DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20250130001
引用格式: 杨路宽, 李红洲, 王振兴, 等. 6 个品种李果实品质差异性分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(8): 267–275.
YANG LK, LI HZ, WANG ZX, *et al*. Analysis of fruit quality differences among 6 kinds of *Prunus salicina* L. varieties [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(8): 267–275. (in Chinese with English abstract).

6 个品种李果实品质差异性分析

杨路宽[1,2], 李红洲[3], 王振兴[1*], 邵飞龙[3*], 王焕琦[3]

(1. 西南林业大学生物与食品工程学院, 昆明 650224; 2. 贵州省食品检验检测院, 贵阳 550004;
3. 贵州省产品质量检验检测院, 贵阳 550014)

摘 要: 目的 探寻蜂糖李、珠宝李、红李、江安李、青红脆李和酥李 6 个不同品种李果实之间品质的特征和差异性。**方法** 利用液相色谱法、氨基酸分析仪法、分光光度法以及滴定法等方法分析李果实中的营养成分并进行了不同李果实的品质分析。**结果** 李果实的可溶性糖含量主要由果糖、葡萄糖和蔗糖组成, 其中葡萄糖含量最高, 其次是果糖或蔗糖; 蜂糖李的可溶性糖总量、总糖含量、可溶性固形物、甜度值和糖酸比均显著高于其他品种, 这可能是其口感更甜的主要原因; 有机酸方面, 苹果酸是主要的有机酸, 占总量的 88%以上, 其中珠宝李的苹果酸含量最高, 青红脆李的总酸含量最高; 氨基酸分析显示, 天冬氨酸和脯氨酸含量较高, 珠宝李的游离氨基酸总量最高; 总黄酮和维生素 C 含量最高的为青红脆李, 而维生素 E 含量最高的为红李。**结论** 6 个李品种李果实品质具有显著性差异, 本研究为不同李果的品质资源利用和李水果精品战略提供了理论依据和实践指导。

关键词: 李果实; 品种; 品质; 差异性分析

Analysis of fruit quality differences among 6 kinds of *Prunus salicina* L. varieties

YANG Lu-Kuan[1,2], LI Hong-Zhou[3], WANG Zhen-Xing[1*], SHAO Fei-Long[3*], WANG Huan-Qi[3]

(1. *College of Biological and Food Engineering*, *Southwest Forestry Universily*, *Kunming* 650224, *China*;
2. *Guizhou Provincial Institute for Food Inspection*, *Guiyang* 550004, *China*;
3. *Institution of Inspection and Testing Product Quality of Guizhou Provice*, *Guiyang* 550014, *China*)

ABSTRACT: Objective To explore the quality characteristics and differences among the fruits of 6 kinds of different *Prunus salicina* L. varieties: Fengtang plum, Candy red plum, Red plum, Jiangan plum, Green red crisp plum and Crisp plum, Qinghong Cuili, and Suli. **Methods** The nutritional components of *Prunus salicina* L. fruits were analyzed using liquid chromatography, amino acid analyzer, spectrophotometry, and titration methods, and a quality analysis of different *Prunus salicina* L. varieties was conducted. **Results** The study found that the soluble sugar content in *Prunus salicina* L. fruits was primarily composed of fructose, glucose, and sucrose, with glucose being the highest, followed by fructose or sucrose. The total soluble sugar content, total sugar content, soluble solids,

收稿日期: 2025-01-30

第一作者: 杨路宽(1991—), 女, 工程师, 主要研究方向为食品安全与分析检测。E-mail: 1024690918@qq.com
***通信作者:** 王振兴(1982—), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为森林食品资源的开发利用。E-mail: wangzhenxingfood@163.com
邵飞龙(1986—), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向为食品安全与分析检测。E-mail: 543496104@qq.com

sweetness value, and sugar-acid ratio of Fengtang plum were significantly higher than those of other varieties, which might be the main reason for its sweeter taste. In terms of organic acids, malic acid was the predominant organic acid, accounting for more than 88% of the total, with Candy red plum having the highest malic acid content and Green red crisp plum having the highest total acid content. Amino acid analysis revealed that aspartic acid and proline levels were relatively high, and Candy red plum had the highest total free amino acid content. Green red crisp plum had the highest levels of total flavonoids and vitamin C, while Red plum had the highest vitamin E content. **Conclusion** The fruit qualities of the 6 plum varieties showes significant differences. This study provides a theoretical foundation and practical guidance for the utilization of quality resources of different plum varieties and the premium strategy for *Prunus salicina* L. fruits.

KEY WORDS: *Prunus salicina* L. fruits; variety; quality; differences analysis

0 引 言

李(*Prunus salicina* L.)作为一种深受大众喜爱的水果, 在全球范围内广泛种植。我国李产量位居世界第一, 李产业拉动了农业经济增长, 促进农民了就业, 在乡村振兴的伟大征程中扮演着举足轻重的角色。李果实富含多种矿物质、有机酸、多酚类、维生素、香气成分以及多种人体必需氨基酸等物质[1–5], 这些成分对维持人体健康起着不可或缺的作用, 赋予了李果实极高的营养价值[4–8]。在李果实品质研究领域, 过往已有众多学者开展了广泛且深入的探索。针对蜂糖李, 已有张琴等[9]详细分析了其在贵州原产地及周边引种地区的生长特性与果实品质差异, 发现不同地区的土壤类型、光照时长和环境温度等因素, 会显著影响蜂糖李的风味物质的积累。针对脆李, 有研究通过分析不同地区脆李的果实品质差异[10–11], 为区域化种植布局提供了参考。也有研究分析了不同地区种植的奈李果实外观品质和营养成分差异性, 发现地方气候、光照、施肥条件、管理水平、土壤营养及其酸碱度等可能是影响奈李果实品质的因素[12]。周丹榕等[13]对芙蓉李的研究则表明, 不同生态条件下的芙蓉李品质存在明显差异, 各矿质营养对品质指标的影响存在一定差异, 对不同品质指标直接贡献的元素和作用大小各不相同。

然而, 目前鲜少有针对蜂糖李、珠宝李、红李、江安李、青红脆李和酥李这 6 个品种在多个地区的综合对比研究。鉴于此, 本研究聚焦市场上较为畅销的蜂糖李、珠宝李、红李、江安李、青红脆李和酥李这 6 个品种, 通过对其可溶性糖、总糖(以葡萄糖计)、可溶性固形物、有机酸、总酸、游离氨基酸、总黄酮、维生素 E、维生素 C 等组分含量的测定, 旨在揭示不同地区种植环境对李果实品质的影响, 可为不同李果的品质资源利用, 李果品种的科学选育和实践指导。

