

皖南山区马尾松地径一元材积表的编制

张余田¹, 陶涛¹, 樊丙玉¹, 凌化矾¹, 张晶²

(1. 安徽林业职业技术学院, 合肥 230001; 2. 安徽农业大学林学与园林学院, 合肥 230036)

摘要: 利用皖南山区 330 株马尾松样木调查数据, 选用 6 种一元材积回归方程, 拟合各模型参数, 建立了马尾松材积与地径回归模型, 并进行了适用性检验。结果表明, 皖南山区马尾松材积与地径最佳关系模型为 $Y=49.4672(1-\exp(-0.00706x))^{2.9309}$, 相关指数 (R) 为 0.96, 总相对误差 (RS) 为 -0.18%, 符合森林资源调查精度要求。在此基础上, 编制了皖南山区马尾松地径一元材积表, 为该区域林政资源管理提供重要理论依据, 具有十分重要的实践意义。

关键词: 马尾松; 材积-地径模型; 地径一元材积表; 皖南山区

中图分类号: S758.62

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X(2015)04-0499-05

Compilation of a one-dimensional ground diameter volume table of *Pinus massoniana* in the mountainous region of southern Anhui

ZHANG Yutian¹, TAO Tao¹, FAN Bingyu¹, LING Huafan¹, ZHANG Jing²

(1. Anhui Vocational & Technical College of Forestry, Hefei 230001;

2. School of Forestry and Landscape Architecture, Anhui Agricultural University, Hefei 230036)

Abstract: Based on the data of 330 sample trees of *Pinus massoniana* in the mountainous area of southern Anhui, the volume-ground regression model of *P. massoniana* was built by selecting six one-dimensional volume regression equations and fitting the model parameters. The suitability of the model was tested. The results showed that the most suitable volume-ground regression model of *Pinus massoniana* was $Y=49.4672(1-\exp(-0.00706x))^{2.9309}$. Its regression index (R) and total relative error (RS) were 0.96 and -0.18%, respectively, which meet the requirement of forest resources survey precision. The one-dimensional ground diameter volume table compiled for *P. massoniana* in the mountainous area of southern Anhui can provide an important theoretical basis for forest resource management in this area and has very important practical significance.

Key words: *Pinus massoniana*; volume-ground model; single entry ground diameter volume table; mountainous region of southern Anhui

马尾松 (*Pinus massoniana*) 是安徽省主要造林树种之一, 在皖南山区分布广泛栽培; 安徽省马尾松经营数表已较为齐全, 但缺乏地径材积表或与此相关的地径-胸径模型, 这给林业生产经营及林政资源管理过程中森林资源灾害损失、林业行政执法机关处理乱砍滥伐等材积估计带来困难。因为, 此时林木已不复存在, 难以进行胸径的测定, 也就无法利用立木材积表测定被伐木的材积, 在这种情况下, 可以通过测定地径^[1] (距地面 5cm 处的树干直径), 查编制好的地径一元材积表进行材积估测, 或者通过建立地径与胸径模型, 根据测得的地径推算胸径,

然后利用常规立木材积表估算受灾及被伐木的材积。目前, 国内已有这 2 种方法的相关研究, 如卢昌泰、黎良财等^[2-3]编制了都江堰、柳州市的杉木 (*Cunninghamia lanceolata*)、柳杉 (*Cryptomeria fortunei*)、水杉 (*Metasequoia glyptostroboides*)、马尾松等树种的地径一元材积表; 李德民、刘汉奎、曾伟生等^[4-8]研究了不同树种地径与胸径的关系, 并建立了相应的转换模型。国家林业局对林业数表编制工作高度重视, 自 2011 年以来先后颁发了《全国林业数表体系建设导则》、《林业数表管理办法》等文件, 明确了某树种编表年限超过该树种 3 个龄级

