

人工杉木林单株径阶材种出材率表的编制

李曙我¹, 贺传峰¹, 姚 闻¹, 伍亮亮¹, 朱龙章¹, 王武文¹, 张 俊¹, 张小燕²

(1. 江西省安福县林业局, 江西安福 343200; 2. 江西省永丰县林业局, 江西永丰 331500)

摘要 对树干开展削度方程的研究, 既有利于基础性工作的需要, 也是编制出材量和出材率表的需要。选择人工杉木林作为对象, 用 1 389 株伐倒样木数据, 通过干形分析和多指标比较, 选定能拟合树干任意直径限处的材长、任意高度处的直径的最佳削度方程; 通过计算机理论造材, 编制出杉木单株径阶材种出材率表。该方法提高了材种数表的精度和可靠性。

关键词 人工杉木林; 削度方程; 材种出材率

中图分类号 S 791.27 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)27-0095-05

Compilation of Wood Outturn Percentage of Diameter Class per Plant of Artificial Chinese Fir Plantation

LI Shu-wo, HE Chuan-feng, YAO Wen et al (Forestry Bureau of Anfu County, Anfu, Jiangxi 343200)

Abstract Research on the taper equation for trunk is not only conducive to the needs of basic work, but also necessary to compile the output and yield table. Artificial Chinese fir forest was selected as the object, data of 1 389 cuttings were used, the optimal taper equation for fitting the length of the arbitrary diameter of the trunk and the diameter at any height were selected through the dry shape analysis and multi-indicator comparison. Based on the computer theory, the table of wood outturn percentage of diameter class per plant was compiled. This method improved the accuracy and reliability of the wood number table.

Key words Artificial Chinese fir plantation; Taper equation; Wood outturn percentage

出材量和出材率表的编制需要做大量的基础性工作, 其中对树干进行削度方程^[1]的研究, 既是一项基础性工作, 也是编制出材量和出材率表的需要。国内外此类研究和同类编制工作尚不是太多, 因此笔者选择人工杉木林作为对象, 首先取得了 1 389 株伐倒样木的所有相关数据, 开展干形分析和多指标比较研究, 筛选出能拟合树干任意直径限处的材长、任意高度处直径的最佳削度方程; 通过计算机理论造材, 最终编制成功杉木单株径阶材种出材率表, 从而为相关生产管理部门和研究者提供参考和进一步研究的基础^[2]。

1 研究方法

研究在江西省吉安市安福县多个国有林场开展, 首先是进行标准地和林分标准地的设置, 再进行样木的系统抽取。注意不同的立地条件和地域分布, 使样木在建模单元内尽可能包含正常情况下可以出现的全部径阶和所有树高级。样木调查包括: ①伐根高量测, 伐根年龄查数; ②伐根、根颈带皮与去皮直径量测; ③伐根以上的树干长度量测; ④按 1 m 或 2 m 加以区分, 对各区分段的中央带皮与去皮直径量测; ⑤从 0.10H 开始, 对树高每隔 0.10H 的带皮与去皮直径量测, 还对 0.05H、0.25H 和 0.75H 的带皮与去皮直径量测。

样木通过 3 个因子进行控制, 分别是树高、直径和材积, 将每个径阶的树高级分成 3~8 个。剔除病腐木、断梢木、双杈木和其他重度缺陷者, 最终选定 1 389 株建模样木, 具体情况是径阶为 5~40 cm, 树高为 5~24 m。另外, 收集 598 株样木作为检验样木, 其径阶为 8~32 cm, 树高为 6~23 m。

2 削度方程选择和拟合

2.1 削度方程选择 根据相关研究资料, 将具有代表性的削度方程汇总到表 1 中, 其中前 10 个为简单的削度方程, 另外 4 个是可变参数的削度方程。表格中 D 为胸高处的带皮

直径(cm); H 为全树高(m); $D_{0.1}$ 为 0.1H 处的带皮或去皮直径(cm); $D_{0.05}$ 为距干基 1/20H 处的带皮或去皮直径(cm); d 为树干 h 高处去皮直径(cm); h 为干基到直径为 d 的高度(或用材长度)(m); Z 为相对树高, $Z=h/H$; $C_0 \sim C_7$ 为待定参数; V' 为现行的二元立木的材积方程, $V'=a D^b H^c$ 。

