

兴安落叶松3种林型林分生长模型的研究*

杨富荣, 铁牛*, 刘洋, 雷娜庆, 阿日根

(内蒙古农业大学林学院 呼和浩特 010019)

摘要: 由于复层异龄林林分结构较复杂,对林木年龄的测定难度很大,通过林木径阶估算林木平均年龄,构建林分平均胸径、平均树高和每公顷公顷蓄积量的生长模型,来预估林分未来的生长状态和特征,对当地兴安落叶松林分的合理经营有一定的指导意义。以兴安落叶松为研究对象,利用201株解析木数据,选择12种生长方程分别对兴安落叶松林木年龄与径阶关系、3种林型林分年龄与平均胸径、林分年龄与平均树高和林分年龄与单位面积蓄积量的关系进行分类拟合。结果显示,兴安落叶松林木年龄与径阶之间存在正相关,并呈一定的规律性变化;年龄与胸径、蓄积的关系采用生长函数是最佳选择;年龄与树高的关系利用二次函数为更合适。

关键词: 兴安落叶松;林分结构;生长过程;林分生长模型

中图分类号: S758.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-3575(2017)02-0037-06

DOI: 10.16853/j.cnki.1009-3575.2017.02.006

STUDY ON GROWTH MODEL OF THREE FOREST TYPES OF *Larix Gmelinii*

YANG Furong, TIE Niu*, LIU Yang, LEI Naqing, Arigen

(Forestry College of Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China)

Abstract: It is difficult to measure the age of the trees because of the complexity of the forest stands. The average age of the trees is estimated by the average diameter of the trees. The average tree height, average tree height and the growth model per hectare of hectares are constructed. It is necessary to estimate the future growth status and characteristics of standings and to guide the rational operation of local *Larix gmelinii* stands. The results showed that the age and diameter of *Larix gmelinii* were the same, and the age and diameter of the three forest stands were the same as the average diameter. And the relationship between stand age and volume per unit area. The results showed that there was a positive correlation between the age and diameter of *Larix gmelinii* trees, and the relationship between age and DBH and accumulation was the best choice. The relationship between age and tree height was obtained by using the quadratic function. For more appropriate.

Keywords: *Larix gmelinii*; Stand structure; growth process; stand growth model

由于兴安落叶松 (*Larix gmelinii*) 复层异龄林林分结构较复杂,对林木年龄的测定难度很大。许多研究表明,林木的胸径生长与年龄呈规律性变化^[1-6],并可建立一定的生长模型。目前,对兴安落

叶松单木与林分生长模型研究较少^[7-12]。李雪峰^[7]等对塔河林业局天然落叶松各林型、各地位级在时间和空间的生长规律进行过研究;蒋伊尹^[8]等对兴安落叶松不同起源、不同立地、不同密度的林木

* 收稿日期: 2017-02-27
基金项目: 国家自然科学基金项目(31360180)。
作者简介: 杨富荣(1991-),女,蒙古族,硕士研究生,主要从事森林可持续经营理论与技术方面的研究。
* 通信作者: E-mail: wangtieniu@126.com

直径、树高、断面积和蓄积量的生长规律进行过相关研究。兴安落叶松为我国大兴安岭主要建群种,主要林型有杜鹃-兴安落叶松林,杜香-兴安落叶松林,草类-兴安落叶松林,构建适合该区主要林型的精准生长过程模型具有一定理论价值与实践意义。树干解析是确定树木胸径、树高和材积等因子生长过程的最精确的方法,由于2015年4月1日起内蒙古大兴安岭林区全面停止了天然林商业性采伐,不能进行主伐,对大龄级林木的树干解析不能做,因此笔者利用30年以前的解析木数据,选择12种生长方程先后对兴安落叶松林木年龄与径阶和3种林型林分年龄与平均胸径、平均树高及单位面积蓄积量的关系进行分类拟合,选取最适合表其关系的模型。因为在外业调查中,胸径很容易测定且准确,利用林木年龄与径阶关系的模型可以精准的预测林木平均年龄,既可以避免测定年龄时对林木的伤害,而且对林分年龄的测定和预估提供参考,从而提高林分收获预估模型的精度。

