

## 20个海棠品种表型性状分析

赵丹丹<sup>1</sup>,张艳文<sup>1</sup>,胡毅飞<sup>2</sup>,吴晓军<sup>2</sup>,刘伟超<sup>1</sup>,张开明<sup>1</sup>,李菲<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>河南农业大学风景园林与艺术学院,郑州 450002;<sup>2</sup>西平县林业发展服务中心,河南西平 463900)

**摘要:**【目的】深入挖掘不同海棠品种果实的应用价值,实现对海棠资源的优质利用。【方法】以郑州地区栽培的20个海棠品种为试验材料,观测不同品种成熟期果实的果色,测定果实单果质量、果实横径、果实纵径、可溶性固形物含量、可滴定酸含量、维生素C含量、果肉硬度等15个品质指标,利用聚类分析、主成分分析等方法对不同品种的果实进行综合分析评价。【结果】紫色完美是最早进入果实成熟期的品种,8月底即进入果实成熟期。丰盛进入果实脱落期最晚,挂果期最长,可达232 d。亚当、红珠宝、印第安魔力、印第安夏天、金色童话、高峰、皇家美人的果实可以宿存到第2年。海棠品种果实的表型差异较大,变异系数范围为8.05%~89.74%,其中变异系数最大的性状为单果质量,变异系数最小的为果形指数。主成分分析结果表明,影响海棠果实综合品质的主要因素与果实的大小、体积等外观品质及固酸比、维生素C含量等营养品质相关。【结论】在20个海棠品种中,高峰、皇家美人、印第安夏天、印第安魔力、红珠宝果实的挂果期长,适宜作为观果品种在园林中应用;丰盛、鲁道夫具有固酸比、维生素C含量较高的特点,适宜向果实加工方向发展。

**关键词:**海棠;果实性状;主成分分析

中图分类号:S661.4

文献标志码:A

文章编号:1009-9980(2025)03-0555-13

### Analysis of the phenotypic traits of 20 crabapple varieties (*Malus* spp.)

ZHAO Dandan<sup>1</sup>, ZHANG Yanwen<sup>1</sup>, HU Yifei<sup>2</sup>, WU Xiaojun<sup>2</sup>, LIU Weichao<sup>1</sup>, ZHANG Kaiming<sup>1</sup>, LI Fei<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>College of Landscape Architecture and Art, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, Henan, China; <sup>2</sup>Xiping County Forestry Development Service Center, Xiping 463900, Henan, China)

**Abstract:** 【Objective】 The aim of the present experiment was to explore the fruit application value of different crabapple varieties and make full use of crabapple resources. 【Methods】 With 20 crabapple varieties in Zhengzhou as experimental materials, the fruit color of different varieties at the fruit ripening stage was observed, and single fruit mass, fruit transverse diameter, fruit longitudinal diameter, volume, soluble solid substances, titrated acid, vitamin C, peel hardness, flesh hardness and 15 other quality indicators were determined. Comprehensive analysis and evaluation of fruits of different varieties were conducted via cluster analysis and principal component analysis. 【Results】 Perfect Purple crabapple entered the fruit ripening stage at the end of August, which was the earliest to enter the fruit ripening stage. Profusion entered the final stage of fruit shedding at the latest stage, and its fruit hanging period was the longest, reaching 232 days. Adams, Jewelcole, Indian Magic, Indian Summer, Golden Fairy, Evereste and Royal Beauty fruits could hang on the tree until the following year. The fruit color upon maturity is mostly red to varying degrees. The mass of 20 crabapple varieties was 0.47–7.86 g, the volume ranged from 0.42 to 6.67 mL, the fruit transverse diameter ranged from 9.46 to 24.91 mm, the fruit longitudinal diameter ranged from 8.36 to 22.04 mm, the fruit shape index ranged from 0.78 to 1.05, the length of the fruit stem ranged from 24.74 to 41.79 mm, the thickness of the fruit stem ranged from 0.53

收稿日期:2024-10-08

接受日期:2024-12-15

基金项目:河南农业大学和西平县政府校地合作项目:海棠资源调查研究(N0.30801928);河南省级财政林草种质资源建设项目:河南观赏海棠异地保护(编号:30603268)

作者简介:赵丹丹,女,在读硕士研究生,主要从事风景园林植物资源与应用。E-mail:1907142890@qq.com

\*通信作者 Author for correspondence. E-mail:lifei92@henau.edu.cn

to 2.98 mm, the hardness of the peel ranged from 656.24 to 2 460.05 g, the fragility of the peel ranged from 7.98–22.64 mm, the hardness of the flesh ranged from 331.60–2 390.27 g, the fragility of the flesh ranged from 175.99 to 2143.17 mm, the soluble solids content ranged from 11.90% to 22.43%, the titratable acid content ranged from 0.82% to 2.80%, the solid/acid ratio ranged from 0.32 to 16.00%, the vitamin C contents ranged from 0.00 to 322.33 mg · g<sup>-1</sup>. The fruit phenotypes of the different crabapple varieties varied significantly, with coefficients of variation ranging from 8.05% to 89.74%. Among them, the single fruit mass had the largest coefficient of variation, whereas the fruit shape index had the smallest coefficient. The cluster analysis revealed that at the European distance of 15, crabapple fruit can be divided into four categories. The correlation analysis revealed that the longitudinal diameter of the fruit was significantly and positively correlated with the fruit transverse diameter; the fruit volume was significantly and positively correlated with the fruit transverse diameter and fruit longitudinal diameter; the single fruit mass was significantly and positively correlated with the fruit transverse meridian, fruit longitudinal diameter and fruit volume; the titratable acid content was negatively correlated with the transverse diameter; the solid/acid ratio was significantly and negatively correlated with the titratable acid content; the fruit peel fragility was significantly and positively correlated with the fruit transverse meridian, fruit longitudinal diameter, fruit volume, and single fruit mass and negatively correlated with the titratable acid content; the flesh hardness was significantly and positively correlated with the peel hardness and significantly and negatively correlated with the fruit transverse diameter, fruit longitudinal diameter, fruit volume, single fruit mass and fragility of the fruit peel; and the flesh fragility was significantly and positively correlated with the flesh hardness. The five principal components were extracted from the 15 quality indices of 20 different varieties, and the cumulative variance contributed 84.298%. The characteristic value of PC1 was 6.226, and the contribution rate was 41.505%. The indicators with large absolute values of the eigenvector were the fruit transverse diameter, fruit longitudinal diameter, fruit volume and single fruit mass. PC1 mainly reflects the size, volume and mass of crabapple fruit. The characteristic value of PC2 was 2.334, and the contribution rate was 15.558%. The indicators with large absolute values of the eigenvectors were the solid/acid ratio, vitamin C content and titratable acid content. PC2 mainly reflects the nutritional value and flavor of crabapple fruit. The characteristic value of PC3 was 1.699, and the contribution rate was 11.328%. The indices with large absolute values of the eigenvector were hardness and flesh fragility. PC3 mainly reflects the taste and texture of the crabapple fruit. The characteristic value of PC4 was 1.357, and the contribution rate was 9.049%. The index with large absolute values of the feature vector was the length of the stem and the thickness of the stem. The characteristic value of PC5 was 1.029, the contribution rate was 6.857%, and the index with a large absolute value of the eigenvector was the fruit shape index. Principal component analysis revealed that the main factors affecting fruit quality were fruit size, the solid acid ratio and vitamin C content. 【Conclusion】 Among the 20 crabapple varieties, Evereste, Royal Beauty, Indian Summer, Indian Magic, Jewelcole, Adams and Golden Fairy have a long fruit hanging period and can be used as fruit-ornamental varieties. Eleyi, Selkirk, Evereste and other varieties possess the characteristics of large fruits and low peel hardness and can be developed in the direction of fresh fruit consumption. Profusion and Rudolph have a reasonable solid/acid ratio and high vitamin content, which are suitable for development toward edible fruit processing.

