

山西地区39份甜樱桃种质果实品质分析与综合评价

候璇¹, 尹凯花¹, 聂国伟^{2*}, 李凯², 张亚楠², 张晓萍², 田永强²

(¹山西农业大学园艺学院, 山西晋中 030800; ²山西农业大学果树研究所·
果树种质创制和利用山西省重点实验室, 太原 030031)

摘要:【目的】对山西地区39份甜樱桃种质的果实表型性状进行综合评价, 为评价甜樱桃果实品质和筛选优良种质提供参考依据。【方法】以39份甜樱桃种质资源为材料, 对25个果实表型性状进行多样性分析、相关性分析和聚类分析, 并基于主成分分析作出综合评价。【结果】25个表型性状的遗传多样性指数在1.03~2.08之间, 单果质量、果形指数、果实横径、核纵径、核横径和蛋白质含量这6个性状的遗传多样性指数均大于2。19个数量性状变异系数的范围为1.05%~71.01%, 果肉硬度和维生素C含量的变异程度较大。相关性分析结果表明, 不同种质的各个表型性状关系紧密。聚类分析将39份甜樱桃种质资源分为3个类群: 口感佳种质、大果硬肉种质和高糖高酸、软肉种质。主成分分析显示, 筛选出的7个主成分累计贡献率达80.329%, 其中与果实大小相关的指标对表型多样性的影响最大。综合评价结果显示美早的综合得分最高(3.82)。【结论】甜樱桃果实品质存在多样性, 鲁樱5号的单果质量最大、香泉2号的可溶性固形物含量最高、蜜泉的固酸比最高、早大果的维生素C含量最高、柯迪亚的果皮穿刺强度最大、桑提娜的果实硬度最高。综合评价显示, 美早、桑提娜、黑珍珠、福晨和早大果为排名前5的优良甜樱桃种质资源。筛选出单果质量、固酸比和果皮色泽等12个可作为甜樱桃表型性状评价的关键指标, 为后续甜樱桃种质品质分析评价与品种选育提供参考。

关键词: 甜樱桃; 表型性状; 多样性分析; 相关性分析; 聚类分析; 综合评价

中图分类号: S662.5

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2025)04-0752-13

Analysis and comprehensive evaluation of fruit quality of 39 sweet cherry accessions in Shanxi region

HOU Xuan¹, YIN Kaihua¹, NIE Guowei^{2*}, LI Kai², ZHANG Yanan², ZHANG Xiaoping², TIAN Yongqiang²

(¹College of Horticulture, Shanxi Agricultural University, Jinzhong 030800, Shanxi, China; ²Shanxi Agricultural University, Pomology Institute/Shanxi Key Laboratory of Fruit Germplasm Creation and Utilization, Taiyuan 030031, Shanxi, China)

Abstract: 【Objective】 Germplasm resources, serving as the material basis of agricultural production, are directly intertwined with the manifestation and enhancement of fruit quality. The sweet cherry, as a superior introduced fruit tree variety, has not yet been fully recognized and exploited in China. A comprehensive and in-depth exploration of sweet cherry germplasm resources holds tremendous significance for the exploitation of sweet cherry resources and the sustainable development of the industry within China. This study made a comprehensive assessment of the phenotypic traits of 39 sweet cherry fruits in the Shanxi region, with an intention of furnishing a reference foundation for the quality appraisal of sweet cherry fruits and the selection of superior germplasm. Moreover, the study aims to offer technical and theoretical sustenance for the sustainable development of the sweet cherry industry in Shanxi. 【Methods】 39 sweet cherry samples were used for this study and 25 phenotypic traits were identified for the investigation. The quantitative traits encompassed single fruit mass, flesh recovery, fruit longitudinal diameter, fruit lateral diameter, fruit transverse diameter, fruit stalk length, stone mass, stone trans-

收稿日期: 2024-11-26 接受日期: 2025-01-15

基金项目: 山西农业大学育种工程(YZGC035); 山西农业大学地方合作项目(XDHZQWY2022-08); 山西省果树产业技术体系(2024CYJSTX07-05); 国家重点研发计划项目(2021YFD1901101-1-4)

作者简介: 候璇, 女, 在读硕士研究生, 研究方向为园艺植物种质创新与利用。E-mail: houxuankll@163.com

*通信作者 Author for correspondence. Tel: 0354-6215299, E-mail: gssnieguowei@126.com

verse diameter, stone longitudinal diameter, soluble solids content, vitamin C content, protein content, total soluble sugar content, reducing sugar content, total acid content, pericarp puncture strength, pulp firmness, fruit shape index, and solid-acid ratio. The qualitative traits comprised fruit shape, fruit apex shape, exocarp color, degree of coloration, flesh color, and fruit flavor. Subsequently, diversity analysis, correlation analysis, and cluster analysis were successively conducted on these phenotypic traits. Finally, a comprehensive evaluation was carried out through principal component analysis based on these phenotypic characteristics. 【Results】 The 39 sweet cherry samples possessed rich genetic diversity. The genetic diversity indices of the 19 quantitative traits ranged from 1.68 to 2.08. Among them, the genetic diversity indices of single fruit mass, fruit transverse diameter, fruit stalk length, stone longitudinal diameter, stone transverse diameter and fruit shape index were greater than 2, belonging to highly variable traits, and the genetic diversity indices of the remaining traits were between 1 and 2. The range of genetic diversity indices of 6 qualitative traits was 1.032 9–1.497 2. According to the results of diversity analysis, it was found that the fruit size among different cherry varieties was significantly different, and most of the qualitative traits had rich genetic diversity. The variation coefficient of the 19 quantitative traits ranged from 1.05% to 71.01%. The coefficient of variation of fruit hardness and vitamin C content exceeded 50%, indicating a large degree of dispersion of the phenotypic traits among sweet cherry species. Correlation analysis showed that the relationships among various phenotypic traits of different germplasm were close and complex. Cluster analysis divided the 39 sweet cherries into three groups. Group I include cherries with high solid-acid ratio and good fruit flavor; Group II were characterized with large single fruit mass, large fruit size, and high pericarp and fruit hardness; and Group III were featured by high nutrient content. This was similar to the results of the other classification methods reported by predecessors, but there were also some differences. Principal component analysis screened out 7 principal components, whose eigenvalues were all greater than 1, and the cumulative contribution rate reached 80.329%. The first principal component was mainly related to fruit size; the second principal component was mainly related to fruit nutritional value and marketability; the third principal component was mainly related to fruit shape; the fourth and fifth principal components were related to fruit taste, and the indicators such as single fruit mass, fruit transverse diameter and fruit lateral diameter related to fruit size had the greatest impact on phenotypic diversity. The comprehensive evaluation results of sweet cherry phenotypic traits showed that Tieton had the highest comprehensive score (3.82). 【Conclusion】 Through the integration of diverse evaluation methodologies, sweet cherry varieties in Shanxi such as Tieton, Santana, Heizhenzhu, Fuchen, and Крупноплодная manifested outstanding comprehensive performances, in contrast to LY 1, 1-72, and C-1, which exhibited relatively inferior qualities. Simultaneously, twelve crucial indices for the appraisal of sweet cherry phenotypic traits, namely fruit vertical diameter, fruit transverse diameter, fruit lateral diameter, pericarp color, flesh color, single fruit mass, stone mass, solid-acid ratio, flesh hardness, soluble solid content, protein content, and total soluble sugar content, were identified. These served as valuable references for the subsequent quality analysis, evaluation of sweet cherry germplasm, and variety breeding endeavors.

