

BGB 微生物菌剂对黄土高原区域土壤与油松的影响

金星, 朱清科, 聂立水, 张国全, 孙宾, 朱嘉磊

(北京林业大学 林学院, 北京 100083)

摘要: [目的] 研究黄土高原区域油松造林中施用 BGB 微生物菌剂对油松造林成活率、树高、地径生长的影响, 以及土壤养分与水分的变化, 为 BGB 微生物菌剂在黄土丘陵地区的植被恢复应用提供理论依据和技术支持。[方法] 在不同坡面处施用 3 种量的 BGB 微生物菌剂, 观察不同量的处理对油松及土壤养分的影响。[结果] BGB 微生物菌剂能够显著提高苗木的成活率, 促进苗木树高、地径的增长; 可以显著地提高土壤中各养分的含量, 增加土壤含水量, 且影响随着土壤深度的增加而减小, 随坡度的降低而变大。其中对土壤中速效磷和有机质的影响最显著; BGB 微生物菌剂能够明显改善土壤的含水量, 并且在土壤 20—40 cm 处作用较明显。[结论] BGB 微生物菌剂对油松造林成活率、生长量与土壤养分有显著的影响。

关键词: 油松; 黄土高原; BGB 微生物菌剂; 成活率; 土壤养分; 土壤含水量

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2015)05-0211-06

中图分类号: S725.5

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.05.105

Influence of BGB Microbial Agents on Soil and *Pinus Tabulaeformis* in Loess Plateau

JIN Xing, ZHU Qingke, NIE Lishui, ZHANG Guoquan, SUN Bin, ZHU Jialei

(Academy of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: [Objective] We aimed to study the effects of BGB microbial agents on the survival rate of *Pinus tabulaeformis* afforest, height of tree and growth of ground diamete, and investigate the changes in soil nutrient and water content with the utilization of BGB microbial agents, in order to provide theoretical basis and technical support for vegetation restoration in Loess Plateau. [Methods] We applied three different amounts of BGB microbial agents at different slopes to observe its influence on *P. tabulaeformis* and soil nutrient. [Results] The BGB microbial agents not only significantly increased the survival rate of plant and promoted the height of tree and the growth of ground diameter, but also dramatically increased soil nutrient content and water content. And this effect decreased as the soil was deeper and the slope was steeper. Moreover, BGB microbial agents influenced soil available phosphorus and organic matters significantly, and improved soil water content dramatically, especially at the depth of 20—40 cm. [Conclusion] BGB microorganism bacterium agent has a significant effect on the survival rate and amount of growth of *P. tabulaeformis* afforest and soil nutrient.

Keywords: *Pinus tabulaeformis*; Loess Plateau; BGB; survival rate; soil nutrient; soil moisture content

黄土高原地形破碎, 土壤疏松, 植被稀疏, 是中国乃至世界著名的水土流失区^[1]。植被稀少, 水土流失严重, 干旱、洪涝灾害频繁, 加之强烈人为活动的影响, 使本区生态环境遭到了严重破坏^[2], 改善黄土区现有环境的主要方式是提高植被覆盖度。森林植被可以改良土壤、涵养水源、防止水土流失^[3]。

植被恢复在干旱地区已有大量的研究, 李福华等^[4]进行了不同处理的生态袋试验研究, 除了常规的抗旱措施外, 出现了使用生长调节剂, 施用微生物肥,

添加保水剂以及接种菌根等提高林木抗旱和成活的高新技术, 通过改善土壤性状或者林木抗旱性来提高该地区植被恢复的目的^[5-6]。研究表明, 油松 (*Pinus tabulaeformis*) 是该区的主要造林树种, 它在调节洪水、涵养水源、保持水土及改善生态环境等方面都有重要的作用^[7], 油松耐干旱, 耐贫瘠, 根系发达, 适应性强, 是黄土高原主要的乡土树种之一^[8]。

BGB 微生物菌剂含有放线菌、固氮菌、有机磷细菌、无机磷细菌、钾细菌、乳酸菌、芽孢菌等多种有益

收稿日期: 2014-07-31

修回日期: 2014-08-06

资助项目: 国家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: 金星(1989—), 男(蒙古族), 辽宁省阜新市人, 硕士, 研究方向为植物营养资源开发与利用。E-mail: 813007736@qq.com。

通信作者: 聂立水(1963—), 男(汉族), 北京市人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事植物营养学方面的研究。E-mail: nielishui@sohu.com。

