

中国樱桃不同品种（优系）果实品质分析

陈丽娟, 王 东, 李洪雯*, 刘 佳, 张国薇

四川省农业科学院园艺研究所/国家现代农业桃产业技术体系樱桃成都综合试验站, 四川成都 610066

摘 要: 对中国樱桃果实品质进行分析, 有利于选育适合区域发展的樱桃品种, 为中国樱桃种质资源的保护奠定理论基础。本研究结合主成分分析、相关性分析和聚类分析, 选取相同栽培条件下 30 个不同品种（优系）的中国樱桃果实进行内、外品质分析。结果表明: 在相同的栽培条件下, 不同品种（优系）的中国樱桃果实品质存在显著差异, 综合性状评价得分排名依次为 C78、C6、C14、C34 和 C32, C20（贵州玛瑙红）这一品种在各地栽培均表现优异, 本次综合评价排名为 11。9 个果实内在品质指标存在不同程度的变异, 变异系数为 11.27%~36.32%。果实品质指标间存在相关系数, 其中 12 项在 0.01 水平下极显著相关, 17 项在 0.05 水平下显著相关。主成分分析结果显示, 前 7 个主成分的累计贡献率为 88.196%, 能够反映数量性状的基本特征。欧氏聚类分析结果显示, 30 个不同的中国樱桃品种（优系）初步聚为 4 大类。该研究得到的果实品质分析结果可以初步探索中国樱桃资源的遗传变异图谱, 同时也可以作为新品种选育的参考依据。

关键词: 中国樱桃; 不同品种（优系）; 品质分析; 主成分分析; 相关性分析; 聚类分析

中图分类号: S662.5 文献标识码: A

Fruit Quality Analysis of Different Chinese Cherry Varieties (Excellent Lines)

CHEN Lijuan, WANG Dong, LI Hongwen*, LIU Jia, ZHANG Guowei

Horticulture Research Institute, Sichuan Academy of Agricultural Sciences / Chengdu Cherry Comprehensive Experimental Station, National Peach System, Chengdu, Sichuan 610066, China

Abstract: The quality analysis of Chinese cherry fruit is beneficial to the selection and breeding of cherry varieties suitable for regional development. At the same time, it also lays a theoretical foundation for the protection of Chinese cherry germplasm resources. In this experiment, combining principal component analysis, correlation analysis and cluster analysis methods, 30 Chinese cherry fruits of different varieties (excellent lines) under the same cultivation conditions were selected for external and internal quality analysis. The results showed that there were significant differences in fruit quality among different varieties of Chinese cherry under the same cultivation conditions. The scores of comprehensive character evaluation ranked as C78, C6, C14, C34 and C32. Variety C20 (Manahong) has excellent cultivation performance in some provinces in China, ranked 11th in this comprehensive evaluation. The 9 fruits intrinsic quality indexes had varying degrees of variation, with variation coefficients ranged from 11.27% to 36.32%. There was a correlation coefficient between the quality indicators, among which 12 were significantly correlated at 0.01 level and 17 were significantly correlated at 0.05 level. Principal component analysis of 13 quality traits showed that the cumulative contribution rate of the first 7 principal components was 88.196%, which could reflect the basic characteristics of quantitative traits. Cluster analysis with Euclidean method showed that 30 different Chinese cherry varieties (excellent lines) were preliminarily divided into 4 categories. The fruit quality analysis results obtained in this experiment could be used to explore the genetic variation map of cherry resources in China, and also be used as a reference for new varieties breeding.

收稿日期 2023-06-16; 修回日期 2023-07-05

基金项目 农业农村部国家桃产业技术体系樱桃成都综合试验站项目 (No. CARS-30-ZY-28); 四川省科技厅“十四五”果树育种攻关项目 (No. 2021YFYZ0023); 四川省农业农村厅四川水果创新团队项目 (No. SGCXTD-2019-09)。

作者简介 陈丽娟 (1995—), 女, 硕士, 研究实习员, 研究方向: 樱桃、草莓育种与栽培。*通信作者 (Corresponding author): 李洪雯 (LI Hongwen), E-mail: 1301126101@qq.com。

Keywords: Chinese cherry; different varieties (excellent lines); quality analysis; principal component analysis; correlation analysis; cluster analysis

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2024.03.009

中国樱桃 (*Prunus pseudocerasus* Lindl.) 是中国的特色水果之一, 原产于中国, 俗称小樱桃, 隶属蔷薇科 (Rosaceae) 李属 (*Prunus* L.) 樱桃亚属 (*Cerasus* Juss), 素有“春果第一枝”的美誉, 是世界四大主栽樱桃种之一^[1]。其植株抗性强, 果实色泽鲜艳, 酸甜可口, 铁元素含量尤其高, 营养成分丰富^[2], 可溶性蛋白和可溶性糖含量高于甜樱桃^[3], 小樱桃果实成熟期早, 能满足淡季水果的消费需求。它起源于我国, 距今已有 3000 多年历史, 分布广泛、种质资源丰富, 在四川、贵州、浙江等地均有广泛栽培, 主要栽培为地方优良品种^[4]。据报道, 消费者对樱桃的满意度主要集中在颜色、质地和大小上^[5], 但是目前对中国樱桃果实品质研究较少, 多集中在果实病虫害和采后贮藏方面。

董军等^[6]通过对 13 个中国樱桃品种的综合评价发现, 黑皮、朱砂和红英 1 号适合在浙江省栽培。WANG 等^[7-8]对四川省泸定县樱桃种质资源进行了详细的调查和评价, 从中国 3 个主要分布地区收集了 46 个中国樱桃地方品种, 对其遗传多样性和果实特性进行了评价, 结果显示, 一些主要的果实性状, 比如果皮颜色、果形、大小等, 均表现出丰富的多样性。张妮等^[9]对不同地区玛瑙红樱桃进行品质差异分析, 发现不同地区的樱桃果实的硬度、营养价值都不同, 分析可能是由于地理、气候、光照时长等因素导致。

近年来, 种植樱桃是发展农旅融合、增收致富、建设美丽乡村的优选项目。对中国樱桃果实品质进行分析, 有利于选育适合区域发展的樱桃品种, 也为中国樱桃种质资源的保护及新品种选育奠定理论基础。本研究选取相同栽培条件下的 30 个不同樱桃品种 (优系) 进行果实品质分析, 剔除地理、气候等对果实品质的影响, 能真实反映不同品种的樱桃果实品质的多样性。

