

不同成熟度及海拔地区刺梨果实营养活性成分比较

陈钰祺, 徐玉娟, 林 美*, 余元善, 温 靖, 傅曼琴

(广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所, 农业部功能食品重点实验室, 广东省农产品加工重点实验室, 广州 510610)

摘 要: **目的** 探究成熟度及种植的海拔地区对刺梨果实营养活性成分的影响。**方法** 收集不同成熟度及海拔地区的刺梨果实, 采用分光光度计法、液相色谱法等方法测定样品中主要营养活性成分含量, 并通过主成分分析法综合评价样品品质差异。**结果** 成熟刺梨果实含有丰富的维生素 C、黄酮、单宁、多酚、三萜类化合物等活性成分, 含量分别为 744.01~1260.93 mg/100 g FW、35.86~52.11 mg/g DW、128.80~188.70 mg/g DW、78.04~119.54 mg/g DW 及 22.56~32.32 mg/g DW。与成熟果实相比, 刺梨五成熟果的可溶性糖、有机酸、氨基酸、多糖含量较低, 而总黄酮、总单宁、总酚及总三萜含量均较高($P<0.05$)。成熟果实的必需氨基酸、总氨基酸含量与海拔呈负相关($P<0.05$)。主成分分析结果表明, 刺梨五成熟果与成熟果的品质差异显著, 而不同成熟果样品在品质上具有一定的差异但未随海拔地区呈现规律性变化。**结论** 五成熟刺梨果实的活性成分含量显著高于成熟果实, 而海拔地区对刺梨果实品质的影响较小。

关键词: 刺梨果实; 营养活性成分; 抗氧化; 成熟度; 海拔地区

Comparisons of nutritional and bioactive components of *Rosa roxburghii* fruits of different maturities, altitudes and regions

CHEN Yu-Qi, XU Yu-Juan, LIN Xian*, YU Yuan-Shan, WEN Jing, FU Man-Qin

(Sericultural & Agri-food Research Institute Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Functional Foods, Ministry of Agriculture, Guangdong Key Laboratory of Agricultural Products Processing, Guangzhou 510610, China)

ABSTRACT: Objective To investigate the effects of maturities, cultivating altitudes and regions on the nutritional and bioactive components of *Rosa roxburghii* fruits. **Methods** The *Rosa roxburghii* fruits at different maturity and altitudes were collected. The content of main nutritional active components in the samples were determined by spectrophotometer and liquid chromatography, respectively. And the quality differences of the samples were comprehensively evaluated by principal component analysis. **Results** Mature *Rosa roxburghii* fruits were rich in

基金项目: 岭南现代农业科学与技术广东省实验项目(LNSYSZX001)、广州市科技计划项目(201803050010)、茂名市科技计划项目(KJ057)、广东省农业科学院“十四五”农业优势产业学科团队项目(202109TD)

Fund: Supported by the Lingnan Modern Agricultural Science and Technology Guangdong Experimental Project (LNSYSZX001), the Guangzhou Science and Technology Program (201803050010), the Maoming Science and Technology Project (KJ057), and the Guangdong Academy of Agricultural Sciences “14th Five-Year Plan” Agricultural Advantage Industry Discipline Team (202109TD)

***通信作者:** 林美, 硕士, 副研究员, 主要研究方向为农产品加工。E-mail: sannylam@126.com

***Corresponding author:** LIN Xian, Master, Associate Professor, Sericultural & Agri-food Research Institute Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Functional Foods, Ministry of Agriculture, Guangdong Key Laboratory of Agricultural Products Processing, Guangzhou 510610, China. E-mail: sannylam@126.com

bioactive ingredients including vitamin C, flavonoids, tannins, polyphenols and triterpenes, with content of 744.01–1260.93 mg/100 g FW, 35.86–52.11 mg/g DW, 128.80–188.70 mg/g DW, 78.04–119.54 mg/g DW and 22.56–32.32 mg/g DW, respectively. By comparison with mature fruit, lower soluble sugar, organic acid, amino acid and polysaccharide content were detected in half-mature fruit. However, total flavonoid, tannin, polyphenol and triterpene content were much higher in half-mature fruit. Essential amino acids and total free amino acids were negatively related with the cultivating altitudes. Principal component analysis results indicated significant quality differences between mature and half-mature fruits. Moreover, no regular change was observed as affected by cultivating altitudes and regions. **Conclusion** Bioactive components in half-mature *Rosa roxburghii* fruit are remarkably higher than those in the mature fruit, but the impacts of cultivating altitude and region are relatively low.

