

杞柳秆茎主要解剖特征的变异研究

崔贺帅, 田根林, 杨淑敏, 尚莉莉, 马建锋, 刘杏娥*

(国际竹藤中心, 北京 100102)

摘要: 利用体视显微测量技术对杞柳秆茎主要解剖构造进行研究, 为杞柳材其他性能的研究及应用提供基础数据和理论指导。结果表明, 杞柳纤维、导管和射线比量分别为 71.04%、21.48% 和 7.48%, 沿径向变异均不显著。导管弦向直径、径向直径和导管密度分别为 37.41 μm 、46.02 μm 和 155.86 个 $\cdot\text{mm}^{-2}$, 沿径向和纵向变异均显著; 导管径弦比为 1.26, 在径向, 差异不显著而纵向差异显著。纤维长度、宽度、双壁厚、壁腔比和长宽比分别为 406.80 μm 、19.53 μm 、7.66 μm 、0.64 和 21.45, 径向变异均显著, 而纵向变异不显著; 纤维腔径比和腔径分别为 0.59 和 11.73 μm , 沿径向和纵向变异均不显著。

关键词: 杞柳; 解剖特征; 纤维; 径向变异; 纵向变异

中图分类号: S781.1; S793.9

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2015)03-0341-06

Variations in main anatomical features of the *Salix integra* stem

CUI Heshuai, TIAN Genlin, YANG Shumin, SHANG Lili, MA Jianfeng, LIU Xing'e

(International Centre for Bamboo and Rattan, Beijing 100102)

Abstract: The main anatomical features of the *Salix integra* stem investigated via stereological microscopic measurements will provide basic data and theoretical guidance to the other research and application of *Salix integra*. The proportions of fiber, vessel, and ray were 71.04%, 21.48%, and 7.48%, respectively with a non-significant radial variance. The radial width, tangential width, and frequency of the vessel were 37.41 μm , 46.02 μm , and 155.86 $\cdot\text{mm}^{-2}$, respectively and both the radial and longitudinal variances were significant. The radial-tangential width ratio of the vessel was 1.26 and the radical variance was significant, but the longitudinal variance was not significant. The average values of fiber length, width, double-wall thickness, double-wall thickness-lumen diameter ratio, and length-width ratio were 406.80 μm , 19.530 μm , 7.66 μm , 0.64, and 21.45, respectively and all radical variances were significant, but the longitudinal variances were not significant. The fiber lumen diameter-width ratio and lumen diameter were 0.59 and 11.73 μm , respectively, but the radical variance and longitudinal variance were not significant.

Key words: *Salix integra*; anatomical features; fiber; radical variance; longitudinal variance

杞柳 (*Salix integra*) 是杨柳科 (Salicaceae) 柳属 (*Salix*) 丛生的落叶灌木, 也称为嫁柳、簸箕柳、柳条等, 是我国的经济树种之一, 主要分布在黄河和淮河流域, 包括安徽、河南、河北、内蒙古、陕西、山西等地。杞柳生长快, 喜阳光, 耐干旱, 适应性强, 种植简单, 收益良好, 在我国种植广泛^[1]。杞柳高可达 2~4 m, 枝条柔软坚韧, 是一种很好的编织用材, 通常用来编织箩筐、簸箕、箱等 (俗称

为柳编), 大部分产品用于出口, 是我国出口创汇的一种重要林产品, 2013 年柳条等制品出口贸易总额达 4 亿多美元^[2]。杞柳韧性良好, 丰产速生, 广泛应用于建筑和包装等行业, 可以有效减轻我国木竹藤材应用消耗的压力, 缓解供需矛盾^[3]。

目前国内外对杞柳的研究主要集中在杞柳的丰产栽培技术、经济应用价值、生态防护等方面^[4-8], 另有部分研究只是以杞柳为对象, 来探讨重金属、

收稿日期: 2015-01-14

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划“绿色竹藤建筑材料制造技术与示范”(2012BAD23B01) 资助。

