

# 贵州晚熟李资源果实营养成分分析与评价

陈守一\*, 王红林, 罗昌国, 金吉林, 赵 凯

(贵州省农业科学院, 果树研究所, 贵阳 550006)

**摘要:** **目的** 探究贵州晚熟李果实营养成分。**方法** 利用16份贵州晚熟李资源的果实为材料, 对其含水量、能量、总糖、氨基酸等进行检测分析与评价。**结果** 16份贵州晚熟李含水量变幅最小, 维生素C含量变幅最大, 分别为2.12%和38.83%; 能量为246.50 kJ/100 g·FW, 属低能型水果。可溶性固形物为12.49%, 总糖8.86 g/100 g·FW, 总酸 $\leq$ 1.10%; 矿质元素中钾含量最高, 磷、钙、镁次之, 铜和锰含量极少。氨基酸总量为0.32~0.84 g/100 g·FW, 其中药用氨基酸占比最高, 芳香氨基酸最低; 综合评价结果显示青脆李、晚香脆、红麦李和乞末李的营养价值较高, 而清水李、脆红李、晚青脆和迟李子的营养价值较低。**结论** 16份晚熟李样品在营养成分上有一定差异和自身特性, 且青脆李、晚香脆、红麦李和乞末李营养价值较高, 可通过选育或改良后在生产上推广利用。

**关键词:** 贵州晚熟李; 果实; 营养成分

## Analysis and evaluation of fruit nutritional components of late-maturing plum resources in Guizhou

CHEN Shou-Yi\*, WANG Hong-Lin, LUO Chang-Guo, JIN Ji-Lin, ZHAO Kai

(Fruit Tree Research Institute, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang 550006, China)

**ABSTRACT: Objective** To explore the nutritional components of late-maturing plum fruits in Guizhou. **Methods** The fruits of 16 late-maturing plum resources in Guizhou were used as materials for the detection, and the content of water, energy, total sugar, and amino acids were analysed and evaluated. **Results** The variation of water content of 16 late-maturing Guizhou plum was the smallest, and that of vitamin C was the largest, 2.12% and 38.83%, respectively. The energy was 246.50 kJ/100 g·FW, belonging to low-energy fruit. Soluble solid content was 12.49%, total sugar 8.86 g/100 g·FW, and total acid $\leq$ 1.10%. Among mineral elements, potassium content was the highest, followed by phosphorus, calcium and magnesium, and copper and manganese content was very little. The total amount of amino acids was 0.32-0.84 g/100 g·FW, of which medicinal amino acids accounted for the highest while aromatic amino acids accounted for the lowest. The comprehensive evaluation results showed that the nutritional values of Qingcui plum, Wanxiangcui plum, Hongmai plum and Qimo plum were higher, while those of Qingshui plum, Cuihong plum, Wanqingcui plum and Chi plum were lower. **Conclusion** Sixteen late-maturing plum samples have some differences in nutritional composition and their own characteristics, and Qingcui plum, Wanxiangcui plum, Hongmai plum and Qimo plum, have higher nutritional value, which can be popularized and utilized in production

基金项目: 贵州省科技计划项目(黔科合支撑[2019]2265号)

Fund: Supported by the Guizhou Science and Technology Plan Project (Guizhou Science and Technology Combined Support [2019] No.2265)

\*通信作者: 陈守一, 副研究员, 主要研究方向为李资源与遗传育种研究。E-mail: gjscsy008518@163.com

\*Corresponding author: CHEN Shou-Yi, Associate Professor, Fruit Tree Research Institute, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang 550006, China. E-mail: gjscsy008518@163.com

after breeding or improvement.

**KEY WORDS:** Guizhou late-maturing plum; fruit; nutritional components

## 0 引言

李是蔷薇科 (Rosaceae) 李亚科 (Prunoideae) 李属 (*Prunus*) 植物, 是中国栽培历史最为悠久的果树之一。鲜食李不仅营养丰富, 而且具有养肝、泻肝、治疗肝肿硬和肝腹水、去痼热、破瘀等功能; 除生食外, 还常被加工成果汁、果酒, 制成罐头、果脯、蜜饯等<sup>[1]</sup>。联合国粮食及农业组织 (Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO) 统计数据显示, 2019 年, 我国李栽培面积达 198 万  $\text{hm}^2$ , 产量 680 万 t, 栽培面积和产量均居世界第 1 位<sup>[2]</sup>。贵州省李种植面积在 12.8 万  $\text{hm}^2$  之上<sup>[3]</sup>, 居全国之首, 在农业供给侧结构性改革、增加农民收入方面发挥着重要作用。

前人对果实品质的评价多采用主成分分析法<sup>[4-7]</sup>, 其目的是从原始的多个变量中, 通过线性组合, 提炼出几个彼此独立的新变量, 以较少的综合指标反映原始指标的主要信息。在李研究方面, 郝麒麟等<sup>[8]</sup>利用主成分分析法评价了巫山脆李食用品质, 张绍阳等<sup>[9]</sup>对贵州沿河沙子空心李的果实营养作了分析与评价, 温静等<sup>[10]</sup>对成都地区的欧李品种品质作了分析与综合评价, 安佰义等<sup>[11]</sup>对不同李品种品质作了分析与综合评价, 夏乐晗等<sup>[12]</sup>通过不同品种 (系) 李果实外观和内在品质的比较, 筛选出了适合在河南及周边地区推广种植推广的品种。但贵州晚熟李果实的营养成分和食用价值方面还鲜有报道。

