

毛竹材解剖性质变异规律研究

江泽慧 王朝晖

(中国林业科学研究院木材工业研究所 北京 100091)

摘要: 本文系统研究了不同年龄毛竹材解剖性质沿纵向和径向的变异规律, 用图像分析法定量解析了竹材维管束的变化规律, 更好揭示了毛竹材材性变异的本质, 对于竹材加工利用具有重要指导意义。

关键词: 毛竹, 维管束比量

Variation in anatomical properties of moso bamboo

Jiang Zehui Wang Zhaohui

(Research Institute of Wood Industry, CAF, Beijing 100091)

Abstract: This paper thoroughly researched on the variation in anatomical properties of *Phyllostachys pubescens*. Using computer image-processing technology to carry on precise examination volume fraction of bundle sheath. That could reveal the variation on bamboo properties better. It is significant to the bamboo processing and utilization

Key words: *Phyllostachys heterochycla var. pubescens*, Volume fraction of bundle sheath

竹类植物属禾本科的竹亚科。随着国家天然林保护政策的制定, 竹材资源的开发利用成为当务之急。毛竹(*Phyllostachys heterochycla var. pubescens*)为我国第一竹种, 从根本上讲, 有针对性对竹材材性进行研究是竹产业开发中最基础性的工作, 对毛竹竹材材性变异进行深入研究是合理开发利用竹材资源的基础和前提^[1]。

我国竹业科技工作者对竹子栽培经营研究较多, 而对竹材材性尤其解剖性质研究相对较少。著名林学家梁希早在 1944 年曾对国产竹材物理力学性质初步实验研究; 日本学者加纳瓦全 1929 年对台湾竹材材性作过系统研究; 日本学者竹内叔雄对竹子有研究, 1932 年著《竹的研究》颇有影响; 李正理 1960 年曾对国产竹材的解剖学特征进行比较研究; 朱惠方曾在 1964 年对国产 33 种纤维形态结构作过研究, 但由于条件限制, 对竹材解剖性质变异规律的系统研究较少。

通过本次实验研究, 全面系统而深入地对毛竹竹材的解剖性质变异规律进行了系统研究。使用微机图像处理技术对竹材的组织比量, 主要是纤维束比量进行了精确测定。

研究表明, 毛竹不同年龄材性变异规律如下: 从构造角度, 竹材的纤维束比量、纤维宽度随着年龄的增大而增大; 纤维长度、纤维长宽比、导管长度以 1 度竹最大, 其它年龄纤维长度、导管形态差异不明显。通过综合比较, 竹材从 1 度竹到 2 度竹生长过程中纤维束比量等指标增加幅度是最大的。2 度竹由于薄壁组织比量最大, 相对易遭虫蛀。4 度竹薄壁组织比量最小, 相对最抗虫蛀。3 度竹纤维束比量较高, 而薄壁组织比量相对较小, 材质较好。

1. 材料与方 法

1. 1 材 料

选取广德县东亭乡毛竹人工林作为采集地, 东亭乡位于广德县城东侧, 与浙江省长兴县、安吉县 2 县交界接壤。在竹资源分布区域上属于南片, 亩均立竹度 250, 东亭乡整体的毛竹经营水平在广德线属中上游, 在东亭乡林业站的指点下, 我们于 2000 年 5 月选取高峰村经营水平中上的人工毛竹林林分作为标准地, 由于这片林分是按大小年经营, 当年是小年, 分别按不同度数竹(1 度=2 年)在林分中选取胸径相近(胸径基本在中等偏上)的毛竹 14 株, 其中 1 度竹 3 株, 2 度竹 4 株, 3 度竹 3 株, 4 度竹 4 株。制作显微切片和纤维离析分别从每株样木第 5、11、17、23、30 节取样。

1. 2 方 法

竹材很硬, 切片困难。在学习前人经验的基础上, 先将试材锯成方块, 放入水中, 将烘箱温度调到 60℃, 浸泡 2-3 周, 放入甘油、酒精溶液(1/2 甘油+1/2 95%酒精)中保存。然后用蒸汽法切片,

