

重庆秀山锰矿废弃地优势种植物调查分析

李 礼^{1,2}, 刘 灿¹, 徐龙君²

(1. 重庆市生态环境监测中心, 重庆 401147; 2. 重庆大学 资源及环境科学学院, 重庆 400030)

摘 要:对重庆秀山锰矿废弃地进行生态环境现状实地调查和采样分析,记录秀山锰矿区废弃地上自然定居的植物,并采集巴天酸模、铁杆蒿、商陆、土荆芥、小白酒菊、艾、扛板归、狗牙根等8种主要优势植物样本.对8种主要优势植物的Mn等重金属元素含量进行检测分析,采用生物转移系数(BTF)和生物富集系数(BAF)两个指标进行其生物学特性研究,确定巴天酸模、铁杆蒿、商陆三种植物对土壤中Mn元素的生物转移和富集作用强,筛选出该三种植物适宜作为锰矿区废弃地自然生态恢复的先锋植物,并提出秀山锰矿废弃地植被恢复技术措施的建议.图1,表2,参15.

关键词:秀山; 锰矿废弃地; 先锋植物; 生态恢复

中图分类号:X171.4

文献标识码:A

锰矿是工业产业重要的基础性大宗原料矿产,是我国国民经济建设的重要战略物资.随着锰矿资源的大量开采,在促进经济的快速增长的同时,锰矿资源开发引起的生态环境问题也越来越严重^[1,2].我国由于生产技术较落后、环保意识较薄弱、约束与监督管理机制不完善等多方面原因,造成的资源浪费与生态环境问题较为突出,锰矿开采形成大量废弃地,地表景观和土地资源破坏严重^[3-5].矿区土壤因营养物质缺乏,锰、铁、铬等重金属元素超标,对植物的根系产生毒理效应,延长锰矿废弃地的自然植被恢复进程,而受损生态系统的恢复通常要5~100年^[6].锰矿废弃地的生态恢复成为生态环境可持续发展中的重要难题.

虽然我国有关矿业废弃地生态恢复的研究有了突飞猛进的发展,为锰矿废弃地的生态恢复提供了一定的理论指导^[7-12],但是总体来说,在锰矿区生态恢复和治理方面的理论研究水平仍然落后于实践的需要,缺乏系统性、长期性和更高理论升华.通过对重庆秀山锰矿废弃地进行深入跟踪研究,开展本土优势植物的调查分析,以期对锰矿废弃地的生态恢复措施提供有价值的科学参考.

1 研究区域概况

1.1 秀山县锰资源及开发现状

秀山县地处武陵山腹地,渝、湘、黔、鄂四省(市)边区结合部,北纬28°9'43"~28°53'5"、东经108°43'6"~109°18'58"之间.东邻湖南省花垣、龙山、保靖三县,西南连贵州省松桃苗族自治县,北接重庆市酉阳土家族苗族自治县,东北角距湖北省来凤县仅20余km,全县幅员面积2462km².秀山锰矿带跨三省(市)连三县,锰矿探明储量在2400万t以上,远景储量达到5000万t,平均品位24.5%左右,与毗邻的贵州省松桃县、湖南省花垣县并称为中国锰业“金三角”,为全国最大、最集中的锰矿区^[13].

秀山县锰矿资源经过20多年的开发利用,锰工业已发展成为支撑秀山经济的主要力量,锰矿开采、锰粉加工、电解金属锰、硅锰合金生产、硫酸生产等企业众多,约占全国各类产能总量的六分之一.在秀山县经济结构中,锰矿业已占据秀山工业的大半壁江山,锰资源加工业已成为拉动秀山经济增长的重要力量.但随着锰资源的开采和利用,锰资源可

供开采量逐渐减少,保障年限不足.

1.2 主要生态环境问题

近些年来,秀山县锰矿资源开发利用带来了各种环境污染与生态破坏问题,资源利用、经济发展、自然环境之间的矛盾日益突出,严重制约了秀山县锰资源产业的可持续发展,给秀山县经济发展带来了很大的负面影响^[3-6].秀山县锰业污染的主要来源是锰矿开采和电解锰企业生产,以及现有锰矿山、尾矿库、电解锰渣场和河流底泥等堆存污染物的释放.

