

8 种榕属植物叶片解剖构造及抗逆性的数量分析*

Quantitative Analysis on Leaf Anatomical Structures and Their Stress Resistance of Eight *Ficus* Species

朱栗琼,王 勇,招礼军,廖思斯,陆世光,钟梦婷

ZHU Li-qiong, WANG Yong, ZHAO Li-jun, LIAO Si-si, LU Shi-guang, ZHONG Meng-ting

(广西大学林学院,广西南宁 530004)

(College of Forestry, Guangxi University, Nanning, Guangxi, 530004, China)

摘要:为探讨南方绿化常用的 8 种桑科榕属植物:垂叶榕 (*Ficus benjamina*)、印度橡胶榕 (*F. elastica*)、黄葛榕 (*F. virens* var. *sublanceolata*)、黄金榕 (*F. microcarpa* ‘Golden Leaves’)、小叶榕 (*F. microcarpa*)、柳叶榕 (*F. celebensis*)、高山榕 (*F. altissima*)、菩提树 (*F. religiosa*) 的抗逆性,采集它们的叶片制成玻片,观测叶片解剖构造。9 个观测指标包括叶表面上、下角质层厚度,叶上、下表皮细胞厚度,栅栏组织厚度,海绵组织厚度,叶片厚度,叶表皮气孔密度,气孔长度。观测数据采用主成分分析、聚类分析和模糊数学综合评判法进行综合评价。结果前 2 个主成分贡献率之和为 81.384% (>70%),可以代表原始因子所代表的大部分信息,其中以叶片厚度对贡献率的影响最大;聚类分析的结果是橡皮树和黄葛榕单独各成一类,其它 6 种植物共同组成一类;模糊数学综合评判得到 8 种植物抗逆性顺序为:橡皮树>小叶榕>高山榕>黄金榕>垂叶榕>菩提树>柳叶榕>黄葛榕,这一结果与聚类分析的结果很好地互相吻合。

关键词:榕属植物 叶片构造 抗逆性 数量分析

中图法分类号:Q944.56 文献标识码:A 文章编号:1005-9164(2012)01-0088-05

Abstract: In order to investigate the stress resistance of eight common *Ficus* species in Southern China, the leaf anatomical structures were analyzed by using statistical method. The observation index included the thickness of upper and lower cuticles, thickness of upper and lower epidermis, thickness of palisade tissues, thickness of spongy tissues, thickness of leaf, stomatal density of epidermis, stomatal length. These index were evaluated by principal component analysis. The result showed that the sum of contribution value of the first two principal components was 81.384% (more than 70%) and could represent the majority information of all original factors. And the maximum contribution rate came from the thickness of leaf. The results of cluster analysis showed that *F. elastica* was one category, *F. virens* var. *sublanceolata* was another category, and the third category was compose of the others species. By using fuzzy cluster analysis method, the stress resistance ability in anatomical structures of eight species was ranked as *F. elastica* > *F. microcarpa* > *F. altissima* > *F. microcarpa* ‘Golden Leaves’ > *F. benjamina* > *F. religiosa* > *F. celebensis* > *F. virens* var. *sublanceolata*, which was consistent with the results obtained from cluster analysis and further verified the reliability.

Key words: *Ficus* plant, leaf anatomical structure, stress resistance, quantitative analysis

桑科榕属 (*Ficus*) 是整个热带植物区系中最大的木本植物属之一,全世界约 1000 种,占桑科 1400

种的 70% 以上,我国约产 120 种,分布于西南至东部,南部最多^[1]。由于榕属植物的外形独特,在园林绿化中得到广泛应用。但是,近年来严重的低温、干旱气候交错在我国南方地区出现,对植物造成极大威胁,榕属植物也难逃厄运,均不同程度地受到伤害,甚至死亡,所以加紧预警预报和采取及时有效的保护措施刻不容缓,同时选择抗逆性强的树种不失为一种良

