

文章编号: 1000-5692(2002)03-0255-04

凹叶厚朴一元立木材积方程的研究

田有圳¹, 黄金桃¹, 林照授¹, 涂育合², 叶功富³

(1. 福建省大田桃源国有林场, 福建 大田 366101; 2. 福建省泰宁国有林场, 福建 泰宁 354400; 3. 福建省林业科学研究院, 福建 福州 350012)

摘要: 实测 239 株凹叶厚朴样木的胸径和材积, 采用遗传算法、三次设计法和改进单纯形法等拟合一元材积方程并与对数线性化最小二乘法进行比较。结果表明: 采用遗传算法、三次设计法和改进单纯形法等建立一元材积方程优于对数线性化最小二乘法; 三次设计及对数线性化最小二乘法的适用性检验统计量 F 值不能通过 F 检验, 说明不能用三次设计及对数线性化最小二乘法拟合凹叶厚朴的材积方程; 同时用模外 25 株凹叶厚朴样木进行检验, 遗传算法和改进单纯形法建立的一元材积方程的理论材积与实测材积相吻合。用遗传算法建立的立木材积方程编制了凹叶厚朴的一元材积表。表 3 参 13

关键词: 凹叶厚朴; 遗传算法; 三次设计法; 改进单纯形法; 一元材积方程

中图分类号: S758 **文献标识码:** A

凹叶厚朴 *Magnolia officinalis* ssp. *biloba* 是我国重要的药材两用经济林树种, 分布于陕西、甘肃、湖北、四川及秦岭、淮河以南各省区^[1~3]。福建西北部地区有栽培, 浦城县栽培的面积较大。凹叶厚朴的干燥树皮和树根含有凹叶厚朴粉、四氢凹叶厚朴酚、异凹叶厚朴酚、木兰醇和生物碱等, 味辛性温, 具有化湿导滞、行气平喘、化食消痰和驱风镇痛之功能, 适用于治食积、腹泻、呕吐、胃痛、泻痢及咳嗽气喘等症。凹叶厚朴的芽可作妇科用药, 种子治虫瘿, 具有明目益气之效。一般 20 年生可剥皮入药, 寿命可达百余年。凹叶厚朴树干通直, 侧枝稀疏, 树态雅致, 其木材淡褐色, 质轻软细, 为板料、家具和细木工等用途广泛的优良用材, 木材供应不足。近年来, 我国南方对凹叶厚朴人工更新造林进行了研究^[3,4], 但目前还没有较为精确的凹叶厚朴材积表来计算其材积, 而是用比较粗泛的阔叶树材积表来计算, 这样必然造成较大的误差。为更好地评价凹叶厚朴人工林的生产潜力, 满足生产需要, 本文运用遗传算法^[5~8]、三次设计法^[9]和改进单纯形法^[10~13]对一元材积方程 $V = aD^b$ 进行拟合并与对数线性化最小二乘法进行比较, 为凹叶厚朴材积方程的建立及材积的测定提供理论依据。

1 试验地概况

试验地设置在福建省大田县桃源国有林场, 25°49'41"~25°52'01"N, 117°29'15"~117°40'04"E, 为中亚热带季风气候, 有海洋性和大陆性气候兼并的特色。日照充足, 雨量充沛, 年均气温 15.3~19.6℃, 无霜期 225~275 d, 年降水量 1491.2~1809.6 mm。土壤主要为红壤和黄壤, 发育良好, 土层较深厚, 肥沃湿润。森林植被以壳斗科 Fagaceae 为主, 其次为樟科 Lauraceae、山茶科 Theaceae、蔷薇科

收稿日期: 2001-12-14; 修回日期: 2002-02-20

基金项目: 福建省三明市科学技术委员会资助项目(2001-L-40)

作者简介: 田有圳(1971-), 男, 福建大田人, 工程师, 从事森林培育和森林生态研究。

Rosaceae、木犀科 Oleaceae 和竹亚科 Bambusoideae 等。

2 研究方法

2.1 调查方法

调查地选在大田桃源林场一片生长正常的凹叶厚朴人工同龄林内, 林分年龄为 27 a。凹叶厚朴初植在松阔残次林清杂后的采伐迹地上, 海拔 585~625 m, 坡度 24°, 全坡, 腐殖质层厚 5 cm, 土壤厚度 60 cm。林分面积 1.6 hm², 初植密度 3 600 株·hm⁻², 现母树保留密度 2 400 株·hm⁻²。结合林分皆伐, 在该片林分内随机选择样木 264 株, 齐地伐倒后测定样木树高和胸径, 并采用区分求积法计算单株材积, 作为拟合及检验材积方程和编制材积表的原始材料。样木胸径变化范围为 3.3~22.1 cm, 树高变化范围 5.1~18.8 m, 并从 264 株样木中随机抽取 25 株凹叶厚朴样木作为检验所拟合的材积方程的材料, 剩下的 239 株样本用以建立凹叶厚朴一元材积方程。

