

竹柳枝丫材性能及重组木制造

吴金绒¹, 邓玉和¹, 侯天宇¹, 王新洲¹, 陈骁轶¹, 张健², 陈明及^{1,3}

(1. 南京林业大学 材料科学与工程学院, 江苏 南京 210037; 2. 江苏沿江地区农科所, 江苏 如皋 226541; 3. 越南东北农林高等学校 木材制品加工系, 谅山 谅山 209999)

摘要: 竹柳 *Salix discolor* 作为一种速生木材在人造板的应用方面具有较大的潜力。运用扫描电子显微镜、红外吸收光谱仪对竹柳枝丫材的纤维形态、化学成分、胶接界面进行了分析, 并测定了竹柳枝丫材的接触角。结果表明: 竹柳纤维的平均长度为 0.781 mm, 壁腔比小于 1, 是很好的纤维原料, 总纤维素含量高, 润湿性较好。在此基础上研究了重组木的密度和酚醛树脂胶黏剂的浸胶时间对板材性能的影响。结果表明: 竹柳枝丫材重组木的密度为 $0.9 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, 浸胶时间为 20 s 时制得的板材的性能最佳。图 4 表 6 参 11

关键词: 木材科学与技术; 竹柳; 枝丫材; 重组木; 密度; 施胶量

中图分类号: S781

文献标志码: A

文章编号: 2095-0756(2014)06-0947-07

Salix discolor crotches and its scrimber

WU Jinrong¹, DENG Yuhe¹, HOU Tianyu¹, WANG Xinzhou¹, CHEN Xiaoyi¹, ZHANG Jian², CHEN Mingji^{1,3}

(1. College of Materials Science and Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China; 2. Agricultural Research Institute Along the Yangtze River, Rugao 226541, Jiangsu, China; 3. Wood Product Processing Department, Northeast Agriculture and Forestry College, Langson 209999, Vietnam)

Abstract: Crotches of *Salix discolor*, a fast-growing wood with great potential as a reinforced material in wood-based panels. Study the material properties and find out the appropriate process parameters of manufacturing scrimber of *Salix discolor* by using PF for adhesives. Not only alleviate the problem of shortage of raw materials has also increased the planting area of economic income. The study were analyzed with a scanning electron microscope (SEM) and infrared spectrometer. Fiber morphology, chemical composition, and adhesive interface were then determined; next the surface contact angle of the crotches was tested. Finally, the effects of product density and dipping time of a phenol resin adhesive on the properties of scrimber were studied with GB/T 17657–2013. Results showed that the average fiber length from *Salix discolor* crotches was 0.781 mm and the ratio of wall to cavity was less than 1. In addition, crotches had a high cellulose content and favorable wettability. The scrimber had a product density of $0.9 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ and a dipping time 20 s. Thus, this cultivar with its average fiber length and the ratio of wall to cavity meant it was a good fiber material, and its product density and dipping time showed excellent physical and mechanical properties. [Ch, 4 fig. 6 tab. 11 ref.]

Key words: wood science and technology; *Salix discolor*; crotches; scrimber; density; glue consumption

竹柳 *Salix discolor* 为杨柳科 Salicaceae 柳属 *Salix* 乔木, 其形态、侧枝、密植性与竹子相似, 故而取名为竹柳。竹柳具有可高密度栽植、生长快、抗性强、适应性强、观赏价值高、能防治风沙、可兼作套种、经济效益高等优点, 具有很强的速生性和适应性。作为新培育出的速生材, 竹柳具有比杨树 *Popu-*

收稿日期: 2013-12-02; 修回日期: 2014-03-11

基金项目: 国家级大学生创新创业训练计划(201210298019); 江苏省高校优势学科建设工程资助项目

作者简介: 吴金绒, 从事木质复合材料研究。E-mail: 1213crystal@sina.com。通信作者: 邓玉和, 教授, 博士, 博士生导师, 从事木质复合材料研究。E-mail: dengyuhe@hotmail.com

