



主持人:徐 冉

21个品系橡胶树的叶片解剖特征研究

杨 雨¹, 胡欣欣¹, 丁世涛³, 袁志能², 黄 肖¹, 欧阳宇珺³, 高新生¹

(1. 中国热带农业科学院 橡胶研究所, 海口 571101; 2. 广东农垦热带农业研究院有限公司, 广州 511365;
3. 海南大学 热带农林学院, 海口 570228)

摘 要: 为摸清我国橡胶树 (*Hevea brasiliensis*) 品系间的叶片形态结构差异, 为高光效品种选育及适应性评价等提供依据, 以“热研73397”、“热研917”等21份我国橡胶树主要栽培品系为实验材料, 采用石蜡切片技术和指甲油印迹法, 观测了不同品系橡胶树叶片栅栏组织、海绵组织厚度等叶片结构特征。结果表明: “南华1”、“红星1”以及“热研917”品系的栅栏组织结构厚度、叶片厚度, 栅栏组织与海绵组织的比值等较高; “热垦628”、“热研106”与“热研917”的气孔长度, 气孔宽度和气孔密度相对较小, 推测具有较强的光合能力和一定的抗旱能力。采用系统聚类将上述品种进行分成2类, 其中, “南华1”, “红星1”, “海垦1”, “热研917”品系的叶片厚度, 栅栏组织, 组织结构致密度相对较高。综上, “南华1”, “红星1”, “热研917”品系叶片厚度, 栅栏组织, 组织结构致密度较高, 气孔小而密, 推测其有更好的光合性能。

关键词: 橡胶树; 叶片解剖; 聚类分析

中图分类号: S794.1

文献标志码: A

文章编号: 1674-7054 (2024) 04-0373-09

杨雨, 胡欣欣, 丁世涛, 等. 21个品系橡胶树的叶片解剖特征研究 [J]. 热带生物学报, 2024, 15(4): 373-381. doi: 10.15886/j.cnki.rdsxb.20230137

橡胶树 (*Hevea brasiliensis*) 又称巴西橡胶, 原产于巴西亚马逊河流域, 属于典型的热带雨林树种, 也是目前商业种植规模最大的产胶植物^[1]。光合作用作为植物同化物的代谢途径, 是植物生长发育的基础和决定植物产量的重要生理过程, 而叶片作为植物进行光合作用的物质载体和重要器官, 其结构特征能体现环境对植物的影响和本身对环境的适应, 具体表现为解剖结构、气孔结构的差异^[2]。叶片的长短、叶片的大小厚度及解剖结构的差异, 是基因型与环境因子共同作用的结果, 其叶片外部形态, 内部构造 (海绵组织、栅栏组织、上下表皮的厚度等组织结构) 的发育成熟程度对于反映植物光合能力和抗性等均具有重要意义^[3]。近年来, 许多学者运用多元统计分析方法对叶片形态及解剖结构与光合能力等的关系进行了研究, 杨森^[4]、潘昕^[5]和周志雄等^[6]运用石蜡切片法来

综合评价植物对生态环境的适应性。叶片的上表皮厚度, 栅栏组织厚度以及叶片厚度等, 这些参数与植物的适应性密切相关^[7-8]。栅栏组织的厚度越厚, 上表皮的厚度越厚, 叶片的捕光能力就越强^[9]。高新生等^[10]的研究表明, 橡胶树品种间叶片解剖结构、光合参数之间存在着显著差异, 净光合速率与叶片厚度、栅栏组织厚度极显著相关。气孔是植物进行水分代谢以及光合作用中气体交换的重要通道, 是影响作物生产能力和抗逆性的重要因素, 对植物生境的变化具有较强的敏感性^[11], 其形状、密度、大小等特征随温度、光照、CO₂浓度以及降水等环境因子的改变而发生变化^[12]。因此大多采用植物叶片气孔参数 (密度、大小、导度) 来反映植物体对环境变化的响应^[13]。在诸多植物中, 叶片通常气孔小而密的植物往往光合能力更高, 可以更快地响应外界的环境因子^[14-15]。刘德政等^[16]

收稿日期: 2023-12-11

修回日期: 2024-02-28

基金项目: 广东省重点领域研发计划项目 (2020B020217002)

第一作者: 杨雨 (1996-), 女, 研究实习生。研究方向: 橡胶树品种选育。E-mail: yanggy523@163.com

通信作者: 高新生 (1982-), 男, 研究员。研究方向: 橡胶树遗传育种。E-mail: hagioxs@163.com

的研究结果表明,在大田环境下小麦叶片气孔长度与蒸腾速率和气孔导度均呈正相关,气孔面积与蒸腾速率呈正相关,且较大的旗叶面积和较低的气孔密度会促进小麦光合作用,有利于提高小麦的产量。

橡胶树不同品系间的叶片解剖结构均存在着很大的差异,植物叶片厚度、栅栏组织、海绵组织等均会受到环境因子的影响而发生相应的变化,对光照强度、抗逆性均存在不同适应性^[17-18]。但目前对巴西橡胶树不同品种间叶片解剖结构方面的研究较为零散,很不系统,有待进一步明晰。因此,笔者对21个橡胶树品系在自然条件下的叶片解剖和气孔特征进行观察,分析不同类型品种叶片在解剖结构上的差异,旨在为橡胶树品系的环境适应性、抗性(抗旱、抗寒等)、高光效新品系选育提供理论依据和技术参考。

1 材料与方法

1.1 材料 样品采集地点为中国热带农业科学院试验场9队种质资源圃(19.51°E,109.49°N),参试的21种橡胶树无性系均为试种级以上种质材料,包括‘热研106’、‘热垦628’、‘IAN873’、‘RRIM600’和‘PR107’等。

