

# 荆条弯曲软化工艺条件研究

张晓燕,高 璟,刘倩云,赵丽娟

(河北农业大学 林木种质资源与森林保护重点实验室,河北 保定 071000)

**摘 要:**取相同跨高比且直径相近的荆条试样用不同方法、在不同工艺条件下进行软化处理,测试荆条试样的纵向抗弯强度、最大弯曲挠度、弹性模量等力学指标,以探讨最适软化工艺条件。结果表明:1)在水煮,100℃条件下,荆条处理 2.5 h 时,其弯曲挠度最大,软化效果最佳。2)用 10% 碳酸氢钠溶液、100℃处理荆条 75 min,其抗弯弹性模量最小,软化效果最佳。3)用 10% 乙二胺溶液、60℃处理荆条 1.5 h,其弯曲挠度最大,软化效果最佳。4)用 20% 尿素溶液、100℃,处理荆条 1.5 h,其弯曲挠度最大,抗弯弹模最小,软化效果最佳。4 种软化处理方法尿素处理方法软化效果最佳,其次是乙二胺处理方法。

**关键词:**荆条;软化处理;最大弯曲挠度;弹性模量

**中图分类号:**S793.7      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-7461(2015)03-0237-05

## Technological Conditions for Softening *Vitex negundo* Twigs

ZHANG Xiao-yan, GAO Jing, LIU Qian-yun, ZHAO Li-juan

(Key Lab of Forest Resources and Forest Protection, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071000, China)

**Abstract:** In order to search the Longitudinal bending performance of *Vitex negundo* twigs which being softened with different physical and chemical methods, and find out the best way to soften, mechanical properties such as bending strength, maximum bending deflection and modulus of elasticity of the twigs which in the same span to diameter ratio and the similar diameter softened in different methods and different conditions were tested. The results indicated that 1) when the temperature was 100 ℃, treated with water for 2.5 h, the maximum bending deflection was the largest. 2) When the temperature was 100 ℃, treated with 10% NaHCO<sub>3</sub> solution for 75 min, the bending elastic modulus was minimum. 3) When the temperature was 60 ℃, treated with 10% ethylene diamine solution for 1.5 h, the maximum bending deflection was the largest. 4) When the temperature was 100 ℃, treated with 20% urea solution for 1.5 h, the bending deflection was the largest and the modulus of elasticity was minimum, which was the best softening condition.

**Key words:** *Vitex negundo* twig; softening treatment; maximum bending deflection; modulus of elasticity

荆条(牡荆)是马鞭草科落叶灌木,常生于山地阳坡上,形成灌丛,对荒山绿化和防止风沙有很好作用<sup>[1]</sup>,是优良的水土保持树种;其枝条粗细均匀,坚韧有弹性,是优良的编织材料。目前关于荆条的研究主要集中在资源调查和育苗方面<sup>[2-3]</sup>,而荆条软化处理工艺研究报道尚少。近年来,人们越来越注重健康生活,在家具材料的选择上更加注重生态和环

保,因此,竹藤类家具有了很大的发展空间和消费市场<sup>[4-5]</sup>。目前尚无灌木及藤材物理力学性能测试的国家标准,现有的关于灌木或藤仅见于沙柳材<sup>[6-7]</sup>,棕榈藤<sup>[8-9]</sup>,荆条藤柳<sup>[10]</sup>等力学性质测试方法的研究。由于荆条的结构特性,在无统一的取样部位和测试方法的前提下,荆条的物理力学性质的测定值缺乏相互比较的基础。为探究荆条高附加值加工利

收稿日期:2014-08-21 修回日期:2014-10-01

基金项目:国家科技部“十一五”科技支撑计划项目(2006BAD03A11);河北省林业局项目(0803015);河北农业大学重点科研基金(20120205)。

作者简介:张晓燕,女,博士,副教授,研究方向:木材材性及加工利用。E-mail:zhangxy@hebau.edu.cn

用形式,研发荆编家具,采用相同跨高比、且直径相近的荆条试样测试不同方法软化处理后荆条的最大弯曲挠度、抗弯强度、弹性模量等力学指标,以找出最佳软化条件。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