收稿日期: 2015-04-07

基金项目: 安徽省林业厅重点项目“杉木、马尾松标准表和材积表编制” (20121016) 资助。

作者简介: 张余田, 副教授。E-mail: gardenly168@sina.com

以上时，必须重新编制，地方主要负责不同树种一元材积表（含根径材积表）和标准表的编制。为此，作者以皖南山区马尾松人工林为研究对象，开展了马尾松立木材积与地径一元关系模型研究，并在此基础上编制了皖南山区马尾松地径一元材积表，为皖南山区林政资源管理及毁林案件损失估计提供理论依据，具有十分重要的生产实践意义。

1 研究地概况

皖南是指安徽省长江以南地区，包括芜湖、马鞍山、铜陵、宣城、池州、黄山市六市（不含2011年从巢湖市划入芜湖和马鞍山的江北无为、和县、含山三县），面积约3.65万平方公里；皖南山区地貌特征为中、低山，在大地构造上为江南台背斜，海拔一般在200~1000m；气候属亚热带湿润季风性气候，四季分明，气候温和，日照充足，热量充沛，年平均气温16℃以上，年降雨量1700mm左右，相对湿度80%；地带性土壤为黄壤和红壤，石灰土、紫色土较大面积镶嵌分布于地带性土壤中；地带性植被为中亚热带常绿阔叶与落叶阔叶混交林，主要造林树种有杉木、马尾松、湿地松（*Pinus elliottii*）、枫香（*Liquidambar formosana*）、毛竹（*Phyllostachys edulis*）等，天然林主要组成树种有苦槠（*Castanopsis sclerophylla*）、甜槠（*Castanopsis eyrei*）、青冈栎（*Cyclobalanopsis glauca*）、麻栎（*Quercus acutissima*）、枫香等。

2 材料与方法

2.1 样木选择标准

根据马尾松的生长特性确定径阶距为2cm，并在径阶内、径阶间均衡分布。所采集样木应根据现实林分分布、资源数量等状况，相对均匀分布于各种立地条件（坡向、坡位、坡度、土壤类型、土壤厚度等）、经营措施、林分年龄（龄级）、树高级、郁闭度等级内。按此要求确定样木分布后，随机选取样木。选取的样木应具有代表性，且生长正常、无断梢、无分叉、无病虫害危害等，与林缘的距离应在小班平均高以上。

2.2 样木组织

根据国家林业局《林业数表管理办法》^[9]规定，编制一元材积表省内分区样木数量不得低于200株，检验样木数量不低于建模数量的1/3，为此，在皖南山区不同立地条件、年龄的马尾松人工林内随机抽取了不同大小的马尾松编表样木238株；同时，按照同样方法抽取了98株检验样木。所有样木地径

在6.8~48.1cm，胸径在5.8~40.6cm，树高在3.8~25.5m之间。

2.3 数据采集方法

将样木伐倒，用皮尺量测树高 *h*，用直径卷尺量测地径 *d*_{0.05} 及胸径 *d*_{1.3}，并按中央断面区分求积^[11]（区分段长度为1m）的方法量测各段中央处直径以及梢头底直径，并按中央断面区分求积式计算各样木树干材积 *v*。

2.4 数据处理

将上述的地径及对应的材积值输入 Excel 电子表格中，按地径的径阶计算各径阶的材积平均值及其标准差，按照材积平均值±3倍标准差将错误或异常数据剔除。经计算，本次从编表样木中剔除6株样木，剩余有效样木232株，检验样木未剔除为98株，符合《林业数表管理办法》^[9]的相关规定。

2.5 地径-材积数学模型的选择

将经处理后剩下的232株马尾松样木数据，以地径为横坐标，材积为纵坐标绘制散点图，如图1所示。

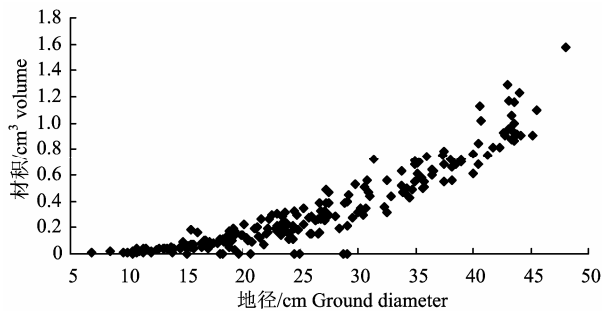


图1 马尾松地径与材积关系散点图
Figure 1 The scatter diagram of the ground diameter and the volume

