

文章编号: 1000-5692(2005)05-0530-05

杉木大径材定向培育的适宜经营密度

涂育合¹, 叶功富², 林武星², 赵世荣³, 郑兆飞⁴

(1. 福建省泰宁国有林场, 福建 泰宁 354400; 2. 福建省林业科学研究院, 福建 福州 350012
3. 福建省卫闽国有林场, 福建 邵武 354006; 4. 福建省南平市林业局, 福建 南平 353000)

摘要: 对不同造林密度的杉木 *Cunninghamia lanceolata* 林进行对比试验。结果表明: 不同密度管理方式 32 年生时林分单位面积蓄积量以间伐后保留密度为 1 200 株 \cdot hm⁻²的林分最高, 1 620 株 \cdot hm⁻²的林分其次, 600 株 \cdot hm⁻²的林分最低; 径级分配状况差异明显, 随着林分经营密度的降低, 径级分布向大径木的方向偏移; 不同规格材的出材量高低与林分密度密切相关。分析不同密度管理方式对杉木林分生长的影响, 建立冠幅与胸径和最大密度等相关数学模型, 得出培育杉木大径材的适宜主伐密度 18 指数级为 1 005~1 382 株 \cdot hm⁻², 20 指数级为 959~1 319 株 \cdot hm⁻², 确定了不同径级适宜经营密度。表 5 参 11

关键词: 森林经理学; 杉木; 大径材; 定向培育; 经营密度

中图分类号: S753.3 **文献标识码:** A

培育杉木 *Cunninghamia lanceolata* 大径材的核心是能形成合理的林分结构, 特别是在速生阶段(5~15 a)能形成适宜的冠层结构, 而林分密度是影响杉木林分结构和胸径生长的重要因素, 因此林分密度管理就成为杉木大径材定向培育的关键环节。在国外密度管理已成为森林目标经营的关键技术^[1~8]。杉木林分群体结构随着时间的推移而变化发展, 在各个生长阶段均有其相应的适宜密度^[9~11]。在相同立地条件下, 林分营养面积及平均胸径随着密度的增加而呈递减趋势。杉木林适宜经营密度的范围, 应根据树冠生长情况以及林木个体之间允许的树冠重叠程度来确定, 以期实现个体的充分发育及群体的高生产力。本文在研究不同密度管理方式对杉木生长、径级结构和材种出材量等影响基础上, 建立相关模型, 确定不同立地和不同径级下的杉木大径材定向培育的适宜经营密度。

1 研究地自然概况

试验点选择在福建省邵武市卫闽国有林场和福建省莱舟林业试验场, 均为杉木中心产区, 按南方 14 省(区)杉木协作组的划分属杉木中带东区, 为中亚热带季风气候。各试验点的经纬度、海拔、地貌、母岩、土壤和降水量等见表 1。

2 研究方法

2.1 试验材料

试验材料主要取自福建省林业科学研究院 1965 年以来在莱舟、卫闽 2 个林场布置的试验。以泰

收稿日期: 2004-12-27; 修回日期: 2005-03-21

基金项目: 国家林业局中试项目(1998-11-1)

作者简介: 涂育合, 高级工程师, 从事森林培育和森林生态等研究。E-mail: ttuyuhe@163.com

表 1 主要试验点自然条件概况

Table 1 Natural environment of main experiment sites

试验点	地理位置	海拔/m	地貌	母岩	土壤	年降水量/mm	年均气温/℃	年蒸发量/mm
卫闽林场	27°05'N 117°43'E	500	低山	花岗岩	红壤	1 768	17.7	1 283
莱舟林场	26°38'N 113°53'E	200~400	低山	花岗岩	红壤	1 800	19.4	1 310

宁国有林场和大田桃源国有林场的杉木大径材基地作为调查补充材料。莱舟林场布置 4 种造林密度的对比试验, 随机区组设计, 重复 3 次。设计密度为 2 505 株 \cdot hm $^{-2}$, 3 600 株 \cdot hm $^{-2}$, 4 800 株 \cdot hm $^{-2}$ 和 6 000 株 \cdot hm $^{-2}$ 。造林时植树穴为 50 cm \times 50 cm \times 40 cm, 造林后头 3 年松土除草各 2 次。1965 年还安排了 630 株 \cdot hm $^{-2}$ 的低密度试验。卫闽林场布置 5 种造林密度的对比试验, 设计密度分别为 1 500 株 \cdot hm $^{-2}$, 3 000 株 \cdot hm $^{-2}$, 4 500 株 \cdot hm $^{-2}$, 6 000 株 \cdot hm $^{-2}$ 和 9 000 株 \cdot hm $^{-2}$ 。随机区组设计, 每个小区面积 600 m 2 , 重复 3 次。造林时植树穴为 50 cm \times 50 cm \times 40 cm, 造林后头 3 年松土除草各 2~3 次。

