

丽江牡丹和中原牡丹叶片结构微形态比较

李宗艳¹, 肖娟², 蒙进芳³, 王锦¹

(1. 西南林业大学 园林学院, 云南 昆明 650224; 2. 云南森林自然中心, 云南 昆明 650011; 3. 西南林业大学 资源学院, 云南 昆明 650224)

摘要: 对云南丽江 3 个牡丹 *Paeonia suffruticosa* 品种与代表中原的 3 个牡丹品种的叶微形态结构进行了比较观察。结果表明: 中原牡丹品种与丽江牡丹品种在解剖特征上最大的差异表现为栅栏组织形态、海栅比及气孔密度的差异。中原牡丹品种具有旱生植物的解剖特点, 栅栏组织发达, 排列紧密, 气孔较小, 而丽江牡丹品种则表现为栅栏组织的退化, 细胞间隙大, 海栅比大。丽江 3 个牡丹品种中, 香玉板 *Paeonia suffruticosa* ‘Xiangyuban’ 和丽江粉 *Paeonia suffruticosa* ‘Lijiangfen’ 在气孔密度、气孔大小上的差异不大; 而丽江紫 *Paeonia suffruticosa* ‘Lijiangzi’ 气孔密度最大; 丽江粉具有稍发达的栅栏组织, 细胞多呈长柱状, 海绵组织稀疏松, 细胞小, 海栅比最小, 且海栅比和气孔指数与中原牡丹 3 个品种相差不大; 叶比较解剖特征反映出两品种群间的耐湿能力存在差异, 气孔密度和海栅比与品种的耐湿能力呈正相关。图 1 参 15

关键词: 园艺学; 牡丹; 气孔密度; 栅栏组织; 海绵组织; 适应性

中图分类号: S685.11 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2011)01-0115-06

Comparative leaf anatomy for six cultivars of *Paeonia suffruticosa* from Lijiang and Zhongyuan, China

LI Zong-yan¹, XIAO Juan², MENG Jin-fang³, WAN Jin¹

(1. Faculty of Landscape Architecture, Southwest Forestry University, Kunming 650224, Yunnan, China; 2. Yunnan Forest Nature Center, Kunming 650011, Yunnan, China; 3. Faculty of Resources, Southwest Forestry University, Kunming 650224, Yunnan, China)

Abstracts: To determine their adaptability, the micro-morphological structures of six *Paeonia suffruticosa* (peony) tree cultivars: ‘Xiangyuban’ ‘Lijiangfen’ ‘Lijiangzi’ from Lijiang of China and ‘Wulongpensheng’ ‘Qinlongwomochi’ ‘Shouanhong’ from central plains of China (Zhongyuan) were compared. Results for Zhongyuan cultivars and Lijiang cultivars showed large differences in the cells’ morphology for palisade tissue, in the ratio of spongy tissue to palisade tissue, and in stomatal density. Also, Zhongyuan cultivars had typical anatomical characteristics for drought resistance with highly developed and closely arranged palisade tissue; whereas Lijiang cultivars had degenerated palisade tissue, large intercellular spaces, and a high ratio of spongy tissue to palisade tissue. For ‘Xiangyuban’ and ‘Lijiangfen’, cell morphology and stomatal characteristics, such as stomatal density and size, were similar. However, ‘Lijiangzi’ was more capable of adjusting its transpiration due to stomatal density. Meanwhile, ‘Lijiangfen’ had relatively developed palisade cells, most of which were columnar and closely arranged with sparse, small spongy cells. Smaller ratio of spongy tissue to palisade tissue, which has no significant difference in ratio of spongy tissue and palisade tissue and stomatal density with three Zhongyuan cultivars. Zhongyuan cultivars have different resistance of waterlogging with Lijiang cultivars by comparing their leaf anatomical structures. It showed that stomata density and ratio of spongy tissue to palisade tissue were positively correlated with resistance of waterlogging. [Ch, 1

收稿日期: 2010-05-03; 修回日期: 2010-08-12

基金项目: 云南省自然科学基金资助项目(2008ZC093M); 云南省教育厅青年基金资助项目(07z10215)

作者简介: 李宗艳, 副教授, 硕士, 从事园林植物等研究。E-mail: Lizyan74@sina.cn

fig. 15 ref.]