作者简介: 崔贺帅, 硕士研究生。E-mail: 407968294@qq.com

* 通信作者: 刘杏娥, 博士, 研究员。E-mail: liuxe@icbr.ac.cn

水胁迫等对杞柳生理生化的影响^[9-11]，而对杞柳自身解剖构造等方面的研究，目前鲜见报道。了解杞柳的解剖构造，可为杞柳材的物理力学性质的研究以及开发价值产品提供基础数据和理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

杞柳采自于安徽省阜阳市。选取3株生长良好、秆茎通直的3~5年生无病虫害的杞柳，放置于干燥的实验室内使其自然风干。风干后去除枝桠，将秆用于解剖实验。

1.2 方法

在杞柳秆茎基部(距地10 cm)、中部(距地120 cm)、梢部(距地210 cm)分别截取3段长约5 cm的试样，应注意尽量避免截取带有枝桠的部分，试样两端面要整齐无切痕。将加工好的试样按照所处高度分株放在9个盛水烧杯中，并编号，放置于恒温水浴锅中软化12 h。将软化好的试样剥皮、除去端面杂质进行切片，选择质量优良的切片进行番红-固绿二重染色。

随机挑选染色的横切面切片，利用体视测量技术在Leica三目显微镜自动成像系统上，沿径向等距离(除髓心)从树皮到髓芯分成4等分，分别标号为1、2、3和4，进行导管、射线和纤维组织比量以及导管径向直径、弦向直径和密度的测定^[12-15]。将制作切片剩余的试块，沿着径向顺着纹理切取3 mm左右的薄片，分外侧和内侧劈成火柴棒大小，在80℃的恒温水浴锅中经冰醋酸和双氧水混合液(体积比1:1)离析16 h后，进行纤维长度、宽度、腔径和双壁厚的测定^[16-17]。

2 结果与分析

2.1 构造特征

杞柳秆茎外侧为树皮，内侧为髓心，次生木质部位于两者之间，是秆茎的主要组成部分。图1A所示，杞柳的横切面以髓心为圆心，具有一圈圈同心的生长轮；髓心与木质部颜色明显不同，颜色较浅，由大而薄的细胞构成(图1b)。纤维细胞整齐排列，多为四边形或卵形细胞(图1c)；导管较密集而均匀的分布在木质部中(图1a)，大多呈单个排列，少数呈链状，符合散孔材^[18]导管的特征。轴向薄壁细胞未见；射线组织自髓心向木质部延伸，是唯一在横切面上呈辐射状横向排列的组织^[19]。

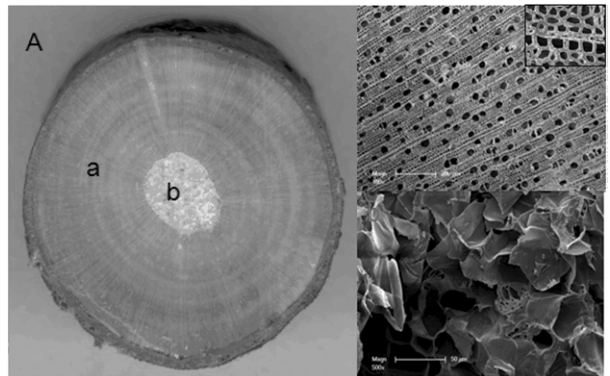


图1 杞柳的横切面
Figure 1 Transection of *Salix integra*

2.2 组织比量及径向变异

杞柳主要由导管、纤维和射线组成。在径向，各组织比量所占的体积不同，如表1所示。

表1 杞柳秆茎组织比量径向分布

Table 1 Radial distribution of tissue proportion for *Salix integra* stem

参数 Parameter	径向位置 Radial position				平均 Average
	1	2	3	4	
射线 Ray	6.63	9.00	7.00	7.80	7.48
导管 Vessel	21.88	21.60	19.00	23.20	21.48
纤维 Fiber	71.50	69.40	74.00	69.00	71.04

表2 杞柳导管、木射线和纤维比量方差分析

Table 2 ANOVA for tissue proportion of vessel, ray and fiber of *Salix integra*

参数 Parameter	平方和 SS	自由度 DF	均方 MS	F值 F value	显著性 Significance
导管 Vessel	15.1	2	7.55	1.492	0.249
射线 Ray	8.033	2	4.017	1.708	0.199
纤维 Fiber	45.633	2	22.817	2.392	0.101

注：*表示在0.05水平上差异显著。下同。

Note: "*" refers to significant difference at the 0.05 level. The same below.

