

闽北杉木人工林密度效应新模型

洪伟 吴承祯

(福建林学院, 南平 353001)

摘要 应用闽北地区杉木人工林样地资料, 探讨了密度效应新模型, 并对该模型进行生产弹性分析和边际产量分析, 测定了杉木人工林林分密度的生产弹性值和边际产量。

关键词 林分密度; 效应; 数学模型; 生产弹性; 边际产量

中图分类号 S791.270.6

森林群体中, 植物个体的生长取决于它能够利用的环境资源(例如光、热、水、气、养分等), 生物因素决定了植物和环境之间以及森林植物彼此之间互相作用的表现形式。在植物的不同生长阶段, 森林群体结构在外表和数量生态上都不一样。森林种群密度的压力导致种内竞争, 必然影响种群结构, 因此森林种群受密度控制。这种密度效应表现在由于密度的增加而引起种群中单株生物量的变化。研究林木密度效应就在于充分认识由各种密度所形成的种群以及组成种群的个体之间相互作用的规律, 从而在整个林木发育过程中能够通过人为参与, 使之始终保持一个合理的群体结构, 获得最高产量, 以达到速生丰产优质的目的。

林木中种群密度与单株林木生长之间关系的研究, 较早的当属美国的 Rieneke L H。他首先提出了林分密度竞争效应的乘幂式 $N = KD^{-a}$ 。其中, N 为密度, D 为平均直径, a 、 K 为因树种而变的常数。1953年日本的吉良龙夫发现草本植物密度与生长之间存在:

$$V = KN^{-a} \quad (1)$$

的关系。式中 V 为平均个体质量, N 为单位面积株数。模型(1)必须在林分疏密度相同时才有意义^[1]。1982年 Silvertoun J W 在研究林分自然稀疏时, 也同样提出这种模型^[2]。

1968年安藤贵认为林分生长过程中, 不断分化出来的生长落后的被压木, 因光照和营养不足, 最后导致自然枯死^[3]。于是提出:

$$V = aN^{-1} - b \quad (2)$$

1973年 Pienaar 在研究密度与林分生长因子关系时提出:

$$Y = A(1 - e^{-K(t-t_0)})^{1/(1-m)} \quad t \geq t_0 \quad (3)$$

$$K = K_1 N^{K_2} \quad (4)$$

式中: Y 为林分生长因子(蓄积、断面积); t 为林分年龄(a); t_0 为树高达 1.3m 时的年龄(a); N 为立木密度(株/hm²); K , A , m , K_1 , K_2 为模型参数^[4]。

立木密度与林分单株材积产量的关系也可用密度二次效应模型表示:

收稿日期: 1995-06-05

$$V = a_1 H^{\beta_1} - a_2 H^{\beta_2} N \quad (5)$$

前人的研究中较多地应用(1)式来研究森林自疏和密度效应规律, O'Neill和DeAngelis研究娑罗双和柚木^[6], 赵学农研究木果石栎均采用(1)式^[9]。但是由于模型(1)必须在林分疏密度相同时才有意义^[1], 因此陈辉等提出密度效应的新模型 $V = aN^{\beta_1}H^{\beta_2}$ 。V为单株材积, N为单位面积密度, H为林分的优势木高度, α 、 β_1 、 β_2 为模型参数。用闽西北地区杉木人工林资料研究表明, 结果是满意的^[7]。

闽北是杉木的中心产区。为加强杉木中心产区人工林的经营管理, 必须重视林分的密度控制。因此有必要深入研究闽北杉木人工林的密度效应。陈辉等应用 $V = aN^{\beta_1}H^{\beta_2}$ 研究了闽西北的杉木人工林密度效应^[7]。本文提出用 $V = a_1H^{\beta_1} - a_2H^{\beta_2}N$ 来研究闽北杉木人工林密度效应。

尹泰龙等在应用模型(5)研究林分密度效应时采用二次拟合法^[8]。即对优势高H相同的一系列林分中, 用 $V = A - BN$ 拟合; 再引入优势高H表示的林分类型参数值: $A = a_1H^{\beta_1}$, $B = a_2H^{\beta_2}$, 这样得到模型(5):

$$V = a_1 H^{\beta_1} - a_2 H^{\beta_2} N$$

以研究林分的生长而变化的规律。由于采用二次拟合, 从而人为地影响了模型精度。有鉴于此, 本文采用非线性迭代法直接对模型(5)进行拟合, 并采用改进单纯形法^[9]对模型参数再优化, 以提高密度效应模型的精度。