李是典型时令水果。贵州李果实成熟期主要集中于 5 月下旬至 8 月上旬, 8 月中旬后产出的果品极少。因此, 发掘贵州地方晚熟李资源, 选育晚熟李新品种, 让消费者能较长时间享受到李果品, 让李生产者能调节产期、增加收益。据此, 本研究于 2019 年开始进行贵州晚熟李资源的调查和收集工作, 并对果实发育期为 130~160 d、成熟期在 8 月中旬至 9 月上旬的 16 份李果实常规营养成分、矿质元素及氨基酸等进行分析 and 评价, 以期选出营养成分较高的资源类型, 为优质晚熟新品种选育及定向育种提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料、试剂及仪器

栽培种 10 份: 镇江李 (Zhenjiang plum)、高坪李 (Gaoping plum)、晚香脆 (Wanxiangcui plum)、晚青脆 (Wanqingcui plum)、大土李 (Datu plum)、苟江李 (Goujiang plum)、青脆李 (Qingcui plum)、清水李 (Qingshui plum)、枫香李 (Fengxiang plum)、脆红李 (Cuihong plum); 农家种 6

份: 大麦李 (Damai plum)、乞末李 (Qimo plum)、红麦李 (Hongmai plum)、迟李子 (Chi plum)、紫红李 (Zihong plum)、红李子 (Hong plum); 均产自贵州省内, 8 月中旬至 9 月上旬成熟。由同一实验者选择有代表性的植株 3 株, 采集树冠中上部不同方位、大小、色泽一致、无机械损伤、无病虫害、成熟度在 85% 之上的果实混合, 每份 2.5 kg, 用塑料袋带回实验室, 洗净, 晾干,  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  储藏备用。

盐酸 (分析纯, 江苏强盛公司); 硫酸、氢氧化钾 (分析纯, 西陇化工公司); 乙醇 (优级纯 95%)、氢氧化钠、硫酸铜、甲醇 (色谱纯) (德国默克公司); 硝酸、氯化铯、氯化铟 (优级纯) (上海阿拉丁试剂有限公司); 17 种氨基酸标准品 (纯度 >99%, 美国 Sigma 公司); 色氨酸 (优级纯, 纯度  $\geq 99\%$ , 上海嘉辰化工有限公司); 磷、钙、钾、铁和镁等标准品 (纯度 >99%, 国家有色金属及电子材料分析测试中心)。其余试剂均为分析纯 (国药集团化学试剂有限公司)。

AB204 型电子天平 (瑞士 Mettler 公司); T-20 格林凯瑞数显折光仪 (山东格林凯瑞精密仪器有限公司); ICPMS-2030 电感耦合等离子体质谱仪、LC-30A 高效液相色谱仪、GC2010 气相色谱仪 (日本岛津公司); DHG-9140A 型电热恒温鼓风干燥箱 (上海精宏实验设备有限公司); HH-6 型数显恒温水浴锅 (国华电器有限公司); L-8900 全自动氨基酸分析仪 (日本日立公司); AAS novAA400 原子吸收光谱仪 (德国耶拿公司)。

### 1.2 实验方法

参考《中国食物成分表标准版》(第 6 版第一册)<sup>[13]</sup>, 选择水分、能量、膳食纤维、可溶性固形物、总糖、总酸、维生素 C、矿物质、氨基酸等基础营养成分, 将果实打浆过滤取汁, 3 次平行测定取均值。

水分参照 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》第一法测定; 膳食纤维参照 NY/T 1594—2008 测定《水果中总膳食纤维的测定 非酶-重量法》; 总糖参照 GB 5009.8—2016《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》第二法测定; 总酸参照 NY/T 839—2004《鲜李》测定; 维生素 C 参照 GB 5009.86—2016《食品安全国家标准 食品中抗坏血酸的测定》第一法测定; 氨基酸参照 GB 5009.124—2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》测定; 铜、钙、锰、镁、钾、钠、磷参照 GB 5009.13—2017《食品安全国家标准 食品中铜的测定》、GB 5009.92—2016《食品安全国家标准 食品中钙的测定》、GB 5009.242—2017《食品安全国家标准 食品中锰的测定》、GB 5009.241—2017《食品安全国家标准 食品中镁的测定》、GB 5009.91—2017《食品安全国家标准 食

品中钾、钠的测定》以及 GB 5009.87—2016《食品安全国家标准 食品中磷的测定》测定;可溶性固形物用 T-20 格林凯瑞数显折光仪测定;能量参照 GB/Z 21922—2008《食品营养成分基本术语》折算;氨基酸参照颜孙安等<sup>[14]</sup>、周丹蓉等<sup>[15]</sup>、姜帆等<sup>[16]</sup>统计氨基酸总量(total amino acids, TAA);根据世界卫生组织(World Health Organization, WHO)/联合国粮农组织修订的理想蛋白质人体必需氨基酸模式谱(1973 年版本)<sup>[17]</sup>计算必需氨基酸含量;参照杨旭昆等<sup>[18]</sup>计算氨基酸比值(ratio of amino acid, RAA)、氨基酸比值系数(ratio coefficient of amino acid, RC)、比值系数分(score of ratio coefficient of amino acid, SRC)。

