

鄂西山区日本落叶松人工林二元材积表研制*

孙拥康¹ 汤景明¹ 冯 骏² 林孝培²

(1. 湖北省林业科学研究院, 湖北 武汉 430075; 2. 长岭岗林场, 湖北 建始 445300)

摘要 以鄂西山区日本落叶松 (*Larix kaempferi*) 人工林为研究对象, 基于收集的 670 株代表性样木材料, 对该区日本落叶松人工林二元材积表的编制进行了研究。结果表明: 采用的 12 种材积备选模型均具有较好地拟合效果; 通过多模型比较和选优, 确定出山本式模型 3 为最优模型, 作为鄂西山区日本落叶松人工林的二元材积方程式; 经适用性检验, 模型精度符合研究区林业生产需求。

关键词 日本落叶松人工林; 二元材积表; 多模型; 适用性检验; 鄂西山区

中图分类号: S758.6 文献标识码: A 文章编号: 2096-2053 (2018) 02-0047-05

Development of Binary Volume Table of *Larix kaempferi* Plantation in Western Hubei Province

SUN Yongkang¹ TANG Jingming¹ FENG Jun² LIN Xiaopei²

(1. Hubei Academy of Forestry, Wuhan, Hubei 430075, China; 2. Changlinggang Forest Farm, Jianshi, Hubei 445300, China)

Abstract Taking *Larix kaempferi* plantation in Western Hubei Province as the research object, 670 representative sample trees of *L. kaempferi* plantation were selected to study the binary volume table' compiling in this area. The results showed that 12 kinds of volume alternative models by used had good fitting effect. Model 3 was determined as the optimal model in study area with multiple models optimum seeking method. Through goodness-of-fit test, this volume model precision met the productive requirement, it could be provide scientific basis for forestry investigation, accumulation estimation and scientific management of *L. kaempferi* plantation in Western Hubei Province.

Key words *Larix kaempferi* plantation; binary volume table; multiple model; goodness-of-fit test; Western Hubei Province

材积表是森林经营管理和林业调查中常用的森林调查数表, 是重要的林业基础计量数表, 在森林资源调查、森林生长监测、林业规划设计、森林经营与管理等测定计量森林蓄积方面具有不可替代的作用^[1-3]。我国常用的材积表包括二元材积表和一元材积表, 其中二元材积表由于考虑了胸径和树高两个因子, 其精度和使用范围要比

一元材积表更高、更广, 也更能满足森林资源调查、林业生产、科研等工作的精度要求^[4]。但作为林业行业标准的二元材积表大部分是在 20 世纪 70 年代由当时的农林部编制并颁布实施的, 距今已有 40 余年^[5]。鉴于当前我国气候条件、立地条件、树种特性、森林资源结构、经营水平等均发生了较大变化, 部分原来的材积表在应用中不

* 基金项目: 湖北省林业科技支撑计划项目“鄂西山区日本落叶松人工林高效栽培技术研发”(2015BBA212); 中央财政林业科技推广示范资金项目“武陵山区退化天然林生态恢复技术推广示范”(鄂[2015]HBTK01号)。

第一作者: 孙拥康(1987—), 男, 助理研究员, 主要从事森林经营方面的研究工作, E-mail: cssyk2011@163.com。

通信作者: 汤景明(1963—), 男, 研究员, 主要从事森林经营和恢复生态领域的科研工作, E-mail: 16252488288@qq.com。

可避免的产生难以接受的计算偏差,不仅直接影响森林蓄积测定结果的准确程度,也会影响森林经营管理水平的提升^[6]。加之还有部分树种原来就没有适用的材积表。因此,依据区域林业生产实际需要,重新研制高精度的二元立木材积模型,编制二元立木材积表,是当前森林资源管理中必须解决的问题^[7-8]。

