

# 松树截根菌根化育苗和造林的研究\*

花晓梅 刘国龙 张效林 余良富 曾平生 黄冬青

**摘要** 根据苗木根系分泌物能促进菌根真菌萌发和生长的原理,结合我国林业育苗的特点,提出了松树幼苗截根与人工接种菌根真菌结合的育苗方式。结果表明,截根菌根化育苗在促进根系发育和菌根形成,加速苗木生长,提高苗木生物量、苗木质量和产苗量等方面都有显著优势,苗木的侧根数、侧根总长、苗木菌根化率、吸收根菌根化率、苗高、地径、鲜重、干重分别提高 20.0%~960.0%、56.2%~389.5%、0.0%~400.0%、56.2%~1792.0%、22.3%~179.3%、31.2%~253.8%、33.3%~918.2%和 21.8%~740.0%,苗木成活率和 I 级苗分别提高 9.0%~22.1%和 49.3%~150.0%,II、III 级苗和等外苗分别降低 40.6%~77.3%、61.6%~88.5%和 82.5%~100.0%。利用截根菌根化苗木造林,提高成活保存率 5.5%~46.0%,并促进幼树生长,树高、地径和材积指数分别增加 13.0%~56.4%、25.5%~61.7%和 87.8%~450.0%。效益分析证明,截根菌根化育苗具有明显的经济效益和社会效益,仅苗期可定量计算的增收(节支)总额可达 44 662 元/hm<sup>2</sup>。

**关键词** 松树、截根苗、菌根接种、菌根化育苗

菌根化育苗技术是实现菌根在林业中应用的技术关键,发达国家(如美国),使用改装的播种机,在播种的同时播施菌根菌剂,或在播种后用改装的施肥机械将菌根菌剂施入苗床,进行松树大面积菌根化育苗<sup>[1]</sup>。1990 年以前我国尚无成熟的菌根化育苗技术<sup>[2]</sup>,此后,笔者根据苗木根系分泌物能促进菌根真菌萌发和生长的原理<sup>[3]</sup>,结合我国林业育苗的特点,在前期科研工作的基础上<sup>[4]</sup>,试图用幼苗截根与人工接种优良菌根真菌菌剂相结合的育苗方法,加速菌根的形成,促进苗木生长,培育菌根化壮苗,提高造林成活率和幼林生长,为菌根在林业中应用,提供一种简便、有效和可行的苗木菌根化方法。

## 1 试验地概况

试验地设在江西省分宜县中国林业科学研究院亚热带林业实验中心,地处 114°35' E, 27°40' N,年均气温 17.5℃,日均温度≥10℃的年积温度为 5 517.5℃,年降水量 1 593.7 mm,年日照 1 657.6 h。

育苗地位于山下林场场部附近的山麓,废弃农田。造林试验地在林场山下工区和树木园。工区为杉木人工林新伐造林地,海拔 100~210 m,坡向西北,坡度 20~30°,山地黄红壤,母岩为板页岩,pH4.5~6.0,土层厚 60~80 m,立地指数为 12;树木园为造林屡遭失败的荒地,立

1995-02-25 收稿。

花晓梅副研究员(中国林业科学研究院林业研究所 北京 100091);刘国龙、张效林、余良富、曾平生、黄冬青(中国林业科学研究院亚热带林业实验中心)。

\* 本文为“八五”国家科技攻关“湿地松、火炬松、马尾松、桉树和落叶松菌根应用技术研究”专题部分内容。

地指数 10 以下,土壤贫瘠,腐殖质含量低。

## 2 材料与方 法

### 2.1 树种与种苗

火炬松(*Pinus taeda* L.)、湿地松(*P. elliottii* Engelm.)和马尾松(*P. massoniana* Lamb.)种子,经表面消毒及催芽处理后,播种于控温(25~30 ℃)和控湿(相对湿度 60%~80%)砂床,萌发的幼苗用于菌根化育苗试验。

