

文章编号: 1001-1498(2000) 05-0512-07

改进的四参数柱干比曲线式*

孟宪法¹, 李悦黎², 张方秋¹

(1. 中国林业科学研究院 热带林业研究所, 广东 广州 510520; 2. 西北农林科技大学 资源学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 在综合干曲线式和相对干形的基础上, 针对解决应用研究问题, 文章首次提出四参数柱干比曲线式。用取自秦岭林区的油松与栎类样木、标准木资料进行拟合, 带皮油松 $R^2 = 0.99$ 的占了 93%, 去皮为 78%; 而带皮、去皮栎类依次为 79.8%、73.3%, 说明四参数柱干比曲线式具有较好的拟合性。通过计算得 4 个参数值, 进一步作出了两树种的带皮、去皮四参数干曲线图。

关键词: 相对干形; 正形数; 四参数柱干比曲线式; 油松林; 栎类林

中图分类号: S758 文献标识码: A

干形的研究是测树学中的重要组成部分。如何得到较为理想的干形模型表达式, 以及如何使干形的研究从理论走向应用领域, 针对这个问题, 一个多世纪来, 国内外林业工作者进行了大量工作。用干曲线式可以较为理想地表现干形, 但尚存在两类问题: 有的干曲线式拟合较好, 但参数多且不便应用问题的解决; 有的可以较好解决应用问题, 但拟合不够准确^[1-3]。正形数系列作为形数的一种, 不受树高的影响, 能较好地反映树干形状, 但由于其相对高度处直径在实测中不便, 还必须借助于相对高度处直径和胸径间的回归关系式^[4,5]来解决应用中的问题。如何结合相对干形, 从而提出便于解决应用问题的干曲线式, 本文在四参数干曲线式^[6]的基础上, 对这方面的问题作了较为深入研究。

1 材料和方法

1.1 材料来源

选用油松(*Pinus tabulaeformis* Carr.)、栎类(*Quercus alie a* var. *acuteserrata* Maxim. 和 *Quercus alie a* Bl.) 作为研究对象。样木、标准木材料取自秦岭林区, 具体情况见表 1。树木按 0 m, 1.3 m, 1 m, 3 m, ..., 2 m 区分或 0 m, 1.3 m, 0.5 m, 1.5 m, ..., 1 m 区分或 0.0H, 0.02H, 0.04H, ..., 1H 相对区分截为不同的区分段。所选用材料区分段数目都在 16 以上, 是参数个数的 4 倍或 4 倍以上^[6]。

表 1 树种具体情况

树种	株数	H 区间/m	D 区间/cm	年龄区间/a	分布地区
油松	200	7.02~34.9	7.5~58.2	30~85	宁陕新矿、洵阳坝、菜子坪、火地塘、上坝河
栎类	139	10.3~23.2	6.6~28.6	15~75	略阳铁厂坝、上坝河、蔡玉窑、镇安杨泗庙、宁陕新矿

收稿日期: 1999-11-19

作者简介: 孟宪法 (1973-), 男, 新疆伊犁人, 研究实习员, 硕士。

* 本文为作者硕士学位论文的部分内容。

1.2 研究方法

运用 'SYSTAT' 数理统计软件包及 Basic 编程进行数据处理和运算。

将油松、栎类的解析木数据分别带皮、去皮情况整理成相对数的形式, 即转化为相对高 h/H 及柱干比 $g \times H \div V$ 形式。然后用非线性回归中的柯西-牛顿迭代法进行迭代运算, 求出的结果用可决指数 R^2 来评定柱干比曲线式拟合的好坏:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

式中, y_i —— $g \times H \div V$ 的实测值; \hat{y}_i —— y_i 的估计值; i ——测定点; \bar{y} —— $1/\sum_{i=1}^n y_i$ 。

从中选取拟合后可决指数 $R^2 > 0.99$ 的树木作为实验材料; 根据迭代结果, 将这些树木统一转化为按 0.0H, 0.02H, 0.04H, ..., H (以 0.02H 作为一个相对区分段) 相对区分时对应的 Y_i 值。由此进一步运算, 求解四参数柱干比曲线式的 4 个参数。