### 1.3 数据处理

采用 Microsoft Excel 2003 和 SPSS 26.0 软件进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 基础营养成分

#### 2.1.1 基础营养成分含量检测

营养成分的变异系数揭示变异格局,变异系数越大,则指标值离散程度越大。经测定统计(表 1),16 份晚熟李资源常规营养成分的变异系数从大到小依次为维生素 C>糖酸比>膳食纤维>总酸>总糖>可溶性固形物>能量>水分,其中果实水分含量在 82.00%~88.50%之间,均值 85.61%,变异系数为 2.12%,离散程度最小;维生素 C 含量在 0.59~1.81 mg/100 g·FW 之间,均值 1.12 mg/100 g·FW,变

异系数为 38.83%,离散程度最大。离散程度越大,表明该项品质指标变化越大,离散程度越小,表明该项品质指标变化越小。维生素 C 和糖酸比是影响李果实风味的重要指标,说明贵州晚熟李资源具有风味丰富的特征。

矿质元素变异系数从大到小依次为铜>锰>钙>磷>镁>钾,其中钾的含量在 1270.00~2160.00 mg/kg·FW 之间,均值 1742.50 mg/kg·FW,变异系数 13.79%,离散程度最小;铜含量在 0.27~7.89 mg/kg·FW 之间,均值 1.14 mg/kg·FW,变异系数 170.99%,离散程度最大。从含量方面看,贵州晚熟李资源果实的钾含量最高而稳定,其次是磷,再其次为钙和镁,铜和锰含量极少。

#### 2.1.2 基础营养成分相关性分析

为揭示各组分之间的密切关联程度,采用 Pearson 相关系数法分析各构成因子参数间的相关性,结果见表 2。水分与能量、可溶性固形物、总糖及糖酸比极显著负相关,与维生素 C 及磷呈显著负相关;能量与可溶性固形物、总糖及糖酸比呈极显著正相关,与维生素 C 和磷呈显著正相关,与氨基酸总量呈显著负相关;可溶性固形物与总糖、糖酸比及维生素 C 呈极显著正相关,与磷呈显著正相关,与总酸呈显著负相关;总糖与糖酸比及维生素 C 呈极显著正相关,与磷呈显著正相关,与总酸呈显著负相关;总酸与糖酸比呈极显著负相关;维生素 C 与氨基酸总量呈显著负相关;氨基酸总量与镁呈极显著正相关;铜与镁呈显著正相关;钙与锰呈极显著正相关。其他测定指标之间相关性不大,仅有协同作用。说明通过测定部分李果实的营养成分指标就可以预测到与之相关指标的增减趋势,相关性越强,这种趋势越明显。

表 1 基础营养成分检测结果  
Table 1 Test results of basic nutrients

营养成分	最小值	最大值	均值	标准差	变异系数/%
水分/%	82.00	88.50	85.61	1.82	2.12
能量/(kJ/100 g·FW)	198.00	309.00	246.50	31.02	12.59
膳食纤维/%	16.61	31.79	21.06	4.33	20.58
可溶性固形物/%	9.30	15.60	12.49	1.62	12.95
总糖/(g/100 g·FW)	6.20	11.70	8.86	1.29	14.58
总酸/%	0.51	1.10	0.71	0.14	19.67
糖酸比	5.64	21.27	12.70	3.43	26.96
维生素 C/(mg/100 g·FW)	0.59	1.81	1.12	0.44	38.83
磷/(mg/kg·FW)	98.20	189.00	143.90	28.70	19.97
铜/(mg/kg·FW)	0.27	7.89	1.14	1.94	170.99
钙/(mg/kg·FW)	56.80	152.00	86.32	30.44	35.27
锰/(mg/kg·FW)	0.58	2.26	1.07	0.47	43.82
镁/(mg/kg·FW)	58.40	102.00	74.43	12.25	16.46
钾/(mg/kg·FW)	1270.00	2160.00	1742.50	240.24	13.79

## 2.2 氨基酸

### 2.2.1 氨基酸组成及含量

16 份果实样品检测到 8 种必需氨基酸、10 种非必需氨基酸, 含量为: 天冬氨酸 > 脯氨酸 > 谷氨酸 > 丙氨酸 > 赖氨酸 > 亮氨酸 > 丝氨酸 > 缬氨酸 > 苏氨酸 > 胱氨酸 > 苯丙氨酸 > 甘氨酸 > 精氨酸 > 异亮氨酸 > 酪氨酸 > 组氨酸 > 色氨酸 > 蛋氨酸。氨基酸总量均值为 529.20 mg/100 g·FW,

必需氨基酸为 121.90 mg/100 g·FW, 非必需氨基酸为 407.30 mg/100 g·FW。根据 1973 年 FAO/WHO 提出理想蛋白质的标准是必需氨基酸/氨基酸总量和必需氨基酸/非氨基酸总量在 40%左右和 60%以上, 可见供试样品中的氨基酸不符合理想蛋白质的标准。另外, 各类氨基酸占氨基酸总量百分比大小为: 药用氨基酸 > 鲜味氨基酸 > 酸味氨基酸 > 甜味氨基酸 > 苦味氨基酸 > 芳香氨基酸(见表 3)。

