果 树 学 报 2026，43（7）：1806-1817
Journal of Fruit Science

DOI:10.13925/j.cnki.gsxb.20250603

6个甜樱桃品种果实品质综合评价

马松峰[1]，吕志明[2]，朱 琦[1]，栾 剑[2]，徐 锴[1*]

（[1]中国农业科学院果树研究所•农业农村部园艺作物种质资源利用重点实验室•辽宁省落叶果树矿质营养与肥料高效利用重点实验室，辽宁兴城 125100；[2]大连市现代农业生产发展服务中心，辽宁大连 116036）

摘 要：【目的】对大连地区6个甜樱桃品种的果实品质进行综合评价，为甜樱桃的优良品种选育、指导栽培提供参考。**【方法】**以6个甜樱桃品种为试验材料，分别测定外观、风味和营养品质指标，对果实品质进行综合评价。**【结果】**6个甜樱桃品种的果实品质指标间存在显著差异。单果质量范围为9.66~11.72 g，果形指数范围为1.08~1.32，维生素C含量（*w*，后同）范围为3.70~11.02 mg·100 g^{-1}；葡萄糖为主要糖组分，苹果酸为主要酸组分；在6个甜樱桃品种中共检测出32种香气物质，以醛类为核心香气物质。从35项指标中筛选出21项关键指标进行PCA分析，提取出6项核心评价指标：果实大小与酸类物质含量、糖类物质含量与N、K代谢、Ca和Mg协同积累、糖组分含量、色泽与香气、硬度与Zn含量。**【结论】**大连地区的6个甜樱桃品种果实品质排名依次为含香＞友谊＞晚红珠＞美早＞红灯＞萨米脱。

关键词：甜樱桃；营养成分；香气物质；果实品质；综合评价

中图分类号：S662.5 **文献标志码：**A **文章编号：**1009-9980(2026)07-1806-12

Comprehensive evaluation of fruit quality of six sweet cherry cultivars

Ma Songfeng[1], Lü Zhiming[2], Zhu Qi[1], Luan Jian[2], Xu Kai[1*]

([1]Fruit Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Germplasm Resources Utilization of Horticultural Crops, Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Liaoning Key Laboratory of Mineral Nutrition and Fertilizers Efficient Utilization of Deciduous Fruit Tree, Xingcheng 125100, Liaoning, China; [2]Modern Agricultural Production Development Service Center of Dalian, Dalian 116036, Liaoning, China)

Abstract:【Objective】Sweet cherry (*Prunus avium* L.) is characterized by bright fruit skin, firm flesh texture, and high soluble solids content. It integrates the dual advantages of nutritional and commercial value, thereby securing a prominent position in the global fruit market. The fruit quality of sweet cherry primarily encompasses three dimensions: appearance quality, flavor quality, and nutritional quality. Appearance quality mainly includes fruit size, color, transverse and longitudinal diameters; Flavor quality is defined by fruit sweetness, acidity, aromatic substances, mouthfeel, and related traits; Nutritional quality primarily comprises vitamins, mineral elements, and other nutrients. Fruit quality is the core determinant of market competitiveness. Quality evaluation is regarded as a comprehensive assessment of external indicators (e.g., fruit size, shape and color) and internal quality traits (including texture, flavor, sweetness-acidity balance, and functional nutrients). It serves as a critical basis for elite cultivar selection and fruit quality optimization. This study presents a comprehensive evaluation of fruit quality across six sweet cherry varieties, with the goal to provide references for elite sweet cherry cultivar breeding, guide cultivation and management practices, and enhance market value.【Methods】Six sweet cherry cultivars (Hongdeng, Tieton, Summit, Zhukovskaya, Wanhongzhu, and Druzhba)served as the experimental materials for this study. The following analyses were conducted: Appearance quality, including fruit weight, transverse and longitudinal diameters, and color parameters, was determined using an electronic analytical balance, a vernier caliper, and a colorimeter. Soluble solids content (SSC) was

收稿日期：2025-11-07 **接受日期：**2026-01-15

基金项目：辽宁省应用基础研究计划项目（2023JH2/101300085）；辽宁省科技重大专项项目（2024JH1/11700008-5）

作者简介：马松峰，男，研究实习员，硕士，研究方向为果树栽培与生理。E-mail：masongfeng@caas.cn

*通信作者 Author for correspondence. E-mail：xukai@caas.cn

determined with a handheld refractometer. Titratable acidity (TA) was determined by automatic potentiometric titration. Flesh firmness was determined using a TA-HD Plus dual-arm texture analyzer (Stable Micro Systems, UK) equipped with a 2 mm cylindrical probe (P/2). Fruit aromatic compounds were analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS, Thermo Fisher Scientific, USA). Sugar and organic acid compositions were quantified using ultra-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry (UPLC-MS/MS, Waters Corporation, USA). Total mineral elements (P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, B and Mo) were measured by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES, Thermo Fisher Scientific, USA). Total nitrogen (N) content was determined using a Kjeldahl nitrogen analyzer. Vitamin C content was determined by automatic potentiometric titration.【Results】Significant differences were observed in fruit quality attributes among the six sweet cherry cultivars. The single fruit weight ranged from 9.66 to 11.72 g, the fruit shape index varied between 1.08 and 1.32, and vitamin C content spanned 3.70−11.02 mg · 100 g^{-1}. Sugar and acid composition analyses revealed that glucose was the predominant sugar, while malic acid was the dominant organic acid. A total of 32 aromatic compounds were identified, with 10 compounds—(+)-limonene, (E)-2-hexen-1-ol, 1-penten-3-ol, benzaldehyde, hexanal, methyl heptenone, nonanal, n-hexanol, n-octanol, and n-octanal—common to all cultivars. Aldehydes were the core aroma contributors, accounting for 65.5%−75.1% of the total volatile content. Cluster analysis and principal component analysis (PCA) of the aroma profiles grouped the cultivars into three clusters: Hongdeng and Summit each formed a distinct group, while the remaining four cultivars clustered together. Correlation analysis demonstrated that single fruit weight exhibited a highly significant negative correlation with titratable acidity (TA) and quinic acid content ($P<0.01$). Glucose showed a significant negative correlation with potassium (K) and zinc (Zn) levels ($P<0.01$). Malic acid content correlated positively with sucrose ($P<0.01$) and showed significant positive correlations with TA, quinic acid, and citric acid ($P<0.05$). Nitrogen (N) and K were negatively correlated with soluble solids content (SSC), glucose, sorbitol, and fructose ($P<0.05$), while vitamin C content exhibited a significant negative correlation with lightness (L) and yellowness (b) values ($P<0.01$). Through classification and simplification of 35 measured indices, 21 key quality parameters were selected for further analysis. PCA of these parameters identified six critical evaluation criteria: (1) Fruit size and acid metabolism; (2) Sugar composition and the interaction between nitrogen (N) and potassium (K) metabolism; (3) Synergistic accumulation of calcium (Ca) and magnesium (Mg); (4) Sugar fractionation; (5) Color development and aroma profile; (6) Flesh firmness and zinc (Zn) content.【Conclusion】This study conducted a comprehensive evaluation of sweet cherry fruit quality based on external appearance, flavor compounds, and nutritional elements. Correlation and principal component analyses (PCA) were employed to investigate the quality characteristics of different cultivars. The results indicated that Zhukovskaya achieved the highest overall quality score, characterized by its large fruit size, low acidity, high sugar content, appealing color, and complex flavor profile. Druzhba ranked second, distinguished by elevated levels of mineral elements such as calcium (Ca) and magnesium (Mg), coupled with superior performance in both skin color and aromatic compound composition. Wanhongzhu secured the third position. Despite notable strengths in PC5 (fruit coloration and aroma), it was limited by its performance in PC1 (fruit size) and PC4 (total sugar content). Tieton placed fourth, with primary advantages in PC6 (flesh firmness and Zn content) and relatively large fruit size; however, it received low scores for PC4 (sugar composition). Ranking fifth, Hongdeng showed acceptable performance on PC4, indicating higher glucose and fructose concentrations, but its quality was compromised by smaller fruit size, higher acidity, and lower mineral element accumulation. In contrast, Summit performed poorly

overall, with negative scores across all principal components, resulting in the lowest total score in the evaluation system.

