

# 太白红杉径向生长的预测模型

段仁燕<sup>1,2</sup>, 王孝安<sup>2\*</sup>, 黄敏毅<sup>1</sup>

(1. 安庆师范学院 生命科学系, 安徽 安庆 246011; 2. 陕西师范大学 生命科学学院, 西安 710062)

**摘要:** 采用多元回归的方法构建了太白红杉的生长模型, 模型中主要考虑了植株自身大小(胸径和冠幅比)、竞争状况和立地因子(海拔、坡度和坡向)三类因子的作用。结果发现, 太白红杉近2年生长量与植株自身大小、竞争状况和海拔因子有较高的相关性; 坡度、坡向与生长量的相关性较小, 但其综合作用在一定程度上影响着太白红杉的生长。所构建的生长模型充分考虑了太白红杉自身的生物学特性, 具有较高的回归优度( $r=0.938, P<0.001$ ), 能很好地预测其生长动态。

**关键词:** 太白红杉; 径向生长; 生长模型

**中图分类号:** Q948.12 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2009)02-0212-05

## The DBH increment model of individual trees growing for *Larix chinensis*

DUAN Ren-Yan<sup>1,2</sup>, WANG Xiao-An<sup>2\*</sup>, HUANG Min-Yi<sup>1</sup>

(1. Department of Life Sciences, Anqing Teachers College, Anqing 246011, China;

2. College of Life Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

**Abstract:** A model for predicting DBH growth of *L. chinensis* in different environments was developed by using multiple regression method. Data for this study were collected in Taibai Mountain Natural Reserve of Shaanxi Province of China. Ten plots of 40 m × 40 m were investigated, and every plot was stem-mapped, and species, DBH, total height, and crown length were recorded for each tree that had reached a diameter of 5 cm at breast height. Plant size variables (breast height diameter, the crown ratio), competition, environmental factors (elevation, slope angle, slope aspect) were used in the model. The results showed that the function of plant size, competition and elevation were significant. Even though site factors (slope and aspect) accounted for a small percentage of the variation and the function of most factors were not significant, but they were very important, because these factors were often interaction, and the total function to the growth of *L. chinensis* was significant. The variables in the model correspond quite well with ecological expectations and forestry understanding. Because the sample base was so strong, and the r-value was 0.938 and the p value was less than 0.001, the resulting growth models can be recommended for many regions with similar growth conditions of *L. chinensis* community in Taibai Mountain.

**Key words:** *Larix chinensis*; diameter increment; growth model

植物个体的生长主要取决于其立地生境条件及其对环境资源的利用状况。为有效地预测植物个体的生长, 科学工作者提出了一系列的预测模型, 其中基于个体的、空间明确的生长模型已成为目前最流

行、最成功的建模途径之一(Levin等, 1997)。植物生长模型的研究, 一方面可以分析群落中影响个体生长的相关因素, 另一方面可以通过对不同物种生长速度的分析探讨群落演替过程中优势种间的相互

收稿日期: 2007-04-18 修回日期: 2008-08-24

基金项目: 国家自然科学基金(30070083)[Supported by the National Natural Science Foundation of China(30070083)]

作者简介: 段仁燕(1978-), 男, 湖北枣阳市人, 讲师, 主要从事植物生态学研究, (E-mail)renyanduan@yahoo.com.

\* 通讯作者(Author for correspondence, E-mail: wangxa@snnu.edu.cn)

关系,并揭示演替动力。因此,植物生长模型的研究不仅具有重要的理论意义,而且有一定的现实意义和应用价值。影响个体生长的因素很多,如个体的自身大小、竞争作用和环境因子等(张泽浦等,2000;黄焱增等,2000)。大多研究者认为,对不同植物而言,不同因子的作用存在一定的差异,为提高模型的优度,在建立模型过程中应选择主要的限制因子,并排除次要的因子(Bertelink,2000)。但也有学者认为这种方法存在一定的缺陷,虽然单一因子的作用可能不明显,但其综合效果在一定程度上影响着植物的生长,因此不能轻易排除(Monserud & Sterba,1996)。因此,如何根据植株自身特点,在充分考虑不同影响因子的基础上,构建高效的有较高预测能力的单木生长模型是目前亟待解决的问题。

