

高径比跨高比对荆条纵向抗压抗弯性能测试精度的影响

高 璟, 张晓燕, 卢国新, 程 悦, 安胜足

(河北农业大学 河北省林木种质资源与森林保护重点实验室, 河北 保定 071000)

摘 要:为研究荆条的纵向抗压抗弯性能的测试方法,测试了不同高径比跨高比荆条试样的纵向抗压强度及抗弯强度、最大弯曲挠度、弹性模量等力学指标。结果表明,1)高径比 1.5 时的纵向抗压强度测试精度最佳;并随荆条直径增加,其纵向抗压强度减小。2)跨高比为 8、10 和 12 时测得的抗弯强度均能满足试验精度要求,并随跨高比的增加,变异系数、准确指数有递增趋势,且随荆条直径增大,其抗弯强度减小,最大弯曲挠度增大。3)弹性模量随着跨高比的增大而增大,随着直径的增大而减小。

关键词:荆条;高径比;跨高比;抗压强度;抗弯强度

中图分类号:S793.7 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2014)04-0214-05

The Influence of Height to Diameter and Span to Diameter Ratios on the Test Precision of Compressive and Bending Properties of *Vitex negundo* Twigs

GAO Jing, ZHANG Xiao-yan, LU Guo-xin, CHENG Yue, AN Sheng-zu

(Key Lab of Forest Resources and Forest Protect of Hebei Province, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071000, China)

Abstract: In order to research the test methods on axial compressive and bending properties of *Vitex negundo* twigs, mechanical properties, such as axial compressive and bending strength, maximum bending deflection and modulus of elasticity were tested. The results indicated best height to diameter ratio was 1.5. The compressive strength decreased with the increase of diameter. The bending strength values could meet the test accuracy when span to diameter ratios were 8, 10, and 12. Increasing trends were observed on of variation coefficient and accuracy index with span to diameter ratio. The bending strength decreased and the maximum bending deflection increased with the increase of diameter. The modulus of elasticity increased with span to diameter ratio, but decreased with the increase of diameter.

Key words: *Vitex negundo* twig; height to diameter ratio; span to diameter ratio; compressive strength; bending strength

荆条的中文学名叫牡荆,在北京地区称荆条,是马鞭草科落叶灌木。中国北方地区广为分布,常生于山地阳坡上,形成灌丛,资源极丰富,在北方地区主要分布在北京北部山区、河北承德地区、内蒙古昭乌达盟等地区都有自然形成的天然屏障分布,其典型的植被形式,对荒山绿化和防止风沙有很大的环境保护作用^[1],是优良的水土保持树种。荆条性强健,其根茎萌发力强,其枝条粗细较为均匀,坚韧有

弹性,因此是优良的编织材料,常用荆条来编织筐、筐箩等家居用品。关于荆条的研究主要集中在荆条资源调查和育苗试验方面^[2-3],关于材性方面的报道尚少。

近几年,由于人们越来越注重健康生活,在家具材料的选择上更加注重生态和环保,因此竹藤类家具有了很大的发展空间和消费市场^[4]。为探究荆条高附加值加工利用形式,研发荆编家具,以荆条为研

收稿日期:2013-10-13 修回日期:2013-11-04

基金项目:国家科技部“十一五”科技支撑计划项目:“华北土石山区植被恢复与重建技术试验示范”(2006BAD03A11);河北省林业局项目(0803015);河北农业大学重点科研基金项目“荆条材性分析及荆编家具制造工艺研究”。

