

文章编号: 1001-1498(2001) 03-0315-07

# 大树法选优及其增益估测的研究

钟伟华, 何昭珩, 吴精南

(华南农业大学 林学院, 广东 广州 510642)

摘要: 在开展火炬松、湿地松优树选择工作中, 为使“五株优势木对比法”在应用上更简便快捷, 在研究该方法的优良度与小样地法的缩差值相关关系基础上, 筛选出运用优良度估测树高、胸径和材积缩差值的 9 个回归方程, 以及仅用胸径(火炬松)或树高(湿地松)优良度估测材积缩差的 2 个回归方程; 建立起以缩差  $U$  查对入选率  $P$ 、选择强度  $i$  的三维换算表, 以及用胸径或树高优良度估测材积缩差及其估测误差查算表。提出了确定优良度选择下线的依据, 简化了估测遗传增益和选择效果的方法。此外还发现  $i$  值随  $U$  值增加而逐渐逼近时,  $P$  值迅速下降, 因此, 要选出一定数量的优树,  $i$  值定界不宜太高, 否则很难选得优树。

关键词: 优树; 选择方法; 火炬松; 湿地松; 回归估测

中图分类号: S718.46

文献标识码: A

选择育种经历了漫长的历史过程。林业上在本世纪 30 年代初产生了选择优树, 建立种子园的思想<sup>[1]</sup>。60 年代初, 我国开始在油松(*Pinus tabulaeformis* Carr.)、杉木[*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.] 上开展优树选择, 沿用国外提出的优势木对比法和小样地法<sup>[2,3]</sup>。1983 年至 1985 年, 为配合广东省英德市火炬松种子园营建, 在我国南方几个省进行较大规模的选优活动, 结合实际, 分析了上述两种选优方法的优缺点, 并开展五株优势木对比法(简称大树法)与小样地法选择指标相互关系的研究, 得到了一些结果<sup>[4]</sup>。后来, 在此基础上, 又将选优中取得的其它数据作进一步研究, 以期大树法在应用上更简便快捷, 使选优工作走上计划育种的水平。本文是后一研究的结果, 现报道如下。

## 1 研究材料

研究树种有火炬松(*Pinus taeda* L.) 和湿地松(*P. elliotii* Englm)。火炬松样地 38 块, 其中湖北省彭场林场样地占 9 块。该场位于 30°29' N, 112°56' E, 地处江汉平原, 冲积土, 土壤粘重, 造林密度有 2 m × 3 m 和 3 m × 4 m 两种, 林龄 8 a; 江西省武功山林场 29 块, 该场位于 27°10' N, 114°12' E, 山地, 海拔高 300 ~ 400 m。小样地设在 30° 左右的山坡和地势平缓的山窝, 土壤属山地红壤, 栽植密度各有 3 m × 4 m 和 3 m × 5 m 两种, 各立地和各密度均设有样地, 林龄 10 a。

收稿日期: 2000-03-28

基金项目: 国家“七五”科技攻关课题

作者简介: 钟伟华(1927-), 男, 广东梅县人, 教授。

湿地松有9块样地,设在广东省惠东县九龙峰林场和博罗县白芒林场,其地理位置分别是22°58'N, 114°55'E和23°20'N, 114°17'E。前者为低丘,后者为高丘地带,土壤均属赤红壤,林龄7a和8a。造林密度有2.5m×2.5m、2.5m×3m和3m×3m共3种,每种密度设3个样地。

## 2 研究方法

### 2.1 优良度与缩差

优树选择过程中尚未被评为优树的最大与最优的大树称候选树,一经评定则称优树。为叙述方便,文中一律称优树;仅次于优树的则称优势木或大树,即对比树。

优良度又称优势比,是评判所选候选树能否入选为优树,并和同类立地条件下与其它优树互相比较优劣的数量或品质指标,用百分率表示<sup>[5]</sup>。缩差是权衡所选优树在正态分布中的位置,也是权衡优树优劣的指标,并能用于估价入选优树的选择强度。

