

DOI: 10.11913/PSJ.2095-0837.2017.20164

李娜, 郭学民, 黎明, 白兰. 构树雌雄株叶片解剖结构特征的比较研究[J]. 植物科学学报, 2017, 35(2): 164~170

Li N, Guo XM, Li M, Bai L. Comparison on leaf anatomical structures between female and male *Broussonetia papyrifera* (L.) Vent.[J].

Plant Science Journal, 2017, 35(2): 164~170

构树雌雄株叶片解剖结构特征的比较研究

李娜, 郭学民*, 黎明, 白兰

(河北科技师范学院生命科技学院, 河北昌黎 066600)

摘要: 为了研究雌雄异株植物构树(*Broussonetia papyrifera* (L.) Vent.)的性别差异, 以其叶片为材料, 采用石蜡切片法, 对其主要解剖结构特征进行观察和比较。结果显示: (1)构树雌、雄株叶片解剖结构组成一致, 均由表皮、叶肉组织和叶脉3部分组成。其上、下表皮均由一层细胞构成, 具有较厚的角质层及丰富的表皮毛, 叶肉中栅栏组织高度发达, 此外, 维管系统在叶中所占比例很大; (2)构树雌、雄株叶片细胞大小及厚度在各类型组织间存在一定差异, 雄株叶片上表皮厚度、栅栏组织厚度、主脉维管束木质部厚度及维管束厚度均显著大于雌株叶片, 且在栅海比、组织结构紧密度、组织结构疏松度和主脉维管束木质部面积占维管束的比例等方面也与雌株有极显著差异。研究结果表明构树叶片的解剖结构不仅具有旱生植物叶片的典型特征, 而且还表现出明显的性别差异, 这可能与构树雌、雄株的生殖分配有关。

关键词: 构树; 雌株; 雄株; 叶片解剖结构

中图分类号: Q944.5

文献标识码: A

文章编号: 2095-0837(2017)02-0164-07

Comparison of leaf anatomical structures between female and male *Broussonetia papyrifera* (L.) Vent.

Li Na, Guo Xue-Min*, Li Ming, Bai Lan

(College of Life Science & Technology, Hebei Normal University of Science & Technology, Changli, Hebei 066600, China)

Abstract: To investigate the sex differences of *Broussonetia papyrifera* (L.) Vent., the main anatomical characteristics of the female and male plant leaves were observed and compared using paraffin sectioning. (1) Leaf epidermis, mesophyll, and vein anatomical structures of the female and male plants were compared. Common features showed there was only one layer of cells on the upper and lower epidermis, with thick cuticles and rich trichomes, and the palisade tissue was highly developed in the mesophyll; furthermore, the vascular system proportion was very large; (2) There were some differences in cell size and thickness among various types of tissue. Upper epidermis thickness, palisade tissue thickness, xylem thickness, and main vein vascular bundle thickness in the leaves of male plants were significantly higher than those of female plants, and significant differences were observed among related indicators such as the palisade tissue to spongy tissue thickness ratio, tightness of leaf tissue structure, looseness of leaf tissue structure, and percentage of xylem area accounting for vascular bundle area. These results showed that the leaf anatomical structure of this species not only had typical xerophyte leaf characteristics, but also showed significant sex differences between the male and the female, which might be related to their

收稿日期: 2016-06-12, 退修日期: 2016-09-01。

基金项目: 河北省自然科学基金资助项目(C2014407077)。

This work was supported by a grant from the Hebei Natural Science Foundation (C2014407077).

作者简介: 李娜(1991-), 女, 蒙古族, 硕士研究生, 研究方向为植物发育细胞生物学(E-mail: moshimotan@126.com)。

* 通讯作者(Author for correspondence. E-mail: xueminguo@126.com)。

reproductive allocation.

Key words: *Broussonetia papyrifera*; Female plants; Male plants; Leaf anatomical structure

雌雄异株是植物界的普遍现象^[1]。在漫长的演化过程中, 雌雄异株植物在生长特性、生殖格局、资源分配、生理生化特征和基因表达特性等方面产生了一定的性别差异^[2], 1877年Darwin^[3]研究发现生殖差异将导致雌雄异株植物性别特化和对资源的不同需求, 此后这些差异逐渐成为现代雌雄异株植物研究的重点和热点。研究雌雄差异, 一方面有助于雌雄异株植物的早期性别鉴定, 为育种和栽培生产提供技术支持, 另一方面有利于揭示雌雄异株植物在进化过程中形成的生态适应策略。

