

用于立地质量评价的杉木 标准蓄积量收获模型

骆期邦 吴志德 蒋菊生 陈定国

(林业部中南林业调查规划设计院)

肖永林 葛宏立

(林业部华东林业调查规划设计院)

摘要 本文根据南岭山地湖南、广东等省5个林场的25块杉木人工林林分生长过程解析(以下简称林分解析)标准地资料(已验证了原有生长过程表^[1]中株数随林分平均直径的变化规律的可靠性),通过株数标准化方法,将经消除间伐影响后的各标准地林分蓄积量生长过程数据,转化到标准水平(郁闭度1.0),再将改进的8参数Chapman-Richards函数,用Marquardt迭代法,建立了以地位指数和年龄为解释变量的多形标准蓄积量收获模型,同时分析了模型的特性,为立地质量的蓄积量指标评价提供了依据。

关键词 立地质量蓄积量评价;杉木;多形标准蓄积量收获模型;Richards函数;Marquardt迭代法

立地质量评价,是科学营林中一项极为重要的基础工作。从1910年以来,国外对立地评价方法的研究便得到了重视和发展。1923年美国林协所属的一个委员会^[2],曾确认材积生长量是立地质量的主要量度方法,并建议为生长良好的天然林制订收获表。进入70年代,材积作为评价指标重新引起重视。Baker和Broadfoot(1977)指出,蓄积生长量与立地特性之间的直接关系,常常能很好地适应生产。著名的瑞典立地评价专家Björn Hägglund(1981)^[6]提出,用立地特性直接表达蓄积生长量的函数,对于立地评价问题似乎是一个第一流的解答。我们认为,就木材经营目的而言,以蓄积量作为评价立地生产潜力的最终指标,是林业集约经营发展的必然要求。因此,本文以杉木为例,专题研究并建立了用于立地质量评价的标准蓄积量收获模型。

一、材料的收集和数据处理

1. 材料的收集 采用林分解析法,分别不同地位指数级,在南岭南坡的仁化、大坪和北坡

表1 标准地按地位指数分布及解析木株数统计

指数级	样地数	平均地位指数	最小和最大地位指数	解析木株数
8	4	8.4	7.1—8.9	34
10	4	10.2	9.3—10.8	40
12	3	11.5	11.1—11.8	33
14	9	13.7	13.5—14.6	90
16	5	16.1	15.5—16.8	48
合计	25			245

的滁口、金洞林场,共选测了25块年龄和郁闭度最大且生长正常的标准地作为样本资料(表1)。

标准地的主要测定项目及方法为:

(1) 按常规调查进行每木检尺,测绘树高曲线,并用望点法实测林分郁闭度。

(2) 以标准地中心为样点,分上、中、下、左、右,各选测1株优势木,将这5株优势木全部伐倒进行树干解析。

(3) 各径阶选一株标准木实测树冠直径和树干解析。其中最大和最小一株必选。

(4) 调查立地因子和经营沿革,并采集土壤分析样品。

2. 标准地数据的预处理

(1) 根据解析木各区分段的带皮直径与去皮直径的相关规律建立回归模型,并通过模型将解析木各龄阶的去皮胸径转换成带皮胸径。

(2) 根据各径阶解析木各龄阶的带皮胸径和树高值,采用经改进的Chapman-Richards函数,分别建立每个标准地各径阶立木的胸径和树高生长模型,同时解出它们的生长过程数据。

$$\hat{D} = C_0' D_{mid}^{c_1'} (1 - e^{c_2'(t-t_0)})^{\frac{1}{1-c_3'}} \quad (1)$$

$$\hat{H} = C_0 D_{mid}^{c_1} (1 - e^{c_2(t-t_0)})^{\frac{1}{1-c_3}} + 1.3 \quad (2)$$

式中: D_{mid} = 标准地现实各径阶中值, t_0 = 现实林分高平均达到1.3 m所需年龄,

t = 各龄阶年龄, $(c_0', c_1', c_2', c_3', c_0, c_1, c_2, c_3)$ = 待定参数,

\hat{D} 、 \hat{H} 分别为胸径和树高估计值。

(3) 根据标准地现实立木株数和各龄阶胸径、树高估计值,求出各龄阶林分平均直径和平均高,并按部颁二元材积表求出各龄阶材积。

(4) 修正因间伐引起的林分平均直径增值误差。用林分解析法求得的是林分通过两次间伐后的现存木的林分生长过程信息。因此,间伐前的信息存在着因间伐引起的平均直径增值误差,需要修正。根据97块间伐试验标准地的资料分析,一般第一次和第二次间伐时间分别在10a和14a,每次间伐前的平均直径均为间伐后平均直径的0.95倍。故应将14、12两龄阶的平均直径和树高值分别乘以0.9($= 0.95^2$); 10龄阶及以前各龄阶分别乘以0.95,以消除间伐引起的增值误差,同时对材积作相应的修正。

