

人工林观光木主要解剖特性及基本密度研究

刘晓玲, 符韵林

(广西大学 林学院, 广西 南宁 530004)

摘要: 为更好地进行观光木 *Tsoongiodendron odorum* 木材资源保护、开发和利用, 大力发展珍贵人工林观光木栽培, 研究了 27 年生观光木人工林木材的纤维形态、微纤丝角和基本密度。结果表明: 观光木纤维长度、宽度、腔径和长宽比的平均值分别为 1 354.23 μm , 27.08 μm , 17.69 μm 和 51.75。纤维长度、宽度、腔径和腔径比等的纵向变异规律相似, 随树高的增加而增大, 到一定高度后又缓慢变小。基本密度纵向变异表现为随树高增加而减小。在径向变异上, 纤维形态指标为自髓心向外先逐渐增加, 到一定年龄后趋于稳定的变化趋势。微纤丝角平均值为 10.45°, 径向变异为自髓心向外先增大随后又减小, 到一定年龄后趋于稳定。基本密度平均值为 0.417 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, 径向变异为自髓心向外呈增大—减小—增大的变化趋势。有序聚类分析法确定其成熟材与幼龄材的年龄界限为第 10 年。图 4 表 3 参 11

关键词: 木材学; 观光木; 纤维形态; 微纤丝角; 基本密度

中图分类号: S781.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2013)05-0769-08

Anatomy and basic density of *Tsoongiodendron odorum*

LIU Xiaoling, FU Yunlin

(College of Forestry, Guangxi University, Nanning 530004, Guangxi, China)

Abstract: To better protect and utilize *Tsoongiodendron odorum* plantations, fiber morphology, micro fiber silk angle, and basic density were studied for 27-years-old *Tsoongiodendron odorum* plantation wood. A cluster analysis is also employed. Results showed that: the average fiber length is 1 354.23 μm , width is 27.08 μm , lumen diameter is 17.69 μm , and the length/diameter ratio is 51.75. Vertical variation patterns of fiber length, width, lumen diameter, and fiber lumen ratio are similar, presenting a gradual increase upward along the trunk, to a certain height and then again slowly becoming smaller. Vertical basic density variation gradually decreased upward along the trunk. With radial variation for all parameters increasing gradually from the pith outwards and becoming stable after a certain number of years. The average micro fiber silk angle is 10.45°, and its radial variation from the pith outwards first increased rapidly and then diminished quickly, to a certain age. This is followed by slowing and gradually becoming more stable. The average basic density is 0.417 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, whereas radial variation from pith outwards increased, decreased, and then increased. In addition, the cluster analysis showed mature material is limited to material up to 10 years of age. [Ch, 4 fig. 3 tab. 11 ref.]

Key words: wood science; *Tsoongiodendron odorum*; fiber morphology; micro fiber silk angle; basic density

观光木 *Tsoongiodendron odorum*, 又名观光木兰、香花木、香花楠, 木兰科 Magnoliaceae 观光木属 *Tsoongiodendron* 植物, 常绿大乔木。为了纪念植物学家钟观光先生, 中国科学院华南植物研究所所长陈焕镛教授将这种树木命名为观光木。观光木树形优美, 分枝整齐, 花大美丽, 芳香扑鼻, 材质轻软细致, 边材淡黄色, 心材淡绿褐色, 为优良的庭园美化树种及行道树种^[1]。主要分布于广东、广西、湖

收稿日期: 2012-09-29; 修回日期: 2013-01-09

基金项目: “十一五”广西林业科技项目(桂林科学[2009]第 22 号; 桂林科学[2009]第 7 号)

作者简介: 刘晓玲, 从事木材材性及其功能改良研究。E-mail: liuxiaolingy@163.com。通信作者: 符韵林, 教授, 博士, 从事木材材性及其功能改良等研究。E-mail: fylin@126.com

南、福建、江西、海南、贵州及云南东南部,分布面积不大,资源较稀缺^[2]。观光木为珍稀濒危树种,属国家二级重点保护植物^[3],近年来得到了各业内人士的关注和研究。主要的研究包括繁殖技术、生物活性成分、干燥特性及生材性质等方面的研究^[1-3],有关人工林观光木木材解剖特性的研究仍未见报道。本研究对观光木人工林木材的主要解剖特性及基本密度等进行测定,找到它在树高方向和树龄方向的纵向变异和径向变异规律,为观光木的最佳成熟树龄的确定提供切实可靠的科学依据,对观光木资源保护、开发和利用都具有现实的重要意义。