**Key words:** Crabapple (*Malus* spp.); Fruit traits; Principal component analysis

海棠(*Malus spectabilis*)起源于中国,是蔷薇科(Rosaceae)苹果属植物,是具有较高观赏价值的多年生落叶灌木或小乔木。作为景观大道的观赏树种,海棠的花、叶、果实、枝干和树形均极具观赏价值。相比开花性状的引人注目,海棠其他的特征如果实的价值易被忽视<sup>[1]</sup>。一些海棠品种的果实宿存到翌年,能使观果期持续数月、实现周年观赏。海棠果实具有丰富的糖类、维生素和有机酸,营养价值高,可以食用。盖瑞等<sup>[2]</sup>通过研究发现,海棠果实的可溶性糖、可滴定酸、维生素C等功能性成分含量均显著高于苹果。目前,对海棠的研究不仅集中于花朵和叶片,也涉及果实的营养成分、产品研发和加工、种质资源利用等方面<sup>[3-4]</sup>。王鑫磊<sup>[5]</sup>以灰树花和海棠果为主要材料,利用乳酸菌发酵研制出一种口味好、抗氧化性强的发酵饮料。段永芳<sup>[6]</sup>发现将海棠果果汁应用于酸奶制品中,可以获得高质量的、对人体有益的优质酸奶制品。穆茜等<sup>[7]</sup>对扬州地区5个海棠品种果实的品质进行分析及评价,结果表明,5个品种的单果质量呈显著差异;红哨兵、冬红的果

实更适宜于鲜食或深加工;金丰收、红珠宝和冬金在园林中的应用价值较高。因此,系统地分析和评价海棠果实的品质,深入挖掘不同海棠品种的园林应用及经济价值,有助于为海棠果实的开发应用提供依据。

笔者以郑州地区的20个海棠品种为材料,通过观测并记录果实的坐果期、成熟期、脱落期,测定不同品种海棠的果实横径、果实纵径、单果质量、可溶性固形物含量、可滴定酸含量、维生素C含量、果肉硬度等15个品质指标,并利用相关性分析、聚类分析、主成分分析等方法对海棠的果实性状进行评价,旨在为培育优质的海棠新品种提供基础和依据,为海棠在郑州地区园林中的应用与栽培提供重要的理论指导。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

试验于2023年在河南农业大学进行,供试海棠品种20个(表1),每个品种各5株,树龄6 a(年),栽

表1 20个不同海棠品种名称及编号

Table 1 Names and numbers of 20 crabapple (*Malus* spp.) varieties

编号 Number	品种名称 Variety name	编号 Number	品种名称 Variety name
1	丰盛 Profusion	11	印第安魔力 Indian Magic
2	艾丽 Eleyi	12	印第安夏天 Indian Summer
3	紫色完美 Perfect Purple	13	金色童话 Golden Fairy
4	钻石 Sparkler	14	高峰 Evereste
5	高原之火 Prairifire	15	鲁道夫 Rudolph
6	亚当 Adams	16	主教 Cardinal
7	当娜 Donald Wyman	17	皇家美人 Royal Beauty
8	塞尔科 Selkirk	18	多花 Floribunda
9	红珠宝 Jewelcole	19	时光秀 Show Time
10	皇家雨点 Royal Raindrop	20	薄荷糖 Candymint

培环境相同。

### 1.2 试验方法

1.2.1 果实物候期观测 以方位一致、生长状况良好的海棠植株为对象,每2 d于上午10:00—12:00观测1次,根据观测的结果记录汇成20个海棠品种的果实物候期观测表<sup>[8]</sup>。物候期记录标准:开始长出果实为坐果期;果实表现成熟的外观特征为果实成熟期;超过90%的果实脱落为果实脱落期;果实从长出到落果的天数为挂果期<sup>[9]</sup>。

1.2.2 指标测定 每个海棠品种选择30个大小一

致、没有病虫害的成熟果实。使用英国皇家园艺协会RHS植物比色卡(RHS Large Colour Chart)比对成熟期果实的颜色;使用便携式分光色差仪(NF 555, Nippon Denshoku, Tokyo, Japan)测定果实的色彩参数,包括亮度 $L^*$ 、红绿度 $a^*$ 、黄蓝度 $b^*$ 和色泽饱和度 $C^{*10}$ ;用目视法观测果实的外观性状,如蜡质、果粉量、果面光滑度、有无宿存。使用分析天平(0.001 g)一次测定10个果实的质量,并3次重复,求平均值,计算出单个果实的质量(g);使用排水法测定果实体积(mL);用数显游标卡尺(0.01 mm)测量

果实横径(mm)、果实纵径(mm),果梗长度(mm)、果梗粗度(mm),根据果实纵径和横径计算果形指数(果实纵径与横径的比值),并把果形指数划分为4个类别,0.6~0.8为扁圆形,<0.8~0.9为圆形或近圆形,<0.9~1.0为椭圆形或圆锥形,大于1.0为长圆形<sup>[11]</sup>;使用物性质构仪(TA-XT Plus, Stable Micro Systems, Britain)测定果实硬度;采用手持式光折射式糖度计测定可溶性固形物含量;采用酸碱滴定法测定可滴定酸含量<sup>[12]</sup>,计算固酸比(可溶性固形物含量与可滴定酸含量的比值);采用滴定法测定维生素C(抗坏血酸)含量<sup>[13]</sup>。

### 1.3 数据处理

利用Microsoft Office Excel 2021对原始数据进行汇总、整理和初步分析,利用SPSS 27.0进行聚类分析、相关性分析、主成分分析等。

## 2 结果与分析

### 2.1 果实物候期观测

不同品种的海棠果实成熟期分布在8—10月。紫色完美的果实在8月底成熟,是成熟最早的品种;红珠宝、印第安魔力、金色童话的果实在10月下旬成熟,是成熟最晚的品种。不同品种的果实脱落期分布在9—12月,存在一定的差异。塞尔科果实脱落期在9月下旬,是最早进入脱落期的品种,挂果期只有174 d;丰盛果实在12月上旬脱落,是最晚进入脱落期的品种,挂果期长达232 d。亚当、红珠宝、印第安魔力、印第安夏天、金色童话、高峰、皇家美人的果实可以宿存到翌年,这7个品种的果实可以在冬季用于观赏,是良好的秋冬季树种资源,适宜在园林中搭配其他植物种植(表2)。

表2 2023年海棠果实物候期观测

Table 2 Observation of the phenological period of crabapple fruit in 2023

编号 Number	品种名称 Variety name	坐果期 Fruit setting period	果实成熟期 Fruit ripeness period	果实脱落期 Fruit shedding period	落叶末期 Leaf fall period	挂果时间 Bearing period/d
1	丰盛 Profusion	04-04	10-05	12-06	12-10	232
2	艾丽 Eleyi	04-08	09-04	10-05	12-11	180
3	紫色完美 Perfect Purple	04-01	08-27	11-02	12-04	215
4	钻石 Sparkler	04-10	09-13	10-05	12-10	178
5	高原之火 Prairifire	04-09	09-27	11-17	11-28	222
6	亚当 Adams	04-10	10-05	-	11-26	-
7	当娜 Donald Wyman	04-10	10-12	11-22	11-23	226
8	塞尔科 Selkirk	04-01	09-06	09-22	12-09	174
9	红珠宝 Jewelcole	04-05	10-20	-	12-09	-
10	皇家雨点 Royal Raindrop	04-09	09-15	11-15	11-23	220
11	印第安魔力 Indian Magic	04-06	10-21	-	11-20	-
12	印第安夏天 Indian Summer	04-06	10-05	-	11-04	-
13	金色童话 Golden Fairy	04-20	10-21	-	11-29	-
14	高峰 Evereste	04-08	10-12	-	12-11	-
15	鲁道夫 Rudolph	04-08	10-05	10-17	11-20	192
16	主教 Cardinal	04-10	09-27	10-27	12-14	200
17	皇家美人 Royal Beauty	04-04	10-05	-	12-06	-
18	多花 Floribunda	04-08	10-05	10-20	11-26	195
19	时光秀 Show Time	04-10	09-13	11-26	12-09	230
20	薄荷糖 Candymint	04-08	10-05	10-30	11-23	205

注:日期格式(月-日);“-”表示果实未脱落。

Note: Date format (month-day); “-” means that the fruit is not shed.

