

文章编号: 1001-1498(2000) 03-0233-06

全林整体模型在林分间伐模拟中的效果评定

王雪峰, 杜纪山

(中国林业科学研究院资源信息研究所, 北京 100091)

摘要: 使用江西大岗山实验局杉木资料, 验证了以断面积生长模型为基础的全林分模型系统, 得到以下结论: 断面积生长模型不仅适用于自然生长状态的林分, 也适用于间伐林分; 可以用全林分模型系统对林分进行模拟预测, 特别是间伐预测, 从而为指导林业生产实践提供有益的参考; CCF 反映了林分的竞争状况, 以此可以判断林分的生长状态。

关键词: 全林分模型; 间伐; 杉木; 预测

中图分类号: S753.51

文献标识码: A

林业工作者一直在探讨如何通过人为干预林分生长, 从而达到林木的速生、丰产、优质、美化环境的目的。而通过模型来指导人们的生产实践, 一直是最主要的方法。在林分生长和收获预估模型体系中, 断面积生长预估是林分生长和收获预估的核心内容, 而抚育间伐又是最主要的营林措施。所以在长期的理论研究和生产实践中, 产生了包括间伐在内的许多断面积生长方程。较著名的有 Clutter^[1]的相容性火炬松(*Pinus taeda* L.) 生长模型; Bailey 等^[2]提出的断面积预测方程; Sharma^[3]在印度黄檀(*Dalbergia sissoo* Roxb.) 可变密度收获表中, 提出主林木断面积预估方程; 唐守正^[4]引入全林整体生长模型概念, 结合同龄纯林自稀疏规律的研究^[5], 使完满立木度林分的自然生长、有一定初始密度林分的自然生长和等株数生长有机地结合在一起。而林分的生长状态可由树冠竞争因子(CCF)^[6,7]来决定。本文在文献[4]中提出的断面积生长模型的控制下, 利用杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.) 实际数据对间伐模型及整个模型体系进行了验证, 结果表明本模型体系能很好地指导生产实践。

1 材料及计算方法

1.1 试验地概貌

试验地设置在江西省分宜县, 中国林科院大岗山实验局山下林场视里林区。位于 27°30' ~ 27°50' N, 140°30' E。为低丘山地, 海拔 100 m 左右, 年平均气温 17.9℃, 年降水量 1 100 ~ 1 700 mm, 土壤为棕黄壤, 土壤厚度为 50 ~ 100 cm 以上, 成土母岩主要为砂质页岩、千枚岩等。试验地面积为 500 m²。

1.2 计算方法

全林分模型系统是包括断面积方程、间伐模型在内的一套模型系统, 它能够预测每公顷断面积、株数、蓄积、林木算术平均直径、均方平均直径、直径变动系数等全部一类模型参数。其关

收稿日期: 1999-11-30

基金项目: 国家自然科学基金项目“间伐效应的模型研究(39770616)”资助

作者简介: 王雪峰(1968-), 男, 内蒙古通辽人, 助理研究员。

键是预测每公顷断面积、株数及林木算术平均直径,由树高曲线及蓄积方程可以得到蓄积。下面给出了每公顷断面积、株数、林木算术平均直径、均方直径的详细计算过程。

本文所使用的符号主要有 S_i : 第 i 期密度指数; G_i : 第 i 期每公顷断面积; Dg_i : 第 i 期林木均方平均直径; N_i : 第 i 期每公顷株数; \bar{D}_i : 第 i 期林木算术平均直径; Cv_i : 第 i 期林木直径变动系数。

1.3 计算步骤

1.3.1 计算第1期林分参数 $\bar{D}_1, G_1, Dg_1^2, N_1, S_1, Cv_1^2$

$$D_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i \quad (1)$$

$$G_1 = \frac{\pi}{40\,000} \sum_{i=1}^n d_i^2 / A_r \quad (2)$$

$$Dg_1^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i^2 \quad (3)$$

$$N_1 = n / A_r \quad (4)$$

$$S_1 = N_1 \left(\frac{Dg_1}{D_0} \right)^\beta \quad (5)$$

$$Cv_1^2 = \frac{Dg_1^2 - \bar{D}_1^2}{\bar{D}_1^2} \quad (6)$$

式中: A_r 为样地面积, D_0 是基准直径, β 为待估参数, D_i 是样地内第 i 株树木胸径。对于本实验数据, 下层伐的株数间伐强度 P_N 和断面积间伐强度 P_G 关系为 $P_G = P_N^{1.36}$ 。

