

造林密度对米老排人工林初期生长的影响

张阳锋^{1,2}, 尹光天^{1*}, 杨锦昌¹, 李荣生¹, 邹文涛¹, 王旭¹

(1. 中国林业科学研究院热带林业研究所, 广东 广州 510520; 2. 广东省林业调查规划院, 广东 广州 510520)

摘要: [目的] 探讨不同造林密度对米老排人工林生长的影响规律, 为米老排人工林定向培育过程中的密度控制提供参考。[方法] 以广东省云浮市造林后6年生米老排人工林为研究对象, 对不同造林密度(625、833、1 111、1 667、2 500株·hm⁻²)林分平均树高、优势木高、胸径、保留率和枝下高等生长指标进行连续4年调查。[结果] 表明: 随着造林密度的增大, 米老排林分平均胸径、胸径连年生长量、保留率、单株材积和材积连年生长量均显著减小, 而枝下高、林分蓄积量和蓄积连年生长量显著增加。在一定密度范围内, 造林密度对林分高生长的影响比较小。造林后第6年, 密度1 667株·hm⁻²林分的平均树高最大(11.4 m), 优势木高以密度1 111株·hm⁻²林分的最大(13.3 m), 树高连年生长量以密度625株·hm⁻²林分的最大(1.5 m·a⁻¹); 密度625株·hm⁻²林分的平均胸径、胸径连年生长量、单株材积和材积连年生长量均最大, 分别为14.3 cm、2.5 cm·a⁻¹、0.097 3 m³和0.038 2 m³·a⁻¹, 比密度2 500株·hm⁻²林分的分别增加27.7%、81.0%、49.0%和82.4%; 密度2 500株·hm⁻²林分的枝下高、蓄积量和蓄积连年生长量均最大, 分别为6.0 m、149.4 m³·hm⁻²和44.8 m³·hm⁻²·a⁻¹, 分别是密度625株·hm⁻²林分的2.61、2.52、1.95倍。[结论] 分析了造林密度对米老排初期生长的影响, 对米老排人工林的培育具有理论指导意义。

关键词: 造林密度; 树高; 胸径; 枝下高; 保留率; 单株材积; 林分蓄积量

中图分类号: S725.6

文献标识码: A

文章编号: 1001-1498(2018)04-0083-07

Effects of Planting Density on the Early Growth of *Mytilaria laosensis* Plantation

ZHANG Yang-feng^{1,2}, YIN Guang-tian¹, YANG Jin-chang¹, LI Rong-sheng¹, ZOU Wen-tao¹, WANG Xu¹

(1. Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou 510520, Guangdong, China;

2. Guangdong Forestry Survey and Planning Institute, Guangzhou 510520, Guangdong, China)

Abstract: [Objective] To investigate the influence of planting density on stand growth characteristics of *Mytilaria laosensis* and to provide guidance for the density management. [Method] A 6-year-old *M. laosensis* plantation with different densities (2 500, 1 667, 1 111, 833 and 625 trees·hm⁻²) at Yunfu of Guangdong Province was used to investigate the average height, dominant height, diameter at breast height (DBH), survival rate and the height to the living branch (HLB) for 4 successive years. [Result] The results showed that, as planting density increased, the DBH and current annual increment (CAI) of DBH, survival rate, individual tree volume and CAI of individual tree volume declined significantly, while the HLB, stand volume and CAI of stand volume increased significantly. In a certain range of densities, the planting densities had few effects on stand height growth. In the sixth year after planting, the maximum mean height (11.4 m) occurred at a stand of 1 667 trees·hm⁻² and the maximum dominant height (13.3 m) was found in the 1 111 trees·hm⁻² density; the maximum CAI of height was 1.5 m·a⁻¹

收稿日期: 2016-09-03

基金项目: 林业行业专项(201204304); 广东省林业科技创新项目(2016KJCX004)资助

作者简介: 张阳锋(1993—), 男, 硕士研究生, 主要从事林木培育理论与技术研究。E-mail: zhayfeng@163.com

* 通讯作者: 尹光天, 研究员, 中国林业科学研究院热带林业研究所。研究方向: 森林培育。E-mail: yinguangtian@126.com

which occurred at a stand of 625 trees · hm⁻²; the average DBH, CAI of DBH, individual tree volume and CAI of individual tree volume showed the highest at the stand density of 625 trees · hm⁻², which were 14.3 cm, 2.5 cm · a⁻¹, 0.097 3 m³ and 0.038 2 m³ · a⁻¹, respectively, increased by 27.7% ,81.0% , 49.0% and 82.4% compared with the planting density of 2 500 trees · hm⁻²; the HLB, stand volume and CAI of stand volume were the highest at the stand density of 2 500 trees · hm⁻², which were 6.0 m, 149.4 m³ · hm⁻² and 44.8 m³ · hm⁻² · a⁻¹, respectively, 2.61, 2.52 and 1.95 times that of 625 trees · hm⁻² density. [**Conclusion**] The results of studying the effect of planting density on the growth of *M. laosensis* can be used as reference for the cultivation of *M. laosensis*.

