

引用格式: 徐惠, 吴翠云, 房志刚, 等. 阿克苏地区 5 个杏李品种果实品质分析[J]. 浙江农林大学学报, 2026, 43(X): 1-11.
XU Hui, WU Cuiyun, FANG Zhigang, et al. Fruit quality of 5 *Prunus simonii* cultivars in Aksu Area[J]. Journal of Zhejiang A&F University, 2026, 43(X): 1-11.

阿克苏地区 5 个杏李品种果实品质分析

徐 惠^{1,2,3}, 吴翠云², 房志刚^{1,2,3}, 吉银中², 曹怡霖², 王 明^{1,3}, 孙雅丽^{1,3}

(1. 新疆维吾尔自治区林业科学院, 新疆 乌鲁木齐 830000; 2. 塔里木大学 园艺与林学学院, 新疆 阿拉尔 843300; 3. 新疆阿克苏森林生态系统定位观测研究站, 新疆 阿克苏 843000)

摘要: 【目的】探究阿克苏地区 5 个杏李 *Prunus simonii* 品种的果实形态特征、果实外观、果实质地及果实内在品质的差异, 提出适宜阿克苏地区适宜的杏李品种。【方法】2024 年在新疆阿克苏地区温宿县佳木镇的杏李园进行田间试验, 对 6 年生的 5 个杏李品种进行果实外观、果实质地、可溶性糖、可溶性固形物、可滴定酸、维生素 C、糖酸组分等测定, 分析不同品种果实品质的差异。【结果】外观方面, ‘恐龙蛋’ ‘Konglongdan’ 和 ‘味厚’ ‘Weiyou’ 的平均单果质量为 100~120 g, 其余 3 个品种单果质量为 50~80 g; 其中 ‘味王’ ‘Weiwang’ 的 L^* 和 a^* 分别为 68.23 和 16.68, 果实色泽鲜亮。营养方面, ‘味王’ 的维生素 C 质量分数最高, 为 0.967 8 mg·g⁻¹; ‘恐龙蛋’ 的可溶性糖质量分数最高, 为 15.37%, ‘味帝’ ‘Weidi’ 的可滴定酸质量分数最高, 为 1.65%; ‘味帝’ 的可溶性固形物质量分数最高, 为 20.47%; ‘恐龙蛋’ 的黄酮、总酚和蛋白质质量分数最高, 分别为 2.29、2.75 和 1.44 mg·g⁻¹。糖酸组分方面, 糖组分以山梨醇积累为主, 酸组分以柠檬酸积累为主。‘风味皇后’ ‘Fengweihuanghou’ 的果糖、葡萄糖及山梨醇质量分数均高于其他品种, ‘味厚’ 的蔗糖质量分数 (32.83 mg·g⁻¹) 显著高于其余 4 个品种 ($P<0.05$); ‘味帝’ 的柠檬酸和抗坏血酸质量分数显著高于其余 4 个品种 ($P<0.05$), 分别为 10.03 和 0.34 mg·g⁻¹; 在酸的类别上, 仅有 ‘味帝’ 含有琥珀酸, 但 ‘风味皇后’ 不含富马酸。经主成分分析对果实品质进行综合评价, 得分由高到低分别为 ‘恐龙蛋’ ‘味王’ ‘味厚’ ‘风味皇后’ 和 ‘味帝’。【结论】‘味帝’ 的糖酸均衡, 口感较为柔顺, 但果实相对较小, 所以导致排名相对靠后, 就果实品质综合来看: ‘恐龙蛋’ 不仅果实大, 各种营养物质较高且相对均衡, 更适宜在阿克苏地区大面积推广种植。

图 5 表 6 参 37

关键词: 杏李; 新疆; 果实品质; 主成分分析; 综合评价

中图分类号: S662 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2026)00-0001-11

Fruit quality of 5 *Prunus simonii* cultivars in Aksu Area

XU Hui^{1,2,3}, WU Cuiyun², FANG Zhigang^{1,2,3}, JI Yinzhong², CAO Yilin², WANG Ming^{1,3}, SUN Yali^{1,3}

(1. Xinjiang Uygur Autonomous Region Academy of Forestry, Urumqi 830000, Xinjiang, China; 2. College of Horticulture and Forestry, Tarim University, Alar 843300, Xinjiang, China; 3. Xinjiang Aksu Forest Ecosystem Positioning Observation Research Station, Aksu 843000, Xinjiang, China)

Abstract: [Objective] The research aimed to explore the differences of fruit morphological characteristics, fruit appearance, fruit texture and fruit internal quality of five *Prunus simonii* varieties in Aksu Prefecture, and put forward the excellent *Prunus simonii* cultivars suitable for Aksu Area. [Method] In 2024, a field experiment was conducted in a *P. simonii* orchard in Jiamu Town, Wansu County, Aksu Prefecture, Xinjiang. Five 6-year-old cultivars were used to determine and analyze the differences in fruit quality, including fruit

收稿日期: 2025-04-24; 修回日期: 2025-06-20

基金项目: “天山英才”培养计划 “三农”骨干人才培养项目 (2023SNGGCY023); 中央财政林草科技推广示范项目 (新〔2024〕TG19 号)

作者简介: 徐惠 (ORCID: 0009-0000-6633-7747), 从事果树高效栽培生理生态研究。E-mail: 2918488740@qq.com。
通信作者: 孙雅丽 (ORCID: 0009-0008-8726-5920), 研究员, 从事杏李、李选育、种质创制及高效栽培研究。E-mail: 364406526@qq.com

appearance, fruit texture, soluble sugar, soluble solids, titratable acid, vitamin C, and sugar-acid components. [Result] In terms of appearance, the average single fruit weight of ‘Konglongdan’ and ‘Weiyou’ is 100–120 g, and the other three cultivars are 50–80 g; the L^* value and a^* value of ‘Weiwang’ were 68.23 and 16.68, respectively, and the fruit color was bright. In terms of nutrition, ‘Weiwang’ had the highest vitamin C content of $0.967\ 8\ \text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$; the soluble sugar content of ‘Konglongdan’ was the highest, which was 15.37%, and the titratable acid content of ‘Weidi’ was the highest, which was 1.65%. The soluble solids content of ‘Weidi’ was the highest, which was 20.47%. The flavonoids, total phenols and soluble protein of ‘Konglongdan’ were the highest, which were 2.29, 2.75 and $1.44\ \text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$, respectively. In terms of sugar and acid components, the sugar component is mainly sorbitol accumulation, and the acid component is mainly citric acid accumulation. The fructose, glucose and sorbitol of ‘Fengweihuanghou’ were significantly higher than those of other cultivars ($P<0.05$), and the sucrose of ‘Weiyou’ was $32.83\ \text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$, which was significantly higher than that of the other four cultivars ($P<0.05$). The citric acid and ascorbic acid of ‘Weidi’ were significantly higher than those of the other four cultivars ($P<0.05$), with the contents of 10.03 and $0.34\ \text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$, respectively. In the acid category, only ‘Weidi’ contains succinic acid, but ‘Fengweihuanghou’ does not contain fumaric acid. The fruit quality was comprehensively evaluated by principal component analysis, and the scores from high to low were ‘Konglongdan’ ‘Weiwang’ ‘Weiyou’ ‘Fengweihuanghou’ and ‘Weidi’. [Conclusion] The sugar and acid of ‘Weidi’ are balanced, and the taste is relatively soft, but the fruit is relatively small, so the ranking is relatively backward. From the comprehensive point of view of fruit quality: ‘Konglongdan’ not only has large fruit, but also has high and relatively balanced nutrients, which is more suitable for large-scale planting in Aksu area. [Ch, 5 fig. 6 tab. 37 ref.]

