

毛永亚,刘颖,周俊良,等. 火龙果种质资源表型性状的遗传多样性分析[J]. 华中农业大学学报, 2023, 42(1): 12-18.
DOI: 10.13300/j.cnki.hnlkxb.2023.01.002

火龙果种质资源表型性状的遗传多样性分析

毛永亚¹, 刘颖¹, 周俊良¹, 肖图舰¹, 陈楠¹, 马玉华²

1. 贵州省农业科学院果树科学研究所, 贵阳 550006; 2. 贵州省农业科学院科研管理处, 贵阳 550006

摘要 对火龙果种质资源遗传多样性进行分析与评价, 为火龙果品种资源的创新利用提供基础。以 58 份火龙果种质资源为研究对象, 对其 14 个质量性状和 9 个数量性状进行描述和测定, 采用变异分析、相关性分析方法, 结合多样性指数, 对火龙果表型性状进行评价。结果显示, 58 份种质资源绝大多数性状呈现出变异程度高、类型丰富的特点, 质量性状多样性指数为 0.234~1.809; 9 个数量性状变异范围较大, 变异系数为 11.25%~35.32%, 其中 Vc 含量变异系数最大; 各数量性状间大部分存在显著或极显著相关性。说明 58 个火龙果种质资源间存在真实的遗传差异, 遗传多样性丰富。

关键词 火龙果; 种质资源; 表型性状; 遗传多样性; 种质创新

中图分类号 S667.902 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2023)01-0012-07

火龙果果实外形独特、营养丰富, 是近年在国内快速发展起来的具有较高营养价值、药用价值以及观赏价值的仙人掌科 (Cactaceae) 果树。仙人掌科植物按植物学分类分为 108 属, 近 2 000 种^[1]; 仙人掌科果树主要分为 3 大类: 攀缘类, 以量天尺属和蛇鞭柱属为主; 刺梨类, 以仙人掌属之梨果仙人掌为主; 圆柱状仙人掌, 以仙人掌属为主^[2-3]。广义上, 火龙果是量天尺属 (*Hylocereus*) 和蛇鞭柱属 (*Selenicereus*) 攀援植物, 原产于中南美洲的热带地区, 17 世纪中期, 由荷兰人传入中国台湾。20 世纪 90 年代我国开始引进优新品种进行试种研究, 目前火龙果种植区域主要分布在广西、广东、云南、贵州、海南、福建、台湾等省(自治区), 四川、湖南、江苏等地有零星种植, 各地栽培的火龙果种类与品系繁多, 根据其果实的外形特点, 可将火龙果分为红皮白肉、红皮红肉、红皮粉肉以及黄皮白肉几类^[4]。

近年来, 对火龙果种质资源多样性的研究有不少报道, 国内外研究者应用 RAPD^[5-6]、SSR^[7-8]、ISSR^[9] 等分子标记方法从分子水平对火龙果种质资源的遗传多样性进行了研究。李洪立等^[10]、黄凤珠

等^[11]从表型性状、农艺性状、品质性状对火龙果种质资源果实多样性进行了分析。表型特征直接反映了植物的外部特征, 它是检测植物遗传变异中最传统的研究方法^[12], 火龙果与其他果树不同, 靠肉质茎蔓进行光合作用, 为分析前期收集保存的种质资源的遗传多样性及茎蔓与果实表型性状间相关性, 本研究在前期工作基础上, 以 58 份火龙果种质资源为材料, 根据 NY/T 3517—2019《热带作物种质资源描述规范 火龙果》提供的方法, 以成熟茎和果实的表型质量性状和数量性状数据为依据, 分析火龙果种质资源遗传多样性, 以为火龙果种质资源的创新利用、杂交育种、分子育种等提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试的 58 份火龙果种质资源(表 1)保存于贵州省农业科学院果树科学研究所热带亚热带果树科研示范基地火龙果资源圃内, 试验于 2016—2020 年进行, 期间进行多次重复观察。

收稿日期: 2022-04-30

基金项目: 贵州省科技平台及人才计划项目[黔科合平台人才(GCC[2022]025-1)]; 国家自然科学基金项目(31560547)