太白红杉(*Larix chinensis*)是落叶松属红杉组、国家二级保护植物。目前,关于太白红杉的研究较多(王孝安等,2004;段仁燕等,2005),但尚未见有关不同生境下太白红杉生长模型的研究报道。本文试图在充分考虑不同因子单独或联合作用对太白红杉生长影响的基础上,构建太白红杉单木生长预测

模型,为其抚育更新、保护及经营管理提供一定的理论依据。

## 1 研究区域概况

太白红杉主要分布于陕西秦岭太白山国家森林公园和太白山国家级自然保护区境内,该区位于 $107^{\circ}22'50''\sim 107^{\circ}51'30''$  E 和  $33^{\circ}49'30''\sim 34^{\circ}07'30''$  N 之间。秦岭是横贯陕西省中南部的一条东西走向的山脉,为黄河和长江两大水系的分水岭,其北坡陡峭,南坡平缓,主峰太白山海拔 3 767 m(拔仙台),是青藏高原以东我国大陆的最高峰。北坡受西北大陆气候的影响,年降雨量只有 500~956 mm,年均温  $5.9\sim 7.5^{\circ}\text{C}$ ,略显干燥;南坡受东南季风的影响,雨量充沛,年降雨量约 800~1 100 mm,年均温  $10.6\sim 14.5^{\circ}\text{C}$ 。太白红杉仅分布于我国秦岭地区海拔 2 600~3 600 m 的地段,其中常在 2 900 m 以上形成纯林,是该地区森林上线唯一可成林的树种,对高海拔地区水源涵养、固石保土、生物多样性维持发挥着极为重要的作用。太白红杉群落所在地土壤

表 1 调查样方的基本因子

Table 1 The site conditions of the studied *Larix chinensis* forest stands

样方号 Sample	海拔(m) Elevation	坡度( $^{\circ}$ ) Slope angle	坡向 Slope aspect	对象木数量 No. of subjective trees	近 2 年生长量 DBH increment in nearly two years
1	2925	5	东	7	$0.162\pm 0.018$
2	3035	12	西	7	$0.204\pm 0.029$
3	3100	28	南	8	$0.276\pm 0.035$
4	3135	32	北	7	$0.254\pm 0.039$
5	3155	38	东偏南 $10^{\circ}$	7	$0.208\pm 0.037$
6	3180	26	西偏北 $25^{\circ}$	8	$0.208\pm 0.041$
7	3215	15	东偏北 $46^{\circ}$	7	$0.191\pm 0.011$
8	3238	17	西偏南 $75^{\circ}$	8	$0.184\pm 0.038$
9	3279	20	东偏南 $35^{\circ}$	7	$0.176\pm 0.039$
10	3355	10	东偏北 $60^{\circ}$	7	$0.132\pm 0.017$

为山地灰化棕壤,土层薄、冻期长、呈酸性或弱酸性,林相整齐,个别地段与巴山冷杉(*Abies fargesii*)、牛皮桦(*Betula utilis*)混交(王孝安等,2004)。

## 2 研究方法

### 2.1 数据收集

在全面考察太白红杉的分布状况、了解其群落各种特征的基础上,在太白山国家森林公园和太白山自然保护区随机设置 10 个大小为  $40\text{ m}\times 40\text{ m}$  样地。在样地中进行逐株测定,记录下植株(DBH

$>5\text{ cm}$ )的坐标值,同时测定胸径、树高、枝下高和冠幅等,分别编号。从每个样地的中部,随机选取对象木 6~10 株,共选取对象木 73 株。用生长锥于树干 1.3 m 处钻取年轮,固定于特制框架中,自然干燥后磨平表面,利用年轮分析仪测定近两年胸径生长量。凡是处于样地边缘的植株,会受到样地外其它植株的影响,不能作为对象木,只能作为竞争木。另外测定相关立地因子,如:海拔、坡度、坡向、土壤厚度等。各样方的概况见表 1。

