

文章编号: 1001-1498(1999) 06-0620-08

# 马尾松速生丰产林不同培育目标的 适宜造林密度\*

秦国峰, 周志春, 金国庆, 荣文琛, 吴天林

(中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江富阳 311400)

**摘要:** 利用造林密度对比试验与现有人工林分密度的调查结果, 提出马尾松速生丰产林的适宜造林密度与不同培养目标的林木密度调控模型。结果表明: 马尾松速生丰产林的造林密度以中密度为宜, 植距在 $1.4\text{ m} \times 2.0\text{ m}$  和 $2.0\text{ m} \times 2.0\text{ m}$  之间, 每公顷 $3\ 555 \sim 2\ 490$ 株。试提出不同培养目标的林分密度调控管理模型如下: (1) 小径材(12~16 cm), 伐期20 a, 立地指数14~16, 造林密度 $3\ 600 \sim 3\ 300$ 株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 、最终保留密度 $2\ 340 \sim 2\ 145$ 株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 、年均材积生长 $11.61 \sim 14.54\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 。(2) 中径材(18~24 cm), 伐期25 a, 立地指数16~18, 造林密度 $2\ 775 \sim 2\ 490$ 株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 、最终保留密度 $1\ 560 \sim 1\ 395$ 株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 、年均材积生长 $13.02 \sim 17.47\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 。(3) 大径材(26~32 cm), 伐期30 a, 立地指数18~20, 造林密度 $1\ 995 \sim 1\ 725$ 株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 、最终保留密度 $900 \sim 750$ 株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 、年均材积生长 $16.20 \sim 16.76\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

**关键词:** 马尾松; 速生丰产林; 适宜造林密度; 培育目标

中图分类号: S725.6

文献标识码: A

马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.)是我国南方的主要造林树种, 每年人工造林面积很大。以往作为荒山绿化先锋树种与优质薪材树种, 一般采用高密度造林以尽快获得生产效益, 每公顷高达 $6\ 000 \sim 9\ 000$ 株, 甚至更高; 矿柱林与一般用材林的造林密度也较高, 每公顷达 $5\ 000 \sim 6\ 000$ 株。我国现行的“马尾松速生丰产林专业标准”确定, 大径材每公顷 $3\ 000 \sim 4\ 500$ 株, 中、小径材为 $3\ 600 \sim 6\ 750$ 株<sup>[1]</sup>, 从生产实践来看, 这一密度仍偏高。造林密度, 实际是林分密度问题。在给定立地上, 林分密度是影响林分生产力的最重要因子, 在培育森林时人们可较容易地操纵林分密度<sup>[2]</sup>。按照市场需求, 定向培育不同材种和不同规格的用材, 在现有造林技术条件下, 很大程度上也取决于对林分的密度控制<sup>[3]</sup>。鉴于此, 针对马尾松造林密度中存在的实际问题, 本文将通过造林密度的对比试验和主要产区成年人工林的密度调查, 并结合一些已有的研究结果, 以确定马尾松速丰产林适宜的造林密度, 建立相应的林分密度的调控管理模型。

## 1 试验与调查方法

### 1.1 造林密度对比试验

马尾松造林密度对比试验设置在浙、赣、闽、桂、湘、川、黔七省(区)的7个试验点, 包括7种

收稿日期: 1999-02-08

基金项目: 世界银行贷款国家造林项目“马尾松速生丰产技术与推广”课题内容。

\* 参加试验与调查的还有湖南省林科院李午平、曾万明, 福建省武平县林业局兰永兆、南平造纸营林总公司、延平区漳湖板林场、邵武市卫闽林场、顺昌县埔上林场, 中国林业科学研究院亚热带林业实验中心洪炜等, 在此一并致谢。