Key words: Sweet cherry; Phenotypic traits; Diversity analysis; Correlation analysis; Cluster analysis; Comprehensive evaluation

甜樱桃(*Prunus avium* L.),也称车厘子,是蔷薇科李属樱桃亚属多年生木本落叶果树,其果实色泽艳丽、口感甜美及营养丰富著称,深受消费者喜

爱,在全球水果市场中占据重要地位。自19世纪末引入中国后,甜樱桃的种植规模与产量不断增长,产业蓬勃发展,中国已成为甜樱桃的主要生产国之

—^[1-3]。在甜樱桃产业繁荣发展的当下,种质资源的研究与利用至关重要。表型性状多样性作为种质资源多样性的直观体现,直接关联着果实品质的呈现与提升,是探究遗传稳定性与育种潜力的关键^[4],分析及综合评价甜樱桃果实的表型性状,对推动甜樱桃种质创新利用及优异种质资源筛选意义深远。

山西部分地区凭借独特的地理与气候条件,成为甜樱桃的重要产区之一。种植甜樱桃既满足市场需求,又助力果农增收,有力推动了当地农业经济的发展。然而,山西地区甜樱桃产业在品种方面却面临诸多困境,如品种杂乱且缺乏契合本地特色的优良品种,引进品种适应性欠佳,优良品种的选育工作相对滞后等,严重阻碍了产业的高效优质发展。当前,国内外学者关于果实品质分析与评价的研究成果较多,涉及枣^[5]、葡萄^[6]、西洋梨^[7]、苹果^[8]、杨梅^[9]、胡柚^[10]等多种果树,但针对山西特定区域甜樱桃的系统研究仍匮乏,难以满足当地产业对优良品种的多样化需求。因此,分析评价山西甜樱桃的果实品质,筛选优异种质,对精准满足当地产业品种需求、推动

产业发展至关重要。

笔者在本研究中利用多样性分析、相关性分析、聚类分析及主成分分析等方法,对山西地区39份甜樱桃种质资源的25个表型性状进行多维度分析,旨在筛选优异种质资源,为山西地区甜樱桃品种的优化改良及科学规划提供理论支撑与参考借鉴。

1 材料和方法

1.1 试验材料

试验材料取自山西农业大学果树研究所樱桃种质资源圃同一园区,栽培模式和管理水平一致(112°48' E, 37°38' N, 海拔830 m, 年均温10.6 °C, 年降水量400~600 mm), 土壤为壤砂土, 于2017年建园定植样本树, 砧木为马哈利, 树形为纺锤形。选择生长正常的甜樱桃树冠外围的果实进行调查及指标测定。甜樱桃种质资源的信息详见表1。

1.2 试验方法

参考《樱桃种质资源描述规范和数据标准》^[11]中樱桃表型性状描述规范, 选取25个表型性状作为测

表1 供试甜樱桃种质名称及来源

Table 1 Germplasm names and sources of tested sweet cherry

编号 No.	种质名称 Germplasm name	原产地 Origin	资源类型 Biological status
YT 1	雷吉娜 Regina	德国 Germany	国外引种 Foreign germplasm introduction
YT 2	俄9 E9	俄罗斯 Russia	国外引种 Foreign germplasm introduction
YT 3	桑提娜 Santina	加拿大 Canada	国外引种 Foreign germplasm introduction
YT 4	先锋 Van	加拿大 Canada	国外引种 Foreign germplasm introduction
YT 5	塞尔维亚 Sylvia	加拿大 Canada	国外引种 Foreign germplasm introduction
YT 6	柯迪亚 Kordia	捷克 Czech Republic	国外引种 Foreign germplasm introduction
YT 7	美早 Tieton	美国 America	国外引种 Foreign germplasm introduction
YT 8	红手球 Hongshouqiu	日本 Japan	国外引种 Foreign germplasm introduction
YT 9	早大果 Крупноплодная	乌克兰 Ukraine	国外引种 Foreign germplasm introduction
YT 10	奇好 Qihao	乌克兰 Ukraine	国外引种 Foreign germplasm introduction
YT 11	万尼卡 Vanic	亚美尼亚 Armenia	国外引种 Foreign germplasm introduction
YT 12	彩虹 Caihong	中国北京 Beijing, China	选育品种 Bred variety
YT 13	香泉2号 XQ 2	中国北京 Beijing, China	选育品种 Bred variety
YT 14	红蜜 Hongmi	中国大连 Dalian, China	选育品种 Bred variety
YT 15	巨红 Juhong	中国大连 Dalian, China	选育品种 Bred variety
YT 16	蜜泉 Miquan	中国大连 Dalian, China	选育品种 Bred variety
YT 17	红艳 Hongyan	中国大连 Dalian, China	选育品种 Bred variety
YT 18	甜心 Sweet heart	加拿大 Canada	选育品种 Bred variety
YT 19	萨米特 Summit	加拿大 Canada	选育品种 Bred variety
YT 20	雷尼 Rainier	美国 America	选育品种 Bred variety
YT 21	红南阳 Hongnanyang	日本 Japan	选育品种 Bred variety
YT 22	鲁樱5号 LY 5	中国山东 Shandong, China	选育品种 Bred variety
YT 23	福晨 Fuchen	中国山东 Shandong, China	选育品种 Bred variety

表1 (续) Table 1 (Continued)

编号 No.	种质名称 Germplasm name	原产地 Origin	资源类型 Biological status
YT 24	黑珍珠 Heizhenzhu	中国山东 Shandong, China	选育品种 Bred variety
YT 25	鲁玉 Luyu	中国山东 Shandong, China	选育品种 Bred variety
YT 26	鲁樱1号 LY 1	中国山东 Shandong, China	选育品种 Bred variety
YT 27	鲁樱2号 LY 2	中国山东 Shandong, China	选育品种 Bred variety
YT 28	1-20	中国大连 Dalian, China	优系 Elite strain
YT 29	1-72	中国大连 Dalian, China	优系 Elite strain
YT 30	23-6	中国大连 Dalian, China	优系 Elite strain
YT 31	7-165	中国大连 Dalian, China	优系 Elite strain
YT 32	5-79	中国大连 Dalian, China	优系 Elite strain
YT 33	1-53	中国大连 Dalian, China	优系 Elite strain
YT 34	S8-10	中国山东 Shandong, China	优系 Elite strain
YT 35	2-9	中国山东 Shandong, China	优系 Elite strain
YT 36	晋选1号 JX 1	中国山西 Shanxi, China	优系 Elite strain
YT 37	C-1	中国山西 Shanxi, China	优系 Elite strain
YT 38	A-1	中国山西 Shanxi, China	优系 Elite strain
YT 39	M-1	中国山西 Shanxi, China	优系 Elite strain

定指标(表2)。每份种质选择生长状态一致的3株样本树,采集植株外围中上部的1 kg果实进行调查。为确保所有种质的果实成熟度一致,在多年观察每份种质成熟果实颜色特征的基础上,参考甜樱

桃资源研究和育种专家的经验进行确认。2022—2024年,每份种质选取3株树进行调查测定,以3 a(年)的平均数据为基础,对果实的数量性状和质量性状进行统计学分析。

表2 甜樱桃表型性状的描述规范

Table 2 Description of phenotypic traits of sweet cherry

性状 Trait	描述规范 Descriptive specification					
	1	2	3	4	5	6
果实形状 Fruit shape (FS)	肾形 Reniform	扁圆形 Oblate	近圆形 Sub-circular	卵圆形 Ovoid	椭圆形 Elliptical	心脏形 Heart shape
果顶形状 Fruit apex shape (FAS)	凹 Indentation	平 Planar	凸 Protuberance	尖 Point		
果皮色泽 Exocarp color (EC)	黄 Yellow	橙红 Orange-red	黄底色红晕 Yellow-red	红 Red	紫红 Purple-red	黑紫 Black-purple
着色程度 Degree of coloration (DC)	无 None	少 Little	中 Moderate	多 Abundant	全面 Complete	
果肉颜色 Flesh color (FC)	乳白乳黄 Creamy-yellow	淡红 Light red	红色 Red	紫红 Purple-red		
果实风味 Fruit flavor (FF)	酸 Sour	甜酸 Sweet-tart	酸甜 Tart-sweet	甜 Sweet		

调查的25个表型性状包括19个数量性状和6个质量性状,其中数量性状包括单果质量、可食率、果实纵径、果实侧径、果实横径、果柄长度、核质量、核横径、核纵径、可溶性固形物含量、维生素C含量、蛋白质含量、可溶性糖含量、还原糖含量、总酸含量、果皮穿刺强度、果肉硬度、果形指数、固酸比;质量性状包括果实形状、果顶形状、果皮色

泽、着色程度、果肉颜色和果实风味。

具体测定方法如下:可溶性固形物含量(NY/T 2637—2014)^[12]、维生素C含量(GB/T 5009.159—2003)^[13]、可溶性糖和还原糖含量(NY/T 2742—2015)^[14]、总酸含量(GB 12456—2021)^[15]、利用考马斯亮蓝G-250染色比色法测定蛋白质含量^[16],利用英国Stable Micro Systems公司质构仪(TA. XT. plus)测量

