

文章编号: 1001-1498(2000) 02-0167-10

# 湿地松、火炬松工业用材林 造林密度初步研究\*

姜景民<sup>1</sup>, 虞沐奎<sup>2</sup>, 童方平<sup>3</sup>, 李江南<sup>4</sup>, 刘光正<sup>5</sup>, 胡世才<sup>6</sup>

(1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江富阳 311400; 2. 安徽省林业科学研究所, 安徽合肥 230031;  
3. 湖南省林业科学研究所, 湖南长沙 410004; 4. 中国林业科学研究院亚热带林业实验中心, 江西分宜 336600;  
5. 江西省林业科学研究所, 江西南昌 330032; 6. 江西省景德镇枫树山林场, 江西景德镇 333000)

摘要: 为确定湿地松、火炬松工业用材林的适宜初植密度, 在中、北亚热带地区 5 个地点营建了试验林。依据 6~7 a 的调查结果, 分析了初植密度对林分个体生长、群体发育、形质和材性等因子的影响, 和不同密度下由于林分发育进程的不同所产生的生长因子的变化。综合分析生长和经济因素, 提出了我国中、北亚热带地区两个工业用材林树种的初植密度模式。6~7 年生时林分平均胸径和单株材积各试点不同密度间大多差异显著, 单位面积蓄积随密度加大而增加, 小径材实际出材量以中密度为大。高密度林分个体分化加剧, 现时间伐则属非商业性作业, 且高密度林分造林成本较高。由于树种习性差异, 相同条件下湿地松林分密度应大于火炬松。建议湿地松中小径建筑材和纸浆材的造林密度为 1 667~2 000 株·hm<sup>-2</sup>, 火炬松为 1 111~1 667 株·hm<sup>-2</sup>。

关键词: 湿地松; 火炬松; 工业用材林; 初植密度; 林分发育; 经济分析

中图分类号: S725.6 文献标识码: A

湿地松(*Pinus elliottii* Engelm.)、火炬松(*Pinus taeda* L.) 作为我国南方引种造林最成功的树种, 至 80 年代末, 造林面积已近 120 万 hm<sup>2</sup>。中、北亚热带地区普遍采用 2 500 株·hm<sup>-2</sup> 甚至 3 330 株·hm<sup>-2</sup> 的高密度造林, 两广地区倾向于 1 100~1 600 株·hm<sup>2</sup> 的低密度造林<sup>[1]</sup>。过去也有一些地区布设过一些试验, 但林分造林密度尤其是经营目标明确的集约经营工业用材林的造林密度尚无系统的结论。在世界银行贷款中国国家造林项目(NAP)和森林资源发展与保护项目(FRDPP)中, 湿地松、火炬松规划造林约 25 万 hm<sup>2</sup>, 以培育建筑材、矿柱材、纸浆材为目标, 设计的造林经营模型为选择 14~18 立地指数, 初植密度 1 666~2 500 株·hm<sup>-2</sup>, 中期间伐 1~2 次, 18~30 a 主伐<sup>2,3</sup>。这个模型也尚待验证。

美国南方松林人工更新始于 30 年代, 其间曾采用了各种植距造林。现大多数林业企业都依据诸如立地质量等因子来制定如造林密度等林地规划。木材产品的价格相当程度地影响着人工林育林经营决策<sup>[4]</sup>。总的来说, 适宜的造林密度要综合林地的立地质量、培育目标及市场需求、当地当时的社会经济条件来考虑。鉴于我国集约经营湿地松、火炬松对工业用材林的初植密度确定尚缺乏充分的研究基础, 在 NAP 和 FRDPP 中几个主要造林省区布置了初植密度

收稿日期: 1999-07-05

基金项目: 世界银行造林项目科研推广计划“国外松速生丰产培育技术研究与推广”课题的部分成果

作者简介: 姜景民(1963-), 男, 河南长葛人, 副研究员, 在读博士。

\* 各试点及参加单位的许多同志参与了营林和调查工作, 恕不一一列出。刘昭息、吕本树先生予以指导, 特致谢意。

试验林,以求提出适于不同自然条件背景的合理密度。本文是对此项研究的阶段总结。

## 1 试验点布局和各点的自然概况

NAP和FRDPP湿地松和火炬松造林涉及南方10个省区。依据当时的实际情况,试验在安徽、江西、湖南、广东布设。安徽(宣州)、江西(分宜、景德镇、永丰)、湖南(湘潭)5个试验点基本代表了中、北亚热带地区湿地松、火炬松主要造林区的地理范围和立地条件。各点的自然条件见表1。

