

文章编号: 1000-5692(2000)03-0294-04

# 杉木人工林林分出材率表编制方法的研究

江希钿<sup>1</sup>, 黄焯增<sup>2</sup>, 杨锦昌<sup>1</sup>

(1. 福建林学院 资源与环境系, 福建 南平 353001; 2. 福建省宁德地区林业局, 福建 宁德 352100)

**摘要:** 应用单株木二元材积方程、二元材种出材率表计算林分蓄积量和出材量的基本原理, 推导出编制林分出材率表的计算公式。在此基础上, 利用杉木人工林现场实际造林样木, 选择 Richards 方程建立以胸径、树高为辅助因子的累积材种出材率模型, 据以估计单株材种出材率。然后, 分别应用直径分布参数回收技术法和相对树高曲线模型, 预测林分各径阶株数概率及径阶平均高, 结合二元材积方程, 编制了杉木人工林林分出材率表。表 1 参 4

**关键词:** 杉木; 出材率; 胸高直径; 相对树高曲线

**中图分类号:** S758.62      **文献标识码:** A

林分出材率表是进行森林资源清查, 评价森林资源经济价值的重要工具。我国在五六十年代曾编制了主要树种的材种出材量<sup>[1]</sup>。由于当地编制的出材率表对材种的划分过于详细, 与生产上的要求相差较大而限制了实际应用。如何编制简便实用的林分出材率表, 是当前开展森林资源资产化管理, 进行资产评估必须解决的重要问题。本文以杉木 (*Chunninghamia lanceolata*) 人工林为研究对象, 探讨了林分出材率表的编制方法, 旨在为开拓林分出材率表的编制途径, 满足生产应用提供科学依据。

## 1 材料来源

在福建杉木中心产区各县市, 收集调查 278 块标准地, 按随机抽样原则抽取 1 057 株样木。每株样木伐倒后, 以 1 m 为区分段长, 测定各区分段中央带皮和去皮直径; 用中央断面区分求积式计算带皮和去皮材积。根据国家木材标准, 结合福建省生产实践需要和运输条件, 按先造大材后造小材的合理造材原则, 进行样木现场造材, 记载各材种小头去皮直径, 画出造材略图, 用中央断面区分求积式计算各材种材积。

## 2 编表的基本原理和方法

设  $N$  为林分总株数,  $f_i$  为第  $i$  径阶株数概率,  $V_i$  为第  $i$  径阶单株材积,  $P_{ij}$  为第  $i$  径阶第  $j$  材种单材出材率, 则第  $i$  径阶第  $j$  材种的径阶出材量  $M_{ij}$  为:

$$M_{ij} = N \times f_i \times V_i \times P_{ij} \quad (1)$$

林分中第  $j$  材种出材量  $M_j$  为径阶出材量  $M_{ij}$  合计, 即:

$$M_j = \sum M_{ij} = \sum N \times f_i \times V_i \times P_{ij} \quad (2)$$

林分蓄积量  $M$  为:

收稿日期: 1999-12-16; 修回日期: 2000-02-23

基金项目: 福建省自然科学基金资助项目(C9403)

作者简介: 江希钿(1958-), 男, 福建古田人, 副教授, 从事林木生长收获预估研究。

$$M = \sum N \times f_i \times V_i. \quad (3)$$

由此得林分第  $j$  材种的出材率  $P_j$  为:

$$P_j = M_j / M = \sum N \times f_i \times V_i \times P_{ij} / \sum N \times f_i \times V_i = \sum f_i \times V_i \times P_{ij} / \sum f_i \times V_i. \quad (4)$$

由于林分出材率表按平均胸径和平均树高编制而成, 因此, 在给定平均胸径和平均树高的条件下, 按 (4) 式编制林分出材率表。其基本方法为: ①确定径阶株数概率  $f_i$ 。本次采用 Logistic 方程建立株数累积分布曲线, 求得各平均胸径时的  $f_i$ 。②单株出材率模型。为提高编表精度, 建立以胸径  $D$ 、树高  $H$  为辅助因子的二元材种出材率模型。③单株立木材积方程。采用福建省杉木人工林二元立木材积方程  $V = 0.000\ 087\ 2D^{1.785\ 388\ 607} H^{0.981\ 392\ 3697}$ 。④建立相对树高曲线模型。确定二元材种出材率模型和二元材积方程中的各径阶平均树高的估计值。

