

杉木人工林经营的计算机模型—CHIFIR*

徐德应 盛炜彤

(中国林业科学研究院林业研究所)

摘 要

杉木人工林经营的计算机模型—CHIFIR, 是在杉木生长过程表的基础上, 考虑不同整地、抚育方法和间伐对杉木生长的影响而建立的, 该模型能对杉木生长进行预测和经济分析。根据树冠影响系数(I)对直径生长的影响, 考虑了树冠对光的竞争, 建立了树冠影响系数与重叠度关系的回归方程。用71个样地的调查资料对模型进行 F 检验和 U 检验, 模型的预测精度比较好。该模型适用于杉木分布的中带, 它可在生产中试用, 并可用于杉木经营方式最优化组合的理论计算。

关键词 杉木人工林; 森林生长; 森林经营模型

杉木 (*Cunninghamia lanceolata*) 是我国南方重要的用材林树种, 木材产量约占全国商品材生产的1/5—1/4。对杉木人工林的经营管理已有一套较完整的经验。通常的栽培制度是: 首先选择土壤肥沃、排水良好、坡度为20—35°的宜林地, 进行劈山、炼山, 然后整地。整地方式为“撩壕”¹⁾、全垦、带垦和穴垦, 一般采用全垦和带垦方式; 栽植密度多为167—240株/亩; 幼林期间抚育6—8次; 在10年生以后间伐1—2次, 20—30年生时进行皆伐作业^[1]。

对于上述栽培方式, 过去已从不同角度进行过一些研究。但随着人工林集约栽培方法的发展, 有必要对以上营林措施进行综合的评价, 并预测在不同立地条件下某些营林措施的组合对产量的影响及其经济效益, 依此寻找出理想的营林措施的组合, 以便在一定的立地条件下获得最大的木材产量或经济收益。

该杉木经营模型 CHIFIR (CHInese FIR), 综合目前对杉木各单项营林措施效果的研究, 用以预测杉木分布中带不同立地条件下不同营林措施的组合(不同整地方式、初始栽植密度、抚育方法、间伐次数、间伐年龄、间伐强度和不同轮伐期的组合)对杉木林分生长的影响, 即预测出林分的平均胸径、平均树高、径级分布、分径级的材积、总蓄积和经济净收益(扣除造林、抚育和采伐费用之收益)。

该模型用BASIC语言编成, 适用于IBM-PC/XT及其兼容机, 可对分布于中带的杉木的生长进行预测。以此预测为基础, 还可以把材积或经济净收益作为目标函数, 进行最优化计算, 从而找出合理的营林措施组合。

* 本文于1988年1月收到。

刘景芳先生阅过原稿, 并提出宝贵意见, 唐守正博士送给检验程序, 在此致以诚挚感谢。

1) 撩壕即沿等高线挖一条深约80 cm、宽约60 cm的壕沟, 填以表土并清除壕间杂草的整地方式。

一、模型的结构

(一) 生长过程

由调查确定的立地指数及杉木生长过程表(杉木丰产林标准)是该模型最基本的依据。该模型适用于立地指数(SI)为12、14、16、18、20的各种杉木人工林。整地方式分为上述四种, 抚育方法分为三种即粗放抚育(三年中每年锄草一次), 一般抚育(锄草并浅层松土, 每年二次), 和强度抚育(全垦松土抚育, 第一年三次, 第二、三年每年二次, 第四年一次)。这样, 整地方式和抚育方法共有12种组合。基本生长过程表代表着全垦整地方式和强度抚育条件下的林分生长过程。