表1 各试验点自然条件概况

试验点	地理坐标		海拔/m	地貌	母岩母质	土壤	土层厚度/ cm	年降雨量/ mm	年蒸发量/ mm	年均温度/ ℃
	(°)(′)E	(°)(′)N								
宣州	118 41	30 50	100	岗地	第四纪红土	黄红壤	>60	1 294.0	1 610.0	16.0
景德镇	117 11	29 24	50	低丘	千枚岩坡积母质	黄红壤	>60	1 689.4	1 452.0	17.8
永丰	115 30	27 30	80	低丘	第四纪红土	红壤	>100	1 577.4	1 459.4	18.0
分宜	114 30	27 30	120	低山	页岩坡积物	红壤	>80	1 590.9	1 593.8	17.9
湘潭	112 50	27 42	120	低丘	砂岩坡积物	红壤	>80	1 350.0		17.7

## 2 试验设计及造林、观测

根据对已往林分密度应用及效果的了解,两树种均设计5种密度:(1)2.0 m×1.5 m(3 333株·hm<sup>-2</sup>), (2)2.0 m×2.0 m(2 500株·hm<sup>-2</sup>), (3)2.0 m×2.5 m(2 000株·hm<sup>-2</sup>), (4)2.0 m×3.0 m(1 667株·hm<sup>-2</sup>), (5)3.0 m×3.0 m(1 111株·hm<sup>-2</sup>)。个别点在设置中按当地情况增加了1.5 m×1.5 m(4 444株·hm<sup>-2</sup>), 2.5 m×3.0 m(1 330株·hm<sup>-2</sup>)和3.0 m×4.0 m(830株·hm<sup>-2</sup>)。试验小区面积0.08 hm<sup>2</sup>,采用随机区组设计,4次重复。两树种在各点基本上为同一林地布设,立地条件和造林措施相同。各试验点按种源试验结果,选择适宜种源或种子园种子育苗,造林措施按各省造林设计实施,各点的造林情况见表2。当年对缺株用同龄苗补植。

表2 各试验点造林措施情况

试验点	造林时间	整地方式	施肥	苗木情况	林地抚育 <sup>①</sup>	种源
宣州	1991-06	全垦,机耕深20 cm,植穴60 cm×60 cm×50 cm	过磷酸钙 100 g·株 <sup>-1</sup>	合格容器苗	2+2+1	湿地松:美国佐治亚 火炬松:美国利文斯通
景德镇	1991-03	全垦,植穴50 cm×50 cm×30 cm	钙镁磷肥(w(P)=14%) 150 g·株 <sup>-1</sup>	I级 裸根苗	2+2+1	湿地松:美国佐治亚 火炬松:美国利文斯通
永丰	1992-01	块垦,植穴50 cm×50 cm×40 cm	钙镁磷肥 100 g·株 <sup>-1</sup> ,并2次 各50 g·株 <sup>-1</sup> 磷酸氢二铵追肥	I级 裸根苗	2+1+1	湿地松:台山种子园 火炬松:美国利文斯通
分宜	1992-01	带垦,植穴50 cm×50 cm×40 cm	—	I级 裸根苗	1+2+1	湿地松:佛山种子园 火炬松:美国利文斯通
湘潭	1992-02	全垦深20 cm,植穴60 cm×60 cm×50 cm	磷酸氢二铵 150 g·株 <sup>-1</sup>	I级 裸根苗	2+2+1	湿地松:台山种子园 火炬松:本地母树林

①为造林第1~3年每年抚育的次数。

对造林地的基本情况和各项作业作详细记载。每年终进行生长调查,各小区均固定内部30~50株(各点不等)作定株量测,包括株高、胸径、冠径、枝下高等因子。单株材积按地方经验公式或材积表查算。试验结果作方差统计,以分析密度对各因子的效应。分宜点并进行了材性

分析, 每小区锥取 10 株平均木木芯进行材性指标测定和统计分析。

### 3 试验结果

#### 3.1 密度对林木树冠发育的影响

林分密度效应直接作用于树冠和林冠的发育, 包括冠径、冠长、林冠郁闭度或重叠度因子。这些因子代表着林分个体所占有的营养面积的大小和林分环境的变化, 从而影响个体和林分的木材产量。各试点不同密度的树冠指标如表 3-1、3-2。在 3~5 年生之前, 不同密度间树冠因

表 3-1 初植密度与湿地松树冠发育的关系

性状	地点	林龄/a	植 距/m×m						F 值	
			1.5×1.5	2.0×1.5	2.0×2.0	2.0×2.5	2.0×3.0	3.0×3.0		3.0×4.0
冠径/m	宣 州	7		2.38 a	2.43 ab	2.57 ab	2.79 bc	3.11 c	>0.01	
	景德镇	6		2.17 a	2.25 a	2.28 a	2.45 a	2.73 b	>0.01	
		7		2.58 a	2.63 a	2.81 ab	2.94 b	2.97 b	>0.01	
	分 宜	6			2.10 a	2.53 b	2.50 b	2.37ab	2.60 b	>0.05
	永 丰	6		2.32 a	2.67 b	2.74 b	2.58 b	2.64 b	>0.01	
	湘 潭	6	1.70	1.61	1.75	1.80	1.93	2.03		
冠高比 <sup>①</sup> /%	宣 州	7		65.7	65.3	68.0	72.3	82.9		
	景德镇	6		62.6	66.8	70.2	73.0	80.0		
		7		56.6	58.3	63.8	66.4	76.3		
	分 宜	6			67.2	71.5	71.0	73.7	74.6	
	湘 潭	6	78.1	75.2	79.6	87.6	89.0	88.0		
	重叠度 <sup>②</sup>	宣 州	7		1.48 a	1.15 b	1.04 bc	1.02 bc	0.85 c	>0.01
景德镇		6		1.23 a	0.99 b	0.82 bc	0.78 bc	0.65 c	>0.01	
		7		1.75 a	1.37 b	1.25 b	1.13 b	0.77 c	>0.01	
分 宜		6			0.87 ab	1.01 a	0.83 ab	0.48 b	0.45 b	>0.05
永 丰		6		1.43 a	1.39 a	1.20 a	0.88 ab	0.61 b	>0.01	
湘 潭		6	1.01	0.68	0.60	0.51	0.49	0.36		