1 研究区概况

闽北地区西北面以武夷山脉与江西交界, 北面以仙霞岭山脉与浙江毗邻, 东西面则有鹫峰、戴云山。全区山峰耸立, 丘陵起伏, 沟谷交错, 一般海拔在500~1000m。本区气候属中亚热带气候区域, 气候温暖, 雨量充沛, 湿度大, 阴天多, 年平均气温14.0~19.0℃, 极端最高气温39.7℃, 在高海拔处的极端最低温度-11.5℃, 年平均降水量为1500~1900mm, 有降雪, 降水量分布不均匀, 最高在7~8月, 最低在1~2月, 年蒸发量1200~1500mm, 相对湿度80%~85%, 霜期约90d, 初霜多在11~12月, 至翌年1~2月终霜。土壤主要为发育在花岗岩、砂岩、片麻岩、页岩等成土母质上的红壤和黄红壤, 土层深厚肥沃, 质地为轻壤至中粘壤, A+AB层大部分大于25cm, 适宜杉木生长。

2 资料的收集

在闽北地区生长发育正常的杉木(*Cunninghamia lanceolata*)各类型林分中设置标准地, 每块标准地面积0.08hm², 进行每木检尺, 并实测每木树高。标准地内每100m²选择1株优势木, 单株材积按适合该地区的二元材积表计算, 共收集248块标准地。

3 研究方法

3.1 模型的拟合方法

在研究对象范围内, 248块标准地资料可得到下列数据;

$$X = (x_1, x_2)^T \quad (6)$$

x_1 为林分密度(株/hm²), x_2 为林分平均优势高(m); $Y = (V)$, V 为单株材积(m³)。

利用非线性迭代法拟合模型 $V = a_1 H^{b_1} - a_2 H^{b_2} N$, 再应用改进单纯形法对模型参数进行进一步优化。

所谓单纯形是一个几何图形, 它由 m 维空间的 $m+1$ 个点 p_0, p_1, \dots, p_m 构成, 且 $p_0 - p_1, p_0 - p_2, \dots, p_0 - p_m$ 线性无关。因此, 在二维空间, 单纯形是一个三角形, 在三维空间是一个四面体, 在高维空间则是一个多面体。这些几何图形的每个顶点相当各个实验点, 其坐标值就是每个实验点相应的各个实验变量(参数)的值。基本单纯形法是通过单纯形中的最坏响应点的“反射”来实现其运动的。

改进单纯形法是在基本单纯形的基础上增加了“扩张”和“压缩”两个功能。这两个功能既能加速单纯形的前进, 又能按预定的精度充分地接近最优点。具体实施方法参见文献[9]。

3.2 技术经济分析

建立密度效应模型后, 进行边际分析, 研究连续增加或减少每单位因素作用及其所产生效应的影响程度^[10]。

计算密度和优势高的生产弹性系数:

$$E_p = \frac{\Delta V/V}{\Delta X/X} = \frac{\partial V/\partial x}{V/x} \quad (7)$$

反映了产量的变动率与影响产量因素的变化率的比值, 反映效应的规律。对密度效应模型的密度和优势木高进行边际效应力分析, 分别计算:

$$MPP(N) = \partial V/\partial N \quad (8)$$

$$MPP(H) = \partial V/\partial H \quad (9)$$

4 计算结果与分析

4.1 模型定量分析

应用非线性迭代法和改进单纯形法计算得到杉木人工林密度效应模型为:

$$V = 1.442\ 941 \times 10^{-4} H^{2.022\ 307} - 6.820\ 978 \times 10^{-9} H^{3.087\ 259} N \quad (10)$$

根据计算, 得到回归平方和 $U = 0.510\ 324$, 回归剩余平方和 $Q = 0.050\ 635$, 复相关系数 $R = 0.953\ 8$ 。闽北杉木人工林密度效应模型回归结果表明, 密度和优势木高对林分平均单株材积生长影响关系显著, 说明不仅密度对单株材积的影响大, 而且立地条件对密度效应的影响程度也大。因此, 在建立和分析杉木人工林林分密度效应规律时, 应同时考虑密度和立地条件而排除其他因素的影响。

