

## 速生人工林桉树木材高温热处理研究

巫国富, 韦春义, 曾俊钦, 韦文榜  
(广西生态工程职业技术学院, 广西柳州 545004)

**摘要:** 广西速生人工林桉树资源丰富,但其木材极易端裂、尺寸稳定性和耐久性差。为了提高其使用范围和产品附加值,笔者采用单因素试验方法对其进行高温热处理研究。主要探讨了热处理工艺对速生桉木材尺寸稳定性和化学基团的影响。试验结果表明:热处理温度在165~210℃,热处理时间在1~4 h范围内。随着处理温度 and 时间的延长,木材平衡含水率逐渐降低,从木材的FTIR图可知,羟基吸收峰的强度明显降低,羰基吸收峰的强度略呈降低趋势;经210℃处理的试件的平衡含水率比未处理的降低了43.12%,方差分析表明,热处理温度对平衡含水率影响更显著。高温热处理对速生人工林桉树木材的改性效果显著,能够大大提高其尺寸稳定性。

**关键词:** 速生人工林桉树; 高温热处理; 平衡含水率; 尺寸稳定性

中图分类号: S784

文献标志码: A

论文编号: 2011-0250

### Study on High Temperature Heat Treatment of Plantation Eucalypt Wood

Wu Guofu, Wei Chunyi, Zeng Junqin, Wei Wenbang

(Guangxi Eco-engineering Vocational and Technology College, Liuzhou Guangxi 545004)

**Abstract:** Guangxi has abundant resources plantation eucalypt wood, but it has lots of disadvantages such as split, dimension stability and durability poor. To enhance its ranges of use and product added value, so the author made a study on high temperature heat treatment of it by the single factor method. The characteristics of FTIR and the effect of temperature and time of heat treated on the equilibrium moisture content (EMC) of heat-treated wood (plantation eucalypt) had been researched in this paper. The results indicated that with the heat treated temperature and time increased, the EMC of wood decreased and the intensity of absorption peak of hydroxyl decreased significantly in heat treated temperature 165–210℃ and time in 1–4 h range; treated wood in 210℃ compared with EMC of untreated wood, that was decreased by 43.12%. Party's analysis showed that heat temperature affected to EMC even more notable. The results showed that decrease significantly used high temperature heat treatment to improve characteristics of plantation eucalypt wood and could greatly enhance the dimension stability.

**Key words:** plantation eucalypt; high temperature heat treated; equilibrium moisture content (EMC); dimension stability

### 0 引言

广西速生人工林桉树木材资源丰富,统计数据显示<sup>[1]</sup>,广西桉树人工林总面积约为75万hm<sup>2</sup>,蓄积量约为2091.76万m<sup>3</sup>。按《广西林业“十一五”和2020年发

展规划》,到2010年桉树速生丰产林面积发展到110万hm<sup>2</sup>,到2020年桉树速生丰产林面积发展到135万hm<sup>2</sup>。但是,速生人工林桉树木材极易端裂、翘曲、尺寸稳定性和耐久性差,严重制约了其使用范围和产

**基金项目:** 2009年广西生态工程职业技术学院(ST200902B)。

**第一作者简介:** 巫国富,男,1974年出生,福建三明人,讲师,硕士,研究方向:木材改性、林木培育改性,学术成就:(1)参与中澳(ACIAR)合作项目“提高中国、越南和澳大利亚桉树人工林锯材利用价值:锯解与干燥”,于2009年6月结题;(2)参与“十一五”广西林业厅科技项目“速生人工林木材炭化改性技术研究”研究课题,于2010年1月结题;(3)2009年10月至今,主持广西生态工程职业技术学院自然科学课题“广西速生人工林木材高温改性处理研究”。通信地址:545004 广西省柳州市广西生态工程职业技术学院艺术设计系, E-mail: xlwgf001@126.com。