注: ①为冠长与树高之比, ②树冠面积总和与林地面积之比; a, b, c 示 t 检验 0.05 水平差异显著, 下同。

表 3-2 初植密度与火炬松树冠发育的关系

性状	地点	林龄/a	植 距/m×m						F 值	
			1.5×1.5	2.0×1.5	2.0×2.0	2.0×2.5	2.0×3.0	3.0×3.0		3.0×4.0
冠径/m	宣 州	7		2.37 a	2.95 b	2.98 b	3.30 bc	3.58 c	>0.01	
	景德镇	6		2.20 a	2.55 a	2.96 b	3.02 b	3.18 b	>0.01	
		7		3.18 a	3.38 ab	3.74 ab	3.69 ab	3.87 b	>0.05	
	分 宜	6			2.64	2.82	2.91	2.80	3.01	NS
	永 丰	6		3.08 a	3.20 ab	3.27 ab	3.32 bc	3.47 c	>0.01	
	湘 潭	6	1.98	2.00	2.02	2.07	2.27	2.30		
冠高比 <sup>①</sup> /%	宣 州	7		55.5	67.5	63.4	69.9	73.9		
	分 宜	6			65.1	68.0	72.2	79.2	80.7	
	湘 潭	6	79.5	75.5	82.0	77.4	83.4	84.2		
重叠度 <sup>②</sup>	宣 州	7		1.48	1.71	1.39	1.42	1.12		
	枫树山	6		1.39 a	1.28 ab	1.40 a	1.20 ab	0.88 b	>0.05	
		7		2.69 a	2.26 ab	2.21 ab	1.81 ab	1.32 b	>0.05	
	分 宜	6			1.45 ab	1.60 a	1.30 ab	0.91 ab	0.76 b	>0.01
	永 丰	6		2.50 a	2.01 ab	1.68 c	1.45 bc	1.05 c	>0.01	
	湘 潭	6	1.37	1.05	0.08	0.67	0.67	0.46		

子尚无明显差异,之后由于不同密度林分开始郁闭的年份和郁闭的程度不同,树冠因子表现出显著差异。

尽管由于立地条件和造林措施不同,各试验点间林冠发育程度不一。高密度林分较早形成林分环境,有利于生长,进而个体间较早开始营养空间的竞争,部分个体生长受抑制。相同条件下火炬松的重叠度大于湿地松,6~7年生时,大多数试点每公顷2000株以上的湿地松林分和每公顷1667株以上的火炬松林分,其重叠度已超过1.0,进入林分个体间竞争阶段。

相应地树冠冠径和冠高比随密度增加而减小,高密度下个体冠幅扩展受抑制和活树冠高度的减小即营养面积的减小,制约了林木的快速生长。相同密度下火炬松的冠径大于湿地松,反映出两树种枝条生长习性的差异,湿地松比火炬松枝条粗短,树冠扩展不及火炬松,也并不随植距加大而直线增加,低密度下并不能充分利用营养空间,因而密度过低,林分郁闭迟缓。

### 3.2 密度与林木高生长的关系

到1997年底为止(6~7年生),各点不同密度间林分优势木高均无差异,即密度对优势木高影响不大。从表4两树种6~7年生时各点方差分析结果看,不同密度间林分平均高基本上无差异。据对各点逐年度高生长方差分析,景德镇、分宜、永丰点湿地松林分在第4~5年平均高密度间曾呈显著差异,但这种差异显著度逐渐减小。这种过程似乎可以不同密度林分的环境逐年变化及其对生长的促进及制约的转变来解释,并从高度连年生长量的变化得到支持。各点火炬松各年度均未表现出显著差异。6~7年生时,各点湿地松林分平均高以(2.0 m×2.0 m)~(2.0 m×3.0 m)为大;火炬松南部几个点平均树高基本上随密度增加而增加,北部宣州点则相反,随密度降低而增加。上述情况可能与林木发生竞争的早晚及立地条件有关。

