



王志强, 向华浩, 姚军, 等. 露天强酸性矿山生态恢复中的植物选择研究[J]. 黑龙江农业科学, 2020(11):65-68.

露天强酸性矿山生态恢复中的植物选择研究

王志强¹, 向华浩¹, 姚军¹, 李林熙¹, 肖恬², 陈秋惠², 李宏归², 丑琉懿²

(1. 湖南芷兰生态环境建设有限公司, 湖南 长沙 410000; 2. 中南林业科技大学, 湖南 长沙 410004)

摘要:为筛选合适的植物种类以满足矿山生态恢复实践的需求, 本文根据强酸性矿山的特点, 分析出强酸性矿山中影响植物生长的限制性因子, 探讨了强酸性矿山生态恢复过程中植物选择的原则, 总结了适合在强酸性矿山生态恢复过程生态效益、景观效果和土壤改良 3 个方面可供选择的植物种类, 并对未来强酸性矿山的生态修复提出了展望。

关键词:露天强酸性矿山; 矿山修复; 植物恢复; 土壤基质

随着矿产资源的不断开发, 带来巨大经济效益的同时也产生了极其严重的环境问题, 包括污染环境, 产生有害有毒物质, 同时占用大量的土地资源, 在其中以露天强酸性矿山的最为典型。露天强酸性矿山的 pH 可达 2 或 3, 酸性矿石在遇到氧气和降水后, 会对周边环境、水体质量等造成进一步的破坏。因此, 对矿山废弃地进行生态修复, 一方面可以恢复被破坏的生态系统, 同时可以有效地改善周边区域的生态环境问题, 提高被破坏区域的生态效益, 有利于促进环境的可持续发展。目前用于矿山废弃地修复常见的措施有物理、化学工程措施和植被恢复^[1], 其中植被恢复由于其经济性、生态性和效果的持续性而受到欢迎。通过植被可以固定、转移矿山废弃物中的有毒有害物质, 减少污染物对周边环境的污染, 同时能美化环境和产生经济效益。但是矿山废弃地由于其环境恶劣, 使大部分植物无法成活, 因此合理选择植物是矿山生态恢复过程中最为关键的因素。本文主要从强酸性矿山现状及存在问题、露天强酸性矿山的环境特点、强酸性矿山生态恢复过程中植物选择的要求及植物种类推荐几个方面进行探讨, 并对未来强酸性矿山的生态修复提出了展望, 以期对相关研究和生产实践提供参考。

1 强酸性矿山现状及存在问题

根据资料显示, 到 2017 年, 全国各地仍然有 214 万 hm^2 的矿山废弃地尚未得到完全的修复。其中, 强酸性矿山在全国各地分布十分广泛, 还存

在许多强酸性废弃地矿山尚未治理, 强酸性矿山的修复也是目前需要迫切解决的问题之一。截至 2017 年底, 全国用于矿山地质环境治理的资金超 1 000 亿元, 累计完成治理恢复土地面积约 92 万 hm^2 , 治理率约为 28.75%。我国矿山修复成功的案例表明, 植被恢复的方法具有较高的经济价值, 生态恢复类占据修复方法类主导, 约占国内矿山修复工程的一半以上。

我国已经在矿山修复方面加快进程, 但是由于需要治理的矿山基数过大, 仍有一大部分的矿山废弃地待修复。在修复强酸性矿山的进程中, 由于其特殊的土壤基质, 不仅要想办法提高植被种植的成活率, 还要考虑如何从宏观上满足生态的变化以及居民对环境的要求。同时, 技术不够先进、如何经济效益最大化、景观单一等问题也需要进一步探讨。

2 露天强酸性矿山的环境特点

强酸性矿山由于含有强酸成分或易氧化的矿物, 因而其环境有别于其他的矿山。

2.1 光照

光是矿区内植被进行光合作用的主要能量提供者, 而光照条件的主要决定因素在于矿山所在区域的地理环境, 通常强酸性矿山相对当地气候环境来言, 光照强度更好。其原因是露天开采过程中对于周边的植被、山体都有严重破坏, 对光线无遮挡。因此, 需要根据不同地区光照强度的差异选择合适的生态恢复植被类型。