林分平均胸径的生长过程按公式(1)计算:

$$\log_{10} D = A_1 + B_1/A \quad (1)$$

其中: D ——平均胸径(cm), A ——林龄(a), A_1 、 B_1 ——回归系数。

林木生长过程表是根据“密度适中”的大量林分调查出来的一种平均生长状况, 所以它实际上包含有一定程度的树冠竞争, 并不能代表“没有树冠竞争(自由)”的生长过程。在某些生长模型中, 例如 STEMS^[2], 把这种“自由”的生长过程用优势木和亚优势木的生长过程来代表。但这在一定程度上会夸大林木的生长。在该模型中, “自由”的生长过程是这样确定的: 根据林分生长过程调查的平均林木株数, 考虑树冠重叠度的影响, 用初级模型对林分的平均胸径进行初步预测。由于在模型中考虑到树冠竞争的影响, 预测值总是低于实际调查的生长过程表的胸径值。在优势木生长过程表和平均木生长过程表之间, 根据这一调查值与预测值的差值进行内插, 得到“自由”的生长过程表。这样得出的“自由或理论”的胸径生长过程方程形式与方程(1)完全相同, 回归系数为 A_2 、 B_2 。

平均胸径和平均树高的关系按公式(2)计算:

$$\log_{10} H = A_3 + B_3/D \quad (2)$$

其中: H ——平均树高(m), D ——平均胸径(cm), A_3 、 B_3 ——回归系数(见表1)。

表1 各立地指数下生长过程方程的系数

SI	A_1	B_1	r_1	A_2	B_2	r_2	A_3	B_3	r_3
12	1.350 91	-4.663 07	-0.995 1	1.355 73	-4.460 21	-0.996 3	1.135 20	-2.280 64	-0.996 1
14	1.391 93	-4.416 69	-0.999 3	1.397 92	-4.295 72	-0.999 8	1.217 31	-2.501 65	-0.961 7
16	1.428 47	-4.213 82	-0.999 7	1.429 42	-4.203 31	-0.999 9	1.254 39	-2.786 66	-0.966 9
18	1.461 50	-4.042 62	-0.999 9	1.474 04	-3.965 01	-0.999 9	1.416 28	-4.298 23	-0.973 1
20	1.491 69	-3.895 39	-0.999 4	1.496 55	-3.864 36	-0.999 6	1.438 66	-4.598 29	-0.969 9

材积计算用公式 $V = \frac{\pi}{4} \cdot f \cdot D^2 \cdot H$, 其中 V 为材积, $\pi = 3.1416$, D 为平均胸径, H 为平均树高, f 为形数。根据已有的形数表^[3], 用双曲线回归拟合出形数与平均树高的回归曲线:

$$f = 0.465 75 + 1.079 54 \times (1.011 91 + H)^{-1} \quad (r = 0.999 3) \quad (3)$$

根据 SI=18 时的统计资料, 绘出三条基本生长过程曲线(图1)。从图1可以看出, 擦

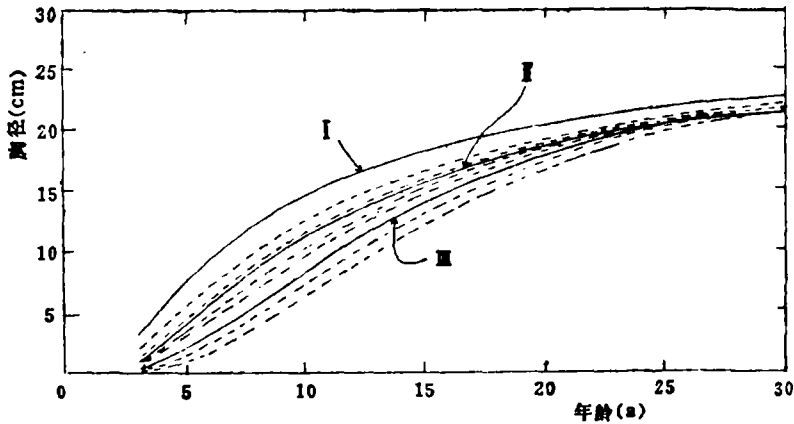


图1 不同整地和抚育方法的胸径生长过程(SI=18)

I: 带状、强度抚育; II: 全垦、强度抚育; III: 全垦、粗放抚育

带、强度抚育(I)下的胸径明显地大于全垦、强度抚育(II)和全垦、粗放抚育(III)下的胸径。然而胸径差异只在生长的初期和中期较大,以后逐渐趋近,到30年生左右就基本一致了。