### 2.2 数据处理

2.2.1 竞争指数的选择 常用的反映植株间邻体作

用强度的公式很多,段仁燕等(2005)对太白红杉的竞争关系研究表明,太白红杉的竞争范围为 6 m,张跃西(1993)的邻体竞争改进模型能较好地反应太白红杉的竞争状况,其竞争公式为:

$$CI = \sum_{j=1}^n D_j^2 D_i^{-1} d_{ij}^{-2}$$

式中: $D_i$  表示对象木胸径, $D_j$  表示邻体胸径, $d_{ij}$  表示两者间距离。

2.2.2 多元回归模型建立 为了研究变量与多个自变量之间的关系,常采用逐步多元线性回归,逐个淘汰不显著自变量的回归方法。Monserud & Sterba (1996)认为这种方法的不足之处是它往往盲目地去掉方程中的自变量来提高方程的回归优度,因为部分自变量和变量的关系并不完全符合线性关系,若简单地采用线性回归可能隐藏了对变量有显著影响的自变量,可先逐步探讨各自变量与变量的关系,然后建立多元回归模型。

Wykoff(1990)认为影响对象木径向生长的主要因子为对象木自身的大小、竞争状况和立地因子。因此我们所建立的单木生长模型,主要考虑了这三个因素的作用。Stage(1976)认为植株自身大小所有的因子中,胸径大小和树冠构型是影响个体生长的主要因子。Draper & Smith(1981)认为树冠构型影响到树冠的采光效率,常用 CR(冠幅比)表示树冠构型,其中 CR 等于冠高与冠幅长的比值,而冠高等于树高与枝下高的差值。因此,本文先分别探讨了各自变量(植株大小、竞争、立地因子)与变量的关系,然后在此基础上建立了太白红杉的生长模型。以太白红杉近 2 年生长量为因变量,分别以植株大小、竞争和立地因子为自变量,采用常用的线性、双曲线、幂函数、对数方程、二次函数等数学公式对二者之间的关系进行回归拟合,从中选择最优的回归模型构建太白红杉的多元回归方程。

### 3 径向生长与不同影响因子的关系

#### 3.1 植株大小与生长量的关系

如图 1 所示,不同大小的太白红杉近 2 年的胸径生长量有较大的差异。总的看来,随着胸径的增大,胸径增长的幅度逐渐减小,太白红杉胸径生长量与胸径大小基本呈对数函数关系。从图 2 中可以看出,太白红杉生长量与冠幅比值呈直线函数关系,即随着比值的增大,生长量呈现出增加的趋势。可见,

冠长较长、冠幅相对较小的太白红杉个体生长较快,反之则生长较慢。可能因为前者较易接受不同时间、不同角度的太阳光照射,并且因为冠长较长,树冠的不同层次都能有效地进行光合作用;相反,一些冠幅较大、冠长较小的个体相对处于劣势地位。

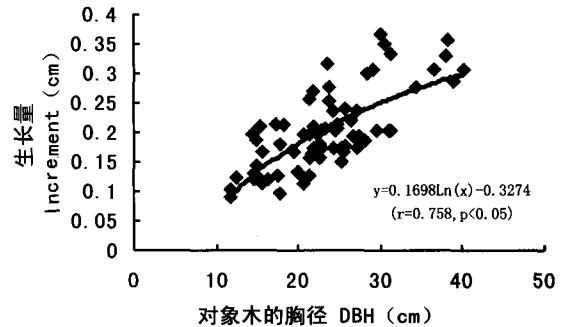


图 1 个体大小与生长量的回归方程

Fig. 1 The regression equation of the DBH and the increment of subjective trees for *L. chinensis*

