

贵州不同地区刺梨的综合品质对比分析

俞露, 赵芷, 张文欣, 任廷远

(贵州大学酿酒与食品工程学院, 贵州贵阳 550025)

摘要: 为了筛选出贵州省较优刺梨品种、能为大规模种植、培育以及刺梨药食商品的加工提供科学依据, 本文以贵州省二十二个地区采摘的刺梨果实为原料, 测定其可溶性固形物、可滴定酸、可溶性蛋白、维生素 C、SOD 酶活性、氨基酸含量等基本营养成分, 对不同地区的刺梨进行综合品质对比分析。并采用相关性分析、主成分分析、建立综合得分模型以及聚类分析方法对贵州省不同地区刺梨品质进行综合评价。结果表明: 不同地区之间的刺梨果实综合品质指标均存在显著性差异 ($p < 0.05$), 其中维生素 C 含量差异很大; 除 SOD 活性指标外, 其余指标之间存在显著相关性 ($p < 0.05$); 仁怀地区的可溶性固形物、总糖、可溶性蛋白和维生素 C 含量最高, 印江地区的还原糖含量和 SOD 活性最高, 望谟地区的氨基酸含量最高, 德江地区的各综合品质指标含量均偏高; 提取出了三个主成分 (特征值 > 1), 累积方差贡献率达到了 75.162%; 建立综合得分模型 $F_{\text{总}} = 0.468F_1 + 0.327F_2 + 0.205F_3$, 得到刺梨品质从优到劣排序为: RH>YJ>DJ>WM>LD>ZA>DZ>PD>HZ>LD>CS>LL>DF>BJ>ZN>KL>FG>AS>MJ>SN>SC>LZ>PZ; 在欧式距离为 20 时, 可对不同地区的刺梨综合品质按优劣划分成 3 类, 聚类分析与主成分分析结果基本一致。结合以上分析, 可判断出德江、仁怀、印江和望谟这四个地区刺梨果实综合品质较好, 且果实品质与海拔存在紧密联系, 因此可考虑开发利用来自这些海拔地区的良好刺梨资源。

关键词: 刺梨; 综合品质; 主成分分析; 综合评价; 聚类分析

文章编号: 1673-9078(2021)07-184-193

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.7.0041

Comparative Comprehensive Quality Analysis of *Rosa roxburghii* Fruit from Different Regions in Guizhou Province

YU Lu, ZHAO Zhi, ZHANG Wen-xin, REN Ting-yuan

(College of Brewing and Food Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract: To identify superior *Rosa roxburghii* cultivars in Guizhou and provide a scientific basis for large-scale planting, cultivation, and processing of medicinal *Rosa roxburghii* products, this study examined *Rosa roxburghii* fruits from 22 regions of Guizhou by determining their basic nutritional content. Measured values include soluble solids, titratable acids, soluble proteins, vitamin C, and superoxide dismutase (SOD) activity. Overall quality of *Rosa roxburghii* fruit from different regions was analyzed and compared. Correlation analyses, principal component analyses, and cluster analyses were performed, and a scoring model was constructed to comprehensively evaluate *Rosa roxburghii* fruit quality. Significant differences were identified in the comprehensive quality indices of *Rosa roxburghii* fruits from different regions ($p < 0.05$). In particular, vitamin C content varied greatly. Except for SOD activity index, a significant correlation was observed between all other indices ($p < 0.05$). Soluble solid, total sugar, soluble protein, and vitamin C contents were the highest in fruit from the Renhuai region, whereas reducing sugar content and SOD activity were the highest in those from the Yinjiang region. Amino acid content was the highest in fruit grown in the Wangmo region. All comprehensive quality indices were relatively high in fruit from the Dejiang region. Three principal components (eigenvalue > 1) were identified, and the cumulative variance contribution rate reached 75.162%. According to the comprehensive scoring model $F_{\text{synthesis}} = 0.468F_1 + 0.327F_2 + 0.205F_3$, the *Rosa roxburghii* fruit-growing regions are ranked in descending order of overall fruit quality as follows: RH>YJ>DJ>WM>LD>ZA>DZ>PD>HZ>LD>CS>LL>DF>BJ>ZN>KL>FG>AS>MJ>SN>SC>LZ>PZ. When the Euclidean distance is

引文格式:

俞露, 赵芷, 张文欣, 等. 贵州不同地区刺梨的综合品质对比分析[J]. 现代食品科技, 2021, 37(7): 184-193

YU Lu, ZHAO Zhi, ZHANG Wen-xin, et al. Comparative comprehensive quality analysis of *Rosa roxburghii* fruit from different regions in Guizhou province [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(7): 184-193

收稿日期: 2021-01-11

基金项目: 贵州省林业局科技项目 (黔林科合[2020]2015); 贵州大学培育项目 (黔科合平台人才[2017]5788-24)

作者简介: 俞露 (1982-), 女, 博士, 高级实验师, 研究方向: 农产品贮藏与加工

20, *Rosa roxburghii* fruits from different regions can be divided into three categories according to their overall quality, and the results of cluster analysis are basically consistent with those of principal component analysis. *Rosa roxburghii* fruits in Dejiang, Renhuai, Yinjiang, and Wangmo were found to be of better overall quality. Fruit quality is thus closely correlated with altitude. Therefore, good-quality *Rosa roxburghii* fruits from high-altitude regions should be considered for exploitation and utilization.

Key words: *Rosa roxburghii* fruits; overall quality; principal component analysis; comprehensive evaluation; clustering analysis

刺梨 (*Rosa roxburghii*) 为蔷薇科多年生落叶灌木缢丝花的果实, 又名金黄果、茨梨、刺梨子, 果实多为扁圆球形, 横径一般为 2 cm 至 4 cm, 8 月至 9 月果实成熟, 呈黄色^[1]。果皮上密生小肉刺, 果实内含有丰富的维生素 C、超氧化物歧化酶、氨基酸等营养物质, 尤其维生素 C 含量是其它单果作物(番茄、猕猴桃等)的几倍甚至几十倍^[2-7], 所以刺梨享有“维生素 C 之王”之称。Xu 等^[8,9]研究表明, 刺梨黄酮可促进胸腺细胞和雄性昆明小鼠胸腺组织抗凋亡蛋白表达, 减少细胞凋亡, 增强机体的辐射防护。刺梨还具有调节机体免疫功能、解毒、镇静、延缓衰老、抗动脉粥样硬化、清除体内自由基等功能^[10,11], 它的营养和药用价值逐渐被利用起来。其富含超氧化物歧化酶(SOD)含量高达 6000 U/100 mL, 达野生水果之冠, 故被称为第三代水果(3G)的代表, 营养价值是前两代水果的几百倍甚至上千倍^[12]。Xu 等^[13]研究中表明刺梨果实中的 SOD 和维生素 C 能够平衡人体的氧化应激, 从而减少慢性疾病的风险和发病率。刺梨富含的氨基酸除了能通过其代谢形成风味物质以外, 还具有营养和临床特性, Lu 等^[14]对三个不同基因型刺梨进行了氨基酸组成鉴定, 检测到了 17 种氨基酸和 9 种代谢产物, 为刺梨果实的种质资源开发提供了依据。刺梨因其高营养价值和药用价值, 在全国范围内掀起了被研究的热潮^[15,16]。