由图1可看出，马尾松材积与地径呈现的是一种凹曲线递增的关系，因此根据散点图情况选择(1)~(6)材积回归方程作为模拟马尾松地径与材积关系的数学模型：

$$Y = a + bx + cx^2 \tag{1}$$

$$Y = ax^b \tag{2}$$

$$Y = a + bx^2 \tag{3}$$

$$Y = ax + bx^2 \tag{4}$$

$$Y = ae^{bx} \tag{5}$$

$$Y = a(1 - e^{-bx})^c \tag{6}$$

其中：Y—材积，x—地径，a、b、c—方程系数。在 DPS 数据处理系统^[10]下求解各模型参数，并根据如下原则选取最佳模型作为模拟马尾松地径与材积关系的数学模型。

2.6 数学模型的评价^[10]

2.6.1 评价指标 离差平方和 SSR

$$SSR = \sum_{i=1}^n (V_i - \widehat{V}_i)^2$$

相关系数 R

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^n (V_i - \widehat{V}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V})^2}}$$

总相对误差 RS

$$RS = \frac{\sum_{i=1}^n V_i - \sum_{i=1}^n \widehat{V}_i}{\sum_{i=1}^n \widehat{V}_i} \times 100\%$$

相对误差平均值 REA

$$REA = \sum_{i=1}^n \frac{V_i - \widehat{V}_i}{\widehat{V}_i} \times \frac{1}{n} \times 100\%$$

相对误差绝对值平均值 $REAA$

$$REAA = \sum_{i=1}^n \frac{|V_i - \widehat{V}_i|}{\widehat{V}_i} \times \frac{1}{n} \times 100\%$$

残差图 SR

以自变量为横轴、残差为纵轴建立直角坐标系，绘制残差分布图。残差计算如下：

$$SR = V_i - \widehat{V}_i$$

以上各式中： V_i —第 i 株样木的因变量实际值； \widehat{V}_i —第 i 株样木因变量估计值； \bar{V} —样本因变量平均值； n —样本数。

2.6.2 数学模型的有效性 当 RS 小于 3% 且大于 -3% 时，数学模型有效，否则应舍弃，或重新构建模型，直至满足 RS 小于 3% 且大于 -3% 的要求。

2.6.3 数学模型的确定原则 根据以下原则确定数

学模型：离差平方和小；相关系数大；总相对误差小；相对误差平均值小；相对误差绝对值平均值小；残差图以横轴为中心分布均匀；当上述各指标不一致时，应优先考虑相对误差绝对值平均值、总相对误差、残差图指标并进行综合评价后确定。根据以上指标体系从初选模型中选择最优方程作为最终模型。

2.7 地径-材积数学模型的适用性检验^[11]

最终模型必须通过适用性检验才能应用于生产实践，为此将所收集的检验样木的地径值带入最佳模型算出材积理论值 \widehat{M}_i ，结合检验样木的材积实际值 M_i 计算总相对误差 RS （公式见前）；以检验样木的材积实际值 M_i 为因变量，材积理论值 \widehat{M}_i 为自变量，建立直线方程 $M_i = a + b\widehat{M}_i$ ，并对其参数 $a=0$ ， $b=1$ 进行 $F(0, 1)$ 检验，其检验统计量 F 计算公式如下，其中 m 是检验样木数量：

$$F = \frac{[m(a-0)^2 + 2(a-0)(b-1)\sum_{i=1}^m M_i + (b-1)^2 \sum_{i=1}^m M_i^2]}{\sum_{i=1}^m [\widehat{M}_i - (a + b \times M_i)]^2} \times \frac{m-2}{2}$$

当总相对误差 RS 小于 5% 且大于 -5%，同时通过 $F(0, 1)$ 检验（检验统计量 $F \leq F_{0.05}$ ），则所建立并选择的地径-材积数学模型适用，否则，应重新建模或选择其他模型检验。

