

# 华南地区桉树/相思混交种植的林木生长效应<sup>\*</sup>

杨曾奖<sup>1\* 2</sup> 徐大平<sup>1</sup> 陈文平<sup>2</sup> 黄烈健<sup>1</sup> 李尚均<sup>2</sup> 陈 源<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> 中国林业科学研究院热带林业研究所, 广州 510520; <sup>2</sup> 雷州林业局林业科学研究所, 广东遂溪 524348)

**摘 要** 将桉树 U6 与厚荚相思按不同比例和不同模式进行混交种植, 测定二者的生长参数。结果表明 2~3 年生混交林中, 随着桉树比例的增大, 相思免受风害的效果越来越显著, 桉树/相思混交比例为 3:1 时, 风害率下降了 26.14%, 但不同处理间桉树或相思保存率没有显著差异。桉树/相思混交种植对相思生长有一定抑制作用, 混交林中相思胸径约为其纯林的 90%, 混交种植虽对桉树高生长影响不明显, 但对胸径生长有显著促进作用, 并随相思比例的增加而越发明显。6 年生的桉树/相思 1:1 混交林分, 桉树胸径 > 15 cm 所占比例达到了 32.1%, 而桉树纯林仅为 5.83%。桉树/相思 2:1 株间混交的种植模式使总生物量达到最大, 为 198.8 m<sup>3</sup> · hm<sup>-2</sup>, 是桉树纯林的 118.8%, 相思纯林的 169.9%。桉树与相思混交种植对大径材桉树的培育是一种理想的种植模式。

**关键词** 桉树 相思 混交林 生长效应

**文章编号** 1001-9332(2009)10-2339-06 **中图分类号** S718 **文献标识码** A

**Growth effect of eucalyptus-acacia mixed plantation in South China.** YANG Zeng-jiang<sup>1</sup>, XU Da-ping<sup>1</sup>, CHEN Wen-ping<sup>2</sup>, HUANG Lie-jian<sup>1</sup>, LI Shang-jun<sup>2</sup>, CHEN Yuan<sup>2</sup>(<sup>1</sup>Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou 510520, China; <sup>2</sup>Institute of Forestry, Leizhou Forestry Bureau, Suixi 524348, Guangdong, China). -Chin. J. Appl. Ecol. 2009 20(10): 2339-2344.

**Abstract:** *Eucalyptus* U6 and *Acacia crassicaarpa* were mixed planted with different ratios and modes to investigate the growth parameters of the two tree species. In the 2-3 years old mixed plantation, the wind-throw of *A. crassicaarpa* decreased markedly with increasing ratio of *Eucalyptus* U6, the decrement being 26.14% when the *Eucalyptus* U6/*A. crassicaarpa* ratio was 3:1, but the survival rates of *Eucalyptus* U6 and *A. crassicaarpa* had no significant difference under different planting modes. Mixed planting retarded the *A. crassicaarpa* growth to some extent, with the DBH being 90% of that in pure *A. crassicaarpa* stand. The mixed planting had little effects on the height growth of *Eucalyptus* U6, but promoted its DBH growth markedly, and the beneficial effect increased with increasing ratio of *A. crassicaarpa*. In the 6 years old 1:1 *Eucalyptus* U6/*A. crassicaarpa* plantation, the *Eucalyptus* U6 individuals with DBH > 15 cm occupied 32.1%; while in pure *Eucalyptus* U6 stand, they only accounted for 5.83%. Mixed planting with 2:1 *Eucalyptus* U6/*A. crassicaarpa* could obtain a maximum total biomass of 198.8 m<sup>3</sup> · hm<sup>-2</sup>, which was 118.8% of the total biomass in pure *Eucalyptus* U6 stand, or 169.9% of that in pure *A. crassicaarpa* stand. Mixture of *Eucalyptus* with *Acacia* would be a good choice to produce *Eucalyptus* trees with larger DBH.