其他措施组合下的生长过程是这样确定的:根据10年的观测资料,一般抚育10年生时平均胸径为强度抚育的90%,粗放抚育的胸径仅为80%。带状整地10年生时的平均胸径为全垦整地的89%,穴垦整地10年生时的平均胸径为全垦整地的72%。这样可以得到不同组合下10年生以前的生长过程曲线。由于缺乏长期的具有可比性的观测资料和详细的档案资料,这些曲线在10年生后的变化趋势是根据作者的经验确定的。抚育措施好的林分在幼林期生长得快,但到龄以后生长速度减慢。抚育较差的林分,在幼林期由于杂草的竞争而生长缓慢,但到龄以后由于克服了杂草的竞争,后期的年生长速率反而超过抚育好的林分,至20—30年生时,其平均胸径相差不多。带垦、穴垦相对于全垦整地也有类似的关系,在带垦和穴垦的情况下,林分在幼林期生长缓慢,但到龄以后也能逐渐“追上来”,到20—30年生时接近全垦整地的平均胸径。基于这些经验,根据10年生胸径值落在以上三条基本曲线之间的点,用内插法确定以后的曲线变化。对于10年生胸径值落在三条基本曲线之外(低于最小值)的点,则根据以上经验判断出所求曲线与曲线III相会合的点,然后根据曲线间的差值来求得其生长过程曲线。SI=18时所得出的各曲线如图1所示。其余立地指数下的各生长过程曲线也用相同方法求得。

(二) 竞争的影响

和多数森林生长模型的构成方法一样,该模型也是在没有竞争情况下的生长过程(即自由生长过程)的基础上,考虑竞争的影响,而“修正”林木的生长过程。这里所说的“竞争”实际上是林冠的拥挤程度,即树冠竞争。树冠竞争对于生长的影响,用一个树冠影响系数*L*来衡量,它决定于树冠的重叠度。树冠重叠度指数的定义为:

$$L = \frac{\pi}{4S} \sum_{i=1}^{N/2} m_{z_i} \times d_{z_i}^2 \quad (4)$$

其中:*L*——树冠重叠度指数;*S*——林地面积;*i*——自然数(*i*=1,2,3,4,⋯);*m_{z_i}*——第

$z_i(\text{cm})$ 径级的林木株数, 即径级分布数; d_{z_i} ——第 $z_i(\text{cm})$ 径级林木的平均树冠直径 (m)。 L 的物理意义是假定树冠投影都是圆形的情况下, 树冠投影面积的总和与林地面积之比。

杉木的树冠直径与林木胸径之间有很好的相关关系^[4]:

$$d = 0.793\ 998\ 99 \times D^{0.506\ 3} \quad (5)$$

其中: d ——林木树冠直径(m); D ——林木胸径(cm)。

根据胸径的径级分布, 可以求出相应的树冠直径的分布, 从而计算出树冠重叠度。

年龄 t (年) 时的树冠影响系数 I , 定义为:

$$I_t = \frac{D_{t+1} - D_t}{D'_{t+1} - D'_t} \quad (6)$$

其中: $D_{t+1} - D_t$ ——年龄 t 时实际的平均胸径增长值; $D'_{t+1} - D'_t$ ——年龄 t 时理论的平均胸径增长值(没有树冠竞争时的胸径增长值)。

为了根据理论的胸径增长值预测实际增长值, 在相同立地条件下建立二种间伐强度试验区和一个对照区, 从这些区 17a 的观测资料中, 用尝试法找出适合影响系数 I 的变化值, 然后在 I 和 L 之间用非线性回归进行拟合。当 $L \leq 1.31$ 时, I 值取为 1^[4], 拟合结果如下(图 2):

$$I = \begin{cases} 1, & \text{当 } L \leq 1.31 \\ 0.008\ 2 + 2.011\ 53 \times L^{-2.530\ 85} & \text{当 } L > 1.31 \end{cases} \quad (r = 0.997\ 9) \quad (7)$$