Keywords: planting density; tree height; diameter at breast height; the height to the living branch; survival rate; individual tree volume; stand volume

据第八次全国森林资源清查统计,我国人工林面积为0.69亿hm²,人工林蓄积24.83亿m³,人工林面积居世界首位^[1],但是我国面临林地生产力低下、木材供给矛盾突出和森林生态系统功能脆弱等问题。人工林的定向培育和高效利用成为解决我国生态环境恶化和森林资源短缺的必然选择^[2]。在人工林集约经营的过程中,通过有效的立地控制、遗传控制和密度控制,是实现人工林定向、速生、丰产、稳定、优质和高经济效益目标的主要措施^[3]。林分密度是形成林分内部水平结构的基础,在很大程度上影响人工林生产力和功能最大限度的发挥^[4]。随着林分密度的增大,林木个体因生长空间有限,同时受到光照、养分和水分等资源的限制,从而不利于个体生长^[5]。林分密度的降低虽然有利于林木个体的生长,但会增加侧枝的尺寸和存活时间,从而形成死节等,造成木材品质下降^[6]。在一定密度范围内,高密度有利于培育纸浆材和能源林,而低密度更适合培育大径材^[7]。因此,选择合适的造林密度是人工林定向培育的关键技术之一。

米老排(*Mytilaria laosensis* Lec.)为金缕梅科(Hamamelidaceae)壳菜果属常绿阔叶乔木,是我国南亚热带地区主要的速生用材树种之一。米老排具有生长快、干形通直、材质较好、色泽美观等特点,可作为建筑、家具、造纸和人造板的优质原料^[8]。近年来,作为优良的乡土阔叶树种,米老排在林分改造、涵养水源、碳汇造林和土壤改良等方面得到广泛的应用。然而,在米老排人工林培育过程中,存在初值密度过大和间伐不及时等问题^[9-10],缺乏密度控制理论和定向培育技术的支撑,在一定程度上限制了人工林生产力的提升。本研究以广东省云浮市造林后6年生米老排密度试验林为对象,通过连续4年的林分生长观测,分析不同造林密度对米老排林分

生长的影响,为米老排人工林定向培育过程中的密度控制提供参考。

1 试验地概况及造林措施

试验地位于广东省云浮市郁南县西江林场三坑工区(23°07' N, 111°51' E),海拔150~270 m。本区域属南亚热带季风气候,年均气温21.2℃,年均降水量1 600 mm,年均湿度82%,无霜期310~345 d。试验地土壤为赤红壤,pH值4.0,有机质30.11 g · kg⁻¹,全氮1.23 g · kg⁻¹,全磷0.16 g · kg⁻¹,全钾18.12 g · kg⁻¹,碱解氮79.89 mg · kg⁻¹,有效磷6.26 mg · kg⁻¹,速效钾30.91 mg · kg⁻¹。

试验地于2010年初造林,1年生实生苗造林,平均苗高0.6 m。造林措施为:清除杂灌,并进行开带,带宽0.8 m,穴状整地,穴规格为50 cm × 50 cm × 40 cm;造林前,每穴施1 kg鸡粪肥和0.5 kg磷肥。造林当年砍草1次,第2年砍草2次,第3年砍草1次。

2 试验设计与调查方法

2.1 试验设计

采用完全随机区组设计,5个密度处理,5次重复,共25个小区。每小区面积500 m²以上,小区外围设1~2行米老排保护行,每小区测量林木>60株。不同造林密度株行距:2 500株 · hm⁻²为2 m × 2 m,1 667株 · hm⁻²为2 m × 3 m,1 111株 · hm⁻²为3 m × 3 m,833株 · hm⁻²为3 m × 4 m,625株 · hm⁻²为4 m × 4 m。

