

人工幼龄印度黄檀木材解剖性质和结晶度的 径向变异及预测模型

石雷¹, 孙庆丰^{1,2}, 邓疆¹

(1 中国林业科学研究院资源昆虫研究所, 云南 昆明 650224

2 东北林业大学材料科学与工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150040)

摘要: 对元江地区幼龄印度黄檀木材各生长轮间的解剖各参数和结晶度的径向变异趋势及它们的相关性做了全面的测定和分析, 结果表明: 纤维长度和宽度、导管分子长度和弦径、纤维比量总体径向变化趋势是从髓心往外呈增加趋势; 纤维壁厚和生长轮的径向变异趋势是先增加后减小; 导管比量、胞壁率和微纤丝角的变化趋势是沿髓心向外呈递减趋势; 结晶度的径向变异趋势是先增加后减小。方差分析表明: 各生长轮间的解剖参数和结晶度差异均明显。相关分析表明: 生长轮年龄与各解剖参数和结晶度相关性显著, 据此建立了木材解剖性质和结晶度预测模型, 相关系数大都达到 0.88 以上。

关键词: 印度黄檀; 变异; 木材解剖性质; 结晶度; 生长轮年龄

中图分类号: S781

文献标识码: A

Radical Variation and Prediction Model of Wood Anatomical and Crystallinity of Young *Dalbergia sissoo* Plantation

SHI Lei¹, SUN Qingfeng^{1,2}, DENG Jiang

(1 Research Institute of Resource Insects, CAF, Kunming 650224 Yunnan, China

2 Material Science and Engineering College Northeast Forestry University, Harbin 150040 Heilongjiang, China)

Abstract A comprehensive determination and deep analysis on the radical variation and correlation of wood anatomical parameters and crystallinity in each growth ring of *Dalbergia sissoo* Roxb. was conducted. The results indicated that the whole radical variation tendency of fiber length and width, the vessel length and tangential diameter and fiber ratio increased from pith to outward. The radical variation tendency of fiber wall thickness and the growth ring increased at first and then decreased from pith to outward. The radical variation tendency of vessel ratio, cell wall percentage and microfibrillar angle decreased with the increase of growth ring, but the crystallinity. s radical tendency of variation is firstly grew at first and then reduced. Results of variance analysis showed the anatomical features and crystallinity in each growth ring were significantly different. Correlated analysis of wood growth ring ages with anatomical parameters and crystallinity indicated the significance is positive. Based on these, the prediction model of the wood anatomical parameters and crystallinity was established. The correlation coefficient were mostly up 0.88.

Key words *Dalbergia sissoo*; variation; wood anatomical properties; crystallinity; growth ring age

收稿日期: 2009-02-21

基金项目: 国家林业局/9480项目/印度黄檀优良抗逆性种质材料及快繁技术引进0(2006-4-58), 国家科技支撑子专题/优质珍贵用材树种黄檀新品种选育0(2006BAD01A1604)的部分研究内容

作者简介: 石雷(1971), 云南江川人, 副研究员, 博士. leish@139.com

印度黄檀 (*Dalbergia sissoo* Roxb.) 属蝶形花科黄檀属植物, 原产于印度、尼泊尔、巴基斯坦、孟加拉国、巴西、马达加斯加等国^[1], Pande^[2-3], Kumar^[4]对该木材的物理力学化学性质进行过分析研究。国内早期的研究主要集中在培育和引进繁殖方面^[5-7]。由于印度黄檀具有速生、耐旱、耐瘠薄等特性^[1, 8-11], 结合云南省的红河、金沙江、澜沧江及怒江流域等的干热河谷地区的气候特征, 可在这些地区进行印度黄檀的造林培育工作, 这样既可对当地的经济的发展起一定推动作用, 同时对生态恢复和荒山绿化也有着重要的意义。1999年我国将印度黄檀作为紫胶虫优良寄主植物引入, 同时在云南省元江试验站做了培育研究, 2008年, 石雷研究组^[12-13]对该木材的解剖物理力学性质开始进行初探研究, 本文在这些研究的基础之上, 进一步对解剖性质做出分析, 对解剖各项参数的特征和结晶度与生长轮间的关系建立预测模型, 以便为该区区内和即将开展的在其他地区种植和培育的印度黄檀木材的材性进行预测, 为该木材的遗传改良、加工利用提供基础依据和科学的理论指导。