毛永亚, E-mail: 463033852@qq.com

通信作者: 马玉华, E-mail: m_yh79@163.com

表1 58个火龙果种质资源名称及编号

Table 1 Names and numbers of 58 pitaya germplasm resources

序号 No.	种质 Germplasm	颜色 Color	来源 Origin	序号 No.	种质 Germplasm	颜色 Color	来源 Origin
1	紫红龙 Zihonglong	红皮红肉 Red skin and red flesh	贵州 Guizhou	24	广东2号 Guangdong No.2	红皮红肉 Red skin and red flesh	广东 Guangdong
2	罗甸1号 Luodian No.1	红皮红肉 Red skin and red flesh	贵州 Guizhou	25	白水晶 White crystal	红皮白肉 Red skin and white flesh	广东 Guangdong
3	罗甸2号 Luodian No.2	红皮红肉 Red skin and red flesh	贵州 Guizhou	26	广东3号 Guangdong No.3	红皮红肉 Red skin and red flesh	广东 Guangdong
4	罗甸3号 Luodian No.3	红皮红肉 Red skin and red flesh	贵州 Guizhou	27	红水晶 Red crystal	红皮红肉 Red skin and red flesh	广东 Guangdong
5	罗甸4号 Luodian No.4	红皮红肉 Red skin and red flesh	广西 Guangxi	28	黑龙 Black dragon	红皮红肉 Red skin and red flesh	广西 Guangxi
6	罗甸5号 Luodian No.5	红皮红肉 Red skin and red flesh	广西 Guangxi	29	云南15号 Yunnan No.15	红皮红肉 Red skin and red flesh	云南 Yunnan
7	关岭1号 Guanling No.1	红皮红肉 Red skin and red flesh	广西 Guangxi	30	云南17号 Yunnan No.17	红皮红肉 Red skin and red flesh	云南 Yunnan
8	关岭2号 Guanling No.2	红皮红肉 Red skin and red flesh	广西 Guangxi	31	云南18号 Yunnan No.18	红皮红肉 Red skin and red flesh	云南 Yunnan
9	望谟1号 Wangmo No.1	红皮红肉 Red skin and red flesh	贵州 Guizhou	32	云南20号 Yunnan No.20	红皮红肉 Red skin and red flesh	云南 Yunnan
10	粉红龙 Fenhonglong	红皮粉肉 Red skin and pink flesh	贵州 Guizhou	33	云南25号 Yunnan No.25	红皮红肉 Red skin and red flesh	云南 Yunnan
11	粉肉2号 Pink flesh No.2	红皮粉肉 Red skin and pink flesh	贵州 Guizhou	34	云南28号 Yunnan No.28	红皮红肉 Red skin and red flesh	云南 Yunnan
12	粉肉3号 Pink flesh No.3	红皮粉肉 Red skin and pink flesh	贵州 Guizhou	35	云南30号 Yunnan No.30	红皮粉肉 Red skin and pink flesh	云南 Yunnan
13	粉肉4号 Pink flesh No.4	红皮粉肉 Red skin and pink flesh	贵州 Guizhou	36	云南31号 Yunnan No.31	红皮红肉 Red skin and red flesh	云南 Yunnan
14	粉肉5号 Pink flesh No.5	红皮粉肉 Red skin and pink flesh	贵州 Guizhou	37	云南38号 Yunnan No.38	红皮红肉 Red skin and red flesh	云南 Yunnan
15	野白-1 Yebai No.1	红皮白肉 Red skin and white flesh	贵州 Guizhou	38	云南39号 Yunnan No.39	红皮白肉 Red skin and white flesh	云南 Yunnan
16	野白-2 Yebai No.2	红皮白肉 Red skin and white flesh	贵州 Guizhou	39	云南43号 Yunnan No.43	红皮红肉 Red skin and red flesh	云南 Yunnan
17	野白-3 Yebai No.3	红皮白肉 Red skin and white flesh	贵州 Guizhou	40	云南44号 Yunnan No.44	红皮红肉 Red skin and red flesh	云南 Yunnan
18	白肉4号 White flesh No.4	红皮白肉 Red skin and white flesh	福建 Fujian	41	云南45号 Yunnan No.45	红皮红肉 Red skin and red flesh	云南 Yunnan
19	白肉5号 White flesh No.5	红皮白肉 Red skin and white flesh	福建 Fujian	42	云南50号 Yunnan No.50	红皮红肉 Red skin and red flesh	云南 Yunnan
20	白肉8号 White flesh No.8	红皮白肉 Red skin and white flesh	贵州 Guizhou	43	云南52号 Yunnan No.52	红皮红肉 Red skin and red flesh	云南 Yunnan
21	晶红龙 Jinghonglong	红皮白肉 Red skin and white flesh	贵州 Guizhou	44	云南54号 Yunnan No.54	红皮白肉 Red skin and white flesh	云南 Yunnan
22	仙蜜 Xianmi	红皮红肉 Red skin and red flesh	广东 Guangdong	45	云南58号 Yunnan No.58	红皮红肉 Red skin and red flesh	云南 Yunnan
23	广东1号 Guangdong No.1	红皮红肉 Red skin and red flesh	广东 Guangdong	46	云南59号 Yunnan No.59	红皮粉肉 Red skin and pink flesh	云南 Yunnan