微生物和多种微量元素的微生物菌剂,能够有效促进作物对各种养分的均衡吸收,改善作物根部的微生态环境和微生物环境提高农产品的品质、优化土壤环境^[9],通过施肥研究证明,BGB 微生物菌剂能够明显改善土壤酸碱度,显著提高土壤有机质,全氮,速效钾和速效磷的含量。而且对土壤养分有较强的转化能力,特别是速效磷,速效钾的含量增加显著^[10]。目前在黄土高原丘陵沟壑区植被恢复造林中应用 BGB 微生物菌剂的研究很少。

本研究是在黄土丘陵沟壑区的吴起县进行人工造林,并在造林过程中使用 BGB 微生物菌剂进行油松树育苗试验,研究其对造林成活率以及土壤全氮、速效磷、速效钾和有机质含量及土壤含水量的影响,从而为该地区的造林工作提供相应的理论及技术支持,防止水土流失。同时为中国林业生产中大面积推广应用 BGB 微生物菌剂提供依据。

1 试验地概况

试验设在吴起县杏树湾附近,位于延安市的西北部,洛河与无定河上游,在行政上划分属与陕西省。地理坐标为北纬 $36^{\circ}33'33''$ — $37^{\circ}24'27''$,东经 $107^{\circ}38'57''$ — $108^{\circ}32'49''$,海拔高度 $1\ 233\sim 1\ 809\text{ m}$,属于典型的中温带大陆性季风气候,冬、春季节寒冷干燥、干旱多风,夏、秋季节旱涝相间、温凉湿润全。年平均气温为 $7.8\text{ }^{\circ}\text{C}$,其中 1 月气温最低,平均 $-7.7\text{ }^{\circ}\text{C}$;7 月气温最高,平均 $21.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。极端最高温度为 $37.1\text{ }^{\circ}\text{C}$,极端最低温度为 $-28.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 有效积温为 $3\ 086\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。多年的平均降水量约为 478.3 mm ,全年蒸发量为 891.2 mm ,干燥度为 1.86 。试验地土壤为黄绵土。该地曾种植过油松,但基本未成活,仅有少量草本覆盖。

2 研究方法

2.1 试验材料

试验用于油松种植中的微生物肥料为北京嘉博文生物科技有限公司生产的 BGB 微生物菌剂(黑灰色,粉末状,pH 值为 6.5,菌剂中含有放线菌、固氮菌、乳酸菌、钾细菌等多种有益微生物及其代谢产物。菌剂中含碳量 74% ,有机质含量 $\geq 40\%$;有效活菌数 $\geq 2\times 10^8\text{ cfu/g}$)。油松为 6 年生树苗,顶芽饱满,根系完全,生长健壮,均匀一致。苗高 $80\sim 100\text{ cm}$,地径 $10\sim 20\text{ mm}$ 。

2.2 试验设计

空白对照(CK)不进行任何处理;施用 BGB 微生物肥料,用量为 20 g/株 ,记为 BGB₁;施用 BGB 微生

物肥料,用量为 40 g/株 ,记为 BGB₂;施用 BGB 微生物肥料,用量为 60 g/株 ,记为 BGB₃。BGB 微生物制剂为穴施,先将 BGB 微生物制剂施到穴底部,然后搅拌与土混合,再栽植油松树苗,以防止烧苗。采用完全随机区组设计,每个坡面设 3 个区组,4 个处理在每个区组内随机排列,每个处理为 1 个小区,每个小区包括 18 棵油松。油松株行距为 $2.5\text{ m}\times 4.0\text{ m}$ 。

2.3 土壤样品制备与油松指标数据采集

(1) 试验地土壤样品的采集。在 2013 年 3 月上旬,按试验设计,移栽好油松树苗。在 2013 年 5 月采集土壤样品,分 3 个区组,按照不同处理小区每个小区 6 个点,分别采集 $0\sim 20$, $20\sim 40$ 和 $40\sim 60\text{ cm}$ 不同深度的土壤样品,同层混合均匀,用四分法取 1 kg 左右,装入封口袋,并进行编号,得到试验分析所需土壤混合样品,同时做好记录。将土壤样品带回实验室后进行风干处理,然后研磨过 2 和 0.25 mm 土壤筛,分开保存,并编号做好记录,剩余原状土重新放入原封口袋保存。