3 结果与分析

3.1 模型参数的求解及最佳模型的确定

利用 DPS 数据处理系统求解以上各模型参数，其结果（本次也考虑了其它材积一元回归方程，但模拟效果不佳，限于篇幅，不做赘述）如表 1 所示。

表 1 模型回归参数及评价指标

Table 1 Model regression parameter and evaluating indicator

模型 Model	方程式 Equation	相对误差绝对 值平均值/% REAA	总相对 误差/% RS	相对误差 平均值/% REA	离差平方和 SSR	相关系数 R	P
1	$Y=0.09809-0.01486x+0.00082x^2$	24.07	-1.89	-1.92	1.61	0.96	0.0001
2	$Y=0.00005x^{2.60730}$	25.08	6.21	6.78	1.83	0.96	0.0001
3	$Y=-0.08219+0.00055x^2$	55.84	-0.94	-8.45	1.77	0.96	0.0001
4	$Y=-0.00722x+0.00069x^2$	88.50	-1.72	-3.18	1.66	0.96	0.0001
5	$Y=0.03182\exp(0.08012x)$	30.67	-4.12	-13.75	1.84	0.96	0.0001
6*	$Y=49.4672(1-\exp(-0.00706x))^{2.9309}$	24.04	-1.11	1.67	1.60	0.96	0.0001

由表 1 可以看出，模拟地径与材积关系的 6 个模型的相关系数 R 均在 0.96 左右，其回归显著水平 $P=0.0001 < 0.01$ ，为极显著水平，说明以上各模型关系均极显著；模型 1、3、4、6 的 RS 值小于 3% 且

大于 -3%，因此模型 1、3、4、6 有效，而模型 2、5 为无效模型，不予考虑；有效的 4 个模型中，模型 6 的 $REAA$ 值、 REA 值、 SSR 值均为最小， RS 值仅次于模型 3，且其模型残差图以横轴为中心分布最