### 2.2 菌根接种体

彩色豆马勃(Pt)固体菌根菌剂,由中国林业科学研究院林木菌根研究开发中心提供。

### 2.3 截根接种试验

1991 年 4 月在大田苗圃,以截根菌根化育苗,截根移植育苗,不截根移植育苗,播种菌根化育苗,播种育苗及容器截根移植育苗六种处理,田间试验设计采用 3 次重复,完全随机区组排列。所用圃地和容器基质均用 2%硫酸亚铁对土壤进行处理,水溶液用量为 4.5 kg/m<sup>2</sup>。大田育苗试验筑高床(4.0 m×1.0 m×0.3 m),试验小区设在苗床中部,面积为 1 m<sup>2</sup>,四周有 0.5 m 隔离带,截根的方法是:将未长出初生叶和未发侧根的幼苗从根尖切去 1~2 cm(约为根长的 1/4~1/2),然后移植于容器或大田苗床。播种育苗方式按生产常规进行,于 3 月中旬播种。截根菌根化育苗的接种方法是:将切根处理后的幼苗随即移植于施入栽植穴内的菌剂上,菌剂施用量为 1 mL/株。播种菌根化育苗的接种方法是:模拟国外用机械播种菌根化育苗的方式,即在播种同时将菌剂按 1 L/m<sup>2</sup> 用量施于苗床。1992 年 4 月按同样的育苗措施进行截根菌根化和施肥育苗的对比试验,对前一年试验进行重复和补充。施肥种类及用量如下:钙镁磷 1 500 kg/hm<sup>2</sup>,复合肥料 750 kg/hm<sup>2</sup>,枯饼 1 500 kg/hm<sup>2</sup>。

### 2.4 调查和效应分析

育苗试验持续至翌年造林前(10 个月),各试验处理分别起苗,按普标进行苗木分级,从合格苗内随机取样 30 株,分别测量苗高、地径、主根长、侧根总长、侧根数、鲜重、干重,并根据菌根的形态,运用‘十分法’<sup>[5]</sup>,分别测定苗木吸收根自然感染菌根化率和人工接种菌根化率,计算吸收根总菌根化率和苗木菌根化率,进行菌根化效果分析。年终对截根菌根化苗木造林试验进行生长量测量,计算试验小区材积指数(PVI)<sup>[6]</sup>,并与截根移植苗木造林进行比较,用方差分析和新复距极差检验或多重比较法,进行差异显著性试验。计算育苗支出或增收(节支)值,进行经济效益分析。

## 3 结果和分 析

### 3.1 截根菌根化育苗对苗木根系发育和菌根化的影响

从表 1 可见,凡经截根处理培育的苗木主根较短,侧根丰富且较长,与未截根育苗和播种育苗培育的苗木有显著差异,说明通过幼苗截根可促进侧根发生和生长;截根菌根化苗木的主根虽然较短,但侧根的数量和总长明显大于其它处理。截根菌根化火炬松、湿地松苗木的侧根分别多达 18 条和 20 条,侧根总长分别为 207.0 cm 和 239.3 cm,与相应的其它育苗方式培育的苗木有显著差异。

表 1 不同育苗方式对苗木根系发育及菌根化的影响

树 种	试验处理	根 系 发 育			苗木菌根化率 (%)	吸收根总菌根化 率(%)
		主根长(cm)	侧根总长(cm)	侧根数(条)		
火炬松	截根菌根化育苗	7.0 c	207.0 a	18 a	100.0 a	94.6 a
	截根移植育苗	9.0 c	132.5 b	15 b	52.0 b	39.0 c
	不截根移植育苗	17.0 a	77.0 c	6 d	33.0 c	59.0 b
	播种菌根化育苗	14.0 b	80.5 c	5 d	100.0 a	62.0 b
	播 种 育 苗	15.0 b	50.0 d	4 d	30.0 c	17.0 d
	容器截根移植育苗	8.0 c	109.0 b	12 c	23.0 d	5.0 e
湿地松	截根菌根化育苗	8.0 d	239.3 a	20 a	100.0 a	92.9 a
	截根移植育苗	10.0 c	137.5 b	15 b	50.0 b	36.0 c
	不截根移植育苗	16.0 a	50.8 c	8 d	35.0 c	23.0 d
	播种菌根化育苗	12.0 b	55.3 c	6 d	100.0 a	53.5 b
	播 种 育 苗	10.0 c	48.0 c	5 d	40.0 c	15.0 de
	容器截根移植育苗	11.0 c	101.0 b	11 c	20.0 d	5.0 e

