

间伐强度对木荷-萌芽杉木中龄混交林生长和 林分结构的影响*

姚甲宝^{1,2}, 曾平生², 袁小平², 吴建国², 楚秀丽^{1**}, 周志春¹

(1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江省林木育种技术研究重点实验室, 浙江 杭州 311400;

2. 中国林业科学研究院亚热带林业实验中心, 江西 分宜 336600)

摘要: [目的] 针对混交林木荷大径材培育技术薄弱、林地产值低等问题, 开展间伐试验, 分析间伐强度对林分生长和结构的影响, 筛选出适合木荷-萌芽杉木混交林的间伐强度, 为木荷大径材培育提供理论指导。 [方法] 以 16 年生木荷-萌芽杉木混交林为研究对象, 按株数比例进行弱度间伐(15%)、中度 I 间伐(30%)、中度 II 间伐(35%) 和强度间伐(60%) 及对照(未间伐) 5 种强度抚育间伐, 比较不同强度间伐木荷和杉木胸径、树高、蓄积量和直径结构特征, 探讨其对林分生长和结构的影响。 [结果] (1) 间伐 6 a 后, 不同间伐处理均促进木荷和杉木的平均胸径和单株材积增长。中度 II 间伐处理木荷的平均胸径和单株材积增长最快, 两者分别比对照高 28.5% 和 78.2%, 其增长量分别较对照高 243.9% 和 326.7%, 杉木除强度间伐胸径生长量略高于木荷外, 各强度间伐的胸径和单株材积均小于木荷对应指标值。(2) 由于间伐减少了树木株数, 林分蓄积量和杉木蓄积量有所降低, 但木荷蓄积量明显增加。中度 II 间伐、中度 I 间伐和弱度间伐时木荷蓄积量分别为对照的 132.3%、112.5% 和 139.8%。(3) 随着间伐强度的增加, 木荷与杉木的径阶分布峰值所在的径阶依次向高径阶方向进级, 中度 II 间伐木荷直径分布左偏、尖峭, 中大径阶木荷株数多且分布集中, 能有效实现大径级材种的培育目标。 [结论] 对密度较高的中龄木荷-萌芽杉木混交林适宜采用强度间伐措施, 即间伐强度 35% 左右, 林木密度 1 780 株·hm⁻² (木荷杉木株数比约为 1:2), 在保持林分蓄积量不减小的情况下, 促进木荷胸径、单株材积快速增长, 以实现木荷大径材培育目标。

关键词: 木荷; 萌芽杉木; 混交林; 间伐强度; 林分结构

中图分类号: S791.248

文献标识码: A

文章编号: 1001-1498(2017)03-0511-07

Impacts of Thinning Intensities on Growth and Stand Structure of *Schima superba*-Sprouting *Cunninghamia lanceolata* Mixed Plantation

YAO Jia-bao^{1,2}, ZENG Ping-sheng², YUAN Xiao-ping², WU Jian-guo², CHU Xiu-li¹, ZHOU Zhi-chun¹

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Key Laboratory of Tree Breeding of Zhejiang Province, Hangzhou

311400, Zhejiang, China; 2. Experimental Center of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fenyi 336600, Jiangxi, China)

Abstract: [Objective] In order to improve the cultivation technology of large-size timber, and increase the production value of *Schima superba*-sprouting *Cunninghamia lanceolata* mixed plantation, a thinning experiment was carried out to analyze the impacts of thinning intensities on stand growth and structure, so as to single out the suitable thinning intensity for *S. superba*-sprouting *C. lanceolata* mixed plantation and provide guidance for cultivating large-size *S. superba* timber. [Method] Taking 16-years-old *S. superba*-sprouting *C. lanceolata* mixed plantation as the object, five thinning intensity, i. e. light (15%), medium I (30%), medium II (35%), heavy (60%) and the control (0%) were selected to study the increment of DBH, height, volume and stand structure under different

收稿日期: 2016-07-12

基金项目: “十三五”国家重点研发计划重点专项课题(2016YFD0600606); 2014 年度林业科技成果国家级推广项目([2014]06 号)

