

三峡库区主要森林类型林分蓄积生长量研究

王 威

(国家林业局 调查规划设计院,北京 100714)

摘要:以三峡库区林分蓄积生长量为研究对象,按库区主要森林类型、起源、密度进行划分,分类型布设标准地 305 块,采用材积差法确定林分蓄积生长量、生长率。结果表明,不同林分蓄积生长率有所差异,趋势为天然林蓄积生长率高于人工林;马尾松、柏木、栎类、其他阔叶树等林分,低密度时林分蓄积生长率较高;幼树所占比例较大的杉木林分,高密度林分蓄积生长率较高。研究结果为库区森林资源经营管理以及生态状况监测提供数据支持。

关键词:三峡库区;森林类型;蓄积生长量

中图分类号:S758.51 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2014)05-0151-05

Stand Volume Growth of Different Forest Types in the Three Gorges Reservoir Area

WANG Wei

(Survey & Planning Institute of State Forestry Administration, Beijing 100714, China)

Abstract: Stand volume growth (SVG) in the three gorges reservoir area was examined, 305 plots were layout which were divided into different forest types, origins and densities. SVGs were calculated by using volume difference method. The results showed that differences in SVGs existed among different stands. SVGs of natural forests were higher than artificial ones, low-density stands of *Pinus massoniaina*, *Cupressus funebris*, *Quercus* and other broadleaved species were higher than high-density ones. For *Cunninghamia lanceolata* stand which presented higher proportion of young trees, SVGs of high-density stands were higher than low-density ones. The result has important practical significance for forest management and ecological condition monitoring in the three gorges reservoir area.

Key words: three gorges reservoir area; forest type; stand volume growth

三峡水库是长江流域最大的水利工程,森林是维护三峡库区安全的重要生态屏障,林分蓄积是森林资源状况重要的指标之一^[1],将三峡库区主要森林类型林分蓄积生长量作为研究对象,能够为库区森林资源经营管理以及生态状况监测提供数据支持,具有现实意义。

1 研究区概况

三峡库区地处 $105^{\circ}44' - 111^{\circ}39'E$ 、 $28^{\circ}32' - 31^{\circ}44'N$,东南、东北与鄂西交界,西南与川黔接壤,西北与川陕相邻。库区内河谷平坝约占总面积的

4.3%,丘陵占 21.7%,山地占 74.0%,库区最高峰云盘岭为 2 796.8 m。三峡库区地处中纬度,属湿润亚热带季风气候区,年降水量 $1\ 000 \sim 1\ 250$ mm,年平均气温为 $17 \sim 19$ °C。库区主要森林树种有马尾松(*Pinus massoniaina*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、柏木(*Cupressus funebris*)、栎类(*Quercus*)等乔木树种 180 多种^[2]。

库区森林资源特点为针叶林比重大,阔叶林比重小;中幼林比重大,近成过熟林比重小;天然林比重大,人工林比重小;灌木层种类少,群落种类组成、层次结构相对简单^[3-7]。

2 研究方法

研究根据三峡库区地理条件、森林资源特点、经营管理模式,及已有数据资料为基础,采用材积差法确定库区林分蓄积生长率。材积差法属于一次调查法中常用的一种方法^[8],即利用标准地一次测得的数据计算过去的蓄积生长量,据此预估未来蓄积生长量的方法,原理是利用胸径的过去定期生长量间接推算蓄积生长量,并用来预估未来林分蓄积生长量,适用于一般林业经营活动,以估算不同种类的林分蓄积生长量,优点是能够较快地为林业经营活动提供数据支持。

2.1 标准地布设

以库区主要森林类型为研究对象,按林分起源、密度划分,在三峡库区范围内布设典型标准地305个,标准地形状为正方形,面积0.067 hm²(标准地布设类型、数量及分布见表1)。在每个标准地内,选定5株平均木进行胸径生长量的取样,间隔期为5 a。具体方法为,首先根据标准地每木检尺结果,选取与标准地内平均胸径相差最小、生长正常、优势树种相同的林木作为该样地平均木,利用生长锥进

行取样。采用生长锥取样时,为避免由于树木胸高横断面上的长径与短径引起误差,采取东南西北4个方向锥取。实测平均木的带皮胸径、树皮厚度及年轮宽度,测定值均精确到0.1 cm。

表 1 标准地类型及数量

Table 1 Plot types and number

个

起源	密度	主要森林类型					合计
		马尾松	杉木	柏木	栎类	其他阔叶	
人工	疏	1	4	4	0	6	15
	中	17	25	13	0	22	77
	密	6	12	3	0	3	24
天然	疏	3	2	1	3	2	11
	中	49	16	14	22	38	139
	密	18	1	0	7	13	39
合计		94	60	35	32	84	305