Key words: Sweet cherry; Nutritional components; Aroma substances; Fruit quality; Comprehensive evaluation

甜樱桃（*Prunus avium* L.）为蔷薇科李属樱桃亚属的多年生落叶果树，其果实表皮色泽鲜艳、果肉质地紧实且可溶性固形物含量高，兼具营养与商品价值的双重优势[1]，在全球水果消费市场中占据重要地位，在中国更是有着“春果第一枝”的美誉[2-4]。根据行业统计数据，截至2023年，中国甜樱桃栽培面积已突破23.33万 hm^2，年产量达140万t，种植规模居全球首位[5]。

果实品质是决定甜樱桃市场竞争力的核心因素，品质评价是对果实大小、形状、颜色等外观指标和质地、风味、甜酸度、功能营养成分等内在品质的综合评价，是良种选育和果品选优的重要依据。甜樱桃果实品质主要分为外观品质、风味品质、营养品质等。外观品质主要包括果实大小、色泽、横纵径等；风味品质主要包括果实甜度、酸度、香气物质和口感等；营养品质主要包括维生素、矿质元素含量等[6]。主成分分析法是果实品质评价中最主要的方法之一，已广泛应用于苹果[7]、桃[8]、猕猴桃[9]、油梨[10]等果实品质评价，在甜樱桃果实品质评价中也有应用[11-13]。

大连是我国重要的甜樱桃主产区之一[14]，当地主栽品种为美早，其他还包括红灯、晚红珠、萨米脱等。近年来，甜樱桃种植面积逐渐扩大和产量不断提高，种植技术不断优化。然而，在甜樱桃市场不断扩大的同时，其果实品质参差不齐，导致品牌效应差，市场竞争力不足。目前，甜樱桃果实品质评价主要集中于果实大小、质地、糖、酸及部分营养指标，鲜见关于甜樱桃果实品质的全面综合评价报道。因此，开展甜樱桃果实品质综合评价对优良品种选育、栽培管理指导、甜樱桃市场价值提高具有重要意义[15]。

1 材料和方法

1.1 材料与试剂

试验材料采自大连市金州区，露地栽培，管理条件一致。供试品种为红灯（Hongdeng）、美早（Tieton）、萨米脱（Summit）、含香（Zhukovskaya）、晚红珠（Wanhongzhu）和友谊（Druzhba）。根据不同甜樱桃品种的成熟期，采用随机取样法，每个品种采集30个完全成熟的果实。采样后立即放入保鲜盒中带回实验室，放入−80 ℃冰箱中待测。

1.2 试验方法

使用电子天平测定每个品种15个果实的质量，取其平均值作为该品种的单果质量[16]。使用3恩时NR20XE便携式色差仪测定果实 L^*、a^*、b^* 值；参照农业行业标准（NY/T 2637—2014）《水果和蔬菜可溶性固形物含量的测定折射仪法》[17]，使用手持式折光仪测定可溶性固形物含量；使用全自动电位滴定仪测定可滴定酸含量；使用英国TA-HD plus双臂质构仪配备2 mm圆柱形探头（P/2）测定果肉硬度；参照王阳等[18]方法测定果实香气物质含量；参照陈美霞等[19]方法测定糖、有机酸组分及含量；参考王小龙等[20]方法将果实干样消解，使用美国赛默飞iCAP 6000电感耦合等离子发射光谱仪测定果实P、K、Ca、Mg、Fe、Mn、Zn、Cu、B和Mo含量；使用凯氏定氮仪测定N含量；参照GB 5009.86—2016《食品安全国家标准食品中抗坏血酸的测定》[21]，使用全自动电位滴定仪测定维生素C含量。

1.3 数据分析

采用Microsoft Office 2019软件进行数据整理，采用SPSS 26软件进行数据分析，采用Origin 2025b软件进行相关性分析及作图。

2 结果与分析

2.1 果实基本生理指标

果实基本生理指标如图1、表1所示，不同甜樱桃品种间果实横径无显著差异，差异主要表现在果实纵径及单果质量上。其中，萨米脱果实纵径最长（26.53 mm），其次是含香（26.07 mm），与红灯、美早、晚红珠、友谊均存在显著差异。供试甜樱桃品种均为红肉，果皮颜色为红色或深紫色。红灯的果皮亮度（L^*=37.18）最高，其次为萨米脱（L^*=37.17），友谊最低（L^*=31.57），且友谊的果皮亮度与除含香外的其他甜樱桃品种存在显著差异。此外，随着甜樱

红灯 Hongdeng　美早 Tieton　萨米脱 Summit　含香 Zhukovskaya　晚红珠 Wanhongzhu　友谊 Druzhba

图1　不同甜樱桃品种果实

Fig. 1　Fruits of different sweet cherry cultivars

表1　果实基本生理指标测定结果

Table 1　Determination results of basic fruit physiological indicators

指标 Index	红灯 Hongdeng	美早 Tieton	萨米脱 Summit	含香 Zhukovskaya	晚红珠 Wanhongzhu	友谊 Druzhba
单果质量 Single fruit mass/g	9.79±2.076 c	10.57±1.660 b	11.60±1.297 a	11.72±1.746 a	10.73±1.514 b	9.66±1.400 c
果实横径 Fruit transverse diameter /mm	28.98±2.150 a	28.34±1.541 a	28.77±1.142 a	29.38±1.739 a	28.08±1.639 a	28.03±1.445 a
果实纵径 Fruit longitudinal diameter /mm	21.95±1.519 c	24.21±1.152 b	26.53±1.075 a	26.07±0.994 a	24.26±0.670 b	23.66±0.907 bc
果形指数 Fruit shape index	0.76±0.037 d	0.85±0.011 c	0.92±0.027 a	0.89±0.038 ab	0.87±0.028 bc	0.85±0.018 c
硬度 Firmness/g	48.22±14.25 a	55.45±19.61 a	24.16±9.78 b	45.00±16.29 ab	58.08±40.12 a	39.13±7.83 ab
*L**	37.18±2.95 a	34.95±2.35 ab	37.17±3.81 a	32.22±3.47 bc	35.22±1.96 ab	31.57±2.61 c
*a**	22.85±7.20 b	19.44±4.96 bc	30.31±2.67 a	15.65±3.96 cd	22.79±4.68 b	11.33±3.27 d
*b**	5.23±3.13 b	3.98±1.44 bc	8.30±1.96 a	2.56±1.51 cd	4.60±2.24 bc	1.00±0.50 d

注：数据为平均值±标准差（n=3）；同行不同小写字母表示各甜樱桃品种间具有显著差异（P<0.05）。下同。

Note：Data are presented as the mean ± standard deviation (n = 3). Different small letters on the same line indicate significant differences among sweet cherry cultivars (P<0.05). The same applies to the following.

