广东农业科学 2013年第24期

55

煤矸石土壤修复中丛枝菌根的接种效应

李姣清, 刘德良, 杨期和, 陈勇杰  
(嘉应学院生命科学学院，广东 梅州 514000)

摘 要 ：针对煤矸石尾矿区生态修复过程中存在的主要问题，通过生物措施在自然状况下接种丛枝菌根真菌摩 西球囊霉，研究其对煤矸石土壤修复的生态影响。结果表明,接种菌根 8 个月后，植株成活率均提高了30%以上，菌根 在植株根际的侵染率均超过50%;土壤中重金属含量较对照有明显下降，尤其是不同植物土壤中Mn含量与对照相 比分别降低49.83、24.73、44.45 mg/kg；铜和镉也有不同程度的下降，土壤中有机质和有效氮含量均明显提高，其中有 机质和有效氮含量分别提高65.78%、84.08%。 说明丛枝菌根在煤矸石山土壤修复中具有较好的生态接种效应。

关键词：丛枝菌根； 煤矸石； 生态修复； 接种效应

中图分类号：X53 文献标识码:A 文章编号：1004-874X(2013)24-0055-04

Inoculation effect of arbuscular mycorrhizal fungi  
in the soil reconstruction of gangue

LI Jiao-qing, LIU De-liang, YANG Qi-he, CHEN Yong-jie  
( School of Life Sciences, Jiaying University, Meizhou 514000, China)

Abstract：According to the main problems existing in ecological restoration of coal gangue tailings, the experiment by biological measures in the natural condition of arbuscular mycorrhizal fungus Glomus Mose， was studied on the ecological impact on the coal gangue soil remediation. The results showed that after inoculation of Glomus mosseae for eight month, it was significantly promoted the survival rate, which increased by more than 30%, mycorrhizal colonization in rhizosphere was more than 50%, content of heavy metals in soil decreased significantly compared with the control ， especially the Mn content of different plants in soil decreased by 49.83 mg/kg, 24.73 mg/kg, 44.45 mg/kg compared to control, and Copper and cadmium also had varying degrees of decline, but the organic matter and nitrogen content in soil were improved significantly. The organic matter and nitrogen top increased by 65.78%, 84.08%. The research indicates that, arbuscular mycorrhizal had good inoculation effect in the soil reconstruction by of the ecological mountain coal gangue.

Key words: arbuscular mycorrhizal fungi； gangue； ecological reconstruction ； inoculation effect

煤矸石是煤炭开采、洗选、利用过程中产生的固体 废弃物。 由于煤矸石缺乏粘粒物质，土壤颗粒呈分散状 态，大量堆放的煤矸石、不仅压占土地,而且存在着严重 的风蚀、水蚀问题，带来一系列影响深远的环境污染问 题。 为了消除煤矿区煤矸石的环境负面效应，加速土壤 复垦 ，缓解人地矛盾 ，在过去 10~20 年中 ，我国煤矿区 的土地复垦和生态恢复研究取得了一些阶段性的理论 和应用成果［1-2］，但受矿区矸石土壤极端贫瘠、重金属含 量高、 生态环境脆弱等特殊地下环境条件的制约 ， 植 被重建的生态效应不明显， 甚至出现一些生态治理的 短期行为， 没有真正发挥生态系统的稳定性和可持续 性［3］。

收稿日期：2013-08-10

基金项目： 广 东 省 高等学校科 技 创 新 重点项目 (cxxd1132)； 广东省高等学校人才引进专项基金(2050205)

作者简介：李姣清(1984-)，女，硕士，讲师，E-mail:Lijiaoqing [12@126.com](mailto:12@126.com)

丛枝菌根真菌是自然界中普遍存在的一种土壤微 生物, 可以与植物根系形成一种有益的共生联合体，陆 地 90%以上的有花植物都能与其形成共生体系［4］。 丛枝 菌根能够促 进植物吸收利用矿质 养分和水分, 提高作 物抗逆性和抗病性, 改良土壤结构, 增强土壤肥力, 提 高苗木移栽成活率, 促进植被恢复, 丛枝菌根的这些生 理生态特性使得菌根技术具有克服矿区煤矸石山生态 重建中 N、P、K 及有机质含量极低、 土壤 结构不良、持 水保肥能力差、极端 pH 值、干旱或盐分过高引 起的生 理干旱等潜力［5-8］ 。