荆条(*Vitex negundo* var. *heterophylla*),直径7~8 mm,采自河北省保定市易县清西陵(111.3°E、39°N)。

设备:WDW-100 微控电子万能试验机(济南试金集团有限公司)。

### 1.2 试样制备

为保证试样弯曲强度计算的精度,跨(支座间距)高比应>5,即 $L/h>5^{[11]}$ ,跨高比8~12 均能满足测试精度要求<sup>[12]</sup>。由于试样过长荆条不易弯断破坏,过短不利于测试各弯曲力学指标,采用跨高比12,选取直径7~8 mm,跨度为96 mm,试样长度120 mm的试样,测试各指标。为避免荆条节疤影响,锯截试样时应保证试样两端的节疤保持对称且中部加载部位附近无节疤。

### 1.3 软化处理方法

参考相关资料<sup>[13-14]</sup>,本研究采用水煮、10%尿素、30%尿素、10%碳酸氢钠、10%乙二胺等物理化学软化处理方法;处理温度取60℃和100℃;60℃时一般加热时间为0.5~4 h;100℃时一般加热时间为15~75 min。每处理重复测定5个试样。

每种处理先进行单因素试验,根据测出的弯曲挠度、弹性模量等力学性能指标,选出各处理的最佳软化工艺条件。当不好判定最佳软化条件时,则对较优方案进一步试验确定优选方案。多试样单因素试验,水煮处理按温度100℃、处理时间1.5 h和2.5 h,每组30个试样;NaHCO<sub>3</sub>溶液软化处理按温度100℃、处理时间15 min和75 min,每组30个试样;尿素溶液软化处理正交试验设计9个处理<sup>[15]</sup>,外加一组验证试样,每组5个试样,共计50个试样。

### 1.4 荆条抗弯强度、最大弯曲挠度以及抗弯弹性模量测定方法

参照GB/T1936.1-2009“木材抗弯强度试验方法”<sup>[116]</sup>,采用中央单点加载法测定。

由于试件均为圆形截面,其惯性矩 $I_z=\pi d^2/64$ ,荆条的抗弯强度计算由材料力学理论<sup>[12]</sup>得出。

抗弯强度MOR计算公式

$$\sigma_w=\frac{8FL}{\pi d^3} \tag{1}$$

式中: $F$ :最大荷载(N); $L$ :两支座距离(mm); $d$ :试

件直径(mm)。

试样的最大弯曲挠度为试样弯曲最大位移量,从弯曲曲线上读取。

抗弯弹性模量参照GB/T1936.1-2009“木材抗弯弹性模量试验方法”<sup>[17]</sup>及沙柳材物理力学性质测定方法<sup>[6-7]</sup>进行,采用中央单点加载法测定。

荆条抗弯弹性模量的计算:由于试件为圆形截面,其惯性矩 $I_z=\pi d^4/64$ ,由材料力学理论得出:

抗弯弹性模量MOE计算公式

$$E_w=\frac{4\Delta FL^3}{3\pi d^4\Delta f} \tag{2}$$

式中: $\Delta F$ :上下限荷载之差(N); $\Delta f$ :上下限荷载间试件中部的挠度(mm); $L$ :两支座距离(mm); $d$ :试件直径(mm)。

## 2 结果与分析

### 2.1 水煮软化处理对荆条力学指标的影响

当温度为100℃时,处理1.5 h的弯曲挠度最大,为21.88 mm,2.5 h的弯曲挠度次之,为19.99 mm,但处理时间2.5 h的抗弯弹性模量(7 906.59 MPa)<1.5 h的弹模(9 123.66 MPa),二者软化处理效果相近,不能判断最佳的软化条件(表1)。所以,对这两个条件进一步用30个试样进行试验,在水煮条件下,当温度为100℃,处理2.5 h时荆条弯曲挠度最大,抗弯弹性模量与处理时间1.5 h的接近,软化效果最佳(表2)。

