

文章编号: 1001-1498(2006)05-0621-04

大木竹竹材力学性质的研究^{*}

苏文会^{1,2}, 顾小平^{1**}, 马灵飞³, 官凤英², 岳晋军¹

(1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400; 2. 国际竹藤网络中心, 北京 100102;
3. 浙江林学院工程学院, 浙江 临安 311300)

摘要:在浙江平阳竹木混交林内, 采集 3 年生大木竹, 按标准制成试样, 测定了丛生竹种大木竹竹材的各力学性质, 并以材性优良的毛竹为参比进行分析。结果发现: 大木竹竹材的顺纹抗拉、顺纹抗压、抗劈力和抗弯弹性模量分别为 238.0 MPa, 75.1 MPa, 45.6 N·mm⁻¹ 和 12.6 GPa, 比毛竹材的相应值大或与毛竹相当, 顺纹抗剪和抗弯强度较毛竹材为低。大木竹的各力学性质间有较密切的相关性, 顺拉强度、顺压强度、顺剪强度、抗劈力、抗弯强度为 3.2 1.0 0.2 0.6 1.8。该研究结果可为大木竹的合理开发利用提供理论依据。

关键词:大木竹; 力学性质; 抗压; 竹板材

中图分类号: S795.9

文献标识码: A

Study on Wood Mechanical Properties of *Bambusa wenchouensis*

SU Wen-hui^{1,2}, GU Xiao-ping^{1**}, MA Ling-fei³, GUAN Feng-ying², YUE Jin-jun¹

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, CAF, Fuyang 311400, Zhejiang, China;
2. International Center for Bamboo and Rattan, Beijing 100102, China;
3. School of Engineering, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: Compared with Moso bamboo, *Phyllostachys edulis*, the wood mechanical properties of *Bambusa wenchouensis*, a sympodial bamboo, were studied. The result showed that its tensile strength parallel to grain (t), compressive strength parallel to grain (c), cleavage strength (C) and modulus of elasticity in static bending (MOE) were 238.0 MPa, 75.1 MPa, 45.6 N·mm⁻¹ and 12.6 GPa respectively, which were larger than or almost equal to those of Moso bamboo. Its shearing strength parallel to grain (s) and bending strength (MOR) were smaller. The wood mechanical properties of *B. wenchouensis* had good relativity with each other, and the $t/c/s/C/MOR$ was equal to 3.2 1.0 0.2 0.6 1.8. This study could lay theoretical foundation for proper exploitation and utilization of *B. wenchouensis*.

Key words: *Bambusa wenchouensis*; mechanical property; compressive strength; bamboo board

大木竹 (*Bambusa wenchouensis* (Wen) Q. H. Dai), 箬竹属, 单竹亚属, 自然分布于浙南、闽北和闽东地区。该竹秆形高大、竹壁厚、产材量高。据文献

[1, 2] 报道和本研究调查, 大木竹一般竹株胸径 7 ~ 11 cm, 竹壁厚达 10 ~ 17 mm, 节间长 30 ~ 65 cm, 年产材量可为毛竹 (*Phyllostachys edulis* (Carr.) H. de

收稿日期: 2005-11-08

基金项目: 浙江省科技厅重点项目“区域优良竹种的开发”(011034)和农业科技成果转化项目“竹藤培育及营林技术示范”(2004670040400)的部分内容

作者简介: 苏文会(1976—), 女, 河北石家庄人, 硕士。

* 本研究试样的采集由浙江省平阳县南湖乡林业站协助完成, 特此致谢!

** 通讯作者

Lehaie)等竹种的 2 倍多,是优良的大型丛生竹种。

近年来,随着竹产业的迅速发展,竹原料供需矛盾日趋突出,加上我国长期以来竹资源利用模式单一,尤其是竹板材加工几乎完全依赖毛竹,使得这一矛盾进一步加剧。本研究针对我国当前竹资源利用的现况,从大木竹生物量大、竹壁厚、秆形较好等特点和优势出发,对该竹竹材的抗拉、抗压、抗弯、抗剪和抗劈等力学强度进行了系统研究,并与材性优良的毛竹材的力学性能作比较,旨在评价大木竹作为板材原料的可能性。

1 材料与方 法

1.1 试材采集

采样点设在浙江省平阳县南湖乡,竹林为以大木竹为主的竹木混交林。分散选取生长良好、无缺陷的大木竹及参比竹种毛竹各 5 株,齐地砍倒,去梢头,然后将竹秆 5 等分,每部分自下向上截取约 1.5 m 长的竹段,编号标记,作为从秆基到秆梢不同部位的测试材料,带回实验室。各试材情况见表 1。