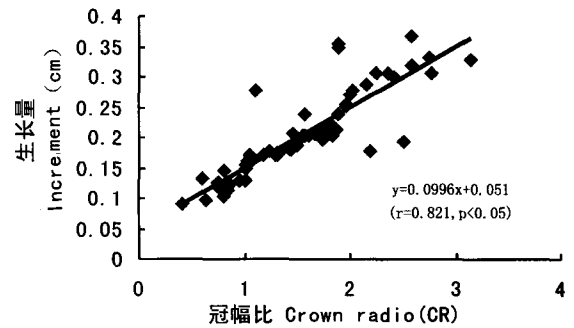


图 2 冠幅比率与生长量的回归方程

Fig. 2 The regression equation of the CR and the DBH increment of subjective trees for *L. chinensis*

图 1 和图 2 表明,太白红杉的自身胸径大小和冠幅比值与径向生长均呈显著的正相关关系,因此在构建生长模型时这 2 个因素都应考虑在内。

#### 3.2 竞争强度与生长量的关系

从图 3 看出,随着竞争强度的增加,生长量呈下降趋势。开始阶段,竞争效果明显,生长量下降很快;竞争强度增长到一定尺度后,生长量下降较慢。可能因为生长下降到一定程度后,植株为维持其最低生长量,产生了一定的适应机制,导致竞争效果降低。

#### 3.3 立地条件与生长量的关系

因为立地因子很难度量,故以前的生长模型很少考虑环境因子的作用。有研究表明,高海拔区域植株限制其生长的主要因子有海拔、坡度和坡向等

因子的作用,对此我们分别进行了比较(Biging & Dobbertin,1995;Monserud & Sterba,1996)。

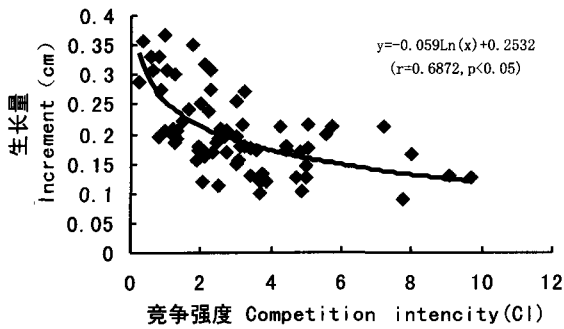


图 3 生长量与竞争强度的回归方程

Fig. 3 The regression equation of the CI and the DBH increment of subjective trees for *L. chinensis*

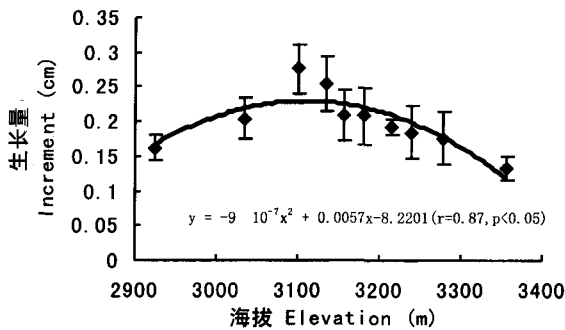


图 4 生长量与海拔的回归方程

Fig. 4 The regression equation of the elevation and the DBH increment of subjective trees for *L. chinensis*

3.3.1 海拔与生长量的关系 从图 4 中发现,太白红杉在中海拔下生长最快,较低海拔和较高海拔均不利于其生长。从拟合的方程分析表明,太白红杉的最适生长海拔为 3 167 m。其原因可能是,在较低海拔,生长着较多的巴山冷杉,而巴山冷杉为耐荫物种、生长较快、占据较大的生态位,太白红杉与其竞争中处于劣势地位,故生长较慢;在较高海拔,地理位置接近山顶,生境严酷,温度低、风大,生长期短,使个体生长发育受到限制,不利于太白红杉生长。

3.3.2 坡度、坡向与生长量的关系 坡度和坡向对植株生长的作用较复杂,有时候单一因素起主要作用,有时二者结合起来共同起作用(Monserud & Sterba,1996;Stage,1976),其作用公式为:

$$BI = d_1 \times SL^2 + d_2 \times SL \times \sin(AZ) + d_3 \times SL \times \cos(AZ) + d_4$$

