

马尾松人工林标准树高曲线模型的研究*

丁贵杰

(贵州农学院林学系, 贵阳 550025)

摘要 为准确预测林分各径阶高, 用试验林和固定样地资料, 分析了树高曲线与林龄、立地和密度的关系。结果表明树高曲线随林龄、立地指数的增大, 曲线向右上方移动, 而与林分密度无关。分析了国内外树高曲线模型研究状况, 针对研究中存在的问题, 采用再次参数化方法, 把立地指数、林龄引入树高曲线模型, 创建 13 个新模型。用 200 块标准地树高曲线资料, 采用迭代法分别进行了拟合。经比较, 选出有生物学意义扩展后 Richards 函数, 建立了贵州省马尾松人工林标准树高曲线模型(以林龄、立地指数和胸径为自变量)。经检验, 所建树高曲线预测方程可在研究区内应用。

关键词 马尾松; 人工林; 树高曲线; 数学模型

中图分类号 S758.5

一般树高曲线模型仅能反映树高随胸径的变化, 这种模型应用在模型系统和进行生长预测时有许多缺陷。为了与此类模型相区别, 本文把能反映树高随胸径、林龄和立地综合变化的树高曲线模型, 称为标准树高曲线模型。它在径阶材种出材量预测、经济评价、准确计算林分蓄积量和计算机模拟等方面有着不可缺少的重要作用, 因此, 已有学者从事了这项研究^[1-5], 但都有待完善的地方。为此, 本文利用密度试验、固定样地和大量临时标准地资料进行了此项研究。

1 资料收集

在贵州马尾松 (*Pinus massoniana*) 人工林主产区, 按不同立地类型, 调查面积在 667 m² 以上的标准地 249 块; 不同密度试验林和固定样地逐年观测小区累计 90 多个。主要测定项目有: 每木检尺、林分平均高、平均胸径、优势木树高 (5 株法) 和胸径, 并详细记载立地因子。资料分布情况见表 1。由表 1 可知, 本文所用资料能够全面覆盖研究区域。

收稿日期: 1996-08-03; 修回日期: 1996-11-18

* 八五国家重点科技攻关资助项目

作者简介: 丁贵杰, 男, 1960 年生, 副教授, 硕士

表 1 资料分布情况

Table 1 Data distribution condition

林龄 /a		立地指数 /m		优势高 /m		径阶 /cm		密度指数 株 \cdot hm $^{-2}$	
最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大
8	34	9.38	21.57	6.4	24.6	4	42	406	2 051

2 树高曲线变化规律研究

2.1 树高曲线的年变化

用贵州龙里林场哨上工区 14 指数级, 初植密度 3 300 株 \cdot hm $^{-2}$ 的马尾松密度试验林逐年 (林龄 8~10 a 和 17 a) 调查数据, 绘制各年树高曲线 (图 1) 可知, 在相同立地条件下, 同一径阶的树高随林龄的增加而提高, 呈现向上移位的规律。表明同一林分的树高曲线在不同时间点上不同。因此, 研究树高曲线模型应考虑时间因素。

2.2 立地对树高曲线的影响

在 249 块样地中, 选林龄相同 (20 a)、密度相似 (密度指数 740~940 株 \cdot hm $^{-2}$), 而立

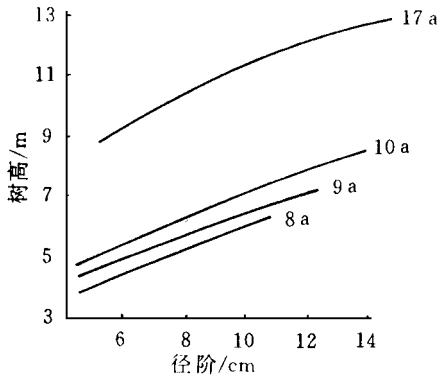


图 1 不同年龄的树高曲线

Fig. 1 Height curve in different stand ages

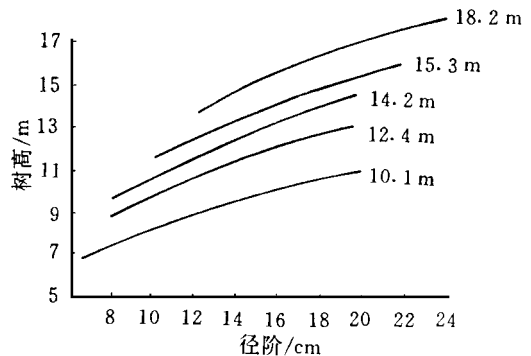


图 2 不同立地的树高曲线

Fig. 1 Height curve in different sites

地不同 ($SI = 10.10 \sim 18.18$) 的资料, 绘制树高曲线 (图 2) 得知, 树高曲线受立地影响很大, 相同径阶树高值, 随立地指数增加而增大, 树高曲线有向上移动的规律。说明不同立地条件下的树高曲线及其变化规律是不同的。