第一作者简介: 秦国峰(1934-), 男, 浙江建德人, 研究员。

植距的密度处理:  $1.0\text{ m} \times 1.5\text{ m}$ 、 $1.5\text{ m} \times 1.5\text{ m}$ 、 $1.5\text{ m} \times 2.0\text{ m}$ 、 $2.0\text{ m} \times 2.0\text{ m}$ 、 $2.0\text{ m} \times 2.5\text{ m}$ 、 $2.5\text{ m} \times 2.5\text{ m}$  和  $2.5\text{ m} \times 3.0\text{ m}$ 。试验为完全随机区组设计, 4次重复, 小区面积  $1/15\text{ hm}^2$ 。5年生时每小区量测50株树木的树高、胸径、冠幅、枝下高, 并估算树干材积。按小区均值对各性状进行方差分析。

## 1.2 现有人工林密度调查

在福建、湖南和江西三省马尾松主产区, 选择立地指数14以上、树龄10年生以上不同密度的人工林, 设立112块临时样地, 样地大小  $1/15\text{ hm}^2$ , 进行每木检尺和主要测树因子常规调查, 估算林分年龄、林分密度、平均树高、胸径、蓄积量、径阶分布、优势木高以及立地指数。剔除表现异常样地, 利用多元回归分析, 建立各测树因子的预测模型, 估算在给定立地指数不同年龄人工林的平均树高、胸径、蓄积和单位面积保留的林木株数, 以此为基础, 并考虑人工林经营历史、现状和轮伐期长短, 建立马尾松速生丰产林的密度管理模型。

## 2 结果与分析

### 2.1 造林密度与林木生长和造林成本

2.1.1 造林密度与幼林生长 幼林处在从个体生长进入群体生长的阶段, 郁闭前造林密度对幼林生长的影响不大, 郁闭后密度效应开始明显。根据7个地点的密度试验, 初植密度对幼林生长的影响因试点立地条件的不同有两种趋势, 现以江西分宜与浙江淳安两试点分别说明(表1)。

表1 5年生马尾松幼林不同密度林木生长量比较

试 点	性 状	植距/(m × m) [ 密度/(株·hm <sup>-2</sup> ) ]						
		1.0 × 1.5 (6 666)	1.5 × 1.5 (4 444)	1.5 × 2.0 (3 333)	2.0 × 2.0 (2 500)	2.0 × 2.5 (2 000)	2.5 × 2.5 (1 600)	2.5 × 3.0 (1 333)
江西 分宜	树高/m	4.55	4.31	4.33	4.52	4.58	4.25	4.52
	胸径/cm	5.81	5.36	6.20	6.29	6.86	6.14	7.09
	单株材积/m <sup>3</sup>	0.007 34	0.005 73	0.007 49	0.007 98	0.009 56	0.007 22	0.010 06
	冠幅/m	1.71	1.82	1.84	1.99	2.18	1.92	2.24
	枝下高/m	0.97	1.08	0.86	0.69	0.77	0.68	0.72
浙江 淳安	树高/m	2.57	2.52	2.61	2.55	2.61	2.54	2.49
	胸径/cm	2.43	2.52	2.62	2.63	2.80	2.55	2.50
	单株材积/m <sup>3</sup>	0.000 82	0.000 87	0.000 96	0.000 96	0.001 09	0.000 89	0.000 83
	冠幅/m	1.58	1.54	1.64	1.61	1.92	1.80	1.77
	枝下高/m	0.27	0.35	0.23	0.22	0.22	0.23	0.28