表 1 大木竹与参比竹种毛竹力学性质的试材情况

竹种	年龄 / a	株数 / 株	平均秆高 / m	平均胸径 / cm
大木竹	3	5	13.81	7.77
毛竹	6	5	13.60	7.83

1.2 试件制作及实验方法

为了保证各试件取自竹秆上相对一致的位置,将各段竹筒剖开,对称截取各力学性质的测试试材,保留试材两个弦面竹青与竹黄的原状,将各试材编

号标记。

按照国家标准^[3]要求制作各力学强度试件,规格如下:顺纹抗压强度为 20 mm (纵向尺寸) × 20 mm (弦向尺寸) × t mm (竹壁厚),下同;抗弯强度和抗弯弹性模量为 160 mm × 10 mm × t mm;顺纹抗剪和顺纹抗拉强度试件的制作规格详见“竹材物理力学性质试验方法^[3]”;抗劈力的测试,因目前国家标准中对竹材尚无规定,所以本研究参考了木材抗劈力的试件制作及测试方法^[3]。

各力学强度指标在微机控制电子式木材万能力学试验机(山东 济南 MWD/50)上进行,测试方法参照“竹材物理力学性质试验方法”与“木材抗劈力试验方法^[3]”。

因为竹材含水率对其力学性质有较大影响,按照国家标准的要求,将力学强度的测试试件放入温度 20 ± 2、相对湿度 65% ± 5% 条件下的恒温恒湿箱中,调整试件含水率至 9% ~ 15% 时进行测定,记为“试验时 强度值”,同时按标准规定,对部分指标推算出试件含水率为 12% 时的强度值,以便相互间的比较。

2 结果与分析

2.1 大木竹竹材的力学强度

竹材的力学强度反映了其抵抗外界机械力作用的能力,对竹材的生产应用有极重要的影响,主要包括抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗剪强度和抗劈力等指标。大木竹与参比竹种毛竹在竹秆纵向部位的各个力学强度见表 2。

表 2 大木竹与参比竹种毛竹竹材的力学性能

竹种	年龄 / a	部位	顺纹抗拉强度 / MPa		顺纹抗压强度 / MPa		顺纹抗剪强度 / MPa		抗劈力 / (N · mm ⁻¹)	抗弯弹性模量 / GPa		抗弯强度 / MPa																																																	
			试验时	含水率 12% 时	试验时	含水率 12% 时	试验时	含水率 12% 时		试验时	含水率 12% 时	试验时	含水率 12% 时																																																
			大木竹	3	- 1	191.9	63.8	66.2	9.2	9.1	31.5	9.6	116.2	118.6	- 2	214.9	74.4	74.3	11.5	11.4	43.8	12.0	133.1	132.6	- 3	249.3	73.2	72.6	12.2	12.1	45.1	12.4	131.1	130.3	- 4	264.2	80.1	78.4	13.3	13.2	51.4	14.3	153.2	152.7	- 5	269.8	83.7	81.2	13.4	13.3	56.0	15.0	161.1	160.6	均	238.0	75.1	74.5	11.9	11.8	45.6
毛竹	6	- 1	216.6	75.5	74.9	15.7	15.7	17.2	10.4	162.5	168.9	- 2	226.3	76.2	76.2	16.4	17.1	30.0	11.5	168.6	175.0	- 3	229.1	80.0	79.6	16.8	16.7	30.5	11.9	170.1	176.2	- 4	241.6	78.8	78.1	17.2	16.7	32.7	12.2	170.8	176.8	- 5	246.6	78.9	78.2	17.1	16.9	33.0	12.4	173.7	179.7	均	232.1	77.8	77.4	16.6	16.6	28.7	11.7	169.1	175.3

注:“- 1、- 2、- 3、- 4、- 5 表示从基到梢的竹秆各部位,其对应数值是此部位各样竹的平均值。

2.1.1 大木竹竹材的顺纹抗拉强度 从表 2 中的数据可知,大木竹竹材在纵向各部位顺纹抗拉强度的均值为 238.0 MPa,略大于参比竹种毛竹的相应值 232.1 MPa。俞友明^[4]、於琼花^[5]等学者研究了红壳竹 (*Phyllostachys iridescens* C. Y. Yao et S. Y. Che)和雷竹 (*Phyllostachys praecox* C. D. Chu et C. S. Chao)的各力学性能,其中 5 年生雷竹和红壳竹的顺纹抗拉强度值分别为 178.7、231.9 MPa,大木竹较该 2 种竹的强度亦为大,并远大于黄山松 (*Pinus taiwanensis* Hayata)^[6]和福建含笑 (*Michelia fujianensis* Q. F. Zheng)^[7]等木本植物的相应强度值。竹材抗拉强度愈大,则以此为原料制成的竹板抗拉性愈强。一般来说,抗拉强度与竹材密度及竹纤维强度有较密切的关系,竹材密度、纤维强度越大,则抗拉能力也就越强。

