

## 甜樱桃品种（系）果实性状的评价与研究

张馨予, 纠松涛, 徐岩, 吕正鑫, 刘瑞娥, 王世平, 张才喜

(上海交通大学农业与生物学院, 上海 200240)

**摘要:** 为促进甜樱桃优良新品种的选育, 促进种质资源保护和利用, 采用相关性分析、主成分分析和聚类分析等方法, 对 35 份甜樱桃品种（系）果实的 12 项外观品质和 4 项内在品质指标进行综合评价和研究。结果表明, 研究中占比最高的果形为扁圆形、缝合线形状为平型、果顶形状为凹型, 这 3 个描述性性状的辛普森指数分别为 0.700、0.561 和 0.573, 多样性较丰富。13 个数值型性状中, 可食用率的变异系数最小 (3.35%), 畸形果率的变异系数最大 (95.00%), 果柄分离力 (30.82%)、固酸比 (27.59%)、果肉重 (26.65%) 和鲜核重 (26.03%) 的变异系数也较大, 说明这些性状具有较大的遗传多样性。单果重与果肉重、可食用率呈极显著正相关; 固酸比与 pH 值呈极显著正相关, 与可滴定酸含量呈极显著负相关。聚类分析将甜樱桃品种（系）按照果实品质性状分成 4 个组群, 其中 A 组可滴定酸含量平均值最低, 可食用率平均值最高; B 组果柄粗度和硬度平均值均最高, 可溶性固形物含量和 pH 值平均值均最低; C 组只有 1 个品种, 即黑珍珠, 其单果重、畸形果率均最大, 果柄分离力最小; D 组可溶性固形物含量、pH 平均值均最大, 畸形果率、可食用率平均值均最小。基于上述分析结果表明, 雷吉纳、交大 54 号和罗亚理综合得分较高, 可作为甜樱桃育种的优良亲本。

**关键词:** 甜樱桃; 果实; 生物学特性; 统计分析

## Evaluation and Study on Fruit Traits of Sweet Cherry Varieties (Strains)<sup>1</sup>

ZHANG Xinyu, JIU Songtao, XU Yan, LYU Zhengxin, LIU Ruie, WANG Shiping, ZHANG Caixi

(School of Agriculture and Biology, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240)

**Abstract:** To advance the breeding of new sweet cherry varieties and enhance the conservation and utilization of germplasm resources, this study employed correlation analysis, principal component analysis, and cluster analysis to evaluate and research 12 external and 4 internal quality indicators across 35 sweet cherry varieties (strains). The results revealed that the predominant fruit shape was oblate, with a flat fruit and a concave fruit apex. The Simpson indices for these three descriptive traits were 0.700, 0.561, and 0.573, respectively, indicating a rich diversity. Among the 13 quantitative traits, the coefficient of variation (*CV*) was lowest for the edible rate (3.35%), and highest for the abnormal fruit rate (95.00%). High *CV*s were also observed for fruit stalk separation force

<sup>1</sup> 收稿日期: 2024-03-04

网络出版日期:

URL:

第一作者研究方向为果树基因组学与分子育种, E-mail: zhangxinyu0729@sjtu.edu.cn

通信作者: 纠松涛, 研究方向为果树基因组学与分子育种, E-mail: jiulongtao@sjtu.edu.cn

张才喜, 研究方向为果树栽培生理与果树发育生物学, E-mail: acaizh@sjtu.edu.cn

**基金项目:** 上海市科技兴农重点攻关项目 (2022-02-08-00-12-F01111); 上海市自然科学基金项目 (23ZR1430600); 国家现代农业产业技术体系 (CARS-30); 陕西省重点研发计划 (2023-ZDLNY-28)

**Foundation project:** Shanghai Agriculture Applied Technology Development Program, China (2022-02-08-00-12-F01111); Natural Science Foundation of Shanghai (23ZR1430600); China Agriculture Research System (CARS-30); Key Research and Development Program of Shaanxi Province (2023-ZDLNY-28)

(30.82%), soluble acid ratio (27.59%), flesh weight (26.65%), and fresh core weight (26.03%), reflecting significant genetic diversity. Single fruit weight was highly positively correlated with fruit flesh weight and edible rate; while the soluble acid ratio was highly positively correlated with pH and highly negatively correlated with titratable acid content. Cluster analysis categorized the sweet cherry cultivars into four distinct groups based on fruit quality attributes. Group A exhibited the lowest average titratable acid content and the highest average edible rate; Group B showed the highest average fruit stalk thickness and hardness, with lowest average total soluble solid content and pH value; Group C, which include only one variety, Black Pearl, had the largest single fruit weight and abnormal fruit rate with smallest fruit stalk separation force and Group D presented the highest average total soluble solid content and pH value, along with lowest average abnormal fruit rate and edible rate. Based on the above analyses, 'Regina', 'SJ-54', and 'Royal Lee' achieved high composite scores, suggesting their potential as exceptional parental candidates for sweet cherry breeding programs.

**Key words:** sweet cherry; fruit; biological characteristics; statistic analysis

樱桃是蔷薇科（*Rosaceae*）李属（*Prunus* L.）樱亚属（*Cerasus*）的多年生木本落叶果树，原产欧洲东南部和亚洲西部，已在 35°N 至 55°S 范围内的 40 余个国家和地区实现了商业化栽培<sup>[1]</sup>。栽培樱桃在国内外均被称为“黄金种植业”，近年来成为我国乡村振兴的重要抓手。然而，由于甜樱桃起源于地中海沿岸地区，我国真正开展商业化生产仅 30 余年，目前主栽品种高度依赖国外品种的引进<sup>[2]</sup>。随着气候变暖、土地政策变化以及“碳中和”“碳达峰”目标的提出，甜樱桃在低纬度丘陵山地等潜在栽培区的发展将会成为未来的趋势。因此，挖掘甜樱桃优异基因材料，促进种质资源保护和利用，选育适合本土栽培的甜樱桃新品种，生产出性价比更高的甜樱桃成为未来产业与科研的重要方向。

分析种质资源遗传多样性是资源创新利用的基础，而表型性状多样性是资源多样性的重要组成部分。科学分析种质资源的表型性状，有助于了解其遗传稳定性和育种潜力，对资源的开发、利用和创新具有重要的指导意义<sup>[3]</sup>。张素敏等<sup>[4]</sup>以 12 个露地栽培甜樱桃品种为材料，分析果实外观与糖酸、矿质营养特征，结果表明萨米脱是理想的鲜食品种，先锋是良好的加工品种。王琴等<sup>[5]</sup>以南疆地区引进的 11 个甜樱桃品种为材料，测定其 13 项果实品质指标，综合分析认为紫黑色系早大果、美早，深红色系拉宾斯和红色系艳阳综合品质最好，可在南疆地区适度推广种植。龚无缺<sup>[6]</sup>以萨米脱、明珠、黑珍珠、早大果、红灯、Early Rareripec 和矮化萨米脱共 7 个品种的果实为材料，发现 Early Rareripec 和黑珍珠综合表现最优，适宜在天津蓟县地区作为主要的栽培品种。开展适宜不同生态区的甜樱桃品种资源的引种栽培与评价，将有助于提高我国甜樱桃产业的可持续性和全球竞争力。

