

文章编号: 1674-7054(2017)03-0301-06

5个品系橡胶树叶片解剖结构及其抗旱性分析

杨森¹ 张晓飞² 高新生² 李维国²

(1. 海南大学热带农林学院, 海口 570228; 2. 中国热带农业科学院橡胶研究所, 海南 儋州 571737)

摘要: 利用石蜡切片技术, 用光学显微镜观测了5个品系橡胶树叶片的栅栏组织厚度、叶片厚度、主叶脉厚度等叶片解剖结构, 并运用多重比较和隶属函数, 综合分析其抗旱性。结果表明: 5个品系橡胶树叶片角质层厚度、栅栏组织厚度、叶片厚度、主叶脉厚度等均有显著差异; 根据隶属函数综合评价, 5个品系橡胶树的抗旱性强弱依次为: 保亨933 > 热垦525 > RRIM513 > 海垦1 > 热研106。

关键词: 橡胶树; 叶片结构解剖; 抗旱性; 隶属函数

中图分类号: S 59; S 313

文献标志码: A

DOI: 10.15886/j.cnki.rdsxb.2017.03.008

原产于赤道湿润地区的巴西橡胶树(*Hevea brasiliensis*)在我国可种植区域常常会受到不同程度的旱害威胁, 导致橡胶树生长受阻、抽叶减慢、枯死以及产胶受阻等危害^[1-2]。植物对逆境的适应主要有避逆性和耐逆性, 避逆性主要由植物的形态和解剖学特点决定, 耐逆性则跟原生质特性与内部生理机制特点相关。植物的抗旱性(drought resistance)根据其对于干旱的适应力和抵抗力分为3个类型: 逃旱性、御旱性和耐旱性, 其中御旱性主要利用形态结构上的特点^[3]。叶片作为植物体暴露在环境中面积最大的器官, 受水分、温度、光照等环境因子的影响, 叶外部形态、叶厚度及叶内部解剖结构存在差异。康萨如拉等认为, 植物叶片形态和组织结构特征, 对植物的适应性及其抗旱生理响应有重要的影响^[4], 叶片厚度对植物的抗旱性影响较大, 有些植物通过增加叶片厚度, 提高叶片的储水能力来抵御干旱^[5-7]。具有较好抗旱性植物的叶片, 其角质层较厚, 栅栏组织比较发达, 具有细胞细长、排列紧密的特征^[8-9]。在有关芒果^[10]、香蕉^[11]、柚木^[12]、印楝^[13]等热带植物抗旱性的研究中, 均发现叶片形态解剖结构与抗旱性之间存在一定的相关性, 而在巴西橡胶树抗旱研究的领域, 国内外学者对橡胶树叶片结构的相关研究较少。笔者利用石蜡切片技术, 观测和分析5个巴西橡胶树品系的叶片组织结构, 旨在找出橡胶树的抗旱性与叶片组织结构的关系, 为橡胶树抗旱研究和抗旱育种选择提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料 材料选自中国热带农业科学院橡胶研究所苗圃(19°30'N, 109°29'E)。砧木材料为橡胶树实生苗(通过GT1无性系种子实生获得), 接穗的品系有: 保亨933、RRIM513、海垦1和热研106、热垦525, 每株砧木材料1个接穗。供试的橡胶树品系的特点和耐旱水平见表1。

1.2 材料的选取及处理方法 选取5个品系1年生幼苗, 移栽至直径90 cm, 深度90 cm的塑料桶内, 桶底打4个直径2 cm的圆孔, 每桶种植1株, 桶内基质采用细土与椰糠按照体积比为1:1混匀配制, 在防雨大棚内培养, 人工控制浇水。每个品系8株, 实验设置分为对照(CK)和干旱处理(T), 每个处理随机分配4株, 干旱处理在实验开始第1天与对照同时浇水, 整个试验期间不再浇水, 对照每7 d浇水1次。处理30 d后开始采样^[14], 选择橡胶苗顶篷下第1蓬稳定叶, 取3片羽状复叶的中间1片, 各处理均采样10片, 取其中部带中脉的部分, 使用50% FAA固定液固定。