1 材料与方 法

1.1 试样采集

按 GB 1927-1991《木材物理力学试材采集方法》的标准^[4],在广西南宁市良凤江国家森林公园采集观光木试材,共采集 27 年生 6 株观光木试验样木。以罗盘确定方向,在树干北侧以向上箭头标明北向。自伐根起,以皮尺测量树干全高及枝下高(至第一活枝处),并以粉笔在树干上自 1.3 m 处起(以 2.0 m 晋级)标明各锯截区段的端点,如 1.3, 3.3, 5.3……,同时截锯出约 5 cm 厚的 2 个圆盘。

1.2 实验方法

采用离析法测定 27 个生长轮纤维特性,玻片制作完成后采用数码显微图像电脑分析系统(XSJ-HS, XTJ-30)进行纤维形态的观察及测定,试样随机测定数据 60 组·试样⁻¹。采用碘结晶法测定微纤丝角。测定注意,避免测定纹孔附近的微纤丝角,因纹孔的出现会导致其微纤丝角突然增大。测定数据 50 组·试样⁻¹。木材基本密度是决定林木品质的重要材性因子之一,采用排水法测定。将样品充分吸水至饱和,用排水法测定体积后在(103 ± 2) °C 中干燥,恒量后用电子天平快速称量。测定按国家标准 GB/T 1933-2009《木材密度测定方法》要求进行。

2 结果与分析

2.1 纤维形态特征及变异

纤维形态特征与木材物理、力学性质和加工利用等直接相关。木材纤维长度是造纸用材的重要指标,同时也是纤维形态研究中最重要因子。从纤维作为纸张和纤维板利用的观点看,纤维宽度较小者其纤维交织性能好,而纤维壁厚的则被认为是次等纤维^[5]。观光木木材纤维的平均长度为 1 354.23 μm,变异范围为 985.78 ~ 1 678.20 μm,属于中等长度纤维。壁腔比变异范围为 0.29~0.92,平均为 0.57,属于很好的纤维原料。观光木木材的纤维宽度、腔径大小、双壁厚的平均值分别为 27.08, 17.69 和 9.38 μm,变异范围分别是 21.37 ~ 33.15 μm, 12.36 ~ 23.66 μm 和 6.34~12.84 μm。

2.1.1 纤维形态纵向变异 从图 1 中可以看出:①长度沿树干高度的变化自树干基部往上先增大而后减小。整体来看,纤维平均长度以 1.3 m 处最长,达 1 478.35 μm,在接近树梢处最小,为 1 239.57 μm。这与覃引鸾^[5]、刘盛全^[6]的研究结果相似,与树木的生长规律相一致,而与王小芳等^[7]、杨文忠等^[8]研究结果相反。②宽度和腔径的纵向变异规律与其长度的纵向变异相似,都是随树干高度的增加先增加而后减小,整体来看,纤维平均宽度在 1.3 m 处最大,达 29.73 μm,接近树梢处最小,为 24.75 μm,但是宽度的变化幅度较大。这反映了纤维长度和纤维宽度之间存在一定的关联性,与树木的生长规律是一致的,即纤维长度和直径同时增长才促使了树木的生长。③腔径大小自树干基部沿树高方向先缓慢增大,到 5.3 m 处达到最大,为 20.03 μm,而后开始缓慢减小。这与纤维长度和宽度的纵向变化极为相似,只是变化的幅度不大。④与纤维长度、宽度及腔径相比,双壁厚沿树高的变化波动较大。在 7.3 m 以下,木材纤维双壁厚做降低—增加的较大幅度波动,7.3 m 以上的变化就比较平稳。总的来看,呈现出了先降低再增加后趋于平稳的变化趋势。长宽比自树干基部往上总体呈现增大—减小—增大—减小的波动变化趋势。⑤长宽比自树干基部往上首先是缓慢增大然后减小,到 5.3 m 处达到最小值,之后又开始增大,至 7.3 m 后又缓慢减小,总体呈现增大—减小—增大—减小的波动变化趋势。⑥与纤维长度、宽度及腔径相比,纤维在 5.3 m 以下,壁腔比沿树高往上是逐渐减小的,5.3 m 以上又缓慢增大,总体呈现出了先减小后增大的变化趋势。⑦腔径比与其纤维长度、宽度及腔径的纵向变异相似,沿树干高度方向也是先增大,到 5.3 m 处达到最大,之后缓慢减小,总体呈现出了先增大后减小的变化趋势。采用一元

