

研究与应用

梁山慈竹重组竹材密度对其微观形态及性能的影响

齐锦秋^{1,2}, 于文吉¹, 黄兴彦², 陈思敏², 吴秉岭²

(1. 中国林科院木材工业研究所; 国家林业局木材科学与技术重点实验室, 北京 100091;

2. 四川农业大学, 四川雅安 625014)

摘要: 对密度为 0.8~1.2 g/cm³ 的重组竹材的微观形态、物理力学性能进行分析, 结果表明: 竹材细胞压溃程度随板材密度的增加而增大, 破坏顺序为: 输导组织和基本组织、薄壁纤维细胞, 厚壁纤维细胞基本保持完好; 与原竹相比, 重组竹材的维管束径向尺寸减少、分布密度增加; 随密度的增加, 重组竹材的耐水性能和主要力学性能增强。

关键词: 梁山慈竹; 重组竹; 密度; 维管束

中图分类号: S795.5; TS653

文献标识码: A

文章编号: 1001-8654(2013)06-0025-04

Effect of Bamboo Scrimber Density on Vascular Bundle Morphology and Properties

QI Jin-qi^{1,2}, YU Wen-ji¹, HUANG Xing-yan², CHEN Si-min², WU Bing-ling²

(1. Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry;

Key Laboratory of Wood Science and Technology of State Forestry Administration, Beijing 100091, China;

2. College of Forestry, Sichuan Agricultural University, Yaan 625014, Sichuan, China)

Abstract: Anatomical characteristics and mechanical properties of bamboo scrimber with density from 0.8~1.2 g/cm³ were investigated. The results showed that the fiber and parenchyma cell damage degree was increased with the increasing of density. The conducting and ground tissues were destroyed first, and then thin walled fibers, the thicken cell wall fibers retained integrated. Compared to the original bamboo, radial dimension decreased, while the concentration of vascular bundle increased. The bamboo scrimber showed improved water resistance, compressive strength and shear strength as the density increased.

Key words: *Dendrocalamus farinosus*; bamboo scrimber; density; vascular bundle

重组竹材是以竹束或竹材纤维化单板为构成单元, 通过热压或冷压方式制备的竹材人造板。影响重组竹材物理力学性能的因素包括: 原材料种类、竹材

部位、胶黏剂种类、热压温度、板材密度等^[1-4], 其中, 密度是极为重要的因素。当板材的密度大于原材料的密度时, 原材料中的细胞就会受到一定程度的压缩, 当压缩力超过其承载强度时, 细胞即会被压溃, 导致板材性能降低。在实际生产中, 可根据重组竹材的使用目的及板材特性, 在一定范围内, 通过改变板材的设计密度, 调控板材的物理力学性能。

本研究以梁山慈竹为例, 观察分析重组竹材的微观形态, 并探讨重组竹材密度对试材微观形态和性能

收稿日期: 2013-01-30; 修改日期: 2013-09-22

基金项目: 浙江省院合作林业科技项目“重组竹产业升级关键技术研究”(2011SY01); 四川农业大学大学生创新性实验计划项目“高性能重组竹材制备工艺研究”。

作者简介: 齐锦秋(1972—), 女, 中国林科院木材所博士后, 四川农业大学林学院副教授。

通讯作者: 于文吉, 男, 中国林科院木材工业研究所研究员, 博士生导师。

的影响,以期高性能重组竹材制备工艺参数的设定提供依据。

1 试验材料与方法

1.1 材料

梁山慈竹(*Dendrocalamus farinosus*):采自四川长宁县,竹龄3年,胸径5.4 cm,壁厚4.6 mm。

酚醛树脂(PF)胶:购于北京太尔公司,黏度 $41 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ (25°C),固体含量44.7%,水溶倍数 >2 倍,贮存期为30 d($20\sim 25^\circ\text{C}$),pH值为11.2。