需要说明一下, 间伐(通常在秋天进行)后的第一年, 由于原来受遮荫的叶子对新的环境有一个适应过程及部分枝叶受到损伤, 光合作用有所减弱。所以间伐后第一年的 I 值不是用公式 (7) 计算出来的, 而是取一个固定的值 0.8, 即尽管光照条件有所改善, 平均胸径的年增长率也只有理论增长率的 80%。

在模型中由于林木的高度是根据胸径用回归公式(2)计算的, 所以当树冠重叠度比较大而使胸径增长减小时, 相应地也会计算出林木高度增长的减小。而许多调查表明, 密度对杉木高生长的影响不明显。由于缺乏长期的观测资料, 采用了一种简化的假定, 即当 $1.31 \leq L \leq 2.0$ 时, 重叠度 L 对高生长没有影响, 当 $L > 2.0$ 时则重叠度对高生长有影响。这样可最大限度地缩小高生长的预测误差。在高生长不受 L 影响时, 根据胸径计算出来的树高必须加上一个修正值, 这个修正值是重叠度的函数并可用一组线性方程来拟合:

$$\Delta H = \begin{cases} C_1 + C_2 \times L, & \text{当 } 1.31 \leq L \leq 2.0 \\ C_1 + 2 \times C_2, & \text{当 } L > 2.0 \end{cases} \quad (8)$$

其中: ΔH ——树高的修正值; C_1, C_2 ——回归系数。

拟合的方法是: 取初植密度为 150—250 株/亩, 根据不加修正项的初步模型, 计算出逐年重叠度落在 1.31 和 2.0 之间的数据点, 求 ΔH 与 L 之间的回归方程^[8]。所得回归系数见表 2。

当 $L > 2.0$ 时, 由于不再加修正值 ΔH , 这意味着高生长不受重叠度的影响。修正值 ΔH

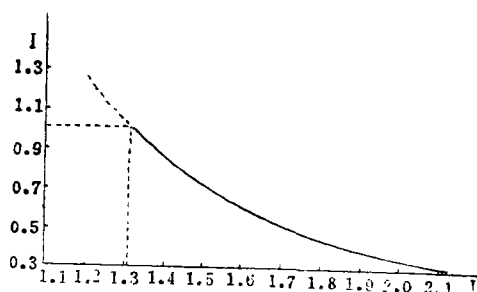


图 2 树冠影响系数 I 与重叠度 L 的关系

表2 公式(8)中的回归系数

SI	C ₁	C ₂	r
12	-2.591	2.026	0.9948
14	-3.114	2.420	0.9987
16	-3.354	2.603	0.9982
18	-5.80	4.465	0.9975
20	-6.149	4.743	0.9975

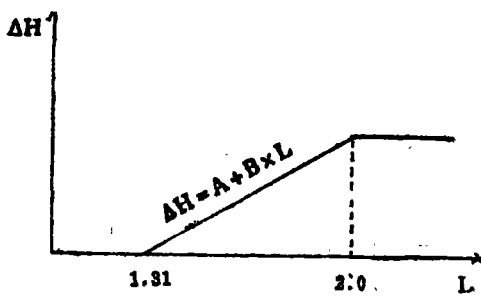


图3 高度修正值 ΔH 与重叠度 L 的关系

材的价格；径级分布是根据王松龄等调查的杉木径级分布表^[6]确定的，不同整地、抚育的投工数是根据福建省林业勘察设计院制定的“技术规定”（略）确定的。

该模型中规定最大间伐次数为4次。初次间伐时平均胸径必须大于7cm，因为小于7cm的间伐材是没有经济意义的。间伐强度按传统规定为株数的百分比。间伐方法为“去小留大”的下层间伐。基本生长过程表可适用于最长为35a的生长期，但考虑到对于带垦、穴垦没有长期的资料来证实其生长过程，所以在预测时轮伐期不应超过30a，否则可能会有较大的误差。整个模型的计算机流程图如图4所示。

