

丛枝菌根对矿区环境修复的生态效应

杜善周¹, 毕银丽^{1*}, 吴王燕¹, 刘慧辉², 杨永峰³

(1. 中国矿业大学(北京)资源与安全工程学院, 北京 100083; 2. 神东煤炭分公司环保处, 鄂尔多斯 内蒙古自治区 017100;
3. 宁煤集团大武口洗煤厂, 大武口 宁夏回族自治区 753000)

摘要: 针对煤矿区生态环境修复过程中存在的主要问题, 通过定位监测菌根的生态来探索菌根生物技术对矿区环境治理的效应与推广模式。菌根对植物生长具有明显的促进作用, 接种菌根6个月后杨树和白蜡的胸围和株高分别较对照明显增加, 菌根侵染率达到80%以上, 菌根与植物共生作用好。接种菌根6个月后, 菌根际菌丝长度远远高于对照, 产生的孢子数量也明显增加, 接种菌根对于降低煤矿区环境修复成本以及增加未来生态收益具有很大的潜力, 维持了矿区生态系统的稳定。

关键词: 丛枝菌根; 煤矿区; 环境修复; 生态效应

中图分类号: S154

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2008)-4-0113-04

杜善周, 毕银丽, 吴王燕, 等. 丛枝菌根对矿区环境修复的生态效应[J]. 农业工程学报, 2008, 24(4): 113-116.

Du Shanzhou, Bi Yinli, Wu Wangyan, et al. Ecological effects of arbuscular mycorrhizal fungi on environmental phytoremediation in coal mine areas[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(4): 113-116. (in Chinese with English abstract)

0 引言

煤炭开采扰动了环境, 所引发的生态环境问题如破坏耕地、水土流失、土地沙化、贫瘠化和盐碱化等成了煤矿区急待解决的问题^[1], 煤矿区环境最彻底的生态治理应是生物综合治理即复垦种植。矿区人工植被的覆盖度很低, 生物种类单一, 抗逆性差, 植被重建的生态效应不明显, 往往出现一些生态治理的短期行为, 没有真正考虑生态系统的稳定性和可持续性。矿区被破坏土地生态重建的主要障碍因素表现为, 复垦土地的肥力低且磷是复垦土壤肥力最主要的限制因素, 复垦土壤的结构不良, 土壤压实现象比较严重, 复垦土壤中的微生物区系稀少, 生物多样性较少, 生态系统的稳定性差, 不利于植被的恢复^[2-4]。生态恢复的关键是生态系统功能的恢复和合理结构的构建, 而生态系统的各种功能是靠系统的各组成成分相互作用来实现的。恢复生态系统的功能, 必须恢复系统的非生物成分的功能, 进行植被的恢复及动物和微生物群落的构建^[5]。

菌根真菌是自然界中普遍存在的一种土壤微生物。陆地90%以上的有花植物都能够与它形成菌根共生体^[6]。菌根菌丝的分枝伸长能力很强, 大大增加了植物对营养的吸收范围和吸收面积。菌丝无横隔, 磷在菌丝里移动的速度为在植物体内运输速率的10倍, 保证将在根外吸收的大量磷等营养元素及时运输给植物^[7]。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^[8]。根据 van der Heijden 等^[6]最新的研究成果, 自然生态系统中菌根真菌影响植物种群的竞争能力, 菌根真菌的多样性决定着植物的生物多样性、生态系统的变化以及植物的生产力。因此, 针对矿区生态治理的主要障碍因子, “丛枝菌根”将成为矿区环境修复和生态恢复的新突破口。Noyd 等^[9]把 *Glomus intraradices* 和 *Glomus claroideum* 接种到牧草上, 成功地恢复了矿渣地的植被, 达到了修复和复垦的目的。毕银丽等^[10]在温室研究证明, 丛枝菌根具有抵消复垦区覆土少而导致植株产量降低的潜力, 估算复垦每公顷土地可以节约25000元, 极大地降低了复垦费用。

本研究主要针对煤矿区土壤贫瘠, 生态环境脆弱, 植被难以建植等特点, 利用菌根本身的生理生态特性, 对矿区脆弱地区的植物接种菌根菌, 研究接种菌根菌在矿区环境修复和植被恢复的菌根效应, 为矿区破坏土地的生态恢复提供一种微生物综合推广应用的模式, 也为矿区建立持续稳定的生态系统奠定技术基础。