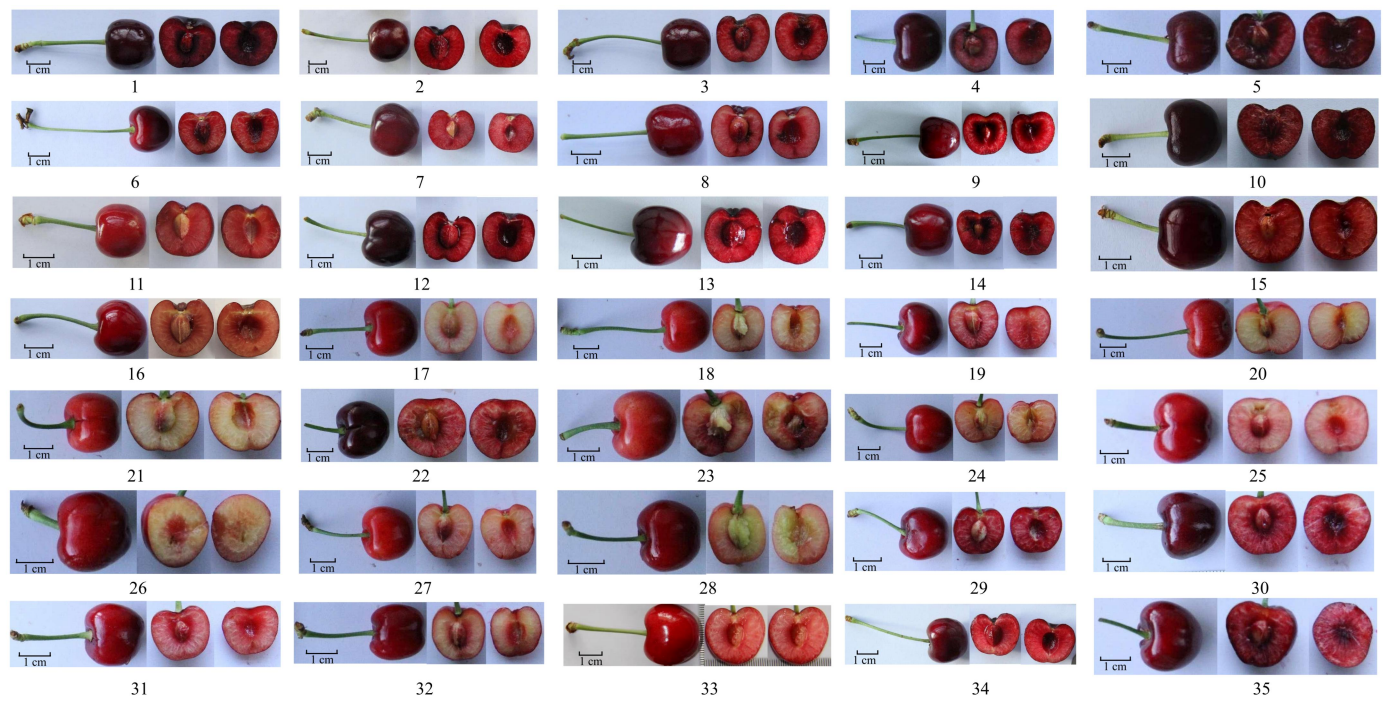
本研究对上海交通大学樱桃种质资源圃中 35 份甜樱桃品种（系）的果实品质性状开展系统性的调查分析，测定单果重、鲜核重、果肉重、可食用率、果柄长度、果柄粗度、果柄分离力、果形、果顶形状、缝合线形状、硬度、畸形果率等外观品质以及可溶性固形物含量、pH、可滴定酸含量、固酸比等内在品质，

并对甜樱桃果实品质性状进行相关性分析,运用多种统计学、遗传学分析对其进行分类和综合评价,旨在为甜樱桃产业发展和品种改良提供理论基础。

# 1 材料与方法

## 1.1 试验材料

于 2019-2023 年以上海交通大学浦江绿谷基地甜樱桃种质资源圃 (121.49°E, 31.04°N) 中保存的 35 份甜樱桃品种 (系) 为试验材料 (图 1)。各品种 (系) 均为嫁接苗,树龄 7 年,砧木为吉塞拉 6 号,分别各种植 5~6 株,株行距 2 m×4 m,日常栽培管理措施相同。



1: 交大 52 号; 2: 哥伦比亚; 3: 黑金; 4: 红灯; 5: 早露; 6: 雷吉纳; 7: 罗亚明; 8: 汝宾; 9: 美早; 10: 交大 11 号; 11: 先锋; 12: 图雷拉; 13: 斯特拉; 14: 交大 28 号; 15: 交大 2 号; 16: 珊瑚香槟; 17: 宾库; 18: 布拉; 19: 交大 33 号; 20: 布鲁克斯; 21: 交大 54 号; 22: 黑珍珠; 23: 红鲁比; 24: 拉宾斯; 25: 桑提娜; 26: 红手球; 27: 萨米脱; 28: 塞尔维亚; 29: 瑟莱斯特; 30: 罗亚理; 31: 特克凡; 32: 甜心; 33: 平顺甜; 34: 卡瑞纳; 35: 万达

1: SJ-52; 2: Columbia; 3: Black Gold; 4: Hongdeng; 5: Zaolu; 6: Regina; 7: Royal Minnie; 8: Rubin; 9: Tieton; 10: SJ-11; 11: Van; 12: Tulare; 13: Stella; 14: SJ-28; 15: SJ-2; 16: Coral Champion; 17: Bing; 18: Bula; 19: SJ-33; 20: Brooks; 21: SJ-54; 22: Heizhenzhu; 23: Honglubi; 24: Lapins; 25: Santana; 26: Hongshouqiu; 27: Summit; 28: Sylvia; 29: Celester.; 30: Royal Lee; 31: Teccovant; 32: Sweet Heart; 33: Pingshuntian; 34: Karina; 35: Vanda

图 1 甜樱桃品种 (系) 果实的表型

Fig. 1 Phenotype of fruits from sweet cherry varieties (strains)

## 1.2 试验方法

参照李文生等<sup>[7]</sup>、齐秀娟等<sup>[8]</sup>、贾朝爽等<sup>[9]</sup>对樱桃果实性状的评价标准,评价指标包括单果重、鲜核重、果肉重、可食用率、果形、果柄长度、果柄粗度、果柄分离力、果顶形状、缝合线形状、果实硬度、畸形果率等 12 项外观品质指标以及可溶性固形物含量、pH、可滴定酸含量、固酸比等 4 项内在品质指标。在成

熟期采集样本，避开设施大棚两侧，各品种（系）30粒果实采自3株树，分别从3株树外围各方向上中下部随机采集10粒果实。鉴于不同品种（系）成熟期不同，于5月中旬、5月下旬和6月中旬分别采集样本，以果实可溶性固形物含量和果实硬度稳定不再变化的时期作为测试样品的最佳成熟期，记录成熟期果实性状。

**1.2.1 外观品质指标的测定** 各品种（系）随机选取30粒果实，用TP型电子天平（普利斯特科技有限公司，北京）分别称量（不包含果柄），记为单果重。观察记录果形、缝合线形状、果顶形状和畸形果数量，计算畸形果率。

$$\text{畸形果率}(\%) = n/N \times 100\% \quad (1)$$

式中， $n$ 为畸形果数量， $N$ 为果实总数。

使用HP-20数显式推拉力计（艾德堡仪器有限公司，东莞）对果柄分离力进行测定；使用DL90150高精度游标卡尺（得力工具有限公司，宁波）对果柄长度和果柄粗度分别进行测量。使用GY-4数显式水果硬度计（云唐智能科技有限公司，山东）对果实硬度进行测定。分别将果核剥离并清洗干净，果核进行称重，记为鲜核重，单果重与鲜核重之差记为果肉重，可食用率根据公式（2）计算。

$$\text{可食用率}(\%) = (W - W_1) / W \times 100\% \quad (2)$$

式中， $W$ 为单果重， $W_1$ 为鲜核重。

对参评品种（系）的单果重、果肉重、鲜核重、果柄长度和果柄粗度进行分级<sup>[8]</sup>，其中，单果重分级标准：（1）极大： $\geq 10.00$  g；（2）大： $8.00$  g~ $10.00$  g；（3）中： $6.00$  g~ $8.00$  g；（4）小： $4.00$  g~ $6.00$  g；（5）极小： $< 4.00$  g。果肉重分级标准：（1）极大： $\geq 6.25$  g；（2）大： $5.40$  g~ $6.25$  g；（3）中： $4.35$  g~ $5.40$  g；（4）小： $2.80$  g~ $4.35$  g；（5）极小： $< 2.80$  g。鲜核重分级标准：（1）大： $\geq 0.36$  g；（2）中： $0.25$  g~ $0.35$  g；（3）小： $< 0.25$  g。果柄长度分级标准：（1）极长： $\geq 55.00$  mm；（2）长： $40.00$  mm~ $55.00$  mm；（3）中： $25.00$  mm~ $40.00$  mm；（4）短： $10.00$  mm~ $25.00$  mm；（5）极短： $< 10.00$  mm。果柄粗度分级标准：（1）粗： $\geq 1.60$  mm；（2）中： $1.40$ ~ $1.60$  mm；（3）细： $< 1.40$  mm。

**1.2.2 内在品质指标的测定** 各品种（系）随机选取30粒果实，使用九阳L3-C8榨汁机（九阳股份有限公司，上海）将30粒果实的果肉混合匀浆后过滤出果汁。使用STARTER300便携式pH计（奥豪斯国际贸易有限公司，上海）对甜樱桃果汁的pH进行测定；采用LH-B55数显折光仪（陆恒生物科技有限公司，杭州）对果汁中可溶性固形物含量进行测定。pH和可溶性固形物含量的测定均进行3次技术重复，取平均值。

