

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201401024

张永福, 黄鹤平, 银立新, 等. 基于叶片解剖特征分析三种无患子科果树的亲缘关系 [J]. 广西植物, 2016, 36(6):679-685

ZHANG YF, HUANG HP, YIN LX, et al. Analysis of relationship among three Sapindaceae fruit trees based on leaf anatomical characteristics [J]. *Guihaia*, 2016, 36(6):679-685

基于叶片解剖特征分析三种无患子科果树的亲缘关系

张永福^{1,2}, 黄鹤平^{1,2}, 银立新^{1,2}, 陈泽斌^{1,2}, 华金珠^{1,2}, 牛燕芬^{1,2}, 刘佳妮^{1,2}

(1. 昆明学院 农学院, 昆明 650214; 2. 云南省高校都市型现代农业工程研究中心, 昆明 650214)

摘要: 采用石蜡切片和组织离析法, 对3种无患子科果树的10份种质叶片横切及表皮解剖特征进行观察, 并采用聚类分析对其亲缘关系进行初步研究。结果表明: 10份试材均为异面叶, 叶横切结构分为表皮、叶肉和叶脉3部分。中脉厚度总体上龙眼最大、龙荔次之、荔枝最小, 差异显著。荔枝的中脉横切面为圆三角形, 龙眼近似半圆形, 龙荔则近似扁圆形。不同试材的叶片、上表皮和下表皮、栅栏组织及海绵组织的厚度分别为175.23~318.84、11.18~25.13、7.49~20.43、50.01~124.59和84.0~173.64 μm , 栅栏组织细胞有2~3层。此外, 叶脉突起度、栅栏组织与海绵组织厚度之比、叶片组织结构紧密度和叶片组织结构疏松度分别为2.65~5.77、0.52~0.82、28.89%~39.95%和44.89%~55.57%。荔枝的表皮细胞较小、多边形, 垂周壁为弧形, 下表皮无表皮毛, 气孔器呈长椭圆形; 龙眼的表皮细胞较大、不规则形, 垂周壁深波状, 下表皮具表皮毛, 气孔椭圆形或近圆形; 龙荔的表皮细胞与龙眼相近, 但垂周壁为波状。聚类分析显示, 10份试材首先聚为两大类, 其中第一类是荔枝属, 第二类是龙眼属; 然后又分为4个亚类, 三月红和龙荔各自单独聚为一个亚类。

关键词: 无患子科果树, 叶片, 横切结构, 表皮结构, 聚类分析

中图分类号: Q944.56 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2016)06-0679-07

Analysis of relationship among three Sapindaceae fruit trees based on leaf anatomical characteristics

ZHANG Yong-Fu^{1,2}, HUANG He-Ping^{1,2}, YIN Li-Xin^{1,2}, CHEN Ze-Bin^{1,2},
HUA Jin-Zhu^{1,2}, NIU Yan-Fen^{1,2}, LIU Jia-Ni^{1,2}

(1. School of Agriculture, Kunming University, Kunming 650214, China; 2. Engineering Research Center for Urban Modern Agriculture of High Education in Yunnan Province, Kunming 650214, China)

Abstract: Ten germplasms of three Sapindaceae fruit trees were analyzed by their leaf transection and epidermal structure, using paraffin method and tissue segregation procedure. On this basis, genetic relationship among these 10 germplasms was examined preliminarily by cluster analysis in SPSS. The results showed that the leaves of 10 accessions were bifacial type, and their leaf transection structures all consists of epidermis, mesophyll and vein. The midvein thickness had significantly different as longan was the greatest in three fruit trees, longli in the middle and litchi was the least. Midvein transverse of litchi was rounded triangular, longan approximate semicircle, and longli was approximately flat circular. Among the difference materials, the range of leaf thickness, upper and lower epidermis, palisade tissue and sponge tissue were 175.23–318.84, 11.18–25.13, 7.49–20.43, 50.01–124.59 and 84–173.64 μm , respectively.

收稿日期: 2014-09-14 修回日期: 2015-03-28

基金项目: 云南省教育厅科学研究基金(2012Z097); 昆明学院引进人才科研项目(YJL11030) [Supported by Yunnan Provincial Education Office Fund for Scientific Research(2012Z097); Kunming University Science Research Project of Talent Introduction(YJL11030)]。

作者简介: 张永福(1981-), 男, 云南弥勒市人, 博士, 副教授, 研究方向为植物遗传育种, (E-mail) 123017360@qq.com。

Palisade tissue cell had 2–3 layers in all materials. In addition, VDP, P/S, R_T and R_L were 2.65–5.77, 0.52–0.82, 28.89%–39.95% and 44.89%–55.57%, respectively. Epidermal cell of litchi was small, polygon, anticlinal wall arc, lower epidermal without trichomes, and stoma was long oval; epidermal cell of longan was big, irregular, anticlinal wall sinuate, lower epidermal with trichomes, and stoma was oval or suborbicular; epidermal cell morphology of longli was similar with longan, but its anticlinal wall was corrugated. The cluster analysis found that 10 accessions were firstly divided into 2 categories, which are *Litchi* and *Dimocarpus*. And then the Sanyuehong and longli were separated as subgroup in each category.

