

热处理版画材物理力学性能研究

吴向文,王喜明*,刘建霞,颜 燕,安宇宏

(内蒙古农业大学 材料科学与艺术设计学院,内蒙古 呼和浩特 010018)

摘 要:为改善版画材尺寸稳定性和加工性能,以榆木为试验材料,采用 12 组热处理工艺对榆木进行了高温热处理试验,通过进行热处理前后榆木物理力学性能和尺寸稳定性与常用版画材的比较,探讨了榆木经热处理后能否达到常用版画材的范围。结果表明,随着对榆木进行热处理其温度的升高和时间的延长,试材的硬度、耐磨性、润湿性和湿胀率均呈逐渐下降趋势,在 220℃ 2 h 时各项指标均达到常用版画材范围。其中热处理温度和时间对硬度、耐磨性、水和颜料对其接触角、弦向湿胀率、体积湿胀率和吸湿率均有显著影响,热处理温度对径向湿胀率有显著影响。热处理材能够明显改善榆木作为版画材的尺寸稳定性,减小了在刻板和印制过程中尺寸的变化,提高不同底板套印时的精度,有利于实现艺术家在细节上对版画的精度要求。

关键词:高温热处理;榆木;力学性能;尺寸稳定性;版画材

中图分类号:S782.2

文献标志码:A

文章编号:1001-7461(2017)03-0233-05

Effects of Thermal Treatment on the Physical-mechanical Properties of Woodcut

WU Xiang-wen, WANG Xi-ming*, LIU Jian-xia, YAN Yan, AN Yu-hong

(Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010018, China)

Abstract: To improve the woodcut dimensional stability and processability, we selected elm timber (*Ulmus laciniata*) as the test material to investigate the effects of high-temperature on the physical-mechanical properties and dimensional stability of the elm timber. The applicability of the treated timber to woodcut was discussed. The results showed that the hardness, abrasion resistance, wittability and moisture movement of heat-treated elm timber decreased with the increases of temperature and time. Treated at 220℃ for 2 h, all the indexes of the timber reached the standard for common woodcut. The heat treatment temperature and time had significant impacts on the hardness, abrasion resistance, pigment and water contact angle, tangential swelling rate, volume swelling rate and the hygroscopicity. The heat treatment also had significant impacts on the radial swelling rate. It was concluded that heat treatment on elm timber for woodcut could improve the dimensional stability, reduce the size variation during making and printing woodcut, and improve the accuracy of different blank overprint, which were favorable to realize the precision requirements of the artists for engraving on the details.

Key words: high-temperature heat treatment; elm; mechanical property; dimensional stability; woodcut

当打开有关版画作品的书籍时,或者是行走在美术馆来欣赏展出的杰出版画作品时,往往看到的是作品和作者想要表现出来的内容和画面效果。但若是作为一名对版画材料很是了解的作者,往往会

非常细致地去观察,去解析,通常会从用纸和板材的选择上、用墨的色彩效果上以及印痕的处理上运用这些细微方面来欣赏版画作品^[1]。现今木版画已经成为了一种非常流行的家居装饰品,其中使用的版

收稿日期:2016-07-12 修回日期:2016-10-18

基金项目:自治区科技创新团队—沙生灌木纤维化能源(202044);草原英才创新团队—沙生灌木纤维能源化开发(108061)。

作者简介:吴向文,女,在读硕士,研究方向:木材干燥。E-mail:wxwtx@163.com

* 通信作者:王喜明,男,教授,研究方向:木材科学与技术。E-mail:w_ximing@263.net

画材包括实木板材、胶合板材和其他材料板材等,实木板材是木版画的选材之一,常以木质纤维细,棕眼小,木面柔润,经久耐用和尺寸稳定性较好等为首选,用于木版画^[2]的木材有梨木、枣木、椴木、桦木、桃木以及花梨木等,这几种木材的物理力学性质^[3-4]

