

# 火龙果种质资源果实特性的遗传多样性分析

李洪立<sup>1</sup>, 胡文斌<sup>1</sup>, 洪青梅<sup>1</sup>, 濮文辉<sup>1</sup>, 何云<sup>1</sup>, 张东雪<sup>1</sup>, 汪琴琴<sup>1</sup>, 李琼<sup>2\*</sup>

(1. 中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所, 海南 儋州 571737; 2. 中国热带农业科学院分析测试中心, 海口 571101)

**摘要:** 为筛选火龙果(*Hylocereus undatus*)优良种质资源, 对 22 份种质资源果实的表型性状、农艺性状、品质性状进行遗传多样性分析。结果表明, 火龙果种质资源果实的表型性状、农艺性状和品质性状具有丰富的遗传多样性和较高的变异性, 表型性状的多样性指数( $H'$ )为 0~1.04, 品质性状为 0.40~2.01; 农艺性状的变异系数(CV)为 0.06~0.38, 品质性状为 0.01~0.62。聚类分析表明, 在遗传距离为 15 时, 火龙果 22 份种质资源可分为 5 类, 说明不同资源间亲缘关系较远。这为发掘火龙果的育种潜力, 筛选优异基因资源, 改良种质奠定了基础。

**关键词:** 火龙果; 种质资源; 表型性状; 遗传多样性

doi: 10.11926/jtsb.4007

## Genetic Diversity Analysis of Fruit Traits of *Hylocereus undatus* Germplasm Resources

LI Hong-li<sup>1</sup>, HU Wen-bin<sup>1</sup>, HONG Qing-mei<sup>1</sup>, PU Wen-hui<sup>1</sup>, HE Yun<sup>1</sup>, ZHANG Dong-xue<sup>1</sup>, WANG Qin-qin<sup>1</sup>, LI Qiong<sup>2\*</sup>

(1. Tropical Crops Genetic Resources Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Danzhou 571737, Hainan, China; 2. Analysis & Test Center, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou 571101, China)

**Abstract:** In order to screen excellent germplasm of *Hylocereus undatus*, the fruit genetic diversity analysis in phenotypic traits, agronomic traits and quality traits of 22 germplasms were studied. The results showed that the phenotypic, agronomic and quality traits of *H. undatus* fruit had abundant genetic diversity and high variability. The diversity indexes ( $H'$ ) of fruit phenotypic and quality traits were 0–1.04 and 0.40–2.01, respectively. The coefficient of variation (CV) of agronomic traits and quality traits were 0.01–0.62 and 0.06–0.38, respectively. Cluster analysis showed that 22 germplasms of *H. undatus* could be divided into 5 groups at genetic distance of 15, indicating that different germplasms were far related. These would lay a foundation for exploring the breeding potential of *H. undatus*, screening excellent genetic resources and improving germplasm.

**Key words:** *Hylocereus undatus*; Germplasm resources; Phenotypic trait; Genetic diversity

火龙果(*Hylocereus undatus*), 又称龙珠果、红龙果、玉龙果、仙蜜果, 为仙人掌科(Cactaceae)量天尺属植物, 原产中美洲哥斯达黎加、古巴、墨西哥等热带沙漠地区<sup>[1]</sup>, 是典型的热带植物<sup>[2–4]</sup>。目前

种植的火龙果主要有白肉火龙果(*H. undatus*)、红肉火龙果(*H. polyrhizus*)和紫红肉火龙果(*H. costaricensis*)<sup>[5–6]</sup>。火龙果是近年来发展起来的一种新兴的热带亚热带果树<sup>[7]</sup>, 果实营养丰富, 除含有糖类、有

收稿日期: 2018–10–24 接受日期: 2019–01–21

基金项目: 海南省重点研发计划项目(ZDYF2017058); 农业农村部南亚办物种资源保护项目(151821301354052712); 中国热带农业科学院基本科研业务费专项资金(18CXTD-01)资助

This work was supported by the Project for Key Research and Development in Hainan (Grant No. ZDYF2017058), the Project for Species Resources Conservation of South Asia Department of Agriculture and Rural Affairs Ministry (Grant No. 151821301354052712), and the Central Public-interest Scientific Institution Basal Research Fund for Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences (Grant No. 18CXTD-01).