其中, $BI$  表示径向生长量, $SL$  表示坡度的正

切, $AZ$  表示坡向, $d_1, d_2, d_3$  为参数。在坡向赋值时,将实测的正北赋值为  $0^\circ$ ,正南赋值为  $180^\circ$ ,正东和正西均为  $90^\circ$ ,其它实测方位角可根据东(或西)偏南  $1^\circ$  加  $1^\circ$ ,偏北  $1^\circ$  则减  $1^\circ$ ,其他以此类推。

偏相关分析表明,太白红杉的生长量与坡度和坡向单一因子的相关性均不明显,而多元回归分析表明,太白红杉的生长量与坡度坡向的联合作用存在较强的相关关系,回归方程为:

$$BI = 0.211 \times SL^2 - 0.115 \times SL \times \sin(AZ) - 2.06 \times 10^{-2} \times SL \times \cos(AZ) + 0.184$$

$$(r = 0.801, P < 0.05)$$

其中, $BI$  表示径向生长量, $SL$  表示坡度的正切, $AZ$  表示坡向。

#### 4 径向生长的预测模型

总的看来,对太白红杉对象木生长有明显影响的因子包括植株自身的大小(胸径、冠幅比)、竞争状况、立地因子(海拔、坡度和坡向的联合作用)三个方面。其中,生长量与自身大小因子(胸径和冠长比)分别符合对数函数和线性关系(图 1、2),与竞争指数符合对数函数关系(图 3),与海拔、坡度和坡向的联合作用分别符合二次函数和多元函数关系(图 4)。用胸径近 2 年内生长量为因变量,影响生长的三方面的因子为自变量,通过多元回归建立了太白红杉的生长量预测模型为:

$$BI = 3.598 \times 10^{-2} \ln(DBH) + 7.765 \times 10^{-2} CR - 1.66 \times 10^{-2} \ln(CI) - 1.08 \times 10^{-7} ELE^2 + 7.171 \times 10^{-4} ELE + 1.116 \times 10^{-2} SL^2 + 3.798 \times 10^{-3} SL \times \sin(AZ) + 9.348 \times 10^{-3} SL \times \cos(AZ) - 1.201$$

$$(r = 0.938, P < 0.001)$$

其中, $BI$  为近 2 年内胸径生长量, $DBH$  为对象木胸径, $CR$  为对象木冠副比, $ELE$  为海拔, $SL$  表示坡度的正切, $AZ$  表示坡向。

#### 5 讨论

大量研究表明,植株自身的年龄与生长量有很高的相关性,在模型中加入年龄这个变量对生长的模拟更有效。但由于计测植株的年龄很困难,也有很强的破坏性,很多模型排除了这个变量。事实上,该模型所考虑的胸径已经部分把年龄因子考虑进去了。一般而言,胸径与年龄之间有一定的相关性,胸

径大的一般年龄较大,小树则年龄相对较小(Biging & Dobbertin, 1995)。因此很多单木生长模型都隐去了年龄因子(Monserud & Sterba, 1996),本模型也属于隐去年龄的单木生长量模型。

相对其他生长模型而言,该模型的优越性主要体现在以下几点:(1)以前大多模型在进行多元回归时,主要考虑了不同因子的单一作用方式(Bertelink, 2000)。该模型充分考虑了外界因子的不同作用方式,比如有的因子(冠幅比)与生长量呈线性关系,有的因子(对象木胸径和竞争因子)与生长量呈对数函数关系,有的因子(海拔)呈二次函数关系等;(2)该模型考虑了不同因子的综合作用效果,比如坡度和坡向的联合作用。(3)在样地的选择上,没有特意选择某些样地。此外,多元回归分析表明,该模型有较高的相关性,有较强的说服力和预测能力。通过钻取太白红杉的年轮数据分析发现,该模型预测的结果与其实际生长状况基本吻合,表明该模型能很好地预测不同生境下太白红杉的径向生长状况。