2.2 水分

矿山在开采的过程中, 地形和土壤层被破坏, 因而失去了土壤的贮水功能和地下水的补给功能。在降雨后, 强酸性矿山尾矿和一些粉尘会进入土壤, 经过雨水的冲刷作用容易将尾矿以及粉尘中有害物质带入土壤, 造成土壤的强酸污染, 使矿山土壤的 pH 非常低。土壤经雨水冲刷后, 会

收稿日期: 2020-08-07

基金项目: 长沙科技局重点项目(kh1902248); 雨花区科技局重点项目(YHKJ-2020-ZG-04)。

第一作者: 王志强(1974-), 男, 硕士, 高级工程师, 硕士, 从事风景园林规划设计、绿色矿山规划设计与生态修复、边坡水土保持、赤泥堆场复绿以及植被恢复研究。E-mail: 471464280@qq.com。

形成酸性矿山废水 (AMD), AMD 污染面广、污染持续时间长、危害程度严重等, 还富含其他有毒物质, 重金属元素, 对大多数植物都具有毒害作用, 导致大部分植物枯萎, 死亡, 少部分植物吸收重金属后, 通过食物链危害人类健康。酸性矿山废水对地表水影响大, 这些酸性水会迁移到附近水体和土壤, 造成矿区污染, 进一步影响整个生态系统。加上矿山废弃地由于物理结构不良、持水能力差, 地表植被破坏, 因而基质水分含量极低, 干旱现象普遍^[2]。

2.3 土壤

强酸性矿山土壤在开采活动的强烈影响下改变了其土壤发育的方向、结构和强度, 土壤退化与污染的情况严重。开采矿山后, 大型设备来回碾压地表上所留下的矿渣、新土, 使土壤出现板结、坚硬的状态, 同时, 地下水发生水位下降的状况, 会造成地表不同程度的裂缝和塌陷, 使土壤中的有机物、水分、养分不断流失。强酸性矿山产生的废渣中的有毒污染物和矿石中的含酸成分也会随着雨水、空气进入到土壤中, 造成土壤的低 pH, 对土壤造成较大破坏, 进而影响着矿山土壤的理化性质。土壤的有机含量低, 理化性质差, pH 低, 其土壤保肥供肥能力弱, 土壤风化能力较强, 经雨水冲刷后易造成水土流失, 再加上地表植被破坏, 无法涵养土壤, 最终导致水土流失加剧的这一消极现象。而且, 一般矿山在经过开采之后, 矿山废渣中的有毒污染物也会随着雨水进入到土壤中, 其土壤还会富集着重金属元素, 如 Cu、Zn、As、Hg 等对土壤造成较大破坏。

2.4 地形

在矿山的开采中, 其山体原来的地形地貌会发生巨大的改变。采矿会对地质结构造成强烈的扰乱, 无论是正在开采或已废弃的强酸性矿山, 都有发生地面塌陷的可能性, 造成地表凹凸不平。露天开采必须砍伐植物和剥离表土, 因而地表植被往往荡然无存, 取而代之的是大片的裸地^[3]。地下开采也会导致地表沉陷、裂缝, 影响土地耕作和植被正常生长^[4]。不管是露天开采还是地下开采, 都会引发地貌和景观生态的改变, 形成的大量的采空区和塌陷区, 造成地形陡峭, 地表裸露。

综上所述, 强酸性矿山具有许多不利于植物生长的客观因素, 依靠矿山的自我恢复可能需要几十年甚至上百年才能够形成一个稳定的生态群落结构, 只有人为干预矿山恢复才能快速地构建稳定的植物群落。但是能够在这样极端的环境下生长的植物十分稀少, 所以适生植物的筛选具有十分重要的研究价值和实践意义。

3 植物的选择要求

强酸性矿山生态恢复过程中, 选择植物时应遵循以下 4 个原则。

3.1 因地制宜, 适地适树原则

强酸性矿山地质恶劣, 首先考虑以本地乡土植物为主的原则, 对可能造成外来物种入侵的植物要谨慎选择, 适当选择有利于改善当地强酸性矿山环境的外来植物, 为乡土植物创造优良条件, 使其与当地的原有生物群落结构和谐共存。待先锋植物将环境条件改善后, 再依靠自然的演替或人为选择其他植物来进一步优化、改造群落^[5]。