作者简介: 李洪立, 研究方向为种质资源学。E-mail: lihongli29@163.com

\* 通信作者 Corresponding author: E-mail: liqiong4416@126.com

机酸、蛋白质、氨基酸和多种矿质元素外<sup>[8]</sup>, 还含有一般植物少有的甜菜素及水溶性膳食纤维等; 花、果、茎均可用来做药, 具有抗癌和预防高血压的功效<sup>[9]</sup>。

火龙果人工栽培遍及中美洲、越南、泰国、中国台湾及美国南部地区<sup>[10]</sup>。我国大陆于 20 世纪 90 年代末从台湾省和越南引入, 目前在广东、广西、福建、海南、云南、贵州等省区都有大规模种植, 在四川、湖南、浙江和上海等地采用大棚有少量种植<sup>[11]</sup>。但是在产业发展中, 2013 年以前种植的果园存在品种老化、无特色主栽品种, 科研水平滞后, 采后处理水平低等问题, 而近年新种植的果园, 采用的大红、金都一号等品种, 在产量、品质上得到了很大提高, 但仍存在品种单一、采期集中、货架期短等问题, 严重制约了火龙果产业的发展。

近年来, 在分子水平上对火龙果种质资源遗传多样性及其亲缘关系有一些研究报道<sup>[12-13]</sup>。尽管分子标记已经被广泛应用于植物种质资源的鉴定和分类研究, 但是农艺性状的鉴定和描述仍然是种质

资源研究的最基本的方法和途径<sup>[14-15]</sup>, 因此开展火龙果种质资源果实的表型性状、农艺性状以及品质性状的遗传多样性的基础研究是非常必要的。本试验以 22 份火龙果种质资源为材料, 以果实的表型、农艺和品质性状数据为依据, 分析火龙果种质资源果实特性的遗传多样性, 以期丰富火龙果种质资源的基础研究, 为火龙果种质资源的有效利用、种质改良和新品种选育提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

供试的 22 份火龙果(*Hylocereus undatus*)种质资源(表 1)保存于农业农村部火龙果种质资源保护海南创新基地, 位于海南省儋州市中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所国家热带果树品种改良中心五队试验基地内, 试验于 2016 年 6 月至 2017 年 12 月进行。

表 1 火龙果种质资源信息

Table 1 Information of *Hylocereus undatus* germplasm resources

编号 No.	种质 Germplasm	采集地 Collection	编号 No.	种质 Germplasm	采集地 Collection
1	火龙 3 号 Pitaya No. 3	海南琼海 Qionghai, Hainan	12	云南 2 号 Yunnan No. 2	云南景洪 Jinghong, Yunnan
2	云南 3 号 Yunnan No. 3	云南景洪 Jinghong, Yunnan	13	火龙 10 号 Pitaya No. 10	海南琼海 Qionghai, Hainan
3	火龙 1 号 Pitaya No. 1	海南琼海 Qionghai, Hainan	14	火龙 8 号 Pitaya No. 8	海南琼海 Qionghai, Hainan
4	云南 1 号 Yunnan No. 1	云南景洪 Jinghong, Yunnan	15	云南 7 号 Yunnan No. 7	云南景洪 Jinghong, Yunnan
5	白肉 8 号 White flesh No. 8	海南海口 Haikou, Hainan	16	云南 9 号 Yunnan No. 9	云南景洪 Jinghong, Yunnan
6	云南 12 号 Yunnan No. 12	云南景洪 Jinghong, Yunnan	17	云南 4 号 Yunnan No. 4	云南景洪 Jinghong, Yunnan
7	横县 2 号 Hengxian No.1	广西横县 Hengxian, Guangxi	18	云南 8 号 Yunnan No. 8	云南景洪 Jinghong, Yunnan
8	横县 1 号 Hengxian No.1	广西横县 Hengxian, Guangxi	19	光明红 Light red	广东广州 Guangzhou, Guangdong
9	云龙 1 号 Yunlong No.1	云南景洪 Jinghong, Yunnan	20	大翼水晶 Large wing crystal	广东广州 Guangzhou, Guangdong
10	火龙 6 号 Pitaya No. 6	海南琼海 Qionghai, Hainan	21	细翼水晶 Fine wing crystal	广东广州 Guangzhou, Guangdong
11	火龙 2 号 Pitaya No. 2	海南琼海 Qionghai, Hainan	22	紫龙 Purple dragon	海南琼海 Qionghai, Hainan

