

不同密度杉木林内辐射与叶面积 垂直分布对生长的影响*

王 丽 丽

(中国林业科学研究院林业研究所)

摘要 本文通过对八年生杉木人工林内太阳辐射与叶面积垂直分布的观测与研究,用计算机绘图与计算,得出以下结果:杉木叶面积的垂直分布和叶面积指数与密度有关,冠形因密度增加由圆锥形变为圆柱形,叶面积指数是先上升后下降。杉木林内辐射的消减随密度的增加而加剧,在冠层深3/4处趋于平缓,当郁闭度低于0.85时,林冠下辐射有回升。用累加叶面积指数分层计算林冠消光系数,可减少因叶片分布不均匀而产生的误差。用累计值计算辐射,可简化观测与计算。用辐射吸收率、叶面积指数、杉木个体生物量及年均生物增长量4个指标对杉木林生长作综合评价,八年生杉木林生长的较适宜密度是 $2\text{ m} \times 1\text{ m}$ 。

关键词 杉木; 密度; 辐射; 叶面积

杉木 (*Cunninghamia lanceolata*) 人工林的栽植密度,是杉木个体生长、群体成材丰产的一个重要因素。在一定的立地与气候条件下,确定既能充分利用环境资源,又具有较高经济效益的栽植密度,是杉木速生丰产的重要因素。本文通过对不同密度杉木林中叶面积垂直分布及辐射强度的垂直分布研究,讨论林冠内叶分布规律和受光条件,并根据群体及个体生物量等指标对杉木生长状况做出综合评价。

一、自然概况及研究方法

(一) 自然概况

实验地位于江西大岗山实验局年珠林场场部后山, $114^{\circ}33'47''\text{ E}$, $27^{\circ}34'\text{ N}$, 属罗霄山脉北端武功山支脉,海拔240~260 m,坡向东南,坡度25~35°,土壤为黄棕壤,土层厚70~100 cm,腐殖质层厚15~30 cm。年平均温度 16.8°C ,年积温 5355°C ,年降水量1590 mm,年蒸发量1503.8 mm,全年平均日照1656.9 h,太阳辐射年总量 $8.106 \times 10^7\text{ Wm}^{-2}$,年平均相对湿度80%,无霜期270天。

1981年春定植的一年生杉木实生苗,4年共抚育9次,1985年停止抚育后又进行一次除萌工作,实地观测时树龄为8年生。造林密度分为5种(表1)。

本文于1989年12月15日收到。

*本文由研究生论文修改而成。

表1 杉木林密度与生长状况

密度 (株/ha)	1 667	3 333	5 000	6 667	10 000
株行距 (m × m)	A (2 × 3)	B (2 × 1.5)	C (2 × 1)	D (1.5 × 1)	E (1 × 1)
平均树高 (m)	8.40	7.50	6.90	6.00	6.30
平均胸径 (cm)	12.7	10.4	8.8	7.2	6.9
立地指数	20	20	20	16	18

(二) 研究方法

1. 叶面积的测定 在10株样树上采集54个样枝，测其长度后剪下一侧叶片，固定在纸上，复印后剪下称重，算出小枝的叶面积，以枝长为自变量，叶面积为因变量作指数回归方程：

$$S = 54.79446 + L^{1.002359} \quad r = 0.934$$

式中 S 为叶面积 (cm^2)， L 为小枝长度

(cm)。

2. 叶面积垂直分布的测定 在5个密度中选10株平均木，自下而上测量每一主枝的直径和高度，主枝与主干的夹角，每一小枝的长度及其在主枝上的位置。用计算机算出整株树的叶面积垂直分布，分层(100 cm 为一层)累积叶面积及叶面积指数。

3. 辐射的测定 用五台天空辐射表自冠顶到林下垂直排列，1台置于空旷地。7:00~18:00每小时观测1次，晴天阴天均观测。每次观测随机抽样测定20个数据，取平均值。每日的累积辐射值是每次平均值之和。

二、结果与分析

(一) 叶面积垂直分布

自最上层向下计算累积叶面积(表2)。密度A(2 m × 3 m)的杉木树冠基本不相交，使杉木有足够的空间伸展枝叶，叶分布的最大值在树冠中部(图1)。树冠下部叶子受光量小，同化作用受阻，大量的老叶与枯黄枝叶不能适时脱落，继续消耗养分与能量。密度B(2 m × 1.5 m)叶分布的最大值在树冠的中下部，这种树形分布对光的利用率高，但由于叶片过密，叶面积指数高达15，不利于光合作用，通常针叶林叶面积指数以不超过12为宜^[1]，而经过自然整枝的成年杉木林叶面积指数为8左右。密度C(2 m × 1 m)树冠形状已较明显地受密