3.2 易成活, 高抗性原则

强酸性矿山环境恶劣, 土壤理化性质差, 选择的植物特点应该具备生长迅速、适应能力强, 有较高的成活率, 有快速覆盖地表的能力, 在强酸性矿山生态恢复时能有效快速的改善环境; 植物选择时应具有高抗性, 抗干扰能力强, 能耐酸、耐贫瘠、耐干旱、耐积水等矿山的恶劣环境, 具体的要根据特定的矿山环境进行具体分析; 还需侧根萌发能力强, 有不定根、萌蘖能力强的植物才能更有效适应强酸性矿石山浅薄的土层、基质条件恶劣的环境。

3.3 物种多样, 科学配置原则

在选择了适合强酸性矿山的植物的条件下, 为丰富景观结构, 增强景观效果, 可选择常绿与落叶, 乔、灌、草和藤本相结合, 形成多层次、多结构的植物群落, 从而营造出丰富的生境, 体现出景观层次的多样性和物种的多样性, 恢复植被地带性景观^[6]。

3.4 快速绿化优先, 综合效益原则

矿山的绿化是环境保护的重要手段之一, 需要先选择能快速在强酸性矿山土壤中生长的植物, 稳定表土层结构, 有效地改善土壤基质。在土壤条件有所改善的情况下再去考虑种植能带来经济效益的树种, 增加经济收入。

4 强酸性矿山生态恢复中的植物种类推荐

由于强酸性矿山环境的特殊性, 在进行生态修复的过程中选择植物时除了上述的原则外, 如何增加生态效益、植物改良土壤环境、提高景观效果, 适应当地气候等因素也应该是需要考虑的相关因素。全国各地气候环境不一, 应当选择适合当地气候的乡土植物为主。本文的适生植物种类选择主要是针对南方地区的强酸性矿山的選擇研究。

4.1 从常绿、落叶、裸子和被子植物方面分析

表 1 所列植物都具有耐酸性, 抗性强, 适用于

强酸性矿山生态恢复时可选择的植物种类。如果考虑高温问题,可考虑选择的乔木有侧柏、榆树、刺槐、臭椿,灌木可选择紫穗槐,草本可选择高羊茅、苜蓿、鬼针草等^[7]。从耐盐性角度考虑,乔木可选择华北卫矛、侧柏、山杏,灌木可选择紫穗槐,

藤本可选择爬山虎,草本可选择高羊茅、虎尾草、紫花地丁等。南方多雨,从耐潮湿角度来分析,可考虑的植物有池杉、迎春、红枫、金叶含笑、山茶、泡桐等植物。

表 1 酸性矿山植物种类推荐
Table 1 Recommended plant species in acid mines

类型 Type		植物种类 Plant species
乔木 Arbor	常绿	杜仲、构树、木麻黄、杜英、酒瓶椰子、杨梅、苦槠、深山含笑、乐昌含笑、阴香、香樟
	落叶	冠红杨、花椒、香椿、刺槐、胡颓子、油桐、小叶杨、臭椿、刺槐、喜树、榆树、马褂木、厚朴、红枫、泡桐
灌木 Shrub	常绿	油茶、山茶、连翘、火棘、忍冬、杜鹃、梔子、夹竹桃、地稔、南迎春、枸骨、石楠、毛竹、海桐
	落叶	吊钟花、盐肤木、胡枝子、紫薇、马棘、连翘、紫穗槐、八仙花
草本 Herbaceous	草本	苦草、大翼豆、狗牙根、龙葵、苇状羊茅草、高羊茅、山荞麦、蜀葵、马齿苋、燕麦草、紫花苜蓿、芒草、鬼针草、艾蒿、遏蓝菜、紫花地丁、草木樨、羽衣甘蓝
	藤本 Liana	常绿 络石、扶芳藤、劈荔、炮仗花、凌霄、常春藤、常春油麻藤、酸藤子 落叶 葛藤、爬山虎、珊瑚藤、金银花
裸子植物 Gymnosperms		杉木、柏木、侧柏、油松、马尾松、黑松、竹柏、苏铁、圆柏、龙柏、雪松、池杉、水杉

