

李可, 林籽汐, 刘佳, 等. 基于主成分分析和聚类分析的李子果实品质综合评价 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(8): 293–300. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023060002

LI Ke, LIN Zixi, LIU Jia, et al. Comprehensive Evaluation of Plums Quality Based on Principal Component Analysis and Cluster Analysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(8): 293–300. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023060002

· 分析检测 ·

基于主成分分析和聚类分析的李子果实品质综合评价

李可¹, 林籽汐¹, 刘佳², 廖茂雯¹, 袁怀瑜¹, 梁钰梅¹, 潘翠萍¹, 郭南滨³, 朱永清¹, 张国薇², 李华佳^{1,*}

(1.四川省农业科学院农产品加工研究所, 四川成都 610000;

2.四川省农业科学院园艺研究所, 四川成都 610000;

3.四川省葡萄酒与果酒行业协会, 四川成都 610000)

摘要: 为了解不同品种李子的品质特性, 本文选取 12 个品种李子作为研究对象, 分别从外观、理化及糖酸组成等方面对果实品质进行了对比分析, 同时采用主成分分析和聚类分析对李子品质性状进行综合评价。结果表明, 不同品种李子外观、理化和糖酸组成等指标均表现出丰富的多样性。糖酸组成、色泽、单果重、果实密度和果形指数等是评价李子综合品质的关键性指标。12 个品种中“紫皇”(ZH)“圣雪珀”(SXP)“爱丽丝”(ALS)“香李”(XL)“香甜李”(XTL) 5 个品种综合评分为正值, 品质较好。其中, ZH 和 SXP 品质特征为出汁率、可溶性固形物、总糖含量及色泽品质高; ALS 品质特征为总糖、总甜度、甜酸比和糖酸比最高; XL 和 XTL 品质特征为可溶性固形物含量、糖酸比、甜酸比高, 但出汁率低。该研究结果可作为不同用途李子品种筛选的重要参考依据。

关键词: 李子, 品质, 主成分分析, 聚类分析, 综合评价

中图分类号: TS255.7

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2024)08-0293-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023060002



本文网刊:

Comprehensive Evaluation of Plums Quality Based on Principal Component Analysis and Cluster Analysis

LI Ke¹, LIN Zixi¹, LIU Jia², LIAO Maowen¹, YUAN Huaiyu¹, LIANG Yumei¹, PAN Cuiping¹, GUO Nanbin³, ZHU Yongqing¹, ZHANG Guowei², LI Huajia^{1,*}

(1. Institute of Agro-products Processing Science and Technology, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610000, China;

2. Horticulture Research Institute of Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610000, China;

3. Sichuan Wine and Fruit Wine Industry Association, Chengdu 610000, China)

Abstract: To investigate the quality characteristics of different varieties of plums, the quality such as appearance, physicochemical properties, and sugar and acid composition of 12 varieties were analyzed. At the same time, principal component analysis and cluster analysis were employed to evaluate the quality characteristics of 12 varieties comprehensively. The results showed that different varieties of plum exhibited rich diversity in appearance, physicochemical properties, sugar and acid composition. Sugar and acid composition, color, single fruit weight, fruit density, and fruit shape index were key indicators for evaluating the quality of plums. Among the 12 varieties, ZH, SXP, ALS, XL, XTL had a positive values, represent a good quality. Among them, the quality characteristics of ZH and SXP were high juice yield, soluble solids, total sugar content, and color quality. The quality characteristics of ALS included the highest total sugar, total sweetness, sweet acid ratio, and sugar acid ratio. The quality characteristics of XL and XTL were high soluble

收稿日期: 2023-06-02

基金项目: 四川省“十四五”育种攻关(2021YFYZ0023-14); 四川省农业科学院 1+9 揭榜挂帅项目-功能食品核心技术攻关(1+9KJGG007)。

作者简介: 李可(1987-)(ORCID: 0000-0003-2936-2606), 男, 博士, 助理研究员, 研究方向: 食品生物技术, E-mail: like2341@126.com。

* 通信作者: 李华佳(1982-)(ORCID: 0000-0002-3686-026XE), 女, 博士, 副研究员, 研究方向: 果蔬贮藏加工, E-mail: huajia611@163.com。

solid content, sugar acid ratio, and sweet acid ratio, but low juice yield. The results above served an important reference to screen plum varieties for different purposes.

Key words: plum; fruit quality; principal component analysis; cluster analysis; comprehensive evaluation

李子(*Prunus salicina* Lindl.), 又名嘉庆子、布霖, 为双叶子植物纲(Dicotyledoneae), 蔷薇科(Rosaceae), 李属(*Prunus* L.)植物^[1]。李子果实饱满, 色泽亮丽, 口感细腻, 富含人体所需的多种维生素、氨基酸和微量元素, 具有抗氧化、抗衰老、增强人体免疫力的功效, 享有“五果”之首的称号^[2-4]。李子在中国具有悠久的栽培历史, 现已有 1000 余个品种和类型^[5]。研究表明, 李子作为一种水果, 常常会因为品种、产地气候等因素不同而造成品质差异^[6-7]。四川作为李子大省, 目前已经规模化种植的品种包括青脆李、蜂糖李、巨早李、酥李、苹果李等十多个品种, 同时还有一些最新培育的新品种如紫皇、圣雪珀等, 然而, 目前对四川地区相关品种李子品质特征的研究却鲜有报道。

果实品质包括外在品质和内在品质, 外在品质主要指果形指数、色泽等指标, 内在品质包括可溶性固形物、可滴定酸、多酚、黄酮等指标^[8], 且这些指标之间存在相对独立性和密切相关性。因此, 依据单个指标或少数相关联的一般指标来评价果实品质优劣存在一定的片面性^[9-10]。为了更加全面地分析和比较不同品种水果品质, 近几年, 主成分分析与聚类分析相结合的综合性评价方法已被广泛应用于果实的品质分析和综合评价^[11-13]。该方法避免了感官评价主观性强、可比性差等不足, 简化了评价程序, 更利于综合评价多项品质指标。张芳等^[14]利用主成分分析和聚类分析方法对贵州省 15 份野生桑果实的品质进行综合分析, 并基于此筛选出综合品质优良的资源作为桑葚品种选育的参考。姜璐等^[15]采用主成分分析、相关性分析等方法明确了 18 个品种蓝靛果的品质特征, 并进一步根据品质特征提出了不同品种适宜的开发利用途径。以上研究均为李子品质评价提供了科学参考。

本研究以 12 个品种李子为研究对象, 对其外观特性、理化指标及糖酸组成等进行测定, 并结合主成分分析和聚类分析, 解析 12 个品种李子的品质特征, 以期为李子品质评价、不同用途优质专用品种筛选和品种选育提供一定的理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料与仪器

