

# 杉木间伐后直径生长竞争模型的建立及应用\*

杨波 童书振

**摘要** 利用竞争的观点对杉木单株平均直径生长进行模拟。引进树冠和冠长作为林木实现竞争的两个主要指标,用竞争力函数作为衡量竞争大小的主要潜力指标,求出潜在林木生长的竞争力函数和现实林木竞争力函数。用调节系数对现实林木竞争力函数进行调节,从而求出林木潜在直径生长曲线,对此生长通过竞争系数进行调节,导出林木直径生长模型,同时通过竞争状态类比,比较竞争潜力,进一步求出林分直径生长的预测模型,并对此模型进行应用。它能用于预测林分每年生长,同时也能在生产上指导间伐及林分管理。

**关键词** 杉木、间伐、竞争函数、林分潜在生长

杉木是我国南方的主要速生丰产用材树种之一,南方各省均有栽培。有很多专家和学者都作过系统研究,但很少有人把竞争指标引入杉木直径生长模型。

## 1 研究地区的自然概况

试验地位于江西省分宜县中国林科院亚热带林业试验中心的山下林场,为低丘山地,海拔100 m左右,年平均气温17.9℃,年降水量1100~1700 mm。土壤为棕黄色,土壤厚度为50~100 cm,成土母岩主要为砂质页岩,地带性植被为常绿阔叶林。

## 2 试验方法与设计

试验地于1981年,设在林分年龄为10 a、地位指数为16指数级的林分内,1982年开始间伐,1989年复查。根据不同的地位指数设置四种不同强度的间伐样地:1500株/hm<sup>2</sup>, 2100株/hm<sup>2</sup>, 3000株/hm<sup>2</sup>, 3900株/hm<sup>2</sup>。标准地面积25 m×20 m。调查因子包括胸径、树高、枝下高、冠径。间伐采用下层抚育法,按不同间伐强度在现场选择间伐木并均匀分布,间伐前先做出标记。

## 3 生长模型

在林分中由于林木生长受到竞争作用的影响,所以在建立生长模型时应考虑树木间的竞争作用,树木生长可用(1)式表示:

$$\text{生长} = \text{潜在生长} \times \text{竞争调节系数} \quad (1)$$

1991—12—26收稿。

杨波助理研究员,童书振(中国林业科学研究院林业研究所 北京 100091)。

\* 本文属“八五”攻关课题“杉木建筑材优化栽培模式研究”的一部分。

在(1)式中, 林木潜在生长一般是指林分中优势木在无竞争状况下的一种理想生长, 竞争调节系数是考虑到林分内密度和林分内个体大小, 引起个体之间的竞争, 从而使林木生长比潜在林分生长的降低率, 把(1)式转化成用树木平均直径生长表示, 即:

$$D_S = D_P \times C \quad (2)$$

(2)式中:  $D_S$  是林分内个体平均直径生长,  $D_P$  是树木平均直径潜在生长,  $C$  是竞争调节系数。

为了进一步理解(1)、(2)式, 可以把它们更详细地解释为现实林分内树木的生长, 由于林分内个体存在相互竞争, 从而使林分内个体的生长水平降低, 以致于影响林分的生长水平, 而林分的潜在生长是我们想象的一种不存在竞争状况下的优势木生长, 它不需要用它所具有的生长潜力去克服外界的竞争能力, 故生长水平要高。要求出(2)式中的林分直径生长, 关键就是要求出竞争调节系数  $C$  与林分潜在生长。

#### 4 竞争因子的确定与竞争力的求算

影响林木生长的直接因素可以认为是树冠, 它能产生生长激素和碳水化合物, 这些物质的多少直接影响林木的生长和对营养的吸收, 这些作用的实现与冠幅和冠长有很大关系, 可以理解为由于冠幅和冠长的作用产生了一种力  $f(Cr, l)$ , 它促使树木生长。  $f(Cr, l)$  中,  $Cr$  是冠幅,  $l$  是冠长。其表达式为:

$$f(Cr, l) = n * \exp(Cr^a \cdot l^b) \quad (3)$$

式中:  $a$ 、 $b$  是参数,  $Cr$  是冠幅,  $l$  是冠长。由于  $f(Cr, l)$  的作用不同, 使林木生长出现差异, 为了便于计算, 可以把(3)式作如下变化:

$$\Delta S = n * \exp(Cr^a \cdot l^b) \quad (4)$$

(4)式中  $\Delta S$  为林分中某株树木的断面积年生长率, 同时对(4)式进行对数变换并用林分内各实测数据进行回归, 得:

$$\Delta S = \exp(Cr^{0.6869} \times l^{0.4821})/4 \quad (R=0.9631, n=100) \quad (5)$$