4.2 从生态效益、土壤改良和景观效果方面分析

4.2.1 生态效益 矿山修复并不只是对矿山的原貌进行复原,而是针对开采完成后的现场生态环境进行修复和改造^[8]。在选择生态修复的植物时,根据矿山的具体情况选取具有适应能力强、物种多样性、持续稳定性,能治理矿山大面积污染物的相关植物。绿化植物在生物与环境长期相互作用和相互适应进程中,植物群落通过物质循环和能量流动对其生存环境产生巨大影响^[9]。强酸性矿山在开采时,会随着矿山的开采,产生许多有害气体,主要有害气体有 CO、SO₂、Cl₂、HF 等,而选择合适的植物不仅可以适应矿山的恶劣生境,还能适当吸收大气污染物,起到了对大气污染的净化作用,实现可持续发展模式,增强植物所带来的生态效益(表 2)。改良和美化景观,增加生物多样性,最终使生态系统进入良性循环状态。

表 2 吸收有毒气体植物推荐
Table 2 Recommendations for plants absorbing toxic gases

有毒物质 Toxic substances	植物种类 Plant species
CO	常春藤、山茶、油茶
SO ₂	山茶、夹竹桃、泡桐、臭椿、刺槐、连翘、旱柳、卫矛、枣树、丁香、大叶黄杨、木麻黄、油茶
Cl ₂ /HCl	山楂、连翘、家榆、落叶松、泡桐、山梨、紫荆、臭椿、侧柏
HF	枣树、榆树、卫矛、侧柏、臭椿、白皮松、桑树、金银花、泡桐、槐

4.2.2 改善土壤环境 矿山的废弃地土壤大多物理结构不良,持水保肥能力差,因此在复垦之初,可选择耐性较强的固氮植物作为先锋植物,增加土壤中氮元素的含量,提高土壤肥力,或选择耐性较强且根系发达的植物改善土壤持水保肥能力^[10]。如桤木、沙棘、刺槐、忍冬、胡枝子等植物根系发达,固氮能力强,能固沙保土,增加土壤肥力。可以提升土壤的营养成分,有利于蓄积养分并提升土壤肥力。有些强酸性矿山的土壤还会富含重金属元素从而严重影响植物的生长。因此,在选择先锋植物时不仅要考虑植物的固氮能力,还要考虑植物对各金属元素的耐性。据目前的研究,植物具有能富集重金属的能力,并发现了数百种。研究表明,紫花苜蓿、鬼针草、狗牙根、羽序灯心草具有极强的耐酸性,且对重金属元素具有很好的耐受性与富集性,生长速度快,作为强酸性矿山的先锋植物有很大潜力。鸭跖草、蝇子草等可用于一些富含 Cu 的强酸性矿山土壤的植物修复。鬼针草和酸模能够富集重金属铅,对铅有很好的耐性。苎麻、酸模在内的一批 As 的超积累植物,可以有效治理 As 污染土壤(表 3)^[11]。

4.2.3 景观效果 景观的营造也是生态修复与重建的重要内容。在选择强酸性矿山生态恢复的植物种类时,要结合园林绿化、景观设计等相关理论和成功的实践经验,结合强酸性矿山具体情况,实现乔灌草 3 个不同层次的植物合理搭配,既建立了稳定的植物群落,又营造良好的矿山植物景观效果。可以利用藤本植物的攀岩效果,如劈荔、葛藤、爬山虎等植物,更好地适应矿山环境,迅速形成区域性特色景观。选择景观性较强的乔木树

种,如杨树、黄樟、樟树、山杜英、女贞、红枫、深山含笑等,灌木可用黄杨、大叶黄杨、夹竹桃、海桐花、小叶女贞、红叶石楠等。最下层植物可选择香根草、象草、五节芒、葛藤等大型草本绿化。在进行矿山生态恢复的同时,起到美化及增强观赏效果的作用。

表 3 改良土壤植物推荐

Table 3 Recommendations for improved soil plants

生态作用 Ecological function	植物种类 Plant species
固氮 Nitrogen fixation	赤杨、合欢属、刺槐属、忍冬、苏铁、刺槐、杨梅属、锦鸡儿属
修复 Zn Repairing Zn	艾蒿、黄杨、侧柏、马褂木、夹竹桃、栎树、阔叶十大功劳、香樟、龙柏
修复 Cu Repairing Cu	杜鹃、鸭跖草、蝇子草、头花寥、滨蒿、艾蒿、假酸浆
修复 Cd Repairing Cd	艾蒿、狗娃花、龙葵、遏蓝菜、南牡蒿、栎树、阔叶十大功劳、杜鹃
修复 Pb Repairing Pb	鬼针草、假酸浆、艾蒿、假酸浆、侧柏、杜鹃、红花继木、
修复 As Repairing As	苎麻、酸模、牡蒿