1.3.2 计算预估年的林分密度指数 (S_2) 林分密度指数与林分的生长过程有关, 而林分的生长过程可由树冠竞争因子 (CCF) 决定^[8]。(7) 式为 CCF 的计算式, 其中 b_0, b_1, b_2 为待估参数。

$$CCF = b_0 S^{b_1} N^{b_2} \quad (7)$$

$$\text{当} \begin{cases} CCF < 200 & \text{为等株数生长阶段} \\ 200 < CCF < 300 & \text{为等株数生长向自然生长的过渡期} \\ CCF > 300 & \text{为自然生长阶段} \end{cases}$$

1.3.2.1 等株数生长过程

① 计算 $CCF = b_0 S^{b_1} N^{b_2}$, 初始年龄为 t_1 ;

② 计算 $t_1 + 1$ 年的断面积 G_{t_1+1} 及林分密度指数 S_{t_1+1} 。株数生长方程为:

$$N(t) = \left[\frac{\pi D_0^2}{40\,000} \right]^{\frac{\beta}{2}} G[S(t), t]^{-\frac{\beta}{2}} S(t)^{\frac{2}{2-\beta}} \quad (8)$$

因为是等株数生长, 所以等式 $N(t) = N_1$ 成立, 故有

$$S_2 = \left[\frac{N_1^{2-\beta} [G(S_2, t)]^\beta}{(\pi D_0^2 / 40\,000)^\beta} \right]^{1/2} \quad (9)$$

地位指数 L , 密度指数 S 的林分在 t 年时的断面积生长方程如下:

$$G(S, t) = e^{b_1 L^{b_2}} \{ 1 - \exp[-b_4 \left(\frac{S}{1\,000} \right)^{b_3} (t - t_0)] \}^{b_5} \quad (10)$$

式中 b_1, b_2, b_3, b_4, b_5 为参数, t_0 是平均树高达到胸高时的年龄, 由上式解出 t_0 :

$$t_0 = t + \frac{1}{b_4 \left(\frac{S}{1000} \right)^{b_5}} \ln \left\{ 1 - \left[\frac{G}{e^{b_1 L^{b_2}}} \right]^{\frac{1}{b_3}} \right\} \quad (11)$$

③迭代得到 G_{t+1} 及 S_{t+1} 。

取 $t = t_1, S = S_1, G = G_1$, 由(9)、(10)、(11)式迭代可得到 $t_1 + 1$ 的 G_{t+1} 及 S_{t+1} 。

④计算 $CCF = b_0 S_{t+1}^{b_1} N_1^{b_2}$ 。

⑤如果 CCF 仍然小于 200, 则年龄加 1 a 后, 返回到③计算 S_{t+i} ($i = 2$, 以后每次增加 1a)。当 $t + i = t_2$, 则此时的 S_{t+i} 即为预测年龄的 S_{t+i} ; 同样也得到了 G_{t+i} 。如果 CCF 大于 200 (令: CCF 刚刚大于等于 200 时的 $i = A_1$, 即假设初始年 $t_1 = t_{A1}$, 预测 t_2), 则执行下一步。

1.3.2.2 等株数生长阶段向自然生长的过渡

①设 $t_1 = t_{A1}$ 时, 有 S_{A1}, G_{A1} , 计算 $t_{A1} + 1$ 时的 S, G 。

②按第(1)步中的计算方法, 计算 $t_{A1} + 1$ 时刻的 $S_{a,t_{A1}+1}, G_{a,t_{A1}+1}$ 。

③由株数生长模型计算得出 $N(t_{A1} + 1)$ 。

④取 $t = t_{A1}, S = S_{t_{A1}}, G = G_{t_{A1}}$, 代入(11)式得到 t_0 ; 进一步由(10)式及下式

$$S_{t+1} = S_t \left[\frac{S_f^r - S_{t+1}^r}{S_f^r - S_t^r} \right]^{\frac{2-\beta}{r}} \cdot \left[\frac{G(S_{t+1}, t+1)}{G_t} \right]^{\frac{\beta}{2}} \quad (12)$$

得到 $t_{A1} + 1$ 时刻的 S_{A1+1}, G_{A1+1} 。

⑤计算 $t_{A1} + 1$ 时刻的 S_{A1+1}, G_{A1+1}

$$S_{t_{A1}+1} = (1 - \alpha) S_{a,t_{A1}+1} + \alpha S_{bt_{A1}+1}, \quad \text{其中 } \alpha = \frac{CCF - 200}{300 - 200}$$

