

优良单株家系辣木叶的表型性状分析

罗会英, 赵琼玲, 韩学琴, 邓红山, 范建成, 廖承飞, 金杰*

(云南省农业科学院热区生态农业研究所, 元谋干热河谷植物园, 云南 元谋 651300)

摘要: 为挖掘辣木(*Moranga oleifera*)优良种质资源, 对 30 个优良单株家系的叶片表型性状进行研究。结果表明, 除叶形外, 辣木不同家系间的叶柄和叶片颜色、复叶数、复叶柄长度和直径、复叶间距、叶长、叶宽均存在不同程度的差异。复叶数与复叶柄长度和直径、复叶间距、叶长、叶宽呈极显著正相关; 主成分分析表明, 叶长、叶宽、复叶柄长度和直径、复叶间距、叶柄和叶片颜色是区分辣木不同家系最主要的叶片性状指标。聚类分析结果表明, 30 个辣木家系可分为 3 大类, 叶片表型性状存在显著差异的家系的遗传距离较远。因此, 叶柄和叶片颜色、复叶数、复叶柄长度和直径、复叶间距、叶长、叶宽将为直观区分辣木家系提供参考。

关键词: 辣木; 优良家系; 叶片; 表型性状; 主成分分析; 聚类分析

doi: 10.11926/jtsb.4096

Analysis on Leaf Phenotypic Traits of Excellent Single Plant Family *Moranga oleifera*

LUO Hui-ying, ZHAO Qiong-ling, HAN Xue-qin, DENG Hong-shan, FAN Jian-cheng, LIAO Cheng-fei, JIN Jie*

(Institute of Tropical Eco-agricultural Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Yuanmou Dry-hot Valley Botanical Garden, Yuanmou 651300, Yunnan, China)

Abstract: In order to explore excellent germplasm resources of *Moringa* trees, leaf phenotypic characters of 30 excellent single plant families were studied. The results showed that except of leaf shape, there were significant differences among families in petiole color, leaf color, compound leaf number, length and diameter of compound leaf petiole, compound leaf spacing, length and width of leaf. The compound leaf number was significant positive correlation with length and diameter of compound leaf petiole, compound leaf spacing, length and width of leaf. Principal component analysis showed that length and width of leaf, length and diameter of compound leaf petiole, compound leaf spacing, petiole and leaf color were important indicators for identifying these families. Based on the 8 leaf phenotypic traits, 30 families of *Moringa* could be divided into 3 categories by cluster analysis, there was far genetic distance among families which had significant differences in leaf phenotypic traits. Therefore, petiole and leaf color, compound leaf number, compound leaf petiole length and diameter, compound leaf spacing, leaf length and width would provide a reference for identifying *Moringa* families.

Key words: *Moranga oleifera*; Excellent family; Leaf; Phenotypic trait; Principal component analysis; Cluster analysis

辣木(*Moranga oleifera*), 又称鼓槌树、奇迹树, 乔木, 常绿或半落叶, 原产印度和非洲地区^[2-4]。为辣木科(Moringaceae)辣木属植物^[1], 属多年生小 当前已被世界上 30 多个国家引种, 我国于 1998 年

收稿日期: 2019-05-23

接受日期: 2019-08-05

基金项目: 国家木薯产业技术体系项目(CARS-11-YNJJ); 国家农作物种质资源共享服务平台-云南干热区特色作物种质资源子平台项目(NICGR2019-74)资助

This work was supported by the Project of National Cassava Industry Technology System (Grant No. CARS-11-YNJJ), the Project of Special Crop Germplasm Resources Sub-platform in Yunnan Dry-hot Region in National Crop Germplasm Resources Sharing Service Platform (Grant No. NICGR2019-74).

作者简介: 罗会英(1987~), 女, 助理研究员, 研究方向为作物种质资源。E-mail: luohuiying1987@163.com

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: 276361917@qq.com

前后从印度引种成功,并在我国广东、广西、云南、福建等地开展种植^[5-6]。辣木全株都是宝,都可被开发利用,被誉为“生命之树”、“奇迹之树”、“素食黄金”^[7],广泛应用于食品、医药、保健、饲料、工业原料及净水等领域,开发推广的潜力巨大,拥有较强保健功效及开发前景。

辣木叶片中蛋白质、钙、钾、铁等矿质元素含量较高,此外还含有丰富的胡萝卜素和维生素类^[8],据报道辣木叶中胡萝卜素含量是西兰花(*Brassica oleracea* var. *italica*)的 6 倍多,维生素 C 含量是柑橘(*Citrus reticulata*)的 7 倍、维生素 A 含量是胡萝卜(*Daucus carota* var. *sativa*)的 4 倍^[9-11]。2012 年 11 月,我国卫生部批准辣木叶作为新资源食品。目前辣木叶已作为优质的绿色食品和新型的保健食品进行开发,另外辣木叶片还可作为饲料应用于畜牧业。近年来,国内外学者对其化学成分、药理活性及安全性开展了一些研究工作,但关于辣木叶片的研究也仅限于对叶片的形态描述,对其形态多样性的研究分析在国内还未见报道,因此,为了能直观地区分不同的辣木家系,更好地挖掘、保护和利用辣木种质资源,该研究从辣木叶片表型入手,围绕辣木叶片的形态多样性进行比较分析,为今后进一步开展辣木种质资源的评价、筛选、鉴定等研究工作提供参考。