收稿日期: 2016-11-29

修回日期: 2017-06-22

基金项目: 中国热带农业科学院橡胶研究所基本科研业务费专项(1630022015007); 国家天然橡胶产业技术体系项目(CARS-34); 海南省重点研发计划(ZDYF2016040)。

作者简介: 杨森(1989-), 男, 海南大学热带农林学院2013级硕士研究生, E-mail: yangsen2733@qq.com

通信作者: 李维国(1968-), 男, 研究员, 硕士生导师, 研究方向: 橡胶树遗传改良, E-mail: leewg23@163.com

表 1 供试橡胶树品系的特点及耐旱水平

Tab. 1 Characteristics and drought tolerance of Hevea clones under test

无性系 Clone	来源 Source	选育单位 Institution	品系特点 Quality characteristics	耐旱水平 Drought tolerance level
保亨 933 Baoting933	RRIM600 × 海垦 1	海南保亨热带作物研究所 Baoting Tropical Crops Institute	速生 高产 Fast growth, high yielding	较强 Higher
RRIM513	PilB16 × PilA44	马来西亚橡胶局 Malaysian Rubber Board	高产 High yielding	较强 Higher
海垦 1 Haiken1	不明 Unknown	海南农垦橡胶研究所 State Farms Rubber Institute	速生 高产 Fast growth, high yielding	较强 Higher
热垦 525 Reken525	IAN873 × RRIM803	马来西亚橡胶局 Malaysian Rubber Board	速生 Fast growth	不明 Unknown
热研 106 Reyan106	热研 88 - 13 × 热研 217 Reyan88-13 × Reyan217	中国热带农业科学院橡胶研 究所 CATAS	早熟 高产 Early starter, high yielding	不明 Unknown

1.3 叶片石蜡切片 取已固定 24 h 的叶片组织,进行石蜡制片及切片,切片厚 8 μm ,番红-固绿对染色,加拿大树胶封藏,然后观察。

1.4 观测指标及方法 通过 LEICA DMLB 显微镜观察,使用 DFC500 照相,利用 Leica Application Suite 图像分析软件测定。观测指标包括:叶片厚度、主叶脉厚度、叶上下表皮及角质层厚度、海绵组织厚度、栅栏组织厚度,并按下式计算栅海比 P/S、细胞结构紧密度 CTR、细胞结构疏松度 SR:

$$P/S = \text{栅栏组织厚度} / \text{海绵组织厚度};$$

$$CTR = (\text{栅栏组织厚度} + \text{下部紧密组织厚度}) / \text{叶片厚度};$$

$$SR = \text{海绵组织厚度} / \text{叶片厚度}。$$

1.5 隶函数计算方法 对单一指标进行品系抗逆性评价时,往往有较强的片面性,此时需要综合多个相关指标,统一权重,对不同品系进行抗逆性排序,使评价的结果更具有客观性。模糊数学中的隶属函数法被广泛运用于这种综合评价方法。隶属函数的分析方法如下:

$$Y_{ij} = (X_{ij} - X_{j\min}) / (X_{j\max} - X_{j\min}) \quad (1),$$

式中, Y_{ij} 为 i 品系的 j 指标的隶属函数值; X_{ij} 为 i 品系的 j 指标的均值; $X_{j\max}$ 为各品系 j 指标均值的最大值; $X_{j\min}$ 为各品系 j 指标均值的最小值。若 j 指标与抗旱性呈负相关,则用公式(2)^[15]:

$$Y_{ij} = (X_{j\max} - X_{ij}) / (X_{j\max} - X_{j\min}) \quad (2)。$$

1.6 数据处理 试验原始数据采用 SPSS19.0 和 Excel 2007 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同品系橡胶树叶片解剖结构特征 从图 1 可知,不同品系橡胶树叶片解剖结构相同,均由表皮、叶肉和叶脉组成。上下表皮细胞均为单层细胞排列,上表皮细胞横切面为矩形,厚度差异较小,与空气接触的一侧覆盖一层均匀的角质层,下表皮细胞横切面形状不规则,厚度差异较大。叶肉由栅栏组织和海绵组织构成,栅栏组织紧贴着上表皮细胞,为单层细胞紧密排列,柱状细胞的长轴垂直于表皮,栅栏组织与下表皮细胞之间是海绵组织,海绵组织大多由 3 至 6 层细胞构成,排列松散,中间有大量的间隙和气室,在栅栏组织和海绵组织之间还有大量的网状脉切面。叶脉分为主叶脉和侧脉,维管束均较发达,主叶脉由表皮、木质部、维管束和韧皮部等部分组成,维管束呈半环形排列,有大量的薄壁细胞和周韧维管束、维管束鞘等厚壁细胞。

2.2 干旱处理的解剖结构变化

2.2.1 角质层与表皮细胞厚度 通过表 2 可以看出,5 个品系的角质层厚度除了海垦 1,其余 4 个品系的对照均小于干旱处理。对照中,角质层厚度虽然存在差异,但是都没有达到显著水平;干旱处理中,角质层厚度最大的是热研 106(1.46 μm),其与保亨 933(1.29 μm)、热垦 525(1.24 μm)、海垦 1(1.15 μm)之间差异显著。5 个品系橡胶树叶片的上表皮细胞厚度均大于下表皮细胞厚度。经干旱胁迫后,上表皮

