PT 菌剂对陕北黄土区土壤性质和油松苗木的影响

于海艳[1]，张国全[1]，孙 宾[1]，聂立水[1]，朱清科[2]
(1. 北京林业大学 林学院，北京 100083；2. 北京林业大学 水土保持学院，北京 100083)

摘　要：[目的] 分析 PT 菌剂对陕北黄土区土壤性质和油松苗木的影响，为干旱和半干旱黄土高原植被恢复提供科学依据。[方法] 在陕西黄土高原丘陵区采用完全随机区组试验(2013 年 3—10 月)，以常规施肥为对照，以上、中、下 3 个坡位为区组，研究施用 PT 菌剂对 6 年生油松苗木地径、树高、成活状况以及 0—60 cm 这 3 个不同层次土壤主要养分含量的影响。[结果] 施用 PT 菌剂油松地径平均生长量为 4.5 mm，是对照的 2 倍；树高总生长量达 10 cm，比对照高 54%；油松死亡率比对照低 9%。施用 PT 菌剂后土壤有机质含量平均达到 7.8 g/kg，是对照的 2 倍多；土壤全氮的含量平均为 0.41 g/kg，比对照高 52%；速效钾的含量平均达到 42.4 mg/kg，比对照增加了 26%；PT 菌剂对有效磷提高不明显；坡位对油松地径和树高影响不显著，对各层次土壤养分性质有显著影响。[结论] PT 菌剂能改善造林地土壤性质，促进油松成活和生长，建议在黄土高原地区油松造林实践中施用 PT 菌剂。

关键词：植被恢复；造林；土壤养分；土壤肥力；PT 菌剂
文献标识码：A　　**文章编号：**1000-288X(2016)05-0046-05　　**中图分类号：**S714.8

文献参数：于海艳，张国全，孙宾，等. PT 菌剂对陕北黄土区土壤性质和油松苗木的影响[J]. 水土保持通报，2016，36(5)：046-050. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2016.05.015

Effect of *Pisolithus Tinctorius* Inoculant on Soil Properties and *Pinus Tabulaeformis* Seedlings in Northern Shaanxi Loess Plateau

YU Haiyan[1], ZHANG Guoquan[1], SUN Bin[1], NIE Lishui[1], ZHU Qingke[2]
(1. *College of Forestry*, *Beijing Forestry University*, *Beijing* 100083, *China*;
2. *College of Soil and Water Conservation*, *Beijing Forestry University*, *Beijing* 100083, *China*)

Abstract: [Objective] The aim of this study is to analyze the effect of *Pisolithus tinctorius* (PT) inoculant on soil properties and *Pinus tabulaeformis* seedlings, in order to provide a scientific basis for vegetation restoration in arid and semi-arid Loess Plateau. [Methods] Field experiments were conducted on a newly established 6 a *P. tabulaeformis* seedlings site at three slope positions (upper, middle, lower) from March to October in 2013 in the Northern Shaanxi loess plateau region. The conventional fertilization was used as control (CK). The effects of PT inoculants on ground diameter, height and growth and survival rate of the 6-year seedlings and soil nutrient contents at different depths (0 − 60 cm) were investigated. [Results] The average increment of *P. tabulaeformis* seedlings treated with PT was 4.5 mm, which was 2 times than the control group. The total tree height was 10 cm, which was 54% higher than the control group. The mortality rate was 9% lower than the control group. With the application of PT inoculant, the average organic matter content reached to 7.8 g/kg, which was 2 times higher than the CK. The average total nitrogen content was 0.41 g/kg, and the available potassium was 42.4 mg/kg, which was 52% and 26% higher than that of CK, respectively. There was no significant difference in available phosphorus between PT inoculant treatment and CK. Slope position did not show significant effects on the base diameter and seedling height, but showed remarkable effects on the content of soil organic matter, total nitrogen, and available potassium. [Conclusion] PT inoculant can improve soil properties, increase the survival rate and

收稿日期：2015-09-26　　**修回日期：**2015-11-30
资助项目：林业公益性行业科研专项课题“黄土丘陵严重侵蚀区植被恢复和重建技术研究”(201104002-2)
第一作者：于海艳(1988—)，女(满族)，吉林省集安市人，硕士研究生，研究方向为植物营养。E-mail：1028854494@qq.com。
通讯作者：聂立水(1963—)，男(汉族)，河北省藁城市人，博士，教授，主要从事植物营养方向的研究。E-mail：nielishui@bjfu.edu.cn。

growth of *P. tabulaeformis* seedlings. PT inoculant can be used in the *P. tabulaeformis* seedling afforestation practice in Loess Plateau.