2.3 树高曲线与密度的关系

密度与林分平均高、优势高的关系研究报道较多, 但与树高曲线的关系研究报道很少, 为此, 用相同林龄 (17 a), 相同立地 ($SI = 14.53$), 密度不同的马尾松密度试验林 (初植密度分别为: 3 333, 4 440, 6 667 和 10 000 株 \cdot hm $^{-2}$, 现存密度: 2 835, 3 675, 4 620 和 7 005 株 \cdot hm $^{-2}$) 资料^[6]进行了这方面研究。不同密度试验林的各径阶高见表 2。由表 2 可知, 密度对树高曲线的影响不明显, 也无规律性。为证实这一结论, 在 249 块人工林调查标准地中, 选

择林龄相同 (20 a), 立地条件相似 ($SI = 16.0 \sim 16.3$), 密度不同的 4 块样地又进行了此项研究, 得出了相同结论, 说明结论可靠。因此, 在研究树高曲线变化规律时, 可不考虑林分密度的影响

表 2 不同造林密度的林分各径阶高

Table 2 Height of stand in different planting density

造林密度 株 · hm ⁻²	各 径 阶 树 高 /m							
	4	6	8	10	12	14	16	18
3 333	7.35	8.83	10.00	11.00	11.73	12.23	12.67	12.97
4 440	7.50	8.90	10.15	11.30	11.80	12.30	12.70	12.90
6 667	7.13	8.83	10.10	11.10	11.80	12.40	12.70	12.85
10 000	7.20	9.00	10.30	11.20	11.90	12.20	12.60	

3 树高曲线模型研究情况简述

已有学者对树高曲线模型进行了研究, 如李炳铁、何美成在文献 [1, 2] 中创建了若干个树高曲线模型, 其中分别以 (1), (2) 式最优, 成子纯等人^[3]也选用 4 个相似模型作比较, 最后确认 (3) 式最优。这些研究, 为进一步深入研究树高曲线模型奠定了基础, 但均有待完善的地方, 如: 模型属经验模型, 缺乏生物学意义, 其表现: 不是当 $d \rightarrow 0$ 时, 无解或解无生物学意义, 就是当 $d \rightarrow \infty$ 时, 无上限值, 或不能反映出树高曲线随立地而变化的特性来; 其次所选模型用来模拟树高曲线欠佳。

$$H_i = C_0 + C_1 \log(A) + C_2 \log(d_i) + C_3 \log(A) \cdot \log(d_i) \quad (1)$$

$$\log(H_i) = C_0 + C_1 / A + C_2 / d_i + C_3 / (A \times d_i) \quad (2)$$

$$H_i = 1.3 + d_i / (C_0 + C_1 A + C_2 A^2 + C_3 d_i + C_4 d_i^2 + C_5 A \times d_i) \quad (3)$$

国外 Bruce 等人所创建或引用的模型^[4-5], 同样存在着上述问题

4 标准树高曲线预测模型的建立

4.1 模型选择和结构研究

由树高曲线变化规律研究得知, 模型与林龄和立地关系密切, 因此, 要创建一个好的树高曲线模型, 除考虑径阶变化外, 还要考虑时间和立地因素。此外, 模型要有生物学意义, 要能体现当胸径 (或相对直径) 趋于 "0" 时, 高应趋于 1.3, 当胸径、林龄和立地指数值增大时, 曲线应向右上方抬升, 且当胸径、林龄和立地指数值大到一定限度时, 曲线应趋于平缓, 即有一个上限值。综合上述考虑, 选择了幂函数 (4)、Richards 函数 (5) 作为基本模型

$$H = 1.3 + C_0 d_i^{C_1} \quad (4)$$

$$H = 1.3 + C_0 (1 - e^{-C_2 d_i})^{1/(1-C_2)} \quad (5)$$

为确保模型结构合理, 并能准确反映不同林龄、不同立地条件树高曲线变化规律, 在确定各式中参数与林龄 (A)、立地指数 (SI)、林分平均优势高 (H_0) 关系前, 先用 24 块中的每一块标准地的树高曲线资料, 分别进行模拟, 然后采用再次参数化方法, 研究 (4)、(5) 式中的 C_i ($i = 0, 1, 2$) 与 A 、 SI 和 H_0 关系, 结果表明, (4) 式中的 C_0 、 C_1 与 H_0 关系密切, (5) 式中的 C_0 、 C_1

