

## 红椿天然林优树选择

汪 洋<sup>1</sup>, 闵水发<sup>1</sup>, 江雄波<sup>1</sup>, 郑德国<sup>2</sup>, 宋丛文<sup>1</sup>, 章定青<sup>3</sup>, 付秋生<sup>1</sup>, 陈文学<sup>4</sup>

(1. 湖北生态工程职业技术学院, 湖北 武汉 430200; 2. 堵河源自然保护区 管理局, 湖北 竹山 442200; 3. 湖北省建始县林业局, 湖北 建始 445300; 4. 湖北省竹山县林业局, 湖北 竹山 442200)

**摘要:** 自 2013 年以来, 在湖北省全省范围内调查红椿 *Toona ciliata* 种质资源的基础上, 对 12 个县市的红椿天然林进行优树选择。确定选优林分, 将 16~40 年生红椿以 5 a 为龄级分组, 利用优势木对比法, 通过异龄林树龄校正, 在各龄级组共选出候选优树 52 株。对候选优树材积进行多元线性回归, 建立材积( $y$ ), 胸径( $x_1$ ), 树高( $x_2$ )回归方程  $y=-3.066+0.065x_1+0.094x_2$ ,  $R^2=0.961$ 。通过材积实测值与理论值残差分析, 将候选优树按生长量分为 3 级。通过主成分分析法, 剔除特征根和贡献率小的形质因子, 从 6 个形质因子中筛选获得冠高树高比、平均冠幅、干形和分枝角等 4 个因子建立形质分级标准, 将候选优树按形质分为 3 级。对候选优树生长量和形质综合评分, 筛选出 1 级优树 7 株, 2 级优树 22 株, 3 级优树 11 株, 共 40 株, 占候选优树的 76.92%。可基本保证湖北地区红椿种质资源圃的建立和种源试验需求。图 1 表 9 参 19

**关键词:** 林木育种学; 红椿; 天然林; 优树选择; 材积; 形质

中图分类号: S792.99

文献标志码: A

文章编号: 2095-0756(2016)05-0841-08

## Selection criteria for superior *Toona ciliata* trees in natural forests of Hubei

WANG Yang<sup>1</sup>, MIN Shuifa<sup>1</sup>, JIANG Xiongbo<sup>1</sup>, ZHENG Deguo<sup>2</sup>, SONG Congwen<sup>1</sup>, ZHANG Dingqing<sup>3</sup>, FU Qiusheng<sup>1</sup>, CHEN Wenxue<sup>4</sup>

(1. Hubei Vocational College of Ecological Engineering, Wuhan 430200, Hubei, China; 2. Management Office, Duheyuan Nature Reserve, Zhushan 442200, Hubei, China; 3. Forest Enterprise of Jianshi County, Jianshi 445300, Hubei, China; 4. Forest Enterprise of Zhushan County, Zhushan 442200, Hubei, China)

**Abstract:** In order to obtain and preserve fine germplasm resources of *Toona ciliata* in natural communities of Hubei Province, in 3 consecutive years from 2013, genetic resources of *T. ciliata* were determined in Hubei Province, on the basis of which, superior tree selections were made in 12 different administrative regions. Natural forest stands for superior tree selection were determined by establishing five age groups covering 16–40 a, each in 5 a. The 5-superior-tree-comparison method was employed to select superior trees on 5 age groups and the uneven tree ages of the selected target trees were adjusted. Two independent evaluation standards for timber volume and shape quality value indexes were proposed to establish the selective criterion. Results of the initial selection were 52 preliminary superior *T. ciliata* trees. The multiple linear regression for timber volume ( $y$ ), DBH( $x_1$ ) and tree height ( $x_2$ ) was  $y=-3.066+0.065x_1+0.094x_2$ ,  $R^2=0.961$ , indicating a highly significant linear relation between  $y$  and  $x$  ( $x_1, x_2$ ). Results showed that 52 preliminary superior trees could be classified into 3 grades of growth volume with residual analysis of measured values and theoretical values: 10 Class A superior trees, 38 Class B and 4 Class C, covering 19.23%, 73.08% and 7.69% of the total. Furthermore, the four screened out shape factors named ratio of crown height to tree height, average crown breadth, stem straightness

收稿日期: 2015-10-20; 修回日期: 2016-02-29

基金项目: 湖北省科学技术公益性研究项目(402012DBA40001)