1.2 试验设备

疏解机,热压机,万能力学试验机,木材切片机,光学显微镜,扫描电子显微镜等。

1.3 制板工艺

1) 疏解:按顺纹方向将竹筒送入自制疏解机,疏解为纤维化单板^[4]。

2) 干燥:将纤维化单板晾晒干燥至含水率8%~10%。在竹秆基部向上1~2 m处截取长度为45 cm的纤维化单板。

3) 浸胶:称重法控制浸胶量11%,浸胶后自然干燥至含水率8%~9%。

4) 组坯:板材密度分别设计为:0.8、0.9、1.0、1.1、1.2 g/cm^3 ,幅面45 cm $\times$ 16 cm,厚度15 mm。

① 将纤维化单板沿纤维方向铺装于模具中,每个密度条件制作6块试板,用于性能测试。

② 将板坯第一层的纤维化单板在节间中部锯开,成为2块,1块作为对照材料(即作为对照原竹试样),另1块放置在板坯表层的中部位置,用脱模纸与相邻纤维化单板隔开,顺纹铺装于模具中,压制板材,观测重组竹材的微观形态。每一密度制备3块试板。

5) 热压工艺:温度 150°C ,压力2.0~4.0 MPa,时间1.5 min/mm。

1.4 性能检测

1) 微观形态 采用扫描电子

显微镜观察重组竹材的压溃状态,并测量原竹和重组竹材试样的竹壁厚度、维管束径向尺寸和分布密度。

2) 物理力学性能 参照文献[3]检测:① 重组竹材的耐水性能:吸水厚度膨胀率(TSR)、吸水宽度膨胀率(WSR);② 力学性能:抗弯强度、抗弯弹性模量、抗压强度、垂直加载下的水平剪切强度。

2 试验结果与分析

2.1 微观形态

2.1.1 横切面组织形态

3种设计密度的重组竹材横切面的SEM图,见图1。

梁山慈竹节间竹秆横切面,竹壁外部维管束为半分化型,中部为断腰形或双断腰型,内部为开放型,竹材密度为竹壁外部 $>$ 中部 $>$ 内部。竹材受压时,基本组织首先受压相互挤紧,并将力传至维管束使竹壁内部的导管变形;继续加载,竹壁外部的的基本组织被压溃^[5]。图1可以看出,重组竹材压溃程度表现为:竹壁外部 $<$ 中部 $<$ 内部。随着密度的增加,板材压溃程度逐渐增大。各部位形态特征如下。