1 材料和方法

1.1 材料和样地概况

试材为 7 年生尼泊尔种源印度黄檀, 试验林位于云南省中国林业科学研究院资源昆虫研究所元江试验站。元江属亚热带干热河谷气候, 地理位置是 23°36'N, 101°59'E, 海拔 320 m, 年均降水量 784.9 mm, 年均日照 2 264.4 h, 土壤为砖红壤。试材采集于 2006 年 7 月, 方法依据 GB1927~19432 91^[14] 中所述方法进行, 在试验林中选取树干通直, 生长正常, 态势均一的样木 5 株, 选定后, 标出南北向后砍伐, 伐倒后按南北取向, 分心边材截取 3 cm @ 2 cm 木块, 去除木屑及易脱离部分后立即称质量, 然后用保鲜薄膜包装好, 运回测定生材含水量, 随后对树高和第 1 枝下高进行测量, 测定基本情况见表 1。

表 1 试材基本情况

编号	树龄 / a	树高 / m	第 1 枝下高 / m	胸径 / cm	生材含水量 / (g kg ⁻¹)
1	7	10.9	4.5	11.5	803
2	7	11.3	5.8	12.6	822
3	7	13.2	5.3	13.3	811
4	7	12.7	4.8	12.7	849
5	7	12.4	5.7	11.2	805

1.2 试验方法

1.2.1 解剖性质试验方法 在伐倒木树干 1.3 m 处向上连续截取 2 个厚约 2 cm 的圆盘, 其中一个圆盘按南北方向过髓心取 1.5 cm 宽的中心木条供测解剖参数, 利用常规方法切片、离析与测定^[15], 微纤维角测量采用碘结晶法测量。

1.2.2 结晶度试验方法 另外一个圆盘按上述方法取下木条后, 按生长年轮从髓心到树皮方向分别取下各个生长年轮木材, 每株树中每生长轮中取 4 个试样测定木材结晶度试样。测定前将试样磨成木粉, 取 80~100 目颗粒的木粉。木粉压片后采用 D/MAX2200 VPC 型 X 射线衍射仪 (日本理学制造, X 光管为铜靶, 管电压为 40 kV, 管电流为 35 mA, 扫描步距为 0.02°, 扫描范围为 10~40°, 扫描速度为 4°/min) 进行扫描, 采用 Segal 法计算结晶度^[16]。

使用 SPSS Matlab 语言对所得数据进行处理分析和模型建立。

2 结果与分析

2.1 解剖性质和结晶度的径向变异模式和变异

2.1.1 纤维形态和生长轮宽度的径向变异模式 幼龄印度黄檀木材各生长轮的纤维长、宽及壁厚径向变异曲线如图 1、2 所示。纤维长度和宽度的径向变化趋势基本一致, 从髓心到第 7 生长轮长度和宽度值都一直在增加, 纤维长度从 1.302 Lm 增到 1.532 Lm, 与 Pashin 等^[17] 关于阔叶树纤维长度的径向变化曲线的论述一致; 纤维宽度从 13 Lm 增到 22 Lm, 纤维壁厚的曲线波动较大, 1~5 a 随着生长轮年龄的增加而增大, 5~7 a 先减小再增大; 生长轮宽度的变化趋势波动也略显大, 但总的趋势是先增后减。各生长轮间生长轮宽度及其纤维长、宽、壁厚经方差分析, F 值分别为 3.026、5.256、3.974 和 1.301, 根据文献 [18] 判断它们差异显著。

