果 树 学 报 2026,43(4):886-896
Journal of Fruit Science

DOI:10.13925/j.cnki.gsxb.20250463

5个无花果品种果实品质指标的综合比较与分析

何 青[1,2],乔天福[1,3],董定利[1],汤 俊[1],张佳丽[1],李艳霞[1],王甲水[1*],杨宏宾[1*]

([1]中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所•热带作物生物育种全国重点实验室•农业农村部华南作物基因资源与种质创制重点实验室•海南省热带作物资源遗传改良与创新重点实验室,海口 571101;
[2]华中农业大学园艺林学学院,武汉 430070;[3]云南农业大学热带作物学院,云南普洱 665099)

摘 要:【目的】比较分析5个无花果品种果实的品质差异,为无花果优良品种的选育及种植推广提供依据。**【方法】**以金傲芬、芭劳奈、青皮、波姬红和丰产黄5个无花果品种为材料,测定并分析其外观和内在品质差异(共36个指标)。**【结果】**在果实色差上,*L**、*b**值表现为金傲芬>青皮>丰产黄>芭劳奈>波姬红,*a**值则为青皮<金傲芬<芭劳奈<丰产黄<波姬红;5个无花果品种的可溶性糖由葡萄糖、果糖和蔗糖组成,以葡萄糖与果糖为主,其含量占比分别为49.12%~51.22%和45.23%~46.72%;有机酸由苹果酸、琥珀酸、富马酸、莽草酸和奎宁酸构成,以苹果酸为主,其含量占比为55.65%~74.67%;此外,各品种果实中均检测出11种氨基酸和11种脂肪酸,品种间组分一致但含量存在显著差异;在蛋白质、总酚和总黄酮含量上,品种间表现为青皮蛋白质含量最高,金傲芬最低;总酚含量以芭劳奈最高,约为金傲芬的2.5倍;总黄酮含量以丰产黄和青皮最高,芭劳奈最低。**【结论】**综合各品质指标利用雷达图分析表明在5个品种中,青皮无花果的果实综合品质最佳,其余依次为丰产黄、芭劳奈、波姬红和金傲芬。

关键词:无花果品种;品质指标;综合比较;差异分析

中图分类号:S663.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-9980(2026)04-0886-11

Comprehensive comparison and analysis of fruit quality indicators of five *Ficus carica* Linn. varieties

HE Qing[1,2], QIAO Tianfu[1,3], DONG Dingli[1], TANG Jun[1], ZHANG Jiali[1], LI Yanxia[1], WANG Jiashui[1*], YANG Hongbin[1*]

([1]Tropical Crops Genetic Resources Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences/National Key Laboratory for Tropical Crop Breeding/Key Laboratory of Crop Gene Resources and Germplasm Enhancement in Southern China, Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Key Laboratory of Tropical Crops Germplasm Resources Genetic Improvement and Innovation of Hainan Province, Haikou 571101, Hainan, China; [2]College of Horticulture and Forestry Sciences, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, Hubei, China; [3]College of Tropical Crops, Yunnan Agricultural University, Pu'er 665099, Yunnan, China)

Abstract:【Objective】This study aimed to evaluate the quality of fig (*Ficus carica* Linn.) fruits and provide a reference for consumers and breeders for promoting the sustainable development of the fig industry.【Methods】Using the fruits of five main fig varieties, namely Orphan, Banane, Qingpi, Bojihong and Fencahn, as experimental materials, the differences in appearance and internal quality were determined and analyzed, covering 36 indicators such as fruit color difference, soluble sugar, organic acid, fatty acid, amino acid, protein and total phenols, total flavonoids, etc.. A radar chart was also used for comprehensive evaluation.【Results】The results showed that in terms of fruit color difference, the *L** and *b** values of Orphan were all higher than those of Qingpi, Fencahn, Banane and Bojihong, while the *a** value of Qingpi was lower than those of Orphan, Banane, Fencahn and Bojihong. The soluble sugar of the fruits of the five fig varieties was composed of glucose, fructose and sucrose, with glucose and fructose being the main components, accounting for 49.12%−51.22% and 45.23%−46.72% respec-

收稿日期:2025-08-20 **接受日期:**2025-10-10

基金项目:海南省科技特派员项目(WZSKTPXM202206)

作者简介:何青,女,在读硕士研究生,研究方向为果实品质精准鉴定与评价。E-mail:1633095741@qq.com

***通信作者** Author for correspondence. E-mail:jiashuiwang@126.com;E-mail:yanghongbin1993@163.com

tively. In terms of soluble sugar content, Qingpi had the highest content (173.02 mg · g^{-1}), Orphan had the lowest content (115.22 mg · g^{-1}), and the content of each sugar component on Qingpi was higher than those of Fencahn, Bojihong, Banane and Orphan, and there were significant differences among the varieties. The organic acid of each variety of fig varities was composed of malic acid, quinic acid, succinic acid, shikimic acid and fumaric acid, and the malic acid was the main organic acid, and the proportion of each organic acid among the varieties was significantly different. The proportion of malic acid was 55.65%−74.67%, quinic acid was 18.74%−35.36%, succinic acid was 1.47%−4.49%, shikimic acid was 1.41%−3.77%, and fumaric acid was 0.7%−1.23%. The organic acid content of Orphan was highest (1.43 mg · g^{-1}) and Fencahn was lowest (0.69 mg · g^{-1}), and the content of each single organic acid was significantly different among the varieties. The content of malic acid (1.07 mg · g^{-1}) and shikimic acid (0.3 mg · g^{-1}) of Orphan was the highest, the content of quinic acid (0.35 mg · g^{-1}) and fumaric acid (0.01 mg · g^{-1}) of Bojihong was the highest, and succinic acid (0.05 mg · g^{-1}) of Qingpi was the highest. The GC-MS detection revealed that all five fig varieties contained 11 amino acids, namely alanine, serine, glutaric acid, threonine, asparagine, γ-aminobutyric acid, valine, isoleucine, proline, and piperidine acid. The content of each amino acid in different varieties was significantly different, with Banane having the highest content of alanine, serine, glutaric acid, γ-aminobutyric acid and asparagine; Qingpi having the highest content of proline, piperidine acid and threonine; Orphan having relatively higher content of valine, aspartic acid and isoleucine. In contrast, the contents of amino acids of Bojihong and Fencahn were generally lower. The total fatty acid content varied among the varieties, with Fencahn having the highest content of 2 048.44 μg · g^{-1} and Orphan having the lowest content of 1 652.42 μg · g^{-1}. Furthermore, the GC-FID test results indicated that the total fatty acids of the five fig varieties were composed of 11 types of fatty acids, namely C14:0, C16:0, C16:1n7, C18:0, C18:1n9, C18:2n6, C18:3n3, C20:0, C20:1n9, C22:0 and C22:1n9. Each type of fatty acid had significant differences in content and proportion among the different varieties. Among them, Fencahn had the highest content of C14:0, C16:0 and C16:1n7 and Orphan had the lowest ; C18:0, C20:1n9, and all varieties had similar content of C22:1n9 with no significant differences; Bojihong had he highest content of C18:1n9 (234.92 μg · g^{-1}) and Fencahn had the lowest content (186.24 μg · g^{-1}); Qingpi had a significantly higher content of C18:2n6 (426.04 μg · g^{-1}) than other varieties; Fencahn had a much higher content of C18:3n3 (301.32 μg · g^{-1}) than other varieties; The content of C20:0 in Banane (77.56 μg · g^{-1}) was relatively high and relatively low in Bojihong (34.45 μg · g^{-1}); while the content of C22:0 in Qingpi was the highest (45.54 μg · g^{-1}), approximately twice as high as the value of Orphan (23.77 μg · g^{-1}). In terms of protein, total phenols and total flavonoids, there were also significant differences among the varieties. Among them, the protein content was the highest in Qingpi (8.17 mg · g^{-1}), and the lowest in Orphan (4.19 mg · g^{-1}). The total phenol content was the highest in Banane (0.51 mg · g^{-1}), approximately 2.5 timesas high as the value of Orphan (0.21 mg · g^{-1}). The total flavonoid content was the highest in Fencahn and Qingpi (0.43 mg · g^{-1} and 0.42 mg · g^{-1} respectively), and the lowest in Orphan and Banane (0.17 mg · g^{-1} and 0.14 mg · g^{-1} respectively).【Conclusion】In terms of the overall fruit quality, Qingpi is the best variety, followed by Fencahn, Banane, Bojihong and Orphan.