锰矿开采企业产生的废水普遍呈酸性,其中铁、锰和悬浮物等污染物严重超标,废水排放对矿区环境造成不同程度的水质污染;锰尾矿废弃量大,占用大量土地,持水保肥能力差,极端贫瘠的土壤中 N、P、K 和有机质等养分,不利于植物生长,生态环境破坏,同时带来水土流失等环境安全隐患.电

解金属锰生产排放的废水、电解锰渣堆放产生的渗滤液,对地下水和河流造成严重污染,对周边原生的生物多样性产生致命影响,严重损害生态健康.

2 调查和结果

2.1 秀山锰矿区废弃地的优势植物调查

通过 2011~2015 年多次在秀山锰矿区废弃地进行自然植被的实地调查和采样分析,记录了秀山锰矿区废弃地上自然定居的植物,并采集了自然定居主要优势植物样本.

根据秀山锰矿区废弃地自然生境的植物调查,共记录到自然定居植物 16 科 30 种.其中菊科植物 7 种,占自然定居物种的 23.3%;禾本科植物 5 种,占 16.7%;蓼科植物 4 种,占 13.3%;其他除了藜科植物有 2 种外,其余均为 1 种.秀山锰矿区废弃地植物种调查结果及丰富度记录见表 1.

表 1 秀山锰矿区废弃地自然定居植物调查结果
Tab.1 Plant survey results of manganese mine wastelands in Xiushan

科	种	丰富度	生活型
苋科 <i>Amaranthaceae</i>	空心莲子草 <i>Alternanthera philoxeroides</i>	<i>F</i>	多年生宿根草本
石竹科 <i>Caryophyllaceae</i>	鹅肠菜 <i>Endarachne binghamiae</i>	<i>F</i>	一至二年生或多年生草本
鸭跖草科 <i>Commelinaceae</i>	鸭跖草 <i>Commelina communis</i>	<i>F</i>	一年生草本
菊科 <i>Asteraceae</i>	山莴苣 <i>Lactuca indica</i>	<i>F</i>	二年生草本
	铁杆蒿 <i>Artemisia sacrorum</i>	<i>D</i>	多年生草本
	小白酒菊 <i>Conyza canadensis</i>	<i>D</i>	越年生或一年生草本
	一年蓬 <i>Erigeron annuus</i>	<i>F</i>	一年生或越年生草本
	千里光 <i>Senecio scandens</i>	<i>F</i>	一年生草本
	艾 <i>Artemisia argyi</i>	<i>D</i>	多年生草本
	小蓬草 <i>Conyza canadensis</i>	<i>O</i>	一年生草本
商陆科 <i>Phytolaccaceae</i>	商陆 <i>Phytolacca acinosa</i>	<i>D</i>	多年生草本
禾本科 <i>Poaceae</i>	狗牙根 <i>Cynodon dactylon</i>	<i>D</i>	多年生草本
	马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i>	<i>F</i>	一年生草本
	芒草 <i>Arthraxon hispidus</i>	<i>F</i>	一年生草本
	狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	<i>F</i>	一年生草本
	荩草 <i>Arthraxon hispidus</i>	<i>F</i>	一年生草本
中国蕨科 <i>Sinopteridaceae</i>	野鸡尾 <i>Onychium japonicum</i>	<i>F</i>	多年生草本

