

大花序桉木材抗弯弹性模量变异研究

项东云^{1,2}, 王明庥¹, 黄敏仁¹, 陈健波², 阚荣飞³, 张照远², 陈东林⁴

(1 南京林业大学 森林资源与环境学院, 江苏 南京 210037; 2 广西林业科学研究院, 广西 南宁 530002; 3 广西大学 林学院, 广西 南宁 530001; 4 广西国营东门林场, 广西 扶绥 532108)

摘要:用伐倒木取样,按国家标准制作试件,采用 SANS 型微机控制电子万能试验机测定木材抗弯弹性模量 (Modulus of elasticity, MOE),研究了 18 年生大花序桉 *Eucalyptus cloeziana* 11 个种源木材 MOE 在种源间、单株间、树干高度上的变异情况。结果表明,大花序桉部分种源间、株间和高度间的木材 MOE 均有显著差异,B47 种源的木材 MOE 最大,为 26.71 GPa;12195 号种源的最小,为 23.50 GPa,并显著小于 B47、D47 和 17008 号这 3 个种源。11 个种源中有 7 个种源的株间木材 MOE 差异达显著水平。各种源内树干高度间的木材 MOE 只有 2 个种源的高度间差异显著;各种源木材 MOE 沿树干高度的变化趋势有 2 种:有 7 个种源随树干高度的增加而增大,另 4 个种源沿树干高度呈先上升后下降的趋势。

关键词:大花序桉; 种源; 弹性模量; 变异

中图分类号:S781.23

文献标志码:A

文章编号:1001-411X(2012)01-0073-04

Variations of Modulus of Elasticity in *Eucalyptus cloeziana* Wood

XIANG Dong-yun^{1,2}, WANG Ming-xiu¹, HUANG Min-ren¹,

CHEN Jian-bo², KAN Rong-fei³, ZHANG Zhao-yuan², CHEN Dong-lin⁴

(1 College of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China;

2 Guangxi Forest Research Institute, Nanning 530002, China; 3 Forestry College of Guangxi

University, Nanning 530001, China; 4 Guangxi Dongmen State Forest Farm, Fusui 532108, China)

Abstract: Variations of modulus of elasticity (MOE) of 18-year-old *Eucalyptus cloeziana* wood in 11 provenances were investigated according to different provenances, individuals and stem heights. MOE was measured by SANS-type computer-controlled electronic universal testing machine. The samples from felled trees were done by the national standard. The results showed that there were significant differences among provenances, individuals and stem heights in *E. cloeziana* wood. Provenance B47 had the largest MOE, at 26.71 GPa. Provenance 12195 had the smallest of all, at 23.50 GPa, which was significantly smaller than that of provenance B47, D47 and 17008. 7 out of 11 provenances were significantly different in individual. 2 different provenances had significant differences in MOE between stem heights. 2 kinds of tendencies on MOE along stem heights were evident: 7 provenances showed an increase as the stem height increased; the other 4 provenances increased first then decreased.

Key words: *Eucalyptus cloeziana*; provenances; modulus of elasticity (MOE); variations

大花序桉 *Eucalyptus cloeziana* 为桃金娘科伞房属树种,自然分布于澳大利亚,我国引种大花序桉已有 30 多年的历史。早在广西东门桉树林项目执行期

间(1983—1989 年),大花序桉就表现出较大的生长潜力,其生长量比当时的当家造林树种——窿缘桉 *E. exserta* 大 77.2%^[1]。在巴西,树龄为 20~22 年,

收稿日期:2011-03-09

作者简介:项东云(1960—),男,教授级高级工程师,E-mail: xiang_dongyun@yahoo.com.cn

基金项目:“十一五”国家林业科技支撑计划专题(2006BAD01A1504);“十五”广西林业科技项目(林科学[2002]第 15 号)