李子 2022 年 6 月下旬到 8 月上旬采集于四川省德阳市李子种质资源圃(30°31'~31°42'N, 103°45'~105°15'E), 每个品种选取 5 株栽培条件一致、长势良好、产量较一致的果树进行采样, 于不同品种的树冠外围不同方向随机采摘成熟果实^[16], 泡沫箱+冰袋包装后立刻运回实验室测量其指标。供试的李子品种名称及采摘时间详见表 1; 氢氧化

钠、3,5-二硝基水杨酸、盐酸、福林酚试剂、无水碳酸钠、亚硝酸钠、甲醇、硝酸铝、2,6-二氯酚、氯化钾、硝酸铝 均为分析纯, 成都市科隆化学制品有限公司; 葡萄糖、蔗糖、果糖、琥珀酸、苹果酸、草酸、奎宁酸 色谱纯标准品, 上海麦克林生化科技有限公司。

表 1 供试李子的采摘时间
Table 1 Date of sampling in plum resources

序号	品种名称及缩写	采摘时间	序号	品种名称及缩写	采摘时间
1	‘凤凰’(FH)	2022.06	7	‘爱丽丝’(ALS)	2022.06
2	‘香甜李’(XTL)	2022.08	8	‘紫皇’(ZH)	2022.08
3	‘香李’(XL)	2022.06	9	‘醉心桃’(ZXT)	2022.08
4	‘秋红’(QH)	2022.06	10	‘圣雪珀’(SXP)	2022.08
5	‘串串’(CC)	2022.06	11	‘青脆李’(QC)	2022.08
6	‘月光’(YG)	2022.05	12	‘翠红李’(CH)	2022.08

855 型全自动滴定仪 瑞士万通中国有限公司; PHS-3C 型数显 pH 计 上海雷磁公司; CR-400 色差计 柯尼卡美能达; JJ-1000 型电子分析天平 上海佑科仪器仪表有限公司; 1260 HPLC 高效液相色谱 美国安捷伦技术公司; SpectraMax iD3 多功能酶标仪 美谷分子仪器有限公司; DHG-9070 电热鼓风干燥箱 上海一恒科学仪器有限公司; KQ5200 DE 数控超声仪 昆山市超声仪器有限公司; DKS-14 恒温水浴锅 江苏金坛市金城国胜实验仪器厂; 苏泊尔 SJ30 渣汁分离果汁机 浙江苏泊尔股份有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 果实外观品质测定

1.2.1.1 果实质量及密度 参考安伯义等^[17]的方法。

1.2.1.2 果型指数 使用游标卡尺测量其横径、纵径, 果型指数=纵径/横径。

1.2.1.3 色差 用色差仪测定李子果实赤道线上分布均匀的 3 个部位(L^* 、 a^* 、 b^* 值)。

1.2.2 果实理化指标测定

1.2.2.1 出汁率 称取 100 g 果肉用打浆机匀浆 2~4 min 得到果浆, 8000 r/min 离心 10 min, 取上清液称量果汁质量, 并按照如下公式计算出汁率。

$$\text{出汁率}(\%) = \frac{m_{\text{果汁质量}}}{m_{\text{李子果肉质量}}} \times 100$$

1.2.2.2 可溶性固形物 采用手持数显糖度计测定可溶性固形物含量, 结果以 % 表示。

1.2.2.3 pH 测定 采用 pH 计测定。

1.2.2.4 可滴定酸含量测定 用全自动滴定仪测定可滴定酸含量^[18], 滴定溶液为 0.1 mol/L NaOH 标准溶液, 滴定终点为 pH8.2, 结果以苹果酸当量计, 结果

以 % 表示。

1.2.2.5 总酚含量 采用 Folin-ciocalteu 法测定^[19], 2 mL 新鲜配制的 Folin-Ciocalteu(1:1 v/v)加入到 200 μ L 果汁中,加入 2 mL 75 g/L 的碳酸钠混匀 1 min, 25 $^{\circ}$ C 保温 40 min, 760 nm 检测总酚含量。以没食子酸为标准品绘制标准曲线,结果以 mg GAE/100 g 表示。

1.2.2.6 总黄酮含量 采用 AlCl_3 显色法测定^[19], 1 mL 果汁中加入 300 μ L NaNO_2 (50 g/L)和 4 mL 蒸馏水,混匀 1 min, 5 min 后加入 1 mL AlCl_3 (100 g/L),混匀后放置 5 min,加入 2 mL 1 mol 的 NaOH 和 2.4 mL 的蒸馏水, 25 $^{\circ}$ C 条件下振荡 2 min, 10 min 后 510 nm 检测类黄酮含量。以芦丁绘制标准曲线,结果以 mg RE/100 g 表示。

1.2.3 糖酸组成分析

1.2.3.1 蔗糖、葡萄糖、果糖含量分析 采用 HPLC 法,取 0.2 g 果汁,稀释 200 倍后过 0.22 μ m 微孔滤膜过滤后备用^[20]。采用外标法对糖组分进行定量分析,标准溶液的配制如下:分别称取 0.1000 g 葡萄糖、蔗糖、果糖。用超纯水定容至 100 mL,配制成 1 mg/mL 的混合糖标准储备液,再依次稀释成 5、10、20、50、100 μ g/mL 的标准使用液,经 0.22 μ m 滤膜过滤后备用。HPLC 条件参照色谱柱说明书:色谱柱为安捷伦 Hipler-Ca 分析柱(300 mm $\times$ 7.8 mm),流动相为超纯水,流速 0.6 mL/min,进样量 20 μ L,柱温 80 $^{\circ}$ C。蒸发光检测器条件为氮气流速 2 mL/min,漂移管温度 60 $^{\circ}$ C,蒸发管温度 80 $^{\circ}$ C。参考孟祥春等^[21]的方法,每次实验测定 3 次并取平均值。

1.2.3.2 甜度值 甜度值的计算参考穆茜等^[22]方法。

甜度值=蔗糖含量 $\times$ 100+葡萄糖含量 $\times$ 75+果糖含量 $\times$ 175

1.2.3.3 有机酸组成测定 有机酸采用 HPLC 测定,取 0.2 g 果汁,稀释 20 倍后过 0.22 μ m 微孔滤膜过滤后备用。采用外标法对酸组分进行定量分析,标准溶液的配制如下:分别称取 0.1000 g 苹果酸、草酸、奎宁酸、琥珀酸。用超纯水定容至 100 mL,配制成 1 mg/mL 的混合酸标准储备液、再依次稀释成 5、10、20、50、100 μ g/mL 的标准使用液,经 0.22 μ m 滤膜过滤后备用。HPLC 条件参照色谱柱说明书:色谱柱为 Aminex HPX-87H(300 mm $\times$ 7.8 mm),流动相为 0.005 mol/L H_2SO_4 ,流速 0.6 mL/min,紫外检测波长 210 nm,进样量 10 μ L,柱温 30 $^{\circ}$ C。