1 材料与方法

1.1 材料、试剂与仪器

李果样品: 将李果洗净自然晾干后去除柄、核等非食用部分, 用匀浆处理后, 密封, –20 ℃保存。所有样品均在果实成熟期(6 月底至 7 月底)进行采样, 确保果实成熟度一致。李果实样品详细信息如表 1 所示。

表 1 李果实样品信息

Table 1 Samples informations of *Prunus salicina* L. fruits

编号	样品名称	英文名称	产地
1	珠宝李	Candy red plum	智利
2	红李	Red plum	贵州省贵阳市
3	蜂糖李	Fengtang plum	贵州省镇宁县六马镇
4	江安李	Jiangan plum	四川省宜宾市
5	青红脆李	Green red crisp plum	云南省昭通市
6	酥李	Crisp plum	贵州省贵阳市

盐酸、苯酚、柠檬酸钠缓冲溶液、磷酸二氢钾、十六烷基三甲基溴化铵(分析纯, 上海阿拉丁生化科技股份有限公司); 甲醇、甲酸、乙酸铵、无水乙醇(色谱纯, 德国默克公司); 甲基叔丁基醚(色谱纯, 上海迈瑞尔生化科技有限公司); 抗坏血酸(分析纯, 上海易恩化学技术有限公司); 超纯水(自制); 果糖(CAS: 57-48-7, 纯度 99.7%)、葡萄糖(CAS: 50-99-7, 纯度 99.7%)、蔗糖(CAS: 57-50-7, 纯度 99.7%)、麦芽糖(CAS: 69-79-4, 纯度 99.1%)(中国计量科学研究院); 酒石酸(CAS: 87-69-4, 质量浓度 1 mg/mL)、苹果酸(CAS: 636-61-3, 纯度 99.3%)、柠檬酸(CAS:77-92-9, 纯度: 99.7%)、富马酸(CAS:110-17-8, 纯度 99.9%)、丁二酸(CAS: 110-15-6, 纯度 99.7%)、芦丁水合物(CAS: 207671-50-9, 纯度 96.1%)、*DL*-*α*-生育酚(CAS: 10191-41-0, 纯度 96.1%)(天津坛墨质检科技股份有限公司); (±)-*β*-生育酚(CAS: 148-03-8, 纯度 98%)、*L*(+)抗坏血酸(CAS: 50-81-7, 纯度 99.76%)、*D*(-)抗坏血酸(CAS: 89-65-6, 纯度 99.4%)(天津阿尔塔科技有限公司); *γ*-生育酚(CAS: 54-28-4, 纯度 95%, 加拿大 TRC 公司); *δ*-生育酚(CAS: 119-13-1, 纯度 94.5%, 上海安谱实验科技股份有限公司); 16 种氨基酸混合标准溶液(浓度 2.50 μmol/mL, 日本 WAKO 公司)。

1260 型液相色谱仪(配紫外检测器和示差检测器, 美国安捷伦科技有限公司); 30+型氨基酸分析仪、磺酸型阳离子树脂色谱柱(4.6 mm×200 mm)(英国百康公司); UV-26001 型紫外可见分光光度计(日本岛津仪器有限公司); EASY R40 型数字式折光率仪、ME204E/02 型电子天平(精度 0.0001 g)、ME2002E 型电子天平(精度 0.01 g)、S210-K 型酸度计(瑞士梅特勒托利多仪器有限公司); DK-98-II型电热恒温水浴锅(天津市泰斯特仪器有限公司); SB25-12DTS 型超声波清洗机(宁波新芝生物科技股份有限公司); GR60DA 型高压灭菌锅(厦门致微仪器有限公司); SW22 型恒温水浴振荡器(丹麦福斯分析仪器公司); EV400VAC 型旋转蒸发仪(北京莱伯泰科仪器股份有限公司); Multi Reax 型振荡器(德国 Heidolph 公司); VCK-25R 型高速冷冻离心机(南迈克尔实验仪器有限公司); DW-25L400 型低温冰箱(山东澳柯玛集团公司); Milli-Q Academic 型超纯水系统(理博中国有限公司); HM300 型刀式研磨仪(北京格瑞德曼仪器设备有限公司); TufboVap LV 型自动氮吹仪(拜泰齐贸易有限公司); Orignal 70A NH_2 色谱柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm)、C_{30} 色谱柱(150 mm×4.6 mm, 2.6 μm)、C_{18} 色谱柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm)、Organic Acid 色谱柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm)(美国安捷伦科技有限公司)。

1.2　试验方法

1.2.1　糖组分的测定

称取 10.00 g 试样于 100 mL 容量瓶中, 加水 50 mL, 超声提取 30 min, 冷却至室温, 用水定容至刻度, 经 0.22 μm 水相滤膜过滤, 待测。空白试验: 除不加试样外, 其余步骤与试样处理步骤相同。

采用带有示差检测器的高效液相色谱仪进行测定。选用 Orignal 70A NH_2 色谱柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm)进行分析。柱温、进样量、流速和检测器温度分别是 40 ℃、20 μL、1.0 mL/min 和 40 ℃。等度洗脱, 流动相是乙腈:水=70:30 (*V*:*V*)。

参照 GB 5009.8—2023《食品安全国家标准 食品中果糖、葡萄糖、蔗糖、麦芽糖、乳糖的测定》(第一法)计算果糖、葡萄糖、蔗糖、麦芽糖的含量。

1.2.2　总糖(以葡萄糖计)的测定

参照 GB 5009.8—2023(第三法)进行处理。试样中的蔗糖经盐酸水解转化为还原糖后, 再测定样液中的还原糖(转化糖)含量, 试样中还原糖的含量即为总糖(以葡萄糖计)的含量。

1.2.3　甜度的计算

根据下述公式(1)进行 6 种李果中甜度的计算:

甜度=蔗糖含量×1.00+果糖含量×1.75+葡萄糖含量×0.70+麦芽糖含量×0.35…　　(1)

式中: 1.00、1.75、0.70、0.35 分别为蔗糖、果糖、葡萄糖、麦芽糖的甜度系数[14], 各组分含量单位为 g/100 g。

1.2.4　可溶性固形物的测定

参照 GB/T 12143—2008《饮料通用分析方法》中半黏稠制品(果浆, 菜浆类), 测定李果实中可溶性固形物的含量。

1.2.5　有机酸组分的测定

称取 5.00 g 试样于 25 mL 容量瓶中, 超声提取 20 min, 用水定容至刻度, 摇匀后经 0.22 μm 水相滤膜过滤, 待测。

采用带有紫外检测器的 1260 型液相色谱仪进行有机酸检测。使用 Organic Acid 色谱柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm)进行有机酸的分离。柱温、进样量、检测波长和流速分别是 40 ℃、20 μL、210 nm、1.0 mL/min。流动相 A: 0.1%磷酸, 流动相 B: 甲醇。梯度洗脱条件见表 2。参照 GB 5009.157—2016《食品安全国家标准 食品中有机酸的测定》, 使用标准曲线方程计算苹果酸、酒石酸、柠檬酸的含量。