1 材料和方法

1.1 材料

试验地位于金沙江干热河谷地区元谋县境内(101°52'18" E, 25°41'15" N),年均温 21.9℃,极端最高气温 42℃,极端最低气温-2℃,年降水量 613.8 mm,集中在 5-9 月份,其他月份少雨或无雨,年蒸发量 3 911.2 mm,具有干燥、炎热、少雨、光照充足、四季不分明,全年无冬的气候特点。

供试材料为辣木(*Moranga oleifera*)的 30 个优良单株家系,分别编号为 1~30 号,其中 1~23、25 和 29 号来源于印度,24 号来源于德国,26 号来源于古巴,27 号来源于肯尼亚,28 号来源于马里,30 号来源于美国。2015 年,筛选优良单株(树势强,树型紧凑,单株结实率好,种子种荚大而饱满,丰产,抗性强)并采集成熟种子进行实生育苗。2016 年 5 月定植于云南省楚雄州元谋县云南农科院热区生态农业研究所辣木基地,株行距为 2 m×2.5 m,定植

后按常规管理,树龄 2 a。

1.2 方法

于 2018 年 5 月进行表型性状测定,采取随机取样的方法,每个家系采集 5 株成年单株的叶片,考虑到光照等因子对不同方位叶片生长的影响,在树冠的东、南、西、北 4 个方位分别随机采集成熟、完整且健康的叶 7~8 片,共 30 片,将叶片置于装有湿润滤纸的塑料自封袋内,编号。观察叶片和叶柄颜色(目测法)、测量复叶柄长度[1 a 生老熟夏延秋梢的复叶轴基部到最后一对(片)小叶着生处之间的距离,单位为 cm]、复叶柄直径(1 a 生老熟夏延秋梢的复叶柄 1/2 处的直径,单位为 mm)、复叶间距(一回复叶之间的距离,单位为 cm)、复叶数(1 a 生老熟夏延秋梢的一回复叶的数量,单位为片)、叶长(从叶基部至叶尖端的长度,单位为 cm)和叶宽(叶最宽处的宽度,单位为 cm)。

1.3 数据分析

叶片颜色和叶柄颜色给予赋值数量化标准处理,叶片颜色:1 淡绿色,2 绿色,3 深绿色,4 其他;叶柄颜色:1 绿色,2 绿褐色,3 褐色,4 红褐色,5 其他。数据采用 Microsoft Excel 2003 进行统计,用 SPSS 19.0 软件进行方差分析和 Duncan's 多重比较分析、Pearson 相关性分析和主成分分析,并进行聚类分析。

2 结果和分析

2.1 叶片的形态差异

30 个参试家系的辣木叶片均为三回羽状复叶,小叶卵形、椭圆形或长圆形。从表 1 可见,辣木不同参试家系的叶片性状间存在不同程度的差异,具体表现为:2、3、11、16、19、24~28 和 30 号的叶柄颜色为红褐色,13、14、20、22 和 29 号为褐色,1、5、6、12、18 和 23 号为绿褐色,4、7、8、15、17 和 21 号为绿色。1~6 和 13 号的叶片颜色为深绿色,其余的均为绿色。复叶数最多的是 27 号(19 片),最少的是 17 号(12 片),其他大部分为 15 片。叶长为 45.96~78.84 cm,叶长由长到短分为 5 个差异等级,第一为 13、7、2、1 和 22 号,第二为 21、19、3、27、30、16、23、25 和 14 号,第三为 18、4、20、9、24、29、5 和 12 号,第四为 10、28、6 和

15 号, 第五为 17、8、11 和 26 号。复叶柄长度最长的是 13 号(76.08 cm), 最短的是 26 号(43.56 cm)。复叶柄最粗的是 13 号(14.41 mm), 最细的是 11 号(6.75 mm)。复叶间距最大的是 13 号(14.02 cm), 最小的是 8 号(8.28 cm)。叶片最宽的是 7 号(55.44 cm), 最窄的是 26 号(31.34 cm)。复叶柄的长度、直径、间距和叶宽也分为 4~6 个差异等级, 每个差异等级所包含的家系与叶长基本相似。