作者简介:高璟,女,教授,研究方向:木材材性及加工利用。E-mail:ndg.123@163.com

研究对象,对灌木抗压、抗弯力学性质进行了探索,为制定国家标准提供理论依据。

目前国内外还没有灌木及藤材物理力学性能测试的相应国家标准,并且现有的关于灌木或藤力学性质测试方法的研究也较少,主要有红岭等沙柳材物理力学性质测试方法^[5-6]研究,罗真付^[7]等棕榈藤力学性质测试方法研究,高璟^[8]等荆条藤力学性质测试与对比研究。在沙柳材测试中,参照木材物理力学国标测试方法,取沙柳根部 250 mm 部分,沙柳根部直径 30~40 mm,再由根部圆形截面截出方形截面试样,测试了沙柳含水率、密度、以及沙柳抗压、抗剪、抗拉等力学性质。在棕榈藤测试中,参照木材和竹材的相关标准,并考虑棕榈藤材料性质,藤茎直径从 3~100 mm 甚至 200 mm 不等的特性,取藤材圆形截面制作了不同藤种、不同长度的试样,测试了藤材的抗压强度、抗弯强度、弹性模量等力学指标。在荆条测试中,以荆条为重点,棕榈藤、柳材为比照,结合荆藤柳材的圆形截面设计试样,测定了抗弯强度和弹性模量、顺纹和横纹抗压强度、顺纹抗拉强度、抗剪强度、扭曲强度、冲击韧性、抗劈力、握钉力各项力学指标。

本研究参照木材等国家标准,以荆条为研究对象,探讨了试样尺寸对荆条抗压抗弯性能的影响,测试了不同径高比的顺纹抗压强度及不同跨高比的抗弯性能,试图为制定灌木力学性能测试的国家标准提供理论依据,为制作荆编家具提供力学性能数据。

1 材料与 方法

1.1 材料

荆条(*Vitex negundo* var. *heterophylla*),采自河北省保定市易县清西陵。

设备:WDW-100E 微控电子万能试验机。

1.2 方法

1.2.1 荆条顺纹抗压强度测试

1.2.1.1 测定 顺纹抗压强度参照 GB/T1935-2009“木材顺纹抗压强度试验方法”^[9]及沙柳材物理力学性质测定方法。试件破坏后,在其破坏处附近制取含水率试片,测量含水率。

由于荆条为圆形截面,用试验最大力(F)除以圆形截面面积(S),来计算荆条顺纹抗压强度(P ;单位 $\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$)。

$$P=\frac{F}{S} \tag{1}$$

1.2.1.2 试样制备 为防止压缩时试件失稳,试件高度和直径之比应取 1.0~2.5,试件的高径比对试验结果有很大影响。为使抗压强度的试验结果能相

互比较,必须使高径比相等,对于几何形状不同的试件应保持高和横截面积之比为定值^[10]。

试样选取无节疤的荆条枝条,分别选取直径 8、10、12 mm,每种直径中按高径比为 1.5、2.0、2.5 各截取 10 个试件,以比较不同高径比时荆条顺纹抗压强度的高低及测试精度。

1.2.2 荆条抗弯强度及最大弯曲挠度测试

1.2.2.1 测试 由于目前没有灌木及藤材的物理力学性质测试的相关标准^[11],抗弯强度参照 GB/T1936.1-2009“木材抗弯强度试验方法”^[12]。

试验方法采用中央单点加载法测定。由于试件均为圆形截面,荆条的抗弯强度(σ_w)计算由材料力学理论^[9]得出。

$$\sigma_w=\frac{8FL}{\pi d^3} \tag{2}$$

式中: F —最大荷载(N), L —2 支座距离(mm), d —试件直径(mm)。

试样的最大弯曲挠度为试样压缩最大位移量,从压缩曲线上读取。

1.2.2.2 试样制备 梁横截面抗弯强度计算公式是在纯弯曲时,以平面假设和单向受力假设为基础推导出的。而弯曲试验采用的中央单点加荷的三点弯曲试验,横截面上不仅有弯矩,而且有剪力。因此,梁的横截面上不仅有正应力,而且还有切应力。由于切应力的存在,梁的横截面不能保持平面,而发生翘曲。同时,由于横向力的作用,梁各层纵向纤维之间还存在着挤压应力。由此可见,在纯弯曲时所作的平面假设和单向受力假设,都不再成立。但是,精确的理论分析证明,工程中常见的梁,当跨度与高度之比 L/h (简称跨高比) >5 时,正应力计算公式可以推广应用于横力弯曲,其计算结果略低于精确解。随着跨高比的减小,其误差随之增大。