注:经新复极差检验,竖行同一树种不同英文字母表示差异显著( $P=0.05$ )。

从表 1 中还可可见,凡是人工接种菌根真菌进行菌根化育苗,无论是截根菌根化,还是播种菌根化,其苗木菌根化率和吸收根菌根化率均较高,分别为 100%和 60%以上,与未接种菌根真菌苗均有显著差异。在菌根化育苗中,不同菌根化方法其结果也有差异。表中还说明,虽然截根菌根化育苗与播种菌根化育苗的苗木菌根化率均为 100%,但其吸收根总菌根化率前者明显高于后者,说明幼苗截根与人工接种相结合的截根菌根化育苗方式,菌根化效果明显优于播种菌根化育苗方式。

为了清楚地表明截根菌根化育苗与其它处理方式所得结果的差异,按下式计算它们之间各项指标( $j$ )增长(或减少)的百分率:

$$P_{ij} = \Delta_{ij} \times 100/R_{ij} \quad (1)$$

$$\Delta_{ij} = R_{oj} - R_{ij} \quad (2)$$

式中: $i$ 为实验处理编号( $i=1,2,\dots$ ); $j$ 为比较项目; $R_{oj}$ 为截根菌根化 $j$ 项目所得结果; $R_{ij}$ 为其它处理 $i,j$ 项指标所得结果; $P_{ij}$ 为 $j$ 项指标截根菌根化对 $i$ 处理的增长率; $\Delta_{ij}$ 为 $j$ 项指标截根菌根化与 $i$ 处理的净增值。

从表 2 可见,所试两种松树的结果一致,截根菌根化育苗上述所有指标值均有较大幅度的增长,火炬松分别提高 20.0%~350.0%、56.2%~314.0%、0.0%~334.8%、52.6%~1792.0%;湿地松分别提高 33.3%~300.0%、74.0%~389.5%、0.0%~400.0%、73.6%~1758.0%。

表 2 截根菌根化育苗与其它育苗方式苗木根系发育及菌根化率比较

树 种	比较项目 $j$	结果 $i^{\text{①}}$									
		$\Delta_1$	$P_1(\%)$	$\Delta_2$	$P_2(\%)$	$\Delta_3$	$P_3(\%)$	$\Delta_4$	$P_4(\%)$	$\Delta_5$	$P_5(\%)$
火炬松	侧根数(条)	3	20.0	12	200.0	13	260.0	14	350.0	6	50.0
	侧根总长(cm)	74.5	56.2	130.0	168.8	126.5	157.1	157.0	314.0	98.0	89.9
	苗木菌根化率(%)	48.0	92.3	67.0	203.0	0.0	0.0	70.0	233.3	77.0	334.8
	吸收根总菌根化率(%)	55.6	142.6	35.6	60.3	32.6	52.6	77.6	456.5	89.6	1792.0
湿地松	侧根数(条)	5	33.3	12	150.0	14	233.3	15	300.0	9	81.8
	侧根总长(cm)	101.8	74.0	188.5	371.1	184.0	332.7	191.3	389.5	138.3	136.9
	苗木菌根化率(%)	50.0	100.0	65.0	185.7	0.0	0.0	60.0	150.0	80.0	400.0
	吸收根总菌根化率(%)	56.9	158.1	69.9	303.9	39.4	73.6	77.9	519.3	87.9	1758.0

① $i=1$ :截根移植育苗; $i=2$ :不截根移植育苗; $i=3$ :播种菌根化育苗; $i=4$ :播种育苗; $i=5$ :容器截根育苗。

### 3.2 截根菌根化育苗对苗木生长量的影响

从表3可见,对所试的两种松树来说,菌根化育苗和截根移植育苗与传统的播种育苗相比,有些苗木生长指标有显著和极显著差异;而其它育苗方式(如不截根移植育苗与播种育苗)相比,所有苗木生长指标均无差异,说明通过人工接种的菌根化育苗和截根移植育苗均对苗木生长确有促进作用;但是截根与人工接种相结合的截根菌根化育苗对苗木生长促进作用更大,各项指标均为所有育苗方式之冠,与传统播种育苗方式有极显著差异。从促进苗木生长作用的角度来说,截根菌根化育苗最佳,其次是播种菌根化育苗,以下依次为:截根移植育苗,容器截根育苗,不截根移植育苗,大田播种育苗最差。