1.2 叶片样品采集 叶片样品于2017年08月采

集。取样株为10龄生幼树,每个无性系选3株,每株选择树冠中上部当年生不同方位阳生枝条,于晴天上午8:00时摘取健康、成熟期叶片12片,并分为3组,每5片为一组,分别用于气孔特征和叶解剖特征的测定及观察。

1.3 试验方法 叶解剖特征的检测参照燕玲等人方法^[19],在光学显微镜下观测叶片厚度(leaf thickness, LT)、上表皮厚度(thickness of upper epidermis, TU)、下表皮厚度(thickness of lower, TL)、栅栏组织厚度(thickness of palisade tissue, TP)、海绵组织厚度(thickness of spongy tissue, TS)、组织结构致密度(tightness of leaf palisade tissue, CTR)、组织结构疏松度(losses of leaf palisade tissue, SR)等。气孔特征实验采用指甲油印迹法^[20]。

1.4 数据处理 数据用SPSS 23和Excel 2010软件进行统计分析,采用Duncan新复极差法进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 21种橡胶树品系信息及亲本来源 从表1及图1可以看出,本试验选取的21个品种选育方式源于自主选育与引进良种方式,品种世代上涵盖初生代品种到最新选育的四生代品种,品种类型上包括了我国主要的抗风、高产、抗寒等商业栽培

表1 21种橡胶树品系的主要信息
Tab.1 Main information of 21 *Hevea brasiliensis* varieties

序号 Serial number	品系 Clone	品系类型 Variety type	来源 Variety source	序号 Serial number	品系 Clone	品系类型 Variety type	来源 Variety source
1	‘93114’	抗寒	国内自育	12	‘海垦2’	抗风	国内自育
2	‘PR107’	抗风	引种	13	‘大丰95’	高产	国内自育
3	‘PB86’	高产	引种	14	‘热垦628’	高产	引种
4	‘Tjil1’	高产	引种	15	‘热垦525’	速生	引种
5	‘GT1’	抗寒	引种	16	‘热研917’	高产	国内自育
6	‘湛试32713’	抗寒	国内自育	17	‘热研73397’	高产	国内自育
7	‘红星1’	抗风	国内自育	18	‘文昌11’	抗风	国内自育
8	‘南华1’	抗寒	国内自育	19	‘热研879’	高产	国内自育
9	‘RRIM623’	高产	引种	20	‘热研106’	高产	国内自育
10	‘IAN873’	速生	引种	21	‘海垦1’	抗风	国内自育
11	‘RRIM600’	高产	引种				