刺梨果实主要分布在中国西南地区的四川、云南、贵州等省份, 尤其在贵州各地区均可见其分布^[17]。目前, 全省刺梨集中连片种植面积达 156 万亩以上, 有 15 个县开展了规模化刺梨种植, 种植规模全国第一; 全省刺梨产业加工企业 40 家, 年加工鲜果 8 万 t; 刺梨产业累计带动 108.3 万农民增收致富^[18]。目前在贵州推广种植的刺梨品种主要为“贵农 5 号”^[19]和“贵农 7 号”^[20], 是刺梨中培育出的优选品种。

不同地区的海拔、经纬度和土壤等都会影响刺梨的品质。目前, 针对贵州全范围内的刺梨品质分析比较较少, 大多是以某几个具体的地区或不同品种为调查对象。李胜海等^[21]以贵州黔西县 14 个不同株系野生刺梨果实为材料, 测定野生刺梨果实外在品质和内在品质, 并对其果实品质进行分析和讨论。张晓娟等^[22]以安顺金刺梨、科技刺梨和野生刺梨为材料, 采用

常规分析法对 3 种刺梨的外观品质、常规营养成分及挥发油成分进行分析。对贵州不同地区的刺梨相关品质分析较少, 仅李婕玲等^[23]以贵州 14 个乡镇无籽刺梨果实为材料, 通过主成分分析、逐步回归分析和聚类分析研究方法, 结果表明其中糖酸比、固酸比、可食率和可溶性糖含量 4 个代表性指标对无籽刺梨果实品质综合评价的贡献最大。李婕玲^[24]针对贵州无籽刺梨主要种植地区生长环境条件, 从土壤肥力和健康角度出发, 对贵州无籽刺梨主要种植地区土壤进行了综合评价和健康评估。选取果实品质评价的 10 个主要指标, 建立不同种植地区无籽刺梨果实品质评价标准的模型, 评价无籽刺梨的地区适宜性。目前尚未有贵州不同地区刺梨综合品质对比分析的报道, 其品质差异还不清楚。

因此针对贵州刺梨的巨大发展潜力, 开展对贵州不同地区刺梨果实品质的研究具有十分重要理论意义。本文基于对贵州刺梨各个生长地区资源调查的基础上, 采摘收集了大量样本, 以研究贵州不同地区刺梨果实综合品质。主要从可溶性固形物、可滴定酸、总糖、可溶性蛋白, 类黄酮, 维生素 C、SOD 酶活性和氨基酸等 10 个指标, 通过相关性分析, 主成分分析以及聚类分析来评价贵州省不同地区刺梨品质的差异性, 根据不同地区刺梨的品质优势筛选优质的刺梨品种, 为后期刺梨品种的筛选, 大规模的种植、培育, 刺梨药食商品的加工提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

2018 年 9 月采摘贵州省二十二个县(区)的刺梨: 1 号思南县思塘镇(SN)、2 号印江县杨柳镇(YJ)、3 号望谟县乐旺镇(WM)、4 号道真县三桥镇(DZ)、5 号德江县煎茶镇(DJ)、6 号凤岗县龙泉镇(FG)、7 号仁怀市长岗镇(RH)、8 号龙里县龙山镇(LL)、9 号盘州市刘官镇(PZ)、10 号凯里市旁海镇(KL)、11 号麻江县贤昌镇(MJ)、12 号正安县流渡镇(ZA)、13 号罗甸县沫阳镇(LD)、14 号水城区蟠龙镇(SC)、15 号六枝区岩脚镇(LZ)、16 号长顺县摆所镇(CS)、17 号镇宁县城关镇(ZN)、18 号安顺市双堡镇(AS)、

19号普定县马关镇(PD)、20号毕节市普宜镇(BJ)、21号大方县响水乡(DF)、22号赫章县六曲河镇(HZ);以上采摘的刺梨均为野生、未被鉴定的品种。

选择适宜成熟度、无病虫害、无机械损伤的果实

进行收集采收, 采后及时运送到贵州大学酿酒与食品工程学院果蔬贮藏研究室。散去田间热, 预冷 24 h 后, 按 2.5 kg/袋分装, 贮藏于 1 ± 1 °C 冷库中, 以便之后研究刺梨果实的具体品质指标。

表 1 贵州省二十二个县(区)刺梨产地的环境情况

Table 1 Environmental conditions present in *Rosa roxburghii*-producing regions in 22 counties (districts) of Guizhou province

地区编号	地名	海拔/m	经度	纬度	年平均气温/°C	年平均降水量/mm
SN	思南县思唐镇	477.8	108.2	27.9	17.4	1137.5
YJ	印江县杨柳镇	485.7	108.4	27.9	16.8	1100
WM	望谟县乐旺镇	621.6	107.8	27.97	19	1222.5
DZ	道真县三桥镇	783	107.5	28.7	16	1046.3
DJ	德江县煎茶镇	789.6	107.9	28.1	17.3	1230.7
FG	凤岗县龙泉镇	830.3	107.7	28.02	15.2	1257.1
RH	仁怀市长岗镇	960	106.4	27.8	17.7	1038.9
LL	龙里县龙山镇	1102.85	106.98	26.4972	14.8	1100
PZ	盘州市刘官镇	1665.46	104.76	25.8	14.1	1400
KL	凯里市旁海镇	745.81	108.04	26.6823	16	1240
MJ	麻江县贤昌镇	950.51	107.57	26.3921	14.3	1178.6
ZA	正安县流渡镇	692.9	107.43	28.56	17	1261
LD	罗甸县沫阳镇	992.2	106.88	25.6314	20	1200
SC	水城区蟠龙镇	1402	105.14	26.33	12.4	1018
LZ	六枝区岩脚镇	1412	105.34	26.12	14.5	1476.4
CS	长顺县摆所镇	1462	106.45	26.03	15.6	1531
ZN	镇宁县城关镇	1274.09	105.78	26.0412	16.2	1277
AS	安顺市双堡镇	1291	106.1	26.15	14.3	1360
PD	普定县马关镇	1405	105.75	26.32	15.1	1378.2
BJ	毕节市普宜镇	1468	105.29	27.32	12.5	954
DF	大方县响水乡	1680	105.61	27.16	11.8	1150.4
HZ	赫章县六曲河镇	1996	104.72	27.13	11	923

1.2 试剂与仪器

氢氧化钠、葡萄糖、3,5-二硝基水杨酸、偏磷酸、硝酸铝、亚硝酸钠、钼酸铵均购于天津科密欧化学试剂有限公司; 酚酞、蒽酮: 上海源叶生物科技有限公司; 浓硫酸: 重庆川东化工有限公司; 考马斯亮蓝: 北京索莱宝科技有限公司。以上试剂均为分析纯; SOD 试剂盒: 购于南京建成生物工程研究所。