5 结论与讨论

强酸性矿山生态修复是一项复杂的工程,它涉及到了生态学、树木学、土壤学、气候学等多门学科及其交叉学科^[12]。在进行合适植物选取的时候,应该综合考虑各方面因素。多借鉴修复成功的强酸性矿山案例和研究成果,结合实际的矿山生境情况,选择最适的植物种类,尽量改良土壤基质,强化土壤结构,丰富景观层次,建立一个稳定的、多层次的人工群落,这样才能逐步完成矿山

生态修复。

强酸性矿山生态修复是一个艰难且漫长的过程,目前在强酸性矿山恢复的植物种类筛选、修复机理的研究及应用方面都有着很多不足。未来应继续开展植物在不同酸性石矿立地适生性的相关研究,继续筛选合适的植物种类,以满足矿山生态恢复实践的需求,并为以后强酸性矿山生态恢复植物种类的选择提供更全面的信息。

参考文献:

[1] 王志宏,李爱国. 矿山废弃地生态基质改良研究[J]. 中国矿业,2005,14(3):23-27.

[1] 蓝崇钰,束文圣. 矿业废弃地植被恢复中的根际土壤改良[J]. 生态学杂志,2012,15(2):55-59.

[2] 麦少芝,徐颂军,梁志娇. 矿业废弃地的特点及其环境影响[J]. 云南地理环境研究,2005,17(3):23-27.

[3] 陈昆燕,薛芳,曾建,等. 重点工序工艺参数与卷烟主流烟气中巴豆醇释放量的关系研究[J]. 江西农业学报,2009(12):40-42,45.

[4] 麦少芝,徐颂军,梁志娇. 矿业废弃地的特点及其环境影响[J]. 云南地理环境研究,2005,17(3):23-27.

[5] 王艳,代宝青,王敏超. 东北煤千石矿山生态修复的植物选择[J]. 沈阳师范大学学报,2017,35(2):171-174.

[6] 郝桂枝,祝浩翔,秦坤蓉,等. 重庆市石灰岩废弃矿山生态修复植物的筛选与应用[J]. 林业调查规划,2019,44(2):78-81.

[7] 王艳,代宝青,王敏超. 东北煤千石矿山生态修复的植物选择[J]. 沈阳师范大学学报,2017,35(2):171-174.

[8] 卫云燕. 矿山绿色生态修复及植物配比模式的研究[J]. 能源与节能,2019(10):84-85.

[9] 鲁敏,李英杰. 部分园林植物对大气污染物吸收净化能力的研究[J]. 山东建筑工程学院学报,2002,17(2):45-49.

[10] 顾晓薇. 矿山复垦中的土壤改良[D]. 沈阳:东北大学,2014.

[11] 武强,孙录科. 矿区土壤重金属污染的植物修复研究进展[J]. 有色金属,2008(1):125-129.

[12] 王艳,代宝青,王敏超. 东北煤千石矿山生态修复的植物选择[J]. 沈阳师范大学学报,2017,35(2):171-174.

Study on Plant Selection in Ecological Restoration of Open Pit Strong Acid Mine

WANG Zhi-qiang¹, XIANG Hua-hao¹, YAO Jun¹, LI Lin-xi¹, XIAO Tian², CHEN Qiu-hui², LI Hong-gui², CHOU Liu-yi²

(1. Hunan Zhilan Ecological Environment Construction Limited Company, Changsha 410000, China; 2. Central South Forestry University of Science and Technology, Changsha 410004, China)

Abstract: In order to select suitable plant species and meet the needs of mine ecological restoration practice, according to the characteristics of strong acid mine, this paper analyzed the limiting factors affecting plant growth in strong acid mine, discussed the principle of plant selection in the process of ecological restoration of strong acid mine, and summarized the ecological benefit, landscape effect and soil improvement suitable for the ecological restoration process of strong acid mine. Finally, the prospect of ecological restoration of strong acid mine in the future was put forward.

Keywords: open pit strong acid mine; mine restoration; plant restoration; soil matrix