

不同因素对竹柳枝桠材重组木性能的影响

陈明及^{1,2}, 吴金绒¹, 陈骁轶¹, 邓玉和¹, 王新洲¹, 何爽爽¹, 余旺旺¹, 张 健³

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

摘要: 竹柳 *Salix discolor* 枝桠材的直径小, 是重组木的好原材料。试验结果表明: 在竹柳重组木为密度 $0.9 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, 脲醛树脂(UF)施胶量 15%, 枝桠材直径 5~10 mm, 木束长度 150 和 450 mm, 热压温度 140°C , 加压时间 20 min, 木束含水率 6% 条件下制得的竹柳重组木静曲强度为 102.04 MPa, 内结合强度 1.99 MPa, 2 h 吸水厚度膨胀率 3.78%, 其值均达到或超过 LY/T 1984–2011《重组木地板》行业标准的要求; 扫描电子显微镜(SEM)图像表明: 用脲醛树脂压制的竹柳重组木的管孔被压缩成椭圆形, 但细胞壁本身并没有被压溃, 仍然保持了其完整性, 木束表面附着的胶黏剂均匀; X 射线能谱(EDAX)表明枝桠材直径 $\geq 10 \text{ mm}$ 制得的重组木的碳氧比为 0.55, 枝桠材直径 5~10 mm 为 0.60, 枝桠材直径为 $\leq 5 \text{ mm}$ 为 0.62。说明枝桠材直径对碳氧比有影响; 且枝桠材制成的重组木的碳氧比高于枝桠材本身的碳氧比(0.41)。图 6 表 3 参 9

关键词: 木材科学与技术; 竹柳枝桠材; 重组木; 施胶量; 物理力学性能

中图分类号: S781.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2016)04-0658-09

Properties of *Salix discolor* scrimber

TRAN Minh Toi^{1,2}, WU Jinrong¹, CHEN Xiaoyi¹, DENG Yuhe¹, WANG Xinzhou¹, HE Shuangshuang¹,
YU Wangwang¹, ZHANG Jian³

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

Abstract: This study was conducted to determine if small diameter *Salix discolor* branches were a favorable raw material for scrimber. To test, urea-formaldehyde resin (UF) was used indoors. Results showed that when the density was $0.90 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, glue consumption was 15%; the optimum treatment parameters of plates manufactured with UF were an initial moisture content of 6%, hot-pressing temperature of 140°C , and hot-pressing time of 20 min. Also, the modulus of static bending strength was 102.04 MPa, internal bonding was 1.99 MPa, and the thickness swelling rate after 2 h of water soaking was 3.8%, which were up to industry standards [Scrimber Floor](LY/T 1984–2011). SEM images also showed that the UF was compressed into an oval hole, but the cell wall itself maintained its integrity and was not crushed. EDAX also showed that the C/O for wooden sticks with diameters $\geq 10 \text{ mm}$ was 0.55, 5–10 mm was 0.60, and $\leq 5 \text{ mm}$ was 0.62. Thus, C/O of *S. discolor* branches made of scrimber were higher (> 0.55) than C/O of *S. discolor* branches alone (0.41). [Ch, 6 fig. 3 tab. 9 ref.]

Key words: wood science and technology; *Salix discolor* branches; scrimber; glue consumption; physical and mechanical properties

收稿日期: 2015-03-17; 修回日期: 2015-10-28

基金项目: 江苏高校优势学科建设工程资助项目; 2012 年国家级大学生创新创业训练计划资助项目 (201310608457)

作者简介: 陈明及, 博士研究生, 从事木质复合材料研究。E-mail: minhtoi802003@yahoo.com。通信作者: 邓玉和, 教授, 博士, 博士生导师, 从事木材科学与技术研究。E-mail: dengyuhe@hotmail.com

竹柳 *Salix discolor* 是新培育出的速生柳种, 生长速度快, 对环境适应性强。随着全球天然林资源的逐渐减少和各国对生态环境保护的日益重视, 小径级材和枝桠材的充分利用成为缓解当今不断增长的木材需求和资源相对不足矛盾的重要途径之一。竹柳的速生性和适应性, 决定其具有应用于木材工业的潜力。利用它的枝桠材加工出优质结构重组材的思路, 更是顺应了当今木材工业研究的主流思想^[1-4]。目前, 关于竹柳木材应用的研究相对较少, 仅见南京林业大学的董葛平等^[5]、吴金绒等^[6]、杨莹等^[7]、何爽爽等^[8-9]以竹柳为原料研制竹柳刨花板、层积材、纤维板和重组木相关报道。本研究以竹柳枝桠材为原料, 通过对脲醛树脂胶(UF)施胶量、枝桠材直径、木束长度对竹柳重组木物理力学性能的影响进行研究, 并采用扫描电子显微镜(SEM)和 X-射线能谱(EDAX)分析胶合界面微观构造和化学成分, 为竹柳制造重组木的研究提供一定的理论基础和参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料和仪器

竹柳枝桠材, 取自江苏省如东县, 经剥皮后纵向劈成木束并截 60 cm 备用; 胶黏剂为脲醛树脂(UF), 黏度 300 MPa·s, 固含量 52%, pH 7.6, 固化时间 126 s, 购于山东省曲阜市慧迪化工有限责任公司。

