

# 铁坚油杉天然林生长规律的研究

韦秋思<sup>1</sup>, 吴敏<sup>2</sup>, 黄毅翠<sup>1</sup>, 秦武明<sup>2\*</sup>, 钟连香<sup>1</sup>

(1. 广西国有雅长林场,广西 百色 533209;2. 广西大学 林学院,广西 南宁 530004)

**摘要:**采用树干解析方法对广西国有雅长林场 30 a 铁坚油杉天然林生长规律进行研究。结果表明,30 a 铁坚油杉树高、胸径和材积生长量分别为 14.4 m、32.80 cm 和 0.4799 m<sup>3</sup>。树高和胸径快速生长期分别为 1~12 a 和 6~14 a, 连年生长曲线与平均生长曲线分别相交于 12~13 a 和 14~15 a。材积连年生长量在 26 a 达到最大值  $0.0300 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$ , 之后逐渐降低, 模型分析得出材积连年生长曲线与平均生长曲线相交于 38~39 a 之间。借助系统聚类分析将材积生长期划分为生长缓慢期(1~8 a)、生长加速期(9~19 a)和生长快速期(20~30 a)3 个阶段。树高、胸径和材积生长回归方程分别以理查德、理查德和威布尔模型拟合效果最好。

**关键词:**铁坚油杉; 生长规律; 聚类分析; 生长模型

**中图分类号:**S791.150.3      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-7461(2014)05-0140-07

Growth Regularity of *Keteleeria davidiana* Natural Forest

WEI Qiu-si<sup>1</sup>, WU Min<sup>2</sup>, HUANG Yi-cui<sup>1</sup>, QIN Wu-ming<sup>2\*</sup>, ZHONG Lian-xiang<sup>1</sup>

(1. Yachang Forest Farm, Baise, Guangxi 533209, China;

2. Forestry College, Guangxi University, Nanning, Guangxi 530004, China)

**Abstract:** The growth regularities of *Keteleeria davidiana* natural forest in Yachang Forest Farm, Guangxi were studied by using the method of stem analysis. The results showed that the height, DBH and volume of 30-year-old trees were 14.4 m, 32.80 cm and 0.4799 m<sup>3</sup>, respectively. The fast growing periods of tree height and DBH were in the 1<sup>st</sup> to 12<sup>th</sup> and the 6 to 14<sup>th</sup> year, respectively. The curves of current annual growth and average growth of tree height and DBH intersected in the 12 to 13<sup>th</sup> and 14 to 15<sup>th</sup> year, respectively. Current annual increment of volume reached the peak value, which was  $0.0300 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$  in the 26<sup>th</sup> year. After that it reduced gradually. According to the growth model of the volume, current annual increment curve and average increment curve didn't intersect until the 38~39<sup>th</sup> year. The volume growth period was divided into three stages based on the results of cluster analysis, period of slow growth (1~8 a), the growth acceleration period (9~19 a) and the period of rapid growth (20~30 a). The optimal model of tree height, DBH and volume was Richard, Richard and Weibull model, respectively.

**Key words:** *Keteleeria davidiana*; growth regularity; cluster analysis; growth model

铁坚油杉(*Keteleeria davidiana*)又名铁坚杉, 属松科油杉属常绿大乔木, 为我国特有树种, 树高可达 30 m 左右, 树皮暗深灰色、纵裂。叶条形长达 2~5 cm, 宽 3~4 mm, 先端圆钝或者凹缺。木材淡黄色, 花纹美观, 硬度适中, 坚韧耐腐, 不变形, 易加工, 为制作高档家具、装饰等的优质材<sup>[1-2]</sup>。铁坚油杉常混

生于海拔 600~1 300 m 的针阔叶林之中, 散生区域为四川、贵州、湖南、广西等地<sup>[3]</sup>。1983 年广西首次发现铁坚油杉<sup>[4]</sup>。铁坚油杉优质的木材和其对环境条件要求的不苛刻, 使其迅速成为山地林区培养中、大径优质木材的重要选择树种之一, 同时也因其树形优美, 可培育优雅的木本盆景, 还受到城市森林绿

收稿日期:2013-12-17 修回日期:2014-01-11

作者简介:韦秋思,女,硕士研究生,工程师,研究方向:林木良种培育与技术推广。

\* 通信作者:秦武明,男,教授,硕士生导师,研究方向:森林培育与生态经济。

化的青睐。对该树种的研究主要是集中在引种栽培和造林技术<sup>[5-8]</sup>, 生物学特性<sup>[9]</sup>, 群落的类型<sup>[10]</sup>, 生物量和木材的物理力学性质<sup>[11]</sup>等方面。近年来, 对其研究又逐渐增多<sup>[12-14]</sup>。然而, 对于铁坚油杉从苗木生长到林分成熟这一生长历程的研究以及其生长特点, 并通过生长模型的拟合来探讨其生长的一般性规律等报道尚少。为此, 从林木的生长过程出发, 通过树干解析, 分析了其树高、胸径和材积的生长规律, 并建立生长模型, 以期对铁坚油杉现实生长状况的总结和对未来生长的预测, 为其天然林的经营提供依据。

