

## 柚木种源生长和与材质有关特性的 遗传变异及综合评价\*

赖 猛, 梁坤南\*\*, 黄桂华, 林明平, 周再知, 马华明

(中国林业科学研究院热带林业研究所, 广东 广州 510520)

**摘要:**对海南岛乐东尖峰岭 27 年生柚木 6 个种源的生长及与材质有关特性进行测定与分析, 结果表明: 种源间树皮厚度、心材宽度、基本密度差异极显著, 树高、材积、枝下高、边材宽度差异显著, 而胸径、边材年轮数及心材率差异不显著, 说明在种源水平上对柚木进行生长和与材质有关特性的改良具有较大的潜力, 尤其进行木材生长性状、基本密度和心材宽度的种源选择, 可取得良好的效果; 6 个种源的树高、胸径、材积、枝下高、树皮厚度、边材年轮数、边材宽度、心材宽度、心材率、基本密度的广义遗传力分别为: 0.601 6、0.539 2、0.586 8、0.686 5、0.796 3、0.543 4、0.670 0、0.723 0、0.473 7、0.937 3, 说明柚木种源生长和与材质有关特性受中度或中上度遗传控制, 通过一定的强度选择, 能获得较高的遗传增益。本研究还从生长和与材质有关特性方面对 6 个种源进行综合评价, 为柚木优良种源的选育提供依据。

**关键词:**柚木; 种源; 材质; 遗传变异; 综合评价

中图分类号: S722.7

文献标识码: A

## Genetic Variation and Comprehensive Evaluation in Growth and Wood Relevant Properties of Different Provenances of *Tectona grandis*

LAI Meng, LIANG Kun-nan, HUANG Gui-hua, LIN Ming-ping, ZHOU Zai-zhi, MA Hua-ming

(Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou 510520, Guangdong, China)

**Abstract:** Research was carried out on the growth and wood relevant properties of six provenances of 27-year-old *Tectona grandis* in Ledong Country, Hainan Island. The results showed that there existed significant differences among these provenances in bark thickness, heartwood width, basic density as well as tree height, tree volume, height of fresh branch and sapwood width. For the DBH, the number sapwood rings and the heartwood content, there were not significant differences. It has great potentials to improve the growth and wood property of *T. grandis* in provenances level and the good results could be obtained in growth properties, basic density and sapwood width by provenance selection. The broad-sense heritabilities for tree height (0.601 6), tree girth (0.593 2), tree volume (0.586 8), height of fresh branch (0.686 5), bark thickness (0.796 3), sapwood number (0.543 4), sapwood width (0.670 0), heartwood width (0.723 0), heartwood content (0.473 7), and basic density (0.937 3) of the six provenances were calculated. The results indicated that growth and wood properties were controlled by moderate or high-moderate genetic heritability. So, high genetic gains could be obtained by inter-provenance selec-

收稿日期: 2010-07-15

基金项目: 国家“十一五”科技支撑项目“优质珍贵用材树种柚木、黄檀、福建柏新品种选育”(2006BAD01A1604)

作者简介: 赖猛(1986—), 男, 江西萍乡人, 在读硕士研究生, 主要从事林木遗传育种研究。

\* 本文材性测定得到华南农业大学李凯夫教授的指导, 华南农业大学谢成屏博士研究生和彭鹏祥硕士研究生参加了野外测定, 在此一并致谢!

\* \* 通讯作者: 梁坤南(1962—), 男, 广西北流人, 首席专家, 研究员, 主要从事林木遗传育种与栽培技术研究. E-mail: knliang@pub.guangzhou.gd.cn

tion with suitable intensity. In addition, the growth and wood relevant properties of the 6 provenances were comprehensively evaluated which could provides a base for the selection of *T. grandis* provenances.

