

丛枝菌根在煤矸石山土地复垦中的应用

毕银丽, 吴王燕, 刘银平

(中国矿业大学(北京)资源与安全工程学院, 100083)

摘要:煤矸石是采煤和洗煤过程中排出的固体废弃物,一方面占用了大量的土地资源,另一方面也成为固、液和气三害俱全的污染源,造成了一系列生态环境问题。以宁夏大武口洗煤厂煤矸石山复垦地为实验点,在自然状况下接种丛枝菌根真菌,研究其对煤矸石山土地复垦的生态效果。结果表明,菌根在煤矸石山土地复垦中具有较好的生态效果。接种菌根真菌 13 个月后能够提高植被成活率 15%,促进植株生长和发育。植株生长快,植被的盖度高于对照 9%,增加了生物物种的丰度。接种菌根后植株的侵染率高达 90% 以上,菌丝长度较对照伸长 1.4 倍,扩大了根系的范围,有利于维持该生态系统的稳定性。

关键词:丛枝菌根;煤矸石山;土地复垦;生态效果

文章编号:1000-0933(2007)09-3738-06 中图分类号:Q938;S154.3;X171.4;X172 文献标识码:A

Application of arbuscular mycorrhizas in land reclamation of coal spoil heaps

BI Yin-Li, WU Wang-Yan, LIU Yin-Ping

School of Safety and Resource Engineering, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China

Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(9): 3738 ~ 3743.

Abstract: Coal spoil heaps can occupy large areas of land and cause serious environmental problems. This paper describes a study on the influence of arbuscular mycorrhiza application in the re-vegetation of coal spoil heaps under field conditions at Dawukou coal processing plant, Ningxia Province, north China. Inoculation with arbuscular mycorrhiza increased plant survival rate by 15%, promoted plant growth and enhanced plant cover by 9% and biodiversity within 13 months of inoculum application. The percentage of total root length of mycorrhizal plants colonized was up to 90% higher and the hyphal length on mycorrhizal plants was 1.4 times greater compared with non mycorrhizal controls. External hyphae can increase the volume of soil explored by the roots and help the plants to tolerate poor soil conditions to enhance the stability of plant cover in the re-vegetation of coal wastes.

Key Words: arbuscular mycorrhizas; coal spoil heaps; land reclamation; ecological effects

煤炭在我国一次性能源生产和消费总量所占比例一直保持在 70% 左右^[1],而煤矸石是煤炭开采、洗选、利用过程中产生的必然产物,是矿区环境污染和恶化的主要源泉之一。我国每年排放煤矸石约 1.5 ~ 2.0 亿 t,历年堆积量已达 30 亿 t,以上占用土地约 1.33 万 hm^2 ,已堆积有 1500 多座煤矸石山^[2]。大量裸露的煤矸石山占用大量耕地土地,在目前土地严重退化、资源短缺的情况下又加剧了土地资源的短缺问题,而且还严

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40201051);国家“863”基金资助项目(2006AA06Z372);国家科技支撑计划资助项目(2006BAC09B03)

收稿日期:2006-08-02; **修订日期:**2007-07-19

作者简介:毕银丽(1971~),女,陕西米脂人,博士,副教授,主要从事微生物在矿区生态重建研究。E-mail: byl@cumb.edu.cn

Foundation item: The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 40201051), National “863” program (No. 2006AA06Z372) and National Key Technologies R & D Program (No. 2006BAC09B03)

Received date: 2006-08-02; **Accepted date:** 2007-07-19

Biography: BI Yin-Li, Ph. D, Associate professor, mainly engaged in application of AM fungi in ecological restoration of coal mining areas. E-mail: byl@cumb.edu.cn

重污染空气、水体和土壤,诱发滑坡、泥石流、矸石山爆炸等自然灾害,造成一系列生态环境问题,导致严重的生态破坏和环境污染^[3]。所以,煤矸石山的治理是一项十分紧迫的利国利民、造福子孙的任务,也是我国煤炭工业可持续发展的要求。限于技术和经济的原因,目前我国的煤矸石综合利用率仅为 40% 左右,大多数煤矸石仍在堆积。大量实践证明,对煤矸石山生态恢复是矿区环境治理的基础和核心^[4]。