2.1.2 大木竹竹材的顺纹抗压强度 在生产中,竹材的受压荷载应用最广泛,所以抗压强度是竹材力学性质中最重要的特征之一。由表 2 可知,大木竹竹材的顺纹抗压强度为 75.1 MPa,略小于参比竹种毛竹的相应值 77.8 MPa,而比前人研究的云南龙竹 (*Dendrocalamus giganteus* Munro)^[8] 73.3 MPa、麻竹 (*Dendrocalamus latiflorus* Munro)^[9] 27.0 MPa、红壳竹^[4] 60.0 MPa、雷竹^[5] 45.4 MPa 等竹种的顺纹抗压强度值均大。同抗拉强度相似,大木竹的顺纹抗压强度亦远大于福建柏 (*Fokienia hodginsii* (Dunn) Henry et Thoma)^[10]、杨树^[11]、杉木 (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook)^[12]和黄山松^[6]等木材的

相应强度。

2.1.3 大木竹竹材的顺纹抗剪强度 由表 2 可知,大木竹竹材的顺纹抗剪强度为 11.9 MPa,比参比竹种毛竹的强度 16.6 MPa 低,但大于麻竹^[9]等竹种及福建柏^[10]、福建含笑^[7]和黄山松^[6]等木材的抗剪强度。

2.1.4 大木竹竹材的抗劈力 大木竹竹材的抗劈力为 45.6 N·mm⁻¹,明显大于毛竹材 28.7 N·mm⁻¹(表 2),同福建含笑^[7]等木本植物相比,大木竹竹材的抗劈力亦表现为大。

2.1.5 大木竹竹材的抗弯强度和抗弯弹性模量 大木竹竹材的抗弯强度为 139.0 MPa,比毛竹材 169.1 MPa 要低,但大于麻竹^[9]、雷竹^[5]等竹种及杨树^[11]、杉木^[12]等木本植物的抗弯强度;从抗弯弹性模量上看,大木竹竹材的抗弯弹性模量为 12.6 GPa,大于毛竹材 11.7 GPa,比上述木本植物的相应模量值亦大。

2.2 大木竹竹材基本密度、竹秆纵向部位及各力学强度间的相关性分析

竹材密度与力学性能有密切关系,又因为在竹秆的不同部位,竹材密度及纤维形态有一定变异,因此力学强度也随竹秆部位呈现出相应的变异规律。表 3 是大木竹竹材基本密度、纵向部位及各力学强度间的相关性分析。从表 3 中的相关系数可看出,竹材基本密度、竹秆纵向部位与各力学强度间均有较好的正相关关系,即竹秆部位增高、竹材密度增大,各力学强度也随之增大。

表 3 大木竹竹材基本密度、纵向部位及各力学强度间的相关性

项目	基本密度 / (g·cm ⁻³)	纵向部位	顺纹抗拉强度 /MPa	顺纹抗压强度 /MPa	顺纹抗剪强度 /MPa	抗劈力 / (N·mm ⁻¹)	抗弯弹性模量 /GPa	抗弯强度 /MPa
基本密度 / (g·cm ⁻³)	1.000							
纵向部位	0.994	1.000						
顺纹抗拉强度 /MPa	0.979	0.969	1.000					
顺纹抗压强度 /MPa	0.963	0.947	0.905	1.000				
顺纹抗剪强度 /MPa	0.970	0.941	0.965	0.963	1.000			
抗劈力 / (N·mm ⁻¹)	0.979	0.965	0.941	0.994	0.981	1.000		
抗弯弹性模量 /GPa	0.990	0.976	0.952	0.990	0.979	0.994	1.000	
抗弯强度 /MPa	0.966	0.961	0.898	0.979	0.925	0.967	0.982	1.000