可滴定酸含量使用邻苯二甲酸氢钾标定的 $0.1$  mol/L NaOH标准溶液对稀释20倍的果汁进行滴定，以1%酚酞为指示剂，公式如下。

$$M = \frac{W}{V \times 0.0043} \quad (3)$$

式中，M：NaOH 标准溶液的浓度；W：邻苯二甲酸氢钾的重量；V：滴定时所消耗 NaOH 溶液的体积；0.2043：每毫摩尔邻苯二甲酸氢钾的重量。

可滴定酸含量 =  $\frac{V1 \times V \times M \times K \times a}{V2 \times W} \times 100\%$  (4)

式中，V1：样品提取液总体积；V2：滴定时所取滤液体积；V：滴定时所消耗 NaOH 标准溶液的体积；M：NaOH 标准溶液的浓度，由公式（3）计算得出；K：将总酸换算为特定有机酸的系数：按苹果酸 0.067 计；a：样品滴定前的稀释倍数；W：样品鲜重。

可滴定酸含量的测定进行 3 次技术重复，取平均值。可溶性固形物含量与可滴定酸含量的比值记为固酸比。

1.3 数据分析

利用 Microsoft Office Excel 2007 和 SPSS 26 软件分析各调查性状平均值、标准差、变异系数、辛普森指数和香农—韦弗多样性指数<sup>[10]</sup>。对描述型性状进行赋值（表 1）以分析品种（系）资源表型性状遗传多样性，其他数值型性状的数据进行标准差标准化处理，以消除不同量纲对数据产生的影响。用 Origin 2021b 软件分析性状的分布频率；进行聚类分析，绘制系统聚类树系图。用 SPSS 26 进行相关性分析和主成分分析，综合得分由各成分（因子）得分与其权重的乘积加和得出，对品种（系）资源进行综合评价。

表 1 甜樱桃品种（系）的 3 个描述型性状及其赋值

Table 1 Three descriptive traits and assignment of sweet cherry varieties (strains)

性状 Traits	赋值 Assignment
果形 FS	1: 卵圆形; 2: 椭圆形; 3: 心形; 4: 扁圆形; 5: 宽心脏形; 6: 肾形; 7: 圆形
果实缝合线形状 SFS	1: 平型; 2: 凹型; 3: 凸型
果顶形状 SFT	1: 平型; 2: 凹型; 3: 凸型

FS: Fruit shape; SFS: Shape of fruit suture; SFT: Shape of fruit top; The same as below

2 结果与分析

2.1 描述型性状的频率分布及多样性指数

35 份甜樱桃果实的果形有 7 种（详见 <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20240304002>，附表 1），其中果实扁圆形的品种（系）数量最多（17 份），占比 48.6%；其次为心形（7 份），占比 20.0%。甜樱桃果实缝合线形状分为 3 种，其中缝合线形状为平型的品种（系）数量最多（22 份），占比 62.9%，凸型和凹型的品种（系）分别有 6 份和 7 份，占比相近，分别为 17.1%和 20.0%。甜樱桃果实的果顶形状也分为 3 种，其中果顶形状为凹型的品种（系）数量最多（17 份），占比 48.6%，凸型最少（3 份），占比 8.6%。果形、

果实缝合线形状和果顶形状的辛普森指数分别为 0.700、0.561 和 0.573，香农—韦弗多样性指数分别为 1.497、0.320 和 0.502，说明这 3 种性状均具有一定的遗传多样性，其中，果形的多样性最丰富。

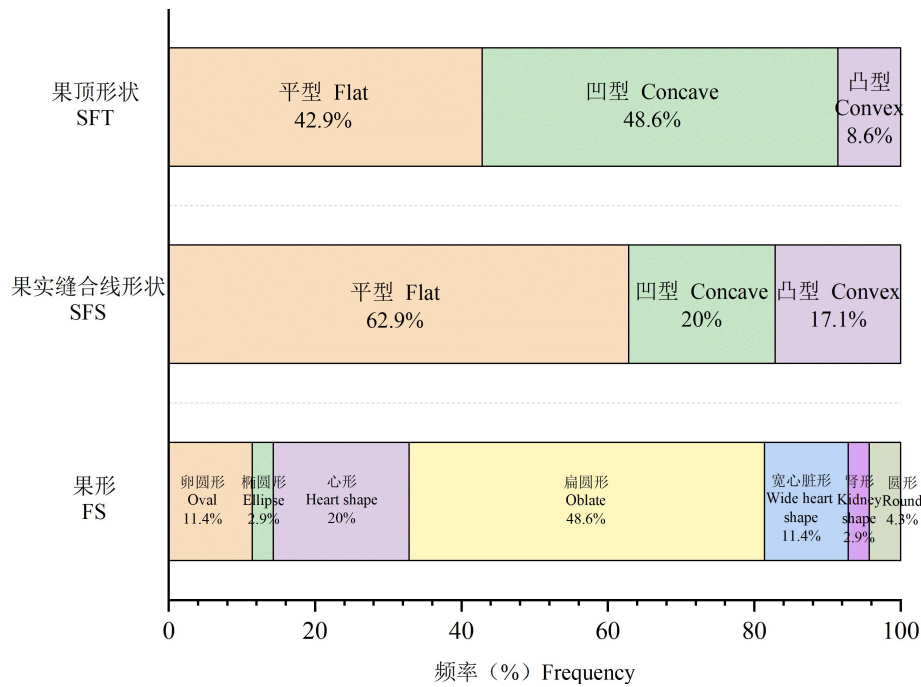


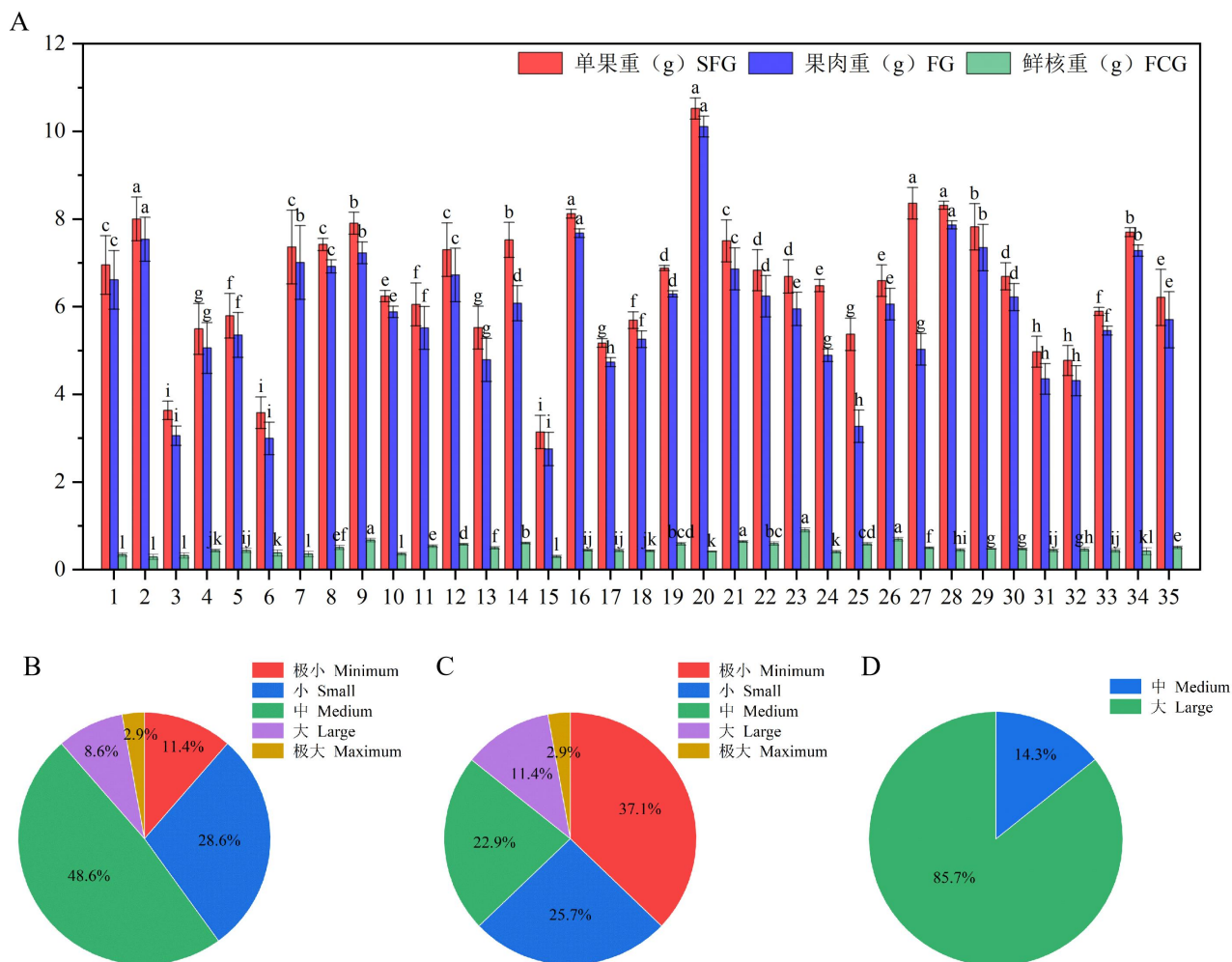
图 2 甜樱桃品种（系）果实描述型性状分布

Fig. 2 Distribution of descriptive traits in sweet cherry varieties (strains)