**Key words:** *Tectona grandis*; provenance; wood properties; genetic variation; combination evaluation

国内外森林培育和利用的实践证明,以木材科学研究为基础,方可实现林木定向培育和木材充分、合理、高效的利用<sup>[1]</sup>。柚木(*Tectona grandis* L.)属马鞭草科(Verbenaceae)柚木属(*Tectona* L. f.)半落叶性大乔木,高可达35~45 m,直径0.9~2.5 m,兼具生长迅速、纹理美观、耐腐抗虫和易于加工等优良特性,在国际上被誉为最重要的热带用材树种之一。它用途广,可制造高级家具、单板、胶合板;用于造船、车辆、枕木、电杆、仪器箱盒、钢琴及风琴外壳等<sup>[2-4]</sup>。虽然国外已有柚木材质的研究报告<sup>[5-7]</sup>,但不同柚木种源进行生长与材质比较及种源综合评价研究鲜见报道。本研究在柚木种源试验林的基础上,测定分析其生长和与材质有关特性,揭示其种源变异规律和差异,对其进行种源综合评价,为柚木生长与材质育种和种质资源的合理开发利用提供科学依据。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 试验林概况

试验林位于海南省乐东县尖峰岭热带林业研究所试验站(18°42'N,108°49'E),该地属热带季风气候,年平均气温24.5℃,极端最高气温38.1℃,极端最低气温5.0℃;年降水量1500 mm,蒸发量1884 mm;土壤为花岗岩发育的褐色砖红壤,pH值5.8~6.0。原生植被为由热带季雨林彻底破坏后演变的热带半落叶灌丛和刺生性灌丛。

### 1.2 试验材料与设计

参试种源10个,其中,印度种源4个,泰国种源4个,尼日利亚种源1个,由丹麦林木种子中心提供,以引种尖峰岭的缅甸种源为对照,参试种源详情见表1。1983年8月造林,造林密度为2 m×4 m,完全随机区组设计,2株小区,14次重复。

表1 参试种源的生态背景

种源	产地	纬度(N)	经度(E)	海拔/m	年均气温/℃	年降水量/mm
3070	Sungam, Karala, India	77°20'	08°00'	700	-	-
3071	Staurt Mt., Tamilnadu, India	76°47'	10°30'	640	-	2 032
3072	Masale, Valley, Mysore, India	76°10'	11°55'	823	-	1 270
3074	Virmoli, Mysore, India	74°28'	15°12'	488	-	2 032
3078	Gabari, Nigeria	07°10'	03°52'	122	-	1 149
1006	Ban Cham Pul, Thailand	18°29'	99°46'	520	26.0	1 150
1007	Ban Makut Luang, Thailand	16°49'	98°36'	220	27.0	1 644
1008	Ban Pha Hai, Thailand	18°13'	99°59'	200	27.0	1 100
1009	Ngao, Lamphang, Thailand	18°40'	99°50'	350	26.0	1 260
8204	[缅甸]/陇川—尖峰	18°42'	108°09'	87	24.5	1 500

### 1.3 材质取样与测定方法

2010年4月对上述试验林进行每木测量和取样。用红外线测高仪和胸径围尺测量树高、枝下高及胸径,按 $V=0.4787 \times D^2 \times H$ 计算每木材积。在每株样木树高1.3 m处,用直径为5 mm的生长锥由南面从韧皮部直至髓心取一木芯,取样后将木芯放入塑料管中,并封口,标记后将样品带回实验室对树皮厚度、边材年轮数、心材率等指标按常规方法进行测量与分析<sup>[8]</sup>。木材基本密度按照国家准BT 1933-2009木材测定方法中的排水法进行。

### 1.4 统计与分析方法

因1006、1007、1008和1009四个泰国种源的保

存率较低,故仅对3070、3071、3072、3074、3078、8204 6个种源进行遗传变异分析及综合评价。利用EXCEL处理生长与材质数据;将百分数进行 $\text{Sin}^{-1}\sqrt{x}$ 转换后作方差分析,利用方差分析估算广义遗传力<sup>[9-10]</sup>;采用多因素综合评价法对柚木不同种源进行综合评价,根据育种要求对各评价指标授予相应的权重系数,得权重分配集A,利用隶属函数公式算出各种源各评价指标的隶属函数值,组成模糊矩阵R,将 $A \times R$ 可计算出各种源的综合评价,从而对不同种源进行生长和与材质有关特性的综合评价<sup>[11-13]</sup>;用Genstat和SPSS15.0统计软件进行分析处理。