lus sp. 更快的生长速度。可适应土壤 pH 8.0~8.5, 含盐量 $8.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的重盐地区, 且水淹 2 个月仍能正常生长, 可广泛栽植于湖泊滩涂、盐碱地^[1-2], 因此, 也称竹柳为耐盐竹柳。与南京林业大学合作开发竹柳的工业化应用的江苏森茂生态科技有限公司于 2012 年成功改良沿海滩涂 800 hm^2 , 栽植耐盐竹柳生态经济林 333 hm^2 。薛崇昀等^[3]对竹柳材性、纤维质量及制浆性能进行了研究, 得出竹柳可以作为制浆材, 其纤维较为柔软, 与速生杨木相当, 浆张强度性能指标几乎接近速生杨木浆的水平, 可合理地栽植并开发利用。对竹柳在木材加工行业中的利用方面, 目前只有南京林业大学董葛平等^[4]发表过关于竹柳刨花板的文章。同时, 竹柳枝丫材的性能以及它与原木之间性能的差异还没有得到系统的研究与分析, 对于用竹柳作为原料压制重组木的可行性也还没有得到论证。为了扩大竹柳的应用领域, 缓解中国木材供求矛盾, 使竹柳的枝丫材得以充分利用, 有必要对竹柳枝丫材的材性及用于生产重组木的可行性进行相关的试验研究。

1 材料及方法

1.1 试验材料

2.5 年生耐盐竹柳枝丫材, 取自江苏省如东县, 经剥皮后纵向劈成木束并截 50 cm 备用; 胶黏剂: 酚醛树脂(PF), 购于山东省曲阜市。试验分析仪器: XBL 平板硫化机, 8104 电子万能试验机, JC2000A 静滴接触角/界面张力测量仪, 傅立叶变换衰减全反射红外光谱仪(型号 Nicolet IS10)。

1.2 试验方法

1.2.1 竹柳微观形态及化学成分的分析 ①纤维形态分析。取竹柳枝丫材, 经过纤维分离制成标准样本, 样本共分为上、中、下共 3 部分。在光学显微镜下观察样本, 分别随机选取纤维 100 根, 运用测量软件测量其长、宽、腔径等, 并计算纤维的长宽比和壁腔比。②化学成分测定。参照造纸原料化学成分分析标准 GB/T2677 对竹柳枝丫材的进行化学成分的测定, 主要指标包括冷水抽提物含量(GB/T 2677.4-1993《造纸原料水抽提物含量的测定》)、热水抽提物含量(GB/T 2677.4-1993《造纸原料水抽提物含量的测定》)、 $10.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 氢氧化钠抽提物的含量(GB/T 2677.5-1993《造纸原料 1%NaOH 抽提物含量的测定》)、苯醇抽提物的含量(GB/T 2677.6-1994《造纸原料有机溶剂抽提物含量的测定》)、综纤维素含量(GB/T 2677.10-1995《造纸原料综纤维素含量的测定》)、酸不溶木素含量(GB/T 2677.8-1994《造纸原料酸不溶木素含量的测定》), 纤维素含量的测试方法参考文献[5]。③胶合界面与无胶层处官能团分析。竹柳枝丫材用平板硫化机冷压后, 切成 $30 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ 的薄片, 并沿薄片长度方向将薄片的 1/2 浸渍酚醛树脂(PF), 浸渍后与同种薄片对应组坯, 进行胶合热压, 获得胶合界面以及无胶热压层, 利用傅立叶变换衰减全反射红外光谱仪观察竹柳胶合界面以及无胶处的基团变化。

1.2.2 表面接触角的测定 将竹柳枝丫材进行去皮、剖分制得试件, 放入 JC2000A 静滴接触角/界面张力测量仪的样品池中, 然后分别将被测液 0.001 mL 滴在木材表面上(与树皮相邻的木质部表面为外表面, 不相邻的为内表面), 通过 JC2000A 静滴接触角/界面张力测量仪测定接触角。

1.2.3 胶合界面微观构造分析 将竹柳枝丫材表面浸渍酚醛树脂胶黏剂后, 截取长宽小于 10 mm , 高度小于 5 mm 的试样, 固定好样品后对样品进行清洗。采用溶剂梯度脱水法对样品逐一进行脱水处理。样品经过干燥处理后进行样品表面喷镀薄层金膜, 以增加二波电子束。最后应用荷兰 FEI 环境扫描电子显微镜对样品进行观察。