胸径 17~40 cm 的大花序桉主要用于锯材生产^[2]. 近 10 年来广西把该树种作为锯材树种进行改良研究,开展了种源、家系试验,测试它们的生长变异程度,初步结果表明,大花序桉的树高、胸径、单株材积等生长性状无论在种源间,还是家系间均存在显著差异^[3]. 此外,大花序桉木材性质变异情况是另一方面的研究内容. 项东云等^[4]以 18 年生的大花序桉种源试验林的木材为研究对象,对木材基本密度、弦向干缩率、径向干缩率等物理性质进行了测定分析,发现不同种源间、相同种源不同树干高度间所测定的物理性质指标均存在显著的差异. 随后,陈健波等^[5]研究了 18 年生的大花序桉种源试验林木材的顺纹抗压强度,分析了种源间、单株间、树干高度上的木材顺纹抗压强度的变异情况,结果大花序桉部分种源间、株间及高度间木材顺纹抗压强度均有显著差异, B85 号种源的顺纹抗压强度最大,为 83.4 GPa; 12195 号种源的最小,为 69.8 GPa; 各种源木材顺纹抗压强度沿树干高度的变化并不相同,有的呈递增趋势,有的呈递减趋势,有的先增后减,有的先减后增. 此前,罗玉华^[6]对 12 年生大花序桉 4 个家系的木材表面性状进行了研究,分析了家系间、株间、树高方向、心边材的变异. Jiang ze-hui 等^[7]对大花序桉进行了吸声性能的研究,认为大花序桉板材的厚度影响其吸声性能. 周少英等^[8]对广西东门林场大花序桉木材干缩特性及变性特性进行了研究. 姜笑梅等^[9]对 16 年生大花序桉的木材解剖、物理力学性质进行了不同树干高度、不同径向位置以及同一高度的南北向的研究.

弹性模量 (Modulus of elasticity, MOE) 是衡量材料产生弹性变形难易程度的指标,其值越大,材料刚度越大,亦即在一定应力作用下,发生弹性变形越小. 木材抗弯弹性模量代表木材的劲度或刚性,是木材产生一个一致的正应变所需要的正应力,亦即在比例极限之内,抵抗弯曲变形的能力. MOE 是结构用材最重要的力学指标之一,而对于大花序桉木材 MOE 的研究鲜见报道. 为了解大花序桉木材 MOE 水平及其变异情况,本文以 18 年生 11 个大花序桉种源木材为研究对象,进行 MOE 研究,以便为大花序桉木材利用与改良提供参考依据.

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 样木选择 样木所在的林分为广西东门林场在执行中澳技术合作东门桉树示范林项目期间建立的 11 个大花序桉种源试验林 (1989 年, 试验号:

Expt55), 其中: 10 个种源从大花序桉原产地澳大利亚引进; 1 个为次生种源 (种源号 D47), 采自合作项目建立的树种与施肥试验 (1983 年, 试验号: Expt1) 的大花序桉种源小区, 为原卡特威尔种源 (种源号 B47) 的自由授粉子代, 具体见表 1. 采伐样木时, 树龄为 18 年生. 试验样木按照国家标准^[10]进行采集, 即每个种源抽取 5 株平均木作为样木, 11 个种源, 共 55 株.

1.1.2 木段截取与试验样品制作 伐倒木后, 从离地 1.3 m 处起每隔 2 m 截取木段, 共取 3 段, 第 1 段为 1.3~3.3 m 处, 第 2 段为 5.3~7.3 m 处, 第 3 段为 9.3~11.3 m 处. 经干燥室干燥后, 按国家标准^[10]的有关规定制作试样.