## 2 结果与讨论

### 2.1 柚木不同种源生长和与材质有关特性的差异分析

表2表明:6个柚木种源树高均值14.73 m,变化范围13.41~16.04 m,6个种源间差异显著,种源3074树高均值最低,其与种源3070及3071差异显著,与其余三种源无明显差异;胸径均值20.36 cm,变化范围17.27~22.89 cm,6个种源间差异不显著;材积均值为0.382 m<sup>3</sup>,变化范围0.233~0.520 m<sup>3</sup>,6个种源间差异显著,缅甸种源8204最差,其与3071及3078差异显著,与其余三种源无明显差异;枝下高均值7.06 m,变化范围6.12~8.01 m,6个种源间差异显著,种源3078最优,其与3074及8204差异显著,与其余三种源的差异不显著;树皮厚度均值12.93 mm,变化范围12.39~14.57 mm,6个种源间差异极显著,缅甸种源8204相对较

薄,3070、3071及3078与8204有极显著差异,3072和3074与其无显著差异;边材年轮数均值5.46个,变化范围4.60~6.21个,6个种源间差异不显著;边材宽度均值16.60 mm,变化范围13.51~20.00 mm,种源间差异显著,种源3071相对较大,与3072及8204差异显著;心材宽度均值62.33 mm,变化范围42.7~74.9 mm,6个种源间差异极显著,种源8204与种源3070、3071及3078差异极显著,与3072和3078差异不显著;心材率均值75.91%,变幅70.88%~80.24%,6个种源间差异不显著;木材基本密度均值0.5674 g·cm<sup>-3</sup>,变化范围0.5118~0.6009 g·cm<sup>-3</sup>,6个种源间差异极显著,种源3074及8204与其余四种源差异极显著。本试验结果说明,在种源水平上对柚木进行生长和与材质有关特性的改良有较大潜力,尤其是生长性状、木材基本密度和心材宽度的种源选择,可取得良好的效果。

表2 柚木种源生长和与材质有关特性的方差分析与多重比较结果

种源号	树高 /m	胸径 /cm	材积 /m <sup>3</sup>	枝下高 /m	树皮厚度 /mm	边材年轮数 /个	边材宽度 /mm	心材宽度 /mm	心材率 /%	基本密度 /(g·cm <sup>-3</sup> )
3070	16.04a	22.26	0.426ab	7.22ab	14.57 aA	5.68	16.44abc	66.8aA	80.24	0.600 9aA
3071	15.92a	22.89	0.520a	7.38ab	14.18 abA	6.21	20.00a	74.9aA	74.45	0.585 4aA
3072	13.73ab	19.34	0.350ab	7.37ab	12.39 bcAB	4.60	14.93 bc	60.4aAB	77.48	0.582 1aA
3074	13.41b	19.43	0.316ab	6.12b	12.44 bcAB	5.13	15.83abc	60.9aAB	77.87	0.542 1bB
3078	15.61ab	20.64	0.448a	8.01a	13.42 abA	5.71	18.91abc	68.3aA	74.51	0.581 9aA
8204	13.64ab	17.27	0.233b	6.23b	10.57 cB	5.45	13.51 c	42.7bB	70.88	0.511 8cB
均值	14.73	20.36	0.382	7.06	12.93	5.46	16.60	62.33	75.91	0.567 4
F值	2.51*	2.17 <sup>ns</sup>	2.42*	3.19*	4.91**	2.19 <sup>ns</sup>	3.03*	3.61**	1.90 <sup>ns</sup>	15.95**
F检验	0.035	0.064	0.041	0.011	<0.001	0.062	0.014	0.005	0.103	<0.001

注: \*\*为0.01水平差异显著,多重比较标大写字母; \*为0.05水平差异显著,多重比较标小写字母; ns为差异不显著。

### 2.2 柚木种源内个体间生长和与材质有关特性的变异

表3表明:各生长和与材质有关特性在种源内个体间存在很大的变异。在6个种源中,种源3070的10个性状的变异系数都最低,说明该种源内个体间差异不大,个体的生长和与材质有关特性等比较稳定。在10个性状中,材积变异系数的变化范围最大,达64.31%~119.93%,种源内个体间差异大,如种源3072单株材积变异系数达119.93%,个体间单株材积变化幅度为0.035~1.520 m<sup>3</sup>,最优单株材积是最差单株材积的43.4倍,同样种源3071和3078也是如此,说明种源内进行单株选择,会取得很好的选择效果;而基本密度和心材率的变异系数变化范围最小,分别为6.29%~10.12%和5.85%