2.2 试验林调查方法

从 1991 年开始, 对不同研究内容的杉木试验林, 分别设置面积为 400~800 m 2 (视样本数而定) 的标准地, 按常规方法进行每木调查、土壤调查和林下植被调查。共设置 120 块标准地, 同时收集福建省杉木栽培协作组调查的 100 块标准地材料, 立地指数范围为 16~20。对典型样地选择 1~2 株平均木或优势木进行树干解析, 共调查平均木解析木 32 株, 优势木 24 株。立地指数利用 5 株优势木法与年龄的关系, 查福建杉木立地指数表确定。

3 结果与分析

3.1 不同密度管理方式对杉木生长的影响

在莱舟林场进行了 2 组不同密度管理方式的试验: 一组是低密度造林, 栽植密度为 630 株 \cdot hm $^{-2}$; 另一组是初植密度 2 505 株 \cdot hm $^{-2}$ 。分别于第 10 年和第 14 年进行间伐, 伐去不符合目标树要求的林木, 分别保留目标树 1 620, 1 200 和 600 株 \cdot hm $^{-2}$, 其他经营措施基本一致。现将 32 年生进入成熟期的试验林材料列于表 2。从表 2 可知, 不同密度下 32 年生杉木树高生长差别不大, 但林分平均胸径、平均冠幅和单株材积随林分密度增加而下降, 这符合林分密度的作用规律。稀植林分, 由于林木个体拥有充足的营养空间, 平均胸径较大, 32 年生时可达 35.6~37.1 cm。而早期密植的林分, 个体之间为争夺林地空间而相互竞争, 胸径相对较小; 即使在 14 年生后间伐到和稀植林分一样的保存密度, 由于早期树冠未能充分伸展, 影响了林木的直径生长, 32 年生平均胸径为 32.5~34.4 cm, 较稀植林分低 10.0%~11.5%, 同时也使单株材积生长量和林分蓄积量下降。林分单位面积蓄积量则以保留密度为 1 200 \cdot hm $^{-2}$ 的林分最高, 1 620 株 \cdot hm $^{-2}$ 的林分其次, 间伐后保留 600 株 \cdot hm $^{-2}$ 的林分最低。

3.2 不同密度管理方式的杉木径级结构

林分密度管理方式对杉木林的立木结构也有重要影响。由表 3 看出, 不同密度管理方式林木株数的径级分配状况差异明显。随着林分经营密度的降低, 杉木林的径级分布向大径木的方向偏移。32 年生即将进入主伐的林分, 18 立地指数级密组 (保留 1 620 株 \cdot hm $^{-2}$) 以中径木所占比例略大, 占 51.4%, 其他林分径级分配均以大径木所占比例居多 (超过 50%), 低密度林分大径木所占比例越大。如 20 指数级的立地, 中密度组 (保留 1 200 株 \cdot hm $^{-2}$) 大径木的比例为 76.4%, 主要径级为 24~26 cm; 稀组 (保留 600 株 \cdot hm $^{-2}$) 大径木比例为 81.7%, 主要径级为 32~34 cm; 稀植间伐林分大径木比例达 84.4%, 主要径级为 34~36 cm, 分别比密组增加 8.6%, 13.9% 和 16.6%。

3.3 杉木不同密度管理方式的材种出材量

培育杉木大径材的主要目的是获得较高的大径材种出材量, 提高单位面积木材产量。在立地条件和经营措施相同的情况下, 不同规格材的出材量高低与林分密度有关。根据刘景芳等^[4] 编制的杉木原条出材量表, 查得 32 年生杉木不同规格材的出材量, 分别不同立地列于表 4。从中可以看出, 规格材的出材量和出材率以中组 (保留 1200 株 \cdot hm $^{-2}$) 为最高, 密组 (保留 1 620 株 \cdot hm $^{-2}$) 居次, 稀组间

表2 不同密度管理方式对32年生杉木生长的影响(莱舟林场)

Table 2 Effects of different density measures on growth of *Cunninghamia lanceolata* at the age of 32 (Laizhou Experimental Forest Farm)

