

纳米二氧化硅及酚醛树脂对粉藤材主要物理性质的影响

薛夏,季必超,汪佑宏*,任伟,张菲菲,李担

(安徽农业大学 林学与园林学院,安徽 合肥 230036)

摘要:主要研究了粉藤的物理性质及尺寸稳定性,分别采用高分子量酚醛树脂、低分子酚醛树脂、纳米二氧化硅溶液对粉藤材进行改性处理,以期对粉藤更好地商业化应用提供基础数据及改性方法。结果表明,经过改性处理后的藤材其物理性质相对于素材都有所改善,尺寸稳定性也有着显著的提升。通过正交试验分析,确定粉藤的最佳改性工艺为浸渍材料为小分子量酚醛树脂,浸渍量为55%,固化温度140℃,固化时间1 h。

关键词:粉藤;改性处理;物理性质;尺寸稳定性

中图分类号:S789.9

文献标志码:A

文章编号:1001-7461(2018)06-0254-04

Effects of Nano Silica and Phenolic Resin on Main Physical Properties of *Calamus* sp.

XUE Xia, JI Bi-chao, WANG You-hong*, REN Wei, ZHANG Fei-fei, LI Dan

(School of Forestry & Landscape Architecture, Anhui Agricultural University, Hefei, Anhui 230036, China)

Abstract: Cane samples of *Calamus* sp. were treated by high-molecular phenolic resin, low-molecular phenolic resin and nano-silica solution, respectively, to study the physical properties and dimensional stability, and to provide the basic data and the modification method for the commercialization of the *Calamus* sp. The experimental results showed that the physical properties of the modified rattan were improved compared with that of the untreated cane sample, and the dimensional stability of the treated canes were also significantly improved. The optimum modification process was determined by orthogonal test. The impregnation material was phenolic resin with small molecular weight, the impregnation amount was 55%, the curing temperature was 140℃, and the curing time was 1 h.

Key words: *Calamus* sp.; modified treatment; physical property; dimensional stability

棕榈藤(rattan)是藤本带刺的棕榈类植物,属于单子叶植物纲棕榈科省藤亚科,是一种用途广泛、经济利用价值较高的植物资源。原藤是重要的非木材林产品^[1],主要利用部分是藤茎,俗称藤条,长可达百余米,密度中等、轻便坚固;原色多为乳白色或米黄色,抛光度高、耐久性强,被广泛用于制造桌、椅、架、柜等藤制家具,以及各种藤编小饰品^[2-5]。

我国藤加工企业所用的藤材原料日益短缺,由于国外实施了藤原料出口限制条例,所以扩大我国原藤的种植培育,加强对非商用藤材的基础及性能研究,通过改性等各种技术手段转变为商用藤材是

亟待解决的问题。目前棕榈藤的一些改性处理研究主要集中在防变色^[6-8]、染色^[9-10]、软化^[11]、强化^[12-14]等方面,但对藤材尺寸稳定性方面的研究鲜有见到。

因此,本文通过对粉藤材的基本物理性质及尺寸稳定性进行研究,并且分别采用高分子量酚醛树脂、低分子酚醛树脂、纳米二氧化硅溶液对其浸渍改性,通过正交试验分析其物理性质和尺寸稳定性,探究粉藤材性以及转变为商用藤的可行性,扩展粉藤的应用范围,对于藤材开发利用和加工改性等将具有重要指导作用^[15]。

收稿日期:2018-01-15 修回日期:2018-04-24

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划研究任务(2015BAD04B0302);国家自然科学基金项目(31570553);安徽省自然科学基金项目(1508085MC60)。

作者简介:薛夏,男,在读硕士,研究方向:生物质材料材性。E-mail:1553046802@qq.com

*通信作者:汪佑宏,男,教授,博士(后),研究方向:生物质材料基础理论、干燥及改性。E-mail:wangyh@ahau.edu.cn

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料粉藤(*Calamus sp.*)购自印度尼西亚,选取无病虫害的、成熟的粉藤藤茎数根待用。