纤维细胞两端尖削, 呈长纺锤形, 占杞柳总体积的 66.00%~78.00%, 平均为 71.04%。纤维组织是杞柳的主要组织, 主要起机械支撑作用, 对杞柳材的物理力学性质具有重要影响, 杞柳纤维比量略高于沙柳^[20], 远高于滩地沙埋杨树^[21], 这可能由于杞柳是为了适应风吹、水淹、泥掩等逆环境, 从而使承担机械作用的纤维的比量较高。在径向纤维比量从树皮向髓心先增大后减小, 产生这种变异可能与形成层的生长发育有关^[22]。导管是一种管状组织, 专司疏导养分等作用, 在杞柳茎秆中分布密集。导管组织比量约占杞柳体积的 14.00%~27.00%, 平均 21.48%, 小于沙柳和长江滩地沙埋杨树。在径向上, 导管比量由树皮向髓心先减小后逐渐增大, 符合树

木生长的特点, 靠近髓心的部分是在杞柳生长初期形成的, 和靠近树皮的部分一样都是较幼嫩的部分, 生长旺盛, 需要水分和矿物质较大, 导管比量较大。射线细胞是横向排列的薄壁细胞, 占杞柳体积的 4.00%~11.00%, 平均 7.48%, 高于沙柳, 低于长江滩地枫杨, 主要是由于杞柳生长的立地条件为多水、阳光足, 但淹水时间可能较短^[23-24], 同时也说明杞柳材抗劈力相对较小。在径向上, 射线组织比量由树皮向髓心逐渐增大, 至最大值后略有波动, 这一点与前人做的阔叶材研究有一定差别^[25-26]。

对杞柳材各组织比量在径向的分布进行差异性分析得出: 在径向上, 木射线比量、导管比量和纤维比量差异均不显著(表 2)。

表 3 导管的弦向直径、径向直径和径弦比
Table 3 Radial width, tangential width and radial-tangential width ratio of vessel

径向位置 Radial position	类别 Type	基部 Base	中部 Middle	梢部 Tip	纵向平均值 Longitudinal average
1	弦向直径/ μm Tangential width	33.96	36.83	33.72	34.84
	径向直径/ μm Radial width	43.96	45.08	37.60	42.21
	径弦比 Radial-tangential width	1.32	1.25	1.14	1.24
2	弦向直径/ μm Tangential width	47.15	36.03	39.38	40.85
	径向直径/ μm Radial width	55.20	47.64	44.30	49.05
	径弦比 Radial-tangential width	1.18	1.33	1.15	1.22
3	弦向直径/ μm Tangential width	45.23	34.56	39.01	39.60
	径向直径/ μm Radial width	54.43	46.78	45.55	48.92
	径弦比 Radial-tangential width	1.21	1.37	1.23	1.27
4	弦向直径/ μm Tangential width	36.72	32.47	33.80	34.33
	径向直径/ μm Radial width	44.79	45.65	41.24	43.89
	径弦比 Radial-tangential width	1.22	1.42	1.25	1.30
径向平均值 Radial average	弦向直径/ μm Tangential width	40.76	34.97	36.48	37.40
	径向直径/ μm Radial width	49.60	46.29	42.17	46.02
	径弦比 Radial-tangential width	1.23	1.34	1.19	1.26

表 4 导管密度分布
Table 4 The distribution of frequency for vessel individual $\text{个}\cdot\text{mm}^{-2}$

