

# 用二类调查样地建立落叶松 单木直径生长模型\*

杜纪山

(中国林业科学研究院资源信息研究所, 100091, 北京; 37岁, 男, 副研究员)

**摘要** 根据来自吉林省汪清林业局二类调查的 14 个落叶松固定样地的 346 株复测林木数据, 建立了与距离无关的落叶松单木平方直径生长量模型。它包含了单木直径生长模型所需考虑的林木大小、立地条件和林木竞争这 3 个因素, 并具有与年龄、地位指数无关的特点, 便于实践中应用。逐步回归的结果表明, 落叶松单木平方直径生长量模型需要考虑的主要因子是林木直径值、林分断面积和坡度。

**关键词** 落叶松; 单木模型; 二类调查

**分类号** S758.1

落叶松 (*Larix* spp.) 是我国东北林区的优势树种之一, 经过几十年的采伐利用, 致使以落叶松为优势的林分中往往混生不少其它树种, 具有树种多、异龄、地位指数难以应用等特点, 给以林分水平级研究和预测落叶松林木生长模型带来了困难。单木生长模型以林分中林木个体作为研究对象, 可进行同龄林、异龄林、混交林以及不同经营措施下林木生长变化趋势研究, 便于掌握林分、林木的详细生长信息。

单木模型按照是否需要林木的位置信息而分为与距离有关的单木模型和与距离无关的单木模型两大类<sup>[1]</sup>。构建单木模型的方法主要有生长量修正法<sup>[2~4]</sup>、合成分析法<sup>[5~6]</sup>和经验公式法等<sup>[7~11]</sup>。本文根据二类调查固定样地资料, 以落叶松为例, 采用合成分析法, 建立单木平方直径生长量模型, 为二类调查森林资源的数据更新打下基础。

## 1 数据来源和研究方法

### 1.1 数据来源

数据来自吉林省汪清林业局 1987 年和 1997 年两次森林资源二类调查中的复位样地, 样地面积为  $0.06 \text{ hm}^2$ , 复位样地总数为 190 块。在外业调查中, 测定的林地因子有: 地类, 立地类型, 林种, 权属, 地理位置, 优势树种年龄, 郁闭度, 坡度, 坡向, 海拔以及下木、地被等; 样木测定因子有: 树种, 胸径, 样木类别。内业整理时, 根据吉林省一元材积式计算出样地各树种蓄积, 得出各样地的树种组成, 并计算样地的株数、平均直径、断面积、最大直径和大于对象木的平方直径和。

对 1987 年二类调查数据统计整理后, 以落叶松为优势树种的复位样地有 14 个(见表 1),

\* 本文为 1997~1999 年国家攻关项目“天然林区森林资源监测与经营管理技术研究”和 1997~1998 年中国林科院基金项目“天然混交林动态生长模型的研究”的部分内容。森林资源二类调查固定样地数据由吉林省林业调查规划院提供, 特此致谢。

其它含有落叶松复位样地的样地有 17 个。落叶松存活木(即两次调查中均有直径检尺记录的林木)共 557 株,1987 年样木直径范围为 5.1~74.6 cm,1997 年为 5.7~77.5 cm。

表 1 落叶松复位样地 1987 年概况

样地号	树种组成	株数	平均直径/cm	断面积/m <sup>2</sup>	蓄积/m <sup>3</sup>	郁闭度	海拔/m	坡向	坡度/(°)
L1	5 落 2 云 1 杂 1 枫 1 杨	156	10.96	1.47	9.46	0.80	790	西北	6
L2	8 落 1 白 1 杨	90	16.08	1.83	18.32	0.90	640	西北	13
L3	7 落 2 白 1 柞	69	12.29	0.82	4.92	0.54	805	东	5
L4	9 落 1 白	112	11.47	1.16	7.55	0.64	720	西南	4
L5	9 落 1 白	39	15.42	0.73	5.58	0.68	740	南	0
L6	10 落	36	16.87	0.80	6.34	0.66	688	北	0
L7	6 落 3 白 1 杨	147	12.02	1.67	11.78	1.00	845	东北	0
L8	7 落 3 白	67	10.98	0.63	4.11	0.46	783	北	0
L9	9 落 1 柞	29	17.04	0.66	5.33	0.50	895	东南	0
L10	7 落 3 白	90	15.00	1.59	14.83	0.90	890	西北	3
L11	7 落 2 白 1 杂	54	11.66	0.58	4.16	0.46	965	南	0
L12	9 落 1 白	51	13.67	0.75	5.73	0.52	787	南	3
L13	7 落 2 白 1 杨	145	11.28	1.45	10.10	0.92	798	东北	0
L14	7 落 1 白 1 云 1 椴	128	12.70	1.62	13.10	0.82	765	西北	0

