

红壳竹竹材物理力学性质的研究

杨云芳 俞友明 方伟

(浙江林学院园林系, 临安 311300)

陈建寅 张爱良 韩春

(浙江省安吉县林业局)

摘要 红壳竹竹材的物理力学性质与竹龄、竹秆部位均有密切关系。竹材的干缩性随竹龄增加逐渐减少; 基本密度、顺纹抗压强度、顺纹抗拉强度和抗弯强度都随竹龄增加而增加, 至5~6年生达最大值。竹秆由下至上, 含水率、干缩性逐渐减少; 维管束密度和基本密度逐渐增加, 力学强度亦相应提高。竹材横断面的不同分割对抗压强度有极显著的影响。

关键词 红壳竹; 竹材; 物理性能; 力学性质

中图分类号 S781.29

红壳竹(*Phyllostachys iridescens*)为我国特有, 是一著名的笋用、材用、观赏竹种, 浙江、江苏一带分布较广, 群众广为栽培。

竹材的物理力学性质是竹材主要的质量指标。本研究对中国竹乡——安吉的红壳竹竹材的物理力学性质进行了测试和分析, 为红壳竹的有效合理利用提供科学依据。

1 试材的采集和加工

1.1 试材采集

1997年1月在浙江省安吉县林科所的竹林中采集红壳竹30株, 按竹子生长年龄(1~6 a), 每龄各砍5株。竹子生长正常, 无病虫害, 胸径差异不大, 平均值3.2 cm。砍口齐地, 从砍口向上取5 m, 编号后运回实验室。

1.2 试件加工

1.2.1 试件的锯截部位 根据试验内容将试件从基部起锯成3等份, 分别编号。为了保证各种试件取自竹秆上相对一致的位置, 将圆筒剖开, 对称取材, 各项作4个试件, 每一段试材自基部至上部按下列顺序截取试件: 维管束密度、基本密度、干缩性、顺纹抗压、顺纹抗拉和抗弯强度。

收稿日期: 1997-09-12; 修回日期: 1997-12-08

第1作者简介: 杨云芳, 女, 1959年生, 副教授

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www>

1.2.2 试件的规格与要求 试件端面应相互平行,并与侧面垂直。测定维管束密度的试件规格:圆环,高20 mm。测定基本密度的试件规格:5 mm×55 mm×t mm(t 为竹壁厚)。测定干缩性、顺纹抗压强度的试件规格:20 mm×20 mm×t mm。测定顺纹抗拉强度的试件规格:10 mm×160 mm×t mm,破坏断面为1.5 mm×t mm。顺纹抗拉强度的试件原规定为20 mm×250 mm×t mm,破坏断面为4 mm×t mm。因红壳竹胸径小、竹壁较薄,为圆弧形,故当受力时,夹紧部位首先受到破坏,影响抗拉强度的测定,故视竹壁的厚薄,适当缩小宽度,并把两端适当刨平,同时把破坏断面的宽度也适当缩小,即试件为10 mm×160 mm×t mm,破坏断面1.5 mm×t mm。测定抗弯强度的试件规格:10 mm×160 mm×t mm。

2 试验方法

竹材的物理力学性质试验目前尚无统一规定,故参照木材物理力学试验方法^[1]和竹材物理力学性质的研究^[2]进行试验。

3 试验结果与分析

本研究测定项目有:维管束密度,基本密度,干缩性,顺纹抗压强度,顺纹抗拉强度,径、弦向抗弯强度。共测定试件1 580个。

3.1 红壳竹横断面的分割对顺纹抗压强度的影响

为了了解红壳竹横断面的不同程度分割对顺纹抗压强度的影响,选取2年生红壳竹1株,胸径2.91 cm,在其3/10高度分段上,截取高为1.5 cm的圆环16个,编号后,测量其横截面尺寸,将其中8个圆环作整环断面抗压试验,另外8个圆环按1/2,1/4,1/8,1/16等份分为4组共32个分割试件,分别进行顺纹抗压强度试验,其结果列表1。

表1 红壳竹不同分割断面的抗压强度

Table 1 Compression strength on different splittings

MPa

试件编号	整环	1/2	1/4	1/8	1/16
1	53.2	46.7	46.2	47.5	45.4
2	47.8	41.4	43.7	45.7	39.0
3	51.5	43.7	44.2	45.6	37.4
4	52.3	47.8	47.8	42.3	39.8
5	49.6	47.9	48.7	44.2	42.6
6	51.8	48.1	41.5	45.8	37.7
7	52.3	45.3	45.8	46.4	43.1
8	50.5	49.2	47.2	48.5	43.8
合 计	409.0	370.1	365.1	366.0	328.8
平均 值	51.1	46.3	45.6	45.8	41.1
均 方 差	1.75	2.63	2.38	1.90	3.01