1 材料与方法

1.1 材料

选择位于四川省农业科学院园艺研究所种质资源圃的栽培条件相同的 30 个不同品种 (优系) 中国樱桃成熟果实 (表 1)。采摘每个品种 (优系)

果实 1 kg, 选择果面光滑、完整, 带果柄, 无病虫害且果实状态较为一致的 30 个鲜果作为实验材料。采摘后立即运回实验室放置, 去除田间热后进行实验。

表 1 相同栽培条件下的 30 个不同中国樱桃品种 (优系)
Tab. 1 30 Chinese cherry varieties (excellent lines) under the same cultivation conditions

编号 No.	品名 Variety	编号 No.	品名 Variety
C1	攀枝花米易短柄	C23	贵州野马小樱桃 2 号
C2	重庆乌皮	C24	郑州糙樱桃
C3	山东崂山樱桃	C26	河南新蔡樱桃
C4	山东莱山短柄樱桃	C29	陕西秦岭黄樱
C5	浙江杭州黑皮	C31	南方红 (江西)
C6	浙江大果短柄	C32	朱砂红
C7	汉源黑皮	C34	红珍珠
C10	山东枣庄樱桃	C36	香妃
C12	汶川白樱桃	C38	云通 2 号
C13	汶川小黑樱桃	C39	云通 3 号
C14	简阳大果脆	C40	紫珍珠
C19	理县小樱桃	C41	玉赤
C20	贵州玛瑙红	C42	湖北宜昌樱桃
C21	江苏小樱桃	C46	汶川樱桃
C22	贵州野马小樱桃 1 号	C78	简阳紫砂樱桃

试验所用仪器与设备包括: 果实色差仪 NH300、游标卡尺、ITALY G.26356 硬度计、便携式 ATAGO PAL-1、Vc 测定仪 Rqflex plus 10 等。

1.2 方法

1.2.1 外在品质分析 (1) 果实单果重 (FW) 测定。去除果柄, 将 30 个果实一起称重后求取平均值, 单位: g。(2) 果实色差测定。使用色差仪 NH300 测定每个果实的 3 个不同的面, 记录果实色泽明暗度 L 值, 果实色泽红绿差异 a^* 值, 果实色泽蓝绿差异 b^* 值。每重复 10 个果。(3) 果实果形指数 (FSI) 测定。使用游标卡尺测定果实的纵径、横径及果柄长度 (SL), 单位: mm。计算其果形指数, 果形指数=纵径/横径。

1.2.2 内在品质分析 (1) 果实硬度 (H) 测定。参照冯婧熙等^[10]的方法, 每重复 10 个果, 每个果探头对准果实的中部位置, 测定 2 次, 2 次测

定位置保持相互垂直, 单位: kg/cm^2 ; (2) 果实可溶性固形物含量 (TSS) 测定。每重复 10 个果, 挤出果汁, 用便携式 ATAGO PAL-1 测定果实可溶性固形物的含量, 单位: %; (3) 果实总糖 (TS) 含量测定。参照 NY/T 2742—2015, 单位: %; (4) 果实还原糖 (RS) 测定。参照 GB 5009.7—2016, 单位: $\text{g}/100 \text{ g}$; (5) 果实总酸 (TA) 含量测定。参照 GB 12456—2021, 单位: g/kg ; (6) 果实 Vc 含量测定。每重复 10 个果, 挤出果汁, 用 Rqflex plus 10 测定果实 Vc 的含量, 单位: $\text{mg}/100 \text{ mL}$; (7) 果实铁元素 (Fe) 含量测定。参照 GB 5009.268—2016, 单位: mg/kg ; (8) 果实 β -胡萝卜素 (β -C) 含量测定。参照 GB 5009.83—2016, 单位: $\mu\text{g}/100 \text{ g}$; (9) 果实类黄酮 (以芦丁计) 含量测定。参照 SN/T 4592—2016; (10) 果实总酚 (TP) 含量测定。参照 GB/T 8313—2018, 单位: %。

1.3 数据处理

采用 SPSS 26 和 Excel 2010 软件进行数据处理, 结果以平均数 $\pm$ 标准差表示。热图由免费的数据分析和可视化在线平台 (<https://www.bioinformatics.com.cn>) 绘制。采用 SPSS 26、Heml 1.0 软件^[11]、Adobe Photoshop 2021 和 Adobe Illus-

trator 2021 软件进行主成分分析及绘图。采用 Origin 2022b 软件进行聚类分析。

2 结果与分析

2.1 中国樱桃果实外在品质分析

2.1.1 中国樱桃果实单果重差异分析 中国樱桃果实较小 (图 1), 在本次测得的 30 个不同中国樱桃品种 (优系) 中, 平均单果重为 2.05~5.67 g (图 2)。其中, 平均单果重最大的为 C78, 最小的为 C3。目前生产上较广泛种植的 C20 为 4.32 g, 玛瑙红樱桃为贵州省纳雍县选育的品种, 其耐贮性好、品质优、适应性强, 于 2011 年通过品种审定, 现省内种植面积已超 2 万 hm^2 , 在贵州脱贫攻坚期间作出过突出贡献^[12]。

2.1.2 中国樱桃果实果形指数及果柄长度差异分析 中国樱桃果形丰富, 有卵圆形、球形、心脏形、圆锥形、扁圆球形、扁心脏形等。本研究结果中, 生产上较广泛种植的 C20 果形指数最大, 为 1.25, 其果形为心脏形 (图 3)。本次所测的 30 个样本中果柄长度最长的是 C41, 为 25.09 mm, 最短的是 C31, 为 13.89 mm。中国樱桃平均果柄长度为 19.36 mm。