2.2 生长调查

于2012年开始,对试验林进行连续4年的调查,每次调查均在当年生长停止后或下一年生长开始前。树高、枝下高和胸径分别采用测高杆和围尺

进行测量。2012年底,枝下高较低,未对其进行调查;同时,在每个小区选择最高的5株林木作为优势木,并进行标记。

采用陈永富等^[11]编制的二元材积公式计算材积,其公式为:

$$V = 6.83297 \times 10^{-5} D^{1.926256} H^{0.8840614}$$

式中: V 为单株材积, D 为胸径, H 为树高。

2.3 数据处理

试验数据采用 Excel 2013 和 SPSS 20.0 软件进行统计分析和绘制图表。不同密度之间的比较采用单因素方差分析,当差异显著水平 $P < 0.05$,进一步用 Duncan 法进行多重比较。

3 结果与分析

3.1 造林密度对平均树高和优势木高的影响

从表1可看出:造林密度对林分平均树高影响

显著,林分平均树高随造林密度的增大,呈先增大后减小的趋势;625株·hm⁻²密度的米老排林分的平均树高最小,造林后第3~6年,均显著低于其他密度的平均树高,比林分平均树高最大值(1667株·hm⁻²)低5.3%~7.4%;在833~2500株·hm⁻²密度范围内,除密度1667株·hm⁻²外,其他密度处理间均差异不显著。造林后第3~5年,造林密度对林分优势木高的影响和平均树高的相似,但第6年时,造林密度对林分优势木高的影响不显著。造林后第6年,密度1667株·hm⁻²的林分平均树高最大,达11.4m,而优势木平均高以密度1111株·hm⁻²林分的最大,为13.3m。

由图1可知:造林密度对林分树高连年生长量的影响较小。不同造林密度林分树高连年生长量在造林后第4、5、6年分别为2.1~2.4、1.8~2.0、1.4~1.5m·a⁻¹,树高连年生长量均从第4年开始减小。

表1 造林密度对米老排树高和胸径生长的影响

Table 1 Effects of planting densities on the growth of height and DBH of *M. laosensis*

性状 Characters	造林密度 Planting densities/(株·hm ⁻²)	林龄 Age/a			
		3	4	5	6
树高 Average height/m	2500	5.6±0.04 b	8.0±0.07 ab	9.8±0.07 b	11.2±0.09 b
	1667	5.7±0.04 a	8.1±0.06 a	10.0±0.06 a	11.4±0.07 a
	1111	5.6±0.04 b	7.8±0.06 b	9.8±0.07 b	11.2±0.08 b
	833	5.5±0.04 b	7.7±0.05 b	9.6±0.06 b	11.1±0.08 b
	625	5.4±0.04 c	7.5±0.05 c	9.3±0.06 c	10.8±0.08 c
优势木高 Dominant height/m	2500	6.5±0.05 b	9.4±0.06 a	11.4±0.12 bc	13.2±0.09 a
	1667	6.8±0.04 a	9.0±0.05 b	11.6±0.07 ab	13.2±0.05 a
	1111	6.8±0.05 a	9.4±0.11 a	11.8±0.09 a	13.3±0.08 a
	833	6.6±0.06 b	9.0±0.06 b	11.2±0.09 cd	13.1±0.09 a
	625	6.5±0.05 b	8.8±0.06 b	11.2±0.10 d	13.1±0.10 a
胸径 Diameter at breast/cm	2500	6.4±0.10 a	8.2±0.12 c	9.6±0.13 d	11.2±0.15 e
	1667	6.3±0.10 a	8.6±0.12 b	10.5±0.12 c	12.2±0.14 d
	1111	6.3±0.09 a	8.8±0.11 b	11.0±0.12 b	13.0±0.13 c
	833	6.2±0.09 a	9.1±0.10 a	11.6±0.11 a	13.9±0.12 b
	625	6.2±0.09 a	9.1±0.11 a	11.8±0.11 a	14.3±0.12 a

注:数据为平均值±标准误差;同列不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。下同。

Note: Data are means ± standard error. Data followed different letters indicate significant difference at 0.05 levels. The same as followed.

3.2 造林密度对胸径生长和径阶分布的影响

从表1看出:从造林后第4年开始,不同造林密度林分平均胸径差异显著($P < 0.05$),林分的平均胸径随造林密度的增大显著减小,且随林龄的增加愈明显;造林后第6年,各密度间的林分平均胸径均差异显著,造林密度625株·hm⁻²林分的平均胸径最大(14.3cm),比密度2500株·hm⁻²林分的增加3.1cm。

由图2可知:林分胸径连年生长量随造林密度的增大显著降低。造林后第4~6年,密度625株

·hm⁻²林分的胸径连年生长量分别为2.9、2.7、2.5cm·a⁻¹,比密度2500、1667、1111、833株·hm⁻²林分分别增加70.4%~81.0%、31.5%~48.5%、16.6%~25.3%和0.4%~8.3%。不同密度米老排的胸径连年生长过程与树高的连年生长量相似,造林后第4年连年生长量逐渐下降。