1.2.4 试制竹柳重组木 竹柳木束制备: 首先采用 XBL 平板硫化机对竹柳枝丫材进行碾压去皮, 再利用纵向碾压机辊压、纵切后截成 50 cm 长的竹柳木束, 所制得的木束形态好, 呈网状结构, 表面积大。木束经酚醛树脂胶黏剂浸渍后自然晾干, 再放入到 $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右的烘箱内干燥约 2 h , 使其含水率达到 6% 左右。胶黏剂: 酚醛树脂, 购于山东曲阜市慧迪化工有限责任公司生产, 稀释后的酚醛树脂(PF), 黏度 15.4 s (涂-4 黏度计)固含量 23.8% , pH 10.80。以竹柳木束为原料, 压制成 $500 \text{ mm} \times 260 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$ 的重组木。试验工艺条件为前期研究中得到的最佳工艺参数: 热压温度为 $160 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 热压时间为 20 min 。

2 试验结果与讨论

2.1 竹柳枝丫材纤维形态

竹柳枝丫材纤维形态见图 1 和图 2。竹柳枝丫材纤维细胞细长, 呈长纺锤形, 两端尖锐。



图 1 单根纤维形态
Figure 1 Single fiber morphology

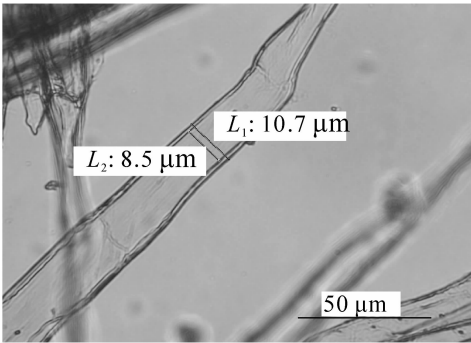


图 2 纤维的壁腔形态
Figure 2 Wall and cavity form of fiber

竹柳的纤维尺寸如表 1 所示。竹柳枝丫材上(梢部)、中、下(与枝干相连部位)3 个部位，纤维的长度从上到下逐渐增长，但增加幅度不大，平均值为 0.78 mm。根据国际木材解剖学协会公布的纤维长度分级标准：纤维长度大于 1.60 mm 为长纤维，在 0.90~1.60 mm 为中等纤维，小于 0.90 mm 为短纤维^[6]，故竹柳枝丫材纤维属于短纤维的范畴。纤维的宽度也从上到下逐渐增宽，但不同部位的变化并不明显，纤维长宽比平均值为 31.37，壁腔比平均值为 0.38。

表 1 竹柳枝丫材纤维尺寸

Table 1 Dimension of fibers of *Salix discolor* crotches material

枝丫材部位	长度/μm	宽度/μm	腔径/μm	单壁厚/μm	壁腔比	平均长宽比	
上部	0.760(0.146)	24.18(6.29)	17.61(5.38)	3.29(1.58)	0.37(0.15)	31.43(6.55)	
中部	0.786(0.124)	25.10(6.42)	17.73(5.49)	3.17(1.61)	0.36(0.075)	31.31(5.96)	
下部	0.798(0.122)	25.44(6.24)	18.11(5.33)	3.66(1.58)	0.40(0.37)	31.37(6.18)	
整干	范围	0.49~1.17	13.0~47.4	4.20~13.74	1.10~5.40	0.38	31.37
	均值	0.781	24.91	17.82	3.37		

说明：括号中的数值为标准偏差；测试样本数 $n=100$ 。

一般纤维细长的植物为生产人造板的优质原料。表 2 列出了竹柳枝丫材和其他几种木材原料的纤维尺寸，竹柳枝丫材的平均长度、宽度以及壁腔比均介于杨木与沙柳 *Salix psammophila* 之间。Runkel 提出：壁腔比小于 1 时，该种纤维为很好的纤维原料；壁腔比约等于 1 时，为好的纤维原料；壁腔比大于 1 时，为劣等纤维原料。因此，由上述壁腔比的值可知，从壁腔比的角度分析，竹柳枝丫材属于很好的纤维原料。

表 2 竹柳枝丫材与其他木材原料纤维形态对比^[7-8]

Table 2 Comparison of fiber morphology between *Salix discolor* crotches and other materials

