

蘸根处理方式对彰武松造林成效的影响

——以北京山区为例

鄢鹏¹, 李国雷¹, 冉红达², 孟鹏³, 杨晓晖⁴

(1. 北京林业大学 林学院, 北京 100083; 2. 北京国土丹青工程技术有限公司, 北京 100083;
3. 辽宁省固沙造林研究所, 辽宁 阜新 123000; 4. 中国林业科学研究院 荒漠化研究所, 北京 100091)

摘要: [目的] 探究不同蘸根处理对彰武松造林效果及生长表现的影响, 为推动北京地区生态环境的发展提供科学参考。[方法] 在北京市密云区采用完全随机区组试验, 以清水为对照, 设置复合微生物菌剂、ABT-3 生根粉和两者 1:1 混合 3 种处理, 研究不同处理对 5 a 生彰武松造林其成活率、生长量、叶片性状、干物质量以及造林成本影响。[结果] 单施 ABT-3 号生根粉的地径、地下生物量、造林成活率、造林成本效果最佳; 单施复合微生物菌剂的苗高、地径、年均生长量、地上干物质量、总干物质量、针叶厚度、针叶面积、叶绿素含量效果最佳; 混合处理的各测定指标均低于单施处理, 但高于对照处理。[结论] 在北京地区进行彰武松造林实践生产中, 除了采用常规抚育管理外, 建议合理使用复合微生物菌剂。它不仅能够提高造林成活率, 而且还可以促进苗木生长发育, 加快成林步伐, 提高林分品质, 最终达到改善北京市环境的目标。

关键词: 彰武松; 造林; 造林成本; ABT 生根粉; 微生物菌剂

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2019)05-0092-06

中图分类号: S725.71

文献参数: 鄢鹏, 李国雷, 冉红达, 等. 蘸根处理方式对彰武松造林成效的影响[J]. 水土保持通报, 2019, 39(5): 92-97. DOI: 10. 13961/j. cnki. stbctb. 2019. 05. 013; Yan Peng, Li Guolei, Ran Hongda, et al. Effects of root treatment methods on *Pinus densiflora* var. *Zhangwuensis*[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 39(5): 92-97.

Effects of Root Treatment Methods on *Pinus Densiflora* var. *Zhangwuensis*

—An Afforestation Efficiency Case Study in a Beijing Mountainous Area

Yan Peng¹, Li Guolei¹, Ran Hongda², Meng Peng³, Yang Xiaohui⁴

(1. College of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Beijing Green Land High-tech Co., Ltd, Beijing 100083, China; 3. Liaoning Sand-fixation and Afforestation Research Institute, Fuxin, Liaoning 123000, China; 4. Institution of Desertification, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: [Objective] The effects of different root treatments on the growth performance of *Pinus densiflora* var. *zhangwuensis* were studied in order to provide a science-based method to boost afforestation in the Beijing City. [Methods] A completely randomized block experiment was conducted in Miyun District of Beijing City. The experiment was conducted to study the effects of different treatments on the survival rate, growth rate, leaf traits, dry matter content of 5-year-old *Pinus densiflora* var. *zhangwuensis*, including compound microbial agent, ABT-3 rooting powder and a 1:1 mixture of the two treatments. [Results] When applying the ABT-3 rooting powder alone, the ground diameter, underground biomass, afforestation survival rate and afforestation cost were the best; when applying compound microbial agents alone, seedling height, ground diameter, annual average growth, dry matter quality on the ground, the total dry matter quality, needle thickness, needle area and chlorophyll content were the best of all; The measured indexes of the

收稿日期: 2019-03-07

修回日期: 2019-04-01

资助项目: 中央林业科技推广示范资金“彰武松苗木繁育及在北京地区的示范与推广项目(京 2016)”(TG02); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金“‘一带一路’荒漠化治理技术集成与应用”(CAFYBB2017ZA006)

第一作者: 鄢鹏(1992—), 男(汉族), 河南省南阳市人, 硕士研究生, 主要研究方向为森林培育和新品种引种栽培。E-mail: godspeed0921@yeah.net.