小分子量酚醛树脂溶液(L-PF)分子量为200,固含量约为50%,粘度为12~17 mPa·s。大分子量酚醛树脂溶液(H-PF)分子量为800,固含量在50%左右,粘度为20~40 mPa·s。纳米二氧化硅溶液(N-SiO₂)固含量为50%左右,平均粒径为50 nm,pH值为8~9。

1.2 试验方法

1.2.1 密度及尺寸稳定性测试 参照国标 GB/T1933-2009 和国标 GB/T15780-1995 规定,截取20 mm长的样品作为密度试件,经气干、绝干后分别测定其体积膨胀(收缩)率、吸湿率及吸水率,并计算出改性材的抗胀(缩)率(ASE)、阻湿率(MEE)和抗吸水率(RWA)。

1.2.2 棕榈藤材的改性试验方法

1.2.2.1 试样制备 从藤茎基部向上依次逐节重复按A1、A2、A3、A4、A5、A6、A7、A8、A9、A10、A11、A12、A13重复截取、编号备用,其中A1~A9为正交试验试材,A10是素材对比试材,A11、A12是验证试验试材,A13备用。每组重复30次(图1)。

将所有上述分组试材气干,加工成20 mm×R(直径)的试件,并将所有试件放在调温调湿箱中(T=25℃,RH=65%~70%)调至平衡含水率为12%。



图1 试样制备

Fig. 1 Sample preparation

1.2.2.2 正交试验设计 采用正交试验法^[16],根据前人研究成果和预试验效果,试验采取浸渍液种类、浸渍液固含量、固化温度、固化时间4个因素安排L₉(3⁴),见表1,其中浸渍量通过预试验确定范围,并以绝干材的增重率表征。

正式试验前另取部分藤材试件进行预试验,预试验发现,试件浸渍大分子量酚醛树脂液体最大浸渍量能达到90%左右,浸渍小分子量酚醛树脂液体最大浸渍量能达到100%左右,浸渍纳米二氧化硅液体最大浸渍量能达到120%左右,且浸渍纳米二氧化硅液体所需压力较小,时间较短。大分子量酚醛树脂相较于其他2种比较难浸渍,这可能是由于酚醛树脂液体属于油性物质,且高分子酚醛树脂粘度较大,难以进入藤材内部。根据3种浸渍液所能达到的最

大浸渍量,确定试件浸渍量为25%、55%、85%这3个梯度。并通过真空度和浸渍时间分别控制其浸渍量,误差不超过±5%。通过预试验拟采用固化温度为120、130、140℃这3个梯度,固化时间为0.5、1、2 h(表1)。

表1 正交试验L₉(3⁴)设计方案

Table 1 Orthogonal experiment L₉(3⁴) design proposal

编号	因素			
	A 浸渍液种类	B 浸渍量 /%	C 固化温度 /℃	D 固化时间 /h
1	大分子量酚醛树 H-PF	25	120	0.5
2	大分子量酚醛树 H-PF	55	130	1
3	大分子量酚醛树 H-PF	85	140	2
4	小分子量酚醛树 L-PF	25	130	2
5	小分子量酚醛树 L-PF	55	140	0.5
6	小分子量酚醛树 L-PF	85	120	1
7	纳米二氧化硅 N-SiO ₂	25	140	1
8	纳米二氧化硅 N-SiO ₂	55	120	2
9	纳米二氧化硅 N-SiO ₂	85	130	0.5

2 结果与分析

2.1 粉藤素材及改性材的密度

试验测得粉藤素材的气干密度为0.49 g/cm³,绝干密度为0.47 g/cm³左右,基本密度为0.45 g/cm³左右。

用大分子量酚醛树脂、小分子量酚醛树脂和纳米二氧化硅溶液浸渍粉藤,由表2可知,经过改性处理后的藤材其密度相对于素材都有所增加,气干密度最大增加了约27%,绝干密度最大增加了约32%,基本密度最大增加了约33%。