叶片被认为是植物进化过程中对环境变化最为敏感且可塑性较强的器官, 在各种选择压力下形成了不同的应对逆境的适应类型, 其形态与解剖结构特征最能体现植物对环境的适应^[4]。由于长期的适应性进化和雌雄性别的分株表达, 雌雄株叶片解剖结构也可能产生一定的差异。

构树(*Broussonetia papyrifera* (L.) Vent.)为雌雄异株植物, 别名楮树、棉藤、沙纸树、野杨梅、谷浆树等, 为桑科构树属多年生落叶阔叶乔木或灌木^[5]。构树可垂直分布在海拔1600 m以上的秦岭南北坡、黄河与长江的上游等地区, 也可生长在我国闽江和珠江流域^[6]。构树喜阳喜钙, 适应性极强, 既耐盐碱、干旱、贫瘠, 又耐湿热干冷气候, 在中性、酸性或石灰质土、深山荒地和含盐0.4%以下的土地均能旺盛生长^[7], 是我国野生先驱植物之一。构树生长迅速、繁殖能力强、病虫害少^[8], 可作为绿化、饲料和原料林树种以及优良纸浆材树种^[9], 还具有非常重要的药用和临床应用价值^[10]。

目前有关构树的研究主要集中在构树的优良特性及其可观的经济价值、构树育苗技术、构树的纤维特性、构树适生生理机制、构树化学成分分析^[11-16]等方面, 而对其形态解剖方面的研究却相对较少, 学者们多从构树叶表皮及其附属结构^[17,18]、营养器官的形态与解剖结构^[19]以及叶片解剖结构与其耐旱性^[20,21]等方面进行了详细的研究, 但都未对其性别进行区分。

构树是具有异形叶性现象的植物之一, 其

叶形大致分为3类: 心状卵形、浅裂和深裂。一般来说, 构树幼树的叶形多变, 多为3~5深裂叶, 成年树基部的叶片多为心状卵形叶, 中部则以浅裂叶居多, 树冠顶端的叶片基本都是深裂叶。笔者以构树雌、雄株的心状卵形叶为材料, 利用石蜡切片技术, 对其解剖结构特征进行观察比较, 以期揭示构树叶片在解剖结构上的性别差异及其适应性, 为种质资源的开发利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

于2015年7月, 自河北科技师范学院昌黎校区(39°42'N、119°10'E)选取多年生构树雌、雄树各3株, 胸径为21~24 cm, 分别在树冠同一高度、同一方位采集侧枝顶芽下第4~6节位健康、成熟的心状卵形叶各6片(雌、雄株各3片), 装入塑封袋带回实验室, 分别取主脉中段及与叶缘中间(叶中)各(5×7)mm²组织块, 其中一部分叶中组织块用于叶表皮形态观察, 另一部分叶中组织块和所有主脉中段组织块则以FAA液固定, 用于石蜡切片观察。

1.2 实验方法

1.2.1 体视显微镜观察

在Olympus SZX 16体视显微镜下观察构树雌、雄株叶片上、下表皮形态特征, 并用Infinity 1照相机拍照记录。

1.2.2 石蜡切片观察

采用石蜡切片法制片, 切片厚度为8 μm, 番红-固绿双重染色后用中性树脂封片, 于Zeiss Primo Star型显微镜下观察, Canon A650 IS型数码相机拍照。

1.3 数据处理

用Photoshop 7.0软件测定上表皮厚度、下表皮厚度、叶片厚度、栅栏组织厚度、海绵组织厚度、主脉维管束木质部厚度、主脉维管束厚度、主脉维管束木质部面积、主脉维管束面积, 每项指标的数据取30个观测值的平均值。按照以下公式计算相关指标:

(1) 棚栏组织与海绵组织比(棚海比)= 棚栏组织厚度/海绵组织厚度; (2) 叶片组织结构紧密度= 棚栏组织厚度/叶片厚度×100%; (3) 叶片组织结构疏松度= 海绵组织厚度/叶片厚度×100%; (4) 棚栏组织占叶肉的百分比= 棚栏组织厚度/叶片厚度×100%; (5) 木质部面积占维管束面积百分比=(主脉维管束木质部面积/主脉维管束面积)×100%。

所有数据均采用 Microsoft Excel 2003 和 DPS 数据处理(data processing system) 7.05 软件进行统计，并对各项指标进行 *t* 检验。