地位指数	造林密度/ (株·hm ⁻²)	保留密度/ (株·hm ⁻²)	平均胸 径/cm	平均树高/ m	平均冠幅/ m	平均单株材 积/m ³	林分蓄积/ (m ³ ·hm ⁻²)
20	630	600	37.1	23.1	6.5	0.892 8	535.67
	2 505	600	33.4	22.9	4.8	0.838 2	502.93
	2 505	1 200	26.5	22.2	3.9	0.552 1	662.49
	2 505	1 620	23.8	21.4	3.4	0.400 2	648.32
18	630	600	35.6	22.0	6.0	0.817 6	490.53
	2 505	600	31.5	21.8	4.5	0.773 0	463.78
	2 505	1 200	24.7	20.3	3.7	0.504 0	604.75
	2 505	1 620	22.1	19.6	3.2	0.362 4	587.16

表3 不同密度管理方式对32年生杉木径级结构的影响

Table 3 Effects of different density measures on diameter grades structure of *Cunninghamia lanceolata* at the age of 32

地位 指数	造林密度/ (株·hm ⁻²)	保留密度/ (株·hm ⁻²)	中径木/%						大径木/%								
			14	16	18	20	22	cm 合计	24	26	28	30	32	34	36	38	40
20	630	600	1.5	3.8	3.2	7.1	15.6	9.8	7.6	10.2	8.4	4.5	11.8	16.4	9.2	6.5	84.4
	2 505	600	1.0	4.2	4.5	8.6	18.3	7.9	8.1	9.4	6.5	13.7	12.9	11.3	7.2	4.7	81.7
	2 505	1 200	1.4	3.8	2.5	5.6	10.3	23.6	15.7	25.6	13.5	8.4	6.3	4.8	2.1		76.4
	2 505	1 620	4.5	4.5	6.3	7.3	19.6	42.2	26.8	17.4	8.2	5.4					57.8
18	630	600	3.7	2.7	6.4	9.3	22.1	6.5	8.0	9.4	7.3	8.6	10.7	15.8	8.1	3.5	77.9
	2 505	600	2.8	7.3	6.0	10.7	26.8	8.8	9.4	7.6	10.5	14.7	9.4	7.8	5.0		73.2
	2 505	1 200	2.5	5.0	8.7	7.5	10.6	34.3	23.6	15.4	16.7	6.2	2.6	1.2			65.7
	2 505	1 620	5.3	4.0	7.8	10.6	23.7	51.4	19.8	12.4	7.6	8.6					48.6

伐林分居第3位,稀组(600株·hm⁻²)为最低。木材的总出材量仍以中组最高,其次为密组、稀组,最低的为稀植不间伐林分。总出材率则以稀组最大,其次为中组、密组,稀植不间伐林分最小。大径材出材量也以中组为最高,稀植不间伐林分居次,密组最低;大径材出材率则以稀植不间伐林分最大,20指数级立地为65.78%,稀组居次(61.13%),中组列第三(60.65%),密组为最小(35.70%)。

表4 不同密度管理方式对32年生杉木出材量的影响

Table 4 Effects of different density measures on mill run of *Cunninghamia lanceolata* at the age of 32

地位 指数	造林密度/ (株·hm ⁻²)	保留密度/ (株·hm ⁻²)	总蓄积/ (m ³ ·hm ⁻²)	规格材/(m ³ ·hm ⁻²)				间伐出材量/ (m ³ ·hm ⁻²)	总出材量/ (m ³ ·hm ⁻²)	百分比	
				大径材	中径材	小径材	合计				
20	630	600	535.67	352.26	60.63	4.06	417.05	77.86	417.05	77.86	
	2 505	600	502.93	307.42	64.71	7.24	379.37	75.42	67.84	447.21	88.92
	2 505	1 200	662.49	401.81	113.83	16.71	532.35	80.36	50.17	582.52	87.43
	2 505	1 620	648.32	231.48	214.90	40.64	509.06	78.52	34.25	543.31	83.80
18	630	600	490.53	287.82	82.49	6.37	376.68	76.79	376.68	76.79	
	2 505	600	463.78	254.74	83.16	9.02	346.92	74.80	58.26	405.18	87.36
	2 505	1 200	604.75	330.87	130.65	20.16	481.68	79.65	41.98	523.66	86.59
	2 505	1 620	587.16	198.61	207.57	48.75	454.93	77.48	28.59	483.52	82.35

综上所述,稀植不间伐密度管理方式有利于胸径生长,提高大径材出材率,但密度偏低使总出材量减少。强度间伐(稀组)管理方式有利于单株材积生长,提高林分总出材率,但密度减少使规格材产量降低。弱度间伐(密组)管理方式因密度较大,有利于提高单位面积规格材和木材总产量,但大径材出材率较低。相对而言,中度间伐(中组)密度适当,既能提高规格材和木材总产量,又能维持较高的大径材出材率,增加单位面积的大径材出材量。