2.2 粉藤素材及改性材的吸湿吸水性及干缩性

粉藤素材的吸湿率为6.86%,在6.21%~7.24%变化;吸水率为99.87%,在73.11%~120.10%变化。粉藤素材的体积干缩率为0.31%,在0.21%~0.38%变化;吸湿体积膨胀率为2.86%,在1.94%~3.53%变化;吸水体积膨胀率为13.87%,在2.29%~26.51%变化。

经过改性处理后,大部分体积干缩率、吸湿膨胀率和吸水膨胀率相对于素材都有所降低,但是个别改性材略大于或等于素材,这可能是浸渍材料未完全固化造成的。

由表2可知,3组材料在密度方面效果差不多,均有一定程度的增加;在体积干缩率、吸湿膨胀率、吸水膨胀率方面,浸渍大分子量酚醛树脂效果最为明显,这是由于大分子量酚醛树脂分子量较大、粘度高、固化后形成较多的固体充满在藤材内部。浸渍纳米二氧化硅的效果虽不及酚醛树脂明显,但保留

了藤材的原有特性,固化后仍然具有良好的渗透性及韧性。

表 2 改性材主要物理性质试验结果

Table 2 Physical properties of the modified canes

编号	气干密度 /(g· cm ⁻³)	绝干密度 /(g· cm ⁻³)	基本密度 /(g· cm ⁻³)	体积 干缩率 /%	吸湿 膨胀率 /%	吸水 膨胀率 /%
1	0.60	0.60	0.56	0.30	2.79	10.32
2	0.60	0.59	0.57	0.26	2.42	9.34
3	0.58	0.57	0.55	0.27	2.51	7.62
4	0.59	0.57	0.54	0.29	2.70	8.53
5	0.62	0.62	0.60	0.18	1.64	8.48
6	0.56	0.58	0.56	0.14	1.26	7.69
7	0.57	0.57	0.53	0.30	2.73	10.46
8	0.53	0.51	0.47	0.31	2.87	12.31
9	0.58	0.58	0.54	0.32	2.93	11.32
素材	0.49	0.47	0.45	0.31	2.86	13.87

2.3 尺寸稳定性

由表 3 可以看出,改性材的尺寸稳定性有着显著的提升,抗胀(缩)率最大达到了 55.94%,阻湿率(率)最大达到了 55.25%,而抗吸水(率)最大达到了 70.45%。试验数据分析表明,经过 3 组不同浸渍液处理后,藤材的尺寸稳定性明显优于素材,由于实验中可能存在测量误差,个别组效果不理想不会影响整体优势。

表 3 改性材的尺寸稳定性

Table 3 Dimensional stability of modification canes %

编号	抗胀(缩)率	阻湿率	抗吸水率
1	2.45	35.28	50.06
2	15.38	47.08	60.85
3	12.24	46.94	67.95
4	5.59	14.14	59.81
5	42.66	48.40	70.45
6	55.94	55.25	69.15
7	4.55	-0.15	29.70
8	-0.35	14.43	23.45
9	-2.45	11.95	30.01

2.4 综合多指标评定最佳工艺

根据按极差分析和方差分析的对应值的大小很容易得到单一指标评价的最佳工艺,但如果评价指标有数个,最佳工艺会较难判断,需要综合考虑各个指标,这又称为“多指标问题”。因此,根据优序法以优劣次序进行综合评分,依据评分大小确定最佳工艺。对于本文的正交试验,将改性后粉藤的气干密度、抗胀(缩)率、阻湿率和抗吸水率数值给予的优劣次序从大到小分别为(优劣次序越大越好)8、7、6、5、4、3、2、1和0,制成优序评分数据表如表 4 所示。依据每次试验的综合评分,极差分析如表 5 和图 2 所

示,方差分析的结果如表 6 所示。由表 4 可以看出,在 9 次试验中 5 号试验综合评分最高,即试验条件为浸渍材料是小分子酚醛树脂,浸渍量为 55%,固化温度为 140℃,固化时间为 0.5 h。由表 5 可知,浸渍材料对粉藤综合评定结果的影响最大,是影响改性工艺结果的主要因素。对试验结果影响最小则是固化温度,在实际生产中企业可根据材料、设备、能耗等成本确定生产工艺。根据各因素的极差大小可以得出,影响粉藤改性工艺各因素的主次顺序为 A>D>B>C,综合评定的最佳工艺为 A₂B₂C₃D₂,即浸渍材料为小分子酚醛树脂,浸渍量 55%,固化温度 140℃,固化时间 1 h。