### 3 编表结果

#### 3.1 单株二元材种出材率模型

利用伐倒木现场造材样木, 选择 Richards 方程, 建立累积商品材材积比模型。模型通式设计为:

$$y_j = K_j \times [1 - e^{-aH^b(D-D_0)^c}]^c. \quad (6)$$

式中:  $y_j$  为各材种累积去皮材积和带皮材积之比 ( $j = 1$  为大径材;  $j = 2$  为大径材 + 中径材;  $j = 3$  为大径材 + 中径材 + 小径材, 即规格材;  $j = 4$  为规格材 + 非规格材;  $j = 5$  为规格材 + 非规格材 + 薪材)。  $D_0$  为达到某一材种规格时的带皮胸径, 薪材和非规格材  $D_0 = 0$ , 小径材  $D_0 = 13$  cm, 中径材  $D_0 = 23$  cm, 大径材  $D_0 = 31$  cm。  $K_j$  为各累积材种出材率的上限,  $a, b, c$  为待定参数。

对于某一材种出材率  $P_j$  ( $j = 1, 2, 3, 4, 5$ ), 可用相邻 2 条累积出材率曲线递减求出, 即  $P_j = y_j - y_{j-1}$ 。为避免出现负值, 以  $P_j$  作为  $K_{j-1}$  的估计值, 对于薪材  $K_5 = 100$ , 非规格材  $K_4 = y_5$ , 小径材  $K_3 = y_4$ , 中径材  $K_2 = y_3$ , 大径材  $K_1 = y_2$ 。采用改进单纯形法<sup>[2]</sup>, 求解 (6) 式中的参数, 得到如下累积材种出材率模型:

$$y_5 = 100 \times (1 - e^{-0.001\ 464H^{0.152\ 085} D})^{0.086\ 53}, R^2 = 0.962\ 0; \quad (7)$$

$$y_4 = y_5 \times (1 - e^{-0.015\ 498H^{1.131\ 281} D})^{0.016\ 42}, R^2 = 0.967\ 9; \quad (8)$$

$$y_3 = y_4 \times (1 - e^{-0.087\ 15H^{1.021\ 7} (D-13)})^{0.072\ 59}, R^2 = 0.933\ 1; \quad (9)$$

$$y_2 = y_3 \times (1 - e^{-0.007\ 71H^{0.651\ 86} (D-23)})^{0.323\ 50}, R^2 = 0.910\ 5; \quad (10)$$

$$y_1 = y_2 \times (1 - e^{-0.002\ 251H^{0.399\ 5} (D-31)})^{0.172\ 70}, R^2 = 0.811\ 3. \quad (11)$$

把胸径和树高代入以上各式, 并依次递减, 即可求得各材种出材率, 据此编表。

#### 3.2 胸径分布

3.2.1 直径分布的数学表达 描述直径分布的数学模型很多。惠刚盈等<sup>[3]</sup>用 Logistic 方程描述株数累积频率曲线取得了良好的效果。本次应用该法确定不同平均胸径时各径阶的株数概率。

设株数相对累积频率为  $F$ ,  $x$  为直径, 二者之间关系用 Logistic 方程描述:

$$F = c / (1 + e^{-ax - bx^2}). \quad (12)$$

式中:  $a, b, c$  为参数, 由于  $c$  是  $F$  的上界, 对于利用累加生成、标准化处理后的林分胸径分布, 其变化区间为  $(0, 1)$ , 故  $F$  的最大值为 1, 即  $c = 1$ 。这样, (12) 式可简化为:

$$F = 1 / (1 + e^{-ax - bx^2}). \quad (13)$$

应用 278 块标准地材料, 用 (13) 式拟合株数相对累积分布曲线, 相关系数均在 0.97 以上, 其中有 245 块在 0.99 以上, 占总数的 88%, 表明用 Logistic 方程可准确地描述杉木人工林直径分布。