SynergyH 酶标仪: 美国 BioTeK 公司; HI-16KR 型高速冷冻离心机: 湖南可成仪器设备有限公司; XMTD-204 型数显恒温水浴锅: 上海梅香仪器有限公司; TU-1810PC 紫外可见分光光度计: 北京普析通用仪器有限责任公司; PAL-1 型手持式折光仪: 广州市爱宕科学仪器有限公司; FA2004 精密天平: 天津天马衡基仪器有限公司; JJ-2 高速组织捣碎机: 无锡沃信仪器制造有限公司; L-8800 氨基酸自动分析仪: 日本

日立公司。

1.3 试验方法

1.3.1 样品处理方法

每个地区随机选取成熟度、大小均一致的刺梨果实 10 个, 重复 3 次, 去蒂去籽以及表面杂质, 放入高速组织捣碎机捣碎后, 放于 -80 °C 冰箱备用。

1.3.2 指标测定方法

可溶性固形物含量由手持式折光仪法测定; 可滴定酸含量由酸碱滴定法测定; 可溶性总糖含量由蒽酮比色法测定; 还原糖含量由 3,5-二硝基水杨酸比色法测定; 可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝染色法测定^[25]; 硝酸铝显色法测定类黄酮含量^[26]; 维生素 C 含量采用钼蓝比色法测定^[27]; 羟胺法测定 SOD 活性; 氨基酸含量测定: 参考 GB 5009.124-2016《食品中氨基酸的测定》^[28]氨基酸自动分析仪法对不同地区的刺

梨测定 17 种水解氨基酸组成。

1.4 数据处理

采用 Excel、SPSS 软件对上述测得的数据进行统计分析, 采用单因素方差分析方法和 LSD、Waller-Duncan 法进行方差分析和多重比较 ($\alpha=0.05$), 然后对所测样本的数据进行相关性分析、主成分分析以及聚类分析; 使用 Origin 2019 软件进行绘图, 所有实验均进行三次重复。

2 结果与分析

2.1 不同地区刺梨果实综合品质指标分析

可溶性固形物是反映果实中主要营养物质多少的指标, 和糖酸含量一起影响着刺梨果实的营养和风味。由表 2 可知, 不同地区之间的可溶性固形物含量差异显著 ($p<0.05$), 其中仁怀地区的含量最高, 为 17.82%, 显著高于其它地区, 说明仁怀地区的刺梨果实营养物质最高; 其它地区分布在 8%~12% 之间。刺梨果实的

酸味主要来源于可滴定总酸, 二十二个地区的可滴定酸含量分布在 0.61%~1.58%, 其中罗甸地区的可滴定酸含量最高, 为 1.58%; 六枝地区的可滴定酸含量为 0.61%, 显著低于其地区。与李跃红等人^[29]在不同产地刺梨果实品质研究中的可溶性固形和可滴定酸含量范围一致。可溶性固形含量升高, 酸含量会减少, 果实风味会有较大提升。不同地区刺梨的总糖和还原糖含量也存在显著性差异, 在敖芹等人^[30]对贵州刺梨气候适宜性研究的结果显示, 地区温度过高或者过低, 都不利于水溶性总糖和还原糖的合成。仁怀地区的总糖含量最高, 为 9.37%, 且显著高于其它地区; 毕节地区的总糖含量最低且显著低于大部分地区, 与普定和大方两个地区之间差异不太显著 ($p>0.05$)。印江地区的还原糖含量最高, 为 7.09%, 其它地区还原糖含量分布在 3%~6% 之间, 不同地区之间差异显著。不同地区的固酸比也存在着显著差异, 六枝地区的固酸比最高, 为 15.37; 大方地区的固酸比最低, 为 6.4。固酸比影响着果实的口感, 说明六枝地区的刺梨果实口感更佳。

表 2 贵州省二十二个县(区)的刺梨综合品质指标

Table 2 Comprehensive quality indices of *Rosa roxburghii* fruit from 22 counties (districts) of Guizhou province

地区	可溶性固形物/%	可滴定酸/%	总糖/%	还原糖/%	固酸比
SN	8.90±0.06 ^f	1.22±0.01 ^{cd}	6.07±0.03 ^d	3.17±0.16 ^e	7.28±0.01 ^{fg}
YJ	12.31±0.00 ^c	1.40±0.02 ^{bc}	8.38±0.01 ^b	7.09±0.15 ^a	8.79±0.13 ^{de}
WM	11.64±0.29 ^{cd}	1.29±0.23 ^c	6.27±0.00 ^d	5.55±0.02 ^b	9.22±0.43 ^{de}
DZ	10.15±0.33 ^e	1.34±0.15 ^{bc}	6.21±0.17 ^d	4.16±0.99 ^d	7.55±0.25 ^f
DJ	14.00±0.12 ^b	1.11±0.02 ^d	7.96±0.06 ^b	5.08±0.02 ^{bc}	12.62±0.30 ^b
FG	9.37±0.00 ^{ef}	1.30±0.01 ^c	6.47±0.07 ^{cd}	3.14±0.08 ^e	7.19±0.03 ^{fg}
RH	17.82±0.04 ^a	1.42±0.03 ^{bc}	9.37±0.01 ^a	5.48±0.04 ^b	12.58±0.25 ^b
LL	10.81±0.00 ^{de}	1.23±0.06 ^{cd}	5.25±0.01 ^e	4.64±0.03 ^c	8.78±0.43 ^{de}
PZ	8.10±0.12 ^f	0.86±0.06 ^e	5.12±0.82 ^e	3.34±0.22 ^e	9.44±0.19 ^d
KL	11.30±0.06 ^d	1.19±0.01 ^{cd}	6.85±0.06 ^c	3.41±0.19 ^e	9.53±0.10 ^d
MJ	9.70±0.50 ^{ef}	1.14±0.03 ^d	6.14±0.65 ^d	3.40±0.26 ^e	8.52±0.17 ^e
ZA	11.17±0.00 ^d	1.30±0.01 ^c	6.42±0.03 ^{cd}	4.46±0.11 ^{cd}	8.61±0.04 ^e
LD	11.20±0.29 ^d	1.58±0.01 ^a	6.14±0.25 ^d	5.10±0.08 ^{bc}	7.11±0.20 ^{fg}
SC	9.90±0.06 ^{ef}	1.04±0.01 ^d	5.12±0.08 ^e	3.37±0.03 ^e	9.52±0.11 ^d
LZ	9.32±0.00 ^{ef}	0.61±0.01 ^f	6.21±0.01 ^d	5.08±0.07 ^{bc}	15.37±0.52 ^a
CS	11.80±0.12 ^{cd}	1.03±0.01 ^d	5.27±0.02 ^e	3.78±0.09 ^{de}	11.49±0.05 ^c
ZN	10.30±0.06 ^{de}	1.10±0.02 ^d	4.86±0.05 ^e	3.63±0.01 ^e	9.40±0.22 ^{de}
AS	8.88±0.02 ^f	1.27±0.05 ^c	4.94±0.57 ^e	4.00±0.02 ^{de}	7.01±0.24 ^{fg}
PD	9.57±0.26 ^{ef}	1.42±0.02 ^{bc}	4.14±0.08 ^f	3.76±0.11 ^{de}	6.74±0.28 ^g
BJ	9.47±0.10 ^{ef}	1.43±0.02 ^b	4.1±0.07 ^f	3.63±0.10 ^e	6.61±0.06 ^g
DF	9.37±0.00 ^{ef}	1.46±0.03 ^{ab}	4.27±0.03 ^f	3.71±0.02 ^{de}	6.40±0.13 ^g
HZ	10.87±0.00 ^{de}	1.47±0.03 ^{ab}	6.00±0.03 ^d	3.76±0.04 ^{de}	7.38±0.13 ^{fg}