通讯作者: 杨晓晖(1968—), 男(汉族), 内蒙古自治区赤峰市人, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要从事恢复生态学、荒漠化防治等研究。E-mail: yangxh@caf.ac.cn.

mixed treatment were lower than the single treatment, but higher than the control treatment. [Conclusion] In the afforestation of *Pinus densiflora* var. *zhangwuensis* in Beijing City, in addition to the conventional tending management, the use of compound microbial agents may not only improve the survival rate of afforestation, but also promote the growth and development of seedlings, accelerate the pace of forestation, and improve the stand quality, and ultimately achieve the goal of improving the environment of the Beijing City.

Keywords: *Pinus densiflora* var. *zhangwuensis*; afforestation; afforestation cost; ABT rooting powder; compound microbial agent

北京市长期处于水资源供需不平衡的状态,虽然南水北调工程在一定程度上缓解了北京市水资源严重紧缺的形势,水资源紧缺的现状仍是制约北京地区经济、生态等发展的主要因素^[1-2]。因此,选用耐旱速生绿化乔木树种对于缓解北京地区水资源压力有着重要意义。彰武松是 1990 年在辽宁省章古台地区发现的赤松(*Pinus densiflora*)和油松(*Pinus tabulaeformis*)的一种天然杂交种^[3]。经过研究表明,彰武松在正常年份的连年高生长量与樟子松之比为 121%,而在干旱年份该比值可达 140%左右。在盐碱胁迫下,彰武松苗木的受害级别较小,根系忍耐指数较大,叶片的过氧化氢酶(CAT)活性显著提高,丙二醛(MDA)含量没有显著提高,叶绿素(Chl)含量降幅较小,一定程度上说明彰武松的耐盐碱性要高于樟子松^[4]。而且生产实践中所用的彰武松多是砧木为樟子松的嫁接苗,这种嫁接组合在冬季会产生比较新颖(上绿下黄)的景观效果,更大程度上发挥了彰武松的应用价值^[5]。因此,在北京地区栽植彰武松必将为首都绿色事业的发展注入新鲜活力。

微生物菌剂,又称微生物菌肥或生物接种剂,是一类含有活性微生物的特定制品,主要是通过特定菌株在土壤中大量繁殖、活动来增强植物矿物营养物质的吸收利用或抑制致病菌的生长繁育^[6]。因为其作用只是促进了植物对土壤中养分的有效利用,不能等同于土壤外来养分(如施肥),因此有学者并不认同微生物肥料这个定义^[7]。微生物菌剂种类繁多,类型划分也比较多样,其中按照其制品中微生物的种类可以分为单一的微生物菌剂和复合微生物菌剂,相对于单一的微生物菌剂而言,复合微生物菌剂一般由两种或两种以上微生物按一定比例培养配置而成,实现了同一宿主主体与不同菌侵染的结合,达到了集化肥、有机肥和微生物肥料的优点一体的效果,不仅能刺激和调节苗木生长,而且还可改善苗木品质、提高立地质量^[8-9],因此其在林业生产中的应用逐渐广泛。

ABT 生根粉是一类高效、广谱、复合型的植物生长促进剂,能够诱导不定根或不定芽的形成,调节植物代谢强度,促进植物生长发育,增强植物抗性,从而

达到提高造林成活率和生长量的目的^[10]。根据溶解特性可将其分为醇溶剂和水溶剂两种,醇溶剂生根粉必须先用 95% 的工业酒精溶解后才能稀释使用,目前共有 5 种型号,其中 ABT 1-3 号仅用于林业、花卉、园林上,不能在农作物上使用,而 ABT 4-5 号仅用于农作物和中药材上,不能用于林果业上;水溶剂生根粉可直接溶解于水,无需低温贮藏,是继 ABT 1-5 号之后新研发的更高效的绿色植物生长促进剂,它包括 ABT 6-10 号^[11-12]。由于彰武松发现及引种历史较短,针对其造林栽培研究较少,尤其是在施用微生物菌剂和 ABT 生根粉处理下的研究更不多见。本研究是在北京市密云区进行不同蘸根处理方式下的彰武松人工造林试验,对其成活率、生长指标及造林成本等进行研究,试图探索出适合彰武松的造林措施,为彰武松在北京市、乃至中国北方范围内的推广和应用提供理论依据。