表4 密度与林木平均高生长的关系

树种	地点	林龄/a	植 距/m×m					F 值		
			1.5×1.5	2.0×1.5	2.0×2.0	2.0×2.5	2.0×3.0		3.0×3.0	3.0×4.0
湿地松	宣州	7		3.62	3.72	3.79	3.89	3.76	NS	
	景德镇	7		5.75	5.79	5.70	5.78	5.49	NS	
	分宜	6			5.60	5.37	5.40	5.07	5.40	>0.10
	永丰	6		5.49	5.58	5.57	5.19	5.12	NS	
	湘潭	6	4.25 a	4.03 a	4.55 b	4.36 ab	4.53 b	4.18 a	>0.01	
火炬松	宣州	7		4.37	4.36	4.70	4.70	4.84	>0.05	
	景德镇	7		4.39	4.26	4.33	4.33	4.14	NS	
	分宜	6			4.87	4.80	4.83	4.67	4.80	NS
	永丰	6		4.84	4.78	4.77	4.75	4.58	NS	
	湘潭	6	4.82 a	4.49 ab	4.60 ab	4.65 ab	4.52 ab	4.42 b	>0.05	

### 3.3 密度与林木胸径生长的关系

表5-1、5-2反映出密度对林分平均胸径有很大的影响,这种影响由于不同密度林分内的环境和竞争状况的年度变化而呈动态的变化。总的来说,南带4年生之前,北带5年生之前,不同密度间林分平均胸径尚无明显差异,之后差异度逐年增加,6~7年生时大多数试点林分密度间胸径差异达极显著。分宜点由于设计密度稍低,密度对胸径的效应发生时间较晚。

湿地松6~7年生时,各点间多以(2.0 m×3.0 m)~(2.0 m×2.5 m)处理值最大,反映出

高密度处理随着较早形成的有利林分环境逐渐转向不利的个体间激烈竞争, 生长受到抑制, 而过低密度林分尚未郁闭, 林分环境较差, 胸径绝对值尚不及  $2.0\text{ m} \times 3.0\text{ m}$  或  $2.0\text{ m} \times 2.5\text{ m}$  处理。火炬松 6~7 年生时, 各点基本呈密度愈低胸径愈大的规律。在试验范围内以  $(3.0\text{ m} \times 3.0\text{ m}) \sim (2.0\text{ m} \times 3.0\text{ m})$  处理值最大。两树种相比, 相同密度下火炬松冠幅和重叠度大于湿地松, 高密度林分较早进入竞争阶段, 低密度林分也较早形成有利林分环境。

因此到 6(南带)~7(北带)年生时,  $(2.0\text{ m} \times 1.5\text{ m}) \sim (2.0\text{ m} \times 2.0\text{ m})$  处理已产生较强烈的个体间竞争, 使生长受抑制, 已需要进行间伐来调整林分结构。

表 5-1 湿地松林分密度与林木胸径生长的关系

地点	林龄/a	植 距/m×m						F 值	
		1.5×1.5	2.0×1.5	2.0×2.0	2.0×2.5	2.0×3.0	3.0×3.0		3.0×4.0
宜 州	5		5.96	6.01	6.47	6.55	6.01	NS	
	6		7.00 a	7.77 ab	8.61 b	8.45 b	8.14 b	>0.05	
	7		8.38 a	8.79 ab	9.34 bc	9.80 c	10.20 c	>0.01	
景德镇	5		6.64	7.20	7.37	7.56	7.17	>0.10	
	6		8.91 a	9.19 ab	9.72 ab	10.05 b	9.58 ab	>0.05	
	7		10.16	10.28	10.62	10.79	10.74	>0.10	
分 宜	4			6.46	6.33	6.25	5.60	6.28	NS
	5			7.98	7.99	7.99	7.44	8.26	>0.10
	6			9.27	9.57	9.53	9.33	10.13	NS
永 丰	4		5.82 bc	6.34 ab	6.57 a	5.88 bc	5.50 c	>0.01	
	5		7.99	8.37	9.55	8.47	7.96	>0.10	
	6		8.42 a	9.12 ab	9.52 ab	9.26 ab	9.66 b	>0.01	
湘 潭	4	4.33	4.38	4.58	4.47	4.62	4.44	NS	
	5	5.23 a	5.25 a	5.64 b	5.71 bc	5.83 cd	5.88 d	>0.01	
	6	7.92 a	8.06 ab	8.46 ab	8.48 ab	9.37 b	8.91 ab	>0.05	