(2) 油松指标数据采集。分别在 2013 年 3 月 15 日,2013 年 5 月 29 日和 2013 年 8 月 8 日在每个小区使用测树胸径尺测量全部油松树苗树木的最大高度、距地 5 cm 左右的树木地径;在 2013 年 5 月 29 日,2013 年 8 月 8 日和 2013 年 10 月 8 日进行试验地油松树苗成活率的测定。

(3) 成活率计算公式为:苗木成活率=(成活苗木数/总栽种苗数) $\times 100\%$

2.4 样品测定与计算方法

土壤全氮(N)含量、土壤速效磷(P)含量、土壤速效钾(K)含量、土壤有机质以及土壤酸碱度(pH 值)的测定方法参照《土壤农化分析》^[11]。

2.5 数据处理

本研所得数据处理均采用 Microsoft Office 2007,SPSS 20.0 进行数据处理、分析和图表绘制;运用 SPSS 20.0 软件,独立样本 t 检验、单因素方差分析不同处理对油松生长以及土壤理化性质的差异显著性。

3 结果与分析

3.1 BGB 微生物菌剂对土壤全氮、速效磷、速效钾、有机质的影响

由表 1 可知,使用 BGB 微生物菌剂对上、中、下坡 $0\sim 20$, $20\sim 40$ 和 $40\sim 60\text{ cm}$ 土壤中全氮、速效磷、速效钾、有机质的含量均值均比空白对照处理的含量均值要高,并且在各个土壤层次,处理与空白对照之间差异显著。

表 1 BGB 微生物菌剂对土壤氮、磷、钾、有机质的影响

坡位	土层厚度/cm	处理水平	土壤全氮/(g·kg ⁻¹)	速效磷/(mg·kg ⁻¹)	速效钾/(mg·kg ⁻¹)	有机质/(g·kg ⁻¹)
上坡	0—20	BGB ₁	0.492±0.086 ^a	8.07±0.27 ^a	44.5±1.0 ^{ab}	7.09±0.66 ^b
		BGB ₂	0.471±0.056 ^a	6.40±0.23 ^b	51.8±4.8 ^a	11.30±0.78 ^a
		BGB ₃	0.478±0.015 ^a	5.54±0.42 ^c	47.7±7.3 ^{ab}	10.70±0.46 ^a
		CK	0.291±0.021 ^b	3.09±0.16 ^d	42.8±1.0 ^b	3.64±0.52 ^c
	20—40	BGB ₁	0.260±0.233 ^b	6.53±0.48 ^a	34.7±3.1 ^a	6.35±0.63 ^b
		BGB ₂	0.287±0.006 ^{ab}	4.41±0.17 ^b	37.3±1.6 ^a	3.52±0.14 ^c
		BGB ₃	0.313±0.019 ^a	6.13±0.25 ^a	33.3±2.8 ^a	8.70±0.62 ^a
		CK	0.277±0.026 ^{ab}	2.79±0.15 ^c	27.7±0.6 ^b	3.62±0.18 ^b
	40—60	BGB ₁	0.187±0.008 ^c	5.94±0.10 ^a	23.6±13.1 ^{ab}	4.43±0.55 ^b
		BGB ₂	0.298±0.039 ^a	7.28±2.50 ^a	34.7±4.9 ^a	4.47±0.19 ^b
		BGB ₃	0.266±0.008 ^a	5.88±0.20 ^a	29.8±7.4 ^{bc}	5.92±0.14 ^a
		CK	0.126±0.012 ^b	2.39±0.05 ^b	27.0±1.8 ^c	2.05±0.00 ^c
中坡	0—20	BGB ₁	0.402±0.015 ^a	7.13±0.25 ^b	49.8±5.5 ^{ac}	6.94±0.40 ^c
		BGB ₂	0.521±0.029 ^a	8.55±0.71 ^a	59.6±3.3 ^{ab}	11.71±0.03 ^b
		BGB ₃	0.429±0.043 ^a	8.90±0.53 ^a	63.7±8.6 ^a	12.65±0.21 ^a
		CK	0.280±0.101 ^b	4.21±0.57 ^c	40.3±1.5 ^c	4.88±0.39 ^d
	20—40	BGB ₁	0.256±0.078 ^b	7.20±0.48 ^a	36.2±1.8 ^b	6.63±0.26 ^b
		BGB ₂	0.371±0.024 ^{ab}	7.79±0.42 ^a	43.8±2.0 ^b	4.87±0.46 ^c
		BGB ₃	0.340±0.034 ^a	6.14±0.51 ^b	33.7±2.4 ^a	7.81±0.34 ^a
		CK	0.149±0.038 ^c	2.87±0.36 ^c	29.2±0.8 ^c	4.11±0.34 ^d
	40—60	BGB ₁	0.206±0.063 ^b	7.53±0.25 ^b	33.7±3.3 ^{ab}	3.25±0.33 ^b
		BGB ₂	0.290±0.040 ^a	8.31±0.15 ^a	40.4±1.4 ^{ab}	5.60±0.37 ^a
		BGB ₃	0.313±0.018 ^a	6.76±0.71 ^c	34.2±2.0 ^a	6.42±1.22 ^a
		CK	0.173±0.043 ^b	3.24±0.30 ^d	28.0±0.5 ^b	2.05±0.08 ^{bc}
下坡	0—20	BGB ₁	0.555±0.006 ^b	8.61±0.19 ^b	52.6±7.4 ^{ab}	12.35±0.81 ^c
		BGB ₂	0.678±0.017 ^a	10.12±1.18 ^a	63.3±4.9 ^{ab}	13.85±0.75 ^b
		BGB ₃	0.527±0.039 ^b	6.07±0.52 ^c	66.0±13.1 ^a	15.82±0.41 ^a
		CK	0.531±0.028 ^{bc}	4.72±0.41 ^d	49.2±1.8 ^b	5.24±0.51 ^d
	20—40	BGB ₁	0.369±0.010 ^{ab}	7.69±0.19 ^{ab}	37.0±3.5 ^a	8.37±1.58 ^b
		BGB ₂	0.403±0.026 ^a	8.79±1.18 ^a	39.0±1.3 ^a	7.92±1.03 ^b
		BGB ₃	0.349±0.020 ^b	6.76±0.52 ^b	41.0±7.2 ^a	13.87±0.93 ^a
		CK	0.126±0.015 ^c	3.43±0.41 ^c	33.8±1.4 ^a	3.29±0.19 ^c
	40—60	BGB ₁	0.296±0.014 ^b	7.63±0.41 ^b	35.7±2.3 ^b	5.71±0.53 ^b
		BGB ₂	0.350±0.016 ^a	8.45±0.37 ^a	39.3±2.0 ^a	6.21±1.06 ^b
		BGB ₃	0.263±0.262 ^c	7.32±0.31 ^c	35.6±1.2 ^a	10.51±0.39 ^a
		CK	0.145±0.145 ^b	2.57±0.31 ^d	26.3±0.3 ^c	2.52±0.18 ^c