造林后第6年米老排林分的径阶频率分布曲线(图3)表明:不同造林密度林分直径结构近似服从正态分布,造林密度2500、1667、1111、833、625株·hm⁻²林分的株数频率最大值所处的径阶值分别

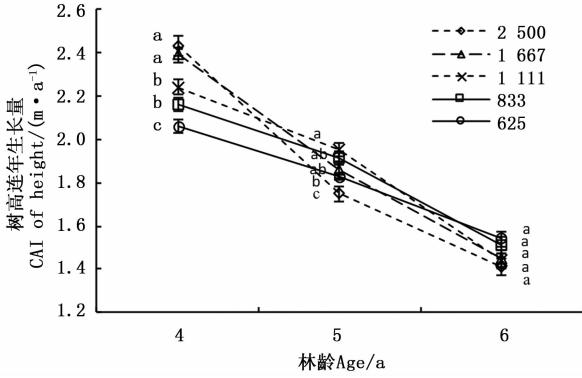


图1 造林密度对树高连年生长量的影响

Fig. 1 Effects of planting density on the current annual increment (CAI) of tree height

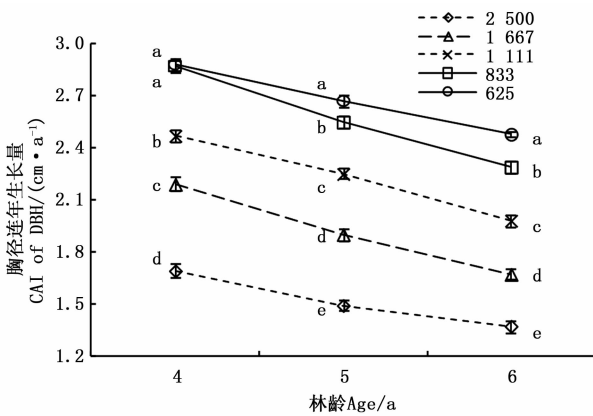


图2 造林密度对胸径连年生长量的影响

Fig. 2 Effects of planting densities on the CAI of DBH at different planting densities

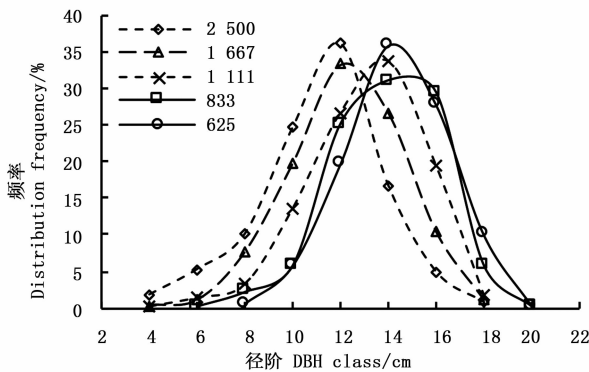


图3 造林后第6年米老排林分的径阶分布

Fig. 3 Distribution frequency of DBH class of *M. laosensis* in the 6th year after planting

为12、12、14、14、14 cm;随造林密度的增大,米老排林分的株数频率最大值所处的径阶值减小。米老排林分的径阶累积百分比分布曲线(图4)表明:在相同累积百分比时,林分所对应的直径随造林密度的增大明显降低;造林密度2 500、1 667、1 111、833、

625 株·hm⁻²林分径阶为10 cm的累积百分比分别为41.7%、28.7%、18.7%、8.5%、6.5%,而径阶为14 cm的累积百分比为94.4%、88.6%、78.9%、64.5%、61.9%;随着造林密度的增大,米老排林分小径阶林木株数所占的比例显著增加,而大径阶林木株数所占的比例显著减小。

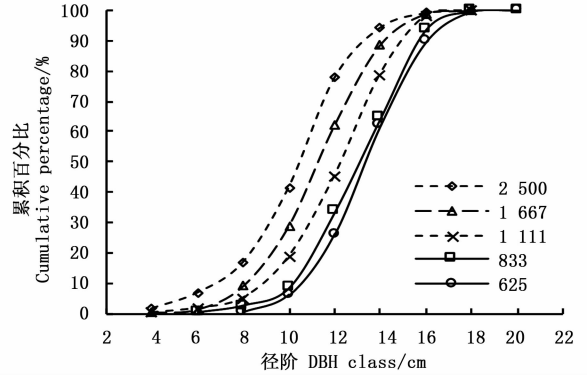


图4 造林后第6年米老排林分径阶累积百分比分布

Fig. 4 Cumulative percentage of trees by DBH class of *M. laosensis* at the 6th year after planting