续表

科	种	丰富度	生活型
蓼科 <i>Polygonaceae</i>	扛板归 <i>Polygonum perfoliatum</i>	<i>D</i>	多年生草本
	蒺藜 <i>Polygonum aviculare</i>	<i>O</i>	一年生草本
	水蓼 <i>Polygonum hydropiper</i>	<i>F</i>	一年生草本
	巴天酸模 <i>Rumex patientia</i>	<i>D</i>	多年生草本
豆科 <i>Leguminosae</i>	鸡眼草 <i>Kummerowia striata</i>	<i>O</i>	一年生草本
藜科 <i>Chenopodiaceae</i>	灰菜 <i>Chenopodium album</i>	<i>F</i>	一年生草本
	土荆芥 <i>Chenopodium ambrosioides</i>	<i>D</i>	一年生草本
马鞭草科 <i>Verbenaceae</i>	紫苏 <i>Perilla frutescens</i>	<i>F</i>	多年生草本
伞形科 <i>Umbelliferae</i>	窃衣 <i>Torilis scabra</i>	<i>F</i>	一年生或多年生草本
荨麻科 <i>Urticaceae</i>	粗齿冷水花 <i>Pilea sinofasciata</i>	<i>O</i>	一年生草本
唇形科 <i>Labiatae</i>	薄荷 <i>Mentha haplocalyx</i>	<i>O</i>	一年生草本
蔷薇科 <i>Rosaceae</i>	喜阴悬钩子 <i>Rubus mesogaeus</i>	<i>F</i>	攀援灌木
桑科 <i>Moraceae</i>	构树 <i>Broussonetia papyrifera</i>	<i>F</i>	乔木

丰富度等级: D 为 Dominant, 优势种; F 为 Frequent, 常见种; O 为 Occasional, 偶见种。

根据调查结果发现,秀山锰矿区废弃地自然定居的植物种基本为草本植物和少量灌木,自然定居的乔木植物很少,主要原因为秀山锰矿区范围内土壤层普遍较薄且受人为影响频繁.自然定居的植物当中,铁杆蒿 *Artemisia sacrorum*、小白酒菊 *Conyza canadensis*、艾 *Artemisia argyi*、商陆 *Phytolacca acinosa*、狗牙根 *Cynodon dactylon*、扛板归 *Polygonum perfoliatum*、巴天酸模 *Rumex patientia*、土荆芥 *Chenopodium ambrosioides* 等多种植物分布范围较广、适应能力较强、生长较快、数量较多并形成局部小群落,为主要植物种群.它们对土壤中 Mn、Cr、Cd 等重金属元素含量较高的环境和废弃地的贫瘠、养分不均衡、干旱等不良因子具有较好的适应性,可考虑进行人工传播将其作为秀山锰矿区废弃地自然生态恢复的先锋植物.秀山锰矿区废弃地自然定居的优势植物种群落照片见图 1.

2.2 秀山锰矿区生态恢复先锋植物的筛选

在秀山锰矿区废弃地进行自然植被的实地调查时,选取秀山县天源锰矿尾矿库下游附近生长旺盛、种群繁育和代表性较好的优势种植物进行了样品采集,主要针对自然定居的铁杆蒿、小白酒菊、

艾、商陆、狗牙根、扛板归、巴天酸模和土荆芥 8 种植物,分别采集其地上茎叶和地下根系部分.

植物样品用蒸馏水清洗干净后,晾干水分进行称重;置于烘箱中在 105℃ 条件下杀青 30 min,于 80℃ 烘干至恒重后,再次称重;记录样品含水率和含固率.将烘干后的植物样品进行粉碎处理,用坩埚分别取一定质量样品置于马弗炉,在 650℃ 条件下进行灰化 30 min,然后使用 ICP-MS 测定样品中的全锰含量.分析测定得到 8 种植物样品中的 Mn 含量见表 2.

对所调查分析的锰矿区 8 种主要优势植物,采用生物转移系数(BTF)和生物富集系数(BAF)两个指标进行其生物学特性研究^[14,15].植物吸收 Mn 元素后从根系部分向地上的茎叶部分转移,这种转移 Mn 元素的能力用生物转移系数(BTF)进行表征,具体计算方法为植物地上茎叶部分的 Mn 元素含量除以地下根系部分的 Mn 元素含量.生物富集系数(BAF)则是指植物体内 Mn 元素含量(由于植物生物量以茎叶为主,文中以地上茎叶的 Mn 元素含量计)与所在土壤环境中 Mn 元素含量的比值,用以反映该植物对土壤中 Mn 元素富集能力的强弱.计算得出的 BTF 和 BAF 值同样列于表 2.