**收稿日期:** 2011-01-26, **修回日期:** 2011-03-24。

品附加值的提高。经过高温热处理后,具有优良的生物耐久性、耐候性、尺寸稳定性及安全、环保等一系列突出优点,能被广泛应用于家具、室内外建筑装饰和构筑物、木扶梯、公园设施以及蒸汽浴室内部设施等。自20世纪90年代后,芬兰、荷兰、法国、德国、加拿大、土耳其及日本等,相继进行了超高温热处理木材的研究与开发。芬兰对超高温热处理木材的研究开始较早,经过十余年的发展,生产技术已经比较成熟<sup>[2-4]</sup>。在中国,木材高温热处理改性技术的研究才刚刚起步;李延军<sup>[5]</sup>以杉木为材料,采用自制小型热处理装置进行了蒸汽法木材高温热处理研究;涂登云<sup>[6]</sup>对柞木进行了高温热处理研究;李涛<sup>[7]</sup>对生产性高温热处理水曲柳地板坯料的力学性能进行了测试和分析;刘新有等<sup>[8]</sup>提出了木材热处理过程中高温干燥阶段升温时间的理论计算公式。但是,对广西速生人工林桉树木材进行热处理研究的尚未见报道。因此,笔者对广西速生人工林桉树木材高温热处理工艺进行了研究,主要分析了高温热处理工艺对其物理化学性能的影响规律。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验时间、地点

2009年9月—2010年1月,在广西生态工程职业技术学院艺术系实验室进行试验材料的风干准备;2010年6月—12月,在柳州永翔木业公司及广西生态工程职业技术学院艺术系实验室试件制作、高温热处理,处理试件检测分析。

### 1.2 试验材料

试验原料为5年生尾叶桉原木,采自广西柳州市沙塘林场,然后锯成长1300 mm、宽110 mm、厚25 mm的锯材,放在室内通风干燥处自然干燥3个月。将试件做成为300 mm(长)×100 mm(宽)×22 mm(厚)的尺寸规格,含水率控制在14%~20%之间,要求试件四面刨光。未处理对比试件,含水率干燥到绝干状态。

### 1.3 试验仪器与设备

高温热处理设备为恒温恒湿干燥箱(SH045A)改装;电子天平(JA2006),傅立叶变换红外光谱仪(Varian 1000 FT-1R)。

### 1.4 试验方法

1.4.1 高温热处理试验 本研究采用单因子试验,分2组进行。第1组,处理时间不变,均为3 h,处理温度设定为165℃、180℃、195℃、210℃ 4个水平;第2组,处理温度不变,均为210℃,处理时间设定为1 h、2 h、3 h、4 h 4个水平;每组试验重复1次,共计16次试验。热处理分3个阶段:第1阶段,温度迅速升到100℃,升温速率10℃/h;第2阶段,温度升到165~210℃,升温速率

5℃/h,并且保持温2~3 h;第3阶段,降温调质阶段,温度降到45℃后取出。

1.4.2 平衡含水率的测定 把未处理试件和处理过的试件放在自然通风的室内45天,然后根据平衡含水率的公式,计算其平衡含水率,用SPSS分析软件对所得的数据进行方差分析。

$$\text{平衡含水率} = \frac{m_0 - m}{m} \times 100\%$$

式中: $m_0$ 为干燥前试件质量, $m$ 为绝干后试件质量。

1.4.3 红外光谱的测定 依据红外光谱测定要求,把试件磨成粉状,用傅立叶变换红外光谱仪测定。

1.4.4 统计分析 采用SPSS10.0统计分析软件进行数据处理与分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 热处理温度和时间对木材平衡含水率的影响

2.1.1 热处理温度对木材平衡含水率的影响 从图1可知,随着热处理温度的提高,木材的平衡含水率降低。未处理材平衡含水率为8.72%,温度为165℃、180℃、195℃、210℃处理过的试件的平衡含水率依次为7.36%、6.92%、6.45%和4.96%,分别比未处理试件降低了15.6%、20.64%、26.03%和43.12%。由表1和表2方差分析可知,在165~210℃范围内,热处理温度对木材平衡含水率的影响非常显著。

由表1可知,组间(Between Groups)平方和(Sum of Squares)为14.978,自由度为4,均方(Mean Square)为3.744;组内(Within Groups)平方和为0.0212,自由