纵向位置 Longitudinal position	径向位置 Radial position				径向平均值 Radial average
	1	2	3	4	
基部 Base	131.94	159.72	163.19	184.03	159.72
中部 Middle	138.89	125.00	125.00	156.25	136.28
梢部 Tip	190.97	159.72	156.25	225.69	183.16
纵向平均值 Longitudinal average	153.94	148.15	148.15	188.66	155.86

2.3 导管形态特征及其变异

2.3.1 导管尺寸变异

杞柳导管的径向直径为 16.16~56.48 μm , 平均为 46.02 μm , 在径向上, 导管径向直径由树皮至髓心先增大后减小, 在纵向上由基部至树梢逐渐减小; 导管的弦向直径为 11.57~

72.56 μm , 平均为 37.4 μm , 不管是弦向直径还是径向直径都远远小于旱柳^[27]。木材韧性与纤维壁双壁厚、薄壁组织比量和导管宽度相关^[18]。根据弦向直径分级标准, 杞柳导管弦向直径属于“小”级, 结合 2.1 中的薄壁组织的未见和 2.4.4 中纤维双壁厚

可知,杞柳韧性高、脆性弱,是良好的编织用材因。在径向上导管弦向直径由树皮至髓心也是先增大后减小,在纵向上由基部至梢部则是先减小后逐渐

增大。导管直径的径弦比为 0.55~2.70,平均为 1.26,在径向上由树皮至髓心先减小后增大;在纵向上由基部至梢部则是先增大后减小,见表 3。

表 5 导管密度、弦向直径、径向直径及径弦比的方差分析

Table 5 ANOVA for frequency, radial width, tangential width and radial-tangential width ratio of vessel

参数 Parameter	F value		显著性 Significance	
	纵向	径向	纵向	径向
	Longitudinal direction	Radial direction	Longitudinal direction	Radial direction
导管密度 Frequency of vessel	8.090	4.610	0.001*	0.017*
弦向直径 Tangential width	16.925	22.610	0.000*	0.000*
径向直径 Radial width	18.206	10.770	0.000*	0.000*
径弦比 Radial-tangential width	9.626	2.249	0.000*	0.087

2.3.2 导管密度变异 杞柳导管密度为 86.81~329.86 个·mm⁻²,平均为 155.86 个·mm⁻²,在径向上由树皮至髓心先减小后增大;在纵向上表现相似的特征,即由基部至梢部是先减小后增大,见表 4。

由差异分析可知:在径向方向上,导管密度、弦向直径、径向直径差异显著,径弦比差异不显著;在纵向方向上导管密度、弦向直径、径向直径及径弦比差异都显著(表 5)。

2.4 纤维形态特征变异

2.4.1 纤维长度 纤维长度是衡量造纸性能的一个重要指标,而且对原料自身材性也有极大影响。杞柳的纤维长度为 105.96~689.49 μm,平均为 406.80 μm,小于沙柳并远小于旱柳。根据纤维长度分级标准,其纤维长度属于“短”级,一般不适宜作为造纸原料^[28-29]。在径向上外侧纤维长度高于内侧纤维长度,纵向上由基部至梢部逐渐减小,如表 6 所示。

表 6 杞柳纤维长度、宽度、腔径和双壁厚的径向、纵向分布

Table 6 The radial and longitudinal distribution of fiber length, width, lumen diameter and double-wall thickness for *Salix integra*

类别 Type		基部 Base	中部 Middle	梢部 Tip	纵向平均值 Longitudinal average
纤维长度/μm Fiber length	外侧 Outside	510.02	463.53	478.35	483.97
	内侧 Inside	399.47	356.94	232.50	329.64
	平均 Average	454.75	410.24	355.43	406.80
纤维宽度/μm Fiber width	外侧 Outside	19.70	21.88	21.92	21.17
	内侧 Inside	18.52	20.14	15.04	17.90
	平均 Average	19.11	21.01	18.48	19.53
纤维腔径/μm Fiber lumen diameter	外侧 Outside	11.54	13.92	13.10	12.85
	内侧 Inside	10.86	12.46	8.01	10.44
	平均 Average	11.20	13.19	10.56	11.65
纤维双壁厚/μm Fiber double-wall thickness	外侧 Outside	8.86	7.83	4.41	8.35
	内侧 Inside	6.45	7.68	3.51	6.96
	平均 Average	7.66	7.76	3.96	7.66