目前对丛枝菌根特性的研究大多集中于实验室机 理方面, 而真正将菌根技 术应用 于煤矿区固 体废弃地 土壤生态恢复 中则较少, 因此针对煤矸石较差的立地 条件, 研究在以煤矸石为基质的盆栽试验条件下, 接种 丛枝菌根对 煤矸石土壤修复的影 响, 并通过长 期定时 监测，阐明菌根对煤矸石土壤修复的生态效应, 为菌根 生物技术在矿区环境治理中的大规模推广应用提供一

种新的方法与技术。

56

1. 材料与方法

1.1 试验材料

培养基质煤矸石采自明山煤矿广东梅州明山煤矿 矸石山，地处粤东梅县境内的丘陵地带，其地理坐标为 116o18'E、24o15'N,属亚热带季风湿润气候。将取自该尾 矿的煤矸石粉末于阴凉处风干，用孔径为2 mm的土壤 *Mr*、―（■ *Mr* 筛过筛。

猪屎豆种子采自矿区附近， 多年生黑麦草和白三 叶草种子购自中国农科院中种草业公司 。 菌根真菌摩 西球囊霉*（Glomus* mosse ae）原种由北京市农林科学院植 物营养与资源研究所提供 。 试验所用接种剂经过白三 叶草扩繁, 为含有真菌孢子、菌丝和被侵染宿主植物根 段的根际土。

试验用盆采用20cmX20cmx15 cm（高X盆口直径X盆底 直径）规格的棕色塑料盆, 盆钵用自来水清洗,75%酒精 消毒,每盆装风干基质2.5 kg。

1.2 试验方法

试验在嘉应学院日光温室中进行， 设接种菌剂与 空白对照2个处理， 种植3种不同植物，3次重复，共 18盆。 3月1 日，取籽粒饱满的猪屎豆种子、多年生黑 麦草和白三叶草种子， 播种前先将种子放在铺有湿润 滤纸的培养皿中进行催芽处理, 种子露白后即可播种， 每盆 5 颗种子。 待幼苗长出 3 对真叶后， 选取生长整 齐、高矮一致的实生苗进行选苗，定苗为每盆3株。 根 据盆中土壤缺水情况，不定期浇水，使土壤含水量经常 保持在田间持水量的 60%左右。 为防止污染物淋溶渗 漏损失， 在盆下放置塑料托盘， 并将渗漏液倒回盆中。

丛枝菌根真菌接种以穴播方法进行， 接种处理的 植株按30 g菌土/盆的剂量进行，菌土在移栽时均匀撒 在实生苗根系周围， 对照分别加入相应的 30 g 灭菌菌 土。

11 月1 日收苗，采集土壤风干，植物分地上部、地 下部，用自来水清洗植物，再用去离子水淋洗3 遍，分 地上部、地下部分别称其鲜重、干重，菌根侵染率宿主 植物菌根侵染率采用Phillips等［9］的方法。土壤的pH、 有效氮、速效钾、速效磷分别采用电位测定法、碱解扩 散法、四苯硼钠比浊法、碳酸氢钠法测定。 土壤和植物 重金属含量测定采用 HCl-HNO3-HF-HClO4 混酸消解 法，每个样品3次重复；重金属Cd、Cu、Mn浓度采用原 子吸收分光光度计测定。

1. 结果与分析
   1. 菌根在土壤中的侵染率及植物的成活率

菌根的侵染率反映了菌根在基质中与不同植物 的亲和力，在煤矸石土壤中接种摩西球囊霉菌根均能 显著促进对猪屎豆、黑麦草、三叶草根的侵染，同时 显著提高植株的成活率（表1），尤其对三叶草植物的 影响极为显著， 极大地提高了三叶草对煤矸石土壤中 的定植能力,其成活率提高 45.42%。 接种丛枝菌根后 对煤矸石土壤原有土著植物猪屎豆影响也显著高于 未接种菌根的对照组，使其成活率提高近1 倍。 从表 1 中可以看出，丛枝菌根在煤矸石极端环境下能成功 定居且对植物成功定植于煤矸石土壤中起着重要的 作用 。

表 1 丛枝 菌根在土 壤中的侵 染率及植 株的成活 率

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 接种处理 | 植物 | 侵染率（%） | 成活率（%） |
| 对照 | 猪屎豆 | 0 | 47.06b |
|  | 黑麦草 | 0 | 33.34b |
|  | 三叶草 | 0 | 25.72a |
| 摩西球囊霉 | 猪屎豆 | 40.87a | 81.45c |
|  | 黑麦草 | 43.23a | 63.37c |
|  | 三叶草 | 67.51b | 70.42d |