Key words: *Prunus simonii*; Xinjiang; fruit quality; principal component analysis; comprehensive evaluation

杏李 *Prunus simonii* 属于蔷薇科 Rosaceae 李属 *Prunus* 植物, 营养丰富具有独特的浓郁芳香, 且含糖量高于普通杏 *P. armeniaca*、李 *P. salicina*, 是受市场欢迎的特色水果之一。2024年, 新疆从河南引进‘风味皇后’ *P. simonii* ‘Fengweihuanghou’、‘味帝’ *P. simonii* ‘Weidi’ 等7个杏李优良品种^[1-3]。其果实比普通杏、李早熟且高产, 味道鲜美, 经济价值及食用价值较高, 树体耐寒、耐旱性良好, 适应能力较强^[4]。阿克苏土地广阔, 光照资源丰富, 昼夜温差大, 有利于果实营养物质的积累; 但目前阿克苏地区杏李种植品种品质参差不齐, 导致其发展速度缓慢, 使规模化种植受到制约^[5]。因此本研究从果实品质方面着手, 明确新疆地区优质最适品种。

果实的外观和营养品质共同决定着果实的经济价值。不同的土壤理化性质对杏李果实可溶性固形物和维生素C等果实品质有明显的提升, 对酸度、硬度有降低作用, 产量也有所提升^[6]。不同的气候环境决定着物候期的变化, 随着采收期的推迟, 可溶性固形物含量增加、可滴定酸度含量和水分下降、单果质量增加, 成熟度的增加, 使得单果质量、可溶性固形物、固酸比、质膜透性、红绿值(a^*)、黄蓝值(b^*)及色角度值(a^*/b^*)均呈显著上升趋势, 亮度(L^*)呈显著下降趋势^[7]; 水分含量的高低对果实糖酸、维生素C有着较大影响^[8-9]。以上研究表明不同地区的土壤条件及气候环境对果实品质的影响较大。目前, 国内研究者对杏李砧木的选择、开花授粉特性、灌溉、施肥、采收成熟度、储藏、栽培、果实风味、抗寒、防止裂果以及基因等方面做了大量研究^[10-12], 但对于阿克苏地区杏李品种间果实品质比较的研究尚未见报道。

近年来, 阿克苏地区杏李发展前景广阔, 本研究以阿克苏地区5个杏李品种为材料, 通过对不同杏李品种果实外观、感官、营养品质的全面测定, 通过综合评价分析, 以期为阿克苏地区筛选出适宜规模化种植的优质杏李品种提供参考依据。

1 材料和方法

1.1 材料

样地位于阿克苏市温宿县佳木镇新疆林业科学院佳木国家重点林木良种基地(41°26'N, 80°53'E, 海拔 1171.0 m), 分别选取 7 年生‘味帝’、‘风味皇后’、‘味王’‘Weiwang’、‘恐龙蛋’‘Konglongdan’和‘味厚’‘Weihou’5 个杏李品种为试验材料, 每个品种选择长势良好、处于盛果期的试验树 3 株, 每株随机采收 30 个树冠 4 个方向上结果主枝中部发育正常的果实。试验地土壤 pH 为 7.1, 有机质 11.62 g·kg⁻¹, 全磷 1.22 g·kg⁻¹, 全钾 3.86 g·kg⁻¹, 全铁 28.76 g·kg⁻¹, 全钙 53.01 g·kg⁻¹和全镁 14.56 g·kg⁻¹。基地果园栽培管理条件一致, 土质为砂壤土, 行株距为 4 m×3 m, 南北行向。分别于 2024 年 7 月 13 日、8 月 25 日、8 月 27 日、9 月 1 日和 9 月 11 日进行采样。

1.2 方法

1.2.1 果实外观的测定 用电子秤称量单果质量; 用电子数显卡尺测量果实纵径、横径; 果皮色泽测定: 利用色彩分光色差仪对果皮的色泽进行测定, 记录亮度 (L^*)、红绿值 (a^*) 和黄蓝值 (b^*), 并计算色彩纯度 (C) 和色角度值 (H°)。公式如下: $C = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$; $H^\circ = a^*/b^*$ 。

1.2.2 果实形态特征的测定 通过参照《李种质资源描述规范和数据标准》^[13]对杏李果实形态特征测定要求。对果实形状、果顶形状、梗洼深度、梗洼广狭、缝合线、果实对称性、果粉厚度、果皮底色、果肉色泽、果皮彩色、果面着色程度、核黏离性、核形、核面、果皮剥离难易程度、果肉质地、果肉纤维、果肉汁液、果实风味、果实涩味等进行评价。经 10 人评价小组成员统一意见后记录。

1.2.3 果实质地的测定 杏李果实质地品质的测定利用美国 Food Technology Corporation 公司生产的质构仪 (TMS-PRO) 进行质构品质相关参数测定, 测试条件参照徐强等^[14]的测定方法进行质构仪质地剖面分析 (texture profile analysis, TPA) 分析, 略有改动, 具体测试条件如下: 选用 P/2 探头 (柱形, 直径 2 mm), 测前速度、贯入速度和测后速度设定为 60 mm·min⁻¹, TAP 模式, 形变量 20%。测定硬度、内聚性、弹性、胶黏性、咀嚼性、黏附性。

1.2.4 果实营养品质的测定 可溶性固形物采用手持 ATAGO 便携式数显折射仪测定; 可溶性糖采用蒽酮硫酸比色法测定^[15]; 可滴定酸采用 NaOH 酸碱中和滴定法测定^[15]; 维生素 C 采用钼蓝比色法测定^[15]; 蛋白质采用考马斯亮蓝法测定^[15]; 总酚采用 Folin-Ciocalteu 法测定^[16]; 黄酮采用芦丁为对照的分光光度法测定^[16]; 糖酸组分的测定采用高效液相色谱法 (HPLC) 测定, 参照周晓凤等^[17-18]。

1.3 数据处理

采用 Excel 2019 进行数据整理, 利用 SPSS 25.0 和 DPS 数据分析软件进行方差分析和主成分分析, 采用 Origin 2018 进行图表的绘制。

2 结果分析

2.1 不同品种杏李的果实形态特征分析

2.1.1 杏李果实的描述性指标分析 由图 1 和表 1 可知: 果形多数为扁圆形、圆形, ‘味王’为卵圆形。果顶形状以凹入为主, ‘味王’为圆凸, ‘恐龙蛋’为平, ‘味厚’为尖圆。梗洼深度以深为主, ‘味帝’为中, ‘风味皇后’为浅; 梗洼广狭以广为主, ‘风味皇后’为狭, ‘恐龙蛋’为中。5 个品种果实对称性以对称为主, 果实整齐度较好。除‘味王’外, 其他品种果粉均薄。多数品种果面大部分着色, 果皮底色以绿黄为主, 果皮彩色差异较大分为紫黑、橙黄、紫红 3 种, 果肉色泽以紫红、橙黄、紫红为主。果核核黏离程度分为黏核、半离核、离核 3 种; 核形以卵圆形为主, 其次为圆形; 核面以平滑、较平滑为主, ‘味王’表现为粗糙。果皮剥离难易程度均表现为难剥离。

2.1.2 杏李果实的感官评价指标分析 由表 2 可知: 果肉质地大部分表现为松脆, ‘风味皇后’表现为松软, ‘味王’表现为硬脆。果肉纤维表现为中或多; 果肉汁液大多数表现为多, ‘味王’表现为少。所有品种只有‘风味皇后’和‘味厚’具有微香味, 涩味无、轻或较, 果实风味大部分表现为酸甜味, 只有‘风味皇后’风味为甜。