收稿日期:2011-05-23

修回日期:2011-11-08

作者简介:朱栗琼(1969-),女,副教授,主要从事植物生态解剖学教学与研究工作。

* 广西大学科研基金项目(X071053)资助。

策。判断植物抗性强弱的方法多种多样,其中通过植物叶片的解剖构造来评判是一种简单易行又相对可靠的方法。植物的形态和解剖结构是长期在特定的环境条件下形成的结果,不会随着环境因子的暂时变动而发生较大的变化。但是,植物叶片在长期进化过程中,却通过改变自身的结构特点对一些生理生化活动进行调节,以适应胁迫环境,如叶形变小、叶片增厚、叶脉变密、出现复表皮、角质层厚、表皮毛多、叶肉组织紧密等结构特征均是植物抗性强^[2~9]的表现。对榕属植物叶片的解剖构造与环境适应性的关系研究,目前只见到张艳霞等^[10]通过对叶片的解剖构造比较,得出紫叶橡皮榕抗旱性强于印度橡皮榕的结果和谢少雄等^[11]认为细叶榕对旱生环境的适应能力强于大叶榕的报道,其它种类的相关研究未见有报道。本文通过选择南方城市园林绿化中常见的8种桑科榕属植物:垂叶榕(*F. benjamina*)、印度橡胶榕(*F. elastica*)、黄葛榕(*F. virens* var. *sublanceolata*)、黄金榕(*F. microcarpa* ‘Golden Leaves’)、小叶榕(*F. microcarpa*)、柳叶榕(*F. celebensis*)、高山榕(*F. altissima*)、菩提树(*F. religiosa*)的叶片进行比较解剖研究,采用统计学方法进行分析,探讨他们的抗逆性强弱,为引种和选育榕属植物树种提供形态解剖学方面的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

2010年4月中分别在生境相似的广西大学校园和南宁市南湖公园内选择生长成熟的8种榕属植物,其中垂叶榕(*F. benjamina*)、印度橡胶榕(*F. elastica*)、黄葛榕(*F. virens* var. *sublanceolata*)、黄金榕(*F. microcarpa* ‘Golden Leaves’)、小叶榕(*F. microcarpa*)、柳叶榕(*F. celebensis*)采于广西大学校园,高山榕(*F. altissima*)、菩提树(*F. religiosa*)采于南湖公园,每种3株,在植株中上部见光处各方向取正常的4个小枝,取每个枝条由顶部往下数第5片成熟正常的叶片,用FAA固定液固定。

1.2 制片方法

(1)叶表皮制片。剪取叶片中部约长×宽=2cm×1cm的材料,先用蒸馏水煮8~10min,再投入冰醋酸:过氧水=1:1体积比的混合溶液中,置于60℃恒温箱中10~35h,直至材料发白起泡,洗净,用毛笔刷去叶肉组织,取大小适宜的下表皮装片。(2)叶的横切制片。叶用胡萝卜夹片后徒手切片,选薄而均匀的装片。表皮及切片材料均过番红-固绿染液5~10s,清水漂洗后,用30%甘油装片。

1.3 观测与统计

将制片置于MoticBA300生物数码显微镜下拍片(目镜均为×10)、测量、统计。每部位随机选取10个制片,30个视野拍片,读取30个数据,取平均值为测量统计值。叶片观测指标包括:叶表皮气孔密度,气孔长度,叶表面上、下角质层厚,叶上、下表皮细胞厚,栅栏组织,海绵组织,叶片厚度。

数据采用SPASS13.0及Excel软件做数量统计分析,分析方法包括主成分分析、聚类分析^[12],模糊数学综合评判法^[13]。

2 结果与分析

2.1 观测值测量结果

从表1和图1来看,8种植物的下表皮细胞正面观为近多边形,形态较小;气孔分为2类,高山榕、垂叶榕、橡皮树、黄金榕、小叶榕和柳叶榕为平列型,同时气孔的长轴与短轴差异较小,而黄葛榕与菩提树的气孔为无规则型,气孔的长轴与短轴差异较明显。从表1和图2来看,8种植物的叶均属于异面叶,由上

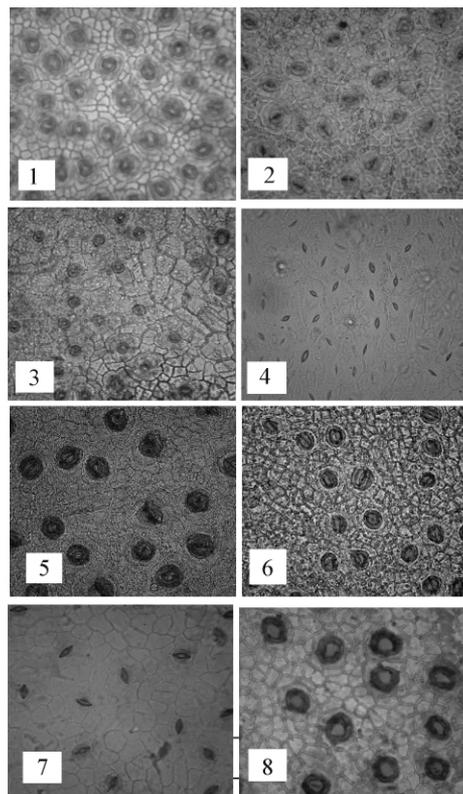


图1 叶片的表皮(×40)