(表 1),其中西洋梨(*Pyrus communis*)的基本密度和气干密度分别为 0.75~0.88、0.93~1.19 g·cm⁻³。版画用木材应具备以下物理力学性质:气干密度达到Ⅲ级及以上,干缩率径向在 1%左右,弦向在 1.3%~2%左右,相对干缩率较小,硬度均属Ⅲ级。

表 1 几种常用版画材的物理力学性质

Table 1 The physical and mechanical properties of several common woodcuts

种名	试验时 含水率 /%	密度/(g·cm ⁻³)		干缩率/%(生材→气干)		顺纹抗压 强度 /MPa	抗弯 强度 /MPa	抗弯弹性 模量 /GPa	顺纹抗剪 强度 /MPa	硬度/MPa		
		基本	气干	径向	弦向					端面	径面	弦面
山 枣 (<i>Choerospondias axillaris</i>)	15.0	0.469	0.569	0.133 (干缩系数)	0.264 (干缩系数)	44.2	98.5	12.3	9.2~10.9	4 230	3 300	3 710
椴树(<i>Tilia</i> sp.)	15.0	0.437	0.553	0.172 (干缩系数)	0.242 (干缩系数)	41.0	85.4	11.4	8.2~11.1	4 600	3 390	3 850
西 南 桦 (<i>Betula al-noides</i>)	15.0	0.627		0.243 (干缩系数)	0.274 (干缩系数)	53.1	107.9	12.9	11.8~13.4	4 640	4 730	5 010
桃 花 心 木 (<i>Swietenia mahagoni</i>)	15.0		0.640	0.900	1.300	36.8	54.7	9.6	6.8	4 803(侧面)		
印度紫檀(<i>Pterocarpus indicus</i>)	13.5		0.640	1.100	2.000	50.9	89.7	13.1	9.2~9.3			

版画创作中,难免会出现一些问题,木版水印主要使用的是实木板材,其木版画的制作流程包括勾描、刻版、印制 3 个步骤,其中勾描、刻印是在气干状态下,印制是在浸水状态下进行。木材在这 2 种状态下会发生湿胀,使得刻印与印制过程中产生差别。同时一幅画需要多个底版进行套印,各个版的尺寸变化会导致木版画最终效果的差异。现今木版画使用的板材价位较高,且出现直径较小和短缺等问题,干燥过程处理不当也会造成变形开裂等问题。

目前我国版画领域内主要进行了刀法研究^[1]、美学研究^[5]和其在陶瓷装饰艺术中的创新应用^[6-7]等,相对缺乏对版画材的选择和使用性能优化的研究。本试验选择常用版画材的榆木为研究对象,测定其经过热处理硬度、耐磨性、接触角和尺寸稳定性的变化,改善榆木作为版画材尺寸稳定性差、接触角小和硬度大的问题。

1 材料与方法

1.1 材料

榆木采自内蒙古呼和浩特市土默特左旗沙尔沁,原木平均胸径为 400 mm,树龄在 40~46 a 之间,截取地面 1.3 m 以上的部分(选取无开裂、腐朽、变色等缺陷的试材)做试验。试材规格:30 mm×150 mm×450 mm(厚度×宽度×长度)。

1.2 设备

HWS-250B 调温调湿箱、DHG-9245A 恒温鼓风干燥箱、DWD-20A 型微机控制电子万能木材力学试验机、万能实验压机、JYSP-180 接触角测定仪等。

1.3 方法

参照我国较为成熟的高温热处理材生产工艺来设计试验^[8]。温度是热处理木材工艺中非常重要的因素。热处理时间是热处理木材工艺中另外一个重要因素,木材热处理时间进行的越长,则可能热处理进行的越完全,但在这种情况下同时要避免木材力学强度的损失过大,因此注意节约能源^[9-11]。故本次试验进行的热处理温度分别为 160、180、200℃和 220℃,处理时间分别为 1、2 h 和 3 h,设计进行了 4 水平 2 因素的 12 组工艺试验。