原料	长度/mm	宽度/μm	长宽比	单壁厚/μm	壁腔比
竹柳枝丫材	0.781	24.91	31.37	3.37	0.38
沙柳	0.552	15.70	37.00	2.00	0.43
杨	1.080	26.41	41.00	4.67	0.25

2.2 竹柳枝丫材化学成分的分析

表 3 列出了竹柳和其他几种木材原料的主要化学成分，从中可看出竹柳枝丫材的综纤维素质量分数和木质素质量分数略高于杨木、尾巨桉 *Eucalyptus grandis* × *E. urophylla* 这类速生材，因此，竹柳枝丫材纤维的力学强度较高，压出的板材性能应较好。而竹柳枝丫材的冷、热水抽提物和苯醇抽提物的质量分数又小于沙柳，在抽出物中，一般都含有挥发物质。这些物质在热压时，受高温及水作用而挥发，当挥发物较多时，会严重降低胶合强度，引起重组木板材分层和鼓泡。因此，竹柳原料本身对胶合性能的影响也将弱于沙柳压制的同类板材。

2.3 竹柳枝丫材表面润湿性

材料的润湿性以液滴在材料表面上润湿角 θ (简称润湿角) 的大小来表示。当 $\theta=0^\circ$ 时, 表明液体能完全润湿材料; 当 $0^\circ<\theta<90^\circ$ 时, 液体在材料表面形成扁平状, 这表明这种液体能够润湿材料, 润湿角越小说明液体对该材料的润湿效果也就越好; 当 $\theta>90^\circ$ 时, 液滴在材料表面呈滚珠状, 表明液体润湿效果差。酚醛树脂(PF)在竹柳枝丫外表面的接触角为 15.95° , 在内表面的接触角为 5.52° , 内外表面接触角都小于 90° , 所以, 酚醛树脂(PF)对竹柳枝丫材具有较好的润湿性; 由试验数据可知, 内表面接触角小于外表面接触角, 因此, 内表面的润湿性比外表面的润湿性好。

表 3 竹柳枝丫材及其他树种的主要化学成分^[8-10]

Table 3 Major chemical composition of *Salix discolor* crotches and other wood species

试样	化学成分/(g·kg ⁻¹)						
	冷水抽提物	热水抽提物	10.0 g·L ⁻¹ 氢氧化钠抽提物	苯醇抽提物	综纤维素	纤维素	酸不溶木素
竹柳枝丫材	45.6(1.1)	53.9(4.1)	242.0(17.4)	28.6(0.6)	849.7(17.5)	496.6(12.4)	210.6(4.7)
沙柳(内蒙古)	82.1	103.3	231.8	29.1	789.6	555.9	182.0
杨木(安徽)	—	22.5	196.4	19.4	813.2	—	170.4
尾巨桉(广东)	—	46.3	143.9	16.0	814.0	—	180.6

说明: 括号中的数值为标准偏差。

2.4 密度对板材性能的影响

当竹柳重组木的密度从 $0.70\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 逐渐增大到 $0.90\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 时, 不同密度下以酚醛树脂(PF)为胶黏剂压制的竹柳重组木的物理力学性能见表 4 所示。从表 4 可以看出: 密度在 $0.70\sim0.90\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 范围内, 板材的力学性能随着密度的增大而增大, 当密度达到 $0.90\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 时, 板材力学性能较优。结果表明: 当密度为 $0.80\sim0.90\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 时, 以竹柳枝丫材为原料压制的重组木的静曲强度(MOR)值均超过行业标准 LY/T 1984-2011《重组木地板》中 60 MPa 的要求; 所有密度条件下, 弹性模量(MOE)值均超过国家 LY/T 1655-2006《重组装饰材》标准要求的 3 200 MPa。在复合材料中, 在一定范围内提高密度有利于基体之间形成连续和均匀的界面层, 在承受载荷时, 界面层就能更有效地传递应力, 从而提高板材的宏观静曲强度和弹性模量。