果皮穿刺强度和果肉硬度。

1.3 数据分析

使用 Microsoft Excel 2016 整理试验数据,包含平均值、标准差、变异系数和遗传多样性指数^[17]。采用 Origin 2021 开展表型相关性分析,使用 IBM SPSS Statistics 26.0 进行主成分分析,利用 R 语言 4.3.3 的 Ward D2 进行聚类分析。

2 结果与分析

2.1 不同种质资源果实品质数量性状的多样性分析

19 个数量性状的多样性分析结果见表 3,结果表明 39 份甜樱桃种质间性状的差异较大,遗传变异丰富。在单果质量方面,变化范围为 5.26~12.27 g,平均值为 8.67 g,最小的是红蜜,最大的是鲁樱 5

号。在营养品质方面,可溶性固形物含量(w ,后同)变化范围为 10.60%~22.70%,平均值为 15.83%,C1 最低,香泉 2 号最高;固酸比变化范围为 14.80~39.26,C1 最低,蜜泉最高;维生素 C 含量变化范围为 2.15~28.20 $\text{mg} \cdot 100 \text{g}^{-1}$,早大果维生素 C 含量最高。在质地方面,果皮穿刺强度变化范围为 74.22~399.10 $\text{g} \cdot \text{mm}^{-2}$,果肉硬度变化范围为 5.86~60.00 g,23-6 的果实质地柔软,果皮穿刺强度和果肉硬度最低,柯迪亚的果皮穿刺强度最大,桑提娜的果实硬度最高。19 个数量性状的遗传多样性指数介于 1.68~2.08,单果质量、果形指数、果实横径、核纵径、核横径和蛋白质含量 6 个性状的遗传多样性指数均大于 2,说明不同樱桃品种之间这类性状的差异较大。19 个数量性状变异系数的变化范围为 1.05%~71.01%,果肉硬度和维生素 C 含量的变异程度较大,分别为

表 3 39 份甜樱桃种质数量性状变异程度分析

Table 3 Analysis of variation degree of quantitative traits in 39 sweet cherry germplasm

性状 Trait	平均值 Mean	最大值 Max.	最小值 Min.	标准差 SD	变异系数 CV%	遗传多样性指数 H'
单果质量 Single fruit mass(SFW)/g	8.67	12.27	5.26	1.60	18.43	2.06
果实纵径 Fruit longitudinal diameter(FLD)/mm	23.70	26.54	19.89	1.77	7.48	1.94
果实横径 Fruit transverse diameter(FTD)/mm	26.86	30.28	21.65	2.03	7.56	2.03
果实侧径 Fruit side diameter(FSD)/mm	22.45	25.18	18.83	1.46	6.51	1.95
果柄长度 Fruit stalk length(FSL)/mm	38.13	59.48	17.69	8.35	21.90	2.00
核纵径 Stone longitudinal diameter(SLD)/mm	11.14	12.92	9.41	0.87	7.78	2.02
核横径 Stone transverse diameter(STD)/mm	9.55	10.77	8.16	0.55	5.78	2.08
核质量 Stone mass(SM)/g	0.34	0.61	0.07	0.14	40.78	1.78
果形指数 Fruit shape index(FSI)	0.88	1.01	0.77	0.06	6.24	2.06
可食率 Edible rate(ER)/%	94.00	96.20	91.94	0.99	1.05	1.96
w (可溶性固形物)Soluble solids content(SSC)/%	15.83	22.70	10.60	2.15	13.59	1.97
w (蛋白质)Protein content(PC)/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	0.88	1.30	0.47	0.19	21.76	2.06
w (维生素 C)Vitamin C content(VC)/($\text{mg} \cdot 100 \text{g}^{-1}$)	8.18	28.20	2.15	5.81	71.01	1.68
w (可溶性糖)Total soluble sugar content(TSS)/%	9.58	19.00	4.17	3.16	33.04	1.92
w (还原糖)Reducing sugar content(RSC)/%	9.03	17.69	3.14	3.02	33.42	1.93
w (总酸)Total acid content(TAC)/($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	6.21	11.54	4.15	1.41	22.71	1.87
固酸比 Soluble solids content/Total acid content(SSC/TAC)	26.39	39.26	14.80	5.45	20.65	1.98
果皮穿刺强度 Pericarp puncture strength(PPS)/($\text{g} \cdot \text{mm}^{-2}$)	264.25	399.10	74.22	72.78	27.54	1.92
果肉硬度 Pulp firmness(PF)/g	22.90	60.00	5.86	13.18	57.55	1.89

57.55%和 71.01%,可食率的变异程度最小,为 1.05%。

2.2 不同种质资源果实品质质量性状的多样性分析

甜樱桃种质质量性状的频率分布状况和多样性分析结果见表 4。6 个质量性状的遗传多样性指数的变化范围为 1.03~1.50,均大于 1。在供试种质资

源中,果实形状多为肾形,其次为心脏形、扁圆形、近圆形和卵圆形;果顶形状以凹居多,其次是平、凸和尖;果皮色泽的遗传多样性指数最高,为 1.50,紫红色占比最高,为 30.77%,其次是黄底色红晕和红色,最少的是黄色和黑紫色;着色程度为着色全面的占比 61.54%;果肉颜色多为乳白乳黄色,其次是紫红

表4 质量性状频率分布及多样性分析

Table 4 Frequency distribution and diversity analysis of quality traits

性状 Trait	不同表型级别频率 Frequency of different phenotypic degree						遗传多样性指数 <i>H'</i>
	1	2	3	4	5	6	
FS	0.538 5	0.102 6	0.102 6	0.051 3	0.000 0	0.205 1	1.28
FAS	0.538 5	0.307 7	0.128 2	0.025 6			1.05
EC	0.051 3	0.000 0	0.256 4	0.205 1	0.307 7	0.179 5	1.50
DC	0.025 6	0.025 6	0.076 9	0.256 4	0.615 4		1.03
FC	0.461 5	0.153 8	0.128 2	0.256 4			1.26
FF	0.076 9	0.512 8	0.282 1	0.128 2			1.16

