

# 以芳香油和薪材为最终产品的桉树幼林 地上部分生物量研究\*

王豁然

王志和

(中国林业科学研究院林业研究所)

(云南省楚雄州林科所)

**摘要** 在2年生的桉树引种试验林内,对蓝桉和新引种的5种其他桉树的地上部分生物量进行了测定。研究发现,当轮伐期为2年时,不同桉树的芳香油和薪材收获量差异显著,而同一树种的芳香油和薪材产量在不同造林密度之间无显著差异。史密斯桉和贝克桉的芳香油和桉树脑含量均高于蓝桉,是生产桉树芳香油和薪材的优良树种,在我国亚热带地区有进一步试验和推广的价值。

**关键词** 桉树芳香油;薪材;地上部分生物量

将桉树作为薪炭林树种的研究已经在一些国家进行多年<sup>[1]</sup>。南非对巨桉(*Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden)等5种桉树的人工幼林的生物量作过研究<sup>[2]</sup>,葡萄牙正在进行集约经营的短轮伐期蓝桉(*E. globulus* Labill.)能源林栽培试验<sup>[3]</sup>。将赤桉(*E. camaldulensis* Dehnh.)、细叶桉(*E. tereticornis* Sm.)、斑皮桉(*E. maculata* Hook.)、柠檬桉(*E. citriodora* Hook.)和窿缘桉(*E. exserta* F. Muell.)作为我国华南地区营建能源林的优良树种的研究,已有报告发表<sup>[4]</sup>。

关于桉树芳香油的生产和消费也有许多评述<sup>[5-7]</sup>,但是,将桉树作为专门生产芳香油的树种,来营建特种工业用材林<sup>[8]</sup>,国内外却鲜见报道。薪材和芳香油的收获量基本上取决于地上部分生物量。通过生物量的测定,可以筛选出以生产芳香油和薪材为最终产品的桉树树种,为进一步扩大试验和推广栽培提供依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验种子

试验林于1988年8月营建。试验中除用作对照的蓝桉种子采自云南外,其他树种的种子均由澳大利亚林木种子中心提供(详见表1)。各树种主要性状描述见表2。

### 1.2 试验地点

试验地处于云南省楚雄市南20 km, 25°01' N, 102°41' E, 海拔1 860 m。属亚热带气候,年平均降雨量819 mm,集中在夏季;10~4月为明显旱季,月平均降雨量不足20 mm,年平均温度15.7℃,绝对最低温度-4.8℃,绝对最高温度33.4℃。试验地位于东坡,

本文于1990年10月11日收到。

\*此项研究课题由国际科学基金会(International Foundation for Science)资助,谨此致谢。谢培信、陶洪、臧道群、郑勇奇、李伯菁等参加部分工作,一并致谢。

表1 试验树种及其地理来源

树 种	种 批 号	母 树 株 数	地 理 位 置	纬 度 (° 'S)	经 度 (° 'E)	海 拔 (m)	有生命力的 种子数/10g
贝 克 桉 <i>Eucalyptus bakeri</i> Maiden	15983	4	昆 士 兰	28 11	151 33	540	—
史 密 斯 桉 <i>E. smithii</i> R. Baker	15544	10	新南威尔士	35 23	149 37	950	3 800
丰 桉 <i>E. dives</i> Schauer	17349	10	新南威尔士	35 36	148 13	460	—
辐 射 桉 <i>E. radiata</i> Sieber ex DC. ssp. <i>radiata</i>	17120	2	新南威尔士	36 57	149 40	250	916
毛 皮 桉 <i>E. macarthurii</i> Deane & Maiden	12023	10	新南威尔士	34 39	150 07	600	1 900
蓝 桉 <i>E. globulus</i> Labill. ssp. <i>globulus</i>	—	—	云 南	25 01	102 41	1 860	—