1 研究地区概况

研究区设在内蒙古大兴安岭森林生态站,位于内蒙古根河林业局潮查林场境内,地处大兴安岭西

北坡(北纬 50°49′—50°51′,东经 121°30′—121°31′),平均海拔 826m。该地区属寒温带半湿润气候区,冬季严寒漫长,夏季短暂,最高气温 40℃,极端最低气温 -50℃,年平均温度为 -5.4℃,年降水量 450~550 mm,集中在 7~8 月。全年地表蒸发量 800~1200 m,年平均日照 2 594 h,无霜期 80 d。境内土壤类型为棕色针叶林土,土层浅薄,仅 30~40 cm,土壤内富含砾石。兴安落叶松林为地带性植被。常见植物还有,白桦(*Betula platyphylla*)、杜鹃(*Rhododendron dauricum*)、杜香(*Ledum palustre*)、红花鹿蹄草(*Pyrola incarnata Fisch. ex DC.*)、越橘(*Vaccinium vitis-idaea*)等^[13]。

2 研究方法

2.1 数据来源及处理

本研究试验数据取自内蒙古根河原始林区(引用 1985-1990 年原林业部综合队调查资料)大兴安岭地区的标准地数据,样地总数为 1854 块,共选取 201 株兴安落叶松解析木,其中杜香-兴安落叶松林有 34 株、杜鹃兴安落叶松林有 15 株和草类兴安落叶松林有 152 株。解析木分布情况见表 1。

表 1 解析木基本情况
Table 1 Basic analysis of wood

树种	年龄(a)		D(cm)		H(m)		V(m ³)	
	均值±标准误	范围	均值±标准误	范围	均值±标准误	范围	均值±标准误	范围
落叶松	101±0.69	52~287	14.7±0.12	6.5~47.0	14.6±0.07	8.1~30.9	0.0879±0.0377	0.0231~1.9693

注:范围均指最小值~最大值。

将所有林木的实测胸径以 2cm 为一个径阶进行了整化,再计算出不同径阶的林木平均年龄。采用 Excel、SPSS 19.0 绘制径阶平均年龄与径阶关系,林分年龄与胸径、树高和蓄积之间关系的散点图,进行曲线拟合和运算,找出年龄与各林分调查因子的关系。

2.2 预选模型

大量研究表明,理想的林分生长模型必须满足

以下 3 个主要条件:①能够较准确地反映林分平均胸径、树高和蓄积量的生长规律,②必须在拟合过程中有较高的相关系数和较少参数,③符合生物学特性^[14,15]。根据这 3 个条件先对兴安落叶松径阶平均年龄与径阶关系进行预选,再对大兴安岭地区 3 种主要林型林分的平均胸径、树高和单位面积蓄积量的生长模型进行预选,用于拟合生长方程的曲线类型包括表 2。

表 2 生长方程的曲线类型
Table 2 Curve types of growth equation

方程名称	方程数学公式
逆函数	$Y = b_1 + b_2/T$
S 形曲线	$Y = EXP(b_1 + b_2/T)$
幂函数	$Y = b_1 T b_2$
生长函数	$Y = EXP(b_1 + b_2/T)$
三次函数	$Y = b_1 + b_2 T + b_3 T^2 + b_4 T^3$
指数函数	$Y = b_1 EXP(b_2 T)$
一元线性	$Y = b_1 + b_2 T$
复合函数	$Y = b_1 (b_2)^T$
二次函数	$Y = b_1 + b_2 T + b_3 T^2$
柯列尔	$Y = b_1 T b_2 EXP(-b_3 T)$
对数函数	$Y = b_1 + b_2 \ln T$
修正 Weibull	$Y = b_1 (1 - EXP(-b_2 T b_3))$

式中: Y 为平均树高、平均胸径及每公顷蓄积量; T 为林分年龄; a, b, c 为回归参数; e 为自然对数的底; 拟合兴安落叶松径阶平均年龄与径阶关系时, Y 为林木年龄; T 为径阶。

2.3 3 种林型林分生长模型建立

依据 3 种林型林分平均胸径、平均树高和平均年龄的调查数据, 利用当地二元材积表公式 $V = 0.000\ 050\ 168\ 24D^{1.758\ 289\ 4} H^{1.149\ 665\ 3}$ [16] 计算各样地平均单株材积, 乘以样地林木株数, 求样地蓄积量, 再求每公顷蓄积量。然后建立兴安落叶松 3 种林型林分平均年龄与平均胸径、平均年龄与平均树高和

平均年龄与单位面积蓄积量的生长过程模型。

3 结果与分析

3.1 兴安落叶松的年龄与径阶关系分析

利用 201 株兴安落叶松解析木数据, 解析木年龄最小值为 52 a, 最大值为 287 a; 胸径最小值为 6.9 cm, 最大值为 47.0 cm。将所有林木的实测胸径以 2 cm 为一个径阶整化, 计算不同径阶的林木平均年龄, 采用 Excel 绘制林木年龄随径阶变化的散点图, 见图 1。