1.2.3.4 有机酸总含量测定 有机酸总含量计算参照穆茜等^[22]的方法。

有机酸总量=苹果酸含量+草酸含量+奎宁酸含量+琥珀酸含量

1.2.3.5 糖酸比与甜酸比 甜酸比和糖酸比计算公式如下:

$$\text{甜酸比} = \frac{\text{甜度值}}{\text{有机酸含量}}$$

$$\text{糖酸比} = \frac{\text{蔗糖含量} + \text{葡萄糖含量} + \text{果糖含量}}{\text{有机酸总量}}$$

1.3 数据处理

利用 Excel 2016 对数据进行收集处理,使用 GraphPad Prism 9、SPSS.26 统计软件、Chiplot 线上分析平台(<https://www.chiplot.online>)对数据进行单因素方差分析($P < 0.05$)、主成分分析和聚类分析。采用隶属函数法和反隶属函数法对原始数据进行标准化以处理消除各指标异向性对综合评价的影响,根据以下公式计算出不同李子资源综合得分并进行排序^[6,23]:

$$\text{正相关指标: } A_{in} = \frac{X_{in} - X_{i \min}}{X_{i \max} - X_{i \min}}$$

$$\text{负相关指标: } 1 - A_{in} = \frac{X_{in} - X_{i \min}}{X_{i \max} - X_{i \min}}$$

$$\text{主成分特征向量: } F_{jn} = \sum_{j=1}^m C_{ij} \left(\sum_{i=1}^{11} A_{in} + \sum_{i=1}^l B_{in} \right)$$

$$\text{主成分权重: } E_j = \frac{D_j}{\sum_{j=1}^m D_j}$$

$$\text{综合得分} = \sum_{j=1}^m F_{jn} \times E_j$$

式中: A_{in} 表示 n 品系 i 指标的正相关隶属函数值; X_{in} 表示第 n 个品种的第 i 个性状指标; $X_{i \min}$ 和 $X_{j \max}$ 分别表示样品 i 指标的最小值和最大值; B_{in} 表示 n 品系 i 指标的负相关隶属函数值; m 表示主成分贡献率大于 85% 的个数; C_{ij} 表示第 j 个主成分第 i 个的特征向量; D_j 表示第 j 个主成分的特征值。

2 结果与分析

2.1 不同品种果实外观品质差异分析

外观品质作为评价李子果实经济价值的重要性状,主要体现在单果重、果形指数和色泽等方面,是消费者选择的最直观评价标准^[24]。由表 2 可知,不同品种李子平均单果质量分布在 18.36~94.86 g,参照陈守一等^[24]的单果重分级方法,12 个李子品种被分为极大果(单果重 ≥ 90 g)品种 1 个 SXP,大果(90 g > 单果重 ≥ 60 g)品种 2 个 ZXT、ALS,中果(60 g > 单果重 ≥ 30 g)品种 4 个 YG、XL、ZH、QH,小果(30 g > 单果重 ≥ 20 g)品种 3 个 CH、QC、CC,极小果(单果重 < 20 g)品种 2 个 XTL、FH。由表 2 可知,12 个品种李子果实密度在 0.96~1.05 g $\cdot$ cm⁻³,虽然不同品种之间有差异,但变化较小。果形指数是用来描述果实的形状,参照苹果果形指数划分标准^[25],0.6~0.8 为扁圆形,0.8~0.9 为圆形,0.9~1.0 为椭圆形或圆锥形,1.0 以上为长圆形可知,12 个品种李子果实形状可分为三种类型,其中 CC 果实形状为圆形、YG 果实形状为长圆型,其它大多数李子品种果实形状为椭圆形或圆锥形。色差 L^* 、 a^* 、 b^* 值变化范围分别为

表 2 不同品种的李子果实外观品质差异分析

Table 2 Analysis of appearance quality of different plum varieties

品种	单果质量(g)	果实密度(g·cm ⁻³)	果形指数	<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *
YG	59.85±9.71 ^c	1.03±0.01 ^b	1.08±0.05 ^a	49.68±4.07 ^b	-1.30±1.65 ^{cd}	32.14±4.47 ^b
XL	53.25±8.29 ^c	1.03±0.03 ^b	0.94±0.04 ^{bc}	45.72±5.41 ^b	1.17±3.32 ^{cd}	34.28±7.28 ^b
FH	18.36±4.37 ^f	1.05±0.01 ^{ab}	0.95±0.05 ^{bc}	54.54±3.00 ^{ab}	-12.93±1.88 ^c	41.75±2.64 ^{ab}
XTL	19.03±3.78 ^{ef}	1.00±0.01 ^c	0.96±0.04 ^{bc}	54.11±3.31 ^{ab}	-6.00±3.49 ^d	45.95±3.94 ^a
QH	33.84±5.36 ^d	1.00±0.01 ^c	0.94±0.03 ^{bc}	47.46±9.68 ^b	17.91±10.13 ^a	31.78±7.19 ^b
ALS	60.15±10.75 ^c	1.03±0.01 ^b	0.97±0.04 ^b	22.28±2.65 ^c	16.42±3.83 ^a	9.44±2.53 ^c
CC	24.61±3.99 ^e	1.02±0.01 ^{bc}	0.85±0.04 ^d	50.37±4.96 ^b	4.56±3.43 ^c	38.57±4.81 ^{ab}
ZH	53.00±9.66 ^c	1.06±0.01 ^a	0.94±0.06 ^{bc}	49.29±5.75 ^b	9.86±4.95 ^b	38.56±5.82 ^{ab}
ZXT	70.87±11.18 ^b	0.96±0.03 ^d	0.96±0.03 ^b	58.32±4.60 ^a	0.96±2.81 ^{cd}	40.94±3.22 ^{ab}
SXP	94.86±9.39 ^a	1.00±0.00 ^c	0.94±0.06 ^{bc}	52.11±5.41 ^{ab}	3.46±3.54 ^c	39.35±6.02 ^{ab}
QC	27.28±3.00 ^{de}	0.99±0.02 ^{cd}	0.95±0.05 ^{bc}	56.93±3.64 ^a	0.91±2.66 ^{cd}	37.95±4.83 ^{ab}
CH	29.78±2.94 ^d	0.99±0.01 ^{cd}	0.91±0.03 ^c	54.82±3.17 ^{ab}	-2.92±2.27 ^d	41.13±3.26 ^{ab}

