

网络出版时间:2015-01-05 08:59

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2015.02.012

网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20150105.0859.012.html

# 四川蓝桉幼龄材解剖性质及其变异规律

罗 浩,齐锦秋,谢九龙,吴秉岭,黄兴彦

(四川农业大学 林学院,四川 雅安 625014)

【摘 要】 【目的】了解四川产蓝桉人工林木材的解剖性质及其变异规律,为其培育和利用提供依据。【方法】以采自四川雅安的 5 株 5 年生蓝桉为试验材料,在不同高度按生长轮截取试材,通过离析法和永久切片法对试材导管和纤维形态特征进行测定。【结果】导管长度、宽度(径向直径)、长宽比、弦向直径均值分别为 410.13  $\mu\text{m}$ ,141.24  $\mu\text{m}$ ,2.90,89.25  $\mu\text{m}$ ;纤维长度、宽度、长宽比、壁厚、腔径、壁腔比均值分别为 910.27  $\mu\text{m}$ ,17.79  $\mu\text{m}$ ,50.85,3.47  $\mu\text{m}$ ,10.48  $\mu\text{m}$ ,0.67;除了纤维壁厚和壁腔比从髓心向外呈减小规律之外,其余导管形态和纤维形态指标径向变异规律一致,都从髓心向外呈增加趋势;轴向变异规律较为复杂,导管长度、纤维长度等指标规律性较强,随树干高度的增加呈先增后减的变异规律,其他指标变异规律不明显。【结论】获得了四川产 5 年生蓝桉人工林木材解剖性质及其变异规律,其解剖指标满足制浆造纸的要求。

【关键词】 蓝桉;木材;解剖性质;变异规律

【中图分类号】 S792.39

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2015)02-0106-07

## Variation in anatomical properties of *Eucalyptus globulus* juvenile wood from Sichuan

LUO Hao, QI Jin-qiu, XIE Jiu-long, WU Bing-ling, HUANG Xing-yan

(College of Forestry, Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan 625014, China)

**Abstract:** 【Objective】 This study investigated the variations in anatomical properties of *Eucalyptus globulus* from Sichuan to improve its cultivation and utilization. 【Method】 Five 5-year-old *E. globulus* harvested from Ya'an, Sichuan were selected and their fiber and vessel morphologies at different heights along annual rings were investigated using isolation and permanent section methods. 【Result】 The vessel length, width (radial diameter), length-width ratio, and tangential diameter were 410.13  $\mu\text{m}$ , 141.24  $\mu\text{m}$ , 2.90, and 89.25  $\mu\text{m}$ , respectively. The fiber length, width, length-width ratio, cell wall thickness, cavity diameter, and cell wall thickness-lumen diameter were 910.27  $\mu\text{m}$ , 17.79  $\mu\text{m}$ , 50.85, 3.47  $\mu\text{m}$ , 10.48  $\mu\text{m}$ , and 0.67, respectively. All the property indexes except cell wall thickness and cell wall thickness-cavity diameter showed same increasing trend that they increased radially from pith to bark. Longitudinal variations of fiber and vessel morphologies were complex. Vessel and fiber length showed significant variations namely increased first and then decreased with the increase of tree height while others showed no regular changes. 【Conclusion】 The anatomical properties and their variations of 5-year-old *E. globulus* from Sichuan were obtained and they satisfied the requirement of papermaking.

**Key words:** *Eucalyptus globulus*; wood; anatomical properties; variation

【收稿日期】 2013-10-28

【基金项目】 四川省高等学校重点实验室项目“木材工业与家具工程”

【作者简介】 罗 浩(1989—),男,四川威远人,在读硕士,主要从事木材材性研究。E-mail:sumiorbo@163.com

【通信作者】 齐锦秋(1972—),女,辽宁阜新,副教授,博士,主要从事木/竹材材性研究。E-mail:qijinqi2005@aliyun.com

桉树因其生长迅速,适应性强,木材产量高,近几十年来被许多国家引种栽培,全球桉树人工林种植面积达 5 000 万 hm<sup>2</sup><sup>[1]</sup>。初步统计,目前我国桉树人工林面积已达 360 万 hm<sup>2</sup>,四旁植树超过 18 亿株,是世界上桉树种植面积最大的国家之一。桉树类产业发展迅速,其广泛用于制浆造纸、人造纤维和纤维板等方面,已成为世界性的短周期工业原料林首选造林树种之一,桉树人工林已成为工业纤维原料林和板材林方面的主力军<sup>[2]</sup>。我国 20 世纪 70 年代开始对桉树材性进行研究,主要涉及解剖学、物理力学、化学性质和加工工艺性质,研究树种主要为巨桉(*Eucalypts grandis*)、尾叶桉(*E. urophylla*)、尾巨桉(*E. urophylla*×*grandis*)、柠檬桉(*E. citriodora*)、窿缘桉(*E. exserta*)和细叶桉(*E. tereticornis*)<sup>[3-4]</sup>。众多研究表明,木材导管、木射线、轴向薄壁细胞及纤维的形状、大小、比量等特征和变异直接影响木材性质<sup>[5]</sup>。因此,对木材解剖性质进行研究,是探索木材其他性质和加工利用的基础。

蓝桉(*Eucalyptus globulus*)为桃金娘科桉树属落叶乔木,原产于澳大利亚,我国最早于 1890 年作为观赏性树种引种到华南和西南地区,1896 年引种