Key words: fruit tree of Sapindaceae, leaf, transection structure, epidermal structure, cluster analysis

荔枝 (*Litchi chinensis*)、龙眼 (*Dimocarpus longan*) 和龙荔 (*D. confinis*) 均为无患子科 (Sapindaceae) 植物, 三者在生物学上有许多相似之处。长期以来三者的亲缘关系倍受关注。由于龙荔的植株和果实形态介于荔枝和龙眼之间, 有学者认为龙荔是荔枝和龙眼的属间杂种, 并认为母本是龙眼, 父本是荔枝, 如苏伟强等 (1993) 通过植物形态学和过氧化物酶同工酶分析和 Liu & Mei (2005) 利用 RAPD 标记进行检测均得到此结论; 但也有学者提出反对意见, 认为龙荔不是龙眼和荔枝的属间杂种 (Robert et al, 2011)。但通过研究三者的叶片解剖结构差异性来分析它们的亲缘关系尚未见有报道。

叶器官受环境影响较大, 形态变异多样, 但其内部结构和表皮性状比较稳定, 在一定程度上能反映分类群间的系统发生, 可用于科下属间关系的探讨, 如 Wilkinson (1992) 在海桐花科 (Pittosporaceae), 杨汉奇等 (2006) 在莎勒竹属 (*Schizostachyum*) 及其近缘属上均取得了较好的研究结果。鉴于此, 本研究采用石蜡切片法和组织离析法, 对荔枝、龙荔和龙眼进行叶片横切结构和表皮结构的比较分析, 了解其结构差异, 以期为无患子科果树属间及种间的亲缘关系及分类提供解剖学依据。

1 材料与方 法

1.1 材料

荔枝材料有褐毛荔枝 (*Litchi chinensis* var. *fulvus*)、妃子笑 (*L. chinensis* cv. *Feizixiao*)、三月红 (*L. chinensis* cv. *Sanyuehong*)、桂味 (*L. chinensis* cv. *Guiwei*) 和无核荔 (*L. chinensis* cv. *Wuheli*)。龙眼材料有石硤 (*Dimocarpus longan* cv. *Shixia*)、早熟 (*D. longan* cv. *Zaoshu*)、灵龙 (*D. longan* cv. *Linglong*) 和中秋 (*D. longan* cv. *Zhongqiu*)。龙荔 (*D. confinis*) 材料为来源于广西南宁的野生种。褐

毛荔枝来源于云南省元阳县的半野生植株, 其余荔枝试材龙眼品种来源于广州市的栽培品种。于 2011 年 7 月选取生长一致、无病虫害、成熟健壮、向阳的叶片, 每份试材分别从 3 个植株上采样。

1.2 方法

(1) 叶片石蜡切片: 挑选叶片中间部份, 连中脉一起剪成 1.0 cm × 0.5 cm 的小块, 经 FAA 固定 48 h 后, 转入甘油-酒精中软化 60 d 左右, 梯度酒精脱水, 番红整体染色, 二甲苯透明, 常规石蜡制片法包埋及切片, 切片厚 8~10 μm, 纯二甲苯脱蜡, 中性树脂胶封藏。(2) 叶片表皮制片: 挑选叶片中间部份, 剪成 1.0 cm × 0.5 cm 的小块, 置于 FAA 中固定 48 h, 用 10% 铬酸-硝酸离析液离析 24 h, 梯度酒精脱水, 番红染色, 二甲苯透明、中性树脂胶封片。以上均用 Olympus 光学显微镜观察。

1.3 数据分析

显微摄影选用 Olympus DP 系统, 测量软件选用 OLYSIA BioReport, 所有数据均用 SPSS 11.5 进行 Duncan 氏新复级差检测 ($P < 0.05$), 并用 DPS 7.05 对叶片解剖特征进行聚类分析。每份试材随机选取 10 个叶片, 每个叶片选取 3 个横切面切片, 每个横切面观察 3 个视野, 每个视野测量 1 个数据, 即每份试材的每项解剖特征测量 90 个数据。

计算公式: 叶脉突起度 (VDP) = 中脉横切面厚度/叶片横切面厚度, 叶片组织结构疏松度 (RL) = (海绵组织厚度/叶片厚度) × 100% 和叶片组织结构紧密度 (RT) = (栅栏组织厚度/叶片厚度) × 100%。

2 结果与分析

2.1 叶横切结构比较

2.1.1 共同特征 荔枝、龙荔及龙眼的叶片横切结构均为典型的异面叶, 由表皮、叶肉和叶脉 3 部分构成 (图版 I)。叶中脉从外到内由表皮、薄壁组织、厚

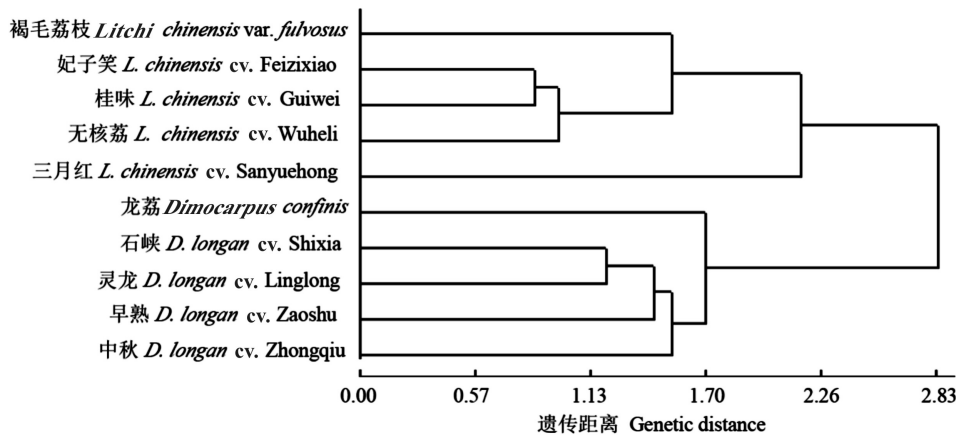


图 1 基于叶片解剖特征的 10 份无患子科种质资源的聚类图

Fig. 1 Cluster dendrogram of 10 Sapindaceae germplasm resources based on leaf anatomical characteristics

