

文章编号: 100F 1498(2004) 05 0646 08

间伐对杉莲混交林中乳源木莲 树冠结构的影响

曹永慧¹, 陈存及², 李 生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. 福建农林大学林学院, 福建 南平 353001)

摘要: 以福建省沙县 15 年生(13 年生时间伐)和 17 年生(10 年生时间伐)的乳源木莲-杉木中龄混交林(杉莲比为 7:3)为研究对象, 通过应用 Ruark 异速生长模型, 对间伐后混交林中乳源木莲的树冠结构进行研究。结果表明, 在混交条件下, 不同间伐期对树冠形状有显著影响: 13 年生时间伐, 乳源木莲树冠生长受到限制不能充分扩展, 树冠形状近似抛物线形, 枝长分布方式对下部层次造成遮荫, 不利于乳源木莲树木的光合作用; 而 10 年生时间伐, 乳源木莲具有圆锥形树冠、较大的枝倾角和较高的叶面积指数, 因此有利于树冠对光的截获, 从而增加单株生物产量, 有利于培育乳源木莲大径材。杉莲混交林中乳源木莲累积叶面积指数可以分别用以下模型进行估测: $y(10 \text{ 年生时间伐}) = 2.6211Z^{0.1318}e^{0.0417Z}$ ($R^2 = 0.9418$) 和 $y(13 \text{ 年生时间伐}) = 1.7546Z^{0.6122}e^{-0.1411Z}$ ($R^2 = 0.9923$)。通过残差百分比检验和后验检验表明, 模型拟合度较高, 预测效果良好。

关键词: 乳源木莲; 杉木; 混交林; 间伐; 树冠结构

中图分类号: S725.2 S791.27 文献标识码: A

树冠是树木进行光合作用、制造干物质的场所, 树冠结构则是树木生长及其与环境相互作用的综合结果。树冠结构决定了叶片的排列、分布, 进而影响光的截获、水分和养分分布, 因此研究树冠结构是了解树木生理生态过程的基础, 对揭示林木产量及其生长机制具重大意义^[1~5]。目前为止, 在已见报道的文献中, 大多仅从冠层的基本参数如叶面积、叶生物量等进行分析, 对整个树冠结构的研究, 国内尚不多^[4]。Fu Ma-Yi, C. O. Tamm^[6,7]对云杉(*Picea abies* (L.) Karst.) 一级侧枝及针叶生长模型进行了预测研究。Ruark 等^[8]提出了异速生长模型, 通过结合一些容易测得的树木特征(如树高、胸径)来估测干物质积累或蓄积的增加, 但是用于树冠结构的研究较少。Hashimoto^[9]应用此模型对日本柳杉(*Cryptomeria japonica* D. Don) 冠层形态与结构进行了研究; 朱春全等^[4]也应用此模型, 对集约与粗放经营的杨树树冠结构进行研究。

乳源木莲(*Manglietia yuyuanensis* Law) 是新发掘的优良阔叶树种, 一种理想的园林绿化树种, 生长迅速, 材质优异, 适应性强, 是福建省大力提倡推广的优良乡土阔叶树种^[10~13]。造林实践证明, 乳源木莲与杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.) 混交是比较理想的混交方式。

收稿日期: 2003-06-03

基金项目: 福建省 211 重点学科森林培育资助, 福建省科委重点科研项目“阔叶树种选育”资助项目(99Z-173)

作者简介: 曹永慧(1977-), 女, 内蒙古伊克昭盟人, 研究实习员, 硕士。

福建省沙县林业局于1985年和1987年营造了杉莲混交林,于1994年(即10年生时)和1999年(即13年生时)对这两片混交林进行了间伐,杉木间伐强度分别为46%、57%。由于间伐时间、强度和方式的不同,乳源木莲表现出截然不同的树冠结构,进而影响到木莲个体的生长和大径材的培育。本文利用异速生长模型对上述不同间伐林分的乳源木莲树冠结构进行研究,旨在为乳源木莲的合理经营提供依据,这对木莲理想冠型育种及其配套栽培技术研究具有重要的现实意义。