表 2　测定有机酸组分的梯度洗脱程序

Table 2　Gradient elution procedure for determination of organic acid components

时间/min	流动相 A/%	流动相 B/%
0.0	97.5	2.5
11.0	97.5	2.5
11.1	0.0	100.0
15.0	0.0	100.0
15.1	97.5	2.5
18.0	97.5	2.5

1.2.6　总酸的测定

参照 GB 12456—2021《食品安全国家标准 食品中总酸的测定》(第二法)测定总酸含量, 使用标准曲线方程方法, 计算总酸(以柠檬酸计)含量。

1.2.7　糖酸比的计算

采用公式(2)计算 6 种李果中的糖酸比:

$$\text{糖酸比}=\frac{\text{总糖}\times 10}{\text{总酸}} \qquad (2)$$

式中: 10 为总糖(g/100 g, 以葡萄糖计)和总酸(g/kg)的单位换算系数。

1.2.8　游离氨基酸的测定

参照 GB 5009.124—2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》进行样品处理。准确称取 1.0000 g 试样于水解管中, 在水解管内加 10 mL 6 mol/L 盐酸溶液, 加入苯酚 3~4 滴。将水解管放入冰箱中冷冻 5 min, 然后充入氮气, 在充氮气状态下拧紧瓶盖。将已封口的水解管放在 110 ℃的电热鼓风恒温箱内水解 22 h 后取出, 冷却至室温。打开水解管, 将水解液过滤至 50 mL 容量瓶内, 用少量水多次冲洗水解管, 水洗液移入同一 50 mL 容量瓶中, 最后用水定容至刻度, 振荡混匀, 过滤。准确吸取 1.0 mL 滤液移入到 15 mL 试管内, 在氮吹仪中 45 ℃加热吹干, 残留物用 1 mL 水溶解, 再氮吹、加热至蒸干。加入 1.0 mL pH=2.2 的柠檬酸钠缓冲溶液溶解残留物, 振荡混匀后, 溶液过 0.22 μm 滤膜后, 转移至仪器进样瓶, 供 30+型氨基酸分析仪测定。

选用磺酸型阳离子树脂 4.6 mm×200 mm 的色谱柱进行氨基酸分离。进样量是 20 μL; 检测波长分别是 570 nm 和 440 nm。采用公式(3)进行 6 种李果中氨基酸含量的计算:

$$X=\frac{C\times V\times W}{m\times V_1} \tag{3}$$

式中: X 为试样中各氨基酸组分的含量, g/100 g; C 为试样溶液中各氨基酸组分浓度, ng/mL; V 为试样定容体积, 50 mL; W 为单位换算系数, 0.0001; m 为试样称样量, g; V_1 为进样量, 20 μL。以标准曲线方法计算样品中氨基酸含量。

1.2.9 总黄酮的测定

参照 SN/T 4592—2016《进出口食品中总黄酮的测定》测定总黄酮含量和计算。

1.2.10 维生素 E 的测定

参照 GB 5009.82—2016《食品安全国家标准 食品中维生素 A、D、E 的测定》(第一法)进行样品制备。

采用带有紫外检测器的 1260 型液相色谱进行 6 种李果中维生素 E 的检测。选用 C_{30} 色谱柱(150 mm×4.6 mm, 2.6 μm)进行分离; 柱温、进样量、检测波长和流速分别是 25 ℃、10 μL、294 nm 和 0.5 mL/min; 流动相 A 和 B 分别是水和甲醇。流梯度洗脱条件见表 3。参照 GB 5009.82—2016(第一法)中第 6 条计算维生素 E[以 α-生育酚当量(alpha tocopherol, α-TE)表示]的含量。

表 3 测定维生素 E 的梯度洗脱程序

Table 3 Gradient elution procedure for determination of vitamin E

时间/min	流动相 A/%	流动相 B/%
0.0	12	88
2.0	12	88
16.0	97	97
18.0	12	88
20.0	12	88

1.2.11 维生素 C 的测定

参照 GB 5009.86—2016《食品安全国家标准 食品中抗坏血酸的测定》(第一法)进行样品前处理。

使用带有紫外检测器的液相色谱进行 6 种李果中维生素 C 的测定。采用 C_{18} 色谱柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm)进行分离; 柱温、进样量、检测波长和流速分别是 25 ℃、20 μL、245 nm 和 0.7 mL/min。等度洗脱。流动相 A: 6.8 g 磷酸二氢钾和 0.91 g 十六烷基三甲基溴化铵, 用水溶解并定容至 1 L(用磷酸调 pH 至 2.5~2.8), 流动相 B: 100%甲醇, A:B=98:2 (V:V)。

参照 GB 5009.86—2016(第一法)中计算 L(+)-抗坏血酸和 D(-)-抗坏血酸的含量。

1.3 数据处理

每组试验重复 3 次, 结果以 3 次测定数据的算术平均值表示。利用 SPSS 25, Origin 2021 软件对数据进行统计处理和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 果实中糖组分及可溶性固形物分析

糖组分和可溶性固形物是评价水果品质的两个重要指标, 反映了水果的甜度、风味成熟度及营养价值, 研究李果的糖组分和可溶性固形物有助于指导品种改良与加工和用于采收决策和市场分级。李果实中糖组分、可溶性固形物及甜度测定结果如表 4 所示, 不同品种李果实中糖组分含量、可溶性固形物含量及甜度值存在显著差异(P<0.05)。可溶性糖组分含量范围分别为果糖 1.65~3.57 g/100 g、葡萄糖 3.51~4.73 g/100 g、蔗糖未检出~3.56 g/100 g、麦芽糖 0.15~0.27 g/100 g; 可溶性糖以果糖、葡萄糖和蔗糖为主, 三者含量之和最高的是蜂糖李; 李果中单糖含量最高的是葡萄糖, 其次为果糖或者蔗糖; 可溶性固形物含量在 8.34~13.90 g/100 g 之间, 最大值为蜂糖李, 最小值为珠宝李; 总糖含量在 6.70~11.92 g/100 g 之间, 蜂糖李总糖含量最高, 酥李总糖含量最低; 甜度值含量在 6.73~11.29 之间, 含量最高为蜂糖李, 最低为酥李。