2.2 数据整理与处理

胸径生长量的测定是材积差法确定林分蓄积生长量的基础。受各种随机因素的干扰,胸径生长的波动较大,首先应对胸径生长量分径阶作回归整列处理,随后按森林类型、起源、密度分别每个标准地进行统计计算。数据处理方法如表2所示(1号标准地:马尾松人工林)。

表 2 胸径生长量数据处理(1号标准地)

Table 2 Data processing for DBH growth (Plot No. 1)

编号	带皮胸径 <i>d</i>	二倍皮厚 <i>2B</i>	去皮胸径 <i>d'</i>	5个年轮 宽度 <i>L</i>	期中胸径		胸径生长量	
					去皮 <i>X' = d - L</i>	带皮 <i>X = X' K_B</i>	去皮 <i>Z'_d = 2L</i>	带皮 <i>Z_d = Z'_d K_B</i>
1	18.40	1.00	17.40	0.50	16.90	18.75	1.00	1.11
2	19.70	1.00	18.70	0.70	18.00	19.97	1.40	1.55
3	20.30	1.00	19.30	0.80	18.50	20.52	1.60	1.77
4	20.70	1.00	19.70	0.70	19.00	21.08	1.40	1.55
5	22.10	1.00	21.10	0.80	20.30	22.52	1.60	1.77
6	21.60	1.00	20.60	0.70	19.90	22.08	1.40	1.55
:	:	:	:	:	:	:	:	:

注:带皮胸径 *d*、树皮厚度 *B*、及 *n* 年轮宽度 *L*、树皮系数 *K_B* = $\frac{\sum d}{\sum d'} = 1.11$ 。

2.3 胸径生长量方程筛选

已有研究拟合胸径生长量方程较多^[9-12],拟合精度与复杂程度有所不同,根据材积差法快速掌握林分蓄积的目的及特点,研究从较常用的幂函数、对数方程、抛物线方程^[13],综合考虑筛选出较为理想的胸径生长量拟合方程。

表 3 胸径生长量拟合方程

Table 3 Growth models of DBH growth

模型名称	公式	参数	检验
幂函数	$y = ax^b$	<i>a</i> 、 <i>b</i>	
对数方程	$y = \ln(x) + b$	<i>a</i> 、 <i>b</i>	$R^2 = 1 - \frac{\sum(y - \hat{y})^2}{\sum(y - \bar{y})^2}$
抛物线方程	$y = a + bx + cx^2$	<i>a</i> 、 <i>b</i> 、 <i>c</i>	

2.4 材积差计算

将一元材积表中胸径每差1 cm 的材积差数,作

为现实林分中林木胸径每生长1 cm 所引起的材积生长量。利用一次测得的各径阶的直径生长量和株数分布序列,推算林分蓄积生长量。用材积差法测算林分蓄积生长量的步骤:首先胸径生长量的测定和整列,其次根据每木检尺的结果得各径阶株数分布,然后根据前两项实测资料,应用一元材积表计算蓄积生长量。应用材积差法确定林分蓄积生长量及生长率时,必须要有经过检验而适用的一元材积表,同时保证待测林分期初与期末的树高曲线无显著差异,否则将会导致较大的误差。利用材积差法需要整理各径阶株数计算对应的材积,进而计算材积差(Δv)公式如下:

$$\Delta v = \frac{1}{2c} (V_2 - V_1) \quad (1)$$

式中: Δv :1 cm材积差; V_1 :比该径阶小一个径阶的材积; V_2 :比该径阶大一个径阶的材积; C :径阶距。

研究选用重庆地区当地的二元材积表推导出一元材积表,材积式如下:

$$V = A_1 \cdot (k + m \cdot D)^{B_1 \cdot H^C} \quad (2)$$

$$H = D / (a + b \cdot D) \quad (3)$$

式中: V 、 H 、 D 分别代表材积、树高、胸径;其他字母为系数,各树种系数如表4所示。

表4 主要森林类型材积式系数

Table 4 Coefficients volume curve of main forest types

森林类型	A_1	B_1	C_1	k	m	a	b
杉木	0.000 058 8	1.969 983 1	0.896 461 6	0.056 577 1	0.991 507 8	1.200 348 0	0.030 961 0
马尾松	0.000 060 0	1.871 975 3	0.971 802 3	-0.190 061 8	1.013 400 0	1.138 800 0	0.020 700 0
柏木	0.000 057 2	1.881 330 5	0.995 688 5	0.082 547 8	0.967 947 8	0.745 953 4	0.046 673 0
栎类	0.000 059 6	1.856 400 5	0.980 562 1	0.328 199 1	0.965 962 9	0.780 647 4	0.040 666 7
其他阔叶	0.000 059 0	1.856 400 0	0.980 500 0	0.328 100 0	0.965 900 0	0.780 600 0	0.040 600 0