试验分析仪器: XBL 平板硫化机, 8104 电子万能试验机, 扫描电子显微镜(SEM), X-射线能谱(EDAX)。

1.2 试验方法

1.2.1 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桠材进行碾压去皮, 再利用纵向碾压辊压、横切成 600, 300, 150 和 450 mm 长的竹柳木束, 所制得的木束呈网状结构。木束经胶黏剂喷胶, 压制成 600 mm × 300 mm × 20 mm 的重组木, 静曲强度(MOR)和弹性模量(MOE)的试件尺寸为 450 mm × 50 mm × 20 mm, 测定位置和重组木的铺装方法见图 1。工艺条件: 热压温度为 140 ℃, 热压时间 20 min。

1.2.2 胶合界面微观构造分析 密度为 0.9 g·cm⁻³, 施胶量 15%, 枝桠材直径 5~10 mm, 木束长度 150 和 450 mm(对接)制成的重组材。试样尺寸为 10 mm × 10 mm × 5 mm。采用 FEI Quanta 200(FEG)型扫描电镜对样品进行观察, 试件要求: 长, 宽 < 10 mm, 厚度 < 5 mm。采用 Oxford Inca X-act 能谱仪进行分析。试件要求: 长、宽 < 10 mm, 厚度为 1 mm。

2 结果与分析

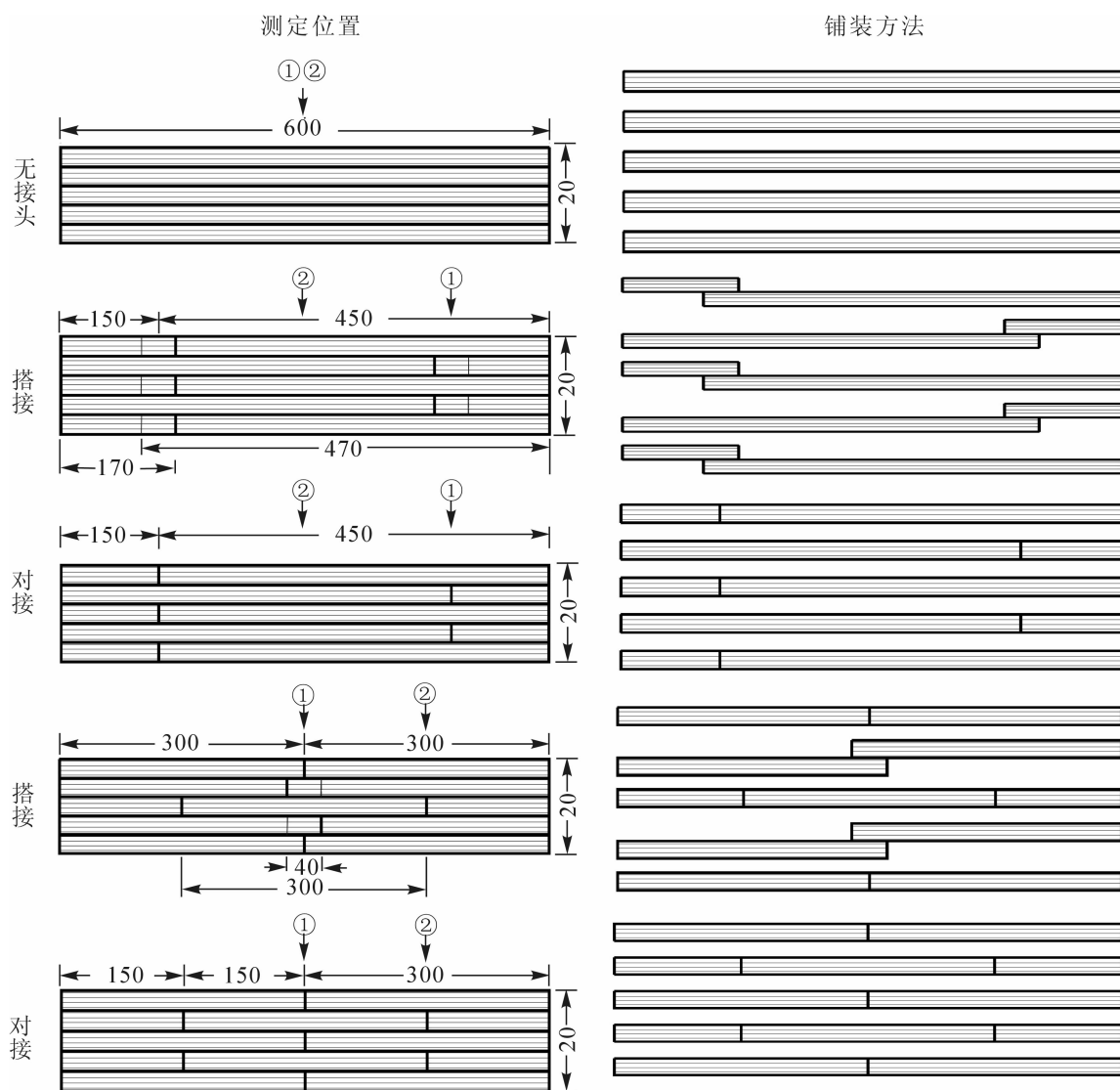
2.1 施胶量、枝桠材直径、木束长度对竹柳枝桠材重组木性能的影响

2.1.1 施胶量的影响 密度为 0.90 g·cm⁻³, 施胶量为 13%~17%制成的重组木的物理力学性能见图 2。

由图 2 中可知: 施胶量对重组木的物理力学性能有明显的影 响。重组木的静曲强度(MOR), 弹性模量(MOE)和内结合强度(IB)均随施胶量的增加而增加, 2 h 吸水厚度膨胀率(TS)则随施胶量的增加而降低。当施胶量从 13%增加至 17%时, 竹柳重组木的静曲强度依次为 12 411, 12 886, 12 966 MPa, 后者比前者分别增加了 3.57%和 0.62%; 施胶量从 15%增加到 17%时, 弹性模量的增长幅度减小。竹柳重组木静曲强度的增幅趋势与弹性模量相同, 施胶量从 13%增加到 15%时其增幅大于施胶量从 15%增加到 17%, 分别为 6.55%和 0.97%。试验结果表明: 当密度为 0.90 g·cm⁻³ 时, 以脲醛树脂为胶黏剂, 施胶量在 13%~17%范围内, 以竹柳枝桠材为原料压制的重组木的静曲强度均达到或超过 LY/T 1984-2011《重组木地板》的要求。