表 1 水煮软化处理对荆条力学指标的影响				
Table 1 Results of softening with hot water				
温度 /℃	时间 /h	最大挠度 /mm	弹性模量 /MPa	抗弯强度 /MPa
60	0.5	8.91	12 444.44	124.57
	1.5	16.08	10 277.37	100.05
	2.5	17.28	9 605.15	111.98
	3.5	19.85	10 889.19	107.80
	4.5	10.62	10 036.57	91.21
100	0.5	16.73	7 512.09	83.04
	1.5	21.88	9 123.66	62.39
	2.5	19.99	7 906.59	70.05
	3.5	10.92	8 199.20	53.94

注,样本数 $n=5$ 。

### 2.2 NaHCO<sub>3</sub>溶液软化处理对荆条力学指标的影响

当温度为100℃时,处理15 min的弯曲挠度最大(18.39 mm),但抗弯弹性模量的值较高;75 min的弯曲挠度较小(16.62 mm),但抗弯弹性模量最小(表3),据此,不能够判断最适宜的软化条件。进一步用30个试样试验可以看出,用10% NaHCO<sub>3</sub>溶液处理,当温度为100℃,处理75 min时,弯曲挠度

与处理时间为 15 min 的接近,即处理时间对挠度的影响不大,但处理时间为 75 min 的抗弯弹模小(表 4),为本处理方法的最佳方案。

表 2 水煮软化处理对荆条力学指标影响的优选  
Table 2 Results of optimization scheme for softening with hot water

温度 /℃	时间 /h	最大挠度 /mm	弹性模量 /MPa	抗弯强度 /MPa
100	1.5	15.81	7 878.12	78.20
	2.5	17.03	7 920.95	84.46

注,样本数  $n=30$ 。

表 3 NaHCO<sub>3</sub> 溶液软化处理对荆条力学指标的影响  
Table 3 Results of softening with NaHCO<sub>3</sub> solution

温度 /℃	时间 /h	最大挠度 /mm	弹性模量 /MPa	抗弯强度 /MPa
60	0.50	9.26	11 994.37	210.61
	1.00	9.92	13 053.83	188.41
	1.50	10.18	8 937.25	126.65
	2.00	10.61	9 597.80	147.29
	2.50	14.40	11 021.90	143.34
	3.00	12.71	9 779.88	135.23
100	0.25	18.39	8 371.96	114.65
	0.50	14.57	8 494.13	100.60
	0.75	16.68	10 527.52	117.64
	1.00	15.70	7 007.82	85.36
	1.25	16.62	6 302.92	86.71
	1.50	14.56	6 947.90	93.03

注:样本数为 5。

表 4 NaHCO<sub>3</sub> 溶液软化处理对荆条力学指标影响的优选方案

Table 4 Results of optimization scheme for softening with NaHCO <sub>3</sub> solution					
温度 /℃	时间 /min	样本 /个	最大挠度 /mm	弹性模量 /MPa	抗弯强度 /MPa
100	15	30	14.72	10 565.97	99.29
	75	30	14.02	8 400.38	93.01

2.3 乙二胺溶液软化处理对荆条力学指标的影响

当温度为 60℃,处理时间为 1.5 h 时,荆条的弯曲挠度最大,为 17.49 mm,且抗弯弹性模量较小,为 5 016.27 MPa(表 5),为本处理方法的最佳方案。