第一作者简介: 江泽慧, 1939 年生, 女, 中国林业科学研究院, 院长, 教授, 博导, 主要从事木材解剖学、林木材质改良研究。电话: 010-62889001; 电子邮件: Jiangzehui@forestry.ac.cn。王朝晖, 男, 中国林业科学研究院, 博士, 主要从事木、竹、藤材材性研究。电话: 010-6288338; 电子邮件: zhwang@forestry.ac.cn。

切片切好后用番红染色，最后用树脂封固。

制作永久切片后用 Quantimet-570 图象处理仪进行组织比量测定。参照日本的一些竹材维管束图象分析的先例，采用人工在电脑屏幕上画出维管束的形状然后计算维管束的比量。由于竹材的永久切片是用番红染色。

纤维离析方面，取竹秆中部的一段，对于测定纤维形态的平均值，从竹青到竹黄均匀等比例取材，制成火柴棒大小；对于测定纤维形态的径向变异，从竹青到竹黄等分为 4 部分，每部分制成火柴棒大小分别离析测定。取样完成后放入离析液（1/2 33%冰醋酸+1/2 6%过氧化氢）中，在 60℃的烘箱中离析 1 周左右，即可将纤维完全离析。离析后染色制成临时切片在光电投影仪下测定纤维长度和宽度。

2. 结果与分析

2.1 纤维和导管变异

纤维的比例在竹秆壁外侧三分之一处比内侧明显高，在茎秆上部比下部也高。纤维占竹秆结构总重量的 60%-70%。纤维长度因品种不同而有很大差别，同一竹秆内不同部位纤维长度也不相同。从竹材利用角度，研究竹材纤维形态变异的有两个重要意义，第一，研究竹材纤维变异，可以为制浆造纸提供技术参数；第二，研究竹材纤维变异，可以从构造层次上把握纤维形态与密度和强度的关系，为建立竹材构造和力学性质的关系提供基本参数。下图为毛竹材不同年龄和高度纤维长度沿纵向和径向变异图。

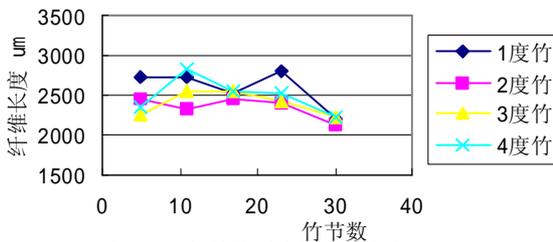


图1. 不同年龄竹纤维长度高度变异

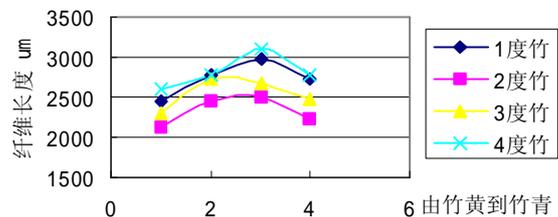


图2. 不同年龄纤维长度径向变异

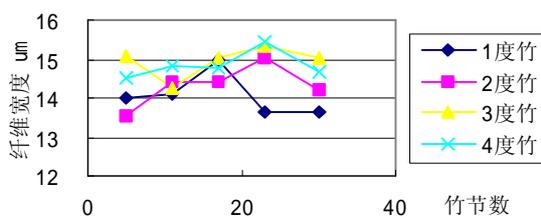


图3. 不同年龄竹材纤维宽度高度变异

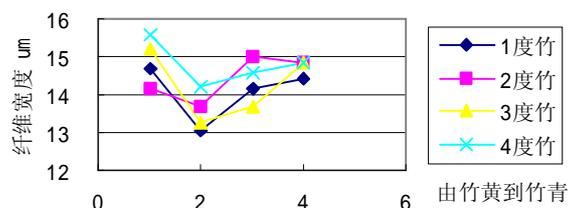


图4. 不同年龄竹材纤维宽度径向变异

纤维长度：从图 1 可见，纤维长度总体趋势为由基部向上纤维长度增加，在中部（第 11-23 节之间）达最大，而后下降，一般梢部（第 30 节）下降较快，2，3，4 度竹与 1 度竹相比，纤维长度略下降趋势。由图 2 可见，毛竹纤维长度由竹黄到竹青逐渐增大，一般到近竹青处（3 部位）达最大，然后到竹青处迅速降低。以上规律和前人所做关于毛竹纤维长度变异结果基本一致^[2,3]。