表 1 叶片的横切结构
Table 1 Leaf transverse structure

种质材料 Germplasm material	T_M (μm)	T_L (μm)	T_{UE} (μm)	T_{LE} (μm)	T_P (μm)	T_S (μm)	MS	CL	VDP	R_T (%)	R_L (%)	P/S
褐毛荔枝 <i>Litchi chinensis</i> var. <i>fulvosus</i>	792.13e	220.82bc	13.79cd	20.43a	63.80e	122.70b	T	2	3.60	28.89	55.57	0.52
妃子笑 <i>L. chinensis</i> cv. <i>Feizixiao</i>	722.02f	214.43c	17.14b	19.26ab	77.39cd	100.81cd	T	2	3.37	36.09	47.01	0.77
三月红 <i>L. chinensis</i> cv. <i>Sanyuehong</i>	850.11d	319.84a	11.18d	10.43cd	124.59a	173.64a	T	3	2.65	39.95	54.29	0.72
桂味 <i>L. chinensis</i> cv. <i>Geiwei</i>	665.87g	214.12c	18.31b	20.25a	71.47d	104.09c	T	2	3.11	33.38	48.61	0.69
无核荔 <i>L. chinensis</i> cv. <i>Wuheli</i>	720.01f	259.97b	25.13a	18.67b	95.08b	121.09b	T	2	2.77	36.57	46.58	0.79
龙荔 <i>Dimocarpus confinis</i>	961.12c	209.44c	17.34b	9.59de	79.46c	103.17c	O	2	4.58	37.94	49.26	0.77
石峡 <i>D. longan</i> cv. <i>Shixia</i>	1032.30b	210.36c	14.38c	11.18c	80.91c	104.02c	O	3	4.91	38.46	49.45	0.78
早熟 <i>D. longan</i> cv. <i>Zaoshu</i>	780.53e	187.39d	14.84c	7.49f	69.25d	84.03e	O	3	4.16	36.95	44.84	0.82
灵龙 <i>D. longan</i> cv. <i>Linglong</i>	1194.57a	207.01c	14.02c	8.53ef	70.09d	114.37c	O	3	5.77	33.86	55.25	0.61
中秋 <i>D. longan</i> cv. <i>Zhongqiu</i>	785.23e	175.23e	12.59d	8.11f	59.01f	95.52d	O	3	4.48	33.68	54.51	0.62

注：同列不同字母表示通过 Duncan 氏新复级差检验差异显著 ($P < 0.05$)。 T_M ：中脉厚度； T_L ：叶片厚度； T_{UE} ：上表皮厚度； T_{LE} ：下表皮厚度； T_P ：栅栏组织厚度； T_S ：海绵组织厚度； MS：中脉横切面形状； CL：栅栏组织细胞层数； VDP：叶脉突起度； P/S：栅栏组织与海绵组织的厚度比； R_T ：叶片组织结构紧密度； R_L ：叶片组织结构疏松度。 T：三角形； O：椭圆形。

Note: Different letters in the same column indicate significant differences among means according to Duncan's multiple range test ($P < 0.05$). T_M : Midvein thickness; T_L : Leaf thickness; T_{UE} : Upper epidermis thickness; T_{LE} : Lower epidermis thickness; T_P : Palisade tissue thickness; T_S : Spongy tissue thickness; MS: Midvein transverse shape; CL: Cell layer of palisade tissue; VDP: Vein Protuberant degree; P/S: Thickness ratio of palisade tissue to spongy tissue; R_T : Leaf tissue structure tense ratio; R_L : Leaf tissue structure loose ratio. T: Triangle; O: Oval.

壁组织、韧皮部、木质部和髓组成。上表皮为 1 列长圆形或椭圆形的细胞，外被厚的角质层；下表皮为 1 列长圆形或短圆形细胞，外被薄的角质层。叶肉分化出栅栏组织和海绵组织，中脉在远轴面突起，维管束外的中柱鞘呈环状；木质部轮廓近半圆形，大型导管排列成行；韧皮部为半环状，包围在木质部外方。维管组织发达，由维管束和机械组织构成环状结构，木质部和韧皮部分化明显。栅栏组织由 2~3 层长

圆形或椭圆形细胞组成，紧接上表皮的 1~2 层细胞排列紧密，其下方细胞排列略为疏松且相对较小；海绵组织由 3~5 层圆形或椭圆形细胞组成，空隙大。
2.1.2 不同特征 图版 I 为 10 份试材的叶横切面显微结构图，其形态特征参数见表 1。石峡龙眼的中脉厚度显著大于其它试材，达 1 032.30 μm ，而荔枝品种桂味则显著小于其它试材，仅 665.87 μm ，其余各试材均居于中间水平，总体上龙眼中脉厚度大于