注 ：同 列 数 据后 小 写 英文 字 母 不 同 者 表 示 差 异 显 著 ，表 2~表 4 同 。

* 1. 接种菌根对煤矸石土壤理化指标的影响

从表2可以看出，接种摩西球囊霉菌根后，土壤 中有机质、有效氮、速效磷、速效钾、pH值均发生明显 变化，其中接种丛枝菌根后土壤有机质和有效氮含量 增加量显著高于相应的对照处理，尤其是种植猪屎豆 的土壤， 其有机质和有效氮含量增加最为明显，达 14.11、20.40 mg/kg ； 种植三叶草的土壤中有机质和有

表 2 接种菌根对 土壤理化 性质的影 响

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 接种处理 | 植物 | 有机质（mg/kg） | 有 效氮 (mg/kg) | 速 效 磷 ( mg/kg) | 速效 钾( mg/kg) | pH 值 |
| 对照 | 猪屎豆 | 21.45±0.47a | 30.21±0.31a | 8.34±0.19a | 26.53±0.34a | 6.02±0.23a |
|  | 黑麦草 | 19.28±0.56a | 27.08±0.72a | 10.23±0.41a | 25.57±0.56a | 5.78±0.13a |
|  | 三叶草 | 18.53±0.68a | 33.78±0.81a | 9.42±0.53a | 28.43±0.61a | 6.36±0.08a |
| 摩西球囊霉 | 猪屎豆 | 35.56±0.27c | 55.61±0.23c | 1.89±0.09a | 10.89±0.23b | 7.32±0.12a |
|  | 黑麦草 | 27.65±0.43b | 46.72±0.47b | 2.56±0.11a | 12.31±0.18b | 6.87±0.33a |
|  | 三叶草 | 29.87±0.62b | 52.31±0.63c | 2.13±0.17a | 14.21±0.27c | 7.56±0.54a |

效氮增加也较明显，黑麦草种植土壤稍差但也显著高 于对照 。 土壤中 速 效磷 和速 效钾均有不同程 度的 亏 损，种植三叶草的土壤速效磷和钾亏损较明显；接种 菌根后土壤的 pH 值变化不显著，但 pH 值均有不同程 度的增大。

* 1. 接种菌根对煤矸石土壤重金属含量的影响

从表 3 可以看 出， 接种菌根真菌 后土壤 中 的镉、 铜、锰含量均有不同程度地降低，尤其是锰含量，种植 猪屎豆的矸石土壤中最多降低了 49.83 mg/kg， 种植黑 麦草和三叶草的土壤与对照相比也有显著减少。

表3接种菌根对煤矸石土壤重金属含量（mg/kg）的影响

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 接种处理 | Cu | | | Mn | | Cd | | |
| 猪屎豆 | 黑麦草 | 三叶草 | 猪屎豆 黑麦草 | 三叶草 | 猪屎豆 | 黑麦草 | 三叶草 |
| 对照 | 39.52±0.51a 39.93±0.32a 44.53±0.41a 387.06±0.43a 409.62±0.67a | | | | 397.67±0.57a | 6.07±0.13a | 5.51±0.31a | 6.35±0.23a |
| 摩西球囊霉 | 33.66±0.72a 36.12±0.37a 39.73±0.32a 337.23±0.77b 384.89±0.69ab 353.12±0.53b | | | | | 5.34±0.42a | 5.17±0.36a | 5.97±0.47a |
| 每盆带走量 | 5.86±0.41 | 3.81±0.23 | 4.80±0.31 | 49.83±0.58 24.73±0.47 | 44.55±0.38 | 0.73±0.06 | 0.34±0.09 | 0.38±0.07 |

2.4 接种菌根对植物生物量的影响 物地上和地下部分的干重 ， 其中猪屎豆植株干重增加

试验结果（表 4）表明，煤矸石中接种菌根能增加植 较明显 ，与对照相比差异显著，黑麦草与三叶草植株干

表 4 接种菌根对植物生物量的影响

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 接种处理 | 植物 | 生物量（g/盆） | | |
| 地上部分 | 地下部分 | 植株总量 |
| 对照 | 猪屎豆 | 16.62±0.43a | 3.68±0.13a | 20.30±0.27a |
|  | 黑麦草 | 13.24±0.21a | 2.45±0.07a | 15.69±0.44a |
|  | 三叶草 | 14.08±0.37a | 3.09±0.12a | 17.17±0.67a |
| 摩西球囊霉 | 猪屎豆 | 28.21±0.56b | 7.45±0.25ab | 35.66±0.37b |
|  | 黑麦草 | 17.72±0.27a | 3.78±0.31a | 21.50±0.43ab |
|  | 三叶草 | 19.13±0.43a | 4.73±0.13a | 23.86±0.53ab |