表 2 果实营养成分间的相关系数  
Table 2 Correlation coefficients among nutritional components

相关系数	水分	能量	膳食纤维	可溶性固形物	总糖	总酸	糖酸比	维生素 C	氨基酸	磷	铜	钙	镁	锰	钾
水分	1.00														
能量	-0.99**	1.00													
膳食纤维	0.33	-0.31	1.00												
可溶性固形物	-0.94**	0.94**	-0.53*	1.00											
总糖	-0.88**	0.88**	-0.63**	0.96**	1.00										
总酸	0.46	-0.45	0.74**	-0.52*	-0.54*	1.00									
糖酸比	-0.71**	0.71**	-0.64**	0.75**	0.82**	-0.78**	1.00								
维生素 C	-0.54*	0.55*	-0.55*	0.70**	0.69**	-0.41	0.48	1.00							
氨基酸	0.48	-0.51*	-0.10	-0.44	-0.37	0.06	-0.32	-0.54*	1.00						
磷	-0.53*	0.52*	-0.42	0.60*	0.53*	-0.21	0.46	0.31	0.00	1.00					
铜	0.21	-0.19	-0.17	-0.16	-0.17	0.07	-0.09	-0.07	0.15	0.20	1.00				
钙	-0.38	0.38	0.52*	0.16	0.09	0.21	0.01	-0.36	-0.22	-0.10	-0.29	1.00			
镁	0.34	-0.36	-0.39	-0.18	-0.12	-0.18	-0.06	-0.06	0.62**	-0.06	0.56*	-0.47	1.00		
锰	-0.38	0.39	0.09	0.30	0.26	0.00	0.12	-0.25	-0.03	0.12	0.09	0.78**	-0.08	1.00	
钾	-0.08	0.07	-0.04	0.15	0.08	0.28	-0.10	-0.19	0.43	0.49	0.20	0.16	0.20	0.32	1.00

注: \*表示相关性显著( $P < 0.05$ ), \*\*表示相关性极显著( $P < 0.01$ )。

表 3 氨基酸组分与含量  
Table 3 Composition and content of amino acids

氨基酸	最小值/(mg/100 g·FW)	最大值/(mg/100 g·FW)	均值/(mg/100 g·FW)	标准差	变异系数/%	占比/%
氨基酸总量	321.00	841.90	529.20	0.14	26.11	100.00
必需氨基酸	84.60	206.40	121.90	0.03	24.95	23.04
非必需氨基酸	236.40	635.50	407.30	0.12	29.05	76.96
药用氨基酸	182.80	514.60	304.30	0.09	30.48	57.49
鲜味氨基酸	125.20	376.70	224.60	0.08	35.45	42.44
甜味氨基酸	91.50	240.00	162.00	0.05	28.30	30.60
酸味氨基酸	105.10	328.70	197.20	0.08	38.63	37.25
苦味氨基酸	68.60	164.70	96.50	0.02	24.42	18.24
芳香氨基酸	60.10	149.00	85.50	0.02	25.82	16.15

## 2.2.2 氨基酸类型与比值

蛋白营养价值的优劣主要取决于所含必需氨基酸的种类、数量和组成比例,及其在有机体内的消化、吸收和利用情况。表4的氨基酸比值说明,贵州晚熟李资源果实的必需氨基酸含量不均衡,16份晚熟李间均存在差异。氨基酸比值系数反映了食物中必需氨基酸组成与模式氨基酸的偏离程度,RC > 1表示食物中该种必需氨基酸过剩,RC < 1表示食物中该种必需氨基酸相对不足。RC的最小值为该食物的第一限制氨基酸<sup>[18]</sup>。SRC反映了食物中蛋白质的相对营养价值,其值越接近100,说明必需氨基酸的

贡献率越大,蛋白的营养价值越高。RC值计算结果表明,晚青脆、清水李和红麦李相对过剩,枫香李、红李子、大麦李和紫红李等相对适中,镇江李、高坪李、青脆李、苟江李和晚香脆等相对不足。蛋氨酸全部资源均未检出。因此,贵州晚熟李资源果实的第一限制氨基酸为蛋氨酸。比值系数分的计算结果从高到低排序为:晚青脆 > 红麦李 > 乞末李 > 紫红李 > 晚香脆 > 清水李 > 红李子 > 镇江李 > 苟江李 > 大土李 > 大麦李 > 青脆李 > 枫香李 > 脆红李 > 高坪李 > 迟李子。说明越排在前面的必需氨基酸组成比例越相对合理。

表4 16份贵州晚熟李资源果实的RAA、RC、SRC值  
Table 4 RAA, RC and SRC values of 16 late-maturing plums