丛枝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与它形成共生体系^[5]。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^[6~8]。

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,研究在野外试验条件下,煤矸石山上接种丛枝菌根对植被恢复的生态效应,并通过长期定位监测阐明菌根的生态效应,为菌根生物技术在矿区环境治理的大规模推广应用提供一种新的方法与技术。

1 实验方法

1.1 实验地选择

宁夏大武口洗煤厂地处宁夏回族自治区石嘴山市,属于中温带干旱气候区,年平均降雨量为 180 mm 左右,年降水量的 85% 集中在 6~9 月份,降水稀少而集中;年日照时数达 3060~3217h,平均每天日照时数在 8.2~10.2h,光照充足;年平均气温 5.8~9.4℃ 之间,极端最高气温为 38.7℃,极端最低气温为 -30.3℃,空气干燥,蒸发强烈,极不利于煤矸石山上植被生长。本试验地点选择宁夏大武口洗煤厂煤矸石山上,北纬 39°00′、东经 106°24′,约 500 m² 地作为试验地,煤矸石山上铺了 0.8~1 m 厚的河沙作为生长基质。该沙土 pH 为 8.12,电导率 EC 为 6.67 μS/cm,最大持水量为 14.48%,属于极贫瘠的沙土。

1.2 实验材料

供试菌种为本实验室增殖培养的 *Glomus mosseae* 和 *Glomus etunicatum* 的混合菌剂(按质量 1:1 混合),简称 *G. spp.*。供试植物是宁夏回族自治区石嘴山市当地苗圃提供的先锋植株白蜡幼苗,株高 1 m 左右,树径 2 cm 左右,根系未发育,树干分枝基本一致,裸根栽植。

1.3 实验设计和管理

试验在 2005 年 4 月 18 日平整土地后挖穴种植,设接种和不接种两处理,接种 192 株,不接种 204 株,总共 396 株。每株穴播接种 50 g 混合菌根菌剂。白蜡株距为 1 m,在接种和不接种之间有隔离带,间距为 2 m,地边周围有田埂,总共约 500 m²。栽植后采用穴灌的方式浇水,浇水量达到了沙土最大饱和持水量。开始每周浇水 2 次,1 个月后每周浇水 1 次,2 个月后 2 周浇水 1 次,3 个月后植株免水管理自然生长。

1.4 样品分析及测定

植株生长到第 3 和 13 个月后分别在试验点调查白蜡植株成活率、全部植株地上生长量、树冠并计算植株的总盖度^[9]。随机定位采集地下根段及根际土样,测定菌根侵染率^[10]。土样风干后测定丛枝菌根真菌的根外菌丝密度^[11]。

2 结果及分析

2.1 接种菌根对白蜡成活率影响

接种丛枝菌根真菌的植株生长较不接菌根菌的处理良好。接种菌根菌植株叶色浓绿,叶片肥大,虫害的感染较低,而未接种菌根菌植株叶色较黄和稀疏,叶片薄小,虫害较严重。由于该区域降雨少而矸石山上蒸发量大,地面温度较高,发生叶片热灼伤,接种菌根处理对叶片的热灼伤有一定的缓解作用,灼伤情况较未接种处理轻。

接种丛枝菌根真菌 3 个月后,接种处理的白蜡植株成活了 178 株,成活率为 93%,未接种菌根处理的白

蜡成活了 160 株,成活率为 78%,接种比不接种的处理白蜡成活率高 15%。13 个月后,接种菌根处理的白蜡成活达 161 株,成活率为 84%,不接种的白蜡成活达 141 株,成活率为 69%,接种比不接种的白蜡成活率仍高 15%。13 个月后接种处理与不接种处理成活率均比 3 个月后植株成活率均低,可能是因为 3 个月后植株在矸石山上水分主要依靠自然降雨,免水分管理,而该区域干旱,年降雨量少,还要经过春秋两季的干旱高温期,导致植株成活率均下降,但是接种菌根仍然表现出优势,对植株抗旱以及增强植株抗极端温度等能力逐渐的表现出来,植株成活率的提高对矿区生态恢复具有明显的实际意义。