1 研究区概况

研究区位于北京市密云区史长峪村长峪沟(42°20'N, 117°00'E),地处燕山山脉与华北平原过渡地段,地势东西两侧高,自北向南倾斜,属于半湿润半干旱大陆性季风气候,冬季寒冷干燥,夏季炎热多雨,年平均气温 10.8℃,无霜期 170~180 d,日照总时数 2 801.8 h。历年平均降水量 661.3 mm,且降雨主要集中在 6—9 月份。丰水年最大降水量 905.8 mm,枯水年 376.7 mm。全年风向以东北风为主,平均风速 2.3 m/s。立地条件为向阳坡台地,土壤质地多为轻壤,且有相当面积的卵石体夹杂其中,土壤肥沃度普遍偏低,平均有机质含量为 10.28 g/kg。

2 材料与方 法

2.1 试验材料

试验所用 5 a 生彰武松苗木来自辽宁省章古台镇固沙造林研究所良种基地,栽植前测定和挑选高度在 125.00 cm 的植株,尽量保证各处理之间的植株高度差异最小,苗木均顶芽饱满、根系完全、生长健壮且无病虫害。试验所使用的 ABT-3 号生根粉和奥贝美

林牌复合微生物菌剂均由北京林学会提供。

2.2 试验设计

试验采用完全随机区组设计,设置复合微生物菌剂(T_1)、ABT 生根粉(T_2)和两者 1:1 混合(T_3)3 种处理,处理浓度均为 1 000 mg/kg,然后加适量细土搅拌均匀,处理时间均相同,对照组(CK)用清水处理相同时间。根据样地大小设置 2 个区组,每个处理设置 1 个小区,每个小区面积为 7.5 m×8 m,每个小区栽植 30 株,株行距为 1.5 m×2.0 m,四周设置 2 行保护带,8 个小区共栽植彰武松 260 棵。栽植前采用常规穴状整地,规格为 45 cm×45 cm×30 cm。在 2016 年 8 月 30 日采用常规方法进行造林,造林后常规养护及抚育管理。生长季末进行造林成活率等指标的调查及测定,测定完成后进行破坏取样,装好并标记后带回实验室分析。

2.3 测定指标与方法

主要调查及分析指标有:造林成活率、苗高、地径、年生长量、地上干物质量、地下干物质量、总干物质量、叶绿素含量,其中造林成活率进行全面调查,其他指标均在小区内随机抽取 10 株进行取样调查。用钢卷尺和游标卡尺测定单株幼苗的苗高、地径、年生长量。生物量采用常规烘干法,分别将彰武松幼苗地上和地下部分在 80 ℃下烘干 48 h,冷却后迅速取出放置于精度为万分之一的电子分析天平(上海精科天美科学仪器有限公司,上海)内称重;使用 Microtek ScanMaker 1 700 彩色平台扫描仪(中晶科技有限公司,上海)扫描针叶样品,采用 LA-S 植物图像分析系统(万深检测科技有限公司,杭州)分析针叶厚度、表面积指标;叶绿素测定采用常规混合液法^[13]。

造林成本核算主要是依据工序记录档案中的实际费用明细,转换为单位面积造林所需的土地租赁费、整地费、苗木费、人工费和材料费等全部费用,其中苗木费用包含运输费、假植费等投入,人工费包含林地清理、除草浇灌等投入,材料费包含试剂费、辅助器材费等投入,最后计算各项支出总和即为造林成本^[14]。

2.4 数据分析

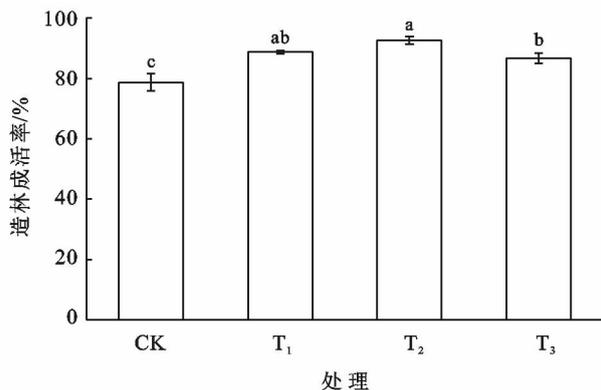
应用 Excel 2010 进行数据前期统计整理,使用 SPSS 25.0 软件对数据进行单因素方差分析(one-way ANOVA),以及最小显著差异法(LSD)。作图软件为 Origin 2018 和 Excel 2010。