Keywords: vegetation restoration; afforestation; soil nutrient; soil fertility; *Pisolithus tinctorius* inoculant

黄土高原地区属于中国半干旱地区,降雨量少,蒸发量大,植被稀少,水土流失和土壤养分亏缺严重,自然灾害频发,环境状况变化剧烈[1],加上人们的过度砍伐,不科学地经营管理,使黄土高原地区森林遭到严重的破坏[2]。植被恢复是改善该地区生态环境的主要措施。

油松(*Pinus tabuliformis*)根系发达,枝叶繁茂,抗寒耐旱,具有良好的水土保持和改善生态环境效应,是黄土丘陵沟壑区栽植的主要树种之一[3]。许多树木如油松等先锋针叶树种依赖菌根来吸收水分和养分以适应不良的养分和水分环境,在自然条件下有的树种没有菌根就不能正常生长发育或不能成活[4-5]。一些研究证明菌根菌能促进苗木生长,提高成活率[6-9]。

PT(*Pisolithus tinctorius*)菌剂是表现良好的复合菌根菌之一。在恶劣的环境条件,PT 菌根化的松苗生长状况和成活率通常比仅有自然感染菌根化苗要好得多,能增强植物对养分的吸收和转化,促进植物生长[10-12]。对马尾松(*Pinus massoniana*)苗接种 PT 菌根菌,接菌苗干物质比无菌苗增加 4～9 倍,株高增长 46.19%～69.18%,地茎粗增加 83.12%～119.18%[13]。曾郁珉等[14]在苗圃进行了苗木接种 PT 菌剂的试验,证明了 PT 菌剂能促进苗木的生长,提高苗木的质量,提高造林成活率。在逆境造林过程中运用菌根化育苗的技术,解决了很多地区的松树因缺少外生菌根成活率低、生长不良、造林不见林的难题[15-16]。研究表明,菌根菌不仅可以帮助植物吸收土壤中的养分、水分以及促进植物的生长发育,起到抑制沙尘暴、控制水土流失等比较好的作用[17]。然而黄土高原丘陵沟壑区植被恢复造林中应用 PT 菌剂的研究较少。

本研究拟在陕北黄土丘陵沟壑区油松人工造林实践中使用 PT 菌剂,以期促进苗木的生长发育,促进油松苗木地径和树高的增长,改善土壤理化性质,提高造林成活,为植被恢复与重建提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　研究区概况

本试验在全国生态建设植被恢复的重点县之一的陕西省吴起县(36°33′—37°24′N,107°39′—108°33′E)进行。它位于延安市的西北部,洛河与无定河上游,属于黄土高原梁状丘陵沟壑区,梁面狭长起伏,沟壑深窄陡峻。属于典型的中温带大陆性季风气候,年均气温为 7.8 ℃,其中 1 月气温最低,平均－7.7 ℃;7 月气温最高,平均 21.5 ℃。极端最高气温为 37.1 ℃,极端最低气温为－28.5 ℃,≥10 ℃有效积温为 3 086 ℃。多年平均降水量约为 478.3 mm,多集中在 7—9 月,全年蒸发量为 891.2 mm,干燥度为 1.86。试验区设在吴起县杏树湾附近(36°56′10″N,108°12′10″E),海拔高度 1 233～1 809 m,坡度为 15°～25°半阳坡地,土壤类型为黄绵土,土壤深厚,质地通体为轻壤,养分贫乏,季节性和区域性降雨分布不均匀,土壤水分亏缺严重,造林成活率往往低于 70%。

1.2　试验材料

本试验采用的菌根制剂为外生菌根真菌彩色豆马勃(*Pisolithus tinctorius*),由中国林科院菌根中心提供,简称 PT 菌剂。油松苗木为 6 年生,均顶芽饱满、根系完全、生长健壮、生长状况良好,苗高 80～100 cm,地径 10～20 mm。

1.3　试验设计

采用完全随机区组试验设计,试验处理为施用 PT 菌剂(PT),用常规造林方法做对照(CK)。考虑到坡位影响,试验区依据坡位设上、中、下坡 3 个区组。每个区组设 2 个小区,随机安排处理或对照。小区为长方形,面积为 12 m×15 m,每个小区 18 棵油松,油松株行距为 2.5 m×4.0 m,6 个小区栽种油松苗木总数为 108 棵。栽植前采用穴状整地,规格为 80 cm×80 cm×60 cm。菌剂处理方式:PT 菌剂为蘸根处理(1 L 菌剂加到 5～10 kg 水中,然后加适量细黄土,搅拌使用),处理时间为 2 h。对照按常规造林方法在 2013 年 3 月进行,造林后同常规造林一样进行常规抚育管理