### 2.2 果实外观观察

不同海棠品种成熟的果实在外观上存在的区别主要包括蜡质、果粉、果面光滑度<sup>[14]</sup>。紫色完美、当娜、红珠宝、印第安魔力、印第安夏天、时光秀等6个品种果实的外表含有蜡质;艾丽、紫色完美、高原之火、

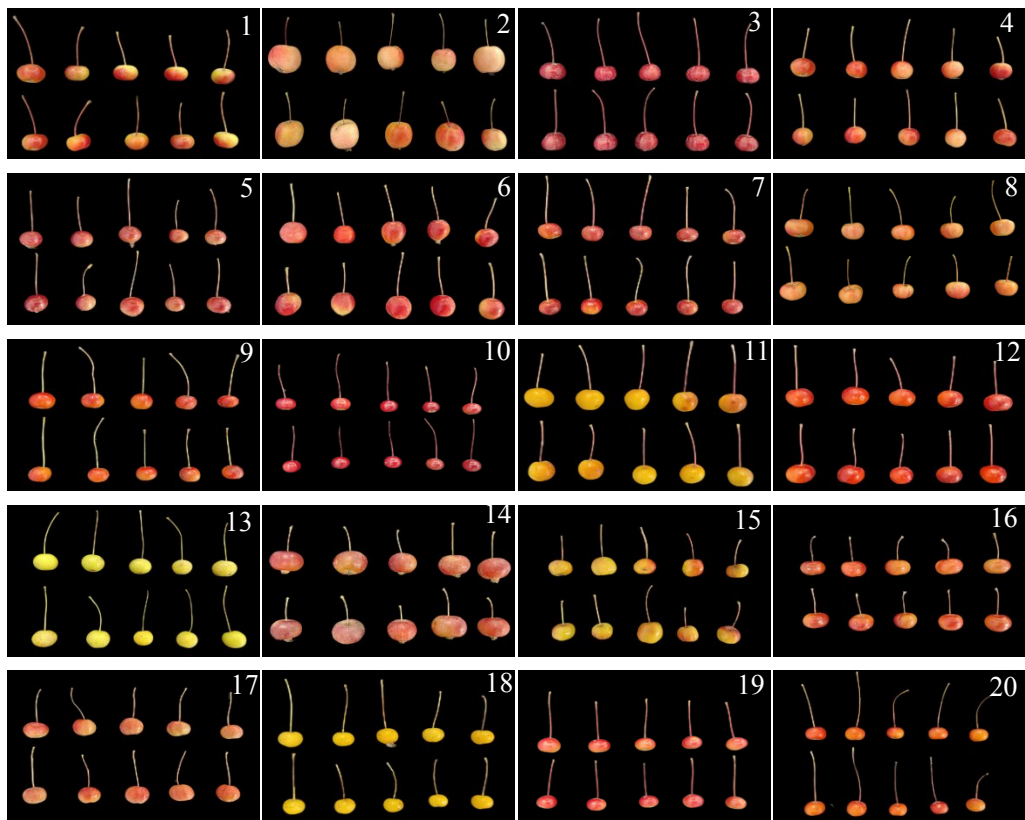
亚当、主教、皇家美人等6个品种果实的外表附着果粉。果面光滑度分为3个等级:光滑、较光滑、粗糙<sup>[15]</sup>。丰盛、塞尔科、金色童话、高峰、鲁道夫等6个品种的果面粗糙,艾丽、钻石、高原之火、主教、多花等5个品种果面较光滑,其余供试品种的果实果面光滑。

果实色泽是衡量果实感官品质的重要指标<sup>[6]</sup>。利用RHSCC比色卡比对果实果色,利用色差仪测定果实色彩参数、对果实颜色进行数字化定量描述。通过RHSCC比色卡比对,20个海棠品种中,大多数品种成熟期的果实为红色(图1)。20种海棠果实色度差值明显(图2),其中 $L^*$ 值范围为27.53~55.13,最小的是紫色完美,表明其果实亮度最低,最大的是多花,表明其果实亮度最高。 $a^*$ 值范围在-2.18~27.20,最小的是金色童话,表明该品种果实偏绿色、红色最浅,值最大的是亚当,表明该品种果实红色最深; $b^*$ 值分布范围为5.79~39.19,数值越大说明黄色程度越深<sup>[17]</sup>,最小的是紫色完美,表明该品种黄色程度最低,最大的是多花,表明该品种黄色程度最高; $C^*$ 值代表色泽饱和度,分布范围在20.07~40.16,最大的是多花,表明该品种果实颜色最饱和。

### 2.3 品种间果实品质指标差异

海棠果实品质指标的比较结果见表3。20个品种的果实横径、纵径分别为9.46~24.91 mm、8.36~22.04 mm,艾丽果实的横径和纵径均最大,皇家雨

点果实的横径和纵径均最小。果形指数的分布范围为0.78~1.05,其中扁圆形果实的品种包括丰盛、塞尔科。不同品种果梗长度和粗度存在差异,分布范围分别为24.74~41.79 mm、0.53~2.98 mm,其中果梗长度最长的是紫色完美,薄荷糖的果梗粗度明显大于其他品种,高达2.98 mm。海棠的果实比较小,在20个不同品种中,平均体积为2.26 mL,分布范围为0.42~6.67 mL;平均单果质量为2.15 g,分布范围为0.47~7.86 g,艾丽的体积和单果质量均最大,明显高于其他品种。可溶性固形物含量是衡量果实品质的一个主要指标,其含量高低直接关系到营养价值。本研究中海棠果实可溶性固形物含量( $w$ ,后同)分布范围为11.90%~22.43%,其中,皇家雨点、紫色完美、多花的可溶性固形物含量高于其他品种。可滴定酸含量分布范围为0.82%~2.80%,皇家雨点、高原之火、薄荷糖的可滴定酸含量高于其他品种。固酸比的范围为5.32~16.00,其中塞尔科的固酸比最高,高原之火、红珠宝、薄荷糖的固酸比较低。维生素C含量范围为0.00~322.33  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ,其中高原之火、塞