表 5-2 火炬松林分密度与林木胸径生长的关系

地点	林龄/a	植 距/m×m						F 值	
		1.5×1.5	2.0×1.5	2.0×2.0	2.0×2.5	2.0×3.0	3.0×3.0		3.0×4.0
宜 州	5		5.37	6.11	6.47	7.38	6.18	NS	
	6		7.06	7.83	8.16	8.27	8.39	NS	
	7		8.10 a	8.77 b	9.54 c	9.94 c	10.61 d	>0.01	
景德镇	5		6.19	6.21	6.62	6.65	6.25	NS	
	6		7.59 a	8.43 b	9.03 c	9.07 c	9.14 c	>0.01	
	7		8.49 a	9.30 ab	9.80 b	9.82 b	10.18 b	>0.01	
分 宜	4			6.63	6.82	6.75	6.43	6.73	NS
	5			8.32	8.62	8.70	8.77	9.21	NS
	6			9.03 a	9.67 ab	10.03 ab	10.50 ab	11.00 b	>0.01
永 丰	4		4.42 d	6.01 a	5.08 b	4.54 c	4.40 d	>0.01	
	5		7.16 a	8.01 b	7.97 b	7.67 b	7.97 b	>0.01	
	6		8.08 a	8.82 ab	9.04 ab	9.03 ab	9.68 ab	>0.01	
湘 潭	4	4.47	4.47	4.59	4.36	4.42	4.29	NS	
	5	5.25 a	5.26 a	5.50 b	5.58 bc	5.63 bc	5.72 c	>0.01	
	6	7.52 a	8.43 b	8.99 b	9.44 b	8.90 b	9.21 b	>0.01	

### 3.4 密度对林木材积生长的影响

如表 6-1、6-2,经方差分析,除宣州点外,两树种 6~7 年生时,(2.0 m×1.5 m)~(3.0 m×4.0 m)各处理间单株材积无显著差异,密度对平均单株材积的效应尚不显著。总的来说,大于 2 500 株·hm<sup>-2</sup>的密度在各点的单株材积值都是较小的,大多数试点湿地松 1 667 株·hm<sup>-2</sup>、火炬松 1 110 株·hm<sup>-2</sup>林分平均单株材积最大,单株材积随密度的变化趋势与胸径的变化规律相一致。

表 6-1 湿地松各密度林分单株材积和蓄积量比较

性状	地点	林龄/a	植 距/m×m					F 值		
			1.5×1.5	2.0×1.5	2.0×2.0	2.0×2.5	2.0×3.0		3.0×3.0	3.0×4.0
单株材积/m <sup>3</sup>	宣州	7		0.010 10 a	0.011 30 ab	0.012 99 abc	0.014 67 bc	0.015 42 c	>0.01	
	景德镇	7		0.030 39	0.030 52	0.033 09	0.034 41	0.034 18	NS	
	分宜	6			0.016 07	0.016 55	0.016 24	0.014 69	0.018 45	NS
	永丰	6			0.019 50	0.023 95	0.025 90	0.022 95	0.024 15	NS
	湘潭	6	0.012 96 a	0.012 71 a	0.015 49 ab	0.015 01 ab	0.018 92 b	0.015 91 ab	>0.05	
林分蓄积/(m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	宣州	7		33.67 a	28.24 a	25.97 a	24.46 ab	17.13 b	>0.01	
	景德镇	7		101.29 a	76.06 b	66.18 bc	57.36 c	39.97 d	>0.01	
	分宜	6			39.62 a	32.86 ab	26.24 b	15.77 c	15.08 c	>0.01
	永丰	6		65.01 a	59.85 ab	51.85 bc	38.25 cd	26.84 d	>0.01	
	湘潭	6	57.68 a	42.31 b	39.32 b	29.32 b	31.49 b	17.66 c	>0.01	

表 6-2 火炬松各密度林分单株材积和蓄积量比较

性状	地点	林龄/a	植 距/m×m					F 值		
			1.5×1.5	2.0×1.5	2.0×2.0	2.0×2.5	2.0×3.0		3.0×3.0	3.0×4.0
单株材积/m <sup>3</sup>	宣州	7		0.011 15 a	0.013 23 a	0.016 83 b	0.018 37 bc	0.021 37 c	>0.01	
	景德镇	7		0.018 05	0.020 88	0.022 98	0.022 83	0.025 63	>0.10	
	分宜	6			0.013 59	0.014 74	0.016 19	0.017 82	0.019 82	NS
	永丰	6		0.017 23	0.019 68	0.020 60	0.020 78	0.020 85	NS	
	湘潭	6	0.011 57 a	0.013 98 ab	0.015 74 b	0.017 44 b	0.015 18 b	0.015 98 b	>0.01	
林分蓄积/(m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	宣州	7		37.17 a	33.66 a	33.07 a	30.62 ab	23.78 b	>0.01	
	景德镇	7		60.16 a	52.19 ab	45.95 bc	18.04 cd	28.47 d	>0.01	
	分宜	6			32.58 a	28.73 ab	26.35 ab	19.39 b	16.38 b	>0.01
	永丰	6		57.38 a	49.24 ab	41.20 b	34.61 bc	23.25 c	>0.01	
	湘潭	6	51.43 a	46.38 ab	39.44 bc	34.79 c	25.27 d	17.74 d	>0.01	

