

滇南中山区桉树纸浆林高效培育模式研究

罗成学¹, 姜成¹, 黄玲¹, 栗国磊¹, 王家学¹,
赵文贵¹, 李光友², 陆海飞^{2*}

(1. 云南云景林业开发有限公司, 云南 景谷 666499;

2. 中国林业科学研究院热带林业科学研究所, 热带林业研究国家林业与草原局重点实验室, 广东 广州 510520)

摘要: 为获得滇南中山区桉树纸浆林高效培育模式, 在云南景谷县民乐镇设置 3 种高效栽培试验。对 3 种 3.5 年生高效栽培试验林生长性状测定, 结果显示: 尾巨桉在 NPK+钙镁磷、NPK+生石灰、NPK 这 3 种栽培模式间树高、胸径、单株材积存在显著性差异($P < 0.01$)。模式 I 株行距 3.5 m × 2.5 m (1 142 株 hm^{-2}), 每穴施基肥 300 g NPK+250 g 钙镁磷时生长最优, 树高均值为 14.1 m, 胸径达 11.9 cm, 单株蓄积量达到 0.071 4 m^3 , 每公顷蓄积量达到 79.14 m^3 , 单位面积效益比对照组增收 38.08%。株行距优势逐渐体现, 基肥中施加钙镁磷肥在桉树生长时起到重要作用。

关键词: 桉树; 株行距; 蓄积量; 施肥试验

中图分类号: S725

文献标志码: A

Study on the High-efficiency Cultivation Model of *Eucalyptus* Pulpwood Forest in the Middle Mountain Area of Southern Yunnan

LUO Chengxue¹, JIANG Cheng¹, HUANG Lin¹, SU Guolei¹, WANG Jiaxue¹,
ZHAO Wengui¹, LI Guangyou², LU Haifei²

(1. Yunnan Yunjing Forestry and Pulp Mill Co., Ltd, Jinggu 666499, Yunnan, China;

2. Research Institute of Tropical Forestry, CAF, the Key Laboratory of National Forestry and Grassland Administration for Tropical Forestry Research, Guangzhou 510520, Guangdong, China)

Abstract: In order to obtain an efficient cultivation model for *Eucalyptus* pulpwood plantations in the central mountainous area of southern Yunnan, three high-efficiency cultivation experiments were set up in Minle Town, Jinggu County, Yunnan Province. At 3.5-year-old these experiments were measured, with the results showing *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis* to have significant differences in tree height, DBH, and individual volume among the three cultivation models: NPK+CaMgP, NPK+quicklime and NPK. Model I provided the best growth when applied with spacing of 3.5 m × 2.5 m (1 142 trees hm^{-2}) and with 300 g NPK + 250 g CaMgP applied to each planting hole. For this model, the average tree height was 14.1 m, the diameter at breast height is 11.9 cm, the volume per tree reached 0.071 4 m^3 and volume per unit area was 79.14 $\text{m}^3 \text{hm}^{-2}$. This provided a benefit per unit area that was 38.1% higher than the control model. The advantage of tree row spacing manifested gradually, and the application of CaMgP in base fertilizer proved to play an important role in the growth of *Eucalyptus* in this region.

Key words: *Eucalyptus*; row spacings; volume; fertilization experiment

桉树(*Eucalyptus*)因其速生丰产、用途广泛、短轮伐期等优点, 已成为我国南方最重要的工业原料林树种, 为缓解国内木材供需矛盾作出了重要贡献^[1-2]。截至 2018 年, 我国桉树人工林面积已达

546.74 万 hm^2 , 占全国森林总面积 3.04%, 占全国人工用材林面积 7.5%, 蓄积量 2.27 亿 m^3 , 占全国商品林产材 31.8%^[3], 年均生产木材约 3 500 万 m^3 。长期以来, 我国桉树人工林培育是以纤维和胶合板

基金项目: 国家重点研发计划课题“桉树高纤维纸浆材定向培育技术研究”(2016YFD0600503)