根据表1资料进行方差分析,结果列入表2。

表2 红壳竹横断面分割方差分析

Table 2 Variance analysis on different splittings

方差来源	平方和	自由度	均方	F	临界值
分 割	404.29	4	101.07	17.8	$F_{0.05} \begin{cases} f_1 = 4 \\ f_2 = 35 \end{cases} = 2.65$
误 差	198.35	35	5.67		
总 和	602.64	39			$F_{0.01} \begin{cases} f_1 = 4 \\ f_2 = 35 \end{cases} = 3.93$

表2中 $F > F_{0.01}$, 说明红壳竹横断面分割对抗压强度有极显著的影响。完整断面的顺纹抗压强度51.1 MPa, 而不同程度分割(1/2, 1/4, 1/8, 1/16)断面的顺纹抗压强度在41.1~46.3 MPa之间, 平均为44.7 MPa, 约相当于完整断面顺纹抗压强度的87.48%, 即红壳竹完整断面经分割后其顺纹抗压强度要降低12.52%。

现用q检验法对5种分割进行多重比较。由已知数据计算得最小显著差:

$$LSD_{0.05} \left(\begin{array}{l} f_1 = 4 \\ f_2 = 35 \end{array} \right) = 3.43$$

$$LSD_{0.01} \left(\begin{array}{l} f_1 = 4 \\ f_2 = 35 \end{array} \right) = 4.20$$

将各分割水平的抗压强度平均值按大小秩序排列后, 进行逐个比较, 列于表3。

表3 红壳竹不同分割断面的q检验

Table 3 The q test on different splittings

断 面	\bar{x}_i	$\bar{x}_i - \bar{x}_5$	$\bar{x}_i - \bar{x}_4$	$\bar{x}_i - \bar{x}_3$	$\bar{x}_i - \bar{x}_2$
整 环	$x_1 = 51.1$	10.0**	5.5**	5.3**	4.8**
1/2	$x_2 = 46.3$	5.2**	0.7	0.5	
1/8	$x_3 = 45.8$	4.7**	0.2		
1/4	$x_4 = 45.6$	4.5**			
1/16	$x_5 = 41.1$				

由表3分析表明:1/16分割对1/8, 1/4, 1/2分割以及4个不同分割对整环的抗压强度都具极显著差异, 1/8, 1/4, 1/2分割之间没有明显差异。

3.2 竹龄对竹材物理力学性质的影响

研究竹子年龄对竹材物理力学性质的影响, 不仅对竹材利用有现实的意义, 而且对竹林培育和确定竹子合理砍伐亦可提供依据。不同年龄红壳竹竹材物理力学性质测试结果见表4。