#### 参考文献:

- Bertelink HH. 2000. A growth model for mixed forest stands[J]. *Fore Ecol Manage*, **134**: 29—43
- Biging GS, Dobbertin M. 1995. Evaluation of competition indices in individual tree growth models[J]. *Fore Sci*, **41**: 360—377
- Draper NR, Smith H. 1981. Applied regression analysis[M]. New York: John Wiley and Sons, 709—715
- Duan RY(段仁燕), Wang XA(王孝安). 2005. Intraspecific and interspecific competition in *Larix chinensis*(太白红杉种内种间竞争的研究)[J]. *Acta Phytoecol Sin*(植物生态学报), **29**(2): 242—250
- Huang LZ(黄焯增), Xie SB(谢世波), Xie RJ(谢瑞基), et al. 2000. Using the regression orthogonal design to establish the single-tree growth model of *Cryptomeria fortunei* plantation(用回归正交设计建立柳杉人工林单木生长模型)[J]. *J Fujian Fore Sci Tech*(福建林业科技), **27**(3): 38—42
- Levin SA, Grenfell B, Hastings A, et al. 1997. Mathematical and computational challenges in population biology and ecosystems science[J]. *Science*, **275**: 334—343
- Monserud RA, Sterba H. 1996. A basal area increment model for individual trees growing in even and uneven-aged forest stands in Austria[J]. *Fore Ecol Manage*, **80**: 57—80
- Stage AR. 1976. An expression for the effect of slope, aspect and habitat type on tree growth[J]. *Fore Sci*, **22**(4): 457—460
- Wang XA(王孝安), Wang ZG(王志高), Xiao YP(肖娅萍). 2004. Analysis on reproduction age in *Larix chinensis* and effect factors(太白红杉生殖年龄及其影响因素分析)[J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*(西北植物学报), **24**(5): 855—858
- Wykoff WR. 1990. A basal area increment model for individual conifers in the northern rocky mountains[J]. *Fore Sci*, **36**(4): 1 077—1 104
- Zhang YX(张跃西). 1993. Study on the improvement and application of the neighborhood interference index model(邻体干扰指数模型的改进及其在营林中的应用)[J]. *Acta Phytoecol Geobot Sin*(植物生态学与地植物学学报), **17**(4): 352—357
- Zhang ZP(张泽浦), Fang JY(方精云), Jian C(菅诚). 2000. Effects of competition on growth rate and probability of death of plant individuals: a study based on nursery experiments of *Larix leptolepis* populations(邻体竞争对植物个体生长速率和死亡概率的影响: 基于日本落叶松种群试验的研究)[J]. *Acta Phytoecol Sin*(植物生态学报), **24**(3): 340—345
- Zhang DJ(张笃见), Ye XY(叶晓娅), You WH(由文辉). 1999. Evergreen broad-leaved forest floor in Tiantong, Zhejiang Province(浙江天童常绿阔叶林地被层的研究)[J]. *Acta Phytoecol Sin*(植物生态学报), **23**(6): 544—556
- Zhang SY(张思玉). 2002. Studies on species diversity of *Al-sophila spinulosa* community in the Bijia Mountain of Yongding, Fujian(福建永定县笔架山杉栎群落物种多样性研究)[J]. *J Wuhan Bot Res*(武汉植物学研究), **20**(4): 275—279
- Zhu H, Shi JP, Zhao CJ. 2005. Species composition, physiognomy and plant diversity of the tropical montane evergreen broad-leaved forest in southern Yunnan[J]. *Biodiversity and Conservation*, **14**: 2 855—2 870
- Zhu H(朱华). 1992. Research of community ecology on *Shorea chinensis* forest in Xishuangbanna(西双版纳望天树林的群落生态学研究)[J]. *Acta Bot Yunnan*(云南植物研究), **14**(3): 237—258
- Zhu H(朱华). 1993. Phytocoenological study on *Vatica* forest in Xishuangbanna(西双版纳青梅林的群落学研究)[J]. *Guihaia*(广西植物), **13**(1): 48—60
- Zhu H(朱华), Wang H(王洪), Li BG(李保贵), et al. 1998. Species diversity of primary tropical rain forest south Yunnan of China with special reference of sampling area(滇南热带雨林物种多样性取样面积探讨)[J]. *Biodiversity Sci*(生物多样性), **6**(4): 241—247

(上接第 207 页 Continue from page 207)