氨基酸模式	异亮氨酸	亮氨酸	赖氨酸	甲硫氨酸+半胱氨酸	苯丙氨酸+酪氨酸	苏氨酸	缬氨酸	SRC值
晚青脆	RAA	0.55	0.60	0.87	0.80	0.74	0.72	83.23
	RC	1.68	1.67	1.75	1.47	1.70	1.59	
迟李子	RAA	0.34	0.28	0.44	0.83	0.36	0.46	59.81
	RC	1.05	0.79	0.88	1.53	0.82	1.02	
枫香李	RAA	0.31	0.32	0.51	0.74	0.50	0.43	66.62
	RC	0.95	0.90	1.02	1.37	1.13	0.96	
红李子	RAA	0.04	0.03	0.06	0.03	0.05	0.05	79.60
	RC	1.10	0.96	1.13	0.62	1.14	1.10	
清水李	RAA	0.39	0.42	0.61	0.63	0.60	0.55	80.26
	RC	1.18	1.17	1.22	1.16	1.37	1.22	
大土李	RAA	0.27	0.28	0.44	0.29	0.47	0.44	75.88
	RC	0.83	0.77	0.88	0.53	1.08	0.97	
大麦李	RAA	0.37	0.40	0.59	0.26	0.51	0.55	74.15
	RC	1.12	1.12	1.18	0.47	1.17	1.21	
脆红李	RAA	0.27	0.24	0.34	0.63	0.39	0.38	66.33
	RC	0.84	0.68	0.68	1.16	0.90	0.83	
晚香脆	RAA	0.21	0.24	0.37	0.26	0.34	0.31	80.72
	RC	0.66	0.68	0.73	0.47	0.78	0.68	
镇江李	RAA	0.26	0.33	0.42	0.46	0.31	0.32	78.80
	RC	0.79	0.92	0.83	0.84	0.70	0.70	
高坪李	RAA	0.28	0.35	0.44	0.71	0.31	0.38	62.09
	RC	0.86	0.96	0.89	1.32	0.70	0.84	
紫红李	RAA	0.03	0.04	0.05	0.05	0.04	0.04	81.63
	RC	1.01	1.05	0.98	1.01	0.88	0.95	
红麦李	RAA	0.04	0.05	0.06	0.05	0.05	0.05	82.71
	RC	1.21	1.25	1.19	1.01	1.12	1.13	
苟江李	RAA	0.32	0.42	0.47	0.60	0.36	0.40	77.09
	RC	0.98	1.16	0.94	1.11	0.82	0.88	
青脆李	RAA	0.03	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03	72.61
	RC	0.76	0.86	0.73	0.56	0.61	0.70	
乞末李	RAA	0.35	0.42	0.50	0.31	0.36	0.51	82.26
	RC	1.07	1.17	1.00	0.58	0.83	1.11	

### 2.3 营养成分主成分分析

#### 2.3.1 主成分因子分析

运用 SPSS 26.0 对原始数据进行标准化处理, 消除原始数据之间量纲不同的影响, 使标准化数据具有可比性。对各主成分的特征值和贡献率进行主成分提取, 如表 5 所示, 有 4 个主成分 PC1、PC2、PC3、PC4 的特征值大于 1, 累计贡献率达 84.58%。其中, 主成分 PC1 的贡献率为 41.97%, 综合了绝大多数品质数据的信息。可溶性固形物、总糖、能量、水分的载荷绝对值大于 0.90, 说明这些成分对 PC1 影响较大, 可选择代表 PC1; PC2 贡献率为 19.93%, 钙的载荷值最大, 说明钙对 PC2 影响较大, 可选择钙代表 PC2; PC3 贡献率为 14.78%, 钾的载荷值最大, 说明钾对 PC3 影响较大, 可选择钾代表 PC3; PC4 贡献率为 7.90%, 总酸的负荷量最大, 说明总酸对 PC4 影响较大, 可选择总酸代表 PC4。主成分分析结果表明, 评价贵州晚熟李资源营养成分的 7 个核心指标是: 可溶性固形物、总糖、能量、水分、钙、钾和总酸。

表 5 主成分分析的总方差解释  
Table 5 Principal component analysis's total variance explanation

主成分	成分 1	成分 2	成分 3	成分 4
特征值	6.30	2.99	2.22	1.19
贡献率/%	41.97	19.93	14.78	7.90
累计贡献率/%	41.97	61.90	76.68	84.58

#### 2.3.2 营养综合评价

利用主成分载荷除以主成分相对应的特征值开平方根, 得到 4 个主成分中每个指标所对应的系数即特征向量, 以特征向量为权重构建 4 个主成分得分的函数表达式:

$$F_1 = -0.37X_1 + 0.37X_2 - 0.24X_3 + 0.39X_4 + 0.38X_5 - 0.25X_6 + 0.34X_7 + 0.28X_8 - 0.19X_9 + 0.23X_{10} - 0.06X_{11} + 0.05X_{12} - 0.09X_{13} + 0.10X_{14} + 0.01X_{15} \quad (1)$$

$$F_2 = -0.15X_1 + 0.16X_2 + 0.42X_3 + 0.02X_4 - 0.03X_5 + 0.25X_6 - 0.11X_7 - 0.17X_8 - 0.24X_9 - 0.10X_{10} - 0.26X_{11} + 0.51X_{12} - 0.43X_{13} + 0.30X_{14} + 0.00X_{15} \quad (2)$$

$$F_3 = -0.06X_1 + 0.05X_2 - 0.04X_3 + 0.07X_4 + 0.04X_5 + 0.10X_6 - 0.03X_7 - 0.26X_8 + 0.37X_9 + 0.30X_{10} + 0.28X_{11} + 0.20X_{12} + 0.26X_{13} + 0.41X_{14} + 0.56X_{15} \quad (3)$$

$$F_4 = -0.01X_1 + 0.03X_2 + 0.14X_3 + 0.09X_4 - 0.01X_5 + 0.48X_6 - 0.25X_7 + 0.31X_8 - 0.22X_9 + 0.42X_{10} + 0.15X_{11} - 0.26X_{12} - 0.23X_{13} - 0.34X_{14} + 0.32X_{15} \quad (4)$$