KEY WORDS: *Rosa roxburghii* fruit; nutritional and bioactive components; antioxidant; maturity; altitude and region

0 引 言

刺梨(*Rosa roxburghii*), 属蔷薇科, 为多年生落叶丛生灌木珍贵野生果树, 多生长于海拔 500~2500 m 的向阳山坡、沟谷中。刺梨果实是一种药食两用型水果, 具有酸、涩、平等特点。《本草纲目拾遗》中记载, 胃阴不足、食欲缺乏、心烦发热、腹泻便溏及热病、暑热伤津, 法用刺梨煎汤, 浓缩成膏, 加蜜糖同量, 服 1~2 匙/次, 温开水送下^[1]。现代研究也证明了刺梨果实具有丰富的营养价值和药用价值。刺梨果实中含有维生素 C、多糖、黄酮、三萜类物质等多种活性成分, 并被确证具有促进胃肠道消化、抗衰老、抗辐射、抑制癌细胞增殖、调节人体免疫功能、消炎和抗癌等活性功效, 是优质的功能食品加工原料^[2]。

近年来, 我国刺梨栽培面积不断增加, 2019 年底我国刺梨人工规模化种植面积达到 190 万亩。其中, 贵州作为刺梨核心产区, 人工规模化种植面积达 176 万亩, 产量超过 1.5 万 t^[3]。目前, 刺梨干果、刺梨果糕、刺梨蜜饯、刺梨饮料、刺梨酒等已实现了产业化生产和上市。然而, 刺梨果实产品的开发和加工技术还处于初级阶段, 刺梨果实营养活性成分及健康效应的研究仍有待进一步挖掘。因此, 本研究考察不同成熟度及海拔地区刺梨果实的营养及活性成分差异, 并通过主成分分析对果实品质进行综合评价, 从而了解成熟度及海拔地区对刺梨果实营养活性成分的影响, 为刺梨果实的精准加工提供依据、推动刺梨果实的增值加工奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

6 种刺梨果实样品均采集于贵州省, 品种为贵农 5 号。其中 3 种成熟果样品(约盛花期后 110~120 d)采集于毕节市(海拔 2000 m、海拔 1600 m、海拔 1480 m), 2 种成熟果样

品采集于贵阳市(海拔 1480 m、海拔 1250 m), 五成熟果(约盛花期后 60~70 d)采集于毕节市(海拔 1480 m)。

无水乙醇(分析纯, 天津市富宇精细化工有限公司); 乙腈(色谱纯)、偏磷酸(分析纯)(天津市科密欧化学试剂有限公司); 5-磺基水杨酸、磷酸氢二钠、苯酚、浓硫酸(分析纯, 天津市大茂化学试剂厂); 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(分析纯)、没食子酸、芦丁、熊果酸、葡萄糖(标准品, 纯度 $\geq 98\%$)(上海源叶生物科技有限公司); 牛血清蛋白、维生素 C(标准品, 纯度 $\geq 98\%$)(上海阿拉丁生化科技股份有限公司); 6-羟基-2,5,7,8-四甲基色烷-2-羧酸(6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid, Trolox)[标准品, 纯度 $>98\%$, 爱必信(上海)生物科技有限公司]; Asahipak NH2P-50 4E 色谱柱(250 mm $\times$ 4.6 mm, 5 μ m)(日本 Shodex 公司); 0.22 μ m 水相滤膜(天津市津腾实验设备有限公司); ZORBAX SB-C₁₈ 色谱柱(250 mm $\times$ 4.6 mm, 5 μ m)(美国 Agilent 公司)。

1.2 仪器与设备

UV 1800 型紫外可见分光光度计、SPD-M20A 高效液相色谱仪(日本岛津公司); L-8900 型全自动氨基酸分析仪(日本日立高新技术公司); ST85B3-1 型真空冷冻干燥机(美国 Milirock 公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 可溶性蛋白测定