3 结果与分析

经过数据统计分析,马尾松、杉木、柏木胸径定期生长量方程采用幂函数拟合效果较理想;栎类天

然林胸径定期生长量方程采用对数方程拟合效果较理想;其他阔叶林胸径定期生长量方程采用抛物线方程拟合效果较理想,拟合方程及如表5所示。

表5 胸径定期生长量方程(5 a)

Table 5 Regular growth models of DBH growth(5 a)

森林类型	起源	方程形式	参数			R^2
			a	b	c	
马尾松	人工	$y=ax^b$	0.275 5	0.578 2		0.87
	天然	$y=ax^b$	0.103 1	0.875 6		0.82
杉木	人工	$y=ax^b$	0.260 4	0.421 6		0.81
	天然	$y=ax^b$	0.229 7	0.512 3		0.78
柏木	人工	$y=ax^b$	0.432 6	0.273 4		0.75
	天然	$y=ax^b$	0.673 8	0.243 2		0.71
栎类	人工	—				
	天然	$y=a\ln(x)+b$	0.728 8	-0.510 9		0.78
其它阔叶	人工	$y=a+bx+cx^2$	-0.003 3	0.204 5	1.652 1	0.77
	天然	$y=a+bx+cx^2$	-0.002 5	0.173 2	1.229 4	0.72

分径阶计算平均材积、1 cm平均材积、胸径生

材积,求出各标准地年平均蓄积生长率,以1号标准地马尾松人工林为例,计算过程(表6)如下:

表6 林分蓄积生长量计算(1号标准地)

Table 6 Calculation of stand volume growth(Plot No. 1)

径阶/cm	株数	平均材积/ m^3	平均材积差/ $\Delta V/cm$	胸径生长量/ Z_d/cm	单株材积生长量/ Z_v/m^3	径阶材积生长量/ Z_{Mi}/m^3	径阶材积/ V/m^3
10		0.031 1					
12	6	0.051 0	0.009 9	1.16	0.011 5	0.069 2	0.305 8
14	6	0.077 1	0.013 1	1.27	0.016 6	0.099 4	0.462 6
16	8	0.110 0	0.016 4	1.37	0.022 5	0.180 0	0.879 9
18	10	0.150 0	0.020 0	1.47	0.029 3	0.293 3	1.500 2
20	8	0.197 6	0.023 8	1.56	0.037 0	0.296 2	1.580 5
22	10	0.252 9	0.027 7	1.65	0.045 6	0.455 6	2.529 4
24	4	0.316 4	0.031 7	1.73	0.054 9	0.219 6	1.265 6
26	4	0.388 2	0.035 9	1.81	0.065 0	0.260 2	1.552 7
28	6	0.468 5	0.040 1	1.89	0.075 9	0.455 7	2.810 8
30	2	0.557 4	0.044 5	1.97	0.087 6	0.175 2	1.114 9
32	2	0.655 2	0.048 9	2.04	0.099 9	0.199 9	1.310 5
34		0.762 0					
总计	66					2.704 2	15.312 8

该标准地马尾松林5 a间蓄积生长量为: $\Delta_M =$

$\sum Z_{Mi} = 2.704 2 m^3$,蓄积连年生长量: $Z_M = \frac{\sum Z_{Mi}}{n} =$

$$\frac{2.704 2}{5} = 0.540 8 m^3$$

林分5 a年平均蓄积生长率:

$$P_M = \frac{200(V_a - V_{a-n})}{n(V_a + V_{a-n})}$$

$$= \frac{200 \times 2.704 2}{5 \times (15.312 8 + 12.608 6)} = 3.87\%$$

未来 5 a 年平均蓄积生长率:

$$P_M = \frac{200(V_a - V_{a-n})}{n(3V_a - V_{a-n})}$$

$$= \frac{200 \times 2.704 2}{5 \times (45.938 4 - 12.608 6)} = 1.62\%$$

得到每个样地生长率后,按照森林类型、起源、密度分别计算未来 5 a 年平均蓄积生长率,求平均值计算结果如表 7 所示。

表 7 林分年平均蓄积生长率

Table 7 Annual average increment of volume stand percent %

起源	密度	主要森林类型				
		马尾松	杉木	柏木	栎类	其他阔叶
人工	疏	2.24	2.59	2.80	3.77	
	中	2.12	3.13	2.53	2.22	
	密	1.81	3.27	1.55	0.99	
天然	疏	3.21	2.67	2.90	2.22	2.52
	中	2.75	3.55	2.74	1.85	1.39
	密	2.72	4.12	2.68	1.63	0.90