2 结果与分析

2.1 四参数柱干比曲线式的提出与解释

相对干形理论最早由苏联林学家扎哈洛夫教授提出, 他用相对数理论研究树干形状。其后国内外众多学者发现, 同一树种范围内, 相对干形不受树高、胸径、环境条件等因子的影响, 具有稳定性。而不同树种间树干的相对干形有着明显的差异性, 产生差异的原因是树种的生物学特性。用相对干形可以为不同大小的树木求出一个共同的平均干形值, 说明各树种的平均树干形状。

本文用相对干形结合油松干曲线式^[6], 从应用的角度出发提出了简便的四参数柱干比曲线式法:

$$Y = \left\{ a_0 X^{a_1} + a_2 / (1 - X + a_3) - a_2 / (1 + a_3) \right\}^{0.5} \quad (1)$$

该式在形式上类似于油松干曲线式, 其中: a_0, a_1, a_2, a_3 为四参数。X——相对高, 表示为各区分点至树梢的距离与树高之比即 h/H ; Y——柱干比, 表示为各区分点的断面积乘树高再除以树干总材积即 $g \times H \div V$, $g = \pi d^2 / 40000 \times H \div V$, 而 $g \times H \div V = d^2 \times \pi \div 40000 \times H \div V$ 。对一株树来讲 H, V 均为固定的值, 故 $\pi \div 40000 \times H \div V$ 为一常数, 变化的只是 d^2 , 所以 $g \times H \div V$ 完全反映了不同相对高度处 d^2 大小变化的情况, 亦即反映了干形的变化情况。因 gH 为圆柱体体积, 故 Y 为圆柱体与树干两体积之比, 简称柱干比。

由于其特殊的表达形式, 故柱干比式具有良好的应用性能, 可以很好地解决材积、出材率和材种出材量等方面的求算问题, 而且, 由于保留了相对干形稳定的特性, 柱干比式能够理想地反映出树干形状。

2.2 带皮油松的四参数柱干比曲线式拟合

对 200 株油松树木初步迭代的情况见表 2。从表 2 可以看到, 四参数柱干比曲线式对油松适应性较好。可决指数 $R^2 > 0.99$ 的株数占 93%, $R^2 < 0.98$ 的仅为 3%。选取 $R^2 > 0.99$ (为了在同等条件下拟合带皮、去皮干曲线式, 选用带皮、去皮可决指数都大于 0.99 的树木, 栎类的

情况相同)的树木资料,根据拟合出的结果由公式(1)计算出当 X 按相对区分时所对应的 Y 值,绘出散点图,见图1。同时根据 y_i 值计算出各相对区分段处的 $\bar{y}, \bar{y} = 1/ \sum_{i=1}^n y_i (i= 1, 2, \dots, 158)$,再根据各相对区分段处的 \bar{y} 作出油松带皮平均柱干比图。见图2。

表2 油松带皮可决指数分布

R^2 分布范围	0.99		< 0.99	
	0.995	0.995~0.99	0.99~0.98	< 0.98
株数	133	53	8	6
相对值/%	66.5	26.5	4	3
小计/%	93		7	

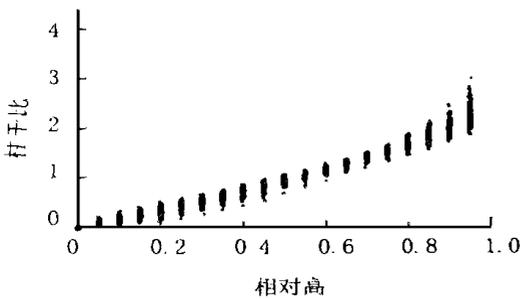


图1 油松带皮柱干比散点图

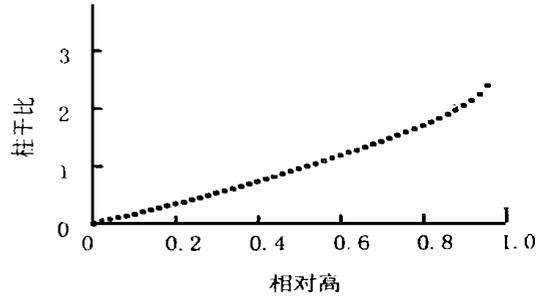


图2 示油松带皮平均柱干比

按非线性回归柯西-牛顿迭代法迭代运算得出带皮油松四参数: $a_0= 4.16177959, a_1= 2.43071528, a_2= 0.08176696, a_3= 0.00754277$; 可决指数 $R^2= 0.99992$ 。