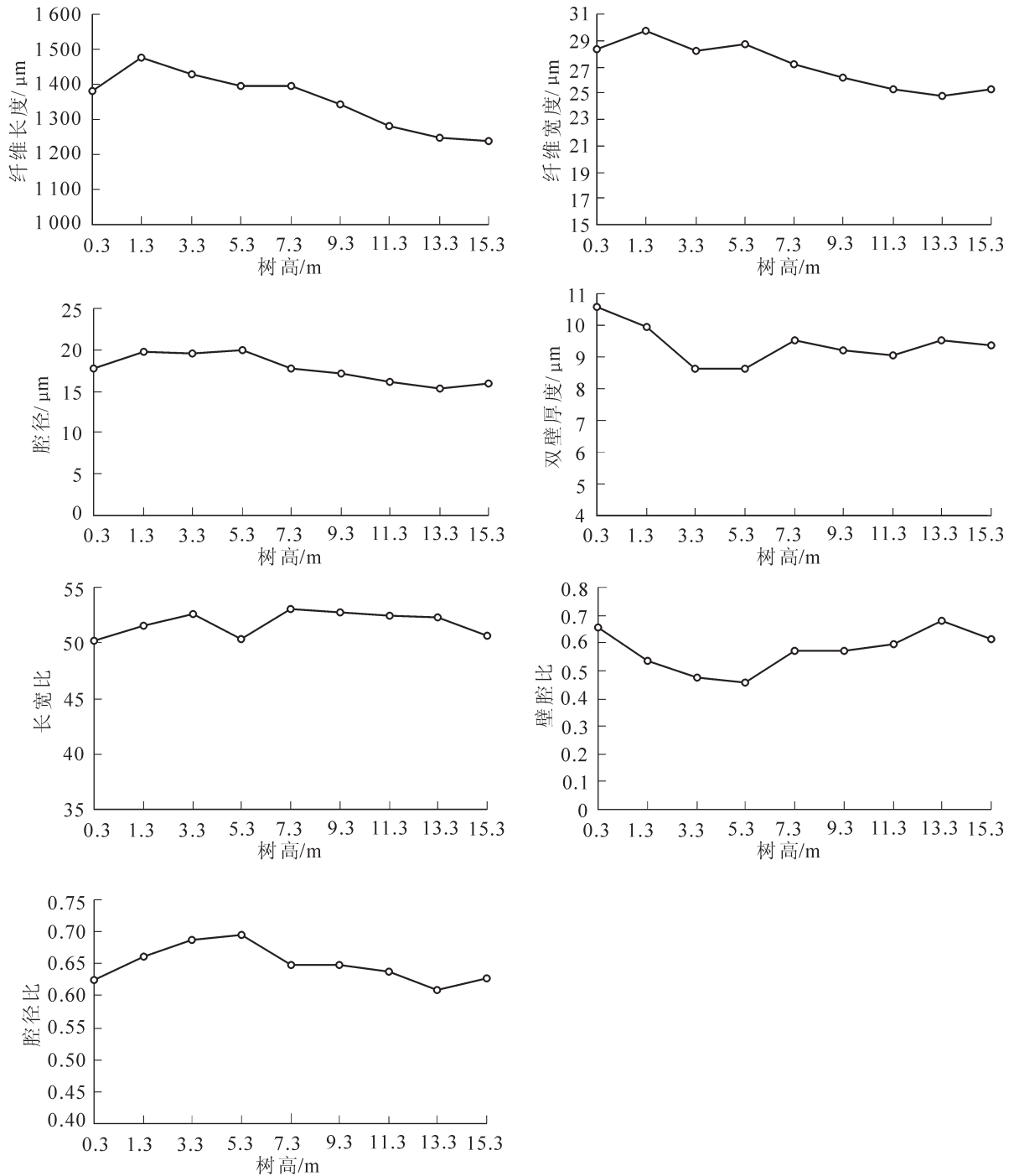


图 1 观光木纤维形态纵向变异规律图

Figure 1 Rule diagram of fiber morphology longitudinal variation of *Tsoonpidendron odorum*

线性回归分析建立纤维形态纵向变异的回归模型。长度的回归模型是 $y = -17.710 1x + 1498.115$ ，宽度的回归模型是 $y = -0.310 2x + 29.374 8$ ，腔径的回归模型是 $y = -0.272 6x + 19.711 3$ ，相关系数分别是 0.984 4，0.927 1，0.812 6，相关性非常显著。