2.2 不同品种杏李果实外观品质分析

由图 2A 可知: ‘味厚’的单果质量分数显著高于其他品种 ($P < 0.05$), 单果质量为 115.23 g。由

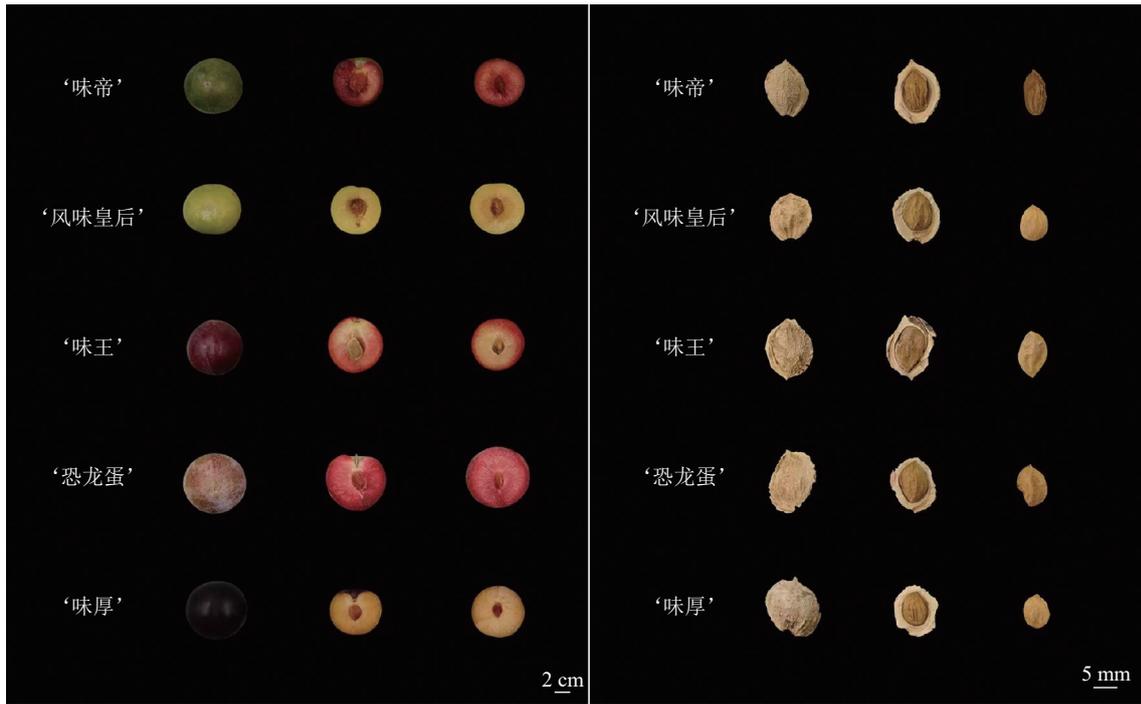


图 1 供试杏李果实及果核外观

Figure 1 Appearance of *Prunus simonii* fruits and putamen

表 1 不同杏李品种果实描述性特征

Table 1 Fruit descriptive characteristics of different *Prunus simonii* cultivars

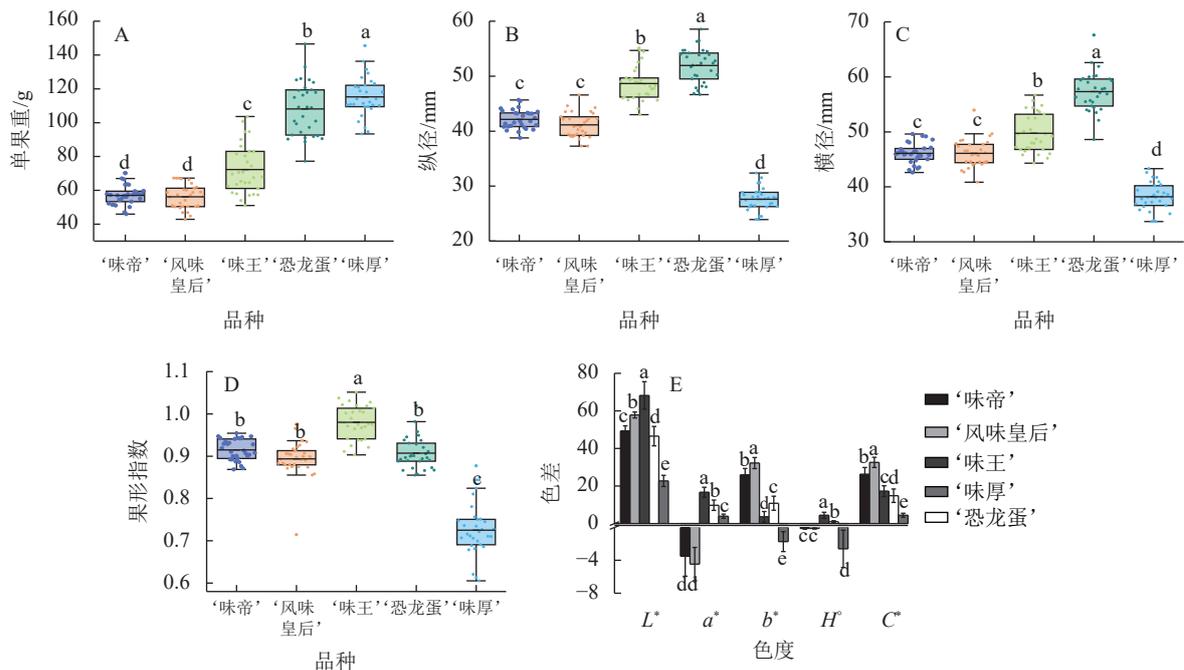
品种	果实形状	果顶形状	梗洼深度	梗洼广狭	缝合线	果实对称性	果粉厚度	果皮底色	果肉色泽	果皮彩色	果面着色程度	核黏离性	核形	核面	果皮剥离难易程度
‘味帝’	扁圆	凹入	中	广	平	对称	薄	绿黄	紫红	紫黑	大部分	黏	卵圆	平滑	难
‘风味皇后’	圆	凹入	浅	狭	浅	对称	薄	绿黄	橙黄	橙黄	大部分	黏	卵圆	平滑	难
‘味王’	卵圆	圆凸	深	广	中	对称	中	绿黄	紫红	紫黑	全部	离	卵圆	粗糙	难
‘恐龙蛋’	圆	平	深	中	浅	对称	薄	绿黄	紫红	紫红	大部分	半离	卵圆	较平滑	难
‘味厚’	扁圆	尖圆	深	广	浅	对称	薄	黄绿	橙黄	紫黑	全部	半离	圆	较平滑	难

表 2 不同杏李品种果实感官评价特征

Table 2 Sensory evaluation characteristics of different *Prunus simonii* cultivars

品种	果肉质地	果肉纤维	果肉汁液	果实风味	果实涩味	果实香味
‘味帝’	松脆	中	多	酸甜	轻	无
‘风味皇后’	松软	多	多	甜	无	微
‘味王’	硬脆	多	少	酸甜	轻	无
‘恐龙蛋’	松脆	中	多	酸甜	无	无
‘味厚’	松脆	中	多	酸甜	较	微

