

浙江省杉木实生林多形 地位指数曲线模型

郑勇平 曾建福 汪和木 石柏林

(浙江林学院, 临安 311300)

(庆元县林业局)

於琼花

(临安县玲珑区林业站)

摘要 利用在浙江省各地收集的65株20年生以上杉木实生林详测标准地优势木解析木资料,建立了优势高生长 Richards 模型。用参数预估法编制了浙江省杉木实生林多形地位指数表。检验结果表明,各指数级曲线平均拟合精度为0.41,预报精度为0.55。与浙江省杉木实生林单形地位指数表相比,精度明显提高。

关键词 杉木; 地位级; 建立模型; Richards 函数; 浙江省
中图分类号 S791.270.6

1 概述

地位指数是评价森林立地质量的一种指标。由于它具有准确稳定、明确直观的性质而得到广泛的应用。自70年代以来,我国林业工作者编制了大量的分树种、分地区的地位指数表,在森林经营工作中发挥了重大的作用。尤其是对杉木(*Cunninghamia lanceolata* Hook.)这一重要的用材树种,这方面的研究就更多。但是以往编制的大都是杉木的单形地位指数曲线。它假设在各地地位指数级立地上树高生长曲线具有相同的型式,事实上这是与树高的实际生长规律有所偏离的。为了克服这一不足,近年来出现了多形地位指数的研究,它能精确而又客观地反映不同指数级的树高生长规律。由于这种优越性,目前多形地位指数曲线簇越来越受到人们的重视。

任何一株树木的高生长过程都可表示为年龄 t 的函数: $H = f(t, B)$ 。其中 $B = (b_0, b_1, \dots, b_m)$ 为参数。假如这一关系用 Richards 生长函数表示,则有:

$$H = f(t, B) = b_0(1 - e^{-b_1 t})^{(1-b_2)^{-1}} \quad (1)$$

式中: $B = (b_0, b_1, b_2)$; b_0 为比例参数(即树高生长的极限值); b_1, b_2 为树高曲线的形状参数。如果地位指数曲线簇内所有曲线形状参数 b_1, b_2 相同,即各曲线型式相同,则称之为单形曲线,否则称多形地位指数曲线^[2]。

收稿日期: 1991-12-20

林分优势高生长除年龄因素外, 主要受立地质量的制约, 因此一定的地位指数就决定了该立地上的树高生长曲线, 即决定一个 B 集:

$$B = B(SI) = [f_0(SI), f_1(SI), f_2(SI)] \quad (2)$$

式中, SI 为地位指数, 将(2)式代入(1)式, 得:

$$H = f(t, SI) = f_0(SI)[1 - e^{-f_1(SI)}]^{[1 - f_2(SI)] - 1} \quad (3)$$

当 $B = f(SI)$ 确定后, 一个完整的多形地位指数曲线模型也随之建立了。

将此式按不同的地位指数和年龄展开, 便可得到多形地位指数表及其曲线簇。

2 材料来源

建立地位指数方程的资料不外乎如下 3 个来源:

①测定临时样地上的林分高和年龄; ②定期测定固定样木或样地上的树高和年龄; ③利用树干解析技术, 来建立平均优势木的树高-年龄生长模型。

本次采用标准地树干解析资料建模。近年来我们在浙江省各杉木主要产地的实生林中设立了 508 块详测标准地, 从中选取 20 年生以上标准地平均优势木解析木共 65 株, 用以建模编表。

标准地面积为 500 m^2 ($20 \text{ m} \times 25 \text{ m}$), 按 1 株/ 100 m^2 的比例选择优势木。标准地分布见表 1。

表 1 标准地分布

Table 1 Distribution of sample plots

地 点	庆 元	开 化	建 德	湖 州	合 计
标准地数	100	105	240	63	508
20 年生以上标准地数	22	19	19	5	65

3 多形地位指数曲线模型的建立及展开

3.1 两个基本编表参数的确定

3.1.1 标准年龄 标准年龄应以能充分反映立地条件差异为准, 为满足这一要求, 通常以树高平均生长量、连年生长量高峰过后, 并趋于稳定时的年龄为宜。这一年龄一般是在轮伐期的前 1~2 个龄阶。