**Key words:** *Eucalyptus*; *Acacia*; mixed plantation; growth effect.

随着我国经济的快速发展,市场对木材的需求迅速增加。近年末,一些速生树种在南方大面积种植,其中桉树(*Eucalyptus* spp.)人工林最具代表性。当前,南方的桉树种植面积已超过 1.5 × 10<sup>6</sup>

hm<sup>2</sup>[1-2],而且,在国家利林政策的促进以及金光和斯道拉恩索两大国际浆纸集团的带动下,桉树种植业发展更为迅速,每年新增桉树人工林面积超过 10 × 10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>[3],大量丘陵山地被种上品种各异的桉树人工林。由于土地资源的限制,当前南方桉树人工林都进行连栽种植,然而,桉树纯林连栽将导致严重的地力衰退和生产力下降等问题[4-7],随连栽代次

\* 国家“十一五”林业科技支撑计划项目(2006BAD24B0203)和雷州林业局专项研究基金项目(1999-03)资助。  
\* \* 通讯作者。E-mail: yzengjiang@126.com  
2009-04-01 收稿, 2009-07-29 接受。

的增加产量明显逐代下降<sup>[8]</sup>,成为桉树种植业发展的障碍<sup>[9-10]</sup>.因此,如何有效提高桉树人工林生产力、防止地力衰退、建立可持续发展的桉树种植业已成为一个重要的研究课题.

为解决人工纯林存在的严重生态问题,我国南方逐步建立了人工混交林.在生态公益林建设中,人工混交林生态系统显示出了明显优势,其生物多样性上升、土壤肥力提高、系统稳定性增加<sup>[11]</sup>.在优良的混交林生态系统中,具固氮能力的豆科植物起到了重要作用.相思类(*Acacia* spp.)树木是其典型代表,常用于混交林的建设,不仅具有较高的经济价值,且枯枝落叶量大、易于腐烂、富含养分,特别是富含氮素,是改良土壤理化性质的理想树种<sup>[12-14]</sup>.相思同时是热带亚热带地区继桉树之后的第二大速生用材林树种<sup>[1]</sup>.以往的一些试验表明,桉树与相思混交能有效提高林地土壤肥力和林地生产力,改良桉树连栽地生态环境质量,维持桉树林持续速生高产<sup>[15-16]</sup>.然而,桉树与相思的混交种植中尚有许多问题未得到解决,如合理的混交比例、混交模式以及生产上可行的管理措施等.为此,本文从1999年开始了为期6年的桉树/相思混交试验,旨在检验混交种植对各自树种生长以及混交林系统对抗风害能力的影响.

1 研究地区与研究方法

1.1 试验地概况

主试验区位于广东省雷州林业局唐家林场草地林队1028号小班(20°21' N, 110°1' E).该地区属南亚热带湿润性季风气候,年均气温23.5℃,7月平均气温28.9℃,1月平均气温16.4℃,光照充足,全年无霜.年降雨量1880 mm,年均降雨日数135 d.干湿季节明显,雨季为5—9月,降雨占年降雨量的85%,以南风为主;旱季为11月至次年3月,以北风为主.年蒸发量770 mm,相对湿度85%.

试验地为玄武岩发育的厚层玄武岩砖红壤,受母质的影响,孔隙度发达,渗透性、通气性较好,底土保湿性较好,抗旱能力较强.土壤暗红棕色,质地轻粘,土壤较肥沃,试验地土壤剖面化学性质见文献[17].

副试验区位于雷州林业局石岭林场(21°36' N, 110°03' E),距主试区约200 km,同属热带北缘海洋性季风气候,高温多湿,降雨量分配不均,干湿季明显.6—11月为热带风暴和台风季节.系低丘台地,成土母质为花岗岩,热带土壤特征明显,风化强烈,

土层深厚,高度富铝化,强酸性,盐基不饱和.