在立地条件较好的江西分宜点, 造林密度由低到高, 单株材积生长相应下降。江西分宜点林分条件好, 林木生长量大, 郁闭和自然整枝较早。试验发现5年生时各密度间树高差异不显著, 而随密度的增加, 胸径、单株材积与冠幅逐渐减小, 枝下高增大。在7种密度中, 高密度( $1.0\text{ m} \times 1.5\text{ m}$  与  $1.5\text{ m} \times 1.5\text{ m}$ ) 林分已郁闭, 胸径、材积与树冠生长已受影响; 中密度( $1.5\text{ m} \times 2.0\text{ m}$  与  $2.0\text{ m} \times 2.0\text{ m}$ ) 林分则接近郁闭, 林木生长虽受影响, 但不明显; 而低密度( $2.0\text{ m} \times 2.5\text{ m}$ 、 $2.5\text{ m} \times 2.5\text{ m}$  与  $2.5\text{ m} \times 3.0\text{ m}$ ) 生长尚未受影响, 生长量最大。方差分析表明幼林郁闭时不同密度间的胸径和材积生长量差异较显著, 单株材积生长呈现随密度由高至低而增长的趋势。

在立地条件较差的浙江淳安点,造林密度由低到高,材积生长先由低到高,然后又有所降低,林木生长量小,郁闭较迟。发现5年生时林木生长在不同密度间差异不大,然而随密度由高中至中等,胸径和材积生长提高,低密度时生长则反而降低。7种密度的枝下高都很低,平均0.28 m,意味着林分郁闭迟,尚未进入自然整枝阶段。与分宜点不同的是,在浙江淳安点低密度林分的胸径、材积生长量反而降低,这是因为立地较差,幼林3~4年生还未郁闭,此时又停止抚育,这样林地因郁闭迟而较干旱,以及杂草丛生与林木争夺水分和养分,致使幼树生长受影响。

2.1.2 造林密度与成林生长 幼林郁闭后形成群体生长的生态环境,个体间相互争夺营养空间,林木分化剧烈。贵州省龙里林场马尾松密度试验11年生和17年生结果表明<sup>[5]</sup>,造林密度对马尾松高生长似无影响,对径生长和单株材积作用强烈。若按胸径8 cm作为成材标准,17年生时稀植类型在50%以上,其中2 835株·hm<sup>-2</sup>和3 870株·hm<sup>-2</sup>的林分近70%,而密植类型9 225株·hm<sup>-2</sup>为41.8%,14 265株·hm<sup>-2</sup>仅为25.8%。对于单位面积材积生长量,在11年生时随密度提高而增加,17年生时差异已不显著。研究表明马尾松树冠发育主要决定于10年生以前的幼林期,其后因林木分化激烈冠幅扩展缓慢。17年生时,除稀植类型自然稀疏较弱外,密植类型出现了显著自然稀疏现象,其中9 225株·hm<sup>-2</sup>林分自然枯死近1/4,14 265株·hm<sup>-2</sup>林分达1/3。

2.1.3 造林密度与造林成本 对生产经营者,使生产成本降至最低永远是最合理的目标。造林费用是整个木材生产投资的主要部分,与造林密度有密切的关系。现以福建省武平县1994年世行贷款国家造林项目的马尾松造林价格为例逐项予以说明:合格容器苗0.05元·株<sup>-1</sup>,种植费(包括运输费)0.06元·株<sup>-1</sup>,挖穴回填表土费(规格50 cm×40 cm×30 cm)0.13元·穴<sup>-1</sup>,林地准备费(包括劈草、炼山和林地开设等)405元·hm<sup>-2</sup>,抚育费180元·hm<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>,一般抚育3 a。不计息时,各种密度的造林投资见表2。

表2 马尾松不同造林密度每公顷造林费用

株	密度		造林费用合计		林地准备费		抚育费		栽植费				随密度增支	
	递增比例/%	元	递增比例/%	元	占总费用/%	元	占总费用/%	挖穴/元	栽植/元	两项合计/元	占总费用/%	元	%	
2 500	100	1 545	100	405	26	540	35	325	275	600	39	0	0	
3 000	120	1 665	108	405	24	540	32	390	330	720	43	120	20	
3 333	133	1 745	113	405	23	540	31	433	367	800	46	200	33	
4 444	178	2 010	130	405	20	540	27	577	488	1 065	53	465	78	
6 667	267	2 545	165	405	16	540	21	867	733	1 600	63	1 000	167	
10 000	400	3 345	217	405	12	540	16	1 300	1 100	2 400	72	1 800	300	