日本落叶松是鄂西山区广泛引种和栽植的速生用材树种,也是该区天保工程二期中高山地段典型的造林树种之一,近年来其经营规模和种植面积年不断增加,在鄂西地区经济、社会发展和生态安全中占据着重要地位^[9]。但查阅文献资料,目前有关日本落叶松二元材积表的研制在我国辽东等北方地区较多,而作为南方最大的日本落叶松基地的鄂西地区相关研究却少见报道。另外根据实地调查,发现鄂西地区现行日本落叶松材积估算方法主要参考相关的一元材积表,这对于部分精准林业、森林资源调查及林业科研来说,远远达不到相关工作精度要求。本文以鄂西山区日本落叶松人工林为研究对象,基于收集的代表性样木材料,拟在前人研究的基础上,通过利用不同二元材积方程拟合和模型优选,研制鄂西山区日本落叶松人工林二元材积表,以期为区域日本落叶松人工林林业调查、蓄积估算、科学经营及管理提供科学依据。

1 研究区概况

鄂西地属湖北省西部,本研究在鄂西山区日本落叶松主要栽植区内进行(襄阳、宜昌、恩施),地理位置介于108°21'~110°58' E, 29°27'~31°57' N之间,该区地质上属华夏体系第三隆起中段,第二阶梯东缘,由秦岭山脉东延部分的武当山、大巴山、荆山山脉以及云贵高原东延部分的齐岳山、八面山、武陵山脉组成。海拔起伏较大,属北亚热带季风气候区,年均气温为15~18℃,年降水量1 000~1 200 mm,相对湿度达60%~89%,土壤属于红黄壤与黄棕壤地带^[10]。该区植被类型丰富,除典型的亚热带常绿阔叶林外,山地垂直带上还有混交林、亚高山暗针叶林及落叶阔叶林等植被类型,同时,独特的气候条件非常适合日本落叶松人工林的引种和栽植。

2 材料与方法

2.1 材料来源

为保证编制的立木材积模型的适用性,在充分了解鄂西山区日本落叶松分布和生长情况基础上,2016年6月—2017年5月分别于恩施州、宜昌市、襄阳市等日本落叶松主要栽植州、市县(乡、林场)开展了日本落叶松专项调查,共计调查代表性日本落叶松纯林标准地233块,面积为0.04 hm²。标准地主要测树因子分布范围:林分年龄为8~32 a,胸径为5.0~28.9 cm,树高为4.5~26 m,单株材积为0.005 94~0.678 22 m³。

2.2 等株径级标准木法

在对所有调查林木按径阶排序基础上,按照等株径级标准木法抽取样木,以起测胸径为5 cm,2 cm一个径阶,将不同区域抽取的样木数按6~28 cm共12个径阶均匀分配为4个径级。按照均匀分布、典型抽样原则^[11],将样木分为建模样木和检验样木两部分,其中,建模样木500株,检验样木170株,建模样木每径阶原则上不少于40株,检验样木不少于建模样木的三分之一。样木伐倒后,按照2 m区分段测算各区分段中央直径,用中央断面求积法计算各样木材积。样木各径阶数量统计见表1。

表1 鄂西山区日本落叶松人工林样木各径阶数量统计
Table 1 Statistics the number of sample trees in each diameter for *Larix kaempferi* plantation in Western Hubei Province

径级 Diameter class	径阶 Diameter grade/cm	建模样木 Modeling sample tree	检验样木 Testing sample tree	小计/株 Sub-total tree
I	6	41	14	168
	8	43	15	
	10	41	14	
II	12	41	14	167
	14	42	14	
	16	42	14	
III	18	42	14	167
	20	41	14	
	22	42	14	
IV	24	43	15	168
	26	42	14	
	28	40	14	
合计 Total/株		500	170	670

2.3 二元材积表编制方法

为确保二元材积表编制精度和适应性，根据实地调查资料并严格按照我国林业行业标准《二元立木材积表编制技术规程》(LY/T 2102-2013)^[12]编制要求，采用标准推荐的12种二元立木材积模型(表2)作为多模型选优的初始备选模型，在Spss 19.0和Forstat 2.1统计分析软件支持下，进行模型回归、检验和优选，并根据选取出的二元立木材积模型编制研究区二元立木材积表。