厚度增加的有保亭 933、热垦 525 和 RRIM513, 保亭 933 和热研 106 的下表皮厚度增加, 仅有海垦 1 的上、下表皮细胞厚度均表现为减少。

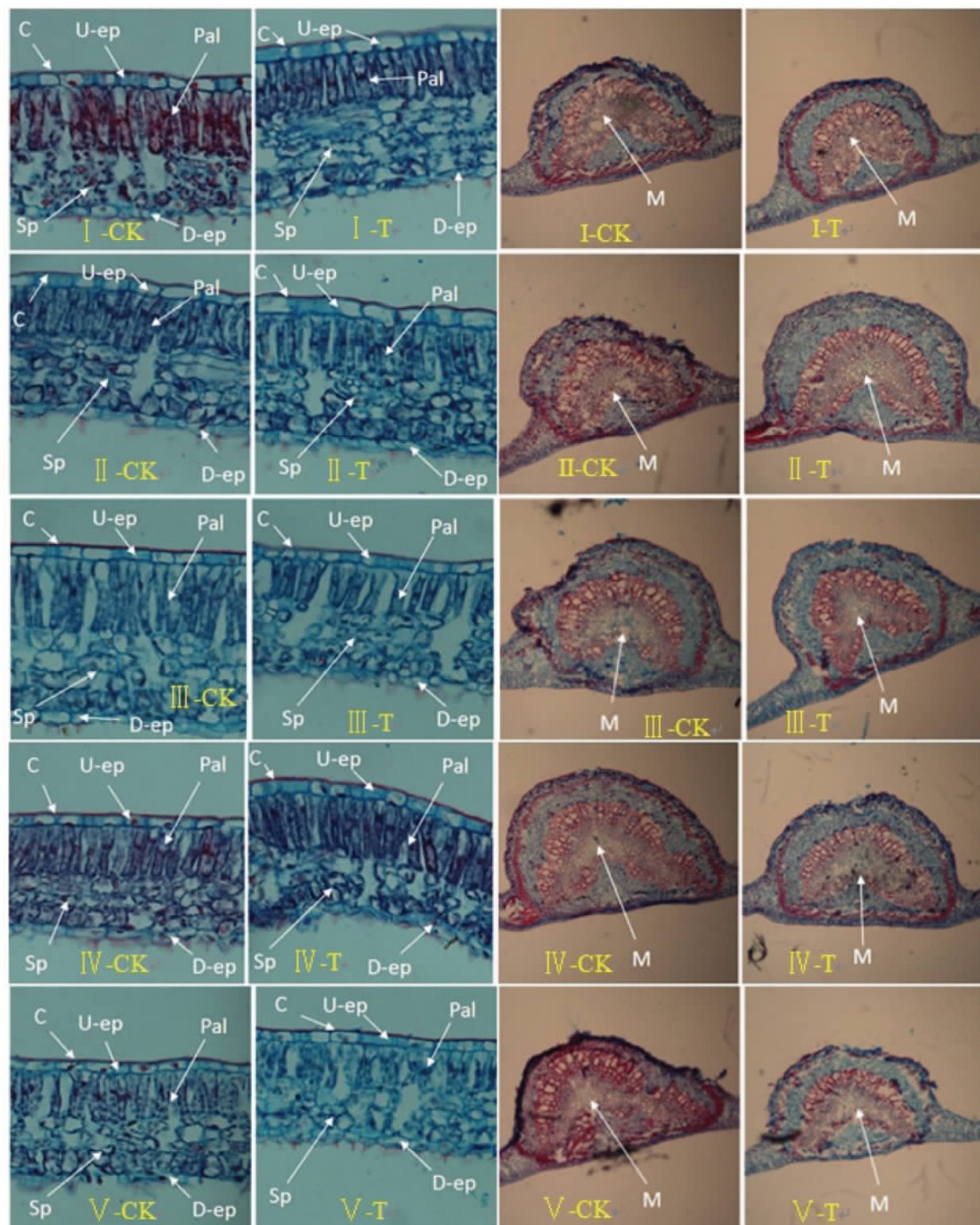


图 1 5个品系橡胶树在对照与干旱胁迫条件下的叶肉解剖结构和叶脉解剖结构

C: 角质层; U-ep: 上表皮; Pal: 栅栏组织; Sp: 海绵组织; D-ep: 下表皮; M: 主叶脉; I: RRIM513; II: 保亭 933; III: 海垦 1; IV: 热垦 525; V: 热研 106

Fig. 1 Anatomical structures of mesophyll and vein of leaves of 5 clones under normal and drought stress conditions

C: Cuticle; U-ep: Upper epidermis; Pal: Palisade tissue; Sp: Spongy tissue; D-ep: Down or lower epidermis; M: Main vein; I: RRIM 513; II: Baoting 933; III: Haiken 1; IV: Reken 525; V: Reyan 106

表2 5个品系橡胶树对照与干旱胁迫条件下叶片解剖结构的比较

Tab.2 Comparison of leaf anatomical structures of 5 clones of *Hevea brasiliensis* under control and drought stress