收稿日期: 2006-08-18 修订日期: 2007-05-24

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2006BAC09B03); 国家“863”项目(2006AA06Z372)

作者简介: 杜善周(1968-), 男, 陕西米脂人, 博士生, 高级工程师, 从事矿区环境研究。北京 中国矿业大学(北京)资源与安全工程学院, 100083。Email: dushanzhou@sina.com

*通信作者: 毕银丽(1971-), 女, 陕西米脂人, 博士, 教授, 博士生导师。主要从事微生物(主要是菌根)在矿区生态重建方面的研究。北京 中国矿业大学(北京)资源与安全工程学院, 100083。Email: byl@cumtb.edu.cn

1 材料与方法

1.1 试验地选择

试验地点选择西部两个典型煤矿区, 神华集团神东煤炭分公司大柳塔西山北区生态常绿林区和宁煤集团大武口洗煤厂矸石山绿化区。大柳塔西山生态林区是神东公司“两山一湾”常绿林建设的重要组成部分, 也是矿区森林公园的雏形。投入资金 312 万元, 现栽植新疆杨 18001 株, 共完成治理面积 6.26 hm², 主要植物是新疆杨。大武口洗煤厂矸石山占地 25 hm², 贮存 1500 万 t 煤矸石, 投资 500 多万元, 绿化面积 32.5 hm², 主要植物为白蜡。

1.2 试验材料

供试菌种为北京市农林科学院植物营养与资源研究所微生物室提供经本实验室增殖培养的内生菌 *Glomus mosseae* 和 *Glomus etunicatum* 混合的菌剂 (简称 *G.spp*)。供试植物是当地绿化和生态治理的先锋植物新疆杨树和白蜡幼苗, 2005 年 4 月和 5 月分别在两地选择该区的杨树 120 株和白蜡 396 株进行研究。杨树的平均树高为 2.5 m, 胸周规格均匀为 12 cm, 株行距为 2 m×2m。白蜡幼苗裸根栽植, 株高约 80 cm, 树胸周为 6 cm, 株行距为 1 m×1m, 均为裸根栽植。供试土壤 pH 值均在 8 左右。

1.3 试验设计和管理

选取矿区红土壤和沙土两种基质的不同树种杨树和白蜡分别来进行接种菌根的效应比较。设接种菌根菌 (+M) 与不接种菌根菌 (-M) 两种处理, 接种杨树 60 株, 白蜡 192 株。每棵树穴播接种混合菌根菌剂 50 g。栽植后主要是水分管理, 首次浇水采用大水漫灌浇透, 每周浇水 2 次, 1 个月后每周浇水 1 次, 2 个月后 2 周浇水 1 次, 每次浇水都灌透, 达到该土壤最大饱和持水量 (14.48%)。3 个月后植株免水分管理进行自然生长。

1.4 样品分析及测定

植株生长 6 个月后, 定点监测树木的菌根生态效应, 测定菌根侵染率^[11]。基质风干后用湿筛倾注法测定丛枝菌根真菌孢子数^[12]及 30 g 土样的根外菌丝量^[13]。

2 结果与分析

2.1 接种菌根对植物生长状况的影响

接种菌根菌 6 个月后, 植物表现出明显的生长优势 (图 1)。新疆杨树生长较快, 对照处理 (-M) 由最初的胸周 (简称 CK) 12 cm 增加到 12.2 cm, 而接种处理 (+M) 由最初的胸周 12 cm 增加到 14.6 cm, 接种菌根菌对杨树植株的促生长作用明显。杨树是我国北方生态治理常见绿化造林树种, 在农业生产中占有重要地位, 杨树不仅有外生菌根, 同时也有内生菌根。Dangeard^[14]首次对杨树 VA 菌根进次对杨树 VA 菌根进行了详细研究, 绘制了杨树 VA 菌的孢囊、丛枝及菌丝等的形态图。我国 VA 菌