3.3 造林密度对保留率和自然整枝的影响

从表2可知:密度2 500 株·hm⁻²的米老排林分保留率最小,显著低于其他密度,而其他密度间差异不显著,保留率均大于95.0%。造林密度过大,会加剧林分个体间的竞争,出现林分自然稀疏的现象。不同密度米老排林分的枝下高差异显著($P < 0.05$),并随造林密度的增大而增加。造林后第6年,密度2 500 株·hm⁻²林分的枝下高达6.0 m,分别比1 667、1 111、833和625 株·hm⁻²密度的林分高11.1%、46.3%、93.5%和160.9%。不同造林密度林分的枝下高,造林后第5年比第4年增加5.9%

表2 造林密度对米老排存活率和枝下高的影响

Table 2 Effects of planting density on the survival rate and the height of living branch of *M. laosensis*

性状 Characters	造林密度 Planting densities/ (株·hm ⁻²)	林龄 Age/a		
		4	5	6
保留率 Survival rate /%	2 500	96.7 ± 1.40 a	93.3 ± 1.44 b	91.2 ± 2.06 b
	1 667	97.7 ± 0.88 a	96.6 ± 0.81 a	96.3 ± 0.67 a
	1 111	98.3 ± 0.84 a	96.7 ± 0.67 a	96.7 ± 0.70 a
	833	96.8 ± 0.91 a	96.2 ± 0.68 a	95.9 ± 0.62 a
	625	99.4 ± 0.38 a	98.2 ± 0.59 a	97.9 ± 0.78 a
枝下高 Height of livig branch /m	2 500	2.8 ± 0.06 a	3.2 ± 0.08 a	6.0 ± 0.11 a
	1 667	2.2 ± 0.05 b	2.5 ± 0.06 b	5.4 ± 0.11 b
	1 111	1.7 ± 0.03 c	1.8 ± 0.03 c	4.1 ± 0.09 c
	833	1.5 ± 0.02 d	1.7 ± 0.02 d	3.1 ± 0.07 d
	625	1.4 ± 0.02 e	1.6 ± 0.02 d	2.3 ± 0.05 e

~14.3%,而造林后第6年比第5年增加43.8%~127.8%,造林后第6年林分的枝下高显著增加。

3.4 造林密度对单株材积和林分蓄积量的影响

造林后第4~6年,密度对林分的单株材积和单株材积连年生长量影响显著(表3、图5)。密度与单株材积和单株材积连年生长量呈显著负相关,且这种关系随着林龄的增加更明显。造林后第6年,除密度625、833株·hm⁻²林分的平均单株材积差异不显著外,其他各密度间的平均单株材积均差异显著。造林后第6年,密度625株·hm⁻²林分的单株材积为0.0973 m³,分别比密度2500、1667、1111、833株·hm⁻²林分的单株材积增加49.0%、27.4%、14.2%、2.4%。图5表明:造林后第6年,

不同密度林分的单株材积连年生长量均差异显著,密度625株·hm⁻²林分的单株材积连年生长量为0.0382 m³,分别是密度2500、1667、1111、833株·hm⁻²林分的1.82、1.52、1.26、1.07倍。

林分蓄积量(表3)和蓄积连年生长量(图6)均随造林密度的增大显著增加。造林后第6年,密度2500株·hm⁻²林分的蓄积量达149.4 m³·hm⁻²,分别比密度1667、1111、833、625株·hm⁻²林分的蓄积量高20.6%、63.6%、98.1%、151.5%。从图6可知:造林后第6年,密度2500株·hm⁻²林分的蓄积连年生长量为44.8 m³·hm⁻²·a⁻¹,分别是密度1667、1111、833、625株·hm⁻²林分的1.08、1.40、1.60、1.95倍。

表3 造林密度对米老排单株材积和林分蓄积量的影响

Table 3 Effects of planting densities on individual tree volume and stand volume of *M. laosensis*