铁杆蒿 *Artemisia sacrorum*



小白酒菊 *Conyza canadensis*



艾 *Artemisia argyi*



商陆 *Phytolacca acinosa*



狗牙根 *Cynodon dactylon*



扛板归 *Polygonum perfoliatum*



巴天酸模 *Rumex patientia*



土荆芥 *Chenopodium ambrosioides*

图 1 秀山锰矿区废弃地自然定居的优势植物种群

Fig.1 Dominant populations in Xiushan manganese mine wastelands

表 2 主要优势植物的 Mn 含量及其生物转移系数和生物富集系数
Table 2 Mn concentrations, BTF and BAF in main advantage plants of Xiushan Mn mine-zone

序号	植物种	茎叶部分/(mg·kg ⁻¹)	根系部分/(mg·kg ⁻¹)	BTF	BAF
1	铁杆蒿 <i>Artemisia sacrorum</i>	674.08	235.77	2.86	0.018
2	小白酒菊 <i>Conyza canadensis</i>	438.95	339.80	1.29	0.012
3	艾 <i>Artemisia argyi</i>	327.62	630.44	0.52	0.009
4	商陆 <i>Phytolacca acinosa</i>	802.56	205.13	3.91	0.021
5	狗牙根 <i>Cynodon dactylon</i>	322.70	440.37	0.73	0.008
6	扛板归 <i>Polygonum perfoliatum</i>	508.14	451.02	1.13	0.013
7	巴天酸模 <i>Rumex patientia</i>	945.33	375.88	2.51	0.025
8	土荆芥 <i>Chenopodium ambrosioides</i>	480.59	270.60	1.78	0.013

由表 2 的调查分析结果可见,8 种植物的生物转移系数(BTF)按大小排列为商陆>铁杆蒿>巴天酸模>土荆芥>小白酒菊>扛板归>狗牙根>艾.除了艾和狗牙根之外,其余 6 种植物对 Mn 元素的生物转移系数均大于 1.这些植物生长的土壤环境中 Mn 元素含量较高,长期结果是使植物对高含量的 Mn 形成生物耐受性,并具有从地下根部往地上茎叶部分运输 Mn 元素的能力,使土壤中的 Mn 逐渐在植物根部和茎叶中富集.商陆、铁杆蒿、巴天酸模三种植物的生物转移系数均大于 2,表明其具有较强的 Mn 转移富集能力.8 种植物的生物富集系数(BAF)分析结果表明,植物对土壤中 Mn 元素的生物富集能力由大到小依次为:巴天酸模>商陆>铁杆蒿>土荆芥=扛板归>小白酒菊>艾>狗牙根.8 种植物的生物富集系数均较小,范围为 0.008~0.025,这是由于植物所生长的锰矿区尾矿库下游区域土壤环境中 Mn 元素含量高所致.

综合锰矿区 8 种优势植物调查分析结果,巴天酸模、铁杆蒿、商陆三种植物对土壤中 Mn 元素的生物转移和富集作用强,且植株群落的生物量均较大.巴天酸模为多年生草本植物,植株高 1.0~1.5 m,茎叶粗壮;铁杆蒿为多年生草本植物,半灌木状群落,植株高 0.3~1.0 m,茎叶丰富;商陆为多年生草本植物,植株高 0.7~1.0 m,根粗壮,叶宽.因此这三种植物适宜作为锰矿区废弃地自然生态恢复的先锋植物,可通过人工撒种等方式进行辅助传播.土荆芥、

小白酒菊对 Mn 元素的生物转移和富集能力次之,但其植物群落的生物量也比较大,可用作自然生态恢复先锋植物的有效补充;艾对土壤中 Mn 元素的转移富集能力较差,扛板归、狗牙根则因其茎叶细长,在地表呈匍匐状生长,生物量较小,他们可作为植被恢复和自然生态美观的重要组成部分.

3 讨论和分析

3.1 秀山锰矿废弃地生态恢复技术措施

锰矿区生态恢复首先要恢复它的自然生态功能,即恢复生态系统特有的自然生态健康功能;其次是恢复生态系统结构的完整性,即恢复物种多样性和完整的群落结构;再次是恢复其可持续性,包括恢复生态系统的抵抗破坏能力和生态系统自我恢复能力;另外还有恢复它的景观、文化和人文特色.