作者简介: 姚甲宝(1981—), 男, 山东德州人, 在读博士研究生, 主要从事珍贵树种育种和培育技术研究。

* 中国林科院亚热带林业研究所孙洪刚副研究员在数据统计分析中给予指导, 谨致谢忱。

** 通讯作者: 楚秀丽(1981—), 女, 河南商丘人, 助理研究员, 博士, 主要从事珍贵树种培育研究。E-mail: xiulic0207@163.com

thinning intensities. [**Result**] (1) Six years after thinning, the mean DBH and individual volume of both *S. superba* and *C. lanceolata* under all the thinning intensities increased. Under the intensity of medium II, the growth was the fastest, which was about 28.5% and 78.2% higher than that of the control group respectively, the increment was about 243.9% and 326.7% higher than the control. The DBH growth of *C. lanceolata* was a little lower than that of *S. superba* at the corresponding parameter values except under heavy thinning. (2) Since the amount of tree reduced after thinning, the volumes of stand and *C. lanceolata* decreased on a certain of degree, but that of the *S. superba* showed a significant increase. The individual volume of *S. superba* under medium II, medium I, and light thinning intensity was respectively 132.3%, 112.5% and 139.8% of the control. (3) With the increase of thinning intensity, the peak of diameter distribution of *S. superba* and *C. lanceolata* stepped into the larger diameter level. The distribution curve of *S. superba* diameters was sharp and left-skewed, and its large diameter classes were multi and concentrated, which could accomplish the purpose of large-size timber cultivation. [**Conclusion**] For *S. superba*-Sprouting *C. lanceolata* mixed plantation with high density, it is appropriate to take the heavy thinning measure, i. e. the thinning intensity about 35%, and the stand density of 1 780 plants · hm⁻² (*S. superba* : *C. lanceolata* ≈ 1:2). Keeping the stand volume from decrease and promoting the rapid growth of DBH and individual volume of *S. superba* to realize the goal of large-size timber cultivation.

Keywords: *Schima superba*; sprouting *Cunninghamia lanceolata*; mixed plantation; thinning intensity; stand structure

当今世界各国加大了对珍贵用材树种资源的发掘和人工培育力度^[1]。如日本重视日本榉(*Tilia japonica* Simonk.)、日本花楸(*Sorbus japonicus*)、水曲柳(*Fraxinus mandshurica* Rupr.)等珍贵阔叶树种培育^[2],英国重视橡树(*Quercus palustris* Münchh.)等乡土珍贵树种种质资源的发掘和整理^[3]。我国现有珍贵用材资源存量有限,大径阶的珍贵木材的年需求量3 000万m³以上^[4],目前主要依靠进口。较之于松杉等速生丰产用材林树种,我国亚热带珍贵用材树种培育技术薄弱,亟需加强相关方面的研究。抚育间伐是人为主动促进森林生长的主要营林技术措施,通过合理间伐不仅可带来部分中间收益,而且有利于提高保留立木的径级和蓄积增长量^[5]。有关抚育间伐对林分生长状况及结构的影响一直是森林经营研究领域的热点问题,但主要针对针叶纯林,珍贵树种相关研究较少^[6]。

木荷(*Schima superba* Gardn. et Champ.)为山茶科(Theaceae)木荷属(*Schima* Reinw.)常绿大乔木,广泛分布于我国南方各省区,具有速生、丰产、材质优异、适应性强等特点,是南方重要的珍贵阔叶用材造林树种及主要生物防火和生态防护树种。木荷还是一种与杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.)等针叶树混交的理想树种,生长竞争优势强,混交增产效果明显。目前关于木荷优良种源选择^[7-8]、混交与生长规律^[9-10]、材性变异和林分结构^[11]等方面已开展了较多研究,混交条件下木荷作

为目标树大径材培育技术的研究尚少报道。木荷-萌芽杉木混交林经营的目标是培育大径材木荷,提高萌芽杉木中小径材出材率。本研究以中国林科院亚热带林业实验中心长埠林场16年生木荷-萌芽杉木混交林为研究对象,通过设置不同强度间伐试验,研究间伐6a后林分生长状况及林分结构特征差异,提出适合木荷-萌芽杉木混交林间的措施,旨在为木荷大径材培育,提高林地经济效益提供理论指导。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验地位于中国林科院亚热带林业实验中心长埠实验林场(27°33'N,114°35'E),地处江西省分宜县境内,属亚热带湿润季风气候,年平均气温18.0℃,年平均降水量1 600 mm。造林地为低山丘陵地貌,平均坡度25°左右,土壤由页岩和砂页岩发育而成,中等肥力,土层厚度80~100 cm,海拔高度150 m左右。

试验地前茬为杉木纯林,1994年春季造林,营林时按照原杉木伐桩(2 m×2 m)各保留1根杉木萌芽条,水平带状整地,同时套种1年生木荷实生苗(与杉木萌芽林1:3混交),混交林初植密度为3 330株·hm⁻²,造林后前3a按照常规营林措施进行抚育管理。为培育木荷大径材,增加林地收益,2010年进行抚育间伐试验,11月对混交林(16年生)进行间伐前本底调查,12月按株数比例进行弱度间伐

(15%)、中度 I 间伐(30%)、中度 II 间伐(35%)和强度间伐(60%)及对照(未间伐)5种强度抚育间伐,主要间伐被压木、有缺陷及过密的杉木和部分长势较差的木荷,使保留木均匀分布。2015年8月每