表2 试验树种主要性状与地理分布<sup>[5,9,11~13]</sup>

树 种	主 要 性 状 与 用 途	自 然 分 布
贝 克 桉(B)	多茎灌木或小乔木, 树高5~12 m, 直径0.5 m。萌蘖能力强。鲜叶含油率1.8%~3.0%, 芳香油中1,8-桉树脑含量85%~96%	大约22°~30° S。昆士兰和新南威尔士
史 密 斯 桉(S)	大乔木, 树高40~45 m, 胸径1.0~1.5 m。树干通直。桉树脑含量75%~80%, 南非的主要桉树芳香油树种	34°~37° S, 海拔50~150 m。新南威尔士
辐 射 桉(R)	自然变异大, 10~15 m高的小乔木到20~30 m高的大乔木, 直径可达1 m, 萌蘖能力强。鲜叶含油率2.5%~5.0%, 桉树脑含量高于70%	大约28°~39° S, 海拔50~1200 m。新南威尔士和维多利亚
丰 桉(D)	中等乔木, 树高12~25 m, 直径可达0.7 m。在南非和斯威士兰, 用来生产工业用芳香油	31°~38° S, 海拔150~1400 m之间。新南威尔士和维多利亚
毛 皮 桉(M)	大乔木, 高40 m, 直径1.2 m, 树干常多分枝。在南非也用作芳香油树种	33.5°~35.0° S, 海拔500~1200 m之间。新南威尔士高原地带
蓝 桉(G)	大乔木, 树高50~70 m, 直径>1 m, 树干通直。优良的锯材和纤维用材料种。树叶可生产高品质的医药型芳香油, 桉树脑含量>80%	38°~43° S, 海拔500 m以下。维多利亚和塔斯马尼亚

5°~12°。土壤为砂岩发育的轻砂质红壤, 土层深厚。前期植被为云南松(*Pinus yunnanensis* Franch)人工林。

### 1.3 试验林的营造

在木箱内播种, 大部分种子在播后6~10天发芽。当幼苗长出1~2对真叶时, 移入聚乙烯营养袋。100天后造林。沿等高线撩壕整地, 宽60 cm, 深50 cm。造林时施垃圾肥5 kg/株。

### 1.4 实验设计与数据分析

裂区设计<sup>[9]</sup>, 共 3 个区组(重复)。每个区组包括 3 小区和 18 亚小区, 每一亚小区面积为 20 m × 10 m。采用 3 种不同造林密度: 0.5 m × 2 m, 1.0 m × 2 m 和 1.5 m × 2 m。

在每一亚小区内选取 20 株树木, 记载树高、地径和冠幅。对不同品质性状赋值, 以便评价生长和适应能力。测定生物量时, 在每一亚小区内选取 2 株树高和直径接近平均值的样株, 在距地面 10 cm 处伐倒, 实测树叶(包括直径 < 0.5 cm 的小枝)、树枝和树干的木材重量。

全部数据输入计算机后, 使用 GENSTAT 5 进行分析<sup>[10]</sup>。

### 1.5 芳香油的提取和分析

从不同树种的单株树木的树冠上、中、下部位摘取树叶 50 g。将鲜叶蒸馏至出油后, 再持续 4 h, 提取芳香油, 然后分析其中的桉树脑含量。

## 2 结 果

### 2.1 适应能力和生长状况

蓝桉是世界上栽培最广泛的桉树之一, 栽培面积仅次于巨桉。我国西南高原地区栽培蓝桉已近百年, 引种以后可能已经产生地域族(Land Race), 但木材性状却未得到很大改良。因此, 木材主要用作薪材和纤维材, 而树叶则用来提取芳香油。

除蓝桉以外, 其他 5 种桉树都是首次引入我国。这些树种都表现出良好的适应能力, 保存率达 90 % 以上。方差分析表明, 在同一或不同造林密度情况下, 各树种的生长势无显著差异。丰桉与贝克桉已进入开花阶段, 发育正常。

试验发现, 各个树种的干形明显不同 ( $F = 24.36, P = 0.001$ )。2 年生的史密斯桉和蓝桉干形通直, 自然整枝良好; 毛皮桉和丰桉主干比较弯曲, 多分枝; 贝克桉低矮多茎, 主干不明显, 呈灌木状。