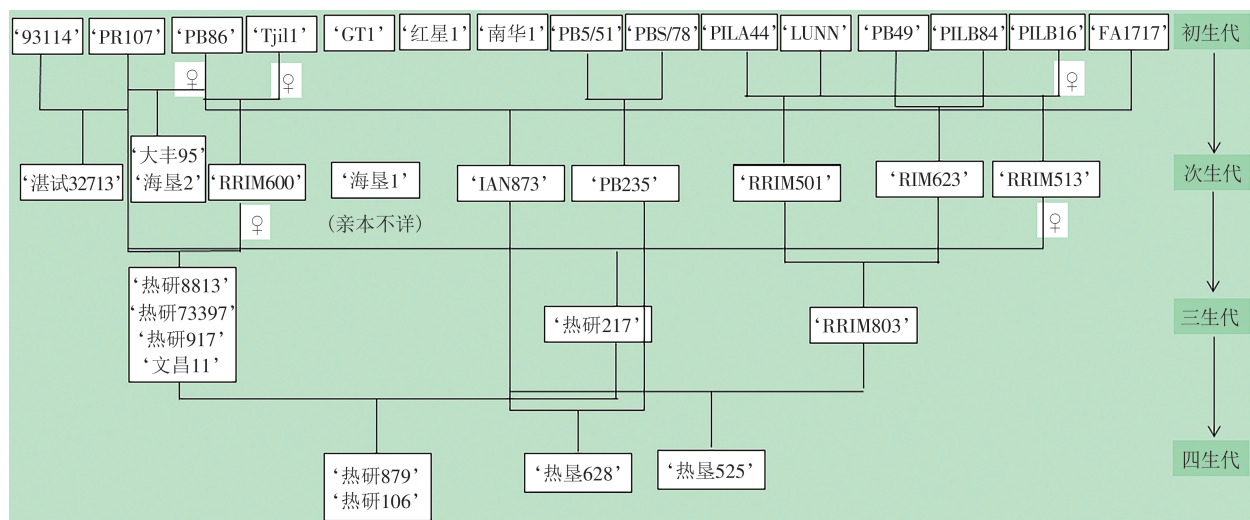


图1 参试材料系谱图

Fig. 1 Genealogy of the tested materials

品种和主要骨干亲本,覆盖面广,代表性强,是后续我国橡胶树品种选育的核心遗传基础。

2.2 叶片解剖结构特征的比较分析 从表2和图2可知,上表皮厚度、海绵组织的厚度、下表皮的厚度等性状品种间均存在着显著的差异,栅栏组织的厚度、栅栏组织的厚度与海绵组织的厚度之比等性状品种间差异不显著。从上表皮的组织结构看,‘文昌11’、‘海垦1’、‘PR107’等品种较高,与‘93114’、‘热研106’、‘热研73397’差异显著;各品种栅栏组织的厚度为41.32~109.72 μm ,‘红星1’最高,与‘南华1’、‘PB86’、‘海垦1’、‘海垦2’、‘热研917’差异不显著,与‘93114’等15个处理组差异显著;‘红星1’、‘海垦2’、‘RRIM623’海绵组织厚度较厚,显著高于‘93114’、‘热研879’、‘热研106’;下表皮的厚度为8.56~11.66 μm ,‘文昌11’最高,与‘RRIM600’、‘海垦2’、‘湛试32713’、‘GT1’、‘PR107’、‘PB86’、‘南华1’差异不显著,与‘93114’、‘热研879’等14个品种差异显著;‘红星1’的叶片厚度最厚,为196.61 μm ,与‘南华1’、‘海垦2’、‘热研917’差异不显著,与‘93114’等17个品种差异显著;从栅栏组织厚度与海绵组织厚度之比来看,‘南华1’、‘热研917’、‘红星1’高于其他处理组;从组织结构疏松度来看,‘热垦628’组织结构疏松度最高,为43.73%,显著高于‘红星1’、‘南华1’;从组织结构致密度来看,‘红星1’、‘南华1’、‘热研917’组织结构致密度较高,与‘热垦628’、‘93114’、‘PR107’、‘文昌11’差异显著。从具体品种看,

‘南华1’、‘红星1’以及‘海垦2’品种的栅栏组织结构厚度、叶片厚度,栅栏组织与海绵组织的比值等各项指标均表现较好。

2.3 叶片气孔特征的比较分析 从叶片气孔特征来看(表3和图3),各品种气孔长度、气孔宽度、气孔密度的指标均存在的显著差异。叶片气孔长度为16.91~26.44 μm ,其中‘热垦628’最短,与其他处理组差异显著;叶片气孔宽度为9.99~14.21 μm ,其中‘热研879’、‘热垦628’、‘热研106’宽度较小,与‘RRIM600’差异显著;从叶片气孔面积来看,‘热垦628’最小,与‘南华1’、‘热研106’差异不显著,与其他品种差异显著;从叶片气孔密度来看,‘93114’、‘热研917’、‘RRIM600’气孔密度较高,与‘RRIM623’、‘热垦628’、‘热垦525’、‘热研73397’等存在显著差异。从具体品种来看,‘热垦628’、‘热研106’和‘热研917’的气孔长度,气孔宽度和气孔面积的指标相对较小,推测其具有较强的光合能力和一定的抗旱能力。

2.4 叶片相关指标相关性分析 对橡胶21个品种叶片的相关指标进行相关性分析,如表4所示,上表皮厚度与海绵组织厚度、下表皮厚度、叶片厚度极显著正相关;栅栏组织厚度与海绵组织、叶片厚度、组织结构致密度极显著正相关;叶片厚度与栅栏组织/海绵组织、组织结构致密度极显著正相关;组织结构疏松度与栅栏组织、叶片厚度、栅栏组织/海绵组织极显著负相关;气孔面积与气孔长度、气孔宽度极显著正相关。

表2 21种橡胶树叶片解剖结构特征的比较分析

Tab. 2 Comparative analysis of anatomical structure characteristics of *Hevea brasiliensis* leaf blades among 21 strains

品种 clone	上表皮 厚度/ μm TU	栅栏组织 厚度/ μm TP	海绵组织厚 度/ μm TS	下表皮 厚度/ μm TL	叶片 厚度/ μm LY	栅栏组织 厚度/海绵 组织厚度 TP/TS	组织结构 疏松度/% SR	组织结构 致密度/% CTR
‘93114’	8.15±0.97c	41.32±11.36c	40.19±2.46d	8.56±0.67c	98.22±12.70d	1.03±0.29b	41.36±5.93ab	41.57±6.21c
‘RRIM623’	12.33±0.65ab	65.00±0.76bc	61.98±1.59ab	10.21±1.09b	149.52±3.21bc	1.05±0.02b	41.45±0.48ab	43.48±0.55bc
‘红星1’	11.29±0.27bc	109.35±4.00a	67.30±10.81a	8.67±0.62c	196.61±14.95a	1.65±0.19ab	34.09±2.82bc	55.73±2.28a
‘PR107’	13.32±1.30ab	57.39±6.60bc	55.48±5.92bc	11.06±0.53ab	137.25±8.67cd	1.04±0.18b	40.42±3.22abc	41.80±3.77c
‘文昌11’	13.67±2.32a	63.78±6.41bc	61.14±1.95ab	12.07±1.28a	150.66±7.38bc	1.05±0.14b	40.69±3.33abc	42.26±2.27c
‘南华1’	12.88±0.44ab	109.00±72.86a	57.33±2.63bc	10.80±0.58ab	190.01±70.33ab	1.94±1.38a	32.90±11.12c	53.59±15.40ab
‘IAN873’	10.96±0.21bc	65.32±0.68bc	60.78±2.31ab	10.12±0.77b	147.18±1.91bc	1.08±0.05b	41.29±1.06ab	44.39±1.01bc
‘PB86’	12.27±1.11ab	71.43±8.30abc	58.63±4.22b	11.03±1.00ab	153.35±14.58bc	1.22±0.06ab	38.29±0.93abc	46.51±1.05abc
‘海垦1’	13.53±1.27ab	71.54±2.18abc	52.06±2.64bc	9.27±0.34bc	146.40±4.29bc	1.38±0.09ab	35.56±1.27abc	48.88±1.61abc
‘RRIM600’	12.75±0.77ab	67.07±3.56bc	58.58±3.56b	11.66±0.31a	150.05±4.47bc	1.15±0.12ab	39.04±1.97abc	44.70±2.17bc
‘海垦2’	12.40±1.35ab	70.29±7.83abc	63.81±12.60ab	11.64±0.45a	158.15±21.29abc	1.12±0.13b	40.11±3.15abc	44.56±1.67bc
‘热研879’	10.56±0.90bc	56.44±4.48bc	46.83±4.03cd	8.34±1.58c	122.17±10.67cd	1.21±0.03ab	38.34±0.71abc	46.22±0.51abc
‘TJIL1’	10.56±0.62bc	66.27±6.54bc	51.35±5.89bc	9.74±0.15bc	137.92±12.61cd	1.29±0.08ab	37.19±1.49abc	48.04±1.06abc
‘热研106’	9.52±0.72c	53.30±4.42bc	49.95±2.78c	9.46±0.26bc	122.23±7.60cd	1.07±0.05b	40.88±0.96abc	43.58±1.14bc
‘GT1’	12.67±0.89ab	66.09±3.69bc	61.98±2.15ab	11.16±0.70ab	151.91±5.34bc	1.07±0.07b	40.82±1.39abc	43.50±1.61bc
‘热垦628’	10.46±0.42bc	53.14±0.92bc	57.02±3.00bc	9.71±0.68bc	130.34±3.10cd	0.93±0.06b	43.73±1.48a	40.79±1.38c
‘大丰95’	11.43±0.98bc	64.16±6.29bc	49.80±2.14c	10.09±0.72b	135.48±3.76cd	1.29±0.16ab	36.80±2.36abc	47.29±3.37abc
‘热垦525’	10.67±1.59bc	57.16±4.95bc	51.76±3.86bc	9.30±0.87bc	128.91±10.75cd	1.10±0.04b	40.18±1.07abc	44.34±0.59bc
‘湛试32713’	11.83±0.89b	64.90±6.30bc	54.19±7.26bc	11.60±1.06a	142.52±15.44cd	1.20±0.05ab	37.95±1.10abc	45.58±0.56bc
‘热研917’	10.51±0.91bc	90.17±64.74ab	53.18±3.76bc	9.78±1.12bc	163.63±67.32abc	1.69±1.19ab	35.61±11.55abc	51.02±15.11abc
‘热研73397’	9.82±0.79c	52.95±3.93bc	48.30±2.95cd	10.13±0.66b	121.20±2.72cd	1.10±0.15b	39.90±3.12abc	43.66±2.35bc