2.2 接种菌根真菌对白蜡生长的影响

植株生长 1a 后,菌根效应逐渐表现出来。接种 13 个月后,与原种植时白蜡株高 100 cm 相比,接种菌根真菌的植株平均株高为 130 cm,不接种植株平均株高为 120 cm,接种植株平均株高要比不接种植株高出 10 cm,差异达到显著水平(图 1)。菌根对白蜡植株的促生长作用明显,这与罗焕亮等^[12]研究结果相一致。

2.3 接种菌根对植被盖度影响

植被盖度是指植物地上部分垂直投影面积占样地面积的百分比即投影盖度。盖度是衡量植被总冠幅大小的一个重要指标,盖度越大,植被分枝叶面越大,生态效应越明显。接种菌根真菌 13 个月后,接种菌根处理的植被盖度是 20%,不接种处理的植株盖度是 11%,接种处理的植被盖度比不接种处理增加了 9%,接种菌根真菌显著促进白蜡植株生长和发育,植株生长茂盛,盖度高,生态效果较为显著。

2.4 接种菌根对生物物种丰度的影响

接种菌根 3 个月后调查发现,接种与不接种区域杂草只有一种荆棘草,接种区域荆棘草数量比不接种区域荆棘草数量多。13 个月后调查发现,在接种区域内除白蜡植株外还有 5 种不同杂草,杂草数量相对较多,而在不接种区域内,除白蜡外只有 2 种杂草,杂草数量较少,接种区域杂草种类和数量都比不接种区域的杂草种类和数量多,表明接种菌根真菌不仅促进白蜡植株的生长还能促进其它种类植株的成活和生长,生物物种数量增加。

2.5 接种菌根对根系发育及侵染率影响

打开土壤剖面,观察根系发育及形态。菌根根系发达,细根多,生长快,而未接种根系粗短,细根少,根系发育不良。菌根侵染率在一定程度上反映了菌根真菌与宿主植物的亲合程度。连续动态监测菌根侵染率(图 2)表明,接种 3 个月后,接种植株侵染率为 61%,而不接种的侵染率为 43%,接种和不接种的侵染率差异显著。接种 13 个月后,接种植株侵染率为 92%,不接种植株侵染率为 46%。不接种的处理仍然有菌根侵染,侵染率达到 40% 以上,可能是在自然状况下,土壤中本身就存在着一定量的土著菌根真菌。接种菌根真菌的白蜡植株侵染率在第 3 和 13 个月后,侵染率分别达到 61% 和 92%,表明接种菌根真菌对根的侵染能力大大增强,该菌根菌剂与宿主白蜡植物的亲和能力比较好,而未接种处理侵染率都在 40% 左右,变化不显著。