图 2 中: 竹柳重组木的内结合强度随着施胶量的增多而提高, 依次为 1.53, 2.10, 2.39 MPa。在施胶量 13%~15%范围内, 重组木的内结合强度增幅明显, 达 37.25%; 施胶量从 15%增至 17%时, 内结合强度的增幅仅为 13.81%。当密度为 0.90 g·cm⁻³ 时, 施胶量在 15%及以上的竹柳重组木的内结合强度均可达到 LY/T 1984-2011《重组木地板》的要求。当施胶量升高到 17%时, 内结合强度提升的幅度不明显, 为了节约成本, 生产中施胶量达到 15%以上即可。

在施胶量 13%到 17%的施胶量范围内, 随着施胶量的增加, 竹柳重组木的 2 h 吸水厚度膨胀率不断



图中数据为木束长度，单位为 mm。

图 1 重组木的铺装方法及静曲强度和弹性模量的测定位置

Figure 1 Measurement position of MOR, MOE and spreading method of scrimber

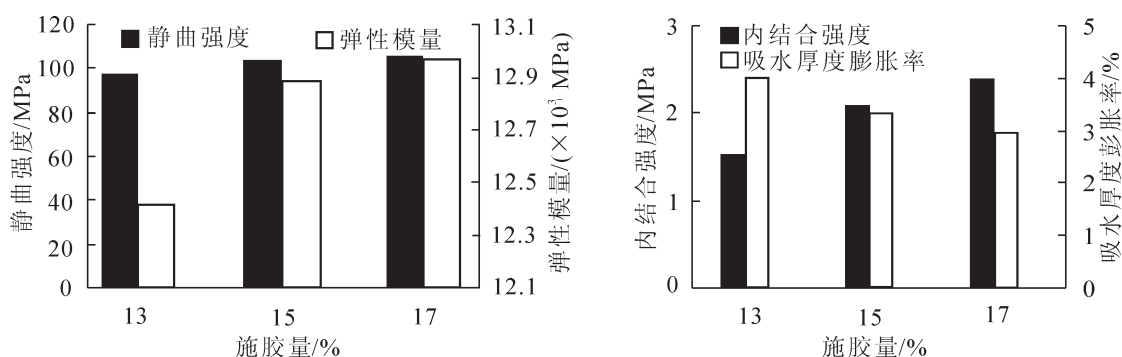


图 2 施胶量与竹柳重组木的物理力学性能

Figure 2 Influence of glue consumption on the properties of *Salix discolor* scrimber

降低(图 2); 在 13%到 17%的施胶量范围内, 重组木的 2 h 吸水厚度膨胀率从 4.01%逐渐下降到 2.95%, 减小了 26.43%。施胶量为 13%~17%, 重组木的 2 h 吸水厚度膨胀率均能达到或超过行业标准 LY/T 1984-2011《重组木地板》的要求。

不同施胶量条件下竹柳枝桠材重组木物理力学性能方差分析结果见表 1。当施胶量为 13%~17%时,

表 1 施胶量与板材物理力学性能的方差分析

Table 1 Variance analyses for physical and mechanical properties of board in different glue consumption								
指标	差异源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	F 临界值	显著性
静曲强度	组间	161.829	2	80.914	3.845	0.051 2	6.93	不显著
	组内	252.503	12	21.042				
	总计	414.332	14					
弹性模量	组间	899 046.980	2	449 523.490	1.149	0.349 0	6.93	不显著
	组内	4 694 806.540	12	391 233.878				
	总计	5 593 853.520	14					
内结合强度	组间	1.933	2	0.967	12.016	0.001 4	6.93	**
	组内	0.965	12	0.080				
	总计	2.899	14					
2 h 吸水厚度膨胀率	组间	2.952	2	1.476	7.437	0.007 9	6.93	**
	组内	2.382	12	0.198				
	总计	5.334	14					

说明：显著性水平 $\alpha=0.01$ 。

其对静曲强度和弹性模量的影响均不显著，对内结合强度和 2 h 吸水厚度膨胀率的影响十分显著。

2.1.2 枝桠材直径的影响 当密度 $0.90\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ，施胶量 15%时，重组木物理力学性能较优。因此，枝桠材直径对重组木的物理力学性能的影响研究采用此条件。试验结果见图 3。