项目 Item	处理 Treatment	材料 Material Science				
		保亨 933 Baoting 933	RRIM513	海垦 1 Haiken1	热垦 525 Reken 525	热研 106 Reyan 106
角质层厚度/ μm	CK	1.25 $\pm$ 0.16cd	1.33 $\pm$ 0.18bc	1.20 $\pm$ 0.13cd	1.21 $\pm$ 0.17cd	1.21 $\pm$ 0.12cd
Cuticle thickness	T	1.29 $\pm$ 0.18bc	1.40 $\pm$ 0.17ab	1.15 $\pm$ 0.17d	1.24 $\pm$ 0.17cd	1.46 $\pm$ 0.21a
上表皮厚度/ μm	CK	8.02 $\pm$ 0.93cde	8.80 $\pm$ 0.78abc	8.35 $\pm$ 1.24bcd	6.92 $\pm$ 0.69f	8.06 $\pm$ 1.15cde
Upper epidermis thickness	T	9.12 $\pm$ 1.34ab	9.53 $\pm$ 1.27a	7.35 $\pm$ 1.02ef	9.57 $\pm$ 1.19a	7.61 $\pm$ 0.59def
栅栏组织厚度/ μm	CK	34.12 $\pm$ 2.80d	37.43 $\pm$ 5.60bc	47.47 $\pm$ 3.88a	35.23 $\pm$ 3.08cd	31.28 $\pm$ 1.69e
Palisade tissue thickness	T	39.37 $\pm$ 2.69b	38.35 $\pm$ 3.77b	33.87 $\pm$ 1.73d	37.77 $\pm$ 2.13b	26.09 $\pm$ 2.94f
海绵组织厚度/ μm	CK	44.07 $\pm$ 5.09b	42.22 $\pm$ 5.71b	56.88 $\pm$ 7.69a	37.10 $\pm$ 2.44c	34.32 $\pm$ 4.14c
Spongy tissue thickness	T	41.71 $\pm$ 4.66b	53.88 $\pm$ 7.13a	45.54 $\pm$ 6.25b	37.49 $\pm$ 4.18c	30.72 $\pm$ 3.62d
下表皮厚度/ μm	CK	6.74 $\pm$ 1.39bcd	7.20 $\pm$ 0.98abc	7.99 $\pm$ 1.12a	6.61 $\pm$ 0.85bcd	6.77 $\pm$ 1.80bcd
Lower epidermis thickness	T	7.46 $\pm$ 1.11ab	6.72 $\pm$ 0.87bcd	6.0 $\pm$ 0.74d	6.31 $\pm$ 0.94cd	6.82 $\pm$ 1.24bcd
叶片厚度/ μm	CK	103.04 $\pm$ 7.16de	110.30 $\pm$ 4.45bc	131.35 $\pm$ 9.86a	94.36 $\pm$ 4.09f	89.03 $\pm$ 6.51g
Leaf thickness	T	105.62 $\pm$ 6.58cd	113.34 $\pm$ 7.59b	97.70 $\pm$ 8.48ef	98.51 $\pm$ 8.83ef	78.35 $\pm$ 5.99h
主叶脉厚度/ μm	CK	684.00 $\pm$ 21.94d	662.84 $\pm$ 47.23e	812.17 $\pm$ 31.37a	789.72 $\pm$ 23.54b	617.13 $\pm$ 41.50f
Main vein thickness	T	807.17 $\pm$ 22.16ab	688.44 $\pm$ 10.95cd	807.84 $\pm$ 15.78ab	707.86 $\pm$ 10.35c	617.16 $\pm$ 31.29f
栅海比(P/S)	CK	0.78 $\pm$ 0.10def	0.91 $\pm$ 0.20bc	0.85 $\pm$ 0.11cde	0.95 $\pm$ 0.09ab	0.85 $\pm$ 0.11cde
Palisade/spongy tissues	T	0.95 $\pm$ 0.11ab	0.72 $\pm$ 0.08f	0.76 $\pm$ 0.10ef	1.02 $\pm$ 0.13a	0.86 $\pm$ 0.10cd
叶片紧密度	CK	0.33 $\pm$ 0.03d	0.34 $\pm$ 0.06cd	0.36 $\pm$ 0.03abc	0.37 $\pm$ 0.03ab	0.35 $\pm$ 0.02bcd
Cell tense ratio (CTR)	T	0.37 $\pm$ 0.03ab	0.34 $\pm$ 0.03cd	0.35 $\pm$ 0.04bcd	0.39 $\pm$ 0.04a	0.33 $\pm$ 0.03d
叶片疏松度	CK	0.43 $\pm$ 0.04b	0.38 $\pm$ 0.05d	0.43 $\pm$ 0.04b	0.39 $\pm$ 0.02cd	0.42 $\pm$ 0.03bc
Spongy ratio (SR)	T	0.40 $\pm$ 0.04cd	0.47 $\pm$ 0.04a	0.46 $\pm$ 0.03a	0.38 $\pm$ 0.04d	0.39 $\pm$ 0.03cd

注: 数字后的不同小写字母之间表示差异显著, 数字后的相同小写字母之间表示差异不显著 ($P < 0.05$)

Note: Different lowercase letters following the figure indicate significant differences, and the same lowercase letters following the figure indicates no significant difference ($P < 0.05$)