桃果皮颜色由红色至紫黑色，*a**、*b**值均呈下降趋势。不同品种*a**、*b**排序为萨米脱＞红灯＞晚红珠＞美早＞含香＞友谊，即果实*a**、*b**越低，果皮颜色越接近紫黑色，其市场价值越高。

2.2　果实内在风味及营养指标

不同甜樱桃品种间可溶性固形物含量存在显著差异（P<0.05），其中含香最高（20.60%），显著高于其他品种；红灯（18.25%）、晚红珠（17.90%）与友谊（17.98%）三者间无显著差异，但均显著高于美早（15.28%）和萨米脱（13.73%）。糖组分分析结果表明，蔗糖含量以红灯（0.36%）最高，且显著高于其他品种，萨米脱（0.11%）最低；果糖含量以含香（4.76%）最高，且显著高于其他品种；葡萄糖含量以红灯（6.78%）最高；山梨醇含量则以友谊（2.93%）最高（表2）。

可滴定酸含量以晚红珠（1.53%）最高，其次是友谊（1.25%），二者均显著高于其他品种（P<0.05）。有机酸组分差异明显，奎尼酸含量以红灯（0.007 9%）与晚红珠（0.008 1%）最高，柠檬酸含量以晚红珠（0.020 8%）最高，苹果酸含量则在晚红珠（0.860%）和友谊（0.842%）中显著高于其他品种。维生素C含量在不同品种间差异显著（P<0.05），以红灯（11.02 mg·100 g^{-1}）最高，友谊（10.55 mg·100 g^{-1}）次之，萨米脱（3.71 mg·100 g^{-1}）最低。

N含量以萨米脱（18.87 g·kg^{-1}）最高，显著高于其他品种，而含香（10.81 g·kg^{-1}）最低。友谊在多种常量元素含量上表现突出，其Ca、K和B含量均显著高于其他品种；其Mg含量虽为最高，但与其他品种间无显著差异。在微量元素方面，晚红珠的Cu（0.018 2 g·kg^{-1}）与Zn含量（0.008 2 g·kg^{-1}）显著最高；

表 2 果实内在风味及营养指标测定结果

Table 2 Determination results of fruit internal flavor and nutritional indicators

指标 Index	红灯 Hongdeng	美早 Tieton	萨米脱 Summit	含香 Zhukovskaya	晚红珠 Wanhongzhu	友谊 Druzhba
w(可溶性固形物) Soluble solids content/%	18.25±1.10 b	15.28±1.55 c	13.73±1.84 c	20.60±1.29 a	17.90±1.05 b	17.98±2.70 b
w(蔗糖) Sucrose content/%	0.36±0.02 a	0.14±0.01 d	0.11±0.01 e	0.28±0.01 b	0.17±0.01 c	0.15±0.00 cd
w(山梨醇) Sorbitol content/%	1.69±0.02 c	1.14±0.01 d	1.16±0.02 d	2.48±0.20 b	2.33±0.11 b	2.93±0.15 a
w(果糖) Fructose content/%	3.90±0.32 b	2.85±0.07 c	2.80±0.06 c	4.76±0.28 a	3.78±0.11 b	4.13±0.07 b
w(葡萄糖) Glucose content/%	6.78±0.23 a	4.14±0.17 d	4.74±0.23 c	6.12±0.23 b	6.11±0.18 b	5.81±0.11 b
w(可滴定酸) Titratable acidity content/%	0.66±0.01 c	0.50±0.08 c	0.79±0.02 c	0.85±0.03 c	1.53±0.01 a	1.25±0.05 b
w(奎尼酸) Quinic acid content/%	0.007 9±0.000 3 a	0.002 7±0.000 1 d	0.004 3±0.000 2 c	0.002 3±0.000 3 d	0.008 1±0.000 4 a	0.006 3±0 b
w(柠檬酸) Citric acid content/%	0.017 7±0.000 6 c	0.018 9±0.000 5 b	0.017 4±0.000 5 c	0.016 9±0.000 3 c	0.020 8±0.000 7 a	0.017 3±0.000 9 c
w(苹果酸) Malic acid content/%	0.774±0.009 b	0.596±0.013 d	0.621±0.023 d	0.669±0.009 c	0.860±0.013 a	0.842±0.013 a
w(维生素C) Vitamin C content/(mg·100 g^{-1})	11.02±0.05 a	9.72±0.11 c	3.71±0.16 f	5.77±0.22 e	8.12±0.02 d	10.55±0.01 b
w(N) N content/(g·kg^{-1})	17.32±0.44 b	12.45±0.72 d	18.87±0.48 a	10.81±0.06 e	16.00±0.15 c	16.10±0.15 c
w(Ca) Ca content/(g·kg^{-1})	0.694±0.0570 b	0.939±0.072 0 b	1.037±0.030 0 b	0.504±0.120 0 b	2.308±0.623 0 ab	7.367±5.8701 a
w(K) K content(g·kg^{-1})	18.89±0.34 b	17.07±1.06 bc	14.64±0.63 d	8.46±0.76 e	16.06±0.63 cd	21.72±1.74 a
w(Mg) Mg content/(g·kg^{-1})	0.670±0.005 a	0.854±0.073 a	1.018±0.029 a	0.680±0.051 a	1.081±0.117 a	2.164±1.386 a
w(P) P content/(g·kg^{-1})	3.70±0.24 ab	2.64±0.49 b	3.24±0.44 b	3.47±0.68 ab	4.53±0.61 a	3.12±0.33 b
w(B) B content/(g·kg^{-1})	0.015 7±0.000 90 b	0.013 4±0.000 80 bc	0.010 4±0.000 30 d	0.012 2±0.001 95 cd	0.013 7±0.001 00 bc	0.021 5±0.000 40 a
w(Cu) Cu content/(g·kg^{-1})	0.006 7±0.000 5 c	0.008 0±0.002 3 bc	0.008 1±0.001 0 bc	0.010 1±0.000 6 b	0.018 2±0.000 5 a	0.004 0±0.000 1 d
w(Fe) Fe content/(g·kg^{-1})	0.008 3±0.000 7 bc	0.032 2±0.007 4 ab	0.043 7±0.026 8 a	0.037 3±0.013 6 a	0.020 0±0.013 0 abc	0.003 6±0.003 9 c
w(Mn) Mn content/(g·kg^{-1})	0.002 3±0.000 1 d	0.005 2±0.000 4 c	0.010 8±0.000 2 a	0.001 7±0.000 1 e	0.008 6±0.000 4 b	0.002 5±0.000 1 d
w(Mo) Mo content/(g·kg^{-1})	0.000 2±0.000 1 a	0.000 2±0 a	0.000 2±0.000 3 a	0.000 3±0.000 1 a	0±0.0002 a	0.000 2±0.000 2 a
w(Zn) Zn content/(g·kg^{-1})	0.004 3±0.001 1 b	0.006 5±0.000 4 ab	0.004 2±0.000 9 b	0.001 0±0.000 8 c	0.008 2±0.000 7 a	0.004 6±0.001 1 b

萨米脱的Mn含量(0.010 8 g·kg^{-1})显著高于其他品种,其Fe含量(0.004 37 g·kg^{-1})最高,与友谊、红灯品种存在显著差异;P含量则以晚红珠(4.53 g·kg^{-1})为最高(表2)。综上所述,甜樱桃的矿质元素积累具有显著的品种差异,友谊和晚红珠分别在不同元素的积累上展现出独特潜力。