表 4 密度对重组木性能的影响

Table 4 Effect of the density on the properties of *Salix discolor* scrimber

密度/(g·cm ⁻³)	静曲强度/MPa	弹性模量/MPa	内结合强度/MPa	吸水厚度膨胀率/%
0.70	55.89	8 000.55	0.70	15.50
0.80	63.17	9 211.10	1.09	7.50
0.85	91.24	12 321.38	1.35	5.65
0.90	96.91	13 131.12	1.57	4.46

从表 4 可知: 以酚醛树脂(PF)为胶黏剂压制的竹柳重组木, 在 $0.70\sim0.90\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 的密度范围内, 密度对其静曲强度(MOR)和弹性模量(MOE)的影响均十分显著。在目标密度为 $0.70\sim0.90\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 时, 竹柳重组木的内结合强度(IB)值同样随密度的增加而增加, 在密度为 $0.90\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 时, 达最高值 1.57 MPa, 比当密度 $0.70\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 时增加了 124.3%(0.7 MPa)。这是因为在密度 $0.70\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 时, 由于密度较低, 竹柳重组木的木束之间空隙率高, 木束的比表面积也相对较小, 因此呈现出内结合强度(IB)较低的现象, 但随着密度的提高使板材内部木束之间更为紧密, 与胶黏剂接触更加充分, 胶接面积增大, 胶合强度提高, 板材的内结合强度也就随之提高, 所以重组木随着密度的增加呈上升的趋势。方差分析的结果显示: 静曲强度(MOR)和弹性模量(MOE)的 F 值均为 6.00, 远大于 0.01 显著性水平下的 F 临界值; 其 P 值分别为 $1.91\text{E}-09$ 和 $3.54\text{E}-09$, 也远小于 0.01。说明酚醛树脂(PF)为胶黏剂压制的竹柳重组木, 在 $0.70\sim0.9\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 的密度范围内, 密度对其静曲强度(MOR)和弹性模量(MOE)的影响均十分显著。

由表 5 显示: 以酚醛树脂(PF)为胶黏剂压制的竹柳重组木在 $0.70\sim0.90\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 密度范围内, 不同密度条件下内结合强度(IB)差异显著。提高密度使板材内部空隙率降低, 在提高板材内结合强度(IB)的同

时使得吸水厚度膨胀率(TS)得到改善。结果也表明：密度从 0.70~0.90 g·cm⁻³ 竹柳重组木的吸水厚度膨胀率(TS)值呈下降趋势在 0.90 g·cm⁻³ 时最低值，仅为达 4.46%，与 0.70 g·cm⁻³ 相比降低了 11.04%；密度的增加重组材的空隙率降低，当板材置于水中时，其吸水空间减少，再加之在密度高时，重组木的 IB 也高，使得竹柳重组材的 TS 在密度高的条件下呈现低的值。

表 5 不同密度板材内结合强度 (IB) 的方差分析

Table 5 Variance analyses for IB of board in different densities

差异源	平方和	自由度	均方	<i>F</i> 值	<i>P</i> 值	<i>F</i> 临界值	显著性
组间	1.695 430	4	0.423 857 5	67.475 325	2.09E-09	4.893 209 59	**
组内	0.094 225	15	0.006 281 7				
总计	1.789 655	19					