从表2可清楚地知道,随造林密度的增加相应提高的造林费比例很高。若以造林密度2 500株·hm<sup>-2</sup>及其造林总费用1 545元·hm<sup>-2</sup>为100%计,5种造林密度依次提高20%、33%、78%、167%和300%,造林费用相应提高8%、13%、30%、65%和117%。造林密度由2 500株·hm<sup>-2</sup>增至3 333株·hm<sup>-2</sup>,造林费增加200元·hm<sup>-2</sup>;或者由3 000株·hm<sup>-2</sup>增至4 444株·hm<sup>-2</sup>,造林费增加345元·hm<sup>-2</sup>,这就是说营造1万hm<sup>2</sup>马尾松人工林就要增加200~345万元的费用。这是未计息的情形,若按世行贷款造林项目6%贷款年息计,各种密度各年度造林投资加贷款利息则更高。为进一步说明造林密度与造林成本的关系,可将造林费分解为3个部分,即栽植之前的林地准备费、栽植之后的抚育管理费和中间的挖穴、苗木、栽植费(简称栽植费),与

造林密度有关的仅是中间的栽植费。随密度增加相应提高的造林费实际上就是栽植费的提高, 要降低造林成本, 不能盲目采用高密度。适宜的造林密度是加速林木生长和降低造林费用至为关键的因素。

## 2.2 现有人工林密度与林木生长

2.2.1 林分密度与木材产量及径阶分布 根据在福建、湖南和江西三者马尾松主产区现有人工林的样地材料, 选择中龄、近熟与成熟3个龄期不同密度的样地, 比较林龄与立地指数相同条件下林分密度对木材产量和品质的影响, 为确定适宜的造林密度提供依据。3组9块样地的林龄、立地指数、单位面积株数、单位面积蓄积及径阶分布见表3。

表3 相同林龄和立地下林分的木材产量与径阶结构

样地号	林龄/a	立地指数	密度/(株·hm <sup>-2</sup> )	蓄积/(m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	项目	径阶结构(按胸径大小计)							
						等外材 (< 8 cm)		小径材 (10 ~ 16 cm)		中径材 (18 ~ 24 cm)		大径材 (> 26 cm)	
						测值	%	测值	%	测值	%	测值	%
F024	14	14	1 410	106.13	株数	150	10.64	1 005	71.28	255	18.08		
					材积/m <sup>3</sup>	2.91	2.74	70.04	65.99	33.18	31.27		
F023	14	14	2 160	112.63	株数	435	20.14	1 620	75.00	105	4.86		
					材积/m <sup>3</sup>	6.13	5.44	94.05	83.50	12.45	11.06		
F022	14	16	2 745	165.09	株数	375	13.66	2 250	81.97	120	4.37		
					材积/m <sup>3</sup>	5.35	3.24	140.55	85.14	19.19	11.62		
F004	23	14	615	152.99	株数			30	4.88	465	75.61	120	19.51
					材积/m <sup>3</sup>			2.14	1.40	98.35	64.28	52.50	34.32
HG 02	23	16	1 185	277.47	株数			225	18.99	870	73.42	90	7.59
					材积/m <sup>3</sup>			29.00	10.45	207.38	74.74	41.09	14.81
F029	23	14	1 335	157.15	株数	75	5.62	735	55.06	525	39.32		
					材积/m <sup>3</sup>	1.54	0.98	59.65	37.96	95.96	61.06		
HJ01	31	18	810	276.03	株数			210	25.93	405	50.00	195	24.07
					材积/m <sup>3</sup>			25.00	9.06	124.89	45.24	126.14	45.70
HJ02	31	16	915	276.95	株数			300	32.79	450	49.18	165	18.03
					材积/m <sup>3</sup>			42.06	15.19	133.33	48.14	101.56	36.67
HZ04	31	18	1 470	301.96	株数	15	1.02	915	62.25	525	35.71	15	1.02
					材积/m <sup>3</sup>	0.43	0.14	114.46	37.93	178.82	59.20	8.25	2.73