2.1.2 纤维形态径向变异 从图 2 中可以看出：①长度在径向上的变异明显，自髓心向外先迅速增大，此时树木正处于生长旺盛期，形成层细胞分裂能力较强，纤维长度等指标明显迅速增大，到一定年龄后已趋于稳定，但出现少许波动变化。其变异范围为 985.78~1 678.20 μm ，平均值为 1 354.23 μm 。这一变异规律符合“Sanio 定律”，即纤维长度自髓心向外随着年龄的增加而依次增大，达到最大长度时呈现相对稳定的状态^[5]。这一变化规律与尹思慈^[9]、裴姗姗^[10]的研究规律一致，与王小芳等^[7]、杨文忠等^[8]的研究结果相反。②与长度相比，宽度的径向变异规律并不太明显，总体上呈现出先缓慢增大后趋于平稳。

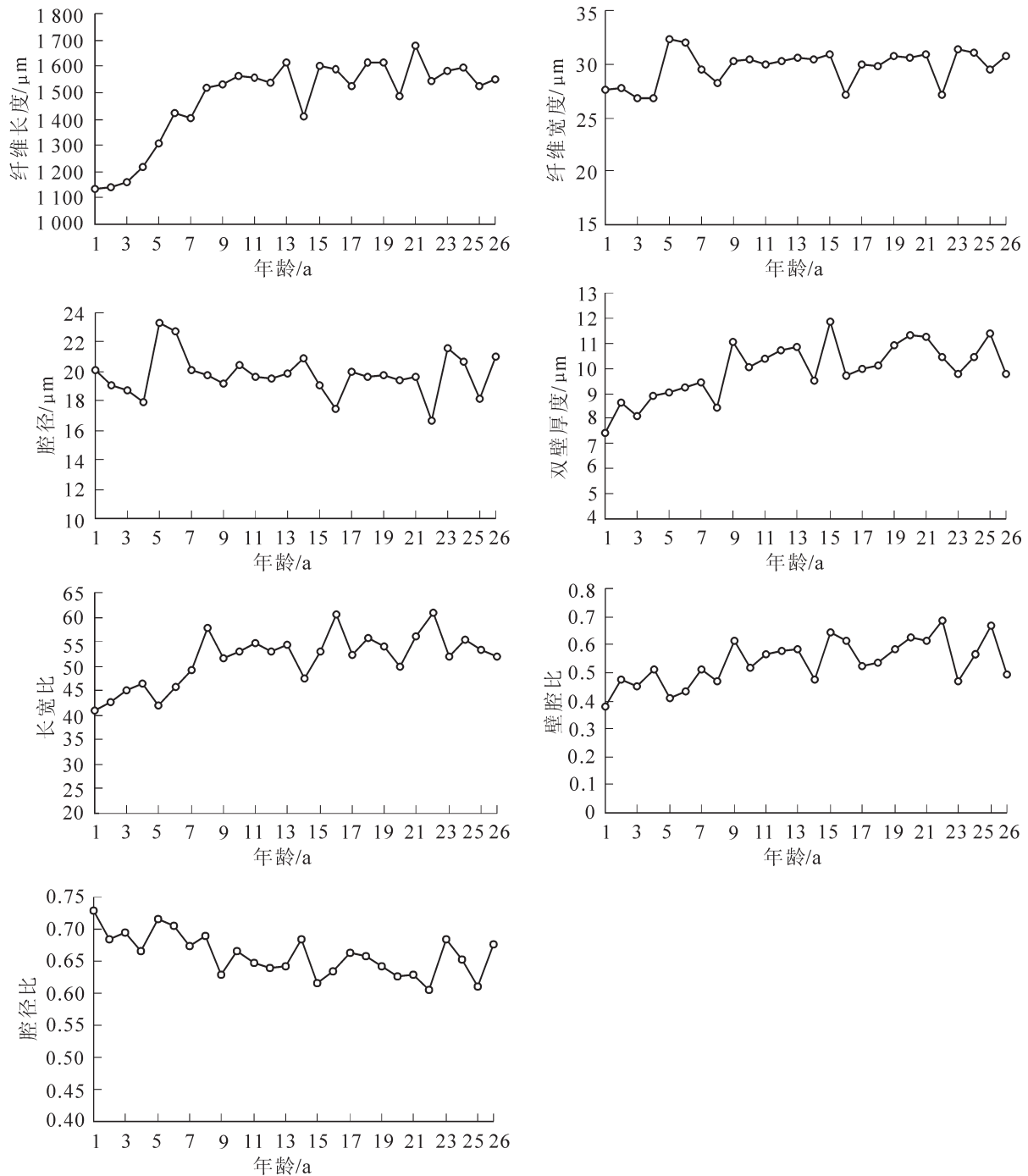


图2 观光木纤维形态径向变异规律图

Figure 2 Rule diagram of fiber morphology radial variation of *Tsounpidendron odorum*