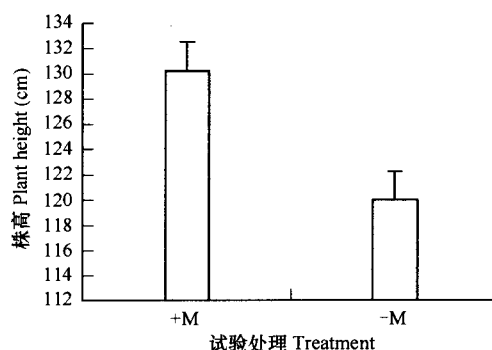


图 1 接种菌根真菌对白蜡株高影响

Fig. 1 Plant height after inoculated AM fungi

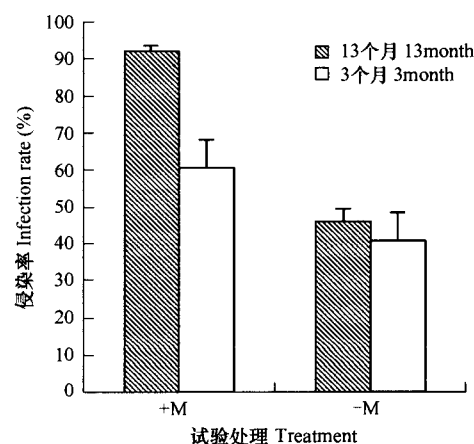


图 2 不同处理菌根侵染率

Fig. 2 Infection rate in different treatment

2.6 接种菌根对根际土壤的菌丝长度影响

菌丝长度反映了菌根植物生存能力。取根际土壤 30g,测定根际菌丝总长度(图 3)。3 个月后排种植株的平均菌丝长度为 125m,不接种的平均菌丝长度为 83m,差异明显。13 个月后排种植株的平均菌丝长度为 212m,不接种的平均菌丝长度为 89m,接种处理的平均菌丝长度比对照增加了 1.4 倍,差异极显著。3~13 个月,接种菌根的植株根外菌丝长度由 125m 增加到 212m,增加了 87m,而不排种植株的根外菌丝长度由 83m 增加到 89m,增加了 6m,表明接种菌根真菌显著地增加了植株根系的作用范围,能促进对营养和水分的吸收运输,更有利于生态的恢复^[13]。

3 讨论

国内外许多研究表明,菌根侵染植物后,可以明显提高宿主植物的抗旱性、病虫害和重金属毒害,能抗酸性和抗极端温度、湿度等能力^[14~18]。在野外大田自然状况下接种丛枝菌根真菌,经过一年多的定点监测,菌根植株的成活率明显高于不接种丛枝菌根真菌的处理,有利于矿区极端条件下植被的恢复,促进矿区环境的良性循环。本研究还发现接种菌根后该区域其他物种较对照多,与 Van Der Heijden 等^[19]研究结果一致,菌根促进了生态系统的生物多样性。

接种丛枝菌根真菌植株的生长量、树高和盖度都比不接种丛枝菌根真菌的处理要高,表现出明显的菌根生态效应,与室内盆栽试验结果一致^[12,18]。试验室分析测定表明菌根与宿主白蜡有较高的亲和力,侵染率达到 90% 以上,同时由于自然界菌根存在的广谱性,土著菌根仍存在着,具有一定程度的侵染能力,侵染率达到 40%。说明强化接种菌根真菌较土著菌根具有更强的竞争能力,竞争在根系的结合位点,促进了植物根系发育,增加了植株的生长,株高和植被盖度都产生了明显差异,强化接种对裸露地或脆弱生态系统具有明显的促进植被恢复的潜能。

在大田自然条件下接种菌根,连续动态监测菌根的生理生态变化,强化接种菌根的菌丝长度增长很快,形成的孢子密度也较不接种对照多。可能是由于丛枝菌根真菌能加快植物对 P 的吸收和运输速率^[20],扩大宿主植物根的吸收面积^[21],改变根际土壤的 pH 值^[22],影响土壤 P 的有效性,提高土壤难溶性 P 的利用率^[23]。菌根这些机理促进了白蜡植株对营养物质和水分的吸收和利用,因此能有效促进白蜡植株生长,接种比不接种的长势好。

接种丛枝菌根真菌与不接种处理的菌丝长度差异极显著。有研究表明,丛枝菌根及根外菌丝在生长过程中将不断向根际及菌丝际分泌有机酸、酚酸等酸性物质和多糖类物质,可直接促进土壤团聚体的形成^[24,25]。因而丛枝菌根及根外菌丝具有改良土壤结构的潜力,对改良煤矸石山复垦土壤的结构具有积极作用。

丛枝菌根真菌在煤矸石山土地复垦中发挥了较好的生态效应。丛枝菌根真菌不仅促进白蜡的生长,增加了植株对干旱的抗性,而且在待复垦土地上种植白蜡具有防风固沙、保持水土、防止土地退化、净化空气等潜在作用,积极地保护了土地资源、改善了矿区的生态环境。由于白蜡是木本植物,生长周期较长,试验研究的时间相对较短,对菌根在煤矸石山土地复垦深入的生态效应还有待进一步深入研究。

4 结论

(1) 菌根在煤矿区矸石山土地复垦中具有明显的生态效应,菌根技术由实验室机理研究走向大田规模化应用,对矿区生态治理具有重要的推广应用价值,也为我国煤矸石山的生态恢复提供了一条可行的途径与技术。