表 1 有代表性的削度方程^[1-7]

Table 1 Representative taper equation

模型编号 Model No.	提出人 Introducer	提出时间 Proposed time	具体模型 Concrete model
(1)	Osumi	1958 年	$d/D_{0.1}=C_0 \times (1-Z) + C_1 \times (1-Z)^2 + C_2 \times (1-Z)^3$
(2)	Munro	1965 年	$(d/D)^2 = C_0 + C_1 \times (H-h)/(H-1.3)$
(3)	Kozak	1969 年	$(d/D)^2 = C_0 + C_1 Z + C_2 Z^2$
(4)	Ormerod	1971 年	$d/D = [(H-h)/(H-1.3)]^{C_0}$
(5)	Demearschalk	1972 年	$d^2 = (40\ 000/\pi) \times V \times C_0 \times (1-Z)^{(C_0-1)/H}$
(6)	Demearschalk	1972 年	$d = 10^{C_0} \times D^{C_1} \times (1-Z)^{C_2} \times H^{(C_2+C_3)}$
(7)	胡晓龙	1990 年	$(d/D_{0.05})^2 = C_0 \times (1-Z)^{C_1}$
(8)	蒋伊尹	1991 年	$(d/D)^2 = C_0 \times (1-Z)^{C_1/H} + C_2 \times (1-Z)^{C_1}$
(9)	Demearschalk	1995 年	$d = C_0 \times D^{C_1} \times (1-Z)^{C_2} \times H^{(C_2+C_3)}$
(10)	曾伟生	1995 年	$d = C_0 \times (1-Z)^{C_1} \times D^{C_2}$
(11)	曾伟生	1995 年	$d/D = [(H-h)/(H-1.3)]^K$ 其中 $K = C_0 + C_1 \times Z + C_2 \times Z^2 + C_3 \times (D + k_0 \times H)$
(12)	严若海	1992 年	$d/D = C_0 \times [(1-Z)/(H-1.3)]^K$ 其中 $K = C_1 + C_2 \times Z + C_3 \times Z^2 + C_4 \times Z^4 + C_5 \times Z^5 + C_6 \times (D/H)$
(13)	曾伟生	1995 年	$d = C_0 (1-Z)^{[C_1+C_2(D/H)]} D^{C_3}$
(14)	曾伟生	1995 年	$d/D = C_0 (1-Z)^{(C_1+C_2) \times C_3^{(D/H)}}$

2.2 削度方程拟合 为了更好地消除建模中异方差的影响, 将权函数 $W_i = 1/D^2$ 进行加权。采用 Marquardt 迭代法分别对单株带皮直径和去皮直径进行拟合。通过比较, 以削度

作者简介 李曙我(1966—), 男, 江西安福人, 高级工程师, 从事林业资源调查和管理研究。

收稿日期 2018-05-20; **修回日期** 2018-05-28

方程(1)和(12)的拟合效果最好,其指标 Q 、 S 、 R 及参数的变动系数详见表 2。

表 2 带皮直径、去皮直径削度方程的拟合结果
Table 2 Fitting result of diameter overbark or diameter under bark taper equation

