

不同生境、造林模式闽楠人工林生长及林分分化

楚秀丽¹, 刘青华¹, 范辉华², 王生华³, 陈柳英⁴, 周志春^{1*}

(1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400; 2. 福建省林业科学研究院, 福建 福州 350012;
3. 福建省三明市岩前林业工作站, 福建 三明 365005; 4. 福建省建瓯市林业技术推广中心, 福建 建瓯 353100)

摘要:利用福建省三明市和建瓯市不同生境、造林模式闽楠人工林的 24 块代表性样地材料, 对其生长及林分分化进行系统研究。结果表明: 45 龄闽楠人工纯林北坡、东坡林分树高均值明显高于西坡、南坡, 而南坡、东坡林分平均胸径显著较北坡、西坡大, 中坡、下坡生长明显优于上坡; 45 龄不同混交类型闽楠人工林中, 与杉木混交效果较好, 显著优于分别与福建柏、毛竹、木荷混交的林分; 8~10 龄弱光环境下闽楠林分在马尾松冠下和杉木套种模式时生长较好, 其树高、胸径显著大于杉木冠下闽楠林分; 相同坡向、坡位、混交林及马尾松冠下闽楠人工林树高、胸径变异较小, 而冠幅变异较大。不同微环境和造林模式的闽楠人工林径阶分布采用 Weibull 分布函数拟合, 效果较好, 各坡向、坡位闽楠人工纯林、与毛竹混交的林分及弱光条件下闽楠幼林均为倒“J”型分布, 即其林分结构相对稳定、竞争较合理, 而分别与杉木、福建柏和木荷混交的林分径阶呈单峰左偏山状分布, 表明其处于竞争的自然稀疏后期; 不同生境、造林模式闽楠林分林木分级显示, 除杉木套种和杉木冠下林分各级林木所占比例相对分散外, 其他调查林分Ⅱ级木、Ⅲ级木占主导地位。因此, 营造闽楠人工林应依据不同培育目标进行立地、混交模式及微环境选择, 其人工林分宜选偏阳、半阳坡、中下坡, 造林时尽可能选庇荫微环境, 至中龄期可逐步移除冠层树种; 杉木为其较理想伴生树种, 与杉木混交林分的生长后期或杉木套种闽楠林分郁闭期, 建议间伐伴生树种; 而弱光微环境应首选立地较好的马尾松冠下。

关键词: 闽楠; 人工林; 生境; 造林模式; 林分分化

中图分类号: S725.7

文献标识码: A

Growth and Structure Differentiation of *Phoebe bournei* Plantation with Different Sites and Modes of Afforestation

CHU Xiu-li¹, LIU Qing-hua¹, FAN Hui-hua², WANG Sheng-hua³, CHEN Liu-ying⁴, ZHOU Zhi-chun¹

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fuyang 311400, Zhejiang, China;

2. Fujian Academy of Forestry, Fuzhou 350012, Fujian, China; 3. Yanqian Forestry Station of Sanming City, Sanming 365005, Fujian, China;

4. Extending Center for Forestry S & T of Jian'ou City, Jian'ou 353100, Fujian, China)

Abstract: Based on 24 sample plots with different biotopes and afforestation modes in Sanming and Jian'ou of Fujian Province, the growth and stand differentiation of *Phoebe bournei* were analyzed. The results indicated that: for 45-year-old *Phoebe bournei* pure plantation, the height displayed conversely with the diameter at breast height (DBH), the average height of *Phoebe bournei* grown at north and east slope was taller than that at south and west slope; however, the average DBH of stand at south and east slope was significantly larger than that of plantation at north and west slope; while the growth of the plantation at middle and lower slope was better than that at upper slope. For 45-year-old mixed plantation, the plantation mixed with *Cunninghamia lanceolata* was superior than that of other mixed modes such as mixed with *Fokienia hodginsii*, *Phyllostachys edulis* and *Schima superba*. Likewise,

收稿日期: 2013-10-24

基金项目: 国家农业科技成果转化资金项目(2013GB24320603)

作者简介: 楚秀丽(1981—),女,河南商丘人,助理研究员,博士,主要从事珍贵树种高效培育等研究。

* 通讯作者: 周志春(1963—),男,江苏丹阳人,研究员,博士生导师. E-mail: zczhou_risf@163.com

the 8 to 10-years-old *Phoebe bournei* plantation grown under different shady environment displayed that young stand planted under *Pinus massoniana* crown and interplanted with coppice shoot of fir did better than that of under *C. lanceolata*. Not only the height of *Phoebe bournei* with the two modes mentioned above, but also the DBH of them were larger than that of under *C. lanceolata* mode. The variation of height and DBH of *Phoebe bournei* plantation in same direction and position of slope, mixed plantation and the under *Pinus massoniana* crown mode were small, oppositely, differentiation in crown of that was large. The model fitting diameter distribution for different microsites (slope, position of slope) and mixed modes of *Phoebe bournei* plantation with cumulative distribution function of Weibull distribution were good; The diameter distribution for plantation in different direction and position of slope, mixed plantation with *Phyllostachys edulis* and that planted under shady environment were the reverse "J" type which means the stands had been undergoing stable stand structure and reasonable competition and the adaptability of this tree species strong. However, the diameter distribution for plantation mixed with *C. lanceolata*, *F. hodginsii* and *S. superba* took single hump with left avertence shape which indicated that the stands were in the late stage of natural thinning of competition period. And the tree species in class II and III were dominant in the stands excepting the plantation grown with coppice shoot of fir and under *C. lanceolata* according to tree classification. Thus, it is necessary to select the microsite and mixed mode for *Phoebe bournei* plantation depending on cultivation target. For example, the pure plantation should be in partial sunny, half shady, middle and lower slope. *Phoebe bournei* plantation should be planted under shady environment and the crown tree species could be removed when the target plantations reach its middle stage. *C. lanceolata* is a better choice for *Phoebe bournei*. While, it is better to remove the associated species in *Phoebe bournei* plantations mixed with *C. lanceolata* and interplanted with coppice shoot of fir when they reach to closure period. If possible, it should choose under *Pinus massoniana* crown mode when planted under shady environment and fertility site.