以 4 个主成分中每个主成分的贡献率占有所有提取主成分的贡献率之和的比值为权重, 构建综合评价模型:

$$F = (F_1 * 41.970 + F_2 * 19.928 + F_3 * 14.783 + F_4 * 7.901) / 84.583$$

其中,  $F_1$  为 PC1 主成分得分,  $F_2$  为 PC2 主成分得分,  $F_3$  为 PC3 主成分得分,  $F_4$  为 PC4 主成分得分。

综合评分结果(表 6)排序为: 青脆李 > 晚香脆 > 红麦李 > 乞末李 > 镇江李 > 红李子 > 枫香李 > 苟江李 > 大麦李 > 紫红李 > 高坪李 > 大土李 > 清水李 > 脆红李 > 晚青脆 > 迟李子。结合 16 份果实品质的原始数据可以看出, 排在前 2 位的青脆李和晚香脆, 具有能量、可溶性固形物、总糖和维生素 C 含量高, 总酸含量低, 糖酸比高的优势; 其次是红麦李、乞末李具有水分、能量、可溶性固形物、总糖、维生素 C 含量高的优势。

表 6 主成分得分及排序  
Table 6 Scores and ranking of principal components

种(系)名	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$	$F$	得分排序
晚青脆	-2.09	-2.16	1.30	-2.06	-1.51	15
迟李子	-5.31	1.75	-1.39	1.66	-2.31	16
枫香李	0.18	-0.64	0.04	1.35	0.07	7
红李子	-1.49	3.30	1.00	-1.11	0.11	6
清水李	-0.94	-0.99	-2.52	-1.05	-1.24	13
大土李	-1.29	-0.90	0.62	-0.05	-0.75	12
大麦李	0.44	-2.81	2.47	0.49	0.03	9
脆红李	-2.13	-1.52	0.28	-0.34	-1.40	14
晚香脆	5.29	0.28	-0.83	-0.30	2.52	2
镇江李	0.89	0.29	-1.55	-0.70	0.17	5
高坪李	0.88	-0.76	-2.17	-0.56	-0.18	11
红麦李	0.97	2.17	1.79	-0.87	1.22	3
紫红李	-1.46	2.06	0.83	0.26	-0.07	10
苟江李	0.78	-0.74	-1.43	1.01	0.06	8
青脆李	4.22	1.62	0.40	0.40	2.59	1
乞末李	1.05	-0.94	1.17	1.85	0.68	4

### 2.3.3 聚类分析

对所测 16 份晚熟李品质进行系统聚类分析。由图 1 可以看出,在类间距离 10 时聚为 4 类,高坪李和清水李聚为一类。这一类含酸量和矿质元素含量低,但维生素 C 含量高,鲜食营养价值差。枫香李、红麦李和乞末李聚为一类。这一类能量、可溶性固形物、总糖、总酸、磷、钾含量高,鲜食营养价值高。晚香脆、镇江李、苟江李、迟李子、红李子和脆红李聚为一类。这一类膳食纤维、钙含量高,鲜食营养价值也相对较低;晚青脆、大土李、紫红李、青脆李和大麦李聚为一类。这一类能量、糖酸比、氨基酸总量、铜、锰含量高,鲜食营养价值也相对较高。聚类分析与综合评分结果基本一致。说明营养成分间既有差异,又有一定规律,通过聚类分析将其差异进行归类,可以使数据结果更为客观,营养成分分类更加科学。

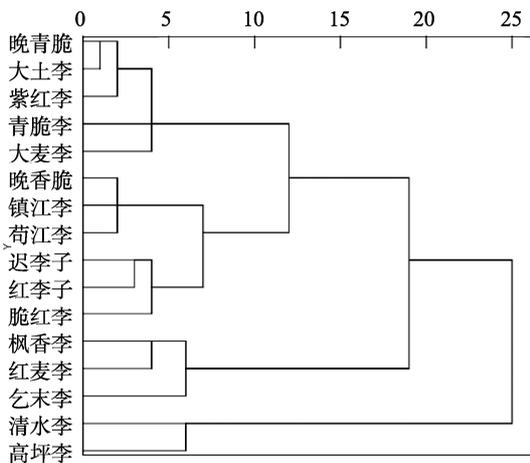


图 1 16 份晚熟李果实品质的系统聚类分析  
Fig.1 Cluster analysis of 16 late-ripening plums

## 3 讨论与结论

果蔬品种间营养成分的差异性一直是人们研究的热点,通过对品种间果实的营养成分分析,可以筛选品质较优的品种<sup>[19-20]</sup>。贵州晚熟李资源果实富含多种对人体健康有益的成分,具有较高食用价值,但 16 份晚熟李间差异较大。本研究结果与广西 9 种主要水果的能量 67.44 Kcal/100 g 相比,贵州晚熟李资源果品属于低能量型水果<sup>[21]</sup>。可溶性固形物有 6 份属中量(12.5%~14.4%)类型<sup>[22]</sup>;有 2 份属于高量(14.5%~16.4%)类型。总糖含量多数属于中量(7%~8.9%)类型;有 3 份属于高量(9%~10.9%)类型;有 2 份还≥11%属于极高类型。总酸有 3 份属于低量(0.8%~1.1%)类型;其他均<0.8%,属于极低量类型。氨基酸总量和必需氨基酸含量较李晓亮<sup>[23]</sup>、周丹蓉等<sup>[15]</sup>和颜孙安等<sup>[14]</sup>的测试值高。究其原因,可能是由于所采用的种(系)不同或者立地的土壤和气候环境不同。