色、淡红色和红色;风味以甜酸为主,占比51.28%,单一的酸或者甜占比较少。综上所述,大部分质量性状具有丰富的遗传多样性。

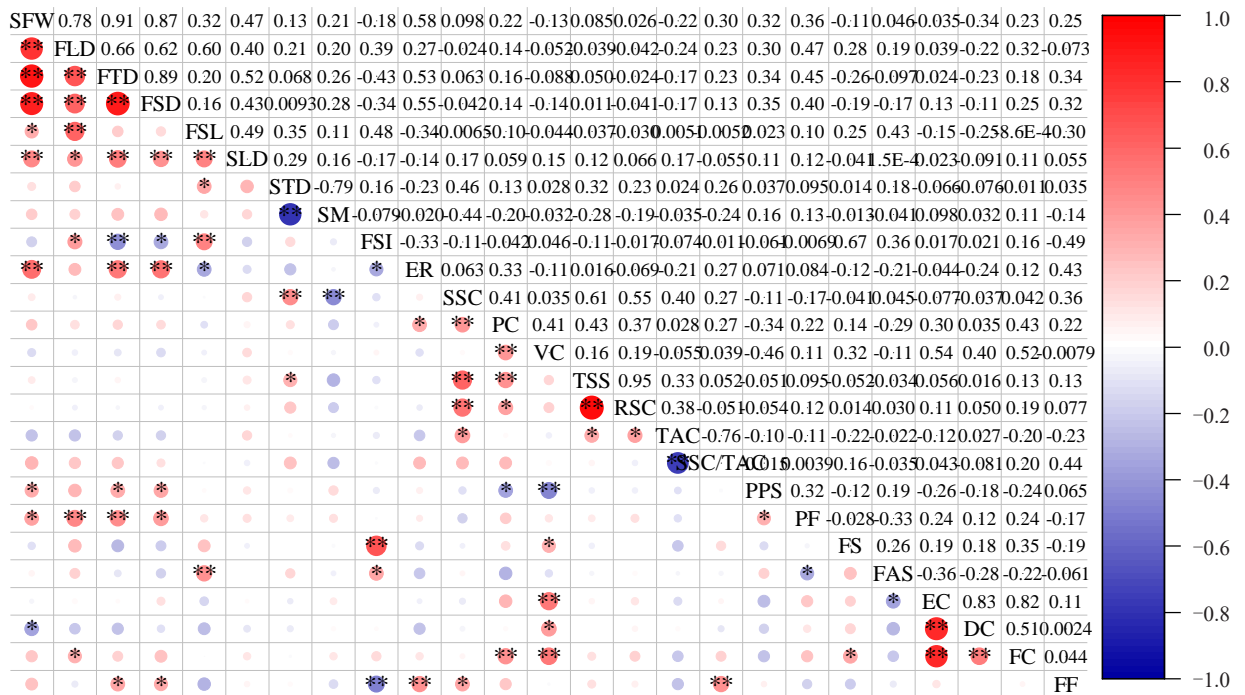
2.3 不同种质资源表型性状的相关性分析

25个表型性状间的相关性分析结果如图1所示,单果质量与核纵径、可食率、果实纵径、果实侧径、果实横径呈极显著正相关,相关系数依次为0.469、0.575、0.785、0.874和0.910;果皮色泽与维生素C含量、果肉颜色和着色程度呈极显著正相关,相关系数分别为0.535、0.820和0.832;果肉硬度与果实纵径、横径(即果实大小)呈显著正相关,

相关系数分别为0.473和0.455;蛋白质含量与维生素C含量、可溶性糖含量呈显著正相关,相关系数分别为0.414和0.428;风味与可食率、固酸比呈显著正相关,相关系数分别为0.431和0.440。果形指数与风味呈显著负相关,相关系数为-0.486;核质量与核横径、可溶性固形物含量呈极显著负相关,相关系数分别为-0.788和-0.444;维生素C含量与果皮穿刺强度、总酸含量与固酸比呈极显著负相关,相关系数分别为-0.465和-0.756。

2.4 不同种质资源表型性状的聚类分析

采用Ward D2聚类分析法对39份樱桃种质的25



*、**分别表示 $\alpha=0.05$ 、 $\alpha=0.01$ 时的显著性。

*, ** indicate significance at $\alpha=0.05$, $\alpha=0.01$, respectively.

图1 樱桃种质资源25个表型性状间的相关性分析

Fig. 1 Correlation analysis of 25 phenotypic traits in cherry germplasm resources

个果实性状进行聚类分析,结果见图2,并对3个类群进行统计分析(表5)。I类群包含桑提娜、美早、塞尔维亚、蜜泉、黑珍珠、鲁樱5号等24个品种,占总数的61%,该类群果实的固酸比高,风味多为甜酸,属于口感佳种质类型。II类群包含1-53、5-79、A-1、7-165、柯迪亚等10个品种,占总数的26%,该类群果实的单果质量和果皮穿刺强度较大,属于大果硬肉种质类型。III类群包含5个品种,占总数的13%,分别为23-6、俄9、早大果、红艳和香泉2号,该类群果实的可溶性固形物含量、蛋白质含量、维生素C含

量、可溶性糖含量和总酸含量较高,果皮穿刺强度和果肉硬度较低,多数品种属于高糖高酸、软肉种质类型。

2.5 不同种质资源表型性状的主成分分析

将39份樱桃种质的25个果实性状所隐含的维度缩减为7个主成分,筛选得到的7个主成分的累计贡献率达80.329%,能较好地反映出25个果实性状的基本特性(表6)。第1主成分的贡献率为19.832%,在所有主成分之中占比最高,其主要影响因素有单果质量、果实横径和果实侧径等,这些特征

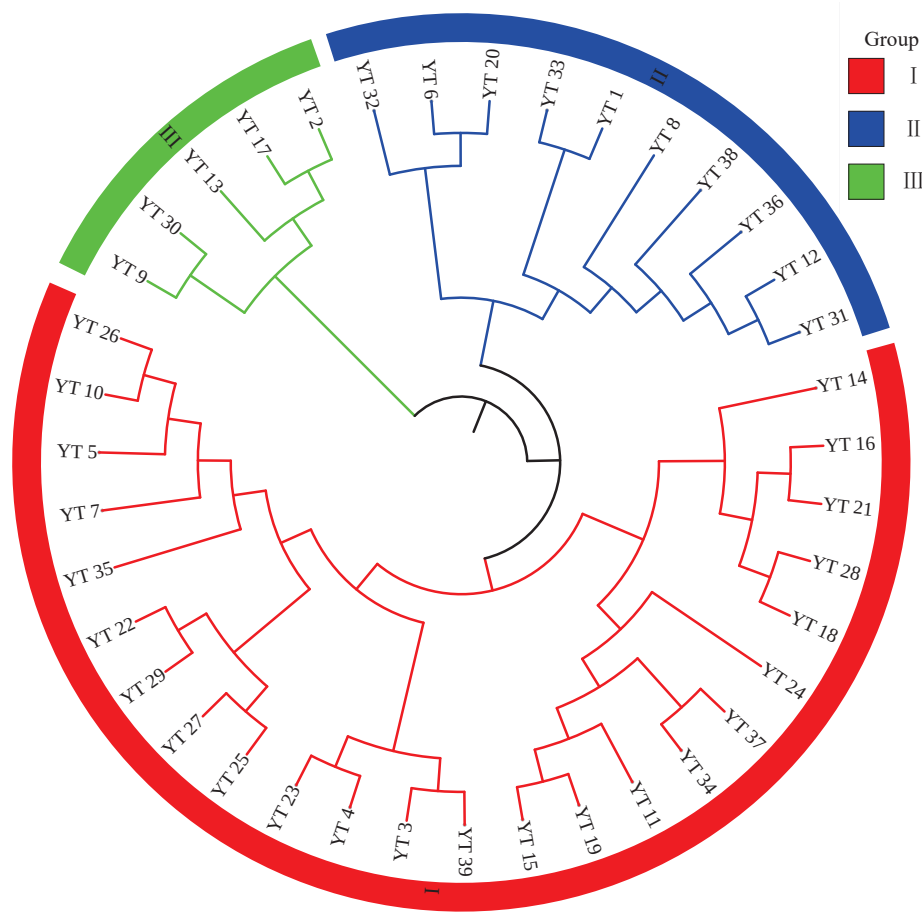


图2 39份甜樱桃资源的聚类分析
Fig. 2 Cluster analysis of 39 sweet cherry resources

向量的绝对值均大于0.800,说明第1主成分与果实大小之间存在密切的关系;第2主成分可解释总变异的15.247%,特征向量绝对值较高的性状包含蛋白质含量、维生素C含量、果皮色泽、果肉颜色和果肉颜色,表明第2主成分主要与果实营养价值、商品性有关;第3主成分包括果形指数和果实形状,可解释总变异的12.882%,说明第3主成分主要与果实形

状相关;第4主成分解释了12.481%的总变异,包括可溶性固形物含量、可溶性糖含量、还原糖含量和总酸含量;第5主成分解释了9.143%的总变异,包括固酸比和风味,表明第4、5主成分与果实口感风味相关;第6主成分和第7主成分的贡献率分别为5.495%和5.250%。

基于第1、2、3主成分构建PCA散点图(图3),

表5 39份甜樱桃种质资源3个类群数量性状表现
Table 5 Quantitative traits of 3 groups in 39 sweet cherry germplasm resources

性状 Trait	I类 Group I (n=24)	II类 Group II (n=10)	III类 Group III (n=5)	性状 Trait	I类 Group I (n=24)	II类 Group II (n=10)	III类 Group III (n=5)
SFW	8.77±1.86 a	9.12±0.87 a	7.58±0.92 a	SSC	15.56±1.86 a	15.84±2.15 a	17.13±3.32 a
FLD	23.72±1.99 a	24.24±1.18 a	22.52±1.16 a	PC	0.88±0.2 ab	0.81±0.11 b	1.04±0.22 a
FTD	27.02±2.29 a	27.26±1.39 a	25.46±1.37 a	VC	7.80±4.62 b	6.05±3.22 b	14.25±10.78 a
FSD	22.59±1.68 a	22.77±0.73 a	21.34±1.02 a	TSS	9.51±2.77 a	9.33±2.80 a	10.37±5.69 a
FSL	37.76±6.78 ab	41.85±10.23 a	32.43±9.30 b	RSC	8.99±2.58 a	8.74±2.83 a	9.83±5.42 a
SLD	11.01±0.78 a	11.43±1.13 a	11.25±0.49 a	TAC	5.69±0.92 b	6.71±1.12 a	7.71±2.48 a
STD	9.44±0.53 a	9.72±0.56 a	9.73±0.62 a	SSC/TAC	28.01±5.32 a	24.14±4.99 a	23.16±4.74 a
SM	0.31±0.15 a	0.37±0.14 a	0.38±0.03 a	PPS	260.69±28.84 b	344.92±30.45 a	120.07±33.55 c
FSI	0.88±0.06 a	0.89±0.06 a	0.88±0.01 a	PF	24.62±14.41 a	23.64±11.10 a	13.15±6.47 a
ER	0.94±0.01 a	0.94±0.01 a	0.94±0.01 a				