Key words: *Phoebe bournei*; plantation; site; forestry model; stand differentiation

闽楠(*Phoebe bournei* (Hemsl.) Yang)为我国特有珍贵阔叶树种,主要分布在福建、江西、湖南、广东和浙江等省份,其干形通直、树冠雄伟,木材纹理致密、削面光滑,可作为高级建筑、家具等上等用材,是我国亚热带中东部地区重点发展的树种之一。现有研究表明,闽楠人工林生长的坡向、坡位效应显著,中坡、下坡生长较好,且发现与杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.)或马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.)混交能显著促进闽楠生长^[1],尤其与马尾松混交效果较好^[2]。近些年,营林科技工作者基于速生树种生长特点及闽楠幼龄期偏阴的生物学特性^[3-4],兴起对生长周期较长的珍贵树种闽楠在杉木等速生树种树冠等弱光环境下造林,以期达到“以短养长”的目的^[3];然而,对前述不同立地、造林模式及弱光环境下所造闽楠人工林生长、林分结构稳定性及分化情况等尚了解不多,难以科学指导闽楠人工林的高效经营。

径阶分布是林分结构的基本规律之一^[5],是表征林分生长稳定性及林分株间竞争的主要指标^[6-10]。了解林分的径阶分布和林分分化情况可

掌握其结构的稳定程度,能够为林分经营管理提供理论依据^[11-12]。本研究基于现有的各类闽楠人工林,于45龄闽楠人工纯林(不同坡向、坡位)和闽楠与杉木、毛竹(*Phyllostachys edulis* (Carr.) H. de Lehaie)、福建柏(*Fokienia hodginsii* (Dunn) A. Henry et Thomas)、木荷(*Schima superba* Gardn. et Champ.)混交林分及弱光环境下幼龄林分(马尾松冠下、杉木林冠下、杉萌套种)内设置调查样地,探讨立地微环境、混交造林模式及弱光环境对闽楠生长、林分结构及分化的影响,以期为闽楠人工林的高效培育及经营管理提供理论依据和科学指导。

1 材料与方法

1.1 试验地概况和试验材料

调查样地设置在福建省三明市和建瓯市,地处福建省中北部,属亚热带海洋性季风气候,年均气温19℃,年均降水量1600~1800mm,无霜期285d,相对湿度81%。所选林分样地均为低山丘陵,土壤为山地红壤,立地II级及以上等相似生境条件,样地林分初植密度基本相等、间伐等抚育措施一致。闽

楠人工纯林海拔跨度较大,分坡向、坡位设置调查样地,混交林分只进行南坡下坡典型样地调查,弱光环境造林林分则依据样地条件按坡向设置调查样地,调查样地大小均为 30 m × 30 m,其中,三明市营建的 45 龄闽楠人工纯林及混交林(分别与杉木、福建柏、毛竹和木荷混交,与混交树种比例为 7:3)的 16 块样地分别记为 I - 1、I - 2、I - 3、II - 1、II - 2、

II - 3、III - 1、III - 2、III - 3、IV - 1、IV - 2、IV - 3、V、VI、VII、VIII;建瓯市营建的不同弱光环境造林模式(杉萌套种、杉木冠下及马尾松冠下)闽楠人工幼龄林分的 8 块样地分别记为 IX - 1、IX - 2、IX - 3、X - 1、X - 2、X - 3、XI - 1、XI - 2。各样地基本情况见表 1。

表 1 不同造林模式样地概况

造林模式	样地编号	林龄/a	海拔/m	坡度/(°)	坡向	土壤厚度/mm	造林地面积/hm ²	保留密度/(株·hm ⁻²)	造林地点
闽楠人工纯林	I - 1	45	246	25	E	80	5.3	700	三明市三元区 莘口镇
	I - 2	45	210	25	E	100	5.3	700	
	I - 3	45	180	25	E	150	5.3	700	
	II - 1	45	246	25	S	80	6.7	700	
	II - 2	45	210	25	S	100	6.7	700	
	II - 3	45	180	25	S	150	6.7	700	
	III - 1	45	246	25	W	80	5.3	700	
	III - 2	45	210	25	W	100	5.3	700	
	III - 3	45	180	25	W	150	5.3	700	
	IV - 1	45	246	25	N	80	6.0	700	
	IV - 2	45	210	25	N	100	6.0	700	
	IV - 3	45	180	25	N	150	6.0	700	
混交林	V	45	180	25	S	150	2.0	闽楠 495、杉木 210	
	VI	45	180	25	S	150	3.0	闽楠 495、毛竹 210	
	VII	45	180	25	S	150	3.3	闽楠 495、福建柏 210	
	VIII	45	180	25	S	150	3.3	闽楠 495、木荷 210	
弱光环境下造林	IX - 1	10	260	25	E	150	2.3	杉萌 600、闽楠 1 050	建瓯市安宁镇 七里街
	IX - 2	10	260	25	W	150	2.3		
	IX - 3	10	260	25	S	150	2.3		
	X - 1	8	170	25	S	150	5.3	杉木 600(20 年生)、 闽楠 900	建瓯市南雅镇 白水源
	X - 2	8	170	25	S30W	150	5.3		
	X - 3	8	170	25	W	150	5.3		
	XI - 1	8	267	25	E	150	3.3	马尾松 600(40 年生)、 闽楠 900	建瓯市安宁镇 七里街
	XI - 2	8	267	25	W	150	3.3		