与重叠度 L 的关系如图 3。

(三) 其他参数

该模型加进了一些经济分析参数，以便在利用该模型进行最优化计算时，可把材积收获作为目标函数，也可把经济收益作为目标函数。

根据江西省1986年公布实行的杉木不同径级木材的指导价(略)，确定大径材和小径

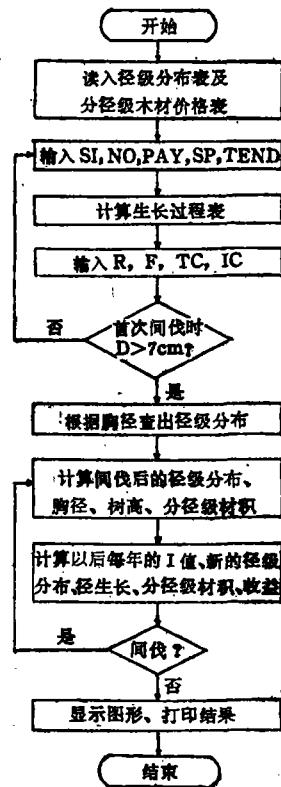


图4 CHIFIR的计算机流程概图

SI—立地指数，NO—初植密度，PAY—日工资，SP—整地方式，TEND—抚育方法，R—轮伐期，F—间伐次数，TC—间伐年龄，IC—间伐强度，I—树冠影响系数，D—胸径

二、模型的检验

用福建省杉木产区的调查材料，把记录项目比较完整、数据没有明显错误的71块样地的调查资料与模型的计算结果进行了二种检验：一是把预测值和实测值之间建立一个线性回归方程，用 F 检验来判断数据点对线性回归方程的偏离；二是用 U 检验，先求出预测值与实测

值之差，然后检验这些差值对于零的差异显著性。如果预测准确，则差值的数学期望应为零。

用第一种方法，胸径、树高和材积的预测值与实际值的相关性见图 5。当显著性水平 $\alpha = 0.05$ 时， $F_{\alpha} = 3.13$ ，这三组数据的 F 值分别为 4.60，0.60，1.87。故模型对树高的预测最为理想，其次是对材积的预测，而对胸径的预测可能存在微弱的系统偏差。

U 检验的显著性水平 α 也取 0.05， $U_{\alpha} = 1.96$ 。胸径、树高和材积数据的 U 值分别为 0.51，0.03 和 0.33。它们都小于 1.96，这说明不能推翻预测值与实际值之差值为零的假设（参数见表 3）。树高和胸径的预测精度均为 97.3%，材积的预测精度为 96.2%。胸径、树高的预测值和实际值之差的平均数分别为 -0.065 cm， -0.005 m。材积的估计采用一个相对值，即（预测材积 - 实际材积）/ 实际材积（%），它的平均数为 0.76%。可见模型的预测能够达到较高的精度。

三、模型的应用

该模型的程序用 BASIC 语言编成，运行非常容易，只要按屏幕显示的要求去回答（输入）参数，就能得到预测结果。结果可以采取图形显示形式，也可按固定格式打印出来。例如某林地的立地指数（SI）为 16，初植密度（NO）为 247 株/亩，整地方式为全垦（SP = 2），抚育方法为“一般抚育”（TEND = 2），一个劳动日在当地支付的工资（PAY）为 4 元，轮伐期（R）为 25 a，间伐次数为 2 次（F = 2），第一次间伐的时间为 10 年生（TC1 = 10），间伐强度为 30%（IC1 = 30），第二次间伐时间为 15 年生（TC2 = 15），间伐强度为 30%（IC2 = 30）。根据计算机模型的预测，25 年生皆伐时的胸径为 17.38 cm，树高为 13.32 m，材积为 20.70 m³。预测的各