分别与 A 、 SI 和 H_0 关系密切, 而 C_2 与 A 、 SI 、 H_0 关系不明显。其中: C_0 、 C_1 与 A 、 SI 、 H_0 的关系用幂函数和双曲线描述较好。根据表达式的不同组合形式创建了 13 种具有生物学意义的差分微分方程

4.2 模型求解和比较

用 200 块人工林标准地的树高曲线资料 (1 682 对 D-H 数据), 采用 Marquardt 迭代法分别对 13 种模型进行了拟合。经比较, 以 (6) 式最优, 主要拟合结果见表 3

$$H_i = 1.3 + C_0 SI^{C_1} A^{C_2} \{1 - e^{[(C_3 + C_4 / SI) D_i]^{1/(1 - C_5)}}\} \quad (6)$$

式中: H_i 为第 i 径阶高, D_i 为第 i 径阶的径阶中值, C_0 、 C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 、 C_5 为待定参数。

表 3 主要计算结果

Table 3 Main calculated results

参 数	数 值	复相关系数	剩余标准差	相对误差 %	误差分布 %
C_0	0.290 022			< 5	80.08
C_1	0.765 837			5.1~ 10.0	13.50
C_2	0.621 874	0.898 0	0.922 7	10.1~ 15.0	4.04
C_3	- 0.107 165			15.1~ 20.0	1.61
C_4	0.233 187			> 20.0	0.77
C_5	- 0.212 524				

由模型 (6) 可知, 当 D_i 趋于“0”时, 树高趋于 1.3, 而且有一个与立地和林龄有关的上限极限值 $H_{max} = 1.3 + 0.328 02 SI^{0.740 84} A^{0.621 87}$ 。这符合不同立地、林龄应有不同树高极限值的生物学规律。从计算结果还可知, 该模型还客观地反应了: 当 A (或 SI) 一定, 同一胸径所对应的上限极限值是随 SI (或 A) 值的增大而增大的规律; H_i 受 SI 的影响大于受 A 的影响。

综上所述, 选择模型 (6) 作为贵州省马尾松人工林标准树高曲线生长预测模型

5 模型检验

5.1 拟合精度和方程系统误差检验

经方差分析, 预测方程达极显著水平。从复相关系数 (0.898 0)、剩余标准差 (0.922 7) 和相对误差分布情况看, 模型的拟合精度较高

为进一步检验方程是否有系统偏差, 又分别作了下列 2 种自检。一是通过建立以残差 X 为因变量, 以胸径 D 、林龄 A 和立地指数 SI 为自变量的一元和多元回归多项式, 并对各多项式进行回归显著性检验来说明原模型的预测效果和是否有系统偏差。所建的回归方程形式分别为:

$$X = C_0 + C_1 \times D + C_2 \times D^2 + C_3 \times D^3 \quad (7)$$

$$X = C_0 + C_1 \times A + C_2 \times A^2 + C_3 \times A^3 \quad (8)$$

$$X = C_0 + C_1 \times SI + C_2 \times SI^2 + C_3 \times SI^3 \quad (9)$$

$$X = C_0 + C_1 D + C_2 SI + C_3 A + C_4 D \times SI + C_5 D \times A + C_6 SI \times A + D^2 + C_8 SI^2 + C_9 A^2 \quad (10)$$

各方程经 F 检验, 回归多项式均不显著, 表明 X 是随机变量, 说明所建预测方程无系统偏差, 模型选择是正确的。二是进行残差分析, 其方法是: 把检测样本的径阶高实测值作为 Y , 把该检测样本的自变量代入树高曲线方程所求得的径阶高作为 X , 进行一元线性回归分析, 即假定 Y 与