其变异范围为 21.37~33.15 μm , 平均值为 27.08 μm 。这一变化规律与茭珊珊等^[10]、覃引鸾^[5]研究木材纤维宽度变化规律一致。在前 6 a, 宽度自髓心向外在平缓减小之后有一个明显的增大过程, 这与观光木的快速生长有关; 在 6~10 a 时, 波动变化比较明显; 10~15 a, 变化较为稳定, 但呈现小幅度的缓慢增长, 15 a 时达到最大。10 a 是纤维宽度变化的一个转折期, 标志着观光木幼龄材到成熟材的转化。③腔径的径向变异规律与宽度的径向变异规律基本一致, 这表现了纤维宽度和纤维腔径的高度相关性, 符合观光木的自然生长规律。其变异范围为 12.36~23.66 μm , 平均值为 17.69 μm 。④双壁厚自髓心向外波动变化较为明显, 但总体呈增大后趋于稳定趋势。其变异范围为 6.34~12.84 μm , 平均值为 9.38 μm 。前 10 a, 双壁厚自髓心向外呈现波动变化, 但总体呈增大趋势; 10~15 a 时, 双壁厚比较稳定, 没有太大变化并基本趋于稳定。⑤长宽比自髓心向外先是变大而后减小, 在 6 a 时达到最低值; 6~14 a 是长宽

比不断缓慢增大的过程,说明这一时期纤维在不断地增长;12 a后,木材纤维的长宽比在缓慢增长后波动变化很大。⑥壁腔比自髓心向外先是迅速增加而后缓慢减小;6~10 a,壁腔比随着树龄的增加而增大;10~16 a,壁腔比的变化比较稳定,并有小幅上升的趋势;18 a后壁腔比基本稳定。⑦腔径比自髓心向外先是迅速减小而后逐渐趋于稳定。总体看来,10~22 a这段曲线与10 a前曲线的变化有明显差别。如果不考虑15~18 a时曲线存在的异常变化外,10~22 a这一区段的木材纤维腔径比是基本稳定的,可以认为10 a后木材进入了成熟稳定时期。采用一元线性回归分析建立纤维形态径向变异的回归模型。从回归分析得出:长度的回归模型是 $y=15.6658x+1251.1967$,双壁厚的回归模型是 $y=0.0974x+8.5304$,长宽比的回归模型是 $y=-0.4099x+45.7453$,壁腔比的回归模型是 $y=0.0064x+0.4453$,腔径比的回归模型是 $y=-0.0026x+0.6978$,相关系数分别是0.7579, 0.6751, 0.6315, 0.6037, 0.6043,相关性非常显著。

2.2 微纤丝角特征及变异

微纤丝角是指木材细胞次生壁中层(也称S2层)和细胞主轴之间构成的角度。微纤丝角是影响纤维强度的主要因素,微纤丝角越小木材强度越大,反之越小。所以微纤丝角与木材的物理力学关系密切,研究者们常将其作为材质评定及早期良种选育的重要指标。经测定,观光木木材微纤丝角为 $9.57^{\circ}\sim 20.26^{\circ}$,平均值为 10.45° ,变异系数为14.16%。

从图3中可以看出:观光木木材的微纤丝角自树干基部至树高1.3 m处迅速减小,从树干1.3 m至5.3 m减小的趋势趋于平缓,5.3 m至11.3 m处基本稳定,11.3 m往上开始有所增大,出现这一现象是因为11.3 m往上树木生长的年限较短,幼龄材的比例较大所致。这一变异趋势与杨文忠等^[8]的研究规律一致,与覃引鸾^[5]研究的变化规律不同。微纤丝角在径向上的变异明显,表现为自髓心向外木材微纤丝角先迅速增大后又迅速减小,到一定年龄后减小的趋势变缓并逐渐趋于稳定。在前4 a,木材微纤丝角增加迅速,最大值达到 13.3° ;4~7 a为迅速降低的过程,7~17 a为缓慢下降的过程,在17 a时达到最小值 9.6° ,此后木材微纤丝角的变化趋于稳定。采用一元线性回归分析对微纤丝角和树龄建立回归模型,回归模型为 $y=-0.1043x+11.9542$,相关系数为0.7896,微纤丝角与树龄的相关性极显著。

