

改性脲醛对钩叶藤类藤材弯曲性能的影响

张菲菲¹, 李 担¹, 汪佑宏^{1*}, 刘杏娥², 徐 斌¹

(1. 安徽农业大学林学与园林学院, 合肥 230036; 2. 国际竹藤中心, 北京 100102)

摘 要:为实现棕榈藤材增强保韧、劣藤优用制作家具的目的,以大钩叶藤、高地钩叶藤为研究对象,选择浸注试剂、浸注量、增韧剂量、加热时间4个因素分三水平进行 $L_9(3^4)$ 正交试验,对改性材弯曲性能进行测定,通过优序数法进行综合分析建立最佳改性工艺。结果表明,与大钩叶藤素材相比,分别浸注脲醛树脂、脲醛树脂和聚乙烯醇后,其抗弯强度分别增加34.1%和12.7%;而高地钩叶藤素材在浸注脲醛树脂后,其抗弯强度增加2.5%。聚乙烯醇添加后,大钩叶藤、高地钩叶藤脲醛树脂改性材柔量分别增加6.00%和1.93%。综合评价的大钩叶藤最佳改性处理工艺为以脲醛树脂(urea formaldehyde resin, UF)+聚乙烯醇(polyvinyl alcohol, PVA)为改性试剂,浸注量为30%,聚乙烯醇添加量为0.10%,在120℃下干燥1.5 h;综合评价的高地钩叶藤最佳改性处理工艺为以脲醛树脂为改性试剂,浸注量为50%,在120℃下干燥0.5 h。恰当的改性处理不仅能提高棕榈藤材的抗弯强度,也能提高改性材的柔韧性。

关键词:大钩叶藤;高地钩叶藤;聚乙烯醇;脲醛树脂;弯曲性能

中图分类号: S781.9

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X(2016)06-0899-05

Effect of the modified UF on the flexural properties of *Plectocomia's* rattan

ZHANG Feifei¹, LI Dan¹, WANG Youhong¹, LIU Xinge², XU Bin¹

(1. School of Forestry & Landscape Architecture, Anhui Agricultural University, Hefei 230036;

2. International Centre for Bamboo and Rattan, Beijing 100102)

Abstract: In order to improve the mechanical properties without losing the toughness and to manufacture optimal furniture with rattan of inferior quality, an orthogonal experiment $L_9(3^4)$ with four factors of impregnating reagent, impregnating amount, dosage of toughening agent and drying time at three levels was designed to determine the flexural properties of the modified rattan of *P. assamica* and *P. himalayana*. The optimum process was also established by calculating the experimental results with optimum sequential method. Compared with the raw rattan, the MORs of *P. assamica* modified with UP, UF & PVA increased by 34.1% and 12.7%, respectively, while the MOR of *P. himalayana* modified with UP only increased by 2.5%. Compared with *P. assamica* and *P. himalayana* modified with UP only, the rattan toughness modified with additional PVA increased by 6.00% and 1.93%, respectively. The optimum process of modifying *P. assamica* synthetically is a mixture of UF and PVA, 30% UF, 0.10% PVA, drying for 1.5 hours at 120℃. The optimum process of modifying *P. himalayana* synthetically is using UF with 50% impregnating amount, drying for 0.5 hours at 120℃. An appropriate modified process can not only improve the MOR of the rattan, but also increase the toughness of modified rattan.

Key words: *P. assamica*; *P. himalayana*; PVA; UF; flexural properties

棕榈藤(rattan)属于棕榈科省藤亚科,为单子叶类植物,是重要的可再生非木材资源^[1]。棕榈藤藤茎在商品上俗称“藤条”^[2],与木、竹材相比密度中等、轻便坚固、美观素雅、柔韧性好,是家具

和工艺品优良材料,被广泛用于制造桌、椅、沙发、床等藤制家具及工艺品等^[3-4]。然而与木、竹材等生物质材料相比,藤茎却存在强度低、材质均匀性差、以及藤制家具在使用过程中易弯曲断裂等固有缺