3.2.2 胸径分布预测 应用 Logistic 方程预测林分直径分布, 实际上是通过表征林分直径分布特征的关键点对 (13) 式  $a, b$  参数的回收。由于 Logistic 方程以拐点为对称, 故拐点坐标  $(a/b, 1/2)$  为关键点, 由此得  $F = 1/2$ 。

$$x_F = 0.5 = a/b. \quad (14)$$

亦即在拐点处,  $a$  与  $b$  的关系为  $a = bx_F = 0.5$ 。而对于曲线上任一点  $(x_i, F_i)$ , 代入(13)式经整理后得  $a$  与  $b$  的关系为:

$$a = \ln(1/F_i - 1) + bx_i. \quad (15)$$

若设  $F_i = 0.9$ , 则(15)式变为:

$$a = -2.19722 + bx_F = 0.9. \quad (16)$$

由(14)和(16)式可见, 只要  $x_F = 0.5$  和  $x_F = 0.9$  的值已知,  $a$  与  $b$  便可求出, 将计算的  $a, b$  值代入(13)式, 即可求出任一径阶的相对累计的频率。各径阶的株数概率为  $F_{x+L} - F_x$ , 对应的株数为:

$$n_x = N \times (F_{x+L} - F_x). \quad (17)$$

式中:  $N$  为单位面积株数 (株  $\cdot \text{hm}^{-2}$ ),  $L$  为径阶距 (cm)。

为确定不同平均胸径时的直径分布, 利用标准地每木调查材料, 作出相对累计频率曲线, 查出  $x_{F=0.5}$  和  $x_{F=0.9}$  的值, 分别与平均胸径建立相关关系式:

$$x_{F=0.5} = 0.7965D^{1.0622}, R = 0.9962; \quad (18)$$

$$x_{F=0.9} = 1.1396D^{1.0216}, R = 0.9905. \quad (19)$$

应用平均直径按(18)和(19)式预估  $x_{F=0.5}$  和  $x_{F=0.9}$ , 再由上述方法对林分胸径分布进行预估。为便于叙述, 将以上预估胸径分布的方法称为胸径分布参数回收技术(L-PRM法)。对其预估结果进行柯尔莫哥洛夫检验。结果, 278块标准地中有243块的柯尔莫哥洛夫检验的统计量  $D_n$  值小于  $D_{n(0.05)}$ , 其合格率达87.4%。L-PRM<sub>1</sub>法可用于编制林分出材率表。

### 3.3 相对树高曲线模型

相对树高曲线是指林分中各径阶平均树高  $H_i$  与林分平均高  $\bar{H}$  的比值  $H_{ri}$  和各径阶中值  $D_i$  与林分平均胸径  $\bar{D}$  的比值  $D_{ri}$  之间的相关曲线。与一般树高曲线的区别在于: 以  $\bar{D}$  和  $\bar{H}$  为基础的相对变换, 将胸径和树高的具体数值变为无量纲的相对数, 使得因林分平均胸径和平均高的显著差异导致离散程度很大的各个不同林分的树高曲线, 收敛成通过与平均胸径和平均树高相对应的1.0这一点的一束变动范围大为缩小的相对树高曲线簇。据骆期邦等人研究<sup>4</sup>, 应用可变参数相对树高曲线模型, 配合二元立木材积表直接估计立木材积, 不仅可以保证样地总材积的估计精度达到接近实测树高曲线法的水平, 而且不同径级组的材积估计精度也很高。为此, 本文应用相对树高曲线模型, 估计林分出材率表编制时各径阶的平均树高。

经过对比分析, Korf方程能准确地描述杉木人工林相对树高曲线的变化规律。方程形式为:

$$H_{ri} = a e^{-b D_{ri}^c} \quad (20)$$

根据所有相对树高曲线均通过(1,1)这一点的特性, 将模型设计为:

$$H_{ri} = e^{-b D_{ri}^c (1 - 1/D_{ri}^c)} \quad (21)$$

研究表明, (21)式中的  $b$  值与平均胸径呈线性函数, 用标准地材料进行拟合, 得出杉木人工林可变参数相对树高曲线模型:

$$H_{ri} = e^{-(-1.3548 + 0.01905D) \times (1 - 1/D_{ri}^{0.56248})}, R^2 = 0.9563. \quad (22)$$

### 3.4 林分出材率表

应用二元材积表和二元材种出材率模型, 配合直径分布和相对树高曲线模型, 即可编制林分出材率表。具体作法是: 用L-PRM法估计各径阶株数概率, 再用相对树高曲线模型求出各径阶平均树高  $H_i$ , 将径阶中值及  $H_i$  代入杉木人工林二元材积表及二元材种出材率模型, 求得各径阶单株材积及某一材种规格的单株出材率, 按(4)式求得林分某一材种的出材率, 列表即为林分出材率表(表1)。