经上述预处理后的标准地材料,作为蓄积标准化的依据。

二、标准地蓄积量的标准化

以蓄积量为指标的立地质量评价，实际上是对某一立地类型种植某一树种所具有的最大自然生产潜力的评估。而林分密度对蓄积量的影响，远大于立地质量的影响。因而，只有将蓄积量统一到最大生产潜力时的标准水平，以蓄积量作为评价指标才是有效的。这就提出了一个如何将蓄积量统一到标准水平的方法问题。

假定林分蓄积量(M)为林分年龄(t)、地位指数(SI)和以立木株数(N)表示的林分密度的函数($M = f(t, SI, N)$)。当年龄和地位指数一定时，最大生产潜力的标准蓄积量，主要取决于具有最大生产潜力时的标准株数。Reineke^[4](1933)认为，具有完满立木度的同龄纯林，相同的林分平均直径具有相同的立木株数而与立地和年龄无关。根据这一论点，若能建立起完满林分的标准立木株数与林分平均直径的回归模型，便可将标准地的林分平均直径生长过程信息，逐一代入株数回归模型，得出标准地在标准状态下的立木株数生长过程信息，并通过标准株数将林分断面积和材积转换到标准水平。至此，关键问题是该论点是否适用于杉木林，尚需验证。为此，我们利用50年代原林业部林业科学研究所编制的杉木人工林生长过程表中的株数和平均直径数据，分别地位级建立了双曲线模型。经 F 检验证明，各地位级之间均无显著差异，从而证明 Reineke 的论点同样适用杉木人工林。

根据该生长过程表中的数据建立的标准株数预估模型为：

$$N = 65\,345.73 \bar{D}^{-1.214\,616} \quad r = 0.999 \quad (3)$$

但是，该生长过程表中的标准株数，是根据部分具有最大密度的标准地推导求得的，是否符合标准(郁闭度1.0)，缺乏理论上的验证。现假定以林分郁闭度刚达1.0时的立木株数为标准密度，为了便于论证，再假定立木树冠为正圆形，且株行距等距对应，当A、B、C、D树冠相切时，阴影部分为林地空隙(图1)。当阴影部分消除时，林分郁闭度为1.0，树冠产生重叠，此时立木树冠的总面积(包括重叠面积)为林地面积(即虚线所构成的内接正方形面积之和)的1.57倍，并将其定义为标准林分的树冠面积指数(图2)。根据在郁闭度0.9以上的标准地内所收集的样本资料(含154株样木)分析，胸径与冠幅直径呈紧密的线性相关，其回归模型为：

$$D_{冠} = 0.856\,89 + 0.130\,49 d_{胸} \quad (4)$$

由(4)式可导出预估立木树冠面积的方程：

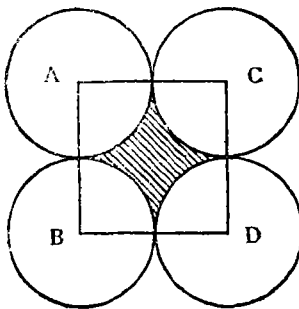


图1 4个圆形树冠相切时投影示意

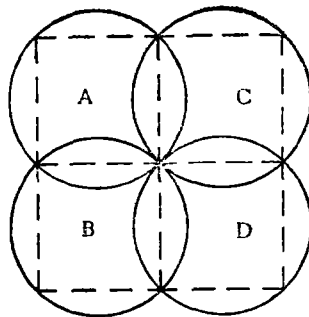


图2 当树冠重叠时投影示意

$$A_{\text{冠}} = \frac{\pi}{4} (0.85689 + 0.13049 d_{\text{胸}})^2 \quad (5)$$

于是, 可按式: $n = 10000/\bar{A}_{\text{冠}}$ (6)

以林分平均直径的树冠面积($\bar{A}_{\text{冠}}$)代入, 求得林分树冠总面积与林地面积相等时的立木株数(n)。显然, 由株数 n 所构成的林分尚未完全郁闭。郁闭度为1.0时的每公顷株数应乘以树冠面积指数, 即: $N = 1.57 \times n$ (7)