矿质元素以钾含量最高,其次是磷,再其次为钙和镁,铜和锰含量极少;钾、镁和磷的变幅较小,含量相对较为稳定。因此,栽培时应多施钾肥、磷肥和钙肥及镁肥。必需氨基酸/氨基酸总量和必需氨基酸/非氨基酸总量以迟李子为最高,分别为 30.71%和 44.31%,不符合 FAO/WHO 提出的 40%左右和大于 60%的理想蛋白质标准<sup>[17]</sup>。可根据蛋白质互补法和其他果蔬蛋白质混合食用,从而有效提高不同食物的营养利用价值<sup>[24-25]</sup>。贵州晚熟李资源果实的药用氨基酸均值占氨基酸总量均值的 57.49%,从药用氨基酸含量上验证了前人对李有较高的药用和保健价值的认识<sup>[1]</sup>。

本研究简化了评价贵州晚熟李资源营养成分的 7 个核心指标是:可溶性固形物、总糖、能量、水分、钙、钾和总酸。16 份贵州晚熟李资源果实品质的综合得分排序为青脆李>晚香脆>红麦李>乞末李>镇江李>红李子>枫香李>苟江李>大麦李>紫红李>高坪李>大土李>清水李>脆红李>晚青脆>迟李子。排名前 4 位的种(系)可作为新品种选育的候选优系。聚类分析将 16 份贵州晚熟李资源果实的营养成分聚为 4 类,聚类分析使结果更为客观,分类结果更为科学,为差异化利用其营养保健功能提供了理论依据。

本研究的 16 份晚熟李分布区域大,而且贵州立体气候比较明显,影响果实品质营养价值的因素除资源本身固有特性外,还受土壤、气候、栽培管理等方面的影响。因此,筛选出的资源是否优良,仍需进一步作区域化栽培实验验证。本研究结果不仅有助于人们了解和认识贵州晚熟李资源的营养价值及其特性,同时也可晚熟李新品种选育提供参考。

## 参考文献

- [1] 陈杰忠. 果树栽培学各论[M]. 北京: 中国农业出版社, 2009.  
CHEN JZ. Monodicy on fruit cultivation [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2009.
- [2] 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 WS, ZHANG QP, MA XX, *et al.* Fruit scientific research in new China in the past 70 years: Plum [J]. J Fruit Sci, 2019, 36(10): 1320-1338.
- [3] 蔡永强, 彭志良. 贵州优质李栽培管理技术要点[J]. 农技服务, 2019, 36(4): 14-18.  
CAI YQ, PENG ZL. Key points of cultivation and management technology of high quality plum in Guizhou [J]. Agric Technol Serv, 2019, 36(4): 14-18.
- [4] 宋永宏, 杨晓华, 李静江, 等. 不同杏品种果实营养成分分析及综合评价[J]. 中国农学通报, 2018, 34(23): 65-71.  
SONG YH, YANG XH, LI JJ, *et al.* Fruits of apricot cultivars: Nutritional components analysis and comprehensive evaluation [J]. Chin Agric Sci Bull, 2018, 34(23): 65-71.
- [5] 程大伟, 何莎莎, 李明, 等. 不同葡萄品种果实营养品质差异及综合评价[J]. 江西农业学报, 2020, 32(10): 72-76.  
CHENG DW, HE SS, LI M, *et al.* Difference and comprehensive evaluation of fruit nutritional quality of different grape varieties [J]. Acta

