

基于线性混合模型的落叶松枝条基径模型

姜立春, 李凤日, 张锐

(东北林业大学林学院, 黑龙江 哈尔滨 150040)

摘要:以黑龙江省五营林业局丽林林场30株人工落叶松2190个枝条基径数据为例,利用逐步回归技术建立了落叶松枝条基径模型: $BD = b_1 + b_2 DINC + b_3 DINC^2 + b_4 DBH \cdot DINC^2$ 。然后,利用S-PLUS软件中的LME过程,拟合线性枝基径模型。采用AIC、BIC、对数似然值和似然比检验等模型评价统计指标对不同模型的拟合效果进行比较分析。结果表明:当拟合枝条基径模型时, b_1 、 b_2 、 b_3 同时作为混合参数时模型拟合最好。为了矫正混合模型构建过程中产生的异方差现象,把幂函数和指数函数加入到枝条基径混合模型中。指数函数显著提高了枝条基径混合模型的拟合效果,并且消除了异方差现象。模型模拟表明:对于大小相同树木,枝条基径随着枝深度(DINC)的增加而增大,对于大小不同的树木,枝条基径随着胸径(DBH)的增加而增大。林木的胸径变量很好地反映了不同大小树木的枝条基径的变化。在不知道详细林分信息的前提下,可以利用树木变量合理地预测兴安落叶松人工林的枝条基径的变化规律。

关键词:枝条基径;固定效应;随机效应;线性混合模型;落叶松

中图分类号:S711

文献标识码:A

Modeling Branch Diameter with Linear Mixed Effects for Dahurian Larch

JIANG Li-chun, LI Feng-ri, ZHANG Rui

(College of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin 150040, Heilongjiang, China)

Abstract: In this study, based on the data of 2190 branch diameter samples of 30 trees from Dahurian larch (*Larix gmelini* Rupr.) plantations located in Wuying Forest Bureau in Heilongjiang Province, the stepwise regression techniques were used to develop a branch diameter model: $BD = b_1 + b_2 DINC + b_3 DINC^2 + b_4 DBH \cdot DINC^2$. The developed model was fitted using linear mixed-effects modeling approach based on LME procedure of S-PLUS software. Evaluation statistics, such as AIC, BIC, Log Likelihood and likelihood ratio test were used for model comparisons. The results indicated that the branch diameter model with parameters b_1 , b_2 , b_3 as mixed effects showed the best performance. Exponential and power functions were incorporated into the mixed branch diameter model. The addition of the power function significantly improved the mixed-effects model. The plots of residuals indicated that the mixed-effects model with power function showed more homogeneous residual variance than the mixed-effects model. Branch diameters increased with the depth into crown (DINC) increasing for trees with similar DBH. Branch diameters increased with the DBH increasing for different trees. DBH is adequate variable of tree for describing branch diameter variations with different trees. Branch diameters can be predicted from the measurement of some tree-level variables without detailed knowledge of the stand history for Dahurian larch plantations.

Key words: branch diameter; fixed effects; mixed effects; linear mixed model; Dahurian larch