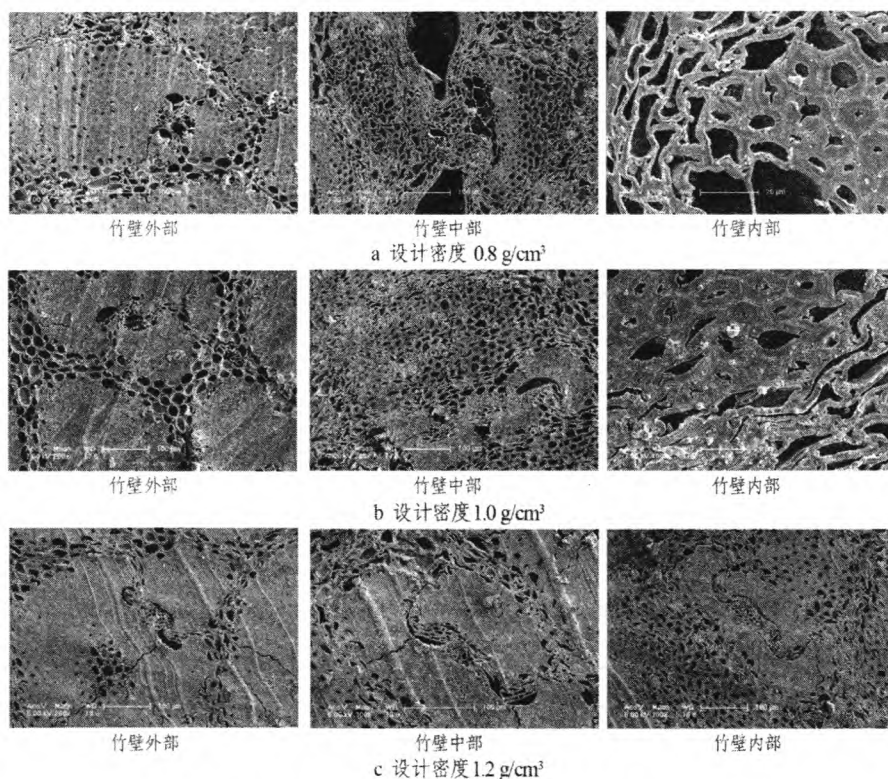


图1 不同设计密度重组竹材的SEM图片

Fig. 1 SEM images of bamboo scrimbers with different densities

1) 竹壁外部:密度为 0.8 、 1.0 g/cm^3 时,重组竹材维管束形态基本未发生变化,只是在疏解过程中被破坏的细胞呈现少量变形压溃。密度增加到 1.2 g/cm^3 时,输导组织的筛管和导管在径向上显著压溃,只保留狭小的细胞腔;维管束间的薄壁细胞被少量压溃,纤维细胞形态完好。

2) 竹壁中部:密度为 0.8 g/cm^3 时,重组竹材的导管受到径向压缩变形,筛管亦发生变形,但仍含有细胞腔。随着密度增加,导管被显著压溃,只保留狭小的细胞腔;筛管被完全压溃;维管束间的薄壁细胞被显著压溃,薄壁纤维细胞变形,厚壁纤维细胞形态完好。

3) 竹壁内部:各密度重组竹材的导管、筛管、薄壁细胞被显著压溃,维管束径向尺寸变小。密度为 1.2 g/cm^3 时,压溃程度极大,基本看不到细胞腔。维管束鞘及内、外方纤维股的薄壁纤维细胞压溃变形,厚壁纤维细胞仍保持基本完好。

2.1.2 竹壁厚度

原竹及不同密度重组竹材的竹壁厚度测试结果,如图 2 所示。

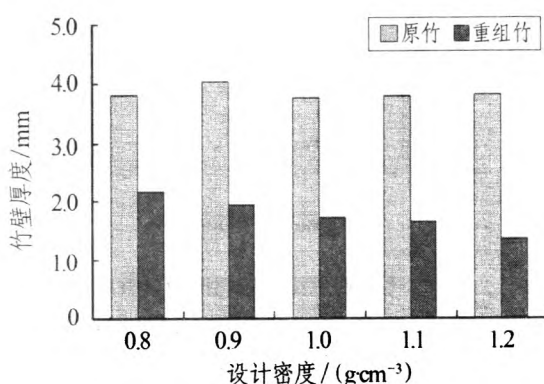


图 2 原竹及重组竹材的竹壁厚度

Fig. 2 Culms wall thickness of original bamboo logs and bamboo scrimbers

与原竹竹壁厚度相比,随着密度的增加,重组竹材竹壁压缩率呈增加趋势。密度为 1.2 g/cm^3 时,压缩率最大达 64.4% 。重组竹材竹壁厚度减小,主要是由于竹壁中部和内部的基本组织和输导组织被压溃引起的。