1.2 研究方法

试验用广泛种植的桉树U6与厚荚相思(*Acacia crassicarpa*)进行混交. U6为无性系扦插苗,厚荚相思为实生苗,苗龄均为2个月,选择20 cm高、均匀一致苗木用于试验.试验安排不同混交比例和模式处理共10个,分别为:T<sub>1</sub>(1行U6+1行厚荚);T<sub>2</sub>(2行U6+1行厚荚);T<sub>3</sub>(3行U6+1行厚荚);T<sub>4</sub>(3行U6+2行厚荚);T<sub>5</sub>(1株U6+1株厚荚);T<sub>6</sub>(2株U6+1株厚荚);T<sub>7</sub>(3株U6+1株厚荚);T<sub>8</sub>(3株U6+2株厚荚);T<sub>9</sub>(U6纯林);T<sub>10</sub>(厚荚相思纯林).4次重复,随机区组排列.试验地都为平坦的桉树采伐迹地,机耕全垦开沟后于1999年4月造林,各小区成活率达到98%.种植前每株施海泥0.5 kg、糖厂滤泥1.5 kg、过磷酸钙150 g,造林当年追施尿素和氯化钾各50 g.造林株行距为1.3 m×2.7 m,每小区面积0.06 hm<sup>2</sup>,种植株数为180株,试验合计40个小区,面积2.52 hm<sup>2</sup>.每年定期进行生长观测,采用每木检测,每小区有效观测株数为30株.

1.3 数据处理

材积计算公式:

$$\begin{aligned} V_{\text{桉树}} &= 0.00004D^2H \\ V_{\text{相思}} &= 0.010633 - 0.0000428D^2 + \\ &\quad 0.0000263D^2H \end{aligned}$$

式中:D为胸径(cm);H为树高(m).

对主要生长参数进行单因素方差分析,对有显著差异的参数,利用LSD进行多重比较.采用SPSS 12.5统计软件对数据进行统计分析.

2 结果与分析

2.1 混交种植对厚荚相思抗风能力的影响

厚荚相思抗风力弱是多台风地区推广种植的主要限制因子.石岭林场试验林2001年经历过一场7.5级的热带风暴,不同混交方式相思风害率调查结果(表1)表明,桉树/相思混交种植能明显提高其抗风能力.随桉树所占比例的增大,相思的风害率明显下降.与相思纯林相比,桉树/相思混交比例为1:1、2:1和3:1时,其风害率分别下降6.06%、11.25%和26.14%,差异达显著或极显著.而行间和株间混交平均风害率分别为48.81%和45.97%,株间混交更有利于相思减少风害,其风害率下降了2.84%.2年生幼林的风害率以风倒为主,占78.93%,风折率为21.07%.当地选育的桉树无性系U6的抗风能力较好,各处理风害率均低于5%.

表 1 不同混交方式的相思风害率  
Tab.1 Windthrow rate of *Acacia* trees in different mixing modes ( % )

桉树/相思混交方式 Mixed mode ( <i>Ecalyptus/Acacia</i> )	混交比例 Mixed ratio	石岭林场 2 年生林分 Shiling Forest Farm ( 2-year old )			唐家林场 3 年生林分 Tangjia Forest Farm ( 3-year old )		
		风害率 <sup>1)</sup>	风倒率	折断率	风害率	风倒率	折断率
		Rate of wind damage	Rate of wind down	Rate of wind broken	Rate of wind damage	Rate of wind down	Rate of wind broken
行间混交	1:1	50.68 *	41.10	9.59	41.94 *	24.19	17.74
Mixed between the lines	2:1	47.30 * *	40.54	6.76	39.06 * *	25.00	14.06
	3:1	37.14 * *	28.57	8.57	32.31 * *	20.00	12.31
	3:2	48.75 *	38.75	10.00	39.44 * *	21.13	18.31
	平均 Average	45.97	37.24	8.73	38.19	22.58	15.61
株间混交	1:1	51.81 *	39.76	12.05	45.21 *	24.66	20.55
Mixed between the trees	2:1	49.52 *	38.10	11.43	42.39 * *	22.83	19.57
	3:1	43.44 * *	34.43	9.02	39.47 * *	26.32	13.16
	3:2	50.47 *	38.32	12.15	44.86 * *	26.17	18.69
	平均 Average	48.81	37.65	11.16	42.98	25.00	17.99
相思纯林 Pure <i>Acacia</i> stand		54.55	42.73	11.82	50.00	31.00	19.00
平均 Average		48.18	38.03	10.15	41.63	24.59	17.04

1 )树干与地面夹角 <45°记为风倒 The angle between the trunk and the ground was less than 45° was recorded as the wind down. \*  $P < 0.05$  ; \* \*  $P < 0.01$ .