注:小写字母表示在0.05水平上显著,大写字母表示在0.01水平上显著,下同。

Note: Lowercase letters indicate significance at the 0.05 level, the same below.

2.5 叶片解剖、气孔特征的系统聚类分析 采用系统聚类的方法,统计量采用欧式距离的最长距离法,以叶片解剖、气孔特征对各品种进行系统聚类,在距离上,将其分成2类,第1类为品种为‘南华1’,‘红星1’,‘海垦1’,‘热研917’,上述4个品种均为抗逆品种,其中‘南华1’为抗寒品种,‘红星1’等3个品种以抗风著称,但抗寒性也较好;第2类品种为‘热研106’,‘热研73397’,‘热研879’,‘热垦628’,

‘93114’,‘Tjil1’,‘IAN873’,‘RRIM600’,‘GT1’,‘RRIM623’,‘文昌11’,‘湛试32713’,‘热垦525’,‘PR107’,‘大丰95’,‘PB86’,‘海垦2’;上述品种中绝大部分高产类型品种居多,尤其是从系谱关系很近的全同胞亲缘品种‘热研106’、‘热研879’以及与其父本全同胞的‘热研73397’聚为一类,说明上述亲缘关系近的品种叶片解剖结构较为相似,同时以叶片解剖结构特征来聚类的结果是很准确的(图4)。

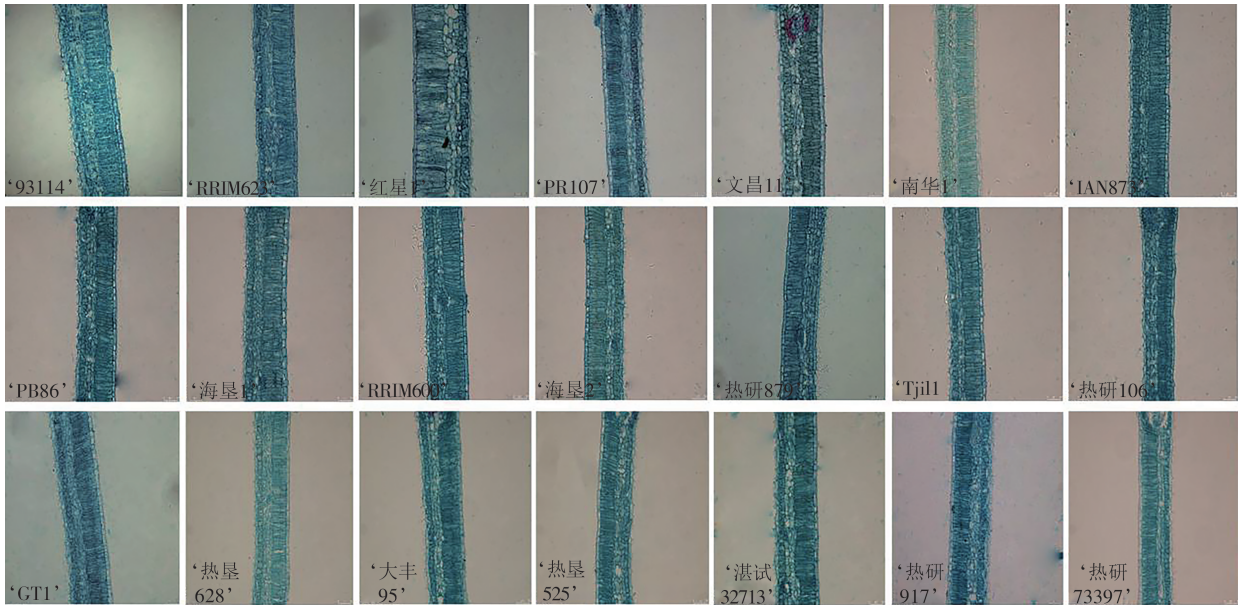


图 2 21 种橡胶树的叶片解剖结构特征

Fig. 2 Anatomical structural characteristics of leaves of 21 strains of *Hevea brasiliensis*