削度方程 Taper equation	C_i 的估计值和变动系数 Estimated value of C_i and variable coefficient	剩余标准差(S) Residual standard deviation	剩余离差平方和(Q) Sum of squares of residual deviation	相关系数(R) Correlation coefficient
带皮(1)Overbark(1)	$C_0=2.772\ 538\ 08(0.18\%)$ $C_1=-3.763\ 459\ 66(0.40\%)$ $C_2=2.177\ 489\ 76(0.49\%)$	0.060 407	65.878 358	0.994 761
带皮(12)Overbark(12)	$C_0=0.993\ 391\ 12(0.08\%)$ $C_1=1.185\ 290\ 65(0.96\%)$ $C_2=-12.038\ 979\ 62(1.98\%)$ $C_3=61.986\ 012\ 50(2.45\%)$ $C_4=-139.353\ 759\ 37(2.77\%)$ $C_5=141.846\ 221\ 13(3.00\%)$ $C_6=-53.504\ 682\ 27(3.20\%)$ $C_7=0.121\ 872\ 64(3.50\%)$	0.068 001	83.462 028	0.993 360
去皮(1)Under bark(1)	$C_0=2.593\ 247\ 37(0.21\%)$ $C_1=-3.301\ 770\ 27(0.48\%)$ $C_2=1.891\ 160\ 20(0.60\%)$	0.064 484	75.073 476	0.992 967
去皮(12)Under bark(12)	$C_0=0.994\ 262\ 18(0.08\%)$ $C_1=1.185\ 021\ 39(1.00\%)$ $C_2=-13.185\ 528\ 89(1.90\%)$ $C_3=69.104\ 805\ 48(2.32\%)$ $C_4=-155.852\ 782\ 47(2.62\%)$ $C_5=158.828\ 385\ 11(2.85\%)$ $C_6=-59.981\ 659\ 89(3.04\%)$ $C_7=0.154\ 459\ 08(3.42\%)$	0.070 639	90.063 827	0.991 559

3 削度方程评价

通过对树干进行理论造材并计算出材种出材率,是对削度方程进行建模的主要目的,因此需对削度方程的本身进行检验,得到不同相对高度直径进行估计效果,还需使用全树干材积方程和累积材长方程,对不同的全树干材积的估计效果和小头直径处材长做出检验与评价。

3.1 估计不同相对高度直径 使用样本的直径数据,分别利用表 1 中的削度方程对 0.0~0.9*H* 高度的直径(y_i)进行估

计,再将结果跟伐倒木的相应高度直径(Y_i)做比较^[1-7],包括平均绝对偏差(MA = $\sum |Y_i - y_i| / N$)、平均相对偏差(RM = $\sum [(Y_i - y_i) / Y_i] / N$)、平均相对偏差绝对值(RMA = $\sum |(Y_i - y_i) / Y_i| / N$)、均方差(SS = $\sqrt{\sum [(Y_i - y_i) / Y_i]^2 / N}$)。

经拟合,并对不同相对高处直径总的估计效果进行比较,削度方程(1)和(12)的拟合精度最好,且(12)优于(1)(表 3)^[1-7]。

表 3 削度方程对直径(d)的估计效果
Table 3 Estimated effect of taper equation on diameter(d)

模型编号 Model No.	带皮直径拟合 Fitting with diameter overbark				去皮直径拟合 Fitting with diameter under bark			
	MA	RM	RMA	SS	MA	RM	RMA	SS
(1)	0.560 1	-0.006 7	0.069 1	0.101 9	0.495 2	0.000 2	0.072 8	0.109 4
(12)	0.496 9	0.002 1	0.057 9	0.093 0	0.433 8	-0.001 3	0.060 7	0.100 8

3.2 估计不同直径的限材长 计算自伐根到任一小头直径处长度的方程,可使用与削度方程对应上部材长所估计累积材长的方程。同样地,经对各上部直径限材长总的估计效果

进行比较,削度方程(1)和(12)的拟合精度最好,且(12)优于(1)(表 4)。

表 4 削度方程对材长(h)的估计效果
Table 4 Estimated effect of taper equation on wood length(h)

模型编号 Model No.	带皮直径拟合 Fitting with diameter overbark				去皮直径拟合 Fitting with diameter under bark			
	MA	RM	RMA	SS	MA	RM	RMA	SS
(1)	0.419 3	-0.003 6	0.163 5	0.207 8	0.406 6	-0.028 1	0.150 0	0.299 6
(12)	0.412 8	0.031 9	0.114 9	0.184 9	0.405 1	0.016 9	0.110 6	0.183 2

3.3 对材积进行估计 因为材积估计^[4]的特征值会对总体的估计产生累加意义,所以选用均方差(SS= $\sqrt{\sum [(Y_i-y_i)/Y_i]^2/N}$)、平均系统偏差(MS= $\sum (V_i-v_i)/N$)和