锰矿废弃地的生态恢复措施,除了前期的工程复垦技术、生物复垦技术和必要的管理措施,植被恢复技术是较为重要的步骤,而植被恢复的物种选择又最为关键.锰矿废弃地植被恢复的物种选择一般分为两种方法:一是以先锋植物为主,迅速固土、蓄水,然后逐年补植其他抗性植物种,以营造生境的多样性,稳定生态系统;二是引入外来植物种,稳固地表,改善土壤环境以有利于土壤其他生物的进入.利用锰矿区乡土植物来恢复植被群落对于锰矿

废弃地植被生态系统的恢复具有十分重要的作用,在实际中可通过观察在废弃地什么样的植物最先自然生长出来并生长旺盛,进而合理选择植物种类,并作为优先考虑的植物.如在秀山锰矿区,可优先选择扩散种植巴天酸模、铁杆蒿、商陆、土荆芥、小白酒菊、艾、扛板归、狗牙根等先锋植物种.

对重庆秀山锰矿区裸露废弃地的自然生态恢复,以巴天酸模、铁杆蒿、商陆等植物为主,以土荆芥、小白酒菊、艾、扛板归、狗牙根等植物为辅,通过人工辅助传播的方式,尽快使其恢复植被.一方面有效固定土壤中的Mn及其他重金属元素,防止锰矿区土壤及水质重金属污染的加重;另一方面,通过自然定居植物的生长,恢复植被,防止水土流失,增强矿区环境的美化.

3.2 结语

自2005年开始国家对“锰三角”地区的锰污染进行综合整治以来,投入了大量的资金和工程整改项目,尤其是2011~2012年,重庆市政府对秀山县锰行业全面停产,进行环境污染整治、产业结构调整、锰矿开采秩序整治、安全隐患整治,并通过实施《秀山县电解锰产业结构调整规划》,重庆秀山县的锰业污染得到了全面有效控制.但由于矿区废弃地复垦工程量大,以及自然植被恢复的长期性,生态环境完全恢复需要一个逐步的过程.通过各级部门、相关企业和全社会的努力,秀山县锰业定能走出一条绿色开发、清洁生产、生态经济协调持续的发展新路.

参考文献:

- [1] 洪世琨. 我国锰矿资源开采现状与可持续发展的研究[J]. 中国锰业, 2011, 29(3): 13-16.
Hong Shi-kun. Status of China Mn-ore in Resources Exploitation and the Sustainable Development [J]. China's Manganese Industry, 2011, 29(3): 13-16.
- [2] 李 礼, 徐龙君, 陈冬梅. 锰资源绿色开采评价指标体系的建立与运用[J]. 中国锰业, 2014, 32(1): 5-8.
Li Li, Xu Long-jun, Chen Dong-mei. Establishment and Application on Evaluation Index System of Manganese Resources Green Exploitation [J]. China's Manganese Industry, 2014, 32(1): 5-8.
- [3] 熊正贤. 重庆秀山锰矿业发展的现状、问题与对策[J]. 中国环境管理干部学院学报, 2008, 18(2): 61-64.
Xiong Zheng-xian. The Developing Status, Problems and Solutions to the Manganese Ore Industry in Xiushan Chongqing [J]. Journal of Environmental Management College of China, 2008, 18(2): 61-64.
- [4] Zhu Tao, Jiang Changsheng, Hao Qingju, et al. Investigation of contaminated soils and plants by Mn in manganese mining area in Xiushan autonomous county of Chongqing [J]. Advanced Materials Research, 2012, 414: 244-249.
- [5] 冯一鸣, 杨秀贵, 徐龙君, 等. 锰资源开发利用中存在的问题和对策—以秀山锰矿为例[J]. 资源开发与市场, 2012, 28(6): 520-522.
Feng Yi-ming, Yang Xiu-gui, Xu Long-jun, et al. Exploiting Situation and Countermeasures of Manganese Resources—Taking Xiushan Manganese Ore for Example [J]. Resource Development & Market, 2012, 28(6): 520-522.
- [6] 李 礼, 徐龙君, 李 斗. 重庆秀山锰矿区土壤重金属污染分析与评价[J]. 地球与环境, 2014, 42(5): 646-651.
Li Li, Xu Long-jun, Li Dou. Analysis and Evaluation of Soil Heavy Metal Pollution in Chongqing Xiushan Manganese Mine-zone [J]. Earth and Environment, 2014, 42(5): 646-651.
- [7] 李 昕, 关 众, 李 岚. 浅析矿山生态环境的保护和恢复治理[J]. 露天采矿技术, 2011(4): 84-86.
Li Xin, Guan Zhong, Li Lan. Preliminary Analysis on the Protection and Recovering Controlling of Mine Ecological Environment [J]. Opencast Mining Technology, 2011(4): 84-86.
- [8] 孟 猛, 宗美娟. 矿山生态恢复原理与技术[J]. 中国矿业, 2010, 19(9): 60-62.
Meng Meng, Zong Mei-juan. Principles and Technology of Mine Ecological Restoration [J]. China Mining Magazine, 2010, 19(9): 60-62.
- [9] 陈俊松, 方向京, 李贵祥, 等. 矿区废弃地生态恢复研究[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(1): 326-328.
Chen Jun-song, Fang Xiang-jing, Li Gui-xiang, et al. Research on Ecological Restoration of Wasteland in Mining Area [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2012, 40(1): 326-328.
- [10] 黄芳芳, 李 艺, 郭秀莲. 广西平乐锰矿露采废弃地的生态恢复模式[J]. 矿业研究与开发, 2011, 31(1): 88-91.
Huang Fang-fang, Li Yi, Guo Xiu-lian. Ecological Restoration Model of Open-pit Wasteland in Pingle Manganese Mine, Guangxi [J]. Mining Research and Development, 2011, 31(1): 88-91.
- [11] Zhang Qiuxia, Wang Fang, Wang Rusong. Research Progress of Ecological Restoration for Wetlands in Coal Mine Areas [J]. Procedia Environmental Sciences,