至昆明。从 20 世纪 50 年代以来,它逐步成为上述地区的主要栽培树种之一。四川省于 1947 年引种蓝桉,主要分布于邻近云南的川西南地区,至 20 世纪 70 年代有较大的发展,四旁栽培有 5 亿株。目前关于蓝桉的研究国内外均有报道,多集中在造林、栽培、引种驯化和木材的加工利用等方面,对蓝桉的木材构造研究也主要集中在木材的识别、鉴定以及结构等方面。本试验以四川产蓝桉为材料,对其木材导管形态、纤维形态及其变异规律进行研究,探索导管形态、纤维形态在径向和轴向的变异规律,以期为蓝桉的培育和利用提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材 料

试验材料采自四川省雅安市雨城区四川农业大学实验林场,该区属亚热带湿润季风气候,平均海拔 660 m,年平均气温 16.2 ℃,年平均降水量 1 732 mm。按照 GB 1927—91《木材物理力学试材采集方法》,在蓝桉人工林中选取 5 株,标明北向记号并记录胸径、树高等指标,具体情况见表 1。

表 1 5 株供试蓝桉的基本情况

Table 1 Basic data of 5 tested *Eucalyptus globulus*

| 试材编号<br>Material number | 来源<br>Source | 树龄/年<br>Age | 胸径/cm<br>DBH | 树高/m<br>Height | 林分情况<br>Stand condition                                                                                           |
|-------------------------|--------------|-------------|--------------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A                       | 雅安 Ya'an     | 5           | 18.3         | 17.9           | 林分密度为 1 400 株/hm <sup>2</sup> ,土壤为紫色土<br>The stand density is 1 400 trees per hectare and the soil is purple soil |
| B                       | 雅安 Ya'an     | 5           | 17.3         | 17.4           |                                                                                                                   |
| C                       | 雅安 Ya'an     | 5           | 17.2         | 17.2           |                                                                                                                   |
| D                       | 雅安 Ya'an     | 5           | 21.0         | 17.4           |                                                                                                                   |
| E                       | 雅安 Ya'an     | 5           | 19.5         | 18.2           |                                                                                                                   |

1.2 方 法

- 1) 试样制取。将样木伐倒后于树高 1.3 m 处截取圆盘,各圆盘沿北向逐生长轮取材,用于导管和纤维形态径向变异测定;在整个样木高度上,在基部(0.3 m)和 1.3,2.0 m 及其以上每隔 2 m 截取圆盘,圆盘厚度为 8~10 cm,用于测定导管和纤维形态轴向变异。
- 2) 纤维长度、导管长度的测量。采用离析法,对桉树小木块沿着生长轮的两边分别将其 3 等份剖开,在边上两部分靠内侧切出火柴棍大小试样,放入试管并添加适量离析液(体积分数 10%硝酸+体积分数 10%铬酸)将试样淹没,然后制成临时切片,在台式数像显微投影仪上测量纤维和导管的长度,每个临时切片纤维和导管各测量 60 根。
- 3) 纤维宽度、细胞壁厚、腔径和导管大小的测定。采用永久切片法,将蓝桉小木块水煮软化后于

滑动切片机上切取横切面 30 μm 厚度切片,经过染色、脱水后用中性树胶固封,并将制作好的切片置于显微镜系统成像后,通过图像分析软件测定纤维宽度、细胞壁厚、腔径和导管大小,以上指标每个切片各测量 60 个数据。

1.3 数据处理

采用 SPSS 20.0(SPSS Inc.,USA)软件对数据进行统计分析和回归方程拟合。用双因素方差分析检验不同高度、不同生长轮导管形态和纤维形态指标的差异。图形绘制在 sigmaplot 12.5 软件上完成。

2 结果与分析

- 2.1 四川蓝桉幼龄材导管形态特征及变异规律
- 2.1.1 导管形态特征 导管是阔叶树材(除少数树种)木质部中由一串高度特化的管状死细胞所组成

的、将地下水分及矿质元素运送到树冠部分作为光合作用原料的管状结构,主要起输导水分和无机盐的作用。导管的生理活动与树木生长过程密切相关,对木材后期加工利用过程也会产生重要的影响,如会影响木材的纸浆生产。一般认为,导管使纸浆得率减少,还对纸张强度及印刷效果有不良影响,原因是这类细胞的木素含量最高,降低了制浆效率<sup>[6]</sup>。

表 2 四川蓝桉幼龄材导管的形态特征

| Table 2 Vessel morphology of <i>Eucalyptus globulus</i> juvenile wood from Sichuan |                                      |                                           |                           |                                            |
|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------|
| 编号<br>Number                                                                       | 导管长度/ $\mu\text{m}$<br>Vessel length | 导管宽度(径向直径)/ $\mu\text{m}$<br>Vessel width | 长宽比<br>Length-width ratio | 弦向直径/ $\mu\text{m}$<br>Tangential diameter |
| A                                                                                  | 399.33                               | 132.93                                    | 3.01                      | 80.56                                      |
| B                                                                                  | 411.85                               | 142.67                                    | 2.89                      | 91.26                                      |
| C                                                                                  | 385.60                               | 136.80                                    | 2.82                      | 79.26                                      |
| D                                                                                  | 421.45                               | 148.00                                    | 2.85                      | 98.69                                      |
| E                                                                                  | 432.42                               | 145.80                                    | 2.97                      | 96.47                                      |
| 均值 Average                                                                         | 410.13                               | 141.24                                    | 2.90                      | 89.25                                      |