2.2 材积方程的拟合方法

2.2.1 遗传算法 遗传算法是基于生物学进化原理的一种优化迭代算法, 其求解问题的基本思想是, 将材积方程 $V=aD^b$ 的求解表示成“染色体”, 从而构成一群染色体, 将这群染色体置于问题的“环境”中, 根据适者生存优胜劣汰的原则, 从中选择出适应环境的染色体进行复制, 通过交换变异产生出新一代更适应环境的染色体群。这样, 经过若干代的不断变化, 最后收敛到一个适应环境的个体上, 从而求得问题的最优解。

2.2.2 三次设计法 三次设计法指的是系统设计、参数设计和容差设计, 其中参数设计是十分重要的质量管理对策。其参数设计的基本思想为: 利用方程 $V=aD^b$ 的可算性, 通过正交表进行选优, 以残差平方和最小为目标函数, 根据计算结果来确定方程 $V=aD^b$ 的参数组合。对于设计参数正交表, 通常可以扩大用表, 即多分位级, 适当增加行数。本文正是依据这种原则, 选取正交表作为一元胸径树高材积方程参数优化用表。

2.2.3 改进单纯形法 用改进单纯形法直接对它进行参数估计。改进单纯形法是由 m 维空间的 $m+1$ 个点 P_1, P_2, \dots, P_{m+1} 构成的几何图形, 且 $P_1-P_2, \dots, P_1-P_{m+1}$ 线性无关。在二维空间, 单纯形是一个三角形, 在多维空间, 单纯形是一个多面体。这些几何图形的每个顶点相当各个实验点, 其坐标值就是每个实验点相应的各个实验变量(参数)的取值。基本单纯形法是通过单纯形中的最坏响应点的“反射”来实现其运动功能的, 改进单纯形法是在基本单纯形法的基础上增加了“扩张”和“压缩”2个功能。这2个功能即能加速单纯形的前进, 又能按预定的精度充分地接近最优点。具体实施方法是, 根据一个无量纲变量构成矩阵 $X: x_j = \sqrt{1/[2j(j+1)]}$ 。由此构成一个 k 维正单纯形, 它由 $k+1$ 行 k 列构成, 并且以无量纲的形式表示 k 个因子的实验设计(或参数设计)。根据初步实验结果确定初始单纯形, 根据初始单纯形进行实验, 比较实验结果, 进行单纯形的不断推移, 直到获得满意的结果。

遗传算法、三次设计法、改进单纯形法具体的原理和方法见参考文献 [5~13]。

2.3 材积方程的适用性检验

所建立的材积方程是否适用, 必须进行检验。以样本实测的材积值(y_i)和相对应的胸径、树高的一元材积方程计算的理论值(x_i)进行比较检验, 以横轴表示 x_i , 纵轴表示 y_i , 绘出它们的成对值(x_i, y_i)的点位图。当实测值和理论值完全相等时, 则形成直线回归方程 $y = a + bx_i$, 且 $a = 0, b = 1$, 说明该方程的理论材积完全适用本地区; 当 $a \neq 0$, 或者 $b \neq 1$ 时, 则表示二者有误差, 需要作 F 检验^[7,8]。