## 1 样地概况

试验地位于广西国有雅长林场果麻分场 25 林班和益来分场 36 林班。分布区土壤主要为黄壤和黄红壤, 属亚热带气候, 雨量充沛, 冬短夏长, 干湿季节明显。年平均气温 16.8℃, 历年最高气温 38℃, 极端最低气温 -3℃, 冬季有霜雪; 年降雨量 1 056 mm, 年蒸发量最高达 1 484.7 mm, 相对湿度 82%。每年 5—10 月为雨季, 11 月至次年 4 月为旱季。主要灌木有盐肤木(*Rhus chinensis*)、野牡丹(*Melastoma candidum*)、余甘子(*Phyllanthus emblica*)、十大功劳(*Mahonia fortunei*)、乌饭树(*Vaccinium bracteatum*)等; 草本常见有石珍芒(*Arundinella nepalensis*)、白茅(*Lmpetra cylindrica*)、龙须草(*Eulaliopsis binata*)、五节芒(*Miscanthus floridulus*)等。

## 2 研究方法

### 2.1 生长规律调查

2013 年 4 月于铁坚油杉天然林中建立面积为 20 m×30 m 的标准地, 测定标准地内林木的胸径、树高、枝下高等, 记录标准样地的地理位置、林下植被的组成、高度、盖度等信息。选择 5 株平均木作为解析木, 伐倒前用指南针定其北向, 伐倒样木后, 按 2 m 区分段收取圆盘, 圆盘厚度为 5 cm 左右, 在圆盘上标明南北方向、解析木编号以及圆盘编号, 带回实验室刨光, 从东西方向和南北方向分别测定圆盘的生长轮宽度, 取其平均值作为当年的生长轮宽度, 各龄阶的树高由树高生长曲线图查出, 各龄阶的去皮材积利用区分段法求算<sup>[15]</sup>。

### 2.2 生长模型拟合

很多学者对林木的生长过程都有过研究<sup>[16-20]</sup>, 普遍认为一个理想的生长规律模型一般具备精确性和通用性的要求, 有时候还要求具备数学和生物学

的意义。为研究铁坚油杉人工林的生长规律, 选择较为常用的逻辑斯蒂模型、苏玛克模型、威布尔模型、坎派兹模型、理查德模型 5 种经验模型和理论模型对 30 年生的铁坚油杉胸径、树高和材积的生长进行拟合分析, 选择拟合决定系数  $R^2$  最大、 $F$  值最大的拟合模型为最优生长模型。

### 2.3 数据分析

采用 windows 系统自带的 Excel 2003 以及 DPS 7.05 数据处理系统, 对数据进行统计和分析处理。

## 3 结果与分析

### 3.1 树高生长规律研究

对铁坚油杉标准木经树干解析得到其树高生长的结果(表 1、图 1)表明: 平均树高在第 30 年时达到 14.4 m, 平均年生长量为 0.48 m·a<sup>-1</sup>。铁坚油杉树高生长曲线与理论的树高生长曲线有所不同, 树高连年生长曲线与平均生长曲线有多个交点。树高连年生长曲线呈现出双峰型的生长曲线, 生长高峰期主要出现在第 2~5 年和第 10~12 年这 2 个时期, 树高生长快速期峰值达到 0.70 m·a<sup>-1</sup>; 6~9 a 期间树高的增长速度有所回落, 在 0.50 m·a<sup>-1</sup> 左右的生长水平, 第 12 年之后, 树高连年生长量稳定的下降, 并且始终低于平均生长量曲线。树高连年生长量曲线与平均生长量曲线相交于第 12~13 年之间, 此时的平均生长量为 0.61 m·a<sup>-1</sup>。纵观树高的生长曲线可以得出: 树高的生长受环境的影响较为明显, 使其与理论的生长曲线有较大出入, 表现最为明显的是树高生长在 2~12 a 之间, 此阶段正是树高生长的旺盛期, 对不良环境的抵御能力差, 生长稳定性较弱, 容易受环境因子(光照、降水、温度、肥等)的影响而出现树高生长在 6~9 a 期间迅速降低, 低于平均水平的情况。

### 3.2 胸径生长规律研究

对铁坚油杉胸径生长规律的研究发现胸径生长规律稳定性较好。测定结果(表 1、图 2)表明: 30 a 铁坚油杉胸径的总生长量达到了 32.80 cm, 年平均生长量为 1.09 cm·a<sup>-1</sup>, 总体维持了一个较高的生长水平。但是对其胸径生长具体到每一年的连年生长量曲线的研究发现, 曲线具有一个峰值(1.90 cm·a<sup>-1</sup>), 峰值出现在树木生长第 11 年。胸径的连年生长量第 0~11 年期间是随年龄的增加而增长, 第 11 年之后, 随年龄的增长而降低。连年生长曲线与平均生长曲线相交于第 14~15 年之间, 此时胸径的年平均生长量最大, 为 1.37 cm·a<sup>-1</sup>。这个