说明：显著性水平 α=0.01。

2.5 浸胶时间对板材性能的影响

由 2.4 节可以得出：当密度为 0.9 g·cm⁻³ 时，板的物理性能较优。因此，在密度为 0.9 g·cm⁻³ 时，以施胶时间为变量研究竹柳重组材的性能。从表 6 可以看出：随着浸胶时间的增加，板材的力学性能随之增加。在施胶时间为 15，20 和 25 s 时，板的内结合强度 (IB) 分别为 1.57，2.02 和 2.18 MPa。在施胶时间为 15 s 时竹柳重组木材的内结合强度 (IB) 未能满足 LY/T 1984-2011 《重组木地板》行业要求，但在施胶时间大于等于 20 s 时板的内结合强度 (IB) 均能满足《重组木地板》行业要求。竹柳枝丫材的密度比较低，气干密度只有 0.378 g·cm⁻³，这样在同等质量下，竹柳木束的表面积比大。因此，胶合时需要的施胶量也较多。浸胶时间为 15 s 时，胶黏剂不足以充分覆盖在竹柳木束表面，导致了内结合强度 (IB) 值较低。浸胶时间从 15 s 增加到 20 s 时，重组材的内结合强度 (IB) 增幅明显，从 1.57 MPa 增加到 2.02 MPa，增幅达 28.66%。但当浸胶时间超过 20 s 后，板材的内结合强度 (IB) 增长幅度减小。分析原因有 2 个方面：一方面，本试验采用了浸胶工艺，木束对胶液的吸收速度随着时间逐步减缓，每秒钟的吸收量逐步减少并趋于平衡；另一方面，施胶量达到一定数值后，继续增加施胶量只能使胶层变厚，对胶合强度的提升并不十分明显，从胶合强度考虑，竹柳枝丫材的浸胶时间为 20 s。同样竹柳重组木的静曲强度 (MOR) 和弹性模量 (MOE) 均随着浸胶时间延长而增大，在浸胶时间为 25 s 两者均达到最大值，在浸胶时间超过 20s 后，板材的静曲强度 (MOR) 和弹性模量 (MOE) 几乎没有明显变化。竹柳重组木的水厚度膨胀率 (TS) 随着浸胶时间的延长而降低，这是因为在高施胶量时，胶堵塞了部分毛细管的通道，使板材内部空隙率及毛细管量降低，阻碍了水分的传输，所以随着浸胶时间的延长，板材水厚度膨胀率 (TS) 降低；此外在浸胶时间大于 20 s 的条件下，木束着胶量高，制得的重组木的内结合强度 (IB) 较高，所以板材的水厚度膨胀率 (TS) 较低。综合板的物理力学性能和生产成本考虑，本试验的酚醛树脂 (PF) 最佳浸胶时间为 20 s。

表 6 施胶量对板材性能的影响

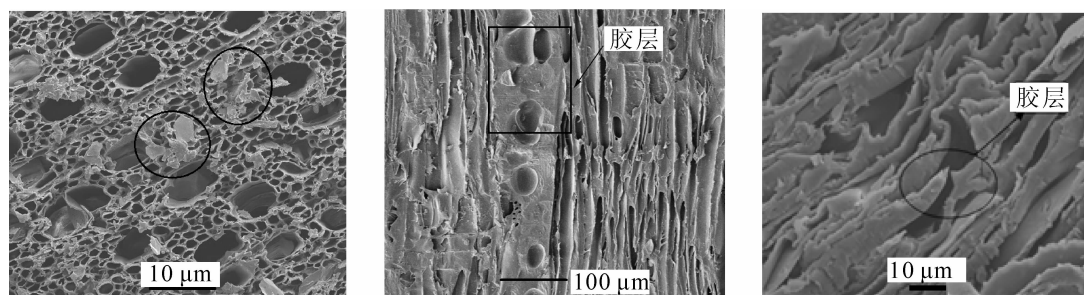
Table 6 Effect of the glue consumption on the properties of *Salix discolor* scrimber

施胶量 (浸胶时间) /s	静曲强度 /MPa	弹性模量 /MPa	内结合强度 /MPa	吸水厚度膨胀率 /%
15	96.91	13 131.12	1.57	4.46
20	103.23	13 483.51	2.02	3.82
25	104.30	13 616.84	2.18	3.32

2.6 胶合界面微观构造分析

由图 3a 和图 3b 对比可以看出：在竹柳木束之间形成连续的胶合界面层，且酚醛树脂胶黏剂已进入木材孔隙里中，在木材的导管、细胞腔，填充孔隙中形成了“胶钉”，形成良好的胶接效果。同时，胶黏剂中的基团与木材表面的活性基团和水分反应，在细胞壁及树脂间形成复杂的交联网状结构，可以改善细胞壁的力学性能，从而提高板材的力学强度。如图 3b 和 3c 所示：在横截面上可观察到，经过酚醛树脂 (PF) 浸渍以及热压后，竹柳枝丫材的管孔均受到不同程度的压缩，细胞腔径变小，由于木材本身的变异性和机械压力的不均匀性，细胞腔径的变化不均匀，部分细胞存在压溃断裂的现象，但细胞壁并