表3 不同育苗方式对苗木生物产量的影响

树 种	试验处理	苗高(cm)		地径(cm)		鲜重(g)		干重(g)	
		$\bar{X}$	比值(%)	$\bar{X}$	比值(%)	$\bar{X}$	比值(%)	$\bar{X}$	比值(%)
火炬松	截根菌根化育苗	39.8**	156.1	9.2**	353.8	56.0**	1 018.2	21.0**	840.0
	截根移植育苗	30.0	117.6	5.6*	215.4	16.5*	300.0	7.2*	288.0
	不截根移植育苗	24.0	94.1	3.0	115.4	8.0	145.5	3.5	140.0
	播种菌根化育苗	28.5	111.8	5.6*	215.4	17.8*	323.6	10.0*	400.0
	播种育苗	25.5	100.0	2.6	100.0	5.5	100.0	2.5	100.0
	容器截根移植育苗	25.0	98.0	5.0*	192.3	14.0*	254.5	6.0	240.0
湿地松	截根菌根化育苗	34.6*	124.5	9.0**	300.0	56.4**	805.7	16.5**	412.5
	截根移植育苗	28.0	100.7	6.0*	200.0	19.5*	278.6	9.0*	225.0
	不截根移植育苗	28.0	100.7	3.5	116.7	12.4	177.1	6.5	162.5
	播种菌根化育苗	28.3	101.8	5.7*	190.0	17.4*	248.6	8.8*	220.0
	播种育苗	27.8	100.0	3.0	100.0	7.0	100.0	4.0	100.0
	容器截根移植育苗	27.0	97.1	5.5	183.3	18.0	257.1	7.5	187.5

注:经方差分析,\*\*表示差异极显著;\*表示差异显著。下同。

截根菌根化育苗和施肥育苗对比试验进一步证实截根菌根化对苗木生物产量的促进作用。从表4可见,截根菌根化育苗的各项苗木生长指标均高于截根施肥育苗和截根移植育苗。方差分析和多重比较表明,各树种处理间的苗高、地径和生物量的差异都达到显著水平(见表5,6)。从表6可见,三种松树的截根菌根化苗木的地径和苗高生长量都极显著地优于未菌根化的截根施肥和不施肥苗。这表明人工接种菌根真菌培育的菌根化苗木,具有菌根产生的综合有益效应。

表4 截根菌根化育苗与施肥育苗对比试验

树 种	处 理	苗高(cm)		地径(cm)		鲜重(g)		干重(g)	
		$\bar{X}$	比值(%)	$\bar{X}$	比值(%)	$\bar{X}$	比值(%)	$\bar{X}$	比值(%)
马尾松	截根菌根化育苗	17.1**	162.9	5.4**	180.0	26.0**	185.7	10.5**	198.1
	截根施肥育苗	12.5**	119.0	4.0*	133.3	15.0	107.1	6.0*	113.2
	截根育苗(对照)	10.5	100.0	3.0	100.0	14.0	100.0	5.3	100.0
火炬松	截根菌根化育苗	39.4**	271.7	8.0**	160.0	54.0**	218.6	19.5**	201.0
	截根施肥育苗	29.3**	202.1	6.1*	122.0	30.2*	122.3	11.0*	113.4
	截根育苗(对照)	14.5	100.0	5.0	100.0	24.7	100.0	9.7	100.0
湿地松	截根菌根化育苗	33.6**	297.3	9.1**	168.5	56.0**	143.6	16.2**	121.8
	截根施肥育苗	25.1**	222.9	6.3	116.7	42.0	107.7	13.5	101.5
	截根育苗(对照)	11.3	100.0	5.4	100.0	39.0	100.0	13.3	100.0

表 5 不同处理对三种松树苗高和地径的方差分析

树 种	SV	苗 高				地 径			
		SS	DF	MS	$F_{0.01}$	SS	DF	MS	$F_{0.01}$
马尾松	处理间	67.53	2	33.76	50.38**	8.69	2	4.35	39.5**
	重复间	12.48	2	6.24	9.31*	1.76	2	0.88	8.0*
	误 差	2.66	4	0.67		0.45	4	0.11	
	总变异	82.67	8			1.09	8		
火炬松	处理间	942.38	2	476.19	317.46**	14.21	2	7.11	71.1**
	重复间	4.85	2	2.43	1.62	0.53	2	0.27	2.7
	误 差	6.01	4	1.50		0.40	4	0.10	
	总变异	953.24	8			15.14	8		
湿地松	处理间	448.81	2	224.40	96.72**	21.48	2	10.74	59.7**
	重复间	14.99	2	7.50	3.23	1.31	2	0.66	3.7
	误 差	9.28	4	2.32		0.74	4	0.18	
	总变异	473.08	8			23.53	8		