作者简介: 罗成学(1969—), 男, 高级工程师, 主要从事森林培育研究, E-mail: izz3337@dingtalk.com

*通信作者: 陆海飞(1991—), 男, 博士, 主要从事桉树纸浆材定向培育研究, E-mail: haifeilu1122@163.com

材为主要目的。云南省桉树人工林面积 42.24 万 hm^2 ，仅滇南地区普洱市尾巨桉(*E. urophylla* × *E. grandis*)人工林已达 14 万 hm^2 占全省桉树人工林面积 31.48%，该区域地处澜沧江流域，属亚热带低纬度山地季风气候区，受印度洋暖湿季风影响，旱、雨季分明且降雨量丰沛，光、热自然条件优越，是最具生长潜力的桉树人工林栽培区^[4]。本研究采用尾巨桉 DH33-27 无性系在云南景谷县民乐镇进行营林造林，采用 3 种不同造林设计开展营林模式对比研究，通过对比不同营林措施优化的造林设计在生长量与成本投入的效益分析，得出最佳营林模式，为今后滇南中山区桉树纸浆林集约经营选择最佳造林设计提供可靠依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验地设置于云南普洱市景谷县民乐镇黄果营(23°12'N, 100°55'E)，海拔 1 100 ~ 1 200 m。该地区 5—10 月为雨季，年降雨量 1 354 mm，年蒸发量 1 616 mm，年日照 1 958 h，年平均气温 18.6℃，最冷月(1 月)平均气温为 12℃，≥10℃的年积温为 7 360℃。土壤属砖红壤，腐殖质为 10.94 g kg^{-1} ，全氮含量为 0.51 g kg^{-1} ，全磷含量为 0.30 g kg^{-1} ，全钾含量为 20.49 g kg^{-1} ，碱解氮含量为 61.18 mg kg^{-1} ，有效磷为 0.68 mg kg^{-1} ，速效钾为 205.61 mg kg^{-1} ，速效硼为 0.06 mg kg^{-1} 。表层土营养含量高，土壤 pH 值 5.0 ~ 5.5。尾巨桉人工林林下植被以盐肤木(*Rhus chinensis*)、野牡丹(*Melastoma malabathricum*)、紫茎泽兰(*Eupatorium adenophora*)、金丝草(*Pogonatherum crinitum*)等为主。

1.2 试验材料

根据适地适树原则，选用云景林业开发有限公司引进适于当地、根系发达顶芽完整的尾巨桉 DH33-27 轻基质组培育。

1.3 试验设计

造林设计模型 I，株行距 2.5 m × 3.5 m(1 142 株 hm^{-2})，定植穴规格 30 cm × 30 cm × 30 cm，每穴施基肥 300 g NPK 复混肥+250 g 钙镁磷，试区面积

6.9 hm^2 ；模型 II，株行距 2 m × 3 m(1 667 株 hm^{-2})，定植穴规格 30 cm × 30 cm × 30 cm，每穴施基肥 300 g NPK 复混肥+500 g 石灰，试区面积为 7.5 hm^2 ；模型 III，设置为对照(即景谷当地种植方法)，株行距 1.5 m × 3 m(2 222 株 hm^{-2})，定植穴规格 30 cm × 30 cm × 30 cm，每穴施基肥 300 g NPK 复混肥，试区面积为 6 hm^2 。所用 NPK 复混肥的总养分≥33%，N-P₂O₅-K₂O 比例为 10-16-7，经营期拟定 6~7 年。试验林定植于 2017 年 6 月中旬，每个造林设计模型设置 3 个固定样方(5 行 × 20 株)作为生长性状的观测区。种植后当年的抚育依据杂草生长旺盛程度，2~3 次适时铲草砍杂。翌年雨季前的抚育及施肥，进行了 2 次砍草，1 次追肥，追肥每株施 500 g NPK(18:12:10, 0.2% B 和 0.15% Zn)。种植后第 3 年的抚育，进行了 1 次砍草，1 次追肥，追肥每株施 700 g NPK(18:12:10, 0.2% B 和 0.15% Zn)。

1.4 数据统计

每年 12 月中旬对固定样方定点定株开展生长调查，调查的性状及指标有树高、胸径、保存率和生长势等。利用 SPSS16.0 软件对不同造林模式的尾巨桉生长性状进行差异分析，以单因素抽样调查进行统计分析^[5]，求出总方差 V、组内方差 V_w、组间方差 V_B。

$$\begin{aligned} \text{总方差 } V &= \sum(x_{ij} - \bar{x})^2 \\ \text{组内方差 } V_w &= \sum(x_{ij} - \bar{x}_i)^2 \\ \text{组间方差 } V_B &= \sum(\bar{x}_i - \bar{x})^2 \end{aligned}$$

从公式可知，总方差衡量的是所有观测值 x_{ij} 对总均值 \bar{x} 的偏离程度，反映了抽样随机误差的大小，组内方差衡量的是所有观测值 x_{ij} 对组均值 \bar{x}_i 的偏离程度，而组间方差则衡量的是组均值 \bar{x}_i 对总均值 \bar{x} 的偏离程度，反映系统的误差。在此基础上，可得到组间均方差和组内均方差：

$$\text{组间均方差 } \hat{S}_B^2 = \frac{v_B}{a-1}$$

$$\text{组内均方差 } \hat{S}_w^2 = \frac{v_w}{ab-b}$$

在方差相等的假定下，要检验 n 个总体的均值是否相等，须首先给定原假设和备择假设。

原假设 H_0 : 均值相等即 $\mu_1=\mu_2=\dots=\mu_n$; 备择假设 H_1 : 均值不完全相等, 则可以应用 F 统计量进行方差分析检验:

$$F = \frac{v_B / (a - 1)}{v_w / (ab - b)} = \frac{\hat{S}_B^2}{\hat{S}_w^2}$$

该统计量服从分子自由度 $a-1$, 分母自由度 $ab-a$ 的 F 分布。给定显著性水平 α , 如果根据样本计算出的 F 统计量的值小于等于临界值 $F_{\alpha}(a-1, ab-a)$, 则说明原假设 H_0 不成立, 总体均值不完全相等, 差异并非仅由随机因素引起。

