

# 西藏昌都地区川西云杉林木生长规律研究

白文斌<sup>1</sup>, 廖超英<sup>2\*</sup>, 康 乐<sup>1</sup>, 张晓芳<sup>1</sup>

(1. 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨陵 712100; 2. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨陵 712100)

**摘 要:**以昌都地区川西云杉解析木资料为基础进行回归分析, 确定川西云杉林木胸径、树高、材积的最优生长模型, 用样地调查实测数据验证模型预测精度, 并绘制胸径、树高、材积连年生长量和平均生长量曲线, 对其生长过程进行分析。结果表明, 最优模型能够很好的反映其生长规律。树龄 < 25 a 时, 即幼龄林时期川西云杉的生长速率相对较快; 25 a 后胸径、树高及材积的生长相对稳定, 但仍维持了较高生长速率。其胸径的连年生长量在第 30 年生长最快, 平均生长量在第 45 年最高; 树高连年生长量和平均生长量的最高点一般比胸径相应的推迟 20 a。从材积生长规律上来看, 川西云杉的平均和连年生长量仍有上升的趋势。鉴于其数量成熟龄出现较晚, 在生产经营中应适时的采取间伐抚育, 以保证林分的最大生产力。

**关键词:**川西云杉; 生长分析; 生长模型; 西藏昌都; 成熟龄

**中图分类号:**S791.180.6      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-7461(2012)05-0158-05

## Growth Regularity of *Picea likiangensis* var. *balfouriana* in Changdu of Tibet

BAI Wen-bin<sup>1</sup>, LIAO Chao-ying<sup>2\*</sup>, KANG Le<sup>1</sup>, ZHANG Xiao-fang<sup>1</sup>

(1. College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** The growth regularities of DBH, height and volume of *Picea likiangensis* var. *balfouriana* growing in Changdu, Tibet, China, were investigated to provide references for predicting its growth process. Based on the data of the analytical trees, appropriate growth regularity models were established by using SPSS software to carry out regression analysis. The accuracies of these models were tested through the data which collected from the investigation plots. The average increment, current annual increment curves were obtained to analyze the growth regularity. The results showed that the growth models could fit the growth process precisely. The growth rate was relatively high when the trees were less than 25 years old. After that, the growth of DBH, height and volume remained relatively stabile, but also within the range of high growth rate. The current annual increment of DBH increased apparently at the year of 30, and reached at its highest point at 45. The highest values of current annual increment and average increment of the height growth were approximately 20 years later than that of DBH growth. Among the growth regularities of volume, the average increment and current annual increment still exhibited a rising trend. In the view of its late quantitative maturity, it was suggested that thinning measures should be implemented in order to enhance the net primary productivity of the *Picea likiangensis* forest.

**Key words:** *Picea likiangensis* var. *balfouriana*; growth analysis; growth model; Changdu of Tibet; quantitative maturity age

收稿日期: 2011-12-07    修回日期: 2012-02-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(30670339)。

作者简介: 白文斌, 男, 在读硕士, 主要研究方向: 森林生态。E-mail: baiwb@nwsuaf.edu.cn

\* 通讯作者: 廖超英, 男, 教授, 博士生导师, 研究方向: 森林培育、环境生态、水土保持及荒漠化防治。E-mail: chaoying95@163.com

川西云杉(*Picea likiangensis* var. *balfouriana*)又名西康云杉、康藏云杉<sup>[1]</sup>,是我国藏东南地区分布很广的一个树种,以其对寒冷和干旱的适应能力在半湿润-湿润地区的亚高山上部形成断续分布的森林群落。川西云杉林在西藏昌都地区普遍分布在海拔 3 600~4 200 m,是组成森林草原过度地带的边缘森林,对防止草原南移、森林线下降及长江源头地区的涵养水源、保持水土都有极为重要的作用<sup>[2]</sup>。目前,国内外针对川西云杉的研究主要集中在种群结构<sup>[3]</sup>、种群竞争规律<sup>[4-5]</sup>、人工林养分含量、扦插育苗和造林<sup>[6]</sup>等方面,对川西云杉生长规律的研究很少。本研究对川西云杉胸径、树高和材积的生长模型进行拟合,分析川西云杉胸径、树高和材积的生长规律,为川西云杉林分的管护和培育提供理论依据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