将锯切好的榆木试验板材按照常规干燥工艺进行干燥至含水率低于 12%,将板材置于热压机内带有气孔的上下垫板之间,迅速升温至 100℃后;缓慢升高温度到 120℃并干燥到绝干,然后在 10~30 min 内迅速将压机温度升高到热处理温度,按照热处理时间进行处理。每组试验重复 3 次。

1.3.1 榆木的力学性能测试 将素材和热处理榆木材同时置于相对湿度为 65%、温度为 20℃恒温恒湿箱中调解素材和热处理榆木材含水率,待其含水率达到平衡后,利用万能木材力学试验机进行硬度测定。

1.3.2 榆木的物理性能测试 测定其吸湿性、吸水性、湿涨率(径向、弦向和体积)、膨胀率(径向、弦向和体积)、耐磨性和表面接触角。

径向或弦向的线湿涨率按照公式(1)计算。

$$\alpha_w = \frac{l_w - l_0}{l_0} \times 100\%$$

(1)

式中: α_w 试样从全干到气干(吸水尺寸稳定)时,为径向或弦向的线湿涨率,%; l_w 试样气干(吸水尺寸

稳定)时,径向或弦向的尺寸,mm; l_0 试样全干时,径向或弦向的尺寸,mm。

体积湿涨率按照公式(2)计算。

$$\alpha_{vw}=\frac{v_w-v_0}{v_0}\times 100\%$$

(2)

式中: α_{vw} 试样从全干到气干(吸水尺寸稳定)时,为径向或弦向的线湿涨率,%; v_w 试样气干(吸水尺寸稳定)时,径向或弦向的尺寸,mm; v_0 试样全干时,径向或弦向的尺寸,mm。

木材的耐磨性试验参照 GB/T 17657-2013,使用人造板摩擦磨损试验机(MGL-5),P180 粒度的砂布,500 r·min⁻¹。木材耐磨性的计算公式为:

$$Q=g_1-g_2$$

(3)

式中, Q 为质量磨损; g_1 , g_2 为试样试验前后的质量(g)。

木材润湿性的测量是利用水滴在木材表面经过一定的时间后形成的接触角来表示。将液滴滴落在木材表面经过 20 s 后,利用接触角测量仪测量并记录液滴在木材表面上的形状,使用三点法来测量其接触角。同时测量颜料在木材表面的接触角,使用的是水彩画颜料,其中颜料与水的比例为 1:19。当液滴落在木材表面 10 s 后,利用三点法测量其接触角。

以抗胀率(ASE)来评价热处理木材的尺寸稳定性,计算公式为:

$$ASE=\frac{S_1-S_2}{S_1}\times 100\%$$

(4)

式中, S_1 为素材的湿涨率, S_2 为处理材的湿涨率。

抗胀率(ASE)来评价热处理木材的尺寸稳定性按照公式(5)计算。

$$ASE=\frac{S_1-S_2}{S_1}\times 100\%$$

(5)

式中: S_1 为未处理材的体积膨胀率, S_2 为处理材的体积膨胀率。

阻湿率(MEE)按照公式(6)计算。

$$MEE=\frac{M_C-M_T}{M_C}\times 100\%$$

(6)

式中: M_C 为未处理材的吸湿率, M_T 为处理材的吸湿率。

2 结果与分析

2.1 热处理温度与时间对版画材硬度的影响

硬度可作为选择建筑、雕刻、模型等用材的依据,在刻版时版画材的硬度越低越容易雕刻,但印制时版画材的硬度较低容易导致木材凸起处碎落,因此从表 1 可知,版画材常用的木材硬度属于Ⅲ级。

榆木经过高温热处理后,榆木材的硬度随着处理温度的升高和热处理时间的延长逐渐降低,并且

降低的幅度逐渐变大(图 1)。经过方差分析检验,热处理温度和时间对榆木材的硬度均有显著的影响,同时热处理温度比热处理时间对硬度的影响更加显著。榆木经过高温热处理,硬度下降较大。当温度和时间达到 200℃ 3 h、220℃ 1 h 和 220℃ 2 h 时,最接近于表 1 中常用版画材的硬度。