称取 2 g 新鲜刺梨果, 加 14 mL 蒸馏水, 超声提取, 离心。采用考马斯亮蓝法测定, 参考杨静华^[4]的方法, 结果以牛血清蛋白质量浓度计。测定重复 3 次。

1.3.2 糖组分测定

参考 YU 等^[5]采用高效液相色谱法测定, 称取 1.5 g 新鲜刺梨果, 加入 1.5 mL 蒸馏水后, 再加入 9 mL 无水乙醇, 沉淀 20 min, 摇匀, 离心(5000 r/min, 10 min), 取上清液, 过 0.22 μ m 水相滤膜。色谱条件为: 色谱柱为 Asahipak NH2P-50 4E (250 mm $\times$ 4.6 mm, 5 μ m), 检测器为

蒸发光检测器, 漂移管温度为 50 °C, 柱温 40 °C, 流动相为 75%乙腈-超纯水, 流速 1 mL/min, 进样量为 10 μ L。测定重复 3 次。

1.3.3 氨基酸含量测定

参考 LU 等^[6]的方法进行测定, 取刺梨果实稀释放液 2 mL, 加入 75%乙醇 6 mL, 混匀, 沉淀 20 min, 在 4 °C 下离心(5000 r/min, 10 min), 上清液 0.8 mL, 加入 0.8 mL 10% 5-磺基水杨酸溶液, 振荡摇匀, 在 4 °C 放置 30 min 后高速离心 15 min, 过 0.22 μ m 水相滤膜后用氨基酸自动分析仪测定。测定重复 3 次。

1.3.4 维生素 C 及有机酸测定

测定方法参考董彩霞等^[7]采用高效液相色谱法测定, 称取 0.25 g 冻干刺梨果, 加入 1.5 mL 0.3%偏磷酸溶液, 在冷冻研磨仪功率 75 kW 条件下混匀 2 min, 在 4 °C 下, 离心(5000 r/min, 15 min), 取上清液过 0.22 μ m 水相滤膜后待测。所有样品均制备 3 份。色谱条件为: ZORBAX SB-C₁₈ 色谱柱(250 mm×4.6 mm, 5 μ m), 柱温 30 °C; 二极管阵列检测器, 维生素 C 的检测波长为 254 nm, 其他有机酸的检测波长为 210 nm; 流动相: 0.1 mol/L 的磷酸氢二钠溶液(pH 为 2.7); 流速: 1 mL/min; 进样量: 10 μ L。测定重复 3 次。

1.3.5 多酚类物质含量和抗氧化能力测定

酚类物质提取: 称取 0.10 g 冻干刺梨果加 8 mL 80% 甲醇提取, 离心, 制备成醇提液放置-20 °C 储存, 用于总酚、总黄酮、总单宁和抗氧化能力的测定。所有样品均制备 3 份。

总酚含量测定: 采用福林酚比色法测定, 参考 DRAGOVIC-UZELAC 等^[8]的方法, 结果以没食子酸质量浓度计。测定重复 3 次。

总黄酮含量测定: 采用硝酸铝显色法测定, 参考王振伟等^[9]的方法, 结果以芦丁质量浓度计。测定重复 3 次。

总单宁含量测定: 根据 NY/T 1600—2008《水果、蔬菜及其制品中单宁含量的测定》中的方法进行测定。结果以没食子酸质量浓度计。测定重复 3 次。

1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)抗氧化能力测定: 参考桑嘉玘等^[10]的方法, 将刺梨果实醇提液溶液稀释一定倍数后, 离心, 取上清液 2 mL, 加入 4 mL DPPH 溶液(0.1 mmol/L), 避光 30 min, 在 517 nm 处测定吸光度, 结果以 Trolox 质量浓度计。测定重复 3 次。

1.3.6 总三萜含量测定

采用香草醛-冰醋酸法, 参考 ZENG 等^[11]的方法, 称取 1.00 g 新鲜刺梨果, 加入 50 mL 无水乙醇, 超声 1 h 提取, 50 °C 水浴, 后离心取上清液, 在 548 nm 处测定吸光度, 结果以熊果酸质量浓度计。测定重复 3 次。