X 存在下列关系:

$$Y = a + bX \quad (11)$$

判断所建树高曲线方程是否有系统误差,其关键是看 a, b 是否遵循 $a = 0, b = 1$, 为此可作假设 $H_0: a = 0, b = 1$, 然后检验该假设是否成立,若零假设成立,表明所建方程无系统误差。

经 49 块未参加建模标准地资料的实际检验,结果 $F = 1.91 < F_{0.05} = 3.02$, 进一步说明所建方程无系统误差。

5.2 适用性检验

用未参加建模的 49 块标准地资料 (402 对 D-H 数据) 进行了适用性检验, 结果见表 4

表 4 树高曲线方程检验结果

Table 4 Test result of diameter-height curve equation

剩余标准差	相对误差分布 %				
	< 5.0	5.1~ 10.0	10.1~ 15.0	15.1~ 20.0	> 20.0
0.865 3	76.84	16.76	4.52	0.94	0.94

表 4 表明, 检测样本剩余标准差和相对误差都较小, 有 93.6% 的样本预测精度在 90% 以上, 其预测精度可满足应用单位对精度的要求, 说明所建预测方程可在研究区内应用。

6 结论

6.1 Richards 函数不但是模拟林分各项因子 (树高、胸径和蓄积等) 生长过程的理想模型, 也是模拟树高曲线的理想模型, 而且仍然保留了它具有良好生物学意义的特性

6.2 树高曲线与林龄和立地有着密切的关系, 而与林分密度无明显规律性。同一立地上的林分, 在不同年龄阶段, 树高曲线不同; 林龄和密度相同, 而立地条件不同的林分, 其树高曲线也不同。树高曲线与林龄和立地的变化规律是: 随着林龄或立地指数值的增加, 相同径级的树高也随之增大, 树高曲线向上抬高

6.3 为了建立一个好的标准树高曲线预测方程, 需认真研究模型结构, 准确把握基本模型中各参数与立地指数、林龄及林分平均优势高的关系。

6.4 为更好地描述树高曲线随立地、林龄的变化关系, 对 Richards 函数作了较深入的研究, 找出了函数中各参数随立地指数、林龄及优势高变化的主要关系。在分析基础上, 对函数作了扩展, 使模型能更加客观地反映树高曲线变化过程。采用迭代法准确求解出方程中各参数, 所建立的标准树高曲线预测模型, 经检验模拟精度和预测精度均很高。因此, 所创建的马尾松人工林标准树高曲线预测模型可在贵州省应用。

参 考 文 献

- 1 李炳铁, 何美成. 关于林分结构预测方法的初步探讨. 林业资源管理, 1986, (4): 36~ 47
- 2 何美成, 李炳铁. 杉木林分结构及其出材量预测方法. 林业资源管理, 1987, (3): 22~ 31
- 3 成子纯, 陈礼, 王广兴, 等. 马尾松经营体系模拟系统. 北京: 中国林业出版社, 1991: 76
- 4 Bruce E B, William D P. Projecting stand tables: a comparison of weibull diameter distribution method, a percentile-based projection method, and a basal area growth projection method. *For. Sci.*, 1990, 36 (2): 413~ 424

- 5 惠刚盈, 盛炜彤, Gadow K V, 等. 杉木人工林收获模型系统的研究. 林业科学研究, 1994, 7(4): 353~ 358
- 6 周政贤. 马尾松造林密度试验报告. 贵州农学院丛刊, 1984, (4): 32~ 46

Ding Guijie(Guizhou Agricultural College, Guiyang 550025, PRC). **Study on Standard Height Curve Model of Masson Pine Planted Forests.** *J Zhejiang For Coll*, 1997, **14** (3): 225~ 230

Abstract In order to forecast accurately height of each diameter class, the relationship between height curve, stand age, site and stand density was analysed using data of sample stand and permanent sample plot. The results indicated close relations between height curve and stand age, site. Height curve moved up-right with the increase of stand age and site, and was not related to stand density. With a view to solving existing problems, the author introduced the site and stand age into the height curve model, establishing 13 new height curve models by means of double regression. Height curve models were imitated via iterative method using data of 200 sample plots. By comparison, Richards function with biology meaning was selected as the standard model, and the standard height curve equation of masson pine plantations in Guizhou was suggested. The forecast equation proved applicable in the regions.

Key words Masson pine (*Pinus massoniana*); planted forests; height curve; mathematical models