总体相对偏差RS= $\sum (V_i-v_i)/\sum V_i$ 做评价的指标。
使用削度方程(1)和(12)来估计全材积,结果见表5。

表 5 对材积进行估计的结果
Table 5 Estimated results of the volume

模型编号 Model No.	带皮直径拟合 Fitting with diameter overbark			去皮直径拟合 Fitting with diameter under bark		
	MS	RS	SS	MS	RS	SS
(1)	-0.004 1	-0.025 9	0.084 6	-0.004 0	-0.032 5	0.083 9
(12)	0.001 7	0.010 7	0.064 0	0.001 1	0.008 7	0.063 2

根据 14 个削度方程对不同相对高处直径、不同直径限材长及材积的估计效果综合评价,以削度方程(1)及(12)为最佳,且方差(12)的估计效果优于(1)。

3.4 残差分析 将削度方程的形式统一成 $d=f(D,H,Z)$,计算出残差 $e_i=D_i-d_i$,打印 e 与 D,H,Z,d 相关的散点图。通过比较,方程(12)的残差按 D 的分布是随机的(图1)。

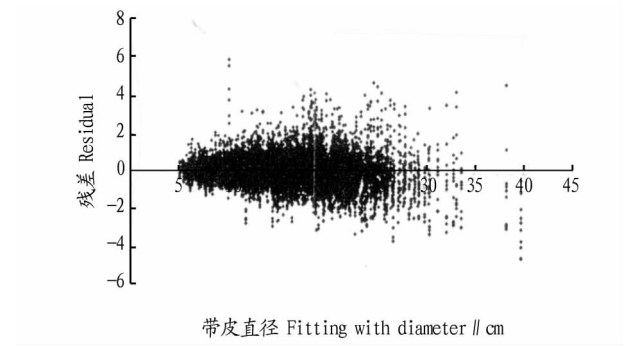


图 1 (12)号削度方程(带皮直径拟合)建模样本残次分布
Fig.1 Modeling sample residual distribution of taper equation (12) (fitting with diameter overbark)

4 削度方程适用性检验

4.1 各种偏差评价指标检验 采用(1)及(12)号削度方程,分别计算 598 株检验样木的材积总平均估计效果,以及按相对高度和径阶对直径的估计效果(表6、7)。结果表明,方程(12)的估计效果优于(1)。

表 6 削度方程对材积(V)检验的效果

评价指标 Evaluation index	方程(1) Equation (1)		方程(12) Equation (12)	
	带皮 Overbark	去皮 Under bark	带皮 Overbark	去皮 Under bark
MS	0.002 6	0.001 9	0.001 0	0.000 5
RS	0.023 1	0.022 5	0.009 2	0.006 4
SS	0.077 2	0.073 0	0.066 2	0.063 0

4.2 检验样木的残差分布 采用(1)及(12)号削度方程对检验样木残差 e 进行计算,绘制出 e 与 D,H,Z 和 d 分布图。图2显示,方程(12)检验样木所得到残差的分布呈现出随机的特点,与数量化的估计结果一致。正负残差分布同样是方程(12)呈现得比较均匀。

表 7 削度方程(1)和(12)按带皮直径对材长(h)和直径(d)的估计效果(检验样本)