2 结果与分析

2.1 雌、雄株叶片解剖结构

构树雌、雄株叶片属于典型的异面叶，且叶片的形态特征基本相似，其解剖结构均由表皮、叶肉组织和叶脉3个基本部分构成(图版I)。

2.1.1 叶表皮细胞的结构特征

在体视显微镜下，构树叶片具有丰富的表皮毛，上表皮常具有钟乳体毛，下表皮单细胞表皮毛明显较多(图版I: A~F)。根据观察，叶表皮毛大致分为3类：第1种是单细胞表皮毛，柔软，易弯曲，相互交错，其基部较粗大，上部渐尖，多分布在下表皮(图版I: G~L)；第2种是腺毛，腺头呈球形，其腺柄为单列细胞，腺头由多细胞构成，多分布在侧脉部分(图版I: G, J)；第3种是钟乳体毛，呈厚壁锥形，粗短，非侧脉部分上表皮及侧脉部分上下表皮中均有分布(图版I: H, K, I, L)。构树叶片的上、下表皮均由1层细胞构成，排列紧密，且上表皮细胞明显大于下表皮细胞，其细胞外切向壁均具有较厚的角质层(图版I: G~L)。

2.1.2 叶肉组织的结构特征

构树的叶肉组织具明显的栅栏组织与海绵组织分化，叶片的近轴面为栅栏组织、远轴面为海绵组织。栅栏组织发达，通常由1~2层排列紧密的长柱形薄壁细胞构成，内含丰富的叶绿体。海绵组织由细胞形状不规则、大小、分布较不均匀的细胞构成，细胞间隙较大，排列松散且细胞内叶绿体含量较少(图版I: G~L)。

2.1.3 主脉维管束的结构特征

构树叶片主脉维管束仅有1个，细胞排列均匀

紧密，雌株主脉维管束近圆形，而雄株主脉维管束近扇形。维管束内木质部发达，占据维管束的主要部分，木质部细胞2~4层，呈放射状排列；韧皮部细胞多层，其细胞形态较小，且具有较多的分泌细胞；维管束与下表皮之间的薄壁细胞和维管束与上表皮之间的薄壁细胞相比，细胞明显较大且多；韧皮部与周围薄壁细胞外还分布着多层晶簇物质(图版I: M, N)。

2.2 构树雌、雄株叶片结构的比较

构树雌、雄株叶片的解剖结构组成一致，但在细胞大小及厚度方面各类型组织存在一定差异(表1)。

2.2.1 构树雌、雄株叶表皮结构的比较

构树雌、雄株上表皮厚度有较大的差异，雌株上表皮厚度在12.15~18.97 μm之间，雄株上表皮厚度在12.15~18.69 μm之间，雄株上表皮厚度比雌株厚8.83%，两者差异极显著($P < 0.01$)。构树雌、雄株下表皮厚度无显著差异($P > 0.05$ ，表1)。

2.2.2 构树雌、雄株叶肉组织的比较

对构树雌、雄株叶肉组织的统计结果显示，雌、雄株叶片厚度之间的差异不大($P > 0.05$)，但雄株栅栏组织厚度比雌株厚13.16%，差异达极显著水平($P < 0.01$)，雌株海绵组织厚度比雄株少32.57%($P < 0.01$)。构树雌、雄株叶片的棚海比、组织结构紧密度与组织结构疏松度也都达到极显著差异($P < 0.01$)，这进一步证实构树雌、雄株叶片具有高度发达的栅栏组织(表1)。

2.2.3 构树雌、雄株主脉维管束系统的比较

切片观察发现，雄株叶片的主脉维管束较雌株更发达，其主脉维管束木质部的厚度、维管束厚度都大于雌株($P < 0.01$)。其中，雌株维管束厚度在346.69~407.35 μm之间，雄株维管束厚度在430.51~525.74 μm之间，雄株维管束厚度比雌株厚7.11%($P < 0.01$)；雌株主脉维管束木质部厚度在129.41~161.72 μm之间，雄株主脉维管束木质部厚度在131.99~170.22 μm之间，雄株主脉维管束木质部厚度比雌株厚27.39%($P < 0.01$)。此外，构树雌、雄株叶片在木质部面积占维管束面积百分比中存在极显著差异，雄株叶片主脉维管束木质部面积占维管束总面积的平均比例比雌株高10.09%($P < 0.01$)(表1)。

表 1 构树雌、雄株叶片解剖结构的比较

Table 1 Comparative analysis of leaf anatomical structures between female and male plants of *B. papyrifera*

