全量和有效态含量都表现出较好的相关关系,原因是 Zn 和 Cd 化学性质相似且

呈伴生关系^[27]。

研究表明,耕地土壤中 Pb 全量及有效态含量与 pH 值呈显著正相关性,而 Zn 和 Cd 的全量和有效态含量与 pH 值则不存在明显的相关关系。许多研究表明土壤重金属全量和有效态含量受多种因素的共同影响,如有机质含量、阳离子交换总量等^[28-30],即使针对某一种因素,在不同的范围内也可表现出相反的关系,如张敏等^[31]研究桂林毛村土壤有效 Zn 时发现,当 pH 值<7.48 时,有效 Zn 与 pH 值呈极显著正相关,当 pH 值>7.48 时,有效 Zn 则与 pH 值呈显著负相关。

表 3 Pb、Zn、Cd 全量、有效态含量与 pH 相关关系表(耕地)							
Table 3 Correlations among total and available contents of Pb, Zn, and Cd and pH(farmland)							
	全量 Pb	全量 Zn	全量 Cd	有效态 Pb	有效态 Zn	有效态 Cd	pH 值
全量 Pb	1	0.001	0.002	0.173	0.005	0.036	0.454 *
全量 Zn		1	0.064	0.441 *	0.819 **	0.867 **	0.035
全量 Cd			1	0.494 **	0.358 *	0.001	0.165
有效态 Pb				1	0.715 **	0.293	0.445 *
有效态 Zn					1	0.613 **	0.192
有效态 Cd						1	0.044
pH 值							1

注:表中 * 和 ** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上显著相关。

表 4 Pb、Zn、Cd 全量、有效态含量与 pH 相关关系表(林地)
Table 4 Correlations among total and available contents of Pb, Zn, and Cd and pH(woodland)

	全量 Pb	全量 Zn	全量 Cd	有效态 Pb	有效态 Zn	有效态 Cd	pH 值
全量 Pb	1	0.774**	0.533**	0.709**	0.545**	0.466*	0.176
全量 Zn		1	0.753**	0.678**	0.905**	0.823**	0.005
全量 Cd			1	0.228	0.804**	0.892**	0.001
有效态 Pb				1	0.428*	0.278	0.183
有效态 Zn					1	0.958**	0.034
有效态 Cd						1	0.066
pH 值							1

注:表中*和**分别表示在0.05和0.01水平上显著相关。

3.5 不同土壤类型对重金属分析的影响

由以上分析可知,不同土地利用方式下土壤中重金属全量和有效态含量的垂向分布特征差异较明显,受人为活动较强烈的耕地较林地更易使重金属向下迁移,但这种现象集中体现在表层0~30 cm土层中,对于30 cm以下土层,则主要表现为pH的制约。表1表明,砂壤土偏酸性,石灰土偏碱性,砂壤土中重金属全量随剖面深度的增加而增加,而石灰土中重金属全量随剖面深度的增加而减少,表明偏酸性的砂壤土能促进重金属的向下迁移,偏碱性的石灰土则相反。

4 结 论

(1)耕地和林地土壤中重金属 Pb、Zn、Cd 全量变化顺序为:Zn>Pb>Cd,且耕地土壤相应重金属的含量大于林地,并且呈现随着距冶炼厂距离的增加呈减少的趋势。表层土壤 Pb、Zn 全量均未超过土壤环境质量二级标准,表层土壤 Cd 全量是土壤环境质量二级标准和贵州农业土壤背景值的 7 倍和 1.5 倍,耕地土壤 Cd 污染较严重。

(2)耕地和林地土壤中 Pb、Zn、Cd 的有效态含量都远小于全量,其中 Cd 的有效态含量占全量的比率最高,耕地土壤 Cd 有效态含量超出土壤环境质量二级标准和贵州农业土壤背景值,具有较大的生物有效性。

(3)耕地土壤中 Zn 和 Cd 全量随剖面深度的增加先增大后减小,Pb 呈减少的趋势;Pb、Zn 的有效态含量随埋深的增加而减少,Cd 呈波动变化。林地土壤中 Pb、Zn、Cd 的全量和有效态含量的变化规律相似,都随埋深的增加而减少且重金属全量之间及与有效态含量之间都表现出显著的正相关关系,而在耕地中不明显。扰动较强烈且呈偏酸性的耕地砂壤土易使重金属向下迁移,石灰土则起抑制作用。

参考文献

[1] 覃朝科,易鹤,刘静静,等.广西某铅锌矿区废水汇集洼地土壤重金属污染调查与评价[J].中国岩溶,2013,32(3):318—324.