Fig. 1 Leaves cuticles(×40)

1:高山榕,2:垂叶榕,3:橡皮树,4:黄葛榕,5:黄金榕,6:小叶榕,7:菩提树,8:柳叶榕。

1: *F. altissima*, 2: *F. benjamina*, 3: *F. elastica*, 4: *F. virens* var. *sublanceolata*, 5: *F. microcarpa* ‘Golden leaves’, 6: *F. microcarpa*, 7: *F. religiosa*, 8: *F. benjamina*.

表 1 8 种植物叶片解剖结构比较

Table 1 Comparison on leaf anatomical structures of 8 *Ficus* species

植物种类 Species	角质层厚度 Thickness of cuticle(μm)		表皮厚度 Thickness of epidermis(μm)		栅栏组织厚度 Thickness of palisade tissue (μm)	海绵组织厚度 Thickness of sponge tissue (μm)	栅海比 Palisade / sponge	叶片厚度 Thickness of leaf(μm)	气孔密度 Stoma density (个/ mm^2)	气孔长度 Length of stoma (μm)
	上表皮 Upper	下表皮 Lower	上表皮 Upper	下表皮 Lower						
高山榕 <i>F. altissima</i>	3.98±0.69	2.68±0.54	72.89±16.22	34.09±5.93	65.22±6.58	275.65±29.85	0.24±0.03	454.51±45.07	362.74±63.88	23.57±2.81
垂叶榕 <i>F. benjamina</i>	2.99±0.49	2.29±0.37	57.63±9.08	17.84±2.39	45.12±4.88	146.95±18.68	0.31±0.06	272.82±25.37	324.54±78.40	18.40±1.03
橡皮树 <i>F. elastica</i>	6.07±0.89	3.56±0.75	142.68±17.41	68.37±6.26	70.16±9.06	408.31±40.53	0.17±0.03	699.15±61.58	489.82±65.80	16.79±0.82
黄葛榕 <i>F. virens</i>	2.34±0.42	1.22±0.25	33.96±5.69	10.53±2.22	36.15±4.06	107.16±12.22	0.34±0.05	191.36±14.22	784.21±95.54	17.22±0.78
黄金榕 <i>F. microcarpa</i> 'G. L.'	3.03±0.51	2.87±0.61	74.90±11.83	32.81±4.97	109.38±13.12	201.08±20.91	0.54±0.08	424.07±48.37	458.63±58.27	31.24±2.09
小叶榕 <i>F. microcarpa</i>	2.84±0.48	2.42±0.57	49.51±7.07	31.00±5.02	69.74±8.79	122.45±18.38	0.57±0.09	277.96±33.28	220.5±39.45	22.86±1.88
菩提树 <i>F. religiosa</i>	2.22±0.37	1.29±0.24	59.15±9.23	25.88±3.35	42.37±6.67	136.92±32.57	0.31±0.06	267.83±42.06	219.75±36.84	23.45±2.10
柳叶榕 <i>F. celebensis</i>	2.92±0.68	1.59±0.34	53.23±9.03	18.59±1.65	46.63±6.20	130.48±15.76	0.36±0.05	253.44±28.30	217.45±28.31	35.66±1.92

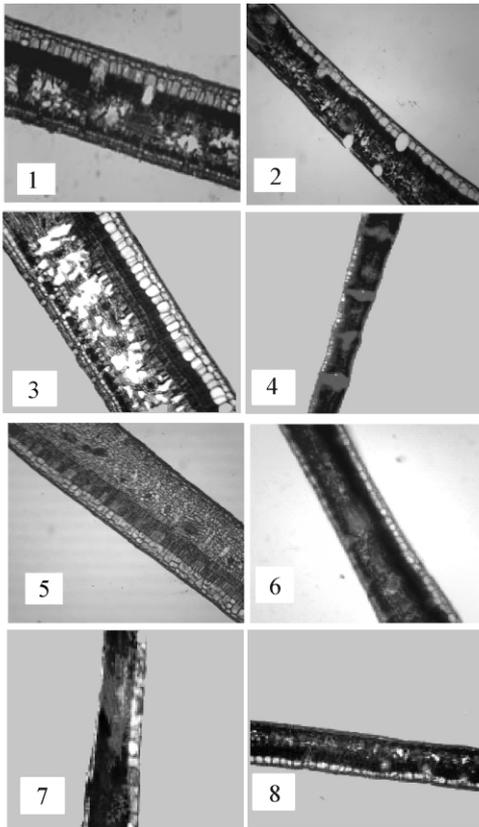


图 2 叶片的横切面(×40)