指标 Index	雌株 Female plants	雄株 Male plants
上表皮厚度 Thickness of upper epidermis(μm)	13.47 ± 1.35 bB	14.66 ± 1.45 aA
下表皮厚度 Thickness of lower epidermis(μm)	5.95 ± 0.53 aA	6.03 ± 0.62 aA
叶片厚度 Thickness of leaves(μm)	128.97 ± 8.06 aA	129.77 ± 7.70 aA
栅栏组织厚度 Thickness of palisade tissue(μm)	77.82 ± 6.23 bB	88.06 ± 4.95 aA
海绵组织厚度 Thickness of spongy tissue(μm)	31.61 ± 3.21 aA	21.63 ± 1.78 bB
栅栏组织/海绵组织(栅海比) Thickness ratio of palisade tissue to spongy tissue	2.49 ± 0.32 bB	4.09 ± 0.30 aA
叶片组织结构紧密度 Tightness of leaf tissue structure (%)	61.34 ± 0.03 bB	67.90 ± 0.02 aA
叶片组织结构疏松度 Looseness of leaf tissue structure(%)	24.97 ± 0.03 aA	16.67 ± 0.01 bB
木质部厚度 Thickness of xylem (μm)	143.79 ± 6.69 bB	154.01 ± 9.32 aA
主脉维管束厚度 Thickness of main vein vascular bundle (μm)	377.32 ± 17.25 bB	480.66 ± 18.43 aA
木质部面积占维管束面积百分比 Percentage of xylem area accounting for vascular bundle area (%)	35.58 ± 0.02 bB	39.17 ± 0.03 aA

注: 同行数据后不同的大、小写字母分别表示在 0.01 和 0.05 水平上的差异显著性。

Note: Different capital and lowercase letters show significant differences at the 0.01 and 0.05 levels, respectively.

3 讨论

叶片解剖结构被证明与叶片内外物质、能量交换及其自身保护有紧密的联系, 是构成叶片形态结构的骨架, 也是研究叶片形态结构特征与植物生态适应策略的重要内容之一^[22]。构树雌、雄株叶片解剖结构特征间的差异体现了构树对环境长期适应性进化的结果。

叶表皮的厚度在一定程度上可以反映其储存水分的能力^[23], 本研究中, 构树雄株叶片的上表皮厚度明显大于雌株, 表明构树雄株叶片储水能力更强, 有利于其更好地应对干旱胁迫的影响。此外, 构树叶表皮细胞排列紧密, 具有较厚的角质层, 其表皮密被表皮毛, 这可以在很大程度上降低了蒸腾失水, 也能有效反射强光, 保护植物不被强光灼伤^[19]。

高度发达的栅栏组织细胞在避免叶肉组织受到强光灼伤的同时又可最大限度地利用衍射光进行光合作用^[24], 所以, 栅栏组织越厚、细胞排列越紧密, 植物对光能的利用效率就越高。本研究中, 构树雌、雄株的叶片组织结构紧密度均在 60% 以上, 表明栅栏组织比海绵组织更多, 这种结构特征有助于提高 CO₂ 的传导率, 缩短 CO₂ 从气孔下室传导到叶绿体的时间, 从而提高光合作用效率^[20]。而构树雄株叶片的栅海比、叶片组织结构紧密度均比雌株高, 说明雄株叶片的光合作用效率比雌株更高, 高效的光能利用率也间接体现了植物抵御干旱

环境的应对策略^[25]。

叶片中能为植物体高效运输水分和营养物质的结构是维管组织^[26], 维管组织越发达, 越能增强植物的机械支撑能力和输导能力。我们在构树叶片解剖结构中发现维管组织在叶中所占比例很大, 其雄株叶片主脉维管束木质部面积、木质部面积占维管束面积的比例比雌株更大, 证明其运输水分和营养物质的能力比雌株更强。除此之外, 叶片主脉越粗、其水分控制能力越强, 可在高温及干旱环境下加快蒸腾, 从而降低叶温, 避免植物受到逆境伤害^[27]。

叶片在遭受逆境时常表现出特定的生理特征, 而渗透调节则被认为是植物抵御逆境胁迫的重要调节机制之一^[28]。在构树叶片中分布广泛、数量众多的含晶体的异细胞, 其在水分充足时被溶解, 在水分缺乏时被析出, 含晶体的异细胞的存在可改变细胞内的渗透势, 从而提高细胞吸水和持水能力, 也可聚集植物体内过多的盐分^[29]。构树叶片主脉维管束周围薄壁细胞中含有大量的晶簇, 晶簇具有解毒的功能, 这样就能有效缓解逆境对构树叶片的伤害, 提高其生存能力。