表 3 21 种橡胶树的叶片气孔特征的比较分析

Tab. 3 Comparative analysis of stomatal characteristics of leaves of 21 strains of *Hevea brasiliensis*

品种 clone	气孔长度/ μm SL	气孔宽度/ μm SW	气孔面积/(个 $\cdot\mu\text{m}^2$) Pore area	气孔密度/(个 $\cdot\text{mm}^{-2}$) SD
‘93114’	21.30±1.08cd	11.31±0.62cd	241.04±20.42cd	477.97±63.99a
‘RRIM623’	24.58±0.91b	13.26±0.90ab	326.58±34.24b	325.80±39.81c
‘红星 1’	20.60±0.60cd	13.43±0.78ab	276.39±13.49c	339.74±23.06bc
‘PR107’	21.71±1.18cd	12.28±0.44bc	267.10±24.37cd	431.64±54.32ab
‘文昌 11’	20.22±0.81d	11.03±0.55cd	223.30±19.33d	394.73±41.01bc
‘南华 1’	19.41±0.53d	10.60±0.44cd	205.63±8.12de	347.65±37.16bc
‘IAN873’	26.44±1.22a	14.21±0.76a	375.14±14.51a	377.40±24.05bc
‘PB86’	23.68±0.18bc	12.55±0.08b	297.29±0.43bc	401.48±20.06b
‘海垦 1’	20.64±0.35cd	11.52±0.38bc	237.84±9.45cd	364.60±43.56bc
‘RRIM600’	24.48±1.21b	14.06±1.03a	344.90±42.33ab	409.04±15.82ab
‘海垦 2’	23.42±0.99bc	13.10±0.79ab	307.28±30.34bc	362.34±36.25bc
‘热研 879’	21.44±2.42cd	9.99±0.31d	214.13±23.03d	334.09±19.32bc
‘TJIL1’	24.20±0.81b	13.21±0.64ab	319.88±22.86b	370.62±28.48bc
‘热研 106’	20.46±0.86d	10.21±0.90d	209.21±24.67de	331.83±13.00bc
‘GT1’	24.02±1.60b	12.65±1.41b	305.48±54.58bc	397.74±76.28b
热垦 628’	16.91±0.57e	10.05±0.24d	169.88±2.29e	314.12±30.51c
‘大丰 95’	22.24±0.89c	12.09±0.33bc	268.98±15.79cd	393.22±68.95bc
‘热垦 525’	24.51±0.99b	13.49±0.60ab	331.00±25.73b	315.25±63.64c
‘湛试 32713’	20.28±0.36d	11.39±0.52c	230.96±10.33d	378.91±56.12bc
‘热研 917’	19.80±0.04d	10.79±0.07cd	213.59±1.86d	464.41±9.04ab
‘热研 73397’	20.37±1.12d	10.85±0.98cd	221.08±25.11d	315.63±34.05c

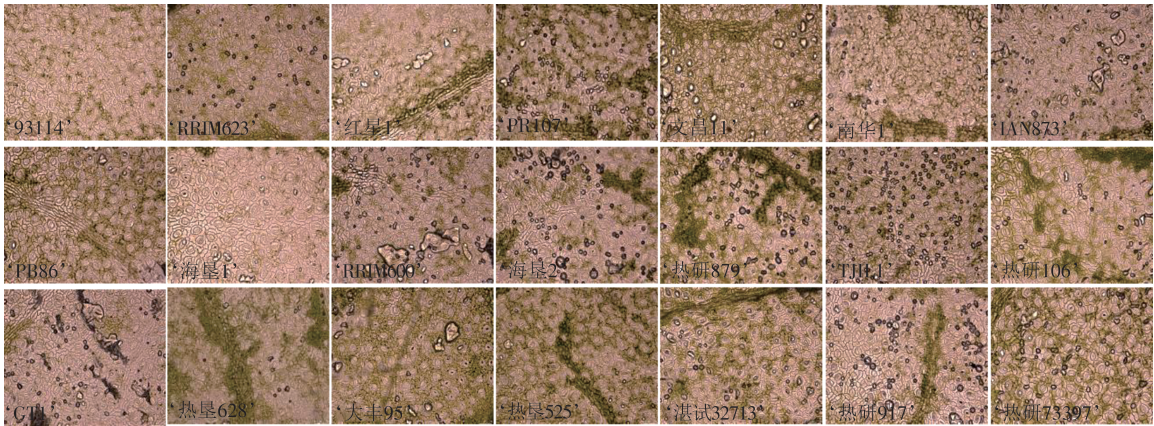


图3 21种橡胶树的叶片气孔结构特征

Fig. 3 Characteristics of stomatal structure in leaves of 21 strains of *Hevea brasiliensis*

表4 21种橡胶树叶片相关指标的相关性分析

Tab. 4 Correlation analysis of relevant indicators of 21 strains of *Hevea brasiliensis* leaves