注: 树种组成中, 落: 落叶松(*Larix* spp.); 白: 白桦(*Betula platyphylla* Suk.); 杨: 杨树(*Populus* spp.); 柞: 柞树(*Quercus mongolica* Fisch. ex Turcz.); 云: 云杉(*Picea* spp.); 枫: 枫桦(*Betula costata* Trautv.); 椴: 椴树(*Tilia* spp.); 杂: 花楸(*Sorbus* spp.)、鹅耳枥(*Carpinus* spp.) 等树种的总称。

## 1.2 研究方法

一些学者在评价单木生长模型的竞争指标时发现, 只要竞争指标选取得当, 有无林木间距离信息的单木模型在预估能力上无多大差别, 许多情况下, 与距离无关的竞争指标也能取得较好的预估效果<sup>[3, 9, 10, 12, 13]</sup>。因此, 根据二类调查时复位样地所测定的内容和数据, 本研究的单木竞争指标与距离无关, 并通过逐步回归的方法来确定形式简单、易于在野外调查获得和能反映存活木直径生长量的竞争指标。

由于吉林省在计算固定样地蓄积时, 采用的是一元材积式(林木材积仅与直径相关), 故本研究单木模型所预估的因变量为 10 a 间平方直径的生长量。建模方法为合成分析法, 即通过分析单木生长量与其自身大小、竞争和立地条件的关系, 找出影响林木生长量的主要因子或指标, 建立形式简洁、预估良好、便于应用的单木生长量模型。该方法与生长量修正法相比, 无需年龄和地位指数, 对数据的测树因子要求不多, 可应用多种样地数据建立单木模型。

本文将落叶松的数据分为拟合数据和其它数据两部分, 其中, 拟合数据为表 1 样地中的 346 株样木, 其它数据为非落叶松优势树种样地的 210 株样木。

## 2 单木模型的建立

根据以往的研究<sup>[5, 6]</sup>, 单木生长量可以看作是林木大小、竞争和立地条件的函数, 因此, 单木平方直径生长量模型的基本形式如下:

$$\ln(I_d) = f(Z) + f(C) + f(S) \quad (1)$$

式中,  $I_d$  为 10 a 间林木平方直径的生长量,  $f(Z)$  为林木大小的函数,  $f(C)$  为竞争指标的函数,  $f(S)$  为立地条件的函数。

由于所预测的因子为平方直径的生长量,那么 $f(Z)$ 就可表示为林木直径的函数:

$$f(Z) = b_0 + b_1 \ln d + b_2 d^2 \quad (2)$$

式中, $d$ 为林木直径, $b_i$ 为待定参数( $i = 0, 1, 2$ )。

考虑到建立与距离无关的单木模型,本研究选用的竞争指标有:林分断面积 $G$ ,林分中大于对象木的林木平方直径和 $L$ ,林分郁闭度 $P$ ,林木直径与林分最大直径之比 $d_m$ 。这些竞争指标构成的竞争函数如下:

$$f(C) = c_1 G + c_2 L + c_3 P + c_4 d_m \quad (3)$$

式中, $c_i$ 为待定参数( $i = 1 \sim 4$ ), $L$ 在拟合时取 $L/1000$ 。

立地条件也是影响林木生长的重要因素。在二类调查外业中,与立地条件有关地形因子是海拔、坡度、坡向。综合过去的研究工作<sup>[5,6,14]</sup>,建立立地条件函数如下:

$$f(S) = e_1 E_1 + e_2 E_1^2 + e_3 S_1 + e_4 S_1^2 + e_5 S_s + e_6 S_c \quad (4)$$

式中, $E_1$ 为海拔(拟合时取 $E_1/1000$ ); $S_1$ 为坡率值,即坡度的正切值; $S_s$ 为坡率和坡向 $p_x$ ( $\pi/4$ 为单位)的组合项,即 $S_s = S_1 \sin(p_x)$ ;  $S_c$ 为坡率和坡向的组合项,即 $S_c = S_1 \cos(p_x)$ ;  $e_i$ 为待定参数( $i = 1 \sim 6$ )。

将(1)~(4)式综合,得到单木平方直径生长量与林木大小、竞争和立地条件的关系式为:

$$\ln(I_d) = a_0 + a_1 \ln d + a_2 d^2 + a_3 G + a_4 L + a_5 P + a_6 d_m + a_7 E_1 + a_8 E_1^2 + a_9 S_1 + a_{10} S_1^2 + a_{11} S_s + a_{12} S_c \quad (5)$$