种间伐强度选择基本相同立地条件各设置样地(20 m × 20 m)3块,对样地进行全面调查。间伐前后情况见表1。

表1 间伐前后林分基本情况

Table 1 Basic stand status before and after thinning treatment

间伐强度 Thinning intensity	样地号 Sample plot	林分密度 Stand density/ (trees · hm ⁻²)	树种保留密度 Tree species reserve density/(trees · hm ⁻²)		
			木荷 <i>S. superba</i>	杉木 <i>C. lanceolata</i>	其它树种 Other tree species
间伐前 Before thinning	-	2 840	813	2 012	15
对照 Control(0%)	1 ~ 3	2 822	804	2 007	11
弱度间伐 Light thinning(15%)	4 ~ 6	2 447	751	1 687	9
中度 I 间伐 Medium I thinning(30%)	7 ~ 9	1 947	638	1 300	9
中度 II 间伐 Medium II thinning(35%)	10 ~ 12	1 780	583	1 192	5
强度间伐 Heavy thinning(60%)	12 ~ 15	1 156	425	725	6

1.2 样地调查、指标计算

间伐前和间伐6a后,对样地分树种进行每木调查,测量胸径和树高等指标,并计算林分密度、单株材积和林分蓄积量等。将木荷和杉木的胸径采用2cm径阶划分法分别统计各径阶株数及所占百分比。

杉木单株材积($V_{\text{杉}}$)^[12]、木荷单株材积($V_{\text{荷}}$)计算公式^[13]:

$$V_{\text{杉}} = 0.000\ 058\ 777\ 0D^{1.969\ 983\ 1}H^{0.896\ 461\ 57} \quad (1)$$

$$V_{\text{荷}} = 0.000\ 068\ 01D^{1.865\ 613}H^{0.918\ 129} \quad (2)$$

式中: D 为胸径, H 为树高。

树种蓄积量为样地该树种单株材积之和,然后换算成该树种每公顷蓄积量。林分每公顷蓄积量为林分中木荷和杉木蓄积量之和。相关生长指标定期生长量计算公式:

$$Z_t = y_t - y_{t-n} \quad (3)$$

式中: y_t 为相应生长指标间伐6a后调查数据, y_{t-n} 为相应生长指标间伐前调查数据, n 为调查间隔时间。

采用直径分布曲线的性状统计量偏度(SK)、峰度(K)和变异系数(CV)研究林分中木荷与杉木直径分布的特征。其中偏度是直径分布偏斜程度的测度,反映直径分布曲线偏离正态分布的程度, $SK > 0$ 表示正偏或右偏,位于直径均值右边的株数比位于左边的少, $SK < 0$ 表示负偏或左偏,位于直径均值左边的株数比位于右边的少;峰度 K 是一个表征直径分布曲线尖峭程度的指标,反映了不同大小林木所占比例的均匀度, $K > 0$ 表示尖峭,林木直径的分布

更集中,当 $K < 0$ 时为扁平分布,林木直径的分布越分散;变异系数表示数据离散程度的相对统计量, CV 值越大表示林木直径越离散,林分分化程度越大。三特征数学表达式见段爱国等^[14]研究论文。

1.3 数据处理

采用Excel 2007软件进行数据基本处理及制图,运用SPSS19.0软件进行单因素方差分析(one-way ANOVA)和Duncan's多重比较,以检验不同间伐强度下木荷和杉木胸径、树高、单株材积和蓄积量等指标的差异。

2 结果与分析

2.1 间伐强度对木荷和杉木生长的影响

由表2可知,间伐6a后,各间伐处理木荷和杉木的平均胸径及胸径增长量均高于对照。弱度间伐、中度 I 间伐、中度 II 间伐和强度间伐木荷平均胸径分别较对照大8.1%、21.5%、28.5%和21.8%,胸径增长量分别较对照高30.6%、168.9%、243.9%和178.8%,方差分析表明,中度 I 间伐、中度 II 间伐和强度间伐木荷的两胸径指标与对照之间差异显著($P < 0.05$),但三者之间无显著差异;杉木平均胸径和胸径增长量随着间伐强度增大而增大,强度间伐时最高,分别显著高于对照的41.8%和408.2%。各间伐处理木荷和杉木的平均树高和树高增长量均较对照有一定程度的增加,但与对照之间无显著差异。除强度间伐时木荷的胸径增长量小于杉木外,其它各间伐处理木荷的胸径和树高生长指标均比杉木高。

表2 间伐强度对木荷和杉木胸径和树高生长的影响

Table 2 Effect of thinning intensity on DBH and height increment of *S. superb* and *C. lanceolata*