此时林分蓄积量即单株材积与株数的乘积自然更大程度地受株数的作用,密度越大,蓄积越大,两树种在各试点均呈现出密度间的蓄积量显著差异。相比较而言,湿地松(2.0 m×2.0 m)~(2.0 m×3.0 m)几个处理间,火炬松的 2.0 m×2.0 m 与 2.0 m×2.5 m,2.0 m×3.0 m 与 3.0 m×3.0 m 间相差较小。

按木材标准,小径材规格为小头去皮直径 6~12 cm,段长 2 m,立木胸径(带皮)应在 10 cm 径阶以上。据此计算了宣州各密度林分小径材立木的蓄积量及出材量和薪材产量,如表 7。薪材收获作业基本上无盈利,故以小径材为有效产量,结合其它试点结果,湿地松(2.0 m×2.5 m)~(2.0 m×3.0 m)为最高,火炬松以(2.0 m×2.5 m)~(3.0 m×3.0 m)最高。

表 7 宣州点不同密度林分 7 年生时的蓄积分配

树 种	湿 地 松					火 炬 松				
	2.5×1.5	2×2	2.0×2.5	2×3	3×3	2.5×1.5	2×2	2.0×2.5	2×3	3×3
密度/m×m	2.5×1.5	2×2	2.0×2.5	2×3	3×3	2.5×1.5	2×2	2.0×2.5	2×3	3×3
≥10 cm 立木蓄积/ (m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	15.98	14.24	18.55	19.44	14.59	18.96	20.05	27.36	25.57	19.64
小径材产量/(m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	10.38	9.25	12.53	12.64	9.48	12.71	14.03	19.15	17.90	13.75
薪材产量/(m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	23.29	18.99	13.92	11.82	7.65	24.46	19.63	10.92	12.72	10.03

注: 出材率湿地松按 65%, 火炬松按 70% 计。

### 3.5 密度对林分径阶株数分布的影响

由于不同密度林分竞争程度不同, 其株数的径阶分布格局亦不同(表 9)。随密度增加, 小径阶段的株数比增加, 大径阶段的株数比减少, 株数比率的高峰值向小径阶偏移。低密度林分尚未出现激烈竞争, 因而株数比的径阶分布曲线接近于正态。同一地点相同密度的火炬松林分株数的径阶分布曲线较湿地松平缓, 小径阶株数多于湿地松, 分化较湿地松林分大。总之要减小林分的过早分化, 初植密度不能过密。

表 9 各密度林分株数按径阶(胸径)分布的比例

树 种	地点 (林龄/a)	%														
		<8 cm					8.0~11.9 cm					≥12 cm				
		2.0×1.5 <sup>①</sup>	2×2	2.0×2.5	2×3	3×3	2.0×1.5	2×2	2.0×2.5	2×3	3×3	2.0×1.5	2×2	2.0×2.5	2×3	3×3
湿地松	宣州(7)	43.33	35.41	22.91	15.44	13.90	54.15	62.92	71.23	74.98	69.18	2.52	1.67	5.86	9.58	16.92
	景德镇(7)	2.50	0.62	1.88	—	1.25	91.88	93.14	88.12	83.12	84.37	5.62	7.24	10.00	16.88	14.38
	分宜(6)		18.24	17.36	13.47	11.64		81.76	76.39	82.27	84.25		—	6.25	4.26	4.11
	水丰(6)	38.34	22.50	15.00	14.17	8.23	60.83	73.33	75.84	84.16	88.34	0.83	4.17	9.16	1.67	3.33
火炬松	宣州(7)	50.00	40.00	19.33	16.89	15.83	47.45	53.76	73.1	70.78	59.17	2.55	6.24	7.57	12.33	25.00
	景德镇(7)	28.13	13.12	5.62	3.75	9.32	71.87	86.26	85.00	85.75	77.64	—	0.62	9.38	7.50	13.04
	分宜(6)		27.78	14.48	13.60	13.70		68.75	75.86	72.12	58.22		3.47	9.66	14.28	28.08
	水丰(6)	46.67	25.83	24.17	25.83	12.50	53.33	70.84	71.66	70.84	76.67	—	3.33	4.17	3.33	10.83

①该行为植距/m×m。

### 3.6 密度对干材质量的影响

高密度林分郁闭后产生较强烈的自然整枝, 无节干材较长, 而低密度林分郁闭迟, 自然整枝弱, 活枝粗大且低下, 两树种各点间林分枝下高均随密度降低而减小, 密度间差异显著(表 10), 主要表现为 3 m×3 m 以上处理整枝程度较低, 不利于利用自然整枝形成无节干材。

表 10 密度对枝下高的影响

树 种	地点	林龄/a	植 距/m×m						F 值
			1.5×1.5	2.0×1.5	2.0×2.0	2.0×2.5	2.0×3.0	3.0×3.0	
湿地松	宣州	7		1.24 a	1.29 a	1.22 a	1.08 a	0.64 b	>0.05
	景德镇	7		2.50 a	2.42 a	2.09 ab	1.96 b	1.36 c	>0.01
	分宜	6			1.83 a	1.53 ab	1.57 ab	1.33 b	1.37 b
火炬松	宣州	7		1.96	1.42	1.73	1.43	1.27	NS
	景德镇	7		1.97 a	1.89 a	1.61 ab	1.48 ab	1.10 b	>0.01
	分宜	6			1.70 a	1.53 a	1.33 a	0.97 b	0.93 b

