

相对树高曲线研究

谢哲根 刘安兴 陈学堂 陈安统 许祖福
(浙江省林业勘察设计院, 杭州 310004) (浙江省临海市林场)

摘要 研究了杉木人工林相对树高曲线基本模型及参数扩展模型,提高了相对树高曲线模型估测精度,初步探讨了树高曲线与林分特征因子间的关系以及“标准树高曲线”设想的局限性。

关键词 相对直径;相对树高;相对树高曲线;径级;树高;数学模型

中图分类号 S758. 54

应用二元立木材积表测定林分蓄积的中介环节是测定径阶树高。径阶树高测定在林业生产及测树学研究中具有重要地位。径阶树高一般通过树高曲线求得,标准地调查时测定每个径阶数株至数十株立木树高,不仅野外测高工作量大,还需徒手绘制或数式拟合法从众多的经验方程中选出树高曲线,内业工作也是繁琐的。这些都妨碍二元立木材积表在林业生产中应用。为简化树高测定和计算工作,有些学者曾研究了林分径阶高估测课题,如日本有“标准树高曲线”设想,即“按照树高曲线随林分和时间而变化的规律性,可以预先搞出若干类型化的树高曲线组的树高曲线群,从中选择适合各林分时间的标准树高曲线。”^[1]我国骆期邦等应用相对树高曲线法^[2]。两者都希望通过研制通用的曲线,以求“一劳永逸”之效。从简单性、可行性及估测效果等方面判断,可能相对树高曲线法估测林分径阶高更具有深远意义。本文进一步研究相对树高曲线,试图提高相对树高曲线模型估测林分径阶高精度,为推进二元立木材积表应用于伐区作业设计调查、森林资源调查等林业生产实践创造条件。

1 标准地资料收集与整理

1.1 标准地资料收集

收集了浙江省临海市林场 21 块杉木 (*Cunninghamia lanceolata*) 人工同龄纯林固定标准地资料,复测 1~ 3 次不等,共有 43 块次测定。标准地面积 0.08 hm²。标准地内立木株数 108 株以上。标准地每木检尺,每径阶选 5 株以上用测杆测高。43 块次标准地年龄范围 17~ 27 a, 平均胸径范围 6.5~ 18.0 cm,平均树高范围 4.3~ 12.3 m。

收稿日期: 1997-04-29

第 1 作者简介: 谢哲根,男,1965 年生,工程师,硕士

©1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

1.2 树高曲线拟合

因为各标准地的树高曲线变化很大,必须同时用多个方程拟合试验^[3],为每个标准地选择最适当的树高曲线方程。本文搜集了 12个树高曲线经验方程,用非线性最小二乘法给每块标准地都拟合了 12个树高曲线式,从中为每块标准地选择出最佳树高曲线模型。选择最佳树高曲线模型标准是:①树高依胸径关系规律要求树高曲线形状为单调递增,向下凹,随胸径增大,有渐近线 ②残差分布是随机的,保证各径阶树高估测值无系统偏差。③相关指数尽量大 ①和②标准优先于③标准。选择出的最佳树高曲线式类型有式(1)~(6):

$$H = \omega + c_1 \ln(D) + c_2 \ln^2(D) \quad (1)$$

$$H = C_0 D^c \quad (2)$$

$$H = \omega + c_1 D + c_2 D^2 \quad (3)$$

$$H = D^2 / (\omega + c_1 D)^2 \quad (4)$$

$$H = \omega + c_1 \ln(D) \quad (5)$$

$$H = D / (\omega + c_1 D) \quad (6)$$

式(1)~(6)中, H 为树高 /m, D 为胸径 /cm, \ln 为自然对数, $\omega \sim c_2$ 为回归系数。

利用各标准地最佳树高曲线求算的对应某直径的树高就是树高真值。某直径及其对应的树高真值作为下文相对树高曲线研究的基础数据

2 相对树高曲线模型研建

某直径比平均直径即为相对直径。某树高比平均高即为相对树高。相对树高依相对直径的非线性关系式(9)即为相对树高曲线。相对树高曲线可用作估测林分径阶高,即式(10)

$$R_D = D / \bar{D} \quad (7)$$

$$R_H = H / \bar{H} \quad (8)$$

$$R_h = f(R_D) \quad (9)$$

$$F_h = \bar{H} R_h = - H f(D / \bar{D}) \quad (10)$$

式(7)~(10)中, R_D 为相对直径, D 为直径 /cm, \bar{D} 为林分平均直径 /cm, R_H 为相对树高, H 为对应直径 D 的树高 /m, \bar{H} 为林分平均高 /m, R_h 为从经验回归方程中求得的相对树高估测值, F_h 为用相对树高曲线法估测的径阶树高