2.4 尿素溶液软化处理对荆条力学指标的影响

2.4.1 不同因子对荆条力学指标的影响 用 10% 尿素溶液,在 60℃温度下,处理 2.5 h、3 h 时,荆条的弯曲挠度较大(分别 18.80 mm、18.69 mm),且抗弯弹模较小(分别 6 787.01 MPa、6 652.11 MPa);在 100℃温度下,处理 60 min、75 min 时,荆条的弯曲挠度最大(分别 21.07 mm、20.72 mm),且抗弯弹模较小(分别 5 730.94 MPa、6 849.09 MPa)。用 30% 尿素溶液条在 100℃温度下,处理 75 min 时,荆条的弯曲挠度较大(15.96 mm)、且抗弯弹模很小(4 880.45 MPa)(表 6)。可见,用尿素对荆条进行

软化处理的工艺条件复杂,需进一步试验确定。

表 5 乙二胺溶液软化处理对荆条力学指标的影响  
Table 5 Results of softening with ethylenediamine solution

温度 /℃	时间 /h	最大挠度 /mm	弹性模量 /MPa	抗弯强度 /MPa
60	0.50	10.04	8 276.05	102.59
	1.00	11.25	5 492.78	83.29
	1.50	17.49	5 016.27	71.94
	2.00	13.68	3 811.34	59.55
	2.50	11.12	3 198.85	42.63
	3.00	8.31	6 392.60	64.75
100	0.25	12.22	7 537.13	95.23
	0.50	10.81	6 364.96	83.61
	0.75	12.19	5 046.42	73.07
	1.00	12.93	5 767.65	63.95
	1.25	10.10	4 656.72	51.70

注,样本数  $n=5$ 。

表 6 尿素溶液软化单因素试验处理对荆条力学指标的影响

Table 6 Results of single factor experiments for softening with urea solution					
浓度 /%	温度 /℃	时间 /h	最大挠度 /mm	弹性模量 /MPa	抗弯强度 /MPa
10	60	0.50	10.65	10 824.06	155.36
		1.00	16.17	6 362.82	84.87
		1.50	15.34	7 298.16	101.60
		2.00	19.92	8 365.94	90.34
		2.50	18.80	6 787.01	73.80
		3.00	18.69	6 652.11	70.86
	100	0.25	15.43	6 820.02	89.26
		0.50	15.83	6 769.35	67.59
		0.75	18.09	6 013.70	72.53
		1.00	21.07	5 730.94	75.57
		1.25	20.72	6 849.09	73.65
		1.50	15.96	4 880.45	64.36
30	60	0.50	5.95	8 047.56	136.32
		1.00	10.85	7 945.33	128.21
		1.50	9.32	7 452.26	123.47
		2.00	9.71	6 295.09	102.12
		2.50	8.53	8 212.56	139.25
		3.00	8.85	7 499.73	111.26
	100	0.25	12.10	6 374.37	100.17
		0.50	15.83	5 189.48	87.71
		0.75	15.06	5 410.21	82.54
		1.00	11.64	4 802.72	62.52
		1.25	15.96	4 880.45	64.36

注,样本数  $n=5$ 。

2.4.2 因子组合对荆条力学指标的影响 正交试验极差分析结果(表 7)可以看出,温度对最大挠度和弹性模量影响最大,时间次之,浓度的影响最小。若仅考虑最大挠度得到的最佳工艺组合是 A<sub>2</sub>B<sub>3</sub>C<sub>2</sub>,即温度 100℃,时间 1.5 h,浓度 20%;若仅考虑弹性模量得到的最佳组合是 A<sub>3</sub>B<sub>3</sub>C<sub>1</sub>,即温度 100℃,时间 2.0 h,浓度 10%。在 3 个因素中,温度对两者的影响相同,故温度 100℃最优。当时间为 1.5 h 时,虽然弹性模量比 2.0 h 的高,但最大挠度也比 2.0 h 的高,最大挠度是判断荆条弯曲性能的第一重要因