1.2 样地调查、指标计算及参数拟合

在调查样地内,随机选取人工纯林或混交林的主要树种闽楠 50 株样木,每木量测树高、胸径等指标,记录选取测量范围的混交林伴生树种的生长量。径阶分布采用 Weibull 分布函数 $F(x) = 1 - e^{-((x-a)/b)^c}$ 进行参数拟合^[8,13], $x \geq a, a > 0, b > 0$, 其中: a 为位置参数; b 为尺度参数; c 为形状指数; x 为组中值。Weibull 分布的 3 个参数与林分特征因子有关, a 是指林分最小直径, b 是指林分直径分布范围, c 决定林分直径分布的偏度。 c 值在 1.0~3.6 之间,为单峰左偏山状分布,当 $c < 1$ 时为倒“J”型分布,当 $c = 1$ 时为指数分布,当 $c = 2$ 时为 x^2 分布,当 $c = 3.6$ 时为近似正态分布,当 $c \rightarrow \infty$ 时变为单点

分布^[8,14]。

在调查样地每木检尺的基础上,对样地林木进行分级:据 $d = r/R$ 公式(r 为每株样木胸径; R 为样地林分平均胸径),求得每株样木的 d 值,按分级木(I~V 级木)归类,统计各样地分级木比例。分级标准为: I 级木, $d \geq 1.336$; II 级木, $1.026 \leq d < 1.336$; III 级木, $0.712 \leq d < 1.026$; IV 级木, $0.383 \leq d < 0.712$; V 级木, $d < 0.383$ ^[15-16]。

1.3 数据处理

采用 Excel 2003 软件进行数据基本处理及制图,运用 SPSS 18.0 软件进行 Duncan's 检验,验证生境及造林模式等对闽楠人工林生长指标影响的显著性。

2 结果与分析

2.1 不同生境及造林模式闽楠人工林生长

2.1.1 不同坡向、坡位闽楠人工纯林生长 针对45龄闽楠人工纯林,选取初植密度、保留密度和林龄等一致的不同坡向(东坡(I-1、I-2、I-3)、南坡(II-1、II-2、II-3)、西坡(III-1、III-2、III-3)和北坡(IV-1、IV-2、IV-3)样地)及坡位(上坡(I-1、II-1、III-1、IV-1)、中坡(I-2、II-2、III-2、IV-2)、下坡(I-3、II-3、III-3、IV-3))可比性样地,对生长性状进行分析(表2)。45龄闽楠人工纯林树高以北坡最高,达15.19 m,比树高最低的西坡高1.43 m,可能原因为北坡树木为竞争光照而促进树高生长,西坡因阳光直射时间较长而抑制树高生长。南坡、东坡林分胸径均值分别为18.25、16.80 cm,显著大于北坡、西坡,北坡林分胸

径最小,仅14.49 cm,明显小于其他坡向,可能北坡林分光照相对不足,导致光合产物减少,最终造成胸径生长量较小;而林分冠幅则表现出东坡最大,在其他坡向间差异不显著。不同坡位间45龄闽楠人工纯林生长差异极显著,下坡林分胸径为18.38 cm,中坡林分胸径为17.46 cm,均显著大于上坡林分胸径(13.35 cm);树高、冠幅也表现出中坡、下坡林分较高,且显著高于上坡林分,树高、冠幅分别比上坡林分大12.92%、12.45%和10.91%、50.60%。

不同坡向、坡位闽楠人工纯林树高、胸径的变异系数均在20%左右,其中,下坡林分变异系数相对较小(表2),表明这些生境下闽楠人工纯林生长较整齐,个体分化不明显,特别是下坡林分较稳定。冠幅变异系数则较大,多数坡向、坡位林分冠幅的变异系数在30%以上,可能冠幅较树高、胸径更易受外界环境条件影响而表现出较大的变异。

表2 不同坡向、坡位闽楠人工纯林生长

项目	树高/m	变异系数/%	胸径/cm	变异系数/%	冠幅/m	变异系数/%	
坡向	东坡	14.71 ± 3.15ab	14.65	16.80 ± 3.60b	20.35	3.42 ± 1.03a	38.44
	南坡	14.07 ± 1.83bc	21.43	18.25 ± 4.06a	21.41	2.84 ± 1.01b	29.98
	西坡	13.76 ± 2.92c	13.02	15.53 ± 3.26c	22.24	2.86 ± 1.04b	35.34
	北坡	15.19 ± 2.23a	21.25	14.49 ± 2.95c	20.99	2.55 ± 0.98b	36.52
	F值	5.084**		15.965**		10.409**	
坡位	下坡	14.94 ± 2.65a	17.73	18.38 ± 2.72a	14.81	3.75 ± 0.85a	22.67
	中坡	15.21 ± 1.87a	12.29	17.46 ± 3.37b	19.30	2.80 ± 1.10b	39.25
	上坡	13.47 ± 3.02b	22.41	13.35 ± 2.56c	19.15	2.49 ± 0.82c	33.11
	F值	15.585**		91.671**		44.228**	