- Agric Jiangxi, 2020, 32(10): 72–76.
- [6] 李刚风, 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 the nutritional quality of *Prunus salicina* Lindl. Cv 'Shazi Kongxinli' fruit [J]. Food Ferment Ind, 2020, 46(12): 264–270.
- [7] 李勋兰, 洪林, 杨蕾, 等. 11 个柑橘品种果实营养成分分析与品质综合评价[J]. 食品科学, 2020, 41(8): 228–233.  
LI XL, HONG L, YANG L, *et al.* Analysis of nutritional components and comprehensive quality evaluation of citrus fruit from eleven varieties [J]. Food Sci, 2020, 41(8): 228–233.
- [8] 郝麒麟, 黄先智, 贺燕, 等. 基于主成分分析法评价巫山脆李食用品质[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(19): 251–257.  
HAO QL, HUANG XZ, HE Y, *et al.* Evaluation of Wushan plum edible quality based on principal component analysis [J]. Food Ferment Ind, 2020, 46(19): 251–257.
- [9] 张绍阳, 吴妹, 肖海燕, 等. 贵州沿河沙子空心李果实营养分析与评价[J]. 食品工业, 2020, 41(3): 340–343.  
ZHANG SY, WU S, XIAO HY, *et al.* Nutritional characteristics of Shazikongxinli fruits produced in Yanhe county [J]. Food Ind, 2020, 41(3): 340–343.
- [10] 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 LY, PU GL. Fruit quality analysis and comprehensive evaluation of *Cerasus humilis* varieties in Chengdu area [J]. J Sichuan Agric Univ, 2020, 38(1): 71–78.
- [11] 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 BY, QU S, LIU XJ, *et al.* Quality analysis and comprehensive evaluation of different varieties in plum fruits [J]. Northern Hortic, 2019, 2: 25–29.
- [12] 夏乐哈, 回经涛, 陈玉玲, 等. 不同品种(系)李果实外观和内在品质的比较[J]. 经济林研究, 2019, 37(1): 125–132.  
XIA LH, HUI JT, CHEN YL, *et al.* Comparison of appearance and internal qualities of different varieties (accessions) of *Prunus salicina* fruits [J]. Nonwood Forest Res, 2019, 37(1): 125–132.
- [13] 杨月欣. 中国食物成分表标准版(第 6 版第一册)[M]. 北京: 北京大学医学出版社, 2018.  
YANG YX. The standard edition of food composition list in China (volume 1, version 6) [M]. Beijing: Peking University Medical Press, 2018.
- [14] 颜孙安, 钱爱萍, 姚清华, 等. 闽产李果实氨基酸组成及其营养分析[J]. 热带亚热带植物学报, 2012, 20(6): 571–577.  
YAN SAN, QIAN AIP, YAO QH, *et al.* Amino acid composition and nutrition analysis of plum fruits in Fujian province [J]. J Trop Subtropical Botany, 2012, 20(6): 571–577.
- [15] 周丹蓉, 廖汝玉, 叶新福. 李果实氨基酸种类和含量分析[J]. 中国南方果树, 2012, 41(2): 25–28.  
ZHOU DR, LIAO RY, YE XF. Analysis of the compositions and contents of amino acids in plums [J]. South China Fruits, 2012, 41(2): 25–28.
- [16] 姜帆, 陈秀萍, 胡文舜, 等. 32 份龙眼种质资源花氨基酸的分析评价[J]. 福建农业学报, 2015, 30(1): 26–32.  
JIANG F, CHEN XP, HU WS, *et al.* Analysis of amino acid in *Dimocarpus Longan* lour flower [J]. Fujian J Agric Sci, 2015, 30(1): 26–32.
- [17] Food and Agriculture Organization of the United Nations, World Health Organization. Energy and protein requirements: Report of a joint FAO/WHO Ad Hoc expert committee [Z].
- [18] 杨旭昆, 汪禄祥, 叶艳萍, 等. 7 种云南产核桃中 17 种氨基酸含量测定与必需氨基酸模式分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(6): 1889–1894.  
YANG XK, WANG LX, YE YP, *et al.* Quantitative determination of 17 kinds of amino acids and pattern analysis of essential amino acids in 7 local walnut varieties in Yunnan province [J]. J Food Saf Qual, 2020, 11(6): 1889–1894.
- [19] 赵法仪, 郭俊生, 陈洪章. 大豆平衡氨基酸营养价值的研究[J]. 营养学报, 1986, 8(2): 153–159.  
ZHAO FJ, GUO JS, CHEN HZ. Study on nutritional value of balanced amino acid in soybean [J]. J Nutr, 1986, 8(2): 153–159.
- [20] 孙锐, 孙蕾, 贾明, 等. 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 R, SUN L, JIA M, *et al.* Nutritional ingredient analysis of some introduced cultivars of *Ficus carica* in Shandong [J]. Nonwood Forest Res, 2014, 32(4): 63–67.
- [21] 方志峰, 朱婷, 张若杰, 等. 广西 9 种主要水果食物营养成分分析及评价[J]. 应用预防医学, 2018, 24(4): 281–284.  
FANG ZF, ZHU T, ZHANG RJ, *et al.* Analysis and evaluation of nutritional constituents of 9 main fruits in Guangxi [J]. J Appl Prev Med, 2018, 24(4): 281–284.
- [22] 孙升. 李属资源若干数量性状评价标准探讨[J]. 园艺学报, 1999, (1): 9–14.  
SUN S. Study on the evaluating criteria of some quantitative character of plum resources [J]. Acta Hortic Sin, 1999, (1): 9–14.
- [23] 李晓亮. 欧李的营养成分测定与分析[J]. 农学学报, 2015, 5(8): 97–100.  
LI XL. Determination and analysis of nutritional content in *Prunus humilis* [J]. J Agric, 2015, 5(8): 97–100.
- [24] 张泽煌, 钟秋珍, 林旗华. 杨梅果实氨基酸组成及营养评价[J]. 热带作物学报, 2012, 33(12): 2279–2283.  
ZHANG ZH, ZHONG QZ, LIN QH. The content of amino acid of Chinese bayberry fruit and its nutritive evaluation [J]. Chin J Trop Crop, 2012, 33(12): 2279–2283.
- [25] 钱爱萍, 林虬, 余亚白, 等. 闽产柑橘果肉中氨基酸组成及营养评价[J]. 食品科学, 2008, 24(6): 86–90.  
QIAN AIP, LIN Q, YU YB, *et al.* The content of amino acid in the flesh of oranges produced in Fujian province and its nutritive evaluation [J]. Chin Agric Sci Bull, 2008, 24(6): 86–90.

(责任编辑: 张晓寒 郑丽)

## 作者简介



陈守一, 副研究员, 主要研究方向为李资源与遗传育种研究。

E-mail: gjscsy008518@163.com