表 1 大花序桉种源基本情况

Tab. 1 Basic profile of *Eucalyptus cloeziana*

种源号	种源地	纬度	经度
B47	Cardwell (QLD)	18°20'S	146°10'E
14127	South of Ravenshoe	17°43'S	145°29'E
B85	East of Watsonville	17°23'S	145°19'E
14425	Gympie	26°10'S	152°48'E
17008	SF393 Woondum	26°14'S	152°50'E
12196	Blackdown Tableland	23°44'S	149°07'E
14427	Stoney Creek RD, Blackdown Tableland	23°48'S	149°01'E
B82	South East Corner of Eungella Holding (QLD)	21°15'S	148°25'E
B55	SF 28 Monto	25°00'S	151°00'E
12195	Hungry Hills, Eidsvold, South of Monto	25°18'S	151°22'E
D47	Dongmen State Forest Farm, Guangxi	22°23'N	107°30'E

1.2 测定方法

MOE 测定基本按照国家标准^[10]所规定的方法采用 SANS 型微机控制电子万能试验机进行. 所不同的是: 测定 MOE 时, 采用一点加载法, 即在试样中央加载. 计算公式为:

$$E_w = \frac{l^3}{4 \times b \times h^3} \times \frac{\Delta f}{\Delta s}$$

式中: E_w 为试件的弹性模量/MPa; l 为两支座间的距离/mm; b 为试件宽度/mm; h 为试件厚度/mm; Δf 为在载荷变形图中直线段内力的增加量/N; Δs 为在力 $f_1 \sim f_2$ 区间试件变形量/mm.

1.3 数据统计与分析方法

各测定性状的平均值、标准差和变异系数采用 EXCEL 软件处理, 对于各主要研究性状的方差分析、多重比较, 采用 SPSS8.0 (Statistical program for social sciences) 软件处理.

2 结果与分析

2.1 种源间木材 MOE 差异

表 2 为参试 11 个大花序桉种源木材 MOE 的数值统计, MOE 平均值范围是 23.50~26.71. 其中,

B47 种源木材的 MOE 均值最大,为 26.71 GPa,然后依次是 D47、17008 和 14127 号种源,均值分别是 26.28、26.16 和 25.94 GPa; MOE 均值最小的是 12195 号种源,为 23.50 GPa.

表 2 各种源木材抗弯弹性模量及其变异系数

Tab. 2 MOE value and coefficient of variation of each provenance

种源号	E_w / GPa			变异 系数/%
	平均值 ¹⁾	最小值	最大值	
12195	23.50c	21.79	25.50	6.24
B55	23.54c	22.72	25.06	4.14
B82	23.81bc	22.12	25.87	6.83
14425	24.10bc	21.18	27.11	11.41
B85	25.04abc	20.83	29.35	12.37
14427	25.23abc	22.00	27.29	8.11
12196	25.74abc	24.66	26.35	2.67
14127	25.94abc	21.12	30.38	13.14
17008	26.16ab	21.96	30.13	11.55
D47	26.28ab	20.33	30.41	15.09
B47	26.71a	21.84	30.47	11.80

1) 同列数据后,凡具有一个相同小写英文字母者表示差异不显著(Duncan's 法, $P > 0.05$).

从变异系数上看,同一种源内,D47 种源的变异系数最大,为 15.09%; 12196 号种源的变异系数最小,仅为 2.67%; 11 个种源中有 6 个种源(占参试种源数 54.5%)的变异系数超过 10%,其余 5 个种源的变异系数在 10% 以下.由此可见,不同种源木材的 MOE 不同,而且同一种源内也有差异,这是种源间遗传差异和个体生长差异所致.

方差分析结果表明,11 个大花序桉种源木材 MOE 在种源间有显著差异(表 3). 邓肯氏多重比较发现,这种差异的具体表现是,种源 B47 显著高于种

源 14425、B82、B55 和 12195,而与 D47 等 6 个种源比较无显著差异;种源 D47 和种源 17008 又显著高于种源 B55 和 12195,而与其他 8 个种源间比较无显著差异.其他种源间的差异情况见表 2.

表 3 种源间木材抗弯弹性模量方差分析结果¹⁾

Tab. 3 Variance analysis of MOE among provenances

变异来源	离差平方和	自由度	均方	F 值	P 值
种源间	208.007	10	20.801	2.366 *	0.012
误差	1 353.985	154	8.792		
总和	1 561.992	164			

1) * 表示 0.05 水平差异显著.