1 试验林概况

1.1 试验地自然概况

试验林分别位于福建省沙县黄坑、富口林场($26^{\circ}32' \sim 26^{\circ}34' \text{ N}$, $117^{\circ}32' \sim 117^{\circ}35' \text{ E}$)。该区属中亚热带海洋性季风气候,年平均气温 $18.0 \sim 19.2^{\circ}\text{C}$,极端最低气温 $-10.5 \sim -11^{\circ}\text{C}$,无霜期 $220 \sim 298 \text{ d}$,年降水量为 $1\,600 \sim 1\,800 \text{ mm}$,相对湿度80%以上,干湿季明显。试验地区均为低山丘陵,海拔 $280 \sim 380 \text{ m}$,坡度 $20^{\circ} \sim 28^{\circ}$,土壤发育良好,土层较深厚($> 100 \text{ cm}$),肥沃、湿润,两试验区立地级均为I、II级。原生植被为亚热带常绿阔叶林或针阔混交林。造林地前身多数是天然阔叶林或针阔混交林,少部分是杉木林采伐迹地。

1.2 试验林概况及其间伐措施

(1)黄坑林场乳源木莲杉木混交林于1987年营造,初植密度为 $3\,000 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$,杉莲比为3:1。1999年(即13年生时)进行了间伐,杉木间伐强度约为57%,现林分保留密度为 $1\,500 \sim 1\,700 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$,杉莲比主要为7:3。2001年4月调查时,林分总郁闭度为85%,木莲15年生时平均胸径仅为 10.2 cm ,平均树高 10.8 m 。

(2)富口林场乳源木莲杉木混交林于1985年营造,初植密度为 $2\,300 \sim 2\,600 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$,杉莲比为3:1。1994年(即10年生时)进行适时间伐,主要间伐木莲周围影响其生长的杉木,杉木间伐强度约为46%,林分现有密度为 $1\,200 \sim 1\,600 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$,杉莲比不等,主要为7:3,林分总郁闭度为80%。间伐后由于乳源木莲有充分的营养生长空间,现林分木莲生长优于杉木,17年生平均胸径达 21.5 cm ,平均树高 13.8 m 。

2 研究方法

2.1 标准地调查与标准株测定

于2001年4—6月在富口、黄坑山场17年生和15年生杉莲混交林中,分别选择代表性林分设置标准地(面积 $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$)共26块。记录海拔、坡位、土层厚度、腐殖质层厚度等立地因子,按常规方法每木调查。

17年生和15年生混交林间伐后林分现有密度、乳源木莲保留株数及杉莲比不同。本文选择间伐后现有林分密度 $1\,500 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、杉莲比为7:3的林分作为研究对象,探讨间伐对乳源木莲树冠生长的影响。根据测量结果,按乳源木莲径阶分别将林木分为3个等级,并在每一个等级中,选择接近该等级平均胸径的代表性标准木1株,17年生与15年生乳源木莲各选3株。其中17年生木莲用A代表,15年生木莲用B代表。将6株标准木伐倒,从冠顶到基部,以1m的区分段进行测量,包括各层枝条数、枝条长、枝水平长、枝垂直长和每条枝到冠顶的距离以及各层叶面积的测定。叶面积测定采用质量比法,即通过单叶叶面积与其鲜质量的比例

关系推算出总叶面积。单叶叶面积利用求积仪进行测定, 每片样叶测定 2 次。若 2 次相对误差超过 $\pm 3\%$, 则重新测定, 直至达到要求为止^[10]。

2.2 异速生长方程及其应用

所谓异速生长方程^[8]是将异速生长率 Y 看作是一个随 X 变化的函数^[4,8], 于是有:

$$dY/Ydt = (b + cX)dX/Xdt \quad (1)$$

式中, X 代表枝条尖端距离树冠顶端的距离, t 代表时间。通过积分法便可得到相关的异速生长函数:

$$Y = aX^b \lambda^c \quad (2)$$

3 结果与分析

3.1 一级侧枝的分布

一级侧枝是构成树冠的重要组成部分。分别以富口、黄坑林场 10 年生时与 13 年生时间伐的木莲样木 A_1 和 B_1 每 1 m 层次内一级侧枝枝长(实测值)的平均值为自变量, 以其距树冠顶端的平均高为因变量, 绘出不同间伐措施林分木莲标准木的一级侧枝枝长的分布, 见图 1。6 株样树最大枝长所在层次距冠顶的距离及占冠长的比例如表 1 所示。