~13.53%,说明种源内个体间差异不大,但基本密度种源间差异极显著,因此,通过基本密度的种源选择会取得更好的效果。

### 2.3 柚木种源生长和与材质有关特性的相关性分析

数量性状的遗传受到多基因的遗传控制,性状间由于基因之间的相互作用以及多因一效和一因多效的作用,使得性状间彼此关联,相互影响,只有了解其相关性,才能在育种改良中权衡取舍,提高林木改良的效率<sup>[15]</sup>。从相关矩阵(表4)可看出:生长性状间极显著相关;生长性状与材质性状(边材年轮数、基本密度除外)显著或极显著相关,表明两类性状可进行联合选择。各材质性状间,除边材年轮数、基本密度外,相关性紧密,是联合选择优良材质种源

的重要指标。

试验结果表明:木材密度、边材年轮数在遗传上可能是相互独立的,受不同遗传机制的控制,这两个性状可以进行独立选择。树高、胸径、材积、枝下高

等生长性状与树皮厚度、边材宽度、心材宽度、心材率等材质性状彼此之间相关显著或极显著,是联合选择优良种源的重要指标。

表 3 柚木种源各种性状的变幅与变异系数

种源号	树高/m	胸径/cm	材积/m <sup>3</sup>	枝下高/m	树皮厚度/mm	
3070	变幅	11 ~ 22	11.4 ~ 33.7	0.105 ~ 1.087	4.5 ~ 10.0	11.12 ~ 21.72
	变异系数	20.1%	26.64%	64.31%	25.77%	20.77%
3071	变幅	7 ~ 24	9.2 ~ 38.5	0.034 ~ 1.703	2 ~ 13.0	6.24 ~ 24.48
	变异系数	30.7%	38.03%	86.96%	42.79%	28.02%
3072	变幅	7 ~ 19.5	9.3 ~ 42.0	0.035 ~ 1.520	3.6 ~ 11.0	4.39 ~ 25.28
	变异系数	30.5%	47.43%	119.93%	35.06%	42.54%
3074	变幅	6.3 ~ 19	8.5 ~ 31.0	0.024 ~ 0.714	3.0 ~ 9.0	5.41 ~ 23.63
	变异系数	30.3%	37.25%	74.75%	30.78%	27.92%
3078	变幅	7 ~ 22	7.4 ~ 43.0	0.018 ~ 1.947	4.0 ~ 12.0	5.1 ~ 20.78
	变异系数	33.6%	43.98%	115.62%	26.48%	30.35%
8204	变幅	8 ~ 19	9.6 ~ 27.5	0.035 ~ 0.688	3.0 ~ 10.0	6.66 ~ 16.65
	变异系数	23.5%	28.81%	75.75%	34.44%	30.87%

  

种源号	边材年轮数	边材宽度/mm	心材宽度/mm	心材率/%	基本密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	
3070	变幅	3 ~ 10	9.29 ~ 30.24	34.9 ~ 102.1	68.7 ~ 88.6	0.505 ~ 0.657
	变异系数	32.4%	30.64%	30.8%	5.85%	6.29%
3071	变幅	2 ~ 11	6.37 ~ 38.76	18.0 ~ 137.7	46.2 ~ 89.9	0.499 ~ 0.724
	变异系数	35.2%	47.54%	48.8%	9.29%	9.20%
3072	变幅	2 ~ 8	6.64 ~ 32.25	13.1 ~ 161.6	50.1 ~ 83.4	0.472 ~ 0.657
	变异系数	46.9%	47.06%	68.3%	9.75%	10.12%
3074	变幅	2 ~ 10	4.09 ~ 37.63	15.9 ~ 140.0	50.6 ~ 90.5	0.441 ~ 0.654
	变异系数	41.0%	52.23%	49.2%	10.62%	9.18%
3078	变幅	2 ~ 9	6.68 ~ 40.65	16.4 ~ 150.1	48.5 ~ 85.8	0.497 ~ 0.640
	变异系数	39.3%	48.69%	62.4%	10.64%	6.52%
8204	变幅	2 ~ 11	4.88 ~ 25.19	7.8 ~ 77.9	31.2 ~ 88.3	0.444 ~ 0.586
	变异系数	44.5%	39.18%	38.7%	13.53%	8.81%