收稿日期: 2016-06-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(31570553)、安徽省自然科学基金项目(1508085MC60)和“十二五”国家科技计划课题项目(2012BAD23B0104)共同资助。

作者简介: 张菲菲, 硕士研究生。E-mail: 2434179162@qq.com

* 通信作者: 汪佑宏, 博士, 教授。E-mail: wangyh@ahau.edu.cn

陷, 这些缺陷降低了藤材的耐久性以及强度, 影响藤制家具的使用寿命, 降低了藤材在家具制造领域的竞争力和利用价值, 给藤材的使用带来了很大的局限性。

目前, 针对棕榈藤也进行了一些改性处理研究, 不过主要集中在防变色^[5-7]、染色^[8]、软化^[9]等改性处理方面, 虽然对棕榈藤强化方面也进行了一些改性研究^[10-11], 但就如何在提高改性棕榈藤力学强度的同时, 如何保持或提高其优良的韧性方面, 还未见报道。因此本研究欲通过对棕榈藤材进行增强改性处理的同时, 也能保持甚至提高其柔韧性, 为劣质棕榈藤材的科学合理保护、综合高效利用提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料

大钩叶藤 (*Plectocomia assamica* Griff.) 和高地钩叶藤 (*Plectocomia himalayana* Griff.) 都属于钩叶

藤属 (*Plectocomia*)。其中大钩叶藤产于我国云南南部和东南部局部地区, 仅见于勐腊及马关境内海拔 820~1230 m 的次生林中。高地钩叶藤产于我国云南南部以及西南部局部海拔 1450~1800 m 的山地常绿阔叶林中^[12-13]。实验所用大钩叶藤采自云南省盈江县, 高地钩叶藤采自云南省梁河县, 分别采伐生长健康的藤株各 5 株后去叶鞘, 从基部起每 2 m 长左右沿节部截断、气干, 选取节间长度不小于 16 cm 的试样留着备用。

脲醛树脂 (UF, 固化物含量 46%, 密度 1.2 g·cm⁻³); 聚乙烯醇 (即增韧剂) 30153160 (PVA, 1750±50), 含量 ≥99.0%。

仪器设备有真空压力浸渍罐, 江西省丰城市化工机械有限公司; DHG-9146A 型电热鼓风干燥箱, 上海精密实验设备有限公司; KBF115#04-63203 恒温恒湿箱, 德国 BINDER 公司; 5582Q7171 万能力学试验机, INSTRON 公司; BP301S 万分位电子天平, 德国赛多利斯 Sartorius。

表 1 正交试验因子及水平

Table 1 Factors and levels of the orthogonal experiment design

水平 Level	A 浸注试剂 Processing reagents	B 脲醛树脂浸注量/% Amount of UF	C 聚乙烯醇添加量/% Amount of PVA	D 加热时间/h(120℃) Drying time
1	-	10	0.10	0.5
2	脲醛树脂 UF	30	0.15	1.5
3	脲醛树脂 UF+聚乙烯醇 PVA	50	0.20	2.5

表 2 正交试验 L₉(3⁴) 设计方案

Table 2 Orthogonal experiment L₉(3⁴) design proposal

编号 Number	A 浸注试剂 Processing reagents	B 脲醛树脂浸注量/% Amount of UF	C 聚乙烯醇添加量/% Amount of PVA	D 加热时间 h(120℃) Drying time
1	1	-	-	-
2	1	-	-	-
3	1	-	-	-
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

1.2 方法

将各组加工好的试件放入恒温恒湿箱中, 在干球温度为 30℃、相对湿度为 65%±5% 条件下进行调湿处理 7 d, 使藤材试件含水率分布在 12% 左右。选取浸注试剂、脲醛树脂浸注量、聚乙烯醇添加量和 120℃ 时加热时间为 4 个因素, 按 L₉(3⁴) 进行三水平正交试验^[10], 试验因素与水平及各组试验具体参