Key words: *Ficus carica* Linn. varieties; Quality indicators; Comprehensive comparison; Differential analysis

无花果（*Ficus carica* Linn.）又名奶浆果、红心果、蜜果，是桑科榕属的一种落叶乔木或小灌木，原产于地中海沿岸，后陆续引种到世界各地，是最早改良并栽培的果树品种之一，因其在生长期间“只见

花不见果”的特性而得名[1]。在我国，无花果的栽培遍及广东、陕西、山东和新疆等地，其中山东的种植面积最广，占总栽培面积的50%以上，主栽品种有布兰瑞克、波姬红、金傲芬、青皮等[2]。无花果果实不仅富含可溶性糖、脂肪酸、蛋白质、氨基酸、酚类和黄酮类等多种营养物质，同时也含有多种能够抗氧化、抗癌和降血糖血脂的活性物质，具有极高的食用价值和药用价值，被誉为“21世纪人类健康的守护神”，备受消费者的青睐[3]。

随着人们对无花果需求的日益增长，市场上不断涌现出新的无花果品种，而不同的果实品种品质各不相同。袁朝阳等[4]通过测定不同品种无花果果实的果形、果色、可溶性糖含量、糖酸比、固酸比、可溶性固形物含量、可滴定酸含量、维生素C含量等指标，结果表明不同品种的各成分指标存在显著差异。Crisosto等[5]对4个不同品种以及不同成熟度的无花果果实的品质指标包括呼吸速率、乙烯产生量等进行了测定并邀请100名消费者店内品尝，结果表明不同品种及不同成熟度会显著影响无花果果实的品质属性和消费者接受度。孙锐等[6]对9种无花果果实的氨基酸组成和矿质元素含量进行了比较与分析，结果表明每个品种中均有16种氨基酸，但各单一氨基酸的含量不同。同时也发现在9种无花果中，K、Mg、Se元素的含量存在极显著差异，其中，K、Se含量明显高于其他水果，为富钾、硒水果。

目前针对无花果多维度综合品质评价的研究仍较缺乏，因此本文对5个无花果品种的果实色差、可溶性糖组成、有机酸组成、脂肪酸组成、氨基酸组成、蛋白质含量、总酚含量和总黄酮含量共36个指标进行了系统测定与分析，为消费者甄选高品质无花果提供指导，同时为无花果品种优化与推广奠定理论基础，助力无花果产业的长期发展。

1 材料和方法

1.1 试验材料

5个无花果品种果实根据生理成熟期于2024年2月均采自海南省五指山市。采集的果实立即运往实验室。挑选大小、颜色均匀且无损伤的果实30个，平均分为3个生物学重复，每个重复10个果实。果实测完色差后，将整个果子切成小块用液氮冷冻，再用研磨机研磨成粉末，置于−80 ℃保存，后续用于果实可溶性糖、有机酸、脂肪酸、氨基酸、蛋白质、总酚及总黄酮含量的测定。

1.2 仪器与方法

果实色差采用色差仪CR-400（Konica Minolta，Tokyo，Japan）测定，选取果实赤道上的3个测定点，测定果实的CIE L^*、a^*、b^*值并进行记录。

可溶性糖、氨基酸和有机酸组成参考Mo等[7]的方法并作了简化与修改，采用气相色谱仪7890B-5977 A GC-MS（Agilent Technologies，USA）进行测定，取0.3 g果肉粉末加2.7 mL冷甲醇和300 μL核糖醇超声30 min，70 ℃ 15 min，−20 ℃ 4 h，离心后取上清真空干燥后先后用盐酸甲氧胺溶液和BSTFA在50 ℃及60 ℃衍生，过膜后上机，以2 mg·mL^{-1}核糖醇为内标定量的可溶性糖、有机酸和氨基酸。

脂肪酸采用GC-FID（7890B，Agilent Technologies，USA）进行测定，取0.3 g果肉粉末加正十五烷酸，先用75 ℃异丙醇-BHT提取，再用正己烷震荡萃取，离心后取上清干燥后经2.5% H_2SO_4甲醇80 ℃甲酯化1 h，加正己烷和0.9%NaCl，离心取上清液，加无水硫酸钠除水，过膜后上机，以2 mg·mL^{-1}碳十五烷酸为内标定量脂肪酸。

蛋白质采用全自动凯氏定氮仪（Foss/kjeltec8400，丹麦）进行测定，取0.1 g果肉粉末加500 μL超纯水、5 mL浓硫酸和2次30% H_2O_2 2 mL，380 ℃消煮至透明，冷却后上机测定。

总酚、总黄酮含量参考王兴腾[8]的方法并作了简化与修改，采用酶标仪（Spark，Tecan）测定，总酚的测定方法为取0.2 g果肉粉末加50%乙醇5 mL超声30 min，离心后取0.1 mL上清液，加3 mL超纯水、0.25 mL福林酚，1 min后加20% Na_2CO_3 0.75 mL，定容至5 mL，避光30 min后吸200 μL于酶标板在760 nm波长下读数，再代入标准曲线进行计算；总黄酮含量的测定方法为0.2 g粉末加50%乙醇5 mL超声30 min，离心后取0.1 mL上清液，加2 mL超纯水，加5% $NaNO_2$ 0.15 mL，6 min后加10%六水合三氯化铝0.15 mL，5 min后加1 mol·L^{-1} NaOH 2 mL，定容至5 mL，静置30 min后吸200 μL于酶标板在510 nm波长下读数，再代入标准曲线计算。

1.3 数据统计与分析

所有试验均设置3个重复，结果以平均值±标准差表示。不同字母标记的数值差异显著（$P<0.05$）。统计分析和图表绘制使用R4.1.2版本完成。其中，

多重比较检验基于Tukey-Kramer检验，差异显著性水平为0.05，使用R中的“multcomp”包进行；柱状图和箱线图使用“ggplot2”包绘制；热图使用“pheatmap”包绘制；雷达图使用“ggradar”包绘制。