作者简介: 汪洋, 副教授, 从事生态学研究。E-mail: 13296698026@163.com。通信作者: 宋丛文, 教授, 博士, 从事植物遗传学研究。E-mail: songcongwen@126.com

and branching angle, with accumulative contribution rates 91.718%, approximately represented the general information of all 6 factors. Hence, all 52 preliminary superior trees were classified to three tree grading standards of shape quality values, with 30 Class A, 12 Class B and 10 Class C, occupying 57.69%, 23.08% and 19.23% respectively of the total. In the end, the comprehensive evaluation standard of superior trees of *T. ciliata* for both growth volume and shape quality value was utilized, with individuals of Class C eliminated from 2 grading groups, obtaining 40 superior trees in total, i.e. 7 of grade 1, 22 of grade 2, and 11 of grade 3 respectively, accounting for 76.92% of the 52 preliminaries. With these grading systems considered, fast growth and fine shape quality value of the selected superior trees can be guaranteed, and these selected superior trees approximate the demands for the establishment of genetic resource nurseries and provenance tests of *T. ciliata* in the Hubei region. The comprehensive selection standard of superior tree of *T. ciliata* can be practiced as a reference in the Hubei region. [Ch, 1 fig. 9 tab. 19 ref.]

**Key words:** forest tree breeding; *Toona ciliata*; natural forest; superior tree selection; timber volume; shape quality value

红椿 *Toona ciliata*, 又名红榿子, 为榿科 Meliaceae 香榿属 *Toona* 落叶或半落叶大乔木, 可高达 30 m, 胸径可达 150 cm, 是中国热带、亚热带地区的珍贵速生用材树种<sup>[1-2]</sup>, 国家Ⅱ级重点保护野生植物。红椿天然分布于东南亚和澳大利亚, 在中国主要分布于华南地区、华中地区至北亚热带的南缘, 范围较广, 但呈天然零星分布。红椿心材为上等家具用材, 发展潜力很大。过度开发以及天然更新较慢, 其天然种群数量不断减少<sup>[3]</sup>。国内学者对红椿的种质资源、遗传结构、植物生理、栽培、造林以及医药和化学成分等方面进行了较为广泛的研究<sup>[4]</sup>, 良种选育方面报道较少。优树是建立种子园最重要的基础材料, 也是树木多层次遗传的最基本材料。优树质量的好坏直接关系到遗传增益的大小和种子园建设的成败<sup>[5]</sup>。为保护湖北省红椿珍贵种质资源, 建立红椿种质资源圃, 开展种源试验, 我们从 2013 年开始, 在湖北省红椿天然分布区开展了红椿种质资源收集和优树选择工作。在全面调查基础上, 有针对性地以材积和表型优异为目标性状进行高强度的优树选择, 初步制定出红椿选优的标准及方法, 以期为该树种遗传改良和开发利用提供理论依据和技术支持。

## 1 材料与方 法

### 1.1 调查区域概况

红椿的天然分布区虽然较为广泛, 由于资源破坏和自身生物学特性, 结构完整的天然种群在湖北境内很少。通过走访各市县林业部门, 了解红椿在湖北各地的分布和生长情况, 深入林区实地调查。在全省红椿种质资源调查基础上, 选择湖北省恩施州的来凤县、咸丰县、鹤峰县、宣恩县、恩施市、建始县、巴东县和利川市, 十堰市的竹山县, 襄樊市的谷城县, 咸宁市的崇阳县、武汉市江夏等 12 个区域, 林木长势良好, 没有经过负向选择的红椿天然林(表 1), 作为选优样区开展红椿天然林优树选择, 主要选择样地郁闭度在 0.6 以上。

### 1.2 选优方法

1.2.1 龄级分级与候选优树选择 优树是指在相似环境条件下, 林分中在生长量、形质、材性及抗性适应性上表现特别优良的个体<sup>[6]</sup>。天然次生林选优, 树龄是必须考虑的因素。于树成等<sup>[7]</sup>在水曲柳 *Fraxinus mandshurica* 天然林优树选择中, 采用标准地内样木胸径平均数加 1 倍标准差确定候选优树。黄寿先等<sup>[8]</sup>采用绝对值评选法对于广西天然大叶栎 *Castanopsis fissa* 林进行优树初选, 即年平均生长量和形质指标达到预定标准, 再对胸径、树高综合对比复选, 以确定优树生长量指标。本次选优通过天然林龄级分级, 结合 3~5 株优势木对比法, 较好地处理了树龄因素。本次选优以速生丰产和形质优良为目标。生长指标为胸径、树高、单株材积。形质指标 6 个, 分别为冠高与树高比、冠幅、干形、第一活枝下高、枝粗细和分枝角。根据选优林分实际情况和种群规模, 同时考虑可行性与准确性, 在天然种群尺度内 (15~40 m), 首先以 16 a 为起点, 5 a 为 1 个龄级, 通过生长锥实测, 分别设立 15~20 a, 21~25 a, …… , 36~40 a 等 5 个预选龄级。采用 5 株优势木生长指标对比法, 分别在相应龄级内选择生长性状和