表 1 叶片的形态比较

Table 1 Comparisons of leaf traits

编号 No.	颜色 Color		复叶数 Compound leaf number	复叶柄 Compound leaf petiole		复叶间距 Compound leaf spacing (cm)	叶片 Leaf	
	叶片 Leaf	叶柄 Petiole		长度 (cm) Length	直径 (mm) Diameter		长 (cm) Length	宽 (cm) Width
1	深绿色 Dark green	绿褐色 Green brown	18.6 ±0.89a	71.46 ±4.87ab	11.08 ±1.23c	13.46 ±1.03ab	74.78 ±4.75ab	47.70 ±3.62bc
2	深绿色 Dark green	红褐色 Red brown	17.0 ±0.00b	74.52 ±3.40ab	12.48 ±1.24b	13.04 ±0.89ab	76.60 ±3.29ab	53.70 ±1.85ab
3	深绿色 Dark green	红褐色 Red brown	15.8 ±1.79bc	58.56 ±5.50cd	10.28 ±0.63cd	12.88 ±0.72b	70.88 ±2.80b	50.54 ±3.00b
4	深绿色 Dark green	绿褐色 Green brown	15.4 ±0.89c	60.48 ±8.84bc	8.09 ±1.39de	10.44 ±1.44cd	62.84 ±8.78cd	32.52 ±4.75f
5	深绿色 Dark green	绿褐色 Green brown	16.2 ±1.10bc	58.54 ±1.16cd	8.76 ±0.85de	10.54 ±0.55cd	60.50 ±1.24cd	44.42 ±0.87cd
6	深绿色 Dark green	绿褐色 Green brown	15.0 ±1.41cd	54.22 ±3.04cd	7.93 ±0.80e	9.06 ±0.70e	57.24 ±3.03d	40.18 ±1.94de
7	绿色 Green	绿色 Green	15.4 ±1.67c	74.36 ±3.78ab	9.38 ±0.89d	12.72 ±1.01b	77.76 ±3.73ab	55.44 ±2.63a
8	绿色 Green	绿色 Green	12.6 ±0.89de	47.34 ±5.43d	8.09 ±1.50de	8.28 ±1.56e	49.82 ±5.49e	39.48 ±4.53de
9	绿色 Green	绿褐色 Green brown	13.8 ±1.10d	59.58 ±1.48c	9.36 ±0.59d	10.64 ±0.41cd	61.84 ±1.68cd	41.96 ±1.42d
10	绿色 Green	绿褐色 Green brown	15.0 ±0.00cd	57.06 ±4.25cd	9.37 ±1.37d	9.82 ±0.37de	59.20 ±4.27d	37.96 ±2.88e
11	绿色 Green	红褐色 Red brown	13.4 ±1.67de	47.14 ±3.13d	6.75 ±0.66e	9.60 ±0.82de	48.98 ±2.78e	32.44 ±2.09f
12	绿色 Green	绿褐色 Green brown	15.8 ±1.10bc	57.82 ±2.82cd	10.42 ±0.82cd	10.50 ±1.40cd	60.20 ±2.75cd	50.50 ±1.24b
13	深绿色 Dark green	绿褐色 Green brown	16.6 ±0.89bc	76.08 ±4.75a	14.41 ±2.31a	14.02 ±0.55a	78.84 ±4.75a	53.84 ±2.47ab
14	绿色 Green	褐色 Brown	14.6 ±0.89cd	65.00 ±2.18bc	10.20 ±0.91cd	11.26 ±0.83cd	67.86 ±2.07bc	37.18 ±1.17e
15	绿色 Green	绿色 Green	14.2 ±1.10cd	54.40 ±5.86cd	9.00 ±1.17de	10.18 ±1.10d	56.86 ±5.92d	35.96 ±3.95ef
16	绿色 Green	红褐色 Red brown	15.0 ±0.00cd	67.38 ±2.50bc	8.98 ±0.61de	12.06 ±0.45bc	69.34 ±2.61bc	33.42 ±0.79f
17	绿色 Green	绿色 Green	12.2 ±1.10e	51.12 ±7.29d	7.55 ±0.85e	9.70 ±0.94de	53.80 ±7.43de	37.36 ±5.38e
18	绿色 Green	绿褐色 Green brown	15.0 ±0.00cd	62.72 ±2.78bc	9.27 ±0.92de	10.78 ±0.60cd	64.82 ±2.89c	48.20 ±1.98bc
19	绿色 Green	红褐色 Red brown	14.6 ±0.89cd	70.18 ±8.16ab	11.34 ±1.75bc	12.32 ±1.41bc	72.62 ±8.06b	50.30 ±5.50b
20	绿色 Green	褐色 Brown	13.0 ±0.00de	60.42 ±2.84bc	8.30 ±0.76de	10.48 ±1.12cd	62.42 ±2.93cd	36.68 ±2.19ef
21	绿色 Green	绿色 Green	14.2 ±1.79cd	69.68 ±4.30ab	11.68 ±0.97bc	11.46 ±0.56c	72.72 ±4.26b	46.20 ±2.19c
22	绿色 Green	褐色 Brown	13.4 ±0.89de	70.48 ±2.88ab	9.04 ±0.26de	12.92 ±0.79ab	73.52 ±3.00ab	45.36 ±1.37cd
23	绿色 Green	绿褐色 Green brown	15.4 ±0.89c	66.40 ±5.42bc	12.53 ±1.52b	12.62 ±0.85b	69.34 ±5.59bc	45.70 ±2.83c
24	绿色 Green	红褐色 Red brown	15.4 ±0.89c	58.18 ±3.20cd	7.45 ±1.24e	9.56 ±0.47de	61.04 ±3.32cd	42.90 ±1.95cd
25	绿色 Green	红褐色 Red brown	13.0 ±0.00de	65.56 ±4.06bc	11.59 ±0.49bc	12.34 ±0.85bc	68.16 ±4.11bc	49.92 ±3.26b
26	绿色 Green	红褐色 Red brown	13.0 ±0.00de	43.56 ±2.11d	7.63 ±0.27e	8.54 ±0.42e	45.96 ±2.11e	31.34 ±2.15f
27	绿色 Green	红褐色 Red brown	19.0 ±0.00a	69.24 ±3.54ab	10.36 ±0.37cd	12.36 ±0.59bc	70.80 ±3.49b	41.12 ±1.89de
28	绿色 Green	红褐色 Red brown	14.2 ±1.10cd	56.22 ±3.50cd	8.26 ±0.44de	8.86 ±0.46e	58.56 ±3.47d	32.48 ±3.31f
29	绿色 Green	褐色 Brown	17.8 ±1.10ab	59.34 ±4.40c	8.97 ±1.27de	10.38 ±0.95cd	60.96 ±4.50cd	37.18 ±2.24e
30	绿色 Green	红褐色 Red brown	16.6 ±0.89bc	68.00 ±5.60b	9.91 ±1.76cd	12.76 ±0.68b	70.20 ±5.64bc	50.62 ±3.87b