2.2 种源内株间木材 MOE 差异分析

从以上种源内的木材 MOE 变异系数可知,种源内存在着株间变异.通过分别对大花序桉 11 个种源进行株间木材 MOE 方差分析,结果表明,其中有 7 个种源的株间 MOE 差异达 5% 显著水平,它们是 14127、14425、14427、17008、B47、B85 和 D47 号种源,这 7 个种源也是种源内变异系数最大的种源,正好与以上的分析相吻合.而其余 4 个种源的株间差异不显著(表 4).

2.3 MOE 沿树干高度的变异

从表 5 可知,各种源内树干高度间的木材 MOE 有一定差异,但表 4 的方差分析表明,只有 12195 和 14127 这 2 个种源的高度间差异显著,而其他 9 个种源树干高度间的木材 MOE 差异不显著.从表 5 各种源 3 个高度的 MOE 值来看,沿树干高度的变化趋势有 2 类,其中一类是木材弹性模量随树干高度的增加而增大,属于该类的种源有 12195、14127、14425、14427、B47、B85、D47 共 7 个;另一类是沿树干高度呈先上升后下降的趋势,包括其余的 4 个种源.

表 4 各种源单株间及树干高度间抗弯弹性模量方差分析结果¹⁾

Tab. 4 Analysis of variance for MOE among individuals and tree heights

种源号	离差平方和		自由度		均方		F 值		P 值	
	单株间	高度间	单株间	高度间	单株间	高度间	单株间	高度间	单株间	高度间
12195	25.781	29.157	4	2	6.445	14.578	3.095	7.001 *	0.081	0.017
12196	5.665	3.330	4	2	1.416	1.665	0.522	0.614	0.723	0.565
14127	139.452	15.731	4	2	34.863	7.865	20.737 *	4.678 *	0.000	0.045
14425	90.761	6.616	4	2	22.690	3.308	5.097 *	0.743	0.024	0.506
14427	50.195	3.694	4	2	12.549	1.847	4.662 *	0.686	0.031	0.531
17008	109.429	0.265	4	2	27.357	0.133	4.630 *	0.022	0.031	0.978
B47	119.160	31.638	4	2	29.790	15.819	7.571 *	4.020	0.008	0.062
B55	11.396	2.104	4	2	2.849	1.052	0.380	0.140	0.817	0.871
B82	31.740	9.957	4	2	7.935	4.978	3.300	2.070	0.071	0.189
B85	115.222	15.806	4	2	28.806	7.903	6.584 *	1.806	0.012	0.225
D47	188.611	16.861	4	2	47.153	8.430	12.776 *	2.284	0.001	0.164

1) * 表示 0.05 水平差异显著.

表5 大花序桉各种源不同树干高度抗弯弹性模量

Tab.5 MOE of different tree heights of each provenance

种源号	E_w/GPa		
	1.3~3.3 m	5.3~7.3 m	9.3~11.3 m
12195	21.54	24.28	24.67
12196	25.07	26.12	26.02
14127	24.89	25.61	27.33
14425	23.59	23.68	25.04
14427	24.53	25.56	25.60
17008	26.19	26.30	25.98
B47	24.69	27.38	28.05
B55	23.16	24.05	23.42
B82	23.05	24.94	23.43
B85	23.60	25.61	25.91
D47	24.79	26.87	27.17

3 讨论与结论

大花序桉种源间木材抗弯弹性模量有显著的差异,11个种源中,木材 MOE 最大的是 B47 种源,达 26.71 GPa;其次是 D47 种源,为 26.28 GPa;最小的种源是 12195 和 B55,MOE 分别为 23.50 和 23.54 GPa,均显著低于 B47、D47、17008 这 3 个种源.由于种源不同,木材 MOE 有差异,在火炬松 *Pinus taeda*、白桦 *Betula platyphylla* 等树种的种源间木材 MOE 差异也同样存在,种源间的差异程度达显著水平^[11-12],说明木材性状在同一树种内部的不同种源间仍有较大的选择空间.作为种源选择,有望获较好的选择效果.