表3说明在相同林龄与立地条件下, 在较低林分密度范围内, 随林分密度增加, 每公顷蓄积相应提高。如14年生的中龄林, 每公顷株数为1 410、2 160和2 745株的3块样地其蓄积分别为106.13、112.63、165.09 m<sup>3</sup>, 其中立地指数16比14的样地蓄积增长的比例更大。23年生的近熟林和31年生的成熟林各3块样地也显示出随密度增大和立地质量提高木材产量相应增加的趋势。

林木径阶分布分析表明林木材种结构因密度而异。一般来讲, 在相同年龄和立地条件下, 密度由高至低木材径级相应提高。3个龄期各3块样地密度由低到高其木材径级与材积变化规律是: 14年生中龄林小径材的材积比例分别为65.99% 85.14% 逐渐升高, 中径材31.27% 11.62% 逐渐降低, 大径材尚未出现。23年生近熟林小径材的材积1.40% 37.96% 逐渐升高, 中径材在61.06% ~ 74.74% 之间, 比例均较高, 大径材34.32% 14.81% 逐渐降低。31年生成熟林小径材9.06% 37.93% 逐渐升高, 中径材45.24% 59.20% 逐渐升高, 大径材45.70%

2. 73% 急剧下降。上述有关不同密度木材产量和径阶分布分析, 是在中龄林每公顷1 500~3 000株、近熟林与成熟林每公顷750~1 500株的密度条件下所得到的结果, 可作为不同龄期密度控制的参考依据。

2. 2. 2 现有林分的生长和密度预测 利用3个省份马尾松主产区48块代表性样地的调查材料作多元线性回归分析, 建立林分各项测量因子的回归预测模型(表4), 计算出给定立地指数( $SI$ )和年龄( $A$ )的林分达到相应的树高( $H$ )、胸径( $D$ )、蓄积( $V$ )和单位面积保留的林木株数( $N$ )(表5), 据此作为不同立地条件下培养不同材种进行密度管理的参考依据。比如在指数14的立地条件下, 培养小径材, 伐期20 a, 表中查得 $2\ 145\ \text{株}\cdot\text{hm}^{-2}$ , 按疏伐1次强度为35%计, 可求得初植密度为 $3\ 300\ \text{株}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。又如立地指数16, 培养中径材, 伐期25 a, 表中查得 $1\ 575\ \text{株}\cdot\text{hm}^{-2}$ , 间伐2次, 强度为30%与20%, 可推算初植密度为 $2\ 820\ \text{株}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。各立地指数、不同林龄的林木平均树高、胸径、单位面积材积与保留株数详见后页表5。

表4 马尾松现有林分各项测量因子的回归预测模型

模型代号	回归预测模型	复相关系数	F 检验值
1	$H = -13.324\ 0 + 1.045\ 6SI + 0.493\ 9A$	0.956 0**	239.27**
2	$D = -2.011\ 5 + 0.119\ 0SI + 0.228\ 438\ 3A + 0.807\ 850\ 2H$	0.962 5**	184.57**
3	$V = -4.322\ 3 + 0.086\ 5SI - 0.079\ 0A + 0.836\ 8H + 0.337\ 2D$	0.953 6**	107.84**
4	$N = 334.107\ 5 - 2.972\ 8SI - 4.743\ 6A - 0.612\ 3H - 8.800\ 3D + 7.505\ 2V$	0.854 2**	22.66**

注: \*\* 示1%差异显著水平。

## 3 结论和讨论

### 3. 1 速生丰产林的适宜造林密度

根据生产实践采用的造林密度与试验调查所得材料, 可将马尾松造林密度分为高密度、中密度、低密度3级; 高密度植距在1.3~1.7 m之间, 每公顷3 900~5 250株; 中密度植距在1.4~2.0 m之间, 每公顷2 400~3 750株; 低密度植距在2.0~2.5 m之间, 每公顷1 500~2 250株。