相对树高曲线法估测林分径阶高的关键是建立相对树高曲线方程式,这就是本文的重点。为建立无偏性、高精度的相对树高曲线模型,采用各径阶的相对树高估测值残差率分布、平均残差率和平均绝对残差率这些指标评价模型估测效果

$$E_{ij} = 100(R_{hij} - R_{Hij}) / R_{Hij} \quad (11)$$

$$EA_j = \sum_{i=1}^n E_{ij} / n \quad (12)$$

$$EB_j = \sum_{i=1}^n |E_{ij}| / n \quad (13)$$

式(11)~(13)中, E_{ij} 为 i 标准地 j 径阶的相对树高估测值残差率 % , EA_j 为 j 径阶的平均残差率 % , EB_j 为 j 径阶的平均绝对残差率 % , n 为标准地数, R_{hij} 为 i 标准地 j 径阶的相对树高估测值, R_{Hij} 为 i 标准地 j 径阶的相对树高真值。

2.1 相对树高曲线基本模型

可用多种表达式尝试拟合相对树高依相对直径的关系。骆期邦等用式(14)^[2]。本文还用其他表达式拟合,其中式(15)较好。式(14)和(15)中符号同前

$$R_h = c_1 R_D^{c_2} \tag{14}$$

$$R_h = 1 + c_1 \ln(R_D) + c_2 \ln^2(R_D) \tag{15}$$

对每块标准地的相对直径和相对树高数据分别用式(14)和(15)拟合,得到每个标准地的相对树高曲线回归式。用回归式计算相对树高估测值的残差率情况见表1和表2

表1 标准地数随各相对直径的相对高估测值残差率的分布

Table 1 Lot distribution according to predicted relative tree height error rate of each relative diameter

公式	残差率等级 %	相 对 直 径												
		0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
(14)	[8, 20]	17												
	[2, 8)	5	21											
	(- 2, 2)	21	22	43	29	24	22	22	22	24	28	43	43	43
	(- 8, - 2]				14	19	21	21	21	19	15			
(15)	[2, 8)		7	6										
	(- 2, 2)	43	35	36	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43
	(- 8, - 2]		1	1										
标准地数合计		43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43

表2 各相对直径的相对高估测值平均残差率和平均绝对残差率

Table 2 Average error rate and average absolute error rate of predicted relative tree height of each relative diameter

残差率 %	公 式	相 对 直 径												
		0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
平均残差率	(14)	6.42	2.05	- 0.13	- 1.27	- 1.83	- 2.03	- 1.99	- 1.80	- 1.49	- 1.10	- 0.66	- 0.16	0.36
	(15)	0.03	0.08	0.05	0.02						0.01	0.01	0.01	0.01
平均绝对残差率	(14)	6.42	2.05	0.53	1.27	1.83	2.03	1.99	1.80	1.49	1.10	0.66	0.17	0.36
	(15)	0.42	1.10	1.01	0.72	0.42	0.18		0.12	0.18	0.19	0.15	0.09	0.01

从表1可见,相对直径0.7~1.3处(此相对直径范围为同龄林林木株数及材积分布密集区),式(14)使近半数标准地的相对树高估测值系统偏小,残差率偏幅-8%~-2%,而式(15)的相对树高估测值残差率全部集中在-2%~2%以内。再从表2的平均残差率可见,式(14)存在系统偏差现象,式(15)接近无偏。从表2的平均绝对残差率可见,式(15)比式(14)成倍减小,因此式(15)的估测精度高。