注: 同一列肩标不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

22.28~58.32、-12.93~17.91、8.60~45.95。色差 L^* 、 a^* 、 b^* 值分别代表亮度、红绿度和黄蓝度方面变化,由表可知,QH、ALS、ZH 色差 a^* 最高果且为正值,为典型的红色系果实,其中 ALS 果实表面表现为红青色且表面不光亮,其 L^* 和 b^* 值显著($P<0.05$)低于其它品种,QH 和 ZH 果实表面表现为红黄色、表面较光亮,其 L^* 和 b^* 值相对较高。XL、CC、ZXT、SXP 和 QC5 个品种果实表面以黄色为主、略带红色、表面较光亮,其色差 a^* 值为正值, L^* 和 b^* 高;YG、FH、XTL、CH4 个品种为青黄色水果,表面光亮,因此其色差 a^* 值为负值,但 L^* 和 b^* 高。

2.2 不同品种果实理化指标分析

由表 3 可知,供试 12 个品种的平均出汁率在 32.92%~58.92%,其中 SXP 和 ZH 出汁率最高,均在 50% 以上,YG、FH、ALS、QC、CH、ZXT 次之,出汁率在 40%~50% 之间,XL、XTL、CC 出汁率较低在 30%~40% 之间,QH 最低为 26.10%。出汁率是影响果实加工品质的重要指标,与果肉细胞成熟度及果胶含量密切相关,自然条件下的出汁率影响果汁类产品加工难易程度和成本,通过比较不同品种李子

出汁率可知,SXP 和 ZH 具有较好的加工潜力。

pH、可溶性固形物和可滴定酸是反映果实内在品质的理化指标。由表 3 可知,12 个李子品种 pH 分布在 3.17~3.85,可滴定酸含量变化范围在 0.69%~1.39% 之间,可溶性固形物含量在 10.4~19.67 之间,其中 FH、ZH、QC、CH、SXP 的 pH 较高,CC 果实 pH 最低;SXP 可滴定酸含量最高,QC 可滴定酸含量最低;ZH、SXP、XL 可溶性固形物含量较高,均大于 15%,QC 可溶性固形物含量最低。与陈守一等^[24]、周忠雨^[26]的研究结果比较可知,不同品种李子果实 pH、可滴定算含量变化范围较为一致,但本研究首次报道的一些品种如 SXP、ZH 的可溶性固形物含量显著($P<0.05$)高于其它品种。

研究表明,多酚和黄酮类物质是李子果实中重要的活性物质,赋予果实丰富的营养成分和抗氧化的功能特性^[2-4]。本研究表明,12 个品种李子总多酚含量在 78.00~204.80 mg GAE/100 g 之间,总黄酮含量在 106.05~272.30 mg RE/100 g 之间,总酚含量和黄酮含量存在一定相关性,总酚含量高的品种,其黄酮含量往往也较高,该研究结果与周忠雨^[26]的研究结

表 3 不同品种李子果实的营养成分分析

Table 3 Analysis of fruit nutrients of different plum varieties

品种	出汁率 (%)	可溶性固形物 (%)	pH	可滴定酸 (%)	总黄酮含量 (mg GAE/100 g)	总酚含量 (mg RE/100 g)
YG	48.75±0.91 ^c	10.4±0.17 ⁱ	3.22±0.08 ⁱ	1.18±0.01 ^b	78.00±4.94 ^b	128.65±25.94 ^{cd}
XL	38.46±6.48 ^{cd}	15.23±0.40 ^c	3.43±0.02 ^s	0.88±0.01 ⁱ	127.10±12.84 ^d	214.30±19.95 ^{ab}
FH	42.23±2.80 ^{bc}	14.50±0.10 ^d	3.85±0.06 ^a	0.95±0.01 ^s	204.80±6.92 ^a	248.20±28.62 ^a
XTL	32.93±3.54 ^d	14.60±0.00 ^d	3.54±0.02 ^e	0.90±0.01 ^b	160.04±15.82 ^c	174.23±36.75 ^{bc}
QH	26.10±1.20 ^d	12.17±0.06 ^s	3.30±0.04 ^b	1.12±0.01 ^d	91.90±1.02 ^{fg}	132.34±12.31 ^{cd}
ALS	43.24±4.21 ^{bc}	12.57±0.06 ^f	3.49±0.04 ^f	0.87±0.02 ^j	82.70±1.73 ^{gh}	109.09±2.74 ^d
CC	32.92±4.22 ^d	12.70±0.52 ^{gh}	3.17±0.02 ^j	1.14±0.01 ^c	107.50±1.00 ^c	141.89±13.91 ^{cd}
ZH	53.73±1.91 ^b	19.67±0.32 ^a	3.73±0.03 ^b	1.01±0.01 ^f	178.80±5.73 ^b	273.30±31.82 ^a
ZXT	40.02±2.80 ^{bc}	13.70±0.62 ^e	3.50±0.04 ^{ef}	1.07±0.01 ^c	59.30±0.87 ^j	106.05±14.67 ^d
SXP	58.92±3.79 ^a	17.43±0.31 ^b	3.60±0.04 ^d	1.39±0.01 ^a	108.70±1.73 ^c	218.02±28.3 ^{ab}
QC	40.50±3.51 ^{bc}	11.80±0.20 ^h	3.69±0.06 ^{bc}	0.69±0.01 ^k	97.10±0.97 ^{ef}	138.00±34.12 ^{cd}
CH	48.18±7.96 ^{bcd}	13.37±0.25 ^e	3.66±0.02 ^c	0.81±0.02 ^j	90.20±2.64 ^{gh}	183.05±66.41 ^{bc}

注: 同一列中肩标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

果一致。其中, FH 和 ZH 的总黄酮和总酚含量均较高, ZXT 的总黄酮和总酚含量均最低。

2.3 不同品种果实糖、酸组分及甜酸风味分析

多数研究认为, 蔗糖、葡萄糖和果糖是李子、桃等果实中含量较高的糖类^[27-28], Liu 等^[29]研究表明, ‘欧洲李’‘野生欧洲李’和‘黑刺李’三个品种中糖种类包括蔗糖、葡萄糖、果糖及山梨醇, 且以葡萄糖为主, 山梨醇次之。图 1A 表示, 12 个品种李子中以蔗糖、葡萄糖和果糖为主, 不同品种李子蔗糖、葡萄糖和果糖总含量变化范围在 32.89~141.38 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$, 其中 ALS、ZH 和 SXP 的总含量较高, 分别为 141.38、128.65、和 108.11 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$, ZXT 和 QC 的总含量较低。同时许多研究还根据含量最高的可溶性糖类, 将水果分为蔗糖积累型、葡萄糖积累型和果糖积累型, 基于此, QH、SXP、ZH、CC、CH、FH、XTL、YG、ZXT 等 9 个品种蔗糖占主要比例, 为蔗糖积累性果实, QC、ALS 两个品种葡萄糖占比最高, 为葡萄糖积累型, XL 中果糖占比最高为果糖积累型。