注:不同小写字母表示各处理间存在显著性差异($p<0.05$)。下同。

3.1.1 施用 BGB 微生物菌剂对土壤全氮含量的影响 不同坡面全氮含量随着土层深度的增加而变小。上坡 20—40 cm 处 3 个处理,中坡 40—60 cm 处 BGB₁,下坡 0—20 cm BGB₃ 处和 40—60 cm BGB₁ 处与空白对照组差异不显著。其余处理均值均具有显著性差异。尤其在中坡 0—20 cm 处,BGB₂ 处理比空白高出 0.247 g/kg,增加土壤中全氮的主要原因是施用菌剂后土壤有机质含量增加,微生物的数量增多,酶的活性增强,在与 BGB 微生物菌剂中固氮菌的共同作用下,促进土壤氮素的有效化。总体来看,BGB₂

处理后的全氮含量>BGB₃ 处理>BGB₁ 处理,下坡全氮含量>中坡全氮含量>上坡全氮含量。

3.1.2 施用 BGB 微生物菌剂对土壤速效磷含量的影响 不同坡面速效磷含量随着土层深度增加总体有变小的趋势。在不同坡面,不同土壤层面 3 个处理与空白对照组均具有显著性差异。BGB₂ 处理总体上最为显著,土壤速效磷含量最高,其次为 BGB₁ 处理,BGB₃ 处理最低。速效磷含量增加的原因主要为微生物菌剂可提高有机质含量,减少磷的固定,提高磷的有效性,由于磷细菌、芽孢杆菌的解磷作用,磷酸酶活