续表 Continued Table

序号 No.	种质 Germplasm	颜色 Color	来源 Origin	序号 No.	种质 Germplasm	颜色 Color	来源 Origin
47	海南1号 Hainan No.1	红皮红肉 Red skin and red flesh	海南 Hainan	53	广东4号 Guangdong No.4	红皮红肉 Red skin and red flesh	广东 Guangdong
48	海南2号 Hainan No.2	红皮红肉 Red skin and red flesh	海南 Hainan	54	广东5号 Guangdong No.5	红皮红肉 Red skin and red flesh	广东 Guangdong
49	海南3号 Hainan No.3	红皮红肉 Red skin and red flesh	海南 Hainan	55	红龙果 Red dragon	红皮红肉 Red skin and red flesh	广东 Guangdong
50	海南4号 Hainan No.4	红皮红肉 Red skin and red flesh	海南 Hainan	56	黔蜜龙 Qianmilong	红皮红肉 Red skin and red flesh	贵州 Guizhou
51	海南5号 Hainan No.5	红皮红肉 Red skin and red flesh	海南 Hainan	57	黔红 Qianhong	红皮红肉 Red skin and red flesh	贵州 Guizhou
52	以色列黄龙 Yellow dragon of Israel	黄皮白肉 Yellow skin and white flesh	广东 Guangdong	58	黔龙1号 Qianlong No.1	红皮红肉 Red skin and red flesh	贵州 Guizhou

1.2 性状调查与测定

1) 质量性状。依据 NY/T 3517—2019 分别对棱边形状、成熟茎蔓木栓化程度、成熟茎蔓表面附着粉状物、成熟茎蔓刺座位置、成熟茎蔓刺形状、成熟茎蔓单个刺座刺数、果萼状态、果萼颜色、果萼末端颜色、果萼末端中央斑线、果实形状、果皮刺、果皮颜色、果肉颜色 14 个质量性状(表 2)进行观察记录。

2) 数量性状。用游标卡尺测量成熟茎蔓宽度、成熟茎蔓棱厚度、成熟茎蔓刺座间距、成熟茎蔓刺长度、果实纵径、果实横径;采用电子天平称量单果质量,可溶性固形物采用手持糖度计测定,维生素 C 含量采用碘液滴定法测定,可溶性糖用蒽酮比色法测定^[13]。

1.3 数据处理

使用 Excel 2003、SPSS 25.0 软件对原始数据进行整理和分析,计算质量性状的分布频率和数量性状的平均值、极差和变异系数。计算 Shannon Weaver 多样性指数(H')^[14]。频率分布图采用 Origin 2021 软件进行分析。 $H' = -\sum P_i \ln P_i$,式中, P_i 为某性状第 i 类别样品数量占总数量的比例。

2 结果与分析

2.1 火龙果种质资源表型质量性状的频率分布和多样性分析

对 58 份火龙果种质资源表型质量性状的分析结果(表 3)显示,在 14 种表型质量性状中,共检测到 52 个变异类型,其中成熟茎蔓木栓化程度、果萼状态、果萼颜色、果实形状、果肉颜色等性状的变异范围较大。