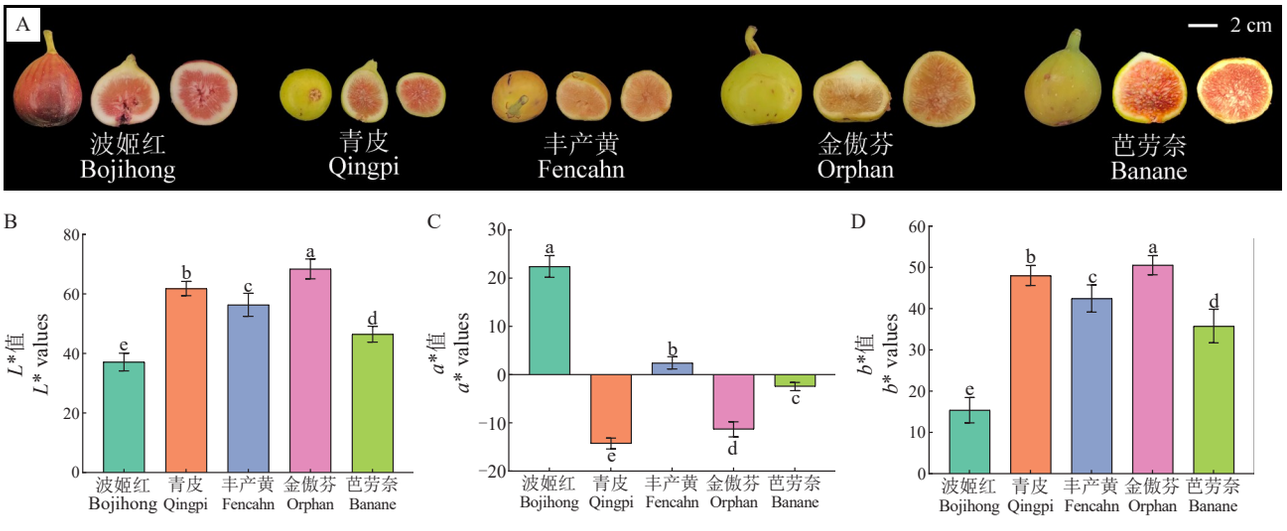
2　结果与分析

2.1　5个无花果品种果实色差的比较分析

果实色差是评价无花果外观品质的重要指标，通常以L^*、a^*、b^*值来呈现果实的色差特征。L^*代表颜色的亮度，数值越大，果实越亮。结果表明，各品种的L^*、a^*、b^*值均存在显著差异，其中，L^*、b^*值均表现为金傲芬＞青皮＞丰黄产＞芭劳奈＞波姬红，表明金傲芬果实最为明亮偏黄。而a^*值则表现为青皮＜金傲芬＜芭劳奈＜丰产黄＜波姬红，表明波姬红果实最红但亮度最低，呈现深红色；青皮果实颜色偏绿；丰产黄和芭劳奈的果实色泽在各指标上均处于中间水平，果实偏向黄绿色（图1）。

2.2　5个无花果品种果实可溶性糖成分含量的比较分析

如图2所示，各品种的可溶性糖均由果糖、葡萄



A. 本研究使用的 5 个无花果品种果实；B-D. 分别表示不同品种无花果果实的 CIE L^*，a^*，b^*值。不同小写字母表示差异显著（$P<0.05$）。下同。

A. Fruits of the 5 *Ficus carica* Linn. varieties used in this study; B-D.respectively represent the CIE L^*, a^*, and b^* values of the fruits of different varieties. Different small letters indicate significant difference at $P<0.05$. The same below.

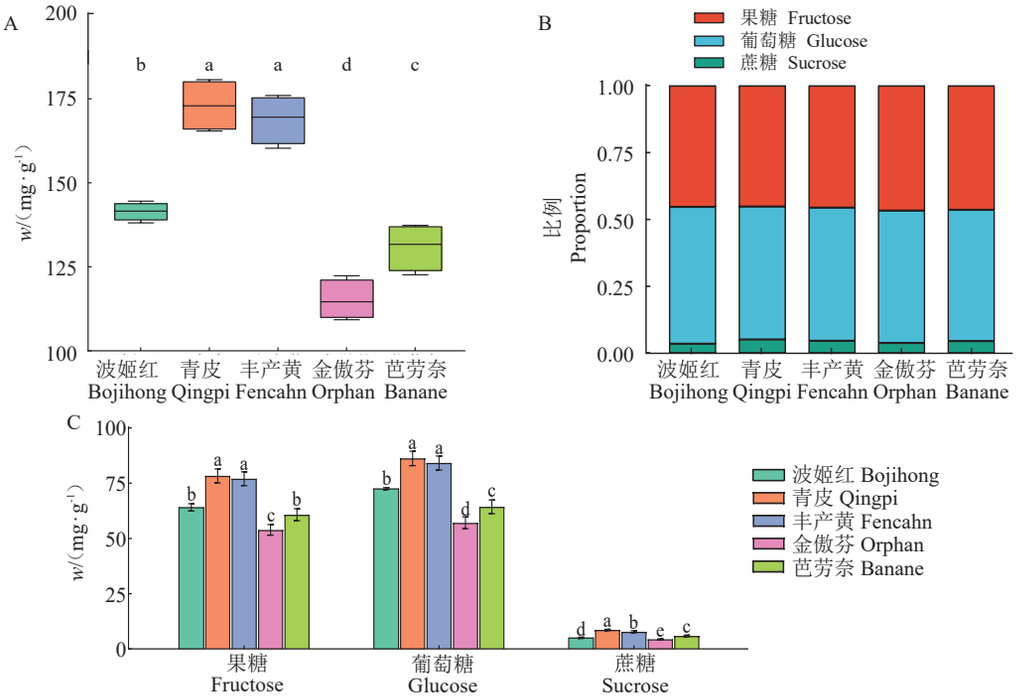
图 1　5 个无花果品种果实色差的分析

Fig. 1　Analysis of color differences in the fruits of 5 *Ficus carica* Linn. varieties

糖和蔗糖组成，5个无花果品种果实中果糖占比为45.23%~46.72%，葡萄糖占比为49.12%~51.22%，蔗糖占比为3.54%~4.95%。由此可见，5个无花果品种果实中可溶性糖以果糖和葡萄糖为主，且各糖组分占比在品种间无显著差异。在可溶性糖含量上，青皮（173.02 mg·g^{-1}）和丰产黄（168.87 mg·g^{-1}）含量较高无显著差异，但均显著高于其他品种；波姬红（141.47 mg·g^{-1}）、芭劳奈（130.85 mg·g^{-1}）和金傲芬（115.22 mg·g^{-1}）次之，两两之间均差异显著。在各糖组分含量上，品种间均表现为青皮＞丰产黄＞波姬红＞芭劳奈＞金傲芬，且存在显著差异。其中，在果糖含量上，青皮和丰产黄高达78.26 mg·g^{-1}和76.98 mg·g^{-1}，二者无显著差异，但均显著高于其他品种；波姬红（64.01 mg·g^{-1}）和芭劳奈（60.69 mg·g^{-1}）次之，二者含量相近差异不显著；金傲芬果糖含量显著最低为53.84 mg·g^{-1}；在葡萄糖含量上，青皮、丰产黄、波姬红、芭劳奈和金傲芬依次为86.19 mg·g^{-1}、84.11 mg·g^{-1}、72.46 mg·g^{-1}、64.28 mg·g^{-1}和57.05 mg·g^{-1}，仅青皮和丰产黄二者差异不显著；在蔗糖含量上，各品种含量高低依次为青皮（8.57 mg·g^{-1}）、丰产黄（7.78 mg·g^{-1}）、芭劳奈（5.88 mg·g^{-1}）、波姬红（5.01 mg·g^{-1}）和金傲芬（4.34 mg·g^{-1}），两两之间均差异显著。