MOE 变异不仅在种源间存在,同时也存在于单株间,但不同种源有不同的表现,有的种源单株间差异显著,有的则不显著.本研究的 11 个种源有 7 个种源(占参试种源数的 63.6%)的株间木材 MOE 差异显著,说明大部分种源存在株间差异显著的现象.有的树种株间差异大于种源间差异,如徐有明等^[11]对 30 个火炬松种源间及种源内株间的木材 MOE 变异研究表明,株间差异大于种源间差异,因此在种源选择基础上,应结合改良需要,进行单株选择,以获取更高的改良效果.

MOE 沿树干高度的变异有少量种源差异显著,而大部分种源高度间无显著差异.但存在 2 种变化趋势:一种为种源随树干高度的增加而增大;另一种为种源则随树干高度先增加后下降,这与马占相思 *Acacia mangium* 木材随树干高度的变化趋势相似,即以树干中部的 MOE 较大,而树干基部和上部的均较

小^[13].木材是一种变异性较大的材料,即同一株树不同部位木材的物理、力学性质不同,这与人工制造或合成的材料在物理、力学性质上具有很好的同一性是不同的,这是研究不同部位木材性质的一个主要原因,对于合理利用木材、提高木材的利用率具有重要意义.

本文仅研究了木材 MOE 这一木材力学性状,未与其生长性状、木材物理性状及其他力学性状联合分析,有待于进一步完善研究,这样才能对该树种木材性质作出全面的评价,为利用该木材提供更准确可靠的信息.

参考文献:

- [1] 欧阳权,黄刃石.开发桉树新技术[M]//韦炬.桉树技术的开拓性研究及其新发展.南宁:广西民族出版社,1992:25.
- [2] 殷亚方,杨民胜,王莉娟,等.巴西桉树人工林资源及其实木加工利用[J].世界林业研究,2005(1):62.
- [3] 叶露,陈健波,项东云,等.大花序桉种源/家系试验的早期研究[J].广西林业科学,2007,36(4):187.
- [4] 项东云,陈健波,申文辉,等.大花序桉种源间木材物理性质变异研究[J].广西林业科学,2008,37(2):57.
- [5] 陈健波,项东云,张照远,等.大花序桉木材顺纹抗压强度变异研究[J].林业科技开发,2009,23(4):63.
- [6] 罗玉华.桉树木材表面性状的研究[D].长沙:中南林学院,2005.
- [7] JIANG Ze-hui, ZHAO Rong-jun, FEI Ben-hua. Sound absorption property of wood for five eucalypt species [J]. Journal of Forestry Research, 2004, 15(3): 207-210.
- [8] 周少英,徐峰.广西东门林场五种桉树木材干缩和变形特性研究[C]//中国林学会木材科学分会.中国林学会木材科学分会第九次学术研讨会论文集.哈尔滨:东北林业大学出版社,2004.
- [9] 姜笑梅,叶克林,吕建雄,等.中国桉树和相思人工林木材性质与加工利用[M].北京:科学出版社,2007.
- [10] 国家技术监督局. GB1928—91 木材物理力学性质试验方法[S].北京:中国标准出版社,1991.
- [11] 徐有明,林汉,刘昭息.火炬种源木材抗弯弹性模量和抗弯强度的变异及其关系[J].华中农业大学学报,1996,15(1):80.
- [12] 王淑娟,李黎,鹿振友,等.五种白桦木材的抗弯强度和抗弯弹性模量的研究[J].中国林业,2001(5):27-29.
- [13] 梁宏温,徐峰,牟继平.马占相思木材物理力学性质的研究[J].广西农业生物科学,2004,23(4):327-328.

【责任编辑 李晓卉】