在环境条件相对一致的情况下,设立不少于50株树木的样地,测量每株树的胸径、树高,并分别计算其胸径、树高、材积的缩差和5株优势木对比法优树相应性状的优良度。当样地内最大树的胸径、树高的缩差大于1.96者则评为优树,并探讨优良度和缩差的关系。样地优树的优良度和缩差计算公式为:

$$K = (X_{\text{优}} - \bar{X}_5) / \bar{X}_5 \times 100\% \quad (1)$$

$$U = (X_{\text{优}} - \bar{X}) / S_x \quad (2)$$

式中 $K$ 、 $U$ 分别是优树某性状( $X$ )的优良度、缩差, $X$ 可以是树高( $H$ )、胸径( $D$ )或材积( $V$ )。 $X_{\text{优}}$ 、 $\bar{X}_5$ 、 $\bar{X}$ 与 $S_x$ 分别是优树 $X$ 性状值、5株大树及样地内全部树木 $X$ 性状的均值和标准差。当样地内活立木足够多时, $U$ 近似 $N(0, 1)$ 分布。

### 2.2 估测方程及其估测误差

回归估测方程的依变量为 $Y$ ,自变量为 $X$ 。按树种与合并树种优树资料,分别求出火炬松、湿地松与不分树种的优树优良度和缩差的简相关系数与回归估测方程及其平均绝对误差 $Se$ (剩余标准差)、平均相对误差 $E$ 、 $Y_t$ 和任一 $Y$ 值的绝对误差限 $E_{yt}$ 与 $E_y$ 。

$$Se = \sqrt{\frac{(Y - Y_t)^2 / (N - 2)}{}} \quad E = Se / \bar{Y} \times 100\%$$

$$E_{yt} = t_{0.05} \times Se \times \frac{[1/N + (X_0 - \bar{X})^2 / (X - \bar{X})^2]}{1 + 1/N + (X_0 - \bar{X})^2 / (X - \bar{X})^2} \quad (3)$$

$$E_y = t_{0.05} \times Se \times \frac{[1 + 1/N + (X_0 - \bar{X})^2 / (X - \bar{X})^2]}{1 + 1/N + (X_0 - \bar{X})^2 / (X - \bar{X})^2} \quad (4)$$

上式 $Y$ 、 $\bar{Y}$ 、 $Y_t$ 和 $N$ 分别是依变量的实际值及其平均值、理论值、样本(样地)数。 $\bar{X}$ 、 $X_0$ 分别是自变量的平均值、给定值。缩差估测模型均是最小二乘法求得的一元线性回归方程。

### 2.3 入选优树性状的预期遗传增益( $\Delta G$ )<sup>[6]</sup>

遗传增益公式

$$\Delta G = ich^2 \quad (5)$$

设数量性状是正态分布,并令 $Z = (e^{-t^2/2}) / (2 \times 3.1416)$ 为标准正态分布的概率密度函数,则有

$$i = Z \div P \quad (5-1); \quad P = \int_U Z d t \quad (5-2)$$

在此,  $i$  = 选择强度,  $P$  是入选率,  $c$ 、 $h^2$ 、 $U$  分别是  $X$  性状的变异系数、遗传力、缩差。运用公式(5-1)、(5-2)可以算出缩差、入选率和选择强度三维查算表。由于正态分布的对称性, 故在选优时, 样地内全部树木的性状平均值  $\bar{X}$  可用样地内最小和最大植株相应性状平均值代替, 从而在已知  $U$  值时, 可令  $S_x = (X_{\text{优}} - \bar{X}) / U$ 。

### 3 结果与分析

#### 3.1 树高、胸径与材积缩差估测方程

运用各地点实测性状的优良度与缩差, 求得火炬松与湿地松的缩差估测方程和相关系数列入表1。表1说明, 优树优良度与样地缩差的相关达显著或极显著, 方程估测的平均相对误差( $E$ )不大于11%, 与作者前一研究结论一致<sup>[4]</sup>。只要运用实测的  $K_d$ 、 $K_h$  和  $K_v$  值代入表1方程就可以估算出相应性状的缩差值。