注: 表中数据均为均值±标准差, 表内同列数字后不同英文字母表示差异达到显著水平 ($p<0.05$)。下表同。

刺梨果实中蛋白质含量不是特别高,它是人体必需的营养素之一。由表 3 可知,仁怀地区的可溶性蛋白含量最高,为 26.29%,显著高于其它地区;安顺地区的含量最低,为 11.62%,且显著低于其它地区。类黄酮具有很高的药用价值,不同地区刺梨的类黄酮含量也存在显著差异。其中六枝地区的类黄酮含量最高,为 22.26 mg/100 g,正安地区的含量最低,为 3.55 mg/100 g。刺梨最突出的品质是富含维生素 C 含量^[31],不同地区由于气候、土壤、海拔、经纬度等环境条件的差异,果实维生素 C 含量差异很大,这与白静等人^[32]对不同海拔高度刺梨的维生素 C 含量的研究结果一致。由表 2-2 可知,贵州 22 个地区的刺梨维生素 C 含量分布在 776.28~2725.32 mg/100 g;其中,望谟县的维生素 C 含量最低,为 776.28 mg/100 g;仁怀的维生素 C 含量最高,为 2725.32 mg/100 g,其余地区的维生素 C 含量大都在 1000~2000 mg/100 g 之间,二者

与其他二十个地区的维生素 C 含量存在显著差异($p<0.05$)。SOD 是非常重要的抗氧化酶,而且刺梨果实中超氧化物歧化酶活性很高。不同地区之间的 SOD 活性主要分布在 330.05 U/g~446.50 U/g,其中印江地区的 SOD 活性最高,为 446.50 U/g,除道真、德江、镇宁和毕节四个地区外,印江与其他地区均存在显著性差异;六枝地区的 SOD 活性最低,为 330.55 U/g,和其它地区存在显著性差异。氨基酸影响着刺梨的口感和质量,自身能表现出呈味特性,它参与了刺梨风味物质的合成,是非常重要的营养物质。与林陶等人^[33]报道一致,不同地区刺梨之间的氨基酸含量分布在 1%~3%之间,且差异显著。望谟地区的含量最高,为 4.44%;水城地区的含量最低,为 1.71%。不同地区的刺梨在不同品质指标上各有优势和劣势,很难判别各地区总体的刺梨果实品质水平,因此要对各个地区的刺梨指标进一步分析,进行综合评价。

表 3 贵州省二十二个县(区)的刺梨综合品质指标

Table 3 Comprehensive quality indices of *Rosa roxburghii* fruit from 22 counties (districts) of Guizhou province

地区	可溶性蛋白/%	类黄酮/(mg/100 g)	维生素 C/(mg/100 g)	SOD 活性/(U/g 组织湿重)	氨基酸含量/%
SN	13.63±0.25 ^e	15.01±0.39 ^{cd}	1681.40±29.69 ^f	359.74±6.58 ^d	3.01±0.01 ^d
YJ	16.37±0.58 ^{de}	14.74±0.93 ^{cd}	2297.97±55.13 ^c	446.50±2.14 ^a	3.38±0.00 ^b
WM	20.04±0.83 ^{bc}	17.59±0.22 ^b	776.28±8.44 ^k	390.99±1.15 ^c	4.44±0.00 ^a
DZ	14.61±0.67 ^e	9.18±0.58 ^e	1977.36±94.57 ^d	429.62±3.88 ^{ab}	3.43±0.09 ^b
DJ	21.02±0.26 ^b	13.50±0.1 ^d	2507.37±14.44 ^b	432.78±3.15 ^{ab}	3.22±0.02 ^c
FG	13.23±0.78 ^e	6.75±0.22 ^f	1707.93±43.72 ^{ef}	368.33±2.75 ^{cd}	2.51±0.01 ^g
RH	26.29±0.90 ^a	14.08±0.9 ^{cd}	2725.32±37.23 ^a	405.13±4.81 ^{bc}	2.41±0.01 ^{gh}
LL	18.11±0.32 ^{cd}	15.60±1.07 ^c	1492.99±21.27 ^{gh}	370.49±6.74 ^{cd}	1.95±0.00 ^j
PZ	14.6±0.67 ^e	16.62±2.55 ^{bc}	896.66±68.06 ^j	350.62±1.94 ^d	2.25±0.00 ^h
KL	13.27±0.38 ^e	9.63±0.61 ^e	1242.67±19.23 ⁱ	384.16±5.43 ^{cd}	2.12±0.11 ⁱ
MJ	16.53±0.27 ^{de}	12.55±0.57 ^{de}	1551.76±18.64 ^g	407.36±4.58 ^{bc}	2.14±0.01 ⁱ
ZA	16.83±0.72 ^d	3.55±2.31 ^g	2243.25±13.82 ^c	398.06±4.08 ^{bc}	2.12±0.01 ⁱ
LD	16.62±0.94 ^d	9.73±0.93 ^e	2222.21±20.50 ^c	401.28±1.55 ^{bc}	1.73±0.20 ^k
SC	17.06±0.62 ^{cd}	9.98±1.26 ^e	2229.76±36.61 ^c	368.71±2.84 ^{cd}	1.71±0.09 ^k
LZ	18.86±0.28 ^c	22.26±1.38 ^a	1380.73±32.25 ^h	330.55±4.92 ^e	2.10±0.03 ⁱ
CS	20.40±0.03 ^{bc}	14.35±0.34 ^{cd}	2202.50±30.34 ^c	381.56±6.26 ^{cd}	2.14±0.23 ⁱ
ZN	19.36±0.17 ^{bc}	10.12±0.66 ^e	2060.32±18.74 ^d	442.66±1.59 ^{ab}	2.20±0.01 ^{hi}
AS	11.62±0.87 ^f	10.20±0.47 ^e	1818.74±24.64 ^e	419.57±6.74 ^b	3.06±0.06 ^d
PD	18.86±0.55 ^c	10.74±0.49 ^e	2575.86±10.92 ^b	417.25±3.28 ^b	2.89±0.11 ^e
BJ	16.83±0.45 ^d	11.69±1.61 ^{de}	1972.20±27.21 ^d	424.84±5.26 ^{ab}	2.49±0.26 ^g
DF	15.46±0.37 ^{de}	12.20±0.61 ^{de}	2236.23±21.38 ^c	336.33±1.45 ^d	2.62±0.02 ^f
HZ	14.74±0.29 ^e	6.81±0.32 ^f	1667.65±16.74 ^f	348.65±5.60 ^d	2.30±0.06 ^h