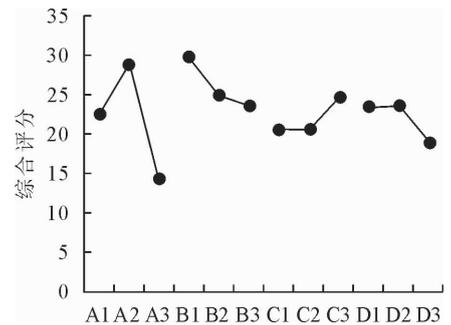


图 2 综合评分直观分析

Fig. 2 Visual analysis diagram of composite score

表 4 优序评分法结果

Table 4 Optimal combination analysis

编号	试验指标评分				
	气干密度	抗胀(缩)率	阻湿率	抗吸水率	综合评分
1	7	2	4	3	17
2	6	6	6	5	25
3	4	5	5	6	23
4	5	4	2	4	19
5	8	7	7	8	35
6	1	8	8	7	30
7	2	3	0	1	13
8	0	1	3	0	12
9	3	0	1	2	15

表 5 综合评分的极差分析

Table 5 Balance analysis of composite score

计算结果	A 浸渍材料	B 浸渍含量	C 固化温度	D 固化时间
K1	68.00	52.00	62.00	70.00
K2	87.00	75.00	62.00	71.00
K3	43.00	71.00	74.00	57.00
k1	22.67	29.67	20.67	23.33
k2	29.00	25.00	20.67	23.67
k3	14.33	23.67	24.67	19.00
极差	14.67	7.67	4.00	4.67
优方案	A2	B2	C3	D2

表 6 综合评分结果方差分析

Table 6 Variance analysis of orthogonal test of composite score

方差来源	偏差平方和 S_j	自由度 F_j	方差 V_j	F_j
A	1 487.33	2	743.67	51.90
B	92.67	2	46.33	3.23
C	28.67	2	14.33	1.00
D	146.00	2	73.00	5.09

表 7 验证试验材的主要物理性质

Table 7 Physical properties of the modified canes(confirmatory experiment)

气干密度 /($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	绝干密度 /($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	基本密度 /($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	体积干缩率 /%	吸湿膨胀率 /%	吸水膨胀率 /%	抗胀(缩)率 /%	阻湿率 /%	抗吸水率 /%
0.61	0.63	0.61	0.16	1.59	9.15	45.62	50.76	71.98

3 结论

通过 3 种不同浸渍材料对藤材改性后的性能进行分析,大分子量酚醛树脂在密度及尺寸稳定性方面比较明显,其分子量大,粘度高,固化后能够形成大量酚醛树脂固体,提高了藤材的稳定性及刚性。

取密度(气干)、抗胀(缩)率、阻湿率及抗吸水率等 4 个指标进行综合分析,在本研究试验条件下,最佳改性方案为浸渍材料为小分子酚醛树脂,浸渍量 55%,固化温度 140℃,固化时间 1 h。对粉藤物理性质的影响力由大到小依次为浸渍材料、固化时间、浸渍含量、固化温度。

参考文献:

- [1] 江泽慧. 世界竹藤[M]. 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.
XU H C, YI G T, SUN Q P, *et al.* Research and development of rattan in China[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2002, 38(2): 135-143. (in Chinese)
- [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): 8-11, 26.
- [4] 袁哲. 藤家具的研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2006.
- [5] 王传贵, 徐鑫, 汪佑宏, 等. 黄藤和单叶省藤的主要物理力学性质[J]. 东北林业大学学报, 2011, 39(12): 132-133, 136.
WANG C G, XU X, WANG Y H, *et al.* Main physical and mechanical properties of *Daemonorops margaritae* and *Calamus simplicifolius*[J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2011, 39(12): 132-133, 136. (in Chinese)
- [6] 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.
WU Y Z, ZHOU Y. Studied on the prevention of discoloration with three kinds of rattan canes[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2005, 41(5): 211-213. (in Chinese)
- [7] 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): 166-120.
WU Y Z, ZHOU Y. Studied on the prevention of discoloration