注: **表示差异极显著,同列中小写字母不同表示相互间差异显著,下同。

2.1.2 不同混交类型闽楠人工林生长 不同混交类型(与杉木、毛竹、福建柏和木荷混交林分样地分别为V、VI、VII、VIII,其均为南坡下坡,且立地条件基本一致,具可比性)的闽楠人工林生长差异极显著(表3),其中,与杉木混交效果最好,闽楠树高、胸径和冠幅分别为16.09 m、24.13 cm和4.22 m,显著较其他混交类型大,其他混交类型仅见与福建柏混交的闽楠树高较高,为15.76 m,与木荷混交的闽楠树高、胸径均最小,仅分别为与杉木混交的71.97%、

58.64%,可能与木荷竞争力强有关。

由表3可知:不同混交类型闽楠人工林树高变异系数较小,最大为13.17%;其胸径变异系数相对树高则较大,均在20%左右,为相同混交类型树高变异系数的2倍左右;闽楠人工林不同混交类型的冠幅变异系数与其人工纯林在不同生境表现类似,即变异系数较大,再次表明闽楠人工林冠幅受外界影响较胸径、树高大。

表3 不同混交类型闽楠人工林生长

混交树种	树高/m	变异系数/%	胸径/cm	变异系数/%	冠幅/m	变异系数/%
杉木	16.09 ± 1.28a	7.94	24.13 ± 4.42a	18.31	4.22 ± 1.03a	24.51
毛竹	14.20 ± 1.03b	7.26	18.99 ± 2.68b	14.10	2.26 ± 0.43b	18.96
福建柏	15.76 ± 2.07a	13.13	14.54 ± 3.68c	25.31	2.53 ± 1.04b	40.88
木荷	11.58 ± 1.53c	13.17	14.15 ± 2.89c	20.45	2.44 ± 0.65b	26.53
F值	34.206**		32.760**		23.877**	

2.1.3 不同弱光环境闽楠人工林生长 弱光环境下闽楠人工林生长以马尾松冠下(样地为XI-1、XI-2)、杉萌套种(样地为IX-1、IX-2、IX-3)较好(表4),2种模式下闽楠生长均显著优于杉木冠下的闽楠(样地为X-1、X-2、X-3)(与马尾松冠下闽楠同龄),树高、胸径、冠幅分别近等于杉木冠下闽楠树高、胸径、冠幅的3、4、2倍。

不同弱光条件下,闽楠林分树高、胸径的变异系数均较小(杉萌套种闽楠林分胸径变异系数最大,也

仅为14.6%),杉木冠下闽楠林分冠幅变异系数较大,为23.96%(表4),可能杉木冠下光照条件较弱,闽楠个体为竞争光照而导致冠幅差异;马尾松冠下闽楠林分树高、胸径和冠幅变异系数均最小(均<5%),明显小于杉萌套种和杉木冠下闽楠林分树高、胸径和冠幅的变异系数,表明该条件下闽楠生长变异相对较小,可能因马尾松树冠枝叶稀疏,既能遮阳又不致使光照不足之故。

表4 不同弱光环境闽楠人工林生长

弱光环境	树高/m	变异系数/%	胸径/cm	变异系数/%	冠幅/m	变异系数/%
杉萌套种	8.16 ± 0.57a	7.00	8.06 ± 1.18a	14.60	2.39 ± 0.32bc	13.37
马尾松冠下	7.39 ± 0.33a	4.41	8.21 ± 0.17a	2.08	2.80 ± 0.02ab	0.68
杉木冠下	3.13 ± 0.30b	9.52	2.44 ± 0.15b	5.97	1.67 ± 0.40c	23.96
F值	113.610**		53.194**		7.972*	

2.2 不同生境及造林模式闽楠人工林径阶分布

2.2.1 不同坡向、坡位闽楠人工纯林径阶分布 不同坡向、坡位闽楠人工纯林径阶分布的拟合统计量r²值符合统计要求(表5),拟合效果较好。各径阶

分布形状参数c均小于1,均为倒“J”型分布,表明林分均处于竞争稳定期。这与上述得出的各坡向、坡位胸径变异系数均在20%左右的分析结果相一致。

表5 不同坡向、坡位闽楠人工纯林径阶分布参数

坡向	径阶分布拟合参数				坡位	径阶分布拟合参数			
	a	b	c	r ²		a	b	c	r ²
东坡	8.397	28.088	0.634	0.875	下坡	9.077	15.286	0.829	0.797
南坡	8.817	12.961	0.875	0.882	中坡	8.719	12.004	0.866	0.865
西坡	8.084	11.878	0.875	0.883	上坡	7.587	7.081	0.838	0.914
北坡	7.794	12.784	0.724	0.907					