表 1 红椿选优天然林概况

Table 1 General situation of superior tree of *Toona ciliata* in natural forests

样区	纬度 N	经度 E	海拔/m	坡度/(°)	坡向	土壤	年均温/°C	年降水量/mm
来凤	29°45'58"	109°35'57"	521	55	N	黄砂土	15.8	1 400.0
咸丰	29°46'57"	108°59'27"	551~557	58	EN	黄砂土	14.9	1 460.0
宣恩	29°25'38"	109°15'26"	822	30	SE	黄壤土	15.8	1 491.3
鹤峰	30°17'12"	110°32'29"	559	21	WN	黄壤土	15.5	1 700.0~1 900.0
恩施	30°1'05"	109°12'51"	738	28	SE	黄壤土	14.9	1 400.0
利川	29°58'52"	109°05'12"	677	35	NW	黄壤土	12.3	1 200.0~1 400.0
建始	30°39'25"	110°05'29"	540	28	NW	黄壤土	13.1	1 300.0~1 500.0
巴东	30°36'49"	110°23'32"	720	35	EN	黄棕壤	11.7	1 270.0
竹山	31°39'58"	110°01'59"	660	25	ES	黄棕壤	12.9	>1 000.0
谷城	32°01'26"	111°15'49"	402	48	EN	黄壤土	16.0	935.0
崇阳	29°26'27"	113°43'25"	341	10	EN	黄壤土	18.3	1 313.0
江夏	30°20'55"	114°19'56"	56	15	NE	黄红壤	16.8	1 348.0

形质性状特别优良的单株，然后在 15~40 m 范围内选择仅次于候选优树的 3~5 株优势木。通过对比，从预选树和优势木中选择胸径、树高等生长指标最优植株；同时选择树干通直圆满，枝下高最大，分枝角最小，侧枝粗最小等形质指标和无病虫害、生长优良的植株为候选优树。实测各生长和形质指标。对异龄林树龄进行校正：校正值=候选优树材积-(年生长量×树龄差)<sup>[9]</sup>。年生长量根据龙汉科等<sup>[10]</sup>提出的红椿树高、胸径、材积年生长过程计算。共选择 52 株候选优树，并进行编号。

1.2.2 研究方法 建立生长指标和形质指标 2 项独立评分标准，利用生长与形质 2 项标准进行独立分级，最后综合选出红椿优树。对所选 52 株候选优树对材积进行多元线性回归分析，采用逐步回归法剔除其他因素对生长指标造成的影响<sup>[11]</sup>，减少生长指标选择误差。多元线性回归方程得到的材积理论值与实测值残差，在符合正态分布前提下，通过平均值和标准差比较，建立候选优树生长指标分级标准。标准化处理各形质指标，进行主成分分析。获得各候选优树形质主成分的特征向量和贡献值，根据特征向量和贡献值大小确定形质评分因子和其权重值。对所选因子的评分结果进行单样本非参数 K-S 检验<sup>[12]</sup>，确定红椿形质分级标准。

1.2.3 数据计算与分析 ①单株材积计算。采用形率法计算单株材积( $V$ )<sup>[13]</sup>。 $V=\pi\times(d_{1.3}/2)^2h\times f_{1.3}$ 。其中： $\pi$  取值 3.141 59； $d_{1.3}$  为胸径； $h$  为树高； $f_{1.3}$  为希费尔(Schiffel)胸高形数。由于野外环境限制，调查时缺乏红椿中央直径  $d_{1.2}$ ，为计算方便， $f_{1.3}$  取值 0.5<sup>[14]</sup>。②形质指标的标准化。采用多目标决策一维比较法<sup>[15]</sup>，对候选优树形质指标进行标准化处理。