昌都地区位于 93°6′~99°2′E、28°5′~32°6′N 之间。地貌基本形态为高山和高原,平均海拔在 3 500 m 以上。川西云杉林分布区的地貌具有从高山峡谷向高原湖盆过渡的特点,气候以温凉湿润为基本特征,分布区的年平均气温为 1~5℃,土壤以棕壤为主,土层厚度在 60 cm 以上。其群落多为纯林,伴生树种有白桦(*Betula platyphylla*)、山杨(*Populus davidiana*)等。林下灌木主要有灰栒子(*Cotoneaster acutifolius*)、杯萼忍冬(*Lonicera inconspicua*)、四川忍冬(*L. szechuanica*)、圆叶丁香(*Syringa wardii*)等。草本有剪股颖(*Agrostis* sp.)、糙叶早熟禾(*Poa asperifolia*)、鹅观草(*Roegneria*)等。

1.2 方法

对昌都地区川西云杉林分标准木树干解析资料,选择不同的数学模型,通过回归分析,分别拟合出川西云杉林木胸径、树高、材积生长的最优数学模型;并将标准地调查实测数据与模型预测的理论值进行比较,验证模型的精确度,进而进行生长分析。

1.2.1 标准地调查与标准木树干解析 选择坡度、坡向、海拔、土壤类型及地位级(Ⅱ~Ⅲ级)等基本一致的林分,设置 10 个 20 m×30 m 的标准地。标准地林分类型均为天然异龄纯林,其中,5 个标准地用于确定标准木和标准木树干解析,5 个标准地调查数据用于验证模型。按 5 a 为 1 个龄级记录每株树木的树龄、胸径、树高值,不同树龄的林木材积值由平均实验形数公式计算<sup>[7]</sup>:

$$V=g_{1.3}(h+3)f_a \tag{1}$$

式中: $V$  为材积, $g_{1.3}$  为胸高断面面积; $h$  为树高; $f_a$  为平均实验形数(川西云杉的  $f_a$  取 0.4<sup>[2]</sup>)。

1.2.2 生长方程建立 通过 SPSS 软件进行回归分析,拟采用的数学模型有逻辑斯蒂、理查德、苏玛克、韦布尔、坎派兹、高斯和二次曲线模型<sup>[8-14]</sup>。

逻辑斯蒂模型:
$$Y=\frac{K}{1+e^{A-BT}} \tag{2}$$

理查德模型:
$$Y=A(1-Be^{-KT})^C \tag{3}$$

舒马克模型:
$$Y=Ae^{\frac{-B}{T+C}} \tag{4}$$

韦布尔模型:
$$Y=A[1-e^{-(\frac{T-B}{C})}] \tag{5}$$

坎派兹模型:
$$Y=Ae^{(-Be^{-KT})} \tag{6}$$

高斯模型:
$$Y=A(1-Be^{-KT^2}) \tag{7}$$

二次曲线模型:
$$Y=A+BT+CT^2 \tag{8}$$

式中: $Y$  表示生长量; $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$ 、 $K$  表示随机参数; $T$  表示树龄。

参考盛炜彤<sup>[15]</sup>等研究结果,选取以上 7 个生长方程作为川西云杉生长的备选模型。分别将川西云杉解析木胸径、树高和材积数据进行拟合,通过回归分析,求出各参数值,决定系数最大,残差平方和最小的生长方程确定为川西云杉测树因子的生长模型。