数见表 1、2。其中浸注量以气干材的质量增加率表示; 先进行预试验, 通过在一定浸注时间下 (试验中为 2 h), 测定不同真空度与浸注量间的关系, 反过来利用真空度实现对浸注量的控制。

待预试验结束后, 将各组改性处理试件再放入恒温恒湿箱中, 按上述条件对其进行调湿处理, 然后进行抗弯强度和柔量试验, 并分别按公式

$J = \frac{3f\pi D^4}{4Pl^3}$ 计算出柔量 ($10^{-3} \text{mm}^2 \cdot \text{N}^{-1}$) 和 $MOR = \frac{8P_{\max} l}{\pi D^3}$ 计算出抗弯强度 (MPa) [14-15]。

2 结果与分析

实验测得的数据结果见下表 3。表中试验 1-3 组为素材, 试验 4~6 组只浸注了脲醛树脂 (UF), 试验 7~9 组在浸注的脲醛树脂中添加了聚乙烯醇 (PVA)。从试验结果来分析, 与大钩叶藤素材抗弯强度 36.441 MPa 相比, 分别浸注脲醛树脂、脲醛树脂和聚乙烯醇后, 其抗弯强度分别为 48.857 MPa、41.056 MPa, 增幅依次达 34.1% 和 12.7%。与高地钩叶藤素材抗弯强度 86.857 MPa 相比, 浸注脲醛树脂后其抗弯强度为 89.068 MPa, 增幅为 2.5%, 而浸注脲醛树脂和聚乙烯醇后, 其抗弯强度却下降为 80.350 MPa, 降幅为 7.5%。与只浸注脲醛树脂相比, 增韧剂聚乙烯醇的添加有助于藤材柔量的增加, 其中大钩叶藤柔量由 $0.851 \times 10^{-3} \text{mm}^2 \cdot \text{N}^{-1}$ 增加至 0.902

$\times 10^{-3} \text{mm}^2 \cdot \text{N}^{-1}$, 而高地钩叶藤柔量由 $0.397 \times 10^{-3} \text{mm}^2 \cdot \text{N}^{-1}$ 增加至 $0.405 \times 10^{-3} \text{mm}^2 \cdot \text{N}^{-1}$, 分别增加了 $0.051 \times 10^{-3} \text{mm}^2 \cdot \text{N}^{-1}$ 和 $0.008 \times 10^{-3} \text{mm}^2 \cdot \text{N}^{-1}$, 增幅分别为 6.00% 和 1.93%。经 T-检验, 改性处理前后及是否添加聚乙烯醇, 所造成的弯曲性能差异均不显著。

由此可见, 在用脲醛树脂对大钩叶藤和高地钩叶藤材增强改性处理时, 不仅能提高改性藤材弯曲性能, 适当添加增韧剂还可以提高改性材的柔韧性。原因首先是因为聚乙烯醇含有大量的羟基, 能形成大量的分子内和分子间氢键结合; 其次是作为水溶性粘结剂聚乙烯醇, 当受热时水溶剂挥发而分子紧密接触, 分子间又产生吸附作用, 因此形成具有一定机械性能的膜, 从而发挥粘结剂的性能, 改善了热固脲醛树脂的脆性及其与藤材间的作用力; 此外, 因为 PVA 聚合物链具有较大的活动空间, 可以与其它物质共同承担外力的冲击, 提高其韧性 [16-17]。

表 3 大钩叶藤、高地钩叶藤化学改性正交试验结果

Table 3 Orthogonal experiment result for chemical modification of *P. pierreana* and *P. himalayana*