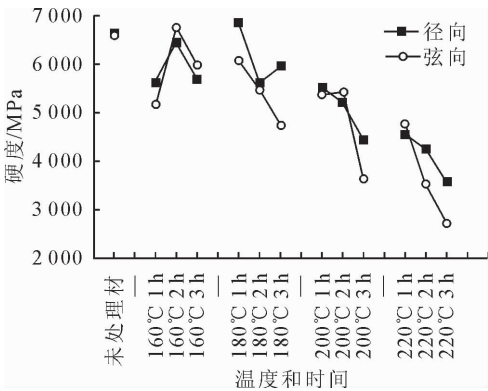


图 1 热处理温度和时间对硬度的影响

Fig. 1 Effects of temperature and time of thermal treatment on the hardness

2.2 热处理温度和时间对版画材耐磨性的影响

榆木经热处理后,榆木的磨损质量随着处理温度升高以及热处理时间增加逐渐增大。在温度变化时间不变的情况下,160、180℃和 200℃下质量磨损变化较小,而 220℃ 时质量磨损增加较为明显(图 2)。经方差分析检验,热处理温度和时间对耐磨性均有显著的影响。同时对榆木的耐磨性而言,热处理时间比热处理温度更加显著。

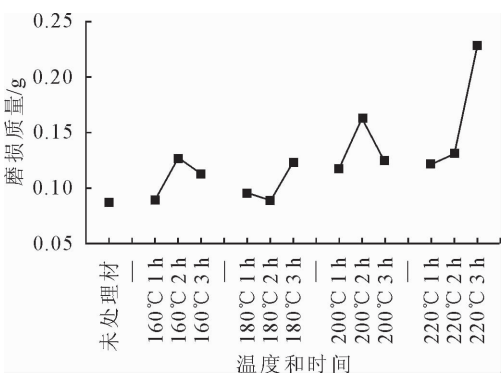


图 2 热处理温度和时间对耐磨性的影响

Fig. 2 Effects of temperature and time of thermal treatment on abrasive resistance

2.3 热处理温度和时间对版画材接触角的影响

为研究不同处理条件对木材润湿性(接触角)的影响,选取水在木材表面停留的时间为 20 s,颜料为 10 s,测量接触角来进行比较(图 3)。由图 3 可知,木材表面润湿性随着对榆木材处理温度逐渐升高以及时间逐渐延长表现增加趋势,表明榆木材经过高温热处理可以明显降低其表面润湿性。在相同的处

理时间下,160℃和180℃下接触角变化较小,而在200℃和220℃时接触角增加较为明显。经方差分析检验,热处理温度和时间对接触角均有显著影响。接触角<90°,表示水能部分润湿木材,随着接触角的增大,木材的润湿性降低。进行版画印制时,对水分的吸收相对降低,有利于降低版画材的湿涨率。

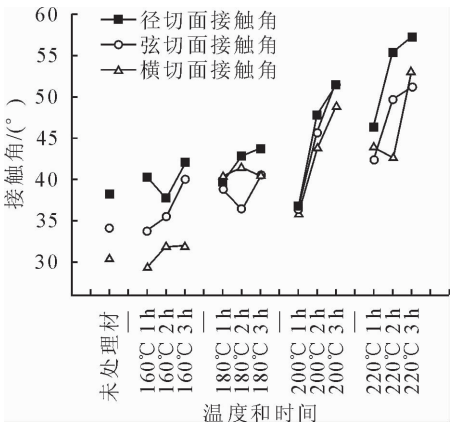


图3 热处理温度和时间对木材与水接触角的影响
Fig. 3 Effects of temperature and time of thermal treatment on water contact angle

由图4可知,颜料在榆木材表面的接触角随着处理温度逐渐升高以及和时间逐渐延长表现增加趋势。表明经过高温热处理降低榆木材对颜料的吸收。经方差分析检验,热处理温度和时间对接触角均有显著影响。接触角<90°,表示颜料能部分润湿木材,随着接触角的增大,表明颜料对木材的润湿性降低,进行版画印制时,能够有效降低版画材对颜料的吸收,提高颜料的有效利用率。