### 1.2 方法

**表型性状** 观察外果皮颜色、是否带刺、萼片形态、萼片形状、果型、果肉颜色。

**农艺性状** 采用电子天平称量单果质量和果皮质量, 计算可食率。采用甜度计测量果实中间和边缘部分的甜度, 计算平均甜度。

蛋白质含量参照国家标准 GB 5009.5-2016<sup>[16]</sup>、膳食纤维含量参照国家标准 GB 5009.88-2014<sup>[17]</sup>、水分含量参照国家标准 GB 5009.3-2016<sup>[18]</sup>、灰分含量参照国家标准 GB 5009.4-2016<sup>[19]</sup>、粗脂肪含量参照国家标准 GB/T 6433-2006<sup>[20]</sup>、总酸含量参

照国家标准 GB/T 12456-2008<sup>[21]</sup>、维生素 C 含量参照国家标准 GB 14754-2010<sup>[22]</sup>测量, 可溶性糖和碳水化合物含量参照国家标准 NY/T 2742-2015<sup>[23]</sup>测量, 计算糖酸比。用原子吸收光谱法<sup>[24]</sup>测定果肉中的矿物元素磷(P)、钠(Na)、钙(Ca)、铁(Fe)、锌(Zn)、镁(Mg)、铜(Cu)、硒(Se)含量。

### 1.3 数据统计和分析

试验进行 2 年, 第 1 年选取 3 批完全成熟的果实进行测定, 每批果随机选取 5 个; 第 2 年同样选取 3 批完全成熟的果实进行测定, 所有数据取平均

值, 采用 Microsoft Excel 2016 和 SPSS 24.0 软件进行分析。

为便于进行 Shannon's 信息指数分析, 将表型性状进行赋值(表 2), 品质性状根据平均值(X)和标准差( $\delta$ )分为 10 级, 1 级  $< X - 2\delta$ , 10 级  $\geq X + 2\delta$ ,

每级相差  $0.5\delta$ 。遗传多样性采用 Shannon-Wiener 指数 ( $H'$ )评价:  $H' = -\sum_{i=1}^n P_i \ln P_i$ , 式中  $P_i$  表示第  $i$  种变异类型出现的频率, 用相应性状  $H'$  的平均值表示 1 组或所有种质的遗传多样性程度<sup>[25]</sup>。

表 2 火龙果种质资源表型性状的赋值

Table 2 Assignment of phenotypic traits of *Hylocereus undatus* germplasm resources

性状 Trait	赋值 Assignment				
	1	2	3	4	5
外果皮颜色 Exocarp color	红色 Red	紫色 Purple	黄色 Yellow	青色 Cyan	褐色 Brown
刺 Thorny	有 Have	没有 No			
萼片 Sepal	直立 Vertical	内折 Infolding	外翻 Valgus		
萼片形状 Sepal shape	锐尖 Acute	渐尖 Acuminate	渐凹 Concave	钝状 Obtuse	
果形 Fruit shape	长圆形 Long circular	圆形 Circular	椭圆形 Oval		
果肉颜色 Flesh color	白色 White	淡红色 Pale red	红色 Red	红白双色 Red and white	紫红色 Purplish red

## 2 结果和分析

### 2.1 表型性状的遗传多样性分析

对 22 份火龙果种质资源的 6 个表型性状进行赋值(表 2), 统计各性状出现的频率并计算多样性指数, 由表 3 可知, 火龙果表型性状的多样性指数为

0~1.04。其中外果皮颜色和果皮是否带刺的多样性指数为 0, 这说明 22 份资源不涉及其他颜色的果皮和外果皮不带刺, 后续试验应扩大样本量。这 6 个表型性状中, 果形的多样性指数最高。萼片以直立和外翻为主; 萼片形状以渐尖为主, 少量为钝状; 果肉颜色以紫红色为主, 少量为白肉品种。

表 3 火龙果种质资源表型性状的频率分布和多样性指数

Table 3 Frequency and diversity index of phenotypic traits of *Hylocereus undatus*