试验号 Test No.	A	B	C	D	抗弯强度/MPa MOR		柔量/ $10^{-3} \text{mm}^2 \cdot \text{N}^{-1} J$			
					大钩叶藤 <i>P. assamica</i>	高地钩叶藤 <i>P. himalayana</i>	大钩叶藤 <i>P. assamica</i>	高地钩叶藤 <i>P. himalayana</i>		
1	1	-	-	-						
2	1	-	-	-						
3	1	-	-	-						
4	2	1	2	3	41.685	91.756	0.866	0.400		
5	2	2	3	1	42.824	91.842	0.930	0.374		
6	2	3	1	2	62.061	83.605	0.756	0.418		
7	3	1	3	3	43.041	87.625	0.886	0.375		
8	3	2	1	1	43.342	72.366	0.947	0.417		
9	3	3	2	2	36.785	81.788	0.872	0.423		
					大钩叶藤 <i>P. assamica</i>	高地钩叶藤 <i>P. himalayana</i>	大钩叶藤 <i>P. assamica</i>	高地钩叶藤 <i>P. himalayana</i>	大钩叶藤 <i>P. assamica</i>	高地钩叶藤 <i>P. himalayana</i>
抗弯强度	$\bar{\rho}_1$				43.363	89.691	52.702	77.986	39.805	86.815
MOR	$\bar{\rho}_2$	48.857			89.067	43.083	82.104	39.235	86.772	52.551
	$\bar{\rho}_3$	41.056	80.593		49.423	82.697	42.933	89.734	42.514	82.061
	R	7.801	8.474		7.060	7.587	13.467	11.748	12.747	4.754
柔量 J	\bar{H}_1				0.876	0.386	0.852	0.418	0.901	0.399
	\bar{H}_2	0.851	0.397		0.939	0.396	0.869	0.412	0.821	0.397
	\bar{H}_3	0.902	0.608		0.814	0.421	0.908	0.375	0.907	0.409
	R	0.051	0.211		0.125	0.0345	0.057	0.0435	0.086	0.0115

2.1 单因素评价最佳工艺

如果衡量试验结果优劣的指标只有一个, 称为单因素分析。对于单一的评定指标, 可根据相应值的大小, 比较容易得出理想工艺。

2.1.1 抗弯强度

以抗弯强度 (MOR) 为改性处理评价指标, 改性处理后的改性材抗弯强度越大越好。则大钩叶藤最佳改性工艺是 A2B3D2, 即浸注试剂为脲醛树脂, 50% 的浸注量, 热压时间 1.5 h。由表

3 对大钩叶藤改性材抗弯强度(MOR)影响的主要因素是加热时间, 其次是浸注试剂种类, 而脲醛树脂浸注量影响最小。

高地钩叶藤最佳改性工艺是 A2B1D1, 即浸注试剂为脲醛树脂, 10%浸注量, 加热时间 0.5 h。由表 3 对高地钩叶藤改性材抗弯强度(MOR)影响的主要因素是改性试剂种类, 次主要因素为脲醛树脂浸注量、加热时间影响最小。

2.1.2 柔量 以柔量为改性处理评价指标, 即改性处理后的改性材柔量越大越好。则大钩叶藤的最佳改性工艺为 A3B2C3D3, 即浸注试剂为脲醛树脂和

聚乙烯醇的混合液, 浸注量为 30%, 增韧剂量为 0.2%, 加热时间为 1.5 h。由表 3 可以看出对大钩叶藤柔量影响的主要因素是脲醛树脂浸注量, 次主要因素是加热时间, 浸注试剂种类和增韧剂的添加量影响相对较小。

高地钩叶藤的最佳改性工艺是 A3B3C1D3, 即浸注试剂为脲醛树脂和聚乙烯醇的混合液, 浸注量为 50%, 增韧剂量为 0.10%, 加热时间为 2.5 h。从表 3 可以看出对高地钩叶藤柔量影响的主要因素是改性试剂, 然后依次为增韧剂添加量、脲醛树脂浸注量和加热时间。

表 4 大钩叶藤、高地钩叶藤化学改性处理正交试验 9 项评定指标基于优序数法的赋值结果

Table 4 The assignment results of optimal ordinal number based on 9 indexes of orthogonal experiment for chemical modification of *P. assamica* and *P. himalayana*