表 2 叶的表皮特征
Table 2 Leaf epidermal characteristics

种质材料 Germplasm material	形状 Shape	大小 Size	垂周壁 Anticlinal wall	下表皮毛长 Lower epidermal hair length (μm)	下表皮气孔 Stoma of lower epidermis	
					开度 Openness ($\mu\text{m} \times \mu\text{m}$)	密度 Frequency (mm^{-2})
褐毛荔枝 <i>Litchi chinensis</i> var. <i>fulvosus</i>	P	S	A	0c	5.12b × 2.18ab	14.14e
妃子笑 <i>L. chinensis</i> cv. <i>Feizixiao</i>	P	S	A	0c	3.63d × 1.68c	14.33e
三月红 <i>L. chinensis</i> cv. <i>Sanyuehong</i>	P	S	A	0c	4.09c × 1.50d	37.39c
桂味 <i>L. chinensis</i> cv. <i>Geiwei</i>	P	S	A	0c	4.79bc × 2.40a	24.98d
无核荔 <i>L. chinensis</i> cv. <i>Wuheli</i>	P	S	A	0c	4.49c × 1.89b	47.34b
龙荔 <i>Dimocarpus confinis</i>	I	B	U	19.38a	4.45c × 1.79bc	17.99e
石硖 <i>D. longan</i> cv. <i>Shixia</i>	I	B	S	13.96b	5.45b × 2.12ab	55.28b
早熟 <i>D. longan</i> cv. <i>Zaoshu</i>	I	B	S	15.87b	7.09a × 1.31e	42.41bc
灵龙 <i>D. longan</i> cv. <i>Linglong</i>	I	B	S	14.66b	4.51c × 1.64c	27.67d
中秋 <i>D. longan</i> cv. <i>Zhongqiu</i>	I	B	S	13.79b	3.33d × 1.25e	108.12a

注: P. 多边形; I. 不规则形; S. 小; B. 大; A. 弧形; U. 波状; S. 深波状。

Note: P. Polygonal; I. Irregular; S. Small; B. Big; A. Arcuate; U. Undulate; S. Sinuate.

龙荔,而荔枝则最小。荔枝的中脉横切结构近轴面近似平面,远轴面为圆三角形,而龙眼的近轴面略微突起,远轴面近似半圆,龙荔的近轴面形态居于荔枝和龙眼之间,而远轴面则近似扁圆形。此外,三月红的中脉横切面结构较其它荔枝试材复杂,龙眼属植物中脉髓部有明显的圆弧形。

10份试材中,叶片最厚的是三月红,最薄的是中秋龙眼。无核荔的上表皮厚度显著大于其它试材,荔枝试材的下表皮厚度显著大于龙荔和龙眼试材,下表皮厚度以早熟龙眼最小,仅 $7.49 \mu\text{m}$,且除三月红外,荔枝种质的下表皮厚度均显著大于龙荔和龙眼种质。三月红栅栏组织厚度显著大于其余试材,为 $124.59 \mu\text{m}$,而中秋龙眼则显著小于其余试材,仅 $59.01 \mu\text{m}$ 。海绵组织的厚度也以三月红最大,而最小的是早熟龙眼,差异显著。此外,荔枝的叶脉突起度显著小于龙眼和龙荔,叶脉突起度最大的是灵龙,达 5.77,最小的是三月红,仅 2.65;叶片组织结构紧密度最大的是三月红,为 39.95%,最小的是褐毛荔枝,为 28.89%;叶片组织结构疏松度最大的是褐毛荔枝,为 55.57%,最小的是早熟,为 44.84%;栅栏组织与海绵组织的厚度比最大的是早熟龙眼,最小的是褐毛荔枝(表 1,图版 I)。