表 4 柚木种源生长和与材质有关特性的相关矩阵

	树高	胸径	材积	枝下高	树皮厚度	边材年轮数	边材宽度	心材宽度	心材率	基本密度
树高	1									
胸径	0.658 **	1								
材积	0.708 **	0.925 **	1							
枝下高	0.639 **	0.499 **	0.504 **	1						
树皮厚度	0.415 **	0.633 **	0.552 **	0.274 *	1					
边材年轮数	0.283 *	0.007 <sup>ns</sup>	0.077 <sup>ns</sup>	0.028 <sup>ns</sup>	0.025 <sup>ns</sup>	1				
边材宽度	0.522 **	0.683 **	0.699 **	0.407 **	0.507 **	0.396 **	1			
心材宽度	0.502 **	0.740 **	0.780 **	0.516 **	0.682 **	0.166 <sup>ns</sup>	0.769 **	1		
心材率	0.334 **	0.329 **	0.334 **	0.397 **	0.260 **	-0.149 <sup>ns</sup>	0.130 <sup>ns</sup>	0.422 *	1	
基本密度	0.160 <sup>ns</sup>	0.150 <sup>ns</sup>	0.081 <sup>ns</sup>	0.053 <sup>ns</sup>	0.380 **	0.018 <sup>ns</sup>	0.155 <sup>ns</sup>	0.073 <sup>ns</sup>	0.086 <sup>ns</sup>	1

注: \*\* 表示 0.01 水平显著相关; \* 表示 0.05 水平显著相关; ns 表示不相关。

2.4 柚木种源生长和与材质有关特性的综合评价

速生、丰产、优质、高效是林木定向培育的最终目标,种源选择是林木遗传改良简单有效的手段,也是林木育种、材质改良的基础<sup>[16]</sup>。为了选择材质与生长兼优的柚木种源,研究中采用了多因素综合评价法进行评价。根据育种的主要目标,将材积、枝下

高、心材宽度、心材率、基本密度等指标分别授予相应的权重系数,得权重分配集 A(0.2,0.1,0.1,0.3,0.3)。隶属函数计算公式为:  $U(X) = (X - X_{min}) / (X_{max} - X_{min})$ 。式中:  $U(X)$  为隶属函数值,  $X$  代表性状测定值,  $X_{min}$ 、 $X_{max}$  为所有参试种源某一性状指标的最小值和最大值。分别将材积、枝下高、心材宽

度、心材率、基本密度等指标值代入隶属函数公式,得模糊矩阵 R。根据公式  $B = A \times R$ , 得出综合评判集  $B = (0.559\ 2, 0.516\ 0, 0.501\ 1, 0.446\ 1, 0.507\ 0,$

$0.359\ 2)$ 。由综合评判集 B 可知:参试种源生长和与材质有关特性综合指标优劣排序为 3070, 3071, 3078, 3072, 3074, 8204。

$$R = \begin{pmatrix} 3070 & 3071 & 3072 & 3074 & 3078 & 8204 \\ 0.211\ 5 & 0.260\ 2 & 0.172\ 1 & 0.154\ 5 & 0.222\ 9 & 0.111\ 5 \\ 0.474\ 5 & 0.489\ 1 & 0.488\ 2 & 0.374\ 5 & 0.546\ 4 & 0.384\ 5 \\ 0.383\ 6 & 0.432\ 3 & 0.342\ 0 & 0.345\ 3 & 0.393\ 4 & 0.226\ 9 \\ 0.872\ 0 & 0.729\ 3 & 0.780\ 4 & 0.787\ 0 & 0.730\ 4 & 0.669\ 1 \\ 0.565\ 0 & 0.510\ 2 & 0.498\ 6 & 0.357\ 2 & 0.497\ 9 & 0.250\ 2 \end{pmatrix}$$

### 2.5 柚木种源生长和与材质有关特性的遗传参数估算

根据方差分析,估算出种源树高、胸径、材积、枝下高、树皮厚度、边材年轮数、边材宽度、心材宽度、心材率、基本密度的广义遗传力分别为:0.601 6、0.539 2、0.586 8、0.686 5、0.796 3、0.543 4、0.670 0、0.723 0、0.473 7、0.937 3。此结果表明:柚木种源生长和与材质有关特性受中度或中上度遗传控制,通过一定的强度选择,能获得较高的遗传增益,这对柚木育种改良计划有重要的意义。