本研究中的火龙果资源棱边形状主要有锯齿

形、波浪形、平滑形 3 类,其中波浪形棱边形状最多,占 67.2%;其次为平滑形棱边形状,占 25.9%;锯齿形棱边形状占 6.9%。成熟茎蔓木栓化程度多样性指数为 1.809,频率分布显示该性状无木栓化、全缘、刺座缘、不连续分别占 32.8%、17.2%、1.7%、48.3%,表现出较高的离散程度,揭示火龙果成熟茎蔓木栓化程度性状蕴含着较大的遗传变异程度。成熟茎蔓表面无附着粉状物占 82.8%,成熟茎蔓表面附着散点粉状物和片状粉状物分别占 12.1%、5.1%,说明火龙果大部分资源的成熟茎蔓表面无附着粉状物。在成熟茎蔓刺座位置这一性状中,成熟茎蔓刺座位置为凹处的占 58.6%,凸处刺座位置占 32.8%,其他为 8.6%。成熟茎蔓弧形刺占比较高,占 51.7%,针形和圆锥形较少,分别占 27.6% 和 20.7%。58 份资源中,成熟茎蔓单个刺座刺数多样性指数仅为 0.234,表现为离散程度较低,频率分布显示单个刺座刺数量最多的是 2~5 根,占 94.8%,其他仅占 5.2%。

果萼状态多样性指数为 1.306,也表现出较高的离散程度,其中紧贴型果萼状态最多,占 37.9%,其次为严重背离型果萼状态占 31%。果萼颜色以绿色、红色、紫红色为主,分别占 34.5%、39.7%、19.0%。果萼末端颜色绿色带紫色最多,占 48.3%,绿色带黄色占 36.2%,紫红色占 12.1%,紫色占 3.4%。多数资源果萼末端中央有斑线,占比 70.7%。果实形状中圆形最多,占 44.8%;其次为短椭圆形 27.6%,长椭圆形和扁圆形分别占 19.0%、8.6%;58 份资源中没有卵圆形果实。果皮绝大多数无刺,占 94.8%,近基部带刺和全果带刺仅占 3.5%、1.7%。果皮颜色以红色为主,玫瑰红色和紫红色共占 93.2%,粉红色、橘红色、黄色和其他(酒红色)分别占 1.7%。果肉颜色则以紫

表2 火龙果58个种质资源14种表型质量性状及其赋值

表型质量性状 Phenotypic qualitative characters	赋值 Assignment							
	1	2	3	4	5	6	7	8
棱边形状 ESMS	锯齿形 Sawtooth	波浪形 Wave	平滑形 Smooth	其他 Others				
成熟茎蔓木栓化程度 CMS	无 No	全缘 At the margin of whole stem	刺座缘 Around the areole	不连续 Discontinuous				
成熟茎蔓表面附着粉状物 GMS	无 No	散点 Scattered	片状 Sheet	条状 Strip				
成熟茎蔓刺座位置 APMS	凹处 On the sunken part	凸处 On the rising part	其他 Others					
成熟茎蔓刺形状 SSMS	针形 Needle-like spine	弧形 Spine with curve on the tip	圆锥形 Conical spine	其他 Others				
成熟茎蔓单个刺座刺数 NSPMS	少 Small quantity	中等 Medium quantity	多 Large quantity					
果萼状态 FCS	紧贴 Appressed	稍微背离 Slightly deviated	严重背离 Seriously deviated	向下翻卷 Flip down	其他 Others			
果萼颜色 FCC	淡黄色 Canary yellow	黄色 Yellow	绿色 Green	红色 Red	紫红色 Purplish red	深紫色 Dark purple	其他 Others	
果萼末端颜色 FCTC	绿色带黄色 Green with yellow	绿色带紫色 Green with purple	紫红色 Purplish red	紫色 Purple	其他 Others			
果萼末端中央斑线 CSLFC	无 No	有 With spot lines						
果实形状 FS	扁圆形 Oblate	圆形 Circular	短椭圆形 Short oval	长椭圆形 Long oval	卵圆形 Oval	其他 Others		
果皮刺 SS	无 No	近基部带刺 Spiny near base	全果带刺 Whole skin					
果皮颜色 SC	青绿色 Turquoise	黄色 Yellow	粉红色 Pink	橘红 Tangerine	玫瑰红色 Rose	紫红色 Purplish red	褐色 Brown	其他 Others
果肉颜色 FC	白色 White	红白双色 Dual colors- red externally white internally	粉红色 Pink	红色 Red	紫红色 Purplish red	其他 Others		