4.2 密度效应的生产弹性分析

因生产弹性系数 $E_p = \frac{\partial V/\partial x}{V/x}$, 由(10)式可得:

$$\partial V/\partial H = 3.783\ 920\ 9 \times 10^{-4} H^{1.022\ 307} - 2.105\ 812\ 6 \times 10^{-8} H^{2.087\ 259} N$$

$$\partial V/\partial N = -6.820\ 978 \times 10^{-9} H^{3.087\ 259}$$

用 $\Sigma Vi/n$ 代入 V , $\Sigma Hi/n$ 代入 H , $\Sigma Ni/n$ 代入 N , 则

$$\begin{aligned}
 E_p(H) &= \frac{\partial V / \partial H}{V / H} \\
 &= \frac{3.783\ 920\ 9 \times 10^{-4} H^{2.022\ 307} - 2.105\ 812\ 6 \times 10^{-8} H^{3.087\ 259} N}{V} \\
 &= 2.542 \\
 E_p(N) &= \frac{\partial V / \partial N}{V / N} = \frac{-6.820\ 978 \times 10^{-9} H^{3.087\ 259} N}{V} = -0.506
 \end{aligned}$$

当 $E_p(i) > 1$ 时, 效应处于递增阶段, 应增加其量。 $E_p(i) < 0$ 时, 效应处于负效应阶段, 应减少其量。 $0 < E_p(i) < 1$ 时, 效应处于效应递减阶段, 应根据平衡原理确定适宜水平^[10]。

由于 $E_p(\text{优势木高}) = 2.542$, 属于 $E_p(i) > 1$, 其效应处于递增阶段, 因此应选择立地质量好的高地位指数林地以提高单株材积。当林分平均优势高增加1%时, 单株材积增加2.542%。而 $E_p(\text{密度}) = -0.506$, 属于 $E_p(i) < 0$, 其效应处于负效应阶段, 应减少杉木林分密度。当密度减少1%时, 林分单株材积增加0.506%, 说明闽北地区杉木人工林现有密度偏大, 应适当减少密度。

4.3 多因素的生产弹性分析

$$\sum_{i=1}^2 E_p(i) = E_p(N) + E_p(H) = -0.506 + 2.542 = 2.036$$

当 $\Sigma E_p(i) = 1$ 时, 表明多项因素增加量 $K\%$, 产量增加量 $K\%$ 。当 $\Sigma E_p(i) > 1$ 时, 表明多项因素增加量 $K\%$, 产量增加超过 $K\%$ 。当 $\Sigma E_p(i) < 0$ 时, 表明多项因素增加量 $K\%$, 产量反而相应减少。当 $0 < \Sigma E_p(i) < 1$ 时, 表明多项因素增加量 $K\%$, 产量增加小于 $K\%$ 。

从 $\Sigma E_p(i) = 2.036$ 结果来看, 闽北地区的杉木人工林林分多因素增加 $K\%$, 而产量增加大于 $K\%$ 。

4.4 多因素的边际产量分析

边际产量是指连续追加每单位某因素的量所引起总产量的增加额。

$$MPP = dV/dx$$

由模型 $V = a_1 H^{b_1} - a_2 H^{b_2} N$ 可得:

$$MPP(H) = dV/dH = 3.783\ 920\ 9 \times 10^{-4} H^{1.022\ 307} - 2.105\ 812\ 6 \times 10^{-8} \times H^{2.087\ 259} N$$

$$MPP(N) = dV/dN = -6.820\ 978 \times 10^{-9} H^{3.087\ 259}$$

用 $\Sigma H_i/n$ 代入 H , $\Sigma N_i/n$ 代入 N , 同理可以得到:

$$MPP(H) = \frac{dV}{dH} = 0.016\ 09$$

$$MPP(N) = dV/dN = -0.000\ 023$$

边际产量 $MPP = \Delta V / \Delta x$, 根据导数的几何意义, 可以说明在现有条件下, 当其他条件不变时, 每公顷面积上增加1株林木, 单株材积减少0.000 023m³, 优势木高度每增加1.0m, 单株材积增加0.016 09m³。说明要使单株材积增加, 关键是选择立地条件好的林地, 但是密度效应也不容忽视。