表 4 贵州省二十二个县(区)刺梨综合品质指标相关系数

Table 4 Correlation coefficients of quality indices of *Rosa roxburghii* fruit from 22 counties (districts) of Guizhou province

指标	可溶性固形物	可滴定酸	固酸比	总糖	还原糖	可溶性蛋白	类黄酮	维生素 C	SOD 活性	氨基酸含量
可溶性固形物	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
可滴定酸	0.245	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-
固酸比	0.478*	-0.699**	1.000	-	-	-	-	-	-	-
总糖	0.778**	0.061	0.485*	1.000	-	-	-	-	-	-
还原糖	0.592**	0.154	0.367*	0.626**	1.000	-	-	-	-	-
可溶性蛋白	0.753**	-0.079	0.624**	0.375*	0.462*	1.000	-	-	-	-
类黄酮	0.047	-0.547**	0.574**	0.099	0.358	0.360*	1.000	-	-	-
维生素 C	0.462*	0.408*	-0.008	0.179	0.202	0.401*	-0.352	1.000	-	-
SOD 活性	-0.286	-0.283	0.025	0.107	0.083	-0.321	0.255	-0.276	1.000	-
氨基酸含量	0.100	0.221	-0.128	0.199	0.380*	0.013	0.216	-0.130	0.070	1.000

注: **表示在 $p < 0.01$ 水平上显著相关, *表示在 $p < 0.05$ 水平上显著相关。

2.2 不同地区刺梨综合品质指标相关性分析

对贵州省二十二个不同地区的刺梨综合品质进行相关性分析之后,由表 4 可知,可溶性固形物与总糖、还原糖和可溶性蛋白呈极显著正相关 ($p < 0.01$),和固酸比、维生素 C 呈显著正相关 ($p < 0.05$);可溶性固形物中包括可溶性糖类、蛋白和维生素等,所以它们之间呈正相关。可滴定酸和固酸比、类黄酮呈极显著负相关,和维生素 C 呈显著正相关;穆瑞等^[34]研究中表明,维生素 C 也是有机酸的一类,刺梨果实中维生素 C 含量占总酸含量的 67%,和研究结果一致,它们之间存在显著正相关。可滴定酸和类黄酮含量之间呈极显著负相关性,这与黄酮合成对有机酸底物的消耗存在一定联系。固酸比和总糖、还原糖呈显著正相关,和可溶性蛋白、类黄酮呈极显著正相关;总糖和还原糖呈极显著正相关,和可溶性蛋白呈显著正相关;还原糖和可溶性蛋白、氨基酸含量呈显著正相关;糖酸和氨基酸含量都会影响刺梨的风味,所以它们之间会存在显著正相关性。可溶性蛋白和类黄酮、维生素 C 呈显著正相关;SOD 活性与其它品质指标间不存在显著相关性,它是抗氧化指标,其他指标主要是感官品质和功能营养品质指标,存在相关性不大。除 SOD 活性指标之外,其余品质指标之间都存在一定的相关性,故有必要选取具有代表性的评价指标,消除变量间的相关性,降低数据处理的冗余性。

2.3 不同地区刺梨综合品质指标主成分分析

将表 2 中二十二个地区刺梨的 10 个综合品质指标数据进行主成分分析,KMO 和 Bartlett 检验结果得到,KMO 为 0.568,达到大于 0.5 的标准;显著性为 0.000,小于显著水平 0.05,适合使用主成分分析方法。由表

5 可以看出,提取出三个主成分(特征值 >1),累积方差贡献率达到了 75.162%,表明提取的三个主成分能得到绝大多数原变量信息。

表 5 不同地区刺梨果实综合品质的特征值和累积方差贡献率

Table 5 Eigen values and cumulative variance contribution rates of principal components among quality indices of *Rosa roxburghii* fruit from different regions

主成分	特征值	方差贡献率/%	累积方差贡献率/%
1	3.530	35.296	34.647
2	2.468	24.677	59.973
3	1.543	15.430	75.403
4	0.942	9.421	84.824
5	0.615	6.152	90.976
6	0.394	3.943	94.920
7	0.286	2.856	97.775
8	0.161	1.613	99.388
9	0.043	0.429	99.817
10	0.018	0.183	100.00

荷载矩阵的因子载荷值主要反映了不同地区刺梨各综合品质指标对主成分载荷的相对大小和影响的方向,表 5、6 得到,第 1 主成分的方差贡献率为 34.647%,其中载荷值最大的是可溶性固形物,其次是可溶性蛋白、总糖、还原糖、固酸比载荷值较大,成分 1 主要由这 5 个指标决定,主要解释了刺梨果实的口感指标;第 2 主成分在可滴定酸、维生素 C 有着较大的载荷值,主要解释了刺梨果实的酸度指标,方差贡献率为 24.677%;第 3 主成分的方差贡献率为 15.430%,主要在氨基酸含量、SOD 活性两个指标有着较大的载荷值,成分 3 主要解释了抗氧化和风味物质形成指标。

将贵州省二十二个地区的刺梨综合品质指标进行主成分分析后,通过主成分分析图能够直观的表现出

不同地区之间刺梨果实的综合品质情况，各地区的横坐标值和纵坐标值越大，对应的果实综合品质就越好。如图 1 所示，二十二个地区分布于不同的象限，RH、DJ、YJ 三个地区分布在第一象限，具有较好的聚集性，证明它们之间的品质较为接近。除可滴定酸和 SOD 活性两个指标外，其余指标均指向 PC1 正方向，第 1 主成分中可溶性固形物载荷值最大，在品质评价中起决定性作用；可滴定酸指向 PC2 正方向，是第 2 主成分中载荷值最大的指标。综合来看，RH、DJ、YJ、WM 等地区品质较好；根据表 1 各地区的产地环境来看，图 1 中海拔相近的地区较聚集在一起，不同海拔可能影响着刺梨果实的品质。

表 6 成分荷载得分系数矩阵

Table 6 Component load intercept coefficient matrix

综合品质指标	成分		
	1	2	3
可溶性固形物 (X ₁)	0.251	0.146	-0.036
可滴定酸 (X ₂)	-0.024	0.359	0.221
固酸比 (X ₃)	0.209	-0.218	-0.218
总糖 (X ₄)	0.219	0.037	0.170
还原糖 (X ₅)	0.216	0.023	0.289
可溶性蛋白 (X ₆)	0.235	0.025	-0.210
类黄酮 (X ₇)	0.117	-0.299	0.090
维生素 C (X ₈)	0.096	0.270	-0.185
SOD 酶活性 (X ₉)	-0.034	-0.205	0.298
氨基酸含量 (X ₁₀)	0.052	0.017	0.513