参数	上表皮/ μm TU	栅栏组织/ μm TP	海绵组织/ μm TS	下表皮/ μm TL	叶片厚度/ μm LY	栅栏组织/ 海绵组织 TP/TS	组织结构 疏松度 SR	组织结构 致密度 CTR	气孔长 度/μm SL	气孔宽 度/μm SW	气孔面 积 Pore area
上表皮/ μm TU	1										
栅栏组织/ μm TP	0.378	1									
海绵组织/ μm TS	0.632**	0.546*	1								
下表皮/ μm TL	0.673**	0.07	0.506*	1							
叶片厚度/ μm LY	0.571**	0.949**	0.775**	0.294	1						
栅栏组织/ 海绵组织 TP/TS	0.149	0.892**	0.116	-0.147	0.715**	1					
组织结构 疏松度 SR	-0.23	-0.809**	-0.047	0.13	-0.637**	-0.936**	1				
组织结构 致密度 CTR	0.132	0.901**	0.215	-0.241	0.745**	0.943**	-0.943**	1			
气孔长度/ μm SL	0.132	-0.133	0.222	0.163	-0.02	-0.269	0.179	-0.142	1		
气孔宽度/ μm SW	0.261	0.139	0.498*	0.216	0.28	-0.112	0.032	0.058	0.843**	1	
气孔面积 Pore area	0.198	-0.002	0.385	0.201	0.135	-0.208	0.131	-0.057	0.956**	0.961**	1

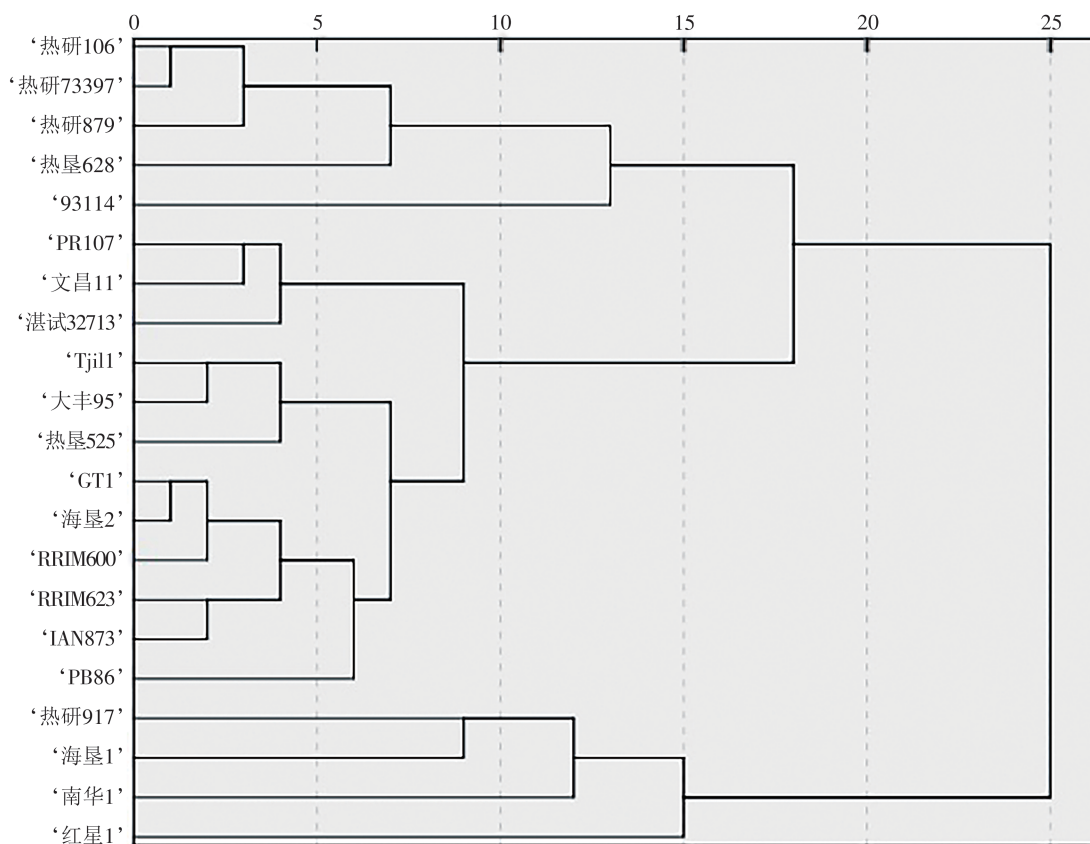


图4 21种橡胶树叶片解剖和气孔特征的聚类分析

Fig. 4 Cluster analysis of anatomical and stomatal characteristics of 21 strains of *Hevea brasiliensis* leaves

3 讨论

叶片作为植物与大气环境接触面积最大的器官,不仅是光合作用的主要场所,更是进行蒸腾作用、呼吸作用等一系列生理活动的基础^[21]。因此,植物本身对环境的适应性主要反映到叶片上,其中叶片功能性状和解剖结构最能体现植物对环境的适应性^[22]。对21种巴西橡胶树叶片的解剖学特征观察分析发现,橡胶树品种间的叶片结构较为相似,叶片表皮均由单层细胞构成,靠近上表皮的栅栏组织细胞为长柱状,细胞排列紧密;海绵组织细胞位于栅栏组织和下表皮之间,多为短柱状或椭圆形,相互连接成网;栅栏组织与海绵组织分化程度不规则,排列较紧密。叶片解剖结构中,上表皮层可以改变光量子反射方式,使得叶片能够利用更多的有效辐射进行光合作用^[23]。栅栏细胞是叶片进行光合作用、制造有机物的主要场所,其发达程度与光合强度直接相关,反映植物光合组织的生境适应能力,其厚度影响光合作用中对水分和光能的利用效率。研究表明叶片厚度越厚和栅