3 结果与分析

3.1 蘸根处理对彰武松造林成活率的影响

通过比较不同处理对彰武松造林成活率变化(见

图 1)可知,处理后的造林成活率与对照组之间均存在显著性差异($p<0.05$)。其中 T_2 处理下的彰武松造林成活率最高,达 92.67%,高于对照组 17.80%,与 T_1 处理之间无显著性差异($p>0.05$),但与 T_3 处理之间存在显著性差异($p<0.05$),而 T_1 与 T_3 处理之间无显著性差异($p>0.05$)。



注:图中不同小写字母表示处理组间存在显著差异; T_1 为复合微生物菌剂; T_2 为 ABT 生根粉; T_3 为两者 1:1 混合;CK 为清水对照。下同。

图 1 蘸根处理对彰武松造林成活率的影响

3.2 蘸根处理对彰武松生长量的影响

通过比较不同处理对彰武松生长量差异(见图 2)可知,各处理后的苗高、地径、年均生长量与对照组之间均存在显著性差异($p<0.05$)。在苗高方面(图 2a), T_1 处理最大,达 135.78 cm,高于对照组 9.35%,与 T_2 处理无显著性差异($p>0.05$),但与 T_3 处理存在显著性差异($p<0.05$);在地径方面(图 2b), T_2 处理最大,达 2.53 cm,高于对照组 23.40%,与 T_1 处理无显著性差异($p>0.05$),但与 T_3 处理存在显著性差异,而 T_1 和 T_3 处理之间无显著性差异($p>0.05$);在年均生长量方面(图 2c), T_1 处理最大,达 29.91 cm,高于对照组 45.15%,与 T_2 处理无显著性差异($p>0.05$),而 T_2 与 T_3 处理之间存在显著性差异($p<0.05$)。

3.3 蘸根处理对彰武松生物量的影响

通过比较不同处理对彰武松生物量差异可知(图 3),各处理下的彰武松地上干物质量、地下干物质量和总干物质量与对照组之间均存在显著性差异($p<0.05$)。在地上干物质量方面(图 3a), T_1 处理最大,达 63.58 g,高于对照组 14.37%,与 T_2 和 T_3 处理均存在显著性差异($p<0.05$),但 T_2 和 T_3 处理之间无显著性差异($p>0.05$);在地下干物质量方面(图 3b), T_2 处理最大,达 24.62 g,高于对照组 19.40%,与 T_1 和 T_3 处理均存在显著性差异($p<0.05$),但 T_1 和 T_3 处理之