同列数据后不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

Data followed different letters within column indicate significant difference at 0.05 level.

2.2 相关性分析

相关性分析表明(表 2), 叶柄颜色与复叶数、复叶间距、复叶柄直径、叶长呈极显著正相关, 与叶片颜色呈极显著负相关($P<0.01$), 与复叶柄长度呈

显著正相关($P<0.05$)。叶片颜色与复叶数、叶宽呈极显著正相关($P<0.01$), 与复叶间距、叶长呈显著正相关($P<0.05$)。复叶数与复叶柄长度、复叶柄直径、复叶间距、叶长、叶宽呈极显著正相关($P<0.01$);

复叶柄长度与复叶柄直径、复叶间距、叶长、叶宽呈极显著正相关($P<0.01$); 复叶柄直径与复叶间距、叶长、叶宽呈极显著正相关($P<0.01$); 复叶间距与叶长、叶宽呈极显著正相关($P<0.01$); 叶长与叶宽呈极显著正相关($P<0.01$); 叶片形状与其他性状间无相关性。

2.3 主成分分析

从表 3 可见, 第一主成分因子 F_1 主要由复叶间距、复叶数、复叶柄长度、复叶柄粗度、叶长和叶宽决定, 这 5 个变量在因子 F_1 上有较高的正载荷,

因此, 第一主因子 F_1 主要代表了叶片的大小性状, 且对各变量的方差贡献率达到 52.99%。叶柄颜色在第二主成分因子 F_2 上有较高的负载荷, 因此, 第二主因子主要反映叶柄颜色的特点, 第二主因子 F_2 对各变量的方差贡献率达到 19.22%。第三主因子 F_3 主要反映了叶片颜色, 即叶片颜色在 F_3 上有较高的正载荷, F_3 对各变量的方差贡献率达到 12.14%。前 3 个公因子对 8 个指标变量的累计方差贡献率已达到 84.35%, 说明 3 个主因子基本上概括了 8 个变量的主要信息。叶片形状对主成分负载值均为 0, 对主成分分析影响较小, 所以在聚类中可不予以考虑。

表 2 叶片表型性状间的相关性

Table 2 Correlation among leaf phenotypic traits

	叶柄颜色 Petiole color	叶片颜色 Leaf color	复叶数 Compound leaf number	复叶柄长度 Compound leaf petiole length	复叶柄直径 Compound leaf petiole diameter	复叶间距 Compound leaf spacing	叶长 Leaf length	叶宽 Leaf width
叶柄颜色 Petiole color	1							
叶片颜色 Leaf color	-0.032	1						
复叶数 Compound leaf number	0.233**	0.349**	1					
复叶柄长度 Compound leaf petiole length	0.192*	0.072	0.461**	1				
复叶柄直径 Compound leaf petiole diameter	0.248**	0.109	0.327**	0.665**	1			
复叶间距 Compound leaf spacing	0.274**	0.173*	0.441**	0.799**	0.690**	1		
叶长 Leaf length	0.213**	0.161*	0.447**	0.911**	0.728**	0.891**	1	
叶宽 Leaf width	0.035	0.268**	0.335**	0.676**	0.671**	0.711**	0.758**	1