Fig. 2 Transverse section of leaves(×40)

1:高山榕,2:垂叶榕,3:橡皮树,4:黄葛榕,5:黄金榕,6:小叶榕,7:菩提树,8:柳叶榕。

1: *F. altissima*, 2: *F. benjamina*, 3: *F. elastica*, 4: *F. virens* var. *sublanceolata*, 5: *F. microcarpa* 'Golden leaves', 6: *F. microcarpa*, 7: *F. religiosa*, 8: *F. benjamina*.

下表皮、栅栏组织、海绵组织及叶脉所构成,表皮细胞外都覆盖有厚薄不均的角质层。大部分植物的上表皮明显比下表皮厚。除黄葛榕、菩提树外,其它 6 种植物均在叶腹面存在复表皮,高山榕、橡皮树和小叶榕的叶背面同时有复表皮。

2.2 主成分分析

由于栅海比是叶片栅栏组织与海绵组织厚度的比值,其在说明植物的抗性能力上具有较强的说服力,所以选择栅海比来替代单一的栅栏组织和海绵组织进行特征分析指标。由表 2 可见,前 2 个主成分贡献率之和为 81.384%(>70%),所以,它足以代表原始因子的大部分信息,即主成分分析方法在对 8 种榕属植物叶解剖构造特征的研究上是可行的。

表 2 主成分负荷量

Table 2 Component score coefficient matrix

主成分 Principal component	总数据列表 Total data			有效数据 Effective data		
	特征根 Characteristic value	贡献率 Contributive value(%)	总贡献率 Cumulative value(%)	特征根 Characteristic value	贡献率 Contributive value(%)	总贡献率 Cumulative value(%)
1	4.926	61.580	61.580	4.926	61.580	61.580
2	1.584	19.804	81.384	1.584	19.804	81.384
3	0.792	9.898	91.282			
4	0.487	6.083	97.364			
5	0.144	1.797	99.162			
6	0.045	0.567	99.729			
7	0.022	0.271	100.000			
8	0.000	0.001	100.000			

结合主成分(表 2)以及各因子负荷量分析(表 3)可知,第一主成分贡献率为 61.580%,对其影响较大

的性状是叶厚(0.981 μm)、上角质层厚(0.978 μm)、上表皮细胞厚(0.975 μm)、下表皮细胞厚(0.953 μm)和下角质层厚(0.861 μm),这些都是反映与外界环境直接接触的特征量。第二主成分的贡献率为19.804%,对它影响较大的是气孔长度(0.778 μm)和气孔密度(-0.762个/ mm^2),这些主成分特征量都具有较高的影响度(均大于0.6),亦可以考虑作为特征量。

表3 因子负荷量

Table 3 Principal component analysis factor loadings

性状 Trait	主成分 Principal component	
	1	2
上角质层 Upper cuticle	0.978	-0.019
下角质层 Lower cuticle	0.861	0.285
上表皮 Upper epidermis	0.975	0.097
下表皮 Lower epidermis	0.953	0.183
栅海比 Palisade/Sponge	-0.525	0.510
叶厚 Thickness of leaf	0.981	0.120
气孔密度 Stoma density	0.130	-0.762
气孔长度 Length of stoma	-0.341	0.778

2.3 聚类分析

从主成分分析的结果来看,除栅海比外,其它特征量均有较高的影响度,作为8种植物的叶片结构分析是合理的,但栅海比在以往的植物抗性分析中均作为重要的参考指标,并且在表3的因子负荷量中,无论是第一主成分,还是第二主成分中栅海比的影响度均超过0.5,所以也将其纳入特征量中,共计对8个特征指标,采用分层聚类法聚类,结果见图3。