间无显著性差异($p>0.05$);在总干物质质量方面(图 3c), T_1 处理最大,达 86.64 g,高于对照组 16.75%,与

T_2 和 T_3 处理均存在显著性差异($p<0.05$),且 T_2 和 T_3 处理之间也存在显著性差异($p<0.05$)。

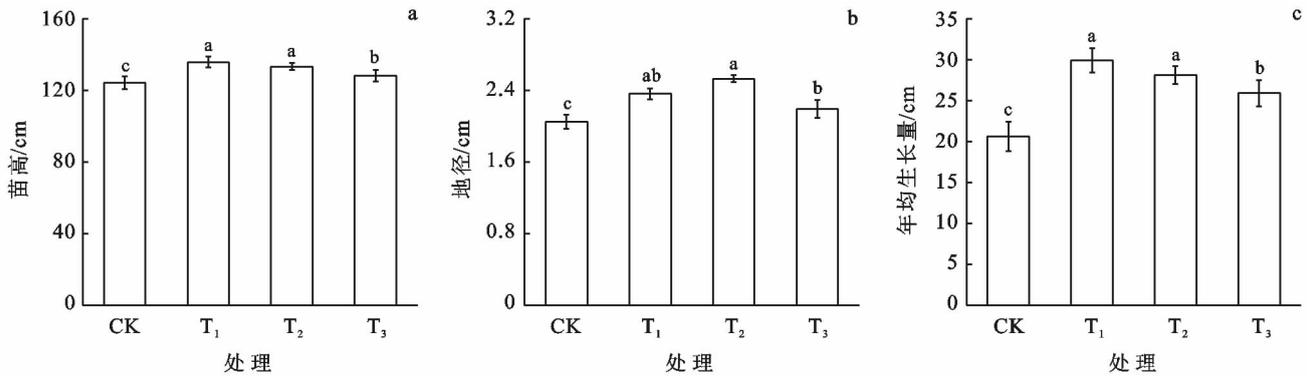


图 2 蘸根处理对彰武松生长量的影响

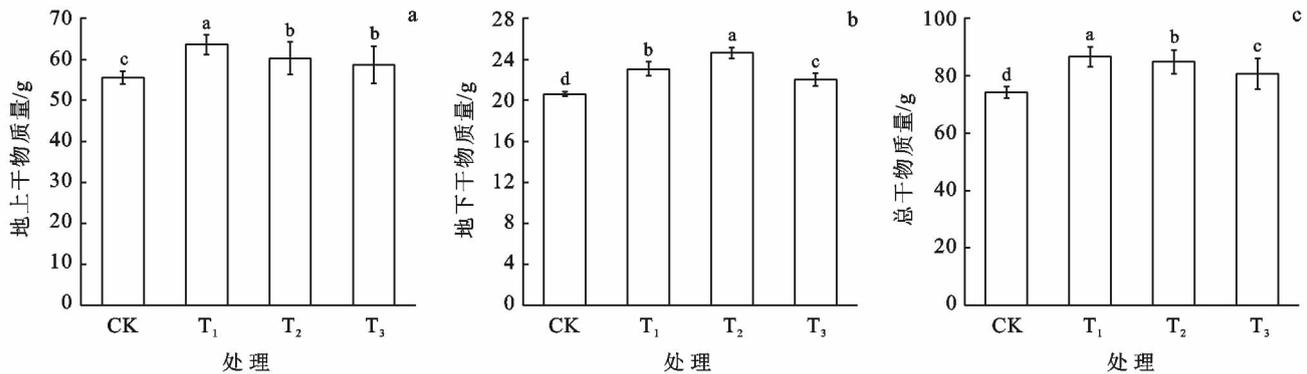


图 3 蘸根处理对彰武松生物量的影响

3.4 蘸根处理对彰武松叶片性状的影响

通过比较不同处理对彰武松叶片性状差异可知(图 4),各处理下的针叶厚度、针叶面积与对照组之间均存在显著性差异($p<0.05$)。在针叶厚度方面(图 4a), T_1 处理最大,达 0.74 mm,高于对照组 4.82%,与 T_2 处理无显著性差异($p<0.05$),但与 T_3 处理之间存在显著性差异($p<0.05$),而 T_2 和 T_3 处理之间无显著性差异($p>0.05$);在针叶面积方面(图 4b), T_1 处理最大,达 1.30 cm²,高于对照组 9.40%,与 T_2 和 T_3 处理均存在显著性差异($p<0.05$),但 T_2 和 T_3 处理之间无显著性差异($p>0.05$)。而各处理之间的针叶含水率(图 4c)均无显著性差异($p>0.05$)。

叶绿素是植物进行光合作用的重要场所,其含量的大小在一定程度上反应了彰武松生长的快慢。从图 4d 可知,彰武松叶绿素含量在 T_1 处理下最大,达 1.19 mg/g,高于对照组 23.21%,与其他处理均存在显著性差异($p<0.05$),而 T_2 与 T_3 处理之间无显著性差异($p>0.05$),但与对照组之间存在显著性差异($p<0.05$),

而 T_3 和对照组之间无显著性差异($p>0.05$)。

3.5 蘸根处理与常规造林成本比较

为了便于比较不同处理的造林成本,以单位 hm² 栽植苗木达到 100% 成活率(假设补栽一次后全部成活)的造林成本为例(见表 1)。从表 1 可知,由于对照组的造林成活率最低,故后期补植过程中的苗木费和人工费均要明显高于处理组,因此处理组减少投资在 17 750~32 000 元/hm²。而在材料费方面,对照组仅用了清水处理,由于这部分水费支出较少以至于可以忽略不计,故对照组的材料费用可以视为无任何支出,因此,处理组的增加投资在 11 100~26 750 元/hm²。在造林总成本方面, T_1 处理花费最低,低于 CK 处理 11 400 元/hm²; T_3 处理最高,高于 CK 处理 2 025 元/hm²。因此,结合以上分析可知,混施处理的造林成本不仅高于 2 种单施处理,而且还高于对照处理。而单施 ABT 生根粉或复合微生物菌剂不仅能够减少苗木损失、降低造林成本,而且可以加快成林步伐,改善局部区域环境,早日发挥其良好的生态效益。