从表1~2的分析可得出,式(15)能拟合全部标准地的相对树高依相对直径关系,估测效果很好,不仅接近无偏,并且精度高;式(15)满足相对直径等于1时相对树高也等于1的约束条件。因此式(15)可作为相对树高曲线的基本模型,各标准地的相对树高曲线可统一用经验式(15)表达。各标准地的常规树高曲线难以用统一的一个经验式描述。从复测固定标准地分析,即使同一固定标准地,前后2次测定也可能树高曲线形状发生变化,难以用同一个公式拟合。从存在统一的基本经验式看,相对树高曲线有突出的优点。

2.2 相对树高曲线参数扩展模型

应用模型参数扩展方法可以引入一些新的重要变量,提高模型估测精度。分析各标准地相对树高曲线式(15)的回归系数, c_1 的变化范围为0.34~0.90, c_2 变化范围为-0.04~0.29。式(15)中 c_1 和 c_2 取值决定了相对树高曲线陡峭程度和弯曲程度,即相对树高曲线可由参数 c_1 和 c_2 表征。所以需进一步研究 c_1 和 c_2 变化规律,找出影响它们的因子。

首先分析 c_1 和 c_2 分别与林分特征因子及特征因子组合间是否存在某种相关关系。林分特征因子有年龄、平均胸径、平均树高、优势高、株数密度以及断面积密度。经散点图判断和逐步回归分析,没有发现存在显著的非线性相关关系或线性相关关系,相关指数小于0.4,所以无法将林分特征因子作为自变量引入相对树高曲线。

其次分析 c_1 和 c_2 分别与相对直径取1.2时的相对树高 $R_{H1.2}$ 间是否存在某种相关关系。经散点图判断及回归分析, c_1 与 $R_{H1.2}$ 间存在极显著的线性相关关系, c_2 与 $R_{H1.2}$ 间存在相关关系,并且主要与标准地的树高曲线式类型有关。将 $R_{H1.2}$ 作为自变量引入参数 c_1 ,得到式(16):

$$R_h = 1 + (b_0 + b_1 R_{H1.2}) \ln(R_D) + b_2 \ln^2(R_D) \quad (16)$$

式(16)中, $R_{H1.2}$ 为相对直径取值1.2时的相对树高,其余同前。

引入变量 $R_{H1.2}$ 是有意义的。第一,有望进一步提高相对树高曲线模型估测精度,为相对树高估测方法多提供一种选择方案。第二,相对于常规树高曲线法,外业工作量减少。常规树高曲线一般需测定30株左右立木树高,并且要求每个径阶都要选取。根据测树学知识,一般测定某一直径平均高只需测定此直径立木3~5株,所以,选择接近相对直径为1.2的立木3~5株测高,求平均值除以林分平均高便可求得 $R_{H1.2}$ 。第三,引入 $R_{H1.2}$ 不仅适用于同龄林,而且适用于异龄林。第四,有利于深入研究相对树高曲线和树高曲线。

参数 c_1 和 c_2 表征相对树高曲线,相对树高曲线与树高曲线间是对应关系。所以,由参数 c_1 和 c_2 变化规律可推知树高曲线有关规律。通过以上模型参数扩展研究,可进一步得出:经营状态下同龄林分的树高曲线与林分因子间可能不存在规律性关系,树高曲线由其本身决定。

定量表示立地条件的地位指数能否引入相对树高曲线以及它与相对树高曲线及树高曲线间的关系有待继续研究。

2.3 拟合结果及评价

将式(14)~(16)作为相对树高曲线式,全部标准地资料作为样本,用非线性最小二乘法拟合估计参数,得到式(17)~(19)。式中符号同前。利用式(17)~(19)作为相对树高估测模型,估测值的残差率情况见表3和表4。

$$R_h = 0.9826404 R_D^{0.6094341} \quad \text{相关指数 } 0.98173 \quad (17)$$

$$R_h = 1 + 0.5865335 \ln(R_D) + 0.09013207 \ln^2(R_D) \quad \text{相关指数 } 0.98255 \quad (18)$$

$$R_h = 1 - (3.9647 - 4.100599 R_{H1.2}) \ln(R_D) + 0.09013467 \ln^2(R_D) \quad \text{相关指数 } 0.99295 \quad (19)$$