性增强,促进磷素矿化作用,促进有机磷转化为速效态磷^[12]。不同坡位速效磷含量为:下坡>中坡>上坡。

3.1.3 施用 BGB 微生物菌肥对土壤速效钾含量的影响 不同坡面速效钾含量随着土层深度的增加而变小。在上坡 0—20 处,BGB₁ 和 BGB₃,中坡 40—60 cm 处,BGB₁ 和 BGB₂,下坡 0—20 处,BGB₁ 和 BGB₂,20—40 处全部处理与空白对照组显著性差异。其余处理均值均具有显著性差异。钾含量的增多主要原因是钾细菌分解出钾矿石中的钾,有机质含量的提高,增强了保持钾素和土壤吸附的能力。上坡处速效钾含量 BGB₂>BGB₃>BGB₁,中坡和下坡处速效钾含量 BGB₃>BGB₂>BGB₁。不同坡位速效钾含量为:下坡>中坡>上坡。

3.1.4 施用 BGB 微生物菌肥对土壤有机质含量的影响 不同坡面有机质含量随着土层深度的增加而变小。除了上坡 20—40 BGB₁ 和中坡 40—60 BGB₁

处理外,其余处理均值均在 $p<0.05$ 水平上均值均具有显著性差异。除了上坡 0—20 处 BGB₂ 处理有机质含量大于 BGB₃ 处理外,其余处 BGB₃ 处理有机质含量均为最多,有机质含量增加的原因有待进一步研究。不同坡位有机质含量为:下坡>中坡>上坡。

3.2 BGB 微生物菌剂对土壤含水量的影响

从表 2 中可以看出,在不同坡面不同土层厚度下,施用 BGB 微生物菌剂后的土壤含水量均比空白对照组要高。在 3 个坡面不同深度处,随着施肥量的增加,土壤含水量逐渐增加。在不同坡面土壤含水量呈低高低的趋势。均在 20—40 cm 处,施用 BGB₃ 达到最高值,分别为 7.83%,9.42%和 9.78%,比空白对照高出 0.69%,2.27%和 2.2%。施用 3 个不同处理的 BGB 微生物菌剂与空白对照大部分具有显著性差异,因为 BGB 微生物菌剂的施用有助于促进土壤团聚体的形成,改善土壤理化性质,进而提高土壤含水量。

表 2 BGB 微生物菌剂对土壤含水量的影响

坡位	土层厚度/cm	BGB ₁ /%	BGB ₂ /%	BGB ₃ /%	CK/%
上坡	0—20	6.34±0.94 ^a	6.51±0.49 ^a	6.83±0.42 ^a	5.13±0.59 ^b
	20—40	7.54±0.71 ^{ab}	7.71±0.58 ^a	7.83±0.26 ^a	7.14±0.85 ^b
	40—60	6.42±0.54 ^{ab}	6.94±0.47 ^a	7.20±0.56 ^a	6.17±0.61 ^b
中坡	0—20	5.62±0.56 ^a	6.64±0.81 ^b	6.89±0.49 ^{ab}	4.51±0.41 ^c
	20—40	8.38±0.48 ^a	8.99±0.46 ^a	9.42±0.15 ^b	7.15±0.39 ^c
	40—60	6.53±0.67 ^a	6.77±0.54 ^a	6.97±0.37 ^a	5.13±0.47 ^b
下坡	0—20	6.72±0.71 ^a	6.99±0.78 ^a	7.27±0.45 ^a	5.21±0.16 ^b
	20—40	9.17±0.34 ^a	9.46±0.26 ^a	9.78±0.55 ^a	7.58±0.64 ^b
	40—60	7.95±0.72 ^a	8.23±0.65 ^a	8.43±0.61 ^a	6.41±0.74 ^b

3.3 BGB 微生物菌剂对油松地径的影响

从表 3 中可以看出,施用 BGB 微生物菌剂在黄土高原丘陵沟壑区进行油松造林过程中油松地径的变化量,在 3—5 月,5—8 月以及总增量均高于空白对照,且有着不同的差异显著性。下坡增量>中坡增量>上坡增量。随着 BGB 微生物菌剂的增加,地径增量也随之变大。且 5—8 月的地径增量明显比 3—5 月地径增量大。在 3—5 月地径对比中,上坡 BGB₁ 处理,中坡 BGB₂ 处理,下坡 BGB₁ 和 BGB₂ 处理与对照组在 $p<0.05$ 水平下差异不显著,其余差异显著,在 5—8 月地径对比中,除了上坡 BGB₁ 处理外,其余处理的地径增量与空白对照差异显著,而在总增量中,所有处理与空白对照差异显著,最高增量比空白高出 2.85 mm。