图 2B 和 2C 可知：‘恐龙蛋’的果实纵横径最大，分别为 51.94、57.31 mm，均显著高于其他品种 ($P < 0.05$)。由图 2D 可知，‘味王’的果形指数显著高于其他品种 ($P < 0.05$)，其分别高出 7.14%、9.18%、7.14% 和 25.51%。由图 2E 可知，在果皮亮度值中，‘味王’的 L^* 显著高于其他品种 ($P < 0.05$)，达到 68.23，亮度最高，‘味厚’最低，为 38.19；红色饱和度方面，‘味王’的 a^* 为正，值最高，为 16.68，色调偏红，‘味帝’和‘风味皇后’的 a^* 为负，色调偏绿；黄色饱和度方面，‘风味皇后’的 b^* 较高，色调相对偏黄，‘味厚’的 b^* 为负，色调偏蓝；‘味王’的果皮 H^* 显著大于其他品种 ($P < 0.05$)；‘风味皇后’的 C^* 显著大于其他品种 ($P < 0.05$)，果皮颜色较纯。



不同小写字母表示不同品种间差异显著($P < 0.05$)。

图 2 5 个杏李品种果实外观品质

Figure 2 Fruit appearance quality of 5 *Prunus simonii* cultivars

2.3 不同品种杏李果实质地特性分析

由表 3 可知：所有品种果实硬度均没有明显差异，其中，‘味帝’的硬度最大，为 6.11 N。‘味厚’的胶黏性和咀嚼性均显著高于‘味王’‘风味皇后’‘味帝’($P < 0.05$)，‘味厚’的弹性和黏附性均显著高于其他品种($P < 0.05$)，但‘味厚’的内聚性显著高于‘味帝’和‘味王’($P < 0.05$)。内聚性由大到小分别为‘恐龙蛋’‘味厚’‘风味皇后’‘味王’‘味帝’。‘味厚’的弹性最大，为 14.79 mm，比‘风味皇后’大 47.36%。胶黏性‘恐龙蛋’最大，为 1.48 N，‘味帝’最小，为 1.04 N。‘味厚’的咀嚼性和黏附性最大，其次为‘恐龙蛋’，‘味厚’比‘味帝’的咀嚼性和黏附性分别大 56.51% 和 72.70%。

表 3 5 个杏李品种果实质地特性

Table 3 Fruit texture characteristics of 5 *Prunus simonii* cultivars

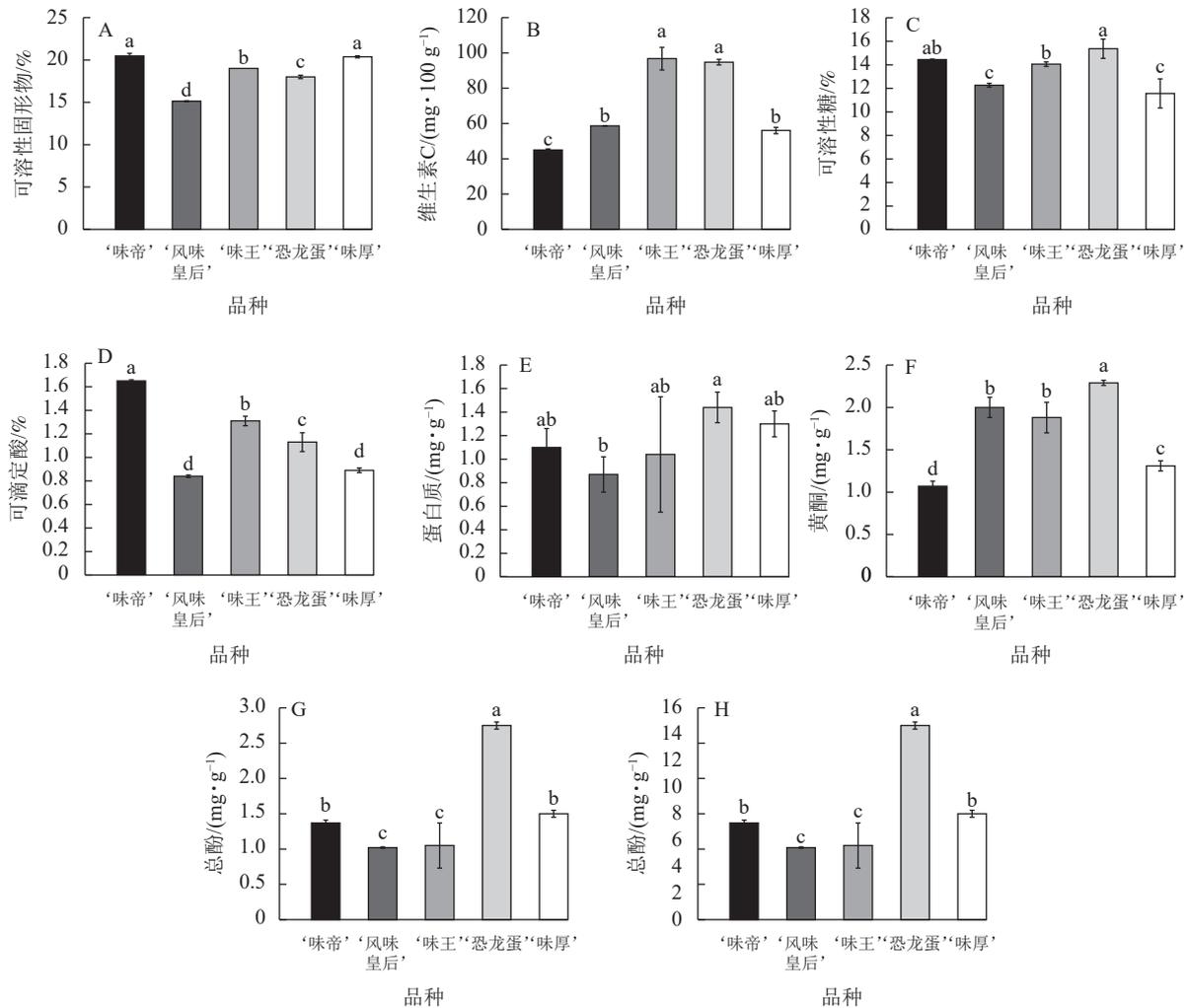
品种	硬度/N	内聚性/	弹性/mm	胶黏性/N	咀嚼性/mj	黏附性/(N·mm)
‘味帝’	6.11±0.74 a	0.17±0.07 b	8.04±1.34 c	1.04±0.41 b	8.72±4.40 b	1.57±0.49 c
‘风味皇后’	5.89±1.05 a	0.20±0.13 ab	7.49±1.67 c	1.13±0.57 b	9.02±5.67 b	1.85±0.53 c
‘味王’	6.03±1.42 a	0.18±0.06 b	8.58±1.13 c	1.09±0.60 b	9.58±6.11 b	2.94±0.96 b
‘恐龙蛋’	5.71±1.34 a	0.25±0.06 a	12.61±3.47 b	1.48±0.61 a	19.51±11.67 a	3.23±1.51 b
‘味厚’	5.62±1.53 a	0.24±0.05 a	14.79±1.24 a	1.35±0.42 ab	20.05±6.84 a	5.75±2.13 a

说明：不同小写字母表示不同品种间差异显著($P < 0.05$)。

2.4 不同品种杏李果实的营养品质分析

2.4.1 不同品种杏李果实的营养品质分析 由图 3A 可知：‘味帝’的可溶性固形物质量分数显著高于其他品种($P < 0.05$)。‘味帝’的可溶性固形物质量分数最大，为 20.47%，‘风味皇后’的可溶性固形物质量分数最低，为 15.13%。由图 3B 可知：‘味王’的维生素 C 质量分数最高，为 0.967 8 mg·g⁻¹，‘味帝’的维生素 C 质量分数最低，为 0.449 7 mg·g⁻¹，‘恐龙蛋’的维生素 C 质量分数显著高于除‘味王’外的其余品种($P < 0.05$)。由图 3C 可知：‘恐龙蛋’的可溶性糖质量分数显著高于除‘味帝’外其他品种($P < 0.05$)。由图 3D 可知：‘味帝’的可滴定酸质量分数最高，为 1.65%。由图 3E 可知：‘恐龙蛋’的可溶性蛋白质量分数显著高于‘风味皇后’($P < 0.05$)。由图 3F~G 可知：‘恐龙蛋’的黄