图 1 10 年生 (A_1) 与 13 年生 (B_1) 时间伐林分中木莲平均木一级侧枝平均枝长分布

表 1 不同间伐期林分中最大枝长所在层次距冠顶的距离及占冠长的比例

级内样树	级内株数	级内株数/总株数 (权重)	冠长(1)/m	冠顶到最大枝长所在 层次的距离(2)/m	(2)占(1)的比例/ %
A_1	13	0.26	10.20	7.4	72.55
A_2	25	0.50	9.54	6.4	67.09
A_3	12	0.24	7.42	5.7	76.82
加权平均			9.05	6.5	72.15
B_1	10	0.14	5.91	2.7	45.69
B_2	27	0.38	5.60	3.4	60.71
B_3	34	0.48	4.24	2.6	61.32
加权平均			5.25	2.9	55.91

图 1、表 1 表明, 10 年生时间伐的木莲样木从 4~5 m 以后枝长主要分布在 100~300 cm 之间, 而 13 年生时间伐的木莲样木从 5~6 m 以后枝长则主要分布在 0~100 cm 之间。10 年生时间伐的木莲其树冠垂直层次明显多于 13 年生时间伐的, 枝条的数量除个别层次外也较多。10 年生时间伐木莲最大枝长出现在树冠底部的 5~8 m 3 个层次, 而 13 年生时间伐则出

现在树冠中上部 2~ 4 m 两个层次。冠顶到最大枝长出现层次的距离占冠长的百分比, 10 年生时间伐为 72. 15%, 13 年生时间伐为 55. 91%。13 年生时间伐的木莲被压, 树冠生长受限不能充分扩展, 因此木莲的枝长分布方式对下部层次造成遮荫, 不利于光合作用。相反, 10 年生时间伐的木莲树冠充分生长、扩展, 枝长的垂直变化是从树冠顶端开始, 随冠层高度的下降逐步增加, 到中下部达到最大, 因此对下层遮荫较少, 使光合作用有效面积加大。

3.2 冠形结构分析

3.2.1 枝水平长与垂直长 在树冠每一层次内选择较长的枝, 用异速生长方程进行分析, 可用来确定其侧枝水平组分与树冠顶端到着生枝基部之间距离的关系^[4]:

$$L_z, V_z = aZ^b\lambda^c \quad (3)$$

式中, L_z 和 V_z 分别代表距离树冠顶端 Z 处枝条的水平长和垂直长, a 、 b 、 c 是参数。这里仍以 A_1 和 B_1 为例, 见表 2。其回归各有关参数值见表 3。

表 2 可知, 乳源木莲枝水平长与垂直长的拟合分布, 基本上体现了一级侧枝的分布特点。10 年生时间伐的 A_1 枝的水平长从树冠顶端开始随树冠高度下降逐步增长, 在基部左右达到最大值, 而垂直长也从顶端开始逐渐增长, 在树冠中部左右达到最大值, 而后随冠层深度增加而减小; 相比, 13 年生时间伐的 B_1 枝的水平长与垂直长, 都从顶端开始增加, 到树冠中上部左右达到最大值, 而后减小。表明 10 年生时间伐的木莲枝的水平长与垂直长分布方式, 有利于对光的截获, 13 年生时间伐木莲的枝分布方式, 造成对下部枝条的遮荫。