时候则应该考虑林分的间伐问题,将生长较差的植株砍伐,以保持整个林分的良好生长,达到速生丰产的效果<sup>[21]</sup>。根据铁坚油杉胸径的生长特性,将其生长历程划分为3个生长期,胸径生长缓慢期(0~5 a):其生长速度为 $0.65\sim0.85 \text{ cm} \cdot \text{a}^{-1}$ 之间,5 a 内的平均生长量为 $0.76 \text{ cm} \cdot \text{a}^{-1}$ ;快速生长期(6~14

a):此时树木处于生长旺盛期,连年生长量在 $1.50\sim1.90 \text{ cm} \cdot \text{a}^{-1}$ 之间,快速生长阶段的平均生长量为 $1.73 \text{ cm} \cdot \text{a}^{-1}$ ;第14年之后,连年生长出现明显的随年龄的增长而降低的趋势,降幅从第15年的 $1.20 \text{ cm} \cdot \text{a}^{-1}$ 逐渐降低到 $0.45 \text{ cm} \cdot \text{a}^{-1}$ ,降幅较大。

表1 铁坚油杉天然林树高、胸径、材积生长

Table 1 The height, DBH and volume growth of *K. davidiana* natural forest

树龄 /a	树高生长/m			胸径生长/cm			材积生长/ $\text{m}^3$		
	总生长量	连年生长量	平均生长量	胸径	连年生长量	平均生长量	材积	连年生长量	平均生长量
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000 0	0.000 0	0.000 0
1	0.60	0.60	0.60	0.65	0.65	0.65	0.000 0	0.000 0	0.000 0
2	1.30	0.70	0.65	1.35	0.70	0.68	0.000 1	0.000 1	0.000 0
3	1.90	0.60	0.63	2.15	0.80	0.72	0.000 4	0.000 3	0.000 1
4	2.60	0.70	0.65	2.95	0.80	0.74	0.001 0	0.000 5	0.000 2
5	3.30	0.70	0.66	3.80	0.85	0.76	0.001 8	0.000 9	0.000 4
6	3.80	0.50	0.63	5.50	1.70	0.92	0.004 3	0.002 5	0.000 7
7	4.30	0.50	0.61	7.15	1.65	1.02	0.007 3	0.002 9	0.001 0
8	4.80	0.50	0.60	8.90	1.75	1.11	0.012 4	0.005 2	0.001 6
9	5.30	0.50	0.59	10.70	1.80	1.19	0.019 6	0.007 2	0.002 2
10	6.00	0.70	0.60	12.55	1.85	1.26	0.029 6	0.010 0	0.003 0
11	6.60	0.60	0.60	14.45	1.90	1.31	0.040 1	0.010 5	0.003 6
12	7.30	0.70	0.61	16.10	1.65	1.34	0.053 2	0.013 1	0.004 4
13	7.80	0.50	0.60	17.60	1.50	1.35	0.067 3	0.014 0	0.005 2
14	8.30	0.50	0.59	19.15	1.55	1.37	0.084 2	0.017 0	0.006 0
15	8.80	0.50	0.59	20.35	1.20	1.36	0.102 3	0.018 0	0.006 8
16	9.30	0.50	0.58	21.55	1.20	1.35	0.120 6	0.018 3	0.007 5
17	9.70	0.40	0.57	22.55	1.00	1.33	0.140 1	0.019 5	0.008 2
18	10.00	0.30	0.56	23.50	0.95	1.31	0.159 6	0.019 5	0.008 9
19	10.30	0.30	0.54	24.40	0.90	1.28	0.182 3	0.022 7	0.009 6
20	10.60	0.30	0.53	25.45	1.05	1.27	0.209 7	0.027 4	0.010 5
21	10.90	0.30	0.52	26.45	1.00	1.26	0.236 0	0.026 3	0.011 2
22	11.30	0.40	0.51	27.45	1.00	1.25	0.260 7	0.024 7	0.011 8
23	11.70	0.40	0.51	28.45	1.00	1.24	0.289 2	0.028 5	0.012 6
24	12.10	0.40	0.50	29.35	0.90	1.22	0.318 9	0.029 7	0.013 3
25	12.50	0.40	0.50	30.00	0.65	1.20	0.347 3	0.028 4	0.013 9
26	12.90	0.40	0.50	30.65	0.65	1.18	0.377 3	0.030 0	0.014 5
27	13.30	0.40	0.49	31.25	0.60	1.16	0.406 0	0.028 7	0.015 0
28	13.60	0.30	0.49	31.80	0.55	1.14	0.431 4	0.025 4	0.015 4
29	14.00	0.40	0.48	32.25	0.45	1.11	0.456 7	0.025 3	0.015 7
30	14.40	0.40	0.48	32.80	0.55	1.09	0.479 9	0.023 2	0.016 0