式中, $a_i$ 为待定参数( $i = 0 \sim 12$ )。

### 3 模型的拟合和分析

用多元线性回归和逐步回归对模型(5)进行拟合,结果(表2)可见,包含的变量数在4个以上时,拟合出的相关指数均在0.64以上且十分接近。就本研究数据而言,根据偏相关指数的大小及模型(5)在变量数减少时相关指数的变化,得出影响平方直径生长量的

表2 模型(5)的拟合结果

变量数	变 量 名	相关指数
12	全部变量	0.6597
9	$\ln d, d^2, G, L, P, d_m, E_1, E_1^2, S_1$	0.6545
8	$\ln d, d^2, G, L, E_1, E_1^2, S_1^2, S_s$	0.6496
5	$\ln d, d^2, G, L, S_1^2$	0.6464
4	$\ln d, d^2, G, S_1$	0.6416
2	$\ln d, G$	0.6257
2	$\ln d, L$	0.6115

因素从大到小排列为:林木大小、竞争、立地条件,该结果与有关学者的研究结论一致<sup>[6]</sup>。

在落叶松单木平方直径生长量模型的竞争指标筛选过程中,首先被除去的自变量是郁闭度和林木直径与林分最大直径之比。郁闭度对林木生长的作用可由林分断面积来体现。同样,林木直径与林分最大直径之比对林木生长的影响可用林木直径大小函数的指标来替代。林分断面积和大于对象木的林木平方直径和的作用类似,它们都包括了林木株数和大小的含义,因此,在筛选模型变量时,用其中一个即可。本次拟合出的经验式表明,林分断面积的回归系数始终为负,符合同等年龄和立地条件下林分越密林木直径生长量越小的实际生长规律。大于对象木的林木平方直径和的回归系数也一直为负数,反映了对象木的直径越小,大于对象木的林木就越多,这样,对象木受到相邻木的竞争压力就越大,其直径生长量也就越小,这种情形与现实林木的生长相吻合。此外,大于对象木的林木平方直径和与林木平方直径生长量的简单相关程度较高,在今后选择竞争指标时应予重视。由于林分断面积不但在竞争指标中影响力较大,而且实用更为方便,所以笔者同意的学者观点,在建立与距离无关的单木模型时,应考虑将林

分断面积作为竞争的候选指标<sup>[10]</sup>。

从表 2 可见, 立地条件函数中的海拔、坡度、坡向等因子对落叶松平方直径生长量的影响都不大。相比而言, 坡度在有林木直径和林分断面积进入模型的前提下具有一定的影响。因为本研究的拟合数据在坡度上分布范围较小, 尚不足以完全说明问题, 有待进一步研讨。

为了说明预估效果, 选用模型(5)中的 4 变量经验式进行落叶松单木平方直径生长量的估计, 该经验式为:

$$\ln(I_d) = -0.31494 + 2.26393 \ln d - 0.00042d^2 - 1.0995G + 2.6267S_1 \quad (6)$$

分别拟合数据和其它数据用(6)式计算落叶松平方直径生长量的估计值, 并与实际值进行比较, 计算平方直径生长量的相对误差(表 3)。从表 3 可知, 拟合数据的估计效果虽好于其它数据, 但总的说来, 结果也不够理想。(6)式的这种误差可以从相关指数中看出, 相关指数为 0.64 相当于解释预估变差的 64%, 说明仍有 1/3 的变差未得到解释。

表 3 (6)式预估相对误差分布

相对误差%	拟合数据(346 株)		其它数据(210 株)	
	累次	累次百分率%	累次	累次百分率%
10	45	13.01	15	7.14
20	85	24.57	29	13.81
30	132	38.15	48	22.86
50	225	65.03	91	43.33
100	300	86.71	190	90.48

值得说明的是本研究对落叶松平方直径生长量所解释的预估变差比例与国外的同类研究大体相当, 在与距离无关的单木模型回归效果上也与以往的研究结果相类似<sup>[5,6]</sup>, 从而表明了单木生长模型研究的复杂性。

## 4 结论和讨论

(1) 采用合成分析法建立的落叶松存活木平方直径生长量模型, 具有与年龄无关、无需地位指数和对数据信息要求不多等特点, 可充分利用森林资源二类调查的固定样地数据来建立适用于同龄林、异龄林、混交林等多种林分的林木生长模型, 这将有利于林业生产经营单位获取林木生长的更详细信息, 也是实现二类调查森林资源数据更新的有效途径之一。

(2) 建立与距离无关的单木模型时, 应考虑林木大小、竞争和立地条件的综合影响。本文得出这三个因素对落叶松单木平方直径生长量的影响次序是林木大小、竞争、立地条件。对于初步选定的自变量, 可通过逐步回归的方法加以筛选, 这样既能保证一定的估计效果, 又可减少变量个数, 便于应用。本研究最后选定的自变量是林木直径、林分断面积和坡度, 这 3 个因子在外业调查中就可获得和计算, 当用于落叶松资源数据的动态更新时也十分方便。