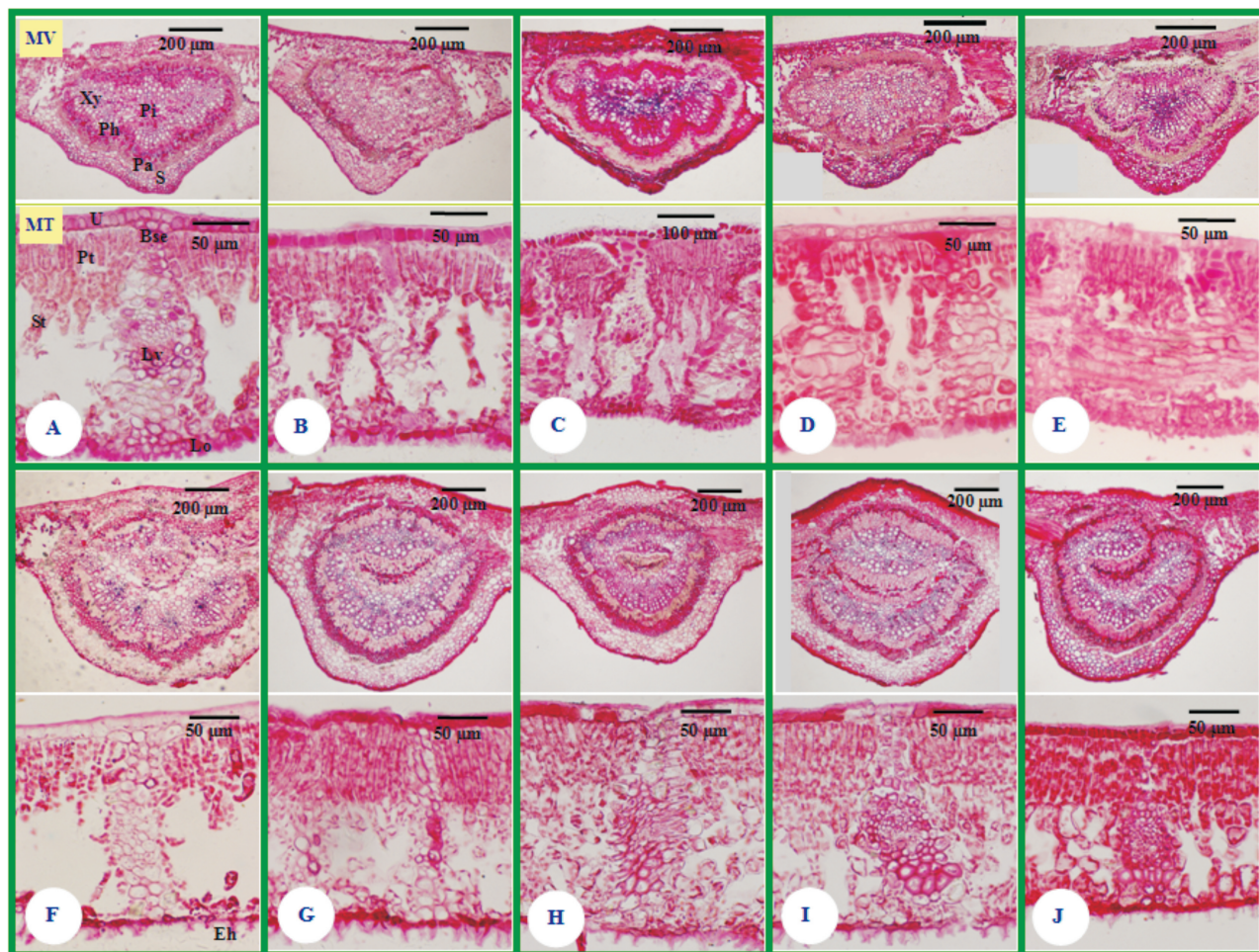
2.2 叶表皮结构比较

2.2.1 共同特征 从图版 II 看出,10份材料叶的上、

下表皮细胞各一层,排列紧密。上表皮细胞呈扁平泡状,排列整齐,无气孔;下表皮细胞也呈扁平泡状,排列不整齐,分布着不同密度的气孔和乳突。

2.2.2 不同特征 叶表皮细胞形态是区分荔枝属和龙眼属的重要特征之一。龙荔的叶表皮总体上居于荔枝和龙眼之间,但更接近龙眼。如荔枝的表皮细胞较小,形态为多边形,垂周壁为弧形;下表皮气孔器呈长椭圆形,由两个保卫细胞构成大小不一的缝隙。龙眼的表皮细胞较大,不规则形,垂周壁深波状;下表皮具表皮毛,气孔椭圆形或近圆形。龙荔的表皮细胞大小居于荔枝和龙眼之间,其形态接近于龙眼。如细胞形态为不规则形,垂周壁为波状,下表皮具表皮毛,气孔椭圆形或近圆形(表 2,图版 II)。

10份试材中,龙眼和龙荔种质的成熟叶片下表皮具有表皮毛,而荔枝无表皮毛,其中龙荔的表皮毛显著长于龙眼种质,达 $19.22 \mu\text{m}$ 。气孔开度受环境影响较大,差异显著,其中气孔开度最长的是早熟龙眼(达 $7.09 \mu\text{m}$),最短的是中秋龙眼(为 $3.33 \mu\text{m}$);气孔开度最宽的是桂味(为 $2.40 \mu\text{m}$),最窄的是中秋龙眼(为 $1.25 \mu\text{m}$)。10份不同试材之间的气孔密度并无明显规律,总体上龙眼稍高于荔枝,气孔密度最高的是中秋(每 1mm^2 达 108.12 个),最低的是褐毛荔枝,(每 1mm^2 仅 14.14 个)(表 2,图版 II)。



图版 I 叶片横切面结构 MV. 中脉; MT. 叶肉组织。A. 褐毛荔枝; B. 妃子笑; C. 三月红; D. 桂味; E. 无核荔; F. 龙荔; G. 石峡; H. 早熟; I. 灵龙; J. 中秋。Pi. 髓; Xy. 木质部; Ph. 韧皮部; S. 厚壁组织; Pa. 薄壁组织; U. 上表皮; Pt. 栅栏组织; St. 海绵组织; Bse. 束鞘延伸; Lo. 下表皮; Eh. 表皮毛; Lv. 侧脉。

Plate I Leaf transverse structure MV. Midvein; MT. Mesophyll tissue. A. *Litchi chinensis* var. *fulvosus*; B. *L. chinensis* cv. *Feizixiao*; C. *L. chinensis* cv. *Sanyuehong*; D. *L. chinensis* cv. *Guiwei*; E. *L. chinensis* cv. *Wuheli*; F. *Dimocarpus confinis*; G. *D. longan* cv. *Shixia*; H. *D. longan* cv. *Zaoshu*; I. *D. longan* cv. *Linglong*; J. *D. longan* cv. *Zhongqiu*. Pi. Pith; Xy. Xylem; Ph. Phloem; S. Sclerenchyma; Pa. Parenchyma; U. Upper epidermis; Pt. Palisade tissue; St. Spongy tissue; Bse. Bundle sheath extension; Lo. Lower epidermis; Eh. Epidermal hair; Lv. Lateral vein.