1.4　油松生长和成活情况调查

分别在 2013 年 3 月,2013 年 5 月,2013 年 8 月按小区对每株油松用胸径尺测量最大高度和距地 5 cm地径。分别在 2013 年 5,8,10 月按小区进行油松死亡率调查反映油松成活情况,死亡率计算公式为:苗木死亡率=(当月和前面月份死亡苗木总数/栽种苗木总数)×100%。

1.5　土壤理化性质的测定与方法

2013 年 5 月底按照小区进行土壤样品采集。各小区按“S”曲线选择 3 株油松,距树中心南向 40 cm,设置 1 个采样点,每个样点分别采集 0—20,20—40,40—60 cm 不同深度的土壤样品,各层用四分法取

1 kg左右形成1个土壤样品。土壤样品带回实验室后进行风干，研磨过2和0.25 mm土壤筛，分开保存。测定项目有土壤有机质、土壤全氮(N)含量、土壤有效磷(P)含量、土壤速效钾(K)含量[18]。

1.6 数据处理

本研究所得数据处理均采用Excel 2010，SPSS 18.0进行数据处理、分析和图表绘制。运用SPSS 18.0软件中的一般线性模型进行方差分析，对油松地径、树高以及各层次土壤有机质、全氮、有效磷、速效钾含量进行差异显著性检验($p<0.05$)，探讨PT菌剂处理和坡位对这些指标的影响。考虑文章的紧凑性，只列出了坡位对油松苗木死亡率的影响，未列出坡位对其他数据的影响。

2 结果与分析

2.1 PT菌剂对油松地径的影响

PT菌剂处理与对照的油松地径生长量见图1。施用PT菌剂后，3—5，5—8月油松的地径生长量分别为4.5，4.6 mm，分别比对照高2.4，2.6 mm，3—8月油松的地径生长量高达9.1 mm。方差分析表明PT菌剂处理的油松地径生长量与对照差异显著($p<0.05$)，不同坡位油松地径的生长量无显著性差异。

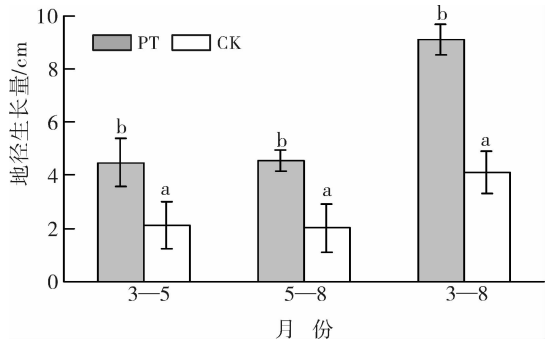

图1 PT菌剂对油松地径生长量的影响

2.2 PT菌剂对油松树高的影响

PT菌剂处理油松树高的生长量均明显高于对照，并随着时间的延长，PT菌剂的作用效果更为显著(图2)。3—5，5—8月的树高生长量分别为4.9，5.1 cm，分别比对照高36%，75%。5—8月的树高生长量比3—5月树高生长量高4%。3—8月油松树高总生长量达10 cm，比对照高3.5 cm。方差分析表明PT菌剂处理的油松树高生长量与对照的有显著差异($p<0.05$)，不同坡位油松树高的生长量无显著性差异，说明施用PT菌剂有利于油松树高生长，坡位对油松树高生长不明显。

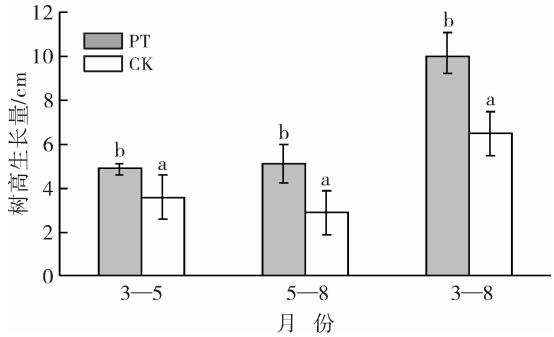

图2 PT菌剂对油松树高生长量的影响

2.3 PT菌剂对油松成活的影响

从图3中可以看出，5，8和10月油松死亡率分别为15%，19%，21%，分别比对照低9%，8%，9%，从春季苗木栽植到秋季油松死亡率逐渐升高。施用PT菌剂对油松进行处理，能够明显降低油松苗木死亡率，说明PT菌剂不仅在造林初期能明显促进造林苗木成活，也有利于后期油松苗木的成活。