表1 生长性状缩差估测方程

取样地点	树种	回归方程	$E/\%$	相关系数	取样地点	树种	回归方程	$E/\%$	相关系数
彭场 与 武功山	火	$U_d = 1.604 + 0.0453 K_d$	10.8	0.8120**	九龙峰 与 白芒	湿	$U_d = 0.035 + 0.1960 K_d$	10.1	0.7326*
	炬	$U_h = 1.604 + 0.0265 K_h$	10.7	0.7474**		地	$U_h = 1.287 + 0.0746 K_h$	11.0	0.9340**
	松	$U_v = 2.128 + 0.0173 K_v$	10.1	0.8422**		松	$U_v = 1.744 + 0.0537 K_v$	9.8	0.8475**

#### 3.2 简捷估测材积缩差方程

由表1方程估测材积缩差, 需测定树高、胸径并计算材积方可获得。在实际工作中, 郁闭度随树龄增大而增加, 测算工作的难度也随之增加。根据测树学研究, 材积与树高和胸径存在相关关系, 因此, 采用逐步回归筛选最优材积缩差的回归估测方程, 结果列入表2。表2表明, 8~10 a 的火炬松优树材积缩差( $U_v$ ), 主要由胸径优良度( $K_d$ )确定, 因  $U_v$  与  $K_h$  的偏相关系数为0.12038,  $t$  检验不显著, 表明  $K_h$  对  $U_v$  的估测是无效的。7~8 a 的湿地松优树材积的缩差, 则主要由树高的优良度确定,  $U_v$  与  $K_d$  的偏相关系数为0.6383,  $t$  检验亦不显著, 表明  $K_d$  对  $U_v$  的估测是无效的。表2中两方程的相关系数均达到极显著水平, 平均相对误差小于11%, 可在实际工作中应用。在幼林中选优时, 火炬松只需测胸径, 湿地松仅测树高, 分别代入表2中的方程1与2, 就能获得材积缩差估测值。

表2 优树材积缩差简捷估测方程

树种	回归方程	相关系数	$Se$	$E/\%$	自由度	方程序号
火炬松	$U_v = 2.05 + 0.06672 K_d$	0.8839**	0.26841	8.8	36	1
湿地松	$U_v = 2.92 + 0.07621 K_h$	0.8679**	0.33497	9.2	7	2

#### 3.3 树种混合估测缩差方程

为探讨用优树优良度估测缩差方程用于多个树种, 企图将湿地松、火炬松两树种的资料合并在一块求出估测树高、胸径和材积缩差的方程, 结果列入表3。经  $r$  检验极显著有效, 但平均相对误差偏高, 在12.9%以上。说明只能在估价入选优树及评价选择效果要求不太严格的情况下使用, 否则应该采用表2或表1所列方程。

表3 两个树种适用的估测缩差的方程

林龄/a	回归方程	E/%	相关系数
	$U_d = 1.715 + 0.0427K_d$	16.5	0.6274**
7~10	$U_h = 1.597 + 0.3000K_h$	12.9	0.7243**
	$U_v = 2.445 + 0.0144K_v$	15.7	0.6055**

注:  $r_{0.05(46)} = 0.2875$ ;  $r_{0.01(46)} = 0.3721$ 。

### 3.4 缩差简捷估测方程的验证

平均误差反映的是回归方程估测值的平均偏差,而不反映参与建模的每株优树估测误差的大小。为此,用34株火炬松和9株湿地松的优树材积缩差实测值与估测值作比较验证,结果列入表4。表4中 $DE_1$ 、 $DE_2$ 分别是表2中的方程1与方程2

的相对偏差。从中可知,相对偏差的绝对值( $|DE_1|$ 、 $|DE_2|$ )大于10%的火炬松有22、34号,湿地松有4、9号,其余均小于10%或略大于10%,这就进一步表明表2两估测方程是可在实际工作中运用的。