2.2 数值型性状的变异及分布

35 份甜樱桃的单果重范围在 3.14~10.52 g 之间（图 3A），中值为 6.48 g，均值为 6.32 g，50%的品种（系）分布在 4.89~6.92 g，其中单果重最大的品种是布鲁克斯，单果重最小的品系是交大 2 号。35 份甜樱桃的果肉重范围为 2.75~10.11 g（图 3A），中值为 5.95 g，均值为 5.84 g，50%的品种（系）分布在 4.89~6.92 g，果肉重最大的品种是布鲁克斯，果肉重最小的品系是交大 2 号。35 份甜樱桃的鲜核重范围在 0.29~0.90 g 之间（图 3A），中值为 0.45 g，均值为 0.48 g，50%的品种（系）分布在 0.41~0.48 g，其中鲜核重最大的品种是红鲁比，最小的是哥伦比亚。参评品种（系）的单果重、果肉重和鲜核重分级结果如图 3B、图 3C 和 3D 所示。单果重方面，17 份甜樱桃单果重居中，占比最多（48.6%），仅有 1 份甜樱桃单果重极大，即布鲁克斯，占比最低（2.9%）。果肉重方面，果肉重极小占比最多（37.1%），为 13 份，果肉重极大占比最少（2.9%），为 1 份，即布鲁克斯。鲜核重方面，35 份甜樱桃鲜核重均分布于大和适中两级，分别为 30 份和 5 份，占比 85.7%和 14.3%。





A: 1~35 分别对应图 1 中甜樱桃品种 (系), 不同小写字母表示差异显著 ( $P<0.05$ ), 下同; B: 单果重分级分布; C: 果肉重分级分布; D: 鲜核重分级分布

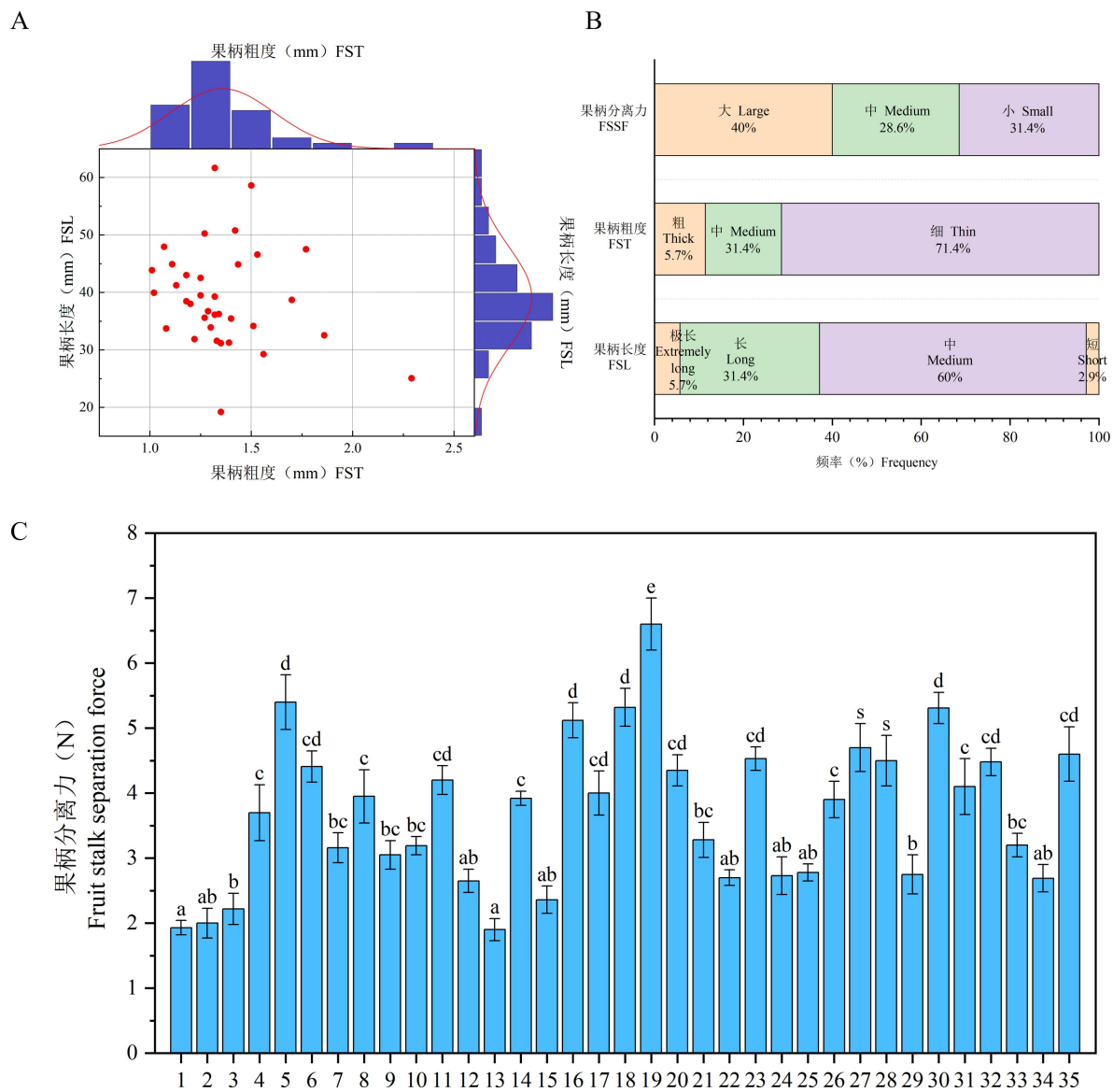
A: 1-35 correspond to cherry varieties (strains) in Fig. 1 respectively, different lowercase letters indicated significant difference ( $P<0.05$ ); the same as below.; B: Distribution of single fruit weight(SFG); C: Distribution of flesh weight(FG); D: Distribution of fresh core weight(FCG)

图 3 甜樱桃品种 (系) 单果重、果肉重和鲜核重差异分析

Fig. 3 Analysis of single fruit weight, flesh weight and fresh core weight differences in sweet cherry varieties (strains)

35 份甜樱桃的果柄粗度范围在 1.01~2.29 mm 之间, 中值为 1.32 mm, 均值为 1.36 mm, 50%的品种 (系) 分布在 1.20~1.44 mm; 其中果柄最粗的品种是红手球, 果柄粗度最小的是黑金。参评甜樱桃中的果柄长度范围在 19.22~61.67 mm 之间, 中值为 38.48 mm, 均值为 39.21 mm, 50%的品种 (系) 分布在 33.76~44.90 mm; 其中果柄最长的品种是雷吉纳, 果柄最短的是红手球。果柄长度和果柄粗度分级结果如图 4B 所示, 果柄长度为中的品种 (系) 最多 (21 份), 占比 60%, 果柄短的品种 (系) 最少 (1 份), 占比 2.9%; 果柄细的品种 (系) 最多 (25 份), 占比 71.4%, 果柄粗的品种 (系) 最少 (4 份), 占比 5.7%。果柄分离力范围在 1.90~6.60 N 之间, 其中果柄最易分离的是斯特拉, 最难分离的是交大 33 号 (图 4C)。35 份甜樱桃的果柄分离力均值为 3.71 N, 标准差为 1.14 N, 采用等组距离法<sup>[1]</sup>对果柄分离力分级: (1) 大:  $\geq 4.30$  N, (2) 中: 3.00~4.30 N, (3) 小:  $< 3.00$  N, 其中果柄分离力大的品种 (系) 共有 14 份, 占比 40.0%, 果柄分离