桉树木质瘤在桉树生态学和林分经营方面具有重要意义<sup>[14, 15]</sup>。试验中的 6 种桉树都具有木质瘤, 其出现频率随树种和造林密度变化, 变动范围在 5 % ~ 67 % 之间。具有木质瘤的桉树, 通常具有很强的萌芽能力, 经营时可以采取矮林作业, 实行短轮伐期, 这对于以生产芳香油和薪材为目的的人工林经营, 尤为重要。

不同树种之间的生长速率, 在树高、直径和树冠大小方面均有显著差异(表 3)。其中, 史密斯桉生长最快, 蓝桉次之, 贝克桉生长最慢。辐射桉、丰桉和毛皮桉则彼此接近, 处于中等水平。但是, 各个树种的生长量在不同造林密度之间却无显著差异(表 4)。

表 3 2 年生桉树在不同造林密度林中的生长情况

密 度(m)	B	S	D	R	M	G
	树 高 (m)					
0.5×2	1.1	3.4	2.0	2.4	2.9	3.6
1.0×2	1.2	4.5	3.2	2.4	3.2	4.1
1.5×2	1.1	4.0	1.8	1.9	2.5	2.8
平 均	1.1	4.0	2.3	2.2	2.8	3.5
	地 径 (cm)					
0.5×2	1.7	3.6	2.8	3.4	3.9	3.9
1.0×2	1.8	5.2	4.7	3.9	4.5	4.9
1.5×2	1.7	4.8	3.2	3.2	3.6	3.6
平 均	1.7	4.5	3.6	3.5	4.0	4.2
	冠 幅 (m)					
0.5×2	0.8	1.2	1.1	1.5	1.3	1.1
1.0×2	0.8	1.9	1.6	1.8	1.5	1.5
1.5×2	0.8	1.5	1.3	1.6	1.4	1.3
平 均	0.8	1.5	1.3	1.6	1.4	1.3

注: 英文字母所代表的树种见表 1。

表4 方 差 分 析

变 量	误 差 来 源	自由 度(df)	平方和(SS)	均 方(MS)	方 差 比(F)
树 高 (m)	区 组	2	5.203 0	2.601 5	4.115
	区 组 × 小 区				
	密 度	2	5.560 9	2.780 5	0.462
	剩 余	4	24.082 6	6.020 7	
	区 组 × 小 区 × 亚 小 区				
	树 种	5	45.120 1	9.024 0	14.272***
	密 度 × 树 种	10	3.891 3	0.389 1	0.615
	剩 余	30	18.968 4	0.632 3	
	合 计	53	102.826 4		
	地 径 (cm)	区 组	2	8.255 3	4.127 6
区 组 × 小 区					
密 度		2	9.379 2	4.689 6	0.851
剩 余		4	22.033 5	5.508 4	
区 组 × 小 区 × 亚 小 区					
树 种		5	43.856 8	8.771 4	10.196***
密 度 × 树 种		10	5.986 7	0.598 7	0.696
剩 余		30	25.808 8	0.860 3	
合 计		53	115.326 2		
冠 幅 (m)		区 组	2	1.166 0	0.583 0
	区 组 × 小 区				
	密 度	2	0.810 8	0.420 4	2.083
	剩 余	4	0.807 3	0.201 8	
	区 组 × 小 区 × 亚 小 区				
	树 种	5	3.230 4	0.646 1	8.054***
	密 度 × 树 种	10	0.413 4	0.041 3	0.515
	剩 余	30	2.406 5	0.080 2	
	合 计	53	8.864 5		

注：\*\*\*示在0.001水平上显著。

2.2 生物量

6种桉树的生物量在3种不同造林密度之间均无统计上的显著差异，而且树种与密度之间的交互作用也不明显。尽管相对来说，除贝克桉以外的其他5个树种在密度1.0 m × 2.0 m时生物量最大，即树叶、枝条和树干部分的鲜重最高(表5)。由于不同密度之间生物量差异不显著，因此，每一生物量组分的平均值可以用来估测单位面积产量。史密斯桉和蓝桉的生物量最高，贝克桉最低。

2.3 树叶含油量与木材含水率

从表6可以看出，贝克桉鲜叶含油率最高，达3.69%。当将树叶进行绝干以后，丰桉和辐射桉的含油率分别为10.12%和9.11%，均高于贝克桉的含油率，但是前两种桉树芳香油