2.3　5个无花果品种果实有机酸成分含量的比较分析

如图3所示，各品种果实的有机酸皆由苹果酸、奎



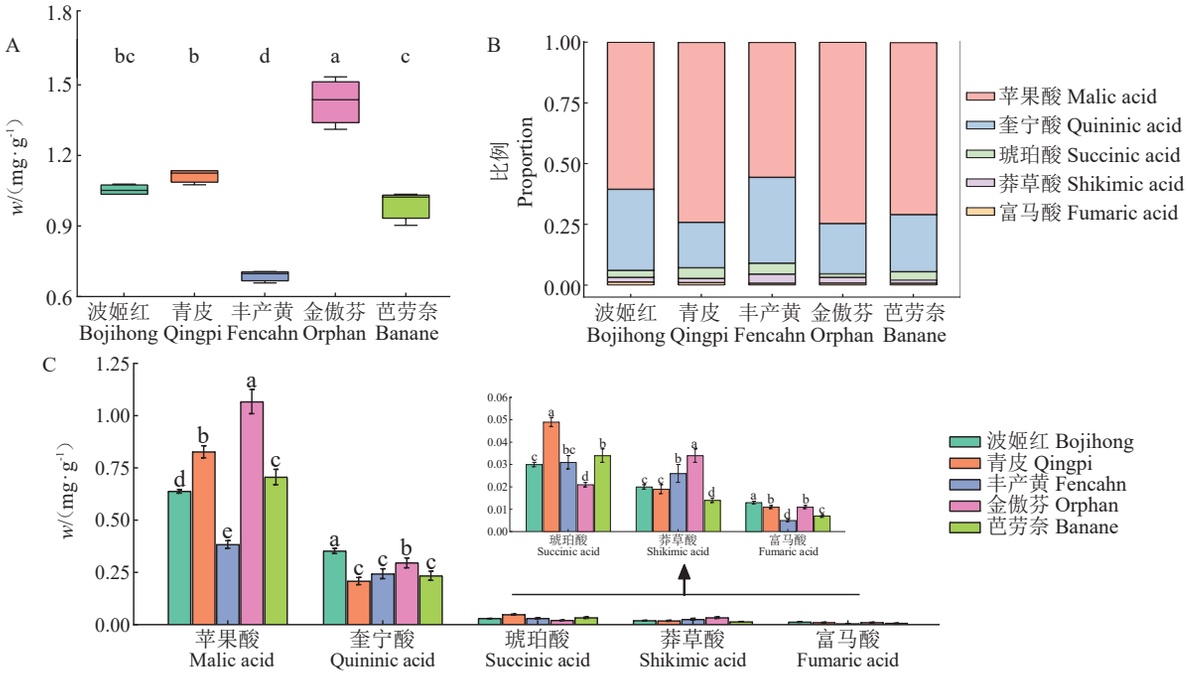
A. 果实的可溶性糖含量；B~C. 果实的糖组分占比及含量。

A. The soluble sugar content of the fruits of different varieties; B-C. The proportion and content of sugar components in the fruits of each variety.

图 2　5 个无花果品种果实可溶性糖的组成分析

Fig. 2　Analysis of the composition of soluble sugars in the fruits of 5 *Ficus carica* Linn. varieties

宁酸、琥珀酸、莽草酸和富马酸组成，均以苹果酸为主要有机酸，但品种间各有机酸占比差异显著，其中，苹果酸占比为55.60%~74.67%，奎宁酸占比为18.78%~35.36%，琥珀酸占比为1.46%~4.49%，莽草酸占比为1.41%~3.77%，富马酸占比为0.74%~1.21%。此外，有机酸含量结果显示：金傲芬（1.43 mg·g^{-1}）最



A. 果实的有机酸含量；B. 果实有机酸组分占比；C. 果实有机酸组分含量。

A. Organic acid content of the fruit; B. Proportion of organic acid components in the fruit; C. Content of organic acid components in the fruit.

图 3　5 个无花果品种果实有机酸的组成分析

Fig. 3　Analysis of organic acid content in the fruits of 5 *Ficus carica* Linn. varieties

高；青皮（1.12 mg·g^{-1}）次之，与金傲芬差异显著；波姬红（1.05 mg·g^{-1}）和芭劳奈（1.00 mg·g^{-1}）接近，但显著低于青皮；丰产黄含量最低，仅有0.69 mg·g^{-1}。在有机酸各组分含量上，品种间也存在显著差异，对于苹果酸，品种间含量高低依次为金傲芬（1.07 mg·g^{-1}）、青皮（0.83 mg·g^{-1}）、芭劳奈（0.71 mg·g^{-1}）、波姬红（0.64 mg·g^{-1}）和丰产黄（0.38 mg·g^{-1}），两两之间均差异显著。对于奎宁酸，波姬红含量（0.35 mg·g^{-1}）最高，金傲芬（0.30 mg·g^{-1}）次之，丰产黄（0.24 mg·g^{-1}）、芭劳奈（0.23 mg·g^{-1}）和青皮（0.21 mg·g^{-1}）三者含量接近差异不显著，但均显著低于金傲芬；对于琥珀酸，青皮（0.05 mg·g^{-1}）、芭劳奈（0.03 mg·g^{-1}）、波姬红（0.03 mg·g^{-1}）和金傲芬（0.02 mg·g^{-1}）两两之间均存在显著差异，而丰产黄（0.03 mg·g^{-1}）与芭劳奈、波姬红含量相似，两两之间均无显著差异。对于莽草酸，品种间含量高低依次为金傲芬＞丰产黄＞波姬红＞青皮＞芭劳奈，仅波姬红与青皮差异不显著。对于富马酸，品种间含量高低依次为波姬红＞金傲芬＞青皮＞芭劳奈＞丰产黄，仅青皮与金傲芬不存在显著差异。

2.4　5个无花果品种果实氨基酸含量的比较分析

如图4所示，经GC-MS检测发现各品种无花果果实中均有11种氨基酸，分别为丙氨酸、丝氨酸、焦谷氨酸、苏氨酸、天冬酰胺、γ-氨基丁酸、缬氨酸、异亮氨酸、脯氨酸、哌啶酸，且每种氨基酸在不同品种果实中的含量存在明显差异。如芭劳奈在多种氨基酸含量上表现突出，其丙氨酸、丝氨酸、焦谷氨酸、γ-氨基丁酸及天冬酰胺的含量均表现为各品种中最高，丙氨酸在芭劳奈中的含量高达99.65 μg·g^{-1}，显著高于最低值丰产黄（37.70 μg·g^{-1}）的含量；丝氨酸在芭劳奈中含量高达91.63 μg·g^{-1}，在丰产黄中仅为25.38 μg·g^{-1}；焦谷氨酸在芭劳奈中的含量为103.27 μg·g^{-1}，是丰产黄含量（24.3 μg·g^{-1}）的近4倍；γ-氨基丁酸和天冬酰胺在芭劳奈中含量分别为155.47 μg·g^{-1}和274.00 μg·g^{-1}，远高于其他品种。脯氨酸、哌啶酸和苏氨酸含量在青皮中相对丰富，尤其是脯氨酸，其含量最高，为521.28 μg·g^{-1}，约为最低芭劳奈（52.22 μg·g^{-1}）的10倍；此外，哌啶酸和苏氨酸含量在青皮中最高，分别为335.55 μg·g^{-1}和19.85 μg·g^{-1}，与其他品种间存在显著差异。缬氨酸、天冬氨酸与异亮氨酸含量则在金傲芬中相对较高，分别为21.74 μg·g^{-1}、53.77 μg·g^{-1}、和16.39 μg·g^{-1}。而相比之下，波姬红与丰产黄的各氨基酸含量普遍偏低。