注:表中数据为平均值±标准差,同列不同字母表示差异显著(p<0.05)。

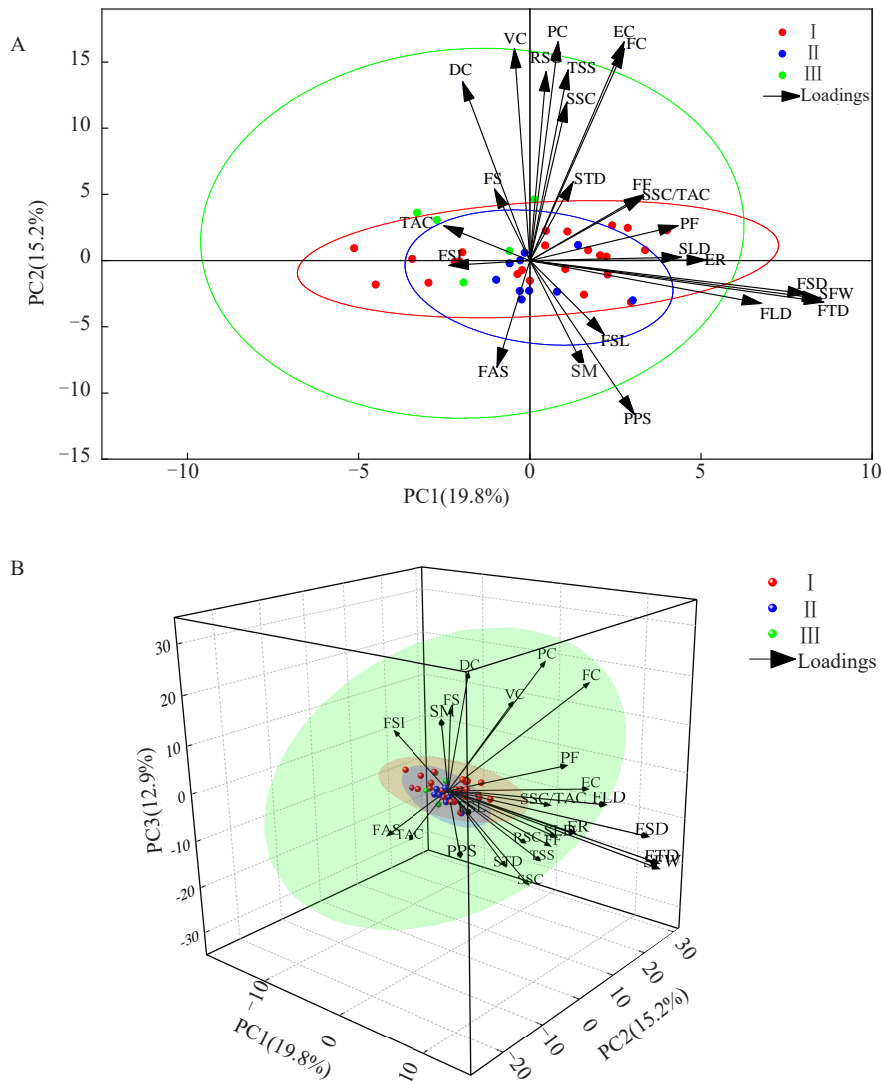
Note: The data in the table is mean ± standard deviation, different letters in the same column indicate significant difference (p<0.05).

表6 表型性状主成分分析
Table 6 Principal component analysis of phenotypic traits

性状 Trait	主成分 Principal component						
	1	2	3	4	5	6	7
SFW	0.954	-0.123	0.003	0.060	-0.016	0.018	-0.085
FLD	0.764	-0.195	0.499	0.184	-0.050	0.154	-0.025
FTD	0.944	-0.101	-0.143	-0.055	-0.151	-0.097	-0.036
FSD	0.892	-0.053	-0.100	-0.146	-0.219	-0.027	0.022
FSL	0.179	-0.617	0.208	-0.110	0.097	-0.030	-0.362
SLD	0.275	-0.365	0.526	0.540	-0.083	-0.256	-0.070
STD	0.491	-0.017	0.085	0.362	-0.336	-0.573	-0.015
SM	0.171	0.115	0.091	0.616	0.193	-0.211	0.447
FSI	-0.245	-0.112	0.776	0.284	0.141	0.307	0.011
ER	0.566	0.082	-0.335	-0.350	0.227	0.293	-0.302
SSC	0.126	0.436	-0.341	0.621	0.305	-0.078	0.049
PC	0.313	0.649	0.002	0.115	0.193	0.141	-0.376
VC	-0.039	0.613	0.383	-0.075	-0.034	-0.276	-0.287
TSS	0.127	0.552	-0.273	0.611	0.020	0.270	-0.013
RSC	0.055	0.551	-0.183	0.600	-0.050	0.324	-0.035
TAC	-0.296	0.142	-0.336	0.513	-0.567	-0.008	-0.221
SSC/TAC	0.389	0.131	0.089	-0.126	0.789	-0.047	0.228
PPS	0.334	-0.459	-0.126	0.041	-0.157	0.336	0.515
PF	0.483	0.101	0.206	-0.068	-0.427	0.397	0.190
FS	-0.101	0.146	0.732	0.081	0.274	0.172	-0.084
FAS	-0.088	-0.424	0.274	0.424	0.285	-0.066	-0.009
EC	0.156	0.716	0.363	-0.395	-0.188	-0.104	0.136
DC	-0.207	0.623	0.253	-0.340	-0.255	-0.114	0.393
FC	0.312	0.658	0.488	-0.215	-0.068	-0.014	-0.016
FF	0.369	0.231	-0.455	-0.173	0.462	-0.252	0.120
特征值 Eigenvalue	4.976	4.051	3.131	3.037	2.072	1.328	1.261
方差贡献率 Variance contribution rate/%	19.832	15.247	12.882	12.481	9.143	5.495	5.250
累计贡献率 Cumulative contribution rate/%	19.832	35.078	47.960	60.442	69.585	75.079	80.329

将甜樱桃品种依表型性状进行分组。图3显示, PC1与PC2累计方差贡献率为35.078%, PC1、PC2与PC3累计方差贡献率为47.960%, 据此将39个受试品种聚类为3个主要群组。类群I在原点左右两侧呈均匀分布态势, 呈现出单果质量较大、总酸含量低以及固酸比高的特征; 类群II主要集中于原

点左下方, 由此推断出该类群的划分很大程度上取决于第1主成分中的单果质量、果实横径等关键表型性状的影响, 而第2主成分对其影响较小; 类群III主要位于原点左上方, 受第2主成分涵盖的蛋白质含量、维生素C含量等营养物质含量的影响较大。



A. 基于第 1、2 主成分的 39 份甜樱桃种质资源果实性状二维 PCA 得分; B. 基于第 1、2、3 主成分的 39 份甜樱桃种质资源果实性状三维 PCA 得分。

A. 2D PCA score plot of fruit traits in 39 sweet cherry germplasms (PC1 and PC2); B. 3D PCA score plot of fruit traits in 39 cherry germplasms (PC1, PC2, and PC3).