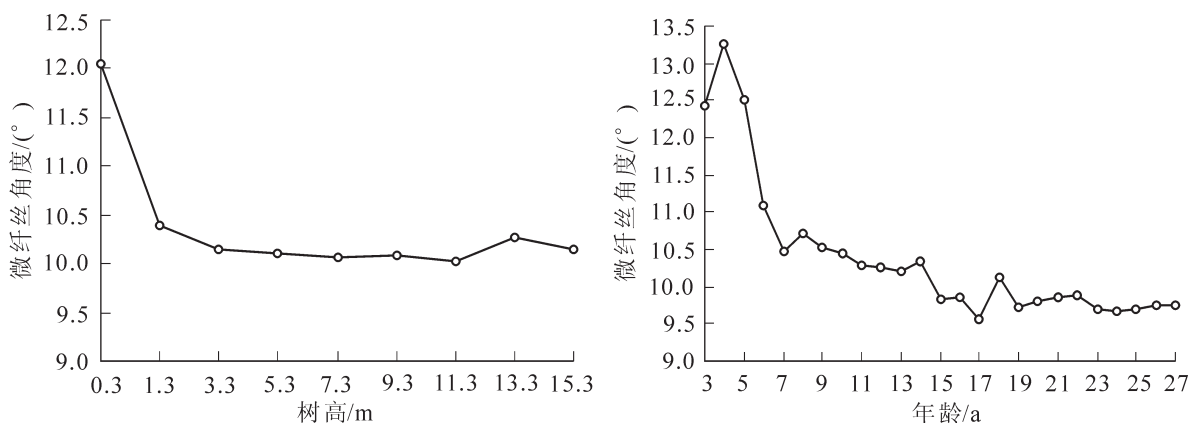


图3 观光木微纤丝角纵向和径向的变化规律图

Figure 3 Rules diagram of micro fiber silk Angle longitudinal and radial variation of *Tsounpiodendron odorum*

2.3 基本密度的变异

基本密度是指木材全干质量与饱水状态时木材体积的比值,它所表示的是单位生材体积或者含水最大体积时所含木材的实际质量,是材性比较和林木育种等方面的一个重要指标。经测定计算得出,观光木木材的基本密度为 $0.338\sim 0.490\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,平均为 $0.417\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,变异系数为7.738%。

从图4中可以看出:观光木木材的基本密度沿树干向上整体是逐渐减小的,其中树干基部到树高3.3 m这一区间的下降趋势最为明显,3.3 m处向上,基本密度先小幅上升后又逐渐减小,但是变化的趋势不明显。这一变异规律与夏炎等^[11]的研究规律一致,而与覃引鸾^[5]研究的变化规律不同。基本密度的径向变异自髓心向外表现为增大—减小—增大的变化趋势。前10 a,基本密度在波动变化中逐渐增大;10~17 a为基本密度逐渐减小的过程;17~24 a基本密度又表现为逐渐小幅增大的趋势,24 a后,基本

密度逐渐减小。从整个曲线的变化来看, 10~23 a 这段曲线与 10 a 前曲线的变化有明显差别。可判定 10 a 为观光木生长进入成熟期的年龄界限。采用一元线性回归分析对基本密度和树高建立回归模型, 回归模型为 $y=-0.002 4x+0.432 0$, 相关系数为 0.874 0, 基本密度与树干高度的相关性极其显著。

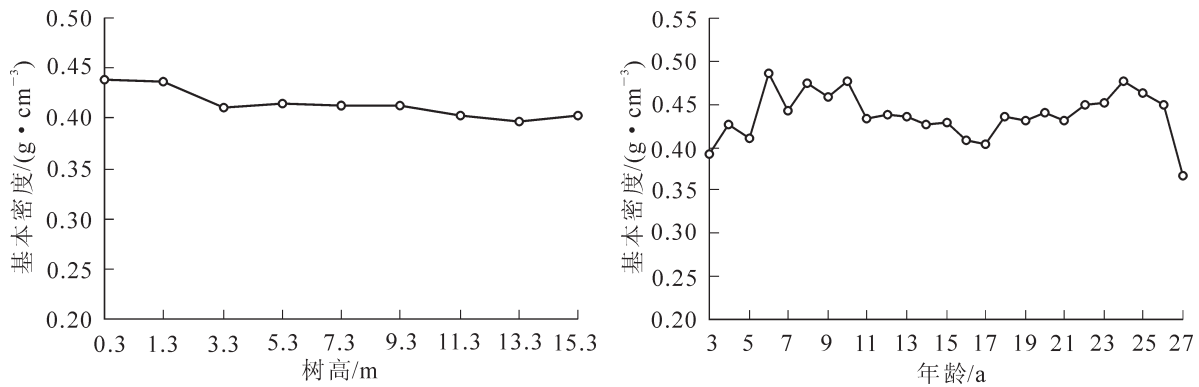


图4 观光木基本密度纵向和径向的变化规律图

Figure 4 Rules diagram of basic density longitudinal and radial variation of *Tsounpiodendron odorum*