由不同坡向、坡位闽楠人工纯林径阶中值与径阶分布累积散点图(图1)可知:其径阶分布形状相近。各坡向、坡位相同分布累积频率范围对应的径

阶中值表明:南坡径阶最大,北坡最小,南坡、东坡径阶较北坡、西坡大;中坡、下坡径阶较大,上坡林分大径阶株数较少。

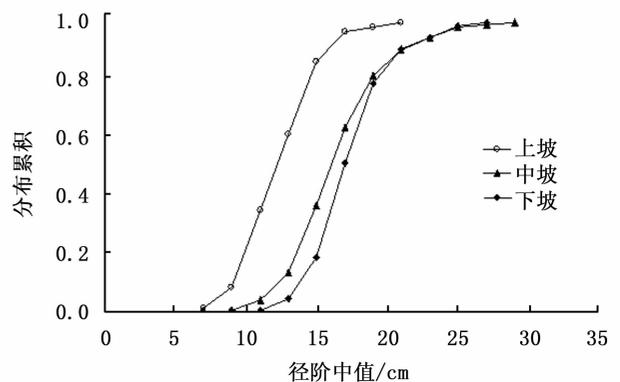
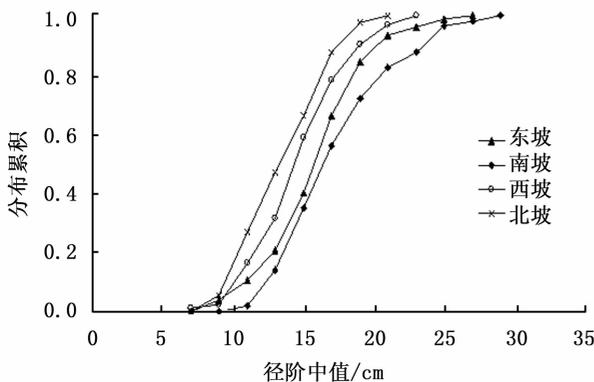


图1 不同坡向、坡位闽楠人工林径阶分布累积

2.2.2 不同混交类型闽楠人工林径阶分布 对相同立地条件下,不同混交类型闽楠人工林径阶的拟合效果较好,拟合统计量 r^2 均符合统计要求(表6)。除与毛竹混交外,其他混交类型的闽楠人工林径阶拟合形状参数 c 均在 1.0~3.6 之间,即其径阶均为单峰左偏山状分布, c 值均稍大于 1,表明其林分处于竞争期的自然稀疏后期^[17]。由上述对其胸径变异分析可知:各混交类型林分胸径变异较小,也表明其闽楠林分处于分化不明显的阶段。

表6 不同混交类型闽楠人工林径阶分布拟合参数

径阶分布 拟合参数	混交树种			
	杉木	毛竹	福建柏	木荷
a	15.922	10.594	9.019	8.772
b	5.672	8.932	3.664	4.458
c	1.188	0.977	1.185	1.097
r^2	0.895	0.816	0.982	0.906

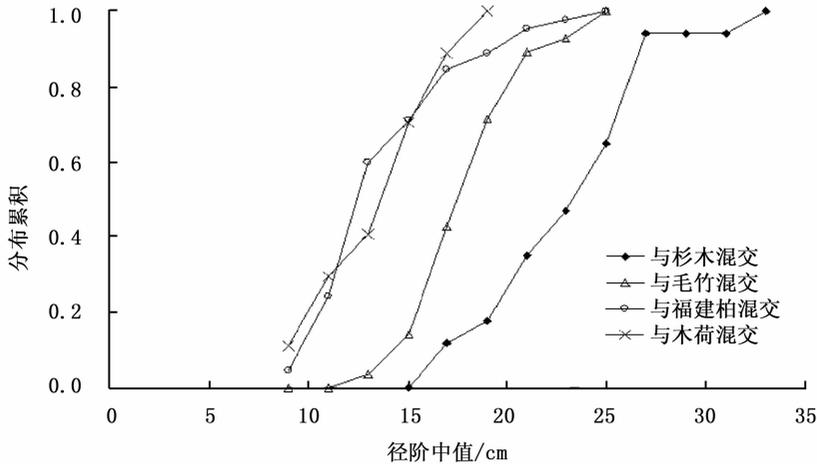


图2 不同混交类型闽楠人工林径阶分布累积

表7 不同弱光环境闽楠人工林径阶分布拟合参数

弱光环境	径阶分布拟合参数			
	a	b	c	r^2
杉萌套种	1.689	7.550	0.892	0.893
马尾松冠下	4.781	25.023	0.374	0.893
杉木冠下	0.546	1.718	0.627	0.924

弱光环境下闽楠人工林径阶中值与径阶分布累积散点图(图3)显示:不同弱光条件下闽楠林分相同分布累积频率范围对应的径阶中值表明,马尾松冠下和杉萌套种模式闽楠林分径阶较大,杉木冠下闽楠林分径阶较小。

2.3 不同生境及造林模式闽楠人工林林木分级

2.3.1 不同坡向、坡位闽楠人工纯林林木分级 各坡向、坡位闽楠人工纯林林木分级显示:Ⅱ级木、Ⅲ

由不同混交类型闽楠人工林径阶中值与径阶分布累积散点图(图2)可知:与毛竹混交的闽楠人工林径阶分布形状为倒“J”型,而其他混交类型均为单峰左偏山状。相同分布累积频率范围对应的径阶中值表明:与杉木混交闽楠人工林径阶最大,其次为与毛竹混交林分,与福建柏及木荷混交林分径阶最小。