2.2.2 栅栏组织与海绵组织厚度 从图1可以看出, 5个品系橡胶树叶片的栅栏组织排列都较为紧密。从表2可以看出, 在对照中, RRIM513与热垦525的栅海比之间差异不显著, 与其他3个品种差异显著, 海垦1的栅栏组织与海绵组织厚度与其他品种均存在显著性差异; 经干旱胁迫后, 海垦1和热研106的栅栏组织厚度分别减小3.60 μm 和5.19 μm , 其他3个品系的栅栏组织厚度均增大, 保亨933增大5.25 μm , RRIM513增大0.92 μm , 热垦525增大2.54 μm ; 热垦525和RRIM513的海绵组织厚度分别增大0.39 μm 和11.66 μm , 海垦1和热研106的海绵组织厚度显著减小, 分别减小11.34 μm 和3.6 μm ; 保亨933(0.95 μm)和热垦525(1.02 μm)栅海比之间差异不显著, 但与其他3个品系存在显著性差异。

2.2.3 叶片与主叶脉厚度 由表2可以看出, 在对照中, 5个参试品系之间的叶片和主叶脉厚度均存在显著差异, 海垦1的叶片和主叶脉厚度均为最厚, 平均厚度分别为131.35 μm 和812.17 μm 。经干旱胁迫后, 海垦1和热研106的叶片厚度大幅度减小, 分别减小了33.65 μm 和10.68 μm , 其他3个品系的叶片厚度均增大, 保亨933增大2.58 μm , RRIM513增大3.04 μm , 热垦525增大4.15 μm , 这与栅栏组织厚度的变化情况一致; 保亨933和RRIM513的主叶脉厚度经干旱胁迫后显著增大, 分别增大了123.17 μm 和25.6 μm , 热研106(617.16 μm)的主叶脉厚度最小。

2.2.4 叶片紧密度和叶片疏松度 经干旱胁迫后, 保亨933和热垦525的叶片紧密度显著增大, 分别增大了0.04和0.02, 显著大于其他3个品系; 保亨933的叶片疏松度随干旱胁迫显著减小, 减小了0.03, 海

垦 1 和 RRIM513 叶片疏松度显著增大 ,分别增大了 0.03 和 0.09。

2.3 不同品系橡胶树叶片解剖结构指标的隶属函数分析 利用隶属函数法对 10 个指标进行综合评价 ,评价结果见表 3。由表 3 可见 ,叶片疏松度与抗旱性呈负相关 ,其他均为正相关 5 个品系橡胶树抗旱性强弱顺序为: 保亨 933 > 热垦 525 > RRIM513 > 海垦 1 > 热研 106。

表 3 5 个品系橡胶树叶片解剖结构指标的隶属函数分析结果

Tab. 3 The result of subordinate function analysis of leaf anatomical structure indexes in 5 clones of rubber tree

项目 Item	材料 Material				
	保亨 933 Baoting 933	RRIM513	海垦 1 Haiken1	热垦 525 Reken 525	热研 106 Reyan 106
角质层厚度 Cuticle thickness	0.446	0.802	0.000	0.294	1.000
上表皮厚度 Upper epidermis thickness	0.799	0.984	0.000	1.000	0.116
栅栏组织厚度 Palisade tissue thickness	1.000	0.923	0.586	0.879	0.000
海绵组织厚度 Spongy tissue thickness	0.475	1.000	0.640	0.292	0.000
下表皮厚度 Lower epidermis thickness	1.000	0.491	0.000	0.210	0.562
叶厚 Leaf thickness	0.779	1.000	0.553	0.576	0.000
叶脉 Leaf vein	0.996	0.374	1.000	0.476	0.000
栅海比 Palisade/spongy tissues	0.778	0.000	0.130	1.000	0.453
紧密度 Cell tense ratio	0.761	0.103	0.301	1.000	0.000
疏松度 Spongy ratio	0.845	0.000	0.104	1.000	0.890
求和 Summation	7.879	5.677	3.314	6.727	3.021
平均值 Mean	0.788	0.568	0.331	0.673	0.302
排序 Ranking	1	3	4	2	5