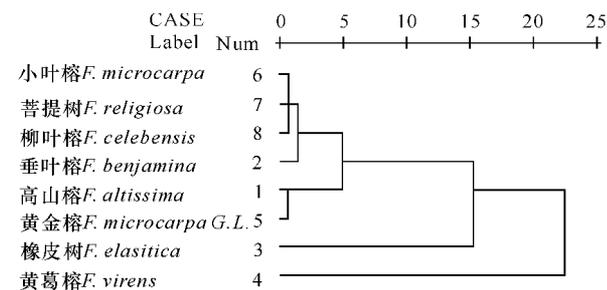


图3 8种榕属植物叶片解剖特征聚类结果

Fig. 3 Clustering dendrogram of morphological characters of 8 Ficus species

从图3结果可以看出,小叶榕、菩提树、柳叶榕、垂叶榕、高山榕和黄金榕6种,可归为一类,说明它们在结构上具有较大的相似性,进化演变相似性较大,抗性上也应类似;橡皮树与上述植物叶片结构上相差较远,而黄葛榕是单独分支最远的树种,说明与其它植物相比结构上有较大的特殊性。

2.4 模糊数学综合评判

由于植物的抗逆性是由多种因素相互作用综合形成的,每一个因素与抗逆性之间都存在着一定的联

系,不应用某个单一的指标来衡量,所以在实际应用中多采用综合指标的鉴定方法来进行最后评定。本试验采用模糊数学中的隶属函数法进行综合评判,以得出各种植物的抗性强弱顺序。根据以往的研究^[4,11]认为叶厚、表皮细胞厚、角质层厚及栅海比,这些都是与抗性呈正相关的因子,因此用正隶属函数计算,而气孔密度及气孔长度2个指标与植物抗性能力大小呈负相关关系,用反隶属函数计算。从表4结果可以知道,8种植物的抗逆性能大小依次为橡皮树>小叶榕>高山榕>黄金榕>垂叶榕>菩提树>柳叶榕>黄葛榕。橡皮树的综合值为0.815,远高于排名第二的小叶榕(0.502),显示出强大的抗性,黄葛榕的综合值只有0.179,与其最接近的柳叶榕(0.282)相差也较大,说明其结构的差异性较大,抗性最弱,其它6种植物则居中,这与聚类分析的结果相吻合。

3 讨论

植物在自然界中主要是受到温度、水分和光照等气候因子的胁迫,而干旱往往伴随着强光和高温的发生,光照强、温度高意味着环境中水分蒸发量大,容易造成干旱;低温则与潮湿、荫庇相关联,所以在讨论植物的抗逆性时,若排除人为及病虫害因素,通常是指植物抵抗低温和干旱的能力。植物长期在一定的环境下,其生长发育、生理机能和形态结构特征就会协同发展,并产生稳定的遗传,不同的植物在同一环境下也会有不同的生长及结构特征,同一植物在不同的环境下也会发生同样的结果。伴随着环境的长期变化趋势,植物的上述规律也会相应的发生变化以适应变化的环境,特别是作为表露于环境中最大面积的叶片,对环境变化的反应是最为明显的,所以研究在同一环境中的不同植物的叶片解剖结构特征,在一定程度上可以了解各植物的抗逆性能大小^[14,15]。但是,植物抗性大小是各指标作用的综合表现,所以对所得大规模测量数据进行统计学处理和分析是克服单一指标造成的片面或矛盾结果的良策。主成份分析是指标的信息通过一种降维的方法将多个指标简单化为少数几个综合指标,使这几个少数综合指标可以反映原来所有指标的信息,同时还能提供有关性状间相关性的信息的多元统计方法^[12]。本文采用主成分分析法对所观测的8个数值进行分析,结果表明前2个主成分贡献率之和为81.384%(>70%),足以代表原始因子所代表的大部分信息,因而可以断定主成分分析方法用于对该8种榕属植物叶解剖构造特征的研究上是可行的。在第一主成分中,对贡献率影响最大的是叶片厚度,所以在相似的环境条件下,近缘种的抗

表 4 隶函数值

Table 4 Membership function value

植物名 Species	上表皮 角质层 Thickness of upper cuticle	下表皮 角质层 Thickness of lower cuticle	上表皮 细胞厚 Thickness of upper epidermis	下表皮 细胞厚 Thickness of lower epidermis	栅海比 Palisade/ sponge	叶片 厚度 Thickness of leaf	气孔 密度 Stoma density	气孔 长度 Length of stoma	综合值 Value
高山榕 <i>F. altissima</i>	0.457	0.624	0.358	0.407	0.175	0.518	0.744	0.641	0.491
垂叶榕 <i>F. benjamina</i>	0.200	0.457	0.218	0.126	0.350	0.160	0.811	0.915	0.405
橡皮树 <i>F. elastica</i>	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	1.000	0.519	1.000	0.815
黄葛榕 <i>F. virens</i>	0.031	0.000	0.000	0.000	0.425	0.000	0.000	0.977	0.179
黄金榕 <i>F. microcarpa</i> 'G. L.'	0.210	0.705	0.377	0.385	0.925	0.458	0.574	0.234	0.484
小叶榕 <i>F. microcarpa</i>	0.161	0.513	0.143	0.354	1.000	0.171	0.995	0.678	0.502
菩提树 <i>F. religiosa</i>	0.000	0.030	0.232	0.265	0.350	0.151	0.996	0.647	0.334
柳叶榕 <i>F. celebensis</i>	0.182	0.158	0.177	0.139	0.475	0.122	1.000	0.000	0.282