力小的品种（系）共有 11 份，占比 31.4%，果柄分离力中等的品种（系）共有 10 份，占比 28.6%（图 4B）。



A: 果柄长度与果柄粗度的频次分布; B: 果柄粗度、果柄长度和果柄分离力分级分布; C: 不同品种（系）果柄分离力比较

A: The frequency distribution between fruit stalk length and fruit stalk thickness; B: The distribution of fruit stalk thickness, length and separation force. C:

Comparison of fruit stalk separation force among different varieties (lines); FSL: Fruit stalk length; FST: Fruit stalk thickness; FSSF: Fruit stalk separation force;

The same as below

图 4 甜樱桃品种（系）果柄差异分析

Fig. 4 Analysis of fruit stalks of sweet cherry varieties (strains)

从表 2 可知，35 份甜樱桃的果实硬度范围是 4.91~11.74 N，50%的品种（系）分布在 5.72~7.58 N，中值为 6.41 N，均值为 6.75 N；其中最大的是雷吉纳，交大 54 号次之（10.90 N），硬度最小的是早露。畸形果率范围是 0~86.81%，50%的品种（系）分布在 5.18%~51.0%，中值为 21.40%，均值为 27.24%；其中美早的畸形果率最高，远高于其他品种，汝宾次之（80.00%），特克凡、红手球、早露、雷吉纳和卡瑞纳中未发现畸形果。可溶性固形物含量范围为 11.33%~21.70%，50%的品种（系）分布在 13.48%~17.02%，中值为



15.79%，均值为 15.51%；其中可溶性固形物含量最高的是罗亚明，罗亚理次之（20.57%），汝宾的可溶性固形物含量最低。果实果汁 pH 范围为 3.54~4.41，50%的品种（系）分布在 3.67~3.92，中值为 3.78，均值为 3.81；其中 pH 最大的是交大 11 号，黑金次之（4.10），pH 最小的为桑提娜。可滴定酸含量范围为 0.58%~1.63%，50%的品种（系）分布在 0.85~1.23%，中值为 1.08%，均值为 1.06%，其中黑金果实可滴定酸含量最高，先锋次之（1.50%），平顺甜果实的可滴定酸含量最低，只有 0.58%。可食用率范围为 83.56%~99.24%，50%的品种（系）分布在 89.85%~93.71%，中值为 91.67%，均值为 91.41%，可食用率最高的品种是罗亚理，可食用率最地的是品种是雷吉纳。

对所测定的甜樱桃果实品质数值型性状进行统计分析（表 2），多数性状的变异系数分布于 20%~30%。不同品种（系）的甜樱桃可食用率的变异系数仅为 3.35%，pH 的变异系数仅为 4.45%，说明不同品种（系）的甜樱桃可食用率和 pH 差异较小。畸形果率的变异系数最大，高达 95.00%，变异系数较大的性状还包括果柄分离力（30.82%）、固酸比（28.05%）、果肉重（26.65%）和鲜核重（26.03%）等，说明不同品种（系）甜樱桃这些性状差异较大，在甜樱桃品质评价中具有较大的影响，也为筛选优良种质资源提供了广泛的选择依据。

表 2 甜樱桃品种（系）果实 13 个数值型性状的变异情况

Table 2 Variability of the 13 numerical traits in sweet cherry varieties (strains)

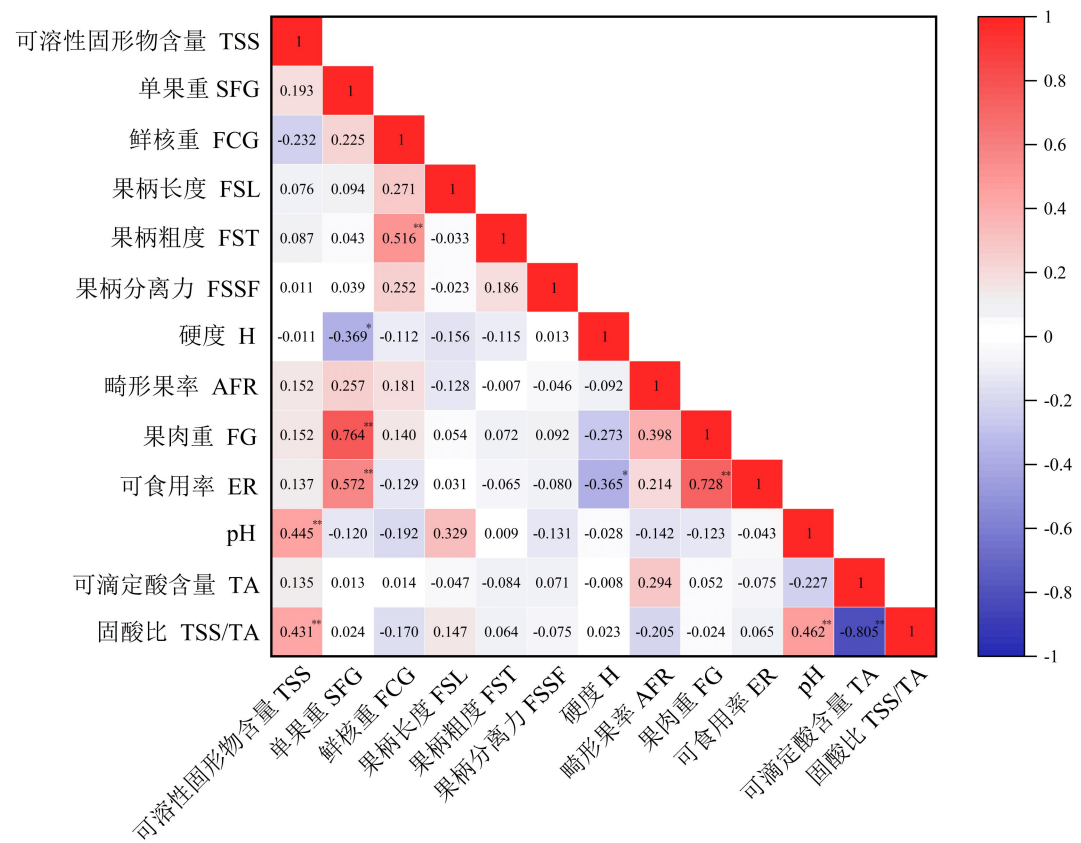
性状	最小值	最大值	平均值	中值	标准差	变异系数（%）
Traits	Min.	Max.	Mean	Median	SD	CV
单果重（g）SFG	3.14	10.52	6.32	6.48	1.56	24.73
鲜核重（g）FCG	0.29	0.90	0.48	0.45	0.13	26.03
果柄长度（mm）FSL	19.22	61.67	39.21	1.32	8.70	22.18
果柄粗度（mm）FST	1.01	2.29	1.36	1.32	0.25	18.75
果柄分离力（N）FSSF	1.90	6.60	3.71	3.90	1.14	30.82
果肉重（g）FG	2.75	10.11	5.84	5.95	1.56	26.65
可食用率（%）ER	83.56	99.24	91.41	91.67	3.06	3.35
硬度（N）H	4.91	11.74	6.75	6.41	1.55	22.97
畸形果率（%）AFR	0	86.81	27.24	21.40	25.88	95.00
可溶性固形物含量（%）TSS	11.33	21.70	15.51	15.79	2.56	16.53
pH	3.54	4.41	3.81	3.78	0.17	4.45
可滴定酸含量（%）TA	0.58	1.63	1.06	1.08	0.25	23.21
固酸比 TSS/TA	9.60	25.17	15.64	15.14	4.39	28.05

ER: Edible rate; H: Hardness; AFR: Abnormal fruit rate; TSS: Total soluble solid content; TA: Titratable acid content; TSS/TA: Solid acid ratio; The same as below

2.3 数值型性状的相关性分析

对不同甜樱桃品种（系）果实的 13 个数值型性状进行 Pearson's 相关性分析，结果见图 5。单果重与果肉重、可食用率呈极显著正相关，与硬度呈显著负相关；单果重与果肉重、可食用率、硬度的相关系数分

别为 0.764、0.572 和-0.369。鲜核重与果柄粗度呈极显著正相关，相关系数为 0.516。硬度与可食用率呈显著负相关，相关系数为-0.365。果肉重与可食用率呈极显著正相关，相关系数为 0.728。固酸比与 pH 呈极显著正相关，与可滴定酸含量呈极显著负相关性，相关系数分别为 0.462 和-0.805。