纤维宽度：其总体趋势为由基部向上纤维宽度增加，在中上部（第 17-23 节之间）达最大，而后到梢部（第 30 节）下降较快。毛竹纤维宽度由竹黄到竹青开始下降，然后到近竹青处增大，到竹青处又开始下降，以近竹黄处纤维宽度最小，以近竹青处（3 部位）为最大。

导管分子在竹浆中，所占比量极少，但是由于导管在毛竹的生理活动中及竹材力学性能中有重要作用，所以本实验在测量纤维形态同时也测量了导管形态。

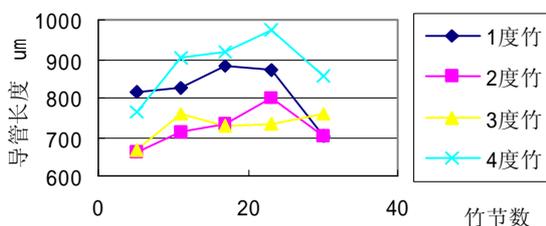


图5. 不同年龄不同高度导管长度变异

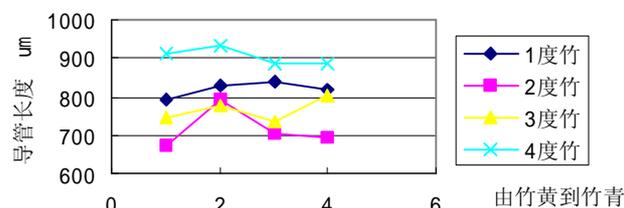


图6. 不同年龄竹材导管长度径向变异

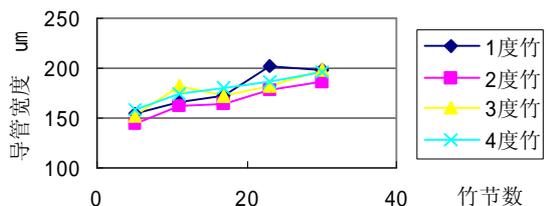


图7. 不同年龄不同高度导管宽度变异

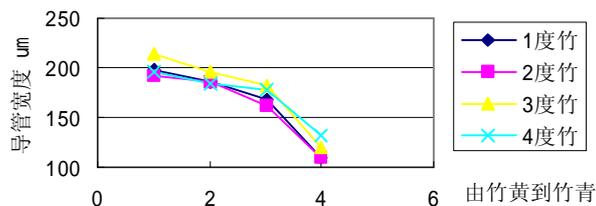


图8. 不同年龄竹材导管宽度径向变异

导管长度：2, 3, 4 度竹与 1 度竹相比，导管长度略有下降趋势。一般不同高度导管长度之间差异略显著，其总体趋势为由基部向上导管长度增加，在中上部（第 23 节）达最大，而后下降，一般梢部（第 30 节）下降较快，但梢部导管长度比基部略大。毛竹导管长度由竹黄到竹青逐渐增大，一般到近竹黄处（2 部位）达最大，然后到逐渐降低。

导管宽度：其总体趋势为由基部向上导管宽度一直增加，在上部（第 30 节）达最大。毛竹导管宽度径向变异很有规律，由竹黄到竹青逐渐降低，到竹青处（4 部位）急剧下降，这表明竹青处导管宽度比竹黄、竹肉处大幅降低，竹材构造的这个重要特点是竹青处力学强度较高的原因之一。