3 讨 论

结果表明 5 个品系橡胶树的抗旱性强弱依次为: 保亨 933 > 热垦 525 > RRIM513 > 海垦 1 > 热研 106。抗旱能力最强的保亨 933 ,其栅栏组织厚度和下表皮厚度是最大的 ,叶片厚度、叶脉厚度、栅海比和紧密度在 5 个品系中排第 2; 热垦 525 的上表皮厚度、紧密度和栅海比是最大的; 抗旱能力最弱的热研 106 ,其栅栏组织厚度、海绵组织厚度、叶片厚度、叶脉厚度和紧密度都是最小的。植物可以通过改变叶片结构来适应干旱胁迫^[16-17] 栅栏组织高度发达 ,既可以避免植物叶肉细胞受强光灼伤 ,又可以使叶片充分利用衍射光进行光合作用; 干旱条件下 ,植物叶片的栅栏组织厚度、紧密度 2 项指标越大 ,其利用光能的效率越高 ,抗旱性越强^[18-21]; 植物叶片厚度越大 ,其储水能力越强 ,与抗旱能力呈正相关^[22-25]; 叶片主叶脉主要为叶片提供水分和营养物质等的交换运输 ,发达的主脉更有利于运输水分^[26] ,叶片主叶脉厚度越大 ,植物的抗旱性越强^[16 25 27]。综上所述 ,本实验的结果与前人的研究结果较为相似。

角质层厚度和海绵组织厚度由大到小的排序与各品系的抗旱性排名不相关 ,说明单一的抗旱指标不能对植物的抗旱性强弱进行准确描述 ,通过对多个指标进行综合分析后得出植物抗旱性的评价 ,才是客观准确的^[28]。植物对干旱胁迫的适应性是极其复杂的 ,不仅与其自身形态解剖结构特征有关 ,还取决于其内部的多种生理生化活动 ,所以具体评价橡胶树抗旱性强弱应结合田间试验 ,综合考虑各方面因素后做出科学的解答。

参考文献:

[1] Chandrashekar T R , Nazeer M A , Marattukalam J G , et al. An analysis of growth and drought tolerance in rubber during the immature phase in a dry subhumid climate. [J]. Experimental Agriculture , 1998 , 34(3) : 287 – 300.

[2] 何康 ,黄宗道. 热带北缘橡胶树栽培[M]. 广州: 广东科技出版社 ,1987.

[3] 李合生. 现代植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社 ,2006: 334 – 335 ,354 – 355.