性状 Trait	频率 Frequency					$H'$
	1	2	3	4	5	
外果皮颜色 Exocarp color	1	0	0	0	0	0.00
刺 Thorny	0	1				0.00
萼片 Sepal	0.454 5	0.091 0	0.454 5			0.93
萼片形状 Sepal shape	0	0.954 5	0	0.045 5		0.19
果形 Fruit shape	0.363 6	0.454 5	0.181 9			1.04
果肉颜色 Flesh color	0.181 8	0	0	0	0.818 2	0.47

### 2.2 农艺性状的变异性分析

由表 4 可知, 火龙果种质资源农艺性状的变异系数为 0.07~0.38, 一般认为变异系数大于 0.1 则表明样本间存在显著差异<sup>[26]</sup>, 即火龙果不同种质间的单果质量、果皮质量、可食率和边缘甜度存在显著性差异, 而中间甜度和平均甜度无显著差异。对火龙果农艺性状进行聚类分析, 由图 1 可知, 在遗传距离为 15 时, 22 份资源分为 5 类: 第一类有 6 份种质, 包含横县 2 号、火龙 2 号、火龙 10 号、云南 7 号、云南 9 号和云南 6 号, 单果质量较小, 甜度高, 可食率低; 第二类有云南 3 号和紫龙, 单果质量较小, 甜度低, 可食率低; 第三类有火龙 3 号、

云南 1 号、云南 12 号、云龙 1 号和火龙 8 号, 单果质量较大, 甜度高, 可食率高; 第四类有火龙 1 号、白肉 8 号、横县 1 号、火龙 6 号、云南 2 号、光明红、大翼水晶和细翼水晶共 8 份种质, 单果质量较大, 甜度低, 可食率高; 第五类仅云南 8 号种质, 单果质量中等, 甜度中等, 可食率中等。

### 2.3 品质性状的遗传多样性分析

由表 5 可知, 火龙果品质性状的变异系数为 0.01~0.62, 说明除水分之外, 其余品质性状在种质间均存在显著的变异性, 其中粗脂肪含量的变异系数最大, 达 0.62, 水分含量的最小, 为 0.01。品质

表 4 火龙果种质资源农艺性状的变异性

Table 4 Variation of agronomic traits of *Hylocereus undatus* germplasms

性状 Traits	平均 Mean	最大值 Maximum	最小值 Minimum	极差 Range	标准差 Standard deviation	变异系数 Variation coefficient (CV)
单果质量 Weight per fruit	290.32	552.00	70.00	482.00	111.01	0.38
果皮质量 Peel weight	84.77	132.00	30.00	102.00	23.43	0.28
可食率 Edible rate	67.65	80.60	24.10	56.50	12.46	0.18
中间甜度 Centre sweetness	17.72	20.50	14.90	5.60	1.13	0.06
边缘甜度 Edge sweetness	11.52	17.10	9.80	7.30	1.54	0.13
平均甜度 Mean sweetness	15.89	18.20	14.20	4.00	1.07	0.07

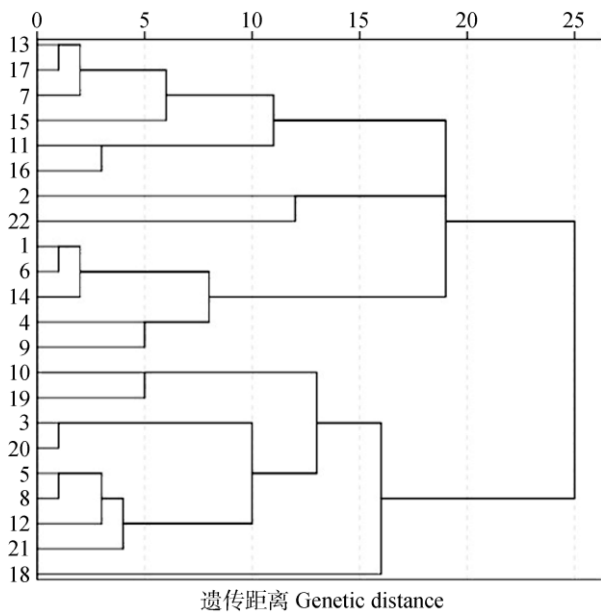


图 1 火龙果种质资源农艺性状的聚类图

Fig. 1 Cluster dendrogram of pitaya germplasms based on agronomic traits

性状的多样性指数( $H'$ )为 0.40~2.01, 最大的是磷含量和镁含量, 最小的是维生素 C 含量, 除维生素 C 含量之外, 其余品质性状的多样性指数均大于 1。