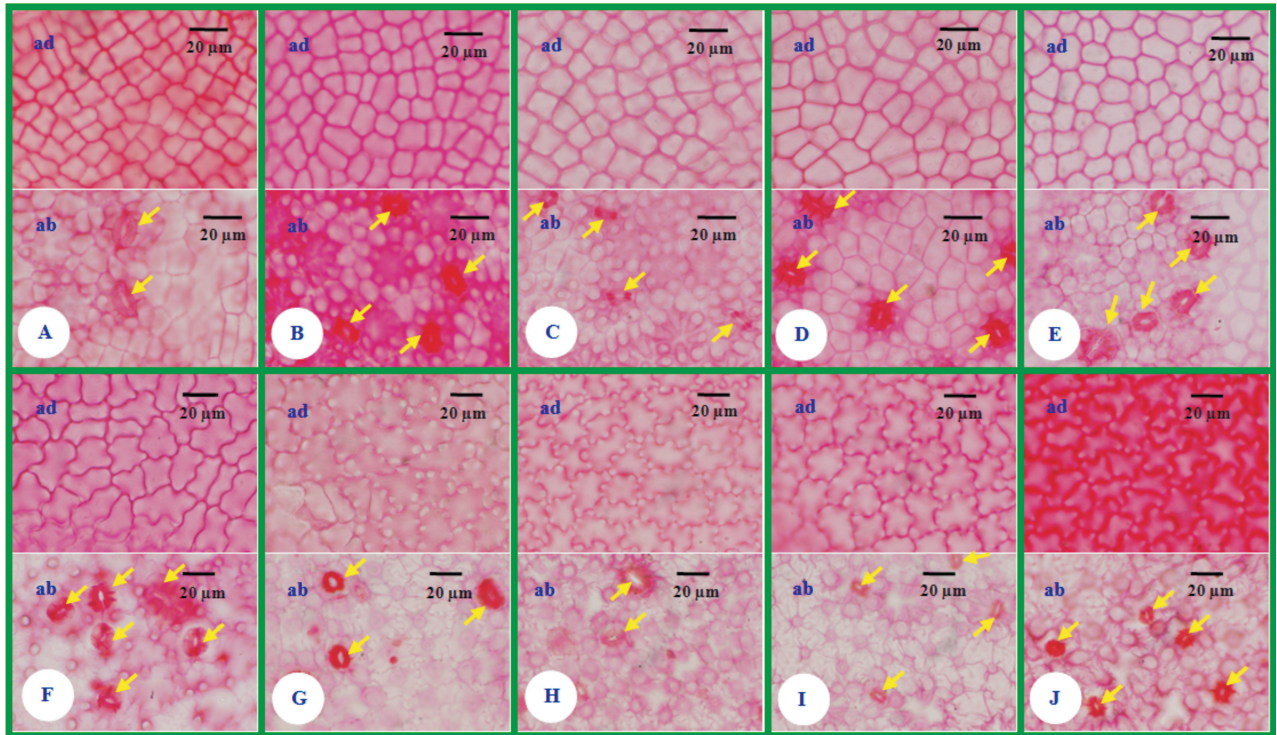
2.3 基于叶片解剖特征的聚类分析

从图 1 看出, 1 份材料首先分为两大类: 第一类为荔枝属; 第二类为龙眼属。然后又分为 4 个亚类: 第一亚类包括褐毛荔枝、妃子笑、桂味和无核荔四份荔枝种质; 第二亚类为三月红; 第三亚类为龙荔; 第四亚类包括石峡、灵龙、早熟和中秋 4 个龙眼品种。

3 讨论与结论

叶片受环境影响较大, 但其内部结构较稳定, 而各组织层厚度及比值等结构特征, 往往是植物遗传上的反映, 可作为植物分类的依据 (胡正海等,

2003)。植物叶片各组织层是结构上的特征, 就功能对结构而言, 结构是第一性的, 这种结构上的特征往往又是植物遗传性的反映。李小梅等 (1999) 观察柑橘 (*Citrus reticulata*) 叶片的解剖特征后报道, 栅栏组织、海绵组织之间存在着遗传上的相互制约关系, 在比值上能保持相对稳定, 可能反映了种或品种的遗传特性, 而单一组织的厚度存在差异, 可能与叶片所处的生态条件和生理状态的不同有关。汪琼等 (2011) 报道夏蜡梅 (*Sinocalycanthus chinensis*)、美国蜡梅 (*Calycanthus floridus*) 及其属间杂种在叶中脉横切面结构上有一定差异, 主要表现在栅栏组织层和海绵组织层分化程度、毛的长度及散生位置、中脉



图版 II 叶表皮结构 **ad**. 上表皮细胞结构; **ab**. 下表皮细胞结构; **A**. 褐毛荔枝; **B**. 妃子笑; **C**. 三月红; **D**. 桂味; **E**. 无核荔; **F**. 龙荔; **G**. 石峡; **H**. 早熟; **I**. 灵龙; **J**. 中秋。箭头所指为气孔器。

Plate II Leaf epidermal structure **ad**. Upper epidermal cell structure; **ab**. Lower epidermal cell structure. **A**. *Litchi chinensis* var. *fulvosus*; **B**. *L. chinensis* cv. *Feizixiao*; **C**. *L. chinensis* cv. *Sanyuehong*; **D**. *L. chinensis* cv. *Guiwei*; **E**. *L. chinensis* cv. *Wuheli*; **F**. *Dimocarpus confinis*; **G**. *D. longan* cv. *Shixia*; **H**. *D. longan* cv. *Zaoshu*; **I**. *D. longan* cv. *Linglong*; **J**. *D. longan* cv. *Zhongqiu*. Arrows indicate stomatal apparatus.