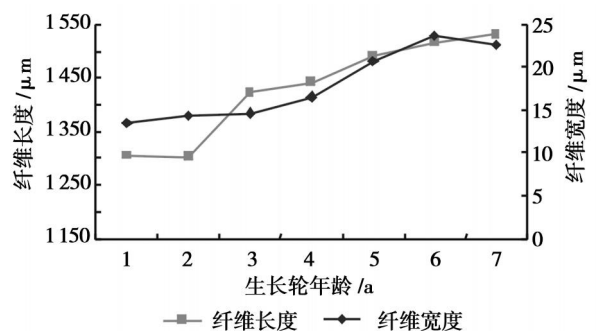


图 1 纤维长度和宽度径向变异

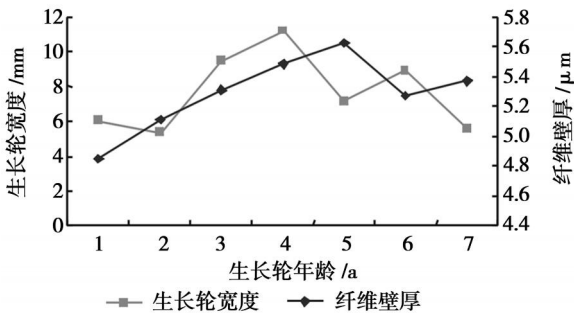


图 2 纤维壁厚和生长轮宽度径向变异

2.1.2 导管分子形态的径向变异模式 图 3 表明: 导管分子长度和弦径曲线的变化趋势基本一致, 从髓心至第 4 或者第 3 生长轮迅速增加, 随后虽略有下降, 但总体呈现增加的趋势, 由于木材尚处于幼龄生长的旺盛期, 所以变化趋势基本是增加的, 印度黄檀导管分子长度平均值为 204.13 Lm, 变幅在 200.31~206.61 Lm, 根据分级标准^[19], 属于 I 级; 导管分子弦径平均值为 146.46 Lm, 变幅为 132.63~152.44 Lm, 属于 II 级。导管分子长度和弦径由髓心向外呈递增趋势, 二者最小值均在髓心附近, 最大值在靠近树皮附近, 仍有增大的趋势, 这与木材是 7 年生, 处于生长旺盛期有关。各生长轮间导管分子长度和弦径经方差分析, F 值分别为 4.376 和 2.752, 根据文献 [18] 可判断不同生长轮间的导管分子长度和弦径差异显著。

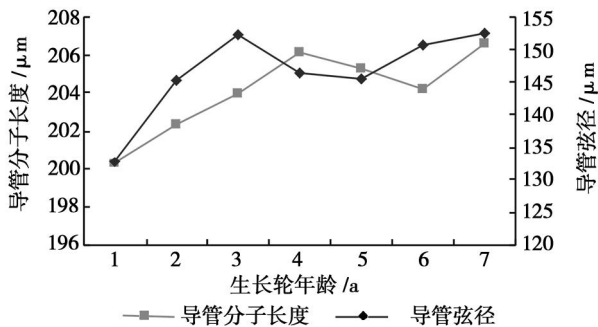


图 3 导管分子形态径向变异

2.1.3 组织比量的径向变异模式 图 4 表明: 不同生长轮间纤维比量和导管比量曲线变化趋势基本一致, 整体变化较小, 曲线较为平缓, 纤维比量沿髓心向外呈增加趋势, 导管比量沿髓心向外呈递减趋势, 说明黄檀木材在生长过程中随着树龄的增加, 木材中纤维比重也在增加, 而同时导管所占的比重在减小, 说明黄檀木材随着树龄增加心材比重在增加, 同时边材比重在减少, 所以会导致木材纤维比量增加而导管比量减少, 变换趋势比较平缓说明这种变化不是剧烈进行的而是缓慢发生的。木射线比量平均

值为 16.22%, 变幅为 12.76%~19.52%, 变异趋势由髓心向外呈减少, 变幅范围较大, 变异明显, 变化趋势明显, 说明随着木材树龄的增加, 木材的输导能力, 即对所需水分和无机盐的需求会随着树龄的增加而慢慢降低。各生长轮间组织比量经方差分析, F 值分别为 2.508、2.38 和 2.691, 根据文献 [18] 判断它们差异显著。