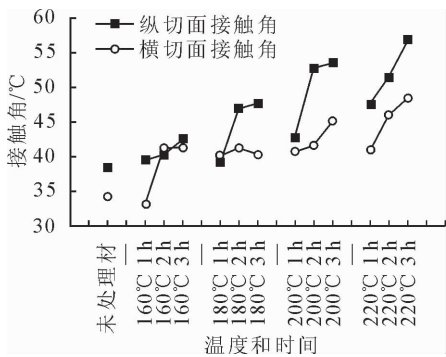


图4 热处理温度和时间对木材与颜料接触角的影响
Fig. 4 Effects of temperature and time of thermal treatment on pigment contact angle

2.4 热处理温度和时间对版画材尺寸稳定性的影响

版画材的加工过程是在气干状态下进行的,而使用是在高湿状态下使用的。因此,尺寸稳定性直接影响着木版画的最终精度和效果。通过热处理来提高版画材的尺寸稳定性,减小因尺寸的差异造成木版画最终效果的差别。

从表2可知,榆木热处理后,其径向线湿涨率、弦

向线湿涨率、体积湿涨率和吸湿率均低于素材,且径向湿涨率明显小于弦向湿涨率。处理时间不变、随着温度升高,以上4项指标逐渐降低;从整体来看,温度不变、热处理时间延长,以上4项指标逐渐降低。经方差分析检验,试材从绝干到气干的尺寸稳定,热处理温度对径向线湿涨率、弦向线湿涨率、体积湿涨率和吸湿率均有显著影响。热处理时间对弦向线湿涨率、体积湿涨率和吸湿率有显著影响。

由表3可知,榆木热处理后,其径向线湿胀率、弦向线湿胀率、体积湿胀率和吸水率均低于素材。榆木材从绝干到吸水尺寸稳定其尺寸稳定性规律和上述中气干到绝干相似。经方差分析检验,试材从绝干到吸水尺寸稳定,其热处理温度对径向线湿涨率、弦向线湿涨率、体积湿涨率和吸水率均有显著影响。热处理时间对径向线湿涨率、弦向线湿涨率、体积湿涨率和吸水率有显著影响。

表2 试材从绝干到气干的尺寸稳定性						
Table 2 Dimensional stability of heat-treated and untreated samples from oven-dry to air-dry						
	径向线 湿涨率	弦向线 湿涨率	体积 湿涨率	抗胀率	吸湿率	阻湿率
未处理材	2.61	3.97	6.87		11.78	
160-1	2.43	3.19	5.56	19.1	10.91	7.4
160-2	2.10	2.69	4.76	30.7	9.89	16.0
160-3	2.01	2.57	4.76	30.7	9.86	16.3
180-1	1.83	2.16	4.28	37.7	8.97	23.9
180-2	1.66	2.20	4.23	38.4	8.25	29.96
180-3	1.43	1.85	4.09	40.5	8.08	31.4
200-1	1.96	2.45	4.68	31.9	8.06	31.6
200-2	1.41	2.03	4.08	40.6	6.51	44.7
200-3	1.18	1.63	3.07	55.3	5.87	50.2
220-1	1.16	1.45	3.02	56.0	6.03	48.8
220-2	1.09	1.21	2.55	62.9	5.77	51.0
220-3	1.19	1.24	2.54	63.0	5.55	52.9

表3 试材从绝干到吸水的尺寸稳定性						
Table 3 Dimensional stability of heat-treated and untreated samples from oven-dry to the stage of dimensional stability in water absorption						
	径向线 湿涨率	弦向线 湿涨率	体积 湿涨率	抗胀率	吸水率	阻湿率
未处理材	7.45	9.78	17.88		141.31	
160-1	6.26	8.94	15.76	11.8	121.63	13.9
160-2	5.93	8.82	15.39	13.9	131.67	6.8
160-3	5.51	6.27	14.76	17.4	117.52	16.8
180-1	5.22	8.09	15.1	15.5	121.91	13.7
180-2	5.07	8.01	14.16	20.8	121.65	13.9
180-3	4.22	7.63	12.54	29.9	115.64	18.2
200-1	4.02	6.86	12.05	32.6	120.56	14.7
200-2	3.50	5.31	9.72	45.6	115.58	18.2
200-3	2.96	5.29	9.25	48.3	116.07	17.9
220-1	3.29	4.74	8.45	52.7	117.89	16.6
220-2	3.06	3.52	6.35	64.5	119.05	15.8
220-3	2.36	3.59	7.52	57.9	114.22	19.2