酮和总酚质量分数显著高于其他品种 ($P < 0.05$), 分别为 2.29 、 $2.75 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。由图 3H 可知: ‘风味皇后’的糖酸比显著高于其余品种 ($P < 0.05$), ‘味帝’的糖酸比最低。



不同小写字母表示不同品种间差异显著 ($P < 0.05$)。

图 3 5个杏李品种营养品质分析

Figure 3 Nutritional quality analysis of 5 *Prunus simonii* cultivars

2.4.2 不同品种杏李果实的糖组分分析 由图 4A 和 4B 可知: 4种糖在 5个品种中的质量分数从高到低依次为山梨醇、果糖、葡萄糖、蔗糖, 可见这 5个品种果实糖组分以山梨醇积累为主。不同品种的 4种糖的质量分数不同: ‘风味皇后’的果糖、葡萄糖及山梨醇质量分数均显著高于‘味帝’‘味王’‘恐龙蛋’‘味厚’ ($P < 0.05$), 葡萄糖质量分数分别高出 19.30%、32.83%、21.74% 和 52.39%, 山梨醇分别高出 14.21%、24.61%、15.93% 和 40.89%。‘味帝’和‘风味皇后’的果糖质量分数分别显著高出‘恐龙蛋’ 4.71%、15.14% ($P < 0.05$), 分别显著高出‘味厚’ 34.32% 和 41.51% ($P < 0.05$)。‘味厚’的蔗糖质量分数显著高于其他品种 ($P < 0.05$), 为 $32.83 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, ‘风味皇后’的蔗糖最低, 为 $10.74 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

2.4.3 不同品种杏李果实的酸组分分析 由图 5A 可知: ‘味帝’的酒石酸质量分数显著高于除‘风味皇后’外的其他品种 ($P < 0.05$), 为 $0.80 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$; ‘味王’和‘风味皇后’的奎宁酸质量分数显著高于其他品种 ($P < 0.05$), 其中‘风味皇后’的最高, 为 $0.76 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$; ‘味帝’的柠檬酸质量分数显著高于其他品种 ($P < 0.05$), 为 $10.03 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, ‘味王’的柠檬酸质量分数显著最低于其他品种, 为 $0.03 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$; 仅‘味帝’含有琥珀酸。由图 5B 可知: ‘味王’和‘恐龙蛋’的草酸质量分数显著高于其他品种 ($P < 0.05$), 分别为 0.36 和 $0.33 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$; ‘恐龙蛋’的苹果酸质量分数显著高于其他品种, 为 $0.23 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$; ‘味帝’的抗坏血酸质量分数显著高于其他品种 ($P < 0.05$), 为 $0.34 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$; ‘味厚’的富马酸质量分数

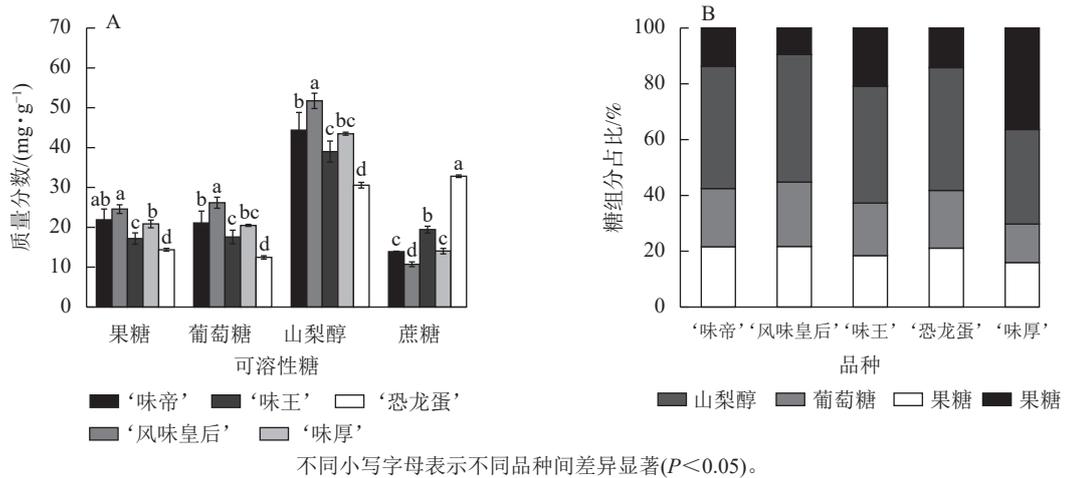


图 4 5 个杏李品种果实糖组分质量分数

Figure 4 Sugar component content of fruit of 5 *Prunus simonii* cultivars

显著高于其他品种 ($P < 0.05$)；‘味厚’的富马酸质量分数显著高于其他品种 ($P < 0.05$)，为 $0.03 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ，‘风味皇后’未检测到富马酸。由图 5C 可知：8 种酸在 5 个品种的占比从高到低均依次为柠檬酸、酒石酸、奎宁酸、抗坏血酸、草酸、苹果酸、琥珀酸、富马酸。可以得出这 5 个品种果实酸组分以柠檬酸为主，柠檬酸平均占比为 77.18%。