5 合理密度的确定

密度二次效应模型 $V = a_1 H^{b_1} - a_2 H^{b_2} N$ ，由 $M = VN$ 得林分单产模型为 $M = 1.442\ 941 \times 10^{-4} H^{2.022\ 367} N - 6.820\ 978 \times 10^{-9} H^{3.087\ 269} N^2$ 。当林分林龄等于地位指数推算的基准年龄 (20 a) 时，林分优势木平均高依次等于林地地位指数值。而当 H 值一定时，可以通过微分方程 $\partial M / \partial N = 0$ 确定杉木人工林在基准林龄时的林分最优密度。现利用微分方程 $\partial M / \partial N = 0$ 确定林分地位指数为 15~20 之间的杉木人工林基准年龄时的最优密度。

$$\text{由 } M = 1.442\ 941 \times 10^{-4} H^{2.022\ 367} N - 6.820\ 978 \times 10^{-9} H^{3.087\ 269} N^2 \text{ 得}$$

$$\partial M / \partial N = 1.442\ 941 \times 10^{-4} H^{2.022\ 367} - 1.364\ 195\ 6 \times 10^{-8} H^{3.087\ 269} N = 0$$

将地位指数值代入 $\partial M / \partial N = 0$ 可得到基准林龄杉木林分的最优密度 (株/hm²) (附表)。

附表 基准年林分最优密度

Table The optimum density at standard age

地位指数	15	16	17	18	19	20
最优密度/株·hm ⁻²	3 000	2 915	2 834	2 759	2 691	2 627

6 讨论

用密度二次效应模型建立杉木密度效应模型，并采用非线性迭代法和改进单纯形法进行一次拟合，可以使密度效应研究在不同立地不同林分类型的各发育阶段进行，且提高了模型的精度，同时克服了前人其他模型只考虑密度单因素的缺陷。研究表明，用密度二次效应模型研究闽北杉木人工林密度效应与陈辉等研究结果一致^[7]，密度效应模型及推导出的基准年林分最优密度可以应用于林业生产实践。

杉木人工林密度效应的密度生产弹性系数小于 0，说明闽北地区杉木林分当前效应处于负效应阶段，应适当减少林分现有密度，以提高林地生产力。优势高生产弹性系数大于 1，且总的生产弹性系数大于 1，说明各因素增加时，总效应值还是上升。闽北地区杉木人工林密度边际产量为 -0.000 043 m³，优势木高度的边际产量为 0.016 090 m³。密度与优势木高度的边际产量计算结果也表明，今后在重视造林地选择的同时，也不能忽视造林密度的合理确定，由生产弹性系数及边际效应(产量)分析可知，立地条件对密度效应的影响很大，它对单株材积的影响程度胜过林分密度，说明在建立和研究密度效应模型时考虑优势木平均高是正确的。

随着森林集约经营程度的提高，密度管理将是林木管理的重要组成部分，因此为了能为林木密度管理提供重要的科学依据，必须结合利用闽北森林资源调查的一类、二类调查资料，动态追踪闽北地区杉木人工林的经营状况和林分密度效应情况，为林业生产服务。

参 考 文 献

- 1 刘景芳. 编制林分密度管理图研究报告. 林业科学, 1980, 16(4): 241~251
- 2 Silvertoun J W. Introduction of plant population ecology. London and New York, Longman, 1982
- 3 安藤贵. 同龄单层林密度管理的生态学研究. 林业试验场研究报告, 1968, 210: 1~155
- 4 Pienaar L V, Turnbull K J. The Chapman-Richards generalization of Von Bertalanffy's growth model for basal area growth and yield in even-aged stands. *For Sci*, 1973, 19: 2~32
- 5 O'Neill R V, DeAngelis D L. Comparative productivity and biomass relations of forest ecosystem. In: Reichie D E. *Dynamic properties of forest ecosystem*. Cambridge, Cambridge University Press, 1981. 411~419
- 6 赵学农. 哀牢山大果石栎林种群自我调节与竞争的初步研究. 植物生态学与地植物学学报, 1991, 15(2): 183~189
- 7 陈辉, 何宗明, 洪伟. 杉木人工林密度效应模型研究. 福建林学院学报, 1992, 12(3): 277~282
- 9 何宗明, 洪伟. MSM法优化材积方程的研究. 林业科学, 1993, 29(3): 558~562
- 10 贾庆文. 林业技术经济学. 北京, 中国林业出版社, 1990. 156~190

Hong Wei (Fujian Forestry College, Nanping 353001, PRC) and Wu Chengzhen. A New Model for Stand Density 'Effect of Chinese Fir Plantation in Northern Fujian. *J Zhejiang For Coll*, 1996, 13(1): 15~20

Abstract: A new model for stand density effect was established by the data from plots of Chinese fir plantation in northern Fujian. The productive elasticity and the marginal yield for the model were analysed, and the values of the productive elasticity and the marginal yield of Chinese fir plantation were calculated.

Key words: stand density; effect; mathematical models; productive elasticity; marginal yield