素,所以,时间取 1.5 h。浓度对最大挠度和弹性模量的影响最小,浓度为 30%时,最大弯曲挠度明显减小。综合考虑两者的情况,对 2 个组合 A<sub>2</sub>B<sub>3</sub>C<sub>1</sub>和 A<sub>2</sub>B<sub>3</sub>C<sub>2</sub> 进行验证试验,结果(表 8)表明,在 100℃温度下,用 20%尿素溶液处理荆条 1.5 h 时,最大挠度最大,抗弯弹模小,软化处理效果最佳。若考虑浓度的影响最小,且浓度低、软化处理更经济,可考虑选取处理温度 100℃、加热时间 1.5 h,浓度 10%为优选方案。

表 7 尿素溶液软化正交试验处理对荆条力学指标的影响  
Table 7 Results of orthogonal experiments for softening with urea solution

试验号	时间/h	温度/℃	浓度/%	最大挠度/mm	弹性模量/MPa
1	1.0	60	10	10.73	9 502.97
2	1.0	80	20	14.64	9 572.55
3	1.0	100	30	10.96	8 900.25
4	1.5	60	20	12.31	10 903.32
5	1.5	80	30	17.25	6 723.38
6	1.5	100	10	22.86	6 102.49
7	2.0	60	30	10.18	8 631.15
8	2.0	80	10	13.85	8 213.60
9	2.0	100	20	24.65	5 217.92
K1	36.32	33.22	47.43	Σ123.58	
K2	52.42	45.73	51.60		
K3	48.67	58.46	38.38		
X1	12.11	11.07	15.81		
X2	17.47	15.24	17.20		
X3	16.22	19.49	12.79		
R(极差)	5.36	8.42	4.40		
K1	27 975.77	29 037.43	23 819.05	Σ73 767.63	
K2	23 729.19	24 509.53	25 693.78		
K3	22 062.67	20 220.66	24 254.78		
X1	9 325.26	9 679.14	7 939.68		
X2	7 909.73	8 169.84	8 564.59		
X3	7 354.23	6 740.22	8 084.93		
R(极差)	1 971.04	2 938.92	624.91		

表 8 尿素溶液软化处理正交试验验证结果  
Table 8 Validation results of orthogonal experiments for softening with urea solution

时间/h	温度/℃	浓度/%	最大挠度/mm	弹性模量/MPa	抗弯强度/MPa
1.5	100	10	22.86	6 102.49	75.57
1.5	100	20	24.54	5 334.68	74.86

### 3 结论与讨论

弯曲挠度是衡量荆条弯曲软化效果的重要力学指标之一,在同跨高比前提下,其值越大,则弯曲软化效果越好。抗弯弹性模量代表木材的弹性,即比例极限内抵抗弯曲变形的能力。抗弯弹模越大,则越刚硬;反之,则比较柔曲。因此,弯曲挠度大、抗弯弹模小、抗弯强度能满足使用要求,是确定荆条弯曲

软化最佳处理方案的原则。

以荆条为研究对象,测定相同跨高比前提下不同软化处理方法处理后荆条的弯曲指标,探索最佳软化工艺条件,结果表明,水煮条件下,温度为 100℃,处理 2.5 h;10% NaHCO<sub>3</sub> 溶液 100℃温度下处理 75 min;10% 乙二胺溶液 60℃温度下处理 1.5 h;20%尿素溶液 100℃温度下处理 1.5 h 时,荆条弯曲挠度最大(24.54 mm),抗弯弹性模量小,软化效果较佳。4 种软化处理方法尿素处理方法软化效果最佳,其次是乙二胺处理方法,与参考文献[17, 18]介绍的软化方法是行之有效的。但由于本研究是在小试样条件下得出的结果,尚需进一步扩大试样试验检验,以获得 4 种软化方法的最佳处理方案。

### 参考文献:

[1] 符亚儒,张继平,董强,等. 陕北沙区煤矸石废弃地的植被恢复技术研究[J]. 西北林学院学报, 2012, 27(5): 178-183.  
FU Y R, ZHANG J P, DONG Q, *et al.* Vegetation restoration technologies in the coal gangue waste lands in sandy areas of northern shaanxi[J]. Journal of Northwest Forest University, 2012, 27(5): 178-183. (in Chinese)