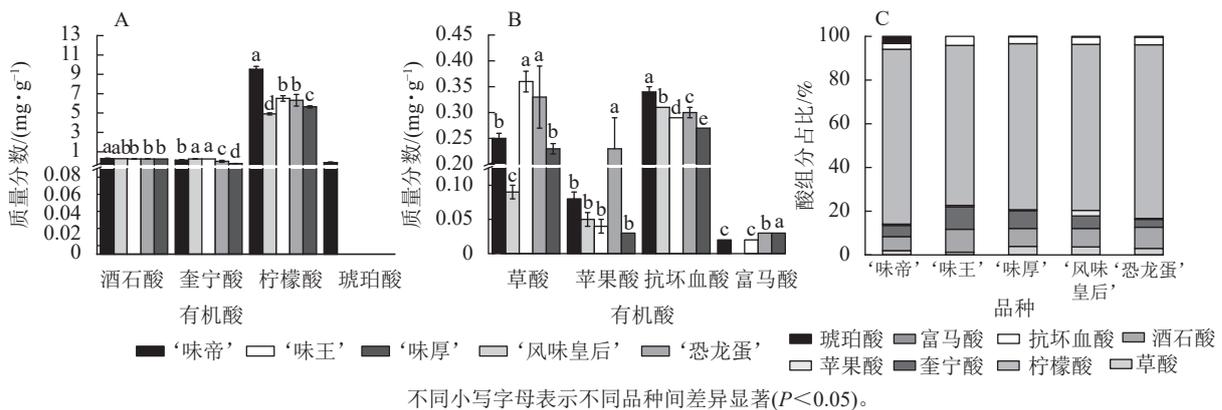


图 5 5 个杏李品种果实酸组分的质量分数

Figure 5 Acid group content of 5 *Prunus simonii* cultivars fruit

2.5 不同品种杏李果实综合评价分析

对不同品种果实品质的 12 项主要指标进行主成分 (PCA) 分析 (表 4~5)。依据特征值 > 1 的原则，得到 3 个主成分，根据旋转后成分矩阵的绝对值 > 0.5 作为解释变量，前 3 个主成分的特征值分别为 4.996、3.536 和 2.923，其累积贡献率达到 95.202%，表明前 3 个主成分基本包含了全部变量的主要信息，因此前 3 个主成分可用于评价不同杏李品种果实品质的影响。第 1 主成分包括维生素 C、可溶性糖、黄酮、果实纵径、果实横径和果形指数；第 2 主成分包括可滴定酸、糖酸比和单果质量；第 3 主成分包括可溶性固形物和蛋白质。以各个主成分对应的方差贡献率为权重，得到综合评价函数： $F = (0.413 \ 79 / 0.952 \ 02)F_1 + (0.294 \ 64 / 0.952 \ 02)F_2 + (0.243 \ 58 / 0.952 \ 02)F_3$ 。其中， F 指不同品种的综合得分值， $F_1 \sim F_3$ 分别指前 3 个主成分的方差贡献率。计算出不同杏李品种果实品质影响的综合得分和排序 (表 6)，综合得分由高到低分别为‘恐龙蛋’‘味王’‘味厚’‘风味皇后’和‘味帝’。

表 4 主成分特征值

Table 4 Principal component eigenvalues			
主成分	特征值	方差贡献率/%	累积方差贡献率/%
F_1	4.966	41.379	41.379
F_2	3.536	29.464	70.844
F_3	2.923	24.358	95.202

表5 果实品质主成分分析的旋转载荷矩阵

Table 5 Rotating load matrix of principal component analysis of fruit quality

指标	主成分得分			指标	主成分得分		
	F_1	F_2	F_3		F_1	F_2	F_3
可溶性固形物	-0.125	-0.179	0.505	蛋白质	0.111	0.263	0.487
维生素C	0.358	0.139	0.002	糖酸比	0.018	0.474	-0.255
可溶性糖	0.387	-0.174	0.201	单果质量	-0.007	0.407	0.362
可滴定酸	0.120	-0.458	0.248	果实纵径	0.433	-0.117	-0.075
黄酮	0.331	0.277	-0.245	果实横径	0.443	0.016	0.002
总酚	0.252	0.268	0.331	果形指数	0.341	-0.294	-0.186

表6 果实品质的主成分分析得分、综合得分及排序

Table 6 Principal component analysis score, comprehensive score and ranking of fruit quality

品种	主成分得分			F	排序
	F_1	F_2	F_3		
‘恐龙蛋’	2.979	1.663	1.044	1.977	1
‘味王’	1.224	-1.189	-0.522	0.029	2
‘味厚’	-2.951	1.614	1.224	-0.448	3
‘风味皇后’	-0.639	0.566	-2.784	-0.776	4
‘味帝’	-0.613	-2.654	1.039	-0.783	5

3 讨论

果实外观、口感、质地特性是评价水果品质的重要指标^[19-21]。本研究发现：杏李品种‘恐龙蛋’果实纵横径最大，与赵贤生等^[22]研究相似。‘味王’果形指数最大，形状为卵圆形，与原引进区有微小变化，徐豆^[23]研究认为欧李 *Cerasus humilis* 果实大小是受微效多基因控制的数量性状，果实色差在品种上差别较大，这与陈玉玲等^[24]研究结果相似，这些变化可能是由不同的生态环境对其影响所造成的，充足的光照对果实色泽和饱满度影响巨大，砂壤土和栽培方式使得果实大小出现变化。

杏李鲜甜可口、营养物质丰富，对身体健康大有裨益^[25]。本研究中，5个杏李的可溶性固形物质量分数为15.13%~20.47%，可溶性糖质量分数为11.57%~15.37%，可滴定酸质量分数为0.84%~1.65%，维生素C质量分数为0.449 7~0.947 6 mg·g⁻¹，黄酮质量分数为1.07~2.29 mg·g⁻¹，总酚质量分数为1.02~2.75 mg·g⁻¹，蛋白质质量分数为0.87~1.44 mg·g⁻¹。其中，可溶性固形物、可溶性糖、可滴定酸质量分数与李泰山等^[26-27]的研究结果不同，营养品质上的差异可能是由生长环境的土壤及气候条件所导致，由于南疆地区昼夜温差大、降水少、土壤结构复杂等诸多因素导致果实营养丰富。与已有研究结果^[9-12]相似。这更进一步表明，阿克苏独特生态气候较更适宜杏李种植和发展。

糖酸是影响口感的决定性因素，糖分是决定果实风味物质并调控果实代谢的物质，而有机酸是决定果实风味和果实品质的主要因素^[28-29]。糖酸组分的类别主要取决于品种差异^[30-35]，质量分数的高低及积累类型受不同气候条件影响较大^[27, 36]。本研究发现：5个杏李品种果实糖组分以山梨醇积累为主，有机酸以柠檬酸积累为主。李泰山等^[27, 36]研究发现与河南等地杏李可溶性糖以葡萄糖和果糖积累型为主，有机酸以苹果酸积累为主。徐豆^[23]研究表明：李可滴定酸和可溶性糖是受微效多基因控制的数量性状。但与郭香凤等^[37]测定发现杏果实糖酸组分中柠檬酸质量分数最高结果相似，这进一步表明糖酸受土壤和气候条件影响较大。同时本研究发现只有‘味帝’含有琥珀酸，但‘风味皇后’不含富马酸这一特殊现象，这主要是由于不同的生长环境使得酸组分之间的相互转化，导致酸质量分数出现变化。

4 结论

杏李品种‘味帝’可溶性糖和可滴定酸质量分数均高于其他品种，因此口感更加柔顺，但其果实相

对其他品种较小;‘味王’属于高维生素 C 品种,‘风味皇后’的果糖、葡萄糖和山梨醇质量分数高于其他品种。由于新疆独特地理环境,5 个杏李品种的果酸以山梨醇为主,但具体机制尚不明确,有待后续进一步研究。综合评价来看:‘恐龙蛋’不仅果实大,各种营养物质较高且均衡,更有利于在阿克苏地区大面积种植。