为保证试样弯曲强度计算的精度,跨高比即 $L/h>5$ ^[13],但试样过长荆条不易弯断破坏,因此本试验选 3 种直径 6、8 mm 和 10 mm,每种直径按跨高比为 8、10、12 各截取 10 个试样。为避免节疤影响,锯截试件时应保证试样中部加载部位附近无节疤。

1.2.3 荆条抗弯弹性模量测试

1.2.3.1 测试 抗弯弹性模量参照 GB/T1936.1-2009“木材抗弯弹性模量试验方法”^[14]及沙柳材物理力学性质测定方法进行。

试验方法采用中央单点加载法测定。荆条抗弯弹性模量的计算,利用圆形截面的惯性矩^[9]由材料力学理论得出抗弯弹性模量(E_w)

$$E_w=\frac{4\Delta FL^3}{3\pi d^4\Delta f}$$

(3)

式中: ΔF —上下限荷载之差(N), Δf —上下限荷载间试件中部的挠度(mm), L —2 支座距离(mm), d —试件直径(mm)。

1.2.3.2 试样制备 试样选取试验处无节疤的荆条,按照木材国际要求锯截成 300 mm 长、跨度为 240 mm 的试件,按照沙柳材抗弯强度测试试样锯截成 200 mm 长、跨度为 160 mm 的试件。2 组试件中均选取直径为 8、9、10 mm 的试样各 10 个。

2 结果与分析

2.1 高径比对荆条顺纹抗压强度的影响

抗压强度受很多因素的影响与制约,这些因素

大致可分为 2 种:其一是试验本身因素的影响,如试材成分、密度、含水率、结构等;其二是试验环境与物理环境的影响,如试件尺寸、形状、试件加工情况、压力机压头与试件间的摩擦、加载速度等^[15-16]。其中试样尺寸即试样高度、截面面积或直径与抗压强度密切相关。

2.1.1 全部抗压试样不同高径比的结果统计与分析 根据不同径高比的荆条抗压强度测试结果计算得出表 1。结果表明:高径比 1.5 时的抗压强度平均值介于高径比 2.0、2.5 的抗压强度平均值之间,并且高径比为 1.5 时的变异系数和准确指数最小,说明高径比 1.5 时的测试精度较高。高径比为1.5、2.0、2.5 3 组对应的准确指数均<5%,说明 3 种高径比均能满足测试精度要求。

表 1 不同高径比的抗压强度统计值

Table 1 Compressive strength values of different height-diameter ratios

高径比	抗压强度					
	样本/个	平均值/MPa	标准差	标准误差	变异系数/%	准确指数/%
1.5	30	61.54	5.33	0.97	9.19	3.35
2.0	30	66.82	7.33	1.34	11.63	4.25
2.5	30	52.83	5.44	0.99	10.91	3.98

注:荆条抗压强度实测值含水率为 13.2%,表中平均值为换算成含水率 12% 的结果。

2.1.2 同径级抗压试样不同高径比的结果统计与分析 据直径 8、10、12 mm 的荆条试样测试结果,计算抗压强度值,表 2~表 4。结果表明,同径级荆条抗压强度仍然是高径比为 1.5 时的抗压强度介于高径比 2.0、2.5 时的抗压强度之间,标准误差,变异系数,准确指数最小,进一步说明高径比为 1.5 的测试精度较

佳,与木材抗压试样采用的高宽比相同。并且相同高径比时荆条抗压强度随直径增加而减小,这是由于试样端面(受压面)并非真正的平面,在某种程度上还是粗糙的,因而其光滑程度(平整度)有可能产生应力集中,试样尺寸愈大,端面平整度愈难控制,从而导致抗压强度降低。