65 株解析木用 ± 2 倍、3 倍标准差法检验均合格。

将平均优势高按龄阶汇总, 计算了树高平均生长量、连年生长量、标准差及变动系数。结果见表 2。

由表 2 可见, 树高连年生长量高峰出现在第 8~10 a, 它与平均生长量相交于 14~17 a 间, 之后趋于平缓, 标准差和变动系数均在 20 a 左右趋于稳定。因此, 可将基准年龄定为 20 a。

3.1.2 指数级距 本研究收集的材料, 树高变动幅度为 $17.6 - 7.0 = 10.6 \text{ m}$ 。鉴于我省杉木

表 2 优势木解析木树高因子

Table 2 Height growth of mean dominant analysis trees

龄 阶	树 高	平均生长量	连年生长量	标 准 差	变动系数	样 本 数
2	0.73	0.36	0.36	0.360 0	0.493 2	65
4	1.73	0.43	0.50	0.907 2	0.525 5	65
6	2.96	0.48	0.61	1.538 1	0.519 6	65
8	4.40	0.55	0.72	1.776 2	0.403 6	65
10	5.85	0.59	0.72	2.028 3	0.346 7	65
12	7.24	0.60	0.69	2.159 4	0.298 2	65
14	8.55	0.61	0.65	2.207 8	0.258 2	65
16	9.73	0.61	0.59	2.302 8	0.236 6	65
18	10.83	0.60	0.55	2.331 5	0.215 2	65
20	11.74	0.59	0.45	2.397 2	0.204 1	65
22	12.16	0.55	0.21	2.307 8	0.189 8	52
24	12.95	0.54	0.39	2.501 2	0.193 1	44
26	13.84	0.53	0.44	2.463 5	0.178 0	31

经营水平和实际应用上的便利,再参考以往编表时的划分习惯,可将指数级距定为 2 m.

3.2 多形地位指数曲线模型的导出

3.2.1 生长模型的选择 迄今,各研究所选用的模型已不下 30 种,其中应用最多且建模效果较理想的是 Richards 生长函数^[3].它具有极大的灵活性和通用性,不仅适用于不同立地条件下单木或林分生长规律的模拟,而且还具有明显的生物学意义:①年龄为 0 时,树高值为 0;②树高生长存在极限,其值即为 b_0 ;③曲线有拐点.此时为树高生长高峰期,拐点年龄 $t = -\frac{1}{b_1} \ln(1-b_2)$.

因此,本次就选择 Richards 函数作为浙江省杉木实生林地位指数曲线的基本模型⁽³⁾.

3.2.2 单株优势木生长过程的拟合 利用模型(1)式,用 Marguardt 迭代原理编程,在 AST286 机上逐株拟合各标准地平均优势木解析木的树高生长过程.结果表明,总的拟合效果是理想的,65 株解析木拟合的相关系数均在 0.97 以上,剩余方差和最大为 5.7,剩余标准差最大为 0.75.

随机选取几株样木的拟合结果列表 3.

表 3 部分优势木解析木树高生长过程的拟合结果

Table 3 Fitting results of part samples using Richards function

解析木号	参 数			相关系数	剩余方差和	剩余标准差
	b_0	b_1	b_2			
ZJ1	16.796 8	0.123 98	0.569 21	0.999 3	0.232 5	0.182 2
ZJ11	26.214 1	0.048 61	0.527 12	0.997 6	0.905 2	0.300 9
ZJ32	20.688 3	0.131 67	0.781 38	0.999 2	0.694 8	0.263 6
ZJ40	19.768 7	0.056 03	0.331 43	0.998 2	0.627 9	0.250 6
ZJ47	20.432 9	0.112 56	0.334 56	0.997 2	1.126 4	0.401 2
ZJ71	16.725 4	0.120 41	0.386 45	0.999 2	0.217 6	0.176 3
ZJ62	16.949 3	0.075 01	0.540 59	0.997 7	0.491 6	0.247 9