火龙果中含有人体所需的磷、钠、钙、铁、锌、镁、铜、硒等矿质元素, 其中磷、钙、镁元素的含量较高。22 份火龙果种质资源所含的营养物质和矿质营养元素含量存在一定的差异, 其中, 蛋白质含量最多的是云南 12 号, 远高于苹果(*Malus pumila*)、橙(*Citrus junos*)<sup>[27]</sup>等水果; 膳食纤维最多的是云南 7 号; 水分最多的是紫龙; 灰分最多的是大翼水晶; 粗脂肪最多的是横县 1 号; 总酸最多的是火龙 10 号; 维生素 C 最多的是横县 2 号、横县 1 号和云南 8 号; 可溶性糖最多的是云南 8 号; 磷最多的是紫龙; 钠最多的是云南 9 号; 钙最多的是云南 2 号; 铁最多的是云南 8 号; 锌最多的是云南 7 号; 镁最多的是云南 8 号; 铜最多的是火龙 1 号; 硒最多的是火龙 3 号, 但硒含量未达到富硒水平<sup>[28]</sup>; 碳水化合

表 5 火龙果种质资源品质性状的变异系数(CV)和多样性指数( $H'$ )

Table 5 Variation coefficient (CV) and diversity index ( $H'$ ) of quality traits of *Hylocereus undatus* germplasms

性状 Trait	平均 Average	最大值 Maximum	最小值 Minimum	极差 Range	标准差 Standard deviation	CV	$H'$
蛋白质 Protein /%	1.51	2.13	0.94	1.19	0.28	0.19	1.86
膳食纤维 Dietary fiber /%	17.06	25.72	6.27	19.45	4.45	0.26	1.86
水分 Moisture [ $g (100g)^{-1}$ ]	82.10	83.50	78.20	5.30	1.12	0.01	1.55
灰分 Ash /%	1.39	1.85	0.93	0.92	0.30	0.22	1.96
粗脂肪 Crude fat /%	0.22	0.51	0.02	0.49	0.14	0.62	1.77
总酸 Total acid ( $g kg^{-1}$ )	4.29	8.23	2.66	5.57	1.27	0.30	1.81
维生素 C Vitamin C [ $mg (100 g)^{-1}$ ]	2.28	4.95	1.86	3.09	1.09	0.48	0.40
可溶性糖 Soluble sugar /%	14.41	13.78	8.41	5.37	1.72	0.15	1.84
碳水化合物 Carbohydrate /%	11.64	15.67	9.41	6.26	1.47	0.13	1.89
糖酸比 Sugar acid ratio	28.66	44.82	15.08	29.74	9.17	0.32	1.74
磷 P ( $mg kg^{-1}$ )	397.85	462.40	302.30	160.10	40.93	0.10	2.01
钠 Na ( $mg kg^{-1}$ )	2.96	5.62	1.44	4.18	0.84	0.28	1.68
钙 Ca ( $mg kg^{-1}$ )	107.29	158.00	63.00	95.00	29.04	0.27	1.95
铁 Fe ( $mg kg^{-1}$ )	6.00	8.13	4.38	3.75	1.13	0.19	1.78
锌 Zn ( $mg kg^{-1}$ )	3.45	4.40	2.24	2.16	0.58	0.17	1.92
镁 Mg ( $mg kg^{-1}$ )	314.14	371.00	231.00	140.00	37.83	0.12	2.01
铜 Cu ( $mg kg^{-1}$ )	0.73	1.12	0.47	0.65	0.15	0.21	1.89
硒 Se ( $\mu g kg^{-1}$ )	4.60	6.90	3.70	3.30	0.70	0.15	1.68

合物最多的是云南 3 号;糖酸比最大的是云南 2 号。

### 3 结论和讨论

种质资源是植物育种的基本物质材料,是所有植物改良的基础,广泛收集并对其性状表现型进行观察分析,了解性状的多样性,可以为新品种的培育提供指导<sup>[29]</sup>。种质资源遗传多样性的分析研究不仅有助于种质资源的管理、评价和利用,更有利于进行核心种质的创新研究。本试验通过对 22 份火龙果种质资源的遗传多样性分析表明,6 个表型性状和 18 个品质性状均存在不同程度的遗传多样性,因而说明火龙果在其演变过程中有遗传基础的改变,火龙果性状遗传改良具有较大的潜力,这对于分析、评价种质资源、进行品种选育具有很大的实际意义。