## 3 结论

(1)方差分析表明:种源间的树皮厚度、心材宽度、基本密度差异极显著,树高、材积、枝下高、边材宽度差异显著,而胸径、边材年轮数及心材率差异不显著,表明在种源水平上对柚木进行生长和与材质有关特性的改良有很大的潜力,尤其是生长性状、木材基本密度和心材宽度的种源选择,可取得良好的效果。

(2)相关分析表明:种源生长性状间极显著相关;生长性状和与材质有关特性显著或极显著相关,但边材年轮数、基本密度除外,表明两类性状可进行联合选择。各材质有关特性间,除边材年轮数、基本密度外,相关性紧密,是联合选择优良材质种源的重要指标。边材年轮数、基本密度在遗传上可能是相互独立的,受不同遗传机制的控制,这两个性状可进行独立选择。

(3)综合评价法评价结果为:3070 综合评价值最高,为最优种源;8204 综合评价值最低,为最差种源;其余种源优劣排序为 3071, 3078, 3072, 3074。

(4)6 个种源的树高、胸径、材积、枝下高、树皮厚度、边材年轮数、边材宽度、心材宽度、心材率、基本密度的广义遗传力分别为:0.601 6、0.539 2、0.586 8、0.686 5、0.796 3、0.543 4、0.670 0、0.723 0、

0.473 7、0.937 3。此结果表明:柚木种源生长和与材质有关特性受中度或中上度遗传控制,通过一定的强度选择,能获得较高的遗传增益。

### 参考文献:

- [1] 鲍甫成,江泽慧. 中国主要人工林树种木材性质[M]. 北京:中国林业出版社,1998
- [2] 陈存及,陈伙法. 阔叶树种栽培[M]. 北京:中国林业出版社,2000
- [3] 刘 鹏,杨家驹,卢鸿俊. 东南亚热带木材[M]. 北京:中国林业出版社,1993
- [4] 周铁锋. 中国热带主要经济树木栽培技术[M]. 北京:中国林业出版社,2001:288-291
- [5] Thulasidas P K, Bhat K M, Okuyama T. Heartwood colour variation in home garden teak (*Tectona grandis*) from wet and dry localities of kerala, India[J]. Journal of Tropical Forest Science, 2006, 18(1): 51-54
- [6] Pérez Cordero L D, Kanninen M. Heartwood, sapwood and bark content, and wood dry density of young and mature teak (*Tectona grandis*) trees grown in Costa Rica[J]. Silva Fennica, 2003, 7(1): 45-54
- [7] Bhat K M, Priya P B. Influence of provenance variation on wood properties of teak from the western chat region in India[J]. Journal, 2004, 25(3): 273-282
- [8] Varghese M, Nicodemus A, Ramteak P K, et al. Variation in growth and wood traits among nine populations of teak in peninsular India [J]. Insitute of forest genetics and tree breeding, 2000, 49(5): 201-205
- [9] 解荷锋,于中奎,陈代良,等. 黑杨纸浆材品种的材性遗传分析和选择[J]. 山东林业科技, 1996(1): 1-5
- [10] 沈熙环. 林木育种学[J]. 北京:中国林业出版社,1990:54-70
- [11] 雷晓宾,梁晓伟,王向阳,等. 多因素综合评判法在玉米杂交种评价中的应用[J]. 河南科技学院学报, 2006, 34(1): 26-28
- [12] 陈荣敏,杨学举,梁凤山,等. 利用率属函数法综合评价冬小麦的抗旱性[J]. 河北农业大学学报, 2002, 25(2): 7-10
- [13] 马亚琴,孔祥丽,曹连甫,等. 用多因素模糊综合评价法评价棉花区试品种[J]. 石河子大学学报, 2004, 22(2): 110-112
- [15] 姜笑梅,骆秀琴,殷亚芳. 不同湿地松种源木材材性遗传变异的研究[J]. 林业科学, 2002, 38(3): 130-135
- [16] 许有明,鲍春红,周志翔,等. 湿地松种源生长量、材性的变异与优良种源综合选择[J]. 东北林业大学学报, 2001, 29(5): 18-21