由表4可知:红壳竹竹材的基本密度、顺纹抗压强度、顺纹抗拉强度、径向和弦向抗弯强度都随竹龄的增加而增加, 至5~6年生达最大值;干缩性随竹龄增加逐渐减少。

为了进一步寻找竹材物理力学性质的变化规律, 用最小二乘法求出各项物理力学性质与竹龄A的关系式。

基本密度(R)与竹龄(A)的关系: $R = 0.5319 + 0.0399A - 0.0031A^2$

体积干缩性(V)与竹龄(A)的关系: $V = 19.4086 - 1.2723A + 0.1190A^2$

顺纹抗压强度(D_w)与竹龄(A)的关系: $D_w = 38.6177 + 7.9260A - 0.7809A^2$

顺纹抗拉强度(Z_w)与竹龄(A)的关系: $Z_w = 203.2727 + 9.0195A - 0.7489A^2$

表4 不同年龄红壳竹竹材的物理力学性质

Table 4 Physico-mechanical properties of bamboo wood in different ages

代号	1年生					2年生				
	平均值 (\bar{x}_i)	标准差 (s)	标准误差 (\bar{s})	变异系数 /%(V)	准确指数 /%(P)	平均值 (\bar{x}_i)	标准差 (s)	标准误差 (\bar{s})	变异系数 /%(V)	准确指数 /%(P)
1	0.573	0.0549	0.0091	9.5657	1.5943	0.595	0.0467	0.0079	7.8510	1.3271
2	9.109	0.8867	0.1521	9.7348	1.6695	8.419	0.7119	0.1186	8.4551	1.4092
3	8.197	0.7052	0.1209	8.6027	1.4753	7.692	0.5588	0.0931	7.2645	1.2107
4	18.312	1.4928	0.2560	8.1519	1.3980	17.142	1.2288	0.2048	7.1684	1.1947
5	47.4	2.6243	0.4713	5.5381	0.9947	48.4	2.4467	0.4259	5.0538	0.8798
6	212.9	8.9321	1.6310	4.1955	0.7660	216.8	9.2253	1.6308	4.2555	0.7523
7	125.0	8.4427	1.5163	6.7527	1.2128	134.3	7.3218	1.2943	5.4522	0.9638
8	148.0	6.3090	1.1331	4.2629	0.7656	156.5	6.9516	1.2289	4.4433	0.7855

代号	3年生					4年生				
	平均值 (\bar{x}_i)	标准差 (s)	标准误差 (\bar{s})	变异系数 /%(V)	准确指数 /%(P)	平均值 (\bar{x}_i)	标准差 (s)	标准误差 (\bar{s})	变异系数 /%(V)	准确指数 /%(P)
1	0.615	0.0481	0.0080	7.8239	1.3040	0.643	0.0453	0.0077	7.0449	1.1908
2	8.387	0.5915	0.1063	7.0521	1.2666	7.964	0.6424	0.1071	8.0662	1.3444
3	7.471	0.5324	0.0956	7.1264	1.2799	7.289	0.4996	0.0833	6.8541	1.1423
4	16.848	0.8767	0.1575	5.2034	0.9346	16.289	1.0549	0.1758	6.4767	1.0795
5	55.5	2.8542	0.5126	5.1422	0.9256	58.8	2.9037	0.5301	4.9406	0.9020
6	221.6	11.8918	2.1023	5.3674	0.9488	228.9	12.4238	2.1962	5.4277	0.9595
7	147.5	7.2365	1.3212	4.9078	0.8960	153.3	4.9825	0.8808	3.2502	0.5746
8	164.7	5.8923	1.0416	3.5782	0.6325	174.5	5.9206	1.0810	3.3927	0.6194

代号	5年生					6年生				
	平均值 (\bar{x}_i)	标准差 (s)	标准误差 (\bar{s})	变异系数 /%(V)	准确指数 /%(P)	平均值 (\bar{x}_i)	标准差 (s)	标准误差 (\bar{s})	变异系数 /%(V)	准确指数 /%(P)
1	0.666	0.0442	0.0074	6.6336	1.1056	0.651	0.0389	0.0065	5.9969	0.9948
2	7.769	0.5801	0.0967	7.4659	1.2443	7.779	0.5952	0.1036	7.6511	1.3319
3	7.231	0.5626	0.0938	7.7802	1.2967	7.403	0.4953	0.0862	6.6903	1.1646
4	15.842	0.9069	0.1512	5.7249	0.9541	16.127	0.9979	0.1737	6.1876	1.0771
5	60.0	4.1869	0.7644	6.9742	1.2733	57.0	3.0307	0.5533	5.3189	0.9711
6	231.9	15.0542	2.7485	6.4906	1.1850	228.8	12.9328	2.3612	5.6524	1.7875
7	153.9	6.4297	1.1548	4.1763	0.7501	152.1	7.6927	1.4285	5.0558	0.9388
8	175.9	7.2511	1.2818	4.1231	0.7289	171.7	6.0842	1.0591	3.5432	0.6188

说明:代号1为基本密度/g·cm⁻³;代号2,3,4分别为径向、弦向、体积干缩性/%;代号5,6分别为顺纹抗压、顺纹抗拉强度/MPa;代号7,8为径向、弦向抗弯强度/MPa

径向抗弯强度(B_t)与竹龄(A)的关系: $B_t = 106.7570 + 18.8958A - 1.8811A^2$

弦向抗弯强度(B_b)与竹龄(A)的关系: $B_b = 131.4577 + 16.6432A - 1.6158A^2$

根据上面各式,可以推算出竹材各物理力学性质达到最大或最小时的竹龄,即一阶导数为零时的A值。红壳竹物理力学性质与竹龄关系的理论值见表5。

表5 红壳竹物理力学性质与竹龄关系理论值

Table 5 Theoretic value on relation between physico-mechanical properties and ages of *Phyllostachys iridescens*