表 2 乳源木莲样树枝水平长与垂直长实测值

冠层/ m	A_1				B_1			
	枝长/ cm	角度/ (°)	枝水平长/ cm	枝垂直长/ cm	枝长/ cm	角度/ (°)	枝水平长/ cm	枝垂直长/ cm
0~ 1	94.25	45	66.64	66.64	60.20	40	38.70	46.12
1~ 2	126.15	44	88.42	89.98	125.42	37	75.48	100.16
2~ 3	175.30	45	123.96	123.96	144.55	52	113.91	88.99
3~ 4	204.23	48	151.77	136.66	120.14	46	86.42	83.46
4~ 5	236.10	54	191.01	138.78	114.20	39	71.87	88.75
5~ 6	262.45	60	227.29	131.23	94.04	37	56.59	75.10
6~ 7	234.42	63	208.87	106.42				
7~ 8	358.15	70	336.55	122.49				
8~ 9	236.41	68	219.20	88.56				
9~ 10	165.57	62	146.19	77.73				

表 3 10 年生、13 年生时间伐的木莲枝长及树冠形状拟合参数

参数	枝水平长		枝垂直长		树冠形状	
	A_1	B_1	A_1	B_1	A_1	B_1
a	52.321 1	90.206 4	47.512 8	84.961 7	140.751 0	169.524 9
b	1.256 8	1.580 8	1.807 1	0.986 3	0.544 9	0.721 0
c	- 0.153 3	- 0.553 2	- 0.361 7	- 0.327 4	- 0.075 1	- 0.501 6
R	0.884 6	0.887 2	0.817 8	0.796 0	0.896 4	0.989 7

3.2.2 树冠形状与枝倾角 从样树树冠的每个层次中选择较大的枝,用每一枝长水平组分与其对应的高度(从树冠顶端到枝尖端的距离)绘图,那么二者之间的关系反映出木莲树冠半径的垂直变化,这种关系可用 $P_{x,y}$ (表示 y 关于 x 的函数) 的轨迹进行描述:

$$P_{x,y} = P\{x = Z - V_z, y = L_z\} \quad (4)$$

式中, x 代表枝尖端在树干上的投影到冠层顶端的距离, y 代表树冠半径, L_z 、 V_z 、 Z 代表同式(3)。6株样树的树冠形状见图2。

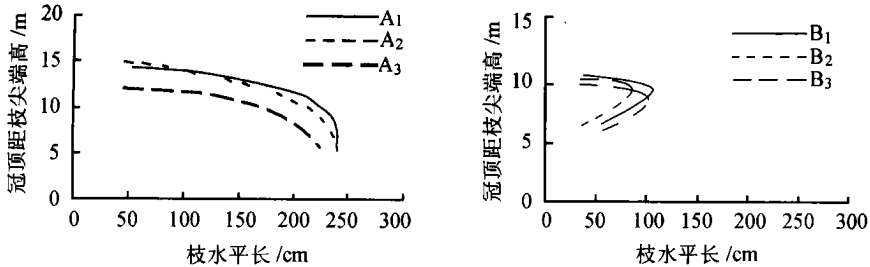


图2 10年生、13年生时间伐的木莲样木树冠形状拟合图

结果表明,10年生时间伐的乳源木莲树冠形状近似为圆锥形,而13年生时间伐的木莲树冠形状近似为抛物线形;因此,10年生时间伐形成的圆锥形树冠更有利于对光的截获。从总体上看,枝倾角分布规律并不十分明显。10年生时间伐木莲枝倾角多数集中在 $44^\circ \sim 65^\circ$,而13年生时间伐枝倾角多在 $36^\circ \sim 50^\circ$ 。对10年生时、13年生时间伐的木莲样木(A₁和B₁)各项指标模拟方程的参数如表3所示。

3.3 叶面积与累积叶面积指数的分布

6株样木叶面积、累积叶面积指数及其模拟曲线在冠层中的垂直分布如图3所示。从图3可见,10年生时间伐木莲叶面积最大值出现在冠层5~8m,而13年生时间伐木莲叶面积最大值出现在冠层2~4m。10年生时间伐的树冠的累积叶面积指数增加明显,尤其中部叶面积指数增加更明显,仅最后一层增加不明显,而13年生时间伐其自冠顶增加缓慢,在中上部增加较快,至树冠中部后增加不明显。用异速生长方程模拟两种典型林分中木莲冠层累积叶面积指数分布,效果很好。其模拟方程及参数如表4。