[2] 张国平,刘丛强,杨元根,等.碳酸盐岩地区铅锌矿山水系中铅、锌、铜的迁移及其硫同位素示踪[J].矿物学报,2002,22(3):249—254.

[3] 蒋忠诚.论南方岩溶山区生态环境的元素有效态[J].中国岩溶,2000,19(2):123—128.

[4] S Lutts, I Lefèvre. How can we take advantage of halophyte properties to cope with heavy metal toxicity in salt-affected areas? [J]. Annals of Botany, 2015, 115(3):509—528.

[5] 赵鲁,李旭军,穆真,等.Cr(Ⅲ)胁迫对大豆、小麦生长及铬吸收和转运的影响[J].中国土壤与肥料,2015(1):63—67.

[6] 陈宗娟,张倩,张强,等.天津东南部某区域不同土地利用方式下土壤重金属的累积特征[J].生态与农村环境学报,2015,31(2):166—173.

[7] 李贵祥,方向京,邵金平,等.个旧锡矿山废弃地不同土地利用方式土壤重金属的影响[J].西北林学院学报,2014,29(3):48—52.

[8] 孙亚乔,钱会,段磊,等.土地利用方式对土壤重金属含量的影响分析[J].安徽农业科学,2010,38(7):3613—3615.

[9] 钟晓兰,周生路,李江涛,等.长江三角洲地区土壤重金属生物有效性的研究[J].土壤学报,2008,45(2):240—248.

[10] 刘娟,王津,陈永亨,等.广东硫铁矿与硫酸厂菜地和农作物重金属污染的对比研究[J].广东农业科学,2013(15):172—175.

[11] 吴锦标,刘华基,亦如瀚,等.云浮硫铁矿土壤重金属生物有效性的研究[J].安徽农业科学,2010,38(2):852—855.

[12] 湛金吾,孙一铭,杨占南,等.三峡库区云阳消落带土壤重金属形态及其在植物中的富集和转移[J].中国岩溶,2012,415—422.

[13] Y Mamindy-Pajany, S Sayen, E Guillon. Impact of lime-stabilized biosolid application on Cu, Ni, Pb and Zn mobility in an acidic soil[J]. Environmental Science & Pollution Research, 2014, 21(6):4473—4481.

[14] 石占飞,王力.神木矿区土壤重金属含量特征及潜在风险评价[J].农业环境科学学报,2013,32(6):1150—1158.

[15] 孙慧珍,陆小静,陈明月,等.哈尔滨市不同类型人工林土壤重

金属含量[J]. 应用生态学报, 2011, 22(3): 614—620.

[16] GB15618—1995, 土壤环境质量[S].

[17] 曾广铭, 吉玉碧, 谭红, 等. 贵州省农业土壤中镉的背景值研究[J]. 现代农业科技, 2007, (3): 73—77.

[18] 席晋峰, 俞杏珍, 周立祥, 等. 不同地区城郊用地土壤重金属含量特征的比较[J]. 土壤, 2011, 43(5): 769—775.

[19] 梁国玲, 黄冠星, 孙继朝, 等. 珠江三角洲污灌区土壤中重金属含量特征[J]. 农业环境工程, 2009, 28(11): 2307—2312.

[20] 宋文恩, 郭雪雁, 陈世宝, 等. 酸化方式对土壤中铜的形态及生物有效性的影响[J]. 农业环境科学学报, 2014, 33(12): 2343—2349.

[21] 赵志忠, 毕华, 杨元根, 等. 海南岛西部地区砖红壤中微量元素含量极其分布特征[J]. 地球与环境, 2005, 33(2): 69—73.