Table 7 Estimated effect of taper equation (1) and (12) on wood length (h) and diameter (d) based on the diameter overbark (test sample)									
分类 Classification		材长(h)估计效果 Estimated effect of wood length(h)				直径(d)估计效果 Estimated effect of diameter(d)			
		方程(1)Equation (1)		方程(12)Equation (12)		方程(1)Equation (1)		方程(12)Equation (12)	
		RM	RMA	RM	RMA	RM	RMA	RM	RMA
径阶 Diameter class//cm	8	0.152 1	0.183 9	0.008 2	0.106 3	0.043 8	0.071 7	-0.013 5	0.054 7
	10	0.083 9	0.150 3	0.018 3	0.100 2	0.035 5	0.065 6	-0.000 1	0.052 4
	12	0.043 1	0.137 1	0.022 7	0.105 8	0.021 3	0.060 2	0.001 7	0.052 9
	14	0.026 0	0.133 8	0.045 0	0.112 9	0.021 3	0.061 5	0.015 8	0.056 9
	16	-0.019 3	0.148 1	0.050 5	0.108 4	0.007 8	0.061 2	0.012 3	0.055 7
	18	-0.024 3	0.160 9	0.072 8	0.118 8	0.004 6	0.066 5	0.016 7	0.065 5
	20	-0.094 5	0.165 3	0.014 3	0.125 4	-0.038 3	0.073 4	-0.015 4	0.064 2
	22	-0.145 9	0.208 1	-0.036 6	0.150 2	-0.079 3	0.083 7	-0.044 3	0.082 1
	24	-0.160 5	0.190 6	-0.044 7	0.167 5	-0.076 5	0.076 5	-0.056 4	0.068 7
	28	-0.180 5	0.208 5	-0.046 0	0.175 9	-0.086 5	0.082 3	-0.056 3	0.071 6
相对树高 The relative tree height	≥30	-0.219 2	0.213 2	-0.077 3	0.166 7	-0.108 7	0.087 1	-0.045 8	0.056 1
	0.05H	-0.288 7	0.545 9	0.180 9	0.353 9	-0.019 3	0.037 2	0.017 1	0.028 4
	0.10H	-0.143 8	0.244 5	0.062 9	0.185 6	-0.017 3	0.030 1	0.007 4	0.016 0
	0.20H	0.112 3	0.157 4	0.006 1	0.148 0	0.023 6	0.032 3	-0.001 2	0.019 8
	0.25H	0.144 7	0.177 1	0.003 9	0.113 7	0.034 4	0.041 5	-0.001 8	0.023 0
	0.30H	0.146 8	0.180 2	0.018 9	0.097 8	0.038 3	0.046 6	0.003 0	0.027 4
	0.40H	0.118 4	0.159 1	0.059 8	0.100 8	0.035 9	0.049 7	0.024 0	0.041 5
	0.50H	0.059 4	0.113 4	0.058 7	0.101 9	0.020 6	0.048 9	0.027 8	0.050 2
	0.60H	0.018 7	0.076 5	0.025 6	0.079 7	0.003 1	0.056 2	0.008 3	0.055 5
	0.70H	0.006 7	0.055 8	0.010 6	0.053 1	-0.008 9	0.077 6	-0.003 8	0.075 2
	0.75H	0.005 2	0.045 8	0.011 3	0.042 8	-0.012 3	0.090 6	0.003 9	0.086 8
	0.80H	0.005 4	0.037 4	0.012 4	0.037 1	-0.012 1	0.107 6	0.016 1	0.102 0

接下表

分类 Classification	续表 7							
	材长(<i>h</i>)估计效果 Estimated effect of wood length(<i>h</i>)				直径(<i>d</i>)估计效果 Estimated effect of diameter(<i>d</i>)			
	方程(1)Equation (1)		方程(12)Equation (12)		方程(1)Equation (1)		方程(12)Equation (12)	
	RM	RMA	RM	RMA	RM	RMA	RM	RMA
0. 90 <i>H</i>	0. 020 5	0. 029 5	-0. 013 5	0. 055 9	0. 077 2	0. 167 5	-0. 036 9	0. 168 5
胸高处 At breast height	-0. 100 8	0. 210 5	0. 081 8	0. 081 8	-0. 008 1	0. 027 8	0. 006 6	0. 006 6
总体 Total	0. 017 2	0. 151 9	0. 036 4	0. 114 2	0. 013 6	0. 065 5	0. 005 3	0. 057 8

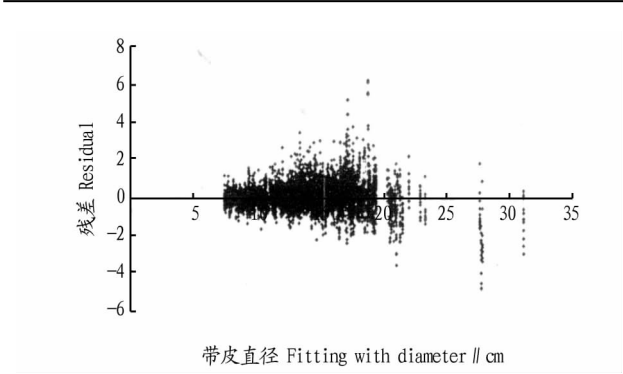


图2 (12)号削度方程(带皮直径拟合)检验样本残差分布
Fig.2 Test sample residual distribution of taper equation(12)
(fitting with diameter overbark)