2.1.2 导管径向变异规律 木材导管不仅在不同树种的种源、家系和无性系间存在差异,在相同种源、家系、无性系内不同株间及株内的径向和高度方向上的不同部位间均存在差异。多数树种木质部导管的尺寸径向变化一般是从髓心往外呈增加趋势,且在生长轮间差异显著<sup>[8]</sup>。从图 1 可以看出,四川

导管分子的数量、大小影响木材的粗糙度、孔隙率、表面涂饰性和用途等,也在一定程度上反映该树种的进化程度<sup>[7]</sup>。由表 2 可知,蓝桉幼龄材导管长度平均为 410.13  $\mu\text{m}$ ,导管宽度平均为 141.24  $\mu\text{m}$ ,长宽比平均为 2.90,弦向直径平均为 89.25  $\mu\text{m}$ ,导管径向直径显著大于弦向直径。

蓝桉幼龄材导管长度、宽度、弦向直径从髓心向外逐渐增大,而且第 3 生长轮增幅最大。方差分析结果表明,导管长度、导管宽度、弦向直径在不同生长轮之间差异极显著,符合一般规律<sup>[6]</sup>。相关分析表明,导管长度、宽度与生长轮相关关系显著。

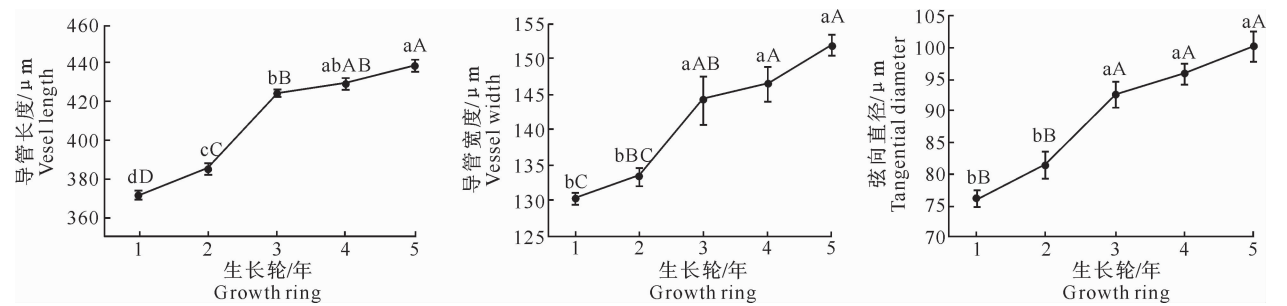


图 1 四川蓝桉幼龄材导管长度、宽度和弦向直径的径向变异规律

图中标不同小写字母者表示差异达到显著水平( $P=0.05$ ),标不同大写字母者表示差异达到极显著水平( $P=0.01$ )。下图同  
Fig. 1 Radial variation of vessel length,width and tangential diameter of *Eucalyptus globulus* juvenile wood from Sichuan  
The small letters indicate significant difference at  $P=0.05$ . The capital letters indicate extremely significant difference at  $P=0.01$ . The same below

2.1.3 导管轴向变异规律 导管是阔叶树材的轴向输导组织,植物将根系从土壤中吸收的水分通过导管向上运输到各个器官,以满足植物生理需求。木材导管沿树干方向存在细化现象,即导管的直径随着树高的增加而逐渐变小,这可能是由于树干下部的导管内压力高,上部压力低,树干上部的小直径导管有利于承受更大的压力差,从而可以弥补水分运输阻力随树木个体增大而增加的缺陷<sup>[9]</sup>。从图 2 可以看出,四川蓝桉幼龄材导管长度从基部开始随树干高度增加而增大,到树干高度 6.0 m 处达到最

大值,随后减小;导管宽度轴向变异规律与导管长度轴向变异规律相似;导管长宽比呈现出与导管长度相反的变异情况,即从基部开始随树干高度增加而减小,到树干高度 6.0 m 处达到最小值,随后又呈逐渐增加趋势。经相关性分析可知,导管长度与树干高度相关性显著;导管宽度、长宽比与树干高度呈负相关,但是相关性不显著。采用二次函数曲线对导管长度( $y$ )与树干高度( $x$ )进行拟合,得到方程: $y = -0.4575x^2 + 4.7031x + 403.47, R^2 = 0.8886$ 。

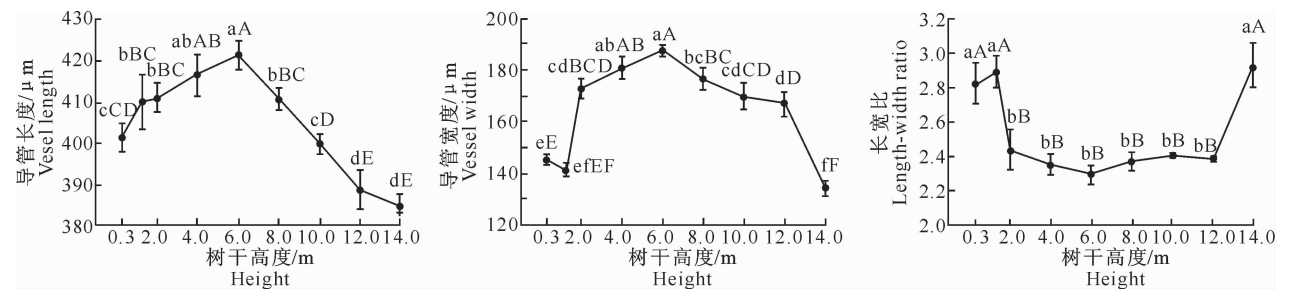


图2 四川蓝桉幼龄材导管长度、宽度和长宽比的轴向变异规律

Fig. 2 Longitudinal variation of vessel length,width and length-width ratio of *Eucalyptus globulus* juvenile wood from Sichuan