从表3标准地随残差率等级分布及表4平均残差率可见,用式(17)估测,相对直径小于0.5时相对树高估测值残差率-23%~38%,幅度最大,0.7~1.2相对直径处相对树高估测值系统偏小,特别是相对直径0.8~1.2的残差率在-8%~-2%范围内的标准地占有很大比例。用式(18)估测,标准地随残差率等级分布基本上是随机的,平均残差率和相对直径0.8~1.2时相对树高估测值平均绝对残差率比式(17)成倍地减小,所以式(18)估测效果比式(17)

好。用式(19)估测,相对直径小于0.5的相对树高估测值残差率 $-25\% \sim 25\%$,幅度最小,相对直径0.7~1.4时各标准地的相对树高估测值残差率几乎全部在 $-2\% \sim 2\%$ 范围内,平均残差率及平均绝对残差率比式(18)估测时进一步成倍地减小,所以式(19)估测效果进一步提高。

表3 标准地数随各相对直径的相对高估测值残差率的分布

Table 3 Lot distribution according to predicted relative tree height error rate of each relative diameter

公式	残差率等级 %	相 对 直 径													
		0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	
(17)	[8, 38]	17	11	4									1	6	
	[2, 8]	10	12	12	7	2				3	8	11	15	15	
	(-2, 2)	2	6	11	17	22	25	43	31	27	22	19	15	12	
	(-8, -2]	6	7	11	16	19	18		12	13	13	13	11	9	
	(-23, -8]	8	7	5	3								1	1	
(18)	[8, 33]	15	11	5	1								1	1	
	[2, 8]	7	10	14	12	10	1		1	7	9	11	13	15	
	(-2, 2)	5	7	9	18	25	40	43	41	29	23	19	16	15	
	(-8, -2]	4	6	10	11	8	2		1	7	1	13	12	11	
	(-26, -8]	12	9	5	1								1	1	
(19)	[8, 25]	17	9												
	[2, 8]	2	10	17	11								4	5	
	(-2, 2)	2	2	5	31	43	43	43	43	43	43	42	33	31	
	(-8, -2]	8	17	21	1							1	6	7	
	(-25, -8]	14	5												
标准地数合计		43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	

表4 各相对直径的相对高估测值平均残差率和平均绝对残差率

Table 4 Average error rate and average absolute error rate of predicted relative tree height of each relative diameter

残差率 %	公式	相 对 直 径													
		0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	
平均残差率	(17)	6.62	2.05	-0.17	-1.27	-1.76	-1.87	-1.74	-1.44	-1.03	-0.54	-0.01	0.60	1.22	
	(18)	2.08	0.89	0.40	0.17	0.06	0.01		0.01	0.04	0.07	0.12	0.17	0.22	
	(19)	0.88	0.30	0.12	0.05	0.02				0.01	0.02	0.04	0.06	0.09	
平均绝对残差率	(17)	13.49	7.81	4.93	3.23	2.32	1.88	1.74	1.50	1.68	2.08	2.63	3.25	3.93	
	(18)	11.89	7.56	5.00	3.22	1.90	0.86		0.75	1.42	2.05	2.63	3.18	3.71	
	(19)	11.43	6.28	3.43	1.76	0.81	0.27		0.17	0.36	0.59	0.88	1.19	1.57	

根据森林分子结构规律,同龄林森林分子中以相对直径1.0为中心,越向两端的林木株数占总株数比例越小,并且低径阶的蓄积比例比株数比例更小,所以相对直径0.7以上特别是1.0附近的相对树高估测效果是评价相对树高曲线模型优劣的主要依据。从以上分析可见,相对树高曲线式(18)和式(19)估测效果是比较好的。一般情况下选用式(18),如果要求进一步提高估测精度,那么标准地调查时除测定林分平均高外,还需测定相对直径1.2时林木平均高,用式(19)估测各径阶相对树高。

3 结论

本文利用计算机对标准地数据做了大量的整理和计算工作,较深入地探讨了相对树高曲线,可得出如下结论

3.1 用相对树高曲线估测林分径阶树高,对于一个林分总体,大于平均直径与小于平均直径的径阶高估测误差具互补性^[2]。如果进一步提高相对树高曲线模型估测精度,消除系统偏差和互补性,那么相对树高曲线模型估测径阶高方法将更加完善