唐家林场 3 年生的林分经过 11 级风力影响的风害调查结果具有相同的规律,只是风害中风折的比例提高到 40.94%。说明处于上层林冠的桉树对相思起有显著的保护作用。随林龄增加,相思和桉树的风倒率均显著减少,抗风力有所增强。

2.2 混交种植对树木保存率的影响

风害可以使树木斜倒、折断,甚至连根翻起,造成树木死亡而影响保存率。表 2 显示,3 年生时,两试验林桉树和相思的平均保存率分别为 92.30% 和 87.79%,对比桉树,相思保存率减少了 4.51%。不同试验地中,受台风影响较大的唐家林场的桉树和相思保存率(90.62%、84.92%)都低于靠近内陆的石岭林场(93.98%、90.83%)。随桉树所占比例增加,相思保存率呈下降趋势。桉树/相思混交比例分别为 1:1、2:1、3:1 时,相思保存率分别为 91.32%、90.94% 和 86.08%。说明台风影响树种保存率的同时,树种自身特性、混交比例和混交方式也对伴生的

相思树种保存率产生一定影响,过度的遮光易于造成部分相思的死亡而降低其保存率。但不同处理间桉树和相思保存率均未达到显著性差异。

2.3 混交种植对相思和桉树生长的影响

表 3 结果表明,在石岭和唐家林场,混交林中相思的胸径分别是其纯林的 87.75% 和 90.71%,无论何种混交方式和比例,桉树和相思混交种植都使相思的树高、胸径生长明显受到抑制,并造成高/径值明显增大、径粗变小。石岭林场桉树/相思混交比例 1:1 和 3:1 处理中,相思高/径值为 112.5 和 113.1,而相思纯林的高/径值仅为 102.9;在唐家林场的试验有着相同规律,分别为 121.2 和 122.3,相思纯林为 109.7。统计结果表明,相思纯林和混交林高/径值的差异达显著水平,混交方式和比例间的差异则不明显,说明在造林密度 1.3 m × 2.7 m 的混交林中,桉树/相思 1:1 混交已明显地影响伴生树种相思的生长。

表 2 3 年生不同桉树/相思混交方式林分保存率  
Tab.2 Survival rate of trees in different mixing modes of 3-year old *Eucalyptus* and *Acacia* ( % )

地点 Site	树种 Species	行间混交 Mixed between the lines				株间混交 Mixed between the trees				纯林 Pure stand
		1:1	2:1	3:1	3:2	1:1	2:1	3:1	3:2	
石岭 Shiling	桉树 <i>Eucalyptus</i>	95.00	93.33	91.67	90.83	96.67	95.00	97.50	95.00	90.83
	相思 <i>Acacia</i>	86.67	93.33	91.67	85.00	94.17	97.78	90.42	93.33	85.00
唐家 Tangjia	桉树 <i>Eucalyptus</i>	95.56	94.44	92.22	84.44	90.00	90.00	88.89	86.67	93.33
	相思 <i>Acacia</i>	91.11	84.22	76.89	79.44	93.33	88.44	85.33	88.89	76.67

表 3 不同桉树/相思混交方式树种生长表现\*  
Tab.3 Growth parameters of trees in different mixing modes of *Acacia* and *Eucalyptus*