有机酸的种类和构成对果实的酸味密切相关, 目前关于不同品种李子中有机酸组成研究也较多, 但研究结果却有所差异。周忠雨^[26]的研究认为‘青脆李’‘脆红李’‘茵红李’‘西瓜李’和‘蜂糖李’等品种有机酸种类包含苹果酸、酒石酸、草酸、莽草酸等五种酸, 且所有品种均以苹果酸为主, 苹果酸占比均在 80% 以上。而 Liu 等^[29]则认为, ‘欧洲李’以奎宁酸和苹果酸为主, ‘樱桃李’‘美洲李’‘加拿大李’‘黑刺李’和‘野生欧洲李’等果实中以苹果酸为主。Celik 等^[30]则研究认为‘樱桃李’总有机酸含量最高, 其次是‘欧洲李’和‘黑刺李’, ‘乌苏李’含量最低, ‘欧洲李’‘樱桃’‘黑刺李’等品种有机酸种类包含柠檬酸、苹果酸、琥珀酸和富马酸。其中‘欧洲李’和‘黑刺李’均以柠檬酸为主, ‘樱桃李’中以柠檬酸、琥珀酸和富马酸为主。由图 1B 可知, 本研究结果与 Liu 等^[29]的研究结果较为一致, 12 个品种李子中有机酸种类包括苹果酸、奎宁酸、草酸和琥珀酸等, 且均以苹果酸和奎宁酸为主, 总含量为 11.92~32.58 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$, 含量从大到小依序为: CC>ZH>SXP>YG>FH>QH>CH>ALS>QC>XTL>XL>ZXT。苹果酸的平均含量为 6.68~14.15 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$, 占比 32.6%~58.1%, 含量较高的品种为 SXP 和 YG, 含量最低的品种为 QC; 奎宁酸的平均含量为 2.48~15.91 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$, 占比 20.8%~60.6%, 含量最高的品种为 CC、ZH, 含量最低的为 ZXT; 琥珀酸的平均含量为 1.17~4.89 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$, 占比 6.7%~20.4%; 草酸的平均含量为 0.04~0.43 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$, 占有有机酸总量的比例均低于 1.5%。由此可以看出, 不同品种李子酸的种类和组成存在较大差异, 研究表明这种差异往往会带来口感的差异, 影响消费者体验及其商品性^[29]。

水果的甜酸风味是由糖和有机酸产生, 但并不是甜味和酸味的简单叠加, 而是糖和酸共同作用的综合结果, 既取决于糖和酸的含量水平, 也取决于糖和酸的种类和比例, 固酸比、甜度/总酸是评价水果酸甜

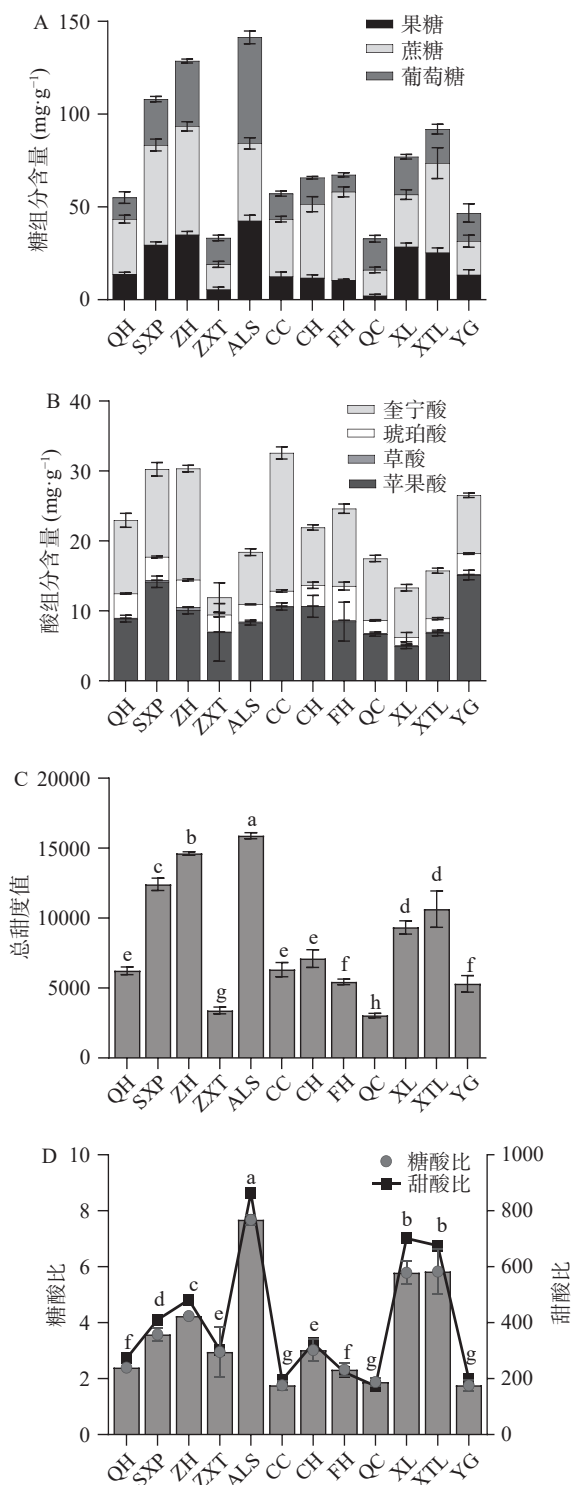


图 1 不同品种李子果实糖酸组成及酸甜品质分析

Fig.1 Sugars, organic acids, sweet and sour flavor in different plum varieties

注: 不同小写字母表示数据差异显著, $P<0.05$ 。

风味的常用指标^[31-32]。由图 1C~图 1D 可知, 通过对 12 个品种李子甜度值、固酸比、糖酸比等研究结果表明, 12 种李子果实甜度值由高到低依次为 ALS>ZH>SXP>XTL>XL>CH>CC>QH>YG>ZXT>QC。不同品种果实糖酸比和甜酸比值顺序一致, 大小顺序为: ALS>XL>XTL>ZH>SXP>CH>ZXT>FH>QH>CC>QC>YG。

2.4 不同品种果实品质主成分分析

对 12 个品种李子果实 的 24 个品质指标的主成分分析结果显示(表 4),前 5 个主成分的特征值均大于 1, 累计方差贡献率达到 82.586%, 说明所提取的主成分对评价李子品种综合品质具有一定的代表性。由表 4 可知,主成分 1 的方差贡献率为 30.556%, 主要与总糖、总甜度、果糖、葡萄糖、甜酸比、糖酸比、蔗糖、可溶性固形物等表现为较高相关性且正相关, 这些指标反映了果实甜酸风味品质;主成分 2 的方差贡献率为 19.903%, 与总酚、 b^* 、总黄酮、 a^* 相关程度高, 其中与总酚、 b^* 、总黄酮呈正相关, 与 a^* 呈负相关。研究表明, 总多酚和总黄酮与色泽密切相关, 因此主成分 2 可代表果实色泽品质;主成分 3 的方差贡献率为 12.790%, 主要与苹果酸、可滴定酸和总酸呈正相关, 可以作为反映果实酸味的指标;主成分 4 的方差贡献率为 12.592%, 与单果质量正相关;主成分 5 的方差贡献率为 6.745%, 与果形指数、果实密度相关性较大且呈正相关。由此可知, 本文所提取的五个主成分分别代表了果实的糖和甜味品质、色泽、酸及酸味、单果重、果实密度和果形指数。