Key words: horticulture; *Paeonia suffruticosa*; stomatal density; palisade tissue; spongy tissue; adaptability

叶片是植物进化过程中对环境变化较敏感且可塑性较大的器官,在不同选择压力下可形成各种适应形态,其结构特征最能反映环境因子的影响或植物对环境的适应^[1]。研究植物叶片形态解剖结构对环境变化的响应与适应是探索植物对环境变化的适应机制和制定相应对策的基础。中国栽培牡丹*Paeonia suffruticosa*品种资源丰富,品种遗传背景复杂,依据品种起源及生态习性差异主要划分为四大品种群:中原牡丹品种群、西北牡丹品种群、江南牡丹品种群和西南牡丹品种群。中原牡丹品种群和西北牡丹品种群性喜冷凉干燥,江南牡丹品种群性喜高温多湿,西南牡丹品种群性喜冷凉湿润^[2]。云南牡丹品种亚群是西南牡丹品种群的重要组成部分,多数品种植株高大,花色鲜艳,高度重瓣化,具有较高的园林开发应用价值。云南本地牡丹品种性喜高湿,对南方夏秋高湿环境的适应能力较强,较中原牡丹品种喜冷凉干燥的习性有着本质差异。本项研究选取滇中公园引种栽培的3个云南牡丹品种(丽江牡丹)和中原牡丹3个代表品种进行叶形态解剖特征比较研究,选用最能够反映植物对环境水分和湿度条件的适应状况的主要结构指标:叶肉栅栏组织和海绵组织、气孔数量和内部导管大小进行对比分析,以期能对这一亚群品种的耐湿习性进行验证说明,为其引种栽培管理提供相关依据。

1 栽培区域自然生态特点

云南省武定县(25°30' ~ 26°11'N, 101°55' ~ 102°28'E)属半湿润亚热带高原季风气候类型,年温差不大,干湿季明显。栽培地是狮子山公园,海拔为2 240 m,年平均气温为13.2℃,最冷月1月均温4.2℃,最热月7月均温17.5℃,年均日照时数2 326.2 h,年降水量1 104.1 mm,5-9月降水量占全年降水总量的90.0%左右,雨季大气相对湿度为82.0%,而旱季降水量仅占全年的10.0%。

2 研究内容和方法

2.1 试验材料

供试材料为生长健壮、株龄相当的当年生牡丹枝条,取其节位相同的成熟叶片。云南丽江牡丹品种1为‘丽江粉’*Paeonia suffruticosa* ‘Lijiangfen’,品种2为‘丽江紫’*Paeonia suffruticosa* ‘Lijiangzi’,品种3为‘香玉板’*Paeonia suffruticosa* ‘Xiangyuban’,中原牡丹品种‘乌龙捧盛’*Paeonia suffruticosa* ‘Wulongpensheng’,‘青龙卧墨池’*Paeonia suffruticosa* ‘Qinlongwomochi’和‘首案红’*Paeonia suffruticosa* ‘Shouanhong’。

2.2 叶形态解剖结构观测

叶表皮形态观察:将成熟叶片用甲醛-醋酸-乙醇溶液(FAA)固定液浸泡,浸泡之后在60℃烘箱里解离,约30 min,用清水浸泡材料后,沿叶中脉部位撕下叶上下表皮^[3]。

将撕下叶表皮用20.0 g·L⁻¹亚甲基蓝染色,着色后采用逐级乙醇脱水法,经二甲苯透明,中性树脂封片。制成的片子在Nikon-E400生物摄像显微镜下拍照。细胞形态及气孔类型划分依据王宇飞^[4]方法。