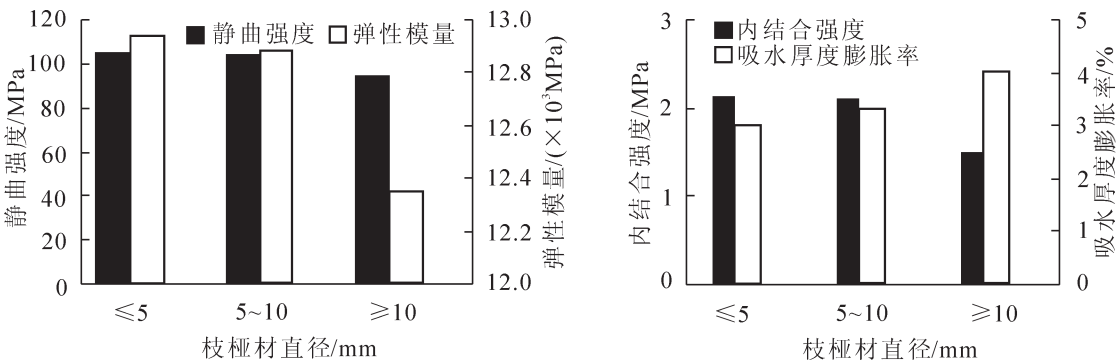


图 3 枝桠材直径与竹柳重组木的物理力学性能

Figure 3 Influence of diameter branch on the properties of *Salix discolor* scrimbe

由图 3 中可知：枝桠材直径对重组木的物理力学性能有明显的影 响。重组木的静曲强度、弹性模量和内结合强度均随枝桠材直径的增加而有所降低，2 h 吸水厚度膨胀率则随枝桠材直径的增加而增加。当枝桠材直径从 $\leq 5\text{ mm}$ 增加至 $\geq 10\text{ mm}$ 时，竹柳重组木的弹性模量依次为 12 940，12 886，12 348 MPa，后者比前者分别降低了 0.42%和 4.17%；枝桠材直径 5~10 mm 与 $\leq 5\text{ mm}$ 相比，弹性模量没有明显的变化。竹柳重组木静曲强度的变化趋势与弹性模量相同；在枝桠材直径 $\leq 5\text{ mm}$ 到 5~10 mm 时，静曲强度值没有明显的降低，其降幅小于枝桠材直径 5~10 mm 到 $\geq 10\text{ mm}$ ，仅为 0.58%；枝桠材直径从 5~10 mm 到 $\geq 10\text{ mm}$ 其降幅达 9.11%。试验结果表明：当密度为 $0.90\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ，施加 15%的脲醛树脂胶黏剂时，任何枝桠材直径原料压制的重组木的静曲强度均达到或超过 LY/T 1984–2011《重组木地板》的要求。由于直径小的枝桠材碾压效果好，制成的木束梳状性好、网状结构比大直径的更均匀，加之重组木的结构特点，直径 $\leq 10\text{ mm}$ 枝桠材制成的重组木的性能比直径 $> 10\text{ mm}$ 的好。

图 3 中：竹柳重组木的内结合强度同样随着枝桠材直径的增加而降低内结合强度值分别为 2.13，2.10 和 1.50 MPa。同样在枝桠材直径从 $\leq 5\text{ mm}$ 到 5~10 mm 范围内，重组木的内结合强度降幅不明显，仅为 1.41%；而枝桠材直径从 5~10 mm 增至 $\geq 10\text{ mm}$ 时，内结合强度的降幅达 28.57%。当密度 $0.90\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ，施胶量为 15%时，枝桠材直径 $\leq 10\text{ mm}$ 的竹柳重组木的内结合强度均可达到或超过 LY/T 1984–2011《重组木地板》的要求。试验结果表明：直径 $\leq 10\text{ mm}$ 竹柳木束均匀的网状结构有利木束之间

的胶合，因此其胶合强度较好，更适合重组木的生产。

在枝桠材直径 $\leq 5\text{ mm}$ 到 $\geq 10\text{ mm}$ 范围内，随着枝桠材直径的增加，竹柳重组木的 2 h 吸水厚度膨胀率不断增加(图 3)；它们的值分别为 2.99%，3.31%和 4.02%。虽然枝桠材直径 $\geq 10\text{ mm}$ 重组木的 2 h 吸水厚度膨胀率比直径 $\leq 5\text{ mm}$ 的增加了 34.44%。但由它们制成的重组木 2 h 吸水厚度膨胀率均能达到或超过行业标准 LY/T 1984–2011《重组木地板》的要求，说明由枝桠材生产重组木是可行的。

不同枝桠材直径条件下竹柳枝桠材重组木物理力学性能方差分析结果见表 2。当枝桠材直径为 $\leq 5\text{ mm}$ 到 $\geq 10\text{ mm}$ 时，其静曲强度、弹性模量、内结合强度的 P 值都大于 0.01 但同时小于 0.05，这说明在枝桠材直径对静曲强度、弹性模量、内结合强度有影响，但影响不明显，2 h 吸水厚度膨胀率的影响十分显著。

表 2 枝桠材直径与板材物理力学性能的方差分析

Table 2 Variance analyses for physical and mechanical properties of board in different diameter wood stick								
指标	差异源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	F 临界值	显著性
静曲强度	组间	192.632	2	96.316	5.227	0.048 4	10.92	*
	组内	110.567	6	18.428				
	总计	303.199	8					
弹性模量	组间	641 539.300	2	320 769.650	6.168	0.035 0	10.92	*
	组内	312 037.659	6	52 006.276				
	总计	953 576.959	8					
内结合强度	组间	0.762	2	0.381	7.000	0.027 0	10.92	*
	组内	0.327	6	0.054				
	总计	1.089	8					
2 h 吸水厚度膨胀率	组间	1.676	2	0.838	16.346	0.003 7	10.92	**
	组内	0.308	6	0.051				
	总计	1.984	8					

说明：* 和 ** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平差异显著。

2.1.3 木束长度的影响 测量点①。在密度 $0.90\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ，施胶量 15%，枝桠材直径 5~10 mm 条件下研究木束长度对重组木物理力学性能的影响，铺装方法见图 1，试验结果见图 4。