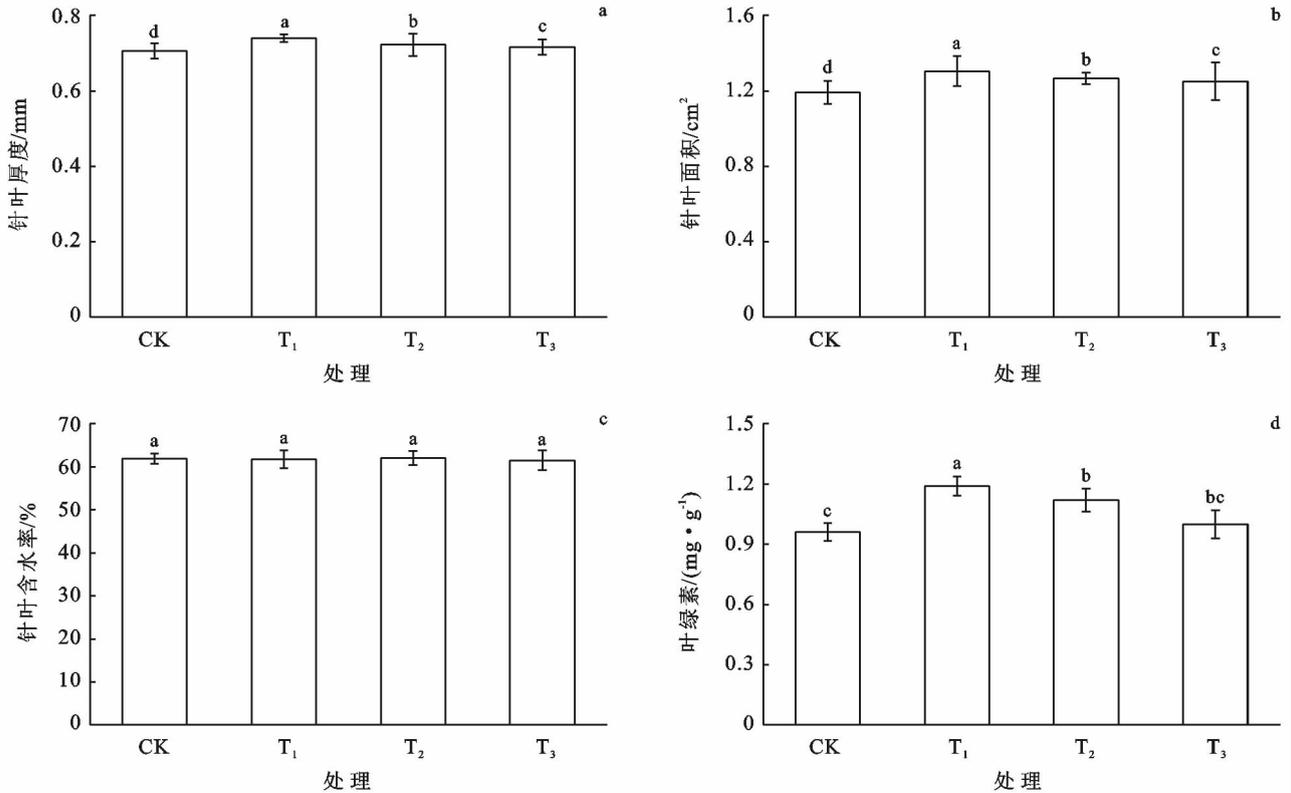


图 4 蘸根处理对彰武松叶片的影响

表 1 蘸根处理与常规造林成本比较

元/hm²

处理	林地租赁费	整地费	苗木费		人工费		材料费		总额
			造林	补植	造林	补植	造林	补植	
CK	10 000	5 000	175 000	37 345	37 500	11 250	0	0	276 095
T ₁	10 000	5 000	175 000	12 845	37 500	3 750	25 000	1 750	270 845
T ₂	10 000	5 000	175 000	19 845	37 500	6 250	10 000	1 100	264 695
T ₃	10 000	5 000	175 000	23 345	37 500	7 500	17 500	2 275	278 120