5 杉木材种出材率表的编制

5.1 计算机理论造材

5.1.1 树高的确定。选用多个树高曲线模型,用建模样本带皮直径与树高的实际值,采用 Marguardt 方法进行拟合。拟合结果表明,理查德(Richards)模型:

$$H=C_0\times[1-EXP(-C_1\times D)]C_2$$
 (15)

在胸径处于无限大的时候,树高可收敛于极限值,并与生物学的解释相符合,而且呈现为具有拐点的曲线变化。因此,选用理查德模型为树高曲线模型,参数估计值及变动系数如下:*C*₀ 26. 334 072(8. 19%)、*C*₁ 0. 042681(33. 66%)、*C*₂ 1. 007 019(36. 90%),剩余平方和(*Q*)23. 240 577,剩余标准差(*S*)0. 895 209,相关系数(*R*)0. 982 000。

5.1.2 树皮率确定。树皮材积占带皮全树干材积比率,即为树皮率。通常是利用带皮、去皮胸径和树高查二元材积表计算得出。因此,胸高处的树皮厚度对树皮率的影响是很大的。该研究利用(12)号带、去皮削度方程通过拟合树皮率方程 *P_v* = *C*₀ × EXP(*C*₁ / *D*) 来计算树皮率,参数估计值及变动系数如下:*C*₀ 44. 477 959(2. 35%)、*C*₁ -7. 698 431(4. 60%),剩余平方和(*Q*)36. 195 781,剩余标准差(*S*)1. 098 419,相关系数(*R*)0. 988 702。

5.1.3 材种划分标准。依据国家标准,材种可划分为规格材、短小材两大类,统称经济材;规格材又分为大、中、小原木,具体标准见表8。

5.1.4 计算机造材。以树高曲线为基础确定各径阶树高后,利用削度方程对应全树干材积方程对各径阶的平均带皮材积进行计算,再使用树皮率方程来确定各径阶的树皮率,对各径阶的平均去皮材积进行计算。若全树干材积方程写成显式,可通过换算式 *D* = *f*(*V*, *H*) 计算出去皮材积和去皮直

径;若无法写成显式,可以通过迭代法来进行求算,直到由设定直径计算出材积跟已知去皮材积的相差很小时(Δ*V* < 0. 000 1),即可将此值作为需计算的去皮直径。

表8 经济材划分标准			
Table 8 Classification standards of commercial wood			
类别 Category	小头去皮直径 Diameter under bark of the small head//cm		材长 Wood length m
国家规格材	大原木	≥26	≥2
National specification	中原木	20~26	≥2
wood	小原木	6~20	≥2
短小材	短材	≥14	0. 4~1. 8
Short wood	小材	4~14	1. 0~4. 8

根据经济材材种划分标准,利用削度方程及对应的材长方程,根据胸径大小,先计算出最大的材种规格材长。大的原木按照1 m的长度进级,其他的则按照0. 2 m进级,而最短材长则按照材种来划分标准。如果材长不能达到要求,可将标准降低一级进行造材,然后依次类推。此造材过程由计算机程序完成。

5.2 杉木材种出材率表的编制 编制材种出材率表时,削度—材积比方程是不可缺少的部分,该研究在计算机程序设计分别按区分段对全树干材积、小头直径以上部分材积进行求算,二者的差值就是某材种材积。

从实践来看,利用削度方程(12)编制的杉木经济材材长和材种出材率表更符合实际,完全可以在生产中进行应用(表9)。

由于在拟合削度方程时采用 *d_i* / *D*_{0.1} = *f*(*Z*), 则 *d_i* = *f*(*Z*) · *D*_{0.1}。实际应用时为胸高直径,故需了解各 *D*_{1.3} 相应的 *D*_{0.1} 值;同样,带皮直径(*D*)与去皮直径(*d*)之间还应互相转换。现将 *D*_{1.3} 与 *D*_{0.1} 之间的相关性列于表10。