$$y=1-0.9\times(V_{\max}-V)/(V_{\max}-V_{\min}); \quad (1)$$

$$y=1-0.9\times(V-V_{\min})/(V_{\max}-V_{\min})。 \quad (2)$$

式(1)和式(2)中： $V$  为候选优树的形质指标测定值； $V_{\max}$  和  $V_{\min}$  分别为每个指标的最大值和最小值。为使红椿各形质指标的遗传改良性状一致，采用不同公式进行转化。干形和枝下高等与目标性状呈正相关的系数采用式(1)换算；冠幅、冠高树高比、分枝角、枝粗细等与目标性状呈负相关的系数采用式(2)换算。③数据分析。材积是用材树种最重要的经济指标。为获取生长量指标分级标准，对 52 株红椿预选优树的材积进行回归，以剔除多个相关因子对材积的影响程度，减少生长量选择误差<sup>[11]</sup>，筛选出生长基因良好的红椿优树。线性回归一般模型为： $y=\alpha+\beta_1x_1+\beta_2x_2+\dots+\beta_kx_k+\varepsilon$ ， $i=1, 2, 3, \dots, n$ 。其中： $y$  为解释变量(材积)， $x$  为观察值， $\alpha$  为模型截距项， $\beta$  为求解参数， $\varepsilon$  为误差项。对变量  $x$  做  $i$  次观察，得到  $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik}$ ，对应  $y_i$ 。得到 52×8 的材积多元线性回归矩阵。主成分采用降维分析，将多指标转化为少数综合指标<sup>[16]</sup>，以获得红椿预选优树的形质评分标准。数学模型为： $Z_1 = u_{11}x_1 + u_{12}x_2 + \dots + u_{1p}x_p, \dots, Z_p = u_{p1}x_1 + u_{p2}x_2 + \dots + u_{pp}x_p$ ，其中， $Z_1, Z_2, \dots, Z_p$  为  $p$  个主成分。通过对原有变量坐标变换， $Z_p$  满足一定条件下，提取主成分。以上统计分析和计算用 Excel 2007 和 SPSS 22 软件包完成。

## 2 结果与分析

### 2.1 红椿候选优树生长指标分级标准

2.1.1 各生长因子相关性分析 对红椿候选优树生长量相关的因子,如胸径、树高、平均冠幅、枝下高、干形、枝粗细、分枝角实测数据进行相关性分析(表2)。相关性分析显示:材积与各自变量之间相关系数的绝对值为0.032~0.967,各因子之间表现高中低程度的相关。胸径、树高、冠幅与材积之间存在着共线性关系,三者性状具有较高的一致性。且材积与干形、枝下高、枝粗细、分枝角之间相关性较低。胸径、树高、冠幅典型反映了红椿的材积指标,因此,可选择材积指标作为红椿优树选择的主要生长量指标。干形与材积相关性不密切,说明干形是一个相对独立的性状,与其他性状不存在基因连锁作用<sup>[17]</sup>。

表2 红椿候选优树各因子相关分析

Table 2 Correlation analysis of various superior tree factors of *Toona ciliata* candidates

项目	材积	胸径	树高	冠幅	干形	枝下高	枝粗细
胸径	0.967**						
树高	0.846**	0.765**					
冠幅	0.652**	0.665**	0.449**				
干形	-0.060	-0.101	-0.035	-0.113			
枝下高	0.100	0.074	0.303*	-0.017	0.032		
枝粗细	0.388**	0.458**	0.172	0.511**	-0.197	-0.097	
分枝角	0.280*	0.279*	0.133	0.395**	-0.076	-0.068	0.229

说明:\*\*为在0.01水平上极显著相关,\*为在0.05水平上显著相关。

2.1.2 材积为因变量的多元回归 以材积为因变量,胸径、树高、冠幅、干形、枝下高、枝粗细为自变量,采用逐步回归法进行多元线性回归。通过将自变量按相关程度放入回归模型和根据自变量对模型贡献大小进行选择并剔除,建立最优回归模型。通过回归分析,选择出胸径和树高2个自变量。表3中,模型2以材积作为因变量,胸径和材积为自变量,复相关系数为0.981,决定系数为0.963,校正后决定系数为0.961,比模型1得到的方程的拟合度更高。以胸径和树高2个性状联合选择红椿材积生长数量指标,可靠性达到96.10%。

表3 回归模型概述信息表

Table 3 General outline of regression model of mass growth

模型	R	R <sup>2</sup>	调整后 R <sup>2</sup>	标准估计误差	变更统计资料					Durbin-Watson
					R <sup>2</sup> 变更	F值变更	自由度1	自由度2	显著性	
1(胸径)	0.967	0.936	0.935	0.230 91	0.936	731.499	1	50	0.000	1.071
2(胸径、树高)	0.981	0.963	0.961	0.177 46	0.027	35.661	1	49	0.000	

2.1.3 多元线性回归方差分析 根据表4,材积和胸径、树高等主要指标进行多元线性显著性检验,2个模型显著性P均为0.000<0.010,表明材积与胸径、材积与胸径、树高具有极显著的线性关系。由于双尾检验中,显著性大于0.050,逐步回归中冠幅、干形、枝下高、枝粗细和分枝角等5个自变量被自动剔除(表5)。模型2的决定系数R<sup>2</sup>=0.963,拟合方程准确度较高。根据表6,建立以胸径、树高为自变量的二元材积拟合方程:

$y = -3.066 + 0.065x_1 + 0.094x_2$ 。其中:y为材积, $x_1$ 为胸径, $x_2$ 为树高。

2.1.4 候选优树生长量复选标准 将52株红椿预选优树胸径、树高的实测值代入方程: $y = -3.066 + 0.065x_1 + 0.094x_2$ ,得到52株材积理论值。用实测值减去理论值得到其差值。根据变量分布的累积概率与