注:苗木费每株平均 35 元,按每 1 hm² 栽植 5 000 株计算。ABT-3 号生根粉和复合微生物菌剂市场售价分别按 20.0、50.0 元/g,人工费用按当地平均市价每人每天 150 元。

4 讨论和结论

4.1 讨论

根据中华人民共和国国家标准 GB/T15776-2016^[15] 中造林评价指标规定,在营造纯林小班时,干旱、高寒区、亚热带热带岩溶地区、干热(干旱)河谷等生态环境脆弱地带的造林成活率需在 70%(含)以上,其他地区造林成活率需在 85%(含)以上才算达到合格标准。而本研究中处理组的造林成活率均在 85% 以上,均达到了造林的合格标准,因此可认为本试验中的处理措施均可用于造林实践中。而在彰武松造林实践过程中,如果仅以较高的造林成活率为目标,那么理论上选择单施 ABT-3 号生根粉效果最好。但根据造林成活之后的苗木生长表现分析,单施复合微生物菌剂的综合效果要优于单施 ABT-3 号生根粉,而这种造林成活后的高品质林分才是林业生态恢复

工程中所需的。因此,在某种程度上表明本试验不同处理组之间造林成活率的显著性差异不仅代表了统计学意义,也为实践生产中综合选取造林方法及措施提供了重要参考^[16-17]。

研究结果表明,微生物菌剂和 ABT 生根粉能够显著提高苗木造林成活率,尤其是在幼龄苗栽植过程中,这与多数研究结果一致^[18-20]。微生物菌剂属于一种微生物肥料,含有的有益微生物不仅能够提高土壤孔隙度,改良土壤质地,提高肥料的利用效率,而且还具有降低生产成本、降解有机污染物及重金属污染等优点,尤其是在当下这种生态环境退化加剧的情况下,微生物菌剂的作用更加值得肯定^[21]。王国明等^[22] 研究了不同微生物菌剂及用量对普陀樟和红楠苗木的生长、生物量及养分状况的试验,表明不同微生物菌剂对普陀樟的高、茎、生物量无显著差异,但对红楠有显著增长,对两种植株的养分积累有显著提升

作用。结合本试验地块的土壤条件来看,微生物菌剂的养分积累作用可能是彰武松在成活后的生长表现优于 ABT 号生根粉的重要原因。

在林业生产中,常用一定浓度的酒精来配制 ABT-3 号生根粉溶液,虽然稀释后配制的 ABT-3 号生根粉溶液浓度比较低,但是考虑到微生物菌剂本身的特殊性^[23],将 ABT-3 号生根粉溶液和微生物菌剂混合后是否会影响微生物菌剂活性,或者是否会影响 ABT-3 号生根粉溶液本身的效果也不得而知。复合菌剂的组和成分繁杂多变,再加上微生物又容易受到群体结构和环境因素的影响,导致微生物菌剂的稳定性降低,从而使复合菌剂的保质期和应用效果受到影响。由于在复合菌系中各种微生物之间会发生相互作用,其代谢途径或代谢产物也可能产生差异,使得复合菌系的生长繁殖过程变得十分复杂^[24]。这些情况都可能是混施处理后彰武松苗木质量不如单施处理的原因,有待今后进一步研究。

而在造林成本方面,选用 ABT-3 号生根粉处理时造林成本能够达到最低支出,其主要原因在于此处理的苗木成活率最高,且材料费适中。但考虑到此林种的生态公益性,再加上造林后的苗木质量(苗高、年生长量、针叶性状等)并没有单施复合微生物菌剂效果出众,因此,选用何种处理进行造林时既要考虑到造林地所属情况,也要考虑地方政府补贴力度等方面,最大程度地发挥彰武松的生态及经济效益。

4.2 结论

在北京地区的彰武松蘸根造林试验中,单施 ABT-3 号生根粉处理下的地径、造林成活率和地下干物质量最佳,而在苗高、年生长量、地上干物质量、总干物质量、针叶形态和叶绿素含量方面,单施复合型微生物菌剂处理下的效果最佳,且显著高于 ABT-3 号生根粉、1:1 混施处理及对照组,造林成本仅次于 ABT-3 号生根粉。混合处理的各测定指标均低于单施处理,但高于对照处理。综合分析可知,在北京地区进行彰武松造林实践中,除了采用常规抚育管理外,建议合理使用复合微生物菌剂,这不仅能够提高造林成活率,而且还可以促进苗木生长发育、加快成林步伐、提高林分品质,最终达到改善首都区域环境的目标。

【参 考 文 献】

[1] 黄敬梅,王涛,郭硕. 2017 年岳城水库调水入京方案分析[J]. 北京水务, 2018(5): 1-6.