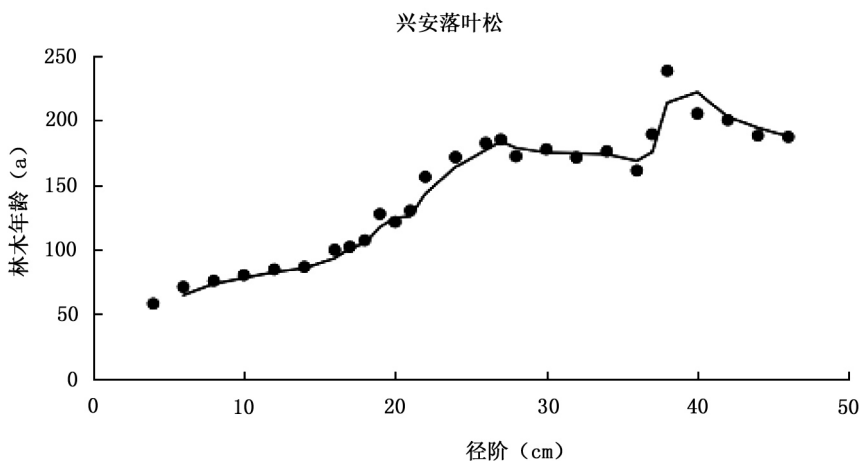


图 1 兴安落叶松各径阶的林木年龄变动关系

Fig. 1 Relationship between Age Change of Larix gmelinii Larvae in Different Diameter

从图 1 可以看出, 兴安落叶松不同径阶其林木 年龄变化幅度不同, 在兴安落叶松生长前期, 相同径

阶的林木年龄波动较小,其主要原因在兴安落叶松本身的生物学特性,生长速度较慢,外界环境影响也不大,故生长前期相同径阶林木的年龄差异不大;随着树木的不断生长,其周围的生长环境对其影响也越来越大,相同径阶林木年龄波动逐渐变大,这主要由于生长中期林木生长旺盛,养分竞争激烈,周围林木的相对空间位置以及相互之间的距离,周围林木会对其产生竞争,抑制其生长,导致林木生长状况差异很大;在兴安落叶松生长后期,相同径阶的年龄变动相对来说减小,因为后期周围林木间养分竞争有所缓慢,保留下的林木生长差异减

小,从而使林木总体年龄变动减小。总的来说,兴安落叶松的径阶平均年龄与径阶之间存在正相关,但并不呈现简单的线性关系。

3.2 兴安落叶松的年龄与径阶关系最优模型

从图1分析结果可知,兴安落叶松径阶平均年龄与径阶呈规律性变化。因此,由径阶为自变量,径阶平均年龄为因变量,采用SPSS 19.0绘制林木年龄与径阶关系的散点图,利用当地常用的12种生长方程(表2)对其进行曲线拟合和运算,拟合效果较好的生长模型如表3。

表3 兴安落叶松的年龄与径阶关系方程

Table 3 Relationship between age and diameter order of *Larix gmelinii*

树种	模型名称	生长方程	R ²
兴安落叶松	幂函数	$A = 0.616D^{20.859}$	0.849
	三次函数	$A = 50.020 + 1.272D + 0.221D^2 + 0.004D^3$	0.874
	一元线性函数	$A = 48.723 + 3.949D$	0.83
	二次函数	$A = 11.873 + 7.763D - 0.078D^2$	0.864
	柯列尔	$A = 2.146D^{4.404}EXP(-0.016D)$	0.86
	对数函数	$A = -97.110 + 79.087\ln^D$	0.836

式中 D 是径阶 A 是林木平均年龄 e 是自然对数的底。

依据相关系数最大、剩余平方和最小的原则,选出兴安落叶松径阶平均年龄与径阶的最优生长模型。结果显示,3次函数能较好的表达兴安落叶松径阶平均年龄规律,通过该方程,由径阶准确的计算林木平均年龄,再由林木平均年龄估测林分的平均年龄。