表4 叶面积、累积叶面积指数及累积叶面积指数的模拟方程

级内样树	叶面积 LA/m ²	累积叶面积指数 CLAI/(m ² ·m ⁻²)	累积叶面积指数模拟方程	R ²
A ₁	147.04	5.24	$Y = 2.9985Z^{0.1170}e^{0.0318Z}$	0.9591
A ₂	78.33	4.23	$Y = 2.2142Z^{0.2100}e^{0.0222Z}$	0.9798
A ₃	57.55	3.86	$Y = 2.1031Z^{0.0816}e^{0.0707Z}$	0.9930
加权平均	94.31	4.44	$Y = 2.6211Z^{0.1318}e^{0.0417Z}$	0.9418
B ₁	41.07	3.36	$Y = 2.6435Z^{-0.0278}e^{0.1063Z}$	0.9955
B ₂	33.75	2.67	$Y = 1.6772Z^{0.6409}e^{-0.1155Z}$	0.9929
B ₃	20.6	2.17	$Y = 1.3188Z^{0.7829}e^{-0.1545Z}$	0.9987
加权平均	31.81	2.73	$Y = 1.7546Z^{0.6122}e^{-0.1411Z}$	0.9923

注:模拟方程中 Y 为累积叶面积指数, Z 是距离树冠顶端的距离(m)。

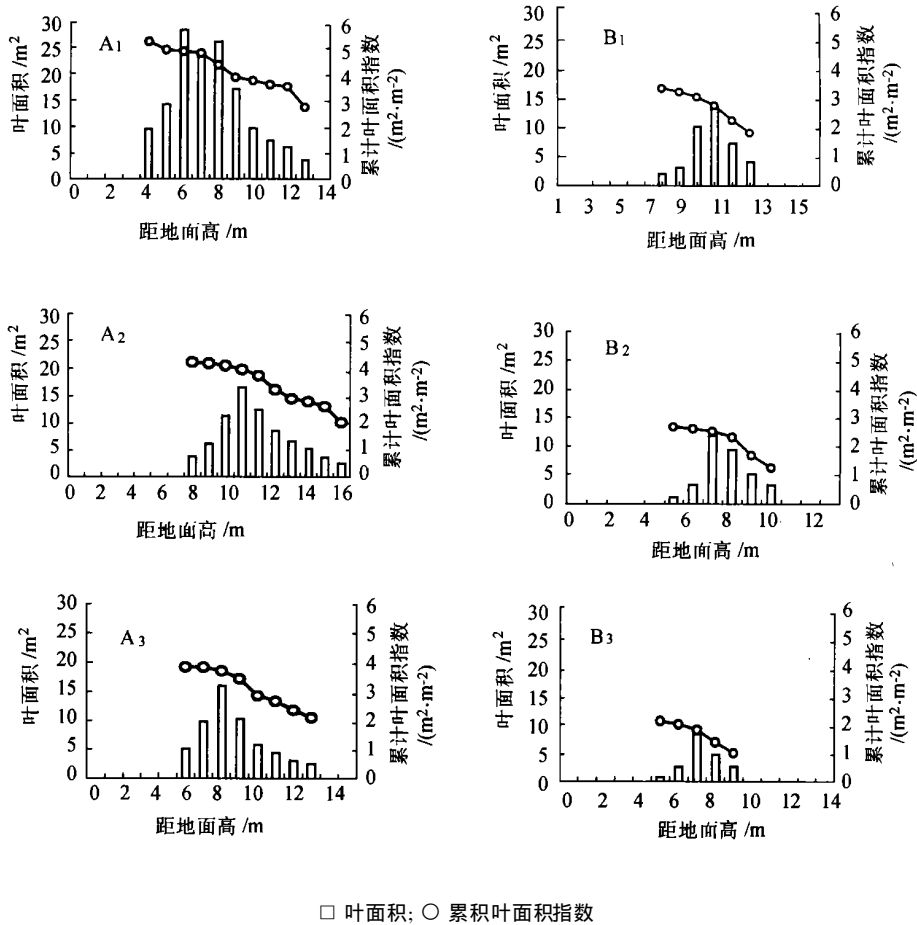


图 3 10 年生、13 年生时间伐木莲叶面积与累积叶面积指数的垂直分布

利用未参予方程模拟的另一组乳源木莲冠层高和相应累积叶面积指数的实测值对上述模拟方程进行检验。首先通过残差百分比, 即残差百分比 = $[(\text{实测值} - \text{模拟值}) / \text{实测值}] \times 100$, 计算出不同树冠层内各累积叶面积指数残差百分比, 进而求出其平均残差百分比为 5.259 0 (绝对值)。然后进一步作后验检验: 求后验差比值 $c = s_2 / s_1$, 其中 s_2 为残差的标准差, s_1 为原始数据的标准差。 $c = 0.194 4$, 按后验检验方式确定 $c < 0.35$, 故此模型为一级。

4 结论