2.4 纤维形态及基本密度的相关关系

对观光木木材纵向方向上纤维形态随基本密度的变化进行回归分析, 以基本密度为自变量, 纤维形态为因变量作一元线性回归分析。其回归方程及相关系数见表1。

表1 纤维形态与基本密度的纵向回归分析表

Table 1 Fiber morphology and basic density of longitudinal regression analysis table

纤维形态	一元线性回归方程	相关系数	R^2	显著性
纤维长度	$y=4 138.551 0x-359.669 0$	0.731 1	0.534 6	8.04*
纤维宽度	$y=99.097 5x-13.964 3$	0.818 7	0.670 3	14.23**
纤维腔径	$y=71.890 1x-12.081 2$	0.592 5	0.351 1	3.79
双壁厚	$y=27.207 4x-1.883 1$	0.649 5	0.421 9	5.11
长宽比	$y=-33.017 9x+65.399 2$	0.430 5	0.185 4	1.59
壁腔比	$y=-0.520 8x+0.787 6$	0.102 3	0.010 5	0.07
腔径比	$y=0.313 2x+0.518 6$	0.162 6	0.026 4	0.19

对观光木木材径向方向上纤维形态随基本密度的变化进行回归分析, 以基本密度为自变量, 纤维形态为因变量作一元线性回归分析。其回归方程及相关系数见表2。

表2 纤维形态与基本密度的径向回归分析表

Table 2 Fiber morphology and basic density of radial regression analysis table

纤维形态	一元线性回归方程	相关系数	R^2	显著性
纤维长度	$y=2 446.452 0x+330.645 2$	0.452 8	0.205 1	6.45*
纤维宽度	$y=-13.256 7x+33.052 8$	0.269 3	0.072 5	1.96
纤维腔径	$y=-13.346 3x++23.670 4$	0.194 8	0.038 0	0.99
双壁厚	$y=0.089 6x+9.382 4$	0.002 0	4.15E-06	0.000 1
长宽比	$y=120.850 3x+0.368 4$	0.544 3	0.296 3	10.53**
壁腔比	$y=0.309 0x+0.435 9$	0.072 4	0.005 2	0.13
腔径比	$y=-0.172 6x+0.724 8$	0.102 0	0.010 4	0.26

采用一元线性回归分析对纤维形态和基本密度建立回归模型, 纵向变异中, 纤维宽度与基本密度的回归模型为 $y=99.097 5x-13.964 3$, 相关系数为 0.818 7, 基本密度与纤维宽度呈极显著正相关; 纤维长度与基本密度的回归模型为 $y=4138.551 0x-359.669 0$, 相关系数为 0.731 1, 纤维长度与基本密度呈显著正相关。径向变异中, 长宽比与基本密度的回归模型为 $y=120.850 3x+0.368 4$, 相关系数为 0.544 3,

相关系数较小。为证明其显著性，采用 F -检验方程显著性， $F < 0.01$ ，所以所建立的回归方程非常显著，长宽比与基本密度呈极显著正相关；长度与基本密度的回归模型为 $y = 2\ 446.452\ 0x + 330.645\ 2$ ，相关系数为 0.452 8，相关系数较小。为证明其显著性，采用 F -检验方程显著性， $0.01 < F < 0.05$ ，所以所建立的回归方程显著，纤维长度与基本密度呈显著正相关。其他纤维形态与基本密度的相关关系不显著。

2.5 幼龄材与成熟材年龄的初步界定

成熟材和幼龄材在密度、纤维长度、干缩性、力学强度等都存在明显的差别，一般认为成熟材的各项材性指标普遍优于幼龄材，因此，对幼龄材和成熟材之间界限的划分在科研和生产上都受到极大的重视。

本研究运用 DPS 软件的有序聚类分析法(最优分割法)对所有指标进行聚类分为两类，从而划分出幼龄材与成熟材之间的年龄界限。通过对所有指标的综合聚类分析，得出观光木成熟材与幼龄材的年龄界限为 10 a。有序聚类分析的结果列于表 3。