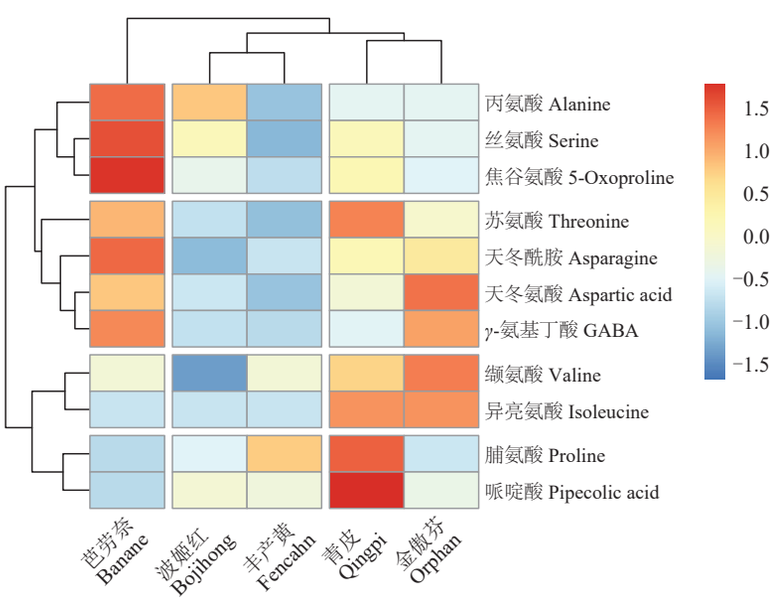


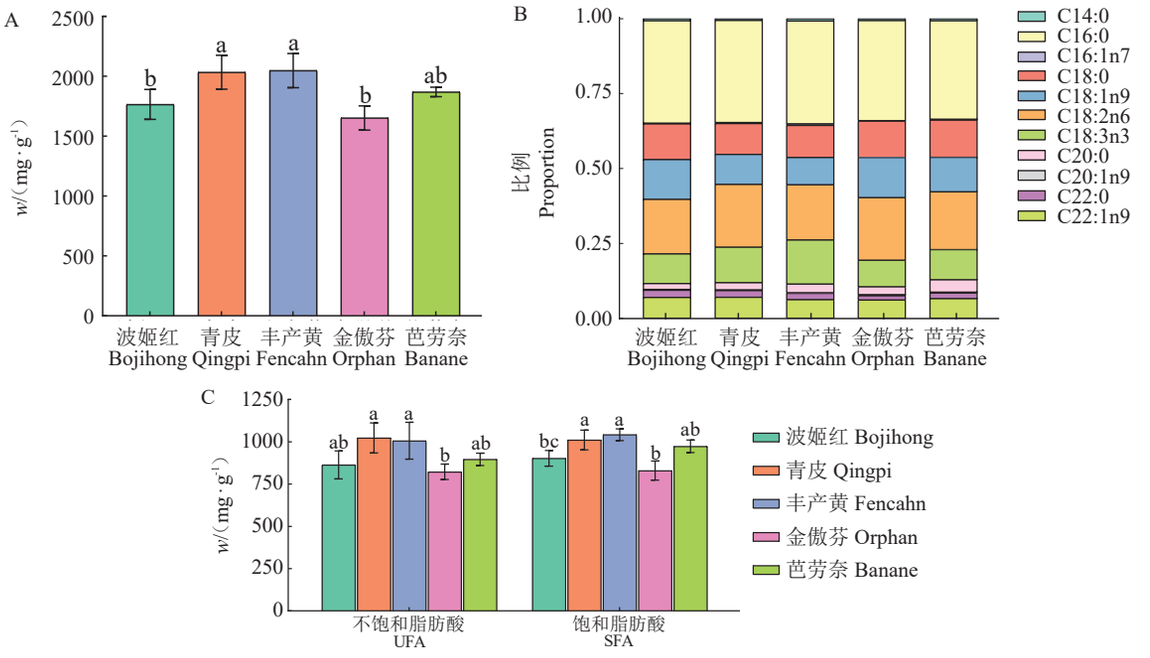
图4　5个无花果品种果实氨基酸组成的聚类热图分析

Fig. 4　Cluster heatmap analysis of amino acid compositions in the fruits of 5 *Ficus carica* Linn. varieties

2.5　5个无花果品种果实脂肪酸含量的比较分析

如图5-A所示，丰产黄、青皮和芭劳奈的总脂肪酸含量较高，分别为2 048.44 μg·g^{-1}、2 034.1 μg·g^{-1}和1 870.17 μg·g^{-1}，三者无显著差异；波姬红与金傲芬的总脂肪酸含量相对较低，分别为1 765.77 μg·g^{-1}和1 652.41 μg·g^{-1}，显著低于青皮和丰产黄，但与芭

劳奈无显著差异。此外，经检测发现各品种果实中均含有11种脂肪酸，分别为C14:0、C16:0、C16:1n7、C18:0、C18:1n9、C18:2n6、C18:3n3、C20:0、C20:1n9、C22:0和C22:1n9，且每种脂肪酸在不同品种果实中含量及占比不同（图5-B，表1）。其中，C14:0、C16:0和C16:1n7均表现为在丰产黄中含量最高，在金傲芬中含量最低。C18:0、C20:1n9和C22:1n9在各品种中含量相似，无明显差异。C18:1n9在波姬红中含量达到最高值234.92 μg·g^{-1}，而在丰产黄中含量最低为186.24 μg·g^{-1}。C18:2n6在青皮中含量（426.04 μg·g^{-1}）显著高于其他品种。C18:3n3在丰产黄中的含量（301.32 μg·g^{-1}）远高于其他品种。C20:0在芭劳奈中的含量（77.56 μg·g^{-1}）较高，在波姬红中含量（34.45 μg·g^{-1}）较低。C22:0则表现为在青



A. 果实总脂肪酸的含量；B. 果实脂肪酸的组成及比例；C. 果实饱和脂肪酸与不饱和脂肪酸的含量。

A. The total fatty acid content in the fruits; B. The composition and proportion of fatty acids in the fruits; C. The content of saturated fatty acids and unsaturated fatty acids in the fruits.