** $: P<0.01$; * $: P<0.05$.

表 3 叶片表型性状的主成分分析

Table 3 Principal component analysis on leaf phenotypic traits

	主成分 Component		
	F_1	F_2	F_3
叶柄颜色 Petiole color	0.393	-0.841	0.203
叶片颜色 Leaf color	0.254	0.386	0.812
复叶数 Compound leaf number	0.636	0.034	0.519
复叶柄长度 Compound leaf petiole length	0.926	0.097	-0.21
复叶柄直径 Compound leaf petiole diameter	0.857	0.045	-0.166
复叶间距 Compound leaf spacing	0.945	0.038	-0.106
叶长 Leaf length	0.947	0.124	-0.151
叶宽 Leaf width	0.782	0.338	-0.093
贡献率 Contribution rate	52.99	19.22	12.14
累计贡献率 Accumulative contribution rate	52.99	72.21	84.35

2.4 聚类分析

以主成分分析确定的 8 个指标, 用类平均法对 30 个辣木家系的叶片性状指标进行聚类分析(图 1), 在欧式距离 $M=1.0$ 时, 可将 30 个辣木家系分为 3

类, 1~3 和 13 号聚为第一大类, 主要特点为叶片深绿色, 叶柄绿褐色或红褐色, 叶片较大, 叶长 70~79 cm, 叶宽 47~54 cm, 复叶较多(16~19 片), 复叶间距较大(12~15 cm), 复叶柄较粗(10~15 mm); 7、