\* 和\*\*分别表示在  $P < 0.05$  和  $P < 0.01$  水平下显著相关  
\* and \*\* indicated significant correlation at  $P < 0.05$  and  $P < 0.01$  levels, respectively

图 5 甜樱桃品种（系）果实数值型性状间的相关性

Fig. 5 Correlations among numerical traits of fruit in sweet cherry varieties (strains)

2.4 甜樱桃种质资源的聚类分析

据果实性状对 35 份甜樱桃品种（系）进行聚类分析（图 6），结果显示在欧式距离为 0.058 时，可将樱桃种质资源根分为 4 组（表 3）。其中 A 组包含 28 个品种（系），可滴定酸含量的平均值在 4 个组中最小，果柄分离力、可食用率的平均值均最大。B 组包含 3 个品种（系），可溶性固形物含量、pH 的平均值在 4 个组中均最小，果柄粗度、硬度的平均值均最大。C 组只包含 1 个品种，即黑珍珠，其单果重、鲜核重、果柄长度、畸形果率、果肉重均最大，果柄分离力、硬度、固酸比均最小。D 组包含 3 个品种（系），其中单果重、鲜核重、果柄粗度、畸形果率、果肉重、可食用率的平均值在 4 个组中均最小，可溶性固形物含量、pH、可滴定酸含量、固酸比的平均值均最大。

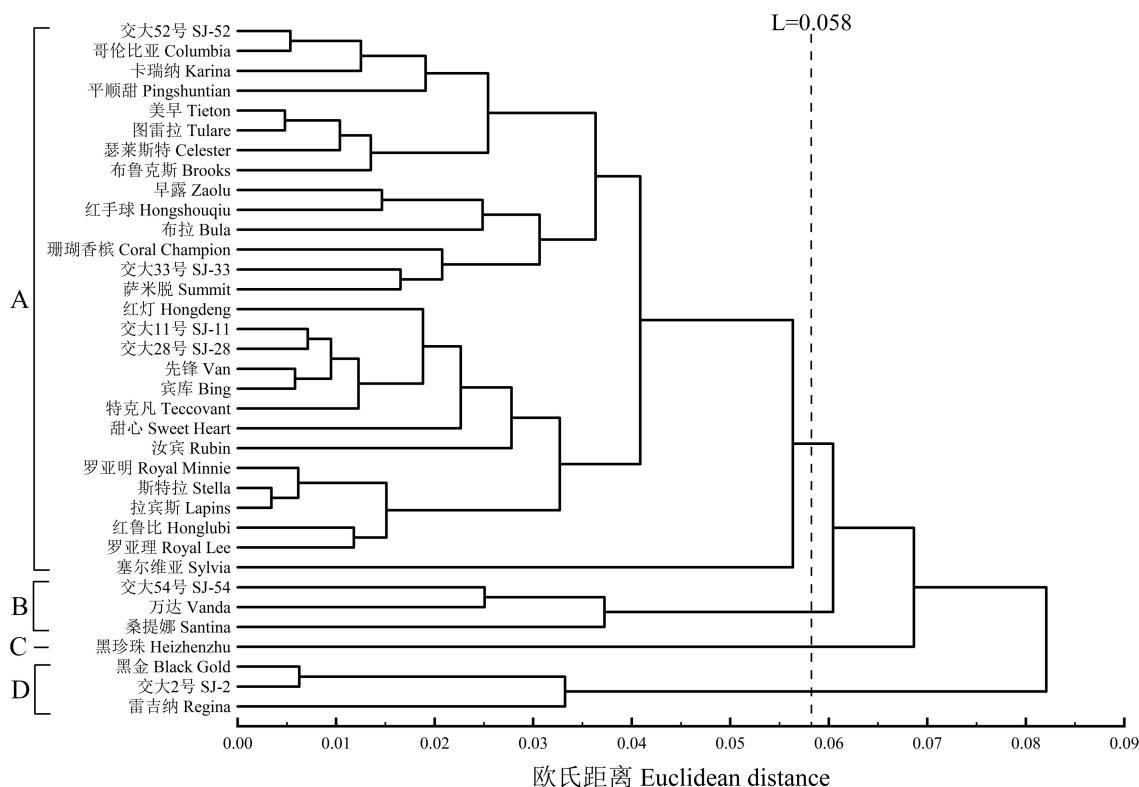


图 6 甜樱桃品种（系）聚类分析

Fig. 6 Cluster analysis of sweet cherry varieties (strains)

表 3 甜樱桃品种（系）4 个类群果实数值型性状的平均值

Table 3 Mean values of fruit numerical traits in four groups of sweet cherry varieties (strains)

性状	A 组	B 组	C 组	D 组
Traits	Group A	Group B	Group C	Group D
单果重 (g) SFG	6.53	6.36	6.83	4.19
鲜核重 (g) FCG	0.48	0.58	0.59	0.35
果柄长度 (mm) FSL	37.68	44.34	47.53	45.58
果柄粗度 (mm) FST	1.35	1.37	1.34	1.31
果柄分离力 (N) FSSF	3.80	3.55	2.70	3.33
硬度 (N) H	6.63	8.46	5.29	6.72
畸形果率 (%) AFR	0.30	0.19	8.00	0.03
果肉重 (g) FG	6.11	5.28	6.24	3.72
可食用率 (%) ER	92.27	89.43	90.97	85.11
可溶性固形物含量 (%) TSS	16.06	12.29	12.65	17.55
pH	3.81	3.62	3.86	3.95
可滴定酸含量 (%) TA	1.04	1.06	1.10	1.21
固酸比 TSS/TA	15.96	11.75	11.50	17.95

## 2.5 甜樱桃种质资源基于主成分分析的综合评价

对 13 个数值型性状进行主成分分析,以特征值大于 1 为标准提取到 5 个主成分,累计贡献率为 72.152%,

（表 4）。第 1 主成分中以单果重、鲜核重、果柄长度有较高正值，说明第 1 主成分主要与果实外观品质有关。第 2 主成分中以果柄分离力、硬度有较高正值，畸形果率有较低负值，说明第 2 主成分也主要与果实外观品质有关。第 3 主成分中以果肉重、可食用率有较高正值，因此，第 3 主成分主要与果实可食用部分比例有关。第 4 主成分中以 pH、可滴定酸含量有较高正值，表明第 4 主成分主要与果实风味有关。第 5 主成分中以固酸比有较高正值，说明第 5 主成分也主要与果实风味有关。

表 4 13 个数值型性状主成分的特征向量及贡献率

Table 4 Eigenvectors and percentage of variance of the principal components of the 13 numerical traits

性状	主成分 1	主成分 2	主成分 3	主成分 4	主成分 5
Traits	PC 1	PC 2	PC 1	PC 4	PC 5
单果重 SFG	0.891	-0.089	-0.126	-0.145	0.063
鲜核重 FCG	0.874	-0.078	-0.040	-0.021	-0.009
果柄长度 FSL	0.804	0.072	-0.329	-0.066	-0.151
果柄粗度 FST	-0.550	0.051	-0.076	-0.222	0.181
果柄分离力 FSSF	0.084	0.894	0.220	-0.161	-0.152
硬度 Hardness	-0.041	0.722	0.114	0.410	0.203
畸形果率 AFR	-0.022	-0.637	-0.310	0.366	0.578
果肉重 FG	0.215	-0.400	0.786	0.033	-0.046
可食用率 ER	0.155	-0.050	0.705	-0.332	0.335
可溶性固形物含量 TSS	0.072	-0.265	0.404	-0.066	0.274
pH	0.184	0.200	0.364	0.675	-0.142
可滴定酸含量 TA	-0.010	-0.309	0.093	0.571	-0.327
固酸比 TSS/TA	0.246	0.532	-0.097	0.195	0.682
特征值 Characteristic value	2.685	2.399	1.717	1.338	1.241
贡献率 (%) Contribution rate	20.652	18.454	13.209	10.292	9.545
累计贡献率 (%) Cumulative contribution rate	20.652	38.106	52.315	62.607	72.152