2.6 验证试验结果

根据综合评价得出的最佳方案进行验证试验,即浸渍材料为小分子酚醛树脂,浸渍量 55%,固化温度 140℃,固化时间 1 h。结果发现经过最佳工艺改性材的物理性质均有所改善。由表 7 可以看出,粉藤改性材的物理性质相比素材都有不同程度的改善,尺寸稳定性也得到了明显的提升。

with three kinds of rattan canes[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2006, 42(3): 116-120. (in Chinese)

- [8] 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.
LÜ W H, JIANG Z H, WU Y Z, *et al.* Research on wood, bamboo and rattan cane discoloration[J]. *World Forestry Research*, 2006, 19(4): 38-44. (in Chinese)
- [9] 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.
- [10] 王正国, 段新芳, 王朝晖, 等. 竹藤材染色研究现状及展望[J]. 西北林学院学报, 2009, 24(2): 124-127.
WANG Z G, DUAN X F, WANG Z H, *et al.* Advances and expectation trend of bamboo and rattan cane dyeing[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2009, 24(2): 124-127. (in Chinese).
- [11] Abasolo W P, Yoshida M, Yamamoto H. 棕榈藤的热软化: 半纤维木素基质的影响[J]. 世界竹藤通讯, 2003, 1(4): 32-36.
- [12] 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.
LIU X E, XU X, WANG Y H, *et al.* Effect of modification on the main physical and mechanical properties of *Daemonorops margaritae* and *Calamus simplicifolius*[J]. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2012, 39(1): 61-66. (in Chinese)
- [13] 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.
XU X, LIU X E, WANG Y H, *et al.* Comprehensive evaluation on modification techniques for *Daemonorops margaritae* and *Calamus simplicifolius*[J]. *Journal of Northwest A&F University: Nat. Sci. Ed.*, 2014, 42(3): 93-98. (in Chinese)
- [14] 张菲菲, 李担, 汪佑宏, 等. 改性脲醛对钩叶藤类藤材弯曲性能的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2016, 43(6): 899-903.
ZHANG F F, LI D, WANG Y H, *et al.* Effect of the modified UF on the flexural properties of *Plectocomia's rattan*[J]. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2016, 43(6): 899-903. (in Chinese)