2.2 四川蓝桉幼龄材纤维形态特征及其变异规律

2.2.1 纤维形态特征 纤维形态包括纤维长度、宽度、长宽比、壁厚、腔径、壁腔比,是木材重量、基本密度和强度性质的物质基础,当作为纸浆原料时也影响着纸张强度。纤维长度是评价纤维原料品质的一个重要指标,研究发现,其不仅与纸页撕裂度呈直线关系,而且越长越有利于提高纸张的抗张强度、耐破度及耐折度<sup>[10]</sup>。纤维长宽比是一项仅次于纤维长度的十分重要的纤维形态指标,纤维长宽比值越大,打浆时纤维有较大的结合面积,纸浆撕裂指数高,成纸强度高,反之不宜打浆,纸浆强度低,长宽比值小于35的材料不适宜造纸<sup>[11]</sup>。纤维细胞壁越厚,形成的纸张组织蓬松而多孔,撕裂度大而引力与爆破

因子下降,壁薄则具有很强的张力,纸张耐折<sup>[3]</sup>。Runkel的研究指出,纤维壁腔比小于1者为上等造纸用材,纤维壁腔比等于1者为中等造纸用材,纤维壁腔比大于1者为劣等用材<sup>[12]</sup>。从表3可知,蓝桉纤维长度平均为910.27 μm,纤维宽度均值为17.79 μm,长宽比平均为50.85,壁厚平均为3.47 μm,腔径平均为10.48 μm,壁腔比均值为0.67。根据国际木材解剖家学会对纤维的分类标准可知,5年生四川蓝桉纤维是中等长度纤维,纤维长宽比较大,壁腔比中等,说明蓝桉纤维是长而细的纤维,这样的纤维之间结合面大,相互交织好,纸张强度大,纤维长度、长宽比、壁腔比这3项指标均能满足制浆造纸的要求。

表3 四川蓝桉幼龄材纤维的形态特征

Table 3 Fiber morphology of *Eucalyptus globulus*

| 编号<br>Number | 纤维长度/μm<br>Fiber length | 纤维宽度/μm<br>Fiber width | 长宽比<br>Length-width ratio | 壁厚/μm<br>Cell wall thickness | 腔径/μm<br>Cavity diameter | 壁腔比<br>Cell wall thickness-cavity diameter ratio |
|--------------|-------------------------|------------------------|---------------------------|------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------|
| A            | 908.40                  | 17.16                  | 56.40                     | 3.08                         | 10.64                    | 0.57                                             |
| B            | 979.00                  | 18.94                  | 49.79                     | 3.66                         | 11.22                    | 0.67                                             |
| C            | 901.60                  | 18.96                  | 49.07                     | 3.88                         | 10.81                    | 0.73                                             |
| D            | 790.73                  | 16.68                  | 51.34                     | 3.34                         | 9.66                     | 0.71                                             |
| E            | 971.60                  | 17.21                  | 47.66                     | 3.38                         | 10.09                    | 0.68                                             |
| 均值 Average   | 910.27                  | 17.79                  | 50.85                     | 3.47                         | 10.48                    | 0.67                                             |

2.2.2 纤维形态径向变异规律 木材的纤维变化规律是树木年轮材质分析的主要参数之一,同时也是反映木材及其利用价值的重要指标,其变异大小是优良纸浆用材选择的基础<sup>[3]</sup>。从图3可知,四川蓝桉幼龄材纤维长度为780~1 000 μm,而且由髓心向外呈逐渐增大的规律,其中第3生长轮增幅最大;纤维宽度为17~19 μm,其径向变异规律与纤维长度一致,即从髓心到树皮纤维越来越宽;纤维长宽比也是随着生长轮的增加而增大,这是因为纤维长度的增加幅度大于纤维宽度的增长幅度;纤维壁厚在第1与第2生长轮间基本无差异,之后在径向上

的变异规律与纤维长度相反,呈逐渐减小趋势;纤维腔径整体而言在径向上的变异规律为逐渐增大,但是在第4生长轮下降;壁腔比随生长轮的增大而逐渐减小。

2.2.3 纤维形态轴向变异规律 从图4可以看出,四川蓝桉幼龄材纤维长度随着树干高度增加先增大,最大值出现在2.0 m处,随后随树干高度的增加呈减小规律;纤维宽度变异规律不明显;纤维长宽比在树干高度0.3~6.0 m处变异规律与纤维长度变异规律一致,在树干高度8.0 m处急速上升,以后呈现下降趋势,但下降幅度不大。纤维细胞壁厚变异