叶肉解剖特征比较:植物的叶肉形态解剖研究采用石蜡切片法,切片采用番红-固绿对染观察细胞结构^[5],在Nikon-E400生物摄像显微镜下拍照。观察栅栏组织和海绵组织的形态。

2.3 形态指标的测定

将制好的片子在Olympus光学显微镜下观测,统计下列指标:

表皮细胞的形状与大小:放大10×40时,随机观察叶片上下表皮中部50个细胞的形状,用测微尺测量其长与宽,求其平均值。

气孔大小:放大10×40时,用测微尺随机测量50个气孔大小,求其平均值。

气孔密度:放大10×10时,随机观测统计叶片中部25个视野中1 mm²内的气孔器数目,求其平均值。

气孔指数: $I = [S/(S + P)] \times 100$,其中S, P分别为放大10×40时随机观察的叶片中部视野的气孔数目(S)和表皮细胞数目(P),共观察20个视野,求I平均值。

海栅比测定：用测微尺随机测量 25 组栅栏组织的长度和海绵组织的宽度，计算海绵组织与栅栏组织的比值。

导管数量和大小测量：放大 10×40 时，随机观测统计叶片中脉 25 个视野下，导管的列数；选取导管 10 个·视野⁻¹ 测量内径，取平均值。

3 结果与分析

3.1 叶表皮细胞特征

6 个牡丹品种的叶表皮细胞形状都为矩形(长宽比为 1.5 ~ 2.5)，表皮细胞为不规则型，成多角形(图 1-1 ~ 3)。丽江牡丹叶上皮细胞较中原牡丹品种要长些。

丽江粉上表皮细胞的长为 $114.91 \mu\text{m}$ ，宽为 $55.78 \mu\text{m}$ ，长宽比值为 2.06；丽江紫的上表皮细胞的长为 $75.33 \mu\text{m}$ ，宽为 $35.43 \mu\text{m}$ ，长宽比值为 2.19；香玉板的上表皮细胞的长为 $104.74 \mu\text{m}$ ，宽为 $54.55 \mu\text{m}$ ，长宽比值为 1.92。3 个品种的表皮细胞排列紧密无间隙。中原牡丹品种‘乌龙捧盛’‘青龙卧墨池’和‘首案红’上表皮细胞长宽比值分别为 1.73, 1.51 和 1.81。

通过叶下表皮细胞特征观察，所有品种的叶上下表皮细胞形态基本一致，长宽比值基本不变。

3.2 气孔形态与数量学特征

牡丹的气孔仅分布于叶下表皮。保卫细胞成肾形，副卫细胞与周围表皮细胞形态一致。‘丽江粉’‘丽江紫’和‘香玉板’气孔大小分别为 $39.35 \mu\text{m} \times 27.81 \mu\text{m}$ ， $37.05 \mu\text{m} \times 28.78 \mu\text{m}$ ， $41.17 \mu\text{m} \times 28.48 \mu\text{m}$ ，气孔长宽比值为 1.41, 1.30 和 1.45，3 个品种气孔大小接近(图 1-4 ~ 6)。中原牡丹‘首案红’‘青龙卧墨池’和‘乌龙捧盛’的气孔要小，分别为 $26.80 \mu\text{m} \times 13.06 \mu\text{m}$ ， $31.00 \mu\text{m} \times 16.79 \mu\text{m}$ ， $24.05 \mu\text{m} \times 12.50 \mu\text{m}$ ，长宽比分为 2.05, 1.85 和 1.92。

丽江牡丹品种‘丽江粉’‘丽江紫’和‘香玉板’的气孔指数分别为 19.08%，25.79% 16.21%。中原牡丹品种‘乌龙捧盛’‘青龙卧墨池’和‘首案红’分别为 20.50%，19.77% 和 19.90%。经方差分析，除‘丽江紫’与‘香玉板’的气孔指数差异显著外($F = 2.74$ ， $d_f = 60$ ， $F < F_{0.05, 260} = 4.98$ ， $P > 0.05$)，其余品种气孔指数差异不显著。