3.3 3种林型林分生长模型建立

3.3.1 平均胸径、平均树高和单位面积林木蓄积量生长的模拟 利用兴安落叶松3种林型数据,其中杜香-落叶松林 $T(59 \sim 263a)$, $D(8.7 \sim 43.5cm)$, $H(9.2 \sim 30.9m)$; 杜鹃兴安落叶松林 $T(77 \sim 266a)$, $D(9.8 \sim 36.6cm)$, $H(8.1 \sim 22.3m)$; 草类兴安落叶松林 $T(52 \sim 287a)$, $D(6.9 \sim 47.0cm)$, $H(8.1 \sim 28.9m)$ 。利用材积表公式计算各样地平均单株材积,乘以样地林木株数,求样地蓄积量,再求每公顷蓄积量。由年龄为自变量,胸径、树高和蓄积为因变量,通过对以上12个模型拟合,选择林分生长曲线的拟合方程,依据相关系数最大、剩余平

方和最小的原则,分别建立出3种林型林分平均年龄与平均胸径、平均树高及每公顷蓄积量的最优模型,见表4。

式中 H 是平均树高 D 是平均胸径 V 是每公顷蓄积量 e 是自然对数的底 T 是林分平均年龄。

由胸径、树高及蓄积生长方程拟合的相关性可以看出,各林型的最优生长模型能较好的表达胸径、树高和蓄积随年龄的生长规律。即兴安落叶松3种林型林分平均年龄与平均胸径、平均树高及每公顷蓄积量生长最优模型分别为:年龄与胸径、蓄积的关系采用生长函数是最佳选择;年龄与树高的关系利用二次函数为更合适。这主要由于周围环境对其的影响,周围林木的相对空间位置以及相互之间的距离均会对其产生竞争,抑制其生长,即兴安落叶松胸径、树高及单位面积蓄积量随年龄的变化规律不同,因此,相互之间建立的关系方程也不同。而3种林型之间,兴安落叶松本身生物学特性差异不大,建立的关系方程也一样,同样可以采用生长函数来表达林分年龄与胸径、蓄积的关系;二次函数表达年龄与树高的关系。

表 4 兴安落叶松年龄与胸径、树高、蓄积生长模型

Table 4 Age of Larix gmelinii, DBH, tree height and accumulation growth model

林型	指标	模型名称	生长过程最优模型	R2
草类	直径	生长函数	$D = EXP(0.037 + 0.007T)$	0.716
	树高	二次函数	$H = 1.746 + 0.029T + 0.001T^2$	0.723
	蓄积	生长函数	$V = EXP(0.298 + 0.001T)$	0.888
杜香	直径	生长函数	$D = EXP(0.064 + 0.006T)$	0.823
	树高	二次函数	$H = 1.385 + 0.037T + 0.001T^2$	0.826
	蓄积	生长函数	$V = EXP(2.215 + 0.020T)$	0.602
杜鹃	直径	生长函数	$D = EXP(9.739 + 0.136T)$	0.807
	树高	二次函数	$H = 5.984 + 0.063T + 0.001T^2$	0.722
	蓄积	生长函数	$V = EXP(0.422 + 0.002T)$	0.754

3.4 3 种林型的生长模型检验

为了客观地评价拟合效果,采用平均系统误差 (E)、剩余标准差(S)、均方根误差(Δ)和卡方检验对 3 种主要林型林分平均胸径、平均树高和单位

面积林木蓄积量的生长过程方程得到的理论值与未参加建模的实际值相比较,对生长模型进行检验。这里只以年龄与胸径生长模型为例做出检验。根据如下公式计算所得结果如表 5。

$$E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k (\hat{X}_i - \bar{X}_i); S = \pm \sqrt{\frac{1}{n-1} [\sum_{i=1}^k (\hat{X}_i - \bar{X}_i)^2]}; \Delta = \pm \sqrt{\frac{1}{n} [\sum_{i=1}^k ((\hat{X}_i - \bar{X}_i) / \bar{X}_i)^2]};$$

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(x_i - \hat{x}_i)^2}{\hat{x}_i}$$

式中: \hat{x}_i 是理论值, x_i 是测量值。

判定依据是: 在 0.05 显著性水平下当 $\chi^2 <$

$\chi^2_{0.05}$ 时模型符合假设检验,模型符合要求为最优模型。

表 5 3 种林型年龄与胸径生长模型检验 (%)

Table 5 Test of Age and DBH Growth Model of Three Forest Types (%)

林型	E	Δ	E	P
草类	3.8	6.3	4.77	95.23
杜鹃	4.8	7.6	4.85	95.15
杜香	3.6	4.6	4.54	95.46

用未参与建模的样地数据对拟合的兴安落叶松林 3 种林型林分平均年龄与平均胸径生长模型进行检验。误差百分率是指兴安落叶松 3 种林型实测胸径值与方程计算得到的理论胸径值之差与实测值之比的百分数^[14]。结果显示,得到平均系统误差的绝对值 |E| 为 3.6% - 4.8% < 5%; 均方根误差 Δ 为 4.6% - 7.6% < 10%。这说明林分理论平均胸径与实际平均胸径差异不显著,故这个方程可行。预估的相对误差为 4.54% - 4.85%; 估计精度为 95.15% - 95.46%。因此,在当地的林分生长收获预估中,可以采用该方程预估林分以后的生长状