性状 Characters	造林密度 Planting densities /(株·hm ⁻²)	林龄 Age/a			
		3	4	5	6
单株材积 Individual tree volume /m ³	2500	0.0123±0.0004 a	0.0269±0.0008 b	0.0448±0.0011 d	0.0653±0.0018 d
	1667	0.0122±0.0004 ab	0.0292±0.0008 a	0.0508±0.0013 c	0.0764±0.0018 c
	1111	0.0117±0.0003 ab	0.0297±0.0008 a	0.0533±0.0012 b	0.0852±0.0018 b
	833	0.0112±0.0003 b	0.0308±0.0009 a	0.0597±0.0012 a	0.0950±0.0018 a
	625	0.0112±0.0003 b	0.0303±0.0010 a	0.0596±0.0013 a	0.0973±0.0019 a
林分蓄积量 Stand volume /(m ³ ·hm ⁻²)	2500	31.0±0.90 a	65.1±2.62 a	104.6±2.99 a	149.4±5.96 a
	1667	20.5±1.08 b	48.2±3.31 b	82.6±4.52 b	123.9±6.97 b
	1111	12.9±0.52 c	32.3±1.70 c	59.3±1.48 c	91.3±2.67 c
	833	9.2±0.64 c	24.6±1.23 d	47.5±2.03 d	75.4±3.30 d
	625	7.0±0.67 c	18.7±1.30 d	36.5±2.01 e	59.4±2.26 e

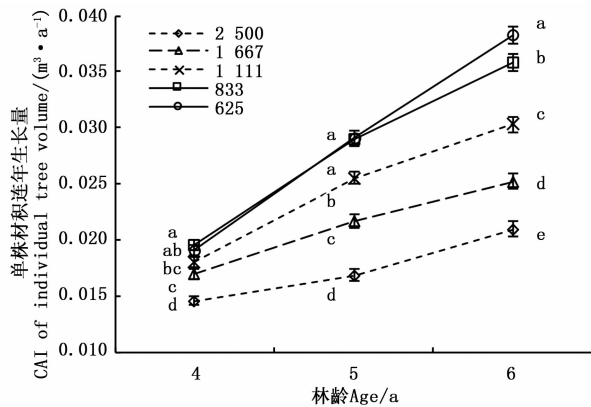


图5 造林密度对单株材积连年生长量的影响

Fig. 5 Effects of planting density on the CAI of individual tree volume

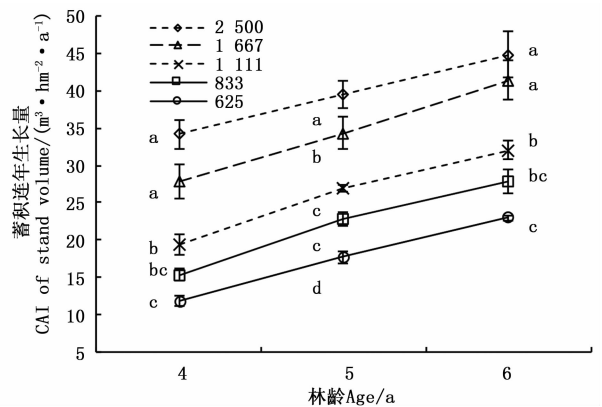


图6 不同造林密度林分蓄积的连年生长量

Fig. 6 Effects of planting densities on the CAI of stand volume

4 讨论

由于受树种、立地条件和密度范围等因素的影响,林分树高是否与密度有关,不同学者得出不同的

结论^[12]。Zhao等^[13]和Antón-fernández等^[14]分别对12年和25年生火炬松(*Pinus taeda* L.)的研究发现,高密度林分的林木平均高和优势木高比低密度林分的低;而Cardoso等^[15]对24年生火炬松的研究表明,密度对林分平均高和优势木高没有显著影响。

大量研究表明,密度对林分的平均树高和优势木高影响比较小,在一定的密度范围内没有显著影响^[16-18]。在本研究中,增大造林密度对林木初期高生长有一定促进作用,这与对毛白杨(*Populus tomentosa* Carr.)^[19]和木荷(*Schima superba* Gardn. et Champ.)^[20]等研究的结论一致。这可能与高密度的林分对光照的竞争有关,而较低的树高有利于低密度林木对养分和水分的运输,提高林木个体的抗风性等^[15, 21]。在本研究中,林分平均高最高的林分与最低的林分相差仅5.3%~7.4%,说明这种促进作用比较小。随林龄的增加,造林密度对树高连年生长量的影响几乎没有,这与对杂种落叶松(*Larix gmelini* (Rupr.) Rupr. × *Larix kaempferi* (Lamb.) Carr.)的研究结果一致^[22]。在造林后第3~5年,不同密度对林分优势木高的影响显著,而在第6年时,不同密度林分优势木高的差异不显著,说明密度对林分优势木高的影响随林龄的增加而发生变化,这可能是随林龄的增加,林分的优势木高与立地条件关联更紧密,而受密度的影响比较小。