[2] 张金瑞,高甲荣,崔强,等. 三种典型立地荆条种群及种间分布的空间点格局[J]. 浙江农林大学学报, 2013, 30(2): 226-233.  
ZHANG J R, GAO J R, CUI Q, *et al.* Point pattern analysis for relationships of *Vitex negundo* var. *heterophylla* in three tipycal stands [J]. January of Zhejiang A &. F University, 2013,30(2):226-233. (in Chinese)

[3] 胡淑平,余新晓,郭永盛. 北京山区天然荆条灌丛立地条件的数量化分析[J]. 林业资源管理, 2010(3):60-63.

[4] 强明礼,袁哲. 现代藤家具加工工艺[J]. 林产工业, 2008, 35(4):46-49.  
QIANG M L, YUAN Z. Processing technology of modern rattan furniture[J]. China Forest Products Industry, 2008, 35(4): 46-49. (in Chinese)

[5] 杨庆,行淑敏,师容. 家具材料的调查分析[J]. 木材工业, 2001,15(4):24-26.

[6] 红岭,安珍. 沙柳材物理力学性质的测定[J]. 林产工业, 2012(4):56-59.  
HONG L, AN Z. Physical and mechanical properties determination of salix [J]. China Forest Products Industry, 2012(4): 56-59. (in Chinese)

[7] 孙娟,王喜明,贺勤. 沙柳材物理力学性能及其测试方法的研究[J]. 林产工业, 2012(2):57-59.  
SUN J, WANG X M, HE Q. Study on physical and mechanical properties and test methods of salix [J]. China Forest Products Industry, 2012(4):56-59. (in Chinese)

[8] 罗真付,张雪峰,陆步云,等. 棕榈藤力学性质及测试方法的研究[J]. 家具与室内装饰, 2012(7):108-110.

[9] 吕文华,刘杏娥,汪佑宏. 棕榈藤材的抗拉强度测试方法[J]. 木材加工机械, 2010, 21(1):20-23.

[10] 高璟,张晓燕,卢国新,等. 荆条藤柳力学性质测试与对比

研究[J]. 林业实用技术, 2012(11):103-106.

[11] 孙训芳, 方孝淑, 关来泰, 编. 材料力学( I ) [M]. 北京: 高等教育出版社, 2009.

[12] 高璟, 张晓燕, 卢国新, 等. 高径比跨高比对荆条纵向抗压抗弯性能测试精度的影响[J]. 西北林学院学报, 2014, 29(4):214-218.  
GAO J, ZHANG X Y, LU G X, *et al.* The influence of height to diameter and span to diameter ratios on test precision of compressive and bending properties of *Vitex negundo* twigs [J]. Journal of Northwest Forest University, 2014, 29(4): 214-218. (in Chinese)

[13] 程瑞香, 张齐生. 高温软化处理对竹材性能及旋切单板质量的影响[J]. 林业科学, 2006, 42(11):97-100  
CHENG R X, ZHANG Q S. Effect of high temperature softening treatment on property and veneer quality of bamboo [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2006, 42(11):97-100. (in Chinese)

[14] 赵瑞艳, 付钧钧. 不同软化处理方法对竹材质量的影响[J]. 佳木斯大学学报, 2009, 27(4):637-640  
ZHAO R Y, FU D J. The effect of different softening treatment methods on quality of bamboo[J]. Journal of Jamusi University, 2009, 27(4):637-640. (in Chinese)

[15] 续九如, 黄智慧, 编著. 林业试验设计[M]. 北京: 中国林业出版社, 1995.

[16] GB/T1936.1-2009. 木材抗弯强度试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.

[17] GB/T1936.2-2009. 木材抗弯弹性模量测定方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.