根对杨树研究并不多, 在碱性土壤环境中, 可能不适合外生菌根的生长, VA 菌根就发挥了作用, 结果与赵忠等^[15]结果一致。

白蜡林也表现出明显的菌根效应。接种菌根菌 6 个月后, 白蜡成活 153 株, 成活率为 80%, 不接种的白蜡成活 151 株, 成活率为 74%, 接种比不接种的白蜡成活率高 6%。接种 6 个月后植株平均株高为 105 cm, 不接种植株平均株高为 90 cm, 接种植株平均株高要比不接种的株高多出 15 cm, 差异显著。菌根对白蜡植株的促生长作用明显, 这与罗焕亮等^[16]研究结果相一致。

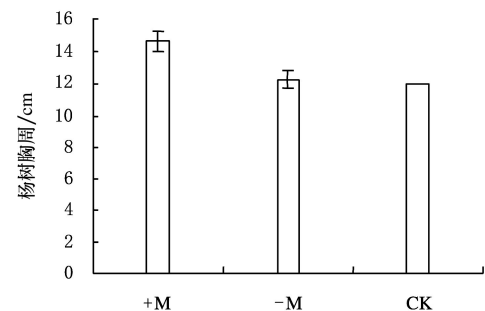


图 1 菌根对杨树胸周影响

Fig.1 Effect of AM fungi inoculation on poplar chest perimeter

2.2 菌根与植物的共生适应性——侵染率比较

接种菌根菌 6 个月后杨树和白蜡林木均表现出显著的菌根侵染率 (图 2)。杨树的菌根侵染率为 81%, 而不接种的侵染率为 48%, 接种的明显比不接种的高。白蜡接种菌根菌 6 个月后, 菌根侵染率明显增加, 达到 90%, 而不接种处理菌根侵染率为 46%, 差异达到显著水平。杨树与白蜡林木的不接种处理仍然有菌根侵染, 侵染率达到 40% 以上, 这可能是因为在自然状况下, 土壤中本身就存在着一定量的土著菌根真菌, 接种菌根菌强化了菌根对林木根系的感染能力, 形成互惠互利的共生体。接种菌根菌后林木根系较高的侵染率也说明本试验所选用的菌根菌剂与本地生态绿化先锋植物之间的选择适应性较好, 能够很好地发挥共生体的优势作用。

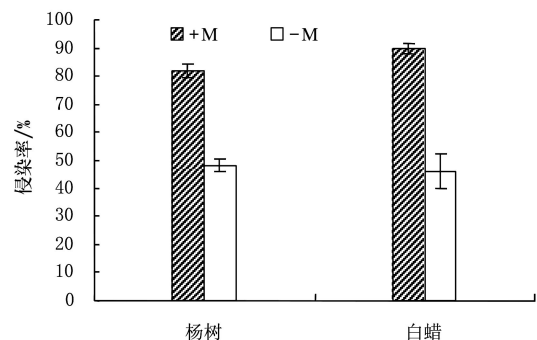


图 2 接种菌根对不同林木侵染率的影响

Fig.2 Effect of AM fungi inoculation on infection rate of different trees

2.3 接种菌根对根系菌丝长度影响

菌丝长度反映了菌根在促进植物生长、营养吸收和抗逆性等方面的能力大小。菌丝生长较根系快, 菌丝越长, 越有利于根系对营养和水的吸收和运输, 促进植株生长和抗逆性。接种菌根 6 个月后杨树和白蜡均表现出显著差异 (图 3)。6 个月后接种菌根杨树的菌丝长度为 162.6 m, 不接种的为 87.7 m。接种菌根白蜡植株的平均菌丝长度为 162 m, 不接种的平均菌丝长度为 83 m, 接种的菌丝长度比对照增加约 79 m, 差异显著。表明接种菌根真菌显著地提高植株根外菌丝长度, 扩大了根系生存空间和作用范围, 更有利于生态的恢复和营养的吸收。

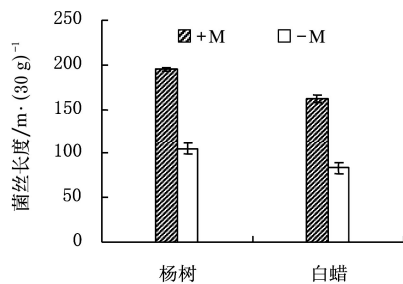


图3 接种菌根对不同林木菌丝长度影响
Fig.3 Effect of AM fungi inoculation hyphat length of different trees