随林龄的增加,造林密度对林分胸径生长的影响愈来愈大^[19]。当米老排林分进入郁闭后,无论是林分平均胸径还是胸径连年生长量均随造林密度的增加而显著降低。研究表明,降低造林密度有利于提高大径阶林木所占的比例^[20],这与本文的研究结果一致。在培育大径材和中径材的过程中,可通过降低造林密度或进行间伐来提高林木直径的生长。

林分密度直接决定树木竞争的起始时间及竞争程度^[23-24]。随着植株生长空间受到限制及可利用资源的减少,树冠下部的枝条会逐渐枯死,当竞争进一步加剧时,林木的个体出现自然稀疏,林分保存率下降。本研究中,密度2 500株·hm⁻²林分的保留率在造林后第5年显著下降;造林后第6年,高密度(2 500、1 667株·hm⁻²)林分的枝下高显著增大。这说明造林密度越大,林分自然整枝出现的时间越早,自然整枝的强度越大。郭文富等^[10]的研究表明,初植密度2 500株·hm⁻²的米老排在第10年后进行抚育间伐属于间伐不及时的林分。因此,可选择在造林后第5~6年对高密度的米老排林分进行第1次间伐,从而通过释放空间来促进林木的生长。大量研究表明,在一定密度范围内,密度的增大会显著减小侧枝直径、缩短侧枝长度和存活时间,从而通过增加无节材的长度、减少节的数量和大小来提高木材的品质^[25-27];但Mäkinen等^[6]认为,林木自然

整枝的能力往往比较有限,因此,需要通过人工修枝来消除低密度林分侧枝形成的不利影响。米老排的侧枝数量比较多,自然整枝的能力有限,在造林后第2~4年,对米老排林分(特别是低密度)进行人工修枝是培育高品质木材的关键。

本研究中,林分的单株材积与造林密度呈显著负相关,而林分蓄积量与造林密度呈显著正相关。随着林龄的增加,造林密度对单株材积生长的负效应会逐渐加强,而对林分蓄积量生长的正效应会不断减弱。在林分生长的初期,林分蓄积量主要取决于单位面积的林木数量,增大造林密度有利于获得比较高的蓄积量^[28]。研究表明,米老排是优良的造纸纤维用材,米老排人工林木材的成熟期为第7年^[29]。因此,在培育纸浆材的过程中,可选择较高的造林密度来提高林分产量。

选择合适的造林密度是由经营目的和经营条件共同决定的。在本研究中,密度1 667~2 500株·hm⁻²的林分,在林分生长的初期,有比较高的蓄积量,可考虑用来培育纸浆材。密度1 111~1 667株·hm⁻²的林分,一方面能够减少密度对林分的抑制作用,另一方面有较强的自然整枝能力,适合培育中小径材,或者进行间伐培育无节材和大径材。密度625~833株·hm⁻²的林分,可以延迟数量成熟期,从而适合培育大径材。

5 结论

本研究中,米老排林分的胸径和单株材积随着造林密度的增大而减小,且这种影响随着林龄的增大愈来愈大。在一定的密度范围内,造林密度对米老排树高生长的影响比较小。在林分生长的初期,增大造林密度,林分的蓄积量和枝下高会显著增加,而保存率会显著下降。在米老排定向培育过程中,选择合适的造林密度,并根据林分生长过程及时进行间伐和抚育,可以最大限度的提高人工林的生产力。

参考文献:

- [1] 同小娟,张劲松,孟平,等. 储存通量变化特征[J]. 生态学报, 2015, 35(7): 2076-2084.
- [2] 邓伦秀. 杉木人工林林分密度效应及材种结构规律研究[D]. 北京:中国林业科学研究院, 2010.
- [3] Akers M K, Kane M, Zhao D, et al. Effects of planting density and cultural intensity on stand and crown attributes of mid-rotation loblolly pine plantations [J]. Forest Ecology & Management, 2013, 310