[2] 秦欢欢,赖冬蓉,万卫,等. 基于系统动力学的北京市需水量预测及缺水分析[J]. 科学技术与工程, 2018, 18(21): 175-182.

[3] 张树杰,黎承湘,袁晓颖. 赤松一新变种[J]. 植物研究, 1995, 15(3): 338-341.

[4] 孟鹏,李玉灵,张柏习. 盐碱胁迫下沙地彰武松和樟子松苗木生理特性[J]. 应用生态学报, 2013, 24(2): 359-365.

[5] 鄢鹏,朱媛君,张博,等. 彰武松在北京地区的嫁接繁育效果分析[J]. 林业科技通讯. 2019(7): 66-68.

[6] 戴文君. 微生物菌剂对望天树苗木生长及肥力效应的影响[D]. 南宁: 广西大学, 2018.

[7] Okon Y, Labandera-Gonzalez C A. Agronomic applications of azospirillum: An evaluation of 20 years worldwide field inoculation[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1994, 26(12): 1591-1601.

[8] 祝英,彭轶楠,巩晓芳,等. 不同微生物菌剂对当归苗生长及根际土微生物和养分的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2017, 23(3): 511-519.

[9] 文娅,赵国柱,周传斌,等. 生态工程领域微生物菌剂研究进展[J]. 生态学报, 2011, 31(20): 6287-6294.

[10] 韩恩贤,韩刚,薄颖生,等. ABT 生根粉油松蘸根造林试验研究[J]. 西北林学院学报, 2004, 19(4): 59-60, 176.

[11] 张晁明,徐先英,唐进年,等. ABT 生根粉在固沙造林中的应用[J]. 中国农学通报, 2006, 22(6): 133-136.

[12] 苏护春,黎茂彪,苏玉梅. ABT 生根粉在林木嫩枝扦插和苗木移栽应用的研究[J]. 华东森林经理, 2001, 15(2): 27-29.

[13] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.

[14] 陈宝玉,王志彬,张岩,等. 退耕还林工程中保水剂应用造林成本分析[J]. 水土保持通报, 2009, 29(5): 109-113.

[15] 国家质量监督检验检疫总局. 中华人民共和国出入境检验检疫行业标准(9)[M]. 北京: 中国标准出版社, 2012.

[16] 唐守正. 多元统计分析方法[M]. 北京: 中国林业出版社, 1986.

[17] 白厚义. 试验方法及统计分析[M]. 北京: 中国林业出版社, 2005.

[18] 宋占丽,刘彤,李宽亮,等. 生根粉对梭梭苗木根系生长及成活的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2012, 18(4): 610-616.

[19] 唐凤德,蔡天革,韩士杰,等. 生物制剂对沙地樟子松苗木成活生长及生理特征的影响[J]. 生态学报, 2009, 29(5): 2294-2303.

[20] 唐凤德,闫彩凤,韩士杰. 生物制剂对沙土樟子松幼苗光合特性及养分含量的影响[J]. 东北林业大学学报, 2009, 37(6): 7-9.

[21] 李慧文,向华. 微生物功能菌肥在重金属污染土壤改良中的应用研究[J]. 农业开发与装备, 2018(9): 66-68.

[22] 王国明,赵颖,王美琴,等. 微生物菌肥对普陀樟、红楠 2 个树种苗木生长及养分状况的影响[J]. 中国农学通报, 2016, 32(34): 7-14.

[23] 高峰,尤垂淮,刘朝科,等. 施用微生物菌剂对烤烟经济性状及其根际微生态变化的影响[J]. 福建农业学报, 2014, 29(12): 1230-1235.

[24] 杨艳红,王伯初,时兰春,等. 复合微生物制剂的综合利用研究进展[J]. 重庆大学学报: 自然科学版, 2003, 26(6): 81-85.