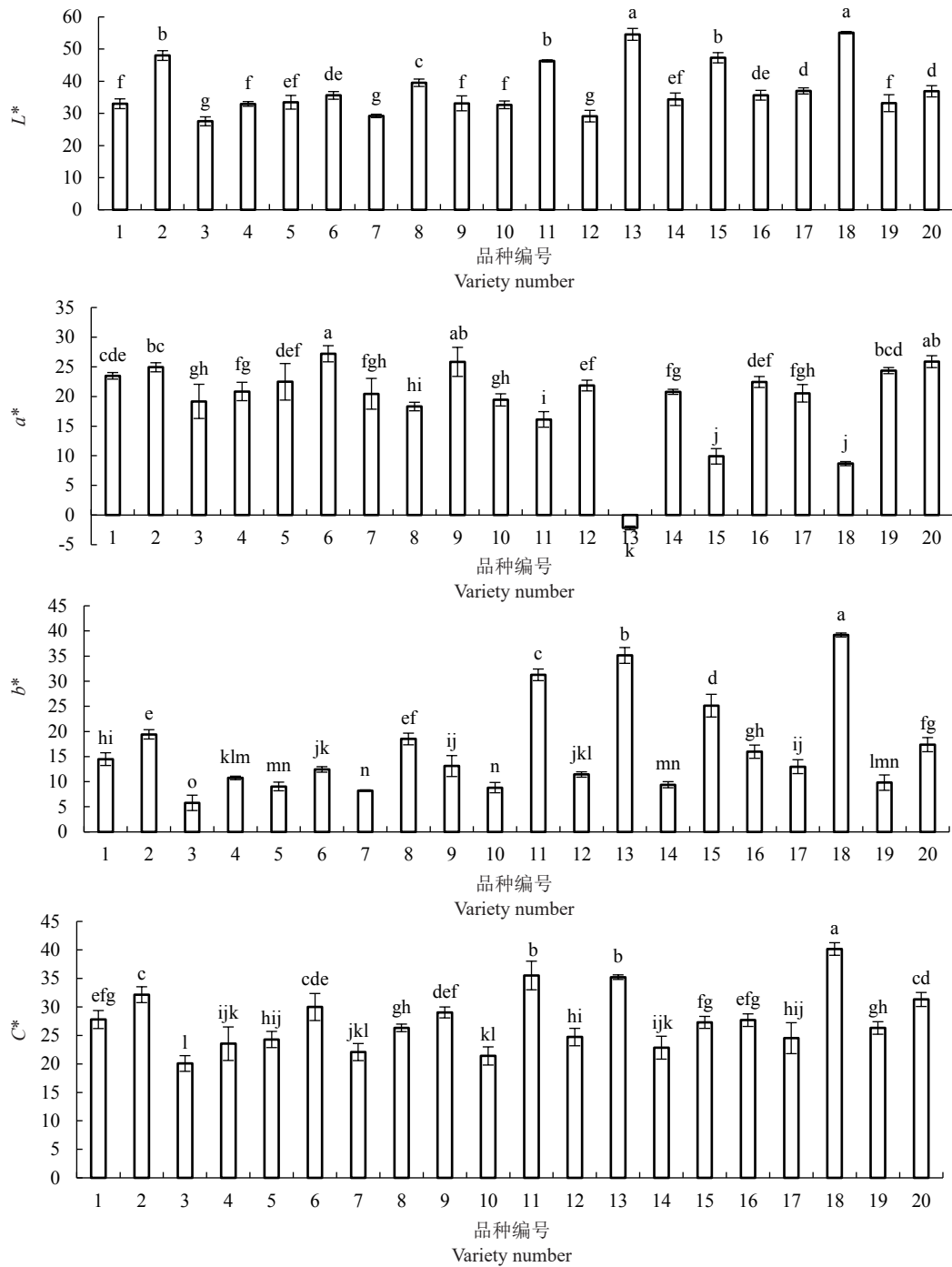


品种名称编号见表1。

The variety name number is shown Table 1.

图1 海棠果实成熟期果色

Fig. 1 Fruit color of crabapple fruit at ripening stage



不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。

Different small letters indicate significant difference at 0.05 level.

图 2 海棠果实成熟期果实色彩参数

Fig. 2 Color parameter of fruit color of crabapple fruit at ripening stage

尔科、薄荷糖的维生素C含量均较低,而高峰的维生素C含量高达322.33 mg·g<sup>-1</sup>。在果皮硬度中,塞尔科、多花、薄荷糖、主教、鲁道夫、艾丽的果皮硬度均小于1000 g。在果肉硬度中,艾丽、鲁道夫、主教的果肉硬度低于500 g,分别为331.60 g、361.28 g、441.66 g。多数海棠品种的果皮脆性大于10 mm,只有皇家雨

点、多花的果皮脆性小于10 mm,分别为8.76 mm、7.98 mm。20个品种的果肉脆性值范围为175.99~2143.17 mm,其中鲁道夫、主教、多花的果肉脆性低于其他品种,分别为175.99 mm、430.69 mm、607.61 mm。

#### 2.4 果实品质指标相关性分析

对海棠果实的15个品质指标进行相关性分析,

表3 海棠果实品质指标

Table 3 Quality index of crabapple fruit

品种名称 Variety name	果实横径 Fruit transverse diameter/mm	果实纵径 Fruit longitudinal diameter/mm	果形指数 Fruit shape index	果梗长度 Stem length/mm	果梗粗度 Stem thickness/mm	果实体积 Fruit volume/mL	单果质量 Single fruit mass/g	w(可溶性固形物) Soluble solids content/%	w(可滴定酸) Titratable acid content/%	固酸比 Solid-acid ratio	w(维生素C) Vitamin C content/(mg·g <sup>-1</sup> )	果皮硬度 Peel hardness/g	果皮脆性 Peel fragility/mm	果肉硬度 Flesh hardness/g	果肉脆性 Flesh fragility/mm
丰盛 Profusion	15.01±0.06	11.86±0.06	0.79±0.00	33.52±0.38	0.87±0.01	1.50±0.00	1.70±0.13	11.90±0.00	0.82±0.01	14.58±0.20	128.93±32.23	1 242.92±26.66	13.44±0.21	1 007.17±13.00	905.52±41.28
艾丽 Eleyi	24.91±0.15	22.04±0.04	0.89±0.00	31.20±1.10	0.89±0.01	6.67±0.67	7.86±0.34	12.80±0.00	1.68±0.01	7.64±0.05	0.00±0.00	656.24±24.35	22.02±1.62	331.60±33.49	871.15±126.84
紫色完美 Perfect Purple	14.42±0.09	13.52±0.13	0.94±0.01	41.79±0.60	0.87±0.01	1.92±0.08	1.73±0.12	21.73±0.07	2.12±0.01	10.24±0.08	193.40±0.00	1 088.79±143.84	13.79±0.23	912.09±123.47	1 056.32±71.98
钻石 Sparkler	13.77±0.13	13.05±0.14	0.95±0.01	29.23±0.50	0.88±0.01	1.75±0.14	1.43±0.10	16.63±0.07	1.79±0.01	9.30±0.02	96.70±0.00	1 129.54±92.85	11.62±0.88	1 000.98±19.08	1 380.89±138.15
高原之火 Prairifire	12.06±0.12	11.23±0.10	0.93±0.00	29.34±0.64	0.64±0.00	1.25±0.00	0.98±0.02	14.30±0.00	2.69±0.06	5.32±0.12	64.47±32.23	1 134.95±132.42	11.48±0.25	1 166.37±27.57	1 250.56±73.59
亚当 Adams	15.03±0.08	15.77±0.15	1.05±0.01	31.89±0.09	0.84±0.00	1.92±0.33	2.09±0.03	12.87±0.03	1.93±0.04	6.66±0.12	193.40±0.00	1 175.98±63.81	14.65±0.88	879.63±22.39	1 176.61±152.58
当娜 Donald Wyman	12.61±0.12	11.32±0.06	0.90±0.01	37.25±0.48	0.80±0.01	1.25±0.14	1.11±0.06	18.43±0.03	1.42±0.01	12.99±0.09	290.10±0.00	1 714.30±54.50	12.03±0.55	1 392.22±123.80	1 564.47±24.36
塞尔科 Selkirk	22.42±0.23	17.49±0.11	0.78±0.01	37.86±0.73	0.99±0.01	5.83±0.44	5.32±0.16	16.63±0.07	1.04±0.01	16.00±0.15	64.47±32.23	948.72±35.61	21.54±0.35	760.83±27.60	1 037.53±38.29
红珠宝 Jewelcole	12.25±0.08	10.66±0.03	0.87±0.01	34.71±0.81	0.63±0.02	1.17±0.17	0.99±0.02	12.07±0.03	2.18±0.01	5.54±0.03	96.70±0.00	2 460.05±21.18	11.70±0.19	1 972.88±45.44	1 199.84±39.60
皇家雨点 Royal Raindrop	9.46±0.15	8.36±0.10	0.88±0.01	29.24±1.04	0.53±0.01	0.42±0.08	0.47±0.02	22.43±0.03	2.80±0.02	8.00±0.06	96.70±0.00	1 657.55±61.83	8.76±0.10	2 390.27±46.27	1 869.42±110.40
印第安魔力 Indian Magic	11.13±0.05	11.32±0.09	1.02±0.01	25.47±0.35	0.66±0.01	0.92±0.08	0.81±0.02	18.23±0.07	1.45±0.01	12.55±0.13	128.93±32.23	1 123.00±7.06	11.05±0.15	996.13±37.77	1 117.47±45.51
印第安夏天 Indian Summer	14.30±0.17	12.18±0.19	0.85±0.00	29.82±0.92	0.78±0.01	1.83±0.08	1.56±0.08	18.17±0.03	1.56±0.02	11.62±0.15	193.40±0.00	1 145.89±28.08	14.85±0.30	824.79±73.80	971.00±85.08
金色童话 Golden Fairy	12.83±0.59	11.80±0.67	0.92±0.01	36.82±1.98	0.63±0.00	1.00±0.00	1.34±0.08	18.37±0.09	1.34±0.01	13.70±0.08	225.63±32.23	1 550.44±16.33	12.39±0.34	1 523.06±75.61	985.27±92.85
高峰 Evereste	22.51±0.09	18.16±0.26	0.81±0.01	24.74±0.81	0.86±0.01	5.83±0.44	5.78±0.17	14.17±0.20	1.14±0.02	12.44±0.32	322.33±32.23	1 721.78±52.35	22.64±0.56	798.02±22.58	802.97±24.12
鲁道夫 Rudolph	14.31±1.12	12.41±1.10	0.87±0.01	30.19±0.64	0.72±0.06	2.50±0.00	2.46±0.02	15.30±0.10	1.24±0.01	12.33±0.03	193.40±0.00	685.68±134.05	12.02±0.69	361.28±95.49	175.99±29.42
主教 Cardinal	17.29±0.33	14.12±0.22	0.82±0.00	26.85±0.92	0.79±0.01	3.33±0.17	2.62±0.16	17.53±0.03	1.77±0.00	9.93±0.02	0.00±0.00	784.25±12.52	13.84±0.92	441.66±58.61	430.69±101.08