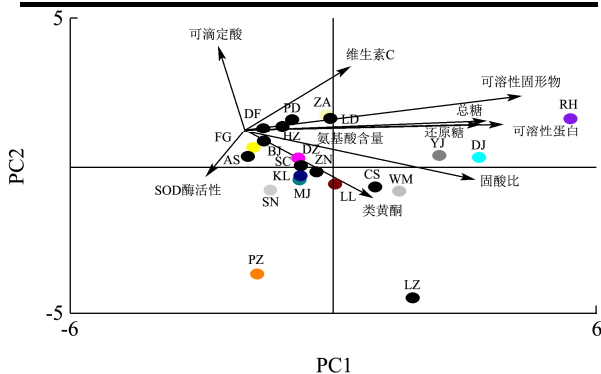


图 1 主成分分析图

Fig.1 Principal component analysis diagram

2.4 不同地区的刺梨果实综合品质指标综合评价分析

设提取的主成分 1、2、3 得分分别为 F₁、F₂、F₃，根据表 5 建立各成分得分模型：

$$F_1 = 0.251X_1 - 0.024X_2 + 0.209X_3 + 0.219X_4 + 0.216X_5 + 0.235X_6 + 0.117X_7 + 0.096X_8 - 0.034X_9 + 0.052X_{10}$$

$$F_2 = 0.146X_1 + 0.359X_2 - 0.218X_3 + 0.037X_4 + 0.023X_5 + 0.025X_6 - 0.299X_7 + 0.270X_8 - 0.205X_9 + 0.017X_{10}$$

$$F_3 = -0.036X_1 + 0.221X_2 - 0.218X_3 + 0.170X_4 + 0.289X_5 - 0.210X_6 + 0.090X_7 - 0.185X_8 + 0.298X_9 + 0.513X_{10}$$

再根据表 5 中提取的三个主成分所对应的方差贡献率和累计贡献率，以它们的比值为权重，建立综合得分模型：

$$F_{\text{综}} = 0.468F_1 + 0.327F_2 + 0.205F_3$$

将 F₁、F₂、F₃ 得分带入综合得分模型中，计算出不同地区刺梨果实综合品质的综合得分，并进行排名。得分越高，证明其品质越好。结果如表 7 所示。

表 7 不同地区刺梨果实综合品质综合得分排名

Table 7 Ranking of *Rosa roxburghii* fruit from different regions

地区	F ₁	F ₂	F ₃	F _综	排名
SN	-1.46	-0.82	1.08	-0.73	19
YJ	2.42	0.37	2.93	1.86	2
WM	1.53	-0.85	2.39	0.93	4
DZ	-0.78	0.26	1.92	0.11	7
DJ	3.34	0.28	-0.22	1.61	3
FG	-1.79	0.63	0.27	-0.58	16
RH	5.41	1.64	-0.77	2.91	1
LL	0.06	-0.61	-0.47	-0.27	11
PZ	-1.71	-3.66	0.58	-1.88	22
KL	-0.72	-0.29	-0.38	-0.51	15
MJ	-0.75	-0.47	-0.74	-0.66	18
ZA	-0.12	1.74	-0.77	0.35	6
LD	-0.08	1.65	0.09	0.52	5
SC	-0.72	0.01	-2.06	-0.76	20
LZ	1.83	-4.45	-0.98	-0.80	21
CS	0.97	-0.69	-1.74	-0.13	10
ZN	-0.37	-0.20	-1.20	-0.49	14
AS	-1.92	0.33	0.85	-0.62	17
PD	-0.92	1.57	-0.38	0.01	8
BJ	-1.54	0.89	-0.24	-0.48	13
DF	-1.54	1.29	-0.17	-0.33	12
HZ	-1.14	1.37	0.03	-0.08	9

由表 7 所示，按照综合得分排名得到：

RH>YJ>DJ>WM>LD>ZA>DZ>PD>HZ>CS>LL>DF>BJ>ZN>KL>FG>AS>MJ>SN>SC>LZ>PZ. 通过建立综合得分模型，将综合得分排名之后，二十二个地区中仁怀地区的综合得分最高，盘州地区的综合得分最低。

2.5 不同地区的刺梨果实综合品质指标进行聚类分析

通过组间联接的方法对 22 个不同地区的刺梨果实综合品质进行系统聚类分析,测量区间为 Euclidean 距离,得出树状图。如图 2 所示,在欧式距离为 20 时,可对 22 个地区的刺梨营养品质按优劣划分成三类,第一类为:DJ、RH、YJ、WM,这四个地区综合得分排名分别排在第 3、1、2 和 4,划分为相对综合品质较好的一类;第二类为:SC、ZN、CS、KL、MJ、LL、PZ、LZ,这 8 个地区综合得分排名分别排在第 20、14、10、15、18、11、22 和 21,划分为相对综合品质较差的一类;第三类为:BJ、DF、PD、FG、HZ、ZA、LD、SN、AS、DZ,这 10 个地区综合得分排名分别排在第 13、12、8、16、9、6、5、19、17 和 7,划分为相对综合品质为中等水平的一类。

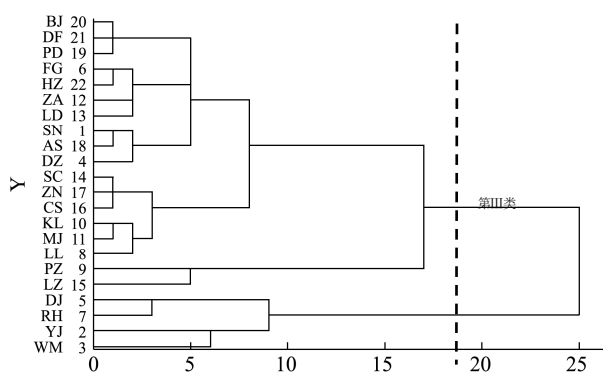


图2 贵州省不同地区刺梨果实营养品质聚类分析树状图

Fig.2 Dendrogram of cluster analysis of the overall quality of *Rosa roxburghii* fruit from different regions of Guizhou province