指标 Index	权数 Weighting	藤种 Rattan species	优序号 Optimal ordinal number								
			8	7	6	5	4	3	2	1	0
f_{1-MOR}	0.5	大钩叶藤 <i>P. assamica</i>	6	8	7	5	4	9			1、2、3
		高地钩叶藤 <i>P. himalayana</i>	5	4	7	6	9	8			1、2、3
f_{2-J}	0.5	大钩叶藤 <i>P. assamica</i>	8	5	7	9	4	6			1、2、3
		高地钩叶藤 <i>P. himalayana</i>	9	6	8	4	7	5			1、2、3

表 5 大钩叶藤、高地钩叶藤以优序数作为综合指标值分析结果

Table 5 The results of synthetically estimating based on optimal ordinal number for *P. assamica* and *P. himalayana*

试验号 Test number	A	B	C	D	大钩叶藤 <i>P. assamica</i>	高地钩叶藤 <i>P. himalayana</i>
1	1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	1	1
3	1	3	3	3	1	1
4	2	1	2	3	4.0	6.0
5	2	2	3	1	6.0	5.5
6	2	3	1	2	5.5	6.0
7	3	1	3	2	6.0	5.0
8	3	2	1	3	7.5	4.5
9	3	3	2	1	4.0	6.0

加权 Weighting	大钩叶藤 <i>P. assamica</i>	高地钩叶藤 <i>P. himalayana</i>	大钩叶藤 <i>P. assamica</i>	高地钩叶藤 <i>P. himalayana</i>	大钩叶藤 <i>P. assamica</i>	高地钩叶藤 <i>P. himalayana</i>	大钩叶藤 <i>P. assamica</i>	高地钩叶藤 <i>P. himalayana</i>
K_1	3	3	11.0	12	14.0	11.5	11.0	12.5
K_2	15.5	17.5	14.5	11	9.0	13.0	12.5	12.0
K_3	17.5	15.5	10.5	13	13.0	11.5	12.5	11.5
R	14.5	14.5	4.0	2	5.0	1.5	1.5	1.0

2.2 综合分析

如果衡量试验结果优劣的指标有多个, 称为多因素分析, 但对于多个评定指标, 因往往要综合考虑各个指标, 对于最佳工艺的判断相对较难。因此, 将根据优序法来进行多指标的分析, 以选择出令人满意的最佳热压干燥工艺。

根据表 3 按抗弯强度和柔量权重各占 50%计,

对各项试验结果进行排序(见表 4), 并对结果进行综合分析(见表 5), 由表 5 可以看出, 大钩叶藤最佳改性工艺 A3B2C1D2/3, 考虑到加热时间及节省成本等因素, 选择最佳工艺为 A3B2C1D2, 即改性试剂为脲醛树脂+聚乙烯醇、脲醛树脂浸注量 30%、含有 0.10% 聚乙烯醇增韧剂、在 120℃ 温度下干燥 1.5 h。影响的主要因素是浸注试剂种类, 其次是增

韧剂的添加量和脲醛树脂浸注量, 加热时间影响最小。高地钩叶藤最佳改性工艺 A2B3D1 (此时改性试剂为只脲醛树脂, 故不需要添加聚乙烯醇增韧剂), 即改性试剂为脲醛树脂, 浸注量为 50%, 在 120℃ 条件下加热 0.5 h, 在此条件下改性后的材料物理力学性质较佳。影响的主要因素是浸注剂种类, 其次是脲醛树脂浸注量, 加热时间影响最小。

3 讨论

就对大钩叶藤和高地钩叶藤改性处理而言, 改性试剂及浸注量、增韧剂添加量、加热时间等条件不同时, 对各弯曲性能影响也是不同的。与大钩叶藤素材相比, 分别浸注脲醛树脂、脲醛树脂和聚乙烯醇后, 其抗弯强度分别增加 34.1% 和 12.7%; 与高地钩叶藤素材相比, 浸注脲醛树脂后其抗弯强度增加 2.5%, 而浸注脲醛树脂和聚乙烯醇后, 其抗弯强度却下降了 7.5%。与只浸注脲醛树脂相比, 增韧剂聚乙烯醇的添加有助于藤材柔量的增加, 其中大钩叶藤、高地钩叶藤柔量分别增加 6.00% 和 1.93%。由此可见, 用脲醛树脂对大钩叶藤和高地钩叶藤材增强改性处理时, 不仅能提高改性藤材抗弯强度, 适当添加增韧剂还可以提高改性材的柔韧性。