⑥计算 $t_{A1} + 1$ 时刻的 CCF 。如果 $CCF < 300$, 年龄增加一年 ($t_{A1} + i$), 重复②到⑥过程。当 $t_{A1} + i = t_2$, 则此时的 $S_{t_{A1}+i}$ 即为预测年龄的 $S_{t_{A1}+i}$; 同样也得到了 G_{t+i} 。如果 CCF 大于 300 (令: CCF 刚刚大于等于 300 时的 $i = A_2$, 即假设初始年 $t_1 = t_{A2}$, 预测 t_2), 则执行下一步。

1.3.2.3 自然生长阶段 当间伐完后 CCF 就大于 300, 这样可直接按自然生长处理。初值取刚刚间伐完后的初值, 即 G_1, S_1 分别由(2)、(5)式得到。根据计算得到的 G_1, S_1 可以求预测年 (t_2) 的 G_2, S_2 。即取 $t = t_1, S = S_1, G = G_1$ 由(11)式得到 t_0 ; 然后利用(10)、(12)式迭代得到 t_2 年的 G_2, S_2 。当间伐完后 $CCF < 300$, 经过自然生长后长到 $CCF > 300$, 也按自然生长处理。此时初值时刻为 $t_1 = t_{A2}$, 可直接计算 (t_2) 的 G_2, S_2 。仍然按上面办法计算, 只是初值分别改为 $S_{t_{A2}}, G_{t_{A2}}, t_2$ 直接取预测年。

1.3.3 由下面两式计算预估年的 Dg_2, N_2

$$Dg_2 = \left[\frac{G_2 40000}{S_2 \pi} (D_0)^{-\beta} \right]^{\frac{1}{2-\beta}} \quad (13)$$

$$N_2 = \frac{G_2}{Dg_2^2} \frac{40000}{\pi} \quad (14)$$

式中 D_0 为基准直径, β 是参数。

1.3.4 计算预估年的算术平均直径 \bar{D}_2 欲得到预估年的算术平均直径, 首先应计算变动系数。

令: 林分间伐后直径变动系数为 C_{va} , 林分间伐后每公顷断面积 G_a ; 由程序计算得出林分间伐前直径变动系数 C_{vb} 及林分间伐前每公顷断面积 G_b

$$Cv_2^2 = \frac{0.01}{\frac{c_2}{c_1} - \left(\frac{c_2c_4}{c_1 - c_3}\right) \exp(-c_3t_2) + \left(\frac{0.01}{Cv_1^2} - \frac{c_2}{c_1} + \frac{c_2c_4}{c_1 - c_3} \exp(-c_3t_1)\right) \exp[-c_1(t_2 - t_1)]} \quad (15)$$

此时的 t_1, Cv_1 是间伐时的年龄及变动系数, t_2 是预测时的年龄, c_1, c_2, c_3, c_4 是模型参数。变动系数预测说明如下:

① $t_1 \sim t_2$ 由 t_1 预测到 t_2 中间没有间伐, 此时(15)式中 $c_4=0$, 即:

$$Cv_2^2 = \frac{0.01}{\frac{c_2}{c_1} + \left[\frac{0.01}{Cv_1^2} - \frac{c_2}{c_1}\right] \exp[-c_1(t_2 - t_1)]} \quad (16)$$

这时的 t_1 就是初始年龄, t_2 是预测年龄。

② $t_1 \sim t_{12} \sim t_2$, 由 t_1 预测到 t_2 中间有间伐, 即在 t_{12} 年间伐 1 次, 这时求解 t_2 时, 要分两步来完成。即: 首先由 $t_1 \sim t_{12}$, 按没有间伐来处理, 这时由(16)式计算间伐前的变动系数 Cv_b 。公式(16)中 t_2 就是间伐年龄 t_{12} ; Cv_1 是 t_1 时的变动系数。计算得到的 Cv_2 就等于 Cv_b 。 G_b (林分间伐前每公顷断面积) 要由一类模型来预测, 即由 t_1 预测 t_{12} 时的 G_b 。由 $t_{12} \sim t_2$, 这时将按(17)式来预测 t_2 时的变动系数。此时(15)式变为

$$Cv_2^2 = \frac{0.01}{\frac{c_2}{c_1} - \left(\frac{c_2c_4}{c_1 - c_3}\right) \exp(-c_3t_2) + \left(\frac{0.01}{Cv_a^2} - \frac{c_2}{c_1} + \frac{c_2c_4}{c_1 - c_3} \exp(-c_3t_{12})\right) \exp[-c_1(t_2 - t_{12})]} \quad (17)$$