注 Note: ESMS: 棱边形状 Edge shape of mature stem; CMS: 成熟茎蔓木栓化程度 Corkification of mature stem; GMS: 成熟茎蔓表面附着粉状物 Glaucous of mature stem; APMS: 成熟茎蔓刺座位置 Areole position of mature stem; SSMS: 成熟茎蔓刺形状 Spine shape of mature stem; NSPMS: 成熟茎蔓单个刺座刺数 Number of spines per locus of mature stem; FCS: 果萼状态 Fruit calyx state; FCC: 果萼颜色 Fruit calyx color; FCTC: 果萼末端颜色 Fruit calyx terminal color; CSLFC: 果萼末端中央斑线 Central spot lines at end of fruit calyx; FS: 果实形状 Fruit shape; SS: 果皮刺 Skin spine; SC: 果皮颜色 Skin color; FC: 果肉颜色 Flesh color. 下同 The same as below.

红色(60.3%)为主,其次白色占19%,粉红色占12.1%,红色占6.9%,其他(深红色)占1.7%。

58份资源的 Shannon-weaver 多样性指数为0.234~1.809,其中成熟茎蔓木栓化程度、果萼状态、果萼颜色、果实形状和果肉颜色等性状的多样性指数分别为1.809、1.306、1.279、1.241和1.129,说明本研究火龙果种质资源有较高的多样性水平,多样性较为丰富。

2.2 火龙果种质资源表型数量性状多样性统计分析和关联分析

1) 火龙果种质资源表型数量性状多样性。58份火龙果种质资源9个数量性状变异系数为11.25%~35.32%,变异范围较大,表明资源的多样性较为丰富。其中,Vc含量的变异系数最大(35.32%),群内遗传变异程度较高;可溶性固形物最小(11.25%),说明其变异程度相对较低(表4)。58个火龙果种质资源绝大多数性状呈现出变异程度高、类型丰富

表3 火龙果种质资源表型质量性状的频率分布和多样性

Table 3 Frequency distribution and diversity of phenotypic qualitative characters of pitaya germplasm resources

表型质量性状 Phenotypic qualitative characters	各性状分布频率/% Frequency of classification								Shannon-Weaver 指数
	1	2	3	4	5	6	7	8	Shannon-Weaver diversity index
棱边形状 ESMS	6.9	67.2	25.9	0.0					0.801
成熟茎蔓木栓化程度 CMS	32.8	17.2	1.7	48.3					1.809
成熟茎蔓表面附着粉状物 GMS	82.8	12.1	5.1	0.0					0.565
成熟茎蔓刺座位置 APMS	58.6	32.8	8.6						0.889
成熟茎蔓刺形状 SSMS	27.6	51.7	20.7	0.0					1.022
成熟茎蔓单个刺座刺数 NSPMS	3.5	94.8	1.7						0.234
果萼状态 FCS	37.9	17.2	31.0	13.9	0.0				1.306
果萼颜色 FCC	0.0	3.4	34.5	39.7	19.0	0.0	3.4		1.279
果萼末端颜色 FCTC	36.2	48.3	12.1	3.4	0.0				1.089
果萼末端中央斑线 CSLFC	29.3	70.7							0.604
果实形状 FS	8.6	44.8	27.6	19.0	0.0	0.0			1.241
果皮刺 SS	94.8	3.5	1.7						0.234
果皮颜色 SC	0.0	1.7	1.7	1.7	81.0	12.2	0.0	1.7	0.703
果肉颜色 FC	19.0	0.0	12.1	6.9	60.3	1.7			1.129

表4 火龙果种质资源表型数量性状描述性统计分析及其方差分析

Table 4 Descriptive statistical analysis and variance analysis of phenotypic quantitative traits of pitaya germplasm resources

统计值 Statistical value	成熟茎蔓宽度/cm WMS	成熟茎蔓棱厚度/mm RTMS	成熟茎蔓刺座间距/cm ASMS	成熟茎蔓刺长度/mm SLMS	果形指数 FSI	单果质量/g FW	可溶性固形物 TSS	Vc/ (mg/100 g)	可溶性糖 SS
最大值 Max	7.91	17.70	6.95	6.26	1.56	891.00	16.60	32.01	12.91
最小值 Min	2.70	4.20	2.20	1.5	0.89	36.00	8.30	3.91	3.49
极差 Range	5.21	13.50	4.75	4.76	0.67	855.00	8.30	28.10	9.42
均值 Mean	5.79	8.57	4.23	3.85	1.12	396.65	12.70	19.68	8.54
标准差 SD	0.92	2.67	0.86	0.92	0.13	107.37	1.43	6.93	1.76
偏度 Skewness	-1.093	0.861	0.421	0.036	0.909	0.720	0.126	-0.206	-0.206
峰度 Kurtosis	1.570	0.454	0.048	-0.115	0.502	5.505	0.674	-0.922	0.214
变异系数 CV	15.86	31.15	20.33	23.89	11.60	27.06	11.25	35.32	20.60
F值 F-value	5.85**	10.32**	7.93**	4.83**	11.94**	6.30**	14.75**	15.28**	8.74**