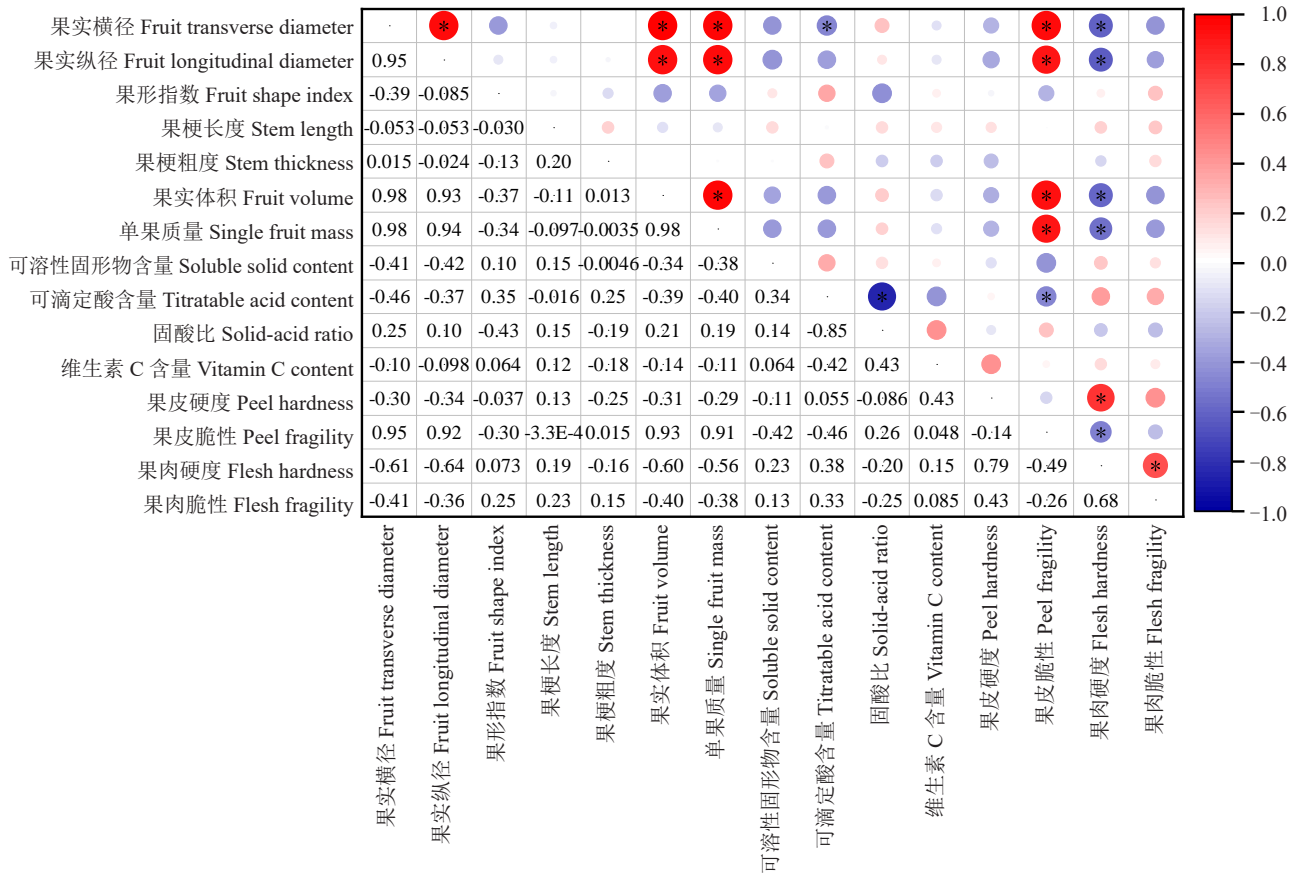
表 3 (续) Table 3 (Continued)

品种名称 Variety name	果实横径 Fruit transverse diameter/ mm	果实纵径 Fruit longitudinal diameter/ mm	果形指数 Fruit shape index	果梗长度 Stem length/mm	果梗粗度 Stem thickness/ mm	果实体积 Fruit volume/ mL	单果质量 Single fruit mass/g	w(可溶性 固形物) Soluble solids content/%	w(可滴 定酸) Titratable acid content/%	固酸比 Solid- acid ratio	w(维生素C) Vitamin C content/ (mg·g <sup>-1</sup> )	果皮硬度 Peel hardness/ g	果皮脆性 Peel fragility/ mm	果肉硬度 Flesh hardness/g	果肉脆性 Flesh fragility/mm
皇家美人 Royal Beauty	14.97±0.06	14.94±0.14	1.00±0.01	32.97±0.94	0.83±0.01	2.83±0.17	1.98±0.06	16.13± 0.03	2.10±0.02	7.68± 0.07	1 165.29± 82.42	16.34± 0.14	895.34± 45.56	1 321.33±60.87	
多花 Floribunda	12.01±0.32	10.77±0.09	0.90±0.02	30.25±0.34	0.62±0.01	1.17±0.17	0.98±0.05	20.67± 0.03	2.21±0.01	9.34± 0.04	903.54± 13.69	7.98± 0.38	803.95± 40.67	607.61±98.27	
时光秀 Show Time	12.03±0.09	10.69±0.09	0.89±0.01	33.04±0.71	0.79±0.02	1.00±0.14	0.90±0.04	15.23± 0.03	1.42±0.01	10.73± 0.08	1 378.2± 63.01	11.42± 0.50	1 376.97± 146.40	2 143.17±138.16	
薄荷糖 Candymint	12.09±0.28	10.47±0.25	0.87±0.01	34.60±0.96	2.98±2.27	1.17±0.17	0.94±0.01	17.53± 0.03	2.68±0.01	6.54± 0.04	902.53± 61.47	11.02± 0.78	1 002.07± 8.78	1 458.81±63.01	
最大值 Maximum	24.91	22.04	1.05	41.79	2.98	6.67	7.86	22.43	2.80	16.00	2 460.05	22.64	2 390.27	2 143.17	
最小值 Minimum	9.46	8.36	0.78	24.74	0.53	0.42	0.47	11.90	0.82	5.32	656.24	7.98	331.60	175.99	
平均值 Average	14.77	13.11	0.90	32.04	0.88	2.26	2.15	16.56	1.77	10.16	1 228.48	13.73	1 041.87	1 116.33	
标准差 Standard deviation	4.07	3.22	0.07	4.32	0.51	1.80	1.93	3.04	0.56	3.09	427.89	4.08	503.06	455.63	
变异系数 Coefficient of variation/%	27.58	24.60	8.05	13.50	57.74	79.62	89.74	18.39	31.90	30.39	34.83	29.75	48.28	40.81	



结果见图3。果实纵径与果实横径呈显著正相关;果实体积与果实横径、果实纵径呈显著正相关;单果质量与果实横径、果实纵径及体积呈显著正相关;可滴定酸含量与果实横径呈显著负相关,说明果实横径越大的海棠果实,可滴定酸含量越低;固酸比与可滴定酸含量呈显著负相关;果皮脆性与果实横径、果

实纵径、果实体积、单果质量呈显著正相关,与可滴定酸含量呈显著负相关,说明质量大的果实,果皮脆性越高,可滴定酸含量越低;果肉硬度与果皮硬度呈显著正相关,与果实横径、果实纵径、果实体积、单果质量、果皮脆性呈显著负相关,说明果实越小,果肉越硬;果肉脆性与果肉硬度呈显著正相关。



红色和蓝色的深浅及大小与计算的相关性(r)成比例,\*表示在 0.05 水平上显著相关。

The shades and magnitudes of red and blue are proportional to the calculated correlation (r), and \* indicates significant correlation at the 0.05 level.