逆性大小可以从叶片的厚度上做出初步判断,其次是叶片的保护结构,即叶片的表皮细胞和角质层厚度,而且上表皮的影响大于下表皮,这应该与上表皮直接被光照射和气流接触有关。聚类分析是依据物以类聚的原则,引用分类学与多元统计分析的技术,对纷乱繁杂的事物进行分类,将具有类似性的事物聚为一类,使同类事物具有高度相似性^[16]。进一步用分层聚类法对本文研究的 8 种桑科榕属植物叶片结构因子进行聚类,发现可以分为 3 类,即橡皮树和黄葛榕单独各成为一类,其它 6 种植物共同组成一类。采用模糊数学综合法评判 8 种植物的抗逆性大小具体排序的结果是:橡皮树>小叶榕>高山榕>黄金榕>垂叶榕>菩提树>柳叶榕>黄葛榕,橡皮树具有最强的抗逆性,与此相反,黄葛榕的抗逆性最弱,其它 6 种植物的抗逆性居中,这一结果与聚类分析的结果很好地互相吻合,验证了结果的可靠性,说明本文研究结果可以为供园林绿化中对榕属植物的选择提供参考。

参考文献:

[1] 陈焕镛. 海南植物志:第 2 卷[M]. 北京:科学出版社, 1965.
 [2] 董丽,黄亦工,贾卖娥,等. 北京园林主要常绿阔叶植物抗冻性及其测定方法[J]. 北京林业大学学报,2002,24(3):70-73.
 [3] 施福成,李量冈,徐连根,等. 常绿木兰科植物的抗寒性研究[J]. 生态学报,1993,13(3):197-204.
 [4] 胡新生,王世绩. 树木水分胁迫生理与抗旱性研究进展及展望[J]. 林业科学,1998,34(2):77-89.
 [5] 王琿,夏玉芳,陆飞,等. 马尾松针叶解剖构造及其抗旱

适应性初步研究[J]. 贵州林业科技,2005,33(4):17-20.
 [6] 初敬华,高晨光,朱秋广. 吉林省西部四种旱生植物茎和叶解剖构造的研究[J]. 天津师范大学学报:自然科学版,2001,21(1):58-61.
 [7] 路贵和,刘学义,张学武. 不同抗旱类型大豆品种气孔特性初探[J]. 山西农业科学,1994,22(4):8-11.
 [8] 邵麟惠,于应文,张德昱. 灌木抗旱机理研究[J]. 草业科学,2007,24(3):22-26.
 [9] 孙同兴,吴鸿,李秉滔,等. 中国假鹰爪属和皂帽花属植物叶的形态结构及其分类学意义[J]. 植物分类学报,2002,40(5):385-395.
 [10] 张艳霞,朱必娟,肖德兴. 印度橡皮榕与紫叶橡皮榕叶片的解剖结构[J]. 仲恺农业工程学院学报,2010,23(3):31-35.
 [11] 谢少雄,秦维,肖德兴. 大叶榕和细叶榕叶片解剖结构及其适应性[J]. 仲恺农业工程学院学报,2010,23(4):12-15.
 [12] 赵昱,刘占林. 5 种松树针叶解剖结构的数量分析[J]. 西北林学院学报,2010,25(2):19-24.
 [13] 李禄军,蒋志荣,李正平,等. 3 树种抗旱性的综合评价及其抗旱指标的选取[J]. 水土保持研究,2006,13(6):253-259.
 [14] 郑家基,卢炜,陈利恒. 龙眼、橄榄叶片空隙率与耐寒性的关系[J]. 福建农业大学学报,1996(2):161-164.
 [15] Chaeles L, Wilson C L, Lawrence Pusey P, et al. Plant epidermal sections and imprints using cyanoacrylate adhesives[J]. Can J Plant Sci,1981,61:781-783.
 [16] 张力. SPSS 在生物统计中的应用[M]. 厦门:厦门大学出版社,2008.

(责任编辑:邓大玉)