注 Note : WMS:成熟茎蔓宽度 Width of mature stem; RTMS:成熟茎蔓棱厚度 ridge thickness of mature stem; ASMS:成熟茎蔓刺座间距 Areole spacing of mature stem; SLMS:成熟茎蔓刺长度 Spine length of mature stem; FSI:果形指数 Fruit shape index; FW:单果质量 Fruit weight; TSS:可溶性固形物 Total soluble solids; SS:可溶性糖 soluble sugar; *和**分别代表 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 。*, ** represent $P<0.05$ and $P<0.01$, respectively.

的特点,可在今后的遗传改良工作中提供较高的利用空间和潜力。

2)火龙果种质资源表型数量性状关联分析。火龙果资源9个数量性状间的相关性分析结果见表5。结果显示,成熟茎蔓宽度与成熟茎蔓棱厚度、可溶性固形物、Vc含量之间呈显著或极显著负相关,而与成熟茎蔓刺座间距、单果质量呈极显著正相关。成熟茎蔓棱厚度与成熟茎蔓刺长度、可溶性固形物、Vc含量极显著正相关,而与单果质量呈显著负相关。成熟茎蔓刺座间距与果形指数、单果质量呈极显著正相关。成熟茎蔓刺长度与果形指数呈极显著负相

关,与可溶性固形物、Vc含量、可溶性糖呈极显著正相关,与单果质量相关性不显著。果形指数与单果质量极显著正相关,而与可溶性固形物、Vc含量、可溶性糖呈极显著负相关。单果质量与可溶性固形物、Vc含量、可溶性糖相关性不显著。可溶性固形物与Vc含量显著正相关,与可溶性糖极显著正相关。Vc含量与可溶性糖极显著正相关。由关联分析结果可知,这些数量性状间存在着内在关系,在大田生产或者品种选育时,应根据实际情况选择材料。

表 5 火龙果种质资源 9 个数量性状关联分析

Table 5 Correlation analysis of 9 quantitative traits of pitaya germplasm resources

性状 Trait	成熟茎蔓宽度 WMS	成熟茎蔓棱厚度 RTMS	成熟茎蔓刺座间距 ASMS	成熟茎蔓刺长度 SLMS	果形指数 FSI	单果质量 FW	可溶性固形物 TSS	Vc	可溶性糖 SS
成熟茎蔓宽度 WMS	1								
成熟茎蔓棱厚度 RTMS	-0.214**	1							
成熟茎蔓刺座间距 ASMS	0.460**	0.098	1						
成熟茎蔓刺长度 SLMS	0.048	0.240**	-0.026	1					
果形指数 FSI	0.101	0.063	0.360**	-0.322**	1				
单果质量 FW	0.400**	-0.128*	0.347**	-0.009	0.160**	1			
可溶性固形物 TSS	-0.141*	0.205**	-0.006	0.196**	-0.352**	0.065	1		
Vc	-0.120*	0.186**	0.036	0.230**	-0.294**	-0.042	0.149*	1	
可溶性糖 SS	-0.057	0.020	-0.044	0.248**	-0.423**	0.044	0.797**	0.181**	1