图5 5个无花果品种果实脂肪酸的组成分析

Fig. 5 Analysis of fatty acid composition in the fruits of 5 *Ficus carica* Linn. varieties

表1 5个无花果品种果实脂肪酸的组成及含量

Table 1 The fatty acid composition of the fruits of 5 *Ficus carica* Linn. varieties （μg·g^{-1}）

脂肪酸 Fatty acid	波姬红 Bojihong	青皮 Qingpi	丰产黄 Fencahn	金傲芬 Orphan	芭劳奈 Banane
C14:0	11.90±0.58 bc	11.66±1.10 bc	15.77±0.61 a	10.46±0.95 c	13.12±0.28 b
C16:0	603.96±26.92 bc	693.40±32.55 a	703.64±30.69 a	551.95±29.76 c	614.99±13.18 b
C16:1n7	4.33±0.72 cd	6.19±0.81 b	10.12±1.09 a	3.17±0.21 d	5.26±0.82 bc
C18:0	209.92±13.70 a	210.80±21.15 a	219.73±6.30 a	200.36±25.44 a	232.32±19.97 a
C18:1n9	234.92±17.67 a	203.28±5.07 bc	186.24±12.43 c	220.85±8.56 ab	214.84±6.44 ab
C18:2n6	321.54±16.83 c	426.04±12.99 a	378.17±23.71 b	346.06±13.50 bc	361.22±14.20 b
C18:3n3	175.07±10.50 c	241.19±9.52 b	301.32±19.73 a	146.58±12.87 d	188.08±2.67 c
C20:0	34.45±5.08 d	49.36±9.36 bc	59.27±7.78 b	43.26±3.20 cd	77.56±4.47 a
C20:1n9	4.98±0.55 a	4.84±1.24 a	4.27±0.70 a	5.16±1.03 a	5.47±0.54 a
C22:0	42.30±17.87 ab	45.54±5.76 a	43.47±10.33 ab	23.77±1.02 b	35.62±1.80 ab
C22:1n9	122.41±43.25 a	141.82±59.92 a	126.44±57.51 a	100.77±31.21 a	121.7±39.72 a

注：表中同一指标不同字母标注表示品种间差异显著，$P<0.05$。

Note: Different letters marked for the same index in the table indicate significant differences among varieties, $P<0.05$.

皮中含量（45.54 μg·g^{-1}）最高，为最低金傲芬中含量（23.77 μg·g^{-1}）的2倍左右。

脂肪酸含量是衡量果实品质及其营养价值的重要指标，主要分为不饱和脂肪酸与饱和脂肪酸。不饱和脂肪酸（UFA）含量结果表明：青皮（1 023.35 μg·g^{-1}）和丰产黄（1 006.57 μg·g^{-1}）的不饱和脂肪酸含量相近无显著差异，但均显著高于金傲芬（822.60 μg·g^{-1}）；波姬红（863.25 μg·g^{-1}）和芭劳奈（896.56 μg·g^{-1}）不饱和脂肪酸含量居中，与其他品种均无显著差异。饱和脂肪酸（SFA）含量结果表明：丰产黄含量（1 041.88 μg·g^{-1}）和青皮含量（1 010.75 μg·g^{-1}）较高无显著差异，波姬红（902.52 μg·g^{-1}）和金傲芬（829.80 μg·g^{-1}）二者无显著差异但均显著低于丰产黄和青皮，芭劳奈的饱和脂肪酸含量（973.62 μg·g^{-1}）处于中间水平，与其他品种均无显著差异（图5-C）。

2.6　5个无花果品种果实蛋白质、总酚、总黄酮含量的比较分析

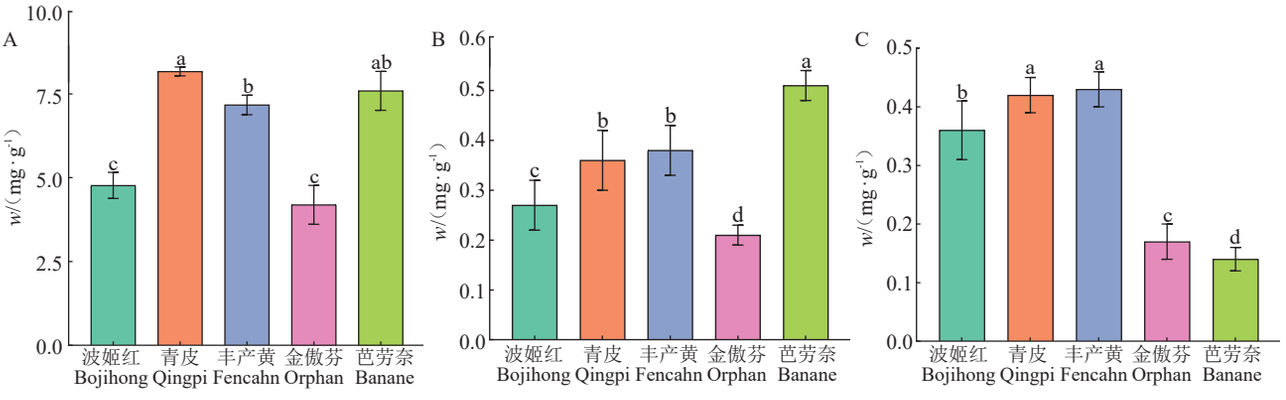
图6-A展示了各品种果实蛋白质含量，其中，青皮（8.17 mg·g^{-1}）蛋白质含量最高，显著高于除芭劳奈外的其他品种；芭劳奈（7.59 mg·g^{-1}）与丰产黄（7.17 mg·g^{-1}）次之，二者无显著差异；波姬红（4.77 mg·g^{-1}）与金傲芬（4.19 mg·g^{-1}）蛋白质含量相近无显著差异，但均显著低于芭劳奈和丰产黄。

图6-B反映了各品种果实总酚含量的比较结果。具体来看：芭劳奈总酚含量（0.51 mg·g^{-1}）最高；丰产黄（0.38 mg·g^{-1}）与青皮（0.36 mg·g^{-1}）次之，二者含量接近（差异不显著）；波姬红含量为0.27 mg·g^{-1}；金傲芬含量（0.21 mg·g^{-1}）最低。除丰产黄与青皮外，其他品种两两之间均存在显著差异。

图6-C揭示了各品种果实总黄酮含量的对比结果，其中，丰产黄（0.43 mg·g^{-1}）与青皮（0.42 mg·g^{-1}）总黄酮含量相似无显著差异，但均显著高于其他品种；波姬红（0.36 mg·g^{-1}）、金傲芬（0.17 mg·g^{-1}）与芭劳奈（0.14 mg·g^{-1}）次之，两两之间均存在显著差异。

2.7　5个无花果品种果实综合品质的比较分析

对上述果实中各单一成分指标的分析可知，外观品质与内在营养品质表现最佳的品种并不完全一致，无法仅通过单一指标的分析确定哪个品种的果实品质最好。而雷达图能够（通过其围成的面积）直观清晰地反映出各不同品种无花果果实的综合品质。因此，本文采用雷达图对5个无花果品种各成分指标的表现进行综合分析。结果（图7）表明，青皮在可溶性糖、蛋白质、氨基酸、脂肪酸和总黄酮含量上表现突出；丰产黄在脂肪酸和总黄酮含量上具有优势；金傲芬在有机酸含量上表现显著；芭劳奈在总酚和蛋白质含量上占据上风；而波姬红在各成分含量上则表现均衡。综上，在5个品种中，果实综合品质最佳的是青皮，其次是丰产黄、芭劳奈、波姬红和金傲芬。



A. 果实蛋白质含量；B. 果实总酚含量；C. 果实总黄酮含量。

A. The content of protein in the fruit; B. The content of total phenols in the fruit; C. The content of total flavonoids in the fruit.