况,对当地林分的合理经营有一定的指导意义。

4 结论

4.1 根据数据资料,从相同径阶林木的年龄差异进行分析,得出林木年龄与径阶之间存在正相关,并呈一定的规律性变化。在当地林分生长收获预估中,可以采用所建立的模型估算林分年龄,提高林分收获预估的精度,既能节省时间及人力物力资源,并可以减少对林木年龄测定的不必要的伤害,对合理经营当地林分有一定的指导意义。然而,同径阶的林

木年龄有一定的差异,径阶林木年龄在不同生长发育阶段,其变化幅度不同,这主要由于周围环境对其的影响,形成同径阶林木年龄的差异。因此,用所建立的方程估测林木年龄时候会产生一定的误差。

4.2 利用杜香-落叶松林、杜鹃-落叶松林和草类-落叶松林3种林型数据,从胸径、树高及单位面积蓄积量随年龄的变动进行分析,结果表明,同一林型内兴安落叶松胸径、树高及单位面积蓄积量随年龄的变化规律不同,所建立的生长方程类型也不同;而林型之间所建立的关系方程一致,3种林型均可以采用生长函数来表达林分年龄与胸径、蓄积的关系;二次函数表达年龄与树高的关系。但为了实现兴安落叶松林林分生长规律更为全面的研究,今后还需获得更为全面的标准地和解析木数据,并将更多影响林木生长的因子变量引入兴安落叶松林林分生长过程的分析中,为生长过程分析提供更为可靠的理论依据。

参 考 文 献:

- [1] 孟宪宇. 天然兴安落叶松林年龄结构的分析[J]. 北京林业大学学报, 1989, 11(3): 17-23.
- [2] 孟宪宇, 张弘. 闽北杉木人工林单木模型[J]. 北京林业大学学报, 1996, 18(2): 1-8.
- [3] 胡云云, 亢新刚, 赵俊卉. 长白山地区天然林林木年龄与胸径的变动关系[J]. 东北林业大学学报, 2009, 37(11): 38-42.
- [4] 潘紫重, 应天玉, 赵艳霞. 帽儿山复层异龄天然林的林龄结构[J]. 东北林业大学学报, 2008, 36(6): 9-12.
- [5] 周宁, 郑小贤. 金沟岭林场云杉过伐林生长模型研究[J]. 内蒙古林业调查设计, 2009, 32(5): 70-73.
- [6] 任瑞娟, 亢新刚, 徐光, 等. 长白山云冷杉针阔混交林年龄结构研究[J]. 林业科技开发, 2014, 28(4): 30-33.
- [7] 李雪峰. 塔河林业局天然兴安落叶松生长模型的研究[J]. 东北林业大学学报, 1987, 15(S4): 48-54.
- [8] 蒋伊尹, 李凤日, 李长胜. 兴安落叶松幼、中龄林生长规律的研究[J]. 东北林业大学学报, 1990, 18(1): 1-7.
- [9] 张俊, 孙玉军, 许俊利. 东北地区兴安落叶松人工林生长过程研究[J]. 西北林学院学报, 2008, 23(6): 179-181.
- [10] 曲礼彬, 高明福, 王洪鹏, 等. 毕拉河石塘—兴安落叶松林生长分析[J]. 内蒙古林业调查设计, 2008, 31(5): 20-22.
- [11] 张建国, 宋廷茂, 赵朝中, 等. 兴安落叶松和樟子松苗木生长规律之研究[J]. 北京林业大学学报, 1993, 15(S2): 84-95.
- [12] 李勃, 德永军, 韦勤, 等. 3种密度对兴安落叶松人工林生长的影响[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2013, 34(2): 65-68.
- [13] 淑梅. 寒温带兴安落叶松林林分结构与天然更新研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2008.
- [14] 刘洋, 亢新刚, 郭艳荣, 等. 长白山3种主要林型林分生长过程研究[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2014, 38(2): 63-67.
- [15] 孟宪宇. 测树学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2006.
- [16] LY 208-77. 中华人民共和国农林部标准立木材积表[M]. 北京: 技术标准出版社, 1978.