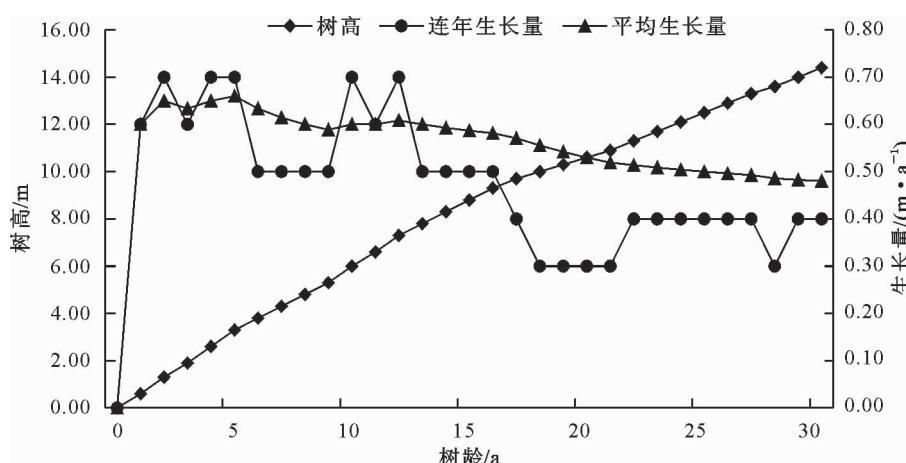


图1 铁坚油杉树高生长曲线

Fig. 1 Growth curve of tree height *K. davidiana*

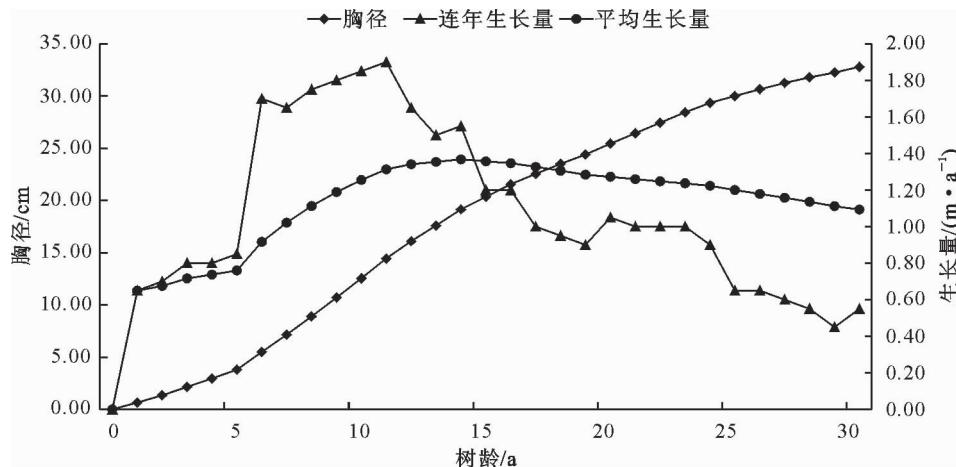


图 2 铁坚油杉胸径生长曲线

Fig. 2 Growth curve of DBH *K. davidiana*

### 3.3 材积生长规律研究

由图 3 可知, 铁坚油杉的材积生长随时间推移先是缓慢的增长, 然后再快速增长, 在达到第 30 年时材积生长总量为  $0.479\ 9\ m^3$ , 此时的年平均生长量达到了  $0.016\ 0\ m^3 \cdot a^{-1}$ ,  $30\ a$  期间连年生长量与平均生长量还未相交, 由此可以判定  $30\ a$  的铁坚油杉材积生长还未达到数量上的成熟<sup>[17]</sup>。材积连年生长曲线呈单峰型曲线,  $0\sim26\ a$  之间材积生长量随时间增长而增长, 第  $26$  年时最大, 达到  $0.030\ 0\ m^3 \cdot a^{-1}$ , 第  $26$  年之后连年生长量逐渐降低。采用系统聚类最短欧式距离分析法对  $1\sim30\ a$  之间材积的连年生长量进行聚类分析, 并依据分析的结果(图 4)对材积生长的不同生长期进行归类划分, 将  $30\ a$  的铁坚油杉材积生长归为 3 个生长期: 生长缓慢期 ( $1\sim8\ a$ )、生长加速期 ( $9\sim19\ a$ ) 以及生长快速期 ( $20\sim30\ a$ )。生长缓慢期时材积的生长量很小, 期间材积生长量为  $0.012\ 4\ m^3$ , 占总材积增长的  $2.58\%$ , 连年生长量在  $0\sim0.005\ 2\ m^3 \cdot a^{-1}$  之间, 平