图6　5个无花果品种果实蛋白质、总酚和总黄酮含量的分析

Fig. 6　Analysis of protein, total phenols and total flavonoids contents in the fruits of 5 *Ficus carica* Linn. varieties

3　讨　论

3.1　无花果果实可溶性糖组分特征

本文对5个无花果品种的品质成分进行了系统测定与分析，揭示了不同品种在各品质指标上的显著差异，这些差异的存在导致了不同的品种果实具有不同的风味，有利于推进育种进程。大部分果实

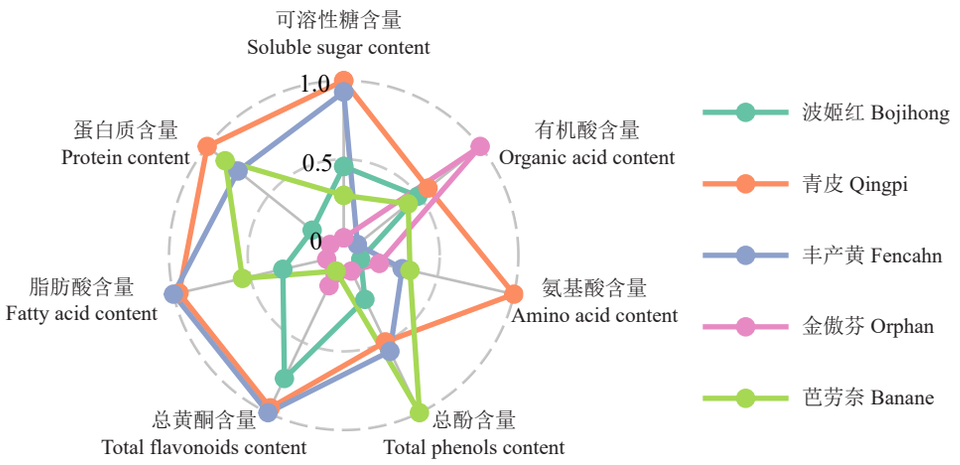


图7 5个无花果品种果实综合品质分析

Fig. 7 Comprehensive quality analysis in the fruits of 5 *Ficus carica* Linn. varieties

中可溶性糖主要由葡萄糖、果糖和蔗糖组成，因存在一定差异而造就了不同的风味与口感。如桃、杏、杧果、杨梅等果实成熟时含有大量蔗糖，为蔗糖积累型果实，苹果果实中则含有大量果糖[9]，为果糖积累型果实，而本文5个无花果品种的果实与葡萄、柠檬、石榴等果实相似，不含或很少含有蔗糖[9]，主要含有葡萄糖和果糖，这与İkten等[10]的结论一致。此外，本文5个无花果品种果实的可溶性糖含量范围为115.22~173.02 mg·g^{-1}，与古丽尼沙•卡斯木等[11]对新疆种植的5个无花果品种的研究结果（138.5~199 mg·g^{-1}）相似。

3.2 无花果果实有机酸和氨基酸组分特征

不同物种、不同品种的果实有机酸和氨基酸的组成不同。如孔佳涛等[12]在（云南和湖南的）冰糖橙中检测到4种有机酸，以柠檬酸为主要有机酸；胡志群等[9]在12份龙眼种质资源中均检测到8种有机酸，以苹果酸为主要有机酸；李娅楠等[13]在86份苹果资源中均检测到5种有机酸，与龙眼相似以苹果酸为主。本文5个无花果品种的果实中均检测到5种有机酸，也以苹果酸为主要有机酸，这与Luo等[14]对从山东引进的6个无花果品种（包括本文的芭劳奈与波姬红）的研究结果存在差异，后者检测到24种有机酸，均以柠檬酸为主要有机酸，苹果酸则为次要有机酸，笔者猜测引起该差异的原因可能是有机酸的提取方法或测定方法不同（Luo等[14]采用的是LC-MS测定，本文采用的是GC-MS测定）。Luo等[14]还指出芭劳奈的有机酸含量高于波姬红，而本文结果则相反，笔者推测这可能是由于海南与山东的土壤和气候不同所致。此外，本文5个无花果品种中均检测到11种氨基酸，数量低于孙锐等[6]报道的9种无花果共含16种氨基酸。在金傲芬、青皮和波姬红3个品种中，本文检测到的主要氨基酸分别为天冬酰胺、脯氨酸和哌啶酸，与孙锐等[6]得出的以天冬氨酸和谷氨酸为主的结果不同，原因同样可能在于所采用的氨基酸检测方法不同（孙锐等[6]采用的是氨基酸分析仪测定，本文采用的是气相色谱仪测定）。

3.3 无花果果实蛋白质、总酚和总黄酮含量特征

蛋白质、总酚和总黄酮含量与果实品质密切相关，不同种类果实的含量差异较为明显。如在林蝉蝉等[15]对12种葡萄的研究中，蛋白质含量为1.22~3.14 mg·g^{-1}；在张淑文等[16]对6种大果沙枣的研究中，蛋白质含量为2.71~5.91 mg·100 g^{-1}；而本文5个无花果品种中蛋白质含量为4.19~8.17 mg·g^{-1}，相较而言，无花果的蛋白质含量明显高于上述果品。在张芳等[17]对15份野生桑资源的研究中，总酚含量为0.32~1.04 mg·g^{-1}，总黄酮含量为0.4~2.4 mg·g^{-1}；在张淑文等[16]对21份杨梅种质资源的研究中，总酚含量为0.83~3.603 mg·g^{-1}，总黄酮含量为0.697~2.943 mg·g^{-1}；在盛玮等[18]对6种大果沙枣的研究中，总酚含量为0.656~1.81 g·100g^{-1}，总黄酮含量为3.36~5.26 mg·g^{-1}；而本文5个无花果品种的总酚含量为0.21~0.51 mg·g^{-1}，总黄酮含量为0.14~0.43 mg·g^{-1}，明显低于Luo等[14]对6个无花果品种的检测值（总酚0.92~2.49 mg·g^{-1}，总黄酮0.35~0.84 mg·g^{-1}），这可能是由于果实生长环境不同而导致。

综上，不同品种果实品质指标间的差异均可能与果实品种、果实生长环境及各指标测定方法的不同有关[19-21]。因此，未来可进一步探索不同无花果品种间成分差异的遗传基础及分子机制，如可溶性糖、氨基酸、有机酸和脂肪酸等指标代谢通路的研究；同时也有必要开展不同生长环境及不同成熟度对无花果果实品质影响的系统研究，为优化无花果的种植技术和判断果实的最佳采收期提供理论依据。

4　结　论

本文对海南省种植的5个无花果品种的果实品质共36个指标进行了系统测定与分析，并结合雷达图进行综合评价，结果表明5个无花果品种果实综合品质的排名从高到低依次为青皮、丰产黄、芭劳奈、波姬红和金傲芬。

参考文献 References：

[1] 袁朝阳，杨黎黎，苏宇霞，吾尔古丽•托合图木，王振磊 . 不同无花果品种果实品质比较分析[J]. 安徽农业科学，2024，52(1)：192-194.
YUAN Zhaoyang，YANG Lili，SU Yuxia，Yuerguli Tuhtum，WANG Zhenlei. Comparative analysis of fruit quality of different fig varieties[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences，2024，52(1)：192-194.

[2] 高扬，李树海，廖方舟，杨丽芳，胡忠惠 . 不同无花果品种品质分析及加工特性的研究[J]. 保鲜与加工，2020，20(5)：174-179.
GAO Yang，LI Shuhai，LIAO Fangzhou，YANG Lifang，HU Zhonghui. Studies on quality analysis and processing characteristics of different *Ficus carica* cultivars[J]. Storage and Process，2020，20(5)：174-179.

[3] 梁静 . 山东济宁地区无花果引种试验研究[D]. 泰安：山东农业大学，2019.
LIANG Jing. Comparative research on the introduced fig cultivars in Jining Shandong[D]. Taian：Shandong Agricultural University，2019.