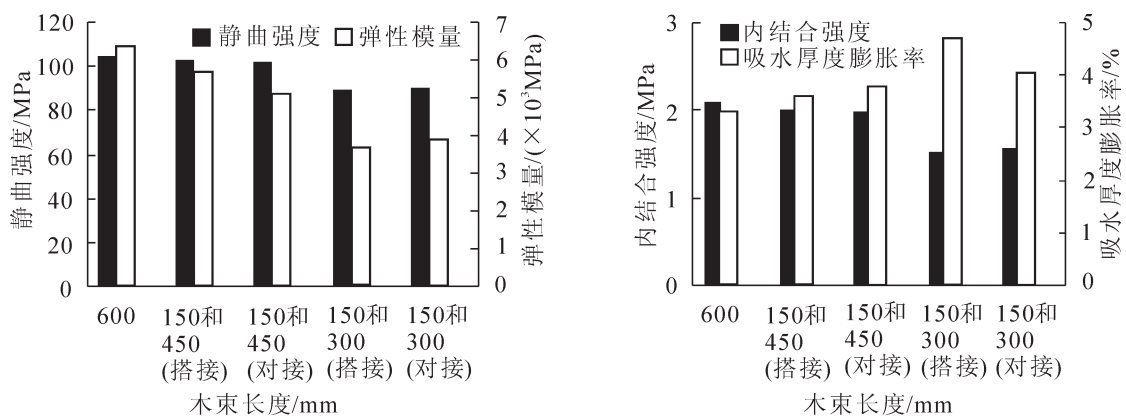


图 4 木束长度与竹柳重组木(测定位置①)的物理力学性能

Figure 4 Influence of length wood stick on the properties of *Salix discolor* scrimber(determination of ① position)

由图 4 中可知：木束长度对重组木在结合点①的物理力学性能有明显的影 响。木束长度 600 mm 制成的板材的力学性能最高，其次是 150 和 450 mm，150 和 300 mm 的最低。当板材为木束长度 600 mm，150 和 450 mm(搭接)，150 和 450 mm(对接)，150 和 300 mm(搭接)，150 和 300 mm(对接)，竹柳重组木的弹性模量分别为 6 378，5 659，5 116，3 695，3 875 MPa，木束长度 600 mm 制成的板材的弹性模量比 150 和 450 mm 搭接的高出 12.7%，对接的高出 24.7%；比 150 和 300 mm 搭接的高出 72.6%，对接

的高出 64.5%。木束长度 150 和 450 mm 搭接和对接的弹性模量比 150 和 300 mm 搭接的和对接的弹性模量分别高出 53.15%和 32.03%。在这 2 种接长方法中木束长度 150 和 450 mm 搭接的弹性模量比其对接的高出 10.61%; 150 和 300 mm 搭接的弹性模量比其对接的降低了 4.65%。

竹柳木束长度 600 mm 制成的重组木的静曲强度为 104.28 MPa, 比 150 和 450 mm 搭接的 102.41 MPa 高出 1.83%, 比对接的 102.04 MPa 高出 2.20%; 比 150 和 300 mm 搭接的 88.97 MPa 高出 17.21%, 对接的 90.12 MPa 高出 15.71%。木束长度 150 和 450 mm 搭接的静曲强度为 102.41 MPa, 比 150 和 300 mm 搭接的 88.97 MPa 高出 15.11%; 150 和 450 mm 对接的静曲强度为 102.04 MPa, 比 150 和 300 mm 对接的 90.12 MPa 高出 13.23%。同样木束长度 150 和 450 mm 搭接的静曲强度比其对接的高出 0.36%, 而 150 和 300 mm 搭接的静曲强度比其对接的降低了 1.28%。

这是因为木束长度 150 和 450 mm 的测量位置①不论是对接还是搭接均只有 2 层接头, 而 150 和 300 mm 搭接的有 4 层接头, 搭接对接各 2 层, 150 和 300 mm 对接的有 3 层接头(图 1)。由于接头层数不同, 所以木束长度 150 和 450 mm 制成的板材, 无论是搭接还是对接的静曲强度、弹性模量均比 150 和 300 mm 的高。在接头层相同的条件下搭接方法制成重组木的静曲强度和弹性模量均高于对接的。150 和 300 mm 搭接的静曲强度和弹性模量比其对接的低是因为搭接的有 4 层接头, 而对接的仅有 3 层接头。试验结果进一步说明: 重组木制造中木束的接长对其力学性能有明显的影响。试验结果还表明: 密度 $0.90 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, 脲醛树脂施胶量 15%, 枝桠材直径 5~10 mm, 木束长度 600 mm, 150 和 300 mm, 150 和 450 mm 制成的重组木的静曲强度均超过 LY/T 1984-2011《重组木地板》的要求。

由木束长度 600 mm, 150 和 450 mm(搭接、对接), 150 和 300 mm(搭接、对接)制成板材的内结合强度值分别为 2.10, 2.00, 1.99, 1.53, 1.57 MPa(图 4)。同样, 木束长度 600 mm 制成的板材的内结合强度值最高, 由长度 150 和 450 mm 木束制成重组木的内结合强度比其值, 搭接时降低了 4.76%, 对接时降低了 0.50%。木束长度 150 和 450 mm 搭接比 150 和 300 mm 搭接高出 30.72%; 150 和 450 mm 对接的比 150 和 300 mm 对接高出 26.75%。木束长度 150 和 450 mm 搭接的内结合强度值比其对接的高出 0.5%, 150 和 300 mm 搭接比 150 和 300 mm 对接降低了 2.55%。试验结果又进一步证明: 重组木生产时木束的接长对板的内结合强度有影响, 但与静曲强度和弹性模量相比不是十分明显, 在这样条件下测得的竹柳重组木的内结合强度均可达到 LY/T 1984-2011《重组木地板》的要求。为了节约成本, 实际生产中可采用木束接长方法制造重组木, 但应合理设计接头距离和层数, 防止接头在同一断面集中, 从而保证制品的质量。