3.2.3 拟合参数模型的建立 为确定 $B=f(SI)$ 的具体形式, 需选择合适的模型对 b_0 , b_1 , b_2 与 SI 的关系进行分别拟合。

解析木标准年龄20 a 时的树高值为地位指数值 SI , 以 1 m 间距分组划记, 求出各组的参数 $B=(b_0, b_1, b_2)$ 的平均值, 列于表 4。

表 4 按地位指数 SI 进行参数 b_0 , b_1 , b_2 分组的结果

Table 4 Classification of fitting parameter b_0 , b_1 and b_2 according to site index classes

组 别	SI	b_0	b_1	b_2
1	7.00	11.174 1	0.075 61	0.432 8
2	7.91	18.426 7	0.050 99	0.415 1
3	8.65	19.110 7	0.055 66	0.491 6
4	9.99	17.794 4	0.080 77	0.500 1
5	10.84	18.067 8	0.087 00	0.464 8
6	11.85	18.667 8	0.093 38	0.505 7
7	12.87	19.012 7	0.092 26	0.500 4
8	13.76	20.052 8	0.095 38	0.486 8
9	14.77	19.030 8	0.111 57	0.470 8
10	15.64	20.088 8	0.113 57	0.447 4

各参数模型的拟合结果为:

$$b_0 = 11.686\ 344 + 0.569\ 943\ SI \quad (4)$$

$$b_1 = 0.043\ 916 + 0.000\ 783\ 59\ SI + 0.002\ 441\ 55\ SI^2 \quad (5)$$

$$b_2 = 0.042\ 053 + 0.077\ 139\ 6\ SI + 0.003\ 262\ 8\ SI^2 \quad (6)$$

其中相关系数 r 分别为: 0.658, 0.902, 0.806。当可靠性指标为95%, 99%时, 相关系数临界值分别为 $r_{0.05} = 0.631\ 9$, $r_{0.01} = 0.764\ 6$ 。 b_0 与 SI 相关显著; b_1 , b_2 与 SI 相关极显著。

3.2.4 多形曲线模型的建立及展开 将(4), (5), (6)式代入(1)式, 得到多形地位指数曲线模型:

$$H = (C_0 + C_1 SI) [1 - e^{-(C_2 + C_3 SI + C_4 SI^2)^{C_5}}]^{C_6} [1 - (C_5 + C_6 SI^2)]^{-1} \quad (7)$$

式中, $C_0 = 11.686\ 334\ 4$; $C_1 = 0.569\ 943$; $C_2 = 4.349\ 162\ E - 02$; $C_3 = 7.835\ 943\ E - 04$;
 $C_4 = 2.441\ 545\ E - 04$; $C_5 = 4.205\ 326\ E - 02$; $C_6 = 7.713\ 957\ E - 02$;
 $C_7 = -3.262\ 823\ E - 03$ 。

将 SI 级 6, 8, …, 20 代入(7)式, 得到各指数级的优势树高模型, 再按年龄展开, 即可得多形地位指数表(以下简称多形表)及其曲线簇(见表 5 和图 1)。

4 地位指数曲线的检验

4.1 拟合精度检验

一条客观的地位指数曲线首先必须与建模材料的实际树高生长过程吻合良好。拟合精度正是反映这两者切合程度的指标。其计算式为:

表 5 浙江省杉木实生林多形地位指数表

Table 5 Polymorphic site index table of Chinese fir in Zhejiang Province

指数级	龄						阶						
	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
6	1.46	2.18	2.85	3.58	4.24	4.87	5.45	6.00	6.50	6.97	7.39	7.78	8.13
8	1.83	2.77	3.73	4.69	5.60	6.46	7.26	8.00	8.67	9.28	9.84	10.33	10.78
10	2.28	3.49	4.72	5.94	7.08	8.15	9.12	10.00	10.79	11.49	12.10	12.65	13.13
12	2.96	4.49	6.01	7.46	8.80	10.00	11.06	12.00	12.81	13.52	14.12	14.64	15.08
14	4.06	5.94	7.74	9.36	10.80	12.04	13.10	14.00	14.75	15.38	15.90	16.33	16.69
16	5.72	7.94	9.93	11.64	13.07	14.26	15.22	16.00	16.63	17.13	17.53	17.85	18.11
18	7.93	10.45	12.53	14.20	15.53	16.57	17.38	18.00	18.48	18.85	19.13	19.34	19.51
20	10.70	13.35	15.38	16.91	18.06	18.91	19.54	20.00	20.34	20.59	20.77	20.91	21.00

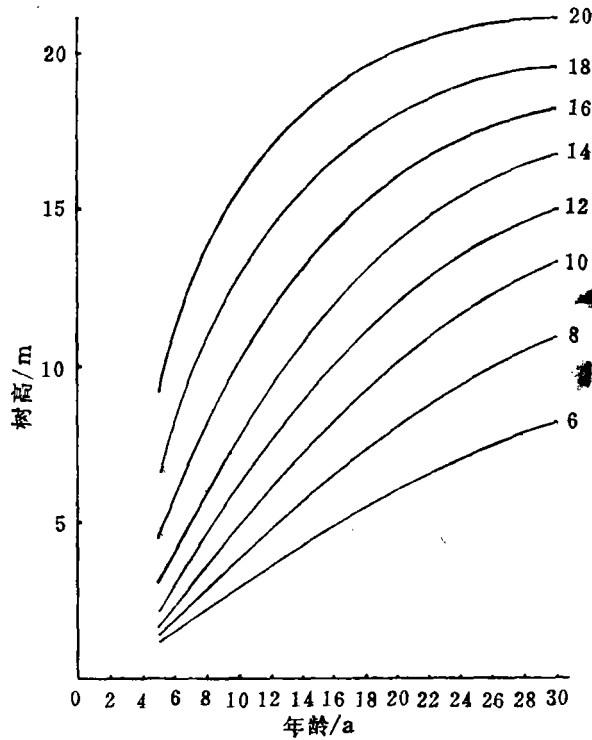


图 1 浙江省杉木实生林多形地位指数曲线簇

Fig.1 Polymorphic site index curve group of Chinese Fir in Zhejiang Province

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (H_{ij} - \hat{H}_{ij})^2}{n}} \quad (8)$$

式中, S_i 为拟合精度, H_{ij} , \hat{H}_{ij} 分别为各指数级各龄阶树高的实际值和理论值, n 为龄阶数。

将建模的解析木按 20 a 时的树高值分组, 求得各组的平均值, 作为各指数级树高实际生长过程。计算结果如表 6。

表6 各指数级曲线的拟合精度

Table 6 Fitting precision for each site index class

指数级 SI	8	10	12	14	16
拟合精度 S_i	0.349 4	0.272 2	0.131 1	0.365 8	0.941 1

从结果看, 16指数级曲线拟合精度最小, 为0.94; 12指数级最大, 为0.13; 平均拟合精度为0.41。说明了该多形地位指数曲线与实际树高生长过程拟合良好。

4.2 χ^2 检验

地位指数表能否应用于实际, 还必须对它的适用范围和适用程度予以检验。

4.2.1 检验样本的确定 本次编表材料是在浙江省收集的, 反映的是浙江省不同立地杉木实生林分优势高生长情况。故只要是浙江省的杉木实生林中测定的标准地优势解析木均可作为检验材料。本次选用《浙江省杉木实生林地位指数表的编制与应用》^[1](以下简称《单形表》)一文中的检验材料(见表7)。这样也便于本表与上文中的浙江省杉木实生林地位指数表作一比较。