均生长量为  $0.001\ 6\ m^3 \cdot a^{-1}$ ;  $9\sim19\ a$  材积生长进入加速期, 连年生长量从第 9 年的  $0.007\ 2\ m^3 \cdot a^{-1}$  连续增长到第 19 年的  $0.022\ 7\ m^3 \cdot a^{-1}$ , 涨幅明显, 此阶段平均生长量为  $0.015\ 4\ m^3 \cdot a^{-1}$ ;  $20\sim30\ a$  期间, 材积的生长始终维持一个高增长的水平, 连年生长量在  $0.023\ 2\sim0.030\ 0\ m^3 \cdot a^{-1}$  之间, 平均生长水平为  $0.271\ 0\ m^3 \cdot a^{-1}$ 。比较这 3 个阶段材积的生长状况及特点发现: 生长第一阶段材积生长稳定但是缓慢; 第二阶段材积连年生长涨幅明显, 同时生长水平在第一阶段和第三阶段之间; 第三阶段材积生长快速, 此阶段材积生长稳定并且维持高生长水平。在材积生产能力上生长快速期材积总生长量 ( $0.297\ 6\ m^3$ ) 和平均生长水平 ( $0.271\ 0\ m^3 \cdot a^{-1}$ ) 分别是生长加速期 ( $0.169\ 9\ m^3$ ) 和生长缓慢期 ( $0.012\ 4\ m^3$ ) 材积总生长量的 1.75 倍和 24.0 倍, 相对应的平均生长水平是生长加速期 ( $0.022\ 7\ m^3 \cdot a^{-1}$ ) 和生长缓慢期 ( $0.001\ 6\ m^3 \cdot a^{-1}$ ) 的 1.76 倍和 16.9 倍。

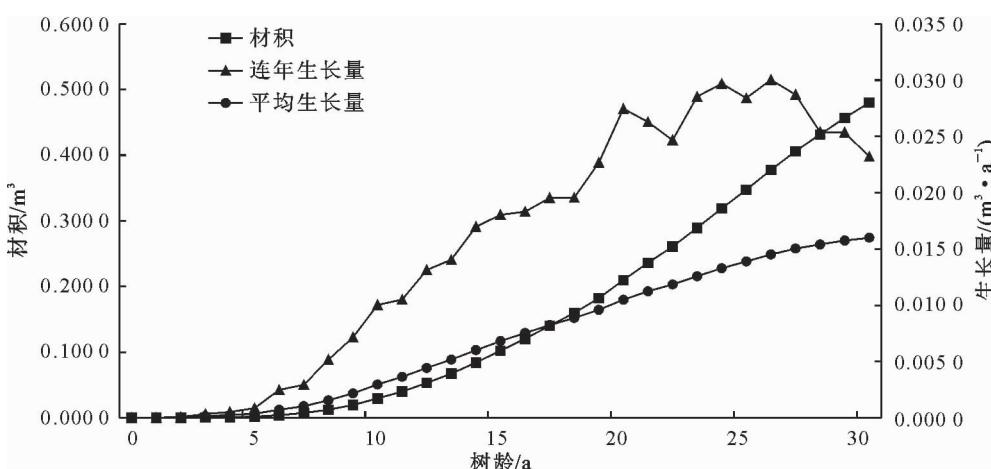


图 3 铁坚油杉材积生长曲线

Fig. 3 Growth curve of volume *K. davidiana*

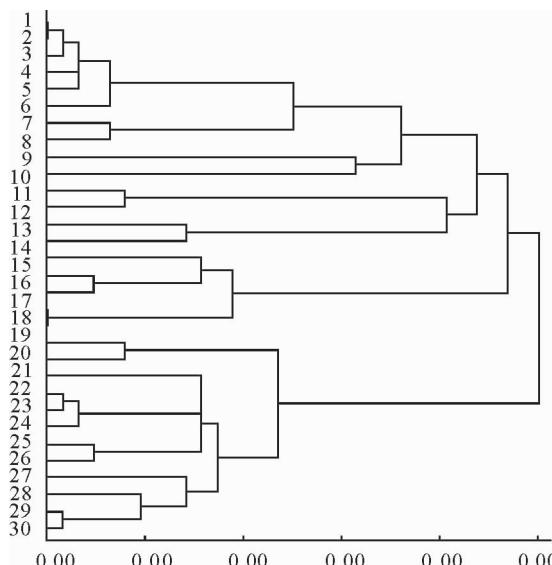


图 4 材积连年生长量系统聚类分析结果

Fig. 4 Cluster analysis results for volume growth of *K. davidi*

### 3.4 生长方程拟合研究

3.4.1 模型生长方程的拟合 林木生长方程的研究,采用较为常用的5种林木生长模型对树干解析

得到的树高、胸径和材积的生长数据与进行拟合,结果(表2)显示:5种模型总体拟合效果良好,都达到极显著水平,相关系数 $R^2$ 除了最低的树高生长的逻辑斯蒂模型为0.985 1以外,其余的拟合决定系数 $R^2$ 都在0.99以上,其中以威布尔模型对材积的拟合效果最优,相关系数 $R^2$ 达到0.999 9。