(2) 接种菌根对宿主白蜡的侵染率高,菌根真菌与当地先锋植物的亲和程度较高。接种菌根能促进植株

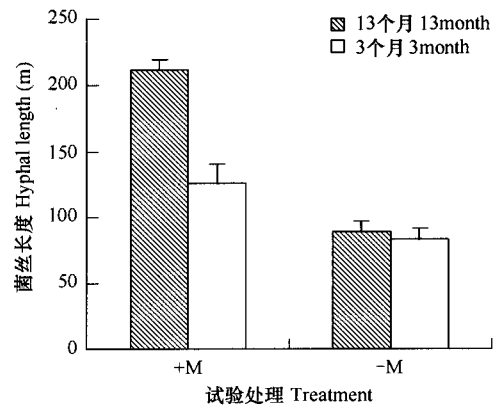


图 3 不同处理对菌丝长度影响

Fig. 3 Hyphal length under different treatment

生长,增加植被的盖度和物种的丰度,显示了菌根真菌在土地复垦中较强的应用潜力。

(3)接种菌根真菌后,植株根系发育良好,菌丝总长度高,扩大了根系的作用范围,植株的成活率提高,在自然生态系统中接种菌根真菌具有抵抗干旱等不良环境的能力,有利于生态系统的恢复与稳定。

References:

- [1] Tang Y G, Dai S F, Tang Z. Characteristic of coal quality and its dynamic evaluation in Wu Da area of China Xuzhou: China University of Mining and Technology Publishing House, 1999. 1—8.
- [2] Zhao Y M, Manual of coal resource comprehensive utilization. Beijing: Science Publishing House, 2004.
- [3] Pan Z G, Yao Y B, Huang W H. Analysis of pollution harm and comprehensive utilization of coal gangues. Resources & Industries, 2004, 7(1): 46—49.
- [4] Bi Y L, Wu F Y, Wu Y K. Application of arbuscular mycorrhizas in ecological restoration of areas affected by coal mining in China. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(8): 2068—2071.
- [5] Van Der Heijden, M G A, *et al.* Different arbuscular mycorrhizal fungal species are potential determinants of plant community structure. Ecology, 1998, 79(6): 2082—2091.
- [6] Morte A. Effect of drought stress on growth and water relations of the mycorrhizal association. In: Ulla. A. J eds. 2nd Intl. Conf. on Mycor. Uppsala, Swedn, 1998. 123.
- [7] Clark R B. Arbuscular mycorrhizal isolates on growth and root colonization of *Panicum virgatum* in acidic soil. In: Ulla. A. J eds. 2nd Intl. Conf. on Mycor. Uppsala, Swedn, 1998, 235—238.
- [8] Zhao S J, Li S L. A study on physiological bases of VA mycorrhiza for promoting the yield increase of leeks. Soils and Fertilizers, 1993, 4: 38—40.
- [9] Li B, Yang C, Lin B. Ecology. Beijing: Higher Education Press, 2000. 120—121.
- [10] Phillips J M, Hayman D S. Improved procedures for clearing and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Trans Br Mycol Soc, 1970, 55: 158—161.
- [11] 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*. New Phytol, 1984, 97: 437—446.
- [12] Luo H L, Chen W Y, Shao Z F. Studies on active Influence of VA Endomycorrhiza on the Plants. Journal of South China Agricultural University, 2002, 23(1): 49—51.
- [13] Call C A, Davies F T. Effects of vesicular-arbuscular mycorrhizae on survival and growth of perennial grasses in lignite overburden in Texas. Agriculture Ecosystems and Environment, 1998, 24(4): 395—405.
- [14] Bi Y L, Li X L, Ding B J. Influence of VA mycorrhiza on maize resistance to drought. Agricultural Research in the Arid Areas, 2003, 21(2): 7—12.
- [15] Huang Y, Chen Y J, Tao S. Uptake and distribution of Cu, Zn, Pb and Cd in maize related to metals speciation change in rhizosphere. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(7): 859—862.
- [16] Feng G, Zhang F S. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on salinity tolerance of cotton. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2003, 11(2): 21—24.
- [17] Liu R J, Shen C Y, Qiu W F. Competition between VAM fungi and *Verticillium Dahliae* in their infectivities. Acta Pedologica Sinica, 1994, 31 (supplement): 224—229.
- [18] Bi Y L, Hu Z Q, Si J T. Effects of Arbuscular Mycorrhizal fungi on nutrient uptake of maize in reclaimed Soil. Journal of China University of Mining & Technology, 2002, 19(3): 179—185.
- [19] Van J, Klironimos N, Ursic M, Sanders I. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. Nature, 1998, 396(5): 69—72.
- [20] Smith S E, Gianinazzi-Pearson V. Phosphate uptake and arbuscular activity in mycorrhizal *Allium cepa* L.: effects of photon irradiance and phosphate nutrition. Australian Journal of Plant Physiology, 1990, 17: 177—188.
- [21] Kothari S K, Marschner H, Romheld V. Contribution of the VAM hyphae in acquisition phosphorus and zinc by maize grown in a calcareous soil. Plant Soil, 1991, 131: 177—185.
- [22] Smith S E, Smith F A. Structure and function of the interfaces in biotrophic symbioses as they relate to nutrient transport. New Phytol, 1990, 114: 1—38.
- [23] Song Y C, Feng G, Lin X L. Effects of different P sources on phosphatase activity of mycorrhizosphere of red clover inoculated with AMF, Chinese