用密度为1500株/hm<sup>2</sup>样地内优势木实测数据进行回归:

$$\Delta S = \exp(Cr^{0.6911} \times l^{0.6217})/4 \quad (R=0.9571, n=30) \quad (6)$$

由(5)、(6)两式求出了林分内单株和优势木作用力函数表达式的差异, 可用系数  $K$  进行调节。潜在林分生长等于现实林分内优势木生长用  $K$  调节, 即

$$f_P(Cr, l) = k^2 \times f_D(Cr, l) \quad (7)$$

而对林分竞争调节系数  $C$  可用下式表示:

$$C = \exp(Cr^{0.6869} \times l^{0.4821}) / [\exp(Cr^{0.6911} \times l^{0.6217}) \times k^2] \quad (8)$$

(7)、(8)式中  $f_D(Cr, l)$ 、 $f_P(Cr, l)$  分别是林分内优势木和林分内优势木作为潜在生长的作用力。

#### 5 $K$ 值的求算

影响优势木直径生长的作用力由两部分组成, 第一部分处于林分内部, 它和林分内其它

各个体一样产生相互竞争，第二部分是由林上部分组成，它周围有充足的自由空间，这一部分可以认为有其它林木与之竞争，如图1所示。图中  $H_C$  为高出其它林木部分，这部分不受树冠竞争作用的影响，生长力得到了充分发挥。 $HL$  是处于林内部分，这部分将和林分产生竞争作用，故优势木的竞争力  $f_p(Cr, l)$  可理解为  $f_s(Cr_1, HC)$  与林内的部分之和，把高出林分部分所具有的竞争力看作是无竞争状况下的生长动力，用数学式可表示为：

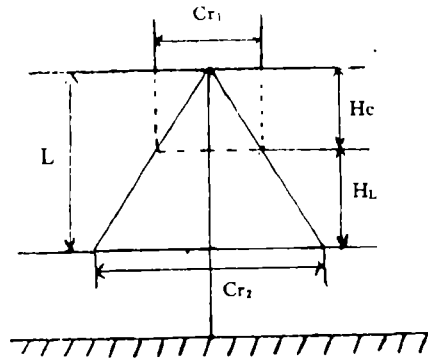


图1 优势木竞争分区

$$f_p(Cr_1, HC) + f_s(Cr_2, HC + HL) - f_s(Cr_1, HC) = f_D(Cr_2, l) \quad (9)$$

$$Cr_1 = HC \cdot Cr_2 / (HC + HL) \quad (10)$$

$$f_s(Cr_2, HC + HL) = \exp[Cr_2^{0.6669} (HC + HL)^{0.4821}] / 4 \quad (11)$$

$$f_s(Cr_1, HC) = \exp(Cr_1^{0.6669} HC^{0.4821}) / 4 \quad (12)$$

$$f_D(Cr_2, l) = \exp(Cr_2^{0.6911} \cdot l^{0.6217}) / 4 \quad (13)$$

$$f_p(Cr_1, HC) = \exp(Cr_1^{a_1} \cdot HC^{b_1}) / 4 \quad (14)$$

上述各式中， $f_s(Cr_2, HC + HL)$  是优势木作为林内部分的竞争力， $f_s(Cr_1, HC)$  是高出林分部分，是林分内的生长竞争力， $f_D(Cr_2, l)$  是优势木生长竞争力， $f_p(Cr_1, HC)$  是高出林分部分作为潜在生长的生长力。 $a_1, b_1$  是在无竞争状况下竞争充分发挥的参数  $a, b$  值。通过实测的优势木材料把  $HC, HL, Cr_2, Cr_1$  代入，上机计算得：<sup>[2]</sup>

$$f_p(Cr_1, l) = \frac{1}{4} \exp(Cr_1^{0.7613} l^{0.6017}) \quad (k = 0.9044, n = 30) \quad (15)$$

即  $\Delta S_p = \exp(Cr_1^{0.7613} l^{0.6017}) / 4$ ，因为  $D_p = K \times D_D$

所以  $\Delta S_p = (D^2_{D_i} - D^2_{D(i-1)}) \times K^2$ ， $K^2 = \frac{\Delta S_p}{\Delta S_D} = \exp(Cr_1^{0.7613} l^{0.6017})$ ，

$$K = \left[ \frac{\exp(Cr_1^{0.7613} l^{0.6017})}{\exp(Cr_1^{0.6911} l^{0.6217})} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (16)$$

上式中， $\Delta S_p$  是林分潜在断面积生长率， $\Delta S_c$  是林分优势木断面积生长率， $Cr, l$  是对应于某年优势木的冠幅与冠长。