桉树/相思混交方式 Mixed way ( <i>Eucalyptus</i> / <i>Acacia</i> )	混交比例 Mixed ratio	石岭(4年生) Shiling(4-year old)						唐家林(6年生) Tangjia(6-year old)					
		桉树 <i>Eucalyptus</i>			相思 <i>Acacia</i>			桉树 <i>Eucalytus</i>			相思 <i>Acacia</i>		
		H(m)	D <sub>1.3</sub> (cm)	H(m)	D <sub>1.3</sub> (cm)	H/D		H(m)	D <sub>1.3</sub> (cm)	H(m)	D <sub>1.3</sub> (cm)	H/D	
行间混交	1:1	15.63	11.43b	9.36	8.61	108.7		17.33	12.64a	11.91	9.79	121.6	
Mixed between the lines	2:1	15.88	10.98bc	10.20	9.30	109.7		16.80	11.69b	11.74	9.51	123.5	
	3:1	15.08	10.40bc	9.46	8.95	105.7		16.64	11.56bc	11.57	9.26	124.9	
	3:2	14.98	11.02b	10.58	9.30	113.7		16.63	11.71b	11.71	9.94	117.8	
株间混交	1:1	16.23	12.38a	9.95	8.56	116.3		17.50	13.21a	11.90	9.86	120.8	
Mixed between the trees	2:1	16.2	11.55b	10.53	9.13	115.4		17.12	12.42a	12.17	10.00	121.7	
	3:1	14.98	11.28b	10.25	8.51	120.4		16.57	11.59b	11.88	9.93	119.6	
	3:2	14.88	11.05b	9.88	8.95	110.4		17.25	12.37a	11.93	9.79	121.8	
相思纯林				11.43	11.10	102.9				11.81	10.76	109.7	
Pure <i>Acacia</i> stand													
桉树纯林		14.83	10.31c					15.74	11.04c				
Pure <i>Eucalyptus</i> stand													
平均 Average		15.41	11.15	10.18	9.17	111.2		16.84	12.03	11.85	9.87	120.0	

\* 同列数据中不同字母表示差异显著(  $P < 0.05$  )Different letters in the same column indicated statistically difference at 0.05 level.

4年生石岭试验林桉树高15.41 m、相思10.18 m,6年生唐家试验林桉树高16.84 m、相思高11.85 m,说明桉树U6无性系和厚荚相思形成了明显的上下林冠层.这有利于对空间和光能的充分利用.

混交对桉树的高生长影响不明显,但对胸径的影响极显著(唐家  $F = 5.22 > F_{0.01} = 3.26$ ,石岭  $F = 4.82 > F_{0.01} = 3.26$ ),混交相思所占比例越大,对桉树胸径的促进作用越大.以6年生的唐家林分为例,桉树/相思混交比例1:1、2:1、3:1和桉树纯林,桉树平均胸径为12.93、12.06、11.58和11.04 cm.混交方式中以株间混交相对更为理想,但其差异未达到统计意义上的显著水平.由于相思的混交促进了桉树的粗生长,6年生林分不同处理  $D_{1.3} > 15$  cm所占比例直观图(图1)充分说明桉树相思混交对桉树大

径材的培育是一种理想的种植模式,特别是1:1混交后,6年生  $D_{1.3} > 15$  cm所占比例达到了32.1%,桉树纯林仅为5.83%.

2.4 混交种植对材积的影响

作为商品用材的人工林,其经营的核心问题是最终收获的材积和市场价值.由表4可以看出,随桉树所占比例增大,其产量逐渐增加,以唐家试验点为例,桉树相思比例1:1、2:1、3:1和3:2的处理,桉树产量分别为135.0、152.5、154.6和136.69  $m^3 \cdot hm^{-2}$ ,桉树纯林为177.8  $m^3 \cdot hm^{-2}$ ,而其总产量则分别为186.6、186.4、179.3、183.1、177.8  $m^3 \cdot hm^{-2}$ ,相思纯林仅为117.0  $m^3 \cdot hm^{-2}$ ,以桉树/相思1:1和2:1混交林产量最大.其中以行间混交(2:1)最理想,产量最大值达到198.8  $m^3 \cdot hm^{-2}$ (MAI=2.21),为桉树纯林的118.8%,相思纯林的169.9%.