1.3.7 粗多糖测定

采用苯酚-硫酸法测定^[12], 取 25 g 冻干刺梨果, 加入

50 mL 蒸馏水后用超声提取 30 min, 离心取上清液旋蒸至 20 mL, 加 4 倍体积的 95%乙醇, 醇沉过夜, 沉淀物水复溶并定容得到粗多糖溶液。取上清液 1 mL, 加入 1 mL 5%苯酚后, 加入 5 mL 浓硫酸, 于 490 nm 处测定吸光度, 结果以标准葡萄糖质量浓度计。测定重复 3 次。

1.4 数据处理

采用 Excel 进行数据统计, 并利用 SPSS 25.0 软件对数据进行单因素方差分析和 S-N-K 检验, 数据显示为平均 $\pm$ 标准偏差, 显著性设定为 $P<0.05$, 极显著性设定为 $P<0.01$ 。运用 SPSS 进行相关性分析, 主成分分析法进行刺梨果实的综合品质评价。

2 结果与分析

2.1 梨果实主要营养成分含量比较

不同成熟度及海拔地区刺梨果实糖组分、酸组分及可溶性蛋白含量如表 1 所示。结果表明, 刺梨果实含有果糖、葡萄糖、蔗糖 3 种糖组分。成熟刺梨果实中果糖、葡萄糖、蔗糖的含量分别为 1.06~1.86、0.65~1.31、1.30~2.77 g/100 g FW。成熟刺梨果实的总糖含量与吴洪娥等^[13]的结果一致, 在 1.83~7.32 g/100 g FW 范围内, 低于巨峰葡萄、百香果、四季柚等其他水果^[14]。五成熟果实中果糖和葡萄糖含量显著($P<0.05$)低于成熟果实, 且未检测出蔗糖。从不同海拔上看, 毕节市 2000 m 的刺梨果实总糖组分含量最高, 而毕节市 1480 m 样品的总糖含量最低。同一海拔 1480 m 下, 毕节市与贵阳市种植刺梨果实的糖组分差异较小, 仅果糖含量具有显著差异($P<0.05$)。

表 1 表明, 刺梨果实中含有苹果酸、柠檬酸、富马酸、抗坏血酸(维生素 C)等有机酸, 其中成熟刺梨果实维生素 C 含量相比于其他有机酸较高, 达 744.01~1260.93 mg/100 g FW, 苹果酸含量次之。富马酸含量较低, 仅为 45.04~71.82 μ g/100 g FW。可见维生素 C 是刺梨果实主要的营养成分, 该结果与吴洪娥等^[13-15]的结果一致。然而刺梨五成熟果维生素 C 含量较低, 仅约为成熟果的 1/20。类似的, 周广志等^[16]也发现刺梨果实的维生素 C 含量随着成熟度的增加而增加。不同海拔的刺梨果实成熟果维生素 C 含量差异性较大, 其中毕节 1480 m 的维生素 C 含量最高, 而毕节 2000 m 的维生素 C 含量最低。比较不同种植区刺梨果实维生素 C 含量发现, 在同一海拔 1480 m 下, 贵阳刺梨果实较毕节的维生素 C 含量少 33.2%。

刺梨成熟果的可溶性蛋白含量为 0.24~0.40 g/100 g FW, 显著低于与香蕉^[17]、蓝莓^[18]等水果。与同海拔(1480 m)同地区(毕节)的刺梨成熟果相比, 刺梨五成熟果的可溶性蛋白含量稍高。

2.2 不同成熟度及海拔地区的刺梨果实氨基酸组分比较

不同成熟度及海拔地区的刺梨果实氨基酸组分如表 2 所示。由表 2 可见, 刺梨果实主要由苏氨酸(threonine, Thr)、丝氨酸(serine, Ser)、谷氨酸(glutamic acid, Glu)、甘氨酸(glycine, Gly)、丙氨酸(alanine, Ala)、缬氨酸(valine, Val)、半胱氨酸(cysteine, Cys)、异亮氨酸(isoleucine, Ile)、亮氨酸(leucine, Leu)、酪氨酸(tyrosine, Tyr)、苯丙氨酸(phenylalanine, Phe)、赖氨酸(lysine, Lys)、精氨酸(arginine, Arg)、脯氨酸(proline, Pro) 14 种游离氨基酸组成。其中, 成熟果实的必需氨基酸含量为 22.93~129.27 mg/kg FW。成熟果实的必需氨基酸和总游离氨基酸含量与海拔呈负相关。海拔 2000 m 种植的刺梨果实的必需氨基酸和总游离氨基酸含量最低, 分别仅为海拔 1250 m 刺梨果实的 17.7%、34.2%。Arg 为婴幼儿的必需氨基酸, 并具有有效促进伤口愈合、提高免疫力的作用^[19]。与 LU 等^[6]结果一致的是, 本实验也发现刺梨果实含有丰富的 Arg。除了毕节 2000 m 的刺梨果实, 其余刺梨