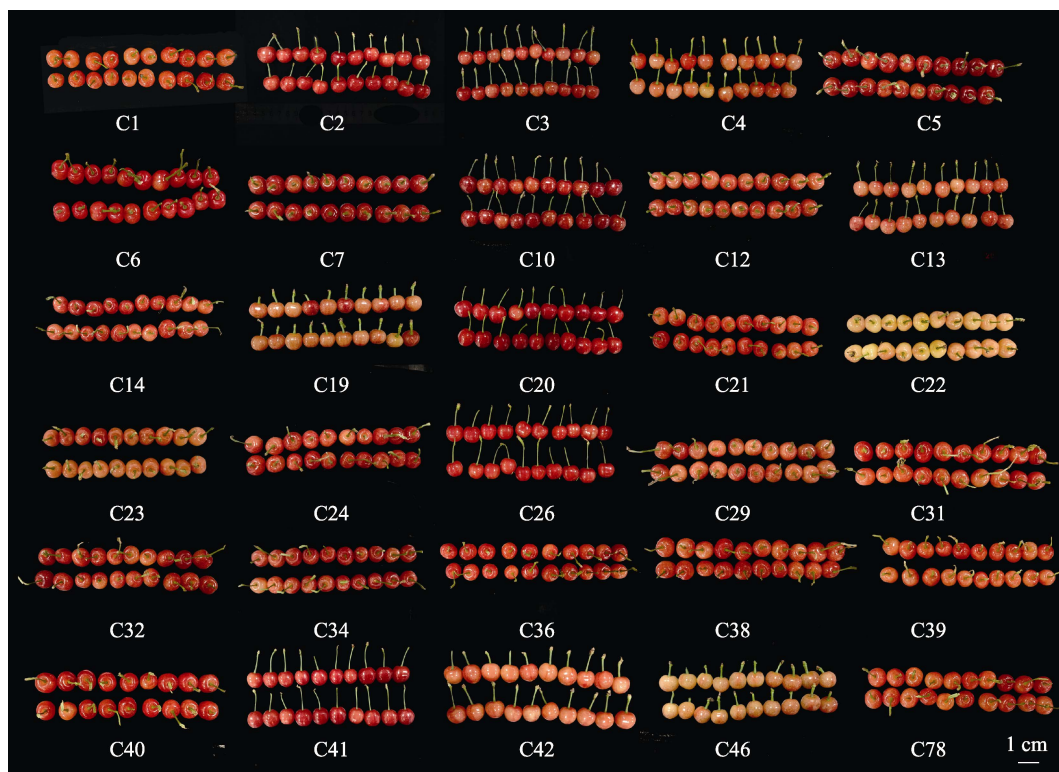


图 1 供试中国樱桃果实

Fig. 1 Chinese cherry fruit used in the experiment

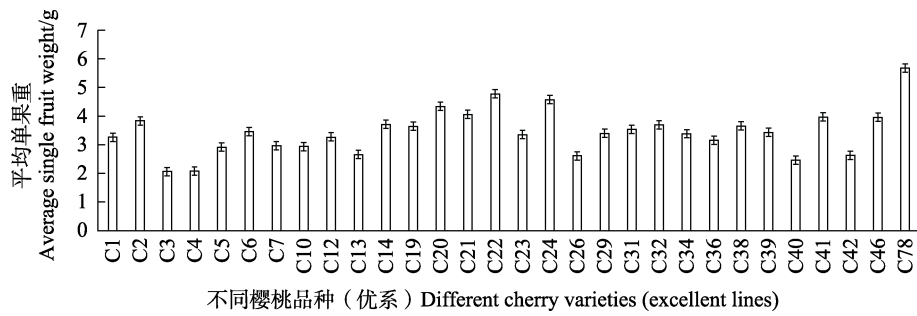


图 2 不同中国樱桃的平均单果重比较

Fig. 2 Differences of average single fruit weight among different Chinese cherry varieties (excellent lines)

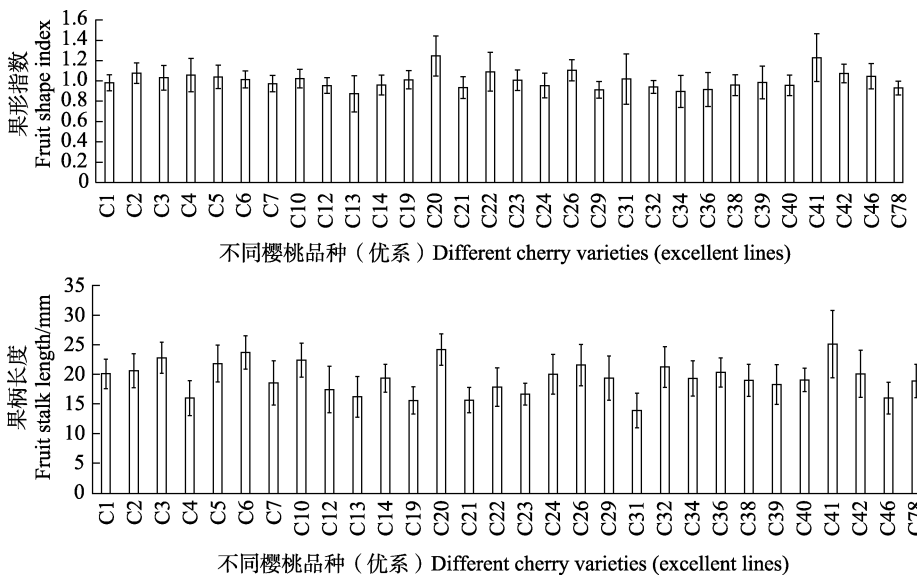


图 3 不同中国樱桃果形指数和果柄长度比较

Fig. 3 Differences of fruit shape index and stalk length among different Chinese cherry varieties (excellent lines)

2.1.3 中国樱桃果实色差值差异分析 本研究中，中国樱桃果实颜色鲜艳，主要以红色和橙红色为主，橙黄、黄色占少数（图 4）。 L 值反映果皮颜色的明暗度， L 值越大代表颜色越亮，果皮颜色较亮的有 C4、C22、C23，果皮颜色较暗的有 C3、C19。 a^* 值反映果皮红绿色差， a^* 值为正代表果皮颜色偏红，数值越大颜色越深， a^* 值较大的为 C26、C2、C5、C7，较小的为 C22、C46。 b^* 值反映果皮黄蓝色差，正值代表果皮颜色偏黄，数值越大颜色越深， b^* 值较大的为 C22、C23、C4，较小的为 C20、C41。本研究结果中，果皮 L 值最大的 C22，为 47.25；最小的 C3，为 28.60。 a^* 值最大的 C26，为 25.02；最小的 C22，为 10.73。 b^* 值最大的 C22，为 16.96；最小的 C20，为 5.37。生产上较广泛种植的 C20，果皮 L 值为 31.52， a^* 值为 19.97， b^* 值为 5.37，果皮颜色偏红，色亮。