2.4.2 纤维宽度 纤维宽度即纤维直径。杞柳的纤维宽度为 5.87~39.16 μm,平均为 19.53 μm,高于沙柳而低于旱柳。在径向上外侧纤维宽度高于内侧纤维宽度,纵向上由基部至梢部呈先增大后减小的趋势,见表 6,产生这种结果,一种可能是因为杞柳自身的遗传特性,二种可能是因为环境变化(比如水淹、干旱、泥埋等)造成的^[30]。

2.4.3 纤维腔径 杞柳的纤维腔径为 2.30~30.30

μm,平均为 11.73 μm。在径向上外侧纤维腔径高于内侧纤维腔径,纵向上由基部至梢部先增大后减小,见表 6。

2.4.4 纤维双壁厚 杞柳纤维的双壁厚度为 1.63~16.09 μm,平均为 7.66 μm,远高于沙柳、旱柳和毛白杨等造纸原料。纤维双壁厚一般与纤维宽度呈正相关^[19]。在径向上外侧纤维双壁厚高于内侧纤维双壁厚;纵向上,基部和中部纤维双壁厚相差不大,

梢部纤维双壁厚小于中部和基部, 如表 6 所示, 这是由于梢部是分活跃的部分, 细胞分裂频繁, 营养供给不足支持活动所需, 造成壁薄腔大^[21]。

2.4.5 纤维长宽比 纤维长宽比是指纤维长度与弦向直径的比值。杞柳纤维长宽比为 7.72~50.40, 平均为 21.45, 小于沙柳, 远远小于毛白杨、红松等造纸材^[20]。在径向上外侧纤维长宽比高于内侧纤维长宽比; 在纵向上, 由基部至梢部, 纤维长宽比逐渐减小, 如表 7 所示。

2.4.6 纤维壁腔比 纤维双壁厚度与胞腔直径之比称为纤维壁腔比。杞柳纤维壁腔比为 0.11~2.59, 平均为 0.64, 高于沙柳和毛白杨。结合 2.4.4 中的纤

维壁厚, 表明杞柳纤维不容易破裂, 交织能力低。在径向上外侧和内侧的纤维壁腔比变化不大; 在纵向上, 由基部到梢部纤维壁腔比先减小后增大, 如表 7 所示。从造纸原料的选择来看, 一般认为只要纤维长宽比大于 35, 壁腔比小于 1, 且杂细胞含量小于 50%, 都可作为造纸原料^[16,19,28]。由此再次证明: 杞柳不是造纸的良好原料。

2.4.7 纤维腔径比 纤维腔径比是指纤维腔径与纤维直径的比值。杞柳纤维腔径比为 0.25~0.90, 平均为 0.59。在径向上外侧和内侧的纤维腔径比变化不大; 纵向上由基部至梢部先增大后减小, 如表 7 所示。

表 7 杞柳纤维长宽比、壁腔比和腔径比的径向、纵向分布

Table 7 The radial and longitudinal distribution of fiber length-width ratio, double-wall thickness-lumen diameter ratio and lumen diameter-width ratio for *Salix integra*

类别 Type		基部 Base	中部 Middle	梢部 Tip	纵向平均值 Longitudinal average
纤维长宽比 Fiber length-width ratio	外侧 Outside	26.67	23.33	22.33	24.11
	内侧 Inside	22.42	18.06	15.91	18.80
	平均 Average	24.55	20.70	19.12	21.45
纤维壁腔比 Fiber double-wall thickness-lumen diameter ratio	外侧 Outside	0.96	0.28	0.72	0.65
	内侧 Inside	0.64	0.37	0.89	0.63
	平均 Average	0.80	0.33	0.81	0.64
纤维腔径比 Fiber lumen diameter-width ratio	外侧 Outside	0.54	0.61	0.59	0.58
	内侧 Inside	0.64	0.63	0.51	0.59
	平均 Average	0.59	0.62	0.55	0.59