这时, 式(17)中 $C_3 = C_3 \cdot G_a / G_b, c_4 = C_4 \left(100Cv_1^2 - \frac{c_2^2}{c_1}\right) \left(\frac{Cv_b^2}{Cv_a^2} - 1\right), c_3, c_4$ 是模型待定参数。 G_b 和 Cv_b 上步已经求出, Cv_a 和 G_a 要求由用户给出。注意: (15)式中 t_1 及 Cv_1 分别变为 t_{12} 和 Cv_a 。由于变动系数已经求出, 所以算术平均直径也就得到了。

1.4 模型参数

表 1 给出了参加运算的模型参数, 由 SAS 运算得到。

表 1 模型参数

断 面 积 方 程					自 稀 疏 方 程				
b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	β	γ	S_f		
23.244 1	0.334 9	0.171 1	0.001 3	5.396 4	1.650 0	5.201 0	2 203.935 7		
间 伐 模 型					CCF 模 型			基 准	
c_1	c_2	c_3	c_4	b_0	b_1	b_2	D_0	T_0	
0.489 3	0.067 2	0.063 2	0.680 8	0.225 0	0.542 4	0.402 9	20.000 0	20.000 0	

2 实测及预测结果

本文采用大岗山实验局、及区杉木标准地间伐数据。区及区立地条件较好, 于 1982 年春即 10 年生时开始进行间伐; 区立地条件较差, 林木生长较慢, 故到 1984 年即 12 年生时开始间伐。每区有 4 块标准地, D- -1、D- -1 和 D- -3 为对照标准地, 其它标准地分别进行了弱、中、强度间伐。在本文的模拟中除对照标准地不参加计算外, 其它 9 块标准地均进行了模型预测。初始计算数据见表 2。

表2 参加计算的原始数据统计

样地号	株数/(株·hm ⁻²)	直径/cm	断面积/(m ² ·hm ⁻²)	年龄/a	地位指数	间伐强度/%
D- 2	3 640	8.527	22.955	9	18	53.8
D- 3	3 760	10.360	32.510	10	18	44.1
D- 4	3 500	10.814	34.189	10	18	69.1
D- 2	5 380	6.304	18.159	9	14	29.6
D- 3	4 660	6.395	16.068	9	14	38.6
D- 4	4 340	6.546	15.667	9	14	53.2
D- 1	4 420	7.718	22.832	9	16	52.5
D- 2	4 400	6.942	18.815	9	16	69.9
D- 4	5 540	7.123	23.981	9	16	44.8

以表2的数据为基础,由全林分模型系统进行模拟,可以得到各预测年的每公顷株数、断面积、林分密度指数等一类模型参数。为了与实际结果进行比较,本文给出了1983年、1985年及1989年的每公顷株数、林木算术平均直径、每公顷断面积的实际值、预测值和预测精度。结果参见表3。其中D- 2、D- 3、D- 4号标准地由于没有1983年的实测数据,无法进行比较,所以也没有列出预测数据。另外,在模型系统预测的起始数据中,因为D- 3、D- 4没有1981年即9年生数据,因此使用了它的下一年数据,即10年生数据。结果参见表3。

表3 模型预测精度

样地号	1983年			1985年			1989年			
	株数/ (株·hm ⁻²)	直径/ cm	断面积/ (m ² ·hm ⁻²)	株数/ (株·hm ⁻²)	直径/ cm	断面积/ (m ² ·hm ⁻²)	株数/ (株·hm ⁻²)	直径/ cm	断面积/ (m ² ·hm ⁻²)	
D- 2	实际	2 600	11.61	28.95	2 000	13.36	29.35	1 680	16.00	34.93
	预测	2 610	11.51	29.39	2 048	13.16	29.94	1 757	15.53	35.71
	误差%	0.38	0.88	1.50	2.38	1.53	2.01	4.57	2.93	2.24
D- 3	实际	3 760	10.04	32.51	2 440	13.05	34.47	2 100	15.02	39.32
	预测	3 700	10.09	31.99	2 398	12.93	33.82	2 041	14.87	38.06
	误差%	1.60	0.54	1.60	1.73	0.92	1.89	2.81	1.01	3.21
D- 4	实际	2 000	13.29	28.56	1 200	15.47	23.02	1 060	17.82	26.98
	预测	2 033	13.05	29.02	1 238	15.04	23.58	1 102	17.30	27.78
	误差%	1.65	1.80	1.61	3.20	2.75	2.43	3.98	2.89	2.97
D- 2	实际				4 620	9.66	35.93	3 800	11.87	46.34
	预测				4 691	9.59	36.41	3 951	11.51	44.08
	误差%				1.53	0.74	1.33	3.97	3.02	4.88
D- 3	实际				3 220	10.52	28.88	2 760	12.71	36.05
	预测				3 182	10.34	28.68	2 709	12.34	34.76
	误差%				1.18	1.70	0.69	1.85	2.89	3.58
D- 4	实际				2 220	11.18	22.37	1 980	13.73	30.02
	预测				2 212	11.15	23.15	1 991	13.08	28.69
	误差%				0.36	0.24	3.47	0.53	4.75	4.43
D- 1	实际	3 300	10.55	30.09	2 420	12.26	29.71	2 080	14.47	35.52
	预测	3 251	10.39	29.80	2 374	12.07	29.21	2 033	14.24	34.74
	误差%	1.49	1.51	0.95	1.90	1.53	1.67	2.24	1.56	2.20
D- 2	实际	2 700	10.55	24.82	1 600	13.13	22.53	1 320	15.82	26.76
	预测	2 648	10.42	24.53	1 559	12.85	21.76	1 278	15.39	25.50
	误差%	1.92	1.28	1.16	2.58	2.14	3.42	3.17	2.69	4.71
D- 4	实际	4 080	9.94	33.00	3 500	11.24	36.23	2 960	13.04	40.94
	预测	4 067	9.72	32.48	3 471	10.96	35.18	2 919	12.66	39.41
	误差%	0.32	2.20	1.57	0.84	2.52	2.89	1.40	2.91	3.75