2.2 中国樱桃果实内在品质多样性分析

中国樱桃果实不耐运输贮藏，硬度较小（表 2），本次所测的 30 个样本中，果实硬度的变异范围在 0.07~0.25 kg/cm² 之间。可溶性固形物含量、总糖含量和总酸含量是衡量果实内在品质的重要指标。总糖的变异范围为 4.59%~11.02%，可溶性固形物的变异范围为 8.77%~16.63%，总酸的变异范围为 6.40~15.40 g/kg，糖酸比的变异范围为 3.38~11.52，还原糖的变异范围为 4.50~10.50 g/100 g，Fe 元素的变异范围为 2.87~5.88 mg/kg， β -胡萝卜素的变异范围为 54.80~216.00 μ g/100 g，总酚的变异范围为 0.02%~0.04%，Vc 的变异范围为 5.87~12.60 mg/100 mL。9 个内在品质存在不同程度的变异情况，其中可溶性固形物、总糖、还原糖、Fe 元素等指标在 30 个品种间的变异相对较小，9 个指数的变异系数范围在 11.27%~36.32% 之间， β -胡萝卜素的变异系数最大，可溶性固形物的变异系数最小。

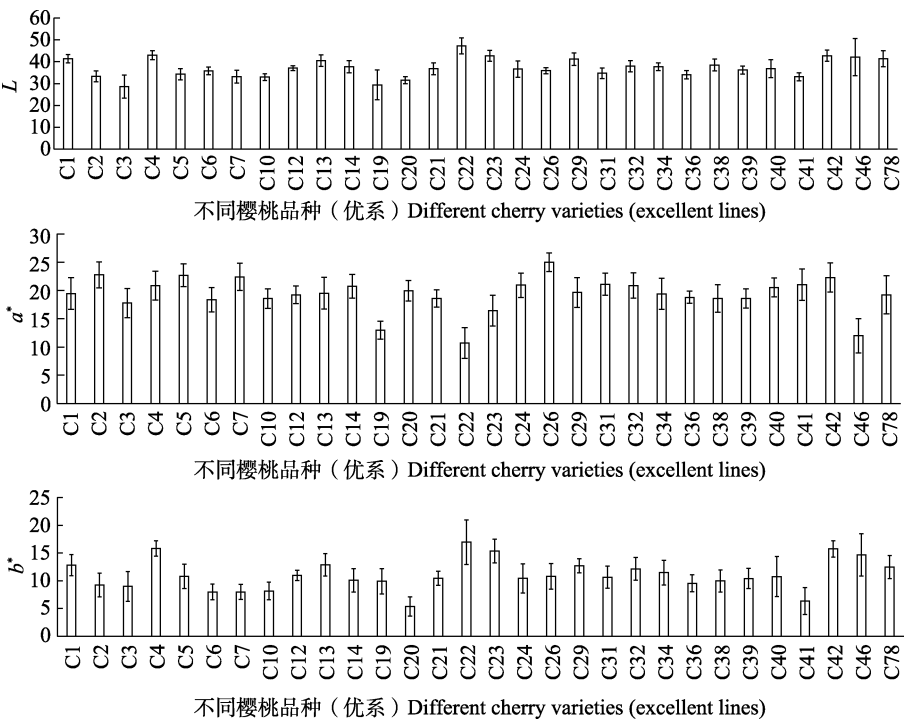


图 4 中国樱桃果实色差值差异
Fig. 4 Color difference of Chinese cherry fruit

表 2 中国樱桃内在品质分析
Tab. 2 Traits and distribution of Chinese cherry internal quality

项目 Item	均值± 标准差 Mean±SD	极小值 Minimum value	极大值 Maximum Value	变异系数 Variable coefficient/%
硬度/(kg·cm ⁻²)	0.13±0.04	0.07	0.25	31.69
总糖/%	8.61±1.32	4.59	11.02	15.37
可溶性固形物/%	13.62±1.53	8.77	16.63	11.27
总酸/(g·kg ⁻¹)	10.37±2.48	6.40	15.40	23.90
糖酸比	8.99±3.11	3.38	15.52	34.60
还原糖/[g·(100 g) ⁻¹]	8.31±1.27	4.50	10.50	15.33
Fe/(mg·kg ⁻¹)	4.37±0.76	2.87	5.88	17.32
β-胡萝卜素 /[μg·(100 g) ⁻¹]	108.98±39.59	54.80	216.00	36.32
总酚/%	0.03±0.01	0.02	0.04	22.77
Vc/[mg·(100 mL) ⁻¹]	9.23±1.84	5.87	12.60	19.95

2.3 中国樱桃品质相关性分析

中国樱桃不同品种（优系）果实品质性状间的相关性分析结果如图 5 所示。15 个品质指标共 90 个相关系数，其中呈极显著相关的为 12 个（ $P < 0.01$ ），显著相关的为 17 个（ $P < 0.05$ ）。果形指数与总酸呈极显著负相关。 b^* 值反映果实黄蓝的色差变化， b^* 值越大，表示色泽偏黄。 L 值反映果实黑白亮度的色差变化， L 值越大表示色泽越亮。 b^* 值与果柄长度呈极显著负相关，与 L^* 、可

溶性固形物含量、还原糖含量呈显著正相关。 L^* 与还原糖含量呈极显著负相关。总酚与可溶性固形物含量、还原糖含量呈极显著正相关，与硬度、总酸含量呈极显著负相关。还原糖含量与总糖含

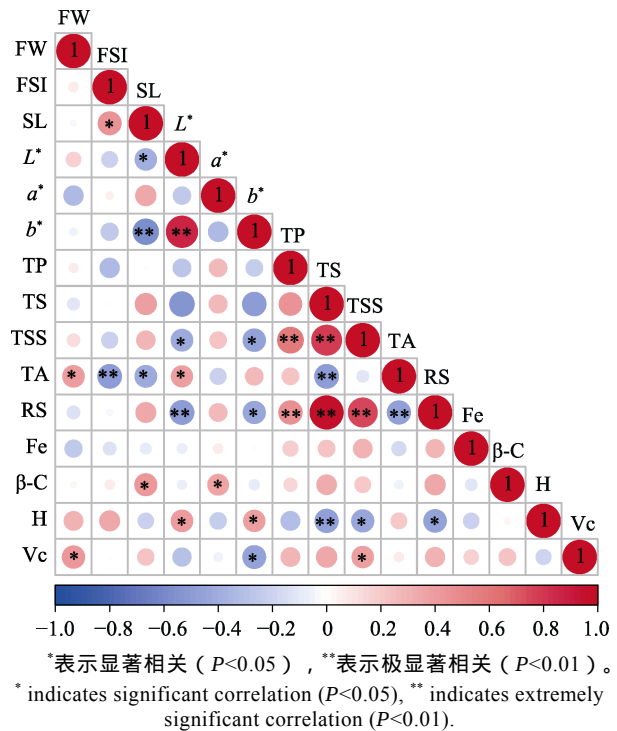


图 5 中国樱桃不同品种（优系）果实品质性状相关性分析
Fig. 5 Correlation analysis of fruit quality traits among different Chinese cherry varieties (excellent lines)