重增加与对照相比不显著。

1. 结论与讨论 通过研究接种菌根真菌摩西球囊霉于不同植物中 对煤矸石土壤生态修复的影响，结果表明，接种菌根真 菌后土壤的有机质、有效氮含量显著增加，土壤中锰含 量显著下降，植株干重和成活率显著增加。 这可能是因 为菌根真菌接种到土壤后，在其生长和繁殖的过程中， 会产生一些代谢产物分泌到体外 ， 加速基质熟化速度 的作用，从而促进土壤的腐殖化，提高有机质含量［10］；同 时菌根真菌在植物根系周围形成菌丝， 对根系产生分 泌物，调节根 系周围的 pH 值，影响根际周围的微生物 群落，从而增加土壤中的有效氮含量，为植物生长吸收 充足的养分［11-12］。 相关研究表明 ，菌根的菌丝是植物吸 收和运输磷和钾的主要器官 ， 这就促使植物在贫瘠营 养环境中对磷、 钾素吸收提供了可能使植物能在含磷 和钾贫瘠的土壤中吸收到自身生长所需的磷和钾营养 ［6］。

O 由于明山煤矸石土壤主要是镉-铜-锰复合型污 染，故本试验主要测 定镉 、铜、锰的含量。 从试验结果 可以看出，接种菌根后可以有效降低土壤中以上几种 重金属的含量，尤其对煤矸石土壤中的锰污染有较好 的修复作用［13-15］。 大量研究表明，在土壤 中，菌根菌 利 用各种方式积累吸收重金属，增强植物对重金属胁迫 的抗性 。 陈宝东等研究发现，菌 根对锰、锌 、镉都有一 定的吸附作用，均比非菌根根系高，且丛枝菌根植物 对重金属的吸附作用较其他生物吸附量要大，效果更 佳［16］。

在尾矿煤矸 石污染情况 下, 丛枝菌根 侵染植 物根 系通过形成菌丝和对根系分泌物、根际pH、微生物群 落等产生作用从而对植物起直接的保护效应和改善植 物矿质营养状况［17］，因而能效增强植物对污染环境的适 应能力，为尾矿污染区生态修复提供了新方法。 同时丛 枝菌根与植物修复的研究还存在很多机遇。 首先,在环 保意识和可持续发展思想被普遍接受的今天,生物修复 技术越来越得到人们的认可。 植物修复技术的环保作 用明显,不易造成再次污染,生态风险小,且应用简便,经 济实惠，有着很大的发展空间［18］。 其次, 菌根真菌资源 丰富、 数量庞大, 而且生物学特性各异, 分布于包括重 金属污染土壤在内的各种逆境环境中, 这为筛选优良

菌种提供了可能[19]。另外分子生物学技术的发展也为构 建高效修复污染土壤的基因工程菌和转基因植物提供 了可能,原先不能被菌根真菌侵染的植物在改造后也有 可能与 AM 真菌高效共生[20-21]。总之,丛枝菌根在植物修 复重金属污染土壤中的研究值得更多的关注, 将取得 更大的发展。

58

参考文献：

1. 胡振琪.中国土地复垦与生态重建20年：回顾与展望[J].科 技导报,2009,27(17):25-29．
2. 王海春.矿区土地复垦的理论及实践研究综述[J].2009(13): 40­

42.

1. 洽金,刘德良,郭宇翔,等．煤矿废弃地重金属含量及 3 种土著

先锋植物吸收特征[J].广东农业科学,2011,38(20):134-138.

1. 毕银丽.丛枝菌根培养新技术及其对土地复垦生态效应[M]. 北京：地质出版社,2007.
2. 刘德良,王开峰,杨期和.煤矿区先锋植物猪屎豆接种丛枝菌 根的效应研究[J].水土保持学报,2013,27(2):282-287.
3. 钱奎梅，王丽萍，李江.矿区复垦土壤的微生物活性变化[J].生 态与农村环境学报,2011,27(6):59-63.
4. WANG L P, Qian K M, He S L, et al. Fertilizing reclamation of arbuscular mycorrhizal fungi on coal mine complex substrate [J].procedia Earth and Planetary Science,2009,1 (1): 1101-1106．
5. 杨期和,何彦君,李姣清,等.煤矸石废弃地中胜红蓟的重金属

富集研究[J].生态环境学报,2012,21(10):1749-1755.

