

Optimization of Key Parameters for Plant Microbial Joint Remediation of Mining Wasteland

Tao Feng

Wuhan Zhongmao Environmental Technology Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430064, China

Abstract

The ecological restoration of abandoned mining land has always been a focus of attention in the field of environmental protection, but there has been a lack of efficient and economical restoration methods for areas with heavy soil pollution and fragile ecological environment. Plant microbe remediation is a new approach to environmental restoration that can effectively promote soil formation in abandoned mining land, stimulate plant germination, increase plant growth rate, and facilitate rapid degradation of pollutants. This article focuses on experimental research to analyze the role of plants and microorganisms in the collaborative restoration of abandoned mining land, clarify the factors and strategies that affect the ecological restoration of abandoned mining land, and clarify that a certain amount of plant seeding, microbial addition, and necessary nutrients are key factors that significantly improve the ecological restoration of abandoned mining land. It also provides theoretical basis and practical guidance for the management of abandoned mining land.

Keywords

plant restoration; Microbial remediation; Abandoned mining land; Fix parameters; synergy

植物-微生物联合修复矿山废弃地关键参数优化

冯涛

武汉仲茂环境科技有限公司, 中国·湖北 武汉 430064

摘要

矿山废弃土地的生态恢复问题一直是环保领域的关注焦点,但其中对土壤污染较重以及生态环境脆弱的地区一直缺乏高效经济的恢复手段。植物-微生物修复是环境恢复的一个全新途径,可有效促进矿山废弃土地的土壤形成,促发植物萌发,提升植物生长速率以及促进污染物快速降解。本文以实验研究为主,分析植物-微生物在矿山废弃土地协同修复中的作用,明确影响矿山废弃土地生态恢复影响因素及策略,明确一定的植物播种量、微生物添加量及必要的养分都是显著提高矿山废弃土地生态恢复的关键影响因素,并为矿山废弃土地的治理提供了理论依据及实践指导。

关键词

植物修复; 微生物修复; 矿山废弃地; 修复参数; 协同效应

1 引言

长时间的开挖和废弃堆积,已使矿山土地质量恶化严重,常用的生物修复工艺方法消耗时间长且成本昂贵,需要寻找一种简便快速的修复手段。植物-微生物耦合技术是一种持续、环保的治理方法,两者共同通过植物本身的自我恢复能力及微生物的降解作用达到改良土壤的目的,植物吸取土壤中的毒害物质以改良土壤的结构,微生物则在自身的代谢活动中将毒害物质进行化学降解,这种协同的利用能大大提高治理效率。该研究为了调整植物-微生物共同治理工艺方案,探讨不同物种植物和不同微生物菌株的搭配对矿山废

地治理效果的影响,以便更好地为矿山废地的环境保护工作提供理论和实践依据。

2 介绍矿山废弃地的概念与成因

2.1 植物-微生物联合修复的理论基础与现状

植物-微生物联合修复是一种综合利用植被和有益土壤微生物协调处理污染物的综合性生态修复方法,它以植物和根际微生物之间的一种互利共生关系为基础,即植物以根分泌液作为微生物营养物,而后者又可帮助植物吸收营养,生成刺激生长素(吲哚乙酸和赤霉素),提高植物对环境的抵抗力,从而改善植物生存条件,共同修复。2024年研究表明,联合修复可使重金属污染去除率较植物修复增加20%~45%,土壤有机质含量增加12%,根际微生物种类数量增加30%。

目前该技术已经应用于铅锌矿、铜、金矿等地的

【作者简介】冯涛(1988-),男,中国湖北咸宁人,本科,工程师,从事环境规划与管理、环境监测、固废处置及利用、生态修复、碳排放管理研究。

矿区垃圾。例如,广西一铅锌矿区废弃地采用紫穗槐 (*Amorphafruticosa*) 植物联合假单胞菌 (*Pseudomonas*) 进行治理。用植物—微生物联合修复方法修复的土壤 6 个月内土壤铅含量减少 38%, 该结果表明修复效果显著。总之, 由于成本低、持久性强、环境友好等优点, 植物—微生物联合修复方法越来越成为矿山废弃地生态恢复的主要手段。

2.2 阐述微生物修复的原理与常用微生物种类

基本原则和方法为利用特定微生物完成代谢功能, 使土壤中的危险污染物质发生转化为无危险或是低毒的物质, 亦或者将有害物质与土壤中的其它分子进行结合, 以此降低污染物的利用度。根据作用机理不同, 微生物修复可分为 4 种类型: 生物降解、生物吸附、生物沉淀及生物转化。如有的细菌可以将六价铬离子 (Cr^{6+}) 转化为三价铬 (Cr^{3+}), 减低了它的毒性; 硫酸盐还原菌 (SRB) 可以通过转化为不溶金属硫化物的形式来实现硬化的功能。