3 结果与分析

3.1 模型拟合与选择

利用非线性加权回归方法对模型参数进行计算拟合，得到各模型参数估计值、确定指数(R^2)及模型评价指标残差平方和(SSE)、总误差平方和(TSS)，具体模型拟合结果见表3。

由表3可知，12个模型均能较好的拟合材积与胸径、树高的相关关系，除模型6外，其余模型确定指数(R^2)均在0.98以上，达到了极显

表2 二元材积备选模型
Table2 List of binary volume alternative models

模型序号 Model sequence number	材积模型方程 Model equation of volume	备注 Remark
1	$V=c_0+c_1D^2H$	
2	$V=c_0D^2+c_1D^2H$	
3	$V=c_0D^c_1H^c_2$	
4	$V=c_0+c_1D^2+c_2D^2H$	
5	$V=c_0+c_1H+c_2D^2H$	
6	$V=c_0+c_1H+c_2D^2$	其中， V 为材积， D 为胸径， H 为树高， $c_0、c_1、c_2、c_3、c_4、c_5$ 为模型参数。
7	$V=c_0+c_1D^2+c_2H+c_3HD^2$	
8	$V=c_0+c_1D+c_2D^2+c_3DH+c_4D^2H$	
9	$V=c_0+c_1D^2+c_2D^2H+c_3H^2+c_4DH^2$	
10	$V=c_0+c_1D^2+c_2DH+c_3D^2H+c_4D^2H\log D$	
11	$\log V=c_0+c_1\log D+c_2\log^2 D+c_3\log H+c_4\log^2 H$	
12	$V=c_0+c_1D+c_2D^2+c_3DH+c_4D^2H+c_5H$	

表3 鄂西山区日本落叶松人工林二元材积模型拟合结果

Table3 Fitting results of binary volume alternative models for *Larix kaempferi* plantation in Western Hubei Province

模型序号 Model sequence number	参数估计值 Parameters evaluation						残差 平方和 SSE	总误差 平方和 TSS	确定指数 R^2
	c_0	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5			
1	0.006980	0.000032					0.651038	38.420669	0.983055
2	0.000089	0.000029					0.619294	38.420669	0.983886
3	0.000044	2.129478	0.772474				0.599540	38.420669	0.984395
4	-0.004764	0.000120	0.000028				0.615425	38.420669	0.983982
5	0.013574	-0.000600	0.000033				0.648971	38.420669	0.983109
6	-0.094490	0.002837	0.000803				1.993594	38.420669	0.948113
7	0.005890	0.000128	-0.001043	0.000029			0.609339	38.420669	0.984140
8	0.013203	-0.001950	0.000215	-0.000057	0.000028		0.603109	38.420669	0.984302
9	0.003823	-0.000036	0.000043	0.000087	-0.000014		0.591079	38.420669	0.984616
10	-0.016380	0.000215	0.000498	-0.000071	0.000023		0.591518	38.420669	0.984604
11	-3.639592	0.278886	0.103380	0.526190	-0.031525		0.587198	38.420669	0.984717
12	-0.026550	0.000877	0.000192	-0.000473	0.000036	0.004847	0.594894	38.420669	0.984516

著水平。一般比较模型的拟合优度，残差平方和（SSE）和总误差平方和（TSS）越小、确定指数（ R^2 ）越大，表明模型拟合精度越高^[13]。通过比较模型各计算结果和评价指标，从表3中我们可以看出，整体上模型11的拟合精度最高。但二元材积模型的选取不能只考虑模型精度，还应考虑模型的生物学性质和在林业生产中应用的便利性^[14]。鉴于山本式材积方程在国内外材积表编制中影响最大、应用最为广泛，也符合我国编制二元材积表的传统方法。加之，从表3各模型拟合结果来看，山本式模型3无论从残差平方和（SSE，为0.599540）、总误差平方和（TSS，为38.420669）、确定指数（ R^2 ，为0.984395）上看，还是从相近模型精度范围内，模型参数个数、模型生物学性质和理论意义上看，均有较高的拟合精度和应用便利性。因此，本研究将模型3选为本次二元材积表编制的最优模型，将其模型计算结果作为鄂西山区日本落叶松人工林二元材积方程式。即：