2.2 果实中酸组分分析

有机酸会影响李果实的风味平衡、酸度值, 成熟度和适口性, 从而改变果实的口感[15]。如表 5 数据可知, 李果中的苹果酸、酒石酸、柠檬酸 3 种有机酸含量总和均在 5 g/kg 以上(富马酸和丁二酸未检出), 不同品种李果中的有机酸和总酸含量差异性显著(P<0.05); 苹果酸是李果中含量最

表 4 李果果实糖组分与含量

Table 4 Components and content of sugar in different *Prunus salicina* L. fruit

样品名称	珠宝李	红李	蜂糖李	江安李	青红脆李	酥李
果糖/(g/100 g)	3.19±0.21^{c}	1.65±0.12^{a}	2.49±0.10^{b}	3.57±0.26^{c}	3.40±0.24^{c}	2.24±0.14^{ab}
葡萄糖/(g/100 g)	3.51±0.31^{a}	3.57±0.24^{a}	4.73±0.37^{b}	3.94±0.10^{ab}	4.45±0.40^{ab}	3.87±0.26^{ab}
蔗糖/(g/100 g)	0.47±0.02^{b}	2.01±0.12^{d}	3.56±0.01^{e}	0.43±0.04^{b}	1.51±0.12^{c}	未检出
麦芽糖/(g/100 g)	0.21±0.01^{c}	0.15±0.00^{a}	0.19±0.01^{c}	0.16±0.01^{ab}	0.19±0.01^{bc}	0.27±0.01^{d}
可溶性固形物/%	8.34±0.50^{a}	10.72±0.76^{ab}	13.90±1.03^{c}	9.10±0.78^{a}	12.01±1.00^{bc}	9.29±0.02^{ab}
总糖/(g/100 g)	8.30±0.51^{b}	7.94±0.04^{b}	11.92±0.09^{d}	9.01±0.45^{bc}	9.90±0.10^{c}	6.70±0.23^{a}
甜度值/(g/100 g)	8.58±0.61^{abc}	7.45±0.50^{ab}	11.29±0.45^{d}	9.49±0.57^{bcd}	10.64±0.82^{cd}	6.73±0.43^{a}

注: 同行不同字母表示差异显著(P<0.05), 下同。

表 5　李果果实酸组成与含量(g/kg)

Table 5　Composition and content of acid in different *Prunus salicina* L. fruit (g/kg)

样品名称	珠宝李	红李	蜂糖李	江安李	青红脆李	酥李
苹果酸	10.14±0.72^{c}	5.57±0.33^{a}	6.52±0.09^{ab}	5.25±0.24^{a}	7.94±0.49^{b}	5.36±0.41^{a}
酒石酸	0.57±0.04^{d}	0.60±0.00^{d}	0.34±0.01^{b}	0.21±0.01^{a}	0.92±0.02^{e}	0.44±0.01^{c}
柠檬酸	0.14±0.01^{d}	0.08±0.01^{bc}	0.08±0.00^{bc}	0.05±0.01^{a}	0.11±0.01^{c}	0.06±0.00^{b}
总酸	12.57±0.91^{a}	11.86±1.02^{a}	16.00±1.22^{a}	13.62±0.07^{a}	21.94±1.55^{b}	11.83±0.69^{a}

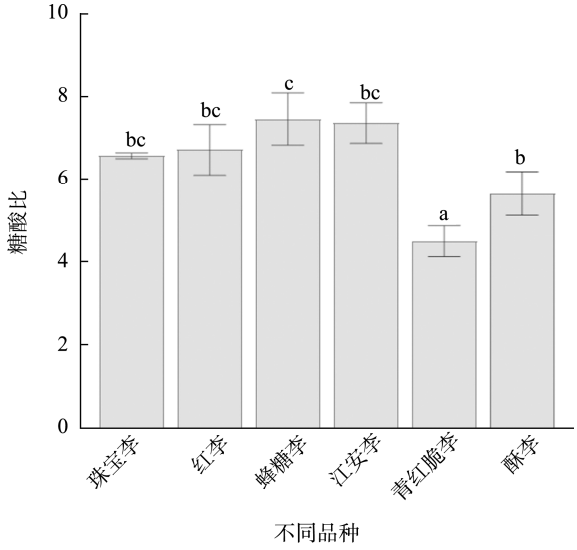
高的有机酸, 含量范围在 5.25~10.14 g/kg 之间, 占有机酸总量的 88%以上, 其次是酒石酸, 苹果酸含量约为酒石酸含量的 8~24 倍, 柠檬酸含量相对较低, 检出值低于 0.2 g/kg。李果总酸含量范围在 11.83~21.94 g/kg 之间, 青红脆李总酸含量最高, 酥李总酸含量最低。

2.3　果实中的糖酸比

水果中的糖酸比主要用于评价其风味平衡与品质, 研究李果中的糖酸比有助于判断李果品质和识别不种种类李果对不同人群的偏好性, 这对于研究李果的消费和加工及深加工有重要的意义。如图 1 所示, 6 个不同品种李果实糖酸比差异显著(P<0.05), 范围在 4.54~7.50 之间, 平均值为 6.42, 其中蜂糖李最高, 其次为江安李, 青红脆李最低。在实际的口感评价中, 蜂糖李和江安李偏甜, 而青红脆李偏酸, 其他品种处于二者之间, 感官评价结果与糖酸比结果基本一致。

2.4　李果中可溶性糖组分相关性分析

李果中的可溶性糖组分、可溶性固形物、总糖、甜度值和糖酸比之间的相关性可评价他们间的相互关联程度(图 2), 结果显示葡萄糖与可溶性固形物、甜度值, 蔗糖与可溶性固形物, 总糖与可溶性固形物、甜度值呈高度正相关, 相关系数分别是 0.85、0.82、0.93、0.81 和 0.95。