速生丰产林是以生产优质、高产的木材为目标, 造林密度应有利于这一目标的实现, 试验与调查资料表明中密度是速生丰产林的适宜造林密度。(1) 在郁闭前的幼林期, 一般是随密度由高到低冠幅与单株材积相应增加, 如果立地条件较差, 低密度的林木郁闭很迟, 林地裸露干旱或杂草丛生。而中密度林地不论哪种立地条件, 材积生长都比较好, 说明马尾松造林后抚育3 a并期望4~5年生时基本郁闭, 采用中密度是适宜的。(2) 在郁闭后的成林期, 林木材积生长随立地指数与立木密度提高而增加。在给定伐期、立地指数和材种培育目标的前提下, 造林也多以中密度为宜。例如表5培育小径材, 立地指数14~16, 伐期20 a, 每公顷保留密度为 $2\ 145\sim 2\ 070$ 株, 间伐1次, 其强度为35%, 则造林密度为 $3\ 300\sim 3\ 180$ 株。照此推算, 培育大、中径材的造林密度均以中密度为宜。(3) 中密度造林可降低造林成本。现按中密度与高密度中间值作一比较, 高密度每公顷4 500株与中密度每公顷3 000株, 按福建省武平县1994年时价计算, 前者造林第1年的投入每公顷1 650元, 后者1 305元, 相差345元。说明高密度造林投资大, 低密度可降低造林成本, 但并非越低越好。因马尾松是强阳性树种, 过密不利于生长, 而太稀了树冠扩展、轮枝发达节疤大, 不利于圆满通直干形的培育。采用中密度造林, 既有利于大量生产优质木材, 又可有效降低造林成本。

表 5 各立地指数、不同林龄单位面积保留株数分析

林分年 龄/a	立地指数:14				立地指数:16				立地指数:18				立地指数:20			
	H/m	D/cm	V/ (m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	N/ (株·hm <sup>-2</sup> )	H/m	D/cm	V/ (m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	N/ (株·hm <sup>-2</sup> )	H/m	D/cm	V/ (m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	N/ (株·hm <sup>-2</sup> )	H/m	D/cm	V/ (m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	N/ (株·hm <sup>-2</sup> )
12	7.2	8.3	71.7	2 910	9.3	10.2	110.3	2 850	11.4	12.1	149.0	2 775	13.5	14.0	187.5	2 700
14	8.2	9.5	88.1	2 730	10.3	11.4	126.8	2 655	12.4	13.4	165.3	2 580	14.5	15.3	203.9	2 505
16	9.2	10.8	104.5	2 535	11.3	12.7	143.1	2 460	13.4	14.6	181.7	2 385	15.5	16.5	220.2	2 310
18	10.2	12.0	120.9	2 340	12.3	13.9	159.5	2 265	14.4	15.9	198.0	2 190	16.5	17.8	236.7	2 115
20	11.2	13.3	137.3	2 145	13.3	15.2	175.8	2 070	15.4	17.1	214.4	1 995	17.5	19.1	253.1	1 920
22	12.2	14.5	153.6	1 950	14.3	16.5	192.2	1 875	16.4	18.4	230.9	1 800	18.5	20.3	269.4	1 725
24	13.2	15.8	170.0	1 755	15.3	17.7	208.7	1 680	17.4	19.6	247.2	1 605	19.4	21.6	285.8	1 530
25	13.7	16.4	178.2	1 650	15.8	18.3	216.8	1 575	17.8	20.3	253.3	1 515	19.9	22.2	294.0	1 440
26	14.2	17.0	186.3	1 560	16.3	19.0	225.0	1 485	18.3	20.9	263.6	1 410	20.4	22.8	302.1	1 335
28	15.1	18.3	202.8	1 365	17.2	20.2	241.4	1 290	19.3	22.1	279.9	1 215	21.4	24.1	318.5	1 140
30	16.1	19.5	219.2	1 170	18.2	21.5	257.7	1 095	20.3	23.4	296.3	1 020	22.4	25.3	335.0	945
32	17.1	20.8	235.5	975	19.2	22.7	274.1	900	21.3	24.7	312.8	825	23.4	26.6	351.3	750
34	18.1	22.1	251.8	780	20.2	24.0	290.4	705	22.3	25.9	329.1	630	24.4	27.8	367.7	555
36	19.1	23.3	268.2	585	21.2	25.2	306.9	510	23.3	27.2	345.5	435	25.4	29.1	384.0	275