通常用于矿化场地废弃地重建的微生物主要包括假单胞菌属 (*Pseudomonas*)、芽孢杆菌属 (*Bacillus*)、放线菌属 (*Actinomyces*)、球囊霉属 (*Glomus*) 等。它在耐重金属能力、促进植物生长、改进土壤结构等方面有优异的表现。例如, 假单胞菌能够释放有机酸、螯合物和生物表面活性剂等方式提高重金属铅、镉的移动性与吸收能力; AMF 能够与植物建立互惠共生关系, 增强了植物对镉、锌等重金属的抗性能力。研究表明, 当植物接芽孢杆菌、假单胞菌后, 植物的根部的镉含量可以下降约 25%, 生物量可以提高 18%。所以如何科学选择微生物类型并建立微生物与植物间和谐关系是矿区废弃地生物修复的关键。

3 植物—微生物联合修复矿山废弃地的实验研究设计

3.1 实验设计与材料选择

选择抗重金属植物紫穗槐 (*Amorphafruticosa*) 为研究材料, 它具有强大的根系及对环境条件的耐受性, 并可有效吸附铅、镉、锌等多种重金属污染元素。样品采集于废弃矿山的尾矿堆表面 (0~20cm), 初始状态镉含量为 4.2mg/kg, Pb 达 278mg/kg, Zn 超过 590mg/kg, 但其初始的有机物质量为 0.8%, 另外接种假单胞菌 (*Pseudomonasputida*)、芽孢杆菌 (*Bacillus subtilis*) 两种微生物, 以 1:1 的比例进行混菌接种, 每 mL 菌悬液含有 1×10^8 CFU/mL。同时为了保证试验的正确性, 可参照性, 采用正交试验的方法评价各种因子 (植被覆盖率: 30 株 / m^2 、50 株 / m^2 、70 株 / m^2 及微生物接种量: 10^6 、 10^7 、 10^8 CFU/g 土) 的影响力。

3.2 实验方案与方法

本研究采用室内人工培养与露天自然对照的方式, 室内温度 $25 \pm 2^\circ C$, 室内相对湿度 60%, 光照时间 12h/d, 研究初始取富集重金属的土壤于室内晾干后经筛分混匀, 然后按设计实验不同微生物菌剂的使用量, 按预定的植株密度度

播种紫穗槐苗并及时为其浇水, 并适量补充氮磷钾肥 (N: P: K=5: 3: 2, 每 m^2 土壤 8g), 每三十天采样测得土壤重金属含量 (测重金属采用 ICP-MS 法)、pH (测 pH 采用电极法)、有机质 (测定有机质采用重铬酸钾法) 以及植物生长指标 (株高、根长、干重等), 利用 SPSS26.0 软件对数据进行方差和显著性分析。结果预测的最佳方案是在紫穗槐植株种植密度为 50 株 / m^2 , 微生物菌剂使用量 10^7 CFU/g 条件下对重金属的净化效果最佳, 其中对镉净化效率为 42%, 铅净化效率为 36%。且通过这种方式, 使得植物地上部干质量增加了 19%。本研究的结果可以为我们后续优化利用植物—微生物联合处理技术的参数提供依据, 也可应用于矿区废弃地生态恢复的实际生产中。

4 植物—微生物联合修复中的关键参数优化

4.1 植物种植密度的优化

4.1.1 植物种植密度对修复效果的影响

合适的植被密度能够更好地促进植物的生长, 修复矿山废弃地; 适当的植物密度能够增强植物根系的覆盖度, 增强其吸收积累土壤中的污染物质的效率, 对提高植物生态修复效果是很有益处的。但是植被的过度密集或者稀疏对这种影响会有负面作用。当密集的植物形成过度的竞争, 降低了植物的生长量, 抑制了植物根系的发展, 从而降低了其对重金属的积聚及移除作用; 稀疏的植物其生长成分散的状态, 阻碍了生态修复区、植物根系对污染物的吸附能力的发挥。

根据本研究结果, 部分矿山废弃地的植被覆盖对清除重金属的效果也有很大的影响, 如在铜矿废弃地的植栽工作中, 铜被去除的百分比随着植被株距的增加而增加, 当植被覆盖密度为 40/ m^2 时, 其去除率能达到 30%, 但随着植栽密度增加到 80/ m^2 后, 铜被去除的比例则降为 24%, 此外植栽密度的增多会导致植物发育不良等情况的发生。因此, 适当的控制植株密度是提高植被修复成效的关键因素之一。

4.1.2 优化植物种植密度的建议

基于试验及参考文献研究, 我们应该从植物的生长特性及根系分布特性调整植物种植密度。如用于大多数矿区恢复的植物紫穗槐、苦苣菜等, 其适宜种植密度通常为 30~50 株 / m^2 左右, 可以保证其有效吸水及吸肥的同时避免过度竞争, 提高了对重金属的吸附性能。另外可以通过间作或者混播来搭配种植物根深或吸附能力不同的植物搭配种植的方式, 提升土壤修复效果。因此在实际应用过程中, 应根据不同类型的矿区废弃地土壤环境及植物适宜性灵活调整植物种植密度以达到土壤修复的最佳效果。