表 8 杞柳纤维的长度、宽度、腔径、双壁厚、腔径比、壁腔比及长宽比方差分析

Table 8 ANOVA for fiber length, width, double-wall thickness, double-wall thickness-lumen diameter ratio, length-width ratio, lumen diameter-width ratio and lumen diameter of *Salix integra*

参数 Parameter	F value		显著性 Significance	
	纵向 Longitudinal direction	径向 Radial direction	纵向 Longitudinal direction	径向 Radial direction
长度 Length	1.786	86.686	0.174	0.000*
宽度 Width	2.203	21.033	0.117	0.000*
腔径 Lumen diameter	3.346	7.172	0.040*	0.008*
双壁厚 Double-wall thickness	1.009	18.338	0.369	0.000*
腔径比 Lumen diameter-width ratio	2.869	0.235	0.062	0.628
壁腔比 Double-wall thickness-lumen diameter ratio	3.374	4.852	0.039*	0.029*
长宽比 Length-width ratio	5.048	23.517	0.008*	0.000*

对杞柳纤维的形态特征进行差异分析可知: 纤维的长度、宽度、双壁厚、腔径比在纵向上差异不显著, 而腔径、壁腔比和长宽比差异显著。在径向位置上, 纤维的长度、宽度、腔径、双壁厚、壁腔比及长宽比差异显著, 而腔径比差异不显著(表 8)。

3 结论

杞柳秆茎中纤维、导管和射线组织比量分别为

71.04%、21.48%和 7.48%。在径向, 从树皮到髓心, 纤维组织比量先增大后减小, 而导管组织比量则是先减小后逐渐增大, 射线组织比量则是逐渐增大, 至最大值后略有波动; 三者径向变异均不显著。

导管弦向直径、径向直径、径弦比及密度平均值分别为 37.41 μm 、46.02 μm 、1.26 和 155.86 个 $\cdot\text{mm}^{-2}$ 。在径向, 由树皮至髓心, 弦向直径、径向直径都是先增大后减小, 而径弦比则是先减小后增

大;在纵向,由基部至梢部,弦向直径、径向直径逐渐减小,而径弦比则是先增大后减小。径向上,径弦比变异不显著,而其余三者显著,纵向上四者均显著。

纤维的长度、宽度、腔径、双壁厚、腔径比、壁腔比及长宽比的平均值分别为 406.80 μm 、19.53 μm 、11.73 μm 、7.66 μm 、0.59、0.64 和 21.45。在纵向,由基部至梢部纤维宽度、腔径、双壁厚、腔径比先增大后减小,长度和长宽比则是逐渐减小,腔径比先减小后增大;在径向,外侧纤维宽度、腔径、双壁厚、长度、长宽比、壁腔比大于内侧,外侧腔径比小于内侧。径向上,腔径比变异不显著而其余指标显著;纵向上,腔径、壁腔比和长宽比变异显著,其余指标不显著。

杞柳的纤维和导管比量均低于沙柳,纤维长度和长宽比小于沙柳,纤维宽度、双壁厚和壁腔比都高于沙柳,纤维形态差,不适合作为造纸原料。杞柳射线比量远远高于沙柳;导管直径远小于旱柳,而双壁厚却大于沙柳、毛白杨等,韧性好,适宜做编织材料。

参考文献:

- [1] 万连步,杨力,张民.杞柳[M].济南:山东科学技术出版社,2004.
- [2] 海关信息网.柳条制篮筐及其他编结品出口贸易[EBO/OL].<http://www.haiguan.info/OnLineSearch/Trade-Stat/StatComSub.aspx?TID=1&key=46021930>,2013-01-01/2013-12-31.
- [3] 索鹏,王进京,贾会茹.乡土树种——杞柳[J].河北林业,2003(5):22.
- [4] 冯鲜,禹丽娜.杞柳栽培技术及应用[J].现代农村科技,2014(1):44-45.
- [5] 梁明哲.杞柳栽培技术[J].辽宁林业科技,2013(1):58-59.
- [6] 甘志宏,于士勇.杞柳的栽培技术及综合效益分析[J].吉林水利,2011(9):44-46.
- [7] 高胜定.杞柳经济价值及其栽培技术[J].江苏林业科技,1981(4):63-64.
- [8] 王钰.杞柳的经济价值及栽培技术[M].盐城:盐城专区人民出版社,1960.
- [9] 王树凤,施翔,孙海菁,等.镉胁迫下杞柳对金属元素的吸收及其根系形态构型特征[J].生态学报,2013,33(19):6065-6073.
- [10] 赵竑维,赵阳,张驰,等.模拟淹水对杞柳生长和光合特性的影响[J].生态学报,2013,33(3):896-906.
- [11] 刘红,于兴红,邵士娟.不同栽植密度对杞柳产量及经济寿命的影响[J].吉林农业,2014(3):73-74.
- [12] 李正理.植物切片技术[M].2版.北京:科学出版社,1991.
- [13] Steele J H, Ifju G, Johnson J A. Quantitative characterization of wood microstructure[J]. Journal of Microscopy, 1976, 107(3): 297-311.
- [14] 李坚,陆文达,刘一星,等.体视显微术在木材组织学中的应用[J].东北林业大学学报,1986,14(3):92-94.
- [15] 于海鹏,刘一星,崔永志,等.基于二值形态学的木材横切面显微构造特征测量[J].材料科学与工艺,2008,16(1):107-111.
- [16] 张友元,夏玉芳,许建初,等.香椿木材解剖构造及其物理力学性质[J].植物分类与资源学报,2013,35(5):641-646.
- [17] 刘杏娥,刘中,费本华,等.龙竹主要解剖特征的研究[J].安徽农业大学学报,2012,39(6):890-893.
- [18] 尹思慈.木材学[M].北京:中国林业出版社,1996.
- [19] 徐有明.木材学[M].北京:中国林业出版社,2006.
- [20] 许凤, JONES-Gwynn L L, 孙润仓.速生灌木沙柳的纤维形态及解剖结构研究[J].林产化学与工业,2006,26(1):91-94.
- [21] 徐斌,刘杏娥,孙主义,等.长江滩地沙埋杨树木材解剖性质及其变异的研究[J].林业科学研究,2005,18(6):738-742.
- [22] Pashin A J, et al. Textbook of Wood Technology[M]. 4th ed. New York: Mcgraw-Hill Company, 1980.
- [23] 李娟,陈仲权,楚光明.盐分胁迫对2种杨树次生木质部导管特征的影响[J].安徽农学通报,2014,20(7):23-25.
- [24] 汪佑宏,洪安东,刘杏娥,等.不同淹水程度对长江滩地枫杨组织比量的影响及变异[J].安徽农业大学学报,2000,27(4):380-383.
- [25] 任海青.三角枫材性变异研究[D].合肥:安徽农业大学,1993.
- [26] 费本华.铜钱树木材纤维形态特征和组织比量变异的研究[J].东北林业大学学报,1994,22(4):61-67.
- [27] 芦春莲,刘志军,袁玉欣.旱柳瘤材解剖特征及物理性质的研究[J].林业科技,2007,32(4):45-47.
- [28] 李京亚,徐斌,米沛.杨树根材纤维形态及化学成分分析[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2013,41(12):173-178.
- [29] 齐锦秋,池冰,谢九龙,等.慈竹纤维形态及组织比量的研究[J].中国造纸学报,2013,28(3):1-4.
- [30] 顾万春,归复.毛白杨优良无性系(新品种)材性测定研究[J].林业科学研究,1998,11(2):186-191.