由表 2、表 3 可知,绝干材的吸湿到全湿时尺寸稳定性的改善程度不如气干状态好,因此与榆木素材相比,高温热处理榆木材在高湿环境中表现出的尺寸稳定性劣于干燥环境。

3 结论与讨论

硬度在相同处理时间下,160℃ 和 180℃ 变化较小,而 200℃ 和 220℃ 变化较大,这是由于木素赋予木材的硬度和刚性^[12]。木素的热稳定性优于半纤维素,木素可以认为在 160℃、180℃ 下部分分解或者不会发生分解,只是其在局部结构发生了很微小的变化^[11],榆木材经过高温热处理其硬度变化小且硬度较高,不适合作版画材。当温度和时间达到 200℃ 3 h、220℃ 1 h 和 220℃ 2 h 时最接近于表 1 中常用版画材的硬度。木材与任何物体的摩擦,木材在摩擦过程中有质量损耗,质量磨损的大小在很大程度上直接预示着材料耐磨性的好坏^[13],耐磨性可作为选择建筑、雕刻和模型等用材的依据。木材耐磨性一般随木材密度、硬度的增大而增大,可以利用密度和硬度近似地估计木材的耐磨等级。根据胡慕任^[14]等木材耐磨等级参考指标以及表 1 可知,木版画常用材(山枣)的耐磨等级为Ⅲ,榆木素材的耐磨等级为Ⅱ。综上可知,高温热处理降低榆木的耐磨性,使其耐磨性达到常用版画材范围。当温度和时间达到 200℃ 2 h、200℃ 3 h 和 220℃ 2 h 时,耐磨等级降低到常用版画材范围。

木材润湿性用来表征某些液体在与木材发生表面接触时,在木材表面上润湿、铺展及其黏附难易程度,通常润湿性的高低以液滴滴在木材表面上形成的接触角(θ)或接触角的余弦($\cos\theta$)的大小表征^[15],版画材常用黄杨木、椴木和檀香紫檀的润湿角分别为 38.81°、30.05° 和 54.03°^[16],说明除了 220° 3 h 未达到版画材接触角的范围,其他均在正常值范围内。同时在版画材加工和使用过程中,木材对颜料的吸收越少,越有利于提高颜料的利用率。温度升高和时间延长,处理材对颜料的吸收逐渐减少,可能是由于热处理过程中,半纤维发生降解,使得其羟基减少,同时乙醚基形成,木材的纤维之间形成了“交联”结构,木材疏水性特性增强,润湿性降低,接触角增大^[17]。另外,高温热处理导致木材纤维素的结晶度发生了变化,同时木素塑化也有可能造成表面接触角增大^[18]。榆木尺寸稳定性提高可能是由于木材细胞壁内微胶粒和微细纤维经过高温过程,其水分排出的同时互相靠拢,高温作用下相对塑化固定,结构发生变化就不易复原,因此丧失了一定的吸湿

能力,热处理后的榆木材尺寸稳定性提高^[19]。常用版画材中印度紫檀生材→气干干缩率径向为 1.1、弦向为 2.0,桃花心木全干干缩率径向为 1.611~2.415、弦向为 3.350~3.871,而榆木的湿涨率远高于常用版画材。但经过高温热处理,榆木的湿涨率明显降低,当温度和时间达到 220℃、2 h 和 220℃、3 h 时,湿涨率降低到常用版画材范围。木材 ASE 值随着温度升高而增大,可能的原因是:细胞壁在高温作用下一些结合水上的一OH 基缔合,导致纤维素分子间距离的减小;半纤维素和纤维素之间游离的羟基与羟基和羧基之间产生了脱水反应,导致游离羟基的含量降低^[20]。

由此可见,榆木经过高温热处理后,硬度、耐磨性、润湿性和尺寸稳定性均达到常用版画材要求,其温度和时间选择 220℃ 2 h 最佳。

参考文献:

[1] 关东. 木版画艺术的刀法研究[D]. 苏州:苏州大学,2013.