(3) 在进行与距离无关单木模型的竞争指标选择时, 应重点考虑林分断面积和大于对象木的林木平方直径和这两个指标。立地因子则需用更多的数据和信息进行深入分析和比较。

(4) 从落叶松单木平方直径生长量的拟合结果来看, 能够解释平方直径生长量变差的 2/3, 所以, 有必要从林分环境和林木遗传等方面进一步探讨单木生长的动态规律。在对落叶松为优势树种的林分进行落叶松的生长量预测时, 可直接应用落叶松的单木生长模型; 对优势树种为其它树种的林分进行落叶松的生长量预测时有两种途径: 一种是用落叶松的单木模型, 另一种是用其所在林分优势树种的单木生长模型。究竟哪一种途径能更好地实现落叶松林木生长的动态预测, 有待于今后研究。

(5) 本文仅就落叶松存活木平方直径生长量模型进行了研究和探讨, 所提出的模型框架和方法可为其它树种的同类研究提供借鉴。

## 参 考 文 献

- 1 克拉特 J L, 弗尔森 J C, 皮纳尔 J V, 等. 用材林经理学——定量方法. 范济洲, 董乃钧, 于政中, 等, 译. 北京: 中国林业出版社, 1991.
- 2 Amateis R L, Burkhart H E, Walsh T A. Diameter increment and survival equations for loblolly pine trees growing in thinned and unthinned plantations on cutover, site-prepared lands. *South J. Appl. For.*, 1989, 13(4): 170~174.
- 3 Biging G S, Dobbertin M. Evaluation of competition indices in individual tree growth models. *For. Sci.*, 1995, 41(2): 360~377.
- 4 孟宪宇, 张弘. 闽北杉木人工林单木模型. *北京林业大学学报*, 1996, 18(2): 1~8.
- 5 Wykoff W R. A basal area increment model for individual conifer in the northern Rocky Mountains. *For. Sci.*, 1990, 36(4): 1077~1104.
- 6 Monserud R A, Sterba H. A basal area increment model for individual trees growing in even- and uneven-aged forest stands in Austria. *For. Ecol. Manage.*, 1996, 80: 57~80.
- 7 Tome M, Burkhart H E. Distance-dependent competition measures for predicting growth of individual trees. *For. Sci.*, 1989, 35(3): 816~831.
- 8 Huang S, Titus S J. An individual tree diameter increment model for white spruce in Alberta. *Can. J. For. Res.*, 1995, 25: 1455~1465.
- 9 Daniels R F, Burkhart H E, Clason T R. A comparison of competition measures for predicting growth of loblolly pine trees. *Can. J. For. Res.*, 1986, 16: 1230~1237.
- 10 Martin G L, Ek A R. A comparison of competition measures and growth models for predicting plantation red pine diameter and height growth. *For. Sci.*, 1984, 30(3): 731~743.
- 11 唐守正, 李希菲, 孟昭和. 林分生长模型研究的进展. *林业科学研究*, 1993, 6(6): 672~679.
- 12 Lorimer C R. Tests of age-independent competition indices for individual trees in natural hardwood stands. *For. Ecol. Manage.*, 1983, 6: 343~360.
- 13 Holmes M J, Reed D D. Competition indices for mixed species northern hardwoods. *For. Sci.*, 1991, 37(5): 1338~1349.
- 14 Stage A R. An expression for the effect of Aspect, slope, and habitat type on tree growth. *For. Sci.*, 1976, 22(4): 457~460.
- 15 郎奎健, 唐守正. IBMPC 系列程序集. 北京: 中国林业出版社, 1989.

## Modeling Individual Tree Growth of *Larix* by Using Forest Management Inventory Plots

*Du Jishan*

(The Research Institute of Forest Resources Information and Technique, CAF, 100091, Beijing, China)

**Abstract** Individual tree growth model is widely used for predicting and modeling trees growth in various stands. Individual tree quadratic diameter increment model which is distance-independent of *Larix* is developed based on 346 remeasured trees growing on 14 forest management inventory plots in Wangqing Forestry Bureau of Jilin Province. This model includes three demanded elements in individual tree growth model: tree size, site condition and competition. The model is characterized by age-independent, without requiring site index and convenient use in practice. According to the results of stepwise regression, the main factors are stand diameter, stand basal area, and slope in modeling individual tree quadratic diameter increment of *Larix*.

**Key words** *Larix*; individual growth model; forest management inventory