

# 祁零盆地锰矿废弃地生态修复技术研究

周灵仟 豆伟伟

湖南省地球物理地球化学调查所

**摘要:**通过对祁零盆地锰矿废弃地生态修复区调查与采样测试进行综合分析,大致了解锰矿废弃地土壤特征和重金属污染状况。锰矿废弃地土壤以强酸性土和极强酸性土为主,普遍存在土壤肥力低、重金属污染问题,Cd和Mn是锰矿废弃地土壤的主要污染因子。同时,采集生态修复区自然生植物和人为修复植物样品测试,对比不同植物吸收重金属元素能力及变化。樟树、马尾松对镉(Cd)的富集能力较强,油茶对锰(Mn)的富集能力较强,樟树、冬茅草对锌(Zn)富集能力较强。在综合研究的基础上,提出了生态修复过程中土壤改良的方法和选择植物修复树种的方向。

**关键词:**祁零盆地; 锰矿; 废弃地; 生态修复

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.01.116

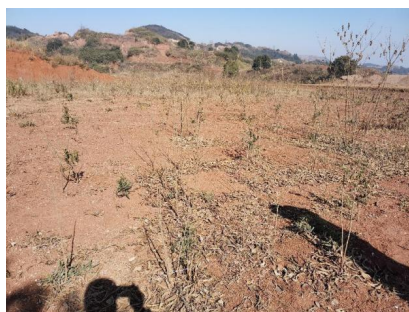
## 引言

祁零盆地锰矿资源丰富,零陵区更是有“湘南锰都”之称,经过数十年粗放式的开采利用,形成了开采面广、点多、无序等特点。开采活动遗留下来的锰矿废弃地、洗砂库、尾矿、废渣等形成了严重的生态环境问题。以祁零盆地锰矿废弃地为研究对象,采用实地调查与采样测试的方法综合评价区内土壤特征和植物富集重金属能力,为本区锰矿废弃地生态修复提供参考。

### 一、生态修复状况

自2006年以来,中央、省级及地方政府投入10亿元以上专项资金,组织实施了一批祁零盆地锰矿区生态修复工程、矿山复绿示范工程和综合治理工程,完成锰矿废弃地生态修复治理面积2200多公顷。特别是零陵锰矿区山水林田湖草生态修复工程,修复林地面积10466亩、草地5036亩、旱地2385亩。

总体上,祁零盆地锰矿区通过一系列生态修复治理工程,矿区生态环境问题取得了良好的改善,基本达到了矿山复绿、地表径流畅通、边坡稳定的治理目标。但是,局部的地方存在一些问题,比如零陵区东湘桥矿区丁塘锰矿、冷水滩区桃李坪村锰矿区、东安县紫溪镇六里桥村锰矿区,生态修复植树反复多次仍树死草枯;零陵区山水林田湖草生态修复工程3标、6标生态修复效果一般,修



零陵区丁塘锰矿生态修复效果

复为旱地的、种植油茶的未查明土壤重金属指标;东安县地村锰矿区土地复垦为旱地土壤质量差,不宜耕种等。



冷水滩区桃李坪村锰矿区生态修复效果

根据调查,东湘桥矿区丁塘锰矿、桃李坪村锰矿区和六里桥村锰矿区等生态修复效果差的主要因素一是表土层剥离破坏,导致基岩裸露,客土厚度小,土壤中矿渣废石含量高,土壤贫脊,缺乏必要的养分;二是重金属含量超标,不利于植物对营养元素的吸收及根系的生长,部分修复区植物根系腐死;三是土壤中矿渣废石成分高,土壤持水、保水能力差,排泄及蒸发快;四是酸性土壤环境加剧重金属的溶出与危害;五是气象原因也较大程度上影响了树木的成活成长。

## 二、调查与评价

### 1、土壤肥力

锰矿废弃地土壤基本为粉质黏土和含碎石粉质黏土,呈硬塑~可塑状,较为松散,干强度及韧性中等,局部含大量灰岩碎石和锰矿渣。根据对零陵区东湘桥矿区长冲锰矿、水口山镇李家锰矿、东安县地村锰矿区的土壤质量分析,土壤有机质含量为1~3g/kg,全氮为0.5~0.8g/kg,有效磷为0.1~2.4mg/kg,速效钾为1.17~17.1mg/kg,土壤肥力极低。