PC:Principal component

采用模糊隶属函数法，计算 13 个数值型性状的权重系数，最后计算综合得分  $=0.0693y_1+0.0874y_2+0.0468y_3-0.0765y_4+0.176y_5+0.207y_6-0.0718y_7+0.0642y_8+0.109y_9+0.0371y_{10}+0.168y_{11}-0.0176y_{12}+0.201y_{13}$ ，其中  $y_i (1\leq i\leq 13)$  分别代表表 4 中的 13 个数值型性状，结果如表 5 所示。35 种甜樱桃品种（系）得分范围在 3.528~5.030。其中，综合评分排名前三的品种（系）是雷吉纳（5.030）、交大 54 号（5.015）和罗亚理（4.911）。雷吉纳硬度大（11.74 N），耐储存耐运输，可滴定酸含量低（0.77%），固酸比较高（22.10），口感好，且无畸形果，适合高品质需求。交大 54 号单果重大（7.50 g），硬度大（10.90 N），固酸比适中（14.55），果实颗粒饱满且酸甜可口。罗亚理尽管其畸形果率较高（59.2%），但具有较高的可食用率（92.53%）和可溶性固形物含量（20.57%），适合深加工等特定市场。

表 5 甜樱桃品种（系）的综合得分

Table 5 Comprehensive score of sweet cherry varieties (strains)

品种（系）	综合得分	排名	品种（系）	综合得分	排名
Varieties (strains)	Comprehensive score	Ranking	Varieties (strains)	Comprehensive score	Ranking
雷吉纳 Regina	5.030	1	红手球 Hongshouqiu	4.122	19
交大 54 号 SJ-54	5.015	2	塞尔维亚 Sylvia	4.120	20
罗亚理 Royal Lee	4.911	3	红鲁比 Honglubi	4.103	21
布鲁克斯 Brooks	4.847	4	拉宾斯 Lapins	4.022	22
交大 33 号 SJ-33	4.779	5	布拉 Bula	3.997	23
交大 28 号 SJ-28	4.713	6	甜心 Sweet Heart	3.991	24
汝宾 Rubin	4.605	7	美早 Tieton	3.967	25
卡瑞纳 Karina	4.383	8	瑟莱斯特 Celester	3.932	26
交大 11 号 SJ-11	4.314	9	特克凡 Teccovant	3.875	27
珊瑚香槟 Coral Champion	4.303	10	图雷拉 Tulare	3.825	28
先锋 Van	4.260	11	交大 2 号 SJ-2	3.809	29
哥伦比亚 Columbia	4.259	12	黑金 Black Gold	3.788	30
万达 Vanda	4.255	13	平顺甜 Pingshuntian	3.778	31
罗亚明 Royal Minnie	4.246	14	桑提娜 Santina	3.656	32
萨米脱 Summit	4.187	15	交大 52 号 SJ-52	3.650	33
宾库 Bing	4.167	16	黑珍珠 Heizhenzhu	3.626	34
红灯 Hongdeng	4.141	17	斯特拉 Stella	3.528	35
早露 Zaolu	4.125	18			

### 3 讨论

对表型性状多样性的研究是鉴别物种多样性和检测遗传变异最直观且简便易行的方法<sup>[12]</sup>。本研究对 35 份甜樱桃品种（系）资源果实的外在和内在品质指标进行测定，通过变异系数、相关性分析、聚类分析、综合评分等方法综合评价甜樱桃品种（系），对挖掘优异基因材料、促进甜樱桃种质资源的保护利用具有重要意义。参照陈涛等<sup>[13]</sup>方法，使用反映甜樱桃鲜食品质的主要指标单果重和可溶性固形物含量评价 35 份甜樱桃品种（系）资源，结果发现，布鲁克斯与罗亚明的鲜食品质性状较突出。但需要注意的是，本研究未涉及裂果率等其他性状，实际生产应用中需要另加考虑。

变异系数是反映品种内在特征和品种间个体差异的重要指标。变异系数的大小可以反映性状的遗传多样性。变异系数越大，说明遗传背景丰度越高，越容易鉴定品种<sup>[14]</sup>。本研究发现 13 个数值型性状中可食用率的变异系数最小（3.35%），畸形果率的变异系数最大（95.00%），这可能与数据采集受人为因素和样品数量的影响有关，但也能够说明不同品种（系）甜樱桃的畸形果率存在较大差异，高畸形果率将是制约其实际生产应用中的关键因素。此外，不同甜樱桃果柄分离力、固酸比、果肉重和鲜核重等性状差异较大，说明这些性状的遗传多样性较丰富，在育种方面存在广阔的应用前景。Khadivi-Khub<sup>[15]</sup>研究发现在伊朗栽培的樱桃品种（系）单果重、鲜核重、可溶性固形物含量、可滴定酸含量和硬度方面存在广泛的变异。本研究中可食用率、果汁 pH 等性状变异系数偏小，主要是由于本次取样均来源于上海交通大学浦江绿谷基地樱桃种质资源圃，气候环境相对单一，在育种方面各性状的深入研究仍有较大空间。

本研究相关性分析发现, 13 个数值性状之间部分呈现出显著相关性。其中, 单果重与可食用率呈极显著正相关, 这与 Ewa 等<sup>[16]</sup>对 7 个捷克樱桃品种的研究分析结果一致。固酸比与可滴定酸含量呈极显著负相关, 这与田彦龙等<sup>[17]</sup>对西北不同生态区甜樱桃果实品质分析结果基本相符。在后续甜樱桃的品种选育中, 根据不同性状的相关关系, 对果实品质性状进行同步改良, 以期获得更优质甜樱桃新种质。

在资源研究中, 聚类分析可将甜樱桃果实表型性状存在较高相似性的品种(系)归为一类, 适用于针对性的筛选具有某些优良性状的资源。本研究根据果实性状将 35 份甜樱桃分为 4 组, 这有利于对资源进行分类管理, 提高资源利用效率。此外, 有针对性地对每组进行性状评估和筛选, 可以更精确地选择具有目标性状的优良品种(系), 加快育种进程, 提高育种效率。

主成分分析可以更加准确地得到能够概括不同甜樱桃性状的变量因子, 为综合评价种质资源提供依据<sup>[18]</sup>。根据主成分分析结果计算综合得分, 雷吉纳、交大 54 号、罗亚理得分较高, 分别为 5.030, 5.015 和 4.911, 这些品种(系)可能具有较好的综合性状, 适合用于进一步的栽培、研究及育种工作。

通过欧洲植物遗传资源合作计划(ECPGR, European cooperative program for plant genetic resources), 欧洲已对许多种质资源使用简单重复序列标记(SSR, simple sequence repeat)进行基因定位分析<sup>[19-20]</sup>。随着全球甜樱桃生产向暖地不断扩展, 以及进口替代的现实需求, 对甜樱桃新品种选育的需求显得尤为迫切。本研究结果不仅能为甜樱桃产业的发展提供重要的科学支撑和决策依据, 还能够为今后甜樱桃重要性状的基因定位研究提供理论支撑<sup>[21-22]</sup>。

## 参考文献

- [1] 张力思. 甜樱桃的起源、分布及栽培现状. 北方果树, 2000, 4: 31  
Zhang L S. The origin, distribution and cultivation status of sweet cherry. Journal of Northern Fruit Trees, 2000, 4: 31
- [2] 崔建潮, 王文辉, 贾晓辉, 王志华, 佟伟. 从国内外甜樱桃生产现状看国内甜樱桃产业存在的问题及发展对策. 果树学报, 2017, 34(5): 620-631  
Cui J C, Wang W H, Jia X H, Wang Z H, Tong W. The domestic industry problems from the sweet cherry import situation and its development countermeasure for the future. Journal of Fruit Science, 2017, 34 (5): 620-631
- [3] 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. 中国农业科学, 2020, 53(22): 4667-4682  
Li Y, Zhang S H, Guo Y, Zhang X F, Wang G P. Catkin phenotypic diversity and cluster analysis of 211 Chinese chestnut germplasms. Scientia Agricultura Sinica, 2020, 53(22): 4667-4682
- [4] 张素敏, 杨巍, 王柏松, 和阳, 张琪静. 12 个甜樱桃品种果实品质特征评价. 食品研究与开发, 2022, 43(20): 73-82  
Zhang S M, Yang W, Wang B S, He Y, Zhang Q J. Evaluation of fruit quality characteristics of 12 sweet cherry varieties. Food Research and Development, 2022, 43(20): 73-82
- [5] 王琴, 王建友, 韩宏伟, 李勇, 蒋江照, 巴图巴雅尔, 毛金梅, 刘凤兰. 南疆地区甜樱桃品种果实品质测定与评价. 食品工业科技, 2019, 40(8): 215-220