量呈极显著正相关，与可溶性固形物含量呈极显著负相关。

2.4 中国樱桃品质主成分分析

以特征值大于 0 为标准，提取 PC1、PC2、PC3、PC4、PC5、PC6、PC7 共 7 个主成分，7 个主成分的累积贡献率为 88.196%（表 3）。7 个主成分的特征值分别为 5.507、2.309、1.872、1.342、1.145、0.805、0.699；贡献率分别为 33.714%、15.390%、12.482%、8.949%、7.634%、5.364%、4.662%。通过分析不同性状对主成分的贡献度可知（图 6），主成分 PC1 中特征向量所凝聚的生物学信息主要是总糖和可溶性固形物、还原糖；主成分 PC2 中特征向量所凝聚的生物学信息主要是总酚和总酸；主成分 PC3 中特征向量所凝聚的生物学信息主要是单果重；主成分 PC4 中特征向量所凝聚的生物学信息主要是 β -胡萝卜素；主成分 PC5 中特征向量所凝聚的生物学信息主要是 Fe 含量和 b^* ；主成分 PC6 中特征向量所凝聚的生物学信息主要是 Fe 含量；主成分 PC7 中特征向量所凝聚的生物学信息主要是总酚和硬度。

表 3 中国樱桃果实品质主成分特征值、贡献率和累积贡献率

Tab. 3 Eigenvalues, contribution rate and cumulative contribution rate of principal components of Chinese cherry fruit quality

项目 Item	成分 Component						
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7
特征值	5.507	2.309	1.872	1.342	1.145	0.805	0.699
贡献率/%	33.714	15.390	12.482	8.949	7.634	5.364	4.662
累积贡献率/%	33.714	49.104	61.586	70.536	78.17	83.534	88.196

FW	-0.028	0.119	0.451	-0.076	0.122	-0.074	0.100	0.71
FSI	0.014	-0.349	0.163	-0.092	0.189	0.201	0.341	
SL	0.113	-0.226	0.152	0.132	-0.072	0.040	-0.306	0.54
L^*	-0.146	0.097	-0.021	0.269	0.291	-0.023	-0.215	
a^*	0.090	-0.083	-0.120	0.394	-0.331	0.418	0.174	0.37
b^*	-0.146	0.093	-0.150	0.243	0.350	-0.133	-0.033	
TP	0.099	0.261	0.020	0.120	-0.146	0.140	0.561	0.19
TS	0.178	0.038	-0.038	0.037	0.255	0.294	0.109	
TSS	0.154	0.177	0.040	0.015	0.131	-0.109	0.186	0.02
TA	-0.092	0.277	0.178	0.108	-0.304	0.149	0.024	
RS	0.173	0.050	-0.059	0.064	0.279	-0.260	0.150	-0.15
Fe	0.054	0.115	-0.224	-0.169	0.359	0.796	-0.139	
β -C	0.071	-0.045	0.145	0.569	0.109	0.040	-0.340	-0.32
H	-0.115	-0.099	0.195	0.142	0.275	0.254	0.608	
Vc	0.091	0.124	0.311	-0.150	0.106	0.309	-0.493	-0.49
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	

图 6 不同性状对中国樱桃主成分的贡献

Fig. 6 Contribution of different characters to principal components of Chinese cherry

最后筛选出硬度、可溶性固形物、Vc、单果重、总酚、可溶性糖、Fe、 β -胡萝卜素等 8 个正向指标，对不同品种的樱桃进行综合评分。得分越高，则该品种综合品质相对较好，由表 4 可以看出，综合评价得分排名前五的品种依次为 C78，C6，C14，C34，C32。C78 品种综合评价得分最高，该果实实际表现也比较优异，C22 排名最后，其中 C20 排名 11，该品种因为综合品质优异，在生产上广泛种植。

表 4 中国樱桃部分果实品质综合评价
Tab. 4 Comprehensive evaluation of fruit quality of Chinese cherry

品种 Variety	综合评价得分 Comprehensive evaluation score	排名 Ranking	品种 Variety	综合评价得分 Comprehensive evaluation score	排名 Ranking
C78	1.8908	1	C5	1.1084	16
C6	1.6922	2	C41	1.1035	17
C14	1.6101	3	C1	1.0753	18
C34	1.5663	4	C21	1.0713	19
C32	1.4841	5	C23	1.0661	20
C36	1.4705	6	C42	1.0496	21
C19	1.4198	7	C4	0.9910	22
C10	1.4103	8	C46	0.9649	23
C31	1.2999	9	C3	0.9616	24
C7	1.2739	10	C26	0.9066	25
C20	1.2503	11	C38	0.8944	26
C2	1.2430	12	C29	0.8906	27
C40	1.2020	13	C12	0.7581	28
C39	1.1513	14	C13	0.5466	29
C24	1.1265	15	C22	0.3695	30

2.5 中国樱桃品质聚类分析

聚类分析采用 z-score 标准化，Origin 画图，根据 Euclidean 法进行聚类分析（图 7）。聚类分

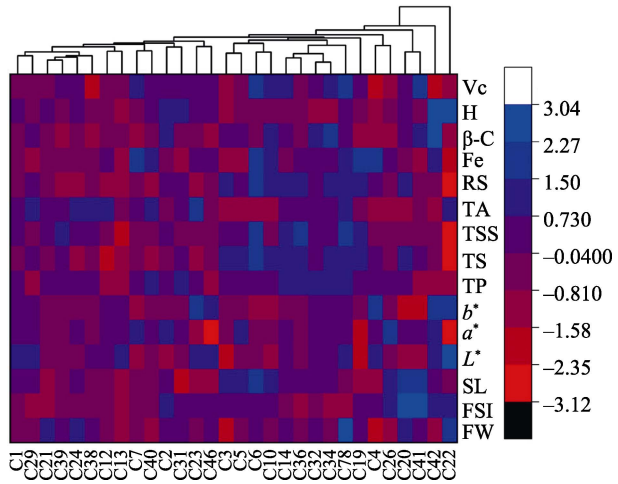


图 7 不同中国樱桃品种（优系）的聚类分析

Fig. 7 Cluster analysis of different Chinese cherry varieties (excellent lines)