规律也不明显,最大值 4.22  $\mu\text{m}$  出现在树干高度 12.0 m 处,最小值 3.08  $\mu\text{m}$  出现在树干高度 2.0 m 处;纤维腔径变异规律也不明显,但树干高度 6.0 m 及以下的腔径整体要大于 6.0 m 以上,最大值 11.22  $\mu\text{m}$  出现在树干高度 4.0 m 处,最小值 9.26  $\mu\text{m}$  出现在树干高度 12.0 m 处;壁腔比变异幅度不大,变异规律也不明显,与纤维腔径相反,树干高度 6.0 m 以上的壁腔比整体要大于 6.0 m 以下。相关

性分析结果显示,纤维长度、长宽比与树干高度相关关系极显著;壁腔比与树干高度相关关系显著;纤维宽度、壁厚、腔径与树干高度相关性不显著。纤维长度( $y_1$ )、长宽比( $y_2$ )与树干高度( $x$ )的回归方程分别为: $y_1 = -0.505\ 1x^2 - 4.370\ 7x + 930.66, R^2 = 0.856\ 6; y_2 = -0.011\ 6x^2 - 0.321\ 7x + 52.68, R^2 = 0.578\ 9$ 。

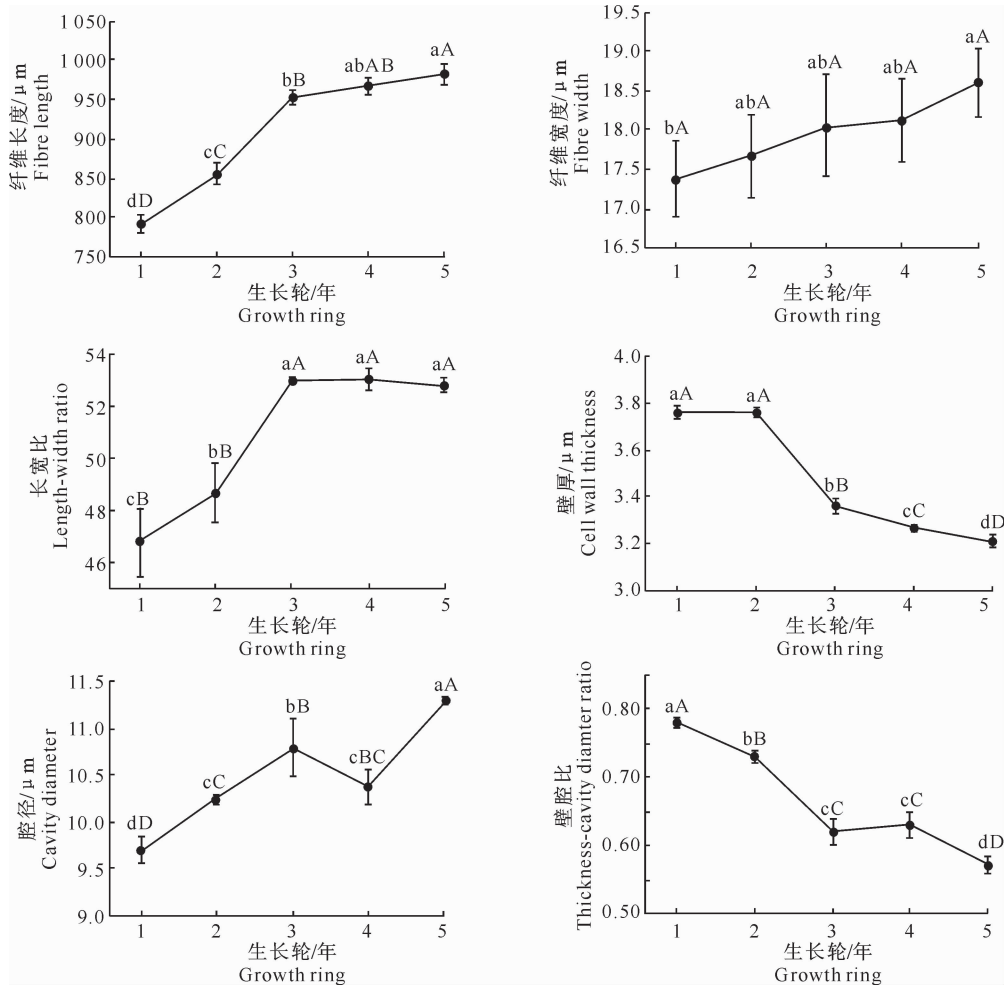


图 3 四川蓝桉幼龄材纤维形态的径向变异规律

Fig. 3 Radial variation of fiber morphologies of *Eucalyptus globulus* juvenile wood from Sichuan

3 结论与讨论

本研究得到的 5 年生四川产蓝桉木材的导管长度、宽度均值分别为 410.13 和 141.24  $\mu\text{m}$ ,导管长度小于巨桉、柳叶桉、赤桉和尾叶桉<sup>[13]</sup>,与王昌命等<sup>[14]</sup>对 16~20 年生蓝桉的测量结果接近,导管宽度略大于其测量值。这可能是因为幼龄材处于快速生长阶段,生长速率快引起的导管细胞横向生长速率相对较快所致。四川蓝桉导管长度、宽度、弦向直