[2] 苏新平. 版画技法(上)[M]. 北京:北京大学出版社,2007.

[3] 史瑞芳,曹帮华. 山东省主要进口木材特性与利用[M]. 北京:科学出版社,2004.

[4] 成俊卿. 木材学[M]. 北京:中国林业出版社,1985.

[5] 尚天姝. 套色木版画的色彩语言在现代设计色彩中的应用[D]. 长春:吉林艺术学院,2015.

[6] 聂鑫. 浅析木版画在陶瓷装饰中的艺术个性[J]. 陶瓷科学与艺术,2015(10):71-73.

[7] 聂鑫. 木版画在陶瓷装饰艺术中的创新运用[J]. 佛山陶瓷,2015,11:44-46.

[8] 李延军,唐荣强,鲍滨福,等. 高温热处理木材工艺的初步研究[J]. 林产工业,2008,35(2):16-18.

LI Y J, TANG R Q, BAO B F, *et al.* The preliminary study on high temperature heat-treatment technology of wood[J]. China Forest Products Industry, 2008, 35(2): 16-18. (in Chinese)

[9] 陈康乐,冯德君,张英杰,等. 高温热处理对木材力学性能的影响[J]. 西北林学院学报,2013,28(5):164-166,268.

CHEN K L, FENG D J, ZHANG Y J, *et al.* Effects of high temperature treatment on mechanical properties of wood[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2013, 28(5): 164-166, 268. (in Chinese)

[10] 顾炼百,丁涛. 高温热处理木材的生产和应用[J]. 中国人造板,2008,15(9):14-18.

GU L B, DING T. Production and application of thermal-modified wood[J]. China wood-based panels, 2008, 15(9): 14-18. (in Chinese)

[11] 刘一星. 木质资源材料学[M]. 北京:中国林业出版社,2004.

[12] TJEERDSMA B F, BOONSTR A M, PIZZI A, *et al.* Characterisation of thermally modified wood: molecular reasons for wood performance improvement[J]. Holz als Roh-und Werkstoff, 1998, 56(3): 149-153.

02/21/c_1118109546.htm. 2016,2.

[4] 工业和信息化部,住房城乡建设部. 促进绿色建材生产和应用行动方案[J/OL], http://www.mohurd.gov.cn/wjfb/201509/t20150906_224666.html. 2015.9.

[5] 周媛,郑丽凤,周新年,等. 基于行业标准的木材生产作业系统碳排放[J]. 北华大学学报:自然科学版,2014,15(6):815-820. ZHOU Y,ZHENG L F,ZHOU X N,*et al.* Carbon emission of timber production operating system based on industry standards[J]. Journal of Beihua University:Natural Science,2014,15(6):815-820. (in Chinese)

[6] 谢海涛,张智光. 供应链协作研究综述及其理论模型构建[J]. 山东工商学院学报,2014,28(2):71-77. XIE H T. Supply chain collaborative research were reviewed and its theoretical model building[J]. Journal of Shandong Institute of Business and Technology,2014,28(2):71-77. (in Chinese)

[7] 颜帅. 国际森林认证体系与中国森林认证的理论和政策研究[D]. 北京:北京林业大学,2003.

[8] 杨继刚. 试论影响木材检验质量的因素及对策[J]. 农民致富之友,2016(5):225-225.

[9] 张宪省,贺学礼. 植物学[M]. 北京:中国农业出版社,2003.