2.2.3 不同弱光环境闽楠人工林径阶分布特征 对不同弱光条件下闽楠人工林径阶的拟合效果亦较好,拟合统计量 r^2 均符合统计要求(表7),不同弱光环境闽楠人工林径阶拟合形状参数 c 均小于 1,即其径阶均为倒“J”型分布,林分处于稳定竞争期。这与上述对该条件下闽楠人工林胸径变异分析结果一致,即不同弱光条件下闽楠人工林胸径变异均不明显。

级木占 80% 以上,Ⅳ级木基本在 10% 以下(东坡最大,为 10.39%),Ⅴ级木均未出现(表8),不同坡向、坡位闽楠人工纯林林分分化不明显。各坡向、坡位林分林木分级结果再次印证前述分析的该条件下林分径阶分布及胸径变异较小所表明的林分处于竞争稳定期情况。

2.3.2 不同混交类型闽楠人工林林木分级 不同混交类型闽楠人工林林木分级显示:Ⅱ级木、Ⅲ级木占 80% 以上,Ⅰ级木、Ⅳ级木 10% 以下,Ⅴ级木均未出现(表9),说明不同混交类型 45 龄闽楠林分没有明显分化。前述分析也表明:其径阶分布除与毛竹混交外,均呈单峰左偏山状分布,该条件下闽楠林分较稳定,即处于竞争期的自然稀疏后期。

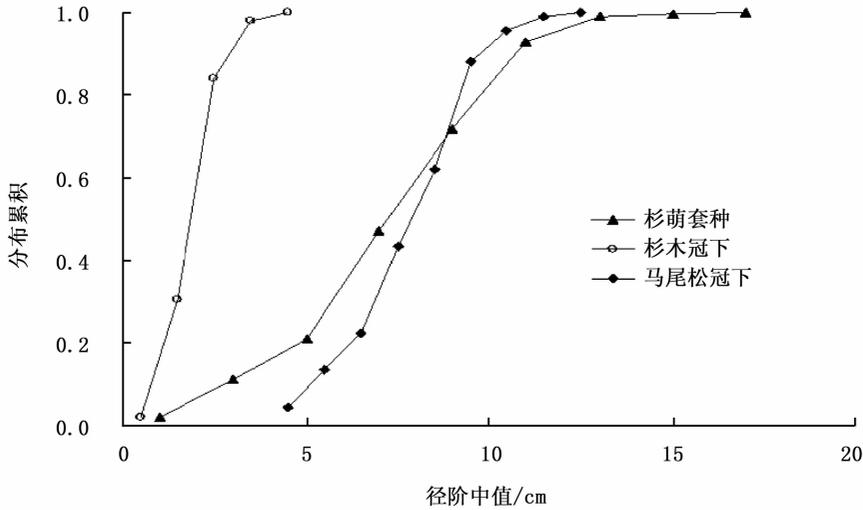


图3 不同弱光环境闽楠人工林径阶分布累积

表8 不同坡向、坡位闽楠人工纯林林木分级

坡向	林木分级比例/%					坡位	林木分级比例/%				
	I	II	III	IV	V		I	II	III	IV	V
东坡	5.19	38.96	45.46	10.39	0	下坡	5.26	28.95	65.79	0.00	0
南坡	12.28	22.81	57.89	7.02	0	中坡	7.96	30.97	56.64	4.43	0
西坡	7.61	34.78	47.83	9.78	0	上坡	3.97	42.86	47.62	5.55	0
北坡	4.50	40.45	48.31	6.74	0						

表9 不同混交类型闽楠人工林林木分级

混交树种	林木分级比例/%				
	I	II	III	IV	V
杉木	5.88	47.06	41.18	5.88	0
毛竹	3.57	39.29	57.14	0.00	0
福建柏	11.11	24.44	55.56	8.89	0
木荷	3.70	48.15	37.04	11.11	0

2.3.3 不同弱光环境闽楠人工林林木分级 弱光环境下闽楠人工林林木分级显示:马尾松冠下闽楠林分V级木所占比例为0,其他2种模式弱光环境闽楠林分V级木均不同程度地出现,但V级木所占比例均较少(表10),表明杉萌套种和杉木冠下闽楠林分存在一定的分化现象。前述分析也显示马尾松冠下闽楠林分胸径变异及径阶分布形状参数c值均明显较杉萌套种和杉木冠下2种模式闽楠林分相应指标小,即马尾松冠下闽楠林分竞争较稳定。

表10 不同弱光环境闽楠人工林林木分级

弱光环境	林木分级比例/%				
	I	II	III	IV	V
杉萌套种	17.29	31.58	30.83	13.16	7.14
马尾松冠下	6.31	40.54	39.64	13.51	0.00
杉木冠下	12.95	30.94	35.97	18.71	1.44