表 6 不同处理对苗高和地径的多重比较

树 种	试验处理	t	苗 高			地 径		
			$\bar{X}_i$	$X_i - X_3$	$X_i - X_2$	$\bar{X}_i$	$X_i - X_3$	$X_i - X_2$
马尾松	截根菌根化育苗	1	17.1	6.6**	4.6**	5.4	2.4**	1.4**
	截根施肥育苗	2	12.5	2.0**		4.0	1.0*	
	截根育苗	3	10.5			3.0		
火炬松	截根菌根化育苗	1	39.4	24.9**	10.1**	8.0	0.3**	1.9**
	截根施肥育苗	2	29.3	14.8**		6.1	1.1*	
	截根育苗	3	14.5			5.0		
湿地松	截根菌根化育苗	1	33.6	22.3**	8.5**	9.1	3.7**	2.8**
	截根施肥育苗	2	25.1	13.8**		6.3	0.9	
	截根育苗	3	11.3			5.4		

### 3.3 截根菌根化育苗对苗木质量和产量的影响

试验调查中明显地观察到:截根菌根化试验区苗木生长粗壮、整齐,顶芽饱满,叶色深绿,根系发达,侧根多而长,吸收根菌根化率高,绝大部分为 I 级苗。从表 7 可见,截根菌根化育苗明显提高了苗木的质量和产量,马尾松、火炬松和湿地松苗木成活保存率分别为:96.0%、99.3%和 98.7%。用(1)、(2)式计算各项质量和产量指标的净增值 $\Delta_i$ 和增长率 $P_{ij}$ 。结果列于表 8~10。表 8 可见,两种国外松截根菌根化育苗与其它育苗方式相比,苗高、地径、鲜重和干重提高幅度分别为:22.3%~65.8%、50.0%~253.8%、189.2%~918.2%和 52.4%~740.0%。其中后三项增长更大,说明截根菌根化苗木形态匀称,具有较大的成活生长潜力。从表 9 可见,三种松树截根菌根化育苗与施肥育苗和截根常规育苗相比,也得出了同样的结论。这四项质量指标分别提高 33.9%~197.3%,31.2%~80.0%,33.3%~118.6%和 21.8%~101.0%。从表 10 可见,三种松树试验结果一致表明截根菌根化育苗明显地提高了苗木的成活保存率和苗木的等级。前两项为正增长,增长率分别为:9.0%~22.1%和 49.3%~150.0%;后三项为负增长,降低率分别为:40.6%~77.3%,69.1%~93.1%和 82.5%~100.0%。

表7 幼苗截根菌根化对苗木质量和产苗量的影响

树种	处理	苗木成活 保存率(%)	I级苗		II级苗		III级苗		等外苗	
			株数	百分率(%)	株数	百分率(%)	株数	百分率(%)	株数	百分率(%)
马尾松	截根菌根化育苗	96.0	237	82.3	43	14.9	5	1.7	3	1.1
	截根施肥育苗	82.7	112	45.2	79	31.8	41	16.7	16	6.3
	截根育苗(对照)	79.7	80	33.5	60	25.1	50	20.9	49	20.5
火炬松	截根菌根化育苗	99.3	269	90.3	24	8.0	5	1.7	0	0.0
	截根施肥育苗	91.1	151	60.5	77	31.1	14	5.5	7	2.9
	截根育苗(对照)	81.3	88	36.1	86	35.2	36	14.8	34	13.9
湿地松	截根菌根化育苗	98.7	257	86.8	35	11.9	4	1.3	0	0.0
	截根施肥育苗	90.2	125	46.2	98	36.1	34	12.6	12	5.1
	截根育苗(对照)	83.8	94	37.6	78	31.0	47	18.8	31	12.6