注:表中数据为相关系数;从秆基部到秆梢 5 等分,分别用“1、2、3、4、5”表示各纵向部位,以此求得与各指标的相关系数。

2.3 大木竹竹材各力学强度间的关系

竹材的各力学性质间也存在一定的相关性。从表 3 中的分析数据可看出,大木竹各力学强度间关系紧密,均呈较好的正相关。据此,探寻某力学强度

和其它力学强度间的回归模型,则可以通过实测该强度值来估算竹材的其它力学性能,并为非破坏性测试提供理论依据。

对本研究的测定数据进行回归分析,大木竹的

主要力学强度间有以下比例关系:顺拉 顺压 顺剪
抗劈力 抗弯 = 3.2 1.0 0.2 0.6 1.8。
为较准确地估计大木竹竹材的各力学性能,本

研究选择易于测定、变异较小的顺纹抗压强度^[13]为
自变量,其它力学性质对其拟合方程并进行显著性
检验,结果见表 4。

表 4 大木竹竹材各力学性质对顺纹抗压强度的回归模型

力学性质	回归模型	F 检验 (F)	显著水平 (P)	相关系数 (R)
顺纹抗拉 /MPa	$y = -61.2255 + 3.9878x$	13.5	0.035	0.9046
顺纹抗剪 /MPa	$y = -4.3823 + 0.217248x$	38.1	0.009	0.9628
抗劈力 / (N · mm ⁻¹)	$y = -45.4928 + 1.2134x$	232.6	0.001	0.9936
抗弯 /MPa	$y = -35.9736 + 2.3309x$	70.3	0.004	0.9793
抗弯弹性模量 /GPa	$y = -8.1083 + 0.276763x$	147.9	0.001	0.9900

3 结论与讨论

以材性优良的毛竹为参比,大木竹竹材顺纹抗
剪和抗弯强度偏小,但顺纹抗拉、顺纹抗压、抗劈力
和抗弯弹性模量比毛竹材的相应值大或与毛竹相
当。同麻竹、红壳竹等竹种及福建柏、黄山松、杨树、
杉木等木本植物的各力学性能相比较,大木竹材的
力学强度均较大,因此,从力学性能上看,可考虑将
大木竹用作竹板材原料。

如前言所述,随着竹加工技术的发展和“以竹代
木”步伐的加大,竹原料供需矛盾日益突出。从我国
竹类资源的开发利用现况看,由于长期过度地依赖
毛竹等少数竹种,造成毛竹材价格居高不下,加工企
业成本上升,同时这种单一化的利用模式也会给竹
材加工业带来潜在危机。因此选择产量高、材性好的
优良竹种进行开发和推广,对解决现实问题具有
重要意义。本项目的研究对象大木竹秆形高大,竹
壁厚^[14],力学强度、纤维形态^[15]和化学性能^[16]较
好,并具有一般竹种难以达到的产量优势,所以推荐
种植大木竹。

参考文献:

[1] 潘孝政. 大木竹及其栽培 [J]. 竹子研究汇刊, 1993, 12(3): 70
~74
[2] 林景献. 大木竹的生长与营林技术调查 [J]. 竹子研究汇刊,

1984, 3(2): 92~100

[3] 中国标准出版社第一编辑室. 木材工业标准汇编 [M]. 北京: 中
国标准出版社, 2002: 207~228
[4] 俞友明, 杨云芳, 方伟, 等. 红壳竹人工林竹材物理力学性质的研
究 [J]. 竹子研究汇刊, 2001, 20(4): 42~46
[5] 於琼花, 俞友明, 金永明, 等. 雷竹人工林竹材物理力学性质 [J].
浙江林学院学报, 2004, 21(2): 130~133
[6] 王传贵, 柯曙华, 杨强. 黄山松木材物理力学性质研究 [J]. 安徽
农业大学学报, 1997, 24(4): 388~390
[7] 林金国, 郑郁善, 张金洋. 福建含笑木材物理力学性质的研究
[J]. 西北林学院学报, 1999, 14(2): 33~36
[8] 张宏健, 杜凡, 张福兴. 云南 4 种材用丛生竹的主要物理力学性
质 [J]. 西南林学院学报, 1998, 18(3): 189~193
[9] 林金国, 何水东, 林顺德, 等. 麻竹材基本密度与力学性质变异规
律的研究 [J]. 竹子研究汇刊, 1999, 18(1): 58~62
[10] 陈祖松. 福建柏人工林木材物理力学性质的试验研究 [J]. 福建
林学院学报, 1999, 19(3): 223~226
[11] 王桂岩, 王彦, 李善文, 等. 13 种杨树木材物理力学性质的研究
[J]. 山东林业科技, 2001(2): 1~11
[12] 骆秀琴, 管宁, 张寿槐, 等. 32 个杉木无性系木材密度和力学性
质的变异 [J]. 林业科学研究, 1994, 7(3): 259~262
[13] 尹思慈. 木材学 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2001: 171
[14] 苏文会, 顾小平, 岳晋军, 等. 大木竹秆形结构的研究 [J]. 林业
科学研究, 2006, 19(1): 98~101
[15] 苏文会, 顾小平, 马灵飞, 等. 大木竹纤维形态与组织比量的研
究 [J]. 林业科学研究, 2005, 18(3): 250~254
[16] 苏文会, 顾小平, 马灵飞, 等. 大木竹化学成分的研究 [J]. 浙江
林学院学报, 2005, 22(2): 180~184