5 参考文献

- [1] 应学兵,陈萍梅,李璐瑶,等.不同茄子品种的综合评价[J].*浙江农林大学学报*,2025,42(2):357–364. YING Xuebing, CHEN Pingmei, LI Luyao, *et al.* Comprehensive evaluation of *Solanum melongena* cultivars[J]. *Journal of Zhejiang A&F University*, 2025, 42(2): 357–364. DOI: 10.11833/j.issn.2095-0756.20240394.
- [2] 杨红丽,李建贵,徐业勇,等.新疆阿克苏地区 6 个杏李品种抗寒性研究[J].*新疆农业科学*,2014,51(10):1782–1786. YANG Hongli, LI Jianguai, XU Yeyong, *et al.* Study on the cold resistance of six varieties of *Prunus domestica* planted in Aksu, Xinjiang[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2014, 51(10): 1782–1786. DOI: 10.6048/j.issn.1001-4330.2014.10.004.
- [3] 刘威生,章秋平,马小雪,等.新中国果树科学研究 70 年——李[J].*果树学报*,2019,36(10):1320–1338. LIU Weisheng, ZHANG Qiuping, MA Xiaoxue, *et al.* Fruit scientific research in New China in the past 70 years: plum[J]. *Journal of Fruit Science*, 2019, 36(10): 1320–1338. DOI: 10.13925/j.cnki.gsxz.2019.10.007.
- [4] NICOLÁS-ALMANSA M, RUIZ D, SALAZAR J A, *et al.* Phenotypic and molecular characterization of new interspecific Japanese plum × apricot hybrids (plumcots)[J]. *Scientia Horticulturae*, 2023, 318: 112131. DOI: 10.1016/j.scienta.2023.112131.
- [5] 董芳园,吴联合.新疆地区杏李研究现状及发展趋势[J].*农业与技术*,2021,41(20):67–70. DONG Fangyuan, WU Lianhe. Research status and development trend of *Prunus simonii* in Xinjiang[J]. *Agriculture and Technology*, 2021, 41(20): 67–70. DOI: 10.19754/j.nyyjs.20211030015.
- [6] 刘亚心,黄文静,杨绍彬,等.抗坏血酸和水杨酸处理对杏李果实贮藏特性的影响[J].*经济林研究*,2022,40(4):90–96. LIU Yaxin, HUANG Wenjing, YANG Shaobin, *et al.* Effects of ascorbic acid and salicylic acid on the storage properties of *Prunus domestica* × *Armeniaca*[J]. *Non-wood Forest Research*, 2022, 40(4): 90–96. DOI: 10.14067/j.cnki.1003-8981.2022.04.010.
- [7] 王如月,罗莎莎,甄紫怡,等.风味皇后杏李果实不同成熟度特性研究[J].*浙江农业学报*,2023,35(12):2865–2877. WANG Ruyue, LUO Shasha, ZHEN Ziyi, *et al.* Study on the characteristics of different maturity of apricot plum Flavor Queen fruit[J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2023, 35(12): 2865–2877. DOI: 10.3969/j.issn.1004-1524.20230049.
- [8] 王如月,虎海防,罗莎莎,等.杏李不同采收成熟度果实品质分析[J].*中国农业科技导报(中英文)*,2025,27(2):158–169. WANG Ruyue, HU Haifang, LUO Shasha, *et al.* Fruit quality analysis of *Prunus domestica* × *armeniaca* at different harvest maturity levels[J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2025, 27(2): 158–169. DOI: 10.13304/j.nykjdb.2023.0429.
- [9] 罗莎莎,王如月,甄紫怡,等.采前水分处理对杏李‘风味皇后’裂果及果实品质的影响[J].*经济林研究*,2024,42(2):81–90. LUO Shasha, WANG Ruyue, ZHEN Ziyi, *et al.* Effect of pre-harvest moisture treatments on fruit cracking and fruit quality of *Prunus domestica* × *armeniaca* ‘Fengweihuanghou’[J]. *Non-wood Forest Research*, 2024, 42(2): 81–90. DOI: 10.14067/j.cnki.1003-8981.2024.02.008.
- [10] BAE H, YUN S K, JUN J H, *et al.* Assessment of organic acid and sugar composition in apricot, plumcot, plum, and peach during fruit development. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 2014, 87: 24–29. DOI: 10.5073/JABFQ.2014.087.004.
- [11] 陈刚,肖莉娟,张枫,等.新疆生产建设兵团第一师杏李主栽品种及配套管理措施[J].*烟台果树*,2024(2):23,29. CHEN Gang, XIAO Lijuan, ZHANG Feng, *et al.* Main cultivars of apricot and plum in the first division of Xinjiang production and construction corps and corresponding management measures[J]. *Yantai Fruits*, 2024(2): 23, 29. DOI:10.3969/j.issn.1005-9938.2024.02.011.
- [12] 罗莎莎,王如月,甄紫怡,等.灌溉时间和灌溉量对杏李裂果率与果实品质的影响[J].*浙江农业学报*,2024,36(2):365–372. LUO Shasha, *et al.* Effect of irrigation time and amount on cracking rate and quality of apricot plum fruit[J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2024, 36(2): 365–372. DOI: 10.3969/j.issn.1004-1524.20221544.
- [13] 郁香荷,刘威生.李种质资源描述规范和数据标准[M].北京:中国农业出版社,2006. YU Xianghe, LIU Weisheng.

Descriptors and Data Standard for Plum [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2006.

- [14] 徐强, 马全会, 闫芬芬, 等. 杂交 F₁ 代制干枣果实重要性状遗传变异分析[J]. *园艺学报*, 2025, **52**(6): 1427–1440. XU Qiang, MA Quanhui, YAN Fenfen, *et al.* Genetic variation and analysis of important traits of dried fruits in F₁ hybrid jujube[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2025, **52**(6): 1427–1440. DOI: [10.16420/j.issn.0513-353x.2024-0746](https://doi.org/10.16420/j.issn.0513-353x.2024-0746).
- [15] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 144–199. GAO Junfeng. *Experimental Guidance for Plant Physiology* [M]. Beijing: Higher Education Press, 2006: 144–199.
- [16] 夏怡蕾, 仇倩倩, 杨植, 等. 枣果实总黄酮和总酚含量性状的 QTL 定位分析[J/OL]. 分子植物育种, 2022-05-06. <https://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?filename=FZZW20220429003&dbname=CJFD&dbcode=CJFQ>. XIA Yilei, QIU Qianqian, YANG Zhi, *et al.* The QTL mapping analysis of fruit total flavonoids and phenols in jujube[J/OL]. *Molecular Plant Breeding*, 2022-05-06. <https://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?filename=FZZW20220429003&dbname=CJFD&dbcode=CJFQ>.
- [17] 周晓凤. 基于果实糖酸分析的枣种质资源遗传多样性研究[D]. 阿拉尔: 塔里木大学, 2019. ZHOU Xiaofeng. *Genetic Diversity Research Based on Fruit Sugar and Acid of Jujube Germplasm* [D]. Ala'er: Tarim University, 2019.
- [18] 陈万年. 枣‘雨虹’×‘交城5号’F₁代SSR标记多态性分析及果实糖酸组分QTL定位研究[D]. 阿拉尔: 塔里木大学, 2024. CHEN Wannian. *Analysis of SSR Marker Polymorphism in F₁ Generation of Jujube ‘Yuhong’ × ‘Jiaocheng 5’ and QTL Local Isation of Fruit Sugar-acid Components* [D]. Ala'er: Tarim University, 2024. DOI: [10.27708/d.cnki.gtlmd.2024.000335](https://doi.org/10.27708/d.cnki.gtlmd.2024.000335).
- [19] 张琦, 蒲婷婷, 王艺儒, 等. 不同柿种质果实品质多样性评价[J]. *中国农业大学学报*, 2025, **30**(2): 61–71. ZHANG Qi, PU Tingting, WANG Yiru, *et al.* Quality diversity evaluation of different persimmon fruits[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2025, **30**(2): 61–71. DOI: [10.11841/j.issn.1007-4333.2025.02.06](https://doi.org/10.11841/j.issn.1007-4333.2025.02.06).
- [20] 王彬彬, 李娜, 贾漫丽, 等. 质构仪检测桑葚质地品质的方法研究[J]. *果树学报*, 2021, **38**(11): 2014–2020. WANG Binbin, LI Na, JIA Manli, *et al.* Measuring texture quality of mulberry fruit using a texture analyser[J]. *Journal of Fruit Science*, 2021, **38**(11): 2014–2020. DOI: [10.13925/j.cnki.gsx.20200426](https://doi.org/10.13925/j.cnki.gsx.20200426).
- [21] 王继玥, 曹森, 石登红, 等. 不同长度红秋葵果实质地与品质分析[J]. *北方园艺*, 2020(21): 1–6. WANG Jiyue, CAO Sen, SHI Denghong, *et al.* Analysis of texture and quality of fruits with different length in *Abelmoschus esculentus* (L.) moench[J]. *Northern Horticulture*, 2020(21): 1–6. DOI: [10.11937/bfy.20194756](https://doi.org/10.11937/bfy.20194756).
- [22] 赵贤生, 钱丽萍, 何洪良, 等. 3个杂交杏李品种在浙江杭州的表现[J]. *中国果树*, 2024(6): 106–109. ZHAO Xiansheng, QIAN Liping, HE Hongliang, *et al.* Performance of three *Prunus domestica* × *armeniaca* varieties in Hangzhou, Zhejiang Province[J]. *China Fruits*, 2024(6): 106–109. DOI: [10.16626/j.cnki.issn1000-8047.2024.06.016](https://doi.org/10.16626/j.cnki.issn1000-8047.2024.06.016).
- [23] 徐豆. 不同果色欧李杂交后代果实性状的遗传变异研究[D]. 太谷: 山西农业大学, 2020. XU Dou. *Heredity and Variation Analysis of Fruit Characters in Chinese Dwarf Cherry [Cerasus humilis (Bge.) Sok.] Hybrid Offspring of Different Fruit Color* [D]. Taigu: Shanxi Agricultural University, 2020. DOI: [10.27285/d.cnki.gsxnu.2020.000419](https://doi.org/10.27285/d.cnki.gsxnu.2020.000419).
- [24] 陈玉玲, 苏衍修, 黄振宇, 等. 我国杏李产业现状分析与发展建议[J]. *中国果树*, 2021(3): 98–100. CHEN Yuling, SU Yanxiu, HUANG Zhenyu, *et al.* Present situation analysis and development suggestions of *Prunus domestica* × *Armeniaca* industry in China[J]. *China Fruits*, 2021(3): 98–100. DOI: [10.16626/j.cnki.issn1000-8047.2021.03.020](https://doi.org/10.16626/j.cnki.issn1000-8047.2021.03.020).
- [25] 候璇, 尹凯花, 聂国伟, 等. 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, *et al.* 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. DOI: [10.13925/j.cnki.gsx.20240598](https://doi.org/10.13925/j.cnki.gsx.20240598).
- [26] 李泰山. 负载量对杏李‘味帝’产量及果实品质的影响[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2017. LI Taishan. *Yield, Sensory Profile, and Physico-Chemical Quality Attributes of Prunus domestica × Armeniaca ‘Weidi’ Fruits as Affected by Crop Load* [D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2017.
- [27] 李泰山, 杜改改, 刁松锋, 等. 负载量调控对杏李‘味帝’果实糖酸组分及风味的影响[J]. *中国农业大学学报*, 2017, **22**(5): 39–48. LI Taishan, DU Gaigai, DIAO Songfeng, *et al.* Crop load influences the components of sugar, acid and flavor in *Prunus domestica* × *Armeniaca* ‘Weidi’ [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2017, **22**(5): 39–48. DOI: [10.11841/j.issn.1007-4333.2017.05.05](https://doi.org/10.11841/j.issn.1007-4333.2017.05.05).
- [28] 吴斌, 苏金生, 邢文婷, 等. 不同品种百香果果实转色期糖酸品质性状评价[J]. *果树学报*, 2024, **41**(12): 2532–2542. WU Bin, SU Jinsheng, XING Wenting, *et al.* Evaluation of sugar and acid quality traits of different passionfruit varieties during