随着木束长度的减少, 竹柳重组木的 2 h 吸水厚度膨胀率呈上升的趋势增加(图 4); 木束长度 600 mm 制成的板材的 2 h 吸水厚度膨胀率比 150 和 450 mm 搭接的降低了 8.31%, 对接的降低了 12.43%; 比 150 和 300 mm 搭接的降低了 29.87%, 对接的降低了 18.07%。且木束长度 150 和 450 mm 制成重组木的 2 h 吸水厚度膨胀率值不论是搭接方式还是对接方式均低于 150 和 300 mm 制成的重组木。本试验条件下使用的各种木束长度研制重组木的 2 h 吸水厚度膨胀率均能达到或满足行业标准 LY/T 1984-2011《重组木地板》的要求。

测量点②。由图 5 可知: 木束长度对重组木在测量点②的物理力学性能影响没有测量点①明显。当板材为木束长度 600 mm, 150 和 450 mm(搭接), 150 和 450 mm(对接), 150 和 300 mm(搭接), 150 和 300 mm(对接), 竹柳重组木的弹性模量分别为 6 378, 6 039, 6 116, 5 419, 5 246 MPa。试验结果表明: 随着木束长度的减短, 虽然重组木弹性模量有所降低, 但不明显。在相同条件下竹柳重组木的静曲强度值分别为 104.28, 103.21, 103.93, 102.86, 102.29 MPa, 其值也没有明显的变化。在此处测得的内结合强度值同样出现这种结果, 在这几种条件下制得的内结合强度分别为 2.10, 2.02, 2.04, 1.99, 1.98 MPa, 也没出现明显的变化。这是因为不论是木束长度 150 和 450 mm 制成的板, 还是 150 和 300 mm 制成的板, 在测量点②都没有出现接头(图 1)。试验结果表明: 重组材的静曲强度、弹性模量、内结合强度与测试点是否有接头以及接头的多少有关, 或者说重组材的接头处对其力学性能有明显的影响。

在无接头处, 木束长度 600 mm, 150 和 450 mm(搭接、对接), 150 和 300 mm(搭接、对接)制成的重组木的 2 h 吸水厚度膨胀率分别为 3.31%, 3.65%, 3.62%, 3.72%, 3.78%。从试验数据中可以明显地看出: 这几种条件下制得的板材其 2 h 吸水厚度膨胀率没有明显的变化, 因此, 可以得出结论: 木束的

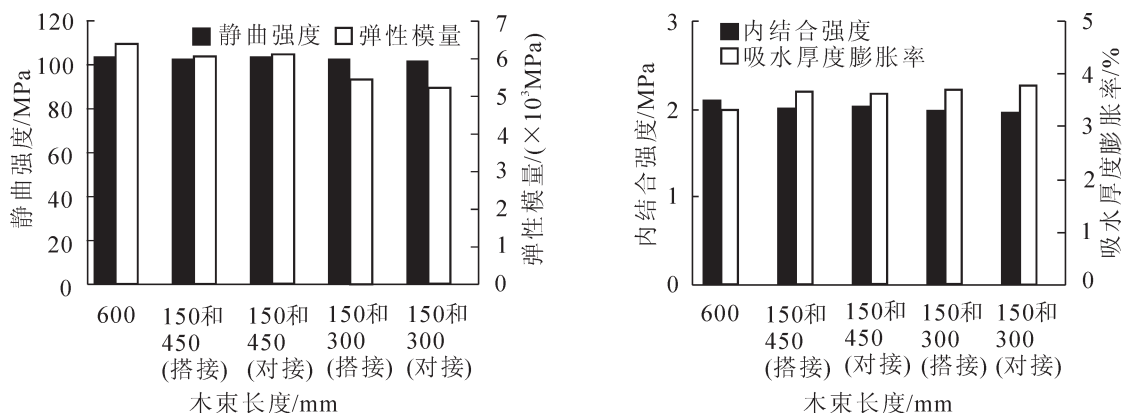


图5 木束长度与竹柳重组木(测定位置②)的物理力学性能

Figure 5 Influence of length wood stick on the properties of *Salix discolor* scrimber(determination of ② position)

接头对重组材的2 h吸水厚度膨胀率会产生影响,接头越多板材的2 h吸水厚度膨胀率值越高。这是因为木材的断面易吸水,因此表现在接头越多板材的2 h吸水厚度膨胀率越高(图5)。

2.2 胶合界面微观构造分析

2.2.1 扫描电子显微镜分析 利用扫描电子显微镜观察木束表面附着胶黏剂的胶层及细胞的变形,试件取自密度为 $0.90 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,施胶量为15%,枝桠材直径为5~10 mm,木束长度为150和450 mm的竹柳重组材(图6)。