树干的高径比一定程度上反映了树干的尖削度,由表 11 可知,高径比表现出随密度增加而增加的规律性变化,且方差分析差异显著。同一密度南带的树干高径比大于北带,因而为减小尖削度,栽培区北带应适当密植。在北带,火炬松的高径比大于湿地松,而南部则相反,亦反映出两树种对地带的适生性。

对分宜点的火炬松材性分析表明,各密度间诸材性指标均无差异,表明在此林龄,密度对材性的影响尚不显著。

表 11 密度对树干高径比的影响

树 种	地 点	林龄/a	植 距/m×m					F 值		
			1.5×1.5	2.0×1.5	2.0×2.0	2.0×2.5	2.0×3.0		3.0×3.0	3.0×4.0
湿地松	宣 州	7		43.3 a	42.3 a	40.6 b	39.6 b	36.8 c	>0.01	
	景德镇	7		56.5 a	56.2 a	53.8 ab	53.6 ab	48.6 b	>0.01	
	分 宜	6			60.5 a	56.6 b	56.1 b	55.3 b	53.5 b	>0.05
	永 丰	6			65.2 a	61.4 ab	58.6 ab	55.9 b	52.9 b	>0.01
	湘 潭	6	53.8 a	50.1 abc	53.4 a	51.4 ab	48.5 bc	46.9 c	>0.01	
火炬松	宣 州	7		56.0	49.7	49.3	47.6	45.6	NS	
	景德镇	7		51.5 a	45.9 ab	43.9 ab	43.9 ab	40.8 b	>0.01	
	分 宜	6			53.9 a	49.7 ab	48.1 ab	44.4 b	43.6 b	>0.01
	永 丰	6			60.0 a	54.2 b	52.9 b	52.5 b	47.3 c	>0.01
	湘 潭	6	64.1 a	53.2 b	51.1 bc	49.3 bc	50.9 bc	48.2 c	>0.01	

### 3.7 造林成本分析

表 12 为各地试验林从营建整地到幼林抚育结束的总投入。由于社会经济条件不同,劳动力价格相差极大,且各试点的造林抚育方式、苗木价格、施肥投入也不同,因此表中各点的营林成本构成也不一致。但很显然,营林成本将随密度增加而增加。按各试点平均值计,2.0 m×1.5 m 的林分成本较 3.0 m×3.0 m 林分高 99%。2.0 m×2.0~3.0 m 林分较 3.0 m×3.0 m 林分高 54.3%~26.9%。

表 12 各试点不同密度林分营林成本概算

元·hm<sup>-2</sup>

试 点	植 距/m×m					
	2.0×1.5	2.0×2.0	2.0×2.5	2.0×3.0	3.0×3.0	3.0×4.0
宣 州	2 692	2 168	1 853	1 643	1 293	
景德镇	2 726	2 649	2 203	2 072	1 854	
分 宜		2 460	2 190	2 011	1 718	1 569
永 丰	2 160	1 620	1 296	1 080	720	
湘 潭	2 637	1 992	1 590	1 331	823	
平 均	2 554	1 978	1 826	1 627	1 282	

### 3.8 初植密度的确定

由于不同密度林分发育期间个体间竞争程度和林分与环境因子关系的发展变化过程的不同,初植密度对大多数生长和形质指标产生效应,造成密度间的差异,其经济投入与有效产出亦有高低之分。依据上述分析,6~7年生时,2 000 株·hm<sup>-2</sup>以上湿地松、1 667 株·hm<sup>-2</sup>以上



火炬松即进入个体竞争阶段,林分分化加剧。林分平均胸径及单株材积湿地松以 $1\ 667\sim 2\ 000$ 株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ ,火炬松以 $1\ 111\sim 1\ 667$ 株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 为最大。林分蓄积随密度增加而增大,但有效产量则以 $2\ 000\sim 1\ 111$ 株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 较高。虽然 $1\ 667\sim 2\ 000$ 株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 以上密度林分从林冠发育和生长等因子来看,已需进行间伐来调整林分结构,但林分间伐属无盈利作业,且造林成本随密度增大而增加。从而认为在试验范围内, $2.0\text{ m}\times 2.5\text{ m}$ ( $2\ 000$ 株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ )至 $3.0\text{ m}\times 3.0\text{ m}$ ( $1\ 111$ 株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ )的密度较为适宜。相同目标和条件下湿地松林分密度宜大于火炬松,以建筑材为目标的林分密度应低于纸浆材林分。