表 4 唐家林场桉树-相思 6 年生混交林生长状况  
Tab.4 Growth parameters of trees in different mixing modes of 6-year old *Acacia* and *Eucalyptus*

桉树/相思 混交方式 Mixed way ( <i>Eucalyptus</i> / <i>Acacia</i> )	混交比例 Mixed ratio	桉树 <i>Eucalyptus</i>				相思材积 <i>Acacia</i> volume ( $m^3 \cdot hm^{-2}$ )	混交林总材积 Gross volume ( $m^3 \cdot hm^{-2}$ )	>15 cm 胸径桉树 所占比例(%) Proportion of <i>Eucalyptus</i> trees with DBH > 15 cm
		树高 Tree height (m)	胸径 DBH (cm)	单株材积 Volume per plant ( $m^3$ )	材积 volume ( $m^3 \cdot hm^{-2}$ )			
行间混交	1:1	17.33	12.64	0.091	128.23	51.31	179.54	31.67
Mixed between the lines	2:1	16.80	11.69	0.076	141.83	32.16	173.99	12.50
	3:1	16.64	11.56	0.073	154.42	23.22	177.64	10.83
	3:2	16.63	11.71	0.075	126.74	41.37	168.11	12.50
株间混交	1:1	17.50	13.21	0.101	141.85	51.81	193.66**	32.50
Mixed between the trees	2:1	17.12	12.42	0.087	163.19	35.57	198.76**	21.67
	3:1	16.57	11.59	0.074	154.85	26.14	180.99	8.33
	3:2	17.25	12.37	0.087	146.63	51.44	198.07**	20.83
桉树 <i>Eucalyptus</i>		15.74	11.04	0.063	177.81	—	177.81	5.83
相思 <i>Acacia</i>		11.81	10.76	0.042	—	116.99	116.99	—

\*\*  $P < 0.01$ .

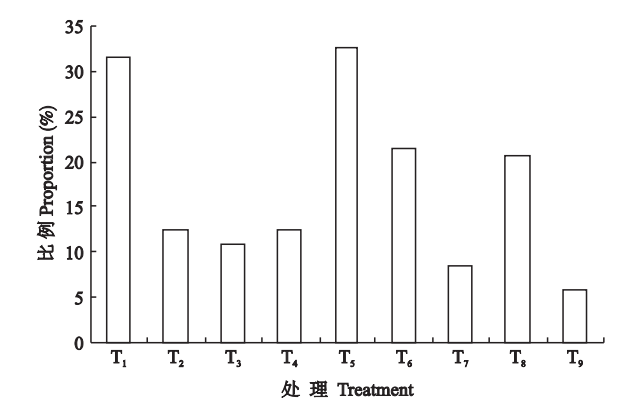


图1 > 15 cm 胸径桉树所占比例

Fig.1 Proportion of eucalyptus trees with DBH > 15 cm.

T<sub>1</sub>: 桉树/相思 1:1 行间混交 E( *Eucalyptus* )/A( *Acacia* ) 1:1 row to row mixing; T<sub>2</sub>: 桉树/相思 2:1 行间混交 E/A 2:1 row to row mixing; T<sub>3</sub>: 桉树/相思 3:1 行间混交 E/A 3:1 row to row mixing; T<sub>4</sub>: 桉树/相思 3:2 行间混交 E/A 3:2 row to row mixing; T<sub>5</sub>: 桉树/相思 1:1 株间混交 E/A 1:1 tree to tree mixing; T<sub>6</sub>: 桉树/相思 2:1 株间混交 E/A 2:1 tree to tree mixing; T<sub>7</sub>: 桉树/相思 3:1 行间混交 E/A 3:1 tree to tree mixing; T<sub>8</sub>: 桉树/相思 3:2 株间混交 E/A 3:2 tree to tree mixing; T<sub>9</sub>: 桉树纯林 Pure *Eucalyptus* stand.