Journal of Applied Ecology, 2003, 14(5):781-784.

- [24] Frost S M, Stahl D D, Williams S E. Long-term reestablishment of arbuscular mycorrhizal fungi in a drastical disturbed semiarid surface mine soil. *Arid Land Research and Management*, 2001, 15(1):3-12.
- [25] Feng G, Zhang Y F, Li X L. Effect of external hyphae of arbuscular mycorrhizal plant on water-stable aggregates in sandy soil. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2001, 15(4):99-102.

参考文献:

- [1] 唐跃刚,代世峰,唐真. 乌达矿区煤质特性及动态评价研究. 江苏徐州:中国矿业大学出版社,1999. 1~122.
- [2] 赵跃民. 煤炭资源综合利用手册. 北京:科学出版社,2004.
- [3] 潘志刚,姚艳斌,黄文辉. 煤矸石的污染危害和综合利用途径分析. *资源产业*, 2004, 7(1):46~49.
- [4] 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. *生态学报*, 2005, 25(8):2068~2071.
- [8] 赵士杰,李树林. VA 菌根促进韭菜增产的生理基础研究. *土壤肥料*, 1993, 4:38~40.
- [9] 李博,杨持,林鹏. *生态学*. 北京:高等教育出版社,2000. 120~121.
- [12] 罗焕亮,陈伟元,邵志芳,等. VA 菌根对植物的增效作用研究. *华南农业大学学报*, 2002, 23(1):49~51.
- [14] 毕银丽,李晓林,丁保健. 水分胁迫下接种菌根对玉米抗旱性的影响. *干旱地区农业研究*, 2003, 21(2):7~12.
- [15] 黄艺,陈有监,陶澍. 污染条件下 VAM 玉米元素积累和分布与根际重金属形态变化的关系. *应用生态学报*, 2002, 13(7):859~862.
- [16] 冯固,张福锁. 丛枝菌根对棉花耐盐性的影响研究. *中国生态农业学报*, 2003, 11(2):21~24.
- [17] 刘润进,沈崇尧,袁维番. VAM 菌根与黄萎病菌存在侵染中的竞争作用. *土壤学报*, 1994, 31 卷增刊:224~229.
- [18] 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. *中国矿业大学学报* 2003, 31(3):252~257.
- [24] 宋勇春,冯固,李晓林. 丛枝菌根真菌对红三叶草利用不同有机磷源的研究. *植物营养与肥料学报*, 2001, 7(4):452~458.
- [25] 冯固,张玉凤,李晓林. 丛枝菌根真菌的外生菌丝对土壤水稳性团聚体形成的影响. *水土保持学报*, 2001, 15(4):99~102.