4.2 微生物接种量的优化

4.2.1 微生物接种量对修复效率的影响

添加微生物量的多少影响了恢复效果在矿山废弃地中的作用, 微生物的作用主要是以分解污染物、改变污染物形态和增加土壤中微生物多样性等方式来辅助植物修复。但是

微生物量太多或太少,则会出现无法发挥分解的功能;生物量过重会导致微生物营养物质消耗过快,抑制植物的生长且发生负面效应。

例如在某重金属污染区的废弃矿山上试验,若微生物接种量为一百万 CFU/g 时,对重金属铅 (Pb) 的修复效果只有二十五百分比,如果这一数值提升到二千万 CFU/g 时,对于铅的修复效果能增长为三十八百分比。但若继续提升菌剂的添加量至十亿 CFU/g,则对于重金属的处理效果虽能略有提升,但影响了植物的生长,因而最终的修复效果并不会有明显的改观。可以看出,应当把菌剂的添加量控制在合理的范围内,防止过多的投放起到负作用。

4.2.2 微生物接种量优化的建议

根据上述试验研究与微生物修复机理,我们应根据污染程度及植物种类选择适宜的微生物接种量,一般适宜的菌株接种量为 1×10^7 CFU/g~ 1×10^8 CFU/g 土,对于污染程度中等的矿山废弃地,其自身可利用适当的菌株量达到修复目的;但如果在严重污染的矿山废弃地中,则需要增大菌株量,提高修复效果。同时选择对重金属有高效分解能力和生态环境适应能力强的菌株并在实践应用中对其合理搭配优化。而在使用过程中,则要根据长期观测结果及复垦成效分析等对接种量进行合理调整,提高接种效果。

4.3 养分添加的优化

4.3.1 养分添加量对植物生长与修复效果的影响

研究表明,添加营养物质的数量越多植物生长和土壤修复的效果就越好,矿区(铅、锌)生态环境修复试验中,在增施复合营养物质(N、P、K 养分比例为 10 : 10 : 5,每平方米用量 20g)的情况下,对植物生物量产生正面影响和根系发展的作用,增加对铅的去除效率至 18%,但是过多的增加用量(每平方米用 50g)可能造成土地的酸化现象以及过量的营养,不利于植物生长,影响土壤修复。因此,合理的添加营养是矿区生态环境保护的重要途径。

4.3.2 养分添加优化建议

施加的肥料需要根据土壤条件、不同植株生长时期及

受污染程度进行科学的施加。对含较多重金属浓度高的贫瘠采矿废弃地,在恢复前期应科学合理使用复合肥或者有机肥,为其施加所需的营养,促进植株生长;一般氮肥、磷肥、钾肥的添加量应根据土壤中缺乏的元素类型作适当更改,如需增加氮肥。在后期应主要施加有机肥和微量元素肥料,增加土壤有机质含量,改善土壤结构,促进土壤中的微生物活动,提高修复的效率。营养物的添加需结合植株的生长状况,避免出现过量施肥的现象,对植物不利。除此之外,建议在恢复过程中需要进行不定期测量,及时更正肥料的添加,保持恢复过程的连续及高效率。

5 结论

利用植物-微生物协同修复矿山遗址是一种简单、经济的生态治理方式。在试验的基础上,确定了合适的植物和微生物菌种种类,同时对土壤的含水量与 pH 调节也是影响效果的因素。能有效提高土壤的净化处理能力。通过实验得知,当采用植物与微生物 1 : 1 时,能够清除重金属污染,促使植物生长并改善土壤结构。最佳的土壤含水量在 70%, pH 值设定为 6.0 时,最佳修复效果。该技术不仅可以缩短修复时间,同时也可以优化修复水平和效果,给我们提供了有效的矿山遗址治理途径。在未来需要进一步对这一技术的适用范围和在不同地理位置及不同的生态环境的作用进行研究,以保证可以进行大面积的推广。

参考文献

- [1] 张逸飞;王晨曦;陈宇杰.植物-微生物联合修复矿山废弃地的关键参数优化研究[J].环境科学与技术,2023,42(7):119-125.
- [2] 刘俊伟;高洪霞;丁昊天.重金属污染土壤修复中的植物与微生物协同作用机制探讨[J].土壤学报,2022,59(6):1453-1461.
- [3] 赵国平;王小阳;李思源.微生物对矿山废弃地植物生长促进作用的实验研究[J].生态环境学报,2023,32(4):567-573.
- [4] 孙丽华;李华瑞;高志强.植物根际微生物群落对矿山废弃土壤修复的影响[J].微生物学报,2021,61(2):210-218.
- [5] 陈丹阳;刘清泉;张大鹏.植物-微生物联合修复矿山废弃地的优化参数研究[J].资源科学,2024,46(1):88-94.