综合模型拟合决定系数 $R^2$ 值和 $F$ 值的大小,选取以决定系数 $R^2$ 值最大并且 $F$ 值也最大的理查德模型作为树高、胸径生长的最终模型,威布尔模型作为材积生长的最优模型,3个模型的表达式分别为:

$$\text{树高生长理查德模型: } Y = 23.4365 / ((1 - 1.0017 * \exp(-0.0319 * T))^{(1/-0.9655)})$$

$$\text{胸径生长理查德模型: } Y = 37.1802 / ((1 - 0.9359 * \exp(-0.0967 * T))^{(1/-0.4015)})$$

$$\text{材积生长威布尔模型: } Y = 0.7499 * (1 - \exp(-( (T - 1.9721) / 27.6846 )^{2.5886}))$$

其中, $Y$ 表示树高、胸径和材积的总生长量, $T$ 表示对应的树龄。

表 2 铁坚油杉树高、胸径、材积生长方程拟合表

Tabel 2 Curve fitting types and modeling results for tree height, DBH and volume growth of *K. davidi*

项目	模型类型	参考系数				显著	
		c1	c2	c3	c4	F 值	$R^2$
树高生长模型	逻辑斯蒂模型	14.1153	2.1621	-0.1746		925.5650	0.9851
	苏玛克模型	27.3898	24.0197	5.9083		7086.1427	0.9980
	威布尔模型	23.3091	0.0672	31.8696	1.0249	7977.2905	0.9989
	坎派兹模型	15.5254	2.7857	0.1046		2155.8237	0.9935
	理查德模型	23.4365	0.0319	-1.0017	-0.9655	8009.2630	0.9989
胸径生长模型	逻辑斯蒂模型	31.9941	2.8085	-0.2220		1628.7501	0.9915
	苏玛克模型	58.3017	17.9622	1.8156		15122.3387	0.9991
	威布尔模型	35.4559	0.5064	16.3451	1.5478	9043.3156	0.9990
	坎派兹模型	34.5847	3.9858	0.1332		8107.2926	0.9983
	理查德模型	37.1802	0.0968	-0.9359	-0.4015	12767.3923	0.9993
材积生长模型	逻辑斯蒂模型	0.5722	4.8216	-0.2123		6858.1807	0.9980
	苏玛克模型	3.6647	69.0650	4.2112		62908.1670	0.9998
	威布尔模型	0.7499	1.9721	27.6846	2.5886	81820.9028	0.9999
	坎派兹模型	0.8936	7.9174	0.0850		60813.8010	0.9998
	理查德模型	0.8933	0.0851	0.0006	0.0001	39079.8721	0.9998

3.4.2 材积数量成熟年限的确定 选择最优的材积生长模型后,将其进行分解,得到关于材积生长的理论模型估计值(图5):理论推算的材积生长的规律与通过树干解析实测的材积生长规律(图4)基本一致,有所不同的是理论模型削弱或者排除了外部环境对实际材积生长的影响,所以其材积的连年生长量曲线平滑、无波动。通过理论模型确定铁坚油杉的材积数量成熟是在第38~39年之间,此时的平均材积生长量最大,为 $0.0172 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$ 。

### 4 结论与讨论

30年生铁坚油杉天然林的树高、胸径和材积生长分别达到14.4 m、32.80 cm(去皮)以及0.4799 m<sup>3</sup>。纵观三者的生长变化规律,在抵抗外部环境干扰能力上的表现为材积生长>胸径生长>树高生长;在数量成熟年限的比较分析中,得出材积生长达到数量成熟的年限要远远长于树高、胸径达到数量成熟的年限,这符合树木一般的生长特性,因为材积