由此可见, 构树在叶片解剖结构特征上具有明显的性别差异, 雄株较雌株具有更高的保水能力、光合效率、水分与营养物质运输能力, 这与卢崇恩等^[30]对沙棘雌、雄株形态特征与生理生化指标差异的研究结果相似, 说明构树雄株对环境的适应能力比雌株更强。据此推测, 构树叶片在解剖结构上

的性别差异可能与其生殖分配有关，生殖分配的不同导致雌、雄株生长速率不同。

综上所述，构树叶片在解剖结构上表现出典型的旱生植物叶片的结构特征，有利于其更好地适应干旱环境、扩大分布面积，这可能正是构树被誉为治理沙化的先锋树种之一的重要原因。另外，雄株叶片解剖结构特征上的优势，也可能是自然界中构树雄株分布较多的重要原因。

致谢：河北科技师范学院生命科学院沈江洁和李婧实老师在本研究中给予了协助和支持。在此表示感谢！

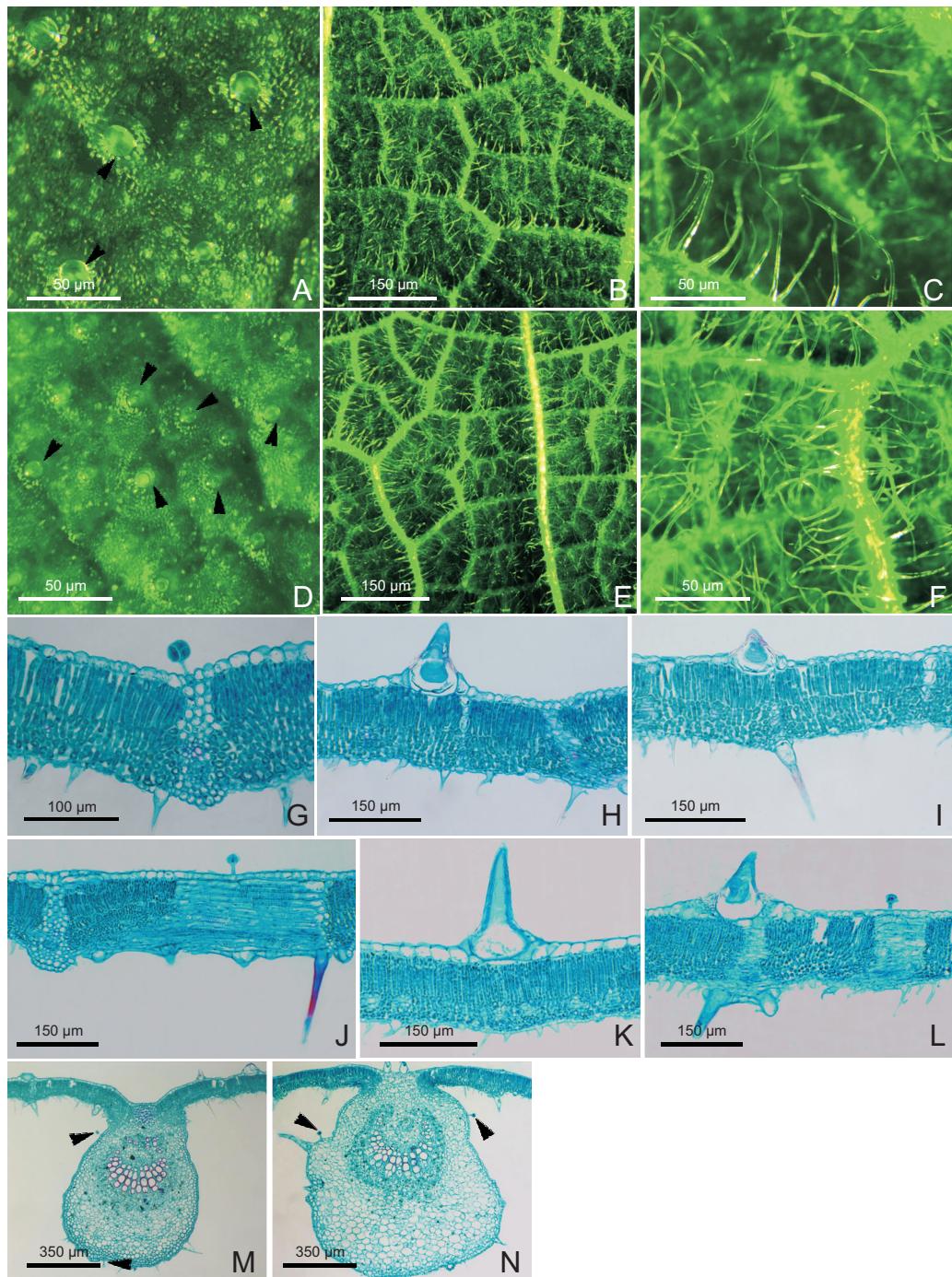
参考文献：

- [1] Renner SS, Ricklefs RE. Dioecy and its correlates in the flowering plants [J]. *Am J Bot*, 1995, 82(5) : 596–606.
- [2] 何梅, 孟明, 施大伟, 王涛, 李圆, 谢寅峰. 雌雄异株植物对干旱胁迫响应的性别差异 [J]. 植物资源与环境学报, 2015, 24(1) : 99–106.
He M, Meng M, Shi DW, Wang T, Li Y, Xie YF. On gender difference of dioecious plant in response to drought stress [J]. *Journal of Plant Resources and Environment*, 2015, 24(1) : 99–106.
- [3] Darwin C. The Different Forms of Flowers on Plants of the Same Species [M]. London: John Murray, 1877.
- [4] Mott KA, Gibson AG, O'leary JW. The adaptive significance of amphistomatic leaves [J]. *Plant Cell Environ*, 1982(9) : 455–460.
- [5] 郑汉臣, 黄宝康, 秦路平, 张巧艳. 构树属植物的分布及其生物学特性 [J]. 中国野生植物资源, 2002, 21(6) : 11–13.
Zhen HC, Huang BK, Qin LP, Zhang QY. Biological character and resources distribution of *Broussonetia* [J]. *Chinese Wild Plant Resources*, 2002, 21(6) : 11–13.
- [6] 李党法. 构树的培育与开发利用 [J]. 中国林副特产, 2007(1) : 49–76.
Li DF. Cultivation and utilization of *Broussonetia papyrifera* [J]. *Forest By-Product and Speciality in China*, 2007(1) : 49–76.
- [7] 浦同省, 李昆, 廖声熙. 我国长纤维树种构树的研究现状与发展前景 [J]. 现代农业科技, 2008(24) : 19–21.
Pu TS, Li K, Liao SX. Research status and development prospect of China's long fiber species of *Broussonetia papyrifera* [J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2008(24) : 19–21.
- [8] 张秋玉, 李远发, 梁芳. 构树资源研究利用现状及其展望 [J]. 广西农业科学, 2009, 40(2) : 217–220.
Zhang QY, Li YF, Liang F. The research and utilization status of *Broussonetia papyrifera* resources and its prospect [J]. *Guangxi Agricultural Sciences*, 2009, 40(2) : 217–220.
- [9] 薛萍, 伍雄辉. 构树无性系嫩枝扦插育苗试验 [J]. 湖南林业科技, 2006, 33(3) : 4–6.