图3 39份甜樱桃种质资源的主成分分析(PCA)

Fig. 3 Principal component analysis (PCA) of 39 sweet cherry germplasm resources

2.6 不同种质资源表型性状的综合评价

使用主成分分析法计算39份甜樱桃种质资源的主成分得分, 并在此基础上进行了综合评价, 将原始数据进行标准化分析, 代入上述7个主成分中。依据各主成分贡献率, 把F1至F7代入综合得分计

算公式 $F=0.25 \times F1+0.20 \times F2+0.16 \times F3+0.15 \times F4+0.10 \times F5+0.07 \times F6+0.06 \times F7$ 。由表7可知, 综合得分F值区间为-4.05至3.82, F值越高代表其综合性状越优, 排名居前5位的种质是美早、桑提娜、黑珍珠、福晨和早大果, 其F值分别为3.82、3.23、2.54、2.04

表7 39份甜樱桃种质资源综合排序
Table 7 Comprehensive ranking of germplasm resources of 39 sweet cherry cultivars

品种 Cultivar	主成分值 Math of principal component								排名 Rank
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F	
美早 Tieton	8.92	4.85	0.57	3.19	-0.12	-1.57	2.11	3.82	1
桑提娜 Santina	6.53	4.72	4.44	-1.12	-0.44	1.92	0.32	3.23	2
黑珍珠 Heizhenzhu	2.71	3.52	5.62	0.73	0.97	-0.36	0.99	2.54	3
福晨 Fuchen	5.28	6.18	-2.95	-0.69	-0.56	0.18	1.10	2.04	4
早大果 Крупноплодная	0.61	8.51	2.68	0.54	-0.23	-2.22	-3.25	2.02	5
塞尔维亚 Sylvania	4.62	1.02	1.65	-1.71	0.19	-1.32	1.01	1.36	6
柯迪亚 Kordia	-0.84	-2.03	5.25	4.99	2.11	0.19	2.08	1.33	7
萨米特 Summit	1.12	1.84	0.57	3.19	-0.12	-1.57	2.11	1.25	8
M-1	1.03	4.64	-0.36	1.33	-3.04	2.69	0.26	1.23	9
先锋 Van	4.87	1.27	1.55	-4.97	0.19	2.02	-0.10	1.11	10
鲁玉 Luyu	7.22	2.83	-5.19	-3.20	-0.20	0.26	-1.34	0.99	11
1-20	4.72	-1.07	3.79	-4.22	0.02	1.00	-0.73	0.94	12
A-1	3.31	2.14	-2.54	-0.42	-1.05	0.29	-0.19	0.70	13
1-53	7.10	-8.56	-0.75	3.55	1.73	1.04	-1.53	0.61	14
鲁樱5号 LY 5	6.44	-4.97	-2.50	0.39	2.75	1.16	-1.76	0.52	15
万尼卡 Vanic	3.74	2.33	-4.45	-2.67	1.27	-1.00	0.26	0.38	16
红南阳 Hongnanyang	-0.40	-2.22	0.91	3.08	2.78	0.30	-0.38	0.35	17
雷吉娜 Regina	-0.54	1.97	-2.47	3.10	-3.08	1.32	2.03	0.24	18
蜜泉 Miquan	2.73	-2.95	-2.32	0.20	3.95	-0.05	-0.35	0.13	19
23-6	-7.10	6.76	2.65	-0.82	2.28	-1.28	-0.36	0.02	20
香泉2号 XQ 2	-6.46	6.83	-6.40	9.12	-1.59	0.34	-1.43	-0.07	21
俄9 E9	-1.08	1.19	2.92	-1.13	-1.31	-2.83	-0.50	-0.10	22
晋选1号 JX 1	0.21	-5.92	3.76	3.86	-1.31	-1.16	0.68	-0.14	23
巨红 Juhong	3.61	-6.16	0.02	3.27	-2.28	-1.47	-0.78	-0.23	24
雷尼 Rainier	-0.82	0.48	-4.52	2.00	1.21	0.33	1.15	-0.29	25
S8-10	-4.73	1.88	3.21	-3.06	0.49	0.96	-0.78	-0.70	26
甜心 Sweet heart	-7.40	-0.62	5.17	-0.28	2.16	0.53	-0.33	-0.97	27
5-79	1.40	-4.03	0.56	-0.90	-4.83	0.05	-0.03	-1.03	28
2-9	-4.44	0.02	0.93	-1.42	-1.42	2.12	1.33	-1.10	29
红手球 Hongshouqiu	-2.26	-3.29	-1.44	-0.75	2.89	-0.38	1.40	-1.21	30
奇好 Qihao	-0.25	-2.75	-1.86	-1.61	-0.36	-2.21	-0.62	-1.39	31
7-165	-0.46	-6.24	0.43	-0.04	-1.29	1.61	-1.00	-1.42	32
鲁樱2号 LY 2	-0.90	-1.11	-3.78	-5.25	2.26	-1.29	1.53	-1.60	33
彩虹 Caihong	-0.86	-4.52	-0.18	-0.42	-3.31	-0.81	-1.40	-1.72	34
红蜜 Hongmi	-11.25	0.94	-1.48	2.27	3.40	1.70	-0.73	-2.09	35
红艳 Hongyan	-4.47	-2.76	-1.29	-0.39	-1.55	-1.11	-0.79	-2.23	36
鲁樱1号 LY 1	-4.91	0.39	-4.27	-4.03	1.28	-0.08	0.76	-2.26	37
1-72	-6.54	-3.28	-1.25	-0.33	-1.14	-1.63	2.69	-2.61	38
C-1	-10.47	-1.83	0.40	-5.24	-3.23	0.67	-0.34	-4.05	39

和2.02。

综合得分与25个表型性状相关性分析结果(表8)表明,其与12个表型性状的相关性均达到了极显著水平。从果实外观层面来看,综合得分与果实纵径、果实横径、果实侧径、果皮色泽呈极显著正相关;

从果实食用层面来看,综合得分与果皮色泽、果肉颜色、单果质量、核质量、固酸比、果肉硬度呈极显著正相关;从果实营养层面来看,综合得分与可溶性固形物含量、蛋白质含量、可溶性糖含量呈极显著正相关。

表8 39份甜樱桃种质资源综合评价值(F)与25个表型性状的相关系数

Table 8 Correlation coefficients between the comprehensive evaluation value (F) of 39 sweet cherry germplasm resources and 25 phenotypic traits

性状 Trait	相关系数 Correlation coefficients	性状 Trait	相关系数 Correlation coefficients
SFW	0.609**	TSS	0.433**
FLD	0.662**	RSC	0.396*
FTD	0.509**	TAC	-0.208
FSD	0.468**	SSC/TAC	0.465**
FSL	-0.142	PPS	0.000
SLD	0.305	PF	0.431**
STD	0.365*	FS	0.330*
SM	0.409**	FAS	0.006
FSI	0.174	EC	0.436**
ER	0.276	DC	0.134
SSC	0.411**	FC	0.629**
PC	0.618**	FF	0.245
VC	0.375*		

注: *表示显著相关($p < 0.05$), **表示极显著相关($p < 0.01$)。

Note: * indicates significant correlation ($p < 0.05$), ** indicates extremely significant correlation ($p < 0.01$).

3 讨论

3.1 甜樱桃种质资源果实性状多样性分析

Shannon-Weaver多样性指数是评价种质资源多样性的重要指标之一,被广泛用于评估遗传资源和衡量表型多样性^[18]。本试验中通过对39份甜樱桃种质的25个性状进行统计,发现不同种质的果实存在显著的形态多样性。各数量性状的多样性分析结果表明,维生素C含量变异系数最大,这可能与所选品种、成熟程度、氧化程度以及储存方式等因素密切相关,导致不同种质的果实间呈现出较大差异^[19]。单果质量、果实横径、核横径和果形指数等表型性状遗传多样性指数较高,意味着这些性状蕴含丰富的变异信息。不同种质间果实大小差异明显,对评价甜樱桃种质资源表型多样性具有重要的应用价值。前人研究指出,果柄长度和果实质量可能是区分樱桃品种的最重要特征^[20]。尽管本研究中未对这两个性状进行深入分析,但其对甜樱桃种质资源的分类研究具有重要参考价值。各质量性状的多样性分析结果表明,果实成熟时,果皮色泽的遗传多样性指数最大,供试种质的果皮色泽丰富,以紫红色为主。水果果皮颜色作为重要品质属性,有助于评估水果成熟状态。研究表明,消费者在筛选水果时更倾向于