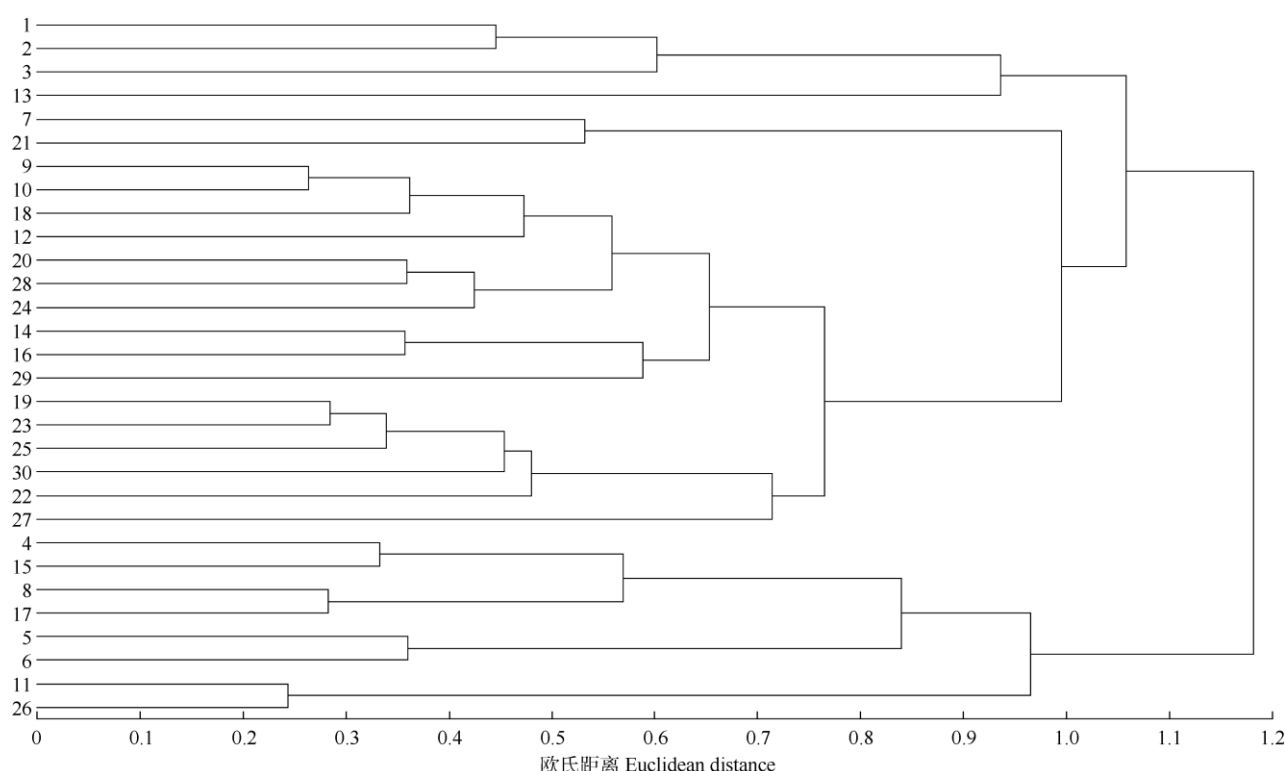


图1 叶片性状的聚类图

Fig. 1 Cluster map based on leaf phenotypic traits

21、9、10、18、12、20、28、24、14、16、29、19、23、25、30、22 和 27 号聚为第二大类, 主要特点为叶片绿色, 叶柄颜色绿色、绿褐色、褐色和红褐色均有, 叶长 58~78 cm, 叶宽 32~56 cm, 复叶 13~19 片, 复叶间距 8~13 cm, 复叶柄粗度 7~13 mm; 4、15、8、17、5、6、11、26 号为第三大类, 主要特点为叶片绿色或深绿色, 叶柄以绿色、绿褐色为主, 少量为红褐色, 叶片较小, 叶长 45~63 cm, 叶宽 31~41 cm, 复叶 12~16 片, 复叶间距较小(8~11 cm), 复叶柄较细(7~9 mm)。这说明大部分辣木参试家系叶片性状变异不显著。

3 结论和讨论

本试验通过对 30 个辣木家系的叶片表型性状进行研究, 结果表明, 除叶片形状无差异外, 叶柄和叶片颜色、复叶数、复叶柄长度和直径、复叶间距、叶长和叶宽在家系间均存在不同程度的差异, 为直观区分不同家系提供可能。王江等^[12]对广西香椿(*Toona sinensis*)的研究表明, 不同类型香椿在复叶长度、复叶小叶数上存在显著差异; 区锦玮等^[13]

对南酸枣(*Choerospondias axillaries*)家系的研究表明, 叶长、叶宽、复叶面积和单株叶面积在各家系间均达到显著或极显著差异水平, 而在区组间则未达到显著水平, 说明不同家系间在叶长、宽和单株复叶数等性状上有差异。本研究与他们的研究结果相似。

对叶片性状的相关性分析表明, 叶片性状间存在一定的相关性, 复叶数与复叶柄长度和直径、复叶间距、叶长、叶宽呈极显著正相关, 与叶片形状、叶柄颜色、叶片颜色无相关性, 这有利于直观区别家系间的差异。黄小凤等^[14]对 14 个荔枝(*Litchi chinensis*)品种的叶面积、叶干物质含量、叶片 SPAD 值进行相关分析, 表明各品种的叶片性状间呈现出一定的相关性; 吕中跃等^[15]的研究表明, 6 a 生黑木相思(*Acacia melanoxylon*)的 14 个无性系叶片性状间存在相关性, 叶长、叶柄长和叶宽与叶面积呈极显著正相关, 而叶面积、比叶面积与干物质质量呈极显著负相关, 叶厚与比叶面积呈极显著负相关存在相同之处。

主成分分析可以将许多性状指标整合压缩成少量的反映较多信息的综合评价指标^[16], 本研究前 3 个主成分累计贡献率达到 84.35%, 说明这 3

个主成分概括了 9 个性状指标的主要信息,较好地反映了辣木不同家系在叶形态上的差异,第一主成分贡献率为 52.99%,叶长的载荷量最大,其次是复叶间距、复叶柄长度和直径、叶宽和复叶数,第二主成分的贡献率达到 19.22%,叶柄颜色载荷量最大,第三主成分贡献率达到 12.14%,叶片颜色载荷量最大,因此叶长、叶宽、复叶柄长度和直径、复叶间距、叶柄和叶片颜色是区分辣木不同家系最主要的叶片性状指标。梁晓静等^[17]对肉桂(*Cinnamomum cassia*)叶表型性状的研究表明,叶柄长/叶全长、叶片长和叶全长 3 个主成分的累计贡献率达到 90.979%,其中,叶柄长/叶全长的载荷量最大,其次是叶片长和叶全长,是区分肉桂不同品种最主要的叶片性状。郭琪等^[18]对刺槐(*Robinia pseudoacacia*)的主成分分析表明,前 4 个成分复叶长与复叶宽、复叶长/宽、复叶柄长的累计方差贡献率为 79.582%,可以作为刺槐叶片性状选择的综合指标。这与本试验研究结果相似。

基于叶片表型性状的聚类分析,可将辣木 30 个参试家系分为 3 大类,叶片表型性状存在显著差异的家系,其遗传距离较远。陈跃华等^[19]报道叶片形态特征、树形特征、嫩叶与秋冬季叶面颜色等可反映大部分南天竹(*Nandina domestica*)表型信息,利用这些表型性状基本上可对湖南不同地理来源的南天竹进行分类。陈丽君等^[20]基于苦楝(*Melia azedarach*)叶片的 6 个性状:叶面积、叶周长、叶长、叶宽、叶长/叶宽、叶柄长,可将 10 个苦楝种源聚为 2 类。