Xue P, Wu XH. Effects of soft branch cutting of *Broussonetia papyrifera* (L.) Vent. clones on seedling [J]. *Hunan Forestry Science & Technology*, 2006, 33(3) : 4–6.
- [10] 奚桂荣, 张倩, 李彩丽. 构树的药理与临床作用研究述略 [J]. 中医药学刊, 2003, 21(11) : 1810–1811.
Qu GR, Zhang Q, Li CL. Summarizing advances in pharmacological and clinical effect of *Broussonetia papyrifera* [J]. *Journal of Traditional Chinese Medicine*, 2003, 21(11) : 1810–1811.
- [11] 魏媛, 吴长勇, 姜丽. 喀斯特石漠化区构树资源开发利用效益评价 [J]. 绿色科技, 2014(9) : 60–61.
Wei Y, Wu CY, Jiang L. Development and utilization benefit evaluation of the karst rocky desertification area of *Broussonetia papyrifera* resources [J]. *Journal of Green Science and Technology*, 2014(9) : 60–61.
- [12] 杨秀淦, 王洪峰. 构树繁殖与栽培技术 [J]. 热带林业, 2012(1) : 18–21.
Yang XG, Wang HF. Propagation and cultivation of *Broussonetia papyrifera* [J]. *Tropical Forestry*, 2012(1) : 18–21.
- [13] 杨振寅, 李昆, 廖声熙, 张忠和, 孙永玉. 不同类型构树皮的纤维形态、化学组成与制浆性能研究 [J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2007, 31(6) : 65–68.
Yang ZY, Li K, Liao SX, Zhang ZH, Sun YY. Influence of types on chemical composition, fiber morphology and pulping properties of *Broussonetia papyrifera* Bark [J]. *Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition*, 2007, 31(6) : 65–68.
- [14] 孙进武, 刘金祥, 陈三有, 李德明. 不同构树品种的光合作用比较研究 [J]. 广东农业科学, 2010(5) : 35–36, 48.
Sun JW, Liu JX, Chen SY, Li DM. Comparative study on photosynthesis between different cultivars of *Broussonetia papyrifera* (L.) Vent. [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2010(5) : 35–36, 48.
- [15] 丁宇, 仇晶, 刘小宇. 构树新化学成分及生物学活性研究进展 [J]. 天然产物研究与开发, 2014(8) : 1327–1331, 1337.
Ding Y, Qiu J, Liu XY. Research progress on new chemical constituents and biological activities of *Broussonetia papyrifera* [J]. *Natural Product Research and Development*, 2014(8) : 1327–1331, 1337.
- [16] 李红伟, 郑晓珂, 冯卫生. 构树叶中一个新内酯 [J]. 世界科学技术: 中医药现代化, 2016, 18(1) : 82–87.
Li HW, Zhen XK, Feng WS. A new lactone from leaves of *Broussonetia papyrifera* (L.) Vent. [J]. *World Science and Technology / Modernization of Traditional Chinese Medicine and Materia Medica*, 2016, 18(1) : 82–87.