对不同评价指标进行综合评价分析, 结果显示大钩叶藤改性试剂为脲醛树脂+聚乙烯醇、脲醛树脂浸注量 30%、含有 0.10% 聚乙烯醇增韧剂、在 120℃ 温度下干燥 1.5 h 条件下效果最佳; 而高地钩叶藤的改性试剂为脲醛树脂, 浸注量为 50%, 在 120℃ 条件下加热 0.5 h, 在此条件下改性后的材料物理力学性质较佳。

当然, 对棕榈藤进行改性处理效果影响因子有很多, 如主要化学成份及抽提物, 改性处理方式、水平设置、不同改性剂间相互影响等; 此外不同的改性处理试剂, 如大分子量、高聚合度的酚醛树脂对棕榈藤材进行改性处理时, 是否在提高棕榈藤材力学强度的同时, 还能改善其柔韧性还有待进一步验证研究^[18]。

参考文献:

- [1] 江泽慧. 世界竹藤[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2002: 425.
- [2] 许煌灿, 尹光天, 孙清鹏, 等. 棕榈藤的研究和发展[J]. 林业科学, 2002, 38(2): 135-143.
- [3] 袁哲, 强明礼, 杜官本. 云南藤家具业的现状与前瞻[J]. 世界竹藤通讯, 2006, 4(4): 8-10.
- [4] 袁哲. 藤家具的研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2006.
- [5] 吴玉章, 周宇. 3 种棕榈藤藤材变色的研究[J]. 林业科学, 2005, 41(5): 211-213.
- [6] 吴玉章, 周宇. 3 种棕榈藤藤材防变色的研究[J]. 林业科学, 2006, 42(3): 116-120.
- [7] 吕文华, 江泽慧, 吴玉章, 等. 木、竹、藤材的变色防治[J]. 世界林业研究, 2006, 19(4): 38-44.
- [8] 王传贵, 裴韵文, 张双燕, 等. 不同染料对棕榈藤材的影响及机理分析[J]. 林产化学与工业, 2014, 34(4): 121-125.
- [9] ABASOLO W P, YOSHIDA M, YAMAMOTO H, et al. 棕榈藤的热软化: 半纤维素-木素基质的影响[J]. 世界竹藤通讯, 2003, 1(4): 32-36.
- [10] 刘杏娥, 徐鑫, 汪佑宏, 等. 改性处理对黄藤及单叶省藤主要物理力学性质的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2012, 39(1): 61-66.
- [11] 徐鑫, 刘杏娥, 汪佑宏, 等. 黄藤和单叶省藤改性处理工艺综合评价[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2014, 42(3): 93-98.
- [12] 江泽慧, 王慷林. 中国棕榈藤[M]. 北京: 科学出版社, 2013: 96-101.
- [13] 刘杏娥, 吴明山, 汪佑宏, 等. 高地钩叶藤与钩叶藤组织比量的变异研究[J]. 安徽农业大学学报, 2015, 42(1): 27-30.
- [14] 中华人民共和国林业部. 竹材物理力学性质试验方法: GB/T 15780-1995[S]. 北京: 中国标准出版社, 1995.
- [15] 张秉荣. 工程力学[M]. 3 版. 北京: 机械工业出版社, 2010: 216-226.
- [16] 李曼曼, 杭祖圣, 李勤华, 等. 聚乙二醇-三聚氰胺甲醛和聚乙烯醇半互穿网络的构建及表征[J]. 高分子材料科学与工程, 2015(1): 158-163.
- [17] 汪佑宏, 刘杏娥, 田根林, 等. 一种棕榈藤材的防脆裂处理方法: 201410461793.7 [P]. 2016-06-08.
- [18] 陆文达, 李坚. 木材改性工艺学[M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1993, 52-55.