表4 火炬松和湿地松优树材积缩差估测方程的验证

No.	$K_d$	Y	$Y_t$	$DE_1/\%$	No.	$K_h$	Y	$Y_t$	$DE_2/\%$
火 炬 松									
1	20.83	3.80	3.44	9.47	24	5.51	2.20	2.42	-10.00
2	15.95	3.27	3.11	4.89	25	19.09	3.69	3.32	10.03
3	22.25	3.24	3.53	-8.95	26	2.45	2.05	2.21	-7.80
4	19.79	3.50	3.37	3.71	27	4.98	2.48	2.38	4.03
5	12.74	2.67	2.90	-8.61	28	7.73	2.78	2.57	7.55
6	13.21	2.85	2.93	-2.81	29	6.29	2.60	2.47	5.00
7	16.65	3.48	3.16	9.20	30	21.47	3.47	3.48	-0.29
8	14.75	3.15	3.03	3.81	31	5.72	2.49	2.43	2.41
9	6.96	2.67	2.51	5.99	32	5.67	2.58	2.43	5.81
10	13.26	3.26	2.93	10.12	33	6.11	2.49	2.46	1.20
11	20.94	3.66	3.45	5.74	34	29.56	3.45	4.02	-16.52
12	9.62	2.44	2.69	-10.25					
13	27.90	4.23	3.91	7.57	湿 地 松				
14	26.73	4.10	3.83	6.59	No.	$K_h$	Y	$Y_t$	$DE_2/\%$
15	24.03	3.30	3.65	-10.61	1	24.9	5.1	4.8	5.9
16	28.16	4.02	3.93	2.24	2	16.9	3.8	4.2	-10.5
17	20.10	3.58	3.39	5.31	3	9.6	3.6	3.7	-2.8
18	19.23	3.23	3.33	-3.10	4	4.9	3.8	3.3	13.2
19	14.05	3.14	2.99	4.78	5	2.6	3.0	3.1	-3.3
20	19.25	3.26	3.33	-2.15	6	10.4	3.5	3.7	-5.7
21	16.00	2.85	3.12	-9.47	7	5.7	3.5	3.4	2.9
22	15.71	3.51	3.10	11.68	8	5.8	3.6	3.4	5.6
23	8.55	2.67	2.62	1.87	9	4.7	2.9	3.3	-13.8

注: 相对偏差( $DE$ ) =  $[(Y - Y_t) / Y] \times 100\%$ 。

### 3.5 选择强度与预期遗传增益的估算

有了性状缩差值( $U$ ), 即可运用公式(5-1)和(5-2) 求出入选率( $P$ ) 和选择强度( $i$ ), 进而列出缩差、入选率和选择强度三维换算表(表5)。从表5 可以看出, 当给定  $U$  值即可求得相应的  $P$ 、 $i$  值。表5 列出选优中常见的  $U$  值及其对应的  $P$ 、 $i$  值, 当不能直接从表5 中查得时, 可用内插法求之。如材积缩差  $U=2.1$ , 若变异系数为 10%, 遗传力为 0.20, 于是由公式(5) 即得材积的预期遗传增益为  $2.46 \times 10\% \times 0.2 = 4.9\%$ 。

由表5 中  $i-U$  栏可看出  $P$  值随  $U$  值增大而迅速递减,  $i$  值则随之递增而逼近  $U$  值, 这时选出优树的机会就会大为减少。如当  $U=5$  时,  $i$  仅比  $U$  大 0.18, 此时  $P=2.87 \times 10^{-7}$ , 即优树选出率小于千万分之三。

表5 缩差  $U$ 、入选率  $P$ 、选择强度  $i$  的换算表

项目	U 值							
	1.9	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
$P$	0.028 72	0.022 75	0.006 21	0.001 35	$2.33 \times 10^{-4}$	$3.17 \times 10^{-5}$	$3.40 \times 10^{-6}$	$2.87 \times 10^{-7}$
$i$	2.28	2.37	2.82	3.28	3.75	4.23	4.70	5.18
$i-U$	0.38	0.37	0.32	0.28	0.25	0.23	0.20	0.18