树冠作为树木进行光合作用、呼吸作用、蒸腾作用等一系列生理活动的主要部位,其形状、大小及其结构

直接决定了树木的生长活力和生产力^[1-3]。枝条作为树冠的重要组成部分,其基径大小是确定原木和单板

等级的重要因素,也是间接预测树冠结构和节子大小的重要指标。近年来,欧美等国家已经把枝条基径大小作为评价森林有效经营的重要工具之一^[4-6]。

虽然枝条基径大小和木材质量密切相关,但是从活立木上获得枝条基径大小的信息是不现实的。一种有效的方法就是定量模拟枝条大小,即通过数学模型来预测枝条基径的大小。许多学者以林木变量(胸径、树高、冠长等)和着枝深度(DINC)等为自变量构建了不同树种的枝条基径模型^[7-9]。这些研究主要是采用线性和非线性模型来建立枝条基径模型。枝条基径数据取自不同林分、不同大小树木和枝条,这类数据属于典型分层数据。近年来混合模型技术在国外已应用于枝条特征模型中^[10-11]。与传统的回归分析相比,混合模型能得到渐进无偏参数估计,通过引入随机参数能提高模型的拟合精度,并用方差-协方差结构来反映数据间的相关性及异质性。目前国内应用混合模型研究枝条基径模型还未见报道。本文以兴安落叶松(*Larix gmelini* Rupr.)人工林为例,采用线性混合模型技术建立落叶松枝条基径混合效应模型,包括确定固定效应参数、随机效应参数及方差协方差结构,并对混合效应模型构建过程中如何消除异方差现象进行探讨,然后对混合效应模型与传统模型拟合效果进行检验及比较分析。

1 数据与方法

1.1 数据

研究地点位于黑龙江省伊春市五营林业局境

内。五营局位于黑龙江省伊春市北部,小兴安岭南坡腹部。129°06′~129°30′ E,47°54′~48°19′ N。属中温带大陆性湿润季风气候。除受纬度、地理条件和大气环流控制外,还受森林和局部地形影响,致使五营林区四季气候变化很大。冬季在极地大陆气团控制下气候严寒、干燥并漫长;夏季受副热带海洋气团的影响,降水集中,雨水充沛,气候湿热,日照时间长,适宜作物生长。年平均气温为0.2℃左右,无霜期为111 d,全年平均降水量为626.9 mm,年降水量最大值为832.7 mm。土壤以山地暗棕色森林土为主,少量草甸土、沼泽土、石质土。

用来建立模型的数据为该局丽林实验林场的10块落叶松人工林样地。样地面积为0.04 hm²,实测样地内每株林木的胸径和树高。在每块标准地内选取3株标准木(优势木、平均木、被压木各1株)进行伐倒木测定。测定因子包括:胸径、树高、第一活枝高和第一死枝高、树冠长度和冠幅。将解析木的树干按1 m区分段进行区分,并在每个区分段的中央位置锯取树干解析圆盘。树冠部分也按1 m区分段进行区分。在每个区分段内对枝条进行编号,并测定每个枝条的总着枝深度(DINC)、枝条的方位角(A)、着枝角度(BA)、基径(BD)、枝长(BL)、弦长(BCL)及弓高(BAH)等。将所收集全部枝条数据,按80%和20%的比例分成建模数据样本和独立检验样本,分别用于建立和检验枝条基径模型。各样木测树因子的统计量见表1。

表1 落叶松样木和枝条特征调查因子统计量

因子	建模数据				检验数据			
	平均值	最小值	最大值	标准差	平均值	最小值	最大值	标准差
样木	$n = 24$				$n = 6$			
胸径/cm	20.97	6.00	32.20	5.88	19.50	11.70	24.90	4.49
树高/m	21.71	6.70	26.20	4.05	21.23	13.90	23.90	2.88
枝条数	$n = 1\ 834$				$n = 356$			
总着枝深度/m	2.89	0.02	11.70	2.35	2.89	0.08	10.75	2.29
方位角/(°)	164.82	0	355	101.99	158.78	0	350	98.25
着枝角度/(°)	66.03	10	90	12.80	66.93	30	89	12.57
基径/cm	1.57	0.2	4.9	0.98	1.62	0.3	3.8	0.85
枝长/cm	143.07	11.00	462.00	93.33	142.80	19.00	375.00	81.85
弦长/cm	132.86	11.00	446.00	87.02	131.56	18.00	371.00	76.81

1.2 方法

1.2.1 基础模型 固定效应线性模型形式为:

$$y_i = X_i\beta + \varepsilon_i, i = 1, \dots, m, \quad (1)$$

式中: y_i 是第 i 株树中 ($n_i \times 1$) 维枝条基径

观测值, m 是样木数量, n_i 是第 i 株数的观察值数量, X_i 是 ($n_i \times p$) 维已知设计矩阵, β 是 ($p \times 1$) 维固定参数向量, ε_i 是 ($n_i \times 1$) 维模型的误差项。