5.3 材种出材量的计算 利用材种出材率表计算出材量按照以下步骤进行:①对标准地每木检尺,并按照径阶归类,根据一元材积表分别求算出材积;②按照径阶,用单木材积出材率表可以查出各材种的出材率,然后乘以对应带皮材积,其值为各材种的出材量,按照出材的损失率来扣除损失材积;③按照不同径阶对同类材种的材积相加,可以得出标准地里面所有材种总材积。

6 结论

(1)笔者以国内外相关研究为基础,基于不同相对高度的测径资料数据,对安福县的杉木干形开展研究,最后获得了与杉木的立木干形相符合的削度方程。为了避免建模中

异方差的影响,将 $W_i = 1/D^2$ 作为权函数,并使用 Marquardt 的迭代法进行单株拟合,这种方法可以在样本信息失真方面起到防止作用,最终得到比较理想的结果。

表 9 利用削度方程(12)编制的杉木经济材材长和材种出材率表(材长有限制)

Table 9 Commercial wood length and outturn rate table of Chinese fir prepared using the taper equation(12)

径阶 Diameter class cm	去皮直径 Diameter under bark cm	树高 Plant height m	带皮材积 Diameter overbark m ³	去皮材积 Volume under bark m ³	树皮率 Bark rate %	经济材材长 Wood length//m					经济材出材率 Wood outturn rate//%				
						大径 Large diameter	中径 Medium diameter	小径 Small diameter	短小 Shortness	合计 Total	大径 Large diameter	中径 Medium diameter	小径 Small diameter	短小 Shortness	合计 Total
6	5.05	5.89	0.009 9	0.006 9	30.68				3.6	3.6				59.16	59.16
8	6.80	7.55	0.021 0	0.015 0	28.47			3.6	1.8	5.4			52.05	14.47	66.52
10	8.61	9.08	0.037 8	0.027 7	26.75			5.8	1.4	7.2			64.49	6.22	70.71
12	10.44	10.49	0.061 0	0.045 6	25.35			7.4	1.2	8.6			69.21	3.53	72.75
14	12.26	11.78	0.091 3	0.069 2	24.16			9.0	1.0	10.0			72.55	1.91	74.46
16	14.12	12.97	0.128 9	0.099 1	23.13			10.2	1.2	11.4			74.27	1.63	75.90
18	15.99	14.06	0.174 3	0.135 6	22.23			11.4	1.2	12.6			75.77	1.23	77.00
20	17.88	15.06	0.227 7	0.178 9	21.42			12.6	1.4	14.0			77.08	1.02	78.10
22	19.76	15.98	0.289 0	0.229 2	20.68			13.6	2.0	15.6			78.08	1.10	79.18
24	21.67	16.83	0.358 4	0.286 7	20.01		5.2	9.4	2.0	16.6		42.63	36.36	0.93	79.92
26	23.58	17.60	0.435 9	0.351 4	19.40		6.4	9.0	2.0	17.4		49.80	29.91	0.84	80.55
28	25.49	18.32	0.521 3	0.423 2	18.83		7.8	8.4	2.0	18.2		56.77	23.63	0.74	81.15
30	27.42	18.97	0.614 6	0.502 2	18.29	4.0	5.0	8.0	1.8	18.8	30.98	30.85	19.24	0.60	81.68
32	29.35	19.57	0.715 6	0.588 3	17.80	6.0	4.2	7.6	1.6	19.4	44.64	21.60	15.45	0.48	82.17
34	31.29	20.13	0.824 2	0.681 4	17.33	7.0	4.4	7.2	1.4	20.0	50.29	19.79	12.19	0.38	82.65
36	33.24	20.63	0.940 1	0.781 3	16.89	8.0	4.4	6.8	1.2	20.4	55.33	17.59	9.85	0.30	83.07
38	35.20	21.10	1.063 2	0.888 0	16.47	9.0	4.2	6.6	1.2	21.0	59.79	15.15	8.31	0.27	83.52
40	37.16	21.53	1.193 2	1.001 3	16.08	10.0	4.0	6.4	1.0	21.4	63.80	12.97	6.92	0.21	83.91