3.4 BGB 微生物菌剂对油松树高的影响

通过表 4 可以看出,经过施用 BGB 微生物菌剂

处理的油松树高增量在不同的月份均比空白对照值要高,且有着不同的差异显著性。施用 BGB 微生物菌剂后油松树高增量在不同坡面为:下坡>中坡>上坡,且随着施肥量的增加,在不同坡面 BGB₃>BGB₂>BGB₁。在下坡 5—8 月处理 BGB₃ 处达到最高值,增量为 7 cm,比空白对照高出 3.1 cm。说明施肥量越多,油松增高的越快,这与有关研究结果基本一致,其主要原因是由于活的微生物活动产生的植物激素、酸性物质以及微生物都能不同程度地刺激调节植物的生长^[13]。在 3—5 月树高增量对比中,除了上坡 BGB₁ 处理外,其他处理与空白对照差异显著,在 5—8 和 3—8 月树高增量与空白对照差异显著。

3.5 BGB 微生物菌剂对油松成活率的影响

由表 5 可以看出,施用 BGB 微生物菌剂的 3 个处理在不同坡位的成活率均比空白对照的成活率要高,差异显著。

表 3 BGB 微生物菌剂对油松地径增量影响

坡位	处理	地径增量均值/mm		
		3—5 月	5—8 月	3—8 月
上坡	BGB ₁	2.28±0.04 ^c	2.58±0.06 ^c	3.89±0.09 ^c
	BGB ₂	2.07±0.09 ^b	3.81±0.03 ^b	4.25±0.09 ^b
	BGB ₃	2.88±0.10 ^a	4.71±0.02 ^a	4.51±0.11 ^a
	CK	1.26±0.08 ^c	1.66±0.07 ^c	1.66±0.15 ^d
中坡	BGB ₁	1.68±0.05 ^c	3.16±0.05 ^c	3.16±0.09 ^c
	BGB ₂	2.31±0.03 ^b	3.53±0.05 ^b	3.53±0.05 ^b
	BGB ₃	3.75±0.06 ^a	5.03±0.02 ^a	5.03±0.08 ^a
	CK	2.28±0.16 ^b	4.01±0.06 ^d	2.56±0.20 ^d
下坡	BGB ₁	3.87±0.05 ^b	5.66±0.08 ^c	3.89±0.12 ^c
	BGB ₂	3.97±0.05 ^b	6.01±0.04 ^b	4.25±0.09 ^b
	BGB ₃	4.82±0.07 ^a	4.83±0.03 ^a	4.51±0.10 ^a
	CK	2.73±0.08 ^c	2.56±0.13	1.79±0.21 ^d

表 4 BGB 微生物菌剂对油松树高增量的影响

坡位	处理	树高增量均值/cm		
		3—5 月	5—8 月	3—8 月
上坡	BGB ₁	4.25±0.11 ^a	3.99±0.16 ^c	8.24±0.22 ^c
	BGB ₂	5.19±0.13 ^b	4.53±0.17 ^b	9.72±0.27 ^b
	BGB ₃	5.30±0.12 ^b	6.10±0.19 ^b	10.40±0.20 ^a
	CK	3.50±0.18 ^a	2.19±0.19 ^d	5.69±0.40 ^d
中坡	BGB ₁	5.18±0.12 ^a	4.38±0.13 ^b	9.56±0.33 ^b
	BGB ₂	5.20±0.17 ^a	4.43±0.19 ^b	9.63±0.23 ^b
	BGB ₃	5.90±0.13 ^b	6.14±0.15 ^a	12.04±0.16 ^a
	CK	3.55±0.20 ^c	2.75±0.14 ^c	6.30±0.31 ^c
下坡	BGB ₁	4.61±0.19 ^c	5.74±0.15 ^b	10.35±0.12 ^c
	BGB ₂	5.03±0.19 ^b	6.69±0.18 ^a	11.72±0.29 ^b
	BGB ₃	6.40±0.17 ^a	7.00±0.17 ^b	13.40±0.26 ^a
	CK	3.90±0.18 ^d	3.90±0.19 ^c	7.80±0.56 ^d