注: 不同字母表示差异显著(P<0.05), 图 4 同。

图 1　李果果实中的糖酸比

Fig.1　Sugar to acid ratio in different *Prunus salicina* L. fruit

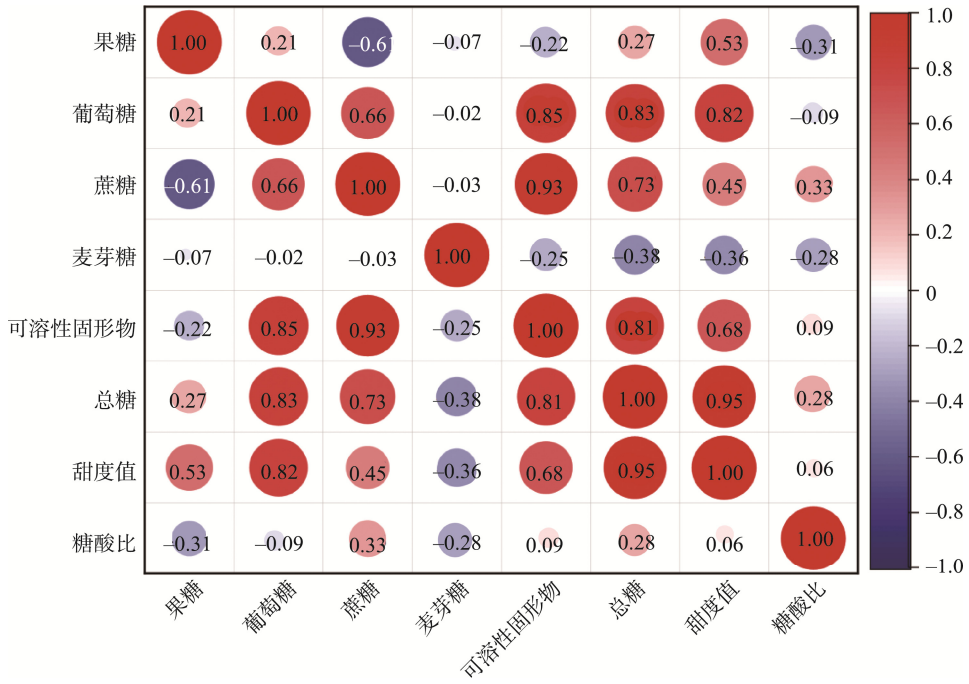


图 2　李果果实中可溶性糖的相关系数

Fig.2　Correlation coefficient of soluble sugar in different *Prunus salicina* L. fruit

2.5 李果游离氨基酸含量的分析

氨基酸类物质是人体不可缺少的营养成分，是评价果实营养价值和果实风味的重要品质指标。在本研究的 6 个不同品种李果实中，共检出 6 种必需氨基酸和 9 种非必需氨基酸，李果实氨基酸组分色谱图如图 3(其中脯氨酸为检测器 2，其他物质为检测器 1)所示。

李果果实中氨基酸含量如表 6 所示，不同李果果实中游离氨基酸总量范围在 4.19~9.18 g/kg 之间，差异较为显著。呈味氨基酸是水果风味品质的分子基础，揭示着水果的品种特性，是加工贮藏的把控点，更是市场价值与消费科学的纽带。一般来说，鲜味氨基酸谷氨酸、天冬氨酸可以提升水果的提升醇厚度与鲜甜感，甘氨酸、丙氨酸等甜味氨基酸具有甜味协调的作用，精氨酸、亮氨酸等枯萎氨基酸可以增加风味复杂度。不同李果中非必需氨基酸天冬氨酸和脯氨酸含量最高，这可能是不同李果中共同的品质特征。鲜味氨基酸在珠宝李，蜂糖李中占比较高，甜味氨基酸在红李、青红脆李和酥李中占比较大，苦味氨基酸仅在江安李中占比较大。

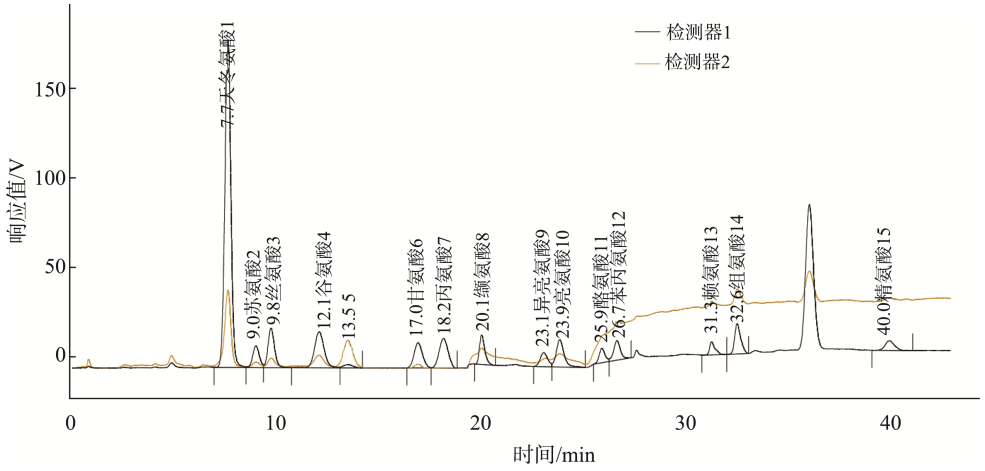


图 3 李果中氨基酸组分色谱图

Fig.3 Chromatogram of amino acid components in different *Prunus salicina* L. fruit

表 6 李果果实中的 15 种氨基酸含量

Table 6 Content of 15 kinds of amino acids in different *Prunus salicina* L. fruit