丽江牡丹品种中，气孔密度最大的是‘丽江紫’，为 $158.08 \text{ 个} \cdot \text{mm}^{-2}$ ，‘丽江粉’为 $77.28 \text{ 个} \cdot \text{mm}^{-2}$ ，‘香玉板’为 $59.68 \text{ 个} \cdot \text{mm}^{-2}$ 。通过对不同品种的测试数据进行方差分析可知，3 个品种在气孔密度上的差异显著($F = 98.79$ ， $d_f = 60$ ， $F > F_{0.01, 260} = 4.98$ ， $P < 0.01$)，经品种间的 Duncan 氏多重比较(SSR)分析，‘丽江紫’与‘丽江粉’极显著水平($L_{SR0.01, 3} = 23.85$ ， $P = 2 : 104.48 > 23.85$)；‘丽江紫’与‘香玉板’两品种的差异达极显著水平($L_{SR0.01, 2} = 24.86$ ， $P = 3 : 122.08 > 24.86$)，而‘丽江粉’与‘香玉板’的差异不显著($L_{SR0.05, 2} = 17.95$ ， $P = 2 : 17.60 < 17.95$)。中原牡丹‘首案红’为 $90.72 \text{ 个} \cdot \text{mm}^{-2}$ ，‘青龙卧墨池’为 $85.76 \text{ 个} \cdot \text{mm}^{-2}$ ，‘乌龙捧盛’为 $88.64 \text{ 个} \cdot \text{mm}^{-2}$ ，品种间气孔密度无明显差异。不同种源的品种中，‘丽江紫’‘香玉板’与中原牡丹品种在气孔密度上存在显著差异。

3.3 叶横切片结构

牡丹品种的叶肉组织有栅栏组织和海绵组织的分化。中原牡丹品种栅栏组织发达，排列整齐，无间隙。而丽江牡丹品种栅栏组织不发达，排列疏松，有较大的细胞间隙。不同种源的品种栅栏组织的排列形态差异显著，海绵组织形态有圆形和长条状 2 种(图 1)。

在丽江牡丹中，‘丽江粉’的栅栏组织细胞最长，均值为 $51.42 \mu\text{m}$ ，排列整齐，较疏松，偶见 2 个细胞连为一体，呈丫字形。海绵组织细胞较小而少，卵圆形，细胞间隙大(图 1-7)；‘丽江紫’的栅栏组织形状不规则，长度均值 $26.02 \mu\text{m}$ ，常由 2 ~ 5 个柱状细胞基部连为一体，呈梳状，细胞有间隙，海绵组织较发达，有长条形和卵圆形，单位面积的细胞数量较多而大(图 1-8)；‘香玉板’的栅栏组织形态与‘丽江紫’相似，栅栏组织长均值为 $29.93 \mu\text{m}$ 。海绵组织较疏松，单位面积内海绵组织的数量较‘丽江粉’多，比‘丽江紫’的少(图 1-9)。中原牡丹的栅栏组织细胞较长，基部都不相连，‘青龙卧墨池’‘乌龙捧盛’和‘首案红’的栅栏细胞长度均值分为 73.63 ， 82.84 和 $90.15 \mu\text{m}$ 。

植物耐湿能力与海绵组织和栅栏组织之比密切相关。‘青龙卧墨池’海栅比最大为 1.93；‘乌龙捧盛’的为 1.69；‘首案红’为 1.10。丽江牡丹品种海栅比大于中原品种，‘丽江粉’为 2.50，‘丽江