3.4 杉木大径材适宜经营密度的确定

3.4.1 冠幅与胸径相关数学模型建立 林分密度与平均冠幅之间存在密切的相关规律,但由于冠幅

测定复杂且准确度低, 实际工作中常利用胸径与冠幅之间的关系来确定林分的适宜密度。根据杉木冠幅与胸径的实测值, 选取多种数学模型拟合回归, 发现研究区域内立地质量对冠幅与胸径关系的影响甚小, 最佳数学模型为: $\ln c_w = 0.2615 + 0.4638 \ln d$, $r = 0.9836$ 。其中: c_w 为平均冠幅(m), d 为平均胸径(cm)。

3.4.2 最大密度数学模型的建立 一般认为, 当立木树冠达到相互交接, 郁闭度为 1.0 时, 为理想林分。但现实的林分树冠在水平和垂直方向上往往发生重叠, 且由于林木生长对空间的要求而使林冠存在一定空隙。树冠重叠程度可用重叠系数 k 来表示, 通常根据树种生长特性和定向培育目标来确定: $k = \sum c / 10\,000$ 。其中: $\sum c$ 指 1 hm^2 林分中树冠面积总和。 $\sum c$ 的测定可通过林分中每一树冠实测求得, 也可利用平均胸径所对应的理论冠幅反算求得。我们根据不同立地杉木林标准地林木的冠幅实测值, 采用上式计算冠幅平均重叠系数, 其结果 18 指数级 $k = 1.28$, 20 指数级 $k = 1.17$ 。在杉木林分生长过程中, 要掌握林分合理经营密度, 必须确定出林分的最大密度, 最大密度根据下式进行计算: $n_{\max} = 10\,000 \cdot k / [(\pi \cdot c_w^2) / 4]$ 。其中: n_{\max} 为每公顷林分最大密度, k 为树冠重叠系数。利用以上 2 个公式可建立以平均胸径为自变量的最大密度数学模型: 18 指数级 $n_{\max} = 45.038 + 36\,593.647 / d$, $r = 0.9921$; 20 指数级 $n_{\max} = 42.469 + 34\,951.762 / d$, $r = 0.9943$ 。

3.4.3 合理经营密度的确定 由于林地生产潜力的差异, 林木对环境条件适应性的差异以及森林培育目标的不同等的影响, 不同的森林经营类型有着不同的合理经营密度。杉木人工林合理经营密度根据不同的培育目标, 应当是充分利用营养空间, 提高林地的生产潜力, 谋取可能的最大的收获量。杉木林合理经营密度采取某个绝对的数值是不科学的, 而是一个合理区间值, 可用密度经营度来推算: $d_n = n_p / n_{\max}$ 。其中: d_n 为林分密度经营度, n_p 为现实林分密度。林思祖等^[5]在杉木最大密度模型的基础上, 应用半峰宽公式计算出杉木密度经营度为 0.64 ~ 0.88。据此可由最大密度模型和密度经营度区间来确定杉木保留密度, 目标树保留株数可用下式计算: $n_{\text{上}} = 0.88 \times n_{\max}$, $n_{\text{下}} = 0.64 \times n_{\max}$ 。其中: $n_{\text{上}}$ 为合理经营密度上限保留系数, $n_{\text{下}}$ 为合理经营密度下限保留株数。

根据上述数学模型, 便可求得杉木林分的合理经营密度列于表 5。以林分平均胸径达到大径材规格($\geq 24\text{ cm}$)为依据, 则培育杉木大径材的适宜主伐密度 18 指数级为 $1\,005 \sim 1\,382\text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$, 20 指数级为 $959 \sim 1\,319\text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。利用表 5 还可为培育杉木大径材采取适宜的间伐强度提供依据, 如现实林分密度 $3\,600\text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、平均胸径 10 cm 的达到间伐特征的杉木林, 培育大径材可采用密度经营度 0.64 的合理保留密度, 目标树保留株数 $2\,110\text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$, 其间伐强度为 41%。

表 5 杉木人工林的适宜经营密度指标

Table 5 Index of suitable management density of *Cunninghamia lanceolata* plantation

径级/cm	不同指数及经营密度/(株·hm ⁻²)					
	20 指数级			18 指数级		
	最大密度	保留密度上限	保留密度下限	最大密度	保留密度上限	保留密度下限
8	4 411	3 882	2 823	4 619	4 065	2 956
10	3 538	3 113	2 264	3 704	3 260	2 110
12	2 955	2 600	1 891	3 095	2 724	1 981
14	2 539	2 234	1 625	2 659	2 340	1 702
16	2 227	1 960	1 426	2 332	2 052	1 492
18	1 984	1 746	1 270	2 078	1 829	1 330
20	1 790	1 575	1 146	1 875	1 650	1 200
22	1 631	1 435	1 044	1 708	1 503	1 093
24	1 499	1 319	959	1 570	1 382	1 005
26	1 387	1 221	888	1 452	1 278	929
28	1 291	1 136	826	1 352	1 190	865