表4 多元线性回归方差分析

Table 4 Variance analysis of multiple linear regression

模型	平方和	自由度	均方	F值	显著性	
1(胸径)	回归	39.005	1	39.005	731.499	0.000
	残差	2.666	50	0.053		
	总计	41.671	51			
2(胸径,树高)	回归	40.128	2	20.064	637.127	0.000
	残差	1.543	49	0.031		
	总计	41.671	51			

表 5 被剔除的变量信息

Table 5 Information of removed variables of superior tree factors

模型	因子	预测系数	<i>t</i> 值	显著性	偏相关系数	共线性信息
1(胸径)	树高	0.255	5.972	0.000	0.649	0.414
	冠幅	0.014	0.291	0.773	0.041	0.557
	通直度	0.037	1.038	0.304	0.147	0.990
	枝下高	0.028	0.785	0.436	0.111	0.994
	枝粗细	-0.070	-1.764	0.084	-0.244	0.790
	分枝角	0.010	0.277	0.783	0.039	0.922
2(胸径, 树高)	冠幅	0.042	1.147	0.257	0.163	0.548
	通直度	0.027	0.961	0.341	0.137	0.986
	枝下高	-0.041	-1.386	0.172	-0.196	0.848
	枝粗细	-0.013	-0.401	0.690	-0.058	0.713
	分枝角	0.033	1.159	0.252	0.165	0.906

表 6 材积回归模型系数

Table 6 Regression model coefficient of *Toona ciliata* timber volume

模型		非标准化预测系数	标准误差	标准预测系数	<i>t</i> 值	显著性	共线性信息
1(胸径)	(常数)	-1.753	0.118		-14.804	0.000	
	胸径	0.081	0.003	0.967	27.046	0.000	1.000
2(胸径, 树高)	(常数)	-3.066	0.238		-12.890	0.000	
	胸径	0.065	0.004	0.772	18.079	0.000	0.414
	树高	0.094	0.016	0.255	5.972	0.000	0.414

指定分布累积概率之间关系，绘制 52 株红椿预选优树的 *P—P*图(图 1)。其以材积为因变量，观察的累积概率与预期的累积概率间呈正态分布，表明了红椿材积实测值与理论值差值为正态分布。因此，以红椿材积实测值与理论值间的差值作为优树的生长量指标 *H*，减少了生长量指标选择的误选率，可作为确定红椿优树等级的主要依据<sup>[11]</sup>。建立生长量预选优树分级标准：A 级优树为  $H \geq \Delta h + S$ ；B 级优树为  $\Delta h + S > H > \Delta h - S$ ；C 级优树为  $H \leq \Delta h - S$ 。其中 *H* 表示材积实测值与理论值间的差值， $\Delta h$  表示差值平均值，*S* 为标准差。均值  $\Delta h = -0.018 5$ ， $S = 0.175 0$ ，可以确定 A 级  $H > 0.156 4$ ；B 级： $0.156 5 > H > -0.193 5$ ，C 级： $H < -0.193 5$ 。据此标准，选择 A 级 10 株，B 级 38 株，C 级 4 株，分别占预选优树的 19.23%，73.08%，7.69%。

## 2.2 红椿候选优树形质指标分级标准

### 2.2.1 形质因子权重系数

为消除环境误差的影响，尽量减少红椿珍贵速生优良资源的过多丢失，通过主成分分析筛选部分形质因子。对优树形质性状的指标进行标准化处理，得到各性状比值矩阵，运用正交变换进行主成分分析。各主成分的特征根、贡献率、累积贡献率及各指标的特征向量见表 7。前 4 个主成分累计贡献率已达 91.72%，很好反映了调查性状的总体信息。本研究取前 4 个主成分进行分析，第 1 主成分的特征根为 2.159；第 2 主成分的特征根为 1.619；第 3 主成分中为 0.966，第 4 主成分特征根为 0.760。4 个主成分线性方程，其总分量对应着各性状的权重。形质指标过多会影响选优效率<sup>[18]</sup>，每个主成分仅提取 1 个最大特征根因子。第 1 主成分中，枝下高很高达 0.766，但冠高树高比已经反应了枝下高特征信息，因此，在权重中未计入。4 个主成分计算出各因子权重(表 8)：冠高比为 35.44%；平均冠幅为 22.94%；干形为 25.24%；分枝角为 16.38%。各性状的权重大小保证了优树的形质，符合选优要求。