间伐强度 Thinning intensity	木荷 <i>S. superb</i>				杉木 <i>C. lanceolata</i>			
	胸径 DBH/cm	增长量 Increment/cm	树高 Height/m	增长量 Incremen/m	胸径 DBH/cm	增长量 Increment/cm	树高 Height/m	增长量 Incremen/m
CK	15.41 ± 4.00c	2.12 ± 0.58c	10.34 ± 1.37a	1.00 ± 0.10a	11.94 ± 3.18c	1.34 ± 0.20b	9.51 ± 1.46a	0.60 ± 0.01a
A	16.66 ± 4.55bc	3.77 ± 0.36bc	11.05 ± 1.78a	1.12 ± 0.00a	12.03 ± 2.67c	1.38 ± 0.09b	9.32 ± 1.90a	0.68 ± 0.21a
B	18.73 ± 4.16ab	5.70 ± 1.53ab	10.82 ± 1.86a	1.13 ± 0.09a	12.28 ± 3.31c	1.82 ± 0.8b	9.46 ± 1.57a	0.70 ± 0.44a
C	19.80 ± 4.90a	7.29 ± 1.90a	11.55 ± 2.00a	1.28 ± 0.29a	13.51 ± 3.87b	3.20 ± 1.92b	10.40 ± 1.95a	0.76 ± 0.42a
D	18.77 ± 5.25ab	5.91 ± 0.03ab	10.61 ± 1.08a	1.17 ± 0.02a	16.93 ± 4.67a	6.81 ± 0.47a	9.85 ± 1.38a	0.75 ± 0.05a

注:表格内数据为“平均值 ± 标准差”。小写字母不同表示不同间伐处理间差异显著 ($P < 0.05$)。CK 表示未间伐(对照),A 表示弱度间伐,B 表示中度 I 间伐,C 表示中度 II 间伐,D 表示强度间伐。下同。

Note: Data in table are “Mean ± standard”. The different letters in the table mean the differences between treats were significant ($P < 0.05$). CK stands for comparison. A stand for light thinning. B stands for medium I thinning. C stands for medium II thinning. D stands for heavy thinning. The same below.

2.2 间伐强度对林分蓄积的影响

2.2.1 间伐强度对木荷和杉木单株材积的影响

图1显示,间伐6a后,木荷平均单株材积大小表现为:中度 II 间伐 > 强度间伐 > 中度 I 间伐 > 弱度间伐 > 对照,其中中度 II 间伐、强度间伐与中度 I 间伐

分别显著高于对照 78.2%、47.8% 和 45.9%,中度 II 间伐与中度 I 间伐、强度间伐之间差异显著。杉木平均单株材积强度间伐时最大,其次为中度 II 间伐,分别比对照高 106.1% 和 40.5%,但均低于同等间伐强度木荷的相应指标。

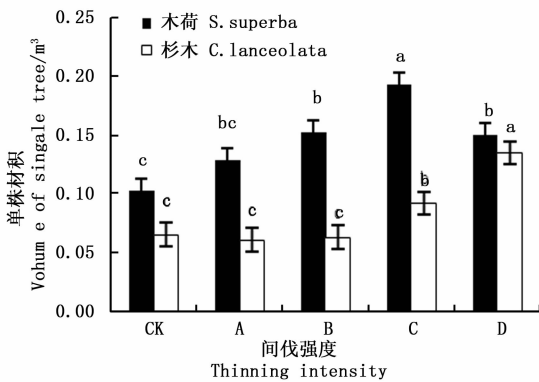


图1 间伐强度对木荷和杉木单株材积的影响

Fig. 1 Effect of thinning intensity on individual volume increment of *S. superb* and *C. lanceolata*

木荷与杉木单株材积增长量同单株材积变化规律类似,弱度间伐、中度 I 间伐、中度 II 间伐、强度间伐木荷单株材积增长量均与对照间差异达到显著水平,分别较对照大 97.0%、167.2%、326.7% 和 178.1%,说明间伐对木荷单株材积生长有显著的促进作用,可有效地加速其个体生长,以缩短成材年限。强度间伐杉木单株材积增长最快,与对照差异显著,其它处理间无显著差异。与木荷相比,杉木单株材积增长量仅在强度间伐时略高于木荷,表明间伐对木荷材积生长的促进作用大于杉木。

2.2.2 间伐强度对林分蓄积量的影响 间伐后林分蓄积量较对照林分减小,间伐强度由大到小各林分蓄积量分别为对照的 66.5%、102.8%、80.2% 和 97.2%,但弱度间伐、中度 I 间伐和中度 II 间伐林分

蓄积量与对照间无显著差异,强度间伐最小,显著低于其它间伐处理。按树种分析,以对照林分中木荷蓄积量 ($87.2 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$) 为 100%,强度间伐、中度 II 间伐、中度 I 间伐和弱度间伐木荷蓄积量分别为 65.6%、132.3%、112.5% 和 139.8%,而杉木以对照蓄积量 ($135.5 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$) 为 100%,强度间伐、中度 II 间伐、中度 I 间伐和弱度间伐分别为 70.0%、59.4%、83.9% 和 67.1%,可见间伐后杉木蓄积量下降。而由于中度 II 间伐、中度 I 间伐、弱度间伐木荷蓄积量不降反增,使得这 3 种强度林分蓄积量与对照差异不显著(表 3)。