采用中国林业科学研究院热带林业研究所桉树单株材积计算公式:

$$V = DBH^2 \times H / 3$$

式中, V 为体积(m^3), DBH 为胸径(cm), H 为树高(m)。

2 结果与分析

2.1 不同模式桉树生长量的变化

对 3.5 年生时尾巨桉的树高、胸径、立木材积进行方差分析, 结果见表 1。不同栽培模式林木生长情况存在极显著差异($P < 0.01$), 说明尾巨桉生长性状在不同经营模式下具有较大的差异。

由表 2 和表 3 可知, 模式 I 的林木长势最好, 3.5 年生平均树高 14.1 m, 平均胸径 11.9 cm, 平均立木材积 $0.0714 m^3$, 整体成活率为 97%, 蓄积量为 $79.14 m^3 hm^{-2}$; 模式 II 的林木长势中等, 3.5 年生平均树高 11.6 m, 平均胸径 9.5 cm, 平均立木材积 $0.0417 m^3$, 整体成活率为 92%, 蓄积量为 $63.68 m^3 hm^{-2}$; 模式 III (对照) 的林木长势一般, 3.5 年生平均树高 11.1 m, 平均胸径 9.0 cm, 平均立木材积 $0.0363 m^3$, 整体成活率为 93%, 蓄积量为 $74.14 m^3 hm^{-2}$ 。

表 1 3 种栽培模式尾巨桉生长量的方差分析

项目	变异源	平方和	df	均方	F值	P值
树高	组间	427.288	2	213.644	36.161	0.000
	组内	1465.236	248	5.908		
	总数	1892.524	250			
胸径	组间	402.423	2	201.212	33.280	0.000
	组内	1499.423	248	6.046		
	总数	1901.846	250			
材积	组间	0.061	2	0.030	39.650	0.000
	组内	0.190	248	0.001		
	总数	0.251	250			

表 2 单位面积尾巨桉蓄积量

$m^3 hm^{-2}$

模式	N	均值	标准差	标准误	均值的95%置信区间		极小值	极大值
					下限	上限		
I	3	79.14	4.50	2.60	67.94	90.34	73.99	82.35
II	3	63.68	18.36	10.60	18.07	109.29	51.73	84.83
III	3	74.14	10.81	6.24	47.27	101.02	61.81	82.00
总数	9	72.32	12.85	4.28	62.44	82.21	51.73	84.83

2.2 不同模式营林成本及其经济效益估算

其中模式 I，前 3 年的投入成本为 1.42 万元 hm^{-2} ；

2.2.1 营林成本计算

模式 II，前 3 年的投入成本为 1.64 万元 hm^{-2} ，对照

由表 4 可知，苗木和肥料的投入存在明显差异，

模式，前 3 年的投入成本为 1.84 万元 hm^{-2} 。

表 3 3.5 年生不同模式尾巨桉生长性状

指标	模式	N	均值	标准差	标准误	均值的95%置信区间	
						下限	上限
树高/m	I	87	14.1	2.14	0.23	13.6	14.5
	II	82	11.6	2.51	0.28	11.1	12.2
	III	82	11.1	2.64	0.29	10.5	11.7
	总数	251	12.1	2.75	0.17	12.0	12.6
胸径/cm	I	87	11.9	2.17	0.23	11.4	12.3
	II	82	9.5	2.54	0.28	9.0	10.1
	III	82	9.0	2.66	0.29	8.4	9.5
	总数	251	10.2	2.76	0.17	9.8	10.5
蓄积量/($\text{m}^3 \text{hm}^{-2}$)	I	87	0.071 4	0.029	0.003	0.065 2	0.077 6
	II	82	0.041 7	0.028	0.003	0.035 5	0.047 9
	III	82	0.036 3	0.025	0.002	0.030 7	0.042 0
	总数	251	0.050 2	0.031	0.002	0.046 3	0.054 2