2. 2 组织比量的变异

竹类属单子叶植物，构造与木材相比显得简单而有规律，主要由维管束和薄壁组织构成。典型维管束由纤维束、原生木质部、后生木质部和韧皮部组成。输导组织（主要由导管和筛管组成），合计占整个组织比是的 7.9%，最高者如新小竹为 33.6%（此新小竹的纤维组织占组织比量的 30.0%，薄壁组织占组织比量的 32.4%，三者略相等），最低者如坭竹为 4.0%。薄壁组织是竹材的基本组织，分散在维管束、导管和纤维束的周围，薄壁组织是基本组织，腰希申等（腰希申，1992）对 68 种竹材中部的测计总平均的组织比量为 53.76%，最高的如巴山竹木为 64.0%，最低的如茶杆竹为 44.8%。总的来说，组织比量占 50% 以上者有 47 种，占总数的 70%。维管束位于中段者与梢段略相同与基段差异较大。据李正理等对 12 种的统计：在中段分布频率一般外侧较小较密（6-33 个/mm²，平均 14.8 个/mm²），内部较大较疏（1-8 个/mm²，平均 2.9 个/mm²），中部（2-13 个/mm²，平均 4.8 个/mm²）。外部长椭圆形平均长宽比为 1.5 : 1，内部为扁园形（平均长宽比为 0.78 : 1），中部为椭圆形（平均长宽比为 1.13 : 1）。腰希申等（腰希申，1992）对 68 种竹杆中段的纤维约占组织比量的测定，总平均为 38.33%，大多数为 40% 左右；最高者如黄竹为 52.3%，最低者如峨嵋玉山竹为 30.0%。

本次实验采用显微镜微机图象处理技术对毛竹竹秆的薄壁组织比量、输导组织比量、纤维束比量等进行精确测定，每个年龄取 3-4 株毛竹，每株毛竹由基部到梢部从第 5 节、第 11 节、第 17 节、第 23 节、第 30 节 5 个部位分别制作切片观测，对每个显微切片从竹黄到竹青均匀取 4 个视野分别进行观测，现将每个年龄不同样木同一竹节处同一视野处的组织比量观测值包括薄壁组织比量、输导组织比量、纤维束比量等指标。

2. 2 .1 组织比量的径向变异

绘出 1 度竹和 2 度以上竹薄壁组织比量径向变异曲线，以比较异同点：

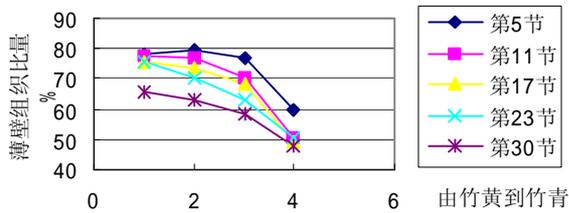


图9. 1度竹不同高度薄壁组织比量径向变异

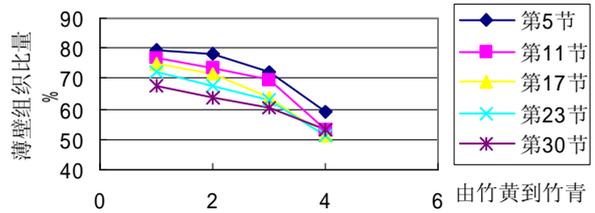


图10. 2度以上竹不同高度薄壁组织比量径向变异

从上图可见，1 度竹和 2 度以上竹的薄壁组织比量由竹黄到竹青，开始逐渐减小，到竹青部位，减小幅度加大，从径向变化曲线上看，在近竹青 1/4 处出现减小转折点，但是 1 度竹，尤其是高度较低的 1 度竹在转折点处减小的幅度较大，变化梯度较大，这主要由于 1 度竹竹肉部分薄壁组织比量较高所致，说明从 1 度竹到 2 度竹的生长过程中，薄壁组织比量减小较大的部位为竹肉靠近竹青部分（1/2-1/4 部位），一般 2 度以上竹的薄壁组织比量减小转折点不明显，尤其随着高度的增加，减小转折点越来越不明显。从不同高度来看，1 度竹第 30 节的竹肉部位薄壁组织比量远比第 30 节以下的要低，第 30 节以下不同高度的薄壁组织比量相差较大，一般高度越高，薄壁组织比量越小；2 度以上竹第 30 节的竹肉部位薄壁组织比量比第 30 节以下的要低，但第 30 节与第 23 节相差不大，一般随着高度增高，薄壁组织比量减小，不论 1 度竹还是 2 度以上，不同高度薄壁组织比量的差别主要在竹肉部分，而在竹青部位相差不大，1 度竹不同高度薄壁组织比量的差别最大在竹肉到竹青部位（1/2-1/4），2 度以上不同高度薄壁组织比量的差别最大在竹肉到竹黄部位（1/2-1/4）竹随着高度的增加，由于竹肉部位薄壁组织比量减小较大，而竹青部位减小较缓，这样使得随着高度的增加薄壁组织比量变化梯度变小。