从表 7 中可以看出,不同森林类型、起源、密度下,林分蓄积生长率有所差异,趋势表现为天然林蓄积生长率明显高于人工林。主要森林类型中,喜光性树种马尾松、柏木、栎类、其他阔叶树等林分,低密度时林分蓄积生长率较高;半喜光树种杉木,尤其在幼树所占比例较大时,高密度林分蓄积生长率较高。

4 结论与讨论

研究利用 305 块标准地调查数据,采用材积差法快速计算出三峡库区主要森林类型蓄积生长率。现行方法很多,如固定标准地法、林分表法等,但基本上都是利用胸径的过去定期生长量间接推算蓄积生长量^[14-15],并用来预估未来林分蓄积生长量,采用不同方法得出的结果略有不同。对于以生态效益为主要目标,非集约经营管理的林分,较快地获取所需数据资料,研究采用的材积差法操作简便、计算过程简单,得出结果与实际情况相符,方法适用于库区森林资源经营活动,提供数据能够满足经营管理需求,为库区森林资源管理及监测提供指导。

研究中发现受立地条件、林分结构等因素影响,同一森林类型、密度下,所计算出林分蓄积生长率有所差异;同时,标准地所包含中、小径级株数比例较大,大径级株数比例较少,对胸径定期生长量方程拟合精度。同时,本次调查胸径生长量间隔期(5 a)较短,因此,在应用中应酌情使用,蓄积生长率预估期不易过长。

参考文献:

- 于政中. 数量森林经理学[M]. 北京:中国林业出版社,1995: 305-349.
- 三峡工程生态与环境监测系统信息管理中心. 库区概况[EB/OL].[2013-03-10]. 北京:国务院三峡工程建设委员会,2011, http://www.tgenviron.org.
- 袁传武,吴保国,史玉虎,等. 基于 RS 及 GIS 的鄂西三峡库区森林资源结构及空间分布格局研究[J]. 西北林学院学报,2007,22(3):185-189.
- YUAN C W, WU B G, SHI Y H, et al. A study on RS and GIS-based forest resources structure and spatial distribution pattern in the three gorges reservoir region in Western Hubei [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2007, 22(3): 185-189. (in Chinese)
- 王鹏程,肖文发,姚婧,等. 三峡库区 3 种典型森林主要组成树种的种群结构及更新[J]. 林业科学,2009,45(7):7-15.
- WAGN P C, XIAO W F, YAO J, et al. Population structure and regeneration of the main tree species in three typical forests in the Three Gorges Reservoir Area[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2009, 45(7): 7-15. (in Chinese)
- 马西军,张洪江,程金花,等. 三峡库区森林立地类型划分[J]. 东北林业大学学报,2011,39(12):109-113.
- MA X J, ZHANG H J, CHENG J H, et al. Site type division of Three Gorges Reservoir Area[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2011, 39(12): 109-113. (in Chinese)
- 袁传武,史玉虎,唐万鹏,等. 鄂西三峡库区森林资源动态变化分析与评价[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2009,33(2): 43-46.
- YUAN C W, SHI Y H, TANG W P, et al. Analyzes and evaluation on dynamic changes in the forest resources at the Three Gorges reservoir region in Western Hubei[J]. Journal of Nanjing Forestry University: Nat. Sci. Edi., 2009, 33(2): 43-46. (in Chinese)
- 肖文发,程瑞梅,李建文,等. 三峡库区杉木林群落多样性研究[J]. 生态学杂志,2001,20(1):1-4.
- XIAO W F, CHENG R M, LI J W, et al. Community diversity of *Cunninghamia lanceolata* forest in the Three Gorges Reservoir Area[J]. Chinese Journal of Ecology, 2001, 20(1): 1-4. (in Chinese)
- 孟宪宇. 侧数学[M]. 北京:中国林业出版社,1995:266-293.
- 王威,党永峰. 三峡库区马尾松天然林生长规律研究[J]. 西北林学院学报,2013,28(6):125-128.
- WAGN W, DANG Y F. Growth model of masson pine natural forest in the Three Gorges Reservoir Area[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2013, 28(6): 125-128. (in Chinese)
- 程瑞梅,肖文发,李新新,等. 三峡库区柏木林研究[J]. 林业科学,2004,17(3):382-386.
- CHENG R M, XIAO W F, LI X X, et al. Research of *Cupressus funebris* forest in the Three Gorges Reservoir Area [J]. Forest Research, 2004, 17(3): 382-386. (in Chinese)
- 李佳,邵全琴,黄麟. 我国马尾松、杉木、湿地松生长方程研究进展[J]. 西北林学院学报,2010,25(4):151-156.