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

统计量 F 服从自由度为 2, $N-2$ 的 F 分布, 因而 F 值的大小说明了材积方程拟合的好坏程度。此

外, 实际材积和理论材积的线性回归系数的 a , b 大小, 亦可说明材积方程拟合的优劣, a , b 值越接近 0 和 1, 则材积方程拟合效果越好。

3 凹叶厚朴一元材积方程的建立

根据遗传算法、三次设计法和改进单纯形法原理编制凹叶厚朴拟合一元材积方程 $V = aD^b$ 的计算机应用程序, 经计算机计算可获取不同拟合方法下的一元材积方程。为便于比较, 仍采用传统拟合方法——对数线性最小二乘法建立了凹叶厚朴一元材积方程 (表 1)。结果表明, 用遗传算法、三次设计法和改进单纯形法等建立一元材积方程 $V = aD^b$ 时, 三者的残差平方和 (约 0.054 88) 明显小于对数线性化最小二乘法 (0.073 18), 三者的相关系数也明显高于后者。因为, 用对数线性化最小二乘法拟合一元材积方程 $V = aD^b$ 是其方程两边取对数后再进行最小二乘回归分析得出结果, 此时对线性化后的 $\ln V = \ln a + b \ln D$ 而言是最优的, 但对一元材积方程 $V = aD^b$ 本身则不一定是最优的; 而遗传算法、三次设计法和改进单纯形法则直接采用全局优化方法求解参数值 a 和 b , 最终得到优化的材积方程。因此, 就拟合方程的精度而言, 遗传算法和三次设计法、改进单纯形法将明显优于对数线性化最小二乘法。

4 凹叶厚朴一元材积方程的适用性检验和一元材积表的编制

4.1 凹叶厚朴一元材积方程的适用性检验

实测的凹叶厚朴胸径及材积样本数为 239, 属于大样本, 相应自由度为 (2, 237), $F_{0.05}(2, 237) = 3.03$ 。 F 检验结果表明遗传算法和改进单纯形法计算的理论材积和实际材积的差异不显著, 而三次设计法和对数线性化最小二乘法所求得理论材积

表 1 凹叶厚朴一元立木材积方程
Table 1 The standing volume equation based on both DBH and tree height for *Magnolia officinalis* ssp. *bibba*

参数估计方法	材积方程	残差平方和	相关系数
遗传算法	$V = 0.000\ 540\ 536\ 7 D^{1.980\ 692}$	0.054 885 39	0.932 8
改进单纯形法	$V = 0.000\ 543\ 248\ D^{1.978\ 835}$	0.054 885 44	0.932 8
三次设计法	$V = 0.000\ 574\ 552\ 6 D^{1.957\ 496}$	0.054 928 13	0.932 7
对数线性化最小二乘法	$V = 0.000\ 179\ 693\ D^{2.413\ 105}$	0.073 175 36	0.909 3

和实际材积的差异显著 (表 2)。因此, 在建立凹叶厚朴一元材积方程时, 应考虑采用遗传算法及改进单纯形法对其参数进行估计, 而不能采用三次设计及对数线性化最小二乘法的方法求解模型参数, 尤其不能采用对数线性化最小二乘法方法。

利用随机抽取的 25 株模外凹叶厚朴样木的胸径和材积实测值对材积方程适用性进行检验。检验结果表明模型预测精度较高, 从而进一步表明遗传算法和改进单纯形法拟合凹叶厚朴一元材积方程具有很高的精度。

表 2 凹叶厚朴一元材积方程 4 种拟合方法计算的 a , b , F 值

Table 2 The value of a , b , F calculated by the standing volume equation for four regressing methods

参数估计方法	a	b	F
遗传算法	-0.003 335	1 039 288	1.532 8
改进单纯形法	-0.003 396	1 039 869	1.587 5
三次设计法	-0.004 310	1 067 152	3.162 8
对数线性化最小二乘法	0.008 940	0 860 434	15.355 4

4.2 凹叶厚朴一元材积表的编制

由于遗传算法的残差平方和比改进单纯形法的小, 所以本文采用遗传算法拟合的材积方程 $V = 0.000\ 540\ 536\ 7 D^{1.980\ 692}$ 编制凹叶厚朴一元材积表 (表 3), 以便为凹叶厚朴林的研究及生产查阅相应材积提供方便。

5 讨论

用遗传算法、改进单纯形法和三次设计法等拟合一元材积方程 $V = aD^b$ 参数的组合过程是寻求 a 和 b , 使原幂曲线回归方程的残差平方和最小, 比以往用对数线性化最小二乘法拟合的材积方程效果更为理想。所以, 对具体材积方程的确定, 应从方程的优化参数 a 和 b 的客观变化规律入手, 采用对数线性化最小二乘法拟合材积方程将降低所编制材积表的精度。