3 讨 论

收集、保存火龙果种质资源,并开展鉴定、评价与利用研究,创制一批具有地方特色的新种质/新品种,实现果品品种的多元化,有利于产业的可持续健康发展。Shannon-weaver 多样性指数在植物表型性状的多样性分析中得到广泛的应用,是开展种质资源多样性统计中常用的分析方法之一^[15-16]。本试验基于茎和果实的表型性状对 58 份火龙果种质资源的遗传多样性进行分析,结果表明,该群体多样性指数较高,遗传多样性丰富,其中成熟茎蔓木栓化程度、果萼状态、果萼颜色、果实形状和果肉颜色等性状的多样性指数分别为 1.809、1.306、1.279、1.241 和 1.129,不同种质果实形状和果肉颜色的多样性与黄凤珠等^[11]对火龙果种质资源果实品质性状多样性分析研究结果相似,果皮颜色、果皮刺、果萼状态、果实形状、果肉颜色多样性指数较李洪立等^[10]对 22 份火龙果种质资源果实特性的遗传多样性研究结果高,可能是本试验样本相对较多,表现出更为丰富的遗传多样性。

植物表型性状是植物本身特性及适应生长环境所表现的结果^[17],种质资源表型性状多样性研究对植物分类、鉴定评价及新种质创制具有重要的意义。本研究表明 58 份火龙果种质资源绝大多数性状呈现出变异程度高、类型丰富的特点,具有丰富的多样性,变异系数大小反映了品种固有特征及生物产品的个体差异范围^[18],9 个数量性状表现出较高的变异性和一定的内在相关性,可在今后的遗传改良工作中提供较高的利用空间和潜力,为火龙果种质创新

及新品种选育提供更多选择。

依据农业行业标准 NY/T 2424—2013《植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南 苹果》中假质量性状的概念,本研究中所描述的 14 个质量性状似大部分属于假质量性状,火龙果茎植物学特性与其他果树存在较大差异,笔者在撰写此文过程中,暂未查阅到火龙果性状表达类型的文献,故在文章描述中,暂时统一归类于质量性状。

参考文献 References

- [1] 吴征镒. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1999. WU Z Y. Flora of China [M]. Beijing: Science Press, 1999 (in Chinese).
- [2] MIZRAHI Y, NERD A, NOBE P S I. Cacti as crops[J]. Horticultural reviews, 1997, 18: 291-391.
- [3] ANDERSON E, BARTHLOTT W, BROWN R. The cactus family[M]. Portland Oregon: Timber Press, 2001.
- [4] 田新民, 李洪立, 何云, 等. 火龙果研究现状[J]. 北方园艺, 2015 (18): 188-193. TIAN X M, LI H L, HE Y, et al. Research progress of pitaya [J]. Northern horticulture, 2015 (18): 188-193 (in Chinese with English abstract).
- [5] TELZUR N, ABBO S, BAR-ZVI D, et al. Clone identification and genetic relationship among vine cacti from the genera *Hyllocereus* and *Selenicereus* based on RAPD analysis[J]. Scientia horticulturae, 2003, 100(1): 279-289.
- [6] JUNQUEIRA K P, FALEIROF G, JUNVEIRA N T V, et al. Genetic diversity of native pitaya native from Brazilian savannas with basis on RAPD markers [J]. Revista brasileira de fruticultura, 2010, 32(3): 819-824.
- [7] PAN L M, FU J X, ZHANG R, et al. Genetic diversity among germplasm of pitaya based on SSR markers[J]. Scientia horticulturae, 2017, 225: 171-176.
- [8] 杨仕美, 乔光, 毛永亚, 等. 基于火龙果转录组测序的 SSR 标记开发及种质亲缘关系分析[J]. 分子植物育种, 2018, 16(24): 8096-8110. YANG S M, QIAO G, MAO Y Y, et al. SSR mark-