将颜色与质量当作关键标准^[21]。在本研究中,甜樱桃果皮色泽紫红色占比最大,这一现象可能与紫红色樱桃的市场受欢迎程度有一定联系^[22]。

3.2 甜樱桃种质资源果实性状相关性分析

相关性分析旨在探究性状间是否存在依存关系,常用于分析两个及两个以上相关变量,进而确定其相关程度^[23]。本研究分析结果显示,25个果实性状之间具有较程度的相关性,其中与果实营养物质相关的蛋白质含量、维生素C含量、可溶性糖含量等性状之间大多呈极显著正相关;与经济效益紧密相关的可食率、单果质量、果皮色泽、着色程度、果肉颜色、风味等性状之间同样呈现极显著正相关,此结果与Khadivi-Khub^[24]的研究相符;而数量性状与质量性状间虽存在相关性,但相关系数较低,此结果与前人的研究结果一致^[25]。

3.3 甜樱桃种质资源果实性状聚类分析

聚类分析作为实用多元统计分析领域中的新技术分支,能够有效地解决诸多实际问题^[26]。本研究中采用Ward聚类分析法,将39份甜樱桃种质资源分为3大类,I类群固酸比高、总酸含量低、口感优良,如蜜泉的固酸比达39.26,显著高于其他类群,属于口感较好的种质类型;II类群果实较大、果皮穿刺强度和果肉硬度高,例如1-53平均单果质量可达10.85 g,果肉硬度达36.28 g,属于大果硬肉种质类型;III类群富含营养物质、果皮穿刺强度和果肉硬度较低,如香泉2号可溶性固形物含量达22.7%,早大果维生素C含量达28.20 mg·100 g⁻¹,属于高糖高酸、软肉种质类型。与I类群、II类群相比,III类群在营养物质含量方面具有显著优势,但其较低的果皮穿刺强度和果肉硬度可能限制了长途运输和储存性能。基于此分类,种植者能够根据市场需求更精准地选择适合的甜樱桃种质进行种植,从而提高经济效益和市场竞争能力。

3.4 甜樱桃种质果实性状综合评价

主成分分析广泛应用在濒危植物的保护研究中^[27],其优势在于能够在不损失或少损失信息的前提下简化分类工作以反映综合指标^[28]。本研究中通过筛选得到7个主成分,累计贡献率达80.329%,能较好地反映出25个果实性状的基本特性。在育种研究领域,植物种质资源综合评价是至关重要的环节^[29]。现阶段,有关植物种质资源表型性状综合评价的研究以隶属函数法和主成分分析法获取的综合评价价值(F)应用广泛^[30]。本研究所呈现的 F 值数据表明,美早、桑提

娜、黑珍珠、福晨和早大果等品种综合表现优良,而鲁樱1号、1-72和C-1相对欠佳。本研究针对甜樱桃主要果实品质性状进行分析,然而所涉及的指标体系仍不够全面,单一指标数值的高低并不能充分确定品种的整体品质状况。不同种质的综合表现不仅与自身遗传基因、栽培环境及人为管理等诸多因素相关,此外地区适应性、高产性、抗病性及耐贮性等其他农艺性状也是甜樱桃品种评价的重要影响因素。在筛选优异材料时,数量性状易受环境影响,需开展多年多点的评价工作,还应借助分子标记技术分析自然群体遗传多样性,以便于更准确筛选^[31]。在进行大面积推广栽植甜樱桃品种之前,应当综合考量品种的丰产性、适应性及抗逆性等多项指标,以便可以有针对性地对品种加以选择和利用,进而筛选出区域适应性强且适宜广泛推广的优质品种。

4 结 论

通过聚类分析得到口感较好种质、大果硬肉种质和高营养物质含量种质3类不同用途的甜樱桃育种类群,基于主成分分析与综合评价筛选出美早、桑提娜、黑珍珠、福晨、早大果等综合性状较好的优良种质,为后续甜樱桃种质资源的挖掘利用提供有力支撑。借助综合得分与表型性状相关性分析筛选出果实纵径、果实横径、果实侧径、果皮色泽、果肉颜色、单果质量、核质量、固酸比、果肉硬度、可溶性固形物含量、蛋白质含量和可溶性糖含量12个甜樱桃表型性状评价的关键指标,为甜樱桃种质品质分析及优异种质的筛选提供了参照,对推动甜樱桃产业发展具有重要意义。

参考文献 References:

- [1] 杨映红,张丽君,刘瑾.‘布鲁克斯’甜樱桃在甘肃天水的引种表现及关键栽培技术[J].中国果树,2020(6):95-97.
YANG Yinghong, ZHANG Lijun, LIU Jin. Introduction performance and key cultivation techniques of ‘Brooks’ sweet cherry in Tianshui, Gansu Province[J]. China Fruits, 2020(6):95-97.
- [2] 张开春,闫国华,张晓明,王晶,段续伟.中国甜樱桃的栽培历史、生产现状及发展建议[J].落叶果树,2017,49(6):1-5.
ZHANG Kaichun, YAN Guohua, ZHANG Xiaoming, WANG Jing, DUAN Xuwei. Cultivation history, production status and development suggestions of sweet cherry in China[J]. Deciduous Fruits, 2017, 49(6): 1-5.
- [3] 段续伟,李明,谭钺,张晓明,王宝刚,闫国华,王晶,潘凤荣,刘庆忠,张开春.新中国果树科学研究70年:樱桃[J].果树学报,2019,36(10):1339-1351.
DUAN Xuwei, LI Ming, TAN Yue, ZHANG Xiaoming, WANG Baogang, YAN Guohua, WANG Jing, PAN Fengrong, LIU Qingzhong, ZHANG Kaichun. Fruit scientific research in new China in the past 70 years: Cherry[J]. Journal of Fruit Science, 2019, 36(10): 1339-1351.
- [4] 李颖,张树航,郭燕,张馨方,王广鹏.211份板栗种质资源花序表型多样性和聚类分析[J].中国农业科学,2020,53(22):4667-4682.
LI Ying, ZHANG Shuhang, GUO Yan, ZHANG Xinfang, WANG Guangpeng. Catkin phenotypic diversity and cluster analysis of 211 Chinese chestnut germplasms[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2020, 53(22):4667-4682.
- [5] 吴昊,苏万龙,石美娟,薛晓芳,任海燕,王永康,赵爱玲,李登科.枣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,2022,23(6):1613-1625.
WU Hao, SU Wanlong, SHI Meijuan, XUE Xiaofang, REN Haiyan, WANG Yongkang, ZHAO Ailing, LI Dengke. Diversity analysis and comprehensive evaluation of jujube fruit traits[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2022, 23(6): 1613-1625.
- [6] 齐晓茹,侯丽娟,师旭,马艳莉,赵翡,王颖.不同年份、不同葡萄品种葡萄酒品质特征分析研究[J].食品工业科技,2017,38(9):285-289.
QI Xiaoru, HOU Lijuan, SHI Xu, MA Yanli, ZHAO Fei, WANG Jie. Research of quality characteristics in grape wines from different aging vintages, grape varieties[J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(9):285-289.
- [7] 牟红梅,于强,李庆余,王义菊,姜福东,李元军,薛敏,王兆龙.基于主成分分析的烟台地区西洋梨果实品质综合评价[J].果树学报,2019,36(8):1084-1092.
MU Hongmei, YU Qiang, LI Qingyu, WANG Yiju, JIANG Fudong, LI Yuanjun, XUE Min, WANG Zhaolong. Synthetic evaluation of fruit quality of common pears (*Pyrus communis* L.) based on principal component analysis in Yantai areas[J]. Journal of Fruit Science, 2019, 36(8):1084-1092.
- [8] 李丽杰,马怀宇,吕德国,杜国栋,王超.辽宁省不同气候区域‘寒富’苹果果实品质比较[J].北方园艺,2020(12):8-16.
LI Lijie, MA Huaiyu, LÜ Deguo, DU Guodong, WANG Chao. Comparison of fruit quality of ‘Hanfu’ apple in different climatic regions of Liaoning Province[J]. Northern Horticulture, 2020(12):8-16.
- [9] 赵双,黄颖宏,郝红丽.30个杨梅品种果实品质分析与综合评价[J].果树学报,2024,41(3):392-402.
ZHAO Shuang, HUANG Yinghong, QIE Hongli. Fruit quality analysis and comprehensive evaluation of 30 bayberry varieties[J]. Journal of Fruit Science, 2024, 41(3):392-402.
- [10] 张慧艺,汪丽霞,吴伊静,毕旭灿,王刚,赵四清,徐昌杰,陈昆松.18份胡柚种质果实品质分析与综合评价[J].果树学报,2024,41(6):1033-1043.
ZHANG Huiyi, WANG Lixia, WU Yijing, BI Xucan, WANG Gang, ZHAO Siqing, XU Changjie, CHEN Kunsong. Fruit quality analysis and comprehensive evaluation of 18 Huyou (*Citrus changshanensis*) accessions[J]. Journal of Fruit Science, 2024, 41(6): 1033-1043.
- [11] 赵改荣,李明.樱桃种质资源描述规范和数据标准[M].北京:中国农业科学技术出版社,2011:1-2.
ZHAO Gairong, LI Ming. Descriptors and data standards for cherry[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology

- Press, 2011: 1-2.
- [12] 中华人民共和国农业部. 水果和蔬菜可溶性固形物含量的测定折射仪法: NY/T 2637—2014[S]. 北京: 中国农业出版社, 2014. Ministry of Agriculture of the PRC. Refractometric method for determination of total soluble solids in fruits and vegetables: NY/T 2637—2014[S]. Beijing: China Agriculture Press, 2014.
- [13] 中华人民共和国卫生部, 中国国家标准化管理委员会. 食品中还原型抗坏血酸的测定: GB/T 5009.159—2003[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003. Ministry of Health, People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Determination of reductive-form ascorbic acid in foods: GB/T 5009.159—2003[S]. Beijing: Standards Press of China, 2003.
- [14] 中华人民共和国农业部. 水果及制品可溶性糖的测定 3,5-二硝基水杨酸比色法: NY/T 2742—2015[S]. 北京: 中国农业出版社, 2015. Ministry of Agriculture of the PRC. Determination of soluble sugar in fruits and derived products—3,5-dinitrosalicylic acid colorimetry: NY/T 2742—2015[S]. Beijing: China Agriculture Press, 2015.
- [15] 国家卫生健康委员会, 国家市场监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中总酸的测定: GB 12456—2021[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021. National Health Commission of the People's Republic of China, State Administration for Market Regulation. National food safety standard- Determination of total acid in foods: GB 12456—2021[S]. Beijing: Standards Press of China, 2021.
- [16] 邓丽莉, 潘晓倩, 生吉萍, 申琳. 考马斯亮蓝法测定苹果组织微量可溶性蛋白含量的条件优化[J]. 食品科学, 2012, 33(24): 185-189. DENG Lili, PAN Xiaoqian, SHENG Jiping, SHEN Lin. Optimization of experimental conditions for the determination of water soluble protein in apple pulp using coomassie brilliant blue method[J]. Food Science, 2012, 33(24): 185-189.
- [17] 范继征, 李秀玲, 何荆洲, 曾艳华, 王丰顺, 卜朝阳. 29 个兜兰属物种的表型多样性及亲缘关系研究[J]. 植物遗传资源学报, 2023, 24(3): 680-691. FAN Jizheng, LI Xiuling, HE Jingzhou, ZENG Yanhua, WANG Fengshun, BU Zhaoyang. Studies on the phenotypic diversity and the genetic relationships of 29 species of *Paphiopedilum*[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2023, 24(3): 680-691.
- [18] PETRUCCELLI R, GANINO T, CIACCHERI L, MASELLI F, MARIOTTI P. Phenotypic diversity of traditional cherry accessions present in the Tuscan region[J]. Scientia Horticulturae, 2013, 150: 334-347.
- [19] LEE S K, KADER A A. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops[J]. Postharvest Biology and Technology, 2000, 20(3): 207-220.
- [20] GANOPOULOS I V, KAZANTZIS K, CHATZICHARISIS I, KARAYIANNIS I, TSAFTARIS A S. Genetic diversity, structure and fruit trait associations in Greek sweet cherry cultivars using microsatellite based (SSR/ISSR) and morpho-physiological markers[J]. Euphytica, 2011, 181(2): 237-251.
- [21] RUIZ D, EGEE J. Phenotypic diversity and relationships of fruit quality traits in apricot (*Prunus armeniaca* L.) germplasm[J]. Euphytica, 2008, 163(1): 143-158.
- [22] PÉREZ-SÁNCHEZ R, GÓMEZ-SÁNCHEZ M Á, MORALES-CORTES M R. Description and quality evaluation of sweet cherries cultured in Spain[J]. Journal of Food Quality, 2010, 33(4): 490-506.
- [23] 董胜君, 孙永强, 陈建华, 卢彩云, 刘权钢, 刘立新. 野杏无性系表型性状多样性分析及综合评价[J]. 植物遗传资源学报, 2020, 21(5): 1156-1166. DONG Shengjun, SUN Yongqiang, CHEN Jianhua, LU Caiyun, LIU Quanguang, LIU Lixin. Phenotypic traits diversity analysis and comprehensive evaluation of *Armeniaca vulgaris* var. *ansu* clones[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2020, 21(5): 1156-1166.
- [24] KHADIVI-KHUB A. Assessment of cultivated cherry germplasm in Iran by multivariate analysis[J]. Trees, 2014, 28(3): 669-685.
- [25] 吴迪, 付文婷, 吴康云, 王楠艺, 邱郁, 何建文. 275 份辣椒种质资源表型性状的遗传多样性分析[J]. 中国瓜菜, 2024, 37(9): 47-53. WU Di, FU Wenting, WU Kangyun, WANG Nanyi, QIU Tian, HE Jianwen. Genetic diversity analysis of phenotypic traits among 275 chili pepper germplasm resources[J]. China Cucurbits and Vegetables, 2024, 37(9): 47-53.
- [26] 任婧, 杜小平, 王迎宾, 司鲁俊, 薛志霞, 王雅楠. 番茄主要农艺性状的相关性研究[J]. 黑龙江农业科学, 2021(5): 42-45. REN Jing, DU Xiaoping, WANG Yingbin, SI Lujun, XUE Zhixia, WANG Yanan. Correlation of main agronomic traits in tomato[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2021(5): 42-45.
- [27] SNEATH P H A, SOKAL R R. Numerical taxonomy[J]. Nature, 1962, 193(4818): 855-860.
- [28] 李晓曼, 段蒙蒙, 王鹏, 汪精磊, 张晓辉, 邱杨, 王海平, 宋江萍, 李锡香. 栽培萝卜植株地上部表型多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2018, 19(4): 668-675. LI Xiaoman, DUAN Mengmeng, WANG Peng, WANG Jinglei, ZHANG Xiaohui, QIU Yang, WANG Haiping, SONG Jiangping, LI Xixiang. Phenotypic diversity analysis of cultivated radish (*Raphanus sativus* L.)[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2018, 19(4): 668-675.
- [29] 尹世华, 王康, 黄晓霞, 李淑斌, 程小毛. 47 份月季品种表型多样性分析及综合评价[J]. 江西农业大学学报, 2021, 43(1): 94-105. YIN Shihua, WANG Kang, HUANG Xiaoxia, LI Shubin, CHENG Xiaomao. Phenotypic diversity analysis and comprehensive evaluation of 47 rose resources[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2021, 43(1): 94-105.
- [30] 胡标林, 万勇, 李霞, 雷建国, 罗向东, 严文贵, 谢建坤. 水稻核心种质表型性状遗传多样性分析及综合评价[J]. 作物学报, 2012, 38(5): 829-839. HU Biaolin, WAN Yong, LI Xia, LEI Jianguo, LUO Xiangdong, YAN Wengui, XIE Jiankun. Analysis on genetic diversity of phenotypic traits in rice (*Oryza sativa*) core collection and its comprehensive assessment[J]. Acta Agronomica Sinica, 2012, 38(5): 829-839.
- [31] 王业举, 张虎, 张博, 常玉杰, 高文举, 耿世伟, 陈琴, 陈全家. 235 份陆地棉表型性状遗传多样性分析[J]. 江苏农业学报, 2023, 39(3): 636-644. WANG Yeju, ZHANG Hu, ZHANG Bo, CHANG Yujie, GAO Wenju, GENG Shiwei, CHEN Qin, CHEN Quanjia. Genetic diversity analysis of 235 upland cotton materials phenotypic traits[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2023, 39(3): 636-644.