2.1.3 维管束径向尺寸和分布密度

不同密度重组竹材的维管束径向尺寸和分布密度,如图 3 所示。

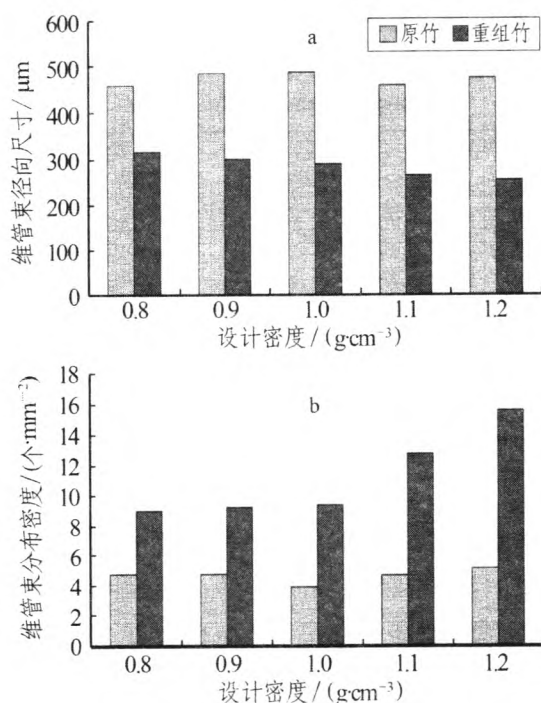


图 3 重组竹材的维管束径向尺寸和维管束分布密度

Fig. 3 Radial dimension and frequency of vascular bundle for bamboo scrimbers

图 3a 显示:与原竹相比,随着重组竹材密度的增加,维管束的径向尺寸呈减小趋势,减幅最大达到 46.9% 。竹壁中部和内部的输导组织被压溃,是导致维管束径向尺寸减小的主要原因。

图 3b 表明:原竹维管束的分布密度为 4.7 个/ mm^2 ;与原竹相比,重组竹材密度由 0.8 增至 1.0 、 1.2 g/cm^3 时,其维管束分布密度分别增加了 88.2% 、 140% 、 200% ,主要是维管束和基本组织受到径向压缩而引起。

2.2 物理力学性能

2.2.1 耐水性能

重组竹材经 28 h 循环水煮处理后的测试结果,列于表 1。

由表 1 可知,随着重组竹材密度的增加,其 WSR 和 TSR 呈下降趋势,耐水性能增强。竹纤维化单板结构致密,树脂仅浸渍到纤维间隙,起到粘结纤维化单板的作用,但并未在板材中形成连续相^[6]。随着重组竹材密度的增加,纤维化单板层间、分离竹束之间接触紧密,增加了胶黏剂与竹材之间的有效接触面积,使其胶合性能得到改善,从而提高了重组竹材的尺寸稳定性。

表 1 28 h 循环水煮处理后重组竹材的耐水性能

Tab. 1 Water resistance of bamboo scrimber samples after 28 hours boiling

密度/ (g · cm ⁻³)	4 h 水煮		28 h 水煮	
	WSR/%	TSR/%	WSR/%	TSR/%
0.8	3.78	8.56	3.49	9.45
0.9	1.74	7.29	2.73	8.37
1.0	1.57	6.18	1.19	6.87
1.1	0.99	6.79	1.15	6.04
1.2	0.70	5.50	0.52	5.91

2.2.2 力学性能

不同密度重组竹材的力学性能测试结果,如图 4 所示。

随着密度的增加,重组竹材的抗压强度、抗弯弹性模量、剪切强度均呈增加趋势;抗弯强度则呈先增加、后下降的趋势。方差分析结果表明,重组竹材维管束分布密度与抗压强度在 0.05 水平显著正相关,与抗弯弹性模量在 0.01 水平显著正相关。

竹材主要由维管束中的纤维细胞起承载作用,薄壁细胞起连接作用并传递载荷。随着密度的增加,重组竹材单位面积内维管束数量明显增加,因此,其抗压强度、抗弯强度增强;而密度为 1.2 g/cm³ 的重组竹的抗弯强度下降,可能是因为竹材细胞所受到的载荷超过其抵抗变形能力,导致竹纤维细胞被大量压溃。竹材经碾压疏解后,纤维化单板表面形成大量的裂隙^[4],随着板材密度增加,层与层之间的嵌合度增加,使胶黏剂与竹材之间的胶接面积增加,从而增强了板材的剪切强度。