表8 截根菌根化育苗与其它育苗方式苗木质量比较

树种	比较项目 j	结果 $i^{\text{①}}$									
		$\Delta_1$	$P_1(\%)$	$\Delta_2$	$P_2(\%)$	$\Delta_3$	$P_3(\%)$	$\Delta_4$	$P_4(\%)$	$\Delta_5$	$P_5(\%)$
火炬松	苗高(cm)	9.8	32.7	15.8	65.8	11.3	39.6	14.3	56.1	14.8	59.2
	地径(mm)	3.6	64.3	6.2	206.7	3.6	64.3	6.6	253.8	4.2	84.0
	鲜重(g)	39.5	239.4	48.0	600.0	38.2	214.6	50.0	918.2	42.0	300.0
	干重(g)	13.8	191.7	17.5	500.0	11.0	52.4	18.5	740.0	15.0	250.0
湿地松	苗高(cm)	6.6	23.6	6.6	23.6	6.3	22.3	6.8	24.5	7.6	28.1
	地径(mm)	3.0	50.0	5.5	157.1	3.3	57.9	6.0	200.0	3.5	63.6
	鲜重(g)	36.9	189.2	44.0	354.8	39.0	224.1	49.4	705.7	38.4	213.3
	干重(g)	7.5	83.3	10.0	153.8	7.7	87.5	12.5	312.5	9.0	120.0

①同表2。

表9 截根菌根化育苗与施肥育苗苗木质量比较

树种	比较项目 j	结果 $i^{\text{①}}$			
		$\Delta_1$	$P_1(\%)$	$\Delta_2$	$P_2(\%)$
马尾松	苗高(cm)	4.6	36.8	6.6	62.9
	地径(mm)	1.4	35.0	2.4	80.0
	鲜重(g)	11.0	73.3	12.0	85.7
	干重(g)	4.5	75.0	5.2	98.1
火炬松	苗高(cm)	10.1	34.5	24.9	63.2
	地径(mm)	1.9	31.2	3.0	60.0
	鲜重(g)	23.8	78.8	29.3	118.6
	干重(g)	8.5	77.3	9.8	101.0
湿地松	苗高(cm)	8.5	33.9	22.3	197.3
	地径(mm)	2.8	44.4	3.7	68.5
	鲜重(g)	14.0	33.3	17.0	43.6
	干重(g)	2.7	26.0	2.9	21.8

①*i*=1:截根施肥育苗;*i*=2:截根育苗(对照)。

表10 截根菌根化育苗与其它育苗方式产量比较

树种	比较项目 j	结果 $i^{\text{①}}$			
		$\Delta_1$	$P_1(\%)$	$\Delta_2$	$P_2(\%)$
马尾松	苗木成活保存率	+13.3	+16.1	+16.3	+20.5
	I级苗百分率	+37.1	+82.1	+48.8	+145.7
	II级苗百分率	-16.9	-53.1	-10.2	-40.6
	III级苗百分率	-15.0	-87.0	-19.2	-76.5
	等外苗百分率	-5.2	-82.5	-19.4	-94.6
火炬松	苗木成活保存率	+8.2	+9.0	+18.0	+22.1
	I级苗百分率	+29.8	+49.3	+54.2	+150.1
	II级苗百分率	-23.1	-74.3	-27.2	-77.3
	III级苗百分率	-3.8	-69.1	-13.1	-88.5
	等外苗百分率	-2.9	-100.0	-13.9	-100.0
湿地松	苗木成活保存率	+8.5	+9.4	+14.9	+17.8
	I级苗百分率	+40.6	+87.9	+49.2	+130.9
	II级苗百分率	-24.2	-67.0	-19.1	-61.6
	III级苗百分率	-11.3	-89.7	-17.5	-93.1
	等外苗百分率	-5.1	-100.0	-12.6	-100.0

①同表9。

### 3.4 幼苗截根菌根化苗木造林效果

对1992年营造的三种松树截根菌根化试验林连续3a的观测结果表明:(1)第1年提高造林成活率,第2、3年提高幼树保存率。其增

长幅度为 5.5%~46.1%;(2)幼树生长整齐、饱满,树高和地径均明显高于对照,造林 3 a 内,树高、地径和材积指数增长幅度分别为:13.0%~56.4%、25.5%~61.7%和 87.8%~450.6%,其中材积指数增长率最高(见表 11)。(3)立地条件越差,截根菌根化苗木造林效果越显著。火炬松造林地设在立地条件较差的树木园,两年内,成活率、树高、地径和材积的增长率分别提高:45.2%~46.1%、44.2%~56.4%、45.6%~61.7%和 381.9%~450.6%。