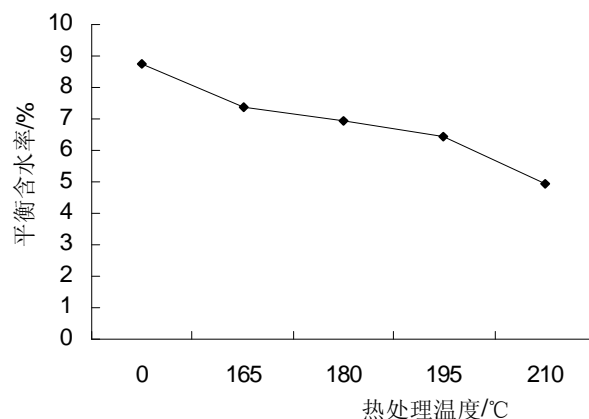


图1 高温热处理温度对木材平衡含水率的影响

表1 单因子方差分析

	平方和	自由度	均方	F	Sig.
组间	14.978	4	3.744	883.123	0.000
组内	0.0212	5	0.00424		
总和	14.999	9			

表2 多重比较

(I)温度/°C	(J)温度/°C	均方(I-J)	标准误差	Sig.	95% 置信区间	
					下限	上限
0	165	1.3600	0.06512	0.000	1.0988	1.6212
	180	1.8000	0.06512	0.000	1.5388	2.0612
	195	2.2700	0.06512	0.000	2.0088	2.5312
	210	3.7600	0.06512	0.000	3.4988	4.0212
165	0	-1.3600	0.06512	0.000	-1.6212	-1.0988
	180	0.4400	0.06512	0.006	0.1788	0.7012
	195	0.9100	0.06512	0.000	0.6488	1.1712
	210	2.4000	0.06512	0.000	2.1388	2.6612
180	0	-1.8000	0.06512	0.000	-2.0612	-1.5388
	165	-0.4400	0.06512	0.006	-0.7012	-0.1788
	195	0.4700	0.06512	0.004	0.2088	0.7312
	210	1.9600	0.06512	0.000	1.6988	2.2212
195	0	-2.2700	0.06512	0.000	-2.5312	-2.0088
	165	-0.9100	0.06512	0.000	-1.1712	-0.6488
	180	-0.4700	0.06512	0.004	-0.7312	-0.2088
	210	1.4900	0.06512	0.000	1.2288	1.7512
210	0	-3.7600	0.06512	0.000	-4.0212	-3.4988
	165	-2.4000	0.06512	0.000	-2.6612	-2.1388
	180	-1.9600	0.06512	0.000	-2.2212	-1.6988
	195	-1.4900	0.06512	0.000	-1.7512	-1.2288

注:\*表示差异达0.05显著水平。

度为5,均方为0.00424;样本总体平方和为14.999,自由度为9;F统计量为883.123, sig=0.000。由此可知,利用4种不同的温度进行热处理,所得的试件的平衡含水率存在显著差异。从表2可看出,4种温度处理过与未处理过的存在显著差异,其中,210°C处理过的与未处理过的差异最显著。210°C优于195°C,195°C优于180°C,180°C优于165°C,210°C效果最显著。

2.1.2 热处理时间对木材平衡含水率的影响 从图2中可以看出,热处理试件的平衡含水率,随着热处理时间的增加而降低,并且其降低程度越大。经1 h、2 h、3 h、4 h时处理过的试件的平衡含水率依次为7.23%、6.96%、6.57%和6.42%,与未处理材(平衡含水率为8.72%)相比,其平衡含水率依次降低了17.09%、20.18%、24.66%和26.38%。方差分析表明,当热处理时间介于1~4 h,热处理时间对木材平衡含水率的影响明显,但是,与热处理温度相比其影响程度更低。