本研究结果表明,火龙果种质资源的表型性状的多样性指数为 0~1.04,而品质性状的多样性指数为 0.40~2.01,说明品质性状的多样性指数大于表型性状,这与高红霞等<sup>[30]</sup>对苦瓜(*Momordica charantia*)的研究结果一致。火龙果种质资源的农艺性状的变异系数为 0.06~0.38,而品质性状的变异系数为 0.01~0.62,说明火龙果的品质性状具有更大的变异性,更丰富的多样性,其中较为优异的白肉品种为白肉 8 号,优异的紫红肉品种为云南 12 号。

聚类分析结果表明,在遗传距离为 15 时,火龙果种质资源可以分为 5 类,说明火龙果种质资源的遗传多样性丰富,不同资源间差异比较大,亲缘关系较远,在品种选育方面具有很高的利用价值。

农艺性状作为研究火龙果种质资源最基础的指标,对火龙果的分类、鉴定和良种选育具有重要的作用,而品质性状的高低决定了火龙果品质的好坏和市场的接受程度,本研究表明 22 份火龙果种质资源的果实具有丰富的多样性和较高的变异性,可以为育种工作者提供更多的选择。但仅仅对表型性状研究是远远不够的,下一步还需要结合分子生物学、化学成分分析等多个领域对火龙果种质资源进行综合研究和评价。

### 参考文献

- [1] NERD A, SITRIT Y, KAUSHIK R A, et al. High summer temperatures inhibit flowering in vine pitaya crops (*Hylocereus* spp.) [J]. *Sci Hort*, 2002, 96(1/2/3/4): 343-350. doi: 10.1016/S0304-4238(02)00093-6.
- [2] CAI Y Q, XIANG Q Y, CHEN J L, et al. Analysis of nutritional components in pitaya fruit [J]. *Nonwood For Res*, 2008, 26(4): 53-56. doi: 10.3969/j.issn.1003-8981.2008.04.012.  
蔡永强, 向青云, 陈家龙, 等. 火龙果的营养成分分析 [J]. *经济林研究*, 2008, 26(4): 53-56. doi: 10.3969/j.issn.1003-8981.2008.04.012.
- [3] LI W Y, PENG Z J, WANG B, et al. Content and composition of soluble sugar and organic acid in flesh of different pitaya varieties [J]. *Guizhou Agric Sci*, 2010, 38(11): 215-217. doi: 10.3969/j.issn.1001-3601.2010.11.067.  
李文云, 彭志军, 王彬, 等. 火龙果不同品种(品系)果肉糖、酸含量及组成分析 [J]. *贵州农业科学*, 2010, 38(11): 215-217. doi: 10.3969/j.issn.1001-3601.2010.11.067.
- [4] XUE W D, WANG A G. Preliminary report on introduction and cultivation of Taiwan pitaya [J]. *S Chin Fruits*, 2003, 32(2): 34-35. doi: 10.3969/j.issn.1007-1431.2003.02.025.  
薛卫东, 王阿桂. 台湾火龙果引种栽培初报 [J]. *中国南方果树*, 2003, 32(2): 34-35. doi: 10.3969/j.issn.1007-1431.2003.02.025.
- [5] MIZRAHI Y, NERD A, NOBEL P S. Cacti as crops [J]. *Hort Rev*, 1997, 18: 291-391.
- [6] YAN C R. Handbook of Agricultural Extension for New Fruit Tree Cultivation [M]. Pingdong: Agricultural Extension Committee of National Pingtung University of Science and Technology, 2002: 36.  
颜昌瑞. 新兴果树栽培农业推广手册 [M]. 屏东: 国立屏东科技大学农业推广委员会, 2002: 36.
- [7] DENG R J, FAN J X, CAI Y Q. Present research status and industrial development of pitaya at home and abroad [J]. *Guizhou Agric Sci*, 2011, 39(6): 188-192. doi: 10.3969/j.issn.1001-3601.2011.06.052.  
邓仁菊, 范建新, 蔡永强. 国内外火龙果研究进展及产业发展现状 [J]. *贵州农业科学*, 2011, 39(6): 188-192. doi: 10.3969/j.issn.1001-3601.2011.06.052.
- [8] WANG Z, WANG L J, CAI Y Q, et al. Research progress on nutrient components and functional substances of pitaya [J]. *S Chin Fruits*, 2014, 43(5): 25-29. doi: 10.13938/j.issn.1007-1431.2014.05.018.  
王壮, 王立娟, 蔡永强, 等. 火龙果营养成分及功能性物质研究进展 [J]. *中国南方果树*, 2014, 43(5): 25-29. doi: 10.13938/j.issn.1007-1431.2014.05.018.
- [9] TIAN X M, LI H L, HE Y, et al. Research progress of pitaya [J]. *N Hort*, 2015(18): 188-193. doi: 10.11937/bfy.201518051.  
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. doi: 10.11937/bfy.201518051.
- [10] ZHENG W, WANG B. Biological characteristics, health value and development prospect of pitaya [J]. *SW Hort*, 2004, 32(3): 47-48.  
郑伟, 王彬. 火龙果生物学特性、保健价值及其发展前景 [J]. *西南*