### 2、土壤重金属含量

根据对零陵区东湘桥矿区、水口山镇李家矿区、石岩头镇罗家、柴家矿区、东安县地村锰矿区、荞麦冲矿区、冷水滩区杉木桥矿区采集的13个土壤重金属测试分析结果:镉(Cd)0.97~8.44mg/kg,平均值3.17mg/kg;铬(Cr)115~456mg/kg,平均值236.8mg/kg;铅(Pb)26.9~58.3mg/kg,平均值37.7mg/kg;锌(Zn)52.1~288mg/kg,平均值160.3mg/kg;锰(Mn)1252~27292mg/kg,平均值10300mg/kg;铜(Cu)48~124mg/kg,平均值82.9mg/kg。其中,零陵区东湘桥矿区、水口山镇李家矿区土壤含镉(Cd)、铅(Pb)、锌(Zn)、锰(Mn)、铜(Cu)整体均较高,东湘桥矿区程家-刘家锰矿含镉(Cd)最高达到8.44mg/kg;东安县地村锰矿区、荞麦冲矿区土壤含铬(Cr)整体较高,地村锰矿区含铬(Cr)最高达到456mg/kg。从数据分析,祁零盆地锰矿区废弃地土壤重金属含量均高于背景值。土壤重金属含量见表1。

表1 锰矿废弃地土壤重金属含量

单位: mg/kg

重金属元素	Cd	Cr	Pb	Zn	Mn	Cu
区间值	0.97-8.44	115-456	26.9-58.3	52.1-288	1252-27292	48-124
平均值	3.17	236.8	37.7	160.3	10300	82.9
变异系数	0.74	0.43	0.27	0.43	0.73	0.32
湖南背景值	0.126	25.5	29.7	94.90	459.0	27.3
单因子污染指数	45.29	9.29	1.57	2.38	21.37	4.15

3、土壤环境质量

根据对废弃地13个土壤重金属含量分析结果, 对照《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准(试行)》中农用地土壤污染风险筛选值及管制值除水田外的其他废弃地与果园等污染对象相关标准, 对土壤重金属污染风险评述如下:

①13个土壤样品中污染物高于规定的风险筛选值样品数: 镉(Cd) 13个、锰(Mn) 10个、锌(Zn) 3个、铜(Cu) 2个, 可能存在农用地土壤污染风险。

②13个土壤样品中污染物高于规定的风险管制值样品数: 镉(Cd) 10个, 分布于零陵区东湘桥矿区、水口山镇李家矿区、东安县地村矿区、乔麦冲矿区。

③13个土壤重金属单因子平均污染指数: 镉(Cd)和锰(Mn)污染最为严重, 污染指数为45.29和21.37, 其次为铬(Cr)和铜(Cu), 污染指数为9.29和4.15, 这4种元素均达到了重污染程度, 锌(Zn)元素为中污染, 铅(Pb)元素为轻污染。

另外, 废弃地土壤PH值为3.05~7.38, 平均值5.13。13个测试数据中3个为极强酸性, 6个为强酸性, 2个为酸性, 2个为中性。东安县乔麦冲锰矿最低, 为3.05。锰矿区废弃地土壤以强酸性土及极强酸性土为主, 占69.2%。土壤适宜作物生长的PH值范围值为5.5~8.5。

综上所述, 祁零盆地锰矿区普遍存在重金属镉(Cd)污染高风险, 属Cd、Mn、Cr和Cu等重金属含量较高的土壤环境, Cd和Mn是锰矿区废弃地土壤的主要污染因子。

4、植物重金属

①植物重金属含量

调查工作在已治理区及未治理区对野燕麦、冬茅草的根茎叶和樟树茎叶、茶树茎叶果及松树、粉葛茎叶等采集了27件植物重金属化学分析样, 分析植物中重金属

元素质量比。总体上植物体内锰(Mn)的质量比最高, 一般399-6025mg/kg, 平均值为1512mg/kg, 镉(Cd)的质量比最低为0.034-3.20mg/kg, 平均值为0.63mg/kg, 质量比趋势为Mn>Zn>Cu>Cr>Pb>Cd。植物中锰(Mn)含量较高的主要有油茶茎叶, 最高达6025mg/kg, 其次为樟树茎叶最高达4086mg/kg, 油茶与樟树茎叶为常绿植物, 长期生长在含锰(Mn)较高的土壤环境中, 对土壤中的锰(Mn)元素具有较强的吸收能力; 冬茅草、野燕麦及粉葛等一年一生长的植物茎叶含锰(Mn)量较低, 且明显低于其根部含量。油茶籽同样作为一年一生长的果实含有较高的Mn(最高达1331mg/kg)。锰矿区废弃地植物重金属含量分析结果见表2。