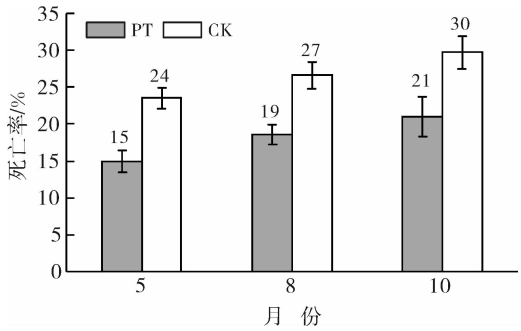

图3 PT菌剂对油松死亡率的影响

各小区油松苗木死亡率表现为：下坡<中坡<上坡(表1)。5月份上、中和下坡死亡的油松数量比对照分别低4%，7%和11%。5月油松苗木死亡率数据经双因素方差分析表明，PT菌剂处理对油松苗木死亡率影响不显著($p=0.065$)；坡位对油松苗木死亡率影响显著($p=0.039$)，进一步多重比较表明上坡与中坡和下坡有显著差异($p<0.05$)。

8月份上、中和下坡成活的油松数量比对照分别高7%，9%和7%。8月油松苗木死亡率数据经双因素方差分析表明，PT菌剂处理对油松苗木死亡率影响显著($p=0.007$)；坡位对油松苗木死亡率影响显著($p=0.005$)，进一步多重比较表明上坡与中坡和下坡有显著差异($p<0.05$)。

10月份上、中和下坡成活的油松数量比对照分别高7%，12%和5%。10月油松苗木死亡率数据经双因素方差分析表明，PT菌剂处理对油松苗木死亡率影响不显著($p=0.062$)；坡位对油松苗木死亡率

影响不显著($p=0.083$)。

以上分析说明 PT 菌剂的施用对油松成活影响主要表现在油松适宜生长的月份,春季和秋季不明显,而坡位对油松成活有影响。

表 1　PT 菌剂和坡位对油松死亡率的影响

坡位	处理水平	死亡率/%		
		5 月	8 月	10 月
上坡	PT	26	28	28
	CK	30	35	35
中坡	PT	13	15	19
	CK	20	24	31
下坡	PT	6	13	17
	CK	17	20	22

2.4　PT 菌剂对土壤有机质、全氮、有效磷、速效钾的影响

各小区 0—20,20—40,40—60 cm 不同层次土壤的有机质、全氮、有效磷、速效钾含量见表 2。土壤中有机质、全氮、有效磷和速效钾的含量均随着采样深度的增加而减少。

PT 菌剂处理的土壤有机质含量均值在 0—20,20—40,40—60 cm 3 个土层均比对照高,其中 0—20 cm土层有机质含量最高,达 11.4 g/kg,比对照高 6.9 g/kg;20—40,40—60 cm 土层土壤有机质含量分别比对照高 3.7,2.5 g/kg。0—20 cm 土层的土壤有机质含量是 20—40 cm 土层的 2 倍以上。方差分析表明处理和坡位对 0—20,20—40,40—60 cm 3 个土层的有机质含量影响显著($p<0.05$)。

研究区土壤全氮含量较低,介于 0.23～0.32 g/kg。土壤全氮含量在表层最高,从表层向下逐渐递减。PT 菌剂对 0—20 cm 的土壤全氮含量影响最大,达到 0.55 g/kg,是不施用 PT 菌剂的 1.7 倍多。方差分析表明处理和坡位对各土层土壤全氮含量影响显著($p<0.05$),只有坡位对 20—40 cm 土壤全氮含量影响不显著。

不同土层厚度的土壤有效磷含量不同,土壤有效磷含量低,基本在 2.7～5.3 mg/kg 之间。施用 PT 菌剂后,对 0—20 和 20—40 cm 土层土壤的有效磷含量影响较大,比对照均高出 1.2 mg/kg。方差分析表明处理和坡位只对 20—40 cm 土壤有效磷含量影响显著,对其他土层土壤有效磷含量影响不显著($p<0.05$)。