表 10 $D_{1.3}$ 与 $d_{1.3}$ 、 $D_{0.1}$ 的拟合情况

Table 10 Fitting situation of $D_{1.3}$ with $d_{1.3}$ and $D_{0.1}$

序号 No.	方程 Equation	参数估计值 Parameter estimate		评价指标 Evaluation index		
		a	b	Q	S	R
1	$D_{1.3} = a + b d_{1.3}$	0.817 602	1.073 804	358.145 4	0.508 150	0.995 5
	$d_{1.3} = a + b D_{1.3}$	-0.633 816	0.923 002	307.853 2	0.471 122	
2	$D_{0.1} = a + b d_{0.1}$	1.003 223	1.061 760	307.853 2	0.506 440	0.994 9
	$d_{0.1} = a + b D_{0.1}$	-0.795 898	0.932 225	312.342 4	0.474 545	
3	$D_{1.3} = a + b D_{0.1}$	-1.182 590	1.071 547	254.762 2	0.428 577	0.996 8
	$D_{0.1} = a + b D_{1.3}$	1.194 752	0.927 326	220.470 1	0.398 691	
4	$d_{1.3} = a + b d_{0.1}$	-0.883 825	1.061 156	160.085 5	0.339 733	0.997 7
	$d_{0.1} = a + b d_{1.3}$	0.891 931	0.938 031	141.507 8	0.319 413	

(2) 削度方程的评价指标,需考虑多项因子,包括参数的变动系数和残差分布,还有对直径、材积和材长的估计效果。如果对直径和材长等方面不具有迭加意义的因子,或者是迭加意义不大的因子,则可以选择均方差、平均绝对偏差、平均相对偏差和平均相对偏差绝对值等多个评价指标;材积等因子有着迭加意义,可以选用的评价指标有平均系统偏差、总体相对偏差等。选用评价指标的原则是不仅具统计意义,而且需实现对预期评价的优化。

(3) 对杉木的削度方程拟合进行比较,并对样本进行适用性的检验,研究结果显示,削度方程(12)所得残差分布呈现出随机的特点,而且在对直径、材长和材积的估计效果上优于方程(1),因此是编制杉木材种出材率表的首选方程。通过计算机理论造材编制出杉木材种出材率表。不同于传统的编制材种数表的图解法,该研究所有技术程序都使用数学模型来进行模拟,从而避免图解法存在一定程度上的主观性,有利于提高材种数表精度,其科学性与可靠性也明显增强。

(4) 使用削度方程和材积比方程所编制的杉木树种径阶材种出材率表,在省内外尚属首次,可作为今后编制林分材种

出材率表的基础,也可用于任意部位的直径预测,或者是任意材长对应经济材的出材率,从而提高材种出材量(率)的预测功能。

(5) 削度方程编制材种的出材率表,需要说明的一点是:因出材损失(伐桩、折断、劈裂、材质缺陷和其他方面的原因造成的损失)具有不确定性,所以没有考虑,实际应用出材率表的时候,需要扣除这些损失量。

参考文献

[1] 骆期邦,曾伟生,贺东北. 林业数表模型:理论、方法与实践[M]. 长沙:湖南科学技术出版社,2001.

[2] 孟宪宇. 削度方程和出材率表的研究[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),1982(1):122-133.

[3] 孟宪宇. 削度方程和林分直径结构在编制材种表中的重要意义[J]. 北京林业大学学报,1991,13(2):14-20.

[4] 蒋伊尹,陈雪峰. 应用一致性削度/材积预估系统编制材种出材率表初探[J]. 林业资源管理,1991(6):55-57.

[5] 严若海. 关于商品材积变型估测系统的研究[D]. 南京:南京林业大学,1992.

[6] 何美成. 关于树干削度方程[J]. 林业资源管理,1993(5):42-50.

[7] 沈家智,龙红,周锡祥,等. 湿地松材积出材率表的研究[J]. 江西林业科技,1997(4):1-6.