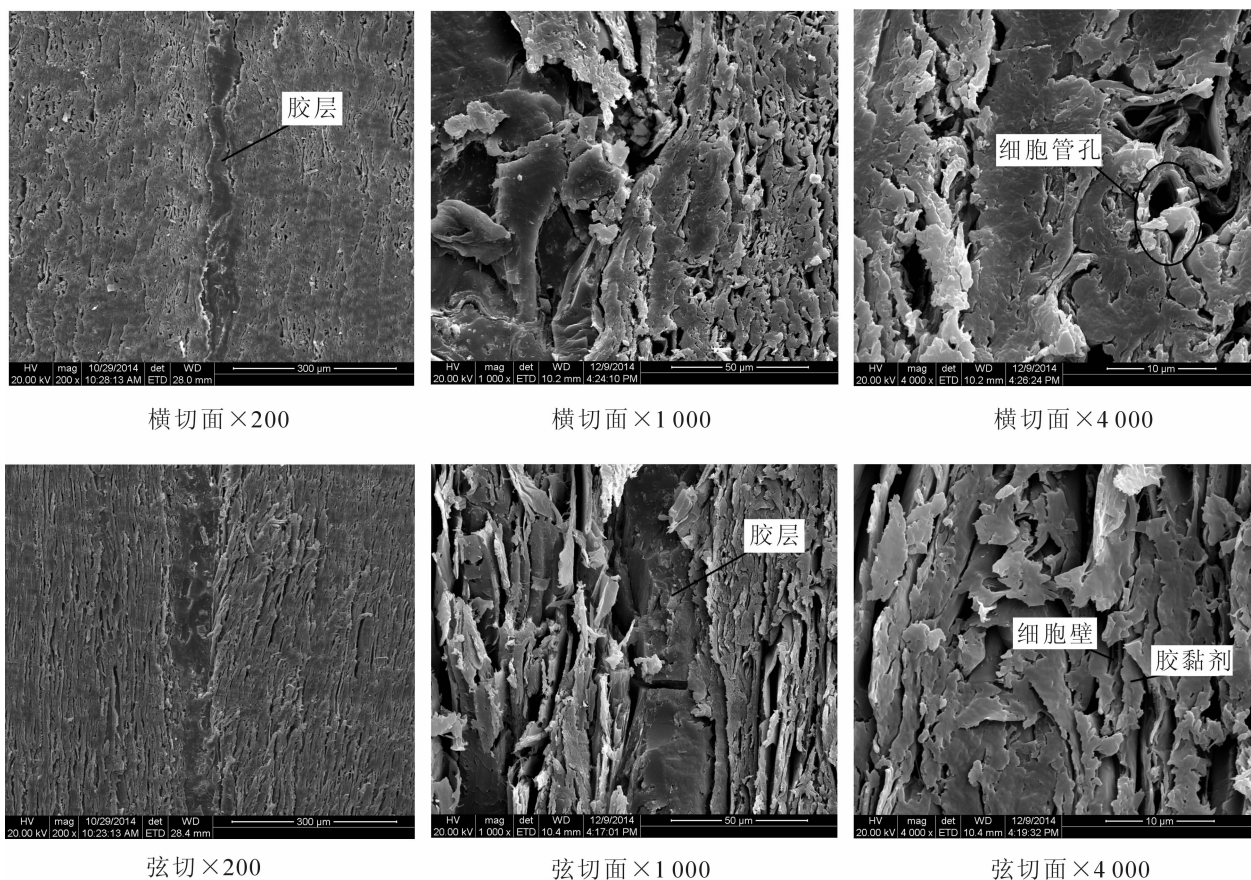


图6 脲醛树脂压制竹柳重组木的胶合界面

Figure 6 SEM images of agglutinate interface of *Salix discolor* scrimber manufactured with UF

图6横切面放大200倍和弦切面放大200倍中可以发现:胶层薄且均匀,木束和胶膜很紧密,木束的管孔在横切面上的分布均匀,大小没有明显的区别。在横切面放大1000倍和4000倍和弦切面放大1000倍和4000倍时,胶层没有断口,胶合界面很紧密,木束表面附着的胶黏剂均匀,细胞管孔没有

填满胶黏剂，但是细胞壁附着的胶黏剂均匀，喷胶压制竹柳重组木的管孔被压缩成椭圆形。虽然细胞发生了明显的变形，但细胞壁本身并没有被压溃，仍然保持了其完整性。

2.2.2 X 射线能谱分析 采用 X 射线能谱分析竹柳重组木(无接头)组成分及原子含量百分比。由表 3 可知，竹柳重组木的主要组成元素是碳、氧、钠和小量其他元素。

从表 3 可知：竹柳枝桠材的碳元素为 29.16%，氧元素为 69.81%，竹柳枝桠材的碳氧比为 0.41，说明竹柳枝桠材的氧元素含量较高，含氧的基团多，亲水性高，吸水性能高。由枝桠材直径 ≥ 10 mm 制得的竹柳重组木的碳元素和氧元素分别为 33.27%和 60.74%，板材的碳氧比为 0.55。枝桠材直径 5~10 mm 和枝桠材直径 ≤ 5 mm 制得的重组木的碳氧比分别为 0.60 和 0.62，说明制得的板材后的碳氧比竹柳枝桠材的高。这主要是由于竹柳枝桠材在热压过程中发生了一定的碳化，使得碳元素含量增加，板材内部亲水性氧元素含量降低、板材的吸水性能降低、板材尺寸稳定性高，与枝桠材直径对重组木 2 h 吸水厚度膨胀率影响的分析一致。除碳氧元素以外元素的含量，枝桠材直径 ≥ 10 mm 制成的竹柳重组木为 5.99%，直径 5~10 mm 的为 9.49%，直径 ≤ 5 mm 为 8.94%，竹柳枝桠材为 1.04%，低于枝桠材制成的重组木。这说明竹柳重组木内部的无机物的含量较竹柳枝桠材多。这主要的是因为在制备竹柳重组木过程中有一定量的胶黏剂浸入到板材内部，使得其表面的无机物元素含量增加。