表 11 松树截根菌根化苗木造林效果

树种	林龄 (a)	造林苗木	成活保存率(%)		树 高		地 径		小区材积指数	
			平 均 增 长	平 均 值	比 值	平 均 值	比 值	平 均 值	比 值	
			(%)	(cm)	(%)	(cm)	(%)	(cm <sup>3</sup> ×10 <sup>3</sup> )	(%)	
马尾松	1	截根菌根化苗木	98.3	106.0	54.2	118.3	1.57	140.2	13.13	246.3
		截根苗木	92.7	100.0	45.8	100.0	1.12	100.0	5.33	100.0
	2	截根菌根化苗木	95.0	111.8	113.8	121.2	3.30	146.7	117.73	291.3
		截根苗木	85.0	100.0	93.9	100.0	2.25	100.0	40.41	100.0
	3	截根菌根化苗木	95.0	111.8	178.0	114.1	5.00	148.0	422.75	279.1
		截根苗木	85.0	100.0	156.0	100.0	3.38	100.0	151.49	100.0
火炬松	1	截根菌根化苗木	90.0	145.2	60.2	156.4	1.31	145.6	9.30	481.9
		截根苗木	62.0	100.0	38.5	100.0	0.90	100.0	1.93	100.0
	2	截根菌根化苗木	87.8	146.1	137.0	144.2	2.91	161.7	101.86	550.6
		截根苗木	60.1	100.0	95.0	100.0	1.80	100.0	18.50	100.0
湿地松	1	截根菌根化苗木	99.5	105.5	75.7	113.0	2.41	125.5	43.75	187.8
		截根苗木 <sup>②</sup>	94.3	100.0	67.0	100.0	1.92	100.0	23.29	100.0
	2	截根菌根化苗木	95.8	108.7	183.0	122.0	6.39	149.3	715.84	218.4
		截根苗木	88.1	100.0	150.0	100.0	4.98	100.0	327.74	100.0
	3	截根菌根化苗木	95.8	108.7	292.0	129.2	10.14	150.4	2 876.23	318.0
		截根苗木	88.1	100.0	226.0	100.0	6.74	100.0	904.49	100.0

注:截根菌根化苗系以幼苗截根菌根化育苗方式培育出的 Pt 菌根化苗木;截根苗系以幼苗截根移植育苗方式培育出的与 Pt 菌根化苗木同等大小,具自然感染菌根的苗木。

### 3.5 经济效益分析

幼苗截根菌根化育苗经济效益显著,从表 12 可见,1 000 株国外松仅苗期可定量计算的增收(节支)总额为 99.25 元,产生经济效益为每公顷 44 662.5 元。从菌根化的角度来说,由于使尚未木栓化的根与菌根真菌菌丝体纯培养菌剂紧密接触,与发达国家采用的机械播种菌根化

表 12 国外松截根菌根化育苗经济效益分析

支出或增收(节支)项目	用量/1 000 株苗或增收(节支)百分率	单 价	支出或增收(节支)值(±元/1 000 株苗) <sup>①</sup>
菌剂费	1 L	20.00 元/L	-20.00
提高苗木质量		0.04 元/株	+40.00
提高产苗量	15.5%	0.09 元/株	+17.05
节约肥料	16.7 kg	0.50 元/kg	+8.35
节省施肥用工	1 工日	10.00 元/工日	+10.00
节约农药	50 g	10.00 元/kg	+0.50
节约施农药用工	1 工日	10.00 元/工日	+10.00
节约用种量	75% <sup>②</sup>	44.46 元/120 g	+33.35
增收(节支)总额		99.25 元/1 000 株(44 662.5 元/hm <sup>2</sup> )	

①支出为负值,增收(节支)为正值;②与传统的播种育苗相比。

相比,既缩短了菌剂在圃地单独滞留时间,提高菌根化效果,又使菌剂的使用相对集中,减少菌剂使用量,降低了菌根化育苗成本。此外,菌根化苗木质量明显优于非菌根化的常规苗,在条件较差的造林地上成活和生长的能力较强,因此,可提高造林成活率,提高幼林生长量,节省补植、施肥、病虫害防治、抚育费用都是其长期的经济效益。圃地和造林地上产生的菌根真菌子实体具有食用、药用和工业用价值,均为潜在的经济效益。