1. Phillips J M,Hayman D S. Improved procedures for clearing and staining parasitic and vesicular -arbuscular mycorrhizal fungi for apid assessment of infection [J]. Trans Br M ycol

Soc,1970,55: 158-161.

1. 王发园,林先贵.丛枝菌根在植物修复重金属污染土壤中的 作用[J].2007,27(2) :793-801.
2. 董明,王冬梅,王晓英.菌根菌在植物修复重金属污染土壤中 的作用[J].华北农学报,2010,25(S) :250-253.
3. 徐辉，张捷.丛枝菌根真菌对植物生长影响的研究[J].现代矿 业 ,2007,27(5):636-640.
4. 王树和,王晓娟,王茜等.丛枝菌根及其宿主植物对根际微生 物作用的响应[J].草业学报,2007,16(3) :108-113.
5. Leung H M, Ye Z H, Wong M H. Survival strategies of plants associated with arbuscular mycorrhizal fungi on toxic mine tailings [J].Chemosphere,2007,66:905-915.
6. 李毅,谢文兵,董志明,等.尾矿整体利用和环境综合治理对策 研究[J].矿产与地质,2003,17(4):552- 555.
7. 陈保冬,李晓林,朱永官．丛枝菌根真菌菌丝体吸附重金属的 潜力及特征[J].菌物学报,2005,24(2):283-291.
8. 夏汉平,蔡锡安.采矿地的生态恢复技术[J].应用生态学报, 2002,13(11):1471-1477.
9. 毕银丽,吴王燕,刘银平.丛枝菌根在煤矸石山土地复垦中的 应用[J].生态学报,2007,27(9):3738-3743.
10. 李晓林，冯固.丛枝菌根生态生理[M].北京:华文出版社,2001: 4-12.
11. 姚青，冯固，李晓林.不同作物对VA菌根真菌的依赖性差异 [J].作物学报,2006(6):239-243.
12. 刘德良,廖富林,黄思梅,等.菌根生物技术及其在矿区土地复 垦与生态重建中的应用研究 [J]. 嘉应学院学报,2011,29(2): 58-56.

(责任编辑 杨贤智)

(上接第 54 页) 区域最高，严重影响枸杞生长发育，生产中应增施有机 肥和氮肥，合理灌溉以减轻盐分危害。 都兰县除速效磷 外，其它养分指标均处于低水平，惟有盐分含量全区最 低，枸杞园生产中应增施有机、无机肥，提高土壤有效 态养分库储量。 综合分析柴达木盆地枸杞园各养分指 标及限制因子后认为， 乌兰县和德令哈土壤肥力水平 处于较佳，格尔木市和都兰县土壤肥力水平相对较差。 参考文献：

1. 徐宗才,马明呈,田丰.柴达木地区枸杞栽培中存在的技术问

题及解决措施[J].青海大学学报:自然科学版,2012(4):69-71.

1. 樊光辉，王占林.青海柴达木枸杞产业升级的机遇与挑战[J]. 青海科技,2011(6):5-7.
2. 赵晓葵.青海柴达木地区枸杞经济的产业化研究[J].青海民 族大学学报(社会科学版),2011,37(2):96-99.
3. 刘红献，铁桂春.青海省枸杞资源及开发情况调查[J].草业与 畜牧,2009(1):9.
4. 邹雄.柴达木成为海西枸杞生产企业统一品牌[N].柴达木 报,201 1-07-28(10).
5. 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学常规分 析方法[M].北京:科学出版社,1983:45-78.
6. 鲍士旦土壤农化分析[M].北京：中国农业出版社,2000:49- 56.
7. 青海省农业资源区划办公室编.青海土壤[M].北京:中国农业 出版社,1997:299-312.
8. Reeves D W. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems[J].Soil & Tillage Rese­arch, 1997,43:131-167.
9. 罗梅健.青海土种志[M].北京:中国农业出版社,1995.
10. 黄震华,徐菱华.作物耐盐极限及土壤盐渍化分级标准研究 [J].宁夏农林科技,1989(4):179-184.
11. 王强,陈绥清,张志华,等.枸杞子中多糖含量的测定[J].中草 药,1991,22(2):67-68.

(责任编辑 杨贤智)