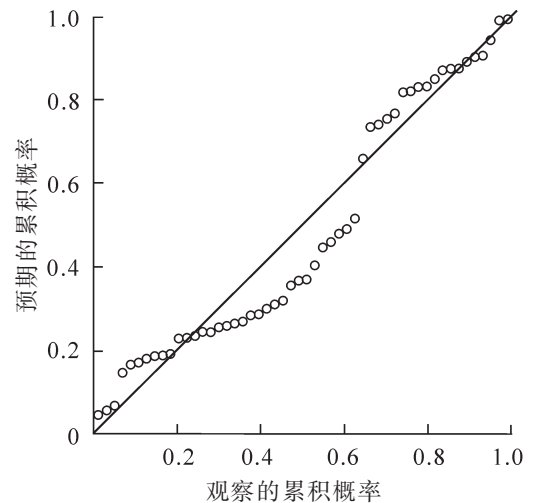


图 1 材积回归标准化残差 *P—P* 图

Figure 1 Standardized residual *P—P* graph of timber volume regression

表7 形质因子特征值及贡献率

主成分	初始特征值			提取平方和		
	特征根	贡献率/%	累积/%	特征根	贡献率/%	累积/%
1	2.159	35.977	35.977	2.159	35.977	35.977
2	1.619	26.981	62.959	1.619	26.981	62.959
3	0.966	16.097	79.056	0.966	16.097	79.056
4	0.760	12.662	91.718	0.760	12.662	91.718
5	0.447	7.454	99.172			
6	0.050	0.828	100.000			

表8 形质因子主成分

项目	成分1	成分2	成分3	成分4
冠高比	0.838	-0.519	-0.012	-0.013
平均冠幅	0.552	0.626	-0.193	-0.173
枝下高	0.766	-0.622	0.021	0.038
干形	0.229	0.274	0.892	0.268
枝粗细	0.565	0.527	0.090	-0.480
分枝角	0.440	0.467	-0.352	0.653

2.2.2 形质标准与候选优树的筛选 评定红椿候选优树的形质指标时,将各因子标准化后与其自身权重相乘,得到各候选优树评分。形质最高分0.9114,最低为0.2008。采用K-S单样本非参数检验法,对52株候选优树形质评分进行单样本验证。 $P=0.032<0.050$ ,标准差0.16,分值呈现正态分布。依照总体候选优树形质得分平均数,进行单样本平均数假设检验<sup>[12]</sup>。在95%置信区间,得平均值上限为0.6434,下限为0.5563。得分 $>0.6434$ 为A级,30株,占52株候选优树的57.69%; $0.6434>$ 得分 $>0.5563$ 为B级,12株,占23.08%;得分 $<0.5563$ 为C级,10株,占19.23%。

### 2.3 红椿优树综合选择标准

通过多元线性回归和主成分分析等统计方法,确定了湖北地区红椿优树的生长量指标和形质分级指标。生长量指标包括了胸径、树高和单株材积3个性状。形质指标包括冠高树高比、冠幅、干形、枝下高、分枝粗细与分枝角等6个性状。总体评分(表9):2项评级均为A级,即为1级优树,共7株;2项中有1项为A级,1项为B级的,即为2级优树,共22株;2项评级均为B级的为3级优树,共11株;生长量和形质其中1项为C级,即被淘汰,共12株。共选出优树40株,占预选优树的76.92%。

## 3 结论与讨论

采用多元线性回归的方法,建立红椿用材林优树生长量选择指标,反映了剔除相关生长因子对材积

表9 红椿优树分级评选表

Table 9 Comprehensive grading criterion for *Toona ciliata* superior trees

候选优树	数量分级	形质分级	优树等级	候选优树	数量分级	形质分级	优树等级	候选优树	数量分级	形质分级	优树等级
BD01	B	A	2	HF04	B	A	2	XE08	A	C	T
BD02	B	B	3	JS01	B	B	3	XE09	B	A	B
BD03	C	A	T	JS02	C	C	T	XE10	B	C	T
ES01	B	A	2	JS03	B	A	2	XF01	B	B	3
ES02	B	A	2	JS04	A	A	1	XF02	B	B	3
ES03	B	C	T	JS05	B	A	2	XF03	B	C	T
ES04	B	B	3	JS06	A	C	T	XF04	B	C	T
ES05	C	B	T	JS07	B	A	2	XF05	B	A	2
ES06	B	A	2	LF01	B	B	3	XF06	B	A	2
GC01	B	A	2	LF02	C	A	T	XF07	B	A	2
GC02	A	A	1	LF03	B	A	2	XF08	B	C	T
GC03	B	B	3	WH01	B	C	T	XF09	A	B	2
GC04	A	A	1	WH02	B	B	3	ZS01	B	B	3
GC05	A	A	1	XE03	B	A	2	ZS02	B	B	3
GC06	B	A	2	XE04	B	A	2	ZS03	B	A	2
HF01	B	A	2	XE05	A	A	1	ZS04	A	A	1
HF02	A	A	1	XE06	B	A	2				
HF03	B	A	2	XE07	B	C	T				