径都从髓心向外逐渐增大,这与王华田<sup>[15]</sup>报道的多数树种导管尺寸以靠近髓心部位处最小,并且由内而外逐渐增大的规律相吻合。这种现象与树木的生长过程相关,随着树木年龄的增加,形成层产生更大的导管,一方面增加了单位边材面积导水率进而对树木高生长引起的水力限制进行一定的补偿;另一方面降低了对木质部的碳投入,因为大而稀疏的导管需要的碳投入更少<sup>[16-17]</sup>。Tyree 等<sup>[18]</sup>指出,随着树木的生长,其下部枝条或树干产生更大的管道分



子以提高导水率来维持一定的树液流速,同时维持一定的叶片-土壤水势梯度以避免木质部张力过大引起的空穴化伤害。但是,本研究得出的四川蓝桉导管长度、宽度轴向变异规律相似,都随树干的增高呈现出先增加后减小的变化趋势,与木材导管沿着树干方向的细化现象不符合,这可能是随着下部枝

条脱落,枝条中的导管对树木高生长引起的水力阻力增加的缓解作用随之消失,这样一来,维持树液流速所需的大而疏的导管就主要集中到了树干部位。四川蓝桉导管长度、宽度轴向变异规律与大青杨早材部分的变异规律一致,这也许是由于幼龄材和早材具有相对生长快的共性<sup>[8]</sup>。

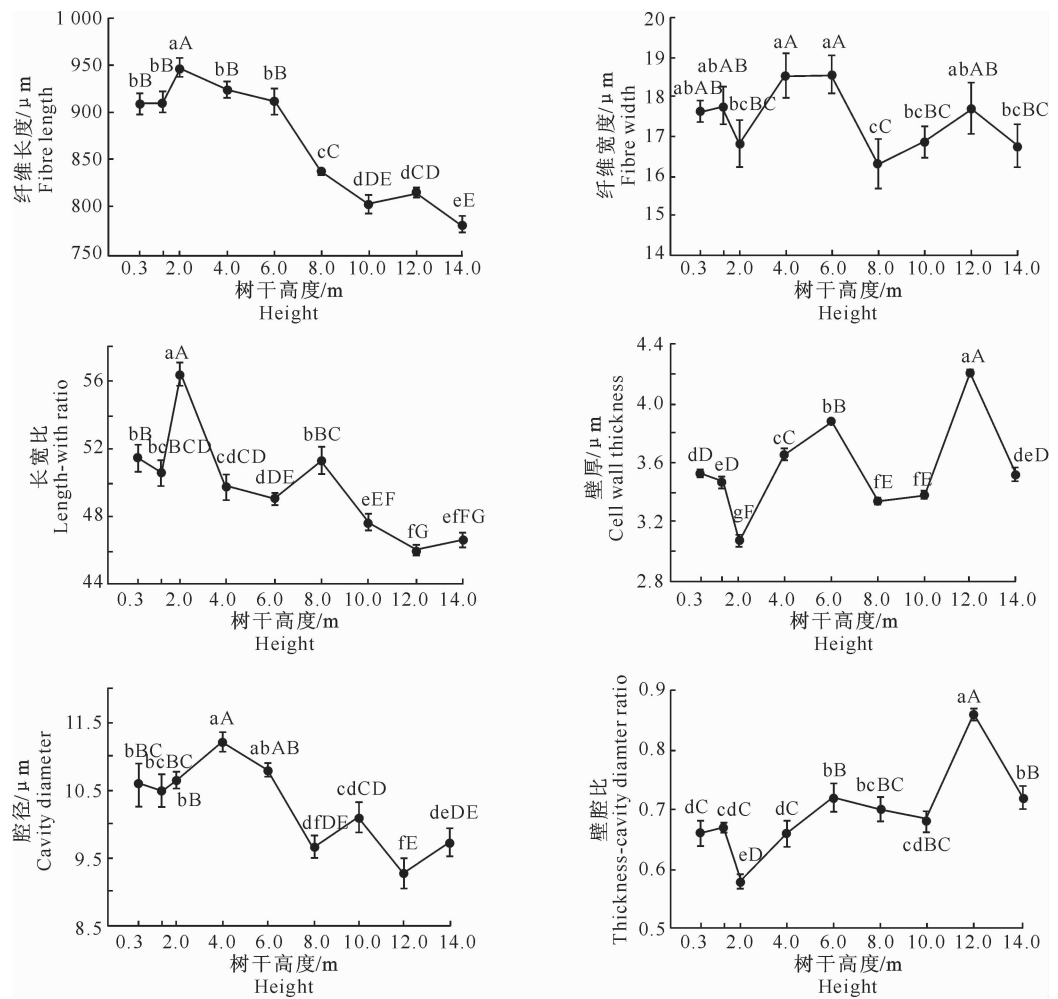


图 4 四川蓝桉幼龄材纤维形态的轴向变异规律

Fig. 4 Longitudinal variation of fiber morphologies of *Eucalyptus globulus* juvenile wood from Sichuan

本研究结果还显示,四川蓝桉纤维长度、纤维宽度、长宽比、壁厚、腔径、壁腔比均值分别为 910.27  $\mu\text{m}$ , 17.79  $\mu\text{m}$ , 50.85, 3.47  $\mu\text{m}$ , 10.48  $\mu\text{m}$ , 0.67, 各指标特征值与贵州引种栽植的 5 年生蓝桉十分接近,并且处于桉属多个树种指标值范围之内,属于中等水平<sup>[19-20]</sup>。四川蓝桉纤维长度由髓心向外呈逐渐增大的规律,与邓伦秀等<sup>[19]</sup>、李淡清等<sup>[21]</sup>分别以贵州和云南产蓝桉为对象的研究结果一致,这是由遗传和生长环境共同决定的。产生这种变化的根本原因在于形成层原始细胞垂周分裂速度和子细胞穿插生长,髓心附近的形成层原始细胞尚未成熟,体形较短,产生较短的子细胞是为了满足树干直径快速生