表2 不同密度杉木叶面积累积计值

(单位: cm^2)

株行距	A	B	C	D	E
层次	(2 m × 3 m)	(2 m × 1.5 m)	(2 m × 1 m)	(1.5 m × 1 m)	(1 m × 1 m)
1	26 967.29	6 955.26	6 510.63	9 320.99	6 580.70
2	86 502.33	49 444.40	67 233.70	46 222.00	37 651.50
3	181 921.00	133 336.60	121 941.20	85 350.50	63 407.30
4	356 728.40	236 862.10	181 464.60	129 628.60	98 993.00
5	512 494.50	354 770.40	239 194.00		
6	602 562.80	451 799.60	251 353.50		
7	649 570.40	548 570.50			

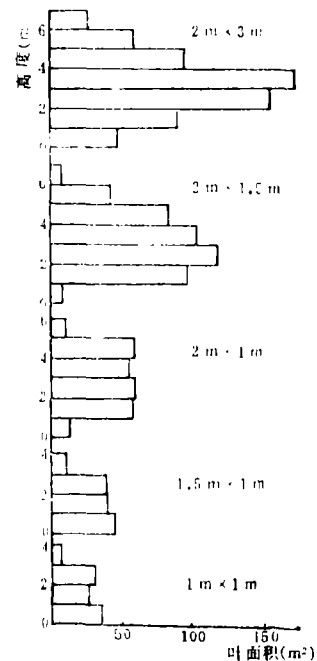


图1 不同密度杉木林树冠叶面积垂直分布

度影响，树冠呈圆柱状，树冠层空间利用充分，群体生长良好。密度D(1 m×1.5 m)由于密度大，枝叶重叠度大，严重影响了枝叶的发育和树木的生长。而密度E(1 m×1 m)因过密已开始自然整枝，群体生长不良，个别植株已濒临死亡。

(二) 太阳辐射在林内的垂直分布及消光系数

由图2、3可知，辐射受林冠遮挡而消减，密度越大，总辐射透过冠层消减得越快，但都在林冠3/4处达到最低点，林冠下的辐射与此处相等或回升，这与朱劲伟等^[2]测定的规律是一致的。密度A林冠郁闭度低，部分辐射直射地面，林下反射强烈，致使辐射在林冠下层回升。

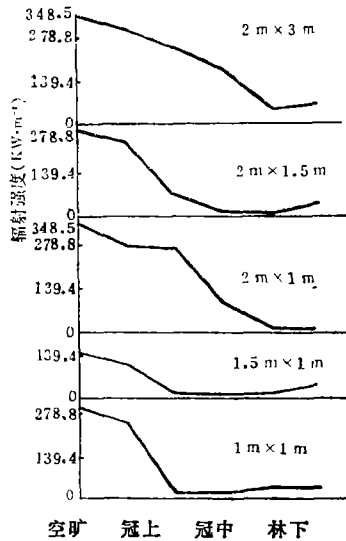


图2 辐射在林冠内的垂直分布

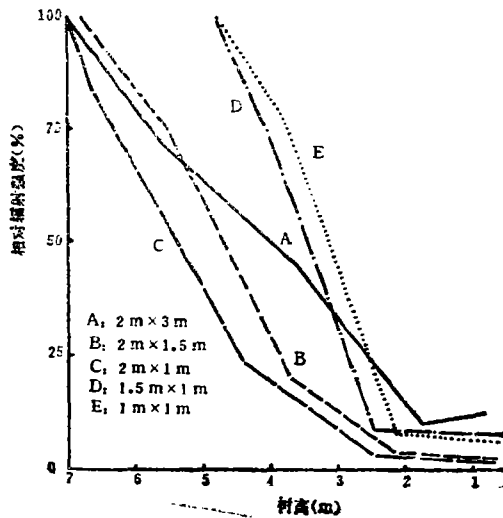


图3 辐射消减过程

由表3、4看出，林冠辐射的反射率与叶面积指数有关，叶面积指数大则反射率越高。但密度B树形紧密，反射率稍低。林冠辐射的透射率与林分密度及单株枝叶茂密程度有关，密度B、C因枝叶茂密，透射率低于1.5%，密度D、E虽然林分密度大，但单株生长不好，枝叶较稀疏，所以反射率较小，而透射率较大。密度A的单株生长虽然优于其它密度，但因郁闭度低，透射率高达11.92%，约为密度B、C的10倍。除了密度A因透射率高而使辐射的吸收率低于80%，其它4个密度的林冠辐射吸收率是相当一致的(表4)。