通过实测 239 株凹叶厚朴样木的胸径和材积, 用遗传算法、三次设计法和改进单纯形法等拟合厚朴材积方程 $V = aD^b$, 相关系数在 0.93 以上, 相关极显著。但经 F 检验, 仅遗传算法及改进单纯形法建立的一元材积方程计算得到的凹叶厚朴理论材积值与实测值差异不显著, 但若采用《福建省阔叶树一元材积表》来估算其材积, 其偏差是相当大的, 因此该 2 种方法编制的胸径一元材积表具有很高的精度, 可在林业生产和科研中应用。由于受到取样的限制, 厚朴一元材积表适用范围存在局限性, 有待于今后在不断扩大收集样树范围中加以修正。

表 3 凹叶厚朴一元材积表

Table 3 The standing volume table on based on both DBH and tree height

胸径/cm	材积/cm	胸径/cm	材积/m ³
4	0.008 420	14	0.100 682
6	0.018 798	16	0.131 164
8	0.033 233	18	0.165 928
10	0.051 703	20	0.204 063
12	0.074 191	22	0.246 463

参考文献:

- [1] 陈辉, 刘玉宝, 廖正花. 厚朴人工纯林种内竞争及单木生长模型的研究[J]. 经济林研究, 1997, 15(2): 11-13.
- [2] 刘饶, 潘明炎, 潘心平, 等. 厚朴年生长期规律的研究[J]. 浙江林学院学报, 1993, 10(3): 287-290.
- [3] 田国行. 厚朴年生长期规律的研究[J]. 经济林研究, 1993, 11(2): 15-18.
- [4] 邓白罗. 厚朴生长与立地因子关系的调查研究[J]. 经济林研究, 1994, 12(1): 41-46.
- [5] 吴承祯, 洪伟. 用遗传算法改进在约束条件下造林规划设计的研究[J]. 林业科学, 1997, 33(2): 133-141.
- [6] 吴承祯, 洪伟. 人工林经营过程密度最优控制研究[J]. 自然资源学报, 1998, 13(2): 175-180.
- [7] 洪伟, 吴承祯. 马尾松人工林经营模式及其应用[M]. 北京: 中国林业出版社, 1999. 126-129.
- [8] 吴承祯, 洪伟. 杉木数量经营学引论[M]. 北京: 中国林业出版社, 2000. 110-113.
- [9] 洪伟. 林业试验设计技术与方法[M]. 北京: 北京科学技术出版社, 1993.
- [10] 吴承祯, 洪伟. 运用改进单纯形法拟合 Logistic 曲线的研究[J]. 生物数学学报, 1999, 14(1): 117-121.
- [11] 吴承祯, 洪伟. Taylor 幂法则模型的改进单纯形法最优拟合[J]. 内蒙古林学院学报, 1998, 20(2): 20-24.
- [12] 吴承祯, 洪伟. 格氏栲种群数量特征研究[J]. 应用生态学报, 2000, 11(2): 173-176.
- [13] 洪伟. 闽江流域森林生态研究[M]. 厦门: 厦门大学出版社, 2000. 76-94.

Standing volume equation based on both DBH and measurements for *Magnolia officinalis* ssp. *biloba*

TIAN You-zhen¹, HUANG Jin-tao¹, LIN Zhao-shou¹, TU Yu-he², YE Gong-fu³

(1. Taoyuan Forest Farm of Datian County, Datian 366101, Fujian, China; 2. Forest Farm of Taining County, Taining 354400, Fujian, China; 3. Fujian Academy of Forestry, Fuzhou 350012, Fujian, China)

Abstract: The standing volume equation based on both DBH for *Magnolia officinalis* ssp. *biloba* was first studied. By actually surveying the DBH and the volume for the 239 samplings of *Magnolia officinalis* ssp. *biloba*, the one variable volume equation were established by the genetic algorithm, the three designs and the modified simplex, and were compared with the logarithm linearise minimization double multiplication method. The results indicated that the one variable volume equations established by the genetic algorithm, the three designs and the modified simplex were better than that by the logarithm linearise minimization double multiplication method, and the statistic F of volume equation established by the three designs and the logarithm linearise minimization double multiplication method didn't passes the F test; and the theoretical values calculated by the genetic algorithm and the modified simplex were identical with the observed values of the 25 sampling of *Magnolia officinalis* ssp. *biloba* of out-model data. The standing volume table based on both DBH for *Magnolia officinalis* ssp. *biloba* was compiled.

Key words: *Magnolia officinalis* ssp. *biloba*; genetic algorithm; three design; modified simplex; one variable volume equation