- ers development and genetic relationship analysis of germplasm based on transcriptomic sequencing of pitaya [J]. Molecular plant breeding, 2018, 16 (24) : 8096-8110 (in Chinese with English abstract).
- [9] 武志江, 黄凤株, 黄黎芳, 等. 基于 ISSR 标记的火龙果种质资源遗传多样性分析[J]. 热带作物学报, 2021, 42(1): 47-53. WU Z J, HUANG F Z, HUANG L F, et al. Genetic characterization of pitaya accessions based on ISSR analysis [J]. Chinese journal of tropical crops, 2021, 42(1): 47-53 (in Chinese with English abstract).
- [10] 李洪立, 胡文斌, 洪青梅, 等. 火龙果种质资源果实特性的遗传多样性分析[J]. 热带亚热带植物学报, 2019, 27(4): 432-438. LI H L, HU W B, HONG Q M, et al. Genetic diversity analysis of fruit traits of *Hylocereus undatus* germplasm resources [J]. Journal of tropical and subtropical botany, 2019, 27(4): 432-438 (in Chinese with English abstract).
- [11] 黄凤珠, 陆贵锋, 武志江, 等. 火龙果种质资源果实品质性状多样性分析[J]. 中国南方果树, 2019, 48(6): 46-52. HUANG F Z, LU G F, WU Z J, et al. Genetic diversity analysis of fruit traits of *Hylocereus undatus* germplasm resources [J]. South China fruits, 2019, 48(6): 46-52 (in Chinese).
- [12] 张斌斌, 蔡志翔, 沈志军, 等. 观赏桃种质资源表型性状多样性评价[J]. 中国农业科学, 2021, 54(11): 2406-2418. ZHANG B B, CAI Z X, SHEN Z J, et al. Diversity analysis of phenotypic of ornamental characters in germplasm resources of ornamental peaches [J]. Scientia agricultura sinica 2021, 54 (11) : 2406-2418 (in Chinese with English abstract).
- [13] 萧浪涛, 王三根. 植物生理学试验技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005. XIAO L T, WANG S G. Plant physiology test technology [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2005 (in Chinese).
- [14] 经建永, 颀刚刚, 欧阳丽婷, 等. 新疆野生欧洲李表型性状多样性分析[J]. 植物资源与环境学报, 2020, 29(2): 28-37. JING J Y, JIE G G, OUYANG L T, et al. Analysis of phenotypic traits diversity of wild *Prunus cerana* in Xinjiang [J]. Journal of plant resources and environment, 2020, 29(2): 28-37 (in Chinese with English abstract).
- [15] UPADHYAYA H D, REDDY K N, GOWDA C L L, et al. Phenotypic diversity in the pigeonpea (*Cajanus cajan*) core collection [J]. Genetic resources and crop evolution, 2007, 54 (6) : 1167-1184.
- [16] PETRUCCELLI R, GANINO T, CIACCHERI L, et al. Phenotypic diversity of traditional cherry accessions present in the Tuscan region [J]. Scientia horticulturae, 2013, 150(2): 334-347.
- [17] 孙珍珠, 李秋月, 王小柯, 等. 宽皮柑橘种质资源表型多样性分析及综合评价[J]. 中国农业科学, 2017, 50(22): 4362-4372. SUN Z Z, LI Q Y, WANG X K, et al. Comprehensive evaluation and phenotypic diversity analysis of germplasm resources in mandarin [J]. Scientia agricultura sinica, 2017, 50 (22) : 4362-4372 (in Chinese with English abstract).
- [18] 王力荣, 朱更瑞, 方伟超. 桃种质资源若干植物学数量性状描述指标探讨[J]. 中国农业科学, 2005, 38(4): 770-776. WANG L R, ZHU G R, FANG W C. The evaluating criteria of some botanical quantitative characters of peach genetic resources [J]. Scientia agricultura sinica, 2005, 38(4): 770-776 (in Chinese with English abstract).

Genetic diversity of phenotypic traits in germplasm resources of *Hylocereus*

MAO Yongya¹, LIU Ying¹, ZHOU Junliang¹, XIAO Tujian¹, CHEN Nan¹, MA Yuhua²

1. Institute of Fruit Tree Science, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guizhou Province, Guiyang 550006, China;

2. Science Research Management Department of Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang 550006, China

Abstract The genetic diversity of *Hylocereus* germplasm resources was analyzed and evaluated to provide a scientific basis for the innovative utilization of *Hylocereus* germplasm resources. 14 qualitative traits and 9 quantitative traits in 58 *Hylocereus* germplasm were observed and described. The phenotypic traits were evaluated by variation analysis, index of diversity, correlation analysis. The results showed that most of the traits in the 58 tested germplasm had the characteristics of high degree of variation and rich types. The diversity index (H') of qualitative traits was 0.234-1.809. The variation range of 9 quantitative traits was large, and the coefficient of variation was 11.25%-35.32%, among which the coefficient of variation of Vc content was the largest. The results of correlation analyses showed that most of the quantitative traits had significant or extremely significant correlations. It is indicated that there are real genetic differences among the 58 *Hylocereus* germplasm resources, and the genetic diversity is rich.

Keywords *Hylocereus*; germplasm resources; phenotypic traits; genetic diversity; germplasm innovation

(责任编辑: 张志钰)