- Wang Q, Wang J Y, Han H W, Li Y, Jiang J Z, Ba T B Y E, Mao J M, Liu F L. Determination and evaluation of fruit quality of sweet cherry cultivars in southern Xinjiang. *Science and Technology of Food Industry*, 2019, 40(8): 215-220
- [6] 龚无缺. 7个樱桃品种的果实特性与果实品质研究. 天津: 天津农学院, 2016,
- Gong W Q. The fruit characteristics and quality of seven cherries varieties. Tianjin: Tianjin Agricultural University, 2016
- [7] 李文生, 侯玉茹, 王宝刚, 苗飞. 使用质构仪测定樱桃果柄脱落强度. *落叶果树*, 2017, 49(1): 9-11
- Li W S, Hou Y Y, Wang B G, Miao F. Use a conformer to determine the shedding strength of sweet cherry fruit stalks. *Deciduous Fruits*, 2017, 49(1): 9-11
- [8] 齐秀娟, 赵改荣, 徐善坤, 韩礼星, 李明, 李玉红. 樱桃属种质资源果实性状数值分类探讨. *果树学报*, 2008, 25(5): 650-654
- Qi X J, Zhao G R, Xu S K, Han L X, Li M, Li Y H. Study on numerical taxonomy of some fruit characteristics of cherry germplasm resources. *Journal of Fruit Science*, 2008, 25(5): 650-654
- [9] 贾朝爽, 单长松, 周涛, 李向阳, 吴澎, 孙玉刚. 主要樱桃品种果实营养性状分析. *食品科学*, 2019, 40(4): 244-250
- Jia C S, Shan C S, Zhou T, Li X Y, Wu P, Sun Y G. Comparison of fruit nutritional traits of major cultivars of Chinese cherry (*Prunus pseudocerasus* Lindl.). *Food Science*, 2019, 40(4): 244-250
- [10] 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. *园艺学报*, 2019, 46(2): 237-251
- Zeng S M, Chen X M, Huang X Z. Fruit character diversity analysis and numerical classification of local pear germplasm resources in Fujian. *Acta Horticulturae Sinica*, 2019, 46(2): 237-251
- [11] 郎彬彬, 朱博, 谢敏, 张文标, Umut Ahmet Seyrek, 黄春辉, 徐小彪. 野生毛花猕猴桃种质资源主要数量性状变异分析及评价指标探讨. *果树学报*, 2016, 33(1): 8-15
- Lang B B, Zhu B, Xie M, Zhang W B, Seyrek U A, Huang C H, Xu X B. Variation and probability grading of the main quantitative characteristics of wild *Actinidia eriantha* germplasm resources. *Journal of Fruit Science*, 2016, 33(1): 8-15
- [12] 刘胤, 陈涛, 张静, 王珏, 王浩, 汤浩茹, 王小蓉. 中国樱桃地方种质资源表型性状遗传多样性分析. *园艺学报*, 2016, 43(11): 2119-2132
- Liu Y, Chen T, Zhang J, Wang J, Wang H, Tang H R, Wang X R. Genetic diversity analysis of Chinese cherry landraces (*Prunus pseudocerasus* L.) based on phenotypic traits. *Acta Horticulturae Sinica*, 2016, 43(11): 2119-2132
- [13] 陈涛, 李良, 张静, 黄智林, 张洪伟, 刘胤, 陈清, 汤浩茹, 王小蓉. 中国樱桃种质资源的考察、收集和评价. *果树学报*, 2016, 33(8): 917-933
- Chen T, Li L, Zhang J, Huang Z L, Zhang H W, Liu Y, Chen Q, Tang H R, Wang X R. Investigation, collection and preliminary evaluation of genetic resources of Chinese cherry. *Journal of Fruit Science*, 2016, 33(8): 917-933
- [14] Alizadeh K, Fathollahi S, Silva J A T D. Variation in the fruit characteristics of local pear (*Pyrus* spp.) in the Northwest of Iran. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 2015, 62(5): 635-641
- [15] Khandivi-Khub A. Assessment of cultivated cherry germplasm in Iran by multivariate analysis. *Trees Structure and Function*, 2014, 28(3): 669-685
- [16] Ewa S, Tomasz K, Karolina M, Sebastian P. Fruit quality and contents of some bioactive compounds in selected Czech sweet cherry (*Prunus avium* L.) cultivars under conditions of central Poland. *Agriculture*, 2022, 12(11): 1859
- [17] 田彦龙, 马永强, 王磊, 郭青云, 陈红雨. 西北不同生态区甜樱桃果实品质分析. *果树学报*, 2021, 38(4): 509-519
- Tian Y L, Ma Y Q, Wang L, Guo Q Y, Chen H Y. Quality analysis of sweet cherry fruits in different ecological areas in northwest China. *Journal of Fruit Science*, 2021, 38(4): 509-519

- [18] Martínez-Calvo J, Naval M, Zuriaga E, Badenes G L M L. Morphological characterization of the IVIA persimmon (*Diospyros kaki* Thunb.) germplasm collection by multivariate analysis. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 2013, 60(1): 233-241
- [19] Marchese A, Giovannini D, Leone A, Mafrica R, Palasciano M, Cantini C, Di Vaio C, De Salvador F R, Giacalone G, Caruso T, Marra F P. S-genotype identification, genetic diversity and structure analysis of Italian sweet cherry germplasm. *Tree Genetics & Genomes*, 2017, 13(5): 1-20
- [20] Matthew O, Suzanne L, Edward V, Marine B, Felicidad F, Monika H, Christina K, Markus K, Annalisa M, Stephanie M, Hilde N, Daniela G. Towards a joint international database: Alignment of SSR marker data for European collections of cherry germplasm. *Plants*, 2021, 10(6): 1243
- [21] 潘映红. 论植物表型组和植物表型组学的概念与范畴. *作物学报*, 2015, 41(2): 175-186
- Pan Y H. Analysis of concepts and categories of plant phenome and phenomics. *Acta Agronomica Sinica*, 2015, 41(2): 175-186
- [22] 穆金虎, 陈玉泽, 冯慧, 李文建, 周利斌. 作物育种学领域新的革命:高通量的表型组学时代. *植物科学学报*, 2016, 34(6): 962-971
- Mu J H, Chen Y Z, Feng H, Li W J, Zhou L B. A new revolution in crop breeding: The era of high-throughput phenomics. *Plant Science Journal*, 2016, 34(6): 962-971

附表 1 甜樱桃品种（系）的果形、缝合线形状和果顶形状

Annexed table 1 Shape of fruit, fruit suture and fruit top of sweet cherry varieties (strains)

甜樱桃品种（系） Sweet cherry varieties (strains)	果形 FS	缝合线形状 SFS	果顶形状 SFT
罗亚明 Royal Minnie	卵圆形	平型	平型
罗亚理 Royal Lee	椭圆形	平型	平型
宾库 Bing	心形	平型	凹型
布鲁克斯 Brooks	扁圆形	平型	凹型
瑟莱斯特 Celester	扁圆形	平型	凹型
拉宾斯 Lapins	卵圆形	凹型	平型
交大 28 号 SJ-28	扁圆形	平型	平型
汝宾 Rubin	扁圆形	平型	平型
桑提娜 Santina	宽心脏形	平型	凹型
斯特拉 Stella	卵圆形	平型	平型
萨米脱 Summit	心形	平型	平型
塞尔维亚 Sylvia	扁圆形	凸型	凹型
特克凡 Teccovant	扁圆形	平型	平型
美早 Tieton	宽心脏形	平型	平型
卡瑞纳 Karina	扁圆形	凸型	平型
珊瑚香槟 Coral Champion	扁圆形	凸型	平型
交大 2 号 SJ-2	扁圆形	凹型	凹型
交大 11 号 SJ-11	扁圆形	平型	凹型
先锋 Van	心形	凹型	凹型
万达 Vanda	扁圆形	平型	平型
布拉 Bula	扁圆形	平型	凸型
交大 54 号 SJ-54	扁圆形	平型	凹型
交大 33 号 SJ-33	扁圆形	凹型	平型
黑珍珠 Heizhenzhu	圆形	平型	平型
红灯 Hongdeng	卵圆形	平型	凹型
红鲁比 Honglubi	心形	平型	凹型
红手球 Hongshouqiu	宽心脏形	平型	凹型

平顺甜 Pingshuntian	扁圆形	凸型	凸型
甜心 Sweet Heart	圆形/心形	凸型	凹型
图雷拉 Tulare	宽心脏形	平型	凹型
早露 Zaolu	肾形	平型	凹型
雷吉纳 Regina	心形	凸型	凹型
哥伦比亚 Columbia	扁圆形	凹型	平型
黑金 Black Gold	心形	凹型	凸型
交大 52 号 SJ-52	扁圆形	凹型	凹型

FS: Fruit shape; SFS: Shape of fruit suture; SFT: Shape of fruit top