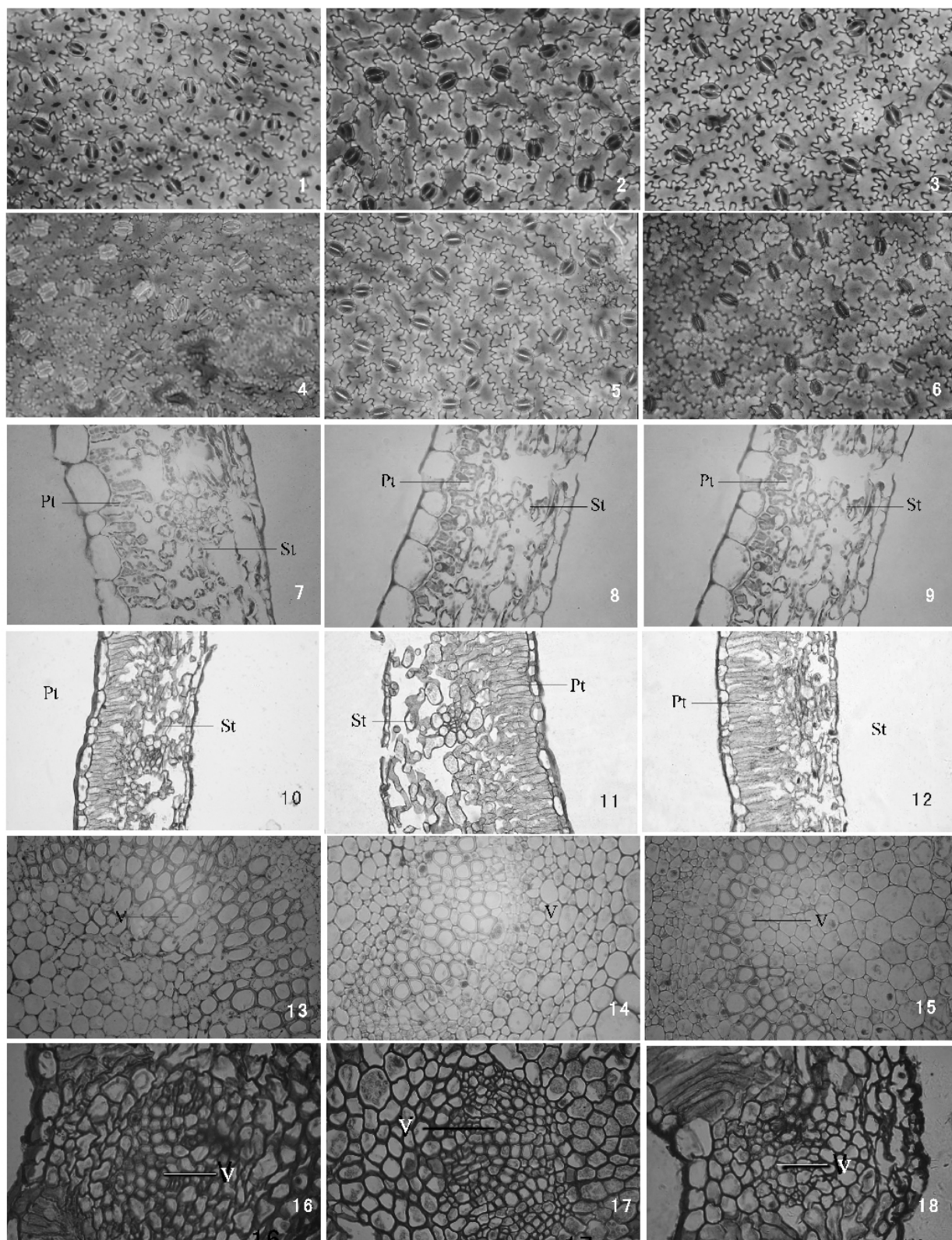


图1 牡丹叶形态解剖特征

1. ‘丽江粉’叶下表皮气孔($\times 200$); 2. ‘丽江紫’叶下表皮气孔($\times 200$); 3. ‘香玉板’叶下表皮气孔($\times 200$); 4. ‘乌龙捧盛’叶下表皮气孔($\times 200$); 5. ‘青龙卧墨池’叶下表皮气孔($\times 200$); 6. ‘首案红’叶下表皮气孔($\times 200$); 7. ‘丽江粉’叶横切面, 示栅栏组织和海绵组织($\times 400$); 8. ‘丽江紫’叶横切面, 示栅栏组织和海绵组织($\times 400$); 9. ‘香玉板’叶横切面, 示栅栏组织和海绵组织($\times 400$); 10. ‘乌龙捧盛’叶横切面($\times 200$); 11. ‘青龙卧墨池’叶横切面($\times 200$); 12. ‘首案红’叶横切面($\times 200$); 13. ‘丽江粉’叶中脉横切面, 示木质部($\times 400$); 14. ‘丽江紫’叶中脉横切面, 示木质部($\times 400$); 15. ‘香玉板’叶中脉横切面, 示木质部($\times 400$); 16. ‘乌龙捧盛’叶中脉横切面, 示木质部($\times 400$); 17. ‘青龙卧墨池’叶中脉横切面, 示木质部($\times 400$); 18. ‘首案红’叶中脉横切面, 示木质部($\times 400$)。Pt. 栅栏组织; St. 海绵组织; V. 导管。

Figure 1 Leaf anatomical structure of *Paeonia suffruticosa* cultivars

紫’为 3.56, ‘香玉板’为 3.90。经品种的海栅比值的方差分析, 丽江牡丹品种间存在显著差异 ($F = 7.94$, $d_f = 30$, $F > F_{0.01, 260} = 5.39$, $P < 0.01$)。SSR 多重比较结果表明: 除‘香玉板’与‘丽江紫’差异不显著外 ($L_{SR0.05, 2} = 0.77$, $P = 2 : 0.34 < 0.77$), 其余两两品种间比值差异达极显著水平 ($L_{SR0.01, 2} = 1.04$, $L_{SR0.01, 3} = 1.09$)。除‘丽江粉’外, 丽江牡丹品种与 3 个中原品种差异显著。