进一步分析林分蓄积增长量可知,除强度间伐林分蓄积增长量为负值外 ($-7.05 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$),其它处理蓄积增长量均为正值,弱度间伐、中度 I 间

表3 间伐强度对林分、木荷和杉木蓄积量及蓄积增长量的影响

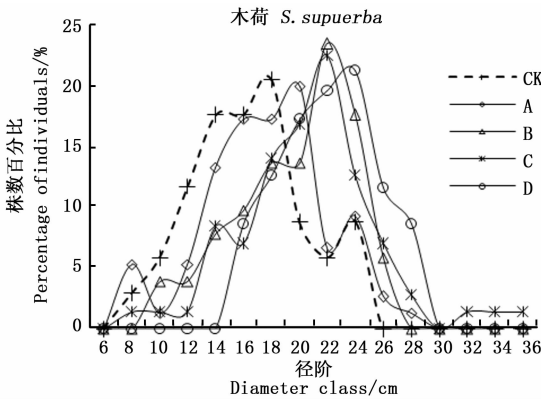
Table 3 Effect of thinning intensity on volume increment of stand, *S. superb* and *C. lanceolata*

间伐强度 Thinning intensity	林分 Stand		木荷 <i>S. superb</i>		杉木 <i>C. lanceolata</i>	
	蓄积量 Volume /($m^3 \cdot hm^{-2}$)	蓄积增长量 Volume increment /($m^3 \cdot hm^{-2}$)	蓄积量 Volume /($m^3 \cdot hm^{-2}$)	蓄积增长量 Volume increment /($m^3 \cdot hm^{-2}$)	蓄积量 Volume /($m^3 \cdot hm^{-2}$)	蓄积增长量 Volume increment /($m^3 \cdot hm^{-2}$)
CK	222.69 ± 6.39a	67.59 ± 6.39a	87.22 ± 1.88ab	26.31 ± 1.88ab	135.48 ± 4.5a	41.28 ± 4.5a
A	216.67 ± 10.2a	61.57 ± 10.2ab	121.91 ± 9.76a	61.00 ± 9.76a	94.77 ± 19.96ab	0.57 ± 19.96ab
B	178.66 ± 30.39ab	23.56 ± 30.39ab	98.12 ± 39.47ab	37.22 ± 39.47ab	80.53 ± 9.08b	-13.66 ± 9.08b
C	229.06 ± 40.1a	73.96 ± 40.1ab	115.37 ± 25.79a	54.46 ± 25.79a	113.69 ± 24.43ab	19.5 ± 24.43ab
D	148.05 ± 3.67b	-7.05 ± 3.67b	57.19 ± 0.28b	-3.72 ± 0.28b	90.86 ± 3.39b	-3.33 ± 3.39b

伐、中度Ⅱ间伐3种强度间伐处理林分蓄积增长量分别为对照的91.1%、79.2%和109.4%。每公顷林分中木荷的蓄积增长量顺序为弱度间伐>中度Ⅱ间伐>中度Ⅰ间伐>对照>强度间伐,分别为61.0、54.5、37.2、26.3 m^3 和 -3.37 m^3 ;每公顷林分中杉木蓄积增长量顺序则为对照>中度Ⅱ间伐>弱度间伐>强度间伐>中度Ⅰ间伐,分别为41.3、19.5、0.57、-3.3 m^3 和 -13.7 m^3 。除对照外,无论林分还是木荷与杉木的蓄积增长量,都以中度Ⅱ间伐最高。虽然中度Ⅱ间伐木荷与杉木株数分别比对照少21.5%和35.3%,但林分蓄积量与对照相当,表明此间伐强度对保留木的生长具有明显促进作用。

2.3 不同间伐强度对林分结构的影响

2.3.1 不同间伐强度径阶株数分布差异 对木荷



和杉木径阶株数分布分析表明,随着间伐强度的增加,两个树种的径阶分布峰值所在的径阶依次向高径阶方向递进,间伐强度越大,递进的幅度越大(图2)。对照处理木荷径阶分布峰值所在径阶为18 cm,而弱度间伐、中度Ⅰ间伐、中度Ⅱ间伐、强度间伐分别为20、22、22、24 cm,中度Ⅱ间伐时径阶大于18 cm株数占66.2%,显著地高于对照(23.5%),并且出现了32 cm以上的径阶;杉木各间伐强度林分径阶分布峰值在10~16 cm,强度间伐(35.0%)和中度Ⅱ间伐(12.2%)中胸径18 cm以上林木径阶株数百分比高于其它间伐处理。可见,间伐提高了林分中木荷中、大径级的株数比例,同时增加了杉木相对大的径级株数比例。