表 4 主成分在各品质指标上的因子载荷矩阵
Table 4 Rotated component matrix of the principle component analysis

指标	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
总糖	0.981	-0.020	0.011	-0.050	-0.087
总甜度	0.979	-0.046	0.024	-0.034	-0.117
果糖	0.925	-0.240	0.152	0.072	-0.130
葡萄糖	0.859	-0.398	-0.001	-0.012	0.076
甜/酸	0.764	-0.433	-0.387	0.016	-0.146
糖/酸	0.759	-0.440	-0.412	0.014	-0.130
蔗糖	0.737	0.442	-0.032	-0.088	-0.164
草酸	0.728	0.461	0.082	0.184	0.024
L^*	-0.676	0.608	-0.101	0.317	-0.273
可溶性固形物	0.634	0.563	-0.123	0.279	-0.364
总酚	0.436	0.806	-0.266	0.156	0.025
b^*	-0.476	0.683	-0.199	0.231	-0.374
总黄酮	0.109	0.627	-0.535	-0.231	0.152
琥珀酸	0.109	0.567	0.273	0.017	0.351
奎宁酸	0.241	0.593	0.386	-0.584	-0.003
a^*	0.417	-0.474	0.464	-0.307	-0.154
苹果酸	0.009	0.154	0.833	0.356	0.062
可滴定酸	0.079	0.231	0.804	0.205	-0.201
总酸	0.210	0.408	0.682	-0.262	0.115
pH	0.216	0.479	-0.566	0.278	0.045
单果质量	0.381	-0.233	0.479	0.665	-0.169
果形指数	-0.020	-0.299	0.121	0.457	0.612
果实密度	0.579	0.386	-0.005	-0.239	0.607
出汁率	0.362	0.041	-0.276	0.489	0.391
贡献率(%)	30.556	19.903	12.790	12.592	6.745
累计贡献率(%)	30.556	50.459	63.249	75.841	82.586

2.5 不同品种果实品质综合评价

以各主成分的贡献率为权重, 由相对应的主成

分得分和权重加权求和得到综合评价函数, 即 $Z=0.2628y_1+0.1636y_2+0.1499y_3+0.1370y_4+0.0930y_5$ 。通过函数计算出 12 个李子品种的果实品质综合得分和排序结果, 综合评分越高说明该品种在测量的多个指标中综合品质越佳。由表 5 可知, 12 种李子品种中 ZH、SXP 和 ASL 的主成分综合得分较高, 分别为 0.81、0.53、0.45, 其次为 XL、XTL, 综合得分为正值, 说明这 5 种李子果实的综合品质较好; CC、YG、FH、CH、QH、ZXT 和 QC 的综合分值较低, 均为负值, 表示这 7 种李子在测量的多个指标中综合品质较差。

表 5 综合成分得分及排序
Table 5 Scores and ranking of principal component

品种	主成分得分					综合得分(Y)	排名
	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5		
ZH	0.60	2.47	0.73	0.35	-0.18	0.81	1
SXP	0.84	0.26	0.20	1.38	-0.54	0.53	2
ALS	2.31	-0.70	-1.38	-0.52	0.32	0.45	3
XL	0.60	-0.42	1.64	-0.83	0.02	0.14	4
XTL	-0.62	0.26	-0.42	0.39	2.92	0.08	5
CC	0.58	-0.74	0.61	-0.67	-0.29	-0.08	6
YG	-0.68	-1.06	1.72	0.27	0.41	-0.1	7
FH	-0.67	-0.37	-0.60	1.96	-0.84	-0.16	8
CH	-0.63	0.42	-0.12	-0.33	-0.74	-0.18	9
QH	-0.29	-0.45	-1.00	0.39	-0.14	-0.27	10
ZXT	-0.90	1.12	-0.77	-1.62	-0.29	-0.48	11
QC	-1.15	-0.81	-0.61	-0.78	-0.66	-0.57	12

2.6 不同品种果实品质指标相关性及聚类分析

将 12 种李子果实品质标准化处理后进行系统聚类, 同时对各项指标与李子各品种间的相关性进行分析, 结果如图 2 所示。12 种李子果实被聚成 2 个大类, 其中 ZH、SXP、ALS、XL、XTL、CC、YG 分为第一个大类, 在该大类中又可以分为几个亚类。其中, ZH 和 SXP 被归为同一个亚类, 表明这两种果实的品质特征相似, 相关性分析也显示, 这两类果实与大部分品质指标呈正相关, 同时在综合品质评价中分数排名靠前, 分别为 0.81 和 0.53, 进一步证实了 ZH 和 SXP 的综合品质佳, 这类果实因出汁率、可溶性固形物、总糖含量高, 是加工果汁果酒的优质资源; ALS 被单独聚为一类, 在外观与营养品质中优势并不突出, 但与影响李子果实品质品种评价的酸甜风味指标显示强相关, 使得在综合评分中排名靠前, 该品种的总糖、总甜度、甜酸比和糖酸比最高, 表明果实整体口感好, 是作为鲜食的备选资源; XL 和 XTL 被归为另一个亚类, 这类果实可溶性固形物含量最高, 糖酸比和甜酸比高, 表明风味好、酸甜适中, 但出汁率低, 是适宜加工成果脯和果干的资源^[15]。另一个大类中的 6 个品种, 与大部分品质指标呈负相关, 主成分分析综合评价得分均为负值, 其中 ZXT 和 QC 的分数最低, 表明这类果实的各项指标大多处于较低水平。