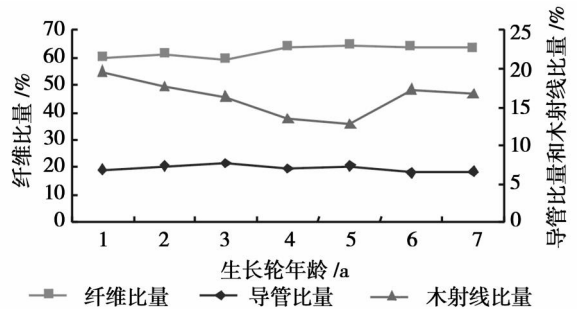


图 4 组织比量径向变异

2.1.4 微纤丝角和胞壁率的径向变异模式 图 5 表明: 胞壁率的变化曲线波动较大, 变化趋势显著, 印度黄檀胞壁率的平均值为 66.22%, 变幅为 61.83%~68.30%, 在第 3 生长轮处达到最低值 61.83%; 随后随着生长轮的增加而增加, 由于胞壁率对木材的密度影响非常大, 而密度对木材的性质起着及其重要的作用, 所以胞壁率的大小一定程度上决定了木材的性质。虽然研究的木材尚处于幼龄期, 但其胞壁率的最低值已在 60% 以上, 说明黄檀木材的密度非常高, 可以预测随着树龄的增大木材的胞壁率也会随之增加; 但是由于研究木材的树龄只有 7 a 尚处于生长的旺盛期, 加之当地气候条件和其他一些因素的影响, 使得其在 7 年中的变化较显著, 所以在之后由生长轮年龄建立的对木材胞壁率的预测模型也只适用对幼龄材的预测。

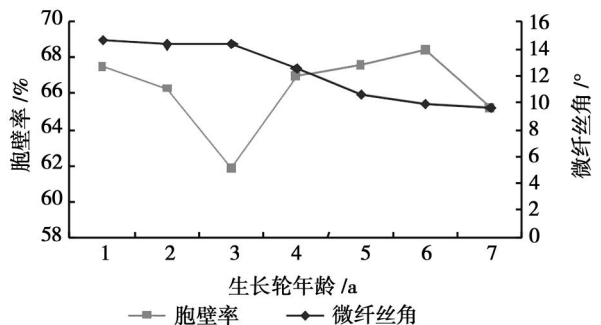


图 5 微纤丝角和胞壁率径向变异

由图 5 可以看出: 印度黄檀木材微纤丝角的径向变化趋势是随着生长轮的增加而减小。大量研究

已经表明,木材微纤丝角径向的变异一般模式为:在幼龄材区域由内向外降低,变异幅度一般在 10b 左右^[20],本研究的结论与其一致。微纤丝角的大小基本上决定木材强度,微纤丝角越大,木材强度相对越低,反之木材的强度就越高。该木材的微纤丝角平均值为 12.24b,说明该木材虽处于生长幼龄期,但其强度很高,这也表明了印度黄檀木材是一种优良树种,引进到国内有着很大的潜在的经济和社会价值。各生长轮间胞壁率和微纤丝角经方差分析, F 值分别为 3.027 和 3.098,根据文献 [18] 判断它们差异显著。

2.1.5 结晶度的径向变异模式 目前,常用来测定木材结晶度的方法是 X 射线衍射法,简称为 XRD。图 6 是人工幼龄印度黄檀的 XRD 图,可以看出,在 $2\theta = 22.8^\circ$ 附近的衍射峰最富于变化,这反映了该处衍射峰的大小与木材结晶度的大小变化具有一定的规律性,同时说明此晶格衍射峰与木材结晶度直接相关。木材的各生长轮间结晶度的径向变异趋势见图 7,由图 7 可以看出:各生长轮间木材结晶度的变化趋势呈抛物线形,在 4 a 时最大值为 45.83%,各生长轮间木材的结晶度在 45.83% ~ 35.44% 间浮动,最大变幅是 10.39%,最小变幅是 3.43%,变幅范围为 3.43% ~ 10.39%。从变化曲线上看,变化趋势不甚明显,但方差分析结果表明,其 F 值是 3.098,根据文献 [18] 可判断出各生长轮间结晶度差异显著。如果通过木材结晶度随生长轮变化的趋势建立对木材结晶度预测模型,不但可为及时地调整林木培育和遗传改良措施提供参考,也可为人工林木材的高效利用提供科学依据。