析表示, 30 个不同中国樱桃品种(优系)被分为四大类: 一类以 C22 为代表, 其单果重较大, 颜色偏黄, 硬度较大, 总酸含量高, 总糖含量、可溶性固形物含量和还原糖含量低; 一类以 C42 为代表, 其颜色橙黄, 硬度较大, β -胡萝卜素含量高, Vc 含量低; 一类以 C41 和 C20 为代表, 其颜色鲜红, 果大, 果形指数及果柄长度较大; 其余品种(优系)为一类。

3 讨论

中国樱桃历史悠久, 资源丰富。虽然不耐贮藏和运输^[13], 但是其品种丰富, 果实颜色鲜艳, 滋味可口, 富含多种营养物质, 成熟期早, 抗逆性强^[14], 是发展农旅融合、增收致富、建设美丽乡村的优选。本研究选择了 30 个相同栽培条件下的不同中国樱桃品种(优系), 测定了 13 个品质指标。果实的外在和内在品质表现容易受自然环境的影响, 同一种樱桃在不同区域种植其果实品质也会存在差异, 该研究排除了栽培条件的影响。

本研究结果表明, 中国樱桃果实颜色鲜艳, 色泽明亮, 多数以红色为主, 部分呈现黄红、黄色。果实形状多样, 心脏形、圆形等, 营养物质丰富。果实普遍较小, 平均单果重在 2.05~5.67 g 之间, L 值在 28.60~47.25 之间; a^* 值在 10.73~25.02 之间, b^* 值在 5.37~16.96 之间, 果形指数在 0.87~1.25 之间, 果形端正是优质果实的一种重要的外在体现, 果实形状是影响果实商品品质的重要性状之一^[15], 该结果表明中国樱桃果实偏向近圆形。果柄长度在 13.89~25.09 mm 之间, 有研究表明, 甜樱桃果柄越长越耐贮藏^[16], 但对于中国樱桃果柄长度与贮藏运输的关系还不了解。果实硬度在 0.07~0.25 kg/cm² 之间, 该结果表明中国樱桃果实不耐贮藏运输, 硬度最大的 C22 为 0.25 kg/cm²。可溶性固形物含量在 8.77%~16.63% 之间, 总糖含量在 4.59%~11.02% 之间, 还原糖含量在 4.5%~10.5% 之间, 总酸含量在 6.4~15.4 g/kg 之间, Vc 含量在 5.87~12.6 mg/100 mL 之间, Fe 元素含量在 2.87~5.88 mg/kg 之间, 研究表明, 中国樱桃 Fe 元素含量丰富, 有的 Fe 含量可以达到 24.2 mg/kg^[17]。 β -胡萝卜素含量在 54.80~216 μ g/100 g 之间, 总酚含量在 0.02%~0.04% 之间。本研究的中国樱桃品质性状与此前报道^[8, 18]的品质性状相差不大。本研究结果表明, 在相同的栽培条件下, 不同品种

(优系)的中国樱桃果实品质依然差异显著, 因此, 选择优质、高产、高效益的品种是关键。WANG 等^[19]于 2022 年初步建立了中国樱桃 DUS 检测指标体系建议, 由于可溶性糖、可溶性蛋白、酚类、黄酮类和花青素含量的重要性和表型变化丰富, 在中国樱桃的 DUS 检测指南中也应补充这些含量。所以本研究将有助于丰富我国樱桃描述体系, 完善我国樱桃 DUS 测试指南。

在果实品质评价中, 由于各性状指标无明显主次之分, 如仅简单选取一个或几个相关联的指标来评价品质优劣不甚科学, 因此需要进行综合评价^[20]。关于梨^[21]、李^[22]、芒果^[23]、龙眼^[24]等果树种质的综合评价已有大量报道, 但是中国樱桃品质方面的综合评价较少。本研究选取 30 种中国樱桃的硬度、可溶性固形物、Vc、单果重、总酚、可溶性糖、Fe、 β -胡萝卜素等 8 个果实品质性状进行综合评价, 排除对综合评价有负面影响的指标, 综合评价得分总体排名前五依次为 C78、C6、C14、C34 和 C32, 果实综合品质表现佳, 可进一步作为种质创新和育种利用候选资源, 其中, C6 成熟期尤其早, 果实生育期短, 颜色橙红, 可溶性固形物含量达到 16.63%, 总酸含量 7.1 g/kg, 单果重为 3.44 g, Fe 含量为 5.57 mg/kg, Vc 含量 12.4 mg/100 mL, β -胡萝卜素含量为 83.5 μ g/100 g。C20 这一品种在各地栽培均表现优异, 本次综合评价排名为 11, 本试验表明其颜色鲜红, 单果重达到 4.32 g, 可溶性固形物含量达到 13.17%, 总酸含量为 7.4 g/kg, Fe 含量 4.03 mg/kg, β -胡萝卜素含量 125 μ g/100 g, 曹雪娇等^[25]建议玛瑙红樱桃的果实单果质量 ≥ 3 g 且可溶性固形物含量 $\geq 13\%$ 为一等果, 单果质量 ≥ 2.5 g 且可溶性固形物含量 $\geq 11\%$ 为二等果。可以看出, 本试验中所测得的玛瑙红樱桃品质优。C22 排名最末, 但其硬度是本研究中最大, 为 0.25 kg/cm², 果实为黄红色、色泽明亮。综上, 有些在生产上表现优异的品种在综合评价当中并未体现出来, 需要结合行业标准与新植物品种保护权等方法进一步评价。本研究对中国樱桃果实性状的综合评价分析可为杂交育种筛选提供参考。

本研究中并未测得类黄酮(以芦丁计)物质, 而据相关研究报道, 中国樱桃是含有类黄酮物质^[26-27], 分析本次未测到其原因可能是测定方法或者其他问题影响。9 项果实内在品质指标存在不