中柱鞘排列等方面;而三者叶的主要特征上却表现出高度的一致性,但在叶的大小、轮廓、表皮毛、横切面及脉序等特征上仍有一定差异。从本研究结果来看,荔枝属和龙眼属的中脉横切面结构有较大差异,荔枝属的叶脉横切面为圆三角形,而龙眼属为扁圆形;在荔枝属和龙眼属间,各组织层的厚度、叶片组织结构紧密度、叶片组织结构疏松度以及栅栏组织与海绵组织的厚度之比均未表现出规律性,但荔枝属的下表皮厚度显著大于龙眼属,而叶脉凸起度则显著小于龙眼属。在荔枝种质中,三月红较为特殊,其下表皮厚度显著小于其余荔枝种质而接近于龙眼种质,其叶片厚度、栅栏组织厚度和海绵组织厚度比显著大于其余参试种质,此外其中脉结构也比其余荔枝种质复杂。

叶表皮性状在一定程度上能够反映分类群间的系统发生,可用于科下属间关系的探讨,利用叶表皮特征作为植物分类和系统演化的研究已取得了较好的效果。通过对海桐花科 (Wilkinson, 1992)、防己科 (Menispermaceae) (洪亚平等, 2001)、葡萄科 (Vi-

taceae) (任辉等, 2003)、莎勒竹属 (杨汉奇等, 2006)、无患子科 (曹丽敏等, 2008) 及凤仙花科 (张晓霞, 2013) 的研究均发现,叶表皮特征可作为植物分类和系统演化的重要依据。本研究发现,荔枝属和龙眼属的叶表皮细胞在大小、形状、垂周壁、表皮毛以及气孔等特征上均有明显的差异。荔枝属的表皮细胞较小,形状为多边形,垂周壁为弧形,下表皮无表皮毛,而龙眼属的表皮细胞较大,形状为不规则形,垂周壁为深波状,下表皮具有长短不一的表皮毛。龙荔的叶表皮特征总体上与龙眼相似,但其表皮细胞垂周壁为波状,下表皮毛显著比龙眼长,这些特征又明显不同于龙眼。植物叶表皮毛特征在分类学研究中发挥着重要作用 (Hardin, 1979; 方炎明等, 1993; 何子灿等, 2000), 本研究也支持此观点。此外还发现,独活属 (*Archangelica*) 和石竹属 (*Dianthus*) 可以用气孔器的形状、分布、大小以及气孔指数作为属内种间的分类依据 (董连新和关雪莲, 2012), 本研究也发现,在荔枝属和龙眼属在气孔形态上有明显差异,各参试种质间在气孔开度和

密度之间也存在一定的差异。

运用数量分析法对群体间特定解剖特征量进行分析可以将不同种或品种区分开,可用于种或品种间亲缘关系探讨。郑瑞等(2013)对 61 个不同油茶 (*Camellia oleifera*) 品种,赵昱和刘占林(2010)对 5 种松树,蔡联炳和张同林(2006)对赖草属 (*Leymus*) 的叶解剖特征进行了相关研究,均得到了上述结论。通过基于叶片解剖特征对无患子科三种果树的聚类分析后发现,10 份试材首先分为两大类,其中第一类为荔枝属,第二类为龙眼属,然后又分为四个亚类,第一亚类包括褐毛荔枝、妃子笑、桂味和无核荔 4 份荔枝试材,第二亚类为三月红,第三亚类为龙荔,第四亚类包括石峡、灵龙、早熟和中秋 4 份龙眼试材。由于三月红与其它荔枝试材的遗传距离较远,本研究建议将其单独划分为荔枝的一个变种。此外,本研究认为龙荔是由龙眼进化到荔枝过程中的中间过渡物种,而不是荔枝与龙眼的属间杂种,这与 Robert et al(2011)的观点一致。

参考文献:

CAI LB,ZHANG TL, 2006. Genetic relationship between *Leymus* and its related taxa in terms of the anatomical characteristics of their leaves [J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*,26(3): 537-543. [蔡联炳,张同林, 2006. 根据叶解剖特征试论赖草属及其相关类群间的亲缘关系[J]. *西北植物学报*,26(3): 537-543.]

CAO LM, XIA NH, 2008. Structural characters of leaf epidermis and their systematic significance in Sapindaceae from China [J]. *Acta Bot Yunnan*,30(4): 405-421. [曹丽敏,夏念和, 2008. 中国无患子科的叶表皮特征及其系统学意义 [J]. *云南植物研究*,30(4): 405-421.]

DONG LX,GUAN XL, 2012. Characters of leaf epidermis and their systematic significance in genus *Dianthus* [J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*, 32(6): 1 155-1 160. [董连新,关雪莲, 2012. 石竹属植物叶表皮特征及其系统学意义 [J]. *西北植物学报*,32(6): 1 155-1 160.]