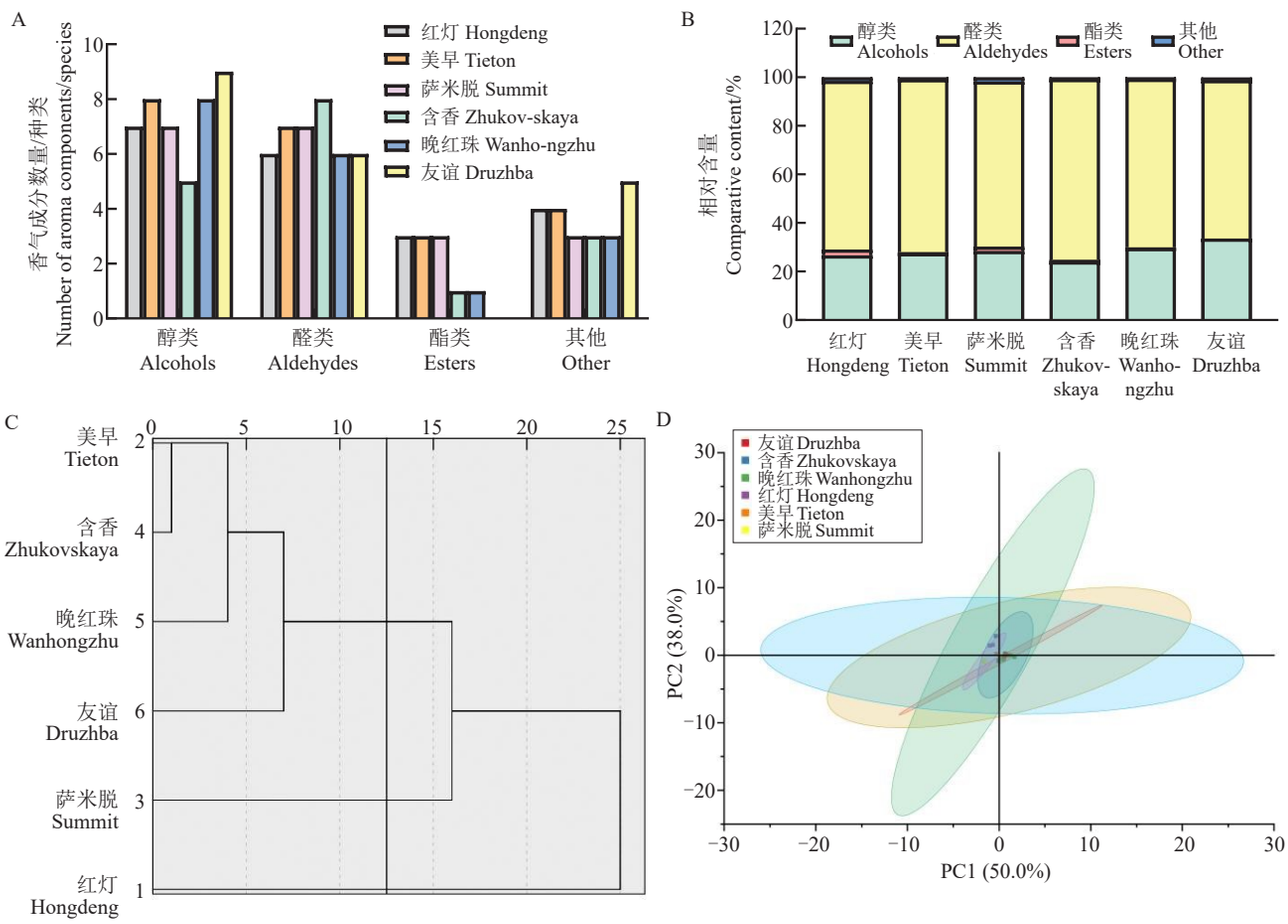
2.3 果实香气成分分析

在6个甜樱桃品种果实中共检测出32种香气组分,其中醇类13种,醚类3种,醛类8种,萜烯类2种,酮类1种,酯类4种,呋喃衍生物1种。美早检测出的香气种类(22种)最多,其中醇类8种,醛类7种,酯类3种,其他4种;其次为红灯、萨米脱、友谊(各

20种）；含香（17种）最少，其中醇类5种，醛类8种，酯类1种，其他3种（图2-A）。

醛类作为核心香气成分，占总香气物质的65.5%~75.1%，与前人研究结果相近[22]，其通常赋予食品青草香、果香。在供试品种中，含香的醛类相对含量高达75.2%，成为果香最突出的品种；其次为美早（70.0%）。醛类物质含量最高的晚红珠（138.82 μg·kg^{-1}）较醛类含量最低的萨米脱（41.196 μg·kg^{-1}）高237.1%，表明醛类含量是区分品种香气强度的关键指标。醇类主要赋予果实香甜特征，其含量在不同甜樱桃品种果实中呈现两极分化。其中，晚红珠（59.474 μg·kg^{-1}）与友谊（55.579 μg·kg^{-1}）显著高于均值（42.21 μg·kg^{-1}）（$P<0.05$）；而萨米脱（17.139 μg·kg^{-1}）则比均值低59.4%（$P<0.01$）。高醇类品种可能呈现更突出的甜香风味。酯类仅在部分品种中检出，以红灯（3.646 μg·kg^{-1}）含量最高，占其香气总量的2.6%；而友谊中未检出。呋喃衍生物为红灯独有成分（0.356 μg·kg^{-1}），表明其风味复杂性具有品种特异性。萜烯类（0.27~0.93 μg·kg^{-1}）、酮类（0.461~0.567 μg·kg^{-1}）及醚类（0.127~0.711 μg·kg^{-1}）在供试品种中含量极低，占总香气物质的比例均不足0.6%，对整体风味影响较小（图2-B）。

由表3可知，在32种香气成分中，有8种香气成分为部分甜樱桃品种特有。其中，友谊含有4种特有香气成分，分别为3-甲基-2-丁烯醇、3-甲基-3-丁烯-1-醇、1,8-桉叶素和异戊二烯；含香、萨米脱、红灯、美早各含有1种特有香气成分，分别为（E,E）－2,4-己二烯醛、乙酸乙酯、2-乙基呋喃、八甘醇单十二烷基醚。6个甜樱桃品种果实共有11种香气成分，分别是(+)-柠檬烯、（E）-2-己烯-1-醇、1-戊烯-3-醇、



A. 6个品种甜樱桃香气成分数量；B. 6个品种甜樱桃香气相对含量；C. 聚类分析；D. 主成分分析。

A. Number of aroma components in six varieties of sweet cherries; B. Relative content of aroma in six varieties of sweet cherries; C. Cluster analysis; D. Principal component analysis.

图2　香气成分分析

Fig. 2　Analysis of aroma components

表3 果实风味挥发性指标测定结果

Table 3 Determination results of fruit flavor volatile indicators

类别 Category	CAS	香气物质名称 Name of aroma substance	w/(μg·kg^{-1}) 红灯 Hongdeng	美早 Tieton	萨米脱 Summit	含香 Zhukovskaya	晚红珠 Wanhongzhu	友谊 Druzhba
醇类 Alcohols	10482-56-1	α-松油醇 L-.alpha.-Terpineol	1.906±0.444	ND	ND	ND	0.750±0.103	ND
	111-27-3	正己醇 1-Hexanol	3.040±0.842	5.990±2.596	1.017±0.043	6.874±1.615	6.947±0.808	4.089±0.243
	111-87-5	正辛醇 1-Octanol	1.102±0.717	0.362±0.138	0.250±0.026	0.396±0.181	0.482±0.061	0.497±0.111
	544-12-7	3-己烯-1-醇 3-Hexen-1-ol	ND	ND	0.297±0.04	0.156±0.083	0.151±0.017	ND
	556-82-1	3-甲基-2-丁烯醇 3-Methyl-2-buten-1-ol	ND	ND	ND	ND	ND	1.603±0.152
	598-75-4	3-甲基-2-丁醇 3-Methyl-2-Butanol	ND	1.856±0.793	0.856±0.128	ND	ND	0.902±0.079
	60-12-8	苯乙醇 Phenethyl alcohol	ND	0.155±0.055	ND	ND	ND	0.648±0.270
	616-25-1	1-戊烯-3-醇 1-Penten-3-ol	2.410±0.364	0.624±0.283	0.174±0.019	1.074±0.090	0.998±0.224	0.748±0.117
	71-41-0	1-戊醇 2-1-Pentanol	0.828±0.317	ND	ND	ND	1.018±0.353	ND
	75-65-0	叔丁醇 Tert-butanol	0.199±0.100	0.042±0.012	ND	ND	ND	ND
	75-85-4	2-甲基-2-丁醇 2-Methyl-2-butanol	ND	8.273±3.366	6.496±0.398	ND	1.288±0.163	13.651±2.322
	763-32-6	3-甲基-3-丁烯-1-醇 3-Methyl-3-buten-1-ol	ND	ND	ND	ND	ND	1.288±0.031
	928-95-0	(E)-2-己烯-1-醇(E)-2-Hexen-1-ol	27.291±5.857	29.367±11.614	8.049±0.613	29.128±5.141	47.84±8.414	32.153±2.167
呋喃衍生物 Furan derivatives	3208-16-0	2-乙基呋喃 2-Ethylfuran	0.356±0.027	ND	ND	ND	ND	ND
醚类 Ethers	3055-98-9	八甘醇单十二烷基醚 Octadecyl polyethylene glycol ether	ND	0.154±0.052	ND	ND	ND	ND
	33100-27-5	15-冠醚-515-Crown-5	0.234±0.076	0.362±0.470	0.154±0.079	0.127±0.010	0.153±0.150	0.466±0.038
	470-82-6	1,8-桉叶素 1,8-Cineole	ND	ND	ND	ND	ND	0.245±0.125
醛类 Aldehydes	100-52-7	苯甲醛 Benzaldehyde	29.789±3.975	0.180±0.105	0.981±0.232	0.975±0.259	2.364±0.566	36.597±3.732
	124-13-0	正辛醛 Octanal	1.117±0.610	1.178±0.467	0.557±0.138	0.636±0.359	0.360±0.151	0.419±0.042
	124-19-6	壬醛 Nonanal	2.592±0.136	1.901±0.990	1.155±0.594	2.075±1.034	0.738±0.228	1.099±0.148
	142-83-6	(E, E)-2, 4-己二烯醛 (E,E)-2,4-Hexadienal	ND	ND	ND	0.411±0.046	ND	ND
	1576-87-0	反式-2-戊烯醛 Trans-2-pentenal	ND	0.253±0.089	0.353±0.453	0.245±0.034	0.128±0.063	0.075±0.011
	505-57-7	2-己烯醛 3-2-Hexenal	42.230±6.196	93.636±9.477	33.610±1.748	84.735±6.351	ND	56.089±3.641
	66-25-1	己醛 Hexanal	18.982±2.873	15.380±8.669	3.812±0.377	27.656±3.730	29.121±5.335	14.612±0.742
	6728-26-3	(E)-2 己醛(E)-2-Hexenal	0.797±0.202	1.653±0.746	0.728±0.138	1.835±0.344	106.109±15.679	ND
萜烯类 Terpenes	5989-27-5	(+)-柠檬烯(+)-Limonene	0.930±0.188	0.339±0.050	0.270±0.014	0.293±0.073	0.458±0.079	0.274±0.013
	78-79-5	异戊二烯 Isoprene	ND	ND	ND	ND	ND	0.252±0.004
酮类 Ketones	110-93-0	甲基庚烯酮 Methylheptenone	0.540±0.158	0.525±0.155	0.536±0.134	0.567±0.070	0.480±0.066	0.461±0.066
酯类 Esters	126-73-8	磷酸三丁酯 Tributyl phosphate	0.380±0.489	0.028±0.005	ND	ND	ND	ND
	141-78-6	乙酸乙酯 Ethyl acetate	ND	ND	0.324±0.019	ND	ND	ND
	6846-50-0	2,2,4-三甲基-1,3-戊二醇二异丁酸酯 2,2,4-Trimethyl-1,3-pentanediol diisobutyrate	3.118±0.013	0.695±0.459	0.639±0.053	0.567±0.108	0.664±0.161	ND
	77-68-9	2-甲基-丙酸 3-羟基-2,2,4-三甲基戊基酯 2-Methyl-propionic acid 3-Hydroxy-2,2,4-trimethylpentyl ester	0.148±0.020	0.113±0.017	0.100±0.005	ND	ND	ND