的增长呈几何级数,达到数量成熟的时间要有所推

迟<sup>[22]</sup>。

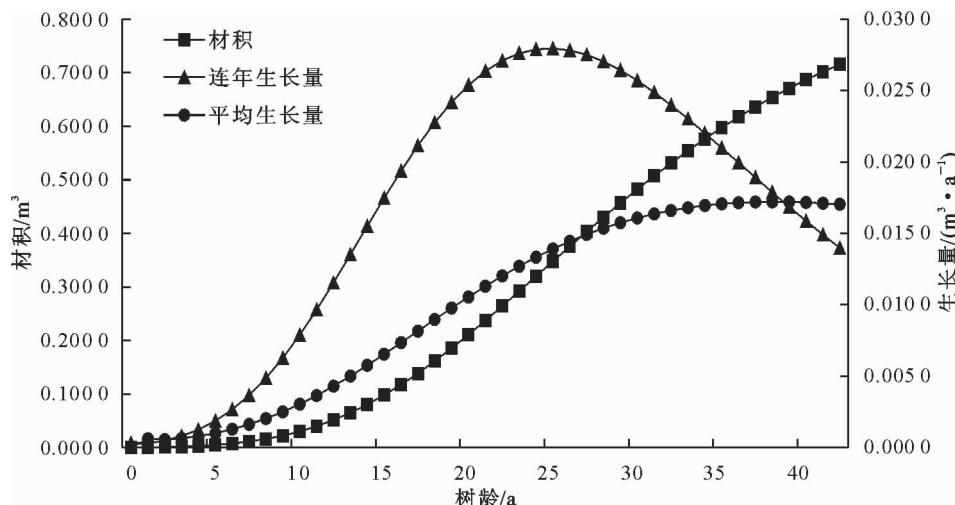


图5 模型拟合铁坚油杉材积生长规曲线

Fig. 5 Growth curve of volume *K. d.* from growth model

树高的生长高峰期主要是在第12年之前,曲线主体呈现一个双峰型的生长曲线,峰值达到 $0.70\text{ m}\cdot\text{a}^{-1}$ ;第12年后,树高的连年生长量稳定下降,连年生长曲线与平均生长曲线相交于第12~13年之间,此时的平均生长量为 $0.61\text{ m}\cdot\text{a}^{-1}$ 。胸径的生长曲线为一个单峰曲线,第11年时峰值达到 $1.90\text{ cm}\cdot\text{a}^{-1}$ 。胸径生长在0~5 a时为生长缓慢期,6~14 a时为生长快速生长期,第14年之后,连年生长随树龄的增长生长量降低明显,降幅从第15年的 $1.20\text{ cm}\cdot\text{a}^{-1}$ 逐渐降低到 $0.45\text{ cm}\cdot\text{a}^{-1}$ 。材积生长曲线呈单峰曲线,0~26 a之前,材积累积随时间增长而增长,第26年时最大,达到 $0.030\text{ 0 m}^3\cdot\text{a}^{-1}$ ,第26年之后连年生长量逐渐降低。材积的生长可归为3个时期:生长缓慢期(1~8 a):材积的生长很小,期间总材积生长为 $0.012\text{ 4 m}^3$ ,占总材积增长的2.58%,连年生长量在0~0.005 2  $\text{m}^3\cdot\text{a}^{-1}$ 之间,平均生长量为 $0.001\text{ 6 m}^3\cdot\text{a}^{-1}$ ;生长加速期(9~19 a):材积的增长进入加速期,连年增长量从第9年的 $0.007\text{ 2 m}^3\cdot\text{a}^{-1}$ 联系增长到第19年的 $0.022\text{ 7 m}^3\cdot\text{a}^{-1}$ ,涨幅十分明显,此阶段平均生长量为 $0.015\text{ 4 m}^3\cdot\text{a}^{-1}$ ;生长快速期(20~30 a):材积的生长始终维持一个高增长的水平,连年生长量在 $0.023\text{ 2}\sim 0.030\text{ 0 m}^3\cdot\text{a}^{-1}$ 之间,材积生长稳定且维持高水平增长,平均生长水平为 $0.271\text{ 0 m}^3\cdot\text{a}^{-1}$ 。

从树高、胸径和材积的生长回归方程的拟合效果来看,所选择的5种常用的模型拟合的效果良好,树高生长的逻辑斯蒂模型为0.985 1以外,其余的拟合相关系数 $R^2$ 都在0.99以上,综合考虑,选择最优的理查德回归方程作为树高和胸径的生长模型,

威布尔模型作为材积生长模型。并且通过材积的生长模型确定材积生长的数量成熟年限为38~39 a,长年限的生长对于铁坚油杉工业原料林和速生丰产林的培育是不小挑战,如何缩短其生长的数量成熟年限的同时又不会减少其人工林的生产量意义重大。对此,可以根据木材培育目标科学性选择林木经营方式,例如可以通过合理的密度控制来延长或缩短林木的数量成熟时间<sup>[23]</sup>,或者通过集约型经营以缩短数量成熟的年限,以满足速生丰产的要求<sup>[24]</sup>。或者是在胸径数量成熟时期合理的间伐,降低林分密度,以延长林木搞生产期的年限和数量成熟的年限,达到培养大径材的目的。

## 参考文献:

- [1] 祁承经,林亲众.湖南树木志[M].长沙:湖南科学技术出版社,2000;2-4.
- [2] 丘小军,王宏志.中国南方生态园林树种[M].南宁:广西科学技术出版社,2006;211-212.
- [3] 丁瑞云,周仰青,李传鹏,等.铁坚杉引种试验研究[J].安徽林业科技,2005(3): 12-13.
- [4] 叶生坡,韦增健,丘小军.广西首次发现铁坚油杉[J].林业实用技术,1983(5): 目次页.
- [5] 武至庆,董明见,刘春生.丘陵地区引种铁坚杉试验[J].湖南林业科技,1982(4):23-26.
- [6] 王名金,伍寿彭,陈永辉.四种油杉植物引种初报[J].江苏林业科技,1987(3):24-27.
- [7] 王伟铎,罗友刚.铁坚杉树种种子育苗技术初报[J].湖北林业科技,1997(4):5-9.
- [8] 王伟铎,罗友刚.铁坚杉植苗造林技术研究初报[J].湖北林业科技,1999(4):5-6.
- [9] 武至庆,刘春生,李辉春.铁坚杉的主要类型及其生长表现[J].湖南林业科技,1983(4):19-21.
- [10] 黄诚意,王伟铎,孙金城,等.湖北当阳市丘陵地区铁坚杉及其