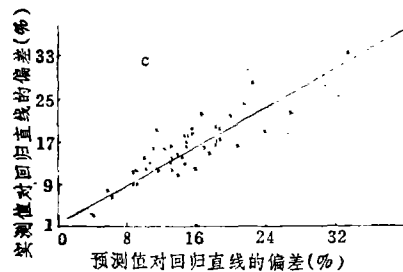
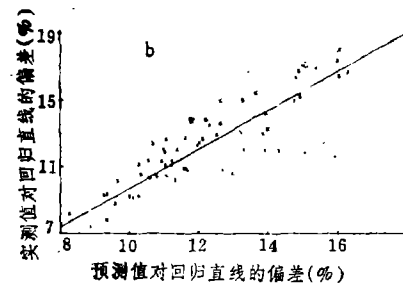
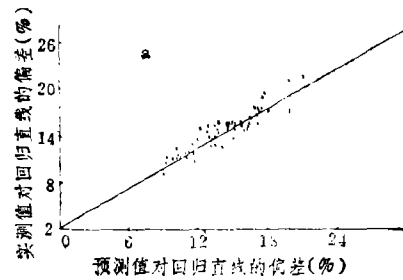


图 5 胸径(a)、树高(b)和材积(c)的实测值与预测值的对比

表 3

F 检验和 U 检验的参数

	F_{α}	F	协方差	平均误差 (%)	U_{α}	U	方差	相对误差 (%)
胸 径	3.13	4.60	6.57	0.45	1.96	0.51	1.062	2.7
树 高	3.13	0.60	4.58	0.04	1.96	0.03	1.219	2.7
材 积	3.13	1.87	28.74	0.82	1.96	0.33	19.108	3.8

注：显著性水平 $\alpha = 0.05$ ，样本数 $N = 71$ 。

项数据按固定格式打印出来。在该例中预测的25 a 总净收入为3 481.8元,平均年收入为139.3元,每立方米材积的净收入为147.1元。利用该模型,可以用穷举法很容易地进行各种最优化的计算。

参 考 文 献

- [1] 吴中伦等, 1985, 杉木, 中国林业出版社。
 [2] Belcher, D. W. et al., 1982, A Description of STEMS, The stand and tree evaluation and modeling system, USDA Forest Service, General Technical Report NC-79, St. Paul, Minnesota.
 [3] 森林经理研究室, 1955, 杉木人工林(实生)生长过程及立木材积表, 林业部林研所研究报告(营林部分), 科学出版社。
 [4] 许绍远, 1984, 浙江省杉木林抚育间伐研究, 浙江林学院学报, 1(1), 21-30。
 [5] 王松龄等, 1982, 湖南省武冈林场人工杉木林生产力及采伐作业, 论文集: 森林合理经营永续利用, 中国林业出版社。

A COMPUTER MODEL ON THE MANAGEMENT OF CHINESE FIR PLANTATIONS—CHIFIR

Xu Deying Sheng Weitong
(The Research Institute of Forestry CAF)

Abstract

The computer model on the management of Chinese Fir (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook) plantations is based on the growth tables, while the influences of site preparation, tending and thinning methods on tree growth were taken into consideration. The light competition was evaluated by a crown influence coefficient which was a function of crown overlapping index. The data of 71 surveyed plots were used to validate the model by *F*-test and *U*-test. The critical value of *F* was 3.13, while the *F*-values for diameter, height and volume were 4.60, 0.60 and 1.87 respectively. This means that only the diameter had a systematic tendency of being slightly underestimated by the model, taking $\alpha=0.05$. The *U*-values for the differences between predicted and practical diameter, height and volume values were 0.51, 0.03 and 0.33 respectively, taking $\alpha=0.05$ in the *U*-test. Therefore the hypothesis of the differences being zero was acceptable. The accuracy of prediction was regarded as good. The model is suitable for the middle region of Chinese fir distribution in China. The model can be used as a forest growth predictor. Because that it contains economic analysis and can also be used for the theoretical calculation of optimization for different combinations of managerial measures.

Key words: Chinese fir plantation; forest growth; forest management model