注:ND 表示未检测出该物质。

Note: ND indicates that the substance was not detected.

苯甲醛、己醛、甲基庚烯酮、壬醛、正己醇、正辛醇和正辛醛15-冠醚。

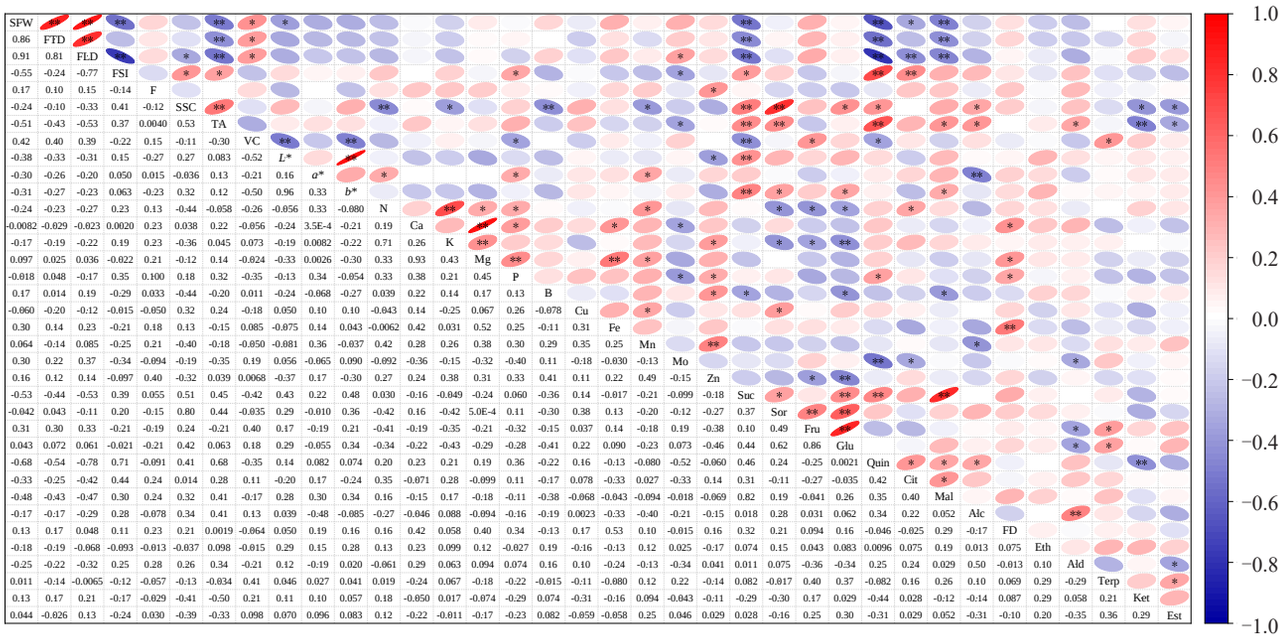
对6个甜樱桃品种果实香气成分含量分别进行聚类分析和主成分分析（图2-C~D）。其中，聚类分析将甜樱桃品种分成3组，美早、含香、晚红珠、友谊为第一组，另外两组分别为红灯和萨米脱。PCA得分图显示，PCA1（50.0%）和PCA2（38.0%）累计方差贡献88.0%，能够解释果实香气成分含量的大部分信息。该图将6个甜樱桃品种分为3组，与聚类分析结果一致。

2.4　相关性分析

使用Pearson相关系数对6个甜樱桃品种果实的35项指标进行相关性分析，如图3所示，不同甜樱桃品种品质指标间存在一定相关性。单果质量与果实横径、纵径呈极显著正相关（$P<0.01$），与可滴定酸、蔗糖、奎尼酸、苹果酸含量呈极显著负相关（$P<0.01$），表明果实大小会影响果实中糖、酸物质含量。可溶性固形物含量与蔗糖、山梨醇和可滴定酸含量呈极显著正相关（$P<0.01$），与葡萄糖、奎尼酸含量呈显著正相关（$P<0.05$），与N、B含量呈极显著负相关（$P<0.01$），与K、Mn以及酮类和酯类含量呈显著负相关（$P<0.05$），表明可溶性固形物含量不仅与其主要构成组分蔗糖、山梨醇等密切相关，还可能受矿质元素及部分挥发性香气物质代谢关联影响；同时，其与矿质元素及香气组分均存在一定负相关性。此外，维生素C含量与L^*、b^*呈极显著负相关（$P<0.01$）。各指标相关性分析表明，35项测定指标存在一定程度的信息重叠。因此，将其进行分类和简化，最终筛选出21项关键指标，以提高甜樱桃质量评价的效率和准确性。

2.5　不同品种甜樱桃果实品质综合评价

对不同甜樱桃品种果实品质关键指标的原始数据采用z-score标准化进行无量纲化处理，利用主成分分析法提取因子，计算果实品质指标的特征值与



*. $P\leqslant0.05$, **. $P\leqslant0.01$.