以上试验结果表明,对速生人工林桉树木材进行高温热处理可以使其平衡含水率降低,并且平衡含水率的降低程度随着热处理温度的升高和处理时间的增

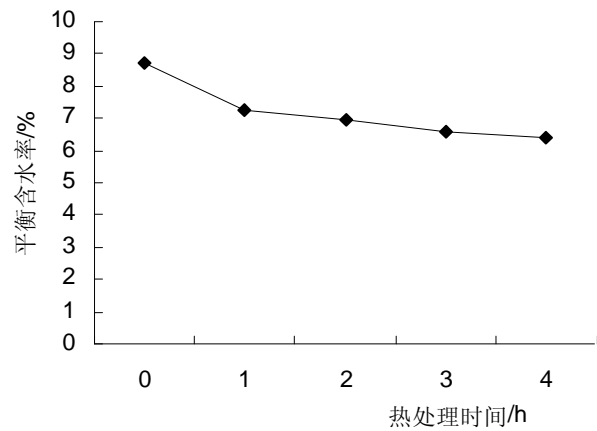


图2 高温热处理时间对木材平衡含水率的影响

加而变大。这主要归因于在高温热处理过程中,木材的半纤维素降解,使得木材细胞壁3大主成分物质中具有最强吸湿性能的半纤维的含量降低,木材中吸湿的羟基减少,使得木材的吸湿性下降。同时,在高温热处理过程中,木材纤维素中的结晶区与非结晶区的排列发生了变化,木材分子之间产生了架桥,使纤维素中

的游离羟基减少,吸湿性能降低<sup>[9]</sup>。

## 2.2 热处理温度和时间对木材FTIR的影响

速生人工林桉树未处理木材和经过不同温度、不同时间高温热处理木材在波数为4000~1000  $\text{cm}^{-1}$ 范围内的红外光谱图,见图3、图4。木材尺寸稳定性差的主要原因在于:木材的主要高聚物—纤维素、半纤维素和木素中含有大量高吸水性的游离羟基。其中,半纤维素的吸湿性最强、木素次之,再次为纤维素<sup>[10]</sup>。红外光谱中,官能团区分布在4000~1300  $\text{cm}^{-1}$ 范围,在此区间内每一吸收峰均有一官能团与之对应。由图3和图4可知:3410  $\text{cm}^{-1}$ 左右为羟基(-OH)伸缩振动吸收峰,1700  $\text{cm}^{-1}$ 附近为羰基(C=O)吸收峰,2840~2900  $\text{cm}^{-1}$ 为-CH<sub>3</sub>的伸缩振动吸收峰;并且随着热处理时间和热处理温度的增加,(-OH)和(C=O)伸缩振动吸收峰逐渐降低。这主要是因为半纤维素在160~200℃之间热解,使得木材中的游离羟基数量减少;同时,在高温高湿的条件下半纤维素中的多聚糖分子链上的乙酰水解生成醋酸,导致羰基(C=O)数量减少,从而降低木材的吸水性。再次,在高温热处理过程中,纤维素发生了部

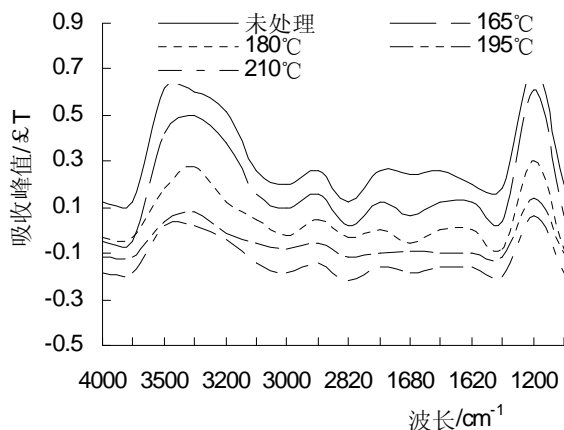


图3 不同热处理温度的红外光谱图

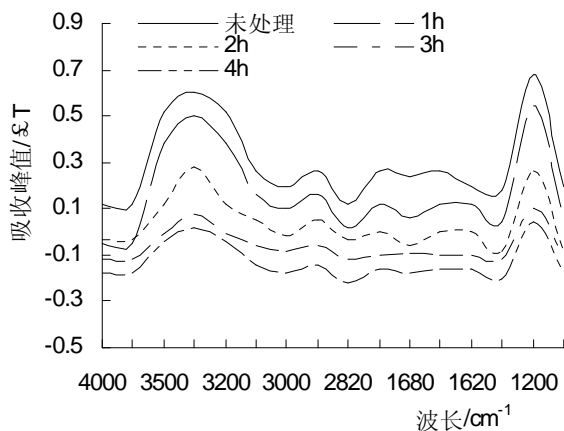


图4 不同热处理时间的红外光谱图

分水解,导致游离羟基数量减少。国内外学者<sup>[11-13]</sup>对人工林杉木、杨木、马尾松等木材高温热处理的研究表明:木材吸湿性明显降低和尺寸稳定性提高的主要原因是纤维素分子链间的架桥反应所导致的游离羟基数量减少。