图3 不同海棠品种成熟期果实品质指标相关性分析

Fig. 3 Correlation analysis of fruit quality indexes of different crabapple varieties at maturity stage

### 2.5 果实品质指标主成分分析

对20个不同种海棠果实的15个品质指标进行主成分分析,以特征值大于1为标准,可提取出5个主成分,累积方差贡献率为84.298%。PC1的特征值为6.226,贡献率为41.505%,特征向量绝对值较大的指标为果实横径、果实纵径、果实体积、单果质量,说明PC1主要反映海棠果实大小、体积和质量;PC2的特征值为2.334,贡献率为15.558%,特征向量绝对值较大的指标为固酸比、维生素C含量、可滴定酸含量,说明PC2主要反映海棠果实的营养价值;PC3的特征值为1.699,贡献率为11.328%,特征向量

绝对值较大的指标为果皮硬度、果肉脆性,说明PC3主要反映海棠果实的口感质地;PC4的特征值为1.357,贡献率为9.049%,特征向量绝对值较大的指标为果梗长度、果梗粗度;PC5的特征值为1.029,贡献率为6.857%,特征向量绝对值较大的指标为果形指数(表4)。以上结果表明,影响海棠果实品质的主要因素是果实大小、固酸比、维生素C含量等。

以各个主成分方差贡献率为权重,对前5个主成分进行评分以及相应权重线性加权求和,代入计算公式 $F=W_i \times Y_i / W_{i总}$ ( $Y_i$ 为各主成分得分, $W_i$ 为各主成分方差贡献率)<sup>[18]</sup>,得到果实品质综合得分 $F=(0.415 05 \times$

$PC1+0.15558 \times PC2+0.11328 \times PC3+0.09049 \times PC4+0.06857 \times PC5)/0.84298$ 。根据分析得到的5个主成分来代替15个品质指标对海棠果实品质进行综合评价,获得各品种的主成分得分,经过权重计算出不同品种的综合得分值(表5)。其中,艾丽果实综合

品质得分最高,为2.19,该品种在第1主成分(果实大小指标)中得分最高。塞尔科综合品质得分为2.16,排名第二,高峰综合品质得分为2.15,排名第三,且该品种在前3个主成分中得分均位于第三。皇家雨点排名最后,果实综合品质最差。

表4 不同品种海棠果实表型性状的主成分分析

Table 4 Principal component analysis of fruit phenotypic traits of different crabapple varieties

果实品质指标 Fruit quality index	主成分 Principal component				
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
果实横径 Fruit transverse diameter	0.972	-0.022	0.187	0.064	-0.004
果实纵径 Fruit longitudinal diameter	0.921	-0.143	0.232	-0.063	0.246
果形指数 Fruit shape index	-0.377	-0.304	0.058	-0.402	0.741
果梗长度 Stem length	-0.118	0.229	0.159	0.689	0.370
果梗粗度 Stem thickness	-0.002	-0.405	0.018	0.697	-0.044
果实体积 Fruit volume	0.953	-0.076	0.188	0.046	-0.014
单果质量 Single fruit mass	0.943	-0.064	0.222	0.023	0.006
可溶性固定物含量 Soluble solids content	-0.430	0.019	-0.423	0.299	0.205
可滴定酸含量 Titratable acid content	-0.571	-0.693	0.238	0.063	-0.010
固酸比 Solid-acid ratio	0.346	0.756	-0.443	0.195	0.001
维生素C含量 Vitamin C content	-0.076	0.753	0.026	-0.095	0.365
果皮硬度 Peel hardness	-0.416	0.528	0.638	-0.137	-0.180
果皮脆性 Peel fragility	0.905	0.084	0.330	0.065	0.109
果肉硬度 Flesh hardness	-0.742	0.292	0.489	0.044	-0.182
果肉脆性 Flesh fragility	-0.548	0.063	0.556	0.241	0.165
特征值 Eigenvalues	6.226	2.334	1.699	1.357	1.029
方差贡献率 Contribution rate/%	41.505	15.558	11.328	9.049	6.857
累积方差贡献率 Cumulative contribution rate/%	41.505	57.063	68.391	77.441	84.298

表5 海棠果实品质主成分得分、综合得分及排序

Table 5 The principal component score, comprehensive score and ranking of crabapple fruit quality

品种名称 Variety name	主成分得分值 Principal component score					综合得分(F) Composite score	排序 Ranking
	F1	F2	F3	F4	F5		
艾丽 Eleyi	5.75	-2.32	1.40	-0.16	0.31	2.19	1
塞尔科 Selkirk	4.38	1.02	0.15	2.07	-0.28	2.16	2
高峰 Evereste	4.37	1.96	1.38	-0.96	-0.51	2.15	3
丰盛 Profusion	0.78	1.8	-0.71	0.36	-1.44	0.46	4
鲁道夫 Rudolph	1.34	0.38	-2.46	-0.74	-0.22	0.26	5
主教 Cardinal	1.74	-1.46	-1.63	-0.44	-1.48	0.17	6
印第安夏天 Indian Summer	0.13	0.74	-0.96	-0.11	-0.28	0.03	7
亚当 Adams	0.06	-0.95	0.99	-1.35	1.86	0.00	8
皇家美人 Royal Beauty	0.13	-1.24	0.82	-0.41	1.28	0.00	9
紫色完美 Perfect Purple	-0.63	0.14	-0.50	1.51	1.95	-0.02	10
当娜 Donald Wyman	-1.55	2.48	0.34	0.78	0.91	-0.09	11
金色童话 Golden Fairy	-1.13	2.17	-0.35	0.30	0.68	-0.10	12
时光秀 Show Time	-1.78	1.24	0.80	0.28	0.13	-0.42	13
钻石 Sparkler	-0.72	-0.69	-0.13	-0.56	0.24	-0.46	14
红珠宝 Jewelcole	-2.31	0.44	2.80	-0.64	-1.54	-0.74	15
印第安魔力 Indian Magic	-1.31	0.14	-1.43	-1.57	0.66	-0.78	16
薄荷糖 Candymint	-1.82	-2.79	0.00	3.17	-0.48	-0.94	17
多花 Floribunda	-1.41	-0.98	-2.07	-0.46	-0.28	-1.03	18
高原之火 Prairifire	-1.70	-1.93	0.58	-1.08	-0.49	-1.07	19
皇家雨点 Royal Raindrop	-4.31	-0.14	0.99	0.01	-1.03	-1.77	20

### 2.6 海棠品种聚类分析

选取 15 个品质指标,利用欧式距离法、类平均法对 20 个海棠品种进行系统聚类分析,结果如图 4 所示。在欧氏距离为 15 时,将 20 个海棠品种分为四大类群,D 类包括 2 个品种,结合主成分分析的综合得分可知,丰盛、鲁道夫排第 4~5 位,主要表现为固

酸比、维生素 C 含量较高。C 类包括 4 个品种,结合主成分分析的综合得分可知,艾丽、塞尔科、高峰排第 1~3 位、主教排名第 6 位,主要表现为果实较大、果皮硬度较小;B 类为薄荷糖,特点为果梗较粗、果肉脆性较大等;其余品种属于 A 类,特点为果实较小、果实品质指标分布在中等范围。