②植物重金属富集能力

本次研究采用生物富集系数(即生物体内某种元素或化合物的浓度与其所生存的环境中该物质的浓度的比值)来评价重金属在植物体内富集能力的强弱。根据采集的野燕麦、冬茅草的茎叶和樟树茎叶、茶树茎叶果及松树、粉葛茎叶的重金属含量分析结果, 对照相应区块土壤重金属含量计算富集系数见表3。

从数据显示, 锰矿废弃地植物对Cd、Cr、Pb、Zn、Mn、Cu的富集能力总体较弱。富集系数除零陵区石岩头镇柴家锰矿油茶茶树茎叶最高达到1.538外, 其余植物的富集系数均小于1.0, 草本植物的富集系数更低。柴家锰矿废弃地生态修复选择种植的茶油已超过4年, 对Mn具有较强的富集能力。

安徽工程大学生物与化学工程学院王广林认为:

“木本植物在富集系数0.4时, 具有较强的修复土壤重金属能力; 富集系数小于0.1时为低修复能力木本植物”。木本植物除油茶对Mn富集能力较强外, 李家下井锰矿、塘家锰矿修复种植的樟树对Cd、Zn的最高富集系数为0.518和0.524, 以及罗家锰矿的马尾松茎叶对Cd的富集系数达到0.772, 这些木本植物的富集系数大

表2 锰矿废弃地植物重金属含量

单位: mg/kg

植物名称	部位	Cd	Cr	Pb	Zn	Mn	Cu
野燕麦	茎叶	1.5	5.1	1.5	72	399	10
野燕麦	根部	3.2	36	2.8	105	2137	15
粉葛	茎叶	0.34	1.2	0.16	41	581	21
樟树	茎叶	0.55-2.3	0.08-1.1	1.6-6.0	21-27	643-4081	4.6-5.2
马尾松	茎叶	0.75	0.57	6.2	50	1868	4.3
茶树	茎叶	0.034-0.092	0.98-3.4	0.97-6.6	17-19	3217-6025	4.4-5.0
	茶籽	0.04-0.29	0.24-0.65	0.16-3.2	13-24	690-1331	4.9-6.8
冬茅草	茎叶	0.20-0.63	2.8-8.7	1.8-5.0	34-93	455-1510	2.6-6.5
	草根	0.23-1.30	5.9-25	2.2-4.2	59-157	400-1905	6.5-13
总体区间值		0.034-3.2	0.082-36	0.16-6.6	13-157	399-6025	2.6-21
平均值		0.63	6.55	2.87	48	1512	7.0

表3 锰矿废弃地植物重金属富集系数

植物名称	Cd	Cr	Pb	Zn	Mn	Cu
野燕麦茎叶	0.325	0.018	0.044	0.332	0.022	0.094
粉葛茎叶	0.077	0.006	0.003	0.204	0.050	0.236
樟树茎叶	0.149-0.518	0-0.008	0.045-0.186	0.072-0.524	0.046-0.335	0.04-0.091
马尾松茎叶	0.772	0.004	0.195	0.346	0.331	0.070
茶树茎叶	0.024-0.039	0.002-0.025	0.036-0.221	0.089-0.153	0.236-1.538	0.043-0.104
茶籽	0.012-0.152	0.001-0.006	0.004-0.119	0.09-0.196	0.051-0.445	0.063-0.127
冬茅草茎叶	0.06-0.173	0.007-0.052	0.038-0.117	0.119-0.467	0.06-0.28	0.023-0.103

于0.4,具有较强的修复土壤重金属能力。

### 三、生态修复措施

#### 1、土壤改良

调查表明,祁零盆地锰矿废弃地土壤存在物理结构性差、肥力低和重金属污染等问题,这些问题也是影响区内生态修复的主要因素。因此,区内实施生态修复必须进行土壤改良。调查数据中,锰矿废弃地中极强与强酸性土壤占69.2%,需要采取相应的土壤改良措施,调节土壤PH值至植物适生状态。

##### ①土壤物理改良

锰矿废弃地大多地段已荒(石)漠化,土质层薄甚至缺少土壤层。土壤物理改良坚持就地取材、废物优先利用的原则。优先使用采矿前剥离的表土,不足则需要外购客土。通过土壤的供需平衡调节土壤结构。

##### ②土壤化学改良

锰矿废弃地以强酸性土壤为主,对酸性土壤的改良措施一般采用施用石灰中和土壤的酸性条件。另外,施用化肥和松土促根剂或各类土壤改良剂等提高土壤肥力,改善土壤结构,消除土壤污染。可综合利用堆肥、生活垃圾、城市污泥、家畜粪便等有机物进行改良。对废弃地的重金属污染,可以利用改良剂和化学物质对重金属的吸附、沉淀、络合等作用改变重金属的形态。