2.4 接种菌根对根际土壤孢子密度影响

菌根孢子是菌根真菌分类鉴定以及作为繁殖体和营养贮存的重要器官。接种菌根 6 个月后杨树和白蜡较对照差异显著 (图 4)。杨树和白蜡根际土壤中菌根孢子密度均为 14 个/g, 不接种的为 8 个/g, 与 3 个月检测的孢子密度 (基本上为 0) 相比, 孢子密度有了很大增长。这是因为菌根孢子的形成与植物根系的生长规律相近, 接种 6 个月后 (10 月份), 宁夏和陕西北部气温开始转冷, 植物生长开始变慢, 作为营养储存器官的孢子开始形成, 菌根长效性表现出一定的潜力, 接种与不接种处理对孢子密度影响显著。

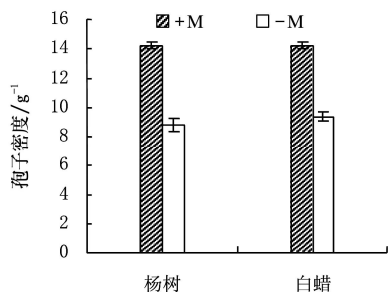


图4 接种菌根对不同林木孢子密度的影响
Fig.4 Effect of AM fungi inoculation on spore density of different trees

2.5 接种菌根的经济效益分析与评价

根据本试验对菌根的生理生态特性的研究, 对接种

菌根的效应进行初步的经济效益分析并进一步作出预测评价。

2.5.1 接种菌根降低矿区生态修复的投入费用

1) 从植株生长状况分析: 接种菌根 6 个月后, 新疆杨胸周比对照增加 2.4 cm (图 1), 白蜡株高比对照高 15 cm。由于菌根效应具有长效性, 按照如此的生长规律, 在接种 2 年后菌根效应将会表现得更加明显, 植物生长迅速, 生态恢复好。树种成林快, 成林早, 产生更大的经济价值。林木植株的快速生长会影响区域的生态环境, 生物多样性增加, 植物种类增加, 动物多样性增加, 改善了区域的生态环境, 生态价值得到提高。

2) 从植物根系发育来看: 接种菌根后菌丝长度的差异显著。菌丝与根系共生, 菌丝的形成增加了根系的长度和根际范围, 扩大了根系的吸收范围和面积。杨树接种的菌丝长度为 162.6 m, 不接种的菌丝长度为 87.7 m, 增加 75 m, 接种后植物的根系发育好, 伸展的空间大, 能够争取更多的养分和水分, 改善植物的营养状况, 降低了人为养护的成本和费用投入。

2.5.2 接种菌根降低了生态工程治理费用

接种菌根促进了植物的生长, 植物生长快, 生态效应明显, 生物多样性增加, 改善了矿区生态环境, 对微环境改良作用明显, 对于裸露土地以及沙地具有明显的生态作用。防止了矿区土地的沙化, 降低了沙地的治理费用。植物生长好, 种类多, 对裸露土地的覆盖度高, 水土流失降低, 生态工程治理费用降低。据推测估算, 在达到同样植被生长的情况下, 接种菌根植物要比不接种的成林快 1~2 年多, 节约管理费用、人工费用以及灌溉水费用, 节约水土流失治理费用等。

3 结论

1) 在大田条件下接种菌根对植物幼苗的生长具有明显的促进作用。6 个月后杨树胸周增加了 2.4 cm, 白蜡的成活率提高, 株高增加了 15 cm。

2) 接种混合菌种, 与杨树和白蜡的侵染率较高, 达到 80% 以上, 远远高于土著菌根侵染率 40%。说明强化接种菌根更有利于菌根真菌与植物建立互惠互利的共生关系。本试验室筛选的菌根在西部典型矿区是适合的。

3) 接种菌根 6 个月后, 菌根际菌丝长度远远高于根际菌丝长 79 m, 扩大了根系的吸收范围和面积, 对于营养和水的吸收和运输起到了积极的作用。

4) 接种后在根际形成的菌根孢子数量较多, 接种菌根产生较为长远的后效, 形成较多的菌根孢子又起到了菌根菌剂的作用, 一次投入长久受益, 维持了生态系统的持续稳定, 对于矿区环境修复和生态恢复起到了重要作用。