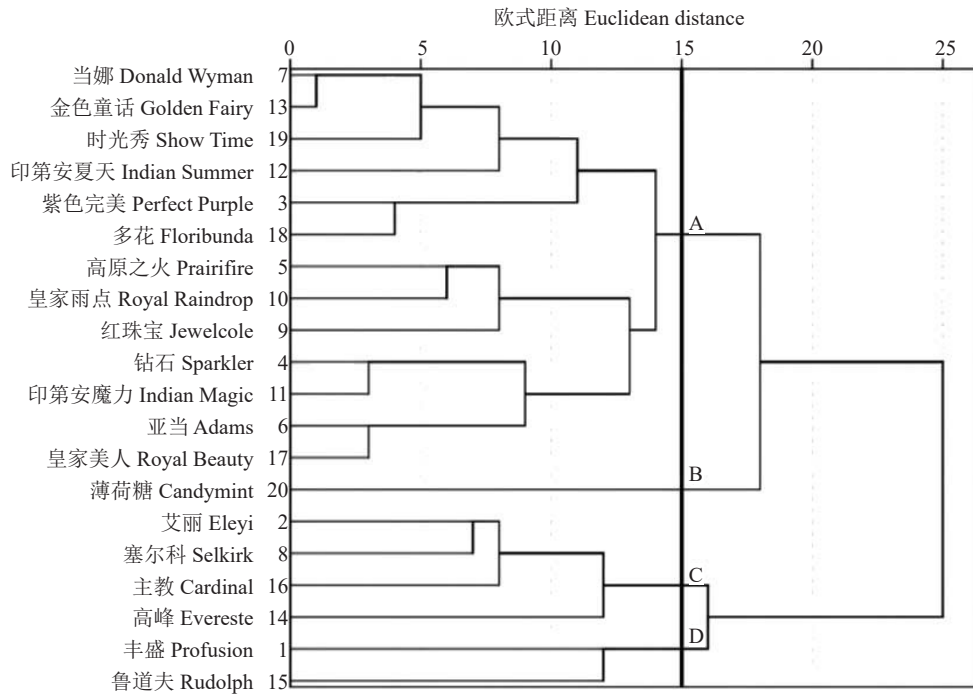


图 4 海棠品种聚类图

Fig. 4 Cluster map of crabapple varieties

### 3 讨论

开展果实品质的研究对选育新品种具有十分重要的意义<sup>[19]</sup>。变异系数不仅反映不同品种间的性状差异,也反映品种的遗传多样性和稳定性。除遗传因素外,生长条件及栽培管理也对品种间的多样性有一定的影响<sup>[20]</sup>。笔者通过对 20 个海棠品种的 15 个果实品质指标进行测定,发现不同海棠品种间存在差异,不同品质指标间相互关联。笔者发现所测各指标的变异系数范围为 8.05%~89.74%,不同海棠品种对 15 个指标的影响顺序为单果质量>果实体积>维生素 C 含量>果梗粗度>果肉硬度>果肉脆性>果皮硬度>可滴定酸含量>固酸比>果皮脆性>果实横径>果实纵径>可溶性固形物含量>果梗长度>果形指数,这与董聚苗等<sup>[21]</sup>、许剑峰等<sup>[22]</sup>以不同观赏海棠品种为研究对象进行变异情况分析所得出的结果一致,说明不同海棠品种在果形方面遗

传较为稳定。

由于果实品质评价涉及不同类型指标,且各项指标在综合评价中的重要性有所差异。因此,仅依据单一的指标,凭直观和定性的分析无法评定品种果实的好坏。采用科学、合理的筛选与评估手段,是对果实品质进行准确评估的基础。聚类分析和主成分分析是评定果实综合品质的方法<sup>[23-25]</sup>。刘舒等<sup>[26]</sup>以引种于中国 24 个种源的桃金娘为研究对象,对其成熟果实的表型性状进行主成分分析,选择果实质量与形状大小特征来筛选桃金娘优质种源;温锦丽等<sup>[27]</sup>以 10 个软枣猕猴桃品种为试验材料,通过主成分分析将 18 个品质指标简化为 6 个主成分,分析结果表明评价软枣猕猴桃果实品质的重要指标包括单果质量、果实横纵径、果形指数、可溶性固形物含量、固酸比、维生素 C 含量等。包东娥等<sup>[28]</sup>以 42 个观赏海棠待选株系为试材,采用主成分分析,将 25 个主要性状简化为 7 个主成分,筛选出 S24 和 S36 两个株

系作为育种亲本。笔者对 20 个海棠品种的 15 个果实品质指标进行综合评价,通过对 15 个指标的降维,得到 5 个综合指标,累积方差贡献率为 84.298%,较好地体现了果实的主要特征。在此基础上,笔者构建了海棠果实品质的综合评价模型,并对其进行了综合评分,使各指标之间具有可比性<sup>[29]</sup>,为筛选满足特定用途需求的品种提供参考。如果目标是选用果实营养价值较高的品种,可以根据  $F_2$  得分快速挑选出高分品种。当娜和金色童话在  $F_2$  评分中分别位列第一和第二,表明这两个品种的果实具有较高的营养价值。

笔者在现有试验条件基础上,结合测定的品质指标,对 20 个海棠品种的果实性状进行了综合评估,为今后选育海棠品种提供了参考。果实品质也会受到栽培地环境、生长管理情况等多种因素的影响,所以环境因素对海棠果实品质的影响还有待进一步探究。笔者认为下一步的研究应旨在筛选和培育美观、具有营养价值的品种,充分发挥海棠果实的功能,为进一步实现海棠资源的最大化利用提供参考依据。

## 4 结 论

在 20 个海棠品种中,果实挂果期长的品种包括高峰、皇家美人、印第安夏天、印第安魔力、红珠宝等,可以考虑与其他植物搭配种植供观赏用;艾丽、塞尔科、高峰等品种果实大、果皮硬度小,适宜向鲜果食用方向发展;丰盛、鲁道夫果实的固酸比和维生素 C 含量均较高,适宜向果实加工方向发展。

### 参考文献 References:

- [1] 杨润溪,李厚华.海棠的园林价值分析[J].西北林学院学报,2017,32(3):289-294.  
YANG Runxi, LI Houhua. Landscape value analysis of crabapple[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2017, 32(3): 289-294.
- [2] 盖瑞,玄艳艳,陈学森,吴树敬,沈向.海棠果实功能性成分与高含量资源筛选[J].中国农学通报,2014,30(31):205-209.  
GAI Rui, XUAN Yanyan, CHEN Xuesen, WU Shujing, SHEN Xiang. High functional ingredients screening in begonia resources[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014, 30(31): 205-209.
- [3] 李文静,刘一心,陈明堃,卓越,吴杨,李厚华.14种海棠果实品质分析及综合评价[J].食品科学,2024,45(16):121-130.  
LI Wenjing, LIU Yixin, CHEN Mingkun, ZHUO Yue, WU Yang, LI Houhua. Quality analysis and comprehensive evaluation of 14 varieties of crabapples[J]. Food Science, 2024, 45(16):121-130.
- [4] 袁秀云,许申平,王默霏,吉长献,张燕,蒋素华,牛苏燕,崔波.观赏海棠果实营养品质指标及其相关性分析[J].中国野生植物资源,2020,39(11):20-26.  
YUAN Xiuyun, XU Shenping, WANG Mofei, JI Changxian, ZHANG Yan, JIANG Suhua, NIU Suyan, CUI Bo. Analysis of nutritional quality indexes and their correlation of the fruits from ornamental crabapple[J]. Chinese Wild Plant Resources, 2020, 39(11):20-26.
- [5] 王鑫磊.灰树花海棠果发酵饮料研制及其品质分析[D].天津:天津科技大学,2022.  
WANG Xinlei. Development and quality analysis of *Grifola frondosa* crabapple fermented beverage[D]. Tianjin: Tianjin University of Science & Technology, 2022.
- [6] 段永芳.海棠果发酵乳酸菌筛选及其制品工艺研究[D].邯郸:河北工程大学,2023.  
DUAN Yongfang. Screening of lactic acid bacteria for fermentation of begonia fruit and study on its product technology[D]. Handan: Hebei University of Engineering, 2023.
- [7] 穆茜,张丹丹,李千惠,姜文龙,武启飞,张往祥.5个海棠品种果实品质分析及评价[J].南方农业学报,2018,49(5):971-978.  
MU Qian, ZHANG Dandan, LI Qianhui, JIANG Wenlong, WU Qifei, ZHANG Wangxiang. Evaluation of fruit quality of five crabapple (*Malus* spp.) cultivars[J]. Journal of Southern Agriculture, 2018, 49(5):971-978.
- [8] 罗镗,秦琴.园林植物栽培与养护[M].3版.重庆:重庆大学出版社,2016:8-14.  
LUO Qiang, QIN Qin. Cultivation and maintenance of garden plants[M]. 3rd ed. Chongqing: Chongqing University Press, 2016:8-14.
- [9] 邹云.海棠种质资源描述规范和数据标准的制定[D].北京:中国林业科学研究院,2019.  
ZOU Yun. Formulation of crabapple genetic resources description norms and data standards[D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2019.
- [10] 张艳文.25个海棠品种生长及观赏特性研究[D].郑州:河南农业大学,2024.  
ZHANG Yanwen. Study on growth and ornamental characteristics of 25 varieties of crabapple[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2024.
- [11] 王猛.海棠抗氧化活性成分及其果实品质研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2014.  
WANG Meng. The antioxidative components and fruits quality of *Malus* Mill.[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2014.
- [12] 王三根.植物生理学实验教程[M].北京:科学出版社,2017:175-177.  
WANG Sangen. Experimental course in plant physiology[M]. Beijing: Science Press, 2017: 175-177.
- [13] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000:246-248.  
LI Hesheng. Principles and techniques of plant physiological