果实样品均含有较高的 Arg 含量, 并显著高于五成熟果中的 Arg 含量($P<0.05$)。

分析氨基酸代谢物结果发现, 刺梨果实主要含有磷酸丝氨酸(phosphoserine, P-ser)、肌氨酸(sarcosine, Sar)、 α -氨基丁酸(α -aminobutyric acid, α -ABA)、 β -丙氨酸(β -alanine, β -Ala)、 γ -氨基丁酸(γ -aminobutyric acid, GABA)、乙醇胺(ethanolamine, EOHNH₂)、羟基脯氨酸(hydroxyproline, Hypro) 7 种氨基酸代谢物组成。其中, GABA 是神经系统内重要的抑制性神经递质, 具有镇痛、抗焦虑、抗心律失常、神经营养和调节激素分泌等作用^[20]。与 LU 等^[6]结果类似的是, 成熟刺梨果实的 GABA 含量较高, 为 27.31~112.17 mg/kg FW, 且五成熟果的 GABA 含量与成熟果的相当, 均显著高于苹果、猕猴桃、樱桃等其他水果^[21]。总体而言, 刺梨五成熟果的总游离氨基酸含量和氨基酸代谢物含量都低于成熟果实。刺梨成熟果总含氮化合物含量随着种植地海拔的升高而降低, 其中贵阳 1250 m 种植的刺梨果实含氮化合物总量最高。

表 1 不同成熟度及海拔地区的刺梨果实主要营养成分含量(n=3)
Table 1 Major nutritional content of *Rosa roxburghii* fruits of different maturities, altitudes and regions (n=3)

营养成分	成熟果			五成熟果		
	毕节 2000 m	毕节 1600 m	毕节 1480 m	贵阳 1480 m	贵阳 1250 m	毕节 1480 m
果糖 /(g/100 g FW)	1.79±0.05 ^d	1.86±0.07 ^d	1.06±0.08 ^b	1.29±0.04 ^c	1.83±0.13 ^d	0.33±0.01 ^a
葡萄糖 /(g/100 g FW)	1.31±0.09 ^d	1.13±0.04 ^c	0.65±0.01 ^b	0.75±0.01 ^b	1.07±0.11 ^c	0.48±0.01 ^a
蔗糖 /(g/100 g FW)	2.77±0.40 ^b	1.68±0.01 ^a	1.30±0.12 ^a	1.93±0.01 ^a	2.61±0.16 ^b	-
总糖 /(g/100 g FW)	5.86±0.54 ^d	4.67±0.08 ^c	3.01±0.22 ^b	3.97±0.05 ^c	5.51±0.4 ^d	0.81±0.01 ^a
维生素 C /(mg/100 g FW)	744.01±58.84 ^b	1076.36±83.71 ^c	1260.93±60.31 ^f	841.99±29.96 ^c	978.30±10.69 ^d	46.01±2.36 ^a
苹果酸 /(mg/100 g FW)	86.74±2.26 ^b	84.52±12.65 ^b	89.91±9.72 ^b	95.41±8.45 ^b	104.04±5.02 ^b	67.87±5.52 ^a
柠檬酸 /(mg/100 g FW)	29.83±9.32 ^b	12.77±3.70 ^a	7.98±1.95 ^a	5.98±0.72 ^a	6.03±0.06 ^a	3.84±0.51 ^a
富马酸 /(μg/100 g FW)	45.04±1.26 ^a	57.03±8.00 ^b	67.02±6.05 ^{bc}	71.82±5.48 ^c	65.55±3.13 ^{bc}	73.63±5.81 ^c
总酸 /(mg/100 g FW)	860.62±65.81 ^b	1173.71±70.58 ^c	1358.89±57.75 ^d	943.45±38.79 ^b	1088.43±14.02 ^c	117.79±7.85 ^a
可溶性蛋白 /(g/100 g FW)	0.24±0.02 ^a	0.39±0.03 ^{bc}	0.39±0.03 ^{bc}	0.33±0.01 ^b	0.40±0.07 ^{cd}	0.47±0.01 ^d