于是得到油松带皮四参数柱干比曲线式:

$$Y = \left[4.16177959X^{2.43071528} + \frac{0.08176696}{1.00754277 - X} - \frac{0.08176696}{1.00754277} \right]^{0.5} \quad (2)$$

作出函数图,见图3。

2.3 带皮栎类的四参数柱干比曲线式拟合

对139株栎类树木用柯西-牛顿迭代法运算的结果见表3。从表3中可以看到,栎类带皮的拟合情况明显差于油松带皮的拟合情况。可决指数 $R^2 > 0.99$ 的株数只有79.8%, $R^2 < 0.99$ 的占据20.2%,其中 $R^2 < 0.98$ 的占了13%。

同样,选取 $R^2 > 0.99$ 的树木资料,按公式(1)计算 y_i 值。并根据所得的 y_i 值绘柱干比散点图。见图4。图4中,栎类的柱干比在树干根颈部位变化幅度较大,而在树干的其它部位的变化小,反映了柱干比比较稳定。

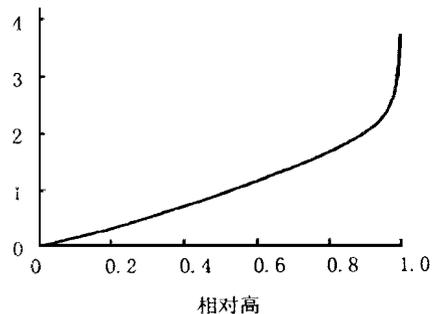


图3 油松带皮四参数柱干比曲线

根据 y_i 计算 $\bar{y}, \bar{y} = 1/ \sum_{i=1}^n y_i$ 。

表 3 栎类带皮可决指数分布

R^2 分布范围	0.99		< 0.99	
	0.995	0.995 ~ 0.99	0.99 ~ 0.98	< 0.98
株 数	52	59	10	18
相对值/ %	37.4	42.4	7.2	13
小 计/ %	79.8		20.2	

分析油松和栎类的柱干比可以发现, 当相对高位于 $0.0H \sim 0.6H$ 时, 油松的柱干比大于栎类的; 当相对高位于 $0.6H \sim 1H$ 时, 油松的柱干比小于栎类的。相比之下, 油松的柱干比自树梢至树基的变化要比栎类的“平缓”, 也可以从两树种的外形看出这一趋势。

同样作出带皮栎类四参数平均柱干比图。见图 5。根据 \bar{y} 迭代运算, 得到栎类带皮柱干比曲线式的四参数: $a_0 = 4.951\ 297\ 33$, $a_1 = 2.946\ 677\ 97$, $a_2 = 0.107\ 694\ 90$, $a_3 = 0.005\ 344\ 30$; 可决指数 $R^2 = 0.999\ 94$ 。

于是, 栎类的四参数带皮柱干比曲线式为:

$$Y = \left[4.951\ 297\ 33 X^{2.946\ 677\ 97} + \frac{0.107\ 694\ 90}{1.005\ 344\ 30 - X} - \frac{0.107\ 694\ 90}{1.005\ 344\ 30} \right]^{0.5} \quad (3)$$