[4] 袁朝阳 . 南疆设施无花果优良品种的生长结果习性及品质的综合评价[D]. 阿拉尔：塔里木大学，2023.
YUAN Chaoyang. Comprehensive evaluation on the growth bearing habit and quality of fine varieties of Fig in Southern Xinjiang[D]. Alar：Tarim University，2023.

[5] CRISOSTO C H，BREMER V，FERGUSON L，CRISOSTO G M. Evaluating quality attributes of four fresh fig (*Ficus carica* L.) cultivars harvested at two maturity stages[J]. HortScience，2010，45(4)：707-710.

[6] 孙锐，贾明，杨莉，孙蕾 . 山东引种无花果氨基酸及矿物元素成分分析与评价[J]. 食品工业科技，2015，36(19)：352-356.
SUN Rui，JIA Ming，YANG Li，SUN Lei. Amino acid and minerals element composition analysis and evaluation of figs in Shandong[J]. Science and Technology of Food Industry，2015，36(19)：352-356.

[7] MO X Q，CAI D，YANG H B，CHEN Q M，XU C H，WANG J S，TONG Z，XU B Q. Changes in fruit quality parameters and volatile compounds in four wampee varieties at different ripening stages[J]. Food Chemistry：X，2025，27：102377.

[8] 王兴腾 . 四川不同品种无花果主要品质特征成分分析[D]. 雅安：四川农业大学，2020.
WANG Xingteng. Analysis of main quality characteristic components of different varieties of figs in Sichuan[D]. Ya'an：Sichuan Agricultural University，2020.

[9] 胡志群，李建光，王惠聪 . 不同龙眼品种果实品质和糖酸组分分析[J]. 果树学报，2006，23(4)：568-571.
HU Zhiqun，LI Jianguang，WANG Huicong. Analysis of fruit sugar and acid compositions in the aril of different Longan cultivars[J]. Journal of Fruit Science，2006，23(4)：568-571.

[10] İKTEN H，YıLMAZ Y，YAPıCı B，DOĞAN A，ERTAN B，ERKAN M. Molecular characterization of locally grown 'Melli' fig (*Ficus carica* L.) clones，comparison with common cultivars[J]. Acta Horticulturae，2020(1280)：23-30.

[11] 古丽尼沙•卡斯木，木合塔尔•扎热，张东亚，郭靖，艾吉尔•阿布拉，盛玮，阿布都热西提•热合曼 . 基于因子分析的无花果引进品种果实品质性状综合评价[J]. 食品科学，2018，39(1)：99-104.
GULNISA Kasim，MUHTAR Zari，ZHANG Dongya，GUO Jing，AJAR Abla，SHENG Wei，ABUDUREXIT Rahman. Factor analysis and comprehensive evaluation of fruit quality traits of introduced fig cultivars[J]. Food Science，2018，39(1)：99-104.

[12] 孔佳涛，付彩霞，吴雅诺，刘园，胡哲辉，徐娟，黄皓，赵曌，陈磊，陈嘉景 . 冰糖橙风味组学解析及风味品质差异分析[J]. 园艺学报，2025，52(4)：984-996.
KONG Jiatao，FU Caixia，WU Yanuo，LIU Yuan，HU Zhehui，XU Juan，HUANG Hao，ZHAO Zhao，CHEN Lei，CHEN Jiajing. Flavoromics analysis and flavor quality difference analysis in Bingtang oranges[J]. Acta Horticulturae Sinica，2025，52(4)：984-996.

[13] 李娅楠，闫雷玉，张波，杨舜博，赵政阳 . 不同苹果品种果实糖酸组分特征研究[J]. 果树学报，2021，38(11)：1877-1889.
LI Yanan，YAN Leiyu，ZHANG Bo，YANG Shunbo，ZHAO Zhengyang. A study on sugar and organic acid components in different apple cultivars[J]. Journal of Fruit Science，2021，38(11)：1877-1889.

[14] LUO J J，DONG X Q，LIANG J，JIA M，SUN L，HAN Y L，ZHOU S D，SUN R. Analysis of the relationship between organic acid，total soluble solids，total phenolic，and total flavonoids in *Ficus carica*[J]. Applied Fruit Science，2025，67(3)：167.

[15] 林蝉蝉，何舟阳，单文龙，刘旭，杨晨露，王华，李华 . 基于主成分与聚类分析综合评价杨凌地区红色鲜食葡萄果实品质[J]. 果树学报，2020，37(4)：520-532.

LIN Chanchan，HE Zhouyang，SHAN Wenlong，LIU Xu，YANG Chenlu，WANG Hua，LI Hua. Comprehensive evaluation of fruit quality of 12 red table grape cultivars cultivated in Yangling area based on principal component and cluster analyses[J]. Journal of Fruit Science，2020，37(4)：520-532.

[16] 张淑文，梁森苗，郑锡良，任海英，朱婷婷，戚行江 . 杨梅优株果实品质的主成分分析及综合评价[J]. 果树学报，2018，35(8)：977-986.
ZHANG Shuwen，LIANG Senmiao，ZHENG Xiliang，REN Haiying，ZHU Tingting，QI Xingjiang. Principal component analysis and comprehensive evaluation of fruit quality in some advanced selections of Chinese bayberry[J]. Journal of Fruit Science，2018，35(8)：977-986.

[17] 张芳，王晓红，罗泽虎，韩世玉 . 贵州省野生桑果实品质指标的主成分和聚类分析[J]. 果树学报，2022，39(4)：593-601.
ZHANG Fang，WANG Xiaohong，LUO Zehu，HAN Shiyu. Principal component and cluster analysis of fruit quality indexes of wild mulberry in Guizhou province[J]. Journal of Fruit Science，2022，39(4)：593-601.

[18] 盛玮，刘巧玲，刘丽燕 . 基于因子分析的 6 个大果沙枣新品种果实性状综合评价[J]. 果树学报，2024，41(9)：1800-1810.
SHENG Wei，LIU Qiaoling，LIU Liyan. Comprehensive evaluation of fruit quality traits of six new *Elaeagnus moorcroftii* varieties based on factor analysis[J]. Journal of Fruit Science，2024，41(9)：1800-1810.

[19] 尤超，沈虹，张营营，程芳梅，孙锦，郭世荣 . 不同无花果品种耐盐性与生理生化特征研究[J]. 中国农学通报，2017，33(1)：64-71.
YOU Chao，SHEN Hong，ZHANG Yingying，CHENG Fangmei，SUN Jin，GUO Shirong. Salt tolerance and physiological-biochemical characteristics of different fig cultivars[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin，2017，33(1)：64-71.

[20] 张卫平，李新生，曲东，张芳婷 . 无花果主要功能成分及其生物活性研究进展[J]. 食品研究与开发，2023，44(20)：212-218.
ZHANG Weiping，LI Xinsheng，QU Dong，ZHANG Fangting. Research progress on main functional components and bioactivity of *Ficus carica* L.[J]. Food Research and Development，2023，44(20)：212-218.

[21] 孙锐，孙蕾，贾明，杨莉，刘宝发，郝薪云 . 山东引种无花果品种营养成分分析[J]. 经济林研究，2014，32(4)：63-67.
SUN Rui，SUN Lei，JIA Ming，YANG Li，LIU Baofa，HAO Xinyun. Nutritional ingredient analysis of some introduced cultivars of *Ficus carica* in Shandong[J]. Non- wood Forest Research，2014，32(4)：63-67.