表 2 直径 8 mm 不同高径比下的抗压强度统计

Table 2 Compressive strength values of diameter 8 mm in different height-diameter ratios

高径比	抗压强度					
	样本/个	平均值/MPa	标准差	标准误差	变异系数/%	准确指数/%
1.5	10	69.07	2.12	0.67	3.26	2.06
2.0	10	75.57	6.32	1.99	8.86	5.61
2.5	10	59.48	3.28	1.04	5.85	3.71

表 3 直径 10 mm 不同高径比下的抗压强度统计

Table 3 Compressive strength values of diameter 10 mm in different height-diameter ratios

高径比	抗压强度					
	样本/个	平均值/MPa	标准差	标准误差	变异系数/%	准确指数/%
1.5	10	58.31	1.28	0.4	2.32	1.47
2.0	10	64.98	2.21	0.69	3.59	2.27
2.5	10	52.53	1.29	0.41	2.62	1.66

2.2 跨高比对荆条抗弯强度及最大弯曲挠度的影响

2.2.1 全部抗弯试样不同跨高比的结果统计与分析 根据不同跨高比抗弯强度测试结果得出表 5。

结果表明:抗弯强度的平均值随着跨高比的增大而减小;最大弯曲挠度的平均值随着跨高比的增大而增大。不同跨高比时,变异系数<10%,准确指数<5%,说明在跨高比 $L/h>5$ 的前提下采用不同跨高

比测得的抗弯强度能满足试验精度要求,与材料力学抗弯理论吻合,但随跨高比的增加,变异系数、准确指数有递增趋势,且弯曲挠度增加,因此跨高比不宜过大,跨高比在 8~12 为宜。

表 4 直径 12 mm 不同高径比下的抗压强度统计值

Table 4 Compressive strength values of diameter 12 mm in different height-diameter ratios						
高径比	抗压强度					
	样本/个	平均值/MPa	标准差	标准误差	变异系数/%	准确指数/%
1.5	10	57.03	1.60	0.51	2.98	1.89
2.0	10	59.54	2.61	0.83	4.66	2.95
2.5	10	46.11	1.62	0.51	3.69	2.33

表 5 不同跨高比的抗弯强度统计值和最大弯曲挠度

Table 5 Values of bending strength and maximum bending deflection in different height-diameter ratios							
跨高比	抗弯强度						
	样本/个	平均值/MPa	标准差	标准误差	变异系数/%	准确指数/%	最大弯曲挠度平均值/mm
8	30	162.40	12.07	1.91	7.79	2.46	8.90
10	30	157.78	12.15	2.22	8.07	2.95	9.41
12	30	145.23	11.24	2.05	8.11	2.96	10.45

2.2.2 同径级抗弯试样不同跨高比的结果统计与分析

根据直径 6、8、10 mm 的荆条试样抗弯强度测试结果进行分析计算,表 6~表 8。结果表明,同径级时,随着跨高比的增大荆条抗弯强度减小,最大弯曲挠度增大。同时随直径增大,荆条抗弯强度减小,最大弯曲挠度增大。

表 6 直径 6 mm 不同跨高比的抗弯强度统计值和最大弯曲挠度

Table 6 Values of bending strength and maximum bending deflection of diameter 6 mm in different height-diameter ratios							
跨高比	抗弯强度						
	样本/个	平均值/MPa	标准差	标准误差	变异系数/%	准确指数/%	最大弯曲挠度平均值/mm
8	10	172.37	6.17	1.95	3.75	2.37	6.62
10	10	167.61	5.49	1.74	3.44	2.17	7.15
12	10	158.35	3.87	1.22	2.56	1.62	7.77