1.2.3 连年生长量和平均生长量 连年生长量  $Z$  是说明树木某一年的实际生长速度,即对最优生长方程  $Y=f(T)$  取一阶导数,就得到连年生长量依年龄  $T$  变化的方程:

$$Z=\frac{dY}{dT} \tag{9}$$

平均生长量  $\theta$  是树木至年龄  $T$  时的平均生长速度,可以表示为:

$$\theta=\frac{Y}{T} \tag{10}$$

2 结果与分析

2.1 胸径、树高、材积生长模型的建立

2.1.1 胸径生长模型 根据对以上各模型参数的拟合(表 1),可知 Richards 模型拟合的决定系数最大,胸径  $Y_d$  与树龄  $T$  的回归关系显著,故确定其为川西云杉的胸径生长模型:

$$Y_d=75.571(1-1.021e^{-0.005T})^{0.973},$$
$$R^2=0.866^{**} \tag{11}$$

2.1.2 树高生长模型 由表 2 可知,Richards 模型对树高的拟合效果最好,残差平方和也最小,故川西云杉的树高  $Y_h$  生长模型确定为:

$$Y_h=31.382(1-0.979e^{-0.019T})^{2.170},$$
$$R^2=0.992^{**} \tag{12}$$

表 1 川西云杉胸径生长模型拟合结果

Table 1 Curve fitting types and modeling results for diameter growth of *P. likiangensis* var. *balfou riana*

数学模型	拟合参数	决定系数 $R^2$	残差平方和
逻辑斯蒂	$A=2.080, B=0.027, K=47.738$	0.843	3 306.991
理查德	$A=75.571, B=1.021, C=0.973, K=0.005$	0.866	3 036.938
舒马克	$A=89.200, B=142.882, C=34.373$	0.855	3 066.621
韦布尔	$A=75.095, B=3.728, C=184.955, D=0.988$	0.856	3 037.069
坎派兹	$A=52.083, B=2.739, K=0.017$	0.851	3 148.827
高斯	$A=46.134, B=0.873, K=0.000$	0.840	3 368.329
二次曲线	$A=-0.911, B=0.386, C=-0.000\ 7$	0.856	3 032.127

表 2 川西云杉树高生长模型拟合结果

Table 2 Curve fitting types and modeling results for height growth of *P. likiangensis* var. *balfou riana*

数学模型	拟合参数	决定系数 $R^2$	残差平方和
逻辑斯蒂	$A=2.497, B=0.039, K=28.539$	0.981	168.905
理查德	$A=31.382, B=0.979, C=2.170, K=0.019$	0.992	76.491
舒马克	$A=44.126, B=71.092, C=4.231$	0.990	92.793
韦布尔	$A=30.564, B=4.147, C=78.289, D=1.423$	0.991	77.962
坎派兹	$A=29.979, B=3.628, K=0.026$	0.990	91.529
高斯	$A=28.405, B=0.941, K=0.000$	0.986	129.356
二次曲线	$A=-3.078, B=0.345, C=-0.000\ 9$	0.989	96.070

2.1.3 材积生长模型 由表 3 可以看出,Logistic 模型和 Weibull 模型对材积的拟合都很好,但 Logistic模型的残差平方和最小,且更为简洁,所以

川西云杉的材积  $Y_v$  生长模型为:

$$Y_v = \frac{2.366}{1 + e^{4.453 - 0.037T}}, R^2 = 0.858^{**}$$

(13)

表 3 川西云杉材积生长模型拟合结果

Table 3 Curve fitting types and modeling results for volume growth of *P. likiangensis* var. *balfou riana*

数学模型	拟合参数	决定系数 $R^2$	残差平方和
逻辑斯蒂	$A=4.453, B=0.037, K=2.366$	0.858	8.613
理查德	$A=12.938, B=0.023, C=342.802, K=0.018$	0.856	8.700
舒马克	$A=7.664, B=231.621, C=1.876$	0.853	8.911
韦布尔	$A=2.314, B=-40.528, C=175.511, D=4.165$	0.858	8.617
坎派兹	$A=2.934, B=7.991, K=0.018$	0.856	8.699
高斯	$A=3.953, B=1.025, K=0.000$	0.848	9.168
二次曲线	$A=-0.161, B=0.005, C=0.000$	0.836	9.892

2.2 胸径、树高和材积生长模型的验证

根据标准地所测数据,按照 5 a 为 1 个龄级,将不同的龄级分别代入拟合所得的 3 个最优模型中,分别计算出胸径、树高和材积的预测值,然后与标准地调查的实测值进行对比<sup>[16]</sup>。结果显示,实测值与预测值间的残差很小,数值吻合(图 1-A~图 3-A),说明模型的拟合效果很好。在树龄较小时,胸径、树高、材积的实测值与预测值很接近,随着龄级增大误差变大。