3 结论

3.1 本研究通过对贵州省二十二个县(区)刺梨进行采集,测定具有代表性的 10 个综合品质指标,使用相关性分析、主成分分析和聚类分析对不同地区刺梨品质进行综合评分和排名。通过测定各指标发现,不同地区刺梨综合品质指标之间存在显著性差异,各有优劣,很难判别各地区总体的刺梨果实品质水平。对贵州省不同地区的刺梨综合品质进行相关性分析发现,大部分指标之间存在显著相关性;再运用主成分分析,提取出 3 个主成分(特征值>1),计算各成分得分,通过建立综合得分模型排序和聚类分析得到,德江、仁怀、印江和望谟四个地区刺梨综合品质较好。从刺梨产地的环境情况看,各地区之间经纬度、气温以及降水量差异不大,而海拔高度分布在 477.8~1996 m 之间,差异较大;通过主成分分析和聚类分析发现,相近海拔地区较聚集性较好,其综合品质相近,可以考虑海拔对刺梨果实综合品质具有较大影响。不同海拔高度影响着气温、日照、降水量以及相对湿度,海拔

高度上升,空气温度会下降,日照也会随着下降,降水量增多,相对湿度也增加了,较低或较高海拔都不宜于刺梨的种植。海拔对刺梨品质指标的具体影响途径还需要更深一步的探讨。

3.2 针对贵州刺梨的巨大发展潜力,开展对贵州不同地区刺梨果实品质的研究具有十分重要的理论意义。在贵州刺梨各个生长地区资源调查的基础上,研究贵州不同地区刺梨果实品质,同时结合采集地的海拔来分析不同地区之间刺梨品质的差异性,根据不同地区刺梨的品质优势筛选优质的刺梨品种,为后期刺梨品种的筛选,大规模的种植、培育,刺梨药食商品的加工提供科学依据。

参考文献

- [1] 安华明.刺梨高含量 AsA 的积累机制及其关键酶基因的克隆与表达[D].杭州:浙江大学,2005
AN Hua-ming. Physiological mechanism of accumulating high level L-ascorbic acid and molecular cloning and expression of its key biosynthetic enzyme in *Rosa roxburghii* Tratt [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2005
- [2] 李齐激,邹顺,杨艳,等.贵州刺梨之民族植物学研究[J].中国民族医药杂志,2016,22(4):38-39
LI Qi-ji, ZOU Shun, YANG Yan, et al. Ethnobotanical study on *Rosa roxburghii* in Guizhou [J]. Journal of Chinese Ethnic Medicine, 2016, 22(4): 38-39
- [3] Wang L, Zhang B, Xiao J. Physicochemical, functional, and biological properties of water soluble polysaccharides from *Rosa roxburghii* Tratt fruit [J]. Food Chemistry, 2018, 24(9): 127-135
- [4] Wang L, Chen C, Zhang B. Structural characterization of a novel acidic polysaccharide from *Rosa roxburghii* Tratt fruit and its α -glucosidase inhibitory activity [J]. Food & Function, 2018, 9(7): 3974-3985
- [5] 曾芳芳,罗自生.刺梨营养成分的研究进展[J].浙江农业科学,2015,56(11):1753-1757
ZENG Fang-fang, LUO Zi-sheng. Research progress on nutrient components of *Rosa roxburghii* [J]. Zhejiang Agricultural Sciences, 2015, 56(11): 1753-1757
- [6] 代甜甜,杨小生.刺梨化学成分及药理活性研究进展[J].贵阳中医学院报,2015,37(4):93-97
DAI Tian-tian, YANG Xiao-sheng. Research progress on chemical constituents and pharmacological activities of *Rosa roxburghii* [J]. Journal of Guiyang College of Traditional Chinese Medicine, 2015, 37(4): 93-97
- [7] Chen G, Kan J. Characterization of a novel polysaccharide

- isolated from *Rosa roxburghii* Tratt fruit and assessment of its antioxidant *in vitro* and *in vivo* [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 107: 166-174
- [8] Xu P, Cai X, Zhang W, et al. Flavonoids of *Rosa roxburghii* Tratt exhibit radioprotection and anti-apoptosis properties via the BCl^2 (Ca^{2+})/Caspase-3/PARP-1 pathway [J]. Apoptosis, 2016, 21(10): 1125-1143
- [9] Xu P, Liu X, Xiong X, et al. Flavonoids of *Rosa roxburghii* Tratt exhibit anti-apoptosis properties by regulating PARP¹/AIF [J]. J Cell Biochem, 2017, 118(11): 3943-3952
- [10] Jin H M, Wei P. Antifatigue properties of Tartary buckwheat extracts in mice [J]. Int J Mol, 2011, 12(8): 4770-4780
- [11] Chen Y M, Tai Y H, Tsai T Y, et al. Fucoidan supplementation improves exercise performance and exhibits anti-fatigue action in mice [J]. Nutrients, 2014, 7(1): 239-252
- [12] Liu W, An H M, Yang M. Overexpression of *Rosa roxburghii* l-galactono-1,4-lactone dehydrogenase in tobacco plant enhances ascorbate accumulation and abiotic stress tolerance [J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2013, 35(5): 1617-1624
- [13] Jing W, Xu S, Bai W B, et al. Nutritional constituents, health benefits and processing of *Rosa roxburghii*: a review [J]. Journal of Functional Foods, 2019, 60: 103456
- [14] Lu M, An H M, Wang D P. Characterization of amino acid composition in fruits of three *Rosa roxburghii* genotypes [J]. Horticultural Plant Journal, 2017, 3(6): 232-236
- [15] Wen X, Peng D, Xiu X. Micropropagation of chestnut rose (*Rosa roxburghii* Tratt) and assessment of genetic stability *in vitro* plants using RAPD and AFLP markers [J]. Journal of Horticultural Science & Biotechnology, 2005, 80(1): 54-60
- [16] 樊卫国,夏广礼,罗应春,等.贵州省刺梨资源开发利用及对策[J].西南农业学报,1997,3:110-116
FAN Wei-guo, XIA Guang-li, LUO Ying-chun, et al. Exploitation and utilization of *Rosa roxburghii* resources in Guizhou province and its countermeasures [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 1997, 3: 110-116
- [17] Wang H, Li Y, Ren Z, et al. Optimization of the microwave-assisted enzymatic extraction of *Rosa roxburghii* Tratt polysaccharides using response surface methodology and its antioxidant and α -D-glucosidase inhibitory activity [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 112: 473-482
- [18] 任启鑫.为刺梨产业高质量发展注入动力[N].贵州日报,2019-10-24(6)
REN Qi-xin. For *Rosa roxburghii* industry high-quality development to inject impetus [N]. Guizhou Daily, 2019-10-24(6)
- [19] 樊卫国,向显衡,安华明,等.刺梨新品种‘贵农 5 号’[J].园艺学报,2011,8:1609-1610
FAN Wei-guo, XIANG Xian-heng, AN Hua-ming, et al. New *Rosa roxburghii* variety 'guinong 5' [J]. Journal of Horticulture, 2011, 8: 1609-1610
- [20] 罗桃,田华林,梁红燕,等.贵州省黔南州刺梨产业发展现状综述[J].中国林副特产,2014,5:97-98
LUO Tao, TIAN Hua-lin, LIANG Hong-yan, et al. Overview of *Rosa roxburghii* industry development status in Qiannan prefecture of Guizhou province [J]. Forest By-product and Speciality in China, 2014, 5: 97-98
- [21] 李胜海.黔西县野生刺梨果实品质调查研究[J].安徽农业科学,2017,45(7):79-80,136
LI Sheng-hai. Investigation on fruit quality of wild *Rosa roxburghii* in Qianxi county [J]. Anhui Agricultural Sciences, 2017, 45(7): 79-80, 136
- [22] 张晓娟,刘华,钟漫,等.安顺地区 3 种刺梨营养品质的比较[J].食品研究与开发,2016,37(7):44-47
ZHANG Xiao-juan, LIU Hua, ZHONG Man, et al. Comparison of nutritional quality of three *Rosa roxburghii* species in Anshun area [J]. Food Research and Development, 2016, 37(7): 44-47
- [23] 李婕玲,胡继伟,李朝婵.贵州不同种植地区无籽刺梨果实品质评价[J].果树学报,2016,33(10):1259-1268
LI Jie-ling, HU Ji-wei, LI Chao-chan. Evaluation on fruit quality of *Rosa roxburghii* seedless from different planting areas in Guizhou province [J]. Journal of Fruit Science, 2016, 33(10): 1259-1268
- [24] 李婕玲.贵州喀斯特不同地区无籽刺梨品质研究[D].贵阳:贵州师范大学,2017
LI Jie-ling. Guizhou karst seedless *Rosa roxburghii* quality research in different areas [D]. Guiyang: Guizhou Normal University, 2017
- [25] 曹建康,姜微波,赵玉梅.果蔬采后生理生化实验指导[M].北京:中国轻工业出版社,2007
CAO Jian-kang, JIANG Wei-bo, ZHAO Yu-mei. Experiment Guidance of Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007
- [26] 张立攀,周莉,关炳峰,等.超声辅助法提取柿子叶中总黄酮工艺的研究[J].食品研究与开发,2018,39(21):87-91
ZHANG Li-pan, ZHOU Li, GUAN Bing-feng, et al. Ultrasonic-assisted extraction of total flavonoids from persimmon leaves [J]. Food Research and Development,