- (1): 468-475.
- [4] 张建国. 森林培育理论与技术进展 [M]. 北京: 科学出版社, 2013: 4-5.
- [5] 贾亚运, 何宗明, 周丽丽, 等. 造林密度对杉木幼林生长及空间利用的影响 [J]. 生态学杂志, 2016, 35(5): 1171-1181.
- [6] Mäkinen H, Hein S. Effect of wide spacing on increment and branch properties of young Norway spruce [J]. European Journal of Forest Research, 2006, 125(3): 239-248.
- [7] Forrester David I, Wiedemann John C, Forrester Robert I, et al. Effects of planting density and site quality on mean tree size and total stand growth of *Eucalyptus globulus* plantations [J]. Canadian Journal of Forest Research, 2013, 43(9): 846-851.
- [8] 刘恩, 刘世荣. 南亚热带米老排人工林碳储量及其分配特征 [J]. 生态学报, 2012, 32(16): 5103-5109.
- [9] 李炎香, 谭天泳, 黄镜光, 等. 米老排造林密度试验初报 [J]. 林业科学研究, 1988, 1(2): 206-212.
- [10] 郭文福, 蔡道雄, 贾宏炎, 等. 米老排人工林生长规律的研究 [J]. 林业科学研究, 2006, 19(5): 585-589.
- [11] 陈永富, 郭文福, 黄镜光. 米老排立木材积表级地位指数表的编制 [J]. 林业科学研究, 1991, 4(增刊): 116-119.
- [12] 童书振, 盛伟彤, 张建国. 杉木林分密度效应研究 [J]. 林业科学研究, 2002, 15(1): 66-75.
- [13] Zhao D, Kane M, Borders B E. Growth responses to planting density and management intensity in loblolly pine plantations in the southeastern USA Lower Coastal Plain [J]. Annals of Forest Science, 2011, 68(3): 625-635.
- [14] Antón-fernández C, Burkhart H E, Strub M, et al. Effects of initial spacing on height development of loblolly pine [J]. Forest Science, 2011, 57(3): 201-211.
- [15] Cardoso D J, Lacerda A E B, Rosot M A D, et al. Influence of spacing regimes on the development of loblolly pine (*Pinus taeda* L.) in Southern Brazil [J]. Forest Ecology & Management, 2013, 310: 761-769.
- [16] 湛红辉, 丁贵杰. 马尾松造林密度效应研究 [J]. 林业科学, 2004, 40(1): 92-98.
- [17] 黄宝灵, 蒙钰钗. 不同造林密度对尾叶桉生长、产量及材性影响的研究 [J]. 林业科学, 2000, 36(1): 81-90.
- [18] Gizachew B, Brunner A, Øyen B. Stand responses to initial spacing in Norway spruce plantations in Norway [J]. Scandinavian Journal of Forest Research, 2012, 27(27): 637-648.
- [19] 王利宝, 张志毅, 康向阳, 等. 造林密度对白杨杂种无性系初期生长性状的影响 [J]. 北京林业大学学报, 2012, 34(5): 25-30.
- [20] 楚秀丽, 王艺, 金国庆, 等. 不同生境、初植密度及林龄木荷人工林生长、材性变异及林分分化 [J]. 林业科学, 2014, 50(6): 152-159.
- [21] Trouvé R, Bontemps J D, Seynave I, et al. Stand density, tree social status and water stress influence allocation in height and diameter growth of *Quercus petraea* (Liebl.) [J]. Tree Physiology, 2015, 35(10): 1035-1046.
- [22] 孙楠. 不同造林密度杂种落叶松人工林动态研究 [D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2012.
- [23] 相聪伟, 张建国, 段爱国, 等. 杉木林分蓄积生长的密度及立地效应 [J]. 林业科学研究, 2014, 27(6): 801-808.
- [24] Harrington T B, Harrington C A, Debell D S. Effects of planting spacing and site quality on 25-year growth and mortality relationships of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii*) [J]. Forest Ecology & Management, 2009, 258(1): 18-25.
- [25] Wang C S, Zhao Z G, Hein S, et al. Effect of planting density on knot attributes and branch occlusion of *Betula alnoides* under natural pruning in southern China [J]. Forests, 2015, 6(4): 1343-1361.
- [26] Liziniewicz M, Ekö P M, Agestam E. Effect of spacing on 23-year-old lodgepole pine (*Pinus contorta* Dougl. var. *latifolia*) in southern Sweden [J]. Scandinavian Journal of Forest Research, 2012, 27(4): 361-371.
- [27] Alcorn P J, Pyttel P, Bauhus J, et al. Effects of initial planting density on branch development in 4-year-old plantation grown *Eucalyptus pilularis* and *Eucalyptus cloeziana* trees [J]. Forest Ecology & Management, 2007, 252(1): 41-51.
- [28] 郑海水, 黎明, 汪炳根, 等. 西南桦造林密度与林木生长的关系 [J]. 林业科学研究, 2003, 16(1): 81-86.
- [29] 梁善庆, 罗建举. 人工林米老排木材解剖性质及其变异性研究 [J]. 北京林业大学学报, 2007, 29(3): 142-148.

(责任编辑:徐玉秀)