2.3 胸径、树高和材积生长分析

2.3.1 胸径生长分析 通过川西云杉胸径与年龄的拟合曲线可以看出(图 1-A),川西云杉林木胸径随年龄的增长趋势明显,在树龄>160 a 以后,胸径仍有持续增长的趋势。胸径平均生长量和连年生长量如图 1-B 所示,当树龄<25 a 时,平均生长量和连年生长量急剧增长,而连年生长量的增长量相对较

快,并在第 30 年达到其最大值 0.351 cm,此后连年生长量开始衰减。胸径平均生长量在 40 a 以前增长较快,在第 45 年平均生长量曲线与连年生长量曲线相交<sup>[16]</sup>,平均生长量达到最大值 0.336 cm,此后缓慢下降。

2.3.2 树高生长分析 由图 2-A 可知,川西云杉林木高生长呈“S”型曲线第 160 年树高可达 30 m。通过分析川西云杉树高平均生长量和连年生长量可知(图 2-B),在树龄<35 a 时,平均生长量和连年生长量均增长迅速,连年生长量表现的尤为明显,并在第 45 年时达到最大值 0.29 m,随后逐渐减慢;在 70 a 两生长量曲线相交,平均生长量获最大值 0.234 m,随后缓慢下降,平均生长量维持在 0.15 m 以上。

2.3.3 材积生长分析 材积的生长过程有别于胸径和树高(图 3-A),在所分析的年龄内(160 a),呈

“J”型曲线,即在树木生长初期( $<40\text{ a}$ ),材积生长较慢,40 a 以后生长加快。预计随着年龄的进一步增长,最终将呈“S”型曲线。由 2 条生长量曲线可以看出(图 3-B):在所调查的龄级内,连年生长量均大于平均生长量,在第 145 年达到其最大值 0.017 6

$\text{m}^3$ 。材积平均生长量则一直呈上升趋势,在树龄为 160 a 时,两曲线仍未相交,平均生长量还没有到达最大值,林分没有达到成熟龄<sup>[17]</sup>,同时也表明川西云杉的材积生长速率缓慢。

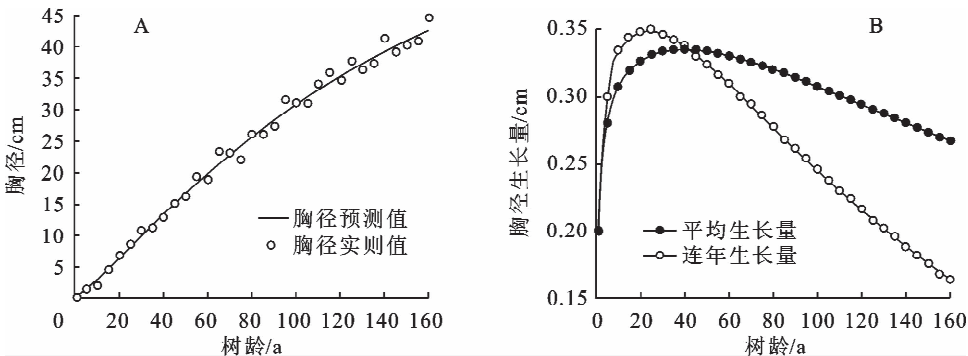


图 1 川西云杉胸径生长过程曲线及生长量曲线

Fig. 1 DBH growth process and average & current annual increment of *P. likiangensis* var. *balfou riana*