- [4] 康萨如拉, 牛建明, 张庆, 等. 短花针茅叶片解剖结构及与气候因子的关系[J]. 草业学报, 2013, 22(1): 77–86.
- [5] Abrams M D, Mostoller S A. Relating wet and dry year ecophysiology to leaf structure in contrasting temperate tree species [J]. Ecology, 1994, 75(1): 123–133.
- [6] Chartzoulakis K, Patakas A, Bosabalidis A M. Changes in water relations, photosynthesis and leaf anatomy induced by intermittent drought in two olive cultivars [J]. Environmental & Experimental Botany, 1999, 42(2): 113–120.
- [7] 武斌, 李新海, 肖木辑, 等. 53 份玉米自交系的苗期耐旱性分析[J]. 中国农业科学, 2007, 40(4): 665–676.
- [8] 邱权, 潘昕, 李吉跃, 等. 青藏高原 20 种灌木抗旱形态和生理特征[J]. 植物生态学报, 2014, 38(6): 562–575.
- [9] 高松, 苏培玺, 严巧娣, 等. C₄ 荒漠植物猪毛菜与木本猪毛菜的叶片解剖结构及光合生理特征[J]. 植物生态学报, 2009, 33(2): 347–354.
- [10] 金龙飞, 范飞, 罗轩, 等. 芒果叶片解剖结构与抗旱性的关系[J]. 西南农业学报, 2012, 25(1): 232–235.
- [11] 陈豫梅, 陈厚彬, 陈国菊, 等. 香蕉叶片形态结构与抗旱性关系的研究[J]. 热带农业科学, 2001(4): 14–16.
- [12] 郑淑珍, 邝炳朝. 柚木种源抗旱性形态及解剖的研究[J]. 林业科学研究, 1993(2): 124–130.
- [13] 廖声熙, 刘娟, 和菊, 等. 印楝叶解剖结构与抗旱性关系初步研究[J]. 林业科学研究, 2001, 14(4): 435–440.
- [14] 宫丽丹, 田耀华, 龙云峰, 等. 持续干旱胁迫及复水对橡胶树渗透调节能力的影响[J]. 中国农学通报, 2012, 28(1): 35–38.
- [15] 范杰英. 9 个树种抗旱性的分析与评价[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2005.
- [16] 崔大练, 马玉心, 王俊. 干旱胁迫下紫穗槐叶片解剖特征的变化[J]. 广西植物, 2011, 31(3): 332–337.
- [17] 董建芳, 李春红, 刘果厚, 等. 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.
- [18] 苏印泉, 张军侠. 10 种茶树叶片比较解剖学及与抗性关系的研究[J]. 西北林学院学报, 1997, 13(4): 1–8.
- [19] 王怡. 三种抗旱植物叶片解剖结构的对比观察[J]. 四川林业科技, 2003, 24(1): 64–67.
- [20] 邓艳, 蒋忠诚, 曹建华, 等. 弄拉典型峰丛岩溶区青冈栎叶片形态特征及对环境的适应[J]. 广西植物, 2004, 24(4): 317–322.
- [21] 孟庆杰, 王光全, 董绍锋, 等. 桃叶片组织结构与其抗旱性关系的研究[J]. 西北林学院学报, 2005, 20(1): 65–67.
- [22] Dong X J, Zhang X S. Some observations of the adaptations of sandy shrubs to the arid environment in the Wu Us sandland: leaf water relations and anatomic features [J]. J. Arid Environ, 2001, 48: 41–48.
- [23] 李广毅, 高国雄, 吕悦来, 等. 三种灌木植物形态特征及解剖结构的对比观察[J]. 水土保持研究, 1995, 2(2): 14.
- [24] 张德巧, 徐增莱, 褚晓芳, 等. 蓝莓叶片与抗旱性相关的解剖结构指标研究[J]. 果树学报, 2008, 25(6): 864–867.
- [25] 郭改改, 封斌, 麻保林, 等. 不同区域长柄扁桃叶片解剖结构及其抗旱性分析[J]. 西北植物学报, 2013, 33(4): 720–728.
- [26] 刘世彪, 陈菁, 胡正海. 7 种番荔枝果树的叶片结构及其与抗寒性关系研究[J]. 果树学报, 2004, 21(3): 241–246.
- [27] 梅秀英, 姜在民. 核桃和铁核桃品种(优系)叶形态构造与抗旱性的研究[J]. 西北林学院学报, 1998, 13(1): 16–20.
- [28] 张卫华, 张方秋, 张守攻, 等. 马占相思抗旱性生理指标的选择研究[J]. 中南林学院学报, 2005, 25(6): 56–59.

Leaf Anatomical Structure and Drought Resistance Analysis of 5 Rubber Clones (*Hevea brasiliensis*)

YANG Sen¹, ZHANG Xiaofei², GAO Xinsheng², LI Weiguo²

(1. College of Tropical Agriculture and Forestry, Hainan University, Haikou, Hainan 570228, China;

2. Rubber Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Danzhou, Hainan 571737, China)

Abstract: In order to explore the relationship between leaf structure and drought resistance of rubber trees, leaves of rubber trees collected from 5 rubber clones (*Hevea brasiliensis*) were treated by using paraffin section technique to observe their anatomical structures such as palisade tissue thickness, leaf thickness, main vein thickness, etc. under optical microscope. The data were subjected to multiple comparison and subordinate function analysis to analyze the drought tolerance of the leaves of the 5 rubber clones. The results showed that there were significant difference among the 5 rubber clones in leaf cuticle thickness, palisade tissue thickness, thickness and main vein thickness. Multiple comparison and subordinate function analysis showed the drought resistance of these 5 clones was in the order of Baoting 933 > Reken 525 > RRIM 513 > Haiken 1 > Reyan 106.

Keywords: *Hevea brasiliensis*; leaf anatomic structure; drought resistance; subordinate function