表5 各树种在2年生时平均单株生物量

(单位: kg)

生物量组分(鲜重)	密 度 (m)	B	S	D	R	M	G
树叶(包括直径<0.5 cm的小枝)	0.5×2.0	1.0	0.8	0.5	1.3	1.1	1.8
	1.0×2.0	0.6	2.7	1.4	1.2	1.4	2.1
	1.5×2.0	0.7	2.0	0.9	1.2	1.0	1.6
	平 均	0.8	1.8	0.9	1.2	1.2	1.8
树干和枝条	0.5×2.0	1.2	2.0	0.7	1.7	2.3	4.3
	1.0×2.0	0.4	5.3	2.6	1.3	2.8	4.2
	1.5×2.0	0.4	3.7	1.2	1.4	2.1	2.4
	平 均	0.6	3.6	1.5	1.5	2.4	3.6

注：大写英文字母代表树种参见表2。

**表 6 各树种含油率、桉树脑含量和木材含水率**  
(单位: %)

树种 代号	桉叶含油率		1,8-桉树脑 含量	木 材 含水率
	鲜 重	绝 干		
B	3.69	8.78	90.64	47.09
S	1.94	4.86	81.65	59.49
D	2.61	10.12	45.10	64.23
R	3.30	9.11	44.67	62.93
M	0.68	1.99	—	62.30
G	1.62	—	63.50	62.84

**表 7 密度 0.5 m × 2 m 芳香油和薪材产量**  
(单位: t/ha)

树 种 代 号	鲜叶芳香油	鲜叶桉树脑	绝干薪材
B	295.2	267.6	3.2
S	349.2	285.1	14.6
D	234.9	105.9	5.4
R	396.0	176.9	5.6
M	81.6	—	9.0
G	291.6	185.2	13.4

内的1,8-桉树脑的比率却不到贝克桉的1/2,也显著地低于史密斯桉和蓝桉,而桉树脑的含量是决定桉树芳香油品质和用途的主要因素。因此,丰桉和辐射桉更适合于生产工业用芳香油,而贝克桉、史密斯桉和蓝桉则可生产价值更高的用于医药和高级化妆品的芳香油。木材含水率除贝克桉略低外,其他树种均在60%左右。

#### 2.4 芳香油和薪材收获量

方差分析表明,同一树种的芳香油和薪材收获量在不同造林密度之间均无显著差异,这说明,单株树木之间的个体竞争还未明显地表现出来。因此,在经营以芳香油和薪材为最终产品的桉树人工林时,以密度增大为宜。如果轮伐期确定为2年,初始密度愈大,则总收获量愈高。

### 3 讨 论

研究结果表明,这6种桉树可以用来营建以生产芳香油和薪材为最终产品的人工林,实行短轮伐期,集约经营。但是如何确定最佳轮伐期和维持林地生产力,则需要更加深入地研究,尤其应该从生物经济学(Bioeconomics)观点出发,建立最佳经营模式。

史密斯桉含油率和生物量均高于蓝桉,该树不仅是优良的芳香油和薪材树种,而且还是很好的用材树种。根据史密斯桉自然分布区的生态条件,它也可能适合中亚热带东部地区引种栽培,值得进一步扩大试验。

贝克桉的天然分布很有限,这是第一次人工栽培。它可能是迄今所发现的芳香油含量最高、桉树脑最丰富的桉树,与史密斯桉、蓝桉一起,将成为我国生产桉树芳香油的主要资源。贝克桉在我国东南沿海和南亚热带会有发展前途。

辐射桉和丰桉是单萼盖亚属中亲缘关系密切的2个种,芳香油含量高,但桉树脑含量不高,可以扩大栽培,生产工业用油。

由于桉树芳香油含量在个体树木之间存在显著的遗传变异<sup>[16]</sup>,有必要开展以单株选择为主的育种和改良研究。待获得含油率高的基因型以后,再进行大规模的无性繁殖。