- coloration period[J]. *Journal of Fruit Science*, 2024, **41**(12): 2532–2542. DOI: 10.13925/j.cnki.gsx.20240276.
- [29] 林媚, 姚周麟, 王天玉, 等. 8 个杂交柑橘品种的糖酸组分含量及特征研究[J]. *果树学报*, 2021, **38**(2): 202–211. LIN Mei, YAO Zhoulin, WANG Tianyu, *et al.* A study on the components and characteristics of sugars and acids in 8 hybrid *Citrus* cultivars[J]. *Journal of Fruit Science*, 2021, **38**(2): 202–211. DOI: 10.13925/j.cnki.gsx.20200373.
- [30] 王帅琰, 仇银生, 马维峰, 等. 水分胁迫对‘贵人香’葡萄成熟期果实品质的影响[J/OL]. 甘肃农业大学学报, 2024-04-28. <https://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?filename=GSND2024042400L&dbname=CJFD&dbcode=CJFQ>. WANG Shuaiting, QIU Yinsheng, MA Weifeng, *et al.* Effect of water stress on fruit quality of ‘Guirenxiang’ grape at mature stage[J/OL]. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2024-04-28. <https://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?filename=GSND2024042400L&dbname=CJFD&dbcode=CJFQ>.
- [31] 朱永聪, 崔子霄, 徐晗, 等. 优新荔枝品种果实品质风味特征比较[J]. *中国食品学报*, 2023, **23**(6): 327–338. ZHU Yongcong, CUI Zixiao, XU Han, *et al.* Comparison on fruit quality and flavor of new and fine *Litchi* cultivars[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2023, **23**(6): 327–338. DOI: 10.16429/j.1009-7848.2023.06.033.
- [32] 高贤玉, 张发明, 柏天琦, 等. 云南 10 个芒果栽培品种糖酸组分分析[J]. *中国热带农业*, 2019(5): 54–59. GAO Xianyu, ZHANG Faming, BAI Tianqi, *et al.* Analysis of sugar and acid components of 10 mango cultivars in Yunnan[J]. *China Tropical Agriculture*, 2019(5): 54–59. DOI: 10.3969/j.issn.1673-0658.2019.05.015.
- [33] 张素敏, 杨巍, 王柏松. 5 个露地中晚熟桃品种果实糖酸组分研究[J]. *中国果树*, 2022(11): 59–62, 71. ZHANG Sumin, YANG Wei, WANG Baisong. Study on sugar and acid components of five mid-late ripening peach cultivars in the field[J]. *China Fruits*, 2022(11): 59–62, 71. DOI: 10.16626/j.cnki.issn1000-8047.2022.11.012.
- [34] 王婷婷, 周阳广, 朱虹娟, 等. 2 个柑橘三倍体有性群体果实糖酸性状遗传评价[J]. *果树学报*, 2022, **39**(7): 1147–1156. WANG Tingting, ZHOU Yangguang, ZHU Hongxian, *et al.* Inheritance of sugar and acid contents in the fruits of triploid hybrids originated from two $2x \times 4x$ crosses with Nadorcott tangor as a female parent[J]. *Journal of Fruit Science*, 2022, **39**(7): 1147–1156. DOI: 10.13925/j.cnki.gsx.20210674.
- [35] 李娅楠, 闫雷玉, 张波, 等. 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, *et al.* A study on sugar and organic acid components in different apple cultivars[J]. *Journal of Fruit Science*, 2021, **38**(11): 1877–1889. DOI: 10.13925/j.cnki.gsx.20210209.
- [36] 杜改改, 李泰山, 刁松峰, 等. 6 个杏李品种果实甜酸风味品质分析[J]. *果树学报*, 2017, **34**(1): 41–49. DU Gaigai, LI Taishan, DIAO Songfeng, *et al.* Evaluation of flavor quality in relation to sugars and acids of six *Prunus domestica* × *Armeniaca* cultivars[J]. *Journal of Fruit Science*, 2017, **34**(1): 41–49. DOI: 10.13925/j.cnki.gsx.20160108.
- [37] 郭香凤, 向进乐, 史国安, 等. 1-MCP 对凯特杏果实采后糖酸组分与含量的影响[J]. *保鲜与加工*, 2008, **8**(5): 30–33. GUO Xiangfeng, XIANG (Jin)(Le) Yue, SHI Guoan, *et al.* Effects of 1-methylcyclopropene on sugar and organic acid constituents in katy apricot[J]. *Storage and Process*, 2008, **8**(5): 30–33. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6221.2008.05.011.