栏组织越发达是强光、旱生生境叶片的典型特征^[24]。本研究结果表明,‘海垦1’、‘文昌11’、‘PR107’、‘RRIM600’品种的上表皮的厚度相对其他品种来说较高,可以有效防止叶片水分散失,更好的利用有效辐射进行光合作用。‘热研917’、‘PB86’、‘红星1’、‘南华1’、‘海垦2’等品种的栅栏组织厚度、叶片厚度、栅栏组织厚度与海绵组织厚度的比值以及组织结构致密度等参数相对较大,可能具有较高的光合效率并与有一定的抗旱能力。研究表明橡胶树叶片海绵组织细胞增多,有利于减少光量子的透射损失,提高叶片的光能利用率^[17],本实验中‘文昌11’、‘红星1’、‘GT1’、‘RRIM623’品种的海绵组织的厚度较高,推测有更高的光能利用率。

气孔是植物进行水分代谢以及光合作用中气体交换的重要通道^[25]。其形态、面积、分布和密度等会显著影响植物的光合作用和蒸腾作用等生理活动,对植物生命活动有极其重要的作用^[26]。相关研究发现,气孔小而密的植物往往光合能力更高,可以更快地响应外界的环境因子^[27],李盛蓝

等^[28]在对大豆叶片解剖结构研究中发现,大豆的净光合速率与气孔导度、气孔密度呈显著正相关关系。经过多重比较和方差分析发现,21个橡胶树品种的叶片表皮气孔存在显著差异,其中‘热垦628’、‘热研106’和‘热研917’的气孔长度,气孔宽度和气孔面积的指标相对较小,‘93114’、‘热研917’和‘RRIM600’气孔密度较高,推测其光合速率较其他品种较好,这与张源源等^[10]在橡胶树上的研究效果一致。

每种植物每项指标的大小上保持顺序上不尽相同,很难凭其中一项指标的优劣来判定该植物的光合特性^[29]。聚类分析法是分类学与多元分析相结合的统计方法,能够根据调查指标的相似性或差异性,定量确定不同品种间的亲疏关系,进行分类^[30]。吕长文等^[31]对不同淀粉质量分数的甘薯光合特性与产量进行研究,证实了‘商丘52-7’有较好的光合特性和产量。本试验通过聚类分析将21种巴西橡胶树品种将其分成2类,并对品种进行综合评价,研究结果得出,‘南华1’、‘红星1’、‘海垦1’、‘热研917’品种的叶片厚度,栅栏组织,组织结构致密度相对其他品种来说较高。通过聚类分析,叶片解剖结构遗传距离聚类结果与系谱亲缘关系远近的结果一致性较好,说明作为植物学性状的叶片解剖结构作为品种的遗传特性能稳定表达,以叶片解剖结构特征来甄别不同遗传材料间的亲缘关系也是一个较好方法。

综合来看,‘南华1’、‘红星1’、‘热研917’品系的叶片厚度、栅栏组织、组织结构致密度、气孔密度相对其他品系来说较高,气孔面积较低,推测其有更好的光合性能,有待进一步研究其与品种光合能力、抗病性、抗旱性等之间的关系。

参考文献:

- [1] 邱彦芬, 亚华金, 杨湑, 等. 橡胶树无性系光合特性及叶片解剖结构比较 [J]. 热带农业科技, 2021, 44(4): 1-5.
- [2] 王新靓, 卢杰. 植物叶片解剖结构与光合作用研究概况 [J]. 农业与技术, 2023, 43(16): 78-82.
- [3] 闫彩霞, 刘俊龙, 苗婷婷, 等. 基于叶片解剖结构的12个香椿无性系抗旱性评价 [J]. 分子植物育种, 2023, 21(17): 5824-5833.
- [4] 杨森, 张晓飞, 高新生, 等. 5个品系橡胶树叶片解剖结构及其抗旱性分析 [J]. 热带生物学报, 2017, 8(3): 301-306.
- [5] 潘昕, 邱权, 李吉跃, 等. 基于叶片解剖结构对青藏高原25种灌木的抗旱性评价 [J]. 华南农业大学学报, 2015, 36(2): 61-68.
- [6] 周志雄, 王龙远, 郭微, 等. 7种秋海棠属植物叶片解剖结构分析与耐热性评价 [J]. 广东农业科学, 2023, 50(9): 173-180.
- [7] 张俊环, 张美玲, 杨丽, 等. 基于叶片显微结构综合评价杏不同品种(系)的抗旱性 [J]. 果树学报, 2023, 40(11): 2381-2390.
- [8] 雷怡, 高静, 王琪, 等. 弱光对南北大豆品种叶片结构与光合特性的影响 [J]. 四川农业大学学报, 2023, 41(5): 755-764.
- [9] 潘莹萍, 陈亚鹏, 王怀军, 等. 胡杨(*Populus euphratica*)叶片结构与功能关系 [J]. 中国沙漠, 2018, 38(4): 765-771.
- [10] 张源源, 郭涵, 袁红章, 等. 橡胶树不同倍数的气孔性状差异研究 [J]. 热带作物学报, 2017, 38(3): 389-394.
- [11] 吴春霞, 杨静慧, 索何风, 等. 3种海棠叶片解剖结构与抗旱性的关系 [J]. 天津农业学报, 2016, 22(12): 11-14.
- [12] 刘博, 谭军, 孟繁瑞, 等. 糖槭光合速率和气孔导度对光合有效辐射的响应 [J]. 河北农业科学, 2018, 22(3): 14-19.
- [13] 夏振华, 陈亚宁, 朱成刚, 等. 干旱胁迫环境下的胡杨叶片气孔变化 [J]. 干旱区研究, 2018, 35(5): 1111-1117.
- [14] DRAKE P L, FROEND R H, FRANKS P J. Smaller, faster stomata: scaling of stomatal size, rate of response, and stomatal conductance [J]. Journal of Experimental Botany, 2013, 64(2): 495-505.
- [15] CARINS MURPHY M R, JORDAN G J, BRODRIBB T J. Acclimation to humidity modifies the link between leaf size and the density of veins and stomata [J]. Plant, Cell & Environment, 2014, 37(1): 124-131.
- [16] 刘德政, 卢山, 高坤奥, 等. 大田和旱棚环境下小麦旗叶气孔性状变异及其与光合参数的关系 [J]. 麦类作物学报, 2024, 44(3): 360-369.
- [17] 魏丽萍, 田耀华, 周会平, 等. 遮荫处理对不同品种橡胶树叶片解剖特征和生长的影响 [J]. 热带作物学报, 2019, 40(1): 45-53.
- [18] 邱彦芬, 杨湑, 李小琴, 等. 橡胶树无性系叶片解剖结构及抗旱性研究 [J]. 西部林业科学, 2020, 49(1): 92-98.
- [19] 燕玲, 李红, 贺晓, 等. 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.
- [20] 张义, 王得祥, 宋彬, 等. 基于叶片解剖结构的西宁市11种城市森林植物抗旱性评价. 西北农林科技大学学报(自然科学版).
- [21] MA M, ZHAO C Z, KANG M P, et al. *Periploca sepium* leaf dry weight, area, and thickness scale differently under different light environments in Taohe riparian forests [J]. Flora, 2023, 301: 152255.
- [22] XU R, CHENG S, ZHOU J, et al. Intraspecific variations in leaf functional traits of *Cunninghamia lanceolata* provenances [J]. BMC Plant Biology, 2023, 23(1): 92.
- [23] 隋利, 王康才, 梁永富, 等. 紫苏叶片解剖结构、花色