作出函数图, 见图 6。

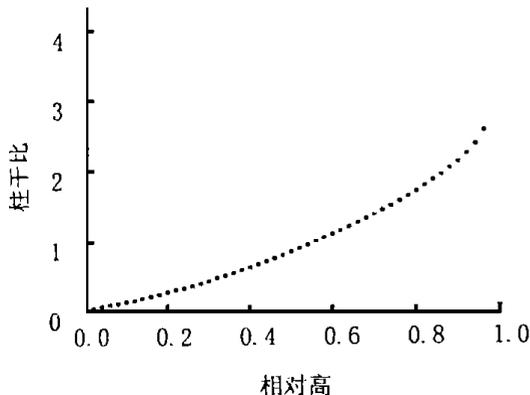


图 5 栎类带皮平均柱干比

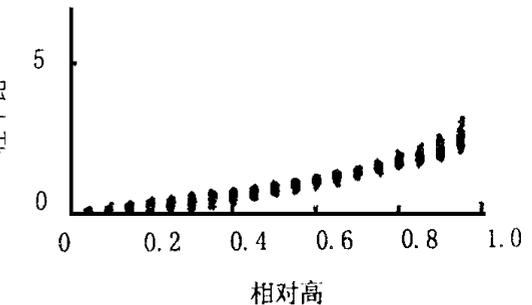


图 4 栎类带皮柱干比散点图

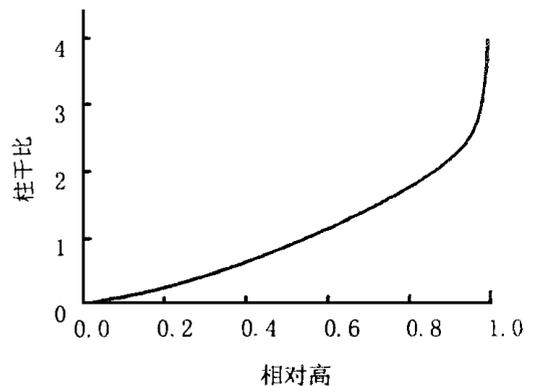


图 6 栎类带皮四参数柱干比曲线

2.4 去皮部分

去皮部分的计算方法及过程同带皮部分。对油松、栎类树木材料去皮部分迭代后结果见表 4。从表 4 中的数据看到: (1) 油松去皮部分柱干比曲线式的拟合情况优于栎类。(2) 对照带皮部分, 分析后得到, 两树种带皮部分的拟合情况分别优于去皮时的情况, 带皮油松 $R^2 = 0.99$ 的占 93%, 而去皮油松只占 78%。带皮栎类 $R^2 = 0.99$ 的占 79.8%, 而去皮栎类为 73.3%。

表4 油松、栎类去皮迭代后可决指数分布

树 种	油 松				栎 类			
	0.99		< 0.99		0.99		< 0.99	
	0.995	0.995 ~ 0.99	0.99 ~ 0.98	< 0.98	0.995	0.995 ~ 0.99	0.99 ~ 0.98	< 0.98
株 数	82	74	30	14	39	63	19	18
相 对 值 / %	41	37	15	7	28	45.3	13.7	13
小 计 / %	78		22		73.3		26.7	

把 $R^2 = 0.99$ 的油松、栎类依公式(1)计算 X 按 $0.0H, 0.02H, 0.04H, \dots, H$ 相对区分时, 对应的 Y_i 值。作出两树种的柱干比散点图。见图7及图8。

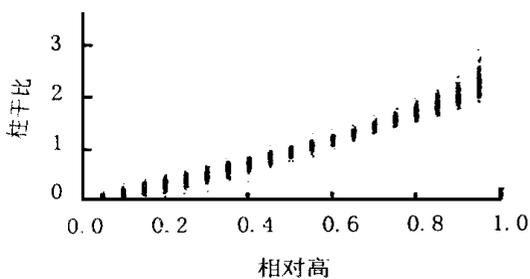


图7 油松去皮柱干比散点图

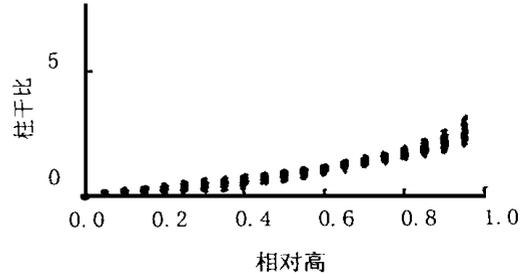


图8 栎类去皮柱干比散点图

编程计算两树种的 \bar{Y} 值。通过分析两树种的 \bar{Y} 值可以看出, 相对高取值 $0.0H \sim 0.7H$ 时, 油松柱干比大于栎类的; 当相对高取值 $0.8H \sim H$ 时, 油松柱干比小于栎类, 呈现出与带皮时几乎一致的变化规律。