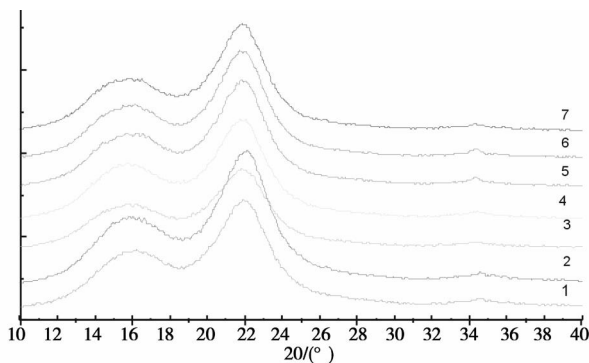


图 6 木材各生长轮间的 X 射线衍射图
(图中 1~7 为生长轮年龄,从髓心依次至外)

综上所述可知:7 年生幼龄印度黄檀木材各生长轮间解剖性质的各项特征值间和结晶度及生长轮宽度经方差分析均差异显著,此结果为不同生长轮年龄间解剖各参数和结晶度间的模型构建提供了

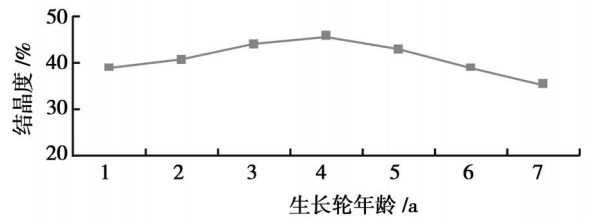


图 7 结晶度径向变异

可能。

2.2 生长轮宽度和年龄及解剖各参数和结晶度的相关分析

木材生长轮宽度和年龄及解剖各参数和结晶度的相关分析结果见表 2。

2.2.1 生长轮年龄与各解剖参数和结晶度的相关性分析 人工林培育的重要目标是木材生长及其材性俱佳,而材性与生长轮宽度的关系非常复杂,所以对他们之间关系的研究也较为深入。从表 2 可以看出:幼龄印度黄檀木材生长轮宽度与纤维长度和宽度呈显著正相关,相关性在 0.01 水平上显著,与纤维壁厚和结晶度呈 0.05 水平上正相关,与木射线比量呈显著负相关,相关水平在 0.01;生长轮宽度与其他解剖参数指标无明显相关。

生长轮年龄与纤维长度、导管长度和弦径、纤维比量和结晶度呈显著正相关,相关性在 0.01 水平上显著;生长轮年龄与纤维宽度和壁厚、导管比量和微纤丝角呈负相关,显著水平在 0.01,生长轮年龄与木射线比量呈 0.05 水平上的负相关。从表 2 还可以看出:各项解剖参数均与生长轮年龄显著相关,与对杉木管胞形态的变异报道一致^[21]。

2.2.2 结晶度与解剖各参数间相关性分析 木材结晶度与解剖参数间的相关性至今尚少见报道,本文对此做探索性研究,以期将来他们之间的相关性分析积累一些基础数据,对他们相关性的分析可为对木材性质进一步了解和用少量的材料来研究木材性质打下一定的基础。从表 2 可以看出:木材的结晶度并不是与所有的解剖参数呈现相关性,说明也并不是所有的解剖构造因子会对木材的结晶度产生影响。结晶度与木材生长轮宽度和微纤丝角呈 0.05 水平正相关,与纤维宽度和壁厚及导管比量呈极相关水平,相关性在 0.01 水平上显著,同时木材结晶度与木射线比量呈 0.01 水平的显著负相关,说明木材结晶度随着木射线比量的减少而呈现增减的趋势,这与上文中木射线比量和结晶度随生长轮变化趋势图