- [17] 喻富根, 李正理. 构树叶表皮晶细胞的解剖[J]. 植物学报, 1991, 33(4): 249–255.
Yu FG, Li ZL. Anatomy of the lithocyst in the epidermis of leaf in *Broussonetia papyrifera* [J]. *Acta Botanica Sinica*, 1991, 33(4): 249–255.
- [18] 叶明维. 构树钟乳体毛的发育及钟乳体成分研究[J]. 植物学通报, 1991, 8(4): 40–42.
Ye MW. Studies on the development of cystolith hair and the component of cystolith in papermulberry (*Broussonetia papyrifera*) [J]. *Chinese Bulletin of Botany*, 1991, 8(4): 40–42.
- [19] 丁菲, 杨帆, 李德龙, 杜天真. 构树解剖结构特征与抗旱性研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(36): 20949–20952.
Ding F, Yang F, Li DL, Du TZ. Studies on anatomical structure characteristics and drought resistance of *Broussonetia papyrifera* [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2010, 38(36): 20949–20952.
- [20] 任媛媛, 翟晓巧, 刘艳萍. 6个构树无性系叶片解剖结构与抗旱性的关系[J]. 陕西农业科学, 2015, 61(12): 17–21.
Ren YY, Zhai XQ, Liu YP. 6 clones of *Broussonetia papyrifera* relationship between leaf anatomical structure and drought resistance [J]. *Shaanxi Journal of Agricultural Sciences*, 2015, 61(12): 17–21.
- [21] 翟晓巧, 任媛媛, 刘艳萍, 王念, 王文君. 8种落叶乔木抗旱性相关叶片的解剖结构[J]. 东北林业大学学报, 2013, 41(9): 42–45.
Zhai XQ, Ren YY, Liu YP, Wang N, Wang WJ. Drought resistance of eight deciduous trees and anatomical structure of leaves [J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2013, 41(9): 42–45.
- [22] 李永华, 卢琦, 吴波, 朱雅娟, 刘殿君, 张金鑫, 靳占虎. 干旱区叶片形态特征与植物响应和适应的关系[J]. 植物生态学报, 2012, 36(1): 88–98.
Li YH, Lu Q, Wu B, Zhu YJ, Liu DJ, Zhang JX, Jin ZH. A review of leaf morphology plasticity linked to plant response and adaptation characteristics in arid ecosystems [J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2012, 36(1): 88–98.
- [23] 赵延霞, 骆有庆, 宗世祥, 王荣, 罗红梅. 不同沙棘品种雌雄株叶片解剖结构及抗旱性比较[J]. 北京林业大学学报, 2012, 34(6): 34–41.
Zhao YX, Luo YQ, Zong SY, Wang R, Luo HM. Comparison in leaf anatomical structure and drought resistance of different sex and varieties of sea buckthorn [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2012, 34(6): 34–41.
- [24] 燕玲, 李红, 贺晓, 王晓容. 阿拉善地区9种珍稀濒危植物营养器官生态解剖观察[J]. 内蒙古农业大学学报: 自然科学版, 2000, 21(3): 65–71.
Yan L, Li H, He X, Wang XR. Ecological anatomy of nine priority species in Alasan area [J]. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University: Natural Sciences Edition*, 2000, 21(3): 65–71.
- [25] 常英俏, 徐文远, 穆立蔷, 姜雪昊, 柴春荣. 干旱胁迫对3种观赏灌木叶片解剖结构的影响及抗旱性分析[J]. 东北林业大学学报, 2012, 40(3): 36–40.
Chang YQ, Xu WY, Mu LQ, Jiang XH, Chai CR. Effects of drought stress on anatomical structure of leaves of three species of shrubs and their drought resistances [J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2012, 40(3): 36–40.
- [26] 董建芳, 李春红, 刘果厚, 周世权, 苏亚拉图. 内蒙古6种沙生柳树叶片解剖结构的抗旱性分析[J]. 中国沙漠, 2009, 29(3): 480–484.
Dong JF, Li CH, Liu GH, Zhou SQ, Su YLT. Analysis of drought resistance by leaf anatomical structure of six species of sandy willows [J]. *Journal of Desert Research*, 2009, 29(3): 480–484.
- [27] 梁文斌, 李志辉, 许仲坤, 肖兴翠, 张冬林. 桦木无性系叶片解剖结构特征与其耐旱性的研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2010, 30(2): 16–21.
Liang WB, Li ZH, Xu ZK, Xiao XC, Zhang DL. A study of leaf tissue characteristic and drought resistance of *Alnus cremastogyne* [J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2010, 30(2): 16–21.
- [28] Ashraf M, Iram A. Drought stress induced changes in some organic substances in nodules and other plant parts of two potential legumes differing in salt tolerance [J]. *Flora*, 2005, 200(6): 535–546.
- [29] 李广毅, 高国雄, 尹忠东. 灰毛滨藜叶解剖结构与抗逆性研究[J]. 西北林学院学报, 1995, 10(1): 48–51.
Li GY, Gao GX, Yin ZD. A study on anatomical structure of leaves and resistance of *Atriplex canescens* Fomes [J]. *Journal of Northwest Forestry College*, 1995, 10(1): 48–51.
- [30] 卢崇恩, 肖虹, 王文英, 闫晋民. 沙棘雌雄株部分生理生化指标的差异[J]. 沙棘, 1995, 8(2): 16–18.
Lu CE, Xiao H, Wang WY, Yan JM. Differences in partial physiological and biochemical indexes of male and female plants of *Seabuckthorn* [J]. *Seabuckthorn*, 1995, 8(2): 16–18.