4 小结与讨论

密度管理是杉木大径材定向培育的关键措施。通过对不同密度管理方式对杉木生长、径级结构和材种出材量的影响,建立冠幅与胸径和最大密度等的相关数学模型,确立了杉木人工林的适宜经营密度,得出培育杉木大径材的适宜主伐密度 18 指数级为 $1\ 005 \sim 1\ 382$ 株 \cdot hm $^{-2}$, 20 指数级为 $959 \sim 1\ 319$ 株 \cdot hm $^{-2}$, 并可利用适宜经营密度指标表来为采取适宜的间伐强度提供依据,指导杉木大径材培育过程中的最佳保留密度,具有一定的现实意义。

参考文献:

- [1] 盛炜彤. 关于提高杉木人工林生产力的几个问题[J]. 浙江林业科技, 1986, 6(1): 9~15.
- [2] 叶功富, 林武星, 张水松, 等. 不同密度管理措施对杉木林分的生长、生态效应研究[J]. 福建林业科技, 1995, 22(3): 1~8.
- [3] 马爱国. 目标经营——介绍一种森林经营方法[J]. 世界林业研究, 1992, 15(3): 50~55.
- [4] 刘景芳, 董书振. 编制杉木林分密度管理图研究报告[J]. 林业科学, 1980, 16(4): 241~251.
- [5] 林思祖, 张世彪, 陈增丰. 杉木人工林合理经营密度[J]. 福建林学院学报, 1988, 8(4): 333~339.
- [6] 黄传英, 林星华, 吴火灶, 等. 杉木造林密度试验研究报告[J]. 福建林业科技, 1988, 15(1): 18~27.
- [7] 黄家荣. 人工用材林最优密度控制模型[J]. 浙江林学院学报, 2001, 18(1): 36~40.
- [8] 董建文, 涂育合, 范辉华, 等. 湿地松纸浆采脂两用林适宜经营密度及培育模式[J]. 浙江林学院学报, 1999, 16(3): 274~278.
- [9] 郑勇平, 李晓庆, 林生明. 杉木人工林树冠最大重叠系数及适宜经营密度的研究[J]. 浙江林学院学报, 1991, 8(3): 300~306.
- [10] 沈湘林, 潘文贤, 李勇, 等. 浙江杉木林分结构及其经营密度[J]. 浙江林学院学报, 1991, 8(2): 251~255.
- [11] 李晓庆, 陈哲和, 汪传佳, 等. 杉木用材林基地的成林密度管理技术[J]. 浙江林学院学报, 1991, 8(3): 326~332.

Big-diameter-oriented cultivation techniques of *Cunninghamia lanceolata* with suitable management density

TU Yu-he¹, YE Gong-fu², LIN Wu-xing², ZHAO Shi-rong³, ZHEN Zhao-fei⁴

(1. Forest Farm of Taining County, Taining 354400, Fujian, China; 2. Fujian Academy of Forestry, Fuzhou 350012, Fujian, China; 3. Weimin Forest Farm of Shaowu County, Shaowu 354006, Fujian, China; 4. Forest Enterprise of Nanping City, Nanping 353000, Fujian, China)

Abstract: A comparative study of *Cunninghamia lanceolata* forests with different forestation densities was conducted. At the age of 32, the storage per hectare was highest for the stand with reserved density of 1 200 trees \cdot hm $^{-2}$, intermediate for 1 620 trees \cdot hm $^{-2}$, and lowest for 600 trees \cdot hm $^{-2}$. There was a great difference in diameter distribution, with the decrease of management density, the diameter inclined to big timber. The correlation between the output of different dimension stock and stand density was significant. According to the influence of different density management measure on the growth of stands, the mathematical models of crown width-DBH and maximum density were established. Based on studying the growth, diameter grades structure and output of *C. lanceolata* of different planting density control, quantitative relationship models were established. The results showed that the suitable density of big-diameter-oriented cultivation were 1 005—1 382 trees \cdot hm $^{-2}$ in site index 18 and 959—1 319 trees \cdot hm $^{-2}$ in site index 20. [Ch, 5 tab, 11 ref.]

Key words: forest management; *Cunninghamia lanceolata*; big-diameter timber; oriented cultivation; management density