绘出两树种的柱干比图形。见图9及图10。

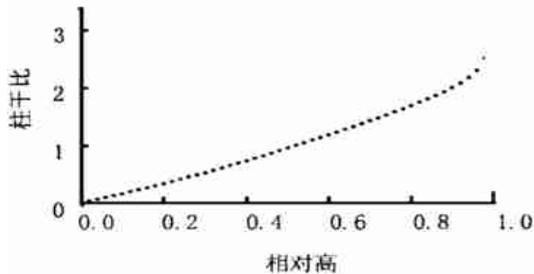


图9 油松去皮平均柱干比

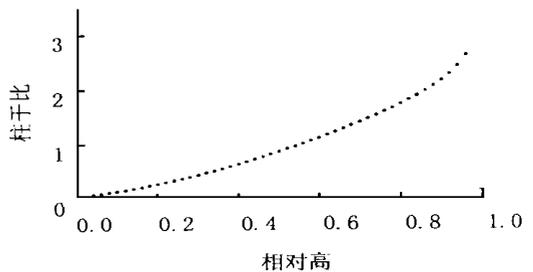


图10 栎类去皮平均柱干比

进一步迭代运算得到两树种的去皮柱干比曲线式的四参数, 见表5。于是根据上述参数依次得到油松、栎类去皮四参数柱干比曲线式。由上述两函数作出曲线图11和图12。

表5 油松、栎类去皮四参数

树 种	a_0	a_1	a_2	a_3	R^2
油 松	4.317 241	2.381 314	0.056 702	0.006 384	0.999 93
栎 类	5.006 306	2.985 288	0.112 154	0.004 901	0.999 93

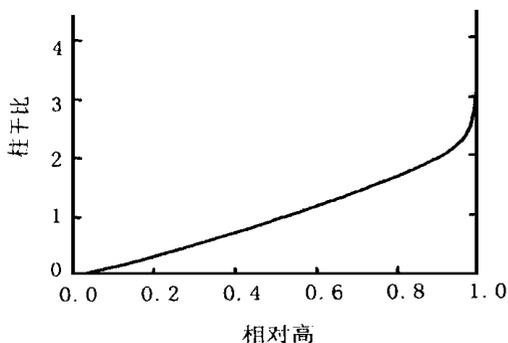


图 11 油松去皮四参数柱干比曲线

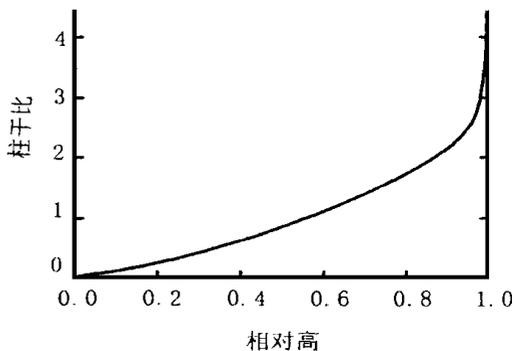


图 12 栎类去皮四参数柱干比曲线

3 结论与讨论

(1) 在综合干曲线式和相对干形的基础上,文章首次提出四参数柱干比曲线式 $Y = \left\{ a_0 X^{a_1} + a_2 / (1 - X + a_3) - a_2 / (1 + a_3) \right\}^{0.5}$, 参数少且便于解决实际问题。

(2) 对带皮油松四参数柱干比曲线式的拟合表明, $R^2 = 0.99$ 的占了 93%, 具有较好的拟合性, 且优于栎类(79.8%)。带皮油松柱干比曲线图自树根至树梢的变化要比栎类平缓, 呈现与两树种外形一致的趋势。