$$V=0.000044 D^{2.129478} H^{0.772474}$$

3.2 模型适用性检验

二元材积方程研制完成，但其是否适合于研究区，是否满足研究区林业生产精度要求，必须进行适用性检验^[15]。在Forstat 2.1数据统计分析软件支持下，利用未参与建模的170株检验样木对该二元材积方程进行适用性检验。以林木实际材积为因变量 y_i ，以模型计算出的理论材积为自变量 x_i ，建立一元线性回归方程：

$$y_i = a + bx_i$$

显然，若模型拟合效果好，林木材积实际值与理论值就会很接近，方程中的参数a就会无限趋近于0，参数b无限趋近于1，若两者完全相等，则在坐标系上绘出的就是通过原点，斜率为1的直线。因此，我们可以用F检验方法，对回归直线参数a、b与理想直线a=0，b=1进行检验，判断实际材积与理论材积是否有显著性差异。F检验计算公式如下^[16]：

$$F = \frac{(n-1)[na^2 + 2a(b-1)\sum x_i + (b-1)^2\sum x_i^2]}{2\sum (y_i - a - bx_i)^2}$$

式中： F 为检验值；a,b为回归直线参数； y_i 为样木实测材积； x_i 为材积式推算材积； n 为检验样木单元数。

经计算：

$$\text{一元线性回归方程 } y_i = 0.00194 + 0.99822x_i;$$

$$F\text{-统计量} = 0.2922。$$

按自由度： $df_1 = 2$ ， $df_2 = n - 2 = 168$ 查F检验临界值表，得 $F_{0.05}(2, 168) = 3.050$ ， $F < F_{0.05}$ ，表明在5%显著水平上，结果无差异，该材积方程式符合研究区精度要求，在研究区是适用的。

3.3 二元材积表编制

按2cm为径阶距、2m为树高级，把鄂西山区日本落叶松人工林的各径阶与树高级代入材积方程：

$$V=0.000044 D^{2.129478} H^{0.772474}$$

将求得的材积值归纳于表4中，即编制成鄂西山区落叶松人工林二元材积表（限于篇幅，本

表4 鄂西山区日本落叶松人工林二元材积表

Table4 Binary volume table of *Larix kaempferi* plantation in Western Hubei Province

胸径 Diameter/cm	树高 Tree height/m												
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	
6	0.00583	0.00797	0.00996	0.01183									
8	0.01076	0.01471	0.01837	0.02183	0.02513								
10		0.02366	0.02955	0.03511	0.04042	0.04553	0.05048						
12		0.03489	0.04357	0.05176	0.05959	0.06713	0.07442						
14			0.06050	0.07188	0.08275	0.09321	0.10334	0.11318					
16			0.08039	0.09552	0.10996	0.12387	0.13733	0.15041	0.16316				
18				0.12274	0.14131	0.15918	0.17647	0.19328	0.20967	0.22569			
20				0.15362	0.17685	0.19921	0.22086	0.24190	0.26241	0.28246	0.30210		
22					0.21665	0.24404	0.27056	0.29633	0.32146	0.34602	0.37007	0.39368	
24					0.26075	0.29372	0.32564	0.35665	0.38690	0.41646	0.44541	0.47382	
26						0.34831	0.38615	0.42293	0.45880	0.49385	0.52818	0.56187	
28							0.45216	0.49523	0.53722	0.57827	0.61847	0.65792	

文仅列出部分)。

4 结论与讨论

本研究在对鄂西山区日本落叶松人工林分布和生长情况充分了解和调查基础上,对其二元材积表的编制进行了研究,结果表明:采用的12种材积备选模型均能较好的拟合材积与胸径、树高的相关关系;在充分考虑模型参数、确定指数、残差平方和、总误差平方和及生产实际基础上,通过模型选优,最终确定出山本式模型3为最优模型,作为鄂西山区日本落叶松人工林的二元材积方程式;经适用性检验,林木实际材积与理论材积无显著性差异,材积方程适用于研究区林业生产精度要求,可以为该区日本落叶松人工林林业调查、蓄积估算及科学经营管理提供科学依据。