李娜等: 图版 I

Li Na et al.: Plate I



构树雌株、雄株叶表皮形态(A ~ F)和叶片横切面(G ~ N)。A ~ C、G ~ I、M: 雌株; D ~ F、J ~ L、N: 雄株。A、D: 上表皮, 示钟乳体毛(箭头所示)的形态与分布; B、E: 下表皮, 示单细胞表皮毛的分布; C、F: 下表皮, 示单细胞表皮毛的形态。G、J: 侧脉横切图, 示侧脉表皮上有腺毛; H、K: 叶片横切, 示非侧脉部分上表皮有钟乳体毛; I、L: 叶片横切, 示侧脉部分上下表皮均有钟乳体毛; M、N: 主脉横切, 示表皮毛、腺毛(箭头所示)、钟乳体毛和维管束下含晶异细胞。

Leaf epidermal morphology under stereomicroscope (A~F) and leaf cross section (G~N) of female and male plants of *B. papyrifera*. A~C, G~I, M: Female; D~F, J~L, N: Male. A, D: Upper epidermis, showing morphology and distribution of cystolith hairs (see arrows); B, E: Lower epidermis, showing distribution of unicellular trichomes; C, F: Lower epidermis, showing morphology of unicellular trichomes; G, J: Cross section of lateral vein, showing glandular hairs on upper epidermis of lateral vein; H, K: Cross section of leaf, showing cystolith hairs on non-lateral vein. I, L: Cross section of leaf, showing cystolith hairs on both upper and lower epidermis of lateral veins; M, N: Cross section of main vein, showing trichomes, glandular hairs (see arrows), cystolith hairs and crystal idioblasts.