SFM. 单果质量；FTD. 果实横径；FLD 果实纵径；FSI. 果形指数；.F. 硬度；SSC. 可溶性固形物含量；TA. 可滴定酸含量；VC. 维生素 C 含量；Suc. 蔗糖含量；Sor. 山梨醇含量；Fru. 果糖含量；Glu. 葡萄糖含量；Quin. 奎尼酸含量；Cit. 柠檬酸含量；Mal. 苹果酸含量；Alc. 醇类含量；FD. 呋喃衍生物含量；Eth. 醚类含量；Ald. 醛类含量；Terp. 萜烯类含量；Ket. 酮类含量；Est. 酯类含量。

SFW, Single fruit mass; FTD. Fruit transverse diameter; FLD, Fruit longitudinal diameter; FSI. Fruit shape index; F. firmness; SSC. Soluble solids content; TA. Titratable acidity content; VC. Vitamin C content; Suc. Sucrose content; Sor. Sorbitol content; Fru. Fructose content; Glu. Glucose content; Quin. Quinic acid content; Cit. Citric acid content; Mal. Malic acid content; Alc. Alcohols content; FD. Furan derivatives content; Eth. Ethers content; Ald. Aldehydes content; Terp. Terpenes content; Ket. Ketones content; Est. Esters content.

图3　甜樱桃果实品质相关性分析

Fig. 3　Correlation analysis diagram of sweet cherry fruit quality

方差贡献率。基于特征值＞1和凯撒正态化最大方差法，将21项品质指标最终转化为6个主成分。由表4可知，6个主成分的累计方差贡献率达78.442%，原始数据的大部分信息被保留。因此，提取前6个主成分信息进行后续分析。PC1方差贡献率为20.750%，是甜樱桃果实品质最重要的维度。该成分主要反映了酸味物质与果实大小间的关系。其中，奎尼酸含量（0.848）和可滴定酸含量（0.747）呈极高正负载，而果实纵径（−0.895）与单果质量（−0.846）呈极高负负载，表明果实越小，其酸度和酚酸含量越高。PC2贡献率为14.892%，反映了甜樱桃甜味和N、K含量的关系。其中，可溶性固形物含量（0.753）、山梨醇含量（0.762）与氮含量（−0.750）及钾含量（−0.769）呈完全相反的负载方向，表明果实糖分积累与氮、钾元素存在关联。PC3贡献率为12.493%，反映了钙、镁的协同积累，由钙含量（0.913）和镁含量（0.946）主导，铁含量（0.645）也具有较高负载。PC4贡献率为11.495%，为糖组分因子，主要表现为果糖含量（0.792）和葡萄糖含量（0.787）的协同变化，同时醛类物质含量（−0.616）与其呈负相关，表明糖代谢与特定香气物质间存在一定关联。PC5贡献率为10.093%，为色泽-香气因子，醇类物质含量（0.793）与*a**（−0.777）分别位于两极，表明果实着色与挥发性香气物质合成可能存在关联。PC6贡献率为8.719%，为硬度-锌因子，主要由果实硬度（0.848）和锌含量（0.578）定义，表明果实质地可能与锌元素营养状况存在关联。

表4 主成分因子负荷矩阵

Table 4 Load matrix of principal component factors

指标 Index	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
单果质量 Single fruit mass	−0.846	0.105	0.150	0.168	0.130	0.202
果实纵径 Fruit longitudinal diameter	−0.895	0.098	0.074	0.151	0.015	0.171
可溶性固形物含量 Soluble solids content	0.463	0.753	0.084	0.163	0.100	−0.006
可滴定酸含量 Titratable acidity content	0.740	0.304	0.151	−0.124	0.126	0.144
维生素C含量 Vitamin C content	−0.371	−0.133	−0.022	0.545	0.435	0.338
N含量 N content	0.276	−0.750	0.189	−0.088	−0.311	0.025
Ca含量 Ca content	0.102	−0.002	0.913	−0.173	0.062	0.097
K含量 K content	0.296	−0.769	0.255	0.003	0.120	0.243
Mg含量 Mg content	0.035	−0.209	0.946	−0.091	0.026	0.095
Fe含量 Fe content	−0.212	0.150	0.645	0.230	−0.359	0.171
Zn含量 Zn content	−0.115	−0.275	0.248	−0.286	−0.143	0.578
山梨醇含量 Sorbitol content	0.297	0.762	0.214	0.352	0.060	−0.071
果糖含量 Fructose content	−0.225	0.363	−0.050	0.792	0.094	−0.183
葡萄糖含量 Glucose content	0.090	0.457	−0.121	0.787	−0.048	−0.182
奎尼酸含量 Quinic acid content	0.848	−0.011	0.197	−0.071	0.117	−0.114
苹果酸含量 Malic acid content	0.666	0.054	−0.259	0.261	−0.292	0.376
果实硬度 Fruit firmness	−0.041	−0.020	0.092	−0.127	−0.037	0.848
*L**	0.323	0.328	−0.261	−0.049	−0.336	−0.436
*a**	0.227	−0.069	−0.013	−0.024	−0.777	0.116
醇类含量 Alcohol content	0.376	0.180	−0.104	−0.036	0.793	0.008
醛类含量 Aldehydes content	0.316	0.255	0.049	−0.616	0.402	0.190
特征值 Eigenvalue	4.358	3.127	2.624	2.414	2.119	1.831
方差贡献率 Variance Contribution Rate/%	20.750	14.892	12.493	11.495	10.093	8.719
累计方差贡献率 Cumulative variance contribution rate/%	20.750	35.643	48.136	59.631	69.723	78.442

2.6 评价模型的构建及综合得分情况

F_1~F_6分别代表PC1~PC6主因子，X_1~X_{21}分别代表21项果实品质指标，以标准化数据运算得到成分得分系数矩阵，用于计算各个因子的得分。因子得分（以F_1为例）：$F_1=-0.196X_1-0.213X_2+0.087X_3+0.163X_4-0.008X_5+0.104X_6+0.008X_7+0.136X_8+0.012X_9-0.045X_{10}-0.023X_{11}+0.059X_{12}-0.005X_{13}+0.066X_{14}+0.206X_{15}+0.203X_{16}+0.009X_{17}+0.034X_{18}+0.049X_{19}+0.097X_{20}+0.016X_{21}$。

以每个特征向量载荷值为系数，得到主成分的线性方程，再将每个主成分所对应的方差贡献率作为权重，即可构建主成分综合评价模型（综合得分表达式）：$F=-20.75\%\times F_1+14.892\%\times F_2+12.493\%\times F_3+11.495\%\times F_4+10.093\%\times F_5+8.719\%\times F_6$。

由表5可知，甜樱桃品质综合排名依次为含香＞友谊＞晚红珠＞美早＞红灯＞萨米脱。其中，含香综合品质最优，主要体现在PC2中糖含量高、果实大、有机酸含量较低；其次为友谊，其钙、镁含量较高，且在色泽和香气方面表现突出。

表5　不同品种甜樱桃果实品质指标因子得分及排名

Table 5　Factor scores and rankings of fruit quality indicators for different sweet cherry cultivars

因子得分及排名 Factor score and ranking	品种 Variety					
	红灯 Hongdeng	美早 Tieton	萨米脱 Summit	含香 Zhukovskaya	晚红珠 Wanhongzhu	友谊 Druzhba
F1	1.24	−0.47	−0.56	−0.49	0.77	1.06
F2	−0.64	−0.32	−0.72	1.86	0.46	−0.37
F3	−1.00	−0.90	−0.24	−0.74	0.41	2.34
F4	0.89	−1.65	−1.33	−0.50	−0.83	0.34
F5	0.06	0.69	−1.52	0.32	1.11	2.08
F6	0.80	0.77	−1.23	−0.17	0.08	−0.46
综合得分F Overall score F	−0.30	−0.11	−0.43	0.25	−0.02	0.23
排名 Ranking	5	4	6	1	3	2