同程度的变异, 变异系数在 11.27%~36.32% 之间, 可见变异丰富。其中, β -胡萝卜素的含量变异系数最大, 变异范围在 54.80~216.00 $\mu\text{g}/100\text{g}$ 之间; 其次, 硬度、糖酸比、总酸、Vc、总酚变异系数分别为 31.69%、34.60%、23.90%、19.95%、22.77%, 表明这 6 个品质指标具有较高的改良潜力, 有利于选育特异种质。13 项品质指标之间共有 90 对相关关系, 部分指标间存在极显著或显著正(负)相关, 其中 12 项呈极显著相关 ($P<0.01$), 17 项呈显著相关 ($P<0.05$)。由此可以推断, 在优良单株选育中, 应充分考虑性状间的相互制约^[28]。主成分分析可以根据品质特征建立相似的基因型群, 并研究各性状间的关系^[29], 对 13 个品质性状的主成分分析表明, 前 7 个主成分的累积贡献率达 88.196%, 能反映数量性状的基本特征。聚类分析将 30 个樱桃品种(优系)初步划分为 4 类, 一类以 C22 为代表, 其单果重较大, 颜色偏黄, 硬度较大, 总酸含量高, 总糖、可溶性固形物和还原糖含量低; 一类以 C42 为代表, 其颜色橙黄, 硬度较大, β -胡萝卜素含量高, Vc 含量低; 一类以 C41 和 C20 为代表, 其颜色鲜红, 果大, 果形指数大, 果柄长度较长; 其余品种(优系)为一类。

本研究对不同品种(优系)的中国樱桃果实品质进行了分析, 中国樱桃果实的 β -胡萝卜素含量、硬度、糖酸比、总酸、Vc 含量和总酚含量等性状变异系数较大, 具有较高的改良潜力。一些品质性状之间具有高度的相关性, 品种选育时应充分考虑性状间的相关性, 通过综合评价初步筛选出本次综合性状优异的品种(优系), 为后期资源保存、选育或杂交提供理论数据。

参考文献

- [1] 刘针杉, 涂红霞, 周荆婷, 马艳, 柴久凤, 王旨意, 杨鹏飞, 杨小芹, KUMAIL A, 王浩, 王燕, 王小蓉. 中国樱桃正反交 F_1 代果实主要性状的遗传分析[J]. 中国农业科学, 2023, 56(2): 345-356.
LIU Z S, TU H X, ZHOU J T, MA Y, CHAI J F, WANG Z Y, YANG P F, YANG X Q, KUMAIL A, WANG H, WANG Y, WANG X R. Genetic analysis of fruits characters in reciprocal cross progenies of Chinese cherry[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2023, 56(2): 345-356. (in Chinese)
- [2] 李航, 陶海青, 陈益香, 龚成宇, 杨科, 龚荣高. 2 种中国樱桃果实有机酸积累及代谢相关酶活性的研究[J]. 西北农业学报, 2019, 28(12): 2019-2026.
LI H, TAO H Q, CHEN Y X, GONG C Y, YANG K, GONG R G. Evaluation of organic acid accumulation and metabolism related enzymes activities in two Chinese cherry fruits[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2019, 28(12): 2019-2026. (in Chinese)
- [3] 赵胜锦. 中国樱桃的果实软化生理及贮藏性研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2014.
ZHAO S J. The research of Chinese cherry's softening physiology and storage properties[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2014. (in Chinese)
- [4] 张序, 刘洁, 李公存, 李延菊. 中国樱桃果实香气组分分析[J]. 安徽农业科学, 2021, 49(22): 194-195.
ZHANG X, LIU J, LI G C, LI Y J. Analysis of aroma components of Chinese cherry fruit[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2021, 49(22): 194-195. (in Chinese)
- [5] ANDRES C, AGUILERA M, CABANA R, MORA M. Chinese consumers' purchase intention of fresh cherries: modeling of relations between satisfaction and perceived quality[J]. Revista De La Facultad De Ciencias Agrarias, 2021, 53(2): 204-213.
- [6] 董军, 洪莉, 陈令会. 不同中国樱桃品种生物学性状的比较研究[J]. 中国南方果树, 2019, 48(6): 106-109.
DONG J, HONG L, CHEN L H. Comparative study on biological characters of different Chinese cherry varieties[J]. South China Fruits, 2019, 48(6): 106-109. (in Chinese)
- [7] WANG Y, ZHANG H W, CHEN T, ZHANG J, CHEN Q, YANG S F, WANG X R. Survey and evaluation of Chinese cherry germplasms in Luding county, Sichuan province[C]. Proceedings of 2019 The 3rd International Conference on Agricultural and Food Science, 2019.
- [8] WANG Y, ZHANG J, LIU Z S, CHEN Q, YANG S F, WANG X R. Diversity and comparative evaluation of fruit traits of 46 Chinese cherry landraces[C]. Proceedings of 2019 5th International Conference on Advances in Energy Resources and Environment Engineering (ICAESSEE 2019). IOP Publishing, 2019.
- [9] 张妮, 陶秋运, 普莹莹, 曹森, 王瑞, 吉宁. 不同地区玛瑙红樱桃品质差异分析[J]. 食品工业科技, 2022, 43(23): 95-102.
ZHANG N, TAO Q Y, PU Y Y, CAO S, WANG R, JI N. Analysis on quality difference of agate red cherry in different regions[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(23): 95-102. (in Chinese)
- [10] 冯婧熙, 林登蕃, 陶光灿, 李林竹, 龙安禄, 饶玲丽, 杨斌. 低温贮藏结合 ClO_2 处理对‘玛瑙红’樱桃保鲜效果及品质变化的影响[J]. 现代农业科技, 2022(6): 167-173.
FENG J X, LIN D F, TAO G C, LI L Z, LONG A L, RAO L L, YANG B. Effects of low temperature storage combined