5, 8 和 10 月份的观测数据显示, 在不同坡位, 成活率存在 BGB₃>BGB₂>BGB₁>CK, 在上坡处不同月份施用 BGB₃ 比 BGB₁ 分别高出 3%, 12.9%, 9.2%。在中坡出分别高出 5.5%, 13%, 11.2%。在下坡处分别高出 5.6%, 3.7, 5.5%。说明随着微生物菌剂施用量的增加, 油松成活率增高。而在不同的坡面, 成活率也存在着不同。数据显示大多数成活率为: 下坡>中坡>上坡。通过分析可以看出, 施用 BGB 微生物菌剂后油松造林的成活率有显著提高, 并且随着时间的延长, 不同坡面 3 个处理的成活率变化均要小于空白对照的成活率变化。说明施用 BGB 微生物菌剂不仅在造林初期能明显提高造林的成活率, 对后期油松苗木的成活也有显著影响, BGB 菌剂中的有益菌在油松根际周围形成优势菌群, 抑制土壤中病原菌的侵害, 减少病害的发生, 提高成活率。

表 5 BGB 菌剂制剂对油松成活率的影响

坡位	处理	5 月成活率	8 月成活率	10 月成活率
上坡	BGB ₁	0.667	0.667	0.667
	BGB ₂	0.722	0.722	0.685
	BGB ₃	0.833	0.796	0.759
	CK	0.658	0.648	0.637
中坡	BGB ₁	0.815	0.740	0.740
	BGB ₂	0.826	0.759	0.759
	BGB ₃	0.870	0.870	0.852
	CK	0.796	0.759	0.685
下坡	BGB ₁	0.833	0.833	0.815
	BGB ₂	0.907	0.815	0.815
	BGB ₃	0.889	0.870	0.870
	CK	0.796	0.796	0.778

4 讨论

施用 BGB 微生物菌剂后, 与空白对照, 总体上可以看出无论是对土壤养分含量、土壤含水量还是对油松地径、树高、成活率均有影响, 可以帮助黄土高原丘陵沟壑区土壤性状改良和油松成活率的提高, 主要是因为 BGB 微生物菌剂是由芽孢菌、放线菌、固氮菌等十几种功能菌复合而成, 从天然土壤中培育而来, 有很好的协同作用, 对土壤环境具有后天适应性, 进入土壤后可以迅速复活, 增殖速度快, 能够改良土壤, 在一定条件下, 可与矿物质营养离子结合为有机无机复合胶体, 防止土壤养分流失, 进而促进油松的生长和保证良好的成活率。但是发现在不同层面和不同坡面的影响和显著性不同。在不同层面处, 土壤养分含量和油松地径、树高以及成活率随着土层深度的增加而减少。微生物群落分布在森林土壤剖面调查^[14]、在长期使用污水污泥堆肥^[15]、都市固体废物堆肥^[16]的农林试验地中均有相似的趋势。这是由于土壤的表层是土壤能量、物质与植物、空气不断交换的区域, 温度、湿度变化剧烈, 物质能量交换也快^[17]。在不同坡面处, 下坡面养分含量及油松性质高于中坡面以及上坡面, 已有研究表明, 坡面水土流失是导致土壤质量退化以及坡面生产力不同的主要原因^[18], 并造成不同坡位土壤性质变异^[19]。而海拔高, 土壤温差大, 海拔低, 则土壤温差小, 土壤含水量多^[20], 有利于 BGB 微生物菌剂的活动。

本研究只是单一的研究了施用 BGB 微生物菌剂对黄土高原丘陵沟壑区土壤性状和油松性质的研究, 今后可以考虑 BGB 微生物菌剂与各类有机肥或者其他的菌剂共同施用对土壤性状及油松性质的研究。

5 结论

在黄土高原丘陵沟壑区施用 BGB 微生物菌剂处

理在 3 个坡面, 3 个不同土壤层面处, 与空白对照相比, 均能提高土壤全氮、速效磷、速效钾、有机质、土壤含水量以及油松的成活率。尤其是可以显著提高有机质、速效磷和土壤含水量的含量; 随着施肥量的增加, 其提高土壤养分的作用也显著增加。

(1) BGB 微生物菌剂在上、中、下坡土层平均处理比空白对照全氮含量高 0.108, 0.147 和 0.153 g/kg, 提高不太明显。

(2) BGB 微生物菌剂在上、中、下坡土层平均处理比空白对照速效磷含量高 3.49, 4.15 和 5.47 mg/kg。在各坡面和层面处, 差异均显著, 能有效提高速效磷含量。在下坡处提高更明显。