## 参 考 文 献

- [1] Brown, A. G., 1987, Research to expand use of Australian trees for fuelwood in other countries, *Trees and Victoria's*, 26(4).
- [2] Schonau, A. P. G. et al., 1982, Preliminary Biomass Studies in Young Eucalypts, *S.A. For. J.*, (120), 24~28.
- [3] Pereira, H., 1986, Optimazation of biomass production in short-rotation *Eucalyptus globulus* plantations, in *Energy from Biomass 1*, Proceedings of the First Contractor's meeting, ed. G. Grassi and H. Zibetta, 50~54.
- [4] 何克军等, 1990, 海南省中北部丘陵地区优良速生薪材树种的选择, *林业科学研究*, 3(3), 234~241.
- [5] Small, B. E. J., 1981, The Australian *Eucalyptus* oil industry—-an overview, *Aust. For.*, 44(3), 170~178.
- [6] Robbins, S. R. J., 1983, Selected Markes for the Essential Oils of Lemongrass, Citronella and Eucalyptus, Report of the Tropical Products Institute, G171, 37~91.
- [7] 王豁然等, 1990, 世界桉树芳香油生产与市场供求趋势研究, *世界林业研究*, 3(2), 71~76.
- [8] Evans, J., 1984, *Plantation Forestry in the Tropics*, Oxford, 121~126.
- [9] Cochran, W. G. et al., 1957, *Experimental Designs*, 2en ed., John Wiley & Sons, 293~315.
- [10] Alvey, N. et al., 1982, *An Introduction to GENSTAT*, Academic Press.
- [11] Brophy, J. J. et al., 1989, Leaf essential oil of *Eucalyptus bakeri*, in *Trees for the Tropics*, ed. D. J. Boland, ACIAR, Canberra, 205~207.
- [12] Boland, D. J. et al., 1984, Forest Trees of Australia, NELSONCSIRO, 342, 350, 458, 466, 468.
- [13] FAO, 1970, *Eucalypts for Planting*, Rome.
- [14] Chattaway, M. M., 1958, Bud Development and Lighotuber Formation in *Eucalyptus*, *Aust. J. of Bot.*, 6(2), 103~115.
- [15] Jacobs, M. R., 1955, Growth habits of the eucalypts, Canberra, Forestry and Timber Bureau.
- [16] Brooker, M. H. I. et al., 1988, The cineole content and taxonomy of *Eucalyptus kochii* Maiden & Blakely and *E. plenissima* with appendix establishing these two taxa as subspecies, *Aust. J. Bot.*, 36, 119~129.

*Biomass Studies in Young Eucalypt Plantations  
for Oil and Fuelwood Production in Southwestern China*

Wang Huoran

(The Research Institute of Forestry CAF)

Wang Zhihe

(The Forestry Research Institute of Chuxiong Prefecture, Yunnan Province)

**Abstract** The above-ground biomass of two components for 6 species of *Eucalyptus*, *E. bakeri*, *E. smithii*, *E. radiata* ssp. *radiata*, *E. dives*, *E. macarthurii* and *E. globulus* ssp. *globulus*, was estimated two years after planting using samples taken from an experimental plantation which was designed as split-plots in 3 replicates in southwestern China. The plantation was established in three different spacings, 0.5m×2m, 1.0m×2m and 1.5m×2m. It was found from the preliminary results that there were significant differences in both growth rates and above-ground biomass between species. All species, except *E. bakeri*, gave the highest biomass production of both wood and leaves in fresh weight at the second spacing, 1.0m×2m. At this spacing *E. smithii* was ranked on the top reaching 4.5 m in height and 5.2 cm in diameter and followed by *E. globulus* ssp. *globulus* in height of 4.1 m and ground-level diameter of 4.9 cm, while *E. bakeri* was the last. Essential oil content of leaves was also analysed in the laboratory for each species. It was shown that all the six eucalypts could be managed in short rotation forestry for wood energy production which would bring about very good income to farmers in rural communities. *E. smithii*, which was for the first time grown in China, could become a better species than *E. globulus* ssp. *globulus* for oil and fuelwood production even the latter had become a land race in southwestern China.

**Key words** oil; fuelwood; biomass