对于地域分布范围相对比较集中的树种,一般建议只需全国统一编制1个二元材积表,并不鼓励各省单独编制仅限于本省范围内应用的二元材积表,这样不仅会造成同一树种在相邻省份材积估计的差异,也会造成不必要的资金浪费^[17]。因此,建立一种既能充分考虑区域分布、林木品系、林分结构、经营状况等不同尺度差异,又能具有较高估算精度和较广适用范围的通用性立木材积模型,势必成为一种新的研究趋势和热点,相关研究还有待进一步深入探索^[18-20]。

参考文献

- [1] 曾伟生.全国林业数表体系框架初探[J].中南林业调查规划, 2009, 28(4): 1-4.
- [2] 鲍晓红, 张纪卯, 陈文荣, 等.福建省柞大杉人工林二元材积表的研制[J].福建林业科技, 2014, 41(4): 89-91; 97.
- [3] 林建立, 田建民, 赵波.巴林人工落叶松二元立木材积表编制[J].内蒙古林业调查设计, 2015, 38(4): 22-23; 36.
- [4] 杨龙, 殷有, 房长有, 等.辽宁朝阳地区杨树二元材积表与一元材积表的比较[J].沈阳农业大学学报, 2002, 33(1): 51-52.
- [5] 国家林业局.立木材积表: LY/T 1353-1999[S].北京: 中国标准出版社, 1999.
- [6] 杨传强, 张金良, 孟凤芝, 等.山东省松类二元材积表的研制[J].山东林业科技, 2012, 42(3): 90-92.
- [7] 叶金盛.广东湿地松二元立木材积模型的编制[J].广东林业科技, 2006, 22(2): 27-30.
- [8] 黄崇辉, 温强, 梁景生, 等.尾叶桉U6无性系立木基径二元材积表与一元材积表的编制[J].广东林业科技, 2005, 21(4): 55-57.
- [9] 杨年友, 李玲, 宋亚莉.天保工程区日本落叶松人工商品林不同间伐效果分析[J].湖北林业科技, 2007, 36(3): 16-18.
- [10] 韩庆瑜, 郭义东, 祁松, 等.鄂西山区主要乡土阔叶大径用材树种选择研究[J].绿色科技, 2016(13): 1-7.
- [11] 骆期邦, 曾伟生, 贺东北.林业数表模型——理论、方法与与实践[M].长沙: 湖南科学技术出版社, 2001.
- [12] 国家林业局调查规划设计院.二元立木材积表编制技术规程: LY/T 2102-2013[S].北京: 中国标准出版社, 2013.
- [13] 顾丽, 王新杰, 龚直文, 等.落叶松人工林根径材积表和合理经营密度研究[J].西北林学院学报, 2009, 24(5): 180-185.
- [14] 王智慧, 张颖, 韩飞, 等.浅谈二元立木材积表的编制[J].内蒙古林业调查设计, 2015, 38(1): 40-42; 140.
- [15] 胡卫平.千岛湖天然林马尾松二元材积表的编制[J].华东森林经理, 2007, 21(1): 19-22.
- [16] 张菲, 张岩.塞罕坝地区华北落叶松人工林二元立木材积表编制研究[J].河北林果研究, 2016, 31(2): 128-131.
- [17] 李晖, 曾伟生.不同区域落叶松二元立木材积表的检验及差异分析[J].林业科学, 2016, 52(6): 157-162.
- [18] 陈振雄, 贺东北, 贺鹏.利用混合模型方法建立海南省橡胶树立木材积方程[J].中南林业科技大学学报, 2016, 36(12): 31-36.
- [19] 曾伟生.杉木相容性立木材积表系列模型研建[J].林业科学研究, 2014, 27(1): 6-10.
- [20] 胥辉, 吴明山, 叶江霞.二元立木材积模型的联立方程组估计方法[J].林业科学研究, 2009, 22(6): 788-791.