6 个品种叶脉导管列数不同, ‘青龙卧墨池’和‘丽江粉’最多, 为 6 列左右, ‘丽江紫’为 3 ~ 4 列, 其余品种为 2 ~ 3 列。导管直径为 17.08 ~ 26.45 μm , 相差不太大。

木质部导管层数和管径大小表明品种水分的运输能力的差异, 导管数目多而管径大较导管数目少而管径小有较高的水导^[6]。中原牡丹品种‘青龙卧墨池’和丽江牡丹品种的‘丽江粉’叶横切片中导管大而多, 说明其有较强的水分输送能力, 在旱季生长有较强的适应能力。

4 结论与讨论

植物叶形态解剖结构与其功能相适应, 是对环境长期适应的结果。叶解剖结构(气孔密度、栅海比等)与植物生长相关性密切, 可作为良种筛选的主要形态学指标^[7-8], 亦可用于阐释植物矮化变异的原因^[9]。此外, 叶解剖结构的差异对一些植物属间、组间划分有一定的意义^[10]。

中国栽培品种多数都属于“多元”起源^[11], 有着复杂遗传背景, 不同品种群的水分生态适应性差异大。云南栽培牡丹集中于金沙江水系周边区域, 起源时间及品种来源无从考证。由于品种对栽培地气候长期适应的结果, 其表现在水分生理代谢和发育方面的差异^[2, 12]。

中原牡丹品种与丽江牡丹品种在解剖特征上最大的差异表现为栅栏组织形态、海栅比及气孔密度的差异。植物对旱生环境的响应表现为叶肉栅栏组织发达, 细胞层数增加而体积减小, 海绵组织相对减少, 细胞间隙减小等变化。中原牡丹品种的叶肉解剖特征说明了, 与丽江牡丹品种比较, 其具有耐旱力强的特点。叶片在高湿条件, 栅栏组织退化, 海绵组织变得发达, 细胞间隙明显变大, 改善组织通气状况, 可防止组织缺氧。丽江牡丹品种对高湿适应后, 栅栏组织变短, 单位面积内栅栏组织数量减少了, 为了减少光合损失, 栅栏组织细胞下部连成一体, 成梳状结合, 增加表面积, 有利于叶绿体的分布。通过栅栏组织的解剖特点观察及海栅比的变化分析确实反映出这 2 个品种群对水分适应能力的差异较大。