除 D-3、D-4 号标准地是由 1982 年预测到 1989 年外,其它 7 块标准地均是由 1981 年数据预测到 1989 年。由表 3 可见,参加预测的 9 块标准地精度全在 95% 以上。另一个明显的规律是无论是直径、每公顷株数还是断面积,预测间隔期越短精度越高,随着预测间隔期的延伸,精度在降低。在算术直径的预测过程中,首先要计算直径变动系数,由算术平均直径我们可以说变动系数模型(12)式预测效果也很好。另外,无论林分是自然生长还是在间伐过程中,都要由 CCF 判断林分所处的生长阶段,从本次模拟结果可知,CCF 也是一个值得信赖的参数。

3 结 论

(1) 全林分模型系统可以很好地预估林分各参数,从而解决了以往模型只能预测某一个或两个参数的问题,使其真正成为一个模型系统。

(2) 断面积生长预估方程不仅适用于未间伐林分,对于间伐林分也同样适用。可以仅从模型角度对林分进行间伐模拟实验,预测不同间伐强度对林分的影响,为最终确定合理的间伐强度提供一个有用的参考。

(3) 确定林分生长阶段,除 CCF 方法外,应进行其它方法的探讨。

参考文献:

- [1] Clutter J L. Compatible growth and yield models for loblolly pine[J]. For Sci, 1963, 9(3): 354~371.
- [2] Bailey R L, Ware K D. Compatible basal-area growth and yield model for thinned and unthinned stands[J]. Can J For Res, 1983, 13: 563~571.
- [3] Sharma R P. Variable density tables of Dalbergia sissoo (plantation origin)[J]. Indian Forester, 1979, 105(6): 421~435.
- [4] 唐守正. 广西大青山马尾松全林整体模型及其应用[J]. 林业科学研究, 1991, 4(森林资源现代化经营管理增刊): 8~13.
- [5] 唐守正. 同龄纯林自然稀疏规律的研究[J]. 林业科学, 1993, 29(3): 234~241.
- [6] Krájček J E, Brinkman K A, Gingrich S F. Crown competition—a measure of density[J]. For Sci, 1961, 7(1): 35~42.
- [7] 王迪生, 宋新民. 华北落叶松人工林 CCF 特性的探讨[J]. 河北林学院学报, 1995, 10(1): 1~6.
- [8] 唐守正, 杜纪山. 利用树冠竞争因子确定同龄间伐林分的断面积生长过程[J]. 林业科学, 1999, 35(6): 35~41.

Assessment of Stand Thinning Model under the Integrated Whole-stand Growth Model System

WANG Xue-feng, DU Ji-shan

(The Research Institute of Forest Resource Information Techniques, CAF, Beijing 100091, China)

Abstract: The basal area growth model under the integrated whole-stand model system is tested based on the permanent plots of Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) in Dagangshan Experiment Bureau, Jiangxi Province. The results showed that the basal area growth model is suitable to both the free growth and thinned stand. The growth process for a stand, particularly for the thinned stand, can be fitted and predicted by using integrated whole-stand growth model system so as to provide some helpful suggestions. As a competition index, crown competition factor can be used to determine the growth phase of a given stand.

Key words: whole-stand growth model; thinning; Chinese fir; prediction