表 7 直径 8 mm 不同跨高比的抗弯强度统计值和最大弯曲挠度

Table 7 Values of bending strength and maximum bending deflection of diameter 8 mm in different height-diameter ratios							
跨高比	抗弯强度						
	样本/个	平均值/MPa	标准差	标准误差	变异系数/%	准确指数/%	最大弯曲挠度平均值/mm
8	10	170.71	2.68	0.85	1.64	1.04	9.43
10	10	164.63	3.31	1.05	2.11	1.33	9.98
12	10	145.79	5.49	1.73	3.94	2.49	11.23

表 8 直径 10 mm 不同跨高比的抗弯强度统计值和最大弯曲挠度

Table 8 Values of bending strength and maximum bending deflection of diameter 10 mm in different height-diameter ratios							
跨高比	抗弯强度						
	样本/个	平均值/MPa	标准差	标准误差	变异系数/%	准确指数/%	最大弯曲挠度平均值/mm
8	10	144.13	4.57	1.45	3.33	2.10	10.66
10	10	141.10	4.20	1.33	3.12	1.97	11.11
12	10	131.54	2.49	0.79	1.99	1.26	12.36

2.3 跨高比对荆条抗弯弹性模量的影响

不同跨度、不同直径的荆条试样弹性模量值如表 9 所示,可以看出:1)直径为 8、9、10 mm 时,跨度 160 mm 的弹性模量低于跨度 240 mm 的弹性模量。说明当直径相同时,弹性模量随着跨度的增大而增大,即随着跨高比的增大而增大,与最大弯曲挠度的测试结果一致。2)当跨度为 160 mm 和 240 mm

时,直径为 8、9、10 mm 对应的弹性模量值逐渐降低。表明当跨度相同时,弹性模量随着直径的增大而减小,即随着跨高比的减小而减小。

3 结论与讨论

以荆条为研究对象,探讨了荆条的高径比和跨高比对荆条顺纹抗压强度和抗弯强度的影响。

表 9 不同跨度不同直径下的弹性模量平均值

Table 9 Values of modulus elasticity in different spans and diameters			GPa
跨度/mm	直径/mm		
	8	9	10
160	11.44	7.71	6.22
240	12.21	9.10	8.29

高径比为 1.5、2.0、2.5 3 组对应的准确指数均<5%,说明 3 种高径比均能满足测试精度要求,但高径比为 1.5 时的变异系数和准确指数最小,且抗压强度平均值介于高径比 2.0、2.5 的抗压强度平均值之间,该高径比与木材抗压试验采用的高宽比相同。不同径级抗压试验表明,随直径增加,荆条抗压强度减小。

抗弯强度的平均值随着跨高比的增大而减小;最大弯曲挠度的平均值随着跨高比的增大而增大。跨高比为 8、10、12 时,变异系数<10%,准确指数<5%,说明采用不同跨高比测得的抗弯强度能满足试验精度要求,与材料力学抗弯理论吻合,并且随跨高比的增加,变异系数、准确指数有递增趋势,因此跨高比不宜过大,跨高比在 8~12 为宜。不同径级抗弯试验表明,随直径增大,荆条抗弯强度减小,最大弯曲挠度增大。

弹性模量随着跨度的增大而增大,即随着跨高比的增大而增大,同跨度时,随着直径的增大而减小。

参考文献:

[1] 符亚儒,张继平,董强,等. 陕北沙区煤矸石废弃地的植被恢复技术研究[J]. 西北林学院学报, 2012, 27(5): 178-183.
FU Y R, ZHANG J P, DONG Q, *et al.* Vegetation restoration technologies in the coal gangue waste lands in sandy areas of northern shaanxi[J]. Journal of Northwest Forest University, 2012, 27(5): 178-183. (in Chinese)