长的需要,到一定时期,形成层原始细胞成熟,体形变长,较短的形成层原始细胞消逝速度加快,产生较长的子细胞<sup>[22]</sup>。本研究中,四川蓝桉纤维宽度、腔径由髓心向外呈逐渐增大规律,纤维壁厚呈逐渐减小规律,这也与树木直径生长快而细胞壁物质积累相对缓慢的理论吻合。四川蓝桉纤维长度、宽度和长宽比径向变异规律与尾巨桉<sup>[3]</sup>、尾叶桉<sup>[23]</sup>一致,但纤维宽度与陆钊华等<sup>[24]</sup>得到的纤维宽度径向变异无规律性这一结果不相符,这可能是由于不同树种间的遗传差异决定的。四川蓝桉纤维长度、长宽比轴向变异规律为随着树干的增高先增大后减小,与尾巨桉相似,纤维宽度、壁厚、腔径、壁腔比轴向变

异规律不明显,与柠檬桉、窿缘桉等 8 种桉树轴向变异无规律性是一致的<sup>[20]</sup>。导致此结果的原因可能是取材时随着树高的增加引入了时间因素,即靠近基部的取材是包括 5 个生长轮,而靠近梢头的材料只能代表采伐前 1 年或者 2 年的生长情况,这有待进一步通过纤维形态径向内部的轴向变异情况与生长期间的环境结合起来加以分析。

## [参考文献]

- [1] 江泽慧,费本华,王喜明,等. 桉树木材干燥特性与工艺及其皱缩研究现状 [J]. 木材工业,2002,16(4):1-3.  
Jiang Z H, Fei B H, Wang X M, et al. Study on reduction of collapse of *Eucalyptus* wood in drying [J]. China Wood Industry, 2002, 16(4): 1-3. (in Chinese)
- [2] 姚庆端,何水东,张金文,等. 闽南山地桉树纤维优良无性系的选择研究 [J]. 林业科学,2003,39(1):1-6.  
Yao Q D, He S D, Zhang J W, et al. Study on selection of *Eucalyptus* fine clone for fiber timber in southern hilly land of Fujian [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2003, 39(1): 1-6. (in Chinese)
- [3] 裴姗姗,刘元,胡进波,等. 尾巨桉家系木材的解剖结构及纤维形态研究 [J]. 造纸科学与技术,2007,26(4):1-5,38.  
Chang S S, Liu Y, Hu J B, et al. Wood anatomical properties and variation of *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis* families [J]. Paper Science & Technology, 2007, 26(4): 1-5, 38. (in Chinese)
- [4] 殷亚方,姜笑梅,吕建雄,等. 我国桉树人工林资源和木材利用现状 [J]. 木材工业,2001,15(5):3-5.  
Yin Y F, Jiang X M, Lü J X, et al. Status of resources and wood utilization of *Eucalyptus* plantation in China [J]. China Wood Industry, 2001, 15(5): 3-5. (in Chinese)
- [5] 阚荣飞,项东云. 我国桉树木材性质及其变异规律研究进展 [J]. 广西林业科学,2008,37(1):13-16.  
Kan R F, Xiang D Y. Research and advance in wood properties and variation of *Eucalyptus* in China [J]. Guangxi Forestry Science, 2008, 37(1): 13-16. (in Chinese)
- [6] 蔡则谟. 刚果 12 号桉的木材性质及制浆试验 [J]. 林业科学,1996,32(4):361-365.  
Cai Z M. Wood properties and pulping experiment of *Eucalyptus* ABL No. 12 [J]. Scientia Silvae Sinicae, 1996, 32(4): 361-365. (in Chinese)
- [7] 潘彪,徐朝阳,王章荣. 杂交鹅掌楸木材解剖性质及其径向变异规律 [J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2005,29(1):79-82.  
Pan B, Xu C Y, Wang Z R. Wood anatomical properties and its radial variation of *Liriodendron chinense* × *L. tulipifera* [J]. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition, 2005, 29(1): 79-82. (in Chinese)
- [8] 赵西平,郭明辉,王莹. 大青杨树干内导管的变异规律 [J]. 西南林业大学学报,2012,32(6):88-91.  
Zhao X P, Guo M H, Wang Y. Variation in trunk vessel of *Populus ussuriensis* [J]. Journal of Southwest Forestry University, 2012, 32(6): 88-91. (in Chinese)
- [9] Holton T A, Cornish E C. Genetics and biochemistry of anthocyanin biosynthesis [J]. The Plant Cell, 1995, 7: 1071-1083.
- [10] 李霞镇,任海青,王小青. 毛竹材微纤丝角变异规律研究 [J]. 安徽农业大学学报,2011,38(4):500-503.  
Li X Z, Ren H Q, Wang X Q. Research on variation of microfibril angle in *Phyllostachys pubescens* [J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2011, 38(4): 500-503. (in Chinese)
- [11] 李昌荣,项东云,陈健波. 18 年生尾巨桉无性系木材纤维形态和基本密度变异研究 [J]. 广西林业科学,2011,40(4):262-265.  
Li C R, Xiang D Y, Chen J B. Study of variation on the wood fiber formation and basic density of 18-year-old *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis* clone [J]. Guangxi Forestry Science, 2011, 40(4): 262-265. (in Chinese)
- [12] 陆仁书. 纤维板制造学 [M]. 北京:中国林业出版社,1981.  
Lu R S. Fiberboard manufacture technics [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1981. (in Chinese)
- [13] 柴修武,周文龙,曾浩生. 桉树不同地理种源木材构造性质比较研究 [J]. 林业科学研究,1996,9(2):71-78.  
Chai X W, Zhou W L, Zeng H S. A comparison study on the wood structure property of *Eucalyptus* from different geographical provenances [J]. Forest Research, 1996, 9(2): 71-78. (in Chinese)
- [14] 王昌命,张新英. 不同生境下蓝桉的木材解剖研究 [J]. 植物学报,1994,36(1):31-38.  
Wang C M, Zhang X Y. Study on wood anatomy of *Eucalyptus globulus* under different habitats [J]. Chinese Bulletin of Botany, 1994, 36(1): 31-38. (in Chinese)
- [15] 王华田. 北京市水源保护林区主要树种耗水性的研究 [D]. 北京:北京林业大学,2002.  
Wang H T. Study of water consumption of main afforestation species in Beijing water resource conservation forest [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2002. (in Chinese)
- [16] Pothier D, Margolis H A, Waring R H. Patterns to change of saturated sapwood permeability and sapwood conductance withstand development [J]. Canadian Journal of Forest Research, 1989, 19: 432-439.
- [17] 范泽鑫,曹坤芳,邹寿青. 云南哀牢山 6 种常绿阔叶树木质部解剖特征的轴向和径向变化 [J]. 植物生态学报,2005,29(6):968-975.  
Fan Z X, Cao K F, Zou S Q. Axial and radial changes in xylem anatomical characteristics in six evergreen broadleaved tree species in Ailao mountain, Yunnan [J]. Journal of Plant Ecology, 2005, 29(6): 968-975. (in Chinese)
- [18] Tyree M T, Davis S D, Cochard H. Biophysical perspectives of xylem evolution: Is there a tradeoff hydraulic efficiency for vulnerability of dysfunction? [J]. International Association of Wood Anatomists Journal, 1994, 15: 355-360.