表3 分层叶面积指数(叶面积/林地面积)

株行距	A (2 m × 3 m)	B (2 m × 1.5 m)	C (2 m × 1 m)	D (1.5 m × 1 m)	E (1 m × 1 m)
层次					
1	0.888	1.997	2.169	2.214	3.405
2	4.058	6.961	6.848	5.337	5.764
3	8.843	13.661	11.132	8.606	9.876
4	10.839	15.269	12.560		

冠辐射吸收率是相当一致的(表4)。

用分层叶面积指数来计算消光系数^[3]：

$$I = I_0 e^{-k \times LAI} \tag{1}$$

式中：I——树冠内某一辐射强度；I₀——树冠顶端的入射辐射；k——该群落的消光系数；LAI——在I水平上的叶面积指数。

枝叶较稀疏，所以反射率较小，而透射率较大。密度A的单株生长虽然优于其它密度，但因郁闭度低，透射率高达11.92%，约为密度B、C的10倍。除了密度A因透射率高而使辐射的吸收率低于80%，其它4个密度的林冠辐射吸收率是相当一致的(表4)。

除密度A第一层数据有出入外,其它密度的消光系数 k 由上层向下递增,到次底层达到最高值,到最底层又有所降低(表5)。

以累加叶面积指数与辐射强度作半对数坐标图(图4),密度B和C的分层消光系数呈现了较好的线性结构,密度D和E林冠中层消光剧烈,曲线呈S形,密度A因林下辐射值的回升引起了消光系数的逆转,这是低密度林分所特有的。图4所示消光系数的分布,与Kiya等^[4]森林消光系数范围的结论相符,但林冠上部消光系数 k 范围比上述结论扩大一倍以上,这是针叶林锥形树冠顶端所引起的变化。

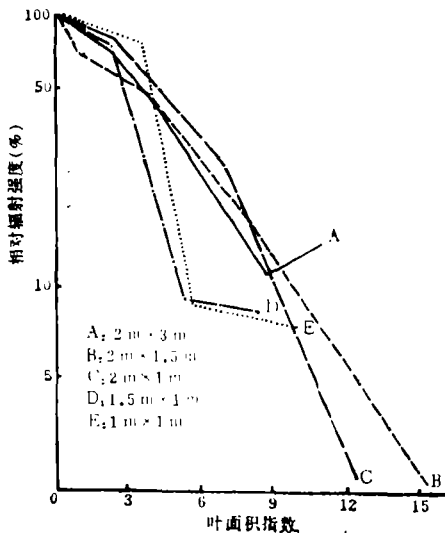


图4 辐射与叶面积指数的关系

表4 不同密度林冠辐射吸收相对强度 (单位: %)

密度 (m × m)	A (2 × 3)	B (2 × 1.5)	C (2 × 1)	D (1.5 × 1)	E (1 × 1)
反射率	12.43	12.36	12.83	6.44	10.18
透射率	11.92	1.24	1.38	6.53	5.94
吸收率	75.65	86.40	85.79	87.03	83.88

表5 不同密度林冠内分层消光系数

层次	株行距				
	2 m × 3 m	2 m × 1.5 m	2 m × 1 m	1.5 m × 1 m	1 m × 1 m
1	0.363 697	0.163 204	0.094 075	0.133 591	0.076 131
2	0.199 620	0.247 780	0.194 673	0.481 511	0.460 391
3	0.270 236	0.297 611	0.326 204	0.316 879	0.285 519
4	0.212 517	0.286 223	0.340 168		

(三) 杉木幼树生长状况的综合评价

用多指标综合评价杉木幼树的生长状况。采用本文已求出的辐射吸收率(表3)、叶面积指数(表2),并用杉木胸径与生物量回归公式^[6]

$$W = 1.6865 + 0.2375 D^2 \quad r = 0.92$$

式中 W ——全株生物量, D ——胸径。计算出个体与群体的生物量及年均增长量(表6)。针叶林的叶面积指数超过12~14时,叶片的光合作用受阻^[4],所以以叶面积指数与12的绝对值距离递增排列,其余三项按递减次序排列,然后将每一密度在各指标中的排序号相加。由表7可见,杉木幼树的生长状况以密度2 m × 1 m为最佳,2 m × 1.5 m次之,1 m × 1 m为最差。