以上结果对辣木的保存和利用提供理论依据,同时也为辣木叶片性状的改良和育种工作提供帮助,但由于植物在长期的进化变异过程中,受到外界环境因素的影响比较大,因此,对辣木的叶片等表型性状进行评估时,还需要长时间、多次的观测、收集大量的测定数据才能提高准确性。另外,叶片形态是植株在长期进化过程中基因与周边环境相互作用的结果^[21],表型分析只能揭示形态学差异,不能分解基因与环境水平上的差异,因此有必要开展基因型与环境互作以及遗传多样性研究,从表型、生理生化及分子水平揭示辣木叶片的多样性,以期优良种源和家系的选择提供基础。

参考文献

[1] Delectis Florae Reipublicae Popularis Sinicae, Agendae Academiae

Sinicae Edita. Florae Reipublicae Popularis Sinicae, Tomus 34(1) [M]. Beijing: Science Press, 1984: 6.

中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志, 第 34 卷第 1 分册 [M]. 北京: 科学出版社, 1984: 6.

[2] ZHANG Y P, DUAN Q F, SU J R. Horseradish and its utilization: Review [J]. Chin J Trop Agric, 2004, 24(4): 42–48. doi: 10.3969/j.issn.1009-2196.2004.04.010.

张燕平, 段琼芬, 苏建荣. 辣木的开发与利用 [J]. 热带农业科学, 2004, 24(4): 42–48. doi: 10.3969/j.issn.1009-2196.2004.04.010.

[3] ZHANG J. The study on the tissue culture system and determine the effective content of *Moringa oleifera* in Fujian [D]. Fuzhou: Agriculture and Forestry University, 2013: 1–2.

张婧. 辣木组织培养及有效成分分析 [D]. 福州: 福建农林大学, 2013: 1–2.

[4] LIU C F, LI G H. Actuality of study on *Moringa oleifera* and their exploitive foreground [J]. Yunnan Trop Crops Sci Technol, 2002, 25(3): 20–24. doi: 10.3969/j.issn.1672-450X.2002.03.007.

刘昌芬, 李国华. 辣木的研究现状及其开发前景 [J]. 热带农业科技, 2002, 25(3): 20–24. doi: 10.3969/j.issn.1672-450X.2002.03.007.

[5] ASGHARI G, PALIZBAN A B B. Quantitative analysis of the nutritional components in leaves and seeds of the Persian *Moringa* [J]. Pharmacognosy Res, 2015, 7(3): 8–11. doi: 10.4103/0974-8490.157968.

[6] DAS J M. Free amino acids and carotenes in the leaves of *Moringa oleifera* [J]. Curr Sci, 1965, 34(12): 374–375.

[7] CHEN X H. Vegetarian Gold: *Moringa* [J]. Proc Agric Products, 2012(4): 26.

陈秀华. 素食黄金——辣木树 [J]. 农产品加工, 2012(4): 26.

[8] LUO Y X, LU B, SHI Z G. Characteristics of *Moringa oleifera* Lam and Its prospect of Introduction and development in Yunnan [J]. J W China For Sci, 2006, 35(4): 137–140. doi: 10.3969/j.issn.1672-8246.2006.04.027.

罗云霞, 陆斌, 石卓功. 辣木的特性与价值及其在云南引种发展的景况 [J]. 西部林业科学, 2006, 35(4): 137–140. doi: 10.3969/j.issn.1672-8246.2006.04.027.

[9] LIU Z J, SUN J H, LIU S H, et al. Application value and development prospects analysis of *Moringa oleifera* Lam [J]. Chin J Trop Crops, 2014, 35(9): 1871–1875. doi: 10.3969/j.issn.1000-2561.2014.09.035.

刘子记, 孙继华, 刘昭华, 等. 特色植物辣木的应用价值及发展前景分析 [J]. 热带作物学报, 2014, 35(9): 1871–1875. doi: 10.3969/j.issn.1000-2561.2014.09.035.

[10] LIU C F, WU Y, LONG J M. Nutrients of drumstick tree leaf of different varieties and producing area [J]. Trop Agric Sci Technol, 2003, 26(4): 1–2, 14. doi: 10.3969/j.issn.1672-450X.2003.04.001.