的结果是一致的。除此之外, 结晶度与其它解剖参数间相关性不明显, 至于结晶度与各解剖参数

间的相关性的最终结论还需扩大研究范围和进一步的分析研究才能得知。

表 2 木材生长轮宽度和年龄及解剖参数和结晶度间相关分析

项目	生长轮宽度	纤维长度	纤维宽度	纤维壁厚	导管长度	导管弦径	纤维比量	导管比量	木射线比量	胞壁率	微纤丝角	结晶度	生长轮年龄
生长轮宽度	1												
纤维长度	0.665*	1											
纤维宽度	0.801**	0.560*	1										
纤维壁厚	0.347	0.074	0.647*	1									
导管分子长度	0.231	0.406*	0.204	0.075	1								
导管弦径	0.296	0.304*	0.046	0.097	0.548**	1							
纤维比量	0.131	0.199	-0.081	-0.321	0.466**	0.252	1						
导管比量	0.198	-0.045	0.572*	0.785*	-0.120	0.101	-0.445*	1					
木射线比量	-0.502*	-0.392*	-0.585*	-0.361*	-0.445*	-0.328	-0.628*	-0.308	1				
胞壁率	-0.132	-0.107	-0.377*	-0.654*	-0.014	-0.419*	0.601*	-0.697*	0.017	1			
微纤丝角	0.066	-0.269*	0.313*	0.455*	-0.493*	-0.447*	-0.677*	0.561*	0.262	-0.368*	1		
结晶度	0.418*	0.203	0.692*	0.568*	0.033	-0.093	-0.134	0.611*	-0.488*	-0.334	0.390	1	
生长轮年龄	0.629*	0.301**	-0.227*	-0.454*	0.606**	0.713**	0.712*	-0.466*	-0.405*	-0.336*	-0.851**	0.633**	1

注: * 表示在 0.01 水平显著相关; ** 表示 0.05 水平显著相关

2.2.3 解剖各参数间的相关性分析 从表 2 可以看出: 纤维宽度与纤维长度和壁厚, 导管分子长度与纤维长度, 纤维比量与导管长度都呈 0.01 水平显著正相关; 导管弦径与纤维长度和导管分子程度分别呈 0.05 和 0.01 水平正相关; 导管比量与纤维宽度和壁厚呈 0.01 水平正相关, 却与纤维比量呈 0.01 水平的显著负相关; 木射线比量与纤维长度和壁厚呈现 0.05 水平的负相关, 与纤维宽度及纤维比量呈 0.01 水平的负相关。胞壁率与各解剖参数间的相关关系如下: 与纤维宽度和导管弦径呈 0.05 水平负相关, 与纤维壁厚和导管比量呈 0.01 水平的显著负相关, 与纤维比量呈 0.01 水平正相关。微纤丝角与大部分解剖参数呈显著相关。说明各解剖参数都或多或少的对木材微纤丝角产生一定的影响, 它们间的相关关系如下: 微纤丝角与纤维长度和胞壁率在 0.05 水平呈负相关, 与纤维宽度和壁厚及导管比量呈 0.01 水平正相关, 与导管分子长度和弦径

及纤维比量呈 0.01 水平显著负相关。总之, 通过对各解剖参数间相关性的分析可使我们对各木材解剖性质及各解剖参数间复杂的关系有着更深的了解, 同时也为如何利用少量的解剖因子特征来分析其他解剖参数提供一定的基础数据。