组分	呈味	组分	氨基酸含量/(g/kg)					
			珠宝李	红李	蜂糖李	江安李	青红脆李	酥李
必需氨基酸	甜味	苏氨酸	0.26±0.01^{c}	0.19±0.01^{b}	0.17±0.01^{ab}	0.16±0.01^{ab}	0.14±0.00^{a}	0.16±0.01^{ab}
	苦味	缬氨酸	0.25±0.02^{c}	0.19±0.01^{b}	0.16±0.01^{ab}	0.16±0.01^{ab}	0.14±0.01^{a}	0.16±0.00^{ab}
	苦味	异亮氨酸	0.23±0.01^{c}	0.18±0.02^{ab}	0.15±0.00^{ab}	0.16±0.00^{ab}	0.14±0.01^{a}	0.19±0.02^{c}
	苦味	亮氨酸	0.38±0.02^{c}	0.28±0.02^{b}	0.24±0.01^{ab}	0.28±0.02^{b}	0.19±0.01^{a}	0.23±0.01^{b}
	苦味	苯丙氨酸	0.28±0.02^{c}	0.19±0.01^{ab}	0.17±0.00^{a}	0.19±0.01^{ab}	0.18±0.00^{ab}	0.22±0.02^{b}
	苦味	赖氨酸	0.15±0.01^{d}	0.05±0.00^{a}	0.08±0.01^{b}	0.09±0.01^{bc}	0.11±0.01^{c}	0.08±0.00^{b}
非必需氨基酸	鲜味	天冬氨酸	3.84±0.12^{c}	1.04±0.10^{a}	2.03±0.16^{b}	1.08±0.09^{a}	1.95±0.11^{b}	0.90±0.10^{a}
	甜味	丝氨酸	0.38±0.02^{c}	0.24±0.01^{b}	0.21±0.01^{ab}	0.20±0.01^{ab}	0.17±0.01^{a}	0.19±0.01^{a}
	鲜味	谷氨酸	0.70±0.01^{e}	0.54±0.00^{d}	0.51±0.00^{c}	0.46±0.01^{b}	0.40±0.00^{a}	0.46±0.01^{b}
	甜味	甘氨酸	0.22±0.02^{c}	0.16±0.02^{b}	0.13±0.01^{ab}	0.14±0.01^{ab}	0.11±0.01^{a}	0.11±0.00^{a}
	甜味	丙氨酸	0.44±0.03^{d}	0.27±0.03^{b}	0.34±0.01^{c}	0.16±0.01^{a}	0.15±0.01^{a}	0.16±0.01^{a}
	苦味	酪氨酸	0.20±0.00^{b}	0.19±0.01^{b}	0.14±0.01^{a}	0.15±0.01^{b}	0.13±0.01^{a}	0.14±0.01^{a}
	苦味	组氨酸	0.37±0.02^{b}	0.33±0.02^{b}	0.22±0.02^{a}	0.27±0.01^{a}	0.22±0.01^{a}	0.24±0.02^{a}
	苦味	精氨酸	0.24±0.01^{b}	0.19±0.02^{ab}	0.15±0.01^{ab}	0.20±0.00^{ab}	0.13±0.01^{a}	0.13±0.01^{a}
	甜味	脯氨酸	1.24±0.08^{c}	2.15±0.09^{d}	0.86±0.06^{b}	0.49±0.05^{a}	3.45±0.17^{e}	1.56±0.11^{c}
游离氨基酸总量			9.18±0.85^{c}	6.19±0.42^{ab}	5.56±0.54^{a}	4.19±0.37^{a}	7.61±0.60^{bc}	4.93±0.39^{a}
苦味氨基酸占比/%			22.88	25.85	23.56	35.80	16.29	28.19
甜味氨基酸占比/%			27.67	48.63	30.76	27.45	52.83	44.22
鲜味氨基酸占比/%			49.46	25.53	45.68	36.75	30.88	27.59

2.6　果实中总黄酮分析

水果中的总黄酮具有抗氧化, 增强抗炎和对免疫在调节作用。呈苦味, 涩味或者是与糖酸协同形成复杂的风味。李果中总黄酮含量如图 4 所示, 总黄酮含量在 0.04%~0.19%之间, 含量最高的是青红脆李, 最低为江安李。

2.7　果实中维生素 E、维生素 C 分析

对 6 个不同品种李果的维生素 E 和维生素 C 含量进行测定分析, 结果如表 7 所示。6 种李果实的维生素 E 含量和维生素 C 含量具有显著性差异(P<0.05), 维生素 E 和维生素 C 含量范围分别为 0.90~2.25 mg/100 g(以 α-TE 计)、0.56~19.10 mg/100 g, 维生素 E 含量最高的是红李, 最低的是酥李; 维生素 C 含量最高的是青红脆李 19.10 mg/100 g。

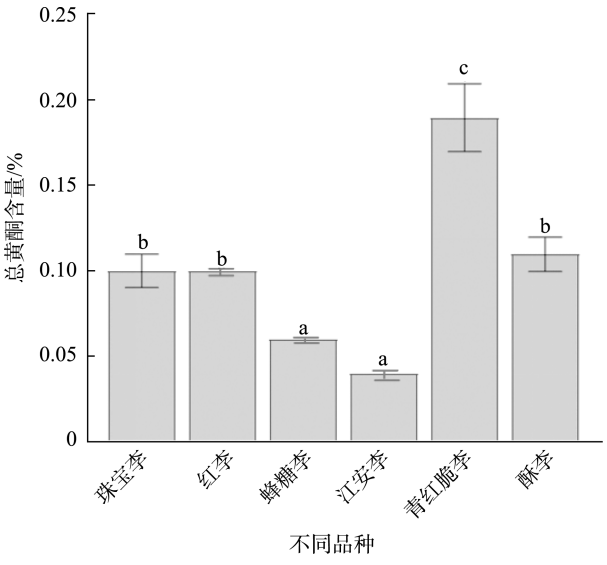


图 4　李果果实中总黄酮含量

Fig.4　Content of total flavones in *Prunus salicina* L. fruit

表 7　李果果实中维生素 E 和维生素 C 含量(mg/100 g)

Table 7　Content of vitamin E and vitamin C in different *Prunus salicina* L. fruit (mg/100 g)

组分	珠宝李	红李	蜂糖李	江安李	青红脆李	酥李
维生素 E	1.21±0.11^{b}	2.25±0.09^{c}	0.93±0.05^{a}	1.24±0.06^{b}	0.93±0.08^{a}	0.90±0.01^{a}
维生素 C	1.21±0.08^{a}	3.47±0.15^{b}	4.15±0.20^{b}	9.99±0.64^{c}	19.10±0.32^{d}	0.56±0.07^{a}

3　讨论与结论

李果实的可溶性糖含量决定了果实的甜度。在本研究中, 李果实中可溶性糖以果糖、葡萄糖、蔗糖为主, 这与刘硕等[16]研究的结果一致。单糖含量最高的是葡萄糖, 其次为果糖或者蔗糖, 这与文献[17]中研究结果蜂糖李“以蔗糖含量最高”存在一定差异, 这有可能是产地或采摘时期差异导致含糖量高低顺序不一致的原因。蜂糖李的可溶性糖组分含量之和、总糖含量以及甜度值均明显高于其他 5 个品种李果, 且有相对较低的总黄酮和苦味氨基酸占比, 这是可能是蜂糖李吃起来比其他 5 个品种李果更甜口感更好的原因。可溶性固形物是果实营养品质的重要指标, 6 个不同品种李果实中可溶性固形物含量最高的为蜂糖李, 最小值为珠宝李, 珠宝李、红李、江安李和酥李可溶性固形物含量均低于姜翠翠等[18]研究的 8 个李品种果实, 这可能是因为早熟李的可溶性固形物含量往往低于晚熟和中熟李品种可溶性固形物含量的原因[19]。

6 个不同品种李果实中的有机酸和总酸含量差异性显著(P<0.05)。李果实的有机酸均以苹果酸为主, 占有机酸总量的 88%以上, 其次是酒石酸, 柠檬酸含量较低, 这一结果与巫伟峰等[20]研究的 4 个李品种果实中有机酸含量结果相一致。不同品种李果实的总酸平均值为 14.6 g/kg, 高于杜改改等[21]研究的杏李品种平均值 8.57 g/kg。