## 4 结论与讨论

(1)通过对三种松树不同育苗方式的对比试验,证明截根菌根化育苗能促进根系的发育和菌根的形成,加速苗木生长,提高苗木生物产量、苗木质量和产苗量。利用截根菌根化苗木造林可提高造林成活率和保存率,提高幼林生长量。可以肯定,这种育苗的方式是目前我国松树苗木菌根化的最好方式,其菌根化效果超过发达国家的机械播种菌根化育苗方式。

(2)截根菌根化育苗技术的关键是截根和人工接种菌根真菌,截根的长度、接种体种类及具体使用方法都是影响育苗效果的主要因子。由于幼苗截根形成伤口,因此,所用的接种体必须是筛选出的优良菌根真菌菌剂,既可缩短接种体萌发和生长时间,加速菌根的形成,又可避免杂菌和病原菌感染;接种时应使切口与接种体紧密接触,以提高接种效果。

(3)效益分析证明,截根菌根化育苗经济效益和社会效益极显著。其技术已达到实用水平。并已在我国世界银行贷款国家造林项目中推广使用,遍及我国南方12个省(区),实践证明只要严格按技术要求实施,均能取得理想效果。该项技术为营建松树速生丰产林,培育菌根化壮苗提供了切实可行的育苗方式。

## 参 考 文 献

- 1 Cordell E C. The application of *Pisolithus tinctorius* ectomycorrhizae in forest land and management. Proceedings of the 6th North American Conference on Mycorrhizae. Bend, Oregon, USA, 1985. 69~72.
- 2 花晓梅. 林木菌根化栽培技术. 北京:中国科技出版社,1993.
- 3 Angelo R. The Rhizosphere of Mycorrhizae. In: Marks G C, Kozlowski T T. (eds). Ectomycorrhizae—Their ecology and physiology. New York: Academic Press, 1973. 299~349.
- 4 花晓梅, Cordell C E. 彩色豆马勃菌剂的应用研究. 林业科学, 1990, 26(4): 374~377.
- 5 Robert Anderson, Elwin Stewart, Sager Krupa. A technique to quantify ectomycorrhizae on foerst tree. Proceedings of the third North American Conference on Mycorrhizae, 1977.
- 6 Sinclair W A. Marx D H. Evaluation of plant response to inoculation, In: Schenck(ed). Methods and principles of mycorrhizal research. The American Phytopathological Society, 1984. 165~174.



## Study on Mycorrhization of Pine in Nursery and Field by Cutting Primary Root Apex of Young Seedlings off

*Hua Xiaomei Liu Guolong Zhang Xiaolin Yu Lianfu  
Zeng Pingsheng Huang Dongqing*

**Abstract** Based on the principle that the exudation from root can stimulate the germination and growth of the mycorrhizal fungus, the method of growing pine seedlings by cutting their apexes off and inoculating with mycorrhizal fungus is proposed. The results show that the pine seedlings developed in this way can promote the development and growth of root system and ectomycorrhizae formation, increase the biomass of seedling and improve the quality and yield of plantable seedlings. The number and total length of lateral root, percent of seedlings with ectomycorrhizae, percent of feeding roots with ectomycorrhizae, height, root collar diameter, fresh and dry weight increased, on the average, by 20.0%~960.0%, 56.2%~389.5%, 0.0%~400.0%, 56.2%~1 792.0%, 22.3%~179.3%, 31.2%~253.8%, 33.3%~918.2% and 21.8%~740.0% respectively, and with the survival rate of seedlings and percent of the first grade seedlings increased by 9.0%~22.1% and 49.3%~150.0% respectively and percent of the second, third grade, and cull seedlings decreased by 40.6%~77.3%, 61.6%~88.5% and 82.5%~100.0% respectively. The survival rate, height, root collar diameter and volume index of the seedling increased, on the average, by 5.5%~46.0%, 13.0%~56.4%, 25.5%~61.7% and 87.8%~450.0% respectively. The benefit analysis confirms that the use of this method has significant economic and social benefits, with a countable value of ¥44 662.5 yuan/hm<sup>2</sup> in nursery alone.

**Key words** pine, cut root apex off, mycorrhizal inoculation, growing seedling with mycorrhizae

---

Hua Xiaomei, Associate Professor (The Research Institute of Forestry, CAF Beijing 100091); Liu Guolong, Zhang Xiaolin, Yu Lianfu, Zeng Pingsheng, Huang Dongqing (The Experimental Center of Subtropical Forestry, CAF).