- 群落的研究[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1991, 15(1): 56-65.
- HUANG C Y, WANG W Z, SUN J C, et al. A study on *Keteleeria davidi*ana and its community in hilly area in Dangyang of Hubei Province[J]. *Acta Phytoecologica Et Geobotanica Sinica*, 1991, 15(1): 56-65. (in Chinese)
- [11] 王伟铎, 孙金成, 罗友刚. 铁坚杉生物量和生产力及木材物理力学性质[J]. 湖北林业科技, 1998, (4): 16-17.
- [12] 吴际友, 程勇, 王旭军, 等. 铁坚油杉无性系嫩枝扦插繁殖效应[J]. 中国农学通报, 2007, 23(12): 133-135.
- WU J Y, CHENG Y, WANG X J, et al. Effect of softwood cutting on different *Ketelleria davidiaca* clones[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2007, 23(12): 133-135. (in Chinese)
- [13] 陶伦艳, 陈明德. 铁坚油杉野生大苗移植驯化栽培简报[J]. 贵州林业科技, 2009, 37(1): 55-57.
- TAO L Y, CHEN M D. Primary report on the transplantation and domestication cultivation of wild *Keteleeria davidi*ana saplings[J]. *Fuizhou Forestry Science and Technology*, 2009, 37(1): 55-57. (in Chinese)
- [14] 陈剑英. 油杉属植物过氧化物同工酶研究[J]. 西南林学院学报, 2007, 27(2): 46-49.
- CHEN J Y. On peroxidase isoenzymes of plants in genus of *Keteleeria* [J]. *Journal of Southwest Forestry College*, 2007, 27(2): 46-49. (in Chinese)
- [15] 孟宪宇. 测数学[M]. 3 版. 北京: 中国林业出版社, 2006.
- [16] 白文斌, 廖超英, 康乐, 等. 西藏昌都地区川西云杉林木生长规律研究[J]. 西北林学院学报, 2012, 27(5): 158-162.
- BAI W B, LIAO C Y, KANG L, et al. Growth regularity of *Picea likiangensis* var. *balfouriana* in Changdu of Tibet [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2012, 27(5): 158-162. (in Chinese)
- [17] 梁有祥, 秦武明, 玉桂成, 等. 桂东南地区火力楠人工林生长规律研究[J]. 西北林学院学报, 2011, 26(2): 150-154.
- LIANG Y X, QIN W M, YU G C, et al. Growth regularity of *Michelia macclurei* plantation in Southeastern of Guangxi [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2011, 26(2): 150-154. (in Chinese)
- [18] 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 in Nanning [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2011, 26 (5): 174-178. (in Chinese)
- [19] 唐继新, 白灵海, 郭文福, 等. 红椎人工林生长规律的初步研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2012, 32(4): 51-54.
- TANG J X, BAI L H, GU W F, et al. Preliminary study on growth regularity of *Castanopsis hystrix* plantation[J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2012, 32(4): 51-54. (in Chinese)
- [20] 吴鹏, 丁访军, 许丰伟, 等. 黔南马尾松人工林生长规律研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2011, 31(8): 51-55.
- WU P, DING F J, XU F W, et al. Study on growth rhythm of *Pinus massoniana* plantation in the south of Guizhou Province[J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2011, 31(8): 51-55. (in Chinese)
- [21] 徐有明, 史玉虎, 皮忠来, 等. 枫杨生长规律、材性变异及其纸浆用材适用性评价[J]. 东北林业大学学报, 2004, 32(6): 35-38.
- XU Y M, SHI Y H, PI Z L, et al. Tree growth pattern and variation in wood properties of Chinese wingnut for pulpwood and its utilization evaluation[J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2004, 32(6): 35-38. (in Chinese)
- [22] 罗金旺, 福建光泽南方铁杉天然林的生长规律与生物量[J]. 福建林学院学报, 2011, 31(2): 156-160.
- LUO J W. Growth and biomass of *Tsuga chinensis* var. *tchekiangensis* in a natural forest in Guangze, Fujian, China [J]. *Journal of Fujian College of Forestry*, 2011, 31(1): 156-160. (in Chinese)
- [23] 李宝福, 张顺恒, 蒋家淡, 等. 不同造林密度巨尾桉生长规律及轮伐期确定[J]. 福建林业科技, 2000, 27(S1): 19-22.
- [24] 朱春全, 刘晓东, 宋显林, 等. 集约与粗放经营杨树人工林生长规律[J]. 东北林业大学学报, 1998, 26(1): 14-18.
- ZHU C Q, LIU X D, SONG X L, et al. Growth and yield of intensive and extensive culture poplar plantation[J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 1998, 26 (1): 14-18. (in Chinese)