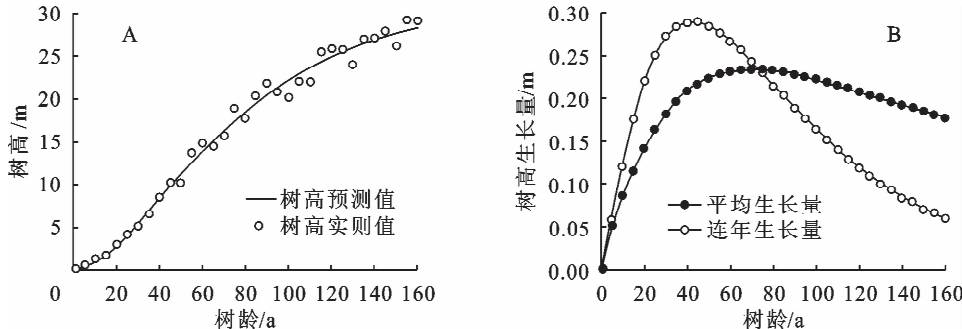


图 2 川西云杉树高生长过程曲线及生长量曲线

Fig. 2 Height growth process and average & current annual increment of *P. likiangensis* var. *balfou riana*

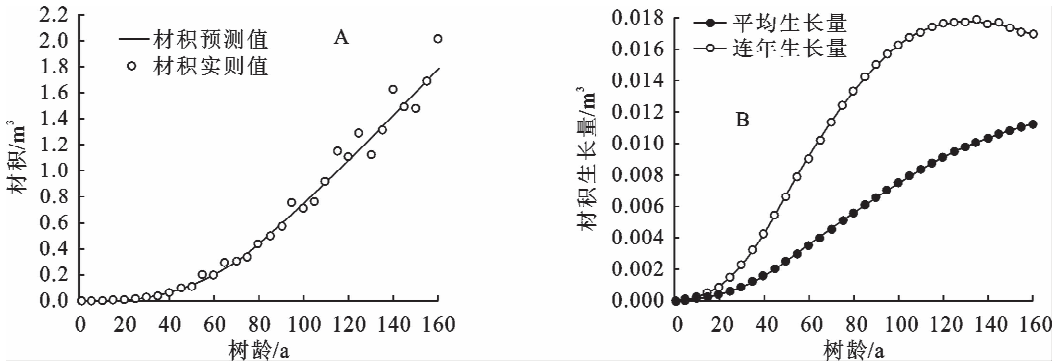


图 3 川西云杉材积生长过程曲线及生长量曲线

Fig. 3 Volume growth process and average & current annual increment of *P. likiangensis* var. *balfou riana*

### 3 结论与讨论

本研究所拟合的各模型精度较高,可以用于昌都地区川西云杉林的生长过程预测以及今后的林业生产经营。通过胸径、树高、材积的实测值与预测值对比可以看出,当树木年龄 $<40\text{ a}$ 时,实测值与预测值很接近,而 $>40\text{ a}$ 则偏差较大。

川西云杉胸径的连年生长量在第 30 年时生长最快,平均生长量在第 45 年最高;树高连年生长量

和平均生长量的最高点一般比胸径相应的推迟 20 a。川西云杉在 160 a 仍没有到达数量成熟龄。总体来说,川西云杉在 20~70 a 之间生长速率较大,在此期间应适时的对林地进行间伐抚育,延长林木速生期,注重幼树的抚育及老树的管护工作。特别是昌都地区川西云杉的生产力低下<sup>[2]</sup>,林分中大径阶的立木也较多,它们通常具有较大的冠幅和树高,影响了下木的更新和发育,在林业生产中,应采取合理的措施,以保证其拥有最大的林地生产力。