[2] 张金瑞,高甲荣,崔强,等. 三种典型立地荆条种群及种间分布的空间点格局[J]. 浙江农林大学学报, 2013, 30(2): 226-233.
ZHANG J R, GAO J R, CUI Q, *et al.* Point pattern analysis for relationships of *Vitex negundo* var. *heterophylla* in three tipycal stands [J]. January of Zhejiang A & F University, 2013,30(2):226-233. (in Chinese)

[3] 胡淑平,余新晓,郭永盛. 北京山区天然荆条灌丛立地条件的数量化分析[J]. 林业资源管理,2010(3):60-63.
HU S P, YU X X, GUO Y S. Quantification analysis on site conditions of natural *Vitex negundo* community in Beijing mountainous area [J]. Forest Resource Management, 2010

(3):60-63. (in Chinese)

[4] 强明礼,袁哲. 现代藤家具加工工艺[J]. 林产工业,2008,35(4):46-49.
QIANG M L, YUAN Z. Processing technology of modern rattan furniture[J]. China Forest Products Industry, 2008, 35(4): 46-49. (in Chinese)

[5] 红岭,安珍. 沙柳材物理力学性质的测定[J]. 林产工业, 2012,39(4):56-59.
HONG L, AN Z. Physical and mechanical properties determination of *Salix* [J]. China Forest Products Industry, 2012,39(4):56-59. (in Chinese)

[6] 孙娟,王喜明,贺勤. 沙柳材物理力学性能及其测试方法的研究[J]. 林产工业, 2012,39(2):57-59.
SUN J, WANG X M, HE Q. Study on physical and mechanical properties and test methods of *Salix* [J]. China Forest Products Industry, 2012,39(2):57-59. (in Chinese)

[7] 罗真付,张雪峰,陆步云,等. 棕榈藤力学性质及测试方法的研究[J]. 家具与室内装饰, 2012(7):108-110.
LUO Z F, ZHANG X F, LU B Y, *et al.* Mechanical properties and test methods of rattan[J]. Furniture & Interior Design, 2012(7):108-110. (in Chinese)

[8] 高璟,张晓燕,卢国新,等. 荆条藤柳力学性质测试与对比研究[J]. 林业实用技术,2012,(11):103-106.

[9] GB/T1935-2009. 木材顺纹抗压强度试验方法[S]. 北京:中国标准出版社,2009.

[10] 毕杰春,宁宝宽,黄杰,等. 实验力学[M]. 北京:化学工业出版社,2011.

[11] 吕文华,刘杏娥,汪佑宏. 棕榈藤材的抗拉强度测试方法[J]. 木材加工机械, 2010,21(1):20-23.
LV W H, LIU X E, WANG Y H. The Test methods of axial tensile strength of rattan canes [J]. Wood Processing Machinery, 2010,21(1):20-23. (in Chinese)

[12] GB/T1936.1-2009. 木材抗弯强度试验方法[S]. 北京:中国标准出版社,2009.

[13] 孙训芳,方孝淑,关来泰. 材料力学(I) [M]. 北京:高等教育出版社,2009.

[14] GB/T1936.2-2009. 木材抗弯弹性模量测定方法[S]. 北京:中国标准出版社,2009.

[15] 朱珍德,张爱军,邢福东,等. 岩石抗压强度与试件尺寸相关性试验研究[J]. 河海大学学报:自然科学版, 2004, 32(1): 42-45.
ZHU Z D, ZHANG A J, XING F D, *et al.* Experimental study on correlation between compressive strength of rocks and sample size[J]. Journal of Hohai University :Natural Sciences Edition, 2004, 32(1): 42-45. (in Chinese)

[16] 汪佑宏,卞正明,刘杏娥,等. 坡向对毛竹主要物理力学性质的影响[J]. 西北林学院学报, 2008, 23(3): 179-181.
WANG Y H, BIAN Z M, LIU X E, *et al.* Impact of different slopes on main physical and mechanical properties of bamboo[J]. Journal of Northwest Forest University, 2008, 23(3): 179-181. (in Chinese)