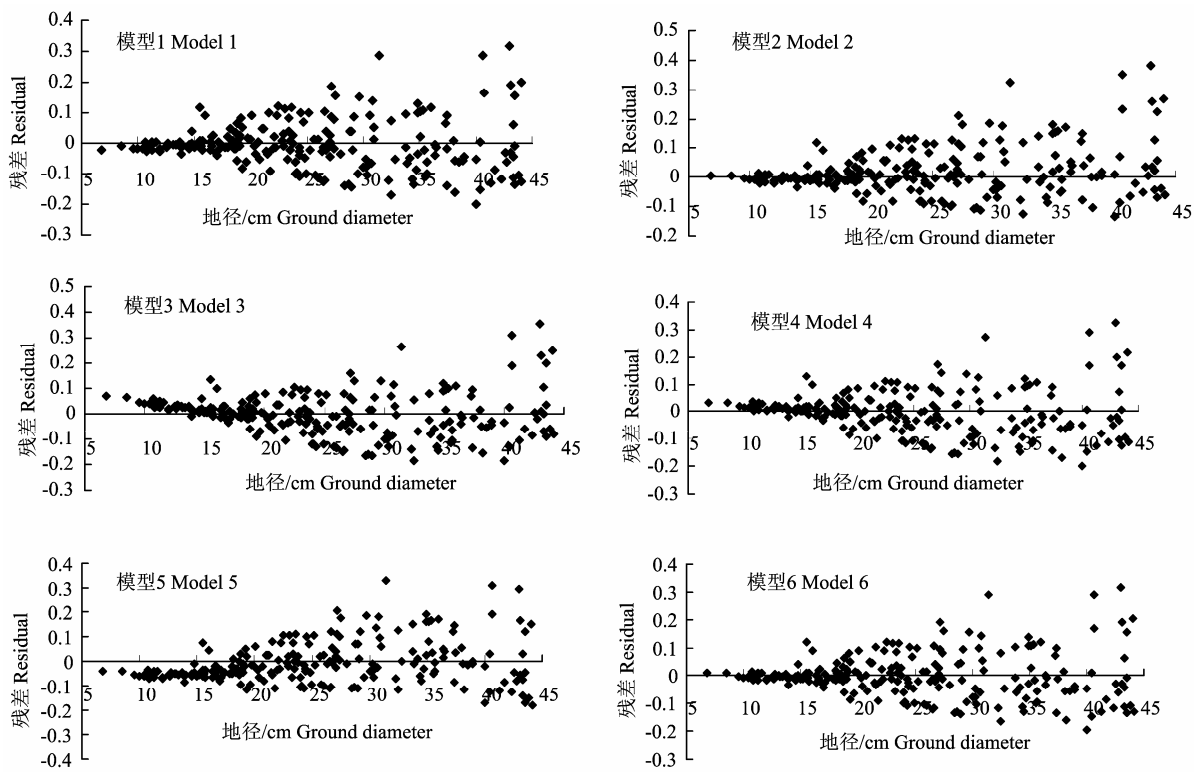


图 2 地径与材积关系残差图

Figure 2 The residual plots of the ground diameter and the volume

表 2 皖南山区马尾松地径一元材积表 (部分)

Table 2 One-way volume table of *pinus massoniana* in Mountains of Southern Anhui (Part)

地径/cm Ground diameter	地径尾数/cm Ground diameter mantissa									
	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
5	0.0026	0.0028	0.0029	0.0031	0.0032	0.0034	0.0036	0.0038	0.0040	0.0042
6	0.0044	0.0046	0.0048	0.0051	0.0053	0.0055	0.0058	0.0060	0.0063	0.0066
7	0.0068	0.0071	0.0074	0.0077	0.0080	0.0083	0.0086	0.0090	0.0093	0.0097
8	0.0100	0.0104	0.0107	0.0111	0.0115	0.0119	0.0123	0.0127	0.0131	0.0136
9	0.0140	0.0144	0.0149	0.0154	0.0158	0.0163	0.0168	0.0173	0.0178	0.0183
10	0.0189	0.0194	0.0199	0.0205	0.0211	0.0217	0.0222	0.0228	0.0234	0.0241
11	0.0247	0.0253	0.0260	0.0266	0.0273	0.0280	0.0287	0.0294	0.0301	0.0308
12	0.0315	0.0323	0.0330	0.0338	0.0346	0.0354	0.0362	0.0370	0.0378	0.0386
13	0.0395	0.0403	0.0412	0.0421	0.0430	0.0439	0.0448	0.0457	0.0466	0.0476
14	0.0485	0.0495	0.0505	0.0515	0.0525	0.0535	0.0546	0.0556	0.0567	0.0577
15	0.0588	0.0599	0.0610	0.0622	0.0633	0.0644	0.0656	0.0668	0.0680	0.0691
16	0.0704	0.0716	0.0728	0.0741	0.0753	0.0766	0.0779	0.0792	0.0805	0.0818
17	0.0832	0.0845	0.0859	0.0873	0.0887	0.0901	0.0915	0.0930	0.0944	0.0959
18	0.0974	0.0989	0.1004	0.1019	0.1034	0.1050	0.1065	0.1081	0.1097	0.1113
19	0.1129	0.1146	0.1162	0.1179	0.1196	0.1213	0.1230	0.1247	0.1264	0.1282
20	0.1299	0.1317	0.1335	0.1353	0.1372	0.1390	0.1408	0.1427	0.1446	0.1465
21	0.1484	0.1503	0.1523	0.1542	0.1562	0.1582	0.1602	0.1622	0.1643	0.1663
22	0.1684	0.1705	0.1726	0.1747	0.1768	0.1789	0.1811	0.1833	0.1855	0.1877
23	0.1899	0.1921	0.1944	0.1967	0.1989	0.2012	0.2036	0.2059	0.2082	0.2106
24	0.2130	0.2154	0.2178	0.2202	0.2226	0.2251	0.2276	0.2301	0.2326	0.2351
25	0.2376	0.2402	0.2428	0.2454	0.2480	0.2506	0.2532	0.2559	0.2585	0.2612
26	0.2639	0.2666	0.2694	0.2721	0.2749	0.2777	0.2805	0.2833	0.2861	0.2890