酸甜度是果实品质感官的重要性指标, 而果实的酸甜度很大程度上取决于糖和酸的含量[22]。本研究中 6 个不同品种李果实糖酸比的范围在 4.54~7.50 之间, 其中蜂糖李最高。根据 6 种李果中的可溶性糖组分、可溶性固形物、总糖、甜度值和糖酸比之间的相关性分析结果可知, 果糖与甜度显著正相关, 葡萄糖与可溶性固形物、甜度值显著正相关, 蔗糖与可溶性固形物、甜度值、糖酸比显著正相关, 总糖与可溶性固形物、甜度值、糖酸比显著正相关。

6 个品种李果实中的氨基酸组分含量差异显著(P<0.05), 其中天冬氨酸、脯氨酸含量较高。崇慧影等[23]研究的九阡李, 在果实发育 75 d 后, 天冬酰胺和脯氨酸含量较高; 李刚凤等[24]研究的沙子空心李果实中, 天冬氨酸和谷氨酸含量较高; 师建华等[25]研究的 6 种欧李果实中, 天冬酰胺和谷氨酸含量较高; 陈守一等[26]研究了 12 种贵州晚熟李, 含量排名靠前的依次为天冬酰胺、脯氨酸和谷氨酸, 该结果与本研究结果相类似。李果实中游离氨基酸总量最高的是珠宝李, 6 个品种李果实中的游离氨基酸总量高于罗昌国等[27]研究的冰脆李。

总黄酮广泛存在于植物界, 是许多中草药的有效成分, 具有多种生物活性[28]。本研究中的 6 种李果实总黄酮含量在 0.04%~0.19%之间, 低于莫愁[29]研究的欧李品种中总黄酮含量范围 0.528%~1.087%。维生素 E 含量和维生素 C 含量具有显著性差异(P<0.05), 维生素 E 含量最高的是红李, 最低的是酥李; 维生素 C 含量最高的是青红脆李 19.10 mg/100 g, 该含量值比成熟期的大石早生、龙园秋李、黑宝石和安哥诺 4 个李品种的维生素 C 含量高[30]。

蜂糖李、珠宝李、红李、江安李、青红脆李和酥李 6 个不同品种李果实的可溶性糖、总糖(以葡萄糖计)、甜度值、可溶性固形物、有机酸、总酸、糖酸比、游离氨基酸、总黄酮、维生素 E、维生素 C 组分含量存在显著差异

(P<0.05)。李果实中的可溶性糖以果糖、葡萄糖、蔗糖为主，单一组分含量最高的为葡萄糖，其次为果糖或者蔗糖；李果实中的有机酸以苹果酸为主，占有机酸总量的 88%以上，其中珠宝李的苹果酸含量最高，青红脆李总酸含量最高；蜂糖李的可溶性糖组分含量总和、总糖、甜度值以及糖酸比均明显高于其他 5 个品种李果；李果实中共检出 15 种氨基酸，以非必需氨基酸为主，其中天冬氨酸、脯氨酸含量较高，游离氨基酸总量最高的为珠宝李；总黄酮、维生素 C 含量最高的为青红脆李；维生素 E 含量最高的为红李。本研究通过分析比较不同品种李果实的品质差异，可为不同李果的品质资源利用，李水果精品战略提供理论依据。

参考文献

[1] JELENA T, IVANA G, NEBOJŠA M, *et al*. Determination of fruit chemical contents of two plum cultivars grafted on four rootstocks [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2022, 105: 103944.

[2] DRKENDA P, MUSIC O, ORAS A, *et al*. Sugar, acid and phenols in fruit of the Sharka-Tolerant autochthonous plum genotype ‘Mrkosljiva’ [J]. Erwerbs-obstbau, 2022, 64(4): 569–580.

[3] TRENDAFILOVA A, IVANOVA V, TRUSHEVA B, *et al*. Chemical composition and antioxidant capacity of the fruits of European plum cultivar “Čačanska Lepotica” influenced by different rootstocks [J]. Foods, 2022, 11(18): 2844.

[4] TATIANA P, NATALIA D. Assessment of biochemical and technical indicators of the quality of plum fruits grown in the south of Russia [J]. BIO Web of Conferences, 2021, 36: 02001.

[5] OLGA M, MANUEL C, LAVADO N, *et al*. First-order discrimination of methanolic extracts from plums according to harvesting date using fluorescence spectra. Quantification of polyphenols [J]. Microchemical Journal, 2021, 169: 106533.

[6] 张豫, 祝建, 田瑞, 等. 6 个李品种果实功能性物质与香气成分分析[J]. 中国南方果树, 2023, 52(5): 162–174.
ZHANG Y, ZHU J, TIAN R, *et al*. Analysis of functional substances and aroma components in fruits of six plum varieties [J]. South China Fruits, 2023, 52(5): 162–174.

[7] DANIEL C, ANH-DAO TP, MICHAEL EN, *et al*. The use of vibrational spectroscopy to predict vitamin C in Kakadu plum powders (*Terminalia ferdinandiana* exell, Combretaceae) [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2020, 101(8): 3208–3213.

[8] 祝建, 田瑞, 蒋迎春, 等. 湖北省李品种果实品质分析与综合评价[J]. 中国南方果树, 2021, 50(6): 136–140.
ZHU J, TIAN R, JIANG YC, *et al*. Analysis and comprehensive evaluation of fruit quality of plum varieties in Hubei Province [J]. South China Fruits, 2021, 50(6): 136–140.

[9] 张琴, 董晓庆, 林欣, 等. 基于 UPLC-MS/MS 的不同产地蜂糖李果实初生代谢差异分析[J]. 食品科学, 2023, 44(8): 284–292.
ZHANG Q, DONG XQ, LIN X, *et al*. Analysis of primary metabolic differences in fruits of *Fengtangli plum* from different regions based on UPLC-MS/MS [J]. Food Science, 2023, 44(8): 284–292.

[10] 郝麒麟, 陈媛, 黄先智, 等. 巫山脆李营养品质评价[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(14): 249–255.
HAO QL, CHEN Y, HUANG XZ, *et al*. Evaluation of the nutritional quality of Wushan crisp plum [J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(14): 249–255.

[11] 李兴婷. 重庆地区中晚熟李果实品质与分子标记分析[D]. 重庆: 西南大学, 2020.
LI XT. Analysis of fruit quality and molecular markers of mid-late ripening plum in Chongqing Region [D]. Chongqing: Southwest University, 2020.