FANG YM,FAN YW, 1993. Variation and evolution of leaf trichomes in Chinese Hamamelidaceae [J]. *Acta Phytotax Sin*,31(2): 147-150. [方炎明,樊汝汶, 1993. 中国金缕梅科植物叶表皮毛的变异与演化 [J]. *植物分类学报*,31(2): 147-150.]

HARDIN JW, 1979. Patterns of variation in foliar trichomes of eastern North American *Quercus* [J]. *Am J Bot*,6(5): 576-585

HE ZC,ZHONG Y,LIU HT,et al, 2000. Quantitative taxonomic analyses of *Actinidia* (Actinidiaceae) in China based on micromorphological characters of foliar trichomes [J]. *Acta Phytotax Sin*, 38(2): 121-136. [何子灿,钟扬,刘洪涛,等, 2000. 中国猕猴桃属植物叶表皮毛微形态特征及数量分类分析 [J]. *植物分类学报*,38(2): 121-136.]

HONG YP,PAN KY,CHEN ZD,et al, 2001. Characters of leaf epidermis and their systematic significance in Menispermaceae [J]. *Acta Bot Sin*,43(6): 615-623. [洪亚平,潘开玉,陈之

端,等, 2001. 防己科植物的叶表皮特征及其系统学意义 [J]. *植物学报*,43(6): 615-623.]

HU ZH, 2003. The prospect and progression of the plant comparative anatomy during fifty years in China [J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*,23(2): 244-355. [胡正海, 2003. 植物比较解剖学在中国 50 年的进展和展望 [J]. *西北植物学报*,23(2): 244-355.]

LI XM,DENG XX,DENG BX, 1999. Studies on the leaf structure characteristics of citrus somatic hybrids [J]. *J Huazhong Agric Univ*,18(3): 272-276. [李小梅,邓秀新,邓伯勋, 1999. 柑橘体细胞杂种的叶片结构特征 [J]. *华中农业大学学报*,18(3): 272-276.]

LIU CM, MEI MT, 2005. Classification of lychee cultivars with RAPD analysis [C]. *Acta Hort*,665: 149-159.

REN H,PAN KY,CHEN ZD,et al, 2003. Structural characters of leaf epidermis and their systematic significance in Vitaceae [J]. *Acta Phytotax Sin*,41(6): 531-544. [任辉,潘开玉,陈之端,等, 2003. 葡萄科植物叶表皮特征及其系统学意义 [J]. *植物分类学报*,41(6): 531-544.]

ROBERT V B,LI JG,FRANCIS,et al, 2011. Longli is not a hybrid of longan and lychee as revealed by genome size analysis and trichome morphology [J]. *Tropi Plant Biol*,4: 228-236.

SU WQ,HUANG HB,LU YY,et al, 1993. A preliminary study on peroxidase isozyme analysis and genetically related among longli, longan and lychee [J]. *Guangxi Agric Sci*, (4): 158-159. [苏伟强,黄海滨,陆玉英,等, 1993. 龙荔与龙眼荔枝过氧化物酶同工酶分析及亲缘关系研究初报 [J]. *广西农业科学*, (4): 158-159.]

WANG Q,YAO QJ,LÜ Y,et al, 2011. Comparison of leaf morphology and structure characteristics of *Sinocalycanthus chinensis*, *Calycanthus floridus* and their intergeneric hybrids [J]. *Jiangsu Agric Sci*, 35(5): 206-208. [汪琼,姚青菊,吕晔,等, 2011. 夏腊梅和美国腊梅及属间杂种‘红运’营养器官解剖结构特征比较 [J]. *江苏农业科学*,35(5): 206-208.]

WILKINSON HP, 1992. Leaf anatomy of the Pittosporaceae [J]. *Bot J Linn Soc*,110(1): 59.

YANG HQ,WANG H,LI DZ, 2006. Micromorphological study on leaf epidermis of *Schizostachyum* and it allies (Poaceae: Bambusoideae) [J]. *Acta Bot Yunnan*,28(3): 261-267. [杨汉奇,王红,李德铤, 2006. 箬竹属及其近缘属叶表皮微形态特征 [J]. *云南植物研究*,28(3): 261-267.]

ZHANG XX,ZHANG HY,XU WB,et al, 2013. Leaf epidermal characters and their taxonomic significance in Balsaminaceae, China [J]. *Guihaia*,33(4): 528-537. [张晓霞,张海燕,许为斌,等, 2013. 中国凤仙花科植物叶表皮特征及其分类学意义 [J]. *广西植物*,33(4): 528-537.]

ZHENG R,ZHOU FF,LIN P,et al, 2013. Anatomical characteristics of leaf transection of different cultivars of *Camellia oleifera* and their relationship analysis [J]. *J Plant Resour & Environ*,22(2): 18-29. [郑瑞,周方方,林萍,等, 2013. 不同油茶品种叶片横切面解剖特征及其亲缘关系分析 [J]. *植物资源与环境学报*,22(2): 18-29.]

ZHAO Y,LIU ZL, 2010. Numerical analysis to anatomical structures of needles between five species of pines [J]. *J NW For Univ*,25(2): 19-24. [赵昱,刘占林, 2010. 5 种松树针叶解剖结构的数量分析 [J]. *西北林学院学报*,25(2): 19-24.]