未受到明显的破坏,基本保持完整。单位体积内细胞实质增加,热压起到了对木束的密实化作用,使得重组木产品的弹性模量等力学性能增强。



a. 浸胶未压制放大500倍

b. 浸胶压制处理后放大500倍

c. 浸胶压制后部分放大1 200倍

图3 酚醛树脂(PF)压制竹柳重组木的胶合界面扫描电镜(SEM)图像

Figure 3 SEM images of agglutinate interface of *Salix discolor* scrimber manufactured with PF

2.7 胶合界面与无胶层处官能团分析

一般认为,羟基是纤维素的主要红外敏感基团,纤维素的特征吸收峰为 $2\,900$, $1\,425$, $1\,370$ 和 895 cm^{-1} ;半纤维素也是线型的天然多糖, $1\,730\text{ cm}^{-1}$ 附近的乙酰基和羟基上的 $\text{C}=\text{O}$ 伸缩振动峰是半纤维素区别于其它组分的特征;木质素的红外光谱最为复杂,其中含有 $-\text{CH}_3$, $-\text{OH}$ 和 $-\text{C}=\text{O}$, $-\text{C}=\text{C}$ 和苯环等多种红外第3基团^[11]。

图4所示为酚醛树脂(PF)-竹柳胶合表面以及无胶热压竹柳表面的红外光谱图。从图4中可以看出:在 $3\,338\text{ cm}^{-1}$ 附近的吸收峰归属于 OH 基的伸缩振动,而 $1\,241\text{ cm}^{-1}$ 以及 $1\,036\text{ cm}^{-1}$ 附近的吸收峰是由 $\text{C}-\text{O}$ 伸缩振动吸收峰所引起的,进一步说明样品中含有 OH 基团。在 $2\,922\text{ cm}^{-1}$ 附近的振动是由于 R_2CH_2 基中饱和 $\text{C}-\text{H}$ 伸缩振动的缘故,此吸收峰是纤维素的特征峰。而 $1\,751\text{ cm}^{-1}$ 附近的吸收峰归属于 $\text{C}=\text{O}$ 伸缩振动吸收峰,这是半纤维素的特征峰。综上所述,可以得出:相对于无胶表面,胶合界面中的 $\text{O}-\text{H}$, $\text{C}-\text{O}$, $\text{C}=\text{O}$, $\text{C}-\text{H}$ 等基团峰值均减小,相应基团的减少表明竹柳木束中的纤维素和半纤维素均与胶黏剂发生反应。基团的减少还说明,胶黏剂与竹柳木束之间的胶合存在化学键的结合,这使得胶黏剂与竹柳木束之间因获得高强度的主价键结合而得到较强的性能。