- 2018, 39(21): 87-91
- [27] 李玉红. 钼蓝比色法测定水果中还原型维生素 C[J]. 天津化工, 2002, 1: 31-32
LI Yu-hong. Determination of reduced vitamin C in fruit by molybdenum blue colorimetry [J]. Tianjin Chemical Industry, 2002, 1: 31-32
- [28] GB 5009.124-2016, 食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定[S]
GB 5009.124-2016, National Food Safety Standard Determination of Amino Acids in Food [S]
- [29] 李跃红, 冉茂乾, 徐孟怀, 等. 不同产地刺梨果实品质分析与模糊综合评判[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(17): 202-205
LI Yue-hong, RAN Mao-qian, XU Meng-huai, et al. Analysis and fuzzy comprehensive evaluation of fruit quality of *Rosa roxburghii* from different producing areas [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2020, 48(17): 202-205
- [30] 敖芹, 谷晓平, 于飞, 等. 贵州刺梨气候适宜性研究[J]. 中国农学通报, 2013, 29(34): 177-185
AO Qin, GU Xiao-ping, YU Fei, et al. Climate suitability of *Rosa roxburghii* in Guizhou [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2013, 29(34): 177-185
- [31] 安华明, 刘明, 杨曼, 等. 刺梨有机酸组分及抗坏血酸含量分析[J]. 中国农业科学, 2011, 44(10): 2094-2100
AN Hua-ming, LIU Ming, YANG Man, et al. Analysis of organic acid components and ascorbic acid content of *Rosa roxburghii* [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2011, 44(10): 2094-2100
- [32] 白静, 张宗泽, 鲁敏, 等. 贵州不同地区野生刺梨果实品质分析[J]. 贵州农业科学, 2016, 44(3): 43-46
BAI Jing, ZHANG Zong-ze, LU Min, et al. Analysis of fruit quality of wild *Rosa roxburghii* in different regions of Guizhou [J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2016, 44(3): 43-46
- [33] 林陶, 李婕玲, 付远洪, 等. 无籽刺梨与野生刺梨果实的氨基酸含量及组成[J]. 山东化工, 2017, 46(18): 76-79
LIN Tao, LI Jie-ling, FU Yuan-hong, et al. Determination of amino acids in *Rosa sterilis* and wild *Rosa roxburghii* by HPLC [J]. Shandong Chemical Industry, 2017, 46(18): 76-79
- [34] 穆瑞, 樊卫国. 不同大小的刺梨果实品质特征及重要指标间的相关性[J]. 中国南方果树, 2018, 47(5): 122-127
MU Rui, FAN Wei-guo. Correlation between quality characteristics and important indexes of roxburgh rose fruits of different sizes [J]. Fruit Trees in South China, 2018, 47(5): 122-127

(上接第 202 页)

- [18] Kwaw E, Ma Y, Tchabo W, et al. Effect of lactobacillus strains on phenolic profile, color attributes and antioxidant activities of lactic acid fermented mulberry juice [J]. Food Chemistry, 2018, 250(6): 148-154
- [19] 杨晓萍, 陈梓琦, 钟先锋. 乳酸菌的分离鉴定方法及益生功能应用研究[J]. 农产品加工, 2020, 13: 50-54
YANG Xiao-ping, CHEN Zi-qi, ZHONG Xian-feng. Isolation and identification of lactic acid bacteria and application of probiotics [J]. Agricultural Products Processing, 2020, 13: 50-54
- [20] 方芳, 王文玉, 吴炫, 等. 谷物酸奶的研制及其抗氧化特性研究[J]. 中国食品, 2019, 1: 149-151
FANG Fang, WANG Wen-yu, WU Xuan, et al. Preparation of cereal yoghurt and study on its antioxidant properties [J]. China Food, 2019, 1: 149-151
- [21] 郭俊花, 许先猛, 成少宁, 等. 槐米酸奶加工工艺及 DPPH 自由基清除能力研究[J]. 中国酿造, 2016, 35(6): 187-191
GUO Jun-hua, XU Xian-meng, CHENG Shao-ning, et al. Studies on the processing technology and DPPH free radical scavenging capacity of *Sophora japonicus* yogurt [J]. China Brewing, 2016, 35(6): 187-191
- [22] 李子叶, 李柏良, 关嘉琪, 等. 嗜酸乳杆菌 *KLDS 1.0901* 对酸奶发酵特性及抗氧化活性的影响[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(22): 49-56
LI Zi-ye, LI Bo-liang, GUAN Jia-qi, et al. Effect of *Lactobacillus acidophilus* *KLDS 1.0901* on fermentation characteristics and antioxidant activity of yogurt [J]. Food Research and Development, 2019, 40(22): 49-56
- [23] Di P G, O'Keeffe M B, Poyarkov A, et al. Antioxidant activity of bovine casein hydrolysates produced by *Ficus carica* L.-derived proteinase [J]. Food Chemistry, 2014, 156(2): 305-311