[18] 陈金法, 刘占朝, 王团荣. 荆条软化剂研制试验[J]. 河南林业科技, 1997, 17(1):33-34 .

[19] 胡玉喜, 林金星. 高度木质化材料软化的简便方法[J]. 植物杂志, 2000(3):31.  
HU Y X, LIN J X. simple methods high-wooded material [J]. Journal of Plants, 2000(3):31. (in Chinese)

(上接第 236 页)

[4] 成俊卿, 杨家驹, 刘鹏. 中国木材志[M]. 北京: 中国林业出版社, 1992: 150-152.

[5] 郑万钧. 中国树木志(第一卷) [M]. 北京: 中国林业出版社, 1983:176 -197.

[6] 牛春山. 陕西树木志[M]. 北京: 中国林业出版社, 1990: 4-7, 145-163, 164-171, 304-308, 630-632, 1074-1078.

[7] 竺可桢. 中国近五千年来气候变迁的初步研究[C]//竺可桢文集. 北京: 科学出版社, 1979:475-498.

[8] 赵泾峰, 段新芳, 冯德君, 等. 西藏古建筑房椽木构件树种鉴定研究[J]. 西北林学院学报, 2007, 22(6):138-143.  
ZHAO J F, DUAN X F, FENG D J, *et al.* Identification of wood species in Tibet ancient buildings[J] Journal of Northwest Forestry University, 2007, 22(6):138-143. (in Chinese)

[9] 冯德君, 赵泾峰, 王自力. 陕西三桥汉代木桥遗址出土木材研究[J]. 西北林学院学报, 2008, 23(6):175-178.  
FENG D J, ZHAO J F, WANG Z L. Identification of unearthed woods from bridge ruins of Han Dynasty at Sanqiao, Shaanxi[J] Journal of Northwest Forestry University, 2008, 23(6):175-178. (in Chinese)

[10] 赵泾峰, 冯德君, 吕智荣. 韩城梁带村芮国 M502 墓葬出土木材研究[J]. 西北林学院学报, 2012, 27(1):238-259.  
ZHAO J F, FENG D J, LYU Z R. Identification of unearthed woods from Rui State Burial at Liangdai Village[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2012, 27(1):238-259. (in Chinese)

[11] 冯德君, 赵泾峰, 常君成, 等. 韩城梁带村芮国 M28 墓葬出土木材研究[J]. 西北林学院学报, 2012, 27(5):197-200.  
FENG D J, ZHAO J F, CHANG J C, *et al.* Identification of unearthed woods from Rui State Burial at Liangdai Village [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2012, 27(5): 197-200. (in Chinese)

[12] 冯德君, 王望生, 尹申平, 等. 陕西旬邑县东汉壁画墓出土木材的研究[J]. 西北林学院学报, 2002, 17(1):29-32.  
FENG D J, WANG W S, YIN S P, *et al.* Identification of unearthed woods from Fresco Grave of East Han at Xunyi, Shaanxi[J] Journal of Northwest Forestry University, 2002, 17(1):29-32. (in Chinese)

[13] 冯德君, 杨军凯, 赵泾峰, 等. 灞桥段家村汉代水上大型建筑遗址出土木材的研究[J]. 西北林学院学报, 2004, 19(1):136-141.  
FENG D J, YANG J K, ZHAO J F, *et al.* Identification of unearthed woods from big building ruins on the water of Han Dynasty at Duanjiacun, Baqiao[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2004, 19(1):136-141. (in Chinese)

[14] 安培钧, 赵志才, 韩伟. 秦公一号大墓出土木材材性及树种的研究[J]. 西北林学院学报, 1990, 5(2):10-16.  
AN P J, ZHAO Z C, HAN W. Identification of unearthed woods from Qin Ruins[J]. Journal of Northwest Forestry University, 1990, 5(2):10-16. (in Chinese)

[15] 段新芳, 李坚, 赵有科. 出土木材文物的保护处理方法[J]. 北京木材工业, 1995(1):13-16.