[12] 王红林, 赵凯, 赵晓珍, 等. 贵州不同地区奈李果实品质分析与综合评价[J]. 贵州农业科学, 2022, 50(6): 94–104.
WANG HL, ZHAO K, ZHAO XZ, *et al*. Analysis and comprehensive evaluation of fruit quality of Nai plum in different regions of Guizhou [J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2022, 50(6): 94–104.

[13] 周丹蓉, 林炎娟, 方智振, 等. 福建 10 个不同产地‘芙蓉李’果实品质与矿质元素含量的相关性与通径分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(4): 1176–1184.
ZHOU DR, LIN YJ, FANG ZZ, *et al*. Correlation and path analysis of fruit quality and mineral element content of ‘Furong plum’ from 10 different producing regions in Fujian [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2022, 13(4): 1176–1184.

[14] 王镜岩, 朱圣庚, 徐长法. 生物化学[M]. 第 3 版. 北京: 高等教育出版社, 2002.
WANG JY, ZHU SG, XU CF. Biochemistry [M]. 3rd ed. Beijing, China: Higher Education Press, 2002.

[15] MONTERO T, MOLLA E, ESTEBAN R, *et al*. Quality attributes of strawberry during ripening [J]. Scientia Horticulturae, 1996, 65(4): 239–250.

[16] 刘硕, 刘有春, 刘宁, 等. 李属(*Prunus*)果树品种资源果实糖和酸的组分及其构成差异[J]. 中国农业科学, 2016, 49(16): 3188–3198.
LIU S, LIU YC, LIU N, *et al*. Differences in fruit sugar and acid components and their composition among *Prunus germplasm* resources [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2016, 49(16): 3188–3198.

[17] 王小红. ‘蜂糖李’果实糖酸组分及其积累规律[D]. 贵阳: 贵州大学, 2018.
WANG XH. Sugar and acid components and their accumulation patterns in ‘Fengtangli’ fruit [D]. Guiyang: Guizhou University, 2020.

[18] 姜翠翠, 林炎娟, 王小安. 8 个南方李品种果实营养品质分析与评价[J]. 中国南方果树, 2023, 52(3): 102–108.
JIANG CC, LIN YJ, WANG XAN. Analysis and evaluation of nutritional quality in fruits of eight southern plum cultivars [J]. South China Fruits, 2023, 52(3): 102–108.

[19] SAMIRA S, JENS M, WILHELM C, *et al*. Quality assessment of 178 cultivars of plum regarding phenolic, anthocyanin and sugar content [J]. Food Chemistry, 2017, 214: 694–701.

[20] 巫伟峰, 陈明杰, 陈国跃, 等. 李品种(品系)果实中有机酸及 VC 含量

的 UPLC 法测定[J]. 植物资源与环境学报, 2021, 30(1): 78–80.
WU WF, CHEN MJ, CHEN GY, *et al*. UPLC determination of organic acids and vitamin C content in fruits of plum cultivars (lines) [J]. Journal of Plant Resources and Environment, 2021, 30(1): 78–80.

[21] 杜改改, 李泰山, 刁松锋, 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 GG, LI TS, DIAO SF, *et al*. Analysis of sweet and sour flavor quality in fruits of six apricot plum cultivars [J]. Journal of Fruit Science, 2017, 34(1): 41–49.

[22] BAI Y, FANG Y, ZHANG B, *et al*. Model robustness in estimation of blueberry SSC using NIRS [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2022, 198: 107073.

[23] 崇慧影, 潘绍佐, 李冰晶, 等. 九阡李果实发育期主要有机酸及氨基酸含量变化[J]. 湖北农业科学, 2022, 61(18): 92–95.
CHONG HY, PAN SZ, LI BJ, *et al*. Changes in the content of major organic acids and amino acids during the fruit development stage of ‘Jiuqianli’ plum [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2022, 61(18): 92–95.

[24] 李刚凤, 李洪艳, 张绍阳, 等. 沙子空心李果实营养品质的主成分分析和综合评价[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(12): 264–270.
LI GF, LI HY, ZHANG SY, *et al*. Principal component analysis and comprehensive evaluation of nutritional quality in Shazikongli plum fruit [J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(12): 264–270.

[25] 师建华, 曹军合, 徐立军. 欧李果实营养成分分析与评价[J]. 河北林业科技, 2021(2): 23–26.
SHI JH, CAO JH, XU LJ. Analysis and evaluation of nutritional components in *Cerasus humilis* fruits [J]. Hebei Forestry Science and Technology, 2021(2): 23–26.

[26] 陈守一, 罗昌国, 王红林, 等. 贵州晚熟李的氨基酸组成及营养价值评价[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(24): 34–40.
CHEN SY, LUO CG, WANG HL, *et al*. Amino acid composition and nutritional value evaluation of Guizhou late-ripening plum [J]. Food Research and Development, 2021, 42(24): 34–40.

[27] 罗昌国, 袁启凤, 陈守一, 等. 地理标志产品紫云冰脆李氨基酸组成及营养价值评价[J]. 南方农业, 2022, 16(21): 172–177, 181.
LUO CG, YUAN QF, CHEN SY, *et al*. Amino acid composition and nutritional value evaluation of geographical indication product ‘Ziyun Bingcui’ plum [J]. Southern Agriculture, 2022, 16(21): 172–177, 181.

[28] 聂韡, 单承莺, 刘畅, 等. 南酸枣总黄酮的研究进展[J]. 中国野生植物资源, 2020, 39(11): 48–51.
NIE W, SHAN CY, LIU C, *et al*. Research progress on total flavonoids from *Choerospondias axillaris* [J]. Chinese Wild Plant Resources, 2020, 39(11): 48–51.

[29] 莫愁. 基于糖酸和酚类物质的欧李种质资源果实品质评价研究[D]. 北京: 北京中医药大学, 2015.
MO C. Evaluation of fruit quality in *Cerasus humilis* germplasm resources based on sugar-acid and phenolic compounds [D]. Beijing: Beijing University of Chinese Medicine, 2015.

[30] 赵树堂, 关军锋, 孟庆瑞, 等. 李果实发育过程中糖、酸、维生素 C 含量的变化[J]. 果树学报, 2004(6): 612–614.
ZHAO ST, GUAN JF, MENG QR, *et al*. Changes in sugar, acid, and vitamin C contents during fruit development of *Prunus salicina* [J]. Guoshu Xuebao (Journal of Fruit Science), 2004(6): 612–614.

(责任编辑: 韩晓红　安香玉)