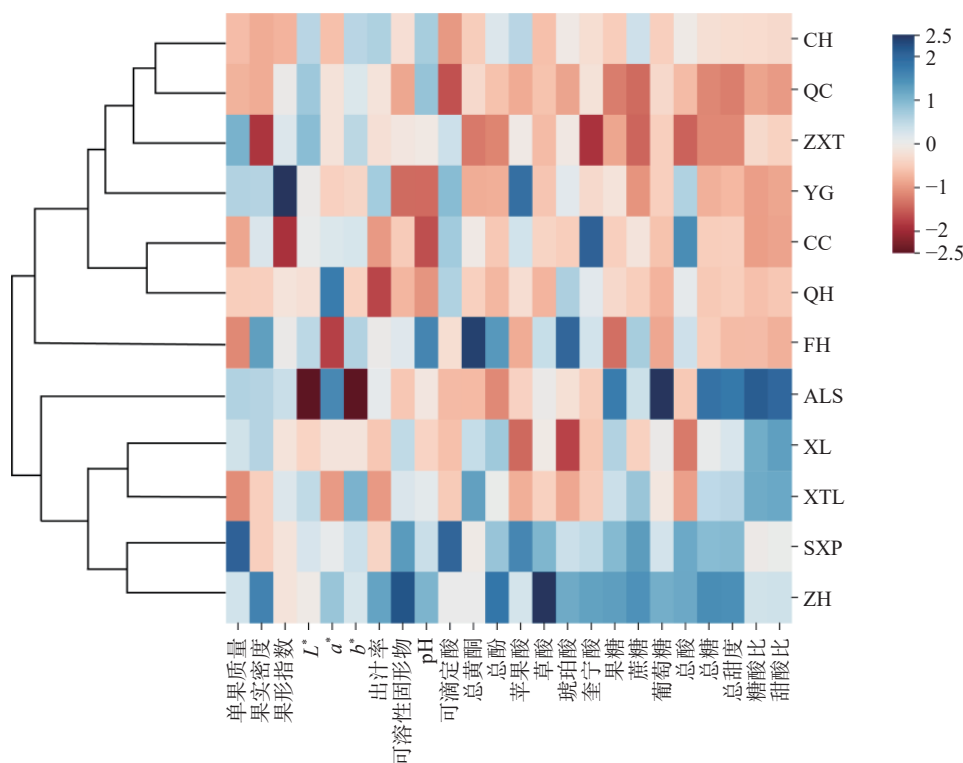


图 2 不同李子品种果实品质指标相关性及聚类分析

Fig.2 Cluster pedigree diagram of different plum varieties

3 讨论与结论

果实品质评价是对不同品种果实品质特性的解析,为生产者和消费者品种选择提供科学依据,是育种工作中的重要一环。通过对‘青脆李’‘脆红李’等 12 个品种李子的外观指标、色泽、理化指标及甜酸风味物质组成进行比较分析,并结合主成分分析和聚类分析,对 12 个品种综合品质进行了排序与聚类。结果表明,12 个品种李子的品质特征存在差异,通过主成分分析提取的五个主成分分别代表了果实的甜味及糖、色泽、酸及酸味、单果重、果实密度和果形指数,根据指标结合统计分析方法可解析品种特性及适宜的用途。

综合品质得分排序由高到低依次为: ZH、SXP、ALS、XL、XTL、CC、YG、FH、CH、QH、ZXT、QC。通过聚类分析,按照品质将李子分为 2 个大类,第一大类得分较高,品质优良,其中, ZH、SXP 综合得分较高,出汁率、可溶性固形物、总糖含量高,是加工果汁果酒的优质资源; ALS 总糖、总甜度、甜酸比和糖酸比最高,是作为鲜食的备选资源; XL 和 XTL 可溶性固形物含量最高,糖酸比和甜酸比高,但出汁率低,是适宜加工成果脯和果干的良好品种资源; 第二大类的 7 个品种综合评价品质较低,有待通过栽培管理进一步提升其品质。该研究为消费者根据需求选择适宜的品种以及李子栽培、贮藏保鲜等提供参考,对促进李子总体品质提升具有重要指导意义。

© The Author(s) 2024. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

参考文献

- [1] LIU C Y, FENG C, PENG W Z, et al. Chromosome-level draft genome of a diploid plum (*Prunus salicina*) [J]. *Giga Science*, 2020, 9(12): 1–11.
- [2] WALKOWIAK-TOMCZAK D, REGULA J, ŁYSIAK P G. Physico-chemical properties and antioxidant activity of selected plum cultivars fruit [J]. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 2008, 7(4): 15–22.
- [3] EZINNE O, IGWE K E. A systematic review on the health effects of plums (*Prunus domestica* and *Prunus salicina*) [J]. *Phytotherapy Research*, 2016, 30: 701–731.
- [4] LI Y B, WU L, WENG M J, et al. Effect of different encapsulating agent combinations on physicochemical properties and stability of microcapsules loaded with phenolics of plum (*Prunus salicina* Lindl.) [J]. *Powder Technology*, 2018, 340: 459–464.
- [5] 周勇, 陈琼, 邓皓文, 等. 四川乐山几个李子品种的品质特征研究 [J]. *乐山师范学院学报*, 2017, 32(12): 17–21, 130. [ZHOU Y, CHEN Q, DENG H W, et al. Study on the quality characteristics of several plum varieties in Leshan, Sichuan Province [J]. *Journal of Leshan Normal University*, 2017, 32(12): 17–21, 130.]
- [6] 温静, 周兰英, 蒲光兰. 成都地区欧李品种果实品质分析与综合评价 [J]. *四川农业大学学报*, 2020, 38(1): 71–78. [WEN J, ZHOU L Y, PU G L. Fruit quality analysis and comprehensive evaluation of *Cerasus humilis* varieties in Chengdu area [J]. *Journal of Sichuan Agriculture University*, 2020, 38(1): 71–78.]
- [7] VENTER A, JOUBERT E, DE BEER D. Nutraceutical value of yellow- and red-fleshed South African plums (*Prunus salicina* Lindl.): Evaluation of total antioxidant capacity and phenolic composition [J]. *Molecules*, 2014, 19(3): 3084–3109.
- [8] 周双, 孙兰英, 杨光, 等. 20 个品种树莓果实品质评价 [J]. *食品研究与开发*, 2022, 43(2): 171–176. [ZHOU S, SUN L Y, YANG G, et al. Evaluation of fruit quality of twenty varieties of raspberry [J]. *Food Research and Development*, 2022, 43(2): 171–176.]