## 6 林分优势木直径生长曲线的模拟及林分直径生长竞争模型的求算

对于现实林分，优势木直径生长选用 Richard 函数的推广作模拟，在本研究中用间伐强度最大的优势木直径生长为基础，推算林分潜在最大生长，即以 1500 株/hm<sup>2</sup> 为基础，用 1500 株/hm<sup>2</sup> 的材料把直径生长与年龄进行回归，可得林分优势木生长曲线：

$$D_p = 50.7686 \times (1 - \exp[-0.0013(T - 10)]^{0.2246}) \quad (17)$$

$$(R = 0.9549, n = 40)$$

设  $t = T - 10$  ( $T > 10$ ), 由此导出潜在生长曲线

$$D_p = K \times 50.7686 \times (1 - \exp(-0.0013t))^{0.2245} \quad (18)$$

林分的潜在直径生长模型确定以后, 给求算林分直径生长模型带来了方便。由(2)式得

$$D_s = D_p \times C$$

$$\begin{aligned} \text{故} \quad D_s = D_p \times C &= \frac{\exp(Cr_t^{0.7813} l_t^{0.6017})}{\exp(Cr_t^{0.6911} l_t^{0.5217})} \times 50.7686 (1 - \exp(-0.0013t))^{0.2245} \\ &\times \frac{\exp(Cr_t^{0.6659} l_t^{0.4821})}{\exp(Cr_t^{0.7812} l_t^{0.6017})} \end{aligned} \quad (19)$$

19)式中  $Cr_t$ ,  $l_t$  是第  $t$  年林分优势木冠幅与冠长,  $Cr_t$ ,  $l_t$  是第  $t$  年林分树冠值与冠长。由(19)式求出了林分直径生长模型, 此模型为模拟现实林分生长带来了方便, 通过对竞争因子即竞争作用力的比较, 为林业生产实践、林业管理、林分中期抚育间伐提供了依据。

## 7 模型应用

通过以上模拟求出了含竞争力在内的林木生长模型, 此模型可用于林分生长和管理。

### 7.1 对林分直径生长进行分析

把林分直径生长定义为第  $i$  年林分内树木平均冠幅与平均冠长代入模型而引起的生长。从表1中可明显发现, 经过不同间伐处理以后, 直径的生长差异只能通过下述方法进行预测, 前面定义的  $f(Cr, l)$  在此也可理解为林分的平均生长力, 当两林分的  $f(Cr, l)$  都相等时, 如果不对此林分施加外界压力, 可以认为这种状态将维持一定的时间, 据此如果 A 林分  $i$  年的  $f(Cr, l)$  与 B 林分  $j$  年的  $f(Cr, l)$  相等, 则这种状况将保持一定时间, 故直径预测模型为:

$$D_{\text{预}} = \left[ D_{s,i}^2 + \frac{1}{\pi} \exp(Cr^{0.6659} l^{0.4821}) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (20)$$

式(20)中  $D_{s,i}$  为第  $i$  年平均直径。

通过表2各林分对照比较, 可以确定不同间伐处理以后的模拟起始年龄, 并对各处理的直径生长进行预测。

由表3、1可知, 当3000株/hm<sup>2</sup>林分达到25a时, 直径生长才15cm, 只相当于2100株/hm<sup>2</sup>17a的生长水平, 当它在17~18a时, 生长开始缓慢, 这说明密度大的林分生长衰老得快。2100株/hm<sup>2</sup>的林分生长到20a时, 年生长率开始降低, 竞争作用力开始下降, 1500株/hm<sup>2</sup>的林分生长一直较旺盛, 此林分在16指数级的情况下, 有利培养大径材。

表1 不同间伐强度林分平均直径生长过程

(单位: cm)

间伐后密度 (株/hm <sup>2</sup> )	间 伐 后 的 年 龄 (a)					
	0	1	2	3	6	7
3900	8.4	9.1	9.5	10.6	11.8	12.1
3000	8.4	10.8	11.4	12.0	13.1	13.4
2100	8.5	9.8	11.8	12.8	14.2	14.7
1500	8.7	10.3	12.4	13.6	15.4	16.1

表2 不同间伐处理后的  $\exp(Cr^{0.6659} \cdot f^{0.4821})$  值

间伐后的密度 (株/hm <sup>2</sup> )	间伐后的年龄 (a)						
	0	1	2	3	4	7	8
对照 林分	26.377 2	25.873 9	23.728 5	20.599 8	18.744 9	18.509 8	19.745 6
3 900 优势木	49.821 4	42.941 6	40.117 5	41.214 7	39.445 6	33.681 5	30.881 7
3 000	22.549 2	23.686 4	29.966 5	31.141 3	38.059 2	20.517 9	20.430 2
2 100	29.361 9	24.434 4	38.830 3	41.599 9	60.360	26.500 1	25.940 4
1 500	31.396 6	34.539 4	28.728 1	33.448 3	77.478 5	42.637 5	43.415 7

表3 不同间伐处理后直径生长预测

(单位: cm)