表7 供检验的解析木各龄阶分组树高值

Table 7 Analysis tree heights of test sample at different age

龄 级	1	2	3	4	5	6
	6.0~7.9	8.0~9.9	10.0~11.9	12.0~13.9	14.0~15.9	16.0~17.9
4	0.7	1.2	1.7	2.6	2.8	4.1
6	1.2	1.9	2.8	4.0	5.2	6.6
8	1.7	3.0	4.1	5.5	6.8	8.1
10	2.6	4.0	5.8	7.0	8.3	10.3
12	3.6	5.0	6.9	8.7	9.8	11.7
14	4.4	5.9	8.0	10.1	10.9	13.1
16	5.5	7.0	9.3	11.2	12.3	14.6
18	6.3	8.0	10.3	12.0	13.5	15.7
20	7.2	8.8	11.3	12.7	14.7	16.8

表7中的分组是将解析木20 a时的树高按2 m 1级归类的(上限排外), 即6.0~7.9, 8.0~9.9, …… , 16.0~17.9。共可分6组。

4.2.2 导算地位指数序列 将各龄阶树高导算成标准年龄时的树高即地位指数值, 也称为地位指数序列。

导算方法为:

$$H_{20(i), A_j} = \frac{H_{(i), A_j}}{\hat{H}_{(i), A_j}} \cdot \hat{H}_{20(i)} \quad (9)$$

式中, $H_{20(i), A_j}$: 所求算的第 i 组第 A_j 龄级时的地位指数值; $H_{(i), A_j}$ 为第 i 组第 A_j 龄级的树高实际值; $\hat{H}_{(i), A_j}$ 为第 i 组第 A_j 龄级的树高理论值; $\hat{H}_{20(i)}$ 为第 i 组20 a时的树高理论值。

导算结果列于表8。

表 8 地位指数序列及其检验结果和比较*

Table 8 Site index order and the comparison of test result

龄 阶	1	2	3	4	5	6	误差(S_{A_i})
6	5.06(4.70)	8.32(5.91)	11.76(7.46)	14.81(9.52)	15.95(11.58)	16.44(13.99)	0.98(1.39)
8	4.81(4.22)	8.63(6.11)	11.30(7.72)	13.71(9.76)	14.70(11.66)	14.98(13.56)	0.67(1.38)
10	5.53(4.63)	8.52(6.47)	11.89(8.82)	13.24(10.40)	14.09(12.10)	15.59(14.72)	0.37(0.71)
12	6.09(5.20)	8.47(6.90)	11.33(9.20)	13.45(11.37)	14.00(12.71)	15.39(15.00)	0.28(0.23)
14	6.26(5.49)	8.38(7.20)	11.08(9.59)	13.40(11.99)	13.70(12.90)	15.57(15.41)	0.37(0.36)
16	6.87(6.27)	8.62(7.89)	11.27(10.37)	13.21(12.42)	14.03(13.61)	16.10(16.10)	0.38(0.93)
18	6.94(6.69)	8.79(8.46)	11.23(10.85)	12.91(12.62)	14.30(14.18)	16.37(16.47)	0.46(1.35)
20	7.22(7.20)	8.80(8.80)	11.30(11.30)	12.70(12.70)	14.70(14.70)	16.80(16.80)	0.67(1.72)
均值 $\bar{H}_{20(i)}$	6.02(5.62)	8.72(7.23)	11.64(9.31)	13.92(11.25)	14.51(12.71)	15.91(15.11)	
χ^2_i	0.92(1.49)	0.03(1.12)	0.05(1.55)	0.21(1.10)	0.24(1.01)	0.17(0.73)	
误差 S_i	0.89(1.02)	0.18(1.01)	0.28(1.34)	0.64(1.24)	0.70(1.26)	0.62(1.17)	

* 括弧中的数值是《单形表》的检验结果

4.2.3 χ^2 显著性检验 为检验地位指数曲线型式是否符合树高生长, 可进行 χ^2 检验:

$$\chi_i^2 = \sum_{i=1}^{n_i} [H_{20(i), A_i} - \bar{H}_{20(i)}] / \bar{H}_{20(i)} \quad (10)$$