[10] 黄楚新,王丹. “互联网+”意味着什么——对“互联网+”的深层认识[J]. 新闻与写作,2015(5):5-9.

[11] 殷延青,胡金鑫,段新芳,等. 循环型林产业产业链及其发展模式研究[J]. 陕西林业科技,2006(3):38-41. YIN Y Q,HU J X,DUAN X F,*et al.* Forest industrial research recycling chain and its development model[J]. Shaanxi Forest Science and Technology,2006(3):38-41. (in Chinese)

[12] 韩杏容,夏自谦,张德英. 我国林业经济增长整合模式分析[J]. 西北林学院学报,2006,21(6):187-189. HAN X R,XIA Z Q,ZHANG D Y. Analysis of integration mode of economic growth in China's forestry sector[J]. Journal of Northwest Forestry University,2006,21(6):187-189. (in Chinese)

[13] 白清玉. 产销监管链认证标准与木材合法性认定体系关联性研究[D]. 北京:中国林业科学研究院,2014.

[14] 黄登良,汪鹏,谢丽团,等. 低碳约束下木材加工业全要素生产率研究[J]. 林业经济问题,2015,35(4):348-353. HUANG D L,WANG P,XIE L T,*et al.* Analysis on total factor productivity of the wood processing industry under the low carbon constraints[J]. Issues of Forestry Economics,2015,35(4):348-353. (in Chinese)

[15] 郭伟,姚涛,张时聪,等. 轻型木结构房屋碳排放总量计算方法研究[J]. 建筑节能,2014,42(9):73-76. GUO W,YAO T,ZHANG S C,*et al.* Calculation method determination of carbon dioxide emissions for light frame wood houses[J]. Building Energy Efficiency,2014,42(9):73-76. (in Chinese)

[16] 解天荣,王静. 交通运输业碳排放量比较研究[J]. 综合运输,2011(8):20-24. XIE T R,WANG J. A comparative study on carbon emissions from transportation[J]. Comprehensive Transportation,2011(8):20-24. (in Chinese)

(上接第 237 页)

[13] 孙德林,余先纯,孙德彬. 烧结温度对木材陶瓷耐磨性的影响[J]. 材料热处理学报,2013,34(11):27-31. SUN D L,YU X C,SUN D B,*et al.* Effects of sintering temperature on abrasive resistance of woodceramics[J]. Transactions of Materials and Heat Treatment,2013,34(11):27-31. (in Chinese)

[14] 胡慕任,刘淑兰. 23 种广东常见阔叶树材的耐磨性质[J]. 木材工业,1992,6(3):37-43.

[15] 李坚. 木材保护学[M]. 北京:科学出版社,2012.

[16] 张丽沙. 主要陈设工艺品木雕用材材质的系统研究[D]. 南京:南京林业大学,2015.

[17] KOCAEFE D S,PONCSAK G,DORE R YOUNSI. Effect of heat treatment on the wettability of white ash and soft maple by water[J]. Holz. Roh. Werkst. ,2008,66:355-361.

[18] 李贤军,蔡智勇,傅峰,等. 高温热处理对松木颜色和润湿性的影响规律[J]. 中南林业科技大学学报,2011,31(8):178-182. LI X J,CAI Z Y,FU F,*et al.* Effects of high temperature thermal treatment on color and wettability of pseudotsugamenziesii wood[J]. Journal of Central South University of Forestry,2011,31(8):178-182. (in Chinese)

[19] 马世春. 汽蒸处理改善木材尺寸稳定性初探[J]. 木材工业,1998,12(5):36-39. MA S C. Study on improving dimensional stability of wood after saturated steam treatment[J]. China Wood Industry,1998,12(5):36-39. (in Chinese)

[20] 冯德君,赵径峰. 热处理木材吸湿性及尺寸稳定性研究[J]. 西北林学院学报,2011,26(2):200-202. FENG D J,ZHAO J F,*et al.* Heat treatment of wood hygroscopicity and dimensional stability[J]. Journal of Northwest Forestry University,2011,26(2):200-202. (in Chinese)