- [9] 靳志飞, 杨家全, 陈红, 等. 八个贵州地方桃品种果实甜酸风味品质分析[J]. 植物科学学报, 2015, 33(1): 90-97. [JIN Z F, YANG J Q, CHEN H, et al. Analysis of sweet and sour flavor in eight local peach cultivars from Guizhou and evaluation of their flavor quality[J]. Plant Science Journal, 2015, 33(1): 90-97.]
- [10] 马庆华, 李永红, 梁丽松, 等. 冬枣优良单株果实品质的因子分析与综合评价[J]. 中国农业科学, 2010, 43(12): 2491-2499. [MA Q H, LI Y H, LIANG L S, et al. Factor analysis and synthetic evaluation of the fruit quality of Dongzao (*Ziziphus jujuba* Mill. 'Dongzao') advanced selections[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(12): 2491-2499.]
- [11] 袁辉, 王建玲, 远辉. 基于主成分分析和聚类分析对新疆红枣的品质评价[J]. 食品工业, 2020, 41(9): 305-309. [YUAN H, WANG J L, YUAN H. Quality evaluation of Xinjiang jujube based on principal component analysis and cluster analysis[J]. Food Industry, 2020, 41(9): 305-309.]
- [12] 王靓钰, 夏其乐, 陈剑兵, 等. 基于主成分分析的不同品种柑橘制汁适应性研究[J]. 果树学报, 2019, 36(4): 504-513. [WANG J Y, XIA Q L, CHEN J B, et al. Study on suitability of different citrus varieties of for juice manufacturing based on principal component analysis[J]. Journal of Fruit Science, 2019, 36(4): 504-513.]
- [13] SONG M T, XU H R, XIN G, et al. Comprehensive evaluation of *Actinidia arguta* fruit based on the nutrition and taste: 67 germplasm native to Northeast China[J]. Food Science and Human Wellness, 2022, 11(2): 393-404.
- [14] 张芳, 王晓红, 罗泽虎, 等. 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 F, WANG X H, LUO Z H, et al. 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.]
- [15] 姜璐, 包怡红, 贾雨彤, 等. 18个品种蓝锭果营养成分分析及综合品质评价[J]. 农业工程学报, 2022, 38(7): 326-335. [JIANG L, BAO Y H, JIA Y T, et al. Nutritional component analysis and comprehensive quality evaluation of 18 different varieties of *Lonicera caerulea*[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2022, 38(7): 326-335.]
- [16] 柴倩倩, 王利军, 吴本宏, 等. 中国李和櫻桃李及其种间杂种果实香气成分分析[J]. 园艺学报, 2011, 38(12): 2357-2364. [CHAI Q Q, WANG L J, WU B H, et al. Volatiles in fruit of three plum cultivars belonging to *Prunus salicina*, *P. cerasifera* and their interspecific hybrid[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2011, 38(12): 2357-2364.]
- [17] 安佰义, 曲霜, 刘晓嘉, 等. 不同李品种果实品质分析与综合评价[J]. 北方园艺, 2019(2): 25-29. [AN B Y, QU S, LIU X J, et al. Quality analysis and comprehensive evaluation of different varieties in plum fruits[J]. Northern Horticulture, 2019(2): 25-29.]
- [18] 李可, 朱永清, 鄢应龙, 等. 基于 GC-IMS 解析植物乳杆菌发酵对猕猴桃果汁挥发性物质的影响[J]. 现代食品科技, 2022, 38(5): 254-260, 182. [LI K, ZHU Y Q, WU Y L, et al. Effect of *Lactobacillus plantarum* fermentation on the flavor of kiwifruit juice by GC-IMS[J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(5): 254-260, 182.]
- [19] 欧晓华, 王储炎, 李珂昕, 等. 安徽省主栽蓝莓品种果实的综合品质研究[J]. 中国南方果树, 2019, 48(2): 125-129. [OU X H, WANG C Y, LI K X, et al. Study on comprehensive quality of main blueberry varieties in Anhui province[J]. South China Fruits, 2019, 48(2): 125-129.]
- [20] KODAGODA G, HONG H T, O'HARE T J, et al. Effect of storage on the nutritional quality of queen garnet plum[J]. Foods, 2021, 10(2): 352.
- [21] 孟祥春, 黄泽鹏, 肖志丹, 等. 5个荔枝品种的品质及挥发性风味比较分析[J]. 果树学报, 2022, 39(1): 68-77. [MENG X C, HUANG Z P, XIAO Z D, et al. Comparative analysis of fruit quality of five litchi cultivars[J]. Journal of Fruit Science, 2022, 39(1): 68-77.]
- [22] 穆茜, 张丹丹, 杨伟凡, 等. 不同海棠品种果实糖酸组分测定和聚类分析[J]. 经济林研究, 2018, 36(4): 135-144. [MU Q, ZHANG D D, YANG Y F, et al. Determination and cluster analysis of sugar and acid components in different cultivars of crabapple (*Malus* spp.) fruits[J]. Nonwood Forest Research, 2018, 36(4): 135-144.]
- [23] 陈妹姑, 林兴娥, 李新国, 等. 基于主成分分析和聚类分析的榴莲品质综合评价[J]. 食品工业科技, 2023, 44(7): 278-286. [CHEN M G, LIN X E, LI X G, et al. Comprehensive evaluation of durian quality based on principal component analysis and cluster analysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(7): 278-286.]
- [24] 陈守一, 王红林, 罗昌国, 等. 贵州地方晚熟李种质资源的调查[J]. 特产研究, 2022, 44(4): 69-74. [CHEN S Y, WANG H L, LUO C G, et al. Investigation on local late maturing plum germplasm resources in guizhou[J]. Special Wild Economic Animal and Plant Research, 2022, 44(4): 69-74.]
- [25] 张琪. 苹果新品种及优系的品质和抗病性评价[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2021. [ZHANG Q. Evaluation of quality and disease resistance of new varieties and superior lines of apple [D]. Xianyang: College of Horticulture Northwest A&F University, 2021.]
- [26] 周忠雨. 李子理化特性、腐败菌敏感性及其采后保鲜研究[D]. 成都: 西华大学, 2021. [ZHOU Z Y. Study on the physico-chemical characteristics, susceptibility of spoilage bacteria and preservation of plums (*Prunus salicina* Lindl.) [D]. Chengdu: Xihua University, 2021.]
- [27] 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[J]. Journal of Applied Botany and Food Quality, 2014, 87(2): 24-29.
- [28] GARCÍA-MARIÓ N, DEI T F, MATILLA A J. Organic acids and soluble sugars in edible and nonedible parts of damson plum (*Prunus domestica* L. subsp. *insititia* cv. *Syriaca*) fruits during development and ripening[J]. Food Science and Technology International, 2008, 14(2): 187-193.
- [29] LIU S, LIU Y C, LIU Y. Sugar and organic acid components in fruits of plum cultivar resources of genus *Prunus*[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2016, 49(16): 3188-3198.
- [30] CELIK F G, GUNDOGU M, ALP S, et al. Determination of phenolic compounds, antioxidant capacity and organic acids contents of *Prunus domestica* L., *Prunus cerasifera* Ehrh. and *Prunus spinosa* L. fruits by HPLC[J]. Theoretical and Experimental Plant Physiology, 2017, 29(4): 507-510.
- [31] 郑丽静, 聂继云, 闫震. 糖酸组分及其对水果风味的影响研究进展[J]. 果树学报, 2015, 32(2): 304-312. [ZHENG L J, NIE J Y, YAN Z. Advances in research on sugars, organic acids and their effects on taste of fruits[J]. Journal of Fruit Science, 2015, 32(2): 304-312.]
- [32] ZHAO J B, LIANG Z C, YANG J, et al. Differences of sugar and acid contents among peach, flat peach, nectarine and their progeny populations[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2009, 36(1): 93-98.