间伐后的密度 (株/hm <sup>2</sup> )	预 测 年 龄 (a)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
3 000	13.4	13.6	13.8	14.0	14.2	14.4	14.6	14.8
2 100	14.0	15.3	15.4	15.6	15.8	16.0	16.2	16.4
1 500	16.5	16.9	17.3	17.6	17.9	18.3	18.5	18.6

## 7.2 通过竞争分析指导间伐

由表2可看出,对照部分的  $f(Cr, l)$  变化很缓,基本上呈递减趋势,但间伐以后的  $f(Cr, l)$  明显增大,且随间伐强度的加大,  $f(Cr, l)$  呈递增趋势。由表中还可见,第二年由于设有间伐,  $f(Cr, l)$  下降明显说明林分内各个体由于争夺空间,竞争激烈。但间伐以后由于出现剩余空间,  $f(Cr, l)$  增大,但间伐几年以后由于间伐所剩余的空间占满,故此  $f(Cr, l)$  又处于平缓状况。从表中还可以发现3 000株/hm<sup>2</sup>的林分个体竞争激烈,林分密度大,营养供应不足。而1 500株/hm<sup>2</sup>的林分的竞争生长力  $f(Cr, l)$  一直很大,这种密度有利于林木合理地利用空间。用林分直径生长竞争模型对林分进行管理和对林分生长进行预测,有利于确定合理的间伐强度和间伐时间,也能为确定合理轮伐期提供一定的理论依据。

## 8 结论

(1) 考虑竞争因素对林分生长的影响求出了竞争力函数。

(2) 为模拟林分直径生长,对1 500株/hm<sup>2</sup>的林分优势木生长进行调节,导出优势木生长竞争力函数  $f_D(Cr, l)$  以后,用调节系数值对它进行调节,使林分潜在直径生长  $f_P(Cr, l) = K^2 \times f_D(Cr, l)$ 。

(3) 通过计算潜在林分生长模型实现了的林分生长模型的导算。

(4) 把林分生长模型用于预测和模拟,得出了整个林分预测模型。

(5) 林分生长模型能为林分管理、林分中期间伐及确定合理的轮伐期提供依据。

(6) 对不同间伐处理后的林分进行模拟,根据  $f_S(Cr, l)$  的大小,排序为: 1 500株/hm<sup>2</sup> > 2 100株/hm<sup>2</sup> > 3 000株/hm<sup>2</sup> > 3 900株/hm<sup>2</sup>。同时,1 500株/hm<sup>2</sup>林分1989年以后的生长与3 900株/hm<sup>2</sup>林分优势木在1982年以后的生长相似,2 100株/hm<sup>2</sup>林分1989年以后生长与3 900株/hm<sup>2</sup>林分在1982年以后的生长相似,3 000株/hm<sup>2</sup>林分1988年以后的生长与3 900株/hm<sup>2</sup>林分1984年以后的生长相似。

## 参 考 文 献

- 1 郎奎健, 唐守正. IBMPC 系列程序集. 北京: 中国林业出版社, 1989.
- 2 Wensel L C, Tree height and diameter growth models for Northern California Conifers. *Hilgardia*, 1987.
- 3 Helms J A. Potential diameter growth functions. *For. Sci.*, 1985, 31(1): 3~15.
- 4 Daniels R F. A comparison of competition measures for predicting growth of Loblolly Pine trees. *Can. J. For. Res.*, 1987, 16(6): 1230~1237.

*The Competitive Model of Diameter Growth of  
Chinese Fir (Cunninghamia lanceolata Hook)  
after Thinning and Its Applications*

Yang Bo    Tong Shuzhen

**Abstract** Study on the simulation of diameter growth of Chinese Fir is conducted based on the competitive mechanism of stands. The crown and its length are taken as main competitive indexes, and the competitive function  $f(Cr, l)$  as main growth potentials to calculate potential growth function  $f_p(Cr, l)$  and practical growth function  $f_d(Cr, l)$  of stands. The curve of potential diameter growth of a stand can be therefore brought out from the practical growth function adjusted by coefficient  $K$ . It is considered that the potential diameter growth of a stand is the growth of diameter under the environment without any competition, namely the potentials of diameter growth of a stands is fully played. So diameter growth models can be calculated through the potential growth function adjusted by competitive coefficient  $C$ . Furthermore, the forecasting model of diameter growth can be gotten from the comparison of competitive potentials  $f(Cr, l)$ . The model can be used to forecast the annual growth of stands, and provide guidance for thinning and management of stands. It is also useful for the estimation of rational rotation and comprehensive management of stands.

**Key words** Chinese Fir, thinning, competitive function, potential growth

---

Yang Bo, Assistant professor, Tong Shuzheng (The Research Institute of Forestry, CAF Beijing 100091).