表 6 马尾松速丰林造林密度及密度管理模型

培育 目标 (胸径/cm)	生产 材种	轮伐 期/a	立地 指数	初植		(1)第7~8年		(2)第11~12年		(3)第15~16年		主伐材产量		年均/ 总材积/ (m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )(m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )		
				密度/ (株·hm <sup>-2</sup> )	强度/%	最终株数/ (株·hm <sup>-2</sup> )	蓄积/ (m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )									
小径材 (12~16)	纸浆材	20	14	3 600	35	2 340	35	2 145	30	1 950	20	1 560	2 340	0.097 02	232.13	11.61
			16	3 300	35	2 145	30	1 950	20	1 560	2 145	0.133 43	286.21	290.86	14.54	
			16	2 775	30	1 950	20	1 560	20	1 560	1 560	0.201 85	314.89	325.54	13.02	
中径材 (18~24)	矿柱材	25	18	2 490	30	1 740	20	1 395	20	1 395	(2)7.35	1 395	0.306 37	427.39	436.84	17.47
			18	2 490	30	1 740	20	1 395	20	1 395	(1)3.00	1 395	0.306 37	427.39	436.84	17.47
			16	2 775	30	1 950	20	1 560	20	1 560	(2)6.45	1 560	0.201 85	314.89	325.54	13.02
大径材 (26~32)	锯材	30	18	1 995	30	1 395	20	1 125	20	900	(1)2.25	900	0.530 07	477.06	485.91	16.20
			18	1 995	30	1 395	20	1 125	20	900	(2)5.16	900	0.530 07	477.06	485.91	16.20
			16	2 775	30	1 950	20	1 560	20	1 560	(3)1.50	1 560	0.201 85	314.89	325.54	13.02
大径材 (26~32)	锯材	30	20	1 725	30	1 200	20	960	20	750	(1)2.10	750	0.659 97	494.98	502.93	16.76
			20	1 725	30	1 200	20	960	20	750	(2)4.50	750	0.659 97	494.98	502.93	16.76
			16	2 775	30	1 950	20	1 560	20	1 560	(3)1.35	1 560	0.201 85	314.89	325.54	13.02

### 3.2 速生丰产林的密度管理模型

根据密度对比试验与不同林分密度调查以及现行生产应用的造林密度分析,造林密度与林木生长发育、木材产量、品质及造林成本密切相关,合理适宜的造林密度既能促进林木生长,又有利于提高木材产量与品质。为此,根据本研究所取得的结果,提出马尾松速生丰产林的造林密度及密度管理模型(见前页表6)。密度模型的有关说明如下:

(1) 速丰林培养目标与轮伐期:参照“马尾松速生丰产林国家专业标准”制定,其中轮伐期有期限幅度,本模型采用低限伐期,即小径材伐期20 a、中径材25 a、大径材30 a。

(2) 速丰林立地条件以立地指数表示,选用14、16、18、20指数,即选用中、上等的立地营造速生丰产林。

(3) 造林初植密度是根据密度试验林的比较结果、现有不同林分密度人工林的调查资料以及当前生产应用情况综合分析而制定的。原则是培养中、小径材采用中密度,大径材采用低密度造林。