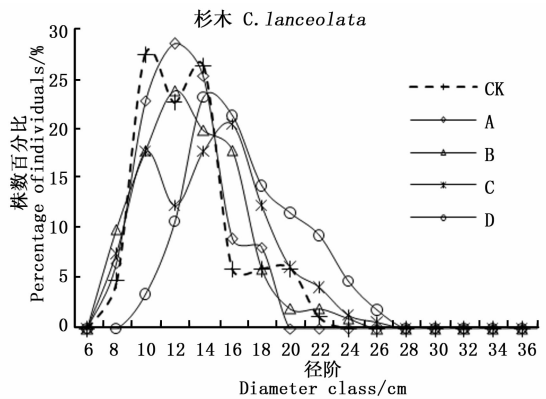


图2 不同间伐强度木荷与杉木直径径阶分布

Fig. 2 Distribution of *S. superb* and *C. lanceolata* diameter class under different thinning intensity

2.3.2 间伐强度对林分直径分布特征值的影响

由图3-A可以看出,对照林分木荷直径分布偏度值>0,呈右偏,表示木荷小径级的植株较多;经过间伐后,不同间伐强度木荷直径分布偏度值下降,且均<0,表明间伐后木荷直径结构发生了明显的变化,直径分布由右偏变为左偏,径级大的木荷增多。各处理杉木偏度值始终>0,直径分布右偏,说明各林分中小径级的杉木占多数。

各间伐处理木荷和杉木的直径分布峰度变化不同(图3-B)。中度Ⅱ间伐时木荷峰度为正值,其林分直径分布曲线较正态分布尖峭,其它3个间伐强度则较为平坦。杉木各间伐处理林分峰度值分散在横坐标轴两侧,其值有正有负,表明萌芽杉木林分直径分布曲线尖峭平坦程度不一。

不同间伐强度木荷与杉木直径分布的变异系数皆在0.22~0.28的小范围内波动,趋于一个稳定

值^[15-16]。木荷直径分布变异系数随着间伐强度的增大,先降低后升高;杉木直径分布变异系数曲线比

较平滑,除强度间伐外,其它间伐处理杉木的变异系数数值大于木荷(图3-C)。

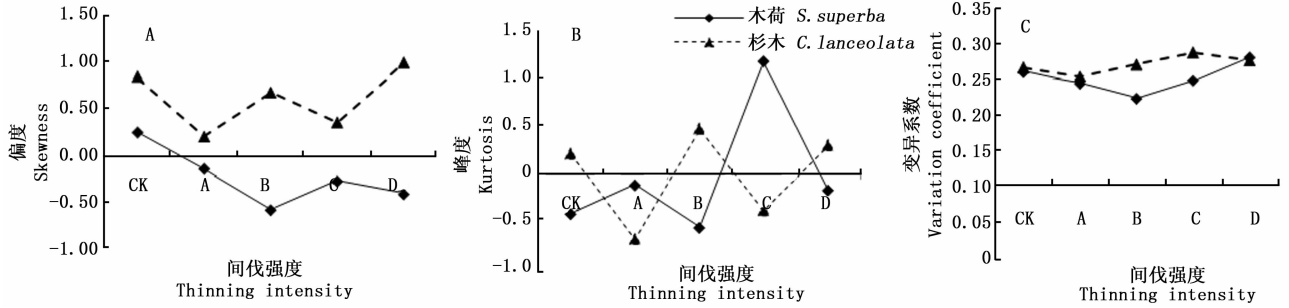


图3 不同间伐强度林木直径分布偏度、峰度和变异系数的变化

Fig. 3 Diameter skewness, kurtosis and variation changes under different thinning intensities