- 刘昌芬, 伍英, 龙继明. 不同品种和产地辣木叶片营养成分含量 [J]. 热带农业科技, 2003, 26(4): 1–2, 14. doi: 10.3969/j.issn.1672-450X.2003.04.001.
- [11] DONG X Y, TANG S Q. Study on the nutritional value and biological function of *Moringa* [J]. Guangdong Feed, 2008, 17(9): 39–41. doi: 10.3969/j.issn.1005-8613.2008.09.020.
- 董小英, 唐胜球. 辣木的营养价值及生物学功能研究 [J]. 广东饲料, 2008, 17(9): 39–41. doi: 10.3969/j.issn.1005-8613.2008.09.020.
- [12] WANG J. Researches on the diversity of *Toona sinensis* types in Guangxi [D]. Guangxi: Guangxi University, 2017: 18–21.
- 王江. 广西香椿类型差异性研究 [D]. 广西: 广西大学, 2017: 18–21.
- [13] OU J W, LI G Y, XU J M, et al. Study on the leaf traits of *Choerospondias axillaries* families [J]. J CS Univ For Technol, 2017, 37(4): 75–78. doi: 10.14067/j.cnki.1673-923x.2017.04.013.
- 区锦玮, 李光友, 徐建民, 等. 南酸枣家系叶及生理性状的研究 [J]. 中南林业科技大学学报, 2017, 37(4): 75–78. doi: 10.14067/j.cnki.1673-923x.2017.04.013.
- [14] HUANG X F, WEI Y L, YU J C, et al. Leaf traits of different *Litchi chinensis* cultivars [J]. Subtrop Plant Sci, 2017, 46(2): 126–130. doi: 10.3969/j.issn.1009-7791.2017.02.006.
- 黄小凤, 韦阳连, 余金昌, 等. 14 个荔枝品种的叶片性状分析 [J]. 亚热带植物科学, 2017, 46(2): 126–130. doi: 10.3969/j.issn.1009-7791.2017.02.006.
- [15] LÜ Z Y, QIU Z F, ZENG B S, et al. Analysis of variation of leaf traits in *Acacia melanoxylon* fourteen preferred clones [J]. For Environ Sci, 2018, 34(4): 43–47. doi: 10.3969/j.issn.1006-4427.2018.04.007.
- 吕中跃, 裴珍飞, 曾炳山, 等. 黑木相思 14 个无性系叶片性状变异分析 [J]. 林业与环境科学, 2018, 34(4): 43–47. doi: 10.3969/j.issn.1006-4427.2018.04.007.
- [16] YIN M Y, GAO F L, WUYUN T N. High-level genetic diversity of *Siberian apricot* (*Armeniaca sibirica*) in Inner Mongolia revealed by phenotyping [J]. J Plant Genet Resour, 2017, 18(2): 242–252. doi: 10.13430/j.cnki.jpgr.2017.02.010.
- 尹明宇, 高福玲, 乌云塔娜. 内蒙古西伯利亚杏种质资源表型多样性研究 [J]. 植物遗传资源学报, 2017, 18(2): 242–252. doi: 10.13430/j.cnki.jpgr.2017.02.010.
- [17] LIANG X J, LI K X, LIANG W H, et al. Analysis on leaf phenotypic traits of different *Cinnamomum cassia* species [J]. Guangxi For Sci, 2016, 45(1): 40–45. doi: 10.3969/j.issn.1006-1126.2016.01.008.
- 梁晓静, 李开祥, 梁文汇, 等. 不同品种肉桂叶表型性状分析 [J]. 广西林业科学, 2016, 45(1): 40–45. doi: 10.3969/j.issn.1006-1126.2016.01.008.
- [18] GUO Q, LI X Y, DONG L, et al. Analysis on the diversity of *Robinia pseudoacacia* L. germplasm resources by leaf phenotypic traits in Shanxi [J]. Mol Plant Breed, 2019, 17(13): 4479–4487. doi: 10.13271/j.mpb.017.004479.
- 郭琪, 李秀宇, 董黎, 等. 山西刺槐种质资源的叶片表型多样性分析 [J]. 分子植物育种, 2019, 17(13): 4479–4487. doi: 10.13271/j.mpb.017.004479.
- [19] CHEN Y H. Different sources of phenotypic variation and photosynthetic characteristics of *Nandina domestica* Thunb in Hunan Province [D]. Hunan: Central South University of Forestry & Technology, 2008: 20–24.
- 陈跃华, 湖南南天竹不同种源的表型变异及光合特性研究 [D]. 湖南: 中南林业科技大学, 2008: 20–24.
- [20] CHEN L J, LIU M Q, LIAO B Y, et al. Variation of leaf morphological characters of *Melia azedarach* from different provenances [J]. J SW For Univ, 2016, 36(5): 16–20. doi: 10.11929/j.issn.2095-1914.2016.05.003.
- 陈丽君, 刘明骞, 廖柏勇, 等. 苦楝不同种源叶片性状变异研究 [J]. 西南林业大学学报, 2016, 36(5): 16–20. doi: 10.11929/j.issn.2095-1914.2016.05.003.
- [21] LI L F, BAO W K. Responses of the morphological and anatomical structure of the plant leaf to environmental change [J]. Chin Bull Bot, 2005, 22(S): 188–127.
- 李芳兰, 包维楷. 植物叶片形态解剖结构对环境变化的相应与适应 [J]. 植物学通报, 2005, 22(增刊): 188–127.