3.2 相对树高曲线基本式可用统一的经验式(15)表达,表达式简单,估测精度较高,满足相对直径等于1时相对树高也等于1的约束条件。各标准地相对树高曲线陡峭度和弯曲度的差别体现在参数 c_1 和 c_2 变化上,可以把相对树高曲线研究转化为对式(15)参数变化规律研究,常规树高曲线可能不一定有简单统一的表达式。因此,相对树高曲线更易于研究。

3.3 通过参数扩展法引入新自变量可有效地提高模型估测精度。很遗憾,林分因子与式(15)参数间相关关系不显著,难以将林分因子作为自变量引入相对树高曲线。引入另一点的相对树高作为自变量,相对树高曲线估测精度进一步提高,定量表示立地条件的地位指数能否引入相对树高曲线有待继续研究。

3.4 用相对树高曲线法估测径阶高,仅已知林分平均高情况下,可应用相对树高曲线基本式(15)。如果要求估测精度更高,可应用参数扩展结构式(16),虽然增加了另一直径的树高测定工作,但增加的工作量不多,与常规树高曲线的野外测高和内业计算工作相比工作量是大大减少的。

3.5 与相对树高曲线法估测径阶高相比,“标准树高曲线”设想可能有一定的局限性。首先,相对树高曲线法估测的林分径阶高是林分平均高与相对树高之积,是以林分平均高为基础的,如果平均高量测准确,那么径阶高估测比较安全可靠。“标准树高曲线”没有平均树高的基础限定作用,没有充分利用平均高这个已知信息。其次,相对树高曲线都通过相对直径和相对树高为(1,1)点,各林分相对树高曲线只有陡峭度和弯曲度的差别;各林分树高曲线不仅有陡峭度和弯曲度的差别,而且不通过共同点,有位置高低的差别,所以各林分树高曲线形状复杂多变,用统一的基本式表达所有标准地的树高曲线是否合理值得探讨。再次,“标准树高曲线”设想的依据是树高曲线随林分和时间变化规律,但是,树高曲线与林分因子间的规律性关系目前还不明朗。本研究初步结论是经营状态下同龄林分的树高曲线与林分因子间可能不存在规律性关系。定量表示立地条件的地位指数与相对树高曲线及树高曲线间的关系有待继续研究。

参 考 文 献

- 1 大隅真一,北村昌美,菅原聪,等著.于璞和,李裕国,田锦锡,译.森林计测学.北京:中国林业出版社,1984.191-193
- 2 骆期邦,吴志德.相对树高曲线模型的研究和应用.中南林业调查规划,1995,14(2):1-3
- 3 北京林学院主编.测树学.北京:中国林业出版社,1984.84-84

Xie Zhegen (Zhejiang Surveying and Designing Institute of Forestry, Hangzhou 310004,

Height Models. *Journal of Zhejiang Forestry College*, 1998, **15**(1): 69~ 75

Abstract Simple models and expanded parameter models of relative tree height of *Cunninghamia lanceolata* even stand were studied. The model predict precision of relative tree height was improved. The relation between models of tree height and stand characteristic factors was analyzed.

Key words relative diameter; relative tree height; relative tree height model; diameter class; tree height; mathematical models

1997年我院有 9项(次)成果获各级科技进步奖

1. 范义荣副教授主持完成的“黄山松良种选育与群体遗传规律研究”获 1997年浙江省林业厅科技进步二等奖,又获 1997年度林业部科技进步三等奖。
2. 吴鸿副教授主持完成的“浙江百山祖自然保护区昆虫区系研究”获 1997年度林业部科技进步三等奖;浙江省教委科技进步二等奖;浙江省林业厅科技进步一等奖
3. 马灵飞副教授为第 4完成人的“低浆竹林集约栽培模式研究”获林业部科技进步二等奖。
4. 孙鸿有教授主持完成的“杉木幼林套种大豆良种选育的研究”获浙江省科技进步优秀奖。
5. 姜志宏副教授主持完成的“火管式加热木材干燥设备的研制”获浙江省林业厅科技进步一等奖。
6. 朱曦教授主持完成的“永康市陆生脊椎动物资源调查研究”获浙江省林业厅科技进步三等奖。

(凌申坤)