- 昔含量与光合特性的关系[J]. 生态学杂志, 2017, 36(6): 1590–1596.
- [24] 张丹丹. 胡杨异形叶叶脉网络性状与叶形态、光合生理功能的关系[D]. 塔里木:塔里木大学, 2023.
- [25] 徐扬, 陈小红, 赵安玖. 川西高原4种苹果属植物叶片解剖结构与其抗旱性分析[J]. 西北植物学报, 2015, 35(11): 2227–2234.
- [26] 徐艳芳, 贺雅萍, 王梦瑶, 等. 16个建兰品种叶片解剖结构研究[J]. 热带作物学报, 2022, 43(10): 2099–2105.
- [27] AASAMAA K, SöBER A, RAHI M. Leaf anatomical characteristics associate leaf water status in temperate deciduous trees. *Aust J Plant Physiol*, 2001, 28: 765–774.
- [28] 李盛蓝, 谭婷婷, 范元芳, 等. 玉米荫蔽对大豆光合特性与叶脉、气孔特征的影响[J]. 中国农业科学, 2019, 52(21): 3782–3793.
- [29] 吴胜男, 孙凯, 张海, 等. 甘薯不同品种(系)的光合特性比较与聚类分析[J]. 分子植物育种, 2023, 21(21): 7153–7160.
- [30] 李伟明, 吴旭东, 胡卫丛, 等. 基于主成分分析和聚类分析的不同品种辣椒综合评价[J]. 北方园艺, 2022(9): 55–60.
- [31] 吕长文, 唐道彬, 赵勇, 等. 不同淀粉质量分数甘薯光合特性及其与产量的关系研究[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2014, 36(1): 24–31.

Anatomical traits of leaves in 21 clones of *Hevea brasiliensis*

YANG Yu¹, HU Xinxin¹, DING Shitao³, YUAN Zhineng², HUANG Xiao¹,
OUYANG Yujun³, GAO Xinsheng¹

(1. Rubber Research Institute, CATAS, Haikou, Hainan 571101; 2. Guangdong Agribusiness Tropical Agriculture Institute Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 511365; 3. School of Tropical Agriculture and Forestry, Hainan University, Haikou, Hainan 570228, China)

Abstract: In order to understand the anatomical traits of leaves among rubber clones of *Hevea brasiliensis* in China and provide basis for breeding and adaptability evaluation of clones with high photosynthetic efficiency, 21 main *Hevea* clones in China, such as ‘Reyan 73397’, ‘Reyan 917’, etc., were used for anatomical analysis, and their leaf structural traits such as the ratio of palisade tissue thickness to spongy tissue thickness, leaf thickness, stomatal density, etc., were observed by using paraffin sectioning and nail polish imprinting. The results showed that there were significant differences in leaf structural traits among the main clones. The clones ‘Nanhua 1’, ‘Hongxing 1’ and ‘Reyan 917’ were higher in palisade tissue thickness, leaf thickness and ratio of palisade tissue to spongy tissue, whereas the clones ‘Reyan 879’, ‘Reken 628’ and ‘Reyan 106’ were relatively lower in stomatal length, stomatal width and stomatal density, which suggested that they had a higher photosynthetic capacity and certain drought resistance ability. Hierarchical clustering showed the aforesaid clones were divided into two groups. The clones ‘Nanhua 1’, ‘Hongxing 1’, ‘Haiken 1’ and ‘Reyan 917’ were relatively higher in leaf thickness, palisade tissue and density of the tissue structure. In summary, clones ‘Nanhua 1’, ‘Hongxing 1’ and ‘Reyan 917’ were higher in leaf thickness, palisade tissue thickness, density of tissue structure, and were small and dense in stomata. It is hence speculated that these three clones have higher photosynthetic performance, which needs further research. At the same time, this analysis also provides a technical basis for further study of the environmental adaptability and gas exchange characteristics of the above-mentioned clones.

Keywords: *Hevea brasiliensis*; leaf anatomy; Cluster analysis

(责任编辑:潘学峰)