3 结论

1) 在本试验条件下,随着重组竹材密度的增加,竹材压溃程度逐渐增大,输导组织、基本组织首先被压溃,其次是薄壁纤维细胞,厚壁纤维细胞基本保持完好;竹壁各部位压溃程度表现为:竹壁外部<中部<内部;维管束径向尺寸呈减少趋势,维管束分布密度呈增加趋势。

2) 随着密度由 0.8 g/cm³ 增加到 1.1 g/cm³ 时,重组竹材的物理力学性能均呈增强趋势;但当密度进一步增加到 1.2 g/cm³ 时,纤维细胞被大量压溃,重组竹材的抗弯强度反而下降。

3) 梁山慈竹是优良的丛生竹种,在生产中,可以通过控制重组竹材的密度,使其性能满足使用要求。

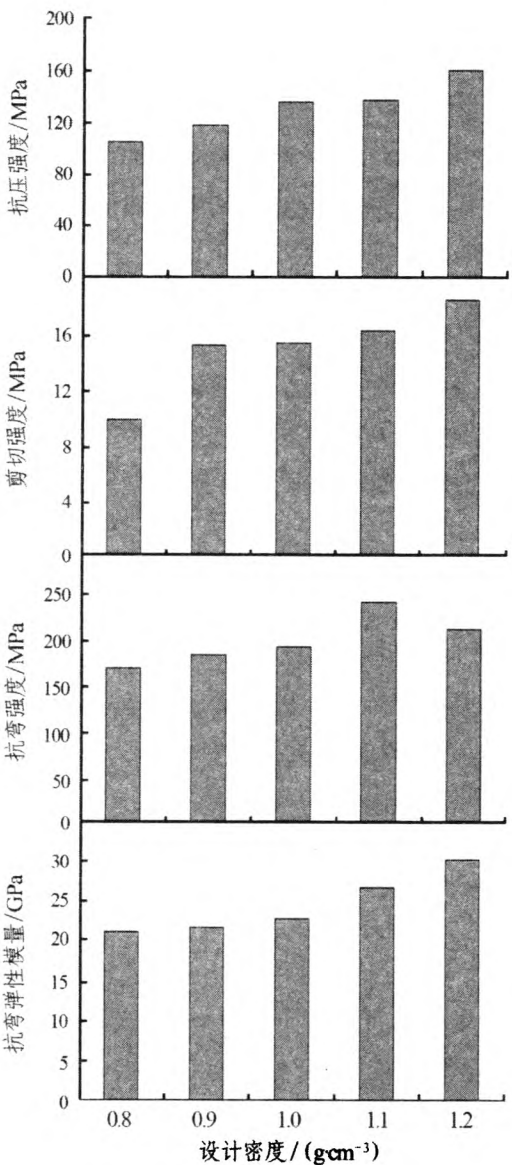


图 4 不同密度重组竹材的力学性能

Fig. 4 Mechanical properties of bamboo scrimber with different densities

参考文献:

- [1] 齐锦秋,于文吉,余养伦,等. 竹节对竹基纤维复合材料性能的影响[J]. 木材工业,2012,26(6):1-3.
- [2] 祝荣先,周月,任丁华,等. 制造工艺对竹基纤维重组竹性能的影响[J]. 木材工业,2011,25(3):1-3.
- [3] 孟凡丹,余养伦,祝荣先,等. 浸渍量对纤维化竹单层级材料物理力学性能的影响[J]. 木材工业,2011,25(2):1-3.
- [4] 齐锦秋,于文吉,谢九龙,等. 竹基纤维复合材料纤维化单板的形态研究[J]. 木材工业,2012,26(2):6-9.
- [5] 邵卓平. 竹材在压缩大变形下的力学行为. II 微观变形特征[J]. 木材工业,2004,18(1):27-29.
- [6] 唐路林,李乃宁,吴培熙. 高性能酚醛树脂及其应用技术 [M]. 化学工业出版社,2009,242-243.

(责任编辑 向琴、孟凡丹)