[参 考 文 献]

- [1] 屠世浩, 陈宜先. 煤矿开采对环境的影响及其对策研究[J]. 矿业研究与开发, 2003, 23 (4): 8-10.
- [2] Chen H, Zheng Y, Zhu Y. Phosphorus : a limiting factor for restoration of soil fertility in a newly reclaimed coal mined site in Xuzhou, China[J]. Land Degradation & Development, 1996, 9(2): 176-183.
- [3] 魏忠义, 胡振琪, 白中科. 露天煤矿排土场平台“堆状地面”土壤重构方法[J]. 煤炭学报, 2001, 26 (1): 18-21.
- [4] Bi Yinli, Hu Zhenqi. Respective of applying VA mycorrhiza to reclamation[C].//Mine Land Reclamation and Ecological Restoration for 21 Century—Beijing International symposium on land reclamation, China Coal Industry Publishing House, Beijing, 2000: 555-559.
- [5] 马彦卿. 微生物复垦技术在矿区生态重建中的应用[J]. 采矿技术, 2001, 1(2): 66-68.
- [6] Van J, Klironimos N, Ursic M, et al. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity[J]. Nature, 1998, 396 (5): 69-72.
- [7] Smith S E, Read D J, Mycorrhizal Symbiosis (2nd edition)[M]. London, 1997: 379-408.
- [8] 毕银丽, 吴福勇, 武玉坤. 丛枝菌根在煤矿区生态重建中的应用[J]. 生态学报, 2005, 25 (8): 2068-2071.
- [9] Noyd R K, Pflieger F L, Norland M R. Field responses to added organic matter, arbuscular mycorrhizal fungi, and fertilizer in reclamation of taconite iron ore tailing[J]. Plant and Soil, 1996, 179: 89-97.
- [10] 毕银丽, 胡振琪, 司继涛. 接种菌根对复垦土壤营养吸收的影响[J]. 中国矿业大学学报, 2003, 31(3): 252-257.
- [11] Phillips J M, Hayman D S. Improved procedures for clearing and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection[J]. Trans Br Mycol Soc, 1970, 55: 158-161.
- [12] Gerdemann J W, Nicolson T H. Spores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting [J]. Trans Br Mycol Soc, 1963, 46: 235-244.
- [13] Abbott L K, Robson A D, De Boer G. The effect of phosphorus on the formation of hyphae in soil by the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus, *Glomus fasciculatum*[J]. New Phytol, 1984, 97: 437-446.
- [14] Dangeard P A. Une maladie du peuplier dans l'ouest de la France[J]. Le Botaniste, 1986, 5: 38-43.
- [15] 赵 忠, 马刊欣, 段安安. 毛白杨 VA 菌根与外生菌根关系的研究[J]. 林业科学, 1994, 30(2): 111-116.
- [16] 罗焕亮, 陈伟元, 邵志芳, 等. VA 菌根对植物的增效作用研究[J]. 华南农业大学学报, 2002, 23(1): 49-51.

Ecological effects of arbuscular mycorrhizal fungi on environmental phytoremediation in coal mine areas

Du Shanzhou¹, Bi Yinli^{1*}, Wu Wangyan¹, Liu Huihui², Yang Yongfeng³

(1. School of Safety and Resource Engineering, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China;

2. Environmental Protection Office of Shendong Branch Corporation, Erdos, Inner Mongolia Autonomous Region 017100, China;

3. Dawukou Coal Processing Plant, Ningxia Coal Group, Da Wukou, Ningxia Hui Autonomous Region 753000, China)

Abstract: Arbuscular mycorrhiza (AM) has been used to resolve the key environmental problems in coal mine areas. Arbuscular mycorrhizal fungi can improve plant growth and establish good symbiosis with plants. After inoculation with AM 6 months, the plant chest perimeter and its height are greater than those of non-inoculation treatment. Infection rate of plant is over 80% and hyphal length is much greater than control, so is the spore density. Mycorrhizal applying in the field can decrease the cost of environmental phytoremediation, which also keep the ecosystem stability.

Key words: arbuscular mycorrhiza; coal mine areas; environmental phytoremediation; ecological effects