为均匀(见图2),因此综合考虑选择模型6作为模拟皖南地区马尾松地径-材积关系的最佳数学模型,其方程见表1。

3.2 地径-材积最佳数学模型的适用性检验

利用所收集的98株检验样木数据对最佳数学模型6的适用性检验指标RS和检验统计量F进行计算,计算结果为:总相对误差RS值为-0.18%,小于5%且大于-5%; $F(0, 1)$ 检验的统计量 $F=0.0029 < F_{0.05}(2, 96)=3.09$,表明检验样本实际值和理论值没有显著差异,同时其误差较小,因此应用模型6编制出的地径一元材积表可以在生产实践中进行应用。

3.3 地径一元材积表的编制

将地径值带入模型6进行计算,可得该地径的材积值,将此材积与地径整列即为地径一元材积表,结果见表2。

4 小结与讨论

地径材积表是林木损失估计的重要依据,本文利用皖南山区232株马尾松样木数据,选用6种林木材积与地径关系模型,建立皖南山区马尾松一元地径材积模型,结果表明 $Y=49.4672(1-\exp(-0.00706x))^{2.9309}$ 拟合效果最好,相关性显著,剩余离差最小。

为了确保马尾松一元地径材积模型及其材积表的可靠性,本文利用98株马尾松样木数据对所选择的马尾松地径一元材积模型进行了适用性检验,其总相对误差RS值为-0.18%,小于5%且大于-5%; $F(0, 1)$ 检验的统计量 $F=0.0029 < F_{0.05}(2, 96)=3.09$,表明检验样本实际值和理论值没有显著差异,材积估算误差符合森林资源调查精度要求。

本研究建立的马尾松一元地径材积模型及其材积表,可用于皖南山区马尾松林被毁或被盗砍的林木材积损失估算,为该区域林政资源管理及林业行

政执法机关的执法提供理论依据。

一元材积表是根据地径或胸径一个因子估算的林木材积,由于区域立地条件的差异,地径或胸径相同但树高可能差异较大,由此导致立木材积差异较大,因此,一元材积表只适宜编表样木来源的区域使用,故称其为地方性材积表,如将其应用到编表区域以外的地方,必须进行树高一致性检验,如果经检验两地同地径或胸径林木树高无显著性差异,则该一元地径或胸径材积表方可使用。

参考文献:

- [1] LY/T 2103-2013. 根径立木材积表编制技术规程[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- [2] 卢昌泰, 谭经正, 冯永林. 都江堰杉木、柳杉、水杉地径一元材积表的编制[J]. 中南林业调查规划, 1994(2): 6-9.
- [3] 黎良财, 邓利. 柳州市马尾松地径一元材积表的编制[J]. 林业调查规划, 2011, 36(1): 1-3.
- [4] 李德民, 刘子凤. 油松人工林林木地径与胸径关系的研究[J]. 辽宁林业科技, 1989(3): 25-26.
- [5] 刘健, 陈平留, 陈昌雄. 闽北主要用材树种胸径与去皮地径关系的研究[J]. 福建林学院学报, 1996, 16(1): 45-48.
- [6] 刘汉奎, 于清娟, 孙玉梅, 等. 刺槐人工林林木地径与胸径关系的分析[J]. 防护林科技, 2007(S1): 26-27.
- [7] 申世永, 张彩霞, 吕妮, 等. 榆林市榆阳区杨树地径、胸径、树高、材积相关性研究[J]. 防护林科技, 2012(1): 48-49.
- [8] 曾伟生. 利用误差变量联立方程组建立南方杉木一元立木材积模型和胸径地径回归模型[J]. 中南林业调查规划, 2012, 31(4): 1-4.
- [9] 国家林业局. 林业数表管理办法[R]. 林资发(2011)115号.
- [10] 唐启义, 冯明光. 实用统计分析及其DPS数据处理系统[M]. 科学出版社, 2002.
- [11] LY/T 2414-2015. 一元立木材积表编制技术规程[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.