参考文献：

- [1] 贺家仁. 甘孜州树木[M]. 成都:四川科学技术出版社,1993.
- [2] 中国科学院青藏高原综合科学考察队. 西藏森林[M]. 北京:科学出版社,1985.
- [3] 刘兴良,汪明,宿以明,等. 川西高山林区人工林生态学研究——种群结构[J]. 四川林业科技, 2003, 24(3):1-9.  
LIU X L, WANG M, SU Y M, *et al.* Studies on population ecology of the plantation in alpine forest regions of Western Sichuan: population structures [J]. Journal of Sichuan Forestry Science & Technology, 2003, 24(3):1-9. (in Chinese)
- [4] 刘兴良,宿以明,向成华,等. 川西云杉人工林养分含量、贮量及分配的研究[J]. 林业科学, 2001, 37(4):10-18.  
LIU X L, SU Y M, XIANG C H, *et al.* Concentration, storage and allocation of nutrient element in *Picea balfouriana* plantation of West Sichuan [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2001, 37(4): 10-18. (in Chinese)
- [5] 刘兴良,宿以明,向成华,等. 川西云杉人工林种群竞争规律初步研究[J]. 四川林业科技, 1998, 19(2):14-21.  
LIU X L, SU Y M, XIANG C H, *et al.* Research on the competitive laws of artificial spruce forest populations [J]. Journal of Sichuan Forestry Science & Technology, 1998, 19(2): 14-21. (in Chinese)
- [6] 王宽邦,吕才忠,杨海文. 川西云杉温室容器育苗技术[J]. 青海农林科技, 2004(1):75-76.  
WANG K B, LV C Z, YANG H W. Technique on container nursery of Chuanxi spruce in warm house [J]. Science and Technology of Qinghai Agriculture and Forest, 2004(1): 75-76. (in Chinese)
- [7] 彭舜磊,王德祥. 火地塘林区铁杉生长规律研究[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2008, 36(4):83-88.  
PENG S L, WANG D X. Growth law of *Tsuga chinensis* in Huoditang Forest Region [J]. Journal of Northwest A&F University: Nat. Sci. Ed., 2008, 36(4): 83-88. (in Chinese)
- [8] 洪伟,吴承祯,闫淑君. 广义 Schumacher 模型的改进及其应用[J]. 应用生态学报. 2004, 15(2):241-244.  
HONG W, WU C Z, YAN S J. Modification and its application of generalized Schumacher model [J]. Chinese Journal of Applied Ecology. 2004, 15(2): 241-244. (in Chinese)
- [9] 段爱国,张建国,童书振. 6 种生长方程在杉木人工林林分直径结构上的应用[J]. 林业科学研究, 2003, 16(4):423-429.  
DUAN A G, ZHANG J G, TONG S Z. Application of six growth equations on stands diameter structure of Chinese fir plantations [J]. Forest Research, 2003, 16(4): 423-429. (in Chinese)
- [10] 王顺忠,王飞,张恒明,等. 长白山阔叶红松林径级模拟研究——林分模拟[J]. 北京林业大学学报, 2006, 28(5):23-27.  
WANG S Z, WANG F, ZHANG, H M, *et al.* Modeling the diameter distribution of forest stands of broadleaved-Korean pine mixed forests on the Changbaishan Mountain[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2006, 28(5): 22-27. (in Chinese)
- [11] 魏占才. 长白山落叶松人工林林分模型的应用[J]. 北京林业大学学报, 2006, 34(4):31-33.  
WEI Z C. Application of stand models of *Larix olgensis* plantations[J]. Journal of Beijing Forest University, 2006, 34(4): 31-33. (in Chinese)
- [12] ANNADURAI G, RAJESH B. Development of mathematical models (Logistic, Compertz and Richards Models) describing the growth pattern of *Pseudomonas putida* [J]. Bioprocess and Biosystem Engineering, 2000, 23(6): 607-612.
- [13] KOOL B W, BOER M P, KOOIJMAN S A. On the use of the Logistic equation in models of food chains[J]. Bulletin of Mathematical Biology, 1998, 60(2): 231-246.
- [14] ZEIDE B. Analysis of growth equation[J]. Forest Science, 1993, 39(3):594-616.
- [15] 盛炜彤,惠刚盈,罗云伍. 大岗山杉木人工林主伐年龄的研究[J]. 林业科学研究, 1991, 4(2): 113-121.  
SHENG W T, HUI G Y, LUO Y W. A study on felling age of Chinese fir plantation[J]. Forest Research, 1991, 4(2): 113-121. (in Chinese)
- [16] 韦善华,覃静,朱贤良,等. 南宁地区灰木莲人工林生长规律研究[J]. 西北林学院学报, 2011, 26(5): 174-178.  
WEI S H, QIN J, ZHU X L, *et al.* Growth regularity of *Manglietia glauca* plantation growing in Nanning[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2011, 26(5): 174-178. (in Chinese)
- [17] 孟宪宇. 测树学[M]. 北京:中国林业出版社, 2006.