表 3 各项指标的有序聚类分析

Table 3 Orderly clustering analysis of each index

指标	分类结果
纤维长度	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 14, 15, 26, 27
纤维直径	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 14, 15, 26, 27
纤维腔径	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 14, 15, 26, 27
纤维双壁厚	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 14, 15, 26, 27
纤维长径比	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 14, 15, 26, 27
纤维壁腔比	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 14, 15, 26, 27
纤维腔径比	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 14, 15, 26, 27
微纤丝角	3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 14, 15, 26, 27
基本密度	3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 14, 15, 26, 27
综合	3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 14, 15, 26, 27

3 结论

观光木木材纤维长度变异范围为 985.78~1 678.20 μm ，平均长度为 1 354.23 μm ，属于中等长度的纤维。

观光木木材微纤丝角为 9.57°~20.26°，平均为 10.45°，变异系数为 14.16%。径向变异表现为自髓心向外先迅速增大后又迅速减小，到一定年龄后减小的趋势变缓并逐渐趋于稳定，微纤丝角与树龄的相关性极显著。

观光木木材的基本密度为 0.338~0.490 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ，平均为 0.417 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ，变异系数为 7.738%。纵向变异表现为沿树干向上逐渐减小；径向变异自髓心向外表现为增大—减小—增大的变化趋势，木材基本密度与树干高度的相关性极显著。

根据有序聚类分析法确定观光木的幼龄材与成熟材年龄界限为第 10 年。

参考文献:

- [1] 杜铃, 周菊珍, 蓝田, 等. 观光木的采种育苗技术[J]. 广西林业科学, 2001, **30**(2): 101.
DU Ling, ZHOU Juzhen, LAN Tian, *et al.* The technique of seed and seeding for *Tsoongiodendron odorum* [J]. *Guangxi For Sci*, 2001, **30**(2): 101.
- [2] 李松海, 谢安德, 贲丽云, 等. 珍贵树种观光木研究现状及展望[J]. 南方农业学报, 2011, **42**(8): 968 – 971.
LI Songhai, XIE Ande, BI Liyun, *et al.* Research status of precious tree species *Tsoongiodendron odorum* and its prospect [J]. *J Southern Agric*, 2011, **42**(8): 968 – 971.
- [3] 郭承则. 珍稀濒危树种观光木的引种研究[J]. 湖南林业科技, 1996, **23**(3): 67 – 68.
GUO Chengze. The introduction research of rare and endangered tree species *Tsoongiodendron odorum* [J]. *J Hunan For Sci Technol*, 1996, **23**(3): 67 – 68.
- [4] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB1927-1991 木材物理力学试材采集方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1991.
- [5] 覃引鸾. 尾巨桉木材主要材性及其变异规律研究[D]. 南宁: 广西大学, 2011.
QIN Yinluan. *Study on of Main Wood Properties and Their Variations Pattern of E. urophyll × E. grandis* [D]. Nanning: Guangxi University, 2011.
- [6] 刘盛全. 刺楸纤维形态特征及其变异的研究[J]. 安徽农业大学学报, 1996, **23**(1): 68 – 72.
LIU Shenquan. Study on the features and variations of fiber dimensions of *Kalopanax setemlobus* (Thunb.) Koidz [J]. *J Anhui Agric Univ*, 1996, **23**(1): 68 – 72.
- [7] 王小芳, 徐峰. 不同树龄厚荚相思木材纤维分子测定[J]. 广西农业生物科学, 2007, **26**(增刊): 113 – 116.
WANG Xiaofang, XU Feng. Identification on wooden fiber element of different tree age of *Acacia crassicarpa* [J]. *Guangxi Agric Biol Sci*, 2007, **26**(supp): 113 – 116.
- [8] 杨文忠, 方升佐. 杨树无性系木材纤维长度和宽度的株内变异[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2003, **27**(6): 23 – 26.
YANG Wenzhong, FANG Shengzuo. Variation of fiber length and fiber width for seven poplar clones [J]. *J Nanjing For Univ Nat Sci Ed*, 2003, **27**(6): 23 – 26.
- [9] 尹思慈. 木材学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1998.
- [10] 裴姗姗. 尾叶桉木材解剖特性和物理力学性质及其变异研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2006.
CHANG Shanshan. *The Wood Anatomical and Physico-Mechanical Properties of Eucalyptus urophylla × Eucalyptus grandis* [D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2006.
- [11] 夏炎, 王亚男, 毕传奇, 等. 巨桉人工林木材密度及其变异特性[J]. 西南林业大学学报, 2011, **31**(4): 74 – 76.
XIA Yan, WANG Yanan, BI Chuanqi, *et al.* Study on density and its variation properties of the timber grown in *Eucalyptus grandis* plantation [J]. *J Southwest For Univ*, 2011, **31**(4): 74–76.