## 3 结论

(1)本研究使用高温热处理方法处理速生人工林尾叶桉木材是可行的。本试验采用的4种处理温度中,以210℃处理的尾叶桉木材改性效果最佳;今后要在热处理温度、时间对处理材力学性能影响方面及升温速率对处理效果方面作进一步研究。(2)处理材的平衡含水率均比未处理材低,但是处理材的强度略有所降低,是因为热处理过程中纤维素发生了降解。(3)高温热处理可以大大提高速生人工林尾叶桉木材的尺寸稳定性,环保性能优越;可用于家具、室内外建筑装饰材料等,应用范围广;对速生人工林桉树木材进行高温热处理改性,是速生人工林桉树木材精深加工及高效利用的一种有效途径。

## 4 讨论

(1)高温热处理木材是指用160~230℃的温度加热处理木材,改进木材的品质,降低木材的吸湿性和吸水性,提高尺寸稳定性、生物耐腐蚀性和耐气候性,是一种性能优良、颜色美观且环境友好的木材产品<sup>[15]</sup>;能被广泛应用于环境比较恶劣的场所,并能代替部分天然林木材,具有促进天然林保护及环境保护的重要意义。本研究正是依据此理论进行,试验结果也表明高温热处理可以降低速生桉木材的吸湿性。

(2)本研究通过对广西5年生,且生长速度最快的人工林桉树木材进行高温热处理,试验结果表明,热处理温度、热处理时间可以改变木材的平衡含水率和纤维素分子结构,这一结论与国内外学者对其他树种研究所报道的结论一致。造成这一现象的原因主要是木材内的游离羟基数量减少,纤维素分子发生桥架反应。本研究进一步证实了高温热处理可以改善人工林木材的品质。

## 参考文献

- [1] 项东云,陈健波,刘建,等.广西桉树资源和木材加工现状与产业发展前景[J].广西林业科学,2008,4:175-178.
- [2] TUULA S. Production and classification of heat treated wood in Finland, Review on heat treatments of wood [C].Proceedings of Special Seminar held in Antibes, France.Hamburg BFH,2001.
- [3] DIROI D .The improvement of wood durability by retification process[C].The International Research Group on Wood Preservation, Section 4 process.24 Annual Meeting, Orlando, May

- 1621,1993:11.
- [4] Bonstra M. Thermal modification of non-durable wood species[C]. The international Research Group on Wood Preservation, Section 4-process.29 Annual Meeting, Maastricht,1998:14-19.
- [5] 李延军,唐荣强,鲍滨福,等.蒸汽法木材热处理工艺的初步研究[C].第十一次全国木材干燥学术研讨会论文集,2007:239-242.
- [6] 涂登云,顾炼百,王明俊.185℃热处理对柞木物理力学性能影响的研究[C].第十一次全国木材干燥学术研讨会论文集,2007:253-255.
- [7] 李涛,顾炼百.高温热处理对水曲柳力学性能影响的研究[C].第十一次全国木材干燥学术研讨会论文集,2007:269-275.
- [8] 刘新有,张璧光,伊松林.高温条件下木材升温时间的理论计算和实测[J].木材工业,2009,23(2):16-18.
- [9] Norimoto M. Wood bending by microwaves[J].Wood Research,1979 (14):13-25.
- [10] 刘培义,孟国忠.木材的尺寸稳定性处理[J].木材工业,2003,17(2):42-45.
- [11] Tjeerdsma B F, Militz H. Chemical changes in hydrothermal treated wood: FTIR analysis of combined hydrothermal and dry heat-treated wood[J].Holzals Roh-und werkst off,2005,63:102-111.
- [12] 李贤军,刘元,高建民,等.高温热处理木材的FTIR和XRD分析[C].第二届全国生物质材料科学与技术学术研讨会论文集,2008:564-568.
- [13] 蔡家斌,李涛.高同温热处理对杨木压缩板材物理力学性能的影响[J].林业科技开发,2009,23(3):104-106.
- [14] 涂登云,王明俊,顾炼百,等.超高温热处理对水曲柳板材尺寸稳定性的影响[J].南京林业大学学报:自然科学版,2010,34(3):113-116.
- [15] 顾炼百,丁涛.高温热处理木材的生产和应用[J].中国人造板,2008,9:14-18.