(3) 对去皮油松(栎类)的迭代运算结果呈现出与带皮时几乎一致的变化规律。相比之下, 对带皮部分的拟合运算分别优于去皮时的情况。

(4) 柱干比法虽具有良好的性能, 但试验研究是模拟性的, 只用了油松和栎类, 是否适用于其它树种, 仍需研究。其次, 这种方法还需在生产实践中试用, 以进一步完善和推广。

(5) 关于柱干比曲线式的应用, 如计算材积、出材率及材种出材量的问题等, 另文发表。

参考文献:

- [1] 毛绳绪, 李悦黎, 杜纪山. 相对干形的理论及其应用[J]. 西北林学院学报, 1993, 8(3): 87~92.
- [2] Kazukiyo Yamamoto. A simple volume estimation system and its application to three coniferous species[J]. Can J For Res, 1994, 24: 1289~1294.
- [3] 胡晓龙. 理论干曲线的研究[J]. 中南林业调查规划, 1995, 14(3): 1~6, 11.
- [4] 穆可培, 李玉明. 用相对形率法建立油松和巴山松材积方程[J]. 陕西林业科技, 1989, (2): 27~33.
- [5] 毛绳绪, 刘悦翠. 陕西油松树干形状的研究——相对干形与林木因子之间的关系及相对高处直径与胸径的关系[J]. 陕西林业科技, 1987, (2): 49~53.
- [6] 李悦黎. 油松干曲线式[J]. 陕西林业科技, 1996, (1): 40~43.
- [7] Da Siwa J A A, Borders B E, Brister G H. Estimating tree volume using a new form factor [J]. Commonw For Rev, 1994, 73(1): 14~17.
- [8] 张明铁, 李万宝. 用干形指数测定单株立木材积的研究[J]. 内蒙古林学院学报(自然科学版), 1995, 17(1): 43~46.
- [9] 李悦黎, 杜纪山. 正形率系列特性及其应用的研究[J]. 西北林学院学报, 1994, 9(3): 53~58.
- [10] 杜纪山. 带、去皮正形数系列之间的变化规律及应用[J]. 浙江林业科技, 1990, 10(2): 20~23, 35.
- [11] 李裕国. 正形数的变化规律及其在求积中的应用[A]. 森林经理文集[M]. 北京: 中国林业出版社, 1985. 23~26.
- [12] 堀原干弘. 相对干形とその干材积推定への利用に关する研究 (I) 相对干形变化のソカニズムと动向[J]. 日本林学会志, 1983, 65(3): 82~88.

- [13] Rustagi K P. 一个简易而有用的树木干形标志: 2/3 胸径处的树高[R]. XIX World Congr, IUFRO(4). - Montreal, Canada, 1990. 8~13.
- [14] 毛绳绪, 李玉明, 穆可培. 油松(含巴山松)生长及干形的研究及应用研究技术报告[R]. 西北林学院, 1988. 1~3.
- [15] 长嶋郁, 河田尚显. 根张を考慮した干曲线式[J]. 日本林学会志, 1994, 76(4): 291~297.

A New Kind of Stem Profile—— Four-parameter Cylinder-volume Ratio Stem Profile

MENG Xia -fa¹, LI Yue-ti², ZHANG Fa g-qiu¹

(1. Research Institute of Tropical Forestry, CAF, Guangzhou 510520, Guangdong, China;

2. North west Forestry College, Yangling 712100, Shanxi, China)

Abstract: On the basis of stem profile and relative stem form, the four-parameter cylinder-volume ratio stem profile was put forward. The results of fitting the data of *Pinus tabulaeformis* and *Quercus alie a* from Qinling Mountains showed that the *P. tabulaeformis* with bark and $R^2 = 0.99$ amounted for 93%, that without bark amounted for 78%, while *Q. alie a* with bark and without bark amounted for 79.8% and 73.3%. This result proved that four-parameter cylinder-volume ratio stem profile has perfect fitness. By estimating the values of four parameters, the graphs of four-parameter cylinder-volume ratio stem profile were established.

Key words: relative stem form; form-figure; four-parameter cylinder-volume ratio stem profile; *Pinus tabulaeformis*; *Quercus alie a*