绘出 1 度竹和 2 度以上竹输导组织比量、竹纤维束比量径向变异曲线，以比较异同点：

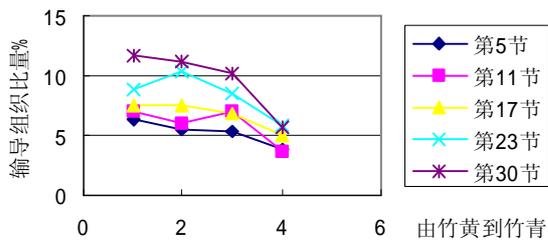


图11. 1度竹不同高度输导组织比量径向变异

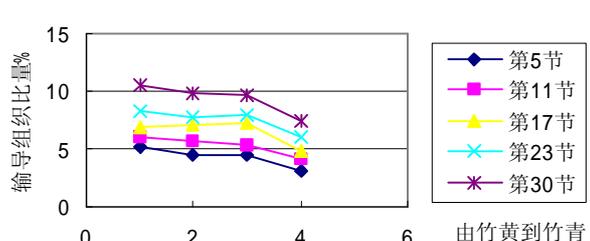


图12. 2度以上竹不同高度输导组织比量径向变异

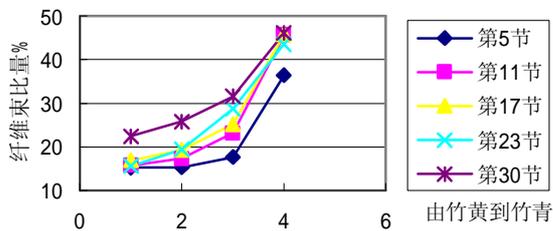


图13. 1度竹不同高度纤维束比量径向变异

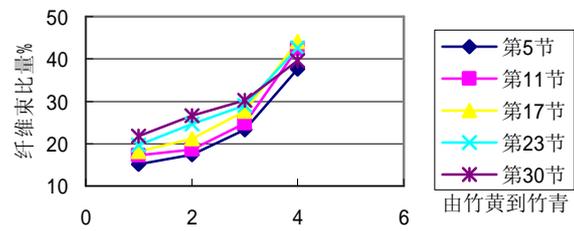


图14. 2度以上竹不同高度纤维束比量径向变异

从上图可见，1 度竹和 2 度以上竹的输导组织比量由竹黄到竹青，开始逐渐减小，到竹青部位，减小幅度加大，从径向变化曲线上看，在近竹青 1/4 处出现减小转折点，但是 1 度竹，尤其是高度

较高的 1 度竹在转折点处减小的幅度较大，变化梯度较大，这主要由于 1 度竹竹肉部分输导组织比量较高，而竹青部分输导组织比量较低所致，说明从 1 度竹到 2 度竹的生长过程中，输导组织比量减小较大的部位为竹肉部分，一般 2 度以上竹的输导组织比量减小转折点不明显。从不同高度来看，1 度竹第 30 节的竹肉部位输导组织比量比第 30 节以下的要高，第 30 节以下一般高度越高，输导组织比量越大；2 度以上竹一般随着高度增高，径向相应部位输导组织比量随之均匀增加，即随着高度的增加，竹肉和竹青输导组织比量增加幅度基本一致，这是和胞壁率变化趋势不同的。1 度竹不同高度输导组织比量的差别最大在竹肉部位，2 度以上不同高度输导组织比量的差别均匀。随着高度的增加，1 度竹由于竹肉部位输导组织比量增加较大，而竹青部位增加较缓，这样使得随着高度的增加输导组织比量变化梯度变大。而 2 度以上竹随着高度的增加输导组织比量变化梯度基本保持一致。从图 13、14 可见，1 度竹和 2 度以上竹纤维束比量由竹黄到竹青逐渐增大，从近竹青的竹肉处到竹青处纤维束比量显著增大。