(3) BGB 微生物菌剂在上、中、下坡土层平均处理比空白对照速效钾含量高 4.9, 11.4 和 8.6 mg/kg。总体上对速效钾含量影响不大, 中坡处较明显。

(4) BGB 微生物菌剂在上、中、下坡土层平均处理比空白对照有机质含量高 2.19, 3.64 和 6.37 g/kg。增加含量显著, 下坡处更为明显。

(5) BGB 微生物菌剂在黄土高原区域能提高土壤含水量, 在下坡处能平均提高 1.87%。

(6) BGB 微生物菌剂能有效提高油松的成活率, 在上、中、下不同坡面处, 处理成活率比空白分别高出 3%~12.9%, 5.5%~13%, 3.7%~5.6% 不等。而且对油松树高和地径均有显著提高。

[参 考 文 献]

- [1] 易扬, 信忠保, 覃云斌, 等. 生态植被建设对黄土高原农林复合流域景观格局的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(19): 6277-6286.
- [2] 赵鸿雁, 吴钦孝, 刘国彬. 黄土高原人工油松林水文生态效应[J]. 生态学报, 2003, 23(2): 376-379.
- [3] 张晓明, 余新晓, 武思宏, 等. 黄土区森林植被对流域径流和输沙的影响[J]. 中国水土保持科学, 2006, 4(3): 48-53.
- [4] 李福华, 王洪平, 余雪峰. 生态袋造林技术在高寒干旱区植被恢复中的示范及应用[J]. 青海农林科技, 2011(3): 78-80.
- [5] 赵素华, 肖巍, 张日升, 等. 辽西北半干旱地区林业科技工作之我见[J]. 防护林科技, 2010(4): 103-104.
- [6] 刘红民, 高英旭, 张园园. 固体水在我国干旱半干旱地区植被恢复中的应用研究进展[J]. 防护林科技, 2010(3): 39-41.
- [7] 焦醒, 刘广全. 陕西黄土高原油松生长状况及其影响因素分析[J]. 西北植物学报, 2009, 29(5): 1026-1032.
- [8] 罗伟祥, 刘广全, 李嘉钰, 等. 西北主要树种培育技术[M]. 北京: 中国林业出版社, 2007.
- [9] 宋健荣, 高杉, 陈晓梅. BGB 肥料在西瓜上的应用研究[J]. 现代农业科技, 2011(23): 101.
- [10] 王前进, 王东升, 常义军. 土壤消毒配施 BGB 生物有机肥对草莓产量的影响[J]. 浙江农业科学, 2012(1): 48-50.
- [11] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [12] 逢焕成, 李玉义, 严慧峻, 等. 微生物菌剂对盐碱土理化和生物性状影响的研究[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(5): 951-955.
- [13] 李翠兰, 杨文影. 不同肥料处理对玉米苗期根系生长的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2001, 23(3): 87-89.
- [14] Agnelli A, Ascher J, Corti G, et al. Distribution of microbial communities in a forest soil profile investigated by microbial biomass, soil respiration and DGGE of total and extracellular DNA[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2004, 36(5): 859-868.
- [15] Zaman M, Matsushima M, Chang S X, et al. Nitrogen mineralization, N₂O production and soil microbiological properties as affected by long-term applications of sewage sludge composts[J]. Biology and Fertility of Soils, 2004, 40(2): 101-109.
- [16] Crecchio C, Curci M, Pizzigallo M D R, et al. Effects of municipal solid waste compost amendments on soil enzyme activities and bacterial genetic diversity[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2004, 36(10): 1595-1605.
- [17] 张希彪, 上官周平. 人为干扰对黄土高原子午岭油松人工林土壤物理性质的影响[J]. 生态学报, 2006, 26(11): 3685-3695.
- [18] 史衍玺, 唐克丽. 人为加速侵蚀下土壤质量的生物学特性变化[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(1): 28-33.
- [19] Miller M P, Singer M J, Nielsen D R. Spatial variability of wheat yield and soil properties on complex hills[J]. Soil Science Society of America Journal, 1988, 52(4): 1133-1141.
- [20] 黄群山, 叶源忠. 浅析武夷山山地土壤理化性质的垂直分异[J]. 太原师范学院学报: 自然科学版, 2008, 7(3): 128-131.