### 3 讨 论

桉树与相思混交种植使相思的风害率明显下降。桉树/相思混交比例为 3:1 时,风害率下降了 26.14%,株间混交和行间混交的差异不明显,但有株间混交更为理想的趋势。肖文光等<sup>[16]</sup>研究认为,厚荚相思与尾叶桉行间混交能大大减轻厚荚相思的风害程度,带状混交的效果则较微。厚荚相思的幼林期风害率比成林稍高,生物量较大的尾叶桉比生物量小的雷林一号桉对相思的庇护作用更大。这与本试验的结果一致,即随桉树所占比例增大,相思免受风害的效果越来越显著,说明相思受保护的效果与混交种植的桉树品种和比例相关。

桉树/相思混交种植在一定程度上抑制了相思的生长。由于桉树的速生能力强,1 年生时,桉树的高生长达到 5.89 m,相思仅为 4.10 m。前期速生高生长有明显优势的桉树占据了上层空间成为优势木,生长相对较慢的相思成了受压的下层。为了尽可能地向上争得更多的空间和阳光,迫使相思努力向上生长,造成了相思高/径值明显变大的情况,为相思生产良好用材提供了条件。

混交林中相思胸径约为其纯林的 90%,混交相思虽对桉树的高生长影响不明显,但使桉树胸径提高了 4.8%~17.1%。唐家林场 6 年生试验林中,2:1 株间混交模式使总产量达到了 198.8 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>,是桉树纯林的 118.8%,相思纯林的 169.9%,

被认为是最理想的混交种植模式。肖文光等<sup>[15]</sup>的试验结果表明,对比桉树纯林,尾叶桉/厚荚相思行间混交群体生物量增加 36.6%,4 年生时凋落物干质量增加了 31%。

从混交林的营造角度看,桉树和厚荚相思能形成明显的上下林冠层,4 年生石岭试验林中桉树树高 15.41 m、相思 10.18 m,6 年生唐家试验林桉树高 16.84 m、相思 11.85 m,5 m 的高差对空间和光能的充分利用是十分有利的。说明以桉树作为目的树种,厚荚相思作伴生树种是可行的。同时,相思具有固氮能力和大量的枯枝落叶,对地力的维持有较理想的效果<sup>[15,17-18]</sup>。因此,桉树/相思混交种植模式值得在桉树产业发展中加以推广应用。

### 参考文献

[1] Xu D-P(徐大平). The fast growing and high yield eucalyptus forest is a necessary choice for China's forestry-pulp-paper integration. *China Pulp & Paper Industry* (中华纸业), 2006, 27(4): 14-15 (in Chinese)

[2] Xu J-M(徐建民), Bai J-Y(白嘉雨), Lu Z-H(陆钊华). Some sustainable strategies of improvement and breeding for eucalyptus tree species in southern China. *Forest Research* (林业科学研究), 2001, 14(6): 587-594 (in Chinese)

[3] Yu F-K(于福科), Huang X-H(黄新会), Wang K-Q(王克勤), et al. An overview of ecological degradation and restoration of Eucalyptus plantation. *Chinese Journal of Eco-Agriculture* (中国生态农业学报), 2009, 17(2): 393-398 (in Chinese)

[4] Liao G-R(廖观荣). Review of researches on soil problems of eucalyptus plantation sites in China. *Ecology and Environment* (生态环境), 2003, 12(1): 119-121 (in Chinese)

[5] Liao G-R(廖观荣), Lin S-R(林书蓉), Li S-Y(李淑仪), et al. Causes and control of land capacity degeneration of eucalyptus plantations in Leizhou Peninsula. *Soil and Environmental Sciences* (土壤与环境), 2002, 11(3): 268-273 (in Chinese)

[6] Hu Y-L(胡曰利), Wu X-F(吴晓芙), Wang S-M(王尚明), et al. The degradation and protection of soil organic matter and nutrient pool under artificial eucalyptus forest. *Journal of Central South Forestry University* (中南林学院学报), 2000, 20(4): 36-40 (in Chinese)

[7] Huang Y-M(黄玉梅). Soil degradation of eucalyptus plantation and cause analysis. *Journal of West China Forestry Science* (西部林业科学), 2004, 33(4): 21-25 (in Chinese)