3 结论与讨论

3.1 不同生境、造林模式闽楠人工林生长

研究表明,45龄闽楠人工纯林南坡、东坡林分胸径显著大于北坡、西坡林分,北坡林分胸径最小,明显小于南坡林分。坡向影响光照、温度和水分等气候资源的分配,南坡光照充足,闽楠胸径生长表现最好。吴载璋等^[18]也提出闽楠胸径生长随着年龄的增长需光量逐渐增强的结论;而西坡林分胸径生长量也较低,其可能原因是西坡林分每天接受可能的最高温、最强光照时间最长,这种过长时间的高温和强光照可能影响其生长而导致胸径较小。林分树高则以北坡最高,可能是阴坡光照不足,树木为竞争光照而向上生长,从而促进树高生长,也有研究表明遮阴更能促进高生长^[19]。45龄闽楠人工纯林在不同坡位间生长差异极显著,下坡、中坡林分胸径均显著大于上坡林分,树高、冠幅也表现出中坡、下坡较优,显著高于上坡。这与王秀花等^[20]研究结果即下坡更适于木荷人工林生长相一致。坡位主要影响土壤水分和养分分布,一般下坡土壤深厚肥沃、含水量高。因此,南坡、东坡等偏阳、半阳坡条件利于闽楠胸径增粗,北坡、东坡等阴坡、半阴坡则利于闽楠树

高生长,中坡、下坡较上坡更适宜于闽楠生长。

不同混交类型间闽楠人工林生长表现为与杉木混交效果最好,胸径、树高和冠幅均显著较本研究中其他混交类型大,这是成功混交林具有的特点^[21],其他混交类型仅见与福建柏混交的闽楠树高较高,而与速生树种木荷混交的闽楠胸径、树高均最小。这种混交效果不仅由混交树种间关系^[22]造成,更可能源于木荷属顶级建群树种,其竞争力较杉木、柏木强。因此,营建闽楠混交林不仅要考虑树种间混交关系,对速生树种木荷等具有较强竞争力的树种,还必须考虑适当的混交比例。本文中不同混交类型闽楠林分均分布在南坡的下坡,对其他坡向、坡位混交林分生长情况,还有待进一步研究。

弱光环境闽楠人工林生长以马尾松冠下和杉萌套种较好,2种模式下闽楠生长均显著优于杉木冠下闽楠(与马尾松冠下闽楠同龄)。马尾松冠下闽楠生长较好,可能既因种间关系^[22],又与马尾松树体较高特别是树冠针叶稀疏的特点有关,马尾松这种树体特点能够为其冠下闽楠生长提供较适宜的光照条件,另外该混交林伴生树种马尾松长势较好,表明其立地条件较优。杉萌套种的闽楠长势优良,可能因杉木萌条的快速生长使得其树高较快地高于闽楠,郁闭前期杉木萌条能够为闽楠早期生长提供适宜的庇荫生境;而杉木冠下闽楠生长较差,可能主要受伴生树种杉木树体特点影响,杉木树体也较高,但其冠层较狭窄致密,冠下光照较弱,进而使其冠下闽楠生长受到光抑制。因此,杉木冠下造林,特别是种植生长较慢、竞争较弱、后期需光的闽楠等珍贵树种,待新造林成活且稳定生长6~10龄,必须通过强度间伐创造充足的林下生长空间和较好的光照条件。

不同生境及造林模式林分树高、胸径的变异系数表明,不同坡位、坡向、混交类型及弱光环境下闽楠人工林林分生长较整齐,表现出的变异不明显。而冠幅变异系数较大,可能冠幅较胸径、树高更易受外界环境影响而表现出较大的变异。

3.2 不同生境、造林模式闽楠人工林径阶分布

不同坡向、坡位闽楠人工纯林径阶分布的拟合效果较好,其径阶分布形状均为倒“J”型分布。倒“J”型分布是林分结构稳定的必要特征之一^[8,23],也是原始雨林的理想结构^[24]及异龄林常有结构^[25-27]。因此,不同坡向、坡位闽楠人工纯林的结构较稳定,竞争比较合理^[28]。闽楠人工纯林林分结

构并不因生境改变而即刻表现出明显的分化,但相同分布累积频率范围对应径阶中值表明:南坡径阶最大,北坡最小,南坡、东坡径阶较北坡、西坡大;中坡、下坡径阶较大,上坡林分大径阶株数较少。

不同混交类型闽楠人工林径阶的拟合统计量 r^2 均符合统计要求,除与毛竹混交的闽楠林分径阶分布为倒“J”型,即林分处于稳定竞争期,其他混交类型的闽楠人工林径阶均为单峰左偏山状分布,表明其林分处于稳定的竞争阶段的自然稀疏后期^[17]。相同分布累积频率对应径阶中值表明,与杉木混交林分径阶最大,与福建柏、木荷混交林分径阶较小。

弱光环境闽楠人工林径阶拟合统计量 r^2 均符合统计要求,拟合效果也较好,径阶均为倒“J”型分布,表明其林分结构较稳定。相同分布累积频率范围对应径阶中值显示,马尾松冠下和杉萌套种模式闽楠林分径阶较大,杉木冠下闽楠林分径阶较小。因此,弱光环境营建闽楠林分,应优先选择立地较好的马尾松冠下或者杉萌套种模式。