[22] 吴志强, 顾尚义, 李海英, 等. 贵州黔西北铅锌矿区土壤重金属污染及生物有效性研究[J]. 安全与环境工程, 2009, 16(3): 1—6.

[23] 吴新民, 李恋卿, 潘根兴, 等. 南京市不同功能城区土壤中重金属 Cu、Zn、Pb 和 Cd 的污染特征[J]. 环境科学, 2003, 24(3): 105—111.

[24] 章程, 谢运球, 吕勇, 等. 广西弄拉峰从山区土壤有机质与微量营养元素有效态[J]. 中国岩溶, 2006, 25(1): 63—66.

[25] 黄兴星, 朱先芳, 唐磊, 等. 密云水库上游某铁矿区土壤重金属含量及形态研究[J]. 中国环境科学, 2012, 32(9): 1632—1639.

[26] 张季惠, 王黎虹, 张建奎, 等. 榆中县农用地土壤及其蔬菜中重金属含量的分析与评价[J]. 贵州农业科学, 2013, 41(7): 119—123.

[27] Pugh, R E, Dick D G, Fredeen L A. Heavy metal (Pb , Zn , Cd, Fe, and Cu) contents of plant foliage near the AnvilRange Lead/ Zinc Mine, Faro, Yukon Territory[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2002, 52(3): 273—279.

[28] 陈家栋, 潘宝宝, 张金池, 等. 广东大宝山矿区土壤重金属含量及其影响因素[J]. 水土保持研究, 2012, 19(6): 237—246.

[29] 廖敏, 黄昌勇, 谢正苗, 等. 施加石灰降低不同母质土壤中镉毒性机理研究[J]. 农业环境保护, 1998, (3): 101—103.

[30] 李忠义, 张超兰, 邓超冰, 等. 铅锌矿区农田土壤重金属有效态空间分布及其影响因子分析[J]. 生态环境学报, 2009, 18(5): 1772—1776.

[31] 张敏, 周莉, 曹建华, 等. 桂林毛村土壤钙、锌、铅有效态与 pH 关系初探[J]. 广西农业科学, 2008, 39(6): 796—799.

Effects of different land use and soil type on the migration of heavy metals in a pyrite smelting area

HONG Tao¹, XIE Yun-qiu¹, ZHAO Yi¹, Yang Li-chao²

(1. Institute of Karst Geology, CAGS/Key Laboratory of Karst Ecosystem and Treatment of Rocky Desertification Ministry of Land and Resources, Guilin, Guangxi 541004, China;
2. International Research Center on Karst under the Auspices of UNESCO, Guilin, Guangxi 541004, China)

Abstract The objective of this work is to understand the impact of the Weihe pyrite smelting on the surrounding environment and migration of soil heavy metals due to different land uses and soil types. In total 12 surface soil samples and 28 deep soil samples on 4 profiles were collected from the cultivated land and woodland in or near the smelting area. The total and available contents of heavy metals and soil chemical and physical properties were analyzed. The results indicate that the concentrations of total lead (as Pb) and zinc (as Zn) in the soils are generally less than the threshold levels of China Environmental Quality Standard for Soils(GB 15618—1995 Class II), while the concentrations of total and available cadmium (as Cd) in soils exceed the soil background values of Guizhou Province. Cd has the highest value, while the difference between Pb and Zn is relatively small. The total contents of Zn and Cd in the farmland soils first increase and then decrease at depth, but Pb keeps a decreasing trend. The available contents of Pb and Zn decrease with the depths, while Cd shows a fluctuating trend. The total and available contents of the three heavy metals in woodland soils exhibit a decreasing trend at depth. There is a remarkable positive correlation between the total contents and available contents of Pb, Zn and Cd, and also a remarkable positive correlation among the total contents of the three heavy metals in woodland lime soils, but not in farmland soils. A soil environment with frequent disturbances and an acidic condition is favorable for the migration of heavy metals in a vertical direction.

Key words soil, pollution, heavy metals, distribution characteristics, weihe pyrite smelting area, Bijie City, Guizhou Prouince

(编辑 张 玲)