- landscape plants in Yulin city[J]. Shaanxi Forest Science and Technology, 2017(1):53-59. (in Chinese)
- [12] 刘春林. 榆阳区城市饮用水保护现状及水源保护对策建议[J]. 地下水, 2010, 32(1):131-132, 156.
- [13] 王书明, 张志华. 景观格局-生态过程-生态系统服务的系统耦合——傅伯杰景观生态学思想述评[J]. 鄱阳湖学刊, 2017(2):78-83.
- [14] 刘淼, 刘心茗, 董丽. 北京市郊野公园植物景观综合评价[J]. 西北林学院学报, 2014, 29(6):245-249.
LIU M, LIU X M, DONG L. The synthetical evaluation and study on plant landscape of country parks in Beijing[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2014, 29(6):245-249. (in Chinese)
- [15] 邓伟, 袁兴中, 孙荣, 等. 基于遥感的北方农牧交错带生态脆弱性评价[J]. 环境科学与技术, 2016, 39(11):174-181.
DENG W, YUAN X Z, SUN R, *et al.* Eco-vulnerability assessment based on remote sensing in the argo-pastoral ecotone of North China [J]. Environmental Science and Technology, 2016, 39(11):174-181. (in Chinese)
- [16] 杨阳, 王晶懋. 西北半干旱城市绿地近自然人工植物群落构建研究[J]. 西北林学院学报, 2018, 33(1):274-280.
YANG Y, WANG J M. Construction of near nature artificial plant community in semi-arid green space of Northwestern China[J]. Journal Of Northwest Forestry University, 2018, 33(1):274-280. (in Chinese)
- [17] 李园园, 宋于洋. 基于景观的干旱区绿洲石河子市绿地结构特征分析[J]. 西北林学院学报, 2015, 30(3):258-262.
LI Y Y, SONG Y Y. Analysis of green space structural features of Shihezi city in arid zone oasis based on landscape[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2015, 30(3):258-262. (in Chinese)
- [18] 达良俊, 郭雪艳. 生态宜居与城市近自然森林——基于生态哲学思想的城市生命地标建构[J]. 中国城市林业, 2017, 15(4):1-5.
DA L J, GUO X Y. Ecological and livable city and near-natural forest——urban living landmark construction based on ecological philosophy[J]. Journal of Chinese Urban Forestry, 2017, 15(4):1-5. (in Chinese)
- [19] 郭二辉, 方晓, 胡娟娟, 等. 城区河岸带植被类型对土壤保持的影响研究[J]. 西北林学院学报, 2017, 32(5):18-22.
GUO E H, FANG X, HU C J, *et al.* Effects of urban riparian vegetation types on the retention of soil nutrients[J]. Journal of Chinese Urban Forestry, 2017, 32(5):18-22. (in Chinese)
- [20] 高相铎, 陈天, 胡志良, 等. 复合功能视角下天津市郊野公园游憩空间规划策略[J]. 规划师, 2015, 31(11):63-66.
GAO X D, CHEN T, HU Z L, *et al.* Recreational space planning in countryside park, Tianjin[J]. Planners, 2015, 31(11):63-66. (in Chinese)
- [21] 张雅卓. 以河流为载体的带状郊野公园设计方法研究——以天津市武清区北运河郊野公园为例[J]. 天津大学学报, 2017, 19(6):536-541.
ZHANG Y Z. Research on design method of ribbon-like country park with river——a case study of the North Canal country park in Wuqing district of Tianjin city[J]. Journal of Tianjin University (Social Sciences), 2017, 19(6):536-541. (in Chinese)
- [22] 宇振荣, 张茜, 肖禾, 等. 我国农业/农村生态景观管护对策探讨[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(7):813-818.
YU Z R, ZHANG Q, XIAO H, *et al.* Countermeasures of landscape and ecological stewardship in agricultural/rural area of China [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2012, 20(7):813-818. (in Chinese)
- [23] 葛敏, 臧淑英, 马涛, 等. 产业融合视角下城市旅游发展的双路径研究——以苏州市为例[J]. 森林工程, 2016, 32(2):87-92.
GE M, ZANG S Y, MA T, *et al.* Dual-path research on urban tourism development from the perspective of industrial integration——taking Suzhou city as an example[J]. Forest Engineering, 2016, 32(2):87-92.
- [24] 李伯华, 刘沛林, 窦银娣, 等. 景区边缘型乡村旅游地人居环境演变特征及影响机制研究——以大南岳旅游圈为例[J]. 地理科学, 2014, 34(11):1353-1360.
LI B H, LIU P L, DOU Y D, *et al.* Evolution characteristics and influence mechanism of human settlements in rural tourism destinations of edge type of scenic spot: a case study of "great Nanyue tourism circle"[J]. Scientia Geographica Sinica, 2014, 34(11):1353-1360. (in Chinese)

(上接第 257 页)

- [15] 江泽慧, 吕文华, 费本华, 等. 3 种华南商用藤材的解剖特性[J]. 林业科学, 2007, 43(1):121-126.
JIANG Z H, LV W H, FEI B H, *et al.* Anatomical characteristics of three commercial rattan canes in South China[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2007, 43(1):121-126. (in Chinese)
- [16] 中国科学院数学研究所数理统计组. 正交试验法[M]. 北京: 人民教育出版社, 1975.
- [17] 曹积微, 袁哲, 强明礼. 云南 3 种棕榈藤材材性分析及开发利用价值评价[J]. 西北林学院学报, 2016, 31(4):265-268.
CAO J W, YUAN Z, QIANG M L. Properties analysis and value evaluation for three rattan species in Yunnan[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2016, 31(4):265-268. (in Chinese)