不同土层土壤速效钾含量不同,变动在 26.5～55.7 mg/kg 之间,含量较低。施用 PT 菌剂后,0—20,20—40 和 40—60 cm 土层的速效钾含量比对照高 24%～27%。PT 菌剂对 0—20 cm 土层速效钾含量影响最大。方差分析表明处理和坡位对各土层土壤速效钾含量影响显著,只有坡位对 40—60 cm 土壤速效钾含量影响不显著($p<0.05$)。

表 2　PT 菌剂对不同土壤层次有机质、全氮、有效磷、速效钾含量的影响

土层厚度/cm	处理	有机质/(g·kg^{-1})	全氮/(g·kg^{-1})	有效磷/(mg·kg^{-1})	速效钾/(mg·kg^{-1})
0—20	PT	11.4±0.9^{b}	0.55±0.12^{b}	5.3±0.8^{a}	55.7±8.2^{a}
	CK	4.5±0.8^{a}	0.32±0.06^{a}	4.1±0.8^{a}	44.1±5.3^{a}
20—40	PT	7.3±0.8^{b}	0.37±0.06^{b}	4.2±0.8^{a}	37.6±2.4^{b}
	CK	3.6±0.8^{a}	0.27±0.02^{a}	3.0±0.6^{a}	30.3±3.1^{a}
40—60	PT	4.8±0.8^{b}	0.30±0.06^{a}	2.9±0.2^{a}	33.8±1.7^{b}
	CK	2.3±0.2^{a}	0.23±0.02^{a}	2.7±0.4^{a}	26.5±1.4^{a}

注:数据为平均值±标准差($n=3$),不同小写字母表示不同土层处理和对照之间各土壤化学性质指标的差异显著($p<0.05$)。

3　讨论与结论

3.1　讨　论

PT 菌剂能明显促进油松苗木地径和树高的增长。施用 PT 菌剂后,油松的地径、树高生长量均比对照高,地径生长量平均为 4.5 mm,是对照的 2 倍;树高总生长量达 10 cm,比对照高 54%。坡位对油松地径和树高生长量的影响不显著。PT 菌剂能降低栽植油松苗木死亡率,促进油松的成活,死亡率比对照低 9%,主要表现在栽植后的夏季。油松苗木死亡率表现为:下坡<中坡<上坡。以上研究结果与花晓梅等[19]和满润等[20]的研究结果相似。PT 菌根的形成能够扩大植物根系对土壤中矿质营养与水分的吸收,从而促进植物成活和生长,尤其在干旱、贫瘠的恶劣环境效果更显著[21-22]。在黄土高原地区,不同坡位水土流失强度不同,土壤性质、土壤质量和生产力也不同[23-24],在黄土坡地进行土壤菌剂施用效果试验时,试验设计应当考虑坡位影响。

PT 菌剂明显促进土壤有机质、全氮和速效钾含量的增加。施用 PT 菌剂后土壤有机质的含量平均

达到7.8 g/kg,是对照的2倍多;土壤全氮的含量平均为0.41 g/kg,比对照高52%;速效钾的含量平均达到42.4 mg/kg,比对照增加了26%。这与朱教君等[9]和徐冰等[25]研究结果相似,外生菌根真菌的菌丝体在土壤中可生长数米远,增强土壤营养元素的空间有效性,增强土壤系统的生物活力,改善土壤理化特性,提高土壤肥力。这可能是因为菌剂加快了枯枝凋落物的分解[26],从而提高了土壤有机质和土壤全N含量。有研究显示菌剂的施用能有效促进土壤速效钾的转化[27]。有文献报道菌根菌分泌的有机酸等酸类物质能将土壤中的缓效P转化为有效P[25],但本研究显示PT菌剂对有效P提高不明显,这有待进一步研究。但总的来讲PT菌剂能有效促进土壤养分含量的增加。PT菌剂对0—20,20—40,40—60 cm土层土壤有机质含量的影响显著。坡位对各层次土壤养分性质有显著影响但对土壤有效磷含量显著只表现20—40 cm土层,土壤有机质和速效钾含量表现为:下坡>中坡>上坡,土壤全氮含量呈中坡>下坡>上坡的趋势。

3.2 结 论

PT菌剂不但能够与油松根系形成菌根能够扩大植物根系对土壤中矿质营养与水分的吸收,促进苗木的生长发育,促进油松苗木地径和树高的增长,而且能改善土壤理化性质,提高造林成活率。在黄土高原地区进行油松造林生产实践中,除采取整地、壮苗和抚育管理等措施外建议结合施用PT菌剂同时要考虑坡位因素影响,更好地改善土壤性质,促进苗木成活和生长发育,从而促进植被恢复与重建,改善该地区生态环境。