- 园艺, 2004, 32(3): 47–48.
- [11] HUANG F Z, LU G F, HUANG L F, et al. Collection and evaluation of pitaya germplasm resources [J]. *SW Chin J Agric Sci*, 2016, 29(4): 920–924. doi: 10.16213/j.cnki.scjas.2016.04.035.  
黄凤珠, 陆贵锋, 黄黎芳, 等. 火龙果种质资源收集保存与初步评价 [J]. *西南农业学报*, 2016, 29(4): 920–924. doi: 10.16213/j.cnki.scjas.2016.04.035.
- [12] WANG Q Q, HU W B, PU W H, et al. Analysis of SRAP genetic diversity of 32 pitaya germplasm [J/OL]. *Chin J Trop Crops*, 2018: 1–7 [2018–05–15]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1019.S.20180515.1124.002.html>.  
汪琴琴, 胡文斌, 濮文辉, 等. 32份火龙果种质资源的SRAP遗传多样性分析 [J/OL]. *热带作物学报*, 2018: 1–7 [2018–05–15]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1019.S.20180515.1124.002.html>.
- [13] JUNQUEIRA K P, FALEIRO F G, JUNQUEIRA N T V, et al. Genetic diversity of native pitaya native from Brazilian savannas with basis on RAPD markers [J]. *Rev Bras Frutic*, 2010, 32(3): 819–824. doi: 10.1590/S0100-29452010005000104.
- [14] ZHAN Y F, YANG H, TU X M, et al. Genetic diversity of hot pepper germplasm resources and its cluster analysis [J]. *Guizhou Agric Sci*, 2010, 38(11): 12–15. doi: 10.3969/j.issn.1001–3601.2010.11.004.  
詹永发, 杨红, 涂祥敏, 等. 辣椒品种资源的遗传多样性和聚类分析 [J]. *贵州农业科学*, 2010, 38(11): 12–15. doi: 10.3969/j.issn.1001–3601.2010.11.004.
- [15] FENG X J, WU Y Y, LIU Z W, et al. Comparative test of new varieties of north-transport type cowpea [J]. *Guangdong Agric Sci*, 2011, 38(21): 56,62. doi: 10.3969/j.issn.1004–874X.2011.21.018.  
冯学杰, 吴月燕, 刘振文, 等. 北运型豇豆新品种比较试验 [J]. *广东农业科学*, 2011, 38(21): 56,62. doi: 10.3969/j.issn.1004–874X.2011.21.018.
- [16] National Health and Family Planning Commission of PRC, China Food and Drug Administration. GB 5009.5–2016 National food safety standard: Determination of proteins in foods [S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.  
中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.5–2016 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [17] National Health and Family Planning Commission of PRC. GB 5009.88–2014 National food safety standards: Determination of dietary fiber in foods [S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.  
中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.88–2014 食品安全国家标准 食品中膳食纤维的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [18] National Health and Family Planning Commission of PRC. GB 5009.3–2016 National food safety standard: Determination of moisture in foods [S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.  
中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.3–2016 食品安全国家标准 食品中水分的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [19] National Health and Family Planning Commission of PRC. GB 5009.4–2016 National food safety standards for the determination of ash in foods [S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.  
中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.4–2016 食品安全国家标准 食品中灰分的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [20] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 6433–2006 Determination of crude fat in feeds [S]. Beijing: Standards Press of China, 2006.  
中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 6433–2006 饲料中粗脂肪的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [21] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 12456–2008 Determination of total acid in foods [S]. Beijing: Standards Press of China, 2009.  
中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 12456–2008 食品中总酸的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [22] National Health Commission of the People's Republic of China. GB 14754–2010 National food safety standard: Food additive, Vitamin C (Ascorbic Acid) [S]. Beijing: Standards Press of China, 2011.  
中华人民共和国卫生部. GB 14754–2010 食品安全国家标准 食品添加剂 维生素C (抗坏血酸) [S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
- [23] The Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. NY/T 2742–2015 Determination of soluble sugar in fruits and derived products-3,5-dinitrosalicylic acid colorimetry [S]. Beijing: China Agriculture Press, 2015.  
中华人民共和国农业部. NY/T 2742–2015 水果及制品可溶性糖的测定 3,5-二硝基水杨酸比色法 [S]. 北京: 中国农业出版社, 2015.
- [24] National Health Commission of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 5009.38–2003 Method for analysis of hygienic standard of vegetables and fruits [S]. Beijing: Standards Press of China, 2004.