表 4 经营模式造林、苗木和肥料及抚育等投入成本对比表

模式	类型	项目	单价	数量	金额 /(元 hm^{-2})	投资金额 /(万元 hm^{-2})	
模式 I	物资	苗木	0.54 元 株 ⁻¹	1 142 株	616.7	1.42	
		基肥	NPK	2 240 元 t ⁻¹	0.022 8 t		
			钙镁磷	1 080 元 t ⁻¹	0.019 t		
		追肥(连续 2 年)	2 440 元 t ⁻¹	0.091 2 t	3 337.95		
		定植当年人工成本	6 000 元 hm^{-2}	1 hm^2	6 000		
	劳务	第二年抚育追肥人工成本	1 575 元 hm^{-2}	1 hm^2	1 575		
		第三年抚育追肥人工成本	1 590 元 hm^{-2}	1 hm^2	1 590		
模式 II	物资	苗木	0.54 元 株 ⁻¹	1 666 株	899.6	1.64	
		基肥	NPK	2 240 元 t ⁻¹	0.033 3 t		
			石灰	450 元 t ⁻¹	0.055 5 t		
		追肥	2 440 元 t ⁻¹	0.133 2 t	4 875.15		
		定植当年人工成本	6 000 元 hm^{-2}	1 hm^2	6 000		
	劳务	第二年抚育追肥人工成本	1 575 元 hm^{-2}	1 hm^2	1 575		
		第三年抚育追肥人工成本	1 590 元 hm^{-2}	1 hm^2	1 590		
对照组	物资	苗木	0.54 元 株 ⁻¹	2 222 株	1 199	1.84	
		基肥	NPK	2 240 元 t ⁻¹	0.044 4 t		1 492.05
			追肥	2 440 元 t ⁻¹	0.177 6 t		6 500.1
		定植当年人工成本	6 000 元 hm^{-2}	1 hm^2	6 000		
	劳务	第二年抚育追肥人工成本	1 575 元 hm^{-2}	1 hm^2	1 575		
		第三年抚育追肥人工成本	1 590 元 hm^{-2}	1 hm^2	1 590		

2.2.2 初步的营林效益评估

本试验为滇南中山区桉树纸浆林高效培育研究内容之一, 在3.5年生时, 林分生长已达半个轮伐期, 以单位面积的生长量和单位面积造林及抚育成本之

比, 作为模式的效益评价标准。由表5可知, 模式I效益最高, 每公顷投资万元的出材量为 55.77 m^3 , 与对照相比效益为138.08%; 模式II每公顷投资万元的出材量为 38.76 m^3 , 是对照组效益的95.96%。

表5 不同栽培模式的营林效益

模式	立木蓄积量/ $(\text{m}^3 \text{ hm}^{-2})$	总成本(造林成本+抚育成本)/万元	单位万元出材量/ $(\text{m}^3 \text{ 万元}^{-1} \text{ hm}^{-2})$	效益/%
模式I	22.613	1.42	55.77	138.08
模式II	18.196	1.64	38.76	95.96
模式III(对照)	21.186	1.84	40.39	100.00

3 结论

从3.5年生的尾巨桉生长数据得知, 每公顷定植1 142株, 定植时基肥中增加钙镁磷 250 g 株^{-1} 的造林设计, 桉树长势最好, 获得的效益最高, 单株材积为 0.0714 m^3 , 每公顷蓄积量与对照相比增加6.73%。单位面积效益最好的也是模式I, 比对照增收38.08%。

相同的立地不同的株行距配置会引起林木对光照和空间营养元素的竞争, 也还会引起林木地下部分对水分和养分的竞争。株距过小, 引起株间立木的恶性竞争, 行距过宽会引起营养空间的浪费^[6]。采用模式I的造林密度林分空间结构合理、抗风能力强、保存率高, 桉树生长优势明显, 因此, 该造林密度是当地较为合理的。下一阶段的营林抚育管理工作, 一是加强日常管护; 二是继续开展年度观测与调查, 实时

跟踪不同种植模式的林木生长变化趋势。

参考文献

- [1] 谢耀坚. 我国木材安全形势分析及桉树的贡献[J]. 桉树科技, 2018, 35(4): 3-6.
- [2] 速丰办. 《国家储备林树种目录》(2019年版)[EB/OL]. (2020-05-29)[2021-03-16]. <http://www.forestry.gov.cn/sfb/4659/20200529/140508387848549.html>.
- [3] 国家林业和草原局. 中国森林资源报告(2014—2018)[M]. 北京: 中国林业出版社, 2019.
- [4] LU H, XU J, LI G, et al. Site classification of *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis* plantations in China[J]. Forests, 2020, 11(8): 871.
- [5] 贾乃光. 数理统计[M]. 第2版. 北京: 中国林业出版社, 1993: 164-174.
- [6] 何国华. 对人工林造林密度及株行距设计问题的探讨[J]. 桉树科技, 1999(2): 16-19.