说明:BD为巴东,ES为恩施,GC为谷城,HF为鹤峰,JS为建始,LF为来凤,WH为武汉(行道),XE为宣恩,XF为咸丰,ZS为竹山。1,2,3表示优树等级,T为淘汰。

的影响,很大程度上代表了红椿生长量的基因型值。陈宏伟等<sup>[11]</sup>在研究旱冬瓜 *Alnus nepalensis* 用材林时,采用了多元线性回归方式,剔除环境及其他生长因子对林木生长的影响,获取有代表意义的表型基因,以减少候选优树表型误选率。郑天汉等<sup>[19]</sup>在红豆树 *Ormosia hosiei* 天然林选优中,对与生长量相关程度不同高低因子进行分析,通过权重系数和综合指数计算,提出红豆树天然林优树选择标准。因此,天然林优树选择中,建立与生长量指标、各形质因子间相关的统计学分析是可行的。形质指标也是优树选择的重要指标。晏姝等<sup>[15]</sup>在研究南洋楹 *Paraserianthes falcataria* 优树标准时,通过冠幅、枝下高、干形和分枝为评定优树形质性状的指标,通过主成分分析筛选,决定特征根最大的干形和分枝为形质评分因子。刘志龙等<sup>[18]</sup>研究顶果木 *Acrocarpus fraxinifolius* 天然林选优时,对6项形质指标分析筛选,从3个主成分中获得3个形质指标,通过赋值权重计算得分,建立优树形质评分标准。

本研究以5a为1个龄级分组,应用优势木对比法,按照胸径、树高、材积等生长量指标分别超过林分平均值的25%,15%,100%的要求,在湖北全省12个县市的红椿天然林预选红椿优树52株。根据优树生长指标和形质指标综合筛选,建立了2级选优指标,复选优树分3级共40株,入选率76.92%,基本可保证湖北地区种质资源圃的建立和前期种源试验需求。

本研究首次利用多元线性回归和主成分分析联合分级法,对红椿天然林选优的生长量和形质标准双向评级,保证了入选优树的速生性和形质优良性。评分标准客观可靠,可以作为湖北地区红椿优树选择的参考。在实际工作中,采用不同的材积计算公式,尤其在野外不方便测高的情况下,根据胸径可以初步估算红椿的材积<sup>[10]</sup>,但得到生长量实测值会存在差别。此情况在红椿天然林的调查中时有发生,导致理论值与实测值残差可能存在偏差。该情况可以参考表6中模型1建立方程,获得理论材积。同时,不同环境条件,也可能产生红椿形质因子选择的变化。因此,林业工作者可以因地制宜地建立形质标准,确定2~4(≤4)个主成分,筛选确定红椿优树形质的评分标准。

湖北红椿天然林选优,主要以恢复中的次生林为主。目前种群规模较小,人为干扰严重。此次提出的选优标准,范围仅适用于湖北境内中亚热带与北亚热带南缘红椿分布区,不一定能代表其他省份红椿分布区,其运用范围尚需进一步在实践中检验。

#### 4 参考文献

- [1] 中国树木志编委会. 中国主要树种造林技术[M]. 北京: 中国林业出版社, 1981.
- [2] 郑万钧. 中国树木志: 第1卷[M]. 北京: 中国林业出版社, 1983: 797.
- [3] 吴际友, 程勇, 王旭军, 等. 红椿无性系嫩枝扦插繁殖试验[J]. 湖南林业科技, 2011, 38(4): 5-8.  
WU Jiyu, CHENG Yong, WANG Xujun, et al. Softwood cutting propagation of *Toona ciliata* clones [J]. *J Hunan For Sci Technol*, 2011, 38(4): 5-8.
- [4] 汪洋, 冉勇军, 王清河, 等. 红椿和毛红椿种植与医药化工研究进展[J]. 湖北林业科技, 2014, 43(6): 57-61.  
WANG Yang, RAN Yongjun, WANG Qinghe, et al. Research progress of *Toona ciliata* and *Toona ciliata* var. *pubescens* on their cultivation and pharmaceutical chemicals [J]. *J Hubei For Sci Technol*, 2014, 43(6): 57-61.
- [5] 李因刚, 周小平, 柳新红, 等. 越南安息香人工林生长与优树选择的初步研究[J]. 浙江林业科技, 2010, 30(3): 24-28.  
LI Yingang, ZHOU Xiaoping, LIU Xinhong, et al. Preliminary study on growth of *Styrax tonkinensis* plantation and plus tree selection [J]. *J Zhejiang For Sci Technol*, 2010, 30(3): 24-28.
- [6] 陈健波, 张照远, 项东云, 等. 邓恩桉优树的选择标准[J]. 林业科技开发, 2008, 22(1): 17-20.  
CHEN Jianbo, ZHANG Zhaoyuan, XIANG Dongyun, et al. Study on criterion for superior trees of *Eucalyptus dunnii* [J]. *J China For Sci Technol*, 2008, 22(1): 17-20.
- [7] 于树成, 张桂芹, 王宏, 等. 水曲柳优树选择技术[J]. 林业勘查设计, 2008(1): 49-50.  
YU Shucheng, ZHANG Guiqin, WANG Hong, et al. Study on elite tree selection techniques of *Fraxinus mandshurica* [J]. *J For Invest Des*, 2008(1): 49-50.
- [8] 黄寿先, 周传明, 黎海利, 等. 大叶栎优树选择研究[J]. 广西农业生物科学, 2008, 27(3): 266-269.  
HUANG Shouxian, ZHOU Chuanming, LI Haili, et al. Plus trees selection of *Catanopsis fissa* [J]. *J Guangxi Agric*