在叶微形态结构的相关指标中, 气孔的分布特征、密度和面积受环境水分状况的影响。缺水条件下, 气孔多分布于叶片下表皮, 该分布模式既可促进植物与外界环境气体交换, 又能保持水分^[13]。在干旱环境下, 气孔密度一般随着环境中水分和湿度减少而增加, 但气孔面积则向小型化发展。中原牡丹品种气孔面积较小正表现出对干旱的适应性。但也有研究结果显示, 气孔密度并不随干旱程度的加剧而一直升高, 而是先升高后下降^[14]。李芳兰^[15]通过对岷江上游干旱河谷梯度上耐旱灌木叶片形态解剖结构与环境因子变化的关系研究亦发现, 随着海拔升高, 虽然水分因子(年降水量和土壤含水量)增加, 但气孔密度先减小后增大, 而气孔面积的变化趋势与之相反。

通过试验可知, 不同种源的品种在气孔密度上有差异。‘丽江紫’与所有品种都有明显的差异。在相同环境下, 品种的耐湿能力与气孔密度、气孔面积和海栅比呈正相关。中原牡丹的这 3 项指标的数量学特征都小于丽江牡丹, 且差异显著, 说明它们的耐湿力较差; 但中原牡丹品种间的差异不显著。3 个本地品种, ‘丽江粉’在气孔密度和海栅比的数量学特征上与中原品种无明显差异, 结合其花部形态, 花瓣基部中央有长条斑块, 说明了紫斑牡丹参与该品种的起源, 因而推测其应与中原牡丹品种有一定的亲缘关系, 但还需进一步的分子证据。结合从前对 3 个丽江牡丹品种耐水湿的生理测试分析结果^[12], ‘丽江紫’有较强高湿适应性, ‘丽江粉’居中, ‘香玉板’稍差, 生理功能与形态解剖结果基本一致。气孔密度大应是本地品种对高湿环境的适应表现。

一般认为气孔指数变化对水分适应性的影响的意义不大。从试验结果的来看, 气孔指数对判断牡丹品种的耐水湿能力帮助也不大。

形态解剖结构对环境变化的响应与适应决定了植物对环境变化的适应机制和相应对策。中原牡丹耐旱不耐湿, 其生长发育对策表现为 1 月萌芽, 9 月叶落尽。丽江牡丹品种‘丽江粉’和‘香玉板’2 月初萌动, 9 月落叶^[12], 通过短缩雨季的生长期来适应环境; 耐湿能力强的‘丽江紫’对避旱的机制则是通过晚萌动, 减少干旱胁迫的影响, 雨季正常生长, 落叶较晚。

参考文献:

- [1] 王勋陵, 王静. 植物的形态结构与环境[M]. 兰州: 兰州大学出版社, 1989: 105 - 138.
- [2] 喻衡. 牡丹[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1998: 21.
- [3] 秦卫华, 汪恒英, 周守标. 叶表皮永久制片技术的改进[J]. 生物学杂志, 2003, **20** (3): 38 - 39, 41.
QIN Weihua, WANG Hengying, ZHOU Shoubiao. The modification of the preparing techniques on permanent slices of the plant epidermis [J]. *J Biol*, 2003, **20** (3): 38 - 39, 41.
- [4] 王宇飞, 陶君容. 植物角质层分析术语新体系[J]. 植物学通报, 1991, **8** (4): 6 - 13.
WANG Yufei, TAO Junrong. An introduction to a new system of terminology for plant cuticular analysis [J]. *Chin Bull Bot*, 1991, **8** (4): 6 - 13.
- [5] 李正理. 植物制片技术[M]. 北京: 科学出版社, 1978: 67 - 68.
- [6] 蒋高明. 植物生理生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004: 91 - 92.
- [7] 覃秀菊, 李凤英, 何建栋, 等. 广西茶树新品种品系叶片解剖结构特征与特性关系的研究[J]. 中国农学通报, 2009, **25** (10): 36 - 39.
QIN Xiuju, LI Fengying, HE Jiandong, *et al.* The relations between the blade anatomical structure and characters of the new tea varieties in Guangxi [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2009, **25** (10): 36 - 39.
- [8] 赵大中, 罗先实, 鲁俊良, 等. 柑橘砧木矮化预选指标的解剖学研究[J]. 果树科学, 1995, **12** (4): 219 - 223.
ZHAO Dazhong, LUO Xianshi, LU Junliang, *et al.* Anatomical studies on pre-selected indices for dwarfism in *Citrus* rootstocks [J]. *J Fruit Sci*, 1995, **12** (4): 219 - 223.
- [9] 陈奋学, 黄华宏, 童再康, 等. 矮生杉木的解剖特性[J]. 浙江林学院学报, 2008, **25** (5): 619 - 623.
CHEN Fenxue, HUANG Huahong, TONG Zaikang, *et al.* Anatomical characteristics of dwarf *Cunninghamia lanceolata* [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2008, **25** (5): 619 - 623.
- [10] 王宏, 申晓辉, 郭瑛, 等. 中国北方鸢尾属植物叶片解剖结构特征及分类学价值研究[J]. 植物研究, 2008, **28** (1): 30 - 37.
WANG Hong, SHEN Xiaohui, GUO Ying, *et al.* Anatomical structures of leaves and taxonomic values in *Iris* from the north of China [J]. *Bull Bot Res*, 2008, **28** (1): 30 - 37.
- [11] 李嘉珏. 中国牡丹的起源[J]. 北京林业大学学报, 1998, **20** (1): 22 - 26.
LI Jiajue. Studies on the origin of Chinese Mudan (tree peony)[J]. *J Beijing For Univ*, 1998, **20** (1): 22 - 26.
- [12] 李宗艳, 郭盘江, 唐岱, 等. 丽江牡丹不同品种的生物生态学特性及耐水淹胁迫能力[J]. 东北林业大学学报, 2006, **34** (5): 44 - 46
LI Zongyan, GUO Panjiang, TANG Dai, *et al.* Biological characteristics and moisture-stress tolerance of *Paeonia suffruticosa* in Lijiang, Yunnan Province [J]. *J Northeast For Univ*, 2006, **34** (5): 44 - 46.
- [13] 李芳兰, 包维楷. 植物叶片形态解剖结构对环境变化的响应与适应[J]. 植物学通报, 2005, **22** (增刊): 118 - 127.
LI Fanglan, BAO Weikai. Responses of the morphological and anatomical structure of the plant leaf to environmental change [J]. *Chin Bull Bot*, 2005, **22** (supp): 118 - 127.
- [14] 张晓艳, 杨惠敏, 侯宗东, 等. 土壤水分和种植密度对春小麦叶片气孔的影响[J]. 植物生态学报, 2003, **27** (1): 133 - 136.
ZHANG Xiaoyan, YANG Huimin, HOU Zongdong, *et al.* Stomical densities and distributions of spring wheat leaves under different planting densities and soil moisture levels [J]. *Acta Phytoecol Sin*, 2003, **27** (1): 133 - 136.
- [15] 李芳兰, 包维楷, 刘俊华. 岷江上游干旱河谷海拔梯度上四川黄栌叶片特征及其与环境因子的关系[J]. 西北植物学报, 2005, **25** (11): 2277 - 2284.
LI Fanglan, BAO Weikai, LIU Junhua. Leaf characteristics and their relationship of *Cotinus coggygriain* arid river valley located in the upper reaches of Minjiang River with environmental factors depending on its altitude gradients [J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*, 2005, **25** (11): 2277 - 2284.