2.3 生长轮年龄与解剖参数和结晶度变异模型的建立与预测

由于幼龄印度黄檀木材的生长轮年龄与木材解剖参数和结晶度有着不同水平上的显著相关和极相关关系, 所以以生长轮年龄为自变量因子建立木材各解剖参数和结晶度的预测模型是可行的。模型的建立对试验外木材材性的预测和试验样本使用量的减少有着重要的意义, 数据经过分析, 使用 Matlab 语言编程, 对产生的曲线进行拟合, 最终建立生长轮年龄与木材解剖参数和结晶度间预测模型如表 3 所示。

表 3 木材各解剖参数和结晶度与生长轮年龄相关模型

项目	相关模型	R ²
生长轮宽度	$y = 53.3 - 93.24x + 61.41x^2 - 17.54x^3 + 2.28x^4 - 0.11x^5$	0.918 63
纤维长度	$y = 803.48 + 312.5 \ln(x + 3.72)$	0.938 99
纤维宽度	$y = 5.77 + 14.43x - 8.62x^2 + 2.19x^3 - 0.22x^4 + 0.00654x^5$	0.999 27
纤维壁厚	$y = 2.89 + 3.79x - 2.53x^2 + 0.8x^3 - 0.12x^4 + 0.00617x^5$	0.986 03
导管分子长度	$y = 195.88 + 7.98x - 5.25x^2 + 2.05x^3 - 0.36x^4 + 0.022x^5$	0.988 62
导管弦径	$y = 149.73 - 56.59x + 56.62x^2 - 19.97x^3 + 2.95x^4 - 0.155x^5$	0.990 71
纤维比量	$y = 31.06 + 57.86x - 39.58x^2 + 11.995x^3 - 1.63x^4 + 0.081x^5$	0.917 71
导管比量	$y = 12.64 + 10.51x - 5.22x^2 + 1.33x^3 - 0.17x^4 + 0.00896x^5$	0.791 99
木射线比量	$y = 41.82 - 45.05x + 31.55x^2 - 10.21x^3 + 1.489x^4 - 0.0792x^5$	0.998 57
胞壁率	$y = 43.65 + 51.57x - 37.61x^2 + 11.42x^3 - 1.52x^4 + 0.073x^5$	0.799 35
微纤丝角	$y = 23.99 - 19.32x + 13.43x^2 - 4.089x^3 + 0.546x^4 - 0.0266x^5$	0.999 83
结晶度	$y = 49.91 - 22.49x + 14.72x^2 - 3.58x^3 + 0.36x^4 - 0.013x^5$	0.996 34

注: x 为生长轮年龄。

由表 3 可以看出: 相关系数 R 均在 0.88 以上。本模型对于元江地区引进种植的黄檀木材的解剖参数和结晶度可以进行评价、预测和验证, 同时该预测模型也将对在其他地区种植培育的幼龄印度黄檀木材进行验证比较, 以便进一步修正模型来建立更为广泛适用的预测模型, 以尽可能的减少对木材样本的取样, 相关研究将在以后的研究文章中进行报道。

3 结 论

人工幼龄印度黄檀木材纤维长度和宽度、导管分子长度和弦径、纤维比量总体径向变化趋势是从髓心往外呈增加趋势; 纤维壁厚和生长轮的径向变异趋势是先增加后减小; 导管比量、胞壁率和微纤丝角的变化趋势是沿髓心向外呈递减趋势; 结晶度的径向变异趋势是先增加后减小, 各生长轮间的解剖参数和结晶度差异均明显。

相关分析表明: 幼龄印度黄檀木材生长轮宽度与纤维长度和宽度呈 0.01 水平上显著正相关, 与纤维壁厚和结晶度呈 0.05 水平上的正相关, 与木射线比量呈 0.01 水平负相关; 生长轮年龄与纤维长度、导管长度和弦径、纤维比量和结晶度在 0.01 水平正相关, 与纤维宽度和壁厚、导管比量和微纤丝角呈 0.01 水平负相关, 与木射线比量在 0.05 水平负相关; 结晶度与木材生长轮宽度和微纤丝角呈 0.05 水平正相关, 与纤维宽度和壁厚及导管比量呈 0.01 水平正相关, 与木射线比量呈 0.01 水平的显著负相关。