## 4 结 论

(1)湿地松树冠较火炬松窄,枝条外向生长不及火炬松,林分郁闭较迟缓,低密度下受到的环境胁迫大于火炬松。 $6\sim 7$ 年生时两树种( $2.0\text{ m}\times 1.5\text{ m}$ ) $\sim$ ( $2.0\text{ m}\times 2.0\text{ m}$ )林分个体生长已受较大限制,因而胸径和单株材积随密度降低而增加,但 $3.0\text{ m}\times 3.0\text{ m}$ 以上林分湿地松生长不及较高密度林分。火炬松则在试验范围内与密度降低近于线性。林分密度对树高的影响不大。

(2)在幼龄阶段,林分单位面积蓄积随密度加大而增加。但径阶株数百分率高峰值则随密度降低而向大径阶方向偏移。现阶段小径规格材的实际出材量以中等密度(湿地松( $2.0\text{ m}\times 2.5\text{ m}$ ) $\sim$ ( $2.0\text{ m}\times 3.0\text{ m}$ ),火炬松( $2.0\text{ m}\times 3.0\text{ m}$ ) $\sim$ ( $3.0\text{ m}\times 3.0\text{ m}$ )为大。

(3)在中、北亚热带地区,湿地松、火炬松速丰林林地立地指数一般为 $14\sim 18$ ,以培育造纸材和中径材为主,少量可培育大径材。从期望产品和林分发育角度分析,适宜的初植密度湿地松为 $2\ 000\sim 1\ 333$ 株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ ,火炬松为 $1\ 667\sim 1\ 111$ 株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 。密度增加,营林成本自然增加,且需在早期进行非盈利性间伐。初植密度的决策需综合考虑与之紧密相关的营林成本(包括苗木和栽植成本、整地挖穴成本、幼林抚育成本等)和所需中间期间伐作业的可能性(间伐材市场)等因素。

(4)林木自然整枝状况随密度增加而得到改善,随密度增加,立木高径比提高。纬度愈高,地位级愈低,生长缓慢,尖削度增大。在幼龄阶段,林分密度对木材材性影响不大。较低密度造林应适时人工整枝,改善干形。

(5)为实现上述经营目标,中带地区造林可视立地条件采取带垦或穴垦整地方式,施基肥造林并适度抚育,而在北带或较低立地条件下应采取全垦或带垦整地方式,施基肥造林,并加强抚育管理。

## 参考文献:

- [1] 潘地刚,游应天.湿地松、火炬松、加勒比松引种栽培[M].北京:北京科学技术出版社,1991.
- [2] 林业部调查规划设计院,林业部世界银行贷款项目管理中心.世界银行贷款中国国家造林项目可行性研究报告[R].北京,1990,7.
- [3] 林业部世界银行贷款项目管理中心,林业部调查规划设计院.世界银行贷款中国森林资源发展和保护项目可行性研究报告[R].北京,1994,2.
- [4] Duryea M L, Dougherty Ph M. Forest Regeneration Manual[M]. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1991.

## Study on the Initial Planting Density of Industrial Timber Stands of Slash Pine and Loblolly Pine

JIANG Jing-min<sup>1</sup>, YU Mu-kui<sup>2</sup>, TONG Fang-ping<sup>3</sup>,

LI Jiang-nan<sup>4</sup>, LIU Guang-zheng<sup>5</sup>, HU Shi-cai<sup>6</sup>

(1. The Research Institute of Subtropical Forestry, CAF, Fuyang 311400, Zhejiang, China; 2 The Forestry Institute of Anhui Province, Hefei 230031, Anhui, China; 3. Hunan Forestry Academy, Changsha 410004, Hunan, China; 4. Experimental Center of Subtropical Forestry, CAF, Fenyi 336600, Jiangxi, China; 5. Jiangxi Forestry Academy, Nanchang 330032, Jiangxi, China; 6. Fengshushan Forest Farm of Jingdezhen City, Jingdezhen 333000, Jiangxi, China)

**Abstract:** The test stands were established at five sites in the central and north subtropical region of China in order to determine the suitable initial planting densities of industrial timber plantation of slash pine and loblolly pine. According to 6 ~ 7 years' field survey results the effects of initial density on the stand factors of individual tree growth, population development, tree form and wood property, and the changes of growth factors due to the difference of stand development process were analyzed. Based on the comprehensive consideration of biological and economic factors, the initial planting density patterns is suggested as follows: with the site index of 14 ~ 18, the densities are  $2\ 000 \sim 1\ 333 \cdot \text{hm}^{-2}$  for slash pine,  $1\ 667 \sim 1\ 111 \cdot \text{hm}^{-2}$  for loblolly pine. The densities of  $2\ 000 \sim 1\ 667 \cdot \text{hm}^{-2}$  are adopted for unthinning pulping timber stands, or compound target of pulping timber and middle dimension timber with thinning;  $1\ 667 \sim 1\ 111 \cdot \text{hm}^{-2}$  and thinning are adopted for cultivation of middle and large dimension timber. Meanwhile, the necessary cultural measures are put forward for the realization of above management goals.

**Key words:** slash pine; loblolly pine; industrial timber plantation; initial planting density; stand development; economic analysis