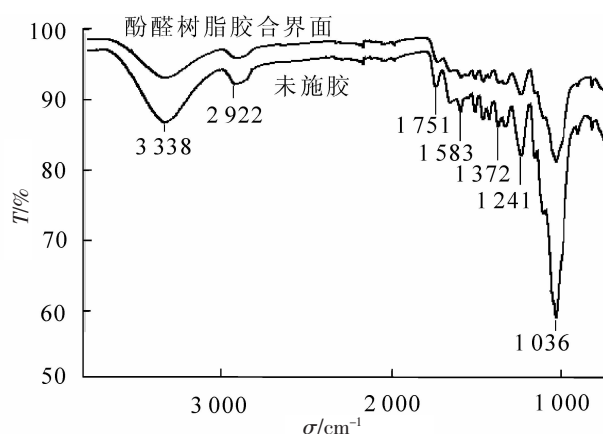


图4 竹柳重组木酚醛树脂(PF)胶和界面的红外光谱图

Figure 4 ATR spectrum of PF agglutinate interface of *Salix discolor* scrimber

3 结论

竹柳枝丫材的纤维平均长度为 0.781 mm ,平均宽度为 $24.91\text{ }\mu\text{m}$,属于短纤维的范畴;长宽比平均值为 31.37 ,壁腔比平均值为 0.38 ,竹柳枝丫材属于很好的纤维原料。竹柳枝丫材主要化学成分含量为:综纤维素 84.97% ,纤维素 49.66% ,酸不溶木素 21.06% ,其冷、热水抽提物和苯醇抽提物的含量小于沙柳,竹柳枝丫材适合用于重组木的压制。竹柳枝丫材的润湿角 $\theta < 90^\circ$,表面具有良好的润湿性。板材密度对竹柳重组木的物理力学性能有显著的影响。在 $0.70\sim 0.90\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 密度范围内,随着密度的增加,竹柳重组木的静曲强度(MOR),弹性模量(MOE)和内结合强度(IB)均呈上升的趋势,在 $0.90\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 时各项力学性能达到最大值;吸水厚度膨胀率(TS)呈下降后的趋势,在 $0.90\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 时降至最小值。在密度 $0.70\sim 0.90\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 范围内, $0.90\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 的密度条件生产的竹柳重组木性能最佳。板材浸胶时间对竹柳重组木的内结合强度有显著的影响,对 2 h 吸水厚度膨胀率、静曲强度和弹性模量影响不明显。酚醛树脂(PF)浸胶时间 20 s 为佳。扫描电子显微镜(SEM)图像表明:浸酚醛树脂(PF)压制的竹柳重组木的管孔

被压缩成扁平状, 压缩后胞壁距离明显变小, 胞壁变化不均匀, 部分细胞存在压溃断裂的现象。胶合界面中的 O—H, C—O, C=O, C—H 等基团峰值均减小, 竹柳木束中的纤维素和半纤维素均与胶黏剂发生反应。

参考文献:

- [1] 张健, 李玉娟, 张树清, 等. 美国竹柳生物特性与繁殖试验简报[J]. 上海农业科技, 2009(6): 116 – 118.
ZHANG Jian, LI Yujuan, ZHANG Shuqing, *et al.* Biological characteristics and propagation test of *Salix discolor* [J]. *Shanghai Agric Sci Technol*, 2009(6): 116 – 118.
- [2] 马生敏, 王春好. 竹柳耐盐碱盆栽试验研究[J]. 安徽农学通报, 2013, **19**(18): 28, 44.
MA Shengmin, WANG Chunhao. Research on *Salix discolor* salt-tolerant pot experiment [J]. *Auhui Agric Sci Bull*, 2013, **19**(18): 28, 44.
- [3] 薛崇昀, 文明, 聂怡, 等. 竹柳材性、纤维质量及制浆性能的研究[J]. 中华纸业, 2009, **30**(15): 60 – 63.
XUE Chongyun, WEN Ming, NIE Yi, *et al.* Study on the wood properties, fiber quality and pulping performance of *Salix discolor* [J]. *China Pulp & Paper Ind*, 2009, **30**(15): 60 – 63.
- [4] 董葛平, 邓玉和, 王新洲, 等. 竹柳材性及其刨花板制造工艺研究[J]. 西南林业大学学报, 2013, **33**(3): 92 – 96.
DONG Geping, DENG Yuhe, WANG Xinzhou. Study on *Salix discolor* properties and its particleboard manufacturing technology [J]. *J Southwest For Univ*, 2013, **33**(3): 92 – 96.
- [5] 石淑兰, 何福旺. 制浆造纸分析与检测[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2003.
- [6] 夏勋载, 范思齐. 用非木材纤维碱法制浆手册[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1993.
- [7] 周宝. 沙柳制浆造纸性能的研究[D]. 济南: 山东轻工业学院, 2010.
ZHOU Bao. *A Study on Pulping and Paper-Making Performance of Salix psammophila*[D]. Jinan: Shandong Institute of Light Industry, 2010.
- [8] 华毓坤. 人造板工艺学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2002.
- [9] 阿伦. 沙柳材重组木制造工艺的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2004.
Alun. *Study on the Processing Technology of Salix scrimber* [D]. Huhhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2004.
- [10] 陈希, 王志杰, 王建. 常见 4 种阔叶材纤维形态和化学成分的研究[J]. 湖南造纸, 2009(1): 5 – 9.
CHEN Xi, WANG Zhijie, WANG Jian. Study on the fiber morphology and chemical composition of four hardwoods [J]. *Hunan Papermaking*, 2009(1): 5 – 9.
- [11] 赵喜龙. 人工林杨木、杉木木材胶合工艺和性能研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2004.
ZHAO Xilong. *Study on Gluing Technics and Gluability of Populus ×canadensis ‘I-214’ and Cunninghamia lanceolata Wood* [D]. Huhhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2004.