式中: $\bar{H}_{20(i)}$ 为第 i 组地位指数的平均值。

结果列于表 8。

求 χ^2 理论值: 当可靠性指标 $\alpha = 0.95$ 时, $\chi_{n-2}^{2\alpha} = 14.067$ 。因为 $\chi_i^2 < 14.067$, 所以各组内地位指数值均无差异, 即地位指数曲线与检验样本生长过程一致。

4.3 预报精度检验

地位指数的预报精度, 是检验用不同龄级的树高实际值预测在标准年龄时的树高(即地位指数值)变动范围的一个指标。

不同年龄地位指数预测误差为:

$$S_{A_j} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^L [H_{20(i), A_j} - \bar{H}_{20(i)}]^2}{L}} \quad (11)$$

式中: L 为组数。

不同指数级的预测误差为:

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n_i} [\bar{H}_{20(i), A_j} - \bar{H}_{20(i)}]^2}{n_i - 1}} \quad (12)$$

式中: n_i 为第 i 组观测龄级数。

计算结果列于表 8。表中同时列出了单形表的检验结果于括号内。

检验结果表明, 本次编表结果在浙江省范围内适用性好, 且精度高; 预报精度误差最大为 0.98, 最小为 0.18, 各指数级、各龄级平均误差分别为 0.55 和 0.52, 均不超过半个指数级 (1 m)。

5 单形和多形地位指数表的比较

分析单形表和多形表的检验结果见表 8。

首先统计每组各龄阶地位指数值出现跳级(不合格)和没有跳级(合格)的次数, 见表 9。

表 9 合格与不合格次数统计

Table 9 Statistical result of the qualified samples

表 别	组 别						合 计	
	1	2	3	4	5	6		
单形表	合 格	3	2	3	3	2	3	16
	不 合 格	5	6	5	5	6	5	32
多形表	合 格	5	8	8	7	7	4	39
	不 合 格	3	0	0	1	1	4	9

从表 9 统计数据来看, 单形表出现跳级次数占 67%, 没跳级的只占 33%; 而多形表出现跳级的次数显然较少, 跳级的只占 19%, 没跳级的占 81%。

从表 8 的预报精度检验结果也可看出: 单形表的预测误差相差很大, 单形表中不同指数级曲线的预测精度 S_i 最大为 1.34, 平均为 1.17, 不同龄级的预测精度 S_{A_i} 最大为 1.72, 平均为 1.01; 多形则明显低于单形, S_i 最大为 0.89, 平均为 0.55, S_{A_i} 最大为 0.98, 平均为 0.52。

比较结果清楚地表明: 多形地位指数曲线模型明显优越于单形地位指数曲线模型。

曾建福同志系林学系 1991 届毕业生, 现在开化县龙山底乡林业站工作

参 考 文 献

- 1 毛志忠. 浙江林学院学报, 1987, 4(2): 107~115
- 2 骆期邦等. 林业科学研究, 1989, 2(6): 534~539
- 3 Pinneer L V et al. *For. Sci.* 1973, 19: 2~22

Zheng Yongping (Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, PRC), Zeng Jianfu, Wang Hemu, Shi Bailin, Yu Qionghua. **Polymorphic Site Index Model for Chinese Fir in Zhejiang Province. *J. Zhejiang For. Coll.*, 1993, 10(1): 55~62**

Abstract: On the basis of establishing height growth models adapting Richards function as a basic model for six-five dominant trees collected from Chinese fir stands in Zhejiang Province, this paper compiles the polymorphic site index table of the stands by the estimating parameter method. The comparison with the monomorphic model in Zhejiang Province shows that the fitting and predicting precision of polymorphic site index model both are obviously higher than those of the monomorphic model.

Key words: Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata* Hook.); locality class; modilling; Richards function; Zhejiang Province