3 讨论

3.1 间伐强度对木荷和杉木生长的影响

林木个体对生活资源的激烈竞争在中龄林阶段表现得为突出^[17],间伐除了部分小径级树木,提高保留木的遗传品质,促进了林木胸径和单株材积增长^[18-19]。本试验林分伐前为16年生中龄林,间伐6a后不同强度处理木荷与杉木的平均胸径、单株材积及其增长量均高于对照林分,但两个树种的生长规律不同。木荷平均胸径、单株材积及其增长量随着间伐强度增加呈先增大后减少趋势,这可能是木荷属阴性^[11],与杉木适当比例的混交林分生境条件得到改善,明显促进木荷的胸径和材积生长^[9],本研究中度Ⅱ间伐改变了荷杉比例(由1:3变为1:2),木荷以上指标均达到最高,平均胸径和胸径增长量分别高于对照28.5%和243.9%,单株材积和单株材积增长量比对照高78.2%和326.7%。同为中等立地条件,楚秀丽等^[11]研究的29年生木荷纯林平均胸径为19.83 cm,单株材积为0.199 m³,而本研究木荷仅22年生,中度Ⅱ间伐木荷的平均胸径和单株材积已分别达到19.80 cm和0.195 m³,表明中度Ⅱ间伐能加速木荷生长,缩短成材年限,有利于大径材的培育。相比木荷,杉木胸径和单株材积生长缓慢,这可能与本试验树种生物学特性有关,萌芽杉木前期生长较快,中后期生长缓慢,而木荷速生期长,29、40甚至46年生木荷人工林平均胸径生长仍较快^[11,20],可见,间伐有利于加快大径级木荷的培育,而对萌芽杉木生长有一定促进作用,但不及木荷。林木树高生长取决于种苗的遗传品质和立地质量及其相互作用,与密度关系较小^[5,18],因此各间伐处理木荷和杉木的平均树高均较对照有一定程度的增加,但各处理间差异不显著。

林分的蓄积量受单株材积和单位面积株数的双重控制。虽然各强度间伐木荷与杉木的单株材积都有所增加,但因间伐后保留木株数减少,短期(6 a)林分增长的蓄积还不足以抵消除木的蓄积量,造成林分蓄积量有所下降,杉木^[18]、欧洲赤松(*Pinus sylvestris* Linn.)^[21]、比利牛斯栎(*Q. pyrenaica* Willd.)^[22]等纯林、落叶松+云杉+臭冷杉混交林(*Larix olgensis* Henry. + *Picea asperata* Mast. + *Abies nephrolepis* (Trautv.) Maxim.)^[23]和荷杉混交林^[24]等的抚育间伐试验也得出类似结论。与林分蓄积变化不同,弱度间伐、中度Ⅰ间伐和中度Ⅱ间伐木荷蓄积量和蓄积增长量均显著高于对照,且以中度Ⅱ间伐最高,再次表明中度Ⅱ间伐木荷生长较快。由于萌芽杉木生长较慢和间伐比例高,其蓄积量小于对照和木荷。中度Ⅱ间伐既保证了林分蓄积量不降低,又促进了木荷单株材积和蓄积量增长,同时获得较多的小径材林木,因此5种间伐处理中以中度Ⅱ间伐最佳。

3.2 间伐强度对荷杉混交林林分结构的影响

随着林分密度的降低,林分的径阶分布向大径木的方向偏移,株数更多地分布在径阶较大的范围内,有利于中大径材的形成^[14,25]。木荷与杉木径阶分布峰值所对应的径阶,随着间伐强度的增加依次向较高径阶方向移动,各处理木荷峰值在20~24 cm。比较木荷与杉木径阶分布,可以看出同种间伐强度木荷的径阶分布曲线峰值所处径阶大于杉木,说明间伐对木荷径阶增进效果大于杉木,有利于木荷向大径材方向发展。

除径阶分布规律外,常用偏度、峰度及变异系数表示林木直径分布特征。由于间伐后小径级树木株数减少,保留木的直径在短期内生长迅速,改变了林木直径分布^[12]。与对照相比,中度Ⅱ间伐木荷直径

偏度值为负值,峰度为正值,即木荷胸径分布呈左偏单峰山形,较正态分布尖峭,表明中、大径阶木荷株数多且分布集中,能有效实现大径级材种的培育目标^[26];各间伐处理杉木偏度值均为正值,直径分布右偏,说明中小径级的杉木仍占多数。由于木荷具有强生长竞争优势和萌芽杉木分化大,导致杉木直径分化程度大于木荷,表现为除强度间伐外,杉木的直径变异系数均大于木荷。低密度条件下,林木因个体生长差异导致不对称竞争^[27],致使树木胸径出现较大变异^[11]。

4 结论

木荷-杉木混交是我国南方常见的造林模式,本研究设置5种不同强度间伐试验,研究间伐6a后林木生长状况及林分结构特征差异。结果表明间伐促进了木荷和杉木生长及林分结构的改变,强度间伐时不仅木荷平均胸径、单株材积和蓄积量最大,而且林分的蓄积量也达到最高(与对照差异不显著)。间伐强度的增大促进木荷和杉木的径阶峰值向高径阶方向移动,中度Ⅱ间伐木荷大中径阶株数多且分布集中。因此,对初植密度较大的木荷-萌芽杉木混交林适宜采用中度Ⅱ间伐措施,即间伐强度35%左右,林分密度 $1\ 780\ \text{株}\cdot\text{hm}^{-2}$ (木荷与杉木株数比约为1:2),在保持林分蓄积量不减少的情况下,有效促进木荷胸径、单株材积快速增长,以实现木荷大径材培育目标。

参考文献:

- [1] 曾祥谓. 我国多功能森林经营中的珍贵树种问题研究[D]. 北京:中国林业科学研究院, 2010.
- [2] 邹学忠, 吴月亮, 张云江. 赴日本进行珍贵阔叶树种栽培技术交流考察报告[J]. 辽宁林业科技, 2001, (5):36-38.
- [3] Ennos R A, Worrell R, Malcolm D C. The genetic management of native species in Scotland[J]. Forestry, 1998, 71(1):1-23.
- [4] 中国林科院. 重要珍贵阔叶用材树种培育与利用技术研究项目通过现场查定[EB/OL]. <http://www.forestry.gov.cn/main/4424/content-731058.html>.
- [5] 尤文忠, 赵刚, 张慧东, 等. 抚育间伐对蒙古栎次生林生长的影响[J]. 生态学报, 2015, 35(1):56-64.
- [6] 蔡道雄, 贾宏炎, 卢立华, 等. 我国南亚热带珍优乡土阔叶树种大径材人工林的培育[J]. 林业科学研究, 2007, 20(2):165-169.
- [7] 周志春, 范辉华, 金国庆, 等. 木荷地理遗传变异和优良种源初选[J]. 林业科学研究, 2006, 19(6):718-724.
- [8] 林磊, 周志春, 范辉华, 等. 木荷生长与形质地理变异和木制品工艺材种源选择[J]. 浙江农林大学学报, 2009, 26(5):625-632.
- [9] 王秀花, 马丽珍, 马雪红, 等. 木荷人工林生长和木材基本密度[J]. 林业科学, 2011, 47(7):138-144.
- [10] 刘发林, 曾思齐, 吕勇, 等. 木荷次生林经营密度调控技术的研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2013, 33(11):26-28.
- [11] 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.
- [12] 吴建强, 王懿祥, 杨一, 等. 干扰树间伐对杉木人工林林分生长和林分结构的影响[J]. 应用生态学报, 2015, 26(2):340-348.
- [13] 卓立新. 木荷防火林带造林技术及生长特性调查研究[J]. 林业勘察设计, 2006, (2):183-186.
- [14] 段爱国, 何彩云, 张建国, 等. 杉木人工林林分直径结构预测影响因子的研究[J]. 林业科学, 2004, 40(5):32-38.
- [15] Minowa M. A theoretical approach to forest growth modeling(IV): Individual tree growth and allometry derived from the log-MITSCHERLICH equation and a generalized weibull distribution, respectively[J]. Journal of the Japanese Forestry Society, 1984, 66:183-191.
- [16] 张鹏, 王新杰, 韩金, 等. 间伐对杉木人工林生长的短期影响[J]. 东北林业大学学报, 2016, 44(2):6-14.
- [17] 沈国舫. 森林培育学[M]. 北京:中国林业出版社, 2001.
- [18] 徐金良, 毛玉明, 郑成忠, 等. 抚育间伐对杉木人工林生长及出材量的影响[J]. 林业科学研究, 2014, 27(1):99-107.
- [19] 黄雪蔓, 尤业明, 蓝嘉川, 等. 不同间伐强度对杉木人工林碳储量及其分配的影响[J]. 生态学报, 2016, 36(1):156-163.
- [20] 叶世坚. 木荷人工林大径材林分生长规律的初步研究[J]. 福建林业科技, 1999, (4):49-52.
- [21] Montero G, Cañellas I, Ortega C, et al. Results from a thinning experiment in a Scots pine (*Pinus sylvestris*, L.) natural regeneration stand in the Sistema Ibérico Mountain Range (Spain)[J]. Forest Ecology & Management, 2001, 145(1-2):151-161.
- [22] Cañellas I, Río M D, Roig S, et al. Growth response to thinning in *Quercus pyrenaica* Willd. coppice stands in Spanish central mountain[J]. Annals of Forest Science, 2004, 61(3):243-250.
- [23] Lei X D, Lu Y C, Peng C H, et al. Growth and structure development of semi-natural larch-spruce-fir (*Larix olgensis-Picea jezoensis-Abies nephrolepis*) forests in northeast China: 12-year results after thinning[J]. Forest Ecology & Management, 2007, 240(1-3):165-177.
- [24] 潘云青. 间伐对杉木木荷混交林生长影响探讨[J]. 林业勘察设计, 2014, (2):140-144.
- [25] 相聪伟, 张建国, 段爱国, 等. 杉木人工林材种结构的立地及密度效应研究[J]. 林业科学研究, 2015, 28(5):654-659.
- [26] 张建国, 段爱国, 童书振. 林分直径结构模拟与预测研究概述[J]. 林业科学研究, 2004, 17(6):787-795.
- [27] Pretzsch H, Biber P. Size-symmetric versus size-asymmetric competition and growth partitioning among trees in forest stands along an ecological gradient in central Europe[J]. Canadian Journal of Forest Research, 2010, 40(2):370-384.