## 4 结论与讨论

用实际造材样木研制单株出材率模型, 可以客观地反映树干病腐、弯曲和枝节等质量因素对材种

出材率的影响, 结果可靠, 切合实际。

采用累积材种出材率曲线代替单一材种出材率值的数值变换方法, 可使类型复杂的材种出材率曲线转化为类型简单的曲线形式, 便于采用材积比方程进行拟合。

应用累积材种出材率曲线编制二元材种出材率表, 各材种出材率采用相邻两条累积材种出材率递减的方法求出。若各累积材种出材率曲线分别独立拟合, 在递减时有可能出现负值, 这与实际不符。本文采用 Richards 方程描述某一规格的累积材种出材率曲线时, 以相邻累积材种出材率曲线 (比

表 1 杉木人工林林分平均出材率表 (部分)

Table 1 The even out-put table of stand for Chinese fir plantation

平均直径 / cm	平均树高 / m	经济材/ %					薪材 / %	废材 / %
		合计	规格材			非规格材		
			大径材	中径材	小径材			
...	...	...	...	...	...	...	...	...
20	14	75.1	0.3	6.5	28.4	39.9	1.3	23.6
	16	75.3	0.3	7.1	30.5	37.4	1.2	23.5
	20	75.5	0.3	7.6	32.5	35.1	1.2	23.3
	20	75.6	0.4	8.1	34.2	32.9	1.2	23.2
...	...	...	...	...	...	...	...	...
26	16	77.3	5.5	23.4	23.7	24.7	1.0	21.7
	18	77.4	5.8	25.1	24.4	22.1	1.0	21.6
	20	77.5	6.1	26.5	25.0	19.9	1.0	21.5
	22	77.7	6.4	27.9	25.5	17.9	1.0	21.3
...	...	...	...	...	...	...	...	...

该材种规格小的一个材种) 作为 Richards 方程中的渐近值, 解决了相邻累积材种出材率曲线在递减时出现负值问题, 较准确客观地反映了材种结构规律。

考虑到福建省现有小班调查缺乏出材率等级 (I、II、III级) 的记载, 本次不分出材率等级编制, 是一种平均水平的林分出材率表, 适用于正常生长的林分; 而对于遭受人为干扰较为严重的林分, 直径实际分布与理论分布有较大的差异, 在这种情况下可能产生较大误差。因此, 本文编制的林分出材率表在大面积森林资源清查和资产评估中最为适用。

二元材积方程、二元材种出材率模型、LPRM 法和相对树高曲线模型的有机结合, 为编制林分出材率表提供了一种切实可行的方法。

参考文献:

[1] 孟宪宇. 测树学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1996. 153—186.  
 [2] 秦建候, 邓勃, 王小芹. 分析测试数据统计处理中计算机的应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 1990. 369—389.  
 [3] 惠刚盈, 盛炜彤. 林分直径结构模型的研究[J]. 林业科学研究, 1995, 8(2): 127—131.  
 [4] 骆期邦, 曾伟生, 彭长清, 等. 可变参数相对树高曲线模型及其应用研究[J]. 林业科学, 1997, 33(3): 202—211.

## On outturn table of stand of Chinese fir plantation

JIANG Xi-dian<sup>1</sup>, HUANG Liang-zheng<sup>2</sup>, YANG Jin-chang<sup>1</sup>

(1. Department of Resources and Environment, Fujian College of Forestry, Nanping 353001, Fujian, China;  
 2. Forestry Enterprise of Ningde City, Ningde 352100, Fujian, China)

**Abstract:** Calculating equations of drawing out the out-turn percentage table of stands is reckoned based on the cardinal principle of general volume equation of single tree, volume calculation by general out-turn percentage table of woodcategory and out-turn quantity of stand. Further more, the model of accumulative out-turn quantity of woodcategory is established based on auxiliary factors of the diameter and height according to Richards equation and the materials of actual bucking of sample trees on the spot, and the out-turn percentage table of stand for Chinese fir plantation is made by applying the technique of parameter recovery of diameter distribution and the relative diameter height curve model and by forecasting the height and individuals probability in each diameter class with general volume equation.

**Key words:** Chinese fir; out-turn percentage; breast-height diameter; relative height curve