Miao L X,Lu H Y,Zhang Y C. Effects of different pruning type on muskmelon fruit quality,yield and retardation of early-senescence cultivated in autumn [J]. Northren Horticulture,2011(5):9-11. (in Chinese)

[16] 赵 勤,曾德志,郭世星,等. 甘蓝型油菜几个种子物理性状与含油率的相关、回归和通径分析 [J]. 种子,2012,31(3):77-81.

Zhao Q,Zeng D Z,Guo S X,et al. Correlation, regression and path analysis on several main physical characters relate with seed oil content in *Brassica napus* L. [J]. Seed,2012,31(3):77-81. (in Chinese)

(上接第 112 页)

[19] 邓伦秀,武曙红. 贵州引种的桉树木纤维特性及化学成分初报 [J]. 贵州林业科技,1997,25(2):48-51.

Deng L X,Wu S H. Preliminary study on fiber characteristics and chemical composition of *Eucalyptus* trees in Guizhou early introduction [J]. Guizhou Forestry Sicence and Technology,1997,25(2):48-51. (in Chinese)

[20] 姜笑梅,叶克林,吕建雄,等. 中国桉树和相思人工林木材性质与加工利用 [M]. 北京:科学出版社,2007.

Jiang X M,Ye K L,Lü J X,et al. Wood properties and processing of *Eucalyptus* and *Acacia* plantation in China [M]. Beijing:Sicence Press,2007. (in Chinese)

[21] 李淡清,刘金凤,张必福,等. 蓝桉、直干桉木材纤维长度在株内的变异 [J]. 云南林业科技,2000(2):8-12.

Li D Q,Liu J F,Zhang B F,et al. Variation of wood fiber length within trees of *Eucalyptus globulus* and *E. maidenii* [J]. Journal of Yunnan Forestry Science and Technology,2000(2):8-12. (in Chinese)

[22] 徐有明. 油松管胞形态特征的变异 [J]. 林业科学,1990,26(4):337-343.

Xu Y M. Variations in tracheid formal features of *Pinus tabulaeformis* CARR [J]. Scientia Silvae Sinicae,1990,26(4):337-343. (in Chinese)

[23] 郑 白,李琼初,黄锡泽. 桉树制浆造纸潜力及其材性变异分析 [J]. 广西林业科学,2002,31(4):181-185.

Zheng B,Li Q C,Huang X Z,et al. Analysis of *Eucalyptus* pulp potential and the variation of wood properties [J]. Guangxi Forestry Science,2002,31(4):181-185. (in Chinese)

[24] 陆钊华,徐建民,白嘉雨. 细叶桉和赤桉种源间材性变异研究 [J]. 林业科学研究,2000,13(4):370-376.

Lu Z H,Xu J M,Bai J Y. A study on wood property variation between *Eucalyptus tereticornis* and *E. camalduensis* [J]. Forest Research,2000,13(4):370-376. (in Chinese)