- with ClO₂ treatment on preservation effect and quality changes of *Prunus pseudocerasus* ‘Manahong’[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2022(6): 167-173. (in Chinese)
- [11] DENG W K, WANG Y B, LIU Z X, CHENG H, YU X. HemI: a toolkit for illustrating heatmaps[J]. *PLoS One*, 2014, 9(11): 5.
- [12] 田田, 文晓鹏, 王丽丽, 路凤菊, 赵霞, 乔光. 避雨栽培对玛瑙红樱桃果实品质的影响及效益分析[J]. *中国南方果树*, 2023, 52(2): 135-138.
- TIAN T, WEN X P, WANG L L, LU F J, ZHAO X, QIAO G. Effects of rain shelter on fruit quality and economic benefit of Manahong cherry[J]. *South China Fruits*, 2023, 52(2): 135-138. (in Chinese)
- [13] 朱先波, 肖涛, 彭家清. 十堰市中国樱桃贮藏保鲜方法研究[J]. *现代农业科技*, 2016, 684(22): 258-259.
- ZHU X B, XIAO T, PENG J Q. Study on storage and fresh keeping of Chinese cherry in Shiyan city[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2016, 684(22): 258-259. (in Chinese)
- [14] TIAN T, QIAO G, DENG B, WEN Z, HONG Y, WEN X P. The effects of rain shelter coverings on the vegetative growth and fruit characteristics of Chinese cherry (*Prunus pseudocerasus* Lindl.)[J]. *Scientia Horticulturae*, 2019, 254: 228-235.
- [15] MAEDA H, AKAGI T, TAO R. Quantitative characterization of fruit shape and its differentiation pattern in diverse persimmon (*Diospyros kaki*) cultivars[J]. *Scientia Horticulturae*, 2018, 228: 41-48.
- [16] 刘志应, 李新苗, 乔明菲, 王利杰, 张娟. 设施栽培下 5 个甜樱桃品种果实品质比较[J]. *绿色科技*, 2023, 25(9): 84-88.
- LIU Z Y, LI X M, QIAO M F, WANG L J, ZHANG J. Comparison of fruit quality of 5 *Prunus avium* L varieties under facility cultivation[J]. *Journal of Green Science and Technology*, 2023, 25(9): 84-88. (in Chinese)
- [17] LI W D, LI O, MO C, JIANG Y S, HE Y, ZHANG A R, CHEN L M, JIN J S. Mineral element composition of 27 Chinese dwarf cherry [*Cerasus humilis* (Bge.) Sok.] genotypes collected in China[J]. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 2014, 89(6): 674-678.
- [18] 韩金龙, 童晓利, 曹荣祥, 唐泉, 吕伟俊, 郭成宝. 中国樱桃品种在南京地区的引种试验[J]. *安徽农业科学*, 2022, 50(3): 53-55.
- HAN J L, TONG X L, CAO R X, TANG Q, LYU W J, GUO C B. Introduction experiment of Chinese cherry varieties in Nanjing region[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2022, 50(3): 53-55. (in Chinese)
- [19] WANG Y, HU G P, LIU Z S, ZHANG J, MA L, TIAN T, WANG H, CHEN T, CHEN Q, HE W, YANG S F, LIN Y X, ZHANG Y T, LI M Y, ZHANG Y, LUO Y, TANG H R, WANG X R. Phenotyping in flower and main fruit traits of Chinese cherry [*Cerasus pseudocerasus* (Lindl.) G. Don][J]. *Scientia Horticulturae*, 2022, 296: 9.
- [20] 梁艳萍, 丁仁展, 杨书宇, 陈瑶, 陶虹, 李坤明. 28 个云南野生中华猕猴桃单株果实品质分析及综合评价[J]. *中国南方果树*, 2023, 52(3): 116-121.
- LIANG Y P, DING R Z, YANG S Y, CHEN Y, TAO H, LI K M. Analysis and comprehensive evaluation of fruit quality characters of 28 wild *actinidia chinensis* in Yunnan[J]. *South China Fruits*, 2023, 52(3): 116-121. (in Chinese)
- [21] 曾少敏, 陈小明, 黄新忠. 福建地方梨资源果实性状多样性分析及其数量分类研究[J]. *园艺学报*, 2019, 46(2): 237-251.
- ZENG S M, CHEN X M, HUANG X Z. Fruit character diversity analysis and quantitative classification of local pear resources in Fujian province[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2019, 46(2): 237-251. (in Chinese)
- [22] 林存学, 杨晓华, 刘海荣. 东北寒地 96 份李种质资源表型性状遗传多样性分析[J]. *园艺学报*, 2020, 47(10): 1917-1929.
- LIN C X, YANG X H, LIU H R. Genetic diversity analysis of phenotypic traits of 96 plum germplasm resources in Northeast cold region[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2020, 47(10): 1917-1929. (in Chinese)
- [23] 武红霞, 李星, 许文天, 郑斌, 马小卫, 苏穆清, 梁清志, 姚全胜, 王松标. 芒果金煌 ‘热农 1 号’ 后代果实性状遗传分析[J]. *园艺学报*, 2022, 49(2): 416-426.
- WU H X, LI X, XU W T, ZHENG B, MA X W, SU M Q, LIANG Q Z, YAO Q S, WANG S B. Genetic analysis of fruit traits in F₁ progenies of ‘Chinhuang’ x ‘Renong1’ mango[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2022, 49(2): 416-426. (in Chinese)
- [24] SHI S Y, CHEN D L, FU J X, LIU L Q, WEI Y Z, SHU B, LI W C, LIANG Q Z, LIU C J, LIU C M. Comprehensive evaluation of fruit quality traits in longan ‘Fengliduo’ x ‘Dawuyuan’ sexual progenies[J]. *Scientia Horticulturae*, 2015, 192: 54-59.
- [25] 曹雪娇, 王丽丽, 文壮, 孙颢, 黎霜, 冉佳鑫, 乔光. ‘玛瑙红’ 樱桃果实分级评价研究[J]. *中国南方果树*, 2023, 52(3): 134-137.
- CAO X J, WANG L L, WEN Z, SUN X, LI S, RAN J X, QIAO G. Study on fruit grading and evaluation of ‘Manahong’ cherry[J]. *South China Fruits*, 2023, 52(3): 134-137. (in Chinese)
- [26] CAO J P, JIANG Q, LIN J Y, LI X, SUN C D, CHEN K S. Physicochemical characterisation of four cherry species

- (*Prunus* spp.) grown in China[J]. Food Chemistry, 2015, 173: 855-863.
- [27] 董渭雪. 樱桃黄酮组分及降尿酸作用研究[D]. 汉中: 陕西理工大学, 2020.
- DONG W X. Study on the flavonoids in cherries and the effect of reducing uric acid[D]. Hanzhong: Shanxi University of Technology, 2020. (in Chinese)
- [28] 谭秋锦, 韦媛荣, 潘贞珍, 环秀菊, 潘浩男, 许鹏, 韦哲君, 郑树芳, 王文林. 澳洲坚果种质果实数量性状分析与综合评价[J]. 植物遗传资源学报, 2023, 24(6): 1615-1625.
- TAN Q J, WEI Y R, PAN Z Z, HUAN X J, PAN H N, XU P, WEI Z J, ZHENG S F, WANG W L. Analysis and comprehensive evaluation of the fruit quantitative traits for macadamia germplasms[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2023, 24(6): 1615-1625. (in Chinese)
- [29] RUIZ D, EGEE J. Phenotypic diversity and relationships of fruit quality traits in apricot (*Prunus armeniaca* L.) germplasm[J]. Euphytica, 2008, 163: 143-158.