三、结 论

太阳辐射是树木赖以生存的能量。杉木人工林对辐射的有效吸收取决于杉木个体冠形和群体的密度及排列方式,而冠形也是受密度制约的。密度2 m × 3 m的杉木林个体间距过大,不能充分利用太阳辐射和其它环境资源,使个体冠形过大,树冠中心部位和底部的叶片得不到充足的阳光而老化变黄,又不能及时脱落,起到了消耗养分的作用。对于这种密度的林分应进行人工修枝,去掉枯、老叶枝条,以利生长。密度1 m × 1.5 m、1 m × 1 m,由于密度过大,生长需求超过环境容纳量,致使群体和个体生长严重受阻,对这种群体要提前1~2

表 6 杉木平均生物量及增长量

株 行 距 (m × m)	年 份	平 均 胸 径 (cm)	个 体 生 物 量 (kg)	群 体 年 均 增 长 量 (t/ha)
A (2 × 3)	1985	9.8	24.496 0	12.86
	1986	11.6	33.644 5	
	1987	12.7	39.922 9	
B (2 × 1.5)	1985	8.6	19.252 0	13.54
	1986	9.4	22.672 0	
	1987	10.4	27.374 5	
C (2 × 1)	1985	7.0	13.324 0	16.89
	1986	7.8	16.136 0	
	1987	8.8	20.078 5	
D (1.5 × 1)	1985	5.8	9.676 0	14.41
	1986	6.5	11.720 9	
	1987	7.2	13.998 5	
E (1 × 1)	1985	5.8	9.676 0	16.59
	1986	6.3	11.112 9	
	1987	6.9	12.993 9	

表 7 杉木生长综合评价指标排序

密 度 (m × m)	辐射吸收率 (%)	序 号	叶 面 积 指 数	序 号	个 体 生 物 量 (kg)	序 号	群 体 生 物 增 长 量 (t/ha·a)	序 号	序 号 和
A(2 × 3)	75	5	10	2	39.92	1	12.86	5	13
B(2 × 1.5)	86	2	15	4	27.37	2	13.54	4	12
C(2 × 1)	85	3	12	1	20.08	3	16.89	1	8
D(1.5 × 1)	87	1	8	5	13.99	4	14.41	3	13
E(1 × 1)	83	4	9	3	12.99	5	16.59	2	14

年进行疏伐,以缓解竞争过于激烈的局面。密度 $2\text{ m} \times 1\text{ m}$ 的林分个体与群体生长都比较好,冠形合理,林相整齐,能充分利用水热空间等环境资源,是八年生杉木幼林比较合理的密度环境。

在辐射观测中密度D($1\text{ m} \times 1.5\text{ m}$)辐射最高值偏低(图2),可能是由于观测时天空云量过高及仪器的偏差所造成,但其在林冠内的分布规律未见异常(图3、4)。

参 考 文 献

- [1] Larcher, 1975(李博译, 1980), 植物生理生态学, 科学出版社, 18~23。
- [2] 朱劲伟等, 1986, 论杉木人工林中直射光的透射, 林业科学, 22(2):123~133。
- [3] Monsi, M. et al., 1953, *Jap. Bot.*, 14: 22~52。
- [4] Kiya, T., 1969, *Plant and Cell Physiol.*, 10: 129~142。
- [5] 惠刚盈等, 1988, 杉木造林密度试验研究, 林业科学研究, 1(4):413~417。

INFLUENCES OF RADIATION AND LEAF AREA
VERTICAL DISTRIBUTION ON THE GROWTH OF
CHINESE FIR YOUNG PLANTATION WITH
DIFFERENT DENSITIES

Wang Lily

(The Research Institute of Forestry CAF)

Abstract A study on the radiation and leaf area vertical distribution in relation to the growth of 8-year-old Chinese fir plantations of 5 densities was conducted. The leaf area vertical distribution and LAI were closely related to stem density. The crown form varies from conic to cylindric with the increase of stem density. The LAI rises at first and then declines with the increase of density. The extinction of radiation sharpened when the crown density increased. The extinction leveled at the depth of $3/4$ forest heights from the tops of forest canopies.

Calculating the extinction coefficients by means of accumulated leaf area index separately for each crown layer can minimize the errors caused by the irregularity of leaf distribution.

Four indices, i. e., absorption of radiation, LAI, biomass of individual tree and averaged annual increment of biomass were used to have a comprehensive evaluation on the growth of Chinese fir of 5 densities. The results showed that the plantation with a stem density of $2\text{m} \times 1\text{m}$ was the best one among the 5 young plantations.

Key words Chinese fir; density; radiation; leaf area