3　讨　论

相关性分析作为一种探究变量间线性关系紧密程度的统计方法，能够量化不同品质指标之间的协同或制约关系，为简化评价指标、揭示品质形成机制提供依据[9]。甜樱桃果实品质指标的相关性分析表明，甜樱桃果实单果质量与可滴定酸、奎尼酸含量呈极显著负相关（$P<0.01$），表明甜樱桃果实越大，酸类物质含量越低。葡萄糖作为甜樱桃最主要的糖类物质，与蔗糖、山梨醇和果糖含量均呈极显著正相关（$P<0.01$），与K、Zn含量呈极显著负相关（$P<0.01$）。山梨醇作为糖代谢的重要物质，与可溶性固形物、可滴定酸、果糖和葡萄糖含量均呈极显著正相关（$P<0.01$）。苹果酸作为甜樱桃最重要的有机酸，与蔗糖含量呈极显著正相关（$P<0.01$），与可滴定酸、奎尼酸、柠檬酸含量呈显著正相关（$P<0.05$）。甜樱桃果实中矿质元素含量之间呈显著相关性，Ca与Mg含量呈极显著正相关（$P<0.01$），同时二者均与P含量呈显著正相关（$P<0.05$），表明其代谢可能具有共同机制。N与K含量呈极显著正相关（$P<0.01$）；N、K含量与可溶性固形物、葡萄糖、山梨醇和果糖含量均呈显著负相关（$P<0.05$）。Wang等[23]认为在果实成熟期N含量会导致果实可溶性固形物含量降低；而闫帅等[24]认为，充足K元素可提高果实糖含量。因此，在果实成熟期应合理配置N、K元素肥料，有效控制N元素施用，并提高K元素含量，以提高甜樱桃果实甜度。果实颜色作为甜樱桃挑选的重要依据。本研究发现，维生素C含量与L^*、b^*均呈极显著负相关（$P<0.01$），表明果实颜色越偏紫黑色，其维生素C含量越高。

聚类分析作为一种无监督模式识别方法，能够根据样本间的相似性自动聚类，已在食品风味组学研究中得到广泛应用[10]。香气是甜樱桃果实风味形成的重要因素之一。甜樱桃中主要有醛类、醇类、酮类、酸类、酯类以及萜烯类化合物[25]。其中，(E)-2-己烯醛、2-己烯醛、己醛和(E)-2-己烯-1-醇为甜樱桃最关键的香气成分[26]。在本试验6个甜樱桃品种中，共检测出32种香气物质，主要为醇类、酯类、醛类以及其他香气物质，与前人研究结果相似。本研究采用组间连接法，将6个甜樱桃品种分成3类，美早、含香、友谊、晚红珠为第Ⅰ类，共4个品种，其香气物质含量较高；红灯为第Ⅱ类，香气种类数量中等，但含量较低；萨米脱为第Ⅲ类，香气物质含量最低且显著低于其他品种。

主成分分析作为一种多元统计降维技术，能够在尽可能保留原始信息的前提下，将多个相关性较强的品质指标转化为少数相互独立的综合变量（主成分），从而简化数据结构、揭示品质评价的核心维度[9]。本研究筛选得到6个主成分，累计贡献率达78.442%，在果实大小、色泽、糖、酸、风味及矿质元

素方面对不同品种甜樱桃果实品质进行评价。结果表明，含香的综合评价最优，主要特征为果大、低酸、高糖、色泽好、风味足；其次为友谊，其钙、镁等矿质元素含量较高，同时在色泽与香气方面表现优异；前人研究多将美早、萨米脱等传统主栽品种认定为综合品质优良的甜樱桃种质。如在候璇等[12]研究中美早综合得分最高，而本研究中含香、友谊综合排名更具优势，这可能与供试品种的区域生态适应性、栽培管理条件及本研究新增风味、矿质元素评价指标密切相关；晚红珠排名第三，主要在PC5（果实色泽与香气）上表现突出，但在PC1（果实大小）及PC4（糖含量）上处于劣势；美早排名第四，主要优势体现在PC6（果实硬度与Zn含量）上，同时果型较大，这与张素敏等[27]研究中认为美早果个大、果肉硬度高的品种固有特征结论一致，但在PC4（糖组分）得分较低；红灯排名第五，其在PC4中表现尚可，表明果实中葡萄糖与果糖含量较高，但由于果实较小、酸度高以及矿质元素含量较低导致果实品质不佳；萨米脱整体表现不佳，在主成分评分系统中各项指标均为负值，得分最低。

4 结 论

本研究整合甜樱桃果实外观品质、风味品质及营养元素含量指标，构建果实品质综合评价体系，并结合相关性分析与主成分分析法，系统探究不同甜樱桃品种的果实品质特征。基于筛选的21项代表性评价指标，采用主成分分析法将其降维为6个主成分，从果实大小、色泽、糖酸组分、风味特质及矿质元素等维度，对6个供试甜樱桃品种开展综合品质评价。结果表明，6个甜樱桃品种的综合品质排名依次为：含香＞友谊＞晚红珠＞美早＞红灯＞萨米脱。

参考文献 References：

[1] 周慧，王愈，王云香，李文生，王宝刚. EBR处理对甜樱桃贮藏期间品质及生理特性的影响[J]. 食品工业科技，2018，39(12)：290-295.
Zhou Hui，Wang Yu，Wang Yunxiang，Li Wensheng，Wang Baogang. Effect of EBR treatment on quality and physiological characteristics of sweet cherry during storage[J]. Science and Technology of Food Industry，2018，39(12)：290-295.

[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 cherries in China[J]. Deciduous Fruits，2017，49(6)：1-5.

[3] 王浩，黄智林，陈涛，张静，王燕，陈清，汤浩茹，王小蓉. 基于ITS序列的中国樱桃、欧洲甜樱桃和毛樱桃种内遗传多样性及种间关系分析[J]. 园艺学报，2018，45(1)：126-138.
Wang Hao，Huang Zhilin，Chen Tao，Zhang Jing，Wang Yan，Chen Qing，Tang Haoru，Wang Xiaorong. Genetic diversity and relationship analysis among *Cerasus pseudocerasus*，*C. avium*，and *C. tomentosa* based on internal transcribed spacer (ITS) sequences[J]. Acta Horticulturae Sinica，2018，45(1)：126-138.

[4] 程亮，黄泰山，赵雅琦，张文远，邓建军. 甜樱桃早、中熟品种生物学特性及果实性状综合评价[J/OL]. 果树学报，2025：1-12(2025-07-02). https://doi.org/10.13925/j.cnki.gsxb.20250186.
Cheng Liang，Huang Taishan，Zhao Yaqi，Zhang Wenyuan，Deng Jianjun. Comprehensive evaluation of biological characteristics and fruit traits in early and mid-ripening sweet cherry varieties[J/OL]. Journal of Fruit Science，2025：1-12(2025-07-02). https://doi.org/10.13925/j.cnki.gsxb.20250186.

[5] 崔建潮，徐海娇，贾晓辉，王英杰，陈晓会，王文辉. 甜樱桃采后主要真菌病害的分离鉴定及致病力分析[J]. 核农学报，2024，38(10)：1968-1975.
Cui Jianchao，Xu Haijiao，Jia Xiaohui，Wang Yingjie，Chen Xiaohui，Wang Wenhui. Isolation，identification and pathogenicity analysis of pathogenic fungus in sweet cherries during postharvest storage[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences，2024，38(10)：1968-1975.

[6] 郝麒麟. 巫山脆李品质评价研究[D]. 重庆：西南大学，2021.
Hao Qilin. Study on quality evaluation of Wushan plum[D]. Chongqing：Southwest University，2021.

[7] 魏江彤，马志航，田旭东，李雪雯，张志军，李超，马锋旺. 8份苹果种质资源的果实品质评价[J]. 果树学报，2025，42(10)：2225-2239.
Wei Jiangtong，Ma Zhihang，Tian Xudong，Li Xuewen，Zhang Zhijun，Li Chao，Ma Fengwang. Fruit quality evaluation on eight apple germplasm accessions[J]. Journal of Fruit Science，2025，42(10)：2225-2239.

[8] 罗旭婷，刘伟，张群，王春发，付复华，杨明之. 湖南23个桃品种果实品质分析及综合评价[J]. 食品科学，2025，46(20)：36-46.
Luo Xuting，Liu Wei，Zhang Qun，Wang Chunfa，Fu Fuhua，Yang Mingzhi. Quality analysis and comprehensive evaluation of 23 varieties of peach fruits in Hunan[J]. Food Science，2025，46(20)：36-46.