[ 8 ] Yu X-B( 余雪标 ), Xu D-P( 徐大平 ), Long T( 龙腾 ), *et al.* Studies on the growth characteristics and the crown structure of eucalyptus plantation with the different continuous planting rotation. *Scientia Silvae Sinicae* ( 林业科学 ), 2000 , **36**( 1 ) : 137-142 ( in Chinese )

[ 9 ] Liao G-R( 廖观荣 ), Lin S-R( 林书蓉 ), Li S-Y( 李淑仪 ), *et al.* The current status and characteristics of land capacity degeneration of eucalyptus plantation in Leizhou Peninsula. *Soil and Environment Sciences* ( 土壤与环境 ), 2002 , **11**( 1 ) : 25-28 ( in Chinese )

[ 10 ] Zhang Z-D( 张樟德 ). A review on development situation and sustainable management of eucalypt plantation. *Scientia Silvae Sinicae* ( 林业科学 ), 2008 , **44**( 7 ) : 97-102 ( in Chinese )

[ 11 ] Fan H-B( 樊后保 ), Liu W-F( 刘文飞 ), Liu Y-Y( 刘燕燕 ), *et al.* Application of analytic hierarchy process to assessing the integrated values of mixed masson pine hardwood forests in northwestern Fujian mountain. *Journal of Mountain Science* ( 山地学报 ), 2009 , **27**( 3 ) : 257-264 ( in Chinese )

[ 12 ] Zheng L-P( 郑丽萍 ). Study on growth character and ecological effect of mixed forest of *Pinus elliottii* and *Acacia crasscarpa*. *Protection Forest Science and Technology*( 防护林科技 ), 2004( 4 ) : 11-13 ( in Chinese )

[ 13 ] Qin W-M( 秦武明 ), Tang J-X( 唐继新 ), Su Y-W( 苏有文 ), *et al.* Preliminary study on the comprehensive benefit of *Acacia crasscarpa* plantation. *Journal of Anhui Agricultural Sciences* ( 安徽农业科学 ), 2008 , **36**( 14 ) : 5888-5890 ( in Chinese )

[ 14 ] Yang Z-J( 杨曾奖 ), Zheng H-S( 郑海水 ), Weng Q-J( 翁启杰 ). Effects of *Eucalyptus* mixed with the nitrogen-fixing tree species on soil fertility and biomass. *Guangdong Forestry Science and Technology*( 广东林业科技 ), 1995 , **11**( 2 ) : 10-15 ( in Chinese )

[ 15 ] Xiao W-G( 肖文光 ), Wang S-M( 王尚明 ), Chen X( 陈 孝 ), *et al.* Biomass of eucalypts and *Acacia crasscarpa* mixed forest and its influence to soil. *Guangdong Forestry Science and Technology* ( 广东林业科技 ), 1999 , **15**( 1 ) : 8-15 ( in Chinese )

[ 16 ] Xiao W-G( 肖文光 ), Wang S-M( 王尚明 ), Chen X( 陈 孝 ), *et al.* Research on the growth performance of eucalyptus mixed with *Acacia crasscarpa*. *Guangdong Forestry Science and Technology* ( 广东林业科技 ), 1999 , **15**( 3 ) : 9-14 ( in Chinese )

[ 17 ] Yang Z-J( 杨曾奖 ), Chen Y( 陈 源 ), Xu D-P( 徐大平 ), *et al.* Effects of mixed planting legume and *Eucalyptus* on soil available nutrients. *Chinese Journal of Ecology*( 生态学杂志 ), 2006 , **25**( 7 ) : 725-730 ( in Chinese )

[ 18 ] Zhu C-Q( 朱成庆 ), Zhang P( 张 鹏 ), Shen H-L( 沈海龙 ), *et al.* Evaluation of mixed plantation regimes of *Eucalyptus* in Leizhou Peninsula. *Journal of Northeast Forestry University* ( 东北林业大学学报 ), 2006 , **34**( 5 ) : 26-34 ( in Chinese )

作者简介 杨曾奖,男,1962年生,硕士,副研究员. 主要从事森林培育、植物营养和土壤生态等研究,发表论文 30 余篇. E-mail : yzengjiang@ 126. com

责任编辑 李凤琴