##### ③土壤生物改良

运用各种生物途径,如种植绿肥植物、放牧、培育蚯蚓改善土壤环境,增加土壤有机质以提高土壤肥力。北京师范大学杨居荣教授通过试验表明:蚯蚓对土壤中的重金属有明显的富集作用,体内重金属浓度随土壤浓度的增加而增加,富集强度因重金属种类、形态及蚯蚓种类不同而异。另外,蚯蚓活动可使土壤疏松,促进植物残枝落叶的降解,促进有机物质的分解和矿化,增加土壤中Ca、P等速效成分,促进土壤中硝化细菌的活动,从本质上可以改善土壤的化学成分和物理结构。但是,蚯蚓改良土壤环境因生物需求量大,该项技术未大规模的开发和培育。相对,种植绿肥植物具有种类多、数量大、质量高、肥效好、投资成本低、效益大等优势特点。

#### 2、植物修复

植物修复既要实现废弃地复绿效果,还要通过对重金属的提取、挥发和稳固作用达到生态环境的修复目标。祁零盆地锰矿区普遍存在重金属污染,其中,镉(Cd)和锰(Mn)是土壤的主要污染因子。植物修复应筛选宜生宜长、重金属富集的先导植物。

研究表明:樟树、马尾松对镉(Cd)的富集能力较强;油茶对锰(Mn)的富集能力较强;樟树、冬茅草对锌(Zn)富集能力较强。因此,在祁零盆地锰矿区生态修复工程中,植物措施可优先选择樟树、马尾松和油

茶。草本植物修复的实际意义仅仅获得了单纯的矿山复绿和植被再造效果,对土壤重金属污染的修复效果存在一定的局限性,总体上经济效益与社会效益较差。

### 四、结论与建议

#### 1、结论

①祁零盆地锰矿废弃地土壤以强酸性土和极强酸性土为主,普遍存在土壤肥力低、重金属污染问题。零陵区东湘桥矿区、水口山镇李家矿区土壤含镉(Cd)、铅(Pb)、锌(Zn)、锰(Mn)、铜(Cu)整体均较高,最高达到8.44mg/kg;东安县地村锰矿区、莽麦冲矿区土壤含铬(Cr)整体较高,最高达到456mg/kg。镉(Cd)和锰(Mn)是锰矿废弃地土壤的主要污染因子。

②樟树、马尾松对镉(Cd)的富集能力较强,油茶对锰(Mn)的富集能力较强,樟树、冬茅草对锌(Zn)富集能力较强。在祁零盆地锰矿区生态修复选择树种时可优先选择樟树、马尾松和油茶。

#### 2、建议

油茶作为经济作物,对锰的富集性越高,其产出食用茶油的安全性越低,通过食物链进入人体危害身体健康。建议生态修复工程中复垦为耕地或者果园的,着重查明土壤重金属含量及污染程度,对产出的果蔬及农产品查明质量安全。

#### 参考文献

- [1]林庞钲. 矿山污染及环境破坏问题的思考[J]. 中国资源综合利用, 2011, 29(01): 58-59.
- [2]钟爽. 矿山废弃地生态恢复理论体系及其评价方法研究[D]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2006(06): 86.
- [3]高陈玺, 李川, 彭娟, 苏迪. 湘南东湘桥锰矿废弃地植物资源调查与重金属富集植物筛选[J]. 三峡环境与生态. 2013, 35(01): 15-20+24.
- [4]高陈玺, 李川, 彭娟, 苏迪. 湘南锰矿废弃地重金属污染土壤的研究及评价[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版). 2013, 30(08): 78-83.
- [5]罗亚平, 吴晓芙, 李明顺. 尹仁湛桂北锰矿废弃地主要植物种类调查及土壤重金属污染评价[J]. 生态环境. 2007(04): 1149-1153.
- [6]何军良. 一种新的镉超富集植物对土壤镉污染的修复能力探究[J]. 环境科学与资源利用. 2022(01): 90.

作者简介: 周灵仟(1987-), 男, 本科, 工程师, 现主要从事水工环地质、矿产地质等工作。

豆伟伟(1991-), 男, 本科, 工程师, 现主要从事环境地质、矿山生态修复等工作。

基金项目: 原湖南省煤田地质局“永州市锰矿区露天采场山地地质环境生态修复技术研究”项目(201805)