(4) 间伐年限、次数、强度及最终保留密度的确定:先查各立地指数、不同林龄单位面积保留株数分析表(表5),根据最终保留株数与初植株数之差计算间伐强度,强度控制在35%到20%之间,多次间伐分别计算强度。间伐年限第1次在郁闭后2~3 a进行,以后间隔4 a左右进行第2次,以同样间隔期进行第3次。

(5) 间伐材的材积计算:初植密度按95%计算保存率,保存株数与间伐保留株数之差为间伐株数,其树高与胸径生长量查马尾松速生丰产林专业标准附表中的各林龄生长指标,用林业部颁发的标准材积表中的公式计算材积。

(6) 主伐材的材积计算:参照表5的保留株数与相应的高、径、材积生长量,并对照培育目标径级大小,比如小径材20年生,查表5立地指数14的胸径为13.3 cm,指数16的胸径为15.2 cm,这分别与14、16径级靠近;树高参照表5并对照丰产林各林龄生长指标确定。先计算单株材积,按最终保留株数计算单位面积蓄积量。

(7) 总蓄积由主伐材与间伐材两部分组成,在各立地条件下所培育各材种的年生长量为每公顷 $11.55 \sim 17.40 \text{ m}^3$ ,均达到马尾松速生丰产林生长量指标的要求。

#### 参考文献:

- [1] ZB B-88-1989, 马尾松速生丰产林(S).
- [2] 刘景芳,童书振.杉木林经营新技术[J].世界林业研究,1996,9(专辑):46~64.
- [3] 温佐吾,谢双喜,周运超,等.不同造林技术措施对马尾松幼林生长影响的研究[J].林业科学,1998,34(6):39~49.
- [4] 北京林学院.数理统计[M].北京:中国林业出版社,1980.
- [5] 周政贤.马尾松造林密度试验报告[A].罗登义,周政贤.贵州农学院丛刊——马尾松( ) [C].1984,(4):32~46.

## Determining Optimum Planting Density of Masson Pine Fast-growing and High-yielding Plantations for Various Cultivation Objectives

QIN Guo-feng, ZHOU Zhi-chun, JIN Guo-qing, RONG Wen-chen, WU Tian-lin

(The Research Institute of Subtropical Forestry, CAF, Fuyang 311400, Zhejiang, China)

**Abstract:** Data from spacing experiments and stand density investigation of current plantations were used to determine suitable planting density of masson pine (*Pinus massoniana*) high-yielding plantation and establish adjustment and control models of stand density (A & C Models) for different cultivation objectives. The results showed that middle planting density with spacing from 1.4 m × 2.0 m to 2.0 m × 2.0 m (3 555 ~ 2 490 trees per hectare) was optimum for high-yielding plantation of masson pine. A & C Models for different cultivation purposes were as follows: (1) For cultivating small-diameter timber with *DBH* 12 ~ 16 cm, the rotation was 20 years, site index was 14 ~ 16, the planting density was 3 600 ~ 3 300 trees per hectare and final remained density 2 340 ~ 2 145 trees per hectare, the annual mean volume increment 11.61 ~ 14.54 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>. (2) For cultivating middle-diameter timber with *DBH* 18 ~ 24 cm, the rotation was 25 years, site index was 16 ~ 18, the planting density was 2 775 ~ 2 490 trees per hectare, the final remained density 1 560 ~ 1 395 trees per hectare, the annual mean volume increment 13.02 ~ 17.47 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>. (3) For cultivating large-diameter timber with *DBH* 26 ~ 32 cm, the rotation was 30 years, site index was 18 ~ 20, the planting density was 1 995 ~ 1 725 trees per hectare, final remained density 900 ~ 750 trees per hectare, and the annual mean volume increment 16.20 ~ 16.76 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>.

**Key words:** *Pinus massoniana*; fast-growing and high-yielding plantation; optimum planting density; cultivation objectives