### 3.6 优良度下限的确定

五株优势木对比法选优中优树的胸径、树高优良度选择的起点多少为好, 根据如何? 尚无人提出, 因此运用表2 的方程探讨和解决这一问题。为了使实测值不小于理论计算值, 对缩差值取估测区间的下限, 即个体值取  $U_v - E_y$ , 条件平均值取  $U_v - E_{yt}$ , 并据此计算材积预期遗传增益。计算材积遗传增益时, 单株与家系遗传力分别取 0.2 和 0.4, 变异系数取 10%, 各项计算结果(表6) 可见, 火炬松优树胸径优良度等于 4% 时, 优树选出率为 1.5%, 材积预期遗传增益为 10.1%, 相当于第一代(初级) 无性系种子园的遗传改良水平<sup>[7]</sup>。因此, 选优时优树优良度下限定在 4% 是恰当的。同理, 上限可定在 15% 左右, 优树选出率约为 0.2%, 预期遗传增益 13%, 接近 1.5 代种子园水平<sup>[7]</sup>。

树高优良度下限方面, 表6 湿地松树高优良度提供了一个范例显示。优树树高可与对比树持平, 而树高优良度高至 15% 时, 优树选出率约 1/10 000, 已难于选得优树。

表6 用优良度估测材积缩差值及其误差与遗传增益

树种	$K_d$	$U_v$	$E_y$	$E_{yt}$	$\Delta G/\%$	$\Delta G_v/\%$	树种	$K_h$	$U_v$	$E_y$	$E_{yt}$	$\Delta G/\%$	$\Delta G_v/\%$
	0	—	—	—	—	—		0	2.92	0.91	0.45	4.8	11.2
	1	—	—	—	—	—		1	3.00	0.90	0.42	4.9	11.6
	2	2.18	0.57	0.18	4.1	9.5		2	3.07	0.88	0.39	5.0	12.0
	3	2.25	0.57	0.17	4.2	9.8		3	3.15	0.87	0.37	5.2	12.3
火炬松	4	2.32	0.57	0.16	4.3	10.1	湿地松	4	3.22	0.86	0.34	5.4	12.7
	5	2.38	0.57	0.15	4.4	10.3		5	3.30	0.85	0.32	5.6	13.1
	10	2.72	0.56	0.11	5.0	11.7		10	3.68	0.84	0.26	6.3	14.7
	15	3.05	0.55	0.09	5.6	13.0		15	4.06	0.86	0.34	6.9	15.8
	20	3.38	0.56	0.11	6.2	14.1		20	4.44	0.93	0.49	7.5	16.7
	25	3.72	0.56	0.15	6.9	15.3		25	4.83	1.03	0.66	8.1	17.6
	30	4.05	0.58	0.20	7.4	16.5		30	—	—	—	—	—

## 4 结论与讨论

(1) 大树法优树优良度与小样地缩差值间存在紧密相关关系, 11 个缩差回归估测方程的相关系数显著性检验证明它们之间的相关是真实的, 由此而建立的方程是有效的。

(2) 筛选出一系列有效的缩差估测方程。适于火炬松与湿地松幼龄林选优估测树高、胸径与材积缩差的一元一次方程各 3 个; 仅适用于胸径(火)或树高(湿)优良度估测材积缩差的一元一次方程各 1 个; 同时适用于估测两树种高、径、材积缩差的方程共 3 个。除后一组 3 个方程的精度稍低外, 其余方程的精度都较高, 平均误差在 10% 左右, 故有实用价值。

(3) 预估选优效果的方法更为简化。在样地平均值、标准差、变异系数以及选择强度等参数的获得方法均与作者前一研究不同<sup>[3]</sup>, 不是采用回归估测法, 而是采用其它数学方法, 并研制出两个数据查对表, 这就进一步简化和开扩了研究领域, 丰富了研究途径, 而且研究树种也从火炬松扩展到湿地松, 还探索了两树种混合的缩差回归估测模型的可行性。