- 2011, 10(C): 1 933-1 938.
- [12] Yin Runsheng, Zhao Minjuan. Ecological restoration programs and payments for ecosystem services as integrated biophysical and socioeconomic processes—China's experience as an example [J]. Ecological Economics, 2012, 73 (1): 56-65.
- [13] 秀山县统计局. 秀山县统计年鉴:2010-2015. Xiushan county statistics bureau. Xiushan county statistical yearbook, 2010-2015.
- [14] Wang Xin, Liu Yunguo, Zeng Guangming, et al. Pedological characteristics of Mn mine tailings and metal accumulation by native plants [J]. Chemosphere, 2008, 72 (9): 1 260-1 266.
- [15] Luis Felipe Juárez-Santillán, Carlos Alexander Lucho-Constantino, Gabriela Alejandra Vázquez-Rodríguez, et al. Manganese accumulation in plants of the mining zone of Hidalgo, Mexico [J]. Bioresource Technology, 2010, 101 (15): 5 836-5 841.

Investigation and Analysis of Dominant Plants at Xiushan Manganese Mine Wasteland in Chongqing

LI Li^{1,2}, LIU Can¹, XU Long-jun²

(1. Ecological Environmental Monitoring Center of Chongqing, Chongqing 401147, China; 2. College of Resources and Environmental Science, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: By field investigation and sampling analysis of the ecological environment of Xiushan manganese mine wasteland, all kinds of resident plants were recorded and eight of them as dominant plants had been screened out, which were *Rumex patientia*, *Artemisia sacrorum*, *Phytolacca acinosa*, *Chenopodium ambrosioides*, *Conyza canadensis*, *Artemisia argyi*, *Polygonum perfoliatum* and *Cynodon dactylon*. The contents of metal elements in these plants such as manganese were detected and their biological characteristics were assessed using biological transfer factor (BTF) and biological concentration factor (BAF). It was proved that *Rumex patientia* Linn, *Artemisia sacrorum* Ledeb and *Phytolacca acinosa* had the strongest biological transfer and bioconcentration effects. Thus, these three kinds of plants were chosen as dominant species for ecological restoration at the manganese mine wasteland, and the relevant restoration techniques were proposed. 1fig., 2tabs., 15refs.

Keywords: Xiushan; manganese mine wasteland; dominant plant; ecological restoration

Biography: LI Li, male, born in 1983, doctor, senior engineer, research direction: ecological environment monitoring and study.