对幼龄黄檀木材生长轮与各解剖参数和结晶度间的关系经过不同类型的曲线和数学方程拟合建立预测模型, 相关系数 R 均在 0.88 以上, 预测模型可对元江地区引进种植的黄檀木材的解剖参数和结晶度进行预测评价。

参 考 文 献:

- [1] Tewari A Monograph on Dalbergia sissoo Roxb. [M]. International Book Distributors 1994: 1- 9
- [2] Pande Impact of site quality on wood properties of clonal ramets of Dalbergia sissoo Roxb. [J]. Indian Journal of Tropical Biodiversity, 2006, 14(2): 134- 143
- [3] Pande Impact of growth on wood properties and specific gravity variations in colonial plantation woods of Dalbergia sissoo Roxb. and Eu-

- calyptus tereticomis Sm [J]. Journal of the Indian Academy of Wood Science, 2006, 3(1): 27- 39
- [4] Rajneesh Kumar Shama Gupta Variation in physicochemical characteristics of wood of candidate plus trees of Shisham (Dalbergia sissoo Roxb.) [J]. Indian Forester, 2005, 131(8): 1012- 1023
- [5] 孙侠风. 印度黄檀半木质化插条的生根 [J]. 林业科技通讯, 1963(13): 8- 9
- [6] 叶茂福. 印度黄檀繁殖试验初报 [J]. 今日科技, 1975(13): 14- 16
- [7] 浙江省平阳亚热带作物研究所林业组. 印度黄檀引种栽培的初步研究 [J]. 浙江农业科学, 1975(6): 48- 53
- [8] Huda Sujaudin, Shafinat et al Effects of phosphorus and potassium addition on growth and nodulation of Dalbergia sissoo in the nursery [J]. Journal of Forestry Research, 2007, 18(4): 279- 282
- [9] Singh, Sahn Gupta Jain Studies on carving quality of some Indian timbers [J]. Indian Forester, 2006, 132(8): 1019- 1023
- [10] Singh, Bhati Growth of Dalbergia sissoo in desert regions of western India using municipal effluent and the subsequent changes in soil and plant chemistry [J]. Bioresource Technology, 2005, 96(9): 1019- 1028
- [11] Emtehan, Jazirehe An investigation on Dalbergia sissoo Roxby in Southern Iran [J]. BIABAN, 2002, 7(2): 55- 65
- [12] 石 雷, 孙庆丰, 邓 疆. 引进树种印度黄檀解剖构造变异性质及其化学性质的研究 [J]. 林业科学研究, 2008, 21(2): 212- 216
- [13] 石 雷, 孙庆丰, 邓 疆. 引进树种印度黄檀木材解剖构造及物理力学性质的初步研究 [J]. 林业科学研究, 2008, 21(3): 335- 339
- [14] 中国标准出版社. 中国林业标准汇编: 木材与木制品卷 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1998
- [15] 姜笑梅. 人工林与天然杉木幼龄材和成熟材解剖性质差异及其在径向上变异的比较研究 [J]. 世界林业研究, 1994, 7(专集): 1- 13
- [16] Segal Creely Martin, et al An empirical method for estimating the degree of crystallinity of native cellulose using the X-ray diffractometer [J]. Textile Research Journal, 1959, 29: 786- 794
- [17] Pashin, De Zeeuw. Textbook of wood technology [M]. New York McGraw-Hill Book Company, 1980
- [18] 陈华豪, 丁恩统, 洪 伟, 等. 林业应用数理统计 [M]. 大连: 大连海运学院出版社, 1988
- [19] 李 坚, 陆文达, 刘一星, 等. 木材科学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2002
- [20] Zobel Bitumen. Wood variation its causes and control [M]. Berlin Heidelberg Springer- Verlag, 1989
- [21] 姜笑梅, 骆秀琴, 陈益泰, 等. 杉木材性株内的变异 II 管胞形态的变异 [J]. 林业科学, 1997, 33(5): 441- 446