[9] 郭琳琳，庞荣丽，王瑞萍，乔成奎，田发军，王彩霞，李君，庞涛，成昕，谢汉忠. 猕猴桃营养品质综合评价[J]. 果树学报，2022，39(10)：1864-1872.
Guo Linlin，Pang Rongli，Wang Ruiping，Qiao Chengkui，Tian Fajun，Wang Caixia，Li Jun，Pang Tao，Cheng Xin，Xie Hanzhong. Comprehensive trait evaluation for kiwifruit nutritional quality[J]. Journal of Fruit Science，2022，39(10)：1864-1872.

[10] 王安娜，秦健，汤秀华，赵志刚，陈茜，代建菊，王文林，董涛. 27个油梨品种果实品质分析与综合评价[J/OL]. 果树学报，2025：1-19(2025-07-01). https://doi.org/10.13925/j.cnki.

gsxb.20250202.
Wang Anna，Qin Jian，Tang Xiuhua，Zhao Zhigang，Chen Xi，Dai Jianju，Wang Wenlin，Dong Tao. Fruit quality analysis and comprehensive evaluation of 27 avocado varieties[J/OL]. Journal of Fruit Science，2025：1-19(2025-07-01). https://doi.org/10.13925/j.cnki.gsxb.20250202.

[11] 吴澎，贾朝爽，范苏仪，孙玉刚 . 樱桃品种果实品质因子主成分分析及模糊综合评价[J]. 农业工程学报，2018，34(17)：291-300.
Wu Peng，Jia Chaoshuang，Fan Suyi，Sun Yugang. Principal component analysis and fuzzy comprehensive evaluation of fruit quality in cultivars of cherry[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering，2018，34(17)：291-300.

[12] 候璇，尹凯花，聂国伟，李凯，张亚楠，张晓萍，田永强 . 山西地区39份甜樱桃种质果实品质分析与综合评价[J]. 果树学报，2025，42(4)：752-764.
Hou Xuan，Yin Kaihua，Nie Guowei，Li Kai，Zhang Yanan，Zhang Xiaoping，Tian Yongqiang. Analysis and comprehensive evaluation of fruit quality of 39 sweet cherry accessions in Shanxi region[J]. Journal of Fruit Science，2025，42(4)：752-764.

[13] 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[J]. 果树学报，2021，38(4)：509-519.
Tian Yanlong，Ma Yongqiang，Wang Lei，Guo Qingyun，Chen Hongyu. Quality analysis of sweet cherry fruits in different ecological areas in northwest China[J]. Journal of Fruit Science，2021，38(4)：509-519.

[14] 徐锴，吕志明，赵德英，张少瑜，闫帅，侯桂学 . 辽宁大连露地甜樱桃营养状况调查报告[J]. 中国果树，2022(10)：83-87.
Xu Kai，Lü Zhiming，Zhao Deying，Zhang Shaoyu，Yan Shuai，Hou Guixue. Investigation report on nutritional status of open-field sweet cherry in Dalian，Liaoning Province[J]. China Fruits，2022(10)：83-87.

[15] 张琪静 . 甜樱桃果实品质研究进展[J]. 果树学报，2025，42(10)：2430-2439.
Zhang Qijing. Research advance in fruit quality of sweet cherry[J]. Journal of Fruit Science，2025，42(10)：2430-2439.

[16] 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[J]. 食品科学，2019，40(4)：244-250.
Jia Chaoshuang，Shan Changsong，Zhou Tao，Li Xiangyang，Wu Peng，Sun Yugang. Comparison of fruit nutritional traits of major cultivars of Chinese cherry (*Prunus pseudocerasus* Lindl.) [J]. Food Science，2019，40(4)：244-250.

[17] NY/T 2637—2014 水果和蔬菜可溶性固形物含量的测定 折射仪法[S].
NY/T 2637—2014 Refractometric method for determination of total soluble solids in fruits and vegetables[S].

[18] 王阳，佟伟，王文辉，贾晓辉，杜艳民 . 辽宁鞍山不同产区南果梨果实香气成分分析[J]. 中国果树，2023(10)：19-28.
Wang Yang，Tong Wei，Wang Wenhui，Jia Xiaohui，Du Yanmin. Analysis of fruit aromatic components of different ‘Nanguo’ pear regions in Anshan，Liaoning province[J]. China Fruits，2023(10)：19-28.

[19] 陈美霞，陈学森，慈志娟，史作安 . 杏果实糖酸组成及其不同发育阶段的变化[J]. 园艺学报，2006，33(4)：805-808.
Chen Meixia，Chen Xuesen，Ci Zhijuan，Shi Zuoan. Changes of sugar and acid constituents in apricot during fruit development[J]. Acta Horticulturae Sinica，2006，33(4)：805-808.

[20] 王小龙，邵学东，张正文，钟晓敏，刘畅，王志强，王宝亮，冀晓昊，史祥宾，王海波 . 酿酒葡萄‘梅乐’植株和土壤营养水平与果实品质的关联性分析[J]. 园艺学报，2024，51(11)：2575-2593.
Wang Xiaolong，Shao Xuedong，Zhang Zhengwen，Zhong Xiaomin，Liu Chang，Wang Zhiqiang，Wang Baoliang，Ji Xiaohao，Shi Xiangbin，Wang Haibo. Correlation analysis of fruit quality and the nutrient level in plant and soil of wine grape ‘Merlot’[J]. Acta Horticulturae Sinica，2024，51(11)：2575-2593.

[21] GB 5009.86—2016 食品安全国家标准 食品中抗坏血酸的测定[S].
GB 5009.86—2016 Determination of Ascorbic Acid in National Food Safety Standard Food[S].

[22] 邱爽，唐飞，刘畅，谢美林，魏阳吉，李景明 . 气相色谱-质谱联机结合感官分析共建樱桃香气关联网络[J]. 食品科学，2021，42(16)：209-217.
Qiu Shuang，Tang Fei，Liu Chang，Xie Meilin，Wei Yangji，Li Jingming. Aroma networking of cherries based on gas chromatography-mass spectrometric data and sensory evaluation[J]. Food Science，2021，42(16)：209-217.

[23] Wang F，Ge S F，Xu X X，Xing Y，Du X，Zhang X，Lv M X，Liu J Q，Zhu Z L，Jiang Y M. Multiomics analysis reveals new insights into the apple fruit quality decline under high nitrogen conditions[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry，2021，69(19)：5559-5572.

[24] 闫帅，宋良，刘振杰，仉服春，徐锴，袁继存，张少瑜，赵德英 . 南果梨叶片、果实矿质营养与果实品质的相关性分析[J]. 中国果树，2022(7)：33-36.
Yan Shuai，Song Liang，Liu Zhenjie，Zhang Fuchun，Xu Kai，Yuan Jicun，Zhang Shaoyu，Zhao Deying. Correlation analysis of mineral nutrition and fruit quality of ‘Nanguoli’ pear[J]. China Fruits，2022(7)：33-36.

[25] Mattheis J P，Buchanan D A，Fellman J K. Volatile compounds emitted by sweet cherries (*Prunus avium* cv. Bing) during fruit development and ripening[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry，1992，40(3)：471-474.

[26] 郝帅棋，郭青云，李霖灏，袁华宁 . 青海地区6个甜樱桃品种果实发育过程中香气物质的动态变化[J]. 果树学报，2025，42(4)：815-827.
Hao Shuaiqi，Guo Qingyun，Li Linhao，Yuan Huaning. Dynamic changes of aroma substances during fruit development of six sweet cherry varieties in Qinghai[J]. Journal of Fruit Science，2025，42(4)：815-827.

[27] 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[J]. 食品研究与开发，2022，43(20)：73-82.
Zhang Sumin，Yang Wei，Wang Baisong，He Yang，Zhang Qijing. Evaluation of fruit quality characteristics of 12 sweet cherry varieties[J]. Food Research and Development，2022，43(20)：73-82.