表 3 竹柳枝桠材和竹柳枝桠材重组木表面原子含量
Table 3 Quality percentage atom content of *Salix discolor* branch and scrimber

元素	表面原子含量/%			
	直径 5~10 mm 竹柳枝桠材	直径 ≥ 10 mm 的竹柳重组木	直径 5~10 mm 的竹柳重组木	直径 ≤ 5 mm 的竹柳重组木
碳	29.16	33.27	34.06	34.94
氧	69.81	60.74	56.45	56.12
钠	0.12	3.08	4.87	4.81
硅	0.06	2.10	3.02	2.51
氯	0.21	0.23	0.87	0.82
钾	0.40	0.23	0.46	0.49
钙	0.25	0.34	0.26	0.31
总计	100.00	100.00	100.00	100.00

3 结论

方差分析的结果表明：板材施胶量对密度为 $0.90\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 的竹柳重组木的静曲强度和弹性模量影响不显著，对内结合强度、2 h 吸水厚度膨胀率有显著的影响。15%的脲醛树脂施胶量是生产竹柳重组木的较优工艺。

枝桠材直径对竹柳重组木的 2 h 吸水厚度膨胀率有显著的影响，对静曲强度、弹性模量、内结合强度的影响不显著。枝桠材直径为 5~10 mm 是生产竹柳重组木好的原材料。

重组木制造时，木束的接头处对其静曲强度、弹性模量、内结合强度、2 h 吸水厚度膨胀率有显著的影响，随着接头处的增加竹柳重组木的静曲强度、弹性模量、内结合强度呈下降趋势，2 h 吸水厚度膨胀率则呈上升趋势。试验结果表明：在重组木制造时应将接头均匀分散在板中，防止接头在同一断面集中，从而保证制品的质量。

扫描电子显微镜图像表明：脲醛树脂压制的竹柳重组木的管孔被压缩成椭圆形，虽然细胞发生了明显的变形，但细胞壁本身并没有被压溃，仍然保持了其完整性，胶层薄且均匀，木束和胶层很紧密，木束表面附着的胶黏剂均匀。X 射线能谱表明：竹柳重组木的主要组成元素是碳、氧、钠，枝桠材制成的重组木比竹柳枝桠材的碳氧比高，且枝桠材直径 ≥ 10 mm，5~10 mm， ≤ 5 mm 的竹柳重组木的碳氧比，后者比前者分别增加了 9.09%和 3.33%，说明竹柳枝桠材的直径对碳氧比有影响。随着直径的减少，碳氧比增加。

4 参考文献

- [1] 宋庆昇, 孙贵明. 关于利用“美国竹柳”营造速生林的研究[J]. 农业科技情报, 2012, **44**(3): 18 – 19, 23.
SONG Qingsheng, SUN Guiming. Study on building fast-growing forest using america bamboo-willow [J]. *For Sci Technol Inf*, 2012, **44**(3): 18 – 19, 23.
- [2] 薛崇昀, 贺文明, 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.
XU Chongyun, HE Wenming, NIE Yi, *et al.* A study on the wood properities, fiber quality and pulping performance of bamboo-willow [J]. *China Pulp Paper Ind*, 2009, **30**(15): 60 – 63.
- [3] 马生敏, 王春好, 徐长安, 等. 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, XU Chang'an, *et al.* Research on *Salix discolor* salt-tolerant pot experiment [J]. *Auhui Agric Sci Bull*, 2013, **19**(18): 28, 44.
- [4] 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.* The briefing of the *Salix discolor* biological characteristics and breeding experiments [J]. *Shanghai Agric Sci Technol*, 2009(6): 116, 118.
- [5] 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, *et al.* Study on *Salix discolor* properties and its particleboard manufacturing technology [J]. *J Southwest For Univ*, 2013, **33**(3): 92 – 96.
- [6] 吴金绒, 邓玉和, 侯天宇, 等. 竹柳枝丫材性能及重组木制造[J]. 浙江农林大学学报, 2014, **31**(6): 947 – 953.
WU Jinrong, DENG Yuhe, HOU Tianyu, *et al.* *Salix discolor* crotches and its scrimber [J]. *J Zhejiang A & F Univ*, 2014, **31**(6): 947 – 953.
- [7] 杨莹, 冯磊, 邓玉和, 等. 不同因素对耐盐竹柳单板层积材性能的影响[J]. 西南林业大学学报, 2014, **34**(3): 78 – 83.
YANG Ying, FENG Lei, DENG Yuhe, *et al.* The effect of different factors on the properties of *Salix discolor* LVL [J]. *J Southwest For Univ*, 2014, **34**(3): 78 – 83.
- [8] 何爽爽, 王新洲, 董葛平, 等. 大豆蛋白胶黏剂用于竹柳中密度纤维板试验[J]. 林业科技开发, 2015, **29**(3): 50 – 63.
HE Shuangshuang, WANG Xinzhou, DONG Geping, *et al.* A experiment on *Salix discolor* medium density fiberboard bonded with soybean protein adhesive [J]. *China For Sci Technol*, 2015, **29**(3): 50 – 63.
- [9] 何爽爽, 王新洲, 邓玉和, 等. 竹柳枝丫材与小径材中密度纤维板的研究[J]. 林产工业, 2015, **42**(11): 31 – 35.
HE Shuangshuang, WANG Xinzhou, DENG Yuhe, *et al.* Study on *Salix discolor* medium density fiberboard of branch and small diameter wood [J]. *China For Prod Ind*, 2015, **42**(11): 31 – 35.