3.3 不同生境、造林模式闽楠人工林林木分级

各坡向、坡位闽楠人工纯林及不同混交类型闽楠人工林Ⅱ级木、Ⅲ级木均占80%以上,Ⅳ级木基本在10%以下,Ⅴ级木均未出现,表明不同坡向、坡位闽楠人工纯林及不同混交类型闽楠林分均没有表现出明显分化。这与文中对相同条件下闽楠林分胸径变异及径阶分布拟合结果一致,即闽楠林分胸径变异较小、林分处于稳定竞争阶段或竞争阶段的自然稀疏后期。弱光条件下闽楠人工林林木分级显示,各级林木分配相对分散,马尾松冠下闽楠林分Ⅴ级木所占比例为0,而杉萌套种和杉木冠下闽楠林分Ⅴ级木均有出现,表明其弱光环境模式下闽楠林分表现出一定的分化。闽楠林分胸径变异及径阶分布形状参数 c 值亦显示马尾松冠下闽楠林分较杉萌套种和杉木冠下2种模式闽楠林分稳定。据林分经营应培育Ⅰ级木,间伐Ⅱ级木,解放Ⅲ级木,移除Ⅳ级木、Ⅴ级木的原则^[15],闽楠人工纯林、混交林及弱光环境的马尾松冠下闽楠人工林分可依培育目的适当间伐,特别是杉萌套种和杉木冠下的林分结构表现出一定分化的闽楠林分,应及时进行强度间伐,为闽楠生长提供足够的生长空间和光照条件。

参考文献:

- [1] 吴载璋. 楠木杉木混交林生长效应研究[J]. 福建林学院学报, 2005, 25(2): 142-146
- [2] 邱盛樑. 楠木不同混交造林模式的生长效果比较[J]. 林业科技

- 开发, 2001, 15(1): 26-27
- [3] 孙祥水. 间伐对杉木楠木混交林生长影响的研究[J]. 亚热带农业研究, 2008, 4(3): 184-187
- [4] 王振兴, 朱锦懋, 王建, 等. 闽楠幼树光合特性及生物量分配对光环境的响应[J]. 生态学报, 2012, 32(12): 3841-3848
- [5] 孟宪宇. 使用 Weibull 分布对人工油松林直径分布的研究[J]. 北京林学院学报, 1985(1): 30-40
- [6] 李凤日. 兴安落叶松天然林直径分布及产量预测模型的研究[J]. 东北林业大学学报, 1987, 15(4): 8-16
- [7] 惠淑荣, 刘强, 兰健. 日本落叶松直径结构规律的研究[J]. 沈阳农业大学学报, 1993, 24(4): 365-369
- [8] Westphal C, Tremer N, Oheimb G V, et al. Is the reverse J-shaped diameter distribution universally applicable in European virgin beech forests[J]. Forest Ecology and Management, 2006, 223(1/3): 75-83
- [9] Rubin B D, Manion P D, Faber-Langendoen D. Diameter distributions and structural sustainability in forests[J]. Forest Ecology and Management, 2006, 222(1/3): 427-438
- [10] 黄志森. 戴云山红楠种群直径分布规律[J]. 福建林学院学报, 2010, 30(2): 133-136
- [11] Nanos N, Montero G. Spatial prediction of diameter distribution models[J]. Forest Ecology and Management, 2002, 161(1/3): 147-158
- [12] Nord-Larsen T, V Cao Q. A diameter distribution model for even-aged beech in Denmark [J]. Forest Ecology and Management, 2006, 231(1/3): 218-225
- [13] Lindsay S R, Wood G R, Woollons R C. Stand table modelling through the Weibull distribution and usage of skewness information [J]. Forest Ecology and Management, 1996, 81(1/3): 19-23
- [14] 惠淑荣, 吕永霞. Weibull 分布函数在林分直径结构预测模型中的应用研究[J]. 北华大学学报: 自然科学版, 2003, 4(2): 101-104
- [15] 丁宝永, 郎奎健, 张世英. 落叶松人工林动态间伐系统的研究(1)[J]. 东北林业大学学报, 1986, 14(4): 8-19
- [16] 刘剑丛. 小陇山日本落叶松密度与径阶分布分析研究[J]. 农业科技与信息, 2011(6): 18-19
- [17] 段爱国, 张建国, 童书振, 等. 杉木人工林林分直径结构动态变化及其密度效应的研究[J]. 林业科学研究, 2004, 17(2): 178-184
- [18] 吴载璋, 陈绍栓. 光照条件对楠木人工林生长的影响[J]. 福建林学院学报, 2004, 24(3): 252-257
- [19] Rodríguez-García E, Bravo F. Plasticity in *Pinus pinaster* populations of diverse origins: comparative seedling responses to light and nitrogen availability[J]. Forest Ecology and Management, 2013, 307: 196-205
- [20] 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
- [21] 孙时轩. 造林学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1990
- [22] Obando M F, Moya R. Silviculture conditions and wood properties of *Samanea saman* and *Enterolobium cyclocarpum* in 19-year-old mixed plantations[J]. Forest Systems, 2013, 22(1): 58-70
- [23] 蔡飞, 张勇. 演替过程中木荷种群动态的研究[J]. 杭州大学学报: 自然科学版, 1996, 23(4): 398-399
- [24] 黄清麟, 洪菊生, 陈永富, 等. 海南霸王岭山地雨林理想结构的指标与标准(standards)探讨[J]. 林业科学研究, 2003, 16(4): 404-410
- [25] Hough A F. Some diameter distributions in forest stands of north-western Pennsylvania[J]. Journal of Forestry, 1932, 30(8): 933-943
- [26] Ford E D. Competition and stand structure in some even-aged stand monocultures[J]. Journal of Ecology, 1975, 63(1): 311-333
- [27] Kunisaki T, Imada M. Tree diameter distribution of stands and each species in large-scale cool-temperate forest of Kyushu, southern Japan[J]. Journal of the Faculty of Agriculture Kyushu University, 1996, 41(1/2): 45-56
- [28] 孟宪宇. 测树学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2006