由(4)–(7)式求得的各不同林分平均直径的标准株数所建立的标准株数预估模型为:

$$N = 73009.82677 \bar{D}^{-1.200411} \quad r = 0.995 \quad (8)$$

如表2所示, 模型(3)、(8)的估测株数是十分接近的。它验证了生长过程表中的立木株数体现了标准水平。故确定以(3)式作为各标准地蓄积量生长过程标准化的依据。首先根据(3)式求出标准地各龄阶的标准立木株数 N_i , 并以下式求出相应的标准蓄积量 M_i 。

$$M_i = \frac{N_i}{n_0} \times m_i \quad (9)$$

式中: M_i = 标准地第 i 龄阶的标准蓄积量;

m_i = 标准地第 i 龄阶的现实蓄积量;

n_0 = 标准地的现实立木株数。

表2 各林分平均直径的标准株数预估值对比

标准株数 计算公式	平均直径													
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
(3)	12136	7417	5229	3988	3196	2650	2253	1953	1719	1531	1377	1250	1142	1050
(8)	12564	7509	5212	3926	3115	2561	2162	1862	1629	1443	1292	1167	1063	973

将各标准地各龄阶标准蓄积量按地位指数级归类统计并求出平均值(表3), 即为经标准化后用于建立多形标准蓄积量收获模型的基本数据。

表3 按地位指数级归类的标准地各龄阶标准蓄积量

标准地 块数	平均地 位指数	林分各龄阶标准蓄积量 (m^3/ha)													
		4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
4	8.4	3.3	13.5	28.8	45.8	63.5	81.5	97.7	115.0	131.0	146.3	158.7	176.3	179.7	188.0
4	10.3	5.3	15.3	32.3	53.3	76.5	100.5	123.5	145.0	164.0	181.5	196.3	208.8	219.3	228.5
3	11.5	5.3	19.0	39.0	64.7	91.7	119.7	146.7	171.7	194.0	213.7	232.0	247.7	260.3	271.7
9	13.7	7.0	23.9	49.6	81.1	116.0	151.6	182.1	217.1	249.4	278.3	304.9	327.4	348.1	365.0
5	16.1	14.6	46.8	93.2	143.0	190.2	247.0	292.7	333.3	369.0	399.0	423.3	445.7	462.3	478.3

三、多形标准蓄积量收获模型的建立和特性分析

1. 模型的选择和拟合 林分蓄积量的生长过程为“s”形曲线规律。作为体现这种规律的数学模型, 必须具备: 当年龄为零时, 蓄积量为零; 当年龄为无限大时, 蓄积量能收敛于一个

符合生物学解释的极限值，存在体现曲线变化的拐点。著名的 Chapman-Richards 函数能满足这三点要求。其原函数式为：

$$M = B_0 [1 - \exp(-B_1 t)]^{\frac{1}{1-B_2}} \quad (10)$$

式中：\$M\$ = 蓄积量；\$t\$ = 年龄；\$B_0\$ = 收敛极限参数；\$B_1\$ = 生长速度参数；\$B_2\$ = 形状参数。

不同地位指数的蓄积量生长存在很大差异，为了体现这种多形性差异，经样本资料分析，将(10)式中 3 个参数与地位指数之间的关系，确定为以下模式：

$$\left. \begin{aligned} B_0 &= C_0 SI^{C_1} \\ -B_1 &= C_2 + C_3 SI + C_4 SI^2 \\ B_2 &= C_5 + C_6 SI + C_7 SI^2 \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

将(11)式代入(10)式得：

$$M = f(C, SI, t) = C_0 SI^{C_1} [1 - e^{-(C_2 + C_3 SI + C_4 SI^2)t}]^{\frac{1}{1 - C_5 - C_6 SI - C_7 SI^2}} \quad (12)$$

式中：\$C = (C_0, C_1, \dots, C_7)\$ = 待定参数，\$SI\$ = 地位指数。

方程(12)即为所选定的数学模型。经采用非线性最小二乘的 Marquardt 迭代法，直接同步协调解出参数 \$C\$ 值，其结果为：

$$M = 11.57597 SI^{1.384308} \cdot [1 - e^{t(-0.188088 + 0.01397616 SI - 0.000646829 SI^2)}]^{1 - (0.60133 + 0.0327029 SI - 0.001264032 SI^2)} \quad (13)$$

$$R = 0.9996, S = 3.59$$

\$R\$、\$S\$ 值表明，模型总的拟合效果是好的，剩余标准差只相当于样本平均蓄积量的 2.11%。模型对不同地位指数级样本资料拟合的主要统计指标如表 4。其拟合效果也是很好的。表明所选数学模型对多形性变化规律具有全面切合的灵活性。模型(13)是可用的。将不同的地位指数和年龄代入(13)式，便可求得相应的标准蓄积量预估值，直接用作立地质量的评价指标。

表 4 模型对各指数级样本资料拟合的主要统计指标

地位指数 \$SI\$	样本平均蓄积量(\$m^3\$) \$\bar{m}\$	复相关系数 \$R\$	剩余标准差 \$S\$	\$S/\bar{m}\$ %
8.4	162.17	0.9990	2.90	2.84
10.3	125.10	0.9996	2.89	2.51
11.5	148.67	0.9995	4.52	3.04
13.7	193.21	0.9997	5.02	2.60
16.1	281.30	0.9999	2.30	0.82