[参 考 文 献]

[1] 尚爱军.黄土高原植被恢复存在的问题及对策研究[J].西北林学院学报,2008,23(5):46-50

[2] 马丽君.西部地区生态环境建设与可持续发展的思考[J].青海民族大学学报:教育科学版,2010(2):35-38

[3] 焦醒,刘广全.陕西黄土高原油松生长状况及其影响因子分析[J].西北植物学报,2009,20(5):867-873

[4] 鲍瑾,朱海军,生静雅,等.外生菌根在农林业上的应用[J].安徽农业科学,2014,42(4):972-973

[5] 花晓梅.彩色豆马勃菌剂的应用研究[J].林业科学,1990,26(4):374-377

[6] 牧骑勒.丛枝菌根真菌与外菌根真菌单接种和混合接种对白皮杨苗木生长的影响[D].呼和浩特:内蒙古大学,2013:22-23

[7] 钱世文,曲晓颖,冯志欣,等.PT菌剂对兴安落叶松苗木生长的影响[J].林业科技,2000,25(5):13-14

[8] 刘润进,焦惠,李岩,等.丛枝菌根真菌物种多样性研究进展[J].应用生态学报,2009,20(9):2301-2307

[9] 朱教君,徐慧,许美玲,等.外生菌根菌与森林树木的相互关系[J].生态学杂志,2003,22(6):70-76

[10] Clark R B,Zeto S K. Mineral acquisition by Arbuscular mycorrhizal plants[J]. Journal of Plant Nutrition,2000,23(7):867-902.

[11] Toussaint J P, St-Arnaud M, Charest C. Nitrogen transfer and assimilation between theArbuscular mycorrhizal fungus Glomus intraradices Schenck & Smith and Ri T-DNA roots of Daucus carota L. in an in vitro compartmented system[J]. Canadian Journal of Microbiology, 2004,50(4):251-260.

[12] Paungfoo-Lonhienne C, Lonhienne T G A, Rentsch D, et al. Plants can use protein as a nitrogen source without assistance from other organisms[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2008,105(11):4524-4529.

[13] 李志真.外生菌根菌的培养技术与应用[J].福建林业科技,1993,20(1):71-74

[14] 曾郁珉,刘金凤,苏俊武,等.PT菌剂对高阿丁枫苗木生长的影响[J].西部林业科学,2005,34(2):79-81.

[15] 仲凯,刘红霞.菌根研究的新特点及应用[J].生态科学,2008,27(3):169-178

[16] 陆秀君,张宇,刘鸣宇,等.不同促根措施对蒙古栎苗木生长的影响[J].福建林学院学报,2011,31(2):140-145

[17] Parniske M. Arbuscular mycorrhiza: The mother of plant root endosymbioses[J]. Nature Reviews Microbiology, 2008,6(10):763-775.

[18] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2010.

[19] 花晓梅,骆贻颛,刘国龙.松树PT菌剂育苗菌根化研究[J].林业科学研究,1995,8(3):258-265.

[20] 满润.半干旱区应用PT菌根剂对苗木浸根的效果试验[J].甘肃农业,2007(12):51-52.

[21] 山宝琴,刘亚锋.菌根在西部生态环境保护及植被恢复中的作用[J].河北农业科学,2007,11(3):89-90.

[22] 王景利.PT菌根剂在油松造林中的应用研究[J].林业实用技术,2006(4):14-15.

[23] 张彦军,郭胜利,南雅芳,等.水土流失治理措施对小流域土壤有机碳和全氮的影响[J].生态学报,2012,32(18):5777-5785.

[24] 田野宏,屈远强,满秀玲,等.水土保持措施对黑土流失区土壤理化性质的影响[J].东北林业大学学报,2011,39(11):84-88.

[25] 徐冰,李白,秦岭,等.不同外生菌根真菌难溶性磷的活化[J].吉林农业大学学报,2000,22(4):76-80.

[26] 潘欣,张健,朱天辉,等.外生菌根菌对巨桉人工林土壤理化性质的影响[J].辽宁林业科技,2011(2):1-4.

[27] Rice R W, Datnoff L E, Raid R N, et al. Influence of vesicular-arbuscular mycorrhizae on celery transplant growth and phosphorus-use efficiency[J]. Journal of plant nutrition, 2002,25(8):1839-1853.