2. 2 .2 组织比量的纵向变异

为了对不同年龄不同高度毛竹的组织比量变异有更明确的认识，

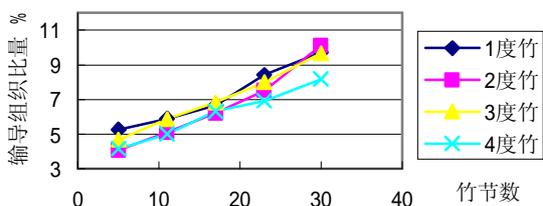


图15. 不同年龄不同高度竹材输导组织比量变异

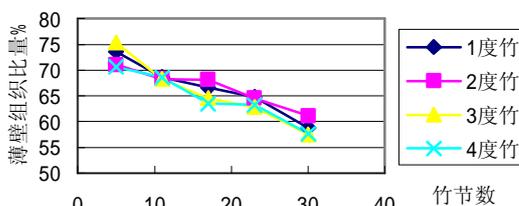


图16. 不同年龄不同高度竹材薄壁组织比量变异

从图 15、16 可见，不同年龄毛竹薄壁组织比量两两之间差异性不显著，以 2 度竹薄壁组织比量最大，4 度竹薄壁组织比量最小。

从图 15 可见，所有年龄的竹材输导组织比量均随着竹节高度的增加而增加，由前面关于导管宽度的纵向变异可知，这主要由于导管宽度上随着高度增加而增大。由于 1 度竹输导组织比量比 2 度竹、3 度竹、4 度竹略大，这说明从 1 度竹到 2 度竹的生长过程中，输导组织比量有相对减小的趋势。

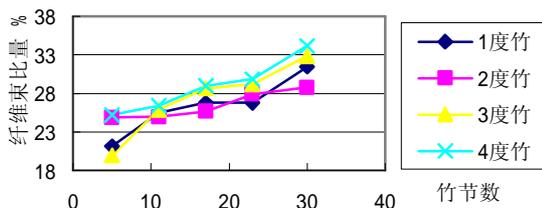


图17. 不同年龄不同高度竹材纤维束比量变异

从图 17 可见，所有年龄的竹材纤维束比量均随着竹节高度的增加而增加，但是第 17 节以下纤维束比量差异不大，而第 17 节以上，随着高度的增加，纤维束比量增加梯度增大。不同年龄毛竹胞壁率两两之间差异性不显著，主要由于 1 度竹纤维束比量最小，4 度竹、3 度竹纤维束比量较大，而 2 度竹纤维束比量比 3 度竹略小。

3 小结

关于竹材纤维和导管形态纵向变异规律如下：纤维长度、纤维宽度、导管长度从基部到梢部随着高度的增加而增加，在第 17 竹节到第 23 竹节达到最大值，而后下降，导管宽度随着高度增加而

一直增加；

关于竹材纤维和导管形态径向变异规律如下：纤维长度由竹青到竹黄，开始上升，在中部达到最大，而后又开始下降，纤维宽度由竹青到竹黄，开始增宽，而后下降，到竹黄又开始增宽，导管长度由竹青到竹黄缓慢增加，到近竹黄处达最大值，而后下降，导管宽度由竹青到竹黄开始急剧增加，然后一直缓慢增加。

关于竹材纤维和导管形态年龄变异规律如下：竹材纤维长度、导管长度以 1 度竹最大，其它年龄纤维长度、导管变化不明显；竹材纤维宽度随着年龄的增大而增大。

关于竹材组织比量的纵向变异规律如下：竹材纤维束比量、输导组织比量从基部到梢部随着高度增加而增加，而薄壁组织比量随着高度增加而减小。

关于竹材组织比量的径向变异规律如下：竹纤维束比量由竹青到竹黄开始急剧下降，然后缓慢下降，薄壁组织比量、输导组织比量由竹青到竹黄开始急剧增加，然后缓慢增加，

关于竹材组织比量年龄变异规律如下：竹材的纤维束比量、纤维宽度随着年龄的增大而略微增大。

参考文献

- 1 江泽慧. 世界竹藤. 辽宁科学技术出版社, 2002
- 2 江泽慧, 邹惠渝, 阮锡根等. 应用 X 射线衍射技术研究竹材超微结构 I. 竹材纤维角. 林业科学, 2000, 36 (3)
- 3 李正理等. 几种国产竹材的比较解剖观察. 植物学报, 1960, 9(1)
- 4 王朝晖. 竹材材性变异规律及其与加工利用关系研究. 中国林业科学研究院博士论文, 2001