2. 模型的特性分析 分别将地位指数级所求得的 5 个特征值列如表 5。从表中的数据可以看出：

(1) 地位指数不同，其 \$B\$ 值也不同，以及 30 年时指数级间的蓄积差随地位指数的增高而加大的变化规律，表明模型(13)确切反映了样本资料的多形性变化规律。

(2) \$B_0\$ 值所表示的蓄积量收敛极限值，不但体现了立地质量越好生产潜力越大和蓄积量不可能随时间无限增长的生物学规律，而且很切合研究地区杉木生长的客观实际。

表5 各指数级的模型特征数

地位指数	B_0	B_1	B_2	拐 点	M_{30}
6	138.291 1	0.107 494	0.652 283 3	9.827 221	123
8	205.936 9	0.097 663 81	0.682 625 4	11.751 26	173
10	280.463 8	0.093 006	0.702 923 8	13.050 41	227
12	360.976 9	0.093 520 57	0.713 178 8	13.354 24	290
14	446.834 9	0.099 207 52	0.713 390 2	12.596 16	372
16	537.550 7	0.110 066 9	0.703 558 1	11.046 96	474
18	632.738 9	0.126 098 6	0.683 682 4	9.127 847	588
20	732.085 9	0.147 302 7	0.653 763 2	7.200 36	707

(3) 指数级10以上, 拐点出现的时间随地位指数的提高而提前, 以及速度参数 B_1 的变化规律, 均正确体现了在适宜生长的条件下, 立地质量越好速生期来得越早的生物学规律。立地质量很差的6、8指数级所出现的相反情况, 也是符合实际的。因为立地条件不适宜杉木生长, 导致其成熟、衰老期提前到来, 从而其速生期也必然提前到来。

以上特性分析表明, 模型(13)对杉木人工林的标准蓄积量生长过程, 能作出符合生物学意义的解释。

四、结论和讨论

1. 以蓄积量作为立地质量评价指标的优越性, 不仅在于它与收获指标一致, 且能为经济和社会效益评价提供直接依据, 易于被生产者接受; 而且只有采用这一指标, 才便于树种间的正确比较和选择。

2. 但欲使蓄积量成为评价立地生产潜力的有效指标, 必须将其提高到标准水平。本文所提供的一套标准化方法和标准蓄积量收获模型比较切实有效, 可在研究地区使用。

3. 本文所提供的8参数Chapman-Richards函数, 是拟合多形标准蓄积量收获模型的一个比较理想的数学模型。

4. 为了更正确地确定郁闭度1.0时的标准株数, 有必要进一步研究并建立以郁闭度和林分平均直径为解释变量的立木株数预估模型。

参 考 文 献

- [1] 林业部林研所森林经理室, 1958, 中国主要树种生长量汇编第四辑, 中国林业出版社。
- [2] Willard, H. Carmean, 1975, Forest site quality evaluation in the U. S. advances in agronomy, 27, 209—256, Academic Press, N. Y.
- [3] 骆期邦, 1982, 林分解析法及其在杉木人工林分生长过程研究中的应用, 林业调查规划, (1)。
- [4] T. W. 丹尼尔等, 1979, (赵克绳等译, 1987), 森林经营原理, 中国林业出版社, 309—337。
- [5] Bjorn Bagglund, 1981, Evaluation of forest site productivity, Forestry Abstracts, 42(11)。

A STANDARD VOLUME YIELDING MODEL OF CHINESE FIR USED FOR SITE QUALITY EVALUATION

Luo Qibang Wu Zhide Zhang Jusheng Chen Dingguo

(Central South China Design Institute of Forest Inventory & Planning)

Xiao Yonglin Ge Hongli

(East China Design Institute of Forest Inventory & Planning)

Abstract A standard volume yielding model was established on the basis of an analysis of the data of growth process of 25 Chinese Fir stands in 5 forest farms in Nanling Mountain Area, Hunan and Guangdong Provinces. The model was used to prove that the rule of stem number changing with the mean diameter of the stand in original growth process table is reliable. Based on this, through adopting the method of standardizing the stem numbers, all the volume data of different plots in the growth process table, after eliminating the influence brought by thinning, were changed into standard level (canopy density = 1.0). Then, analyzed by an improved 8 parameters Richards function and Marquardt iteration, a polymorphic standard yielding model, which took site index and age as the interpreting variables, was established. All the related properties of the model were discussed and the result was satisfactory. It supplies a foundation for site quality evaluation using index of volume.

Key words site quality by index of volume; Chinese Fir; polymorphic standard volume yielding model; Richards function; Marquardt iteration