(1) 通过对 10 年生和 13 年生时间伐后 (现有林分密度 $1\ 500 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、杉莲比为 7:3) 的 17 年生和 15 年生杉莲混交林研究, 结果表明, 该林分 10 年生时间伐的乳源木莲由于树冠具有充分的营养生长空间, 来自外来树种的竞争减缓, 树冠得到充分的伸展生长, 形成了具有较大的枝倾角和较高的叶面积指数的圆锥形树冠, 促进了树木对光的截获, 这是乳源木莲在 10 年生时间伐后一度持续速生的主要原因; 因此, 合理适时的间伐有利于乳源木莲树冠生长及其优良冠型的培育, 有利于木莲大径材的培育。

(2) 10 年生时间伐木莲的树冠层次和枝条数量明显多于 13 年生时间伐的, 且木莲最大枝

长出现在树冠底部的 5~ 8 m 3 个层次, 而 13 年生时间伐木莲则出现在树冠中上部 2~ 4 m 两个层次。10 年生时间伐的木莲树冠充分生长、扩展, 枝长的垂直变化是从树冠顶端开始, 随冠层高度的下降逐步增加, 到中下部达到最大, 因此对下层遮荫较少, 使光合有效面积加大。因此相同立地条件下, 10 年生时间伐的木莲胸径、树高生长远超过 13 年生时间伐的木莲。

(3) 就叶面积而言, 10 年生时间伐木莲叶面积最大值出现在冠层 5~ 8 m, 13 年生时间伐则出现在冠层 2~ 4 m。10 年生时间伐的木莲树冠的累积叶面积指数增加明显, 尤其中部叶面积指数增加更明显, 而 13 年生时间伐的木莲自冠顶增加缓慢, 在中上部增加较快, 至树冠中部后增加不明显。

(4) 利用异速生长方程可准确地描述乳源木莲树冠层的一级侧枝分布、树冠形状及累积叶面积指数的垂直分布, 该分析结果与朱春全等研究的结果相一致。10 年生时和 13 年生时间伐的杉莲混交林中乳源木莲累积叶面积指数可以分别用以下模型进行估测: $y = 2.621 1Z^{0.131 8} e^{0.041 7Z}$ ($R^2 = 0.941 8$) 和 $y = 1.754 6Z^{0.612 2} e^{-0.141 1Z}$ ($R^2 = 0.992 3$)。通过残差百分比和后验检验表明, 上述累积叶面积指数模型拟合度较高, 预测效果良好。由于所测定的乳源木莲属于中龄林, 林分平均年龄为 16 a, 叶面积及叶面积指数数据合理, 因此, 该预测模型应用范围较广, 但其预测的实际效果有待于实践检验。

参考文献:

- [1] Nelson N D, Burk T, Isbrands J G. Crown architecture of short rotation, intensively cultured *Populus*. I. Effects of clone and spacing on first order branch characteristics[J]. Can J For Res, 1981, 11:73~ 81
- [2] 李火根, 黄敏仁. 杨树新无性系冠层特性与生长关系研究[J]. 林业科学, 1999, 35(5): 34~ 37
- [3] 李火根, 黄敏仁. 杨树新无性系冠层特性及叶片的空间分布[J]. 应用生态学报, 1998, 9(4):345~ 348
- [4] 朱春全, 雷静品, 刘晓东, 等. 集约与粗放经营杨树人工林树冠结构的研究[J]. 林业科学, 2000, 36(2): 60~ 68
- [5] 张小全. 杉木中龄林树冠叶面积密度空间分布及季节变化性[J]. 林业科学研究, 1999, 12(6): 345~ 348
- [6] Fu Mao Yi, Tamm C O. Predicting branch and needle growth of spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) from easily measurable tree parameters. I. Length of first order shoots[J]. Ecol Plant, 1985, 6(20): 347~ 363
- [7] Tamm C O, Fu Mao Yi. Predicting branch and needle growth of spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) from easily measurable tree parameters. II. Branch weight[J]. Ecol Plant, 1987, 8(22): 21~ 36
- [8] Ruark G A, Martin G L, Bokheim J G. Comparison of constant and variable allometric ratios for estimating *Populus tremuloides* biomass [J]. For Sci, 1987, 33: 294~ 300
- [9] Hashimoto R. Analysis of the morphology and structure of crowns in a young sugi (*Cryptomeria japonica*) stand[J]. Tree Physiology, 1989, 6: 119~ 134
- [10] 曹永慧, 陈存及, 刘芳, 等. 乳源木莲叶面积动态模型[J]. 福建林学院学报, 2002, 22(2): 157~ 160
- [11] 曹永慧, 陈存及, 赖培森, 等. 乳源木莲天然林群落种间联结的研究[J]. 福建林学院学报, 2003, 23(2): 124~ 127
- [12] 陈存及, 曹永慧, 董建文, 等. 乳源木莲天然林优势种群结构与空间结构[J]. 福建林学院学报, 2001, 21(3): 207~ 211
- [13] 李生, 陈存及, 曹永慧, 等. 乳源木莲天然群落生态位研究[J]. 江西农业大学学报, 2003, 25(3): 332~ 336

Impacts of Different Intermediate Cutting on Crown Structure of *Manglietia yuyuanensis* in Mixed Stands with *Cunninghamia lanceolata*

CAO Yong-hui¹, CHEN Curji², LI Sheng¹

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

2. Fujian Agriculture and Forestry University, Nanping 353001, Fujian, China)

Abstracts: The stands of 17-year-old and 15-year-old *Manglietia yuyuanensis* mixed with *C. lanceolata* (the ratios of *C. lanceolata* to *M. yuyuanensis* was 7:3) at Shaxian County in Fujian Province, which respectively given different intermediate cutting in 10th year and 13th year were studied. The crown structure (including vertical distribution of primary branches, crown form, vertical changes of branch inclinations, vertical distribution of leaf area and cumulative leaf area index) of *M. yuyuanensis* in mixed stands were studied by asynchronous speed growth model. The results showed that different intermediate cutting patterns had significant effects on the crown structure. With timely intermediate cutting, most trees of *M. yuyuanensis* were with coniform crowns, otherwise crown form appeared parabolical cylinder crowns. The conical-shaped crown, large branch inclination and higher leaf area index were contributed to the absorption of the sunlight and the silviculture of large diameter wood of *M. yuyuanensis*. The cumulative leaf area index of *M. yuyuanensis* could be estimated by the index models, respectively, $A_{CLAI} = 2.6211Z^{0.1318}e^{0.0417Z}$ ($R^2 = 0.9418$) and $B_{CLAI} = 1.7546Z^{0.6122}e^{-0.1411Z}$ ($R^2 = 0.9923$). Validation on the data showed that the model of *M. yuyuanensis* leaves area could give more accurate estimation.

Key words: *Manglietia yuyuanensis*; *Cunninghamia lanceolata*; mixed forest; intermediate cutting; crown structure