- biochemical experiment[M]. Beijing: Higher Education Press, 2000:246-248.
- [14] 丁雪萍. 观赏海棠实生群体性状多样性调查与分析[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2016.  
DING Xueping. Investigation and analysis of character diversity in seedling population about ornamental crabapple[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2016.
- [15] 王昆, 刘凤之, 曹玉芬. 苹果种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.  
WANG Kun, LIU Fengzhi, CAO Yufen. Descriptors and data standard for apple (*Malus* spp. Mill.) [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2005.
- [16] 李伟, 郜海燕, 陈杭君, 吴伟杰, 房祥军. 基于主成分分析的不同品种杨梅果实综合品质评价[J]. 中国食品学报, 2017, 17(6): 161-171.  
LI Wei, GAO Haiyan, CHEN Hangjun, WU Weijie, FANG Xiangjun. Evaluation of comprehensive quality of different varieties of bayberry based on principal components analysis[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2017, 17(6): 161-171.
- [17] 孟蕊. 苹果果皮色泽遗传特性及花青苷合成相关基因的表达分析[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2017.  
MENG Rui. Analysis of genetics of apple skin color and expression of genes involved in anthocyanin synthesis[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2017.
- [18] 徐宸宇, 唐启正, 刘慧宇, 吴巨勋, 伊华林. 基于主成分分析综合评价6个杂交授粉组合的马家柚果实品质[J]. 果树学报, 2024, 41(2): 282-293.  
XU Chenyu, TANG Qizheng, LIU Huiyu, WU Juxun, YI Hualin. Comprehensive evaluation on fruit quality of six hybrid pollination combinations of Majiayou based on the principal component analysis[J]. Journal of Fruit Science, 2024, 41(2): 282-293.
- [19] 王文元, 赖秀芳, 张恩慧, 徐奇, 张丹丹, 张往祥. 15个观赏海棠果实品质分析[J]. 江苏林业科技, 2018, 45(1): 1-4.  
WANG Wenyuan, LAI Xiufang, ZHANG Enhui, XU Qi, ZHANG Dandan, ZHANG Wangxiang. Analysis of fruit quality of 15 ornamental crabapple varieties[J]. Journal of Jiangsu Forestry Science & Technology, 2018, 45(1): 1-4.
- [20] SANTOS M J, PINTO T, VILELA A. Sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill.) nutritional and phenolic composition interactions with chestnut flavor physiology[J]. Foods, 2022, 11(24): 4052.
- [21] 董聚苗, 刘月, 李扬森, 冯树香, 程蓓蓓, 刘振林, 张国君. 74个观赏海棠品种的遗传多样性及指纹图谱构建[J]. 种子, 2022, 41(5): 30-35.  
DONG Jumiao, LIU Yue, LI Yangsen, FENG Shuxiang, CHENG Beibei, LIU Zhenlin, ZHANG Guojun. Fingerprints establishment and genetic diversity of 74 ornamental crabapple varieties[J]. Seed, 2022, 41(5): 30-35.
- [22] 许剑峰, 张往祥, 朱玲玲, 江皓, 孙甜甜, 郁万文. 78个北美海棠品种果实表型多样性分析[J/OL]. 南京林业大学学报(自然科学版), 1-12(2024-04-28) [2024-09-14]. <https://link.cnki.net/urlid/32.1161.S.20240428.0943.002>.
- XU Jianfeng, ZHANG Wangxiang, ZHU Lingling, JIANG Hao, SUN Tiantian, YU Wanwen. Phenotypic diversity analysis of fruit traits of 78 North American crabapple cultivars[J/OL]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 1-12(2024-04-28) [2024-09-14]. <https://link.cnki.net/urlid/32.1161.S.20240428.0943.002>.
- [23] WU S, YAO X H, WANG K L, YANG S P, REN H D, HUANG M, CHANG J. Quality analysis and comprehensive evaluation of fruits from different cultivars of pecan [*Carya illinoensis* (Wangenheim) K. Koch][J]. Forests, 2022, 13(5): 746.
- [24] 赵慧芳, 吴文龙, 黄正金, 赵伟艺, 闫连飞, 李维林. 34个蓝莓品种果实品质评价[J]. 植物资源与环境学报, 2023, 32(4): 44-53.  
ZHAO Huifang, WU Wenlong, HUANG Zhengjin, ZHAO Fengyi, LÜ Lianfei, LI Weilin. Evaluation on fruit quality of 34 *Vaccinium* spp. cultivars[J]. Journal of Plant Resources and Environment, 2023, 32(4): 44-53.
- [25] 喻华平, 赵志常, 高爱平, 罗睿雄. 基于主成分分析和聚类分析的23份黄皮种质资源的品质评价[J]. 热带作物学报, 2022, 43(7): 1357-1364.  
YU Huaping, ZHAO Zhichang, GAO Aiping, LUO Ruixiong. Quality evaluation of 23 species of *Clausena lansium* (Lour.) Skeels germplasm resources based on principal component analysis and cluster analysis[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2022, 43(7): 1357-1364.
- [26] 刘舒, 马正兵, 于晓丽. 不同种源桃金娘果实表型性状多样性[J]. 经济林研究, 2024, 42(2): 54-61.  
LIU Shu, MA Zhengbing, YU Xiaoli. Phenotypic diversity of *Rhodomyrtus tomentosa* fruit introduced from different provenances[J]. Non-wood Forest Research, 2024, 42(2): 54-61.
- [27] 温锦丽, 曹炜玉, 王月, 何艳丽, 孙怡宁, 原鹏强, 孙博位, 路文鹏. 基于主成分分析与聚类分析的软枣猕猴桃果实品质综合评价[J]. 食品工业科技, 2024, 45(1): 247-257.  
WEN Jinli, CAO Weiyu, WANG Yue, HE Yanli, SUN Yining, YUAN Pengqiang, SUN Bowei, LU Wenpeng. Comprehensive evaluation of fruit quality of *Actinidia arguta* based on principal component analysis and cluster analysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(1): 247-257.
- [28] 包东娥, 刘遵春, 刘克帅, 扈惠灵, 苗卫东. 观赏海棠主要性状的主成分分析及良种选择[J]. 北方园艺, 2018(22): 117-123.  
BAO Donge, LIU Zunchun, LIU Keshuai, HU Huiling, MIAO Weidong. Principal component analysis for main characteristics of ornamental crabapples and selection of superior strains[J]. Northern Horticulture, 2018(22): 117-123.
- [29] 罗培四, 黄丽君, 卢美瑛, 李文砚, 蒋娟娟, 韦伟, 颜楨灵, 赵静, 周婧. 苹婆种质果实性状多样性分析与综合评价[J]. 植物遗传资源学报, 2024, 25(7): 1118-1128.  
LUO Peisi, HUANG Lijun, LU Meiyong, LI Wenyan, JIANG Juanjuan, WEI You, YAN Zhenling, ZHAO Jing, ZHOU Jing. Fruit traits diversity analysis and comprehensive evaluation of *Sterculia monosperma* vent. germplasms[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2024, 25(7): 1118-1128.