- [1] LI J, SHAO Q Q, HUANG L. Review on the growth equations of *Pinus Massoniana*, *Cunninghamia Lanceolata* and *Pinus elliottii* in China[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2010, 25(4): 151-156. (in Chinese)
- [12] 李贤伟,胡庭兴,杨桢禄.马尾松天然林采伐年龄的研究[J].四川农业大学学报,1996,14(3):437-439.
- LI X W, HU T X, YANG Z L. A study on cutting age of *Pinus Massoniana* natural forest[J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 1996, 14(3): 437-439. (in Chinese)
- [13] 唐守正,郎奎建,李海奎.统计和生物数学模型计算[M].北京:科学出版社,2009,308-310.
- [14] 穆新刚,崔相慧,王虹.冀北次生林 3 个树种林分生长过程表的编制[J].北京林业大学学报,2001,23(3):39-42.
- KANG X G, CUI X H, WANG H. Compilation of stand growth table for 3 tree species of secondary forest in North Hebei Province[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2001, 23(3):39-42. (in Chinese)
- [15] 葛宏立,孟宪宇,唐小明.应用于森林资源连续清查的生长模型系统[J].林业科学研究,2004,17(4):413-419.
- GE H L, MENG X Y, TANG X M. Growth model system for continuous forest inventory[J]. Forest Research, 2004, 17(4):413-419. (in Chinese)

(上接第 77 页)

- [10] 孙智慧,陆声链,郭新宇,等.基于点云数据的植物叶片曲面重构方法[J].农业工程学报,2012,28(3):184-190.
- SUN Z H, LU S L, GUO X Y, et al. Surfaces reconstruction of plant leaves based on point cloud data[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(3):184-190. (in Chinese)
- [11] SERGIOS T, KONSTANTINOS K. 模式识别[M]. 4 版. 北京:电子工业出版社,2010.
- [12] 李二涛,张国煊,曾虹,等.基于最小二乘的曲面拟合算法研究[J].杭州电子科技大学学报,2009, 29(2): 48-51.
- LI E T, ZHANG G X, ZENG H, et al. Algorithm of surface fitting research based on least-squares methods[J]. Journal of Hangzhou Dianzi University, 2009, 29(2): 48-51. (in Chinese)
- [13] 丁克良,欧吉坤,赵春梅,等.正交最小二乘曲线拟合法[J].测绘科学,2007,32(3):18-19
- DING K L, OU J K, ZHAO C M, et al. Methods of the least-squares orthogonal distance fitting[J]. Science of Surveying and Mapping, 2007, 32(3):18-19. (in Chinese)

- [14] 王玉花,冯浩,张坤,等.稳健正交最小二乘拟合法[J].佳木斯大学学报:自然科学版,2013,31(1):124-125,128.
- WANG Y H, FENG H, ZHANG K, et al. A robust method of the least squares orthogonal distance fitting[J]. Journal of Jiamusi University: Nat. Sci. Edi., 2013, 31(1): 124-125, 128. (in Chinese)
- [15] 曾清红,卢德唐.基于移动最小二乘法的曲线曲面拟合[J].工程图形学报,2004(1):84-89.
- ZENG Q H, LU D T. Curve and surface fitting based on moving least-squares methods[J]. Journal of Engineering Graphics, 2004(1):84-89. (in Chinese)
- [16] 程玉民.移动最小二乘法研究进展与评述[J].计算机辅助工程,2009,18(2):5-11.
- CHENG Y M. Advances and review on moving least-square methods[J]. Computer Aided Engineering, 2009, 18(2): 5-11. (in Chinese)

(上接第 150 页)

- [17] 郝云庆,王金锡,王启和,等.柳杉纯林改造后林分空间结构变化预测[J].林业科学,2006,42(8):8-12.
- HAO Y Q, WANG J X, WANG Q H, et al. Preview of spatial structure of *Cryptomeria fortunei* plantation after stand improvement [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2006, 42(8): 8-

12. (in Chinese)
- [18] 刘恩.南亚热带典型人工林碳储量研究[D].北京:中国林业科学研究院, 2012.
- [19] 惠刚盈.结构化森林经营[M].北京:中国林业出版社, 2007.