(4) 入选线与选择预期遗传增益: 在五株大树法选优中, 通常都要规定优树的树高优良度等于或略大于对比树均值, 胸径则应大于对比树平均值的 15% ~ 20%<sup>[5]</sup>。到底多大才合适, 它与预期遗传增益有何联系, 很少有报道。本研究证明, 树高优良度 0, 胸径应在 4% 以上, 此时, 预期遗传增益在 10% 以上, 改良水平已达到初级种子园营建要求<sup>[7]</sup>。诚然, 把优良度选择线提高, 则遗传增益水平也会得到相应提高, 这就要看可能和需要而定。

此外, 本研究表 6 提出的遗传增益, 是在变异系数、遗传力均取中下水平的模拟值, 缩差也是取估计区间下限计算的, 故可视为下限。一般情况下, 当选择的优树较多时, 由于抽样误差是互相抵消的, 因此表 6 的遗传增益数值一般可能会比实际的低。

(5) 样本多少与选择: 文中提到的样地或小样地一词, 是林业上习惯说法, 它不是统计学上用语, 统计学上讲小样通常是样本单元数少于 50, 并认为样本单元数(样地内树木株数)达 50 时为大样, 其抽样结果的代表性更强。本研究设立的样地一般不少于 50 株活立木。而且样地内的环境条件是相对一致的, 在这种条件下选出的各种研究对象的研究结果, 有可能更接近理论值, 偏差会小些, 由此而建立的各类估测方程与参数代表性应是无疑的。但本研究对象的林龄, 仅 7 ~ 10 a, 方程是否适合更大树龄选优应用, 则有待研究。

### 参考文献:

- [1] Johnsson H E. Forest tree breeding by selection [J]. *Silv Genet*, 1964, 13: 41 ~ 49.
- [2] 叶培忠, 陈岳武, 陈益泰, 等. 杉木优树选择方法[R]. 林业科学研究纪要, 1964.
- [3] 中国林学会. 林木良种选育技术学术会议论文集[C]. 北京: 农业出版社, 1966.
- [4] 赵奋成, 钟伟华. 火炬松优树选择方法与标准的研究[D]. 广州: 华南农业大学林学院, 1988.
- [5] GB 10018- 88, 主要针叶造林树种优树选择技术[S], 1989.
- [6] 吴仲贤. 统计遗传学[M]. 北京: 科学出版社, 1979. 284 ~ 294.
- [7] Hodge C R, While T L, Powell G L, et al. Predicted gains from generation of slash pine tree improvement[J], *SJAF*, 1989, 13: 51 ~ 56.

# Research on Superior Tree Selection with the Method of Dominant Contrast and Estimation of the Corresponding Gain

ZHONG Wei-hua, HE Zhao-heng, WU Jing-nan

(Forestry College, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, Guangdong, China)

**Abstract:** On the basis of studying the correlation between the degree of superiority of the dominant contrast method and the differential value of the sample plot method, nine regression equations used to estimate the differential values of height, DBH and volume of *Pinus taeda* and *Pinus elliottii* by the degree of superiority of the corresponding trait, and two regression equations for estimating the differential value of volume by only the degree of superiority of DBH (for *P. taeda*) or that of height (for *P. elliottii*) were established. A three-dimension conversion table was established, in which selection rate ( $P$ ) and selection intensity ( $i$ ) can be found out directly according to the differential value ( $U$ ). The basis of determining the prescribed minimum of the superiority degree was posed. The method of estimating the genetic gain and selection effect was simplified. Besides, it was found when the value of  $i$  increases and closes to the value of  $U$ , the value of  $P$  decreases rapidly, therefore, in superior tree selection, it is not a good idea to determine the value of  $i$  at a very high level, otherwise, few superior tree can be selected.

**Key words:** superior tree; selection method; *Pinus taeda*; *Pinus elliottii*; regression estimation

---

## 本刊加入《中国学术期刊(光盘版)》 和“中国期刊网”的声明

为适应我国信息化建设需要,扩大作者学术交流渠道,本刊已加入《中国学术期刊(光盘版)》和“中国期刊网”。作者著作权使用费与本刊稿酬一次性给付。如作者不同意将文章编入该数据库,请在来稿时声明,本刊将做适当处理。

《林业科学研究》编辑部

2001年3月