- 中华人民共和国卫生部, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 5009.38-2003 蔬菜、水果卫生标准的分析方法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
- [25] HU J B, MA S W, LI J W, et al. Genetic diversity of foreign melon (*Cucumis melo*) germplasm resources by morphological characters [J]. *Chin Bull Bot*, 2013, 48(1): 42-51. doi: 10.3724/SP.J.1259.2013.00042.  
胡建斌, 马双武, 李建吾, 等. 国外甜瓜种质资源形态性状遗传多样性分析 [J]. *植物学报*, 2013, 48(1): 42-51. doi: 10.3724/SP.J.1259.2013.00042.
- [26] TONG Y Q, LIU X N. Establishment of several quantitative characters in selective breeding of *Prunus sibirica* Linn. in northwest drought region [J]. *N Hort*, 2009(2): 29-31.  
全玉琴, 刘小宁. 西北干旱地区西伯利亚杏选育若干数量性状的确定 [J]. *北方园艺*, 2009(2): 29-31.
- [27] Institute of Nutrition and Food Safety, Chinese Center for Disease Control and Prevention. China Food Composition 2002 [M]. Beijing: Peking University Medical Press, 2002.  
中国疾病预防控制中心营养与食品安全所. 中国食物成分表 2002 [M]. 北京: 北京医科大学出版社, 2002.
- [28] WANG D, DAI G Z, YANG J, et al. A comparative study on standards of selenium content in selenium-enriched products [J]. *Hubei Agric Sci*, 2018, 57(15): 11-15. doi: 10.14088/j.cnki.issn0439-8114.2018.15.002.  
汪丹, 戴光忠, 杨军, 等. 富硒产品硒含量标准对比研究 [J]. *湖北农业科学*, 2018, 57(15): 11-15. doi: 10.14088/j.cnki.issn0439-8114.2018.15.002.
- [29] XU R, ZHANG Y N, LIN Z X, et al. Analysis in agronomic characters of ornamental pepper germplasm resources [J]. *Acta Agric Zhejiang*, 2018, 30(11): 1886-1892. doi: 10.3969/j.issn.1004-1524.2018.11.11.  
徐睿, 张雅楠, 林子翔, 等. 观赏辣椒种质资源农艺性状遗传多样性关联分析 [J]. *浙江农业学报*, 2018, 30(11): 1886-1892. doi: 10.3969/j.issn.1004-1524.2018.11.11.
- [30] GAO H X, SUN J L, ZHANG F Y, et al. Identification and evaluation of twenty-four characteristics of *Momordica charantia* L. [J]. *N Hort*, 2018(15): 13-17. doi: 10.11937/bfyy.20180449.  
高红霞, 孙江乐, 张凤银, 等. 苦瓜品种资源二十四个性状的鉴定评价 [J]. *北方园艺*, 2018(15): 13-17. doi: 10.11937/bfyy.20180449.