项 目	竹 龄/a						最大值 竹龄/a	最小值 竹龄/a
	1	2	3	4	5	6		
基本密度/g cm ⁻³	0.569	0.599	0.624	0.642	0.654	0.660	6.4	
体积干缩性/%	18.253	17.340	16.663	16.223	16.022	16.059		5.3
顺纹抗压强度/MPa	45.8	50.0	55.4	57.8	58.3	58.1	5.1	
顺纹抗拉强度/MPa	211.5	218.3	223.6	227.4	229.6	230.4	6.0	
径向抗弯强度/MPa	125.8	137.0	146.5	152.2	154.2	152.4	5.0	
弦向抗弯强度/MPa	146.5	158.3	166.8	172.2	174.3	173.1	5.2	

由表5可见:各极值点均在5~6 a,极值点的极差较小,说明红壳竹竹材的各项物理力学性质较为稳定,竹龄5~6 a时物理力学性质指标达极值点。因此,在竹林培育中,红壳竹的采伐年龄应在5~6 a。

3.3 竹秆部位对红壳竹竹材物理力学性质的影响

选取3年生红壳竹竹材,每根分成3等份,制作试件。测试结果列于表6。

表6 红壳竹竹秆不同部位竹材的物理力学性质

Table 6 Physico-mechanical properties in various parts of the culm

项 目	竹 秆 部 位			平 均 值
	基 部	中 部	顶 部	
维管束密度/个 cm ⁻²	286	438	465	396
公定容积重/g cm ⁻³	0.540	0.606	0.671	0.606
体积干缩性/%	17.5	16.8	15.9	16.7
含水率/%	85.36	71.82	47.85	68.34
顺纹抗压强度/MPa	46.5	49.5	51.8	49.3
顺纹抗拉强度/MPa	213.6	223.6	231.8	223.0
径向抗弯强度/MPa	140.2	143.9	148.1	144.1
弦向抗弯强度/MPa	161.8	164.9	168.6	165.1

由表6可知:同一竹秆不同部位竹材的物理力学性质是不同的。自竹秆基部至顶部,竹材的干缩性和含水率逐渐减少,维管束密度和基本密度逐渐增加,力学性质亦相应提高,即含水率最大值在基部,其他物理力学性质的最大值均在顶部。

4 结论

4.1 红壳竹横断面的不同分割对抗压强度有极显著的影响。1/16分割对1/8,1/4,1/2和整环以及1/8,1/4,1/2分割对整环的抗压强度都具极显著差异,1/8,1/4,1/2分割之间无明显差异。

4.2 红壳竹竹材的物理力学性质与竹龄有密切关系。干缩性随竹龄增加而减少;基本密度、顺纹抗压强度、顺纹抗拉强度和抗弯强度都随竹龄增加而增加,至5~6年生达最大值。红壳竹的

采伐年龄以5~6年生为宜。

4.3 红壳竹竹材的物理力学性质与竹秆部位有关。竹秆自基部至顶部,干缩性和含水率逐渐减少,维管束密度和公定容积在逐渐增加,力学性质逐步提高。

致谢 郎红、何拥军、方利斌参加了部分试验工作。在此深表谢意。

参 考 文 献

- 1 中华人民共和国国家标准·木材物理力学试验方法·北京:技术标准出版社,1980.48~49
- 2 周芳纯·竹材物理力学性质的研究·南京林产工业学院学报,1981,(2):5~8

Yang Yunfang (Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, PRC), Yu Youming, Fang Wei, Chen Jianyian, Zhang Ailiang, and Han Chun **Study on physico-mechanical properties of culm-wood of *Phyllostachys iridescens*** *Journal of Zhejiang Forestry College*, 1998, **15** (2): 158~163

Abstracts: The physico-mechanical properties of culm-wood of *Phyllostachys iridescens* go hand in hand with ages and parts of the culm. The air shrinkage properties of the culm decrease gradually with the age while the basic density, compression strength parallel-to-the grain, tension strength parallel-to the grain and bending strength increase with the age of the culm and reach their maximum values at the age of 5~6 years. From the culm's bottom up, the water containage and air shrinkage properties reduce while the bundle density, basic density and strength increase. And different splittings of the culm have a remarkable effect on the compression strength.

Key words: *Phyllostachys iridescens*; bamboo wood; physical properties; mechanical properties