- Biol Sci*, 2008, **27**(3): 266 – 269.
- [9] 陈晓阳, 沈熙环. 林木育种学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2005: 66 – 70.
- [10] 龙汉利, 冯毅, 向青, 等. 四川盆地周山地红椿生长特性研究[J]. 四川林业科技, 2011, **32**(3): 37 – 41.  
LONG Hanli, FENG Yi, XIANG Qing, *et al.* A study of the growth characteristics of *Toona ciliata* trees in mountainous areas around the Sichuan Basin [J]. *J Sichuan For Sci Technol*, 2011, **32**(3): 37 – 41.
- [11] 陈宏伟, 李大伟, 史富强, 等. 旱冬瓜用材林优树选择标准的研究[J]. 西部林业科学, 2010, **39**(1): 6 – 10.  
CHEN Hongwei, LI Dawei, SHI Fuqiang, *et al.* Selection criteria for timber usage breeding of *Alnus nepalensis* [J]. *J West China For Sci*, 2010, **39**(1): 6 – 10.
- [12] 赵宝鑫, 康晋, 康永祥, 等. 毛株优树选择的研究[J]. 西北林学院学报, 2012, **27**(3): 76 – 79.  
ZHAO Baoxin, KANG jin, KANG Yongxiang, *et al.* Plus tree selection from *Cornus wulteri* plantations [J]. *J Northwest For Univ*, 2012, **27**(3): 76 – 79.
- [13] 孟宪宇. 测树学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1996: 34 – 35.
- [14] 冯立新, 陈荣, 朱昌叁, 等. 红椿天然林优树选择[J]. 福建林业科技, 2015, **42**(1): 111 – 114.  
FENG Lixin, CHEN Rong, ZHU Changsan, *et al.* *Toona ciliata* plus tree selection in natural forests [J]. *J Fujian For Sci Technol*, 2015, **42**(1): 111 – 114.
- [15] 晏姝, 胡德活, 韦如萍, 等. 南洋楹优树选择标准研究[J]. 林业科学研究, 2011, **24**(2): 272 – 276.  
YAN Shu, HU Dehuo, WEI Ruping, *et al.* Criteria for selecting superior trees of *Paraserianthes falcataria* [J]. *For Res*, 2011, **24**(2): 272 – 276.
- [16] 陈胜可, 刘荣. SPSS 统计分析从入门到精通[M]. 北京: 清华大学出版社, 2015: 354 – 359.
- [17] 刘光金, 贾宏炎, 卢立华, 等. 不同林龄红椎人工林优树选择技术[J]. 东北林业大学学报, 2014, **42**(5): 9 – 12.  
LIU Guangjin, JIA Hongyan, LU Lihua, *et al.* Selective criterion for superior tree of *Castanopsis hystrix* [J]. *J Northeast For Univ*, 2014, **42**(5): 9 – 12.
- [18] 刘志龙, 马跃, 湛红辉, 等. 顶果木天然林优树的选择标准[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2014, **38**(5): 153 – 156.  
LIU Zhilong, MA Yue, CHEN Honghui, *et al.* A study on selection standard for superior tree of *Acrocarpus fraxinifolius* [J]. *J Nanjing For Univ Nat Sci Ed*, 2014, **38**(5): 153 – 156.
- [19] 郑天汉, 兰思仁. 红豆树天然林优树选择[J]. 福建农林大学学报: 自然科学版, 2013, **42**(2): 365 – 370.  
ZHEN Tianhan, LAN Siren. Selection of dominant trees in *Ormosia hosiei* natural forest [J]. *J Fujian Agric For Univ Nat Sci Ed*, 2013, **42**(2): 365 – 370.