注: 不同字母表示不同样品组间差异显著($P<0.05$); -表示未检测出, 下同。

表 2 不同成熟度及海拔地区的刺梨果实的氨基酸组分(mg/kg FW, n=3)
Table 2 Amino acid compositions of *Rosa roxburghii* fruits of different maturities, altitudes and regions (mg/kg FW, n=3)

	组分	成熟果					五成熟果
		毕节 2000 m	毕节 1600 m	毕节 1480 m	贵阳 1480 m	贵阳 1250 m	毕节 1480 m
游离 氨基酸	Thr	3.69±0.04 ^a	17.02±0.17 ^b	17.97±4.78 ^b	19.13±1.75 ^b	30.12±0.09 ^c	13.27±0.76 ^a
	Ser	7.99±0.01 ^a	13.17±0.25 ^b	15.05±4.06 ^b	17.50±1.65 ^b	27.58±0.18 ^c	26.24±0.78 ^c
	Glu	89.39±0.58 ^c	70.49±1.85 ^d	6.83±1.96 ^a	15.04±1.34 ^a	46.14±0.13 ^b	7.06±9.98 ^a
	Gly	2.18±0.01 ^a	4.23±0.04 ^{bc}	3.15±0.69 ^b	4.16±0.35 ^{bc}	4.89±0.02 ^c	3.53±0.10 ^b
	Ala	26.58±0.17 ^a	67.36±1.25 ^b	59.99±15.62 ^b	60.53±5.65 ^b	72.46±0.27 ^b	34.49±7.46 ^a
	Val	13.55±0.01 ^a	27.72±0.21 ^{ab}	26.70±6.69 ^{ab}	29.64±2.41 ^{ab}	53.98±0.02 ^b	16.34±2.10 ^a
	Cys	-	2.73±0.07	-	-	3.44±0.16	-
	Ile	1.65±0.02 ^a	10.28±0.07 ^{bc}	10.24±2.69 ^{bc}	12.31±1.14 ^c	20.77±0.07 ^d	6.56±0.91 ^b
	Leu	-	4.43±0.02 ^{ab}	3.52±0.91 ^a	3.78±0.37 ^a	5.35±0.08 ^b	2.99±0.09 ^a
	Tyr	-	9.57±0.03 ^b	7.52±1.79 ^{ab}	5.09±0.48 ^a	7.15±0.05 ^{ab}	6.62±1.36 ^{ab}
	Phe	-	3.07±0.07 ^a	2.18±0.81 ^a	2.68±0.47 ^a	2.76±0.08 ^a	3.43±0.12 ^a
	Lys	4.04±0.05 ^a	18.26±0.15 ^b	15.79±4.04 ^b	15.63±1.42 ^b	16.29±0.12 ^b	4.09±0.15 ^a
	Arg	34.17±0.07 ^a	195.18±3.76 ^b	267.95±66.51 ^b	245.57±22.04 ^b	226.95±0.69 ^b	10.57±7.34 ^a
	Pro	13.79±1.53 ^a	24.42±0.30 ^b	21.34±3.98 ^b	28.78±4.29 ^b	57.62±0.97 ^c	11.39±0.74 ^a
	必需氨基酸	22.93±0.11 ^a	80.78±0.69 ^c	76.40±19.92 ^c	83.17±7.56 ^c	129.27±0.46 ^d	46.68±4.13 ^b
总游离氨基酸	197.03±2.48 ^b	467.93±8.24 ^c	458.23±114.53 ^c	459.66±43.36 ^c	575.5±1.96 ^d	146.58±31.15 ^a	
氨基酸 代谢物	P-Ser	-	-	-	-	-	21.88±0.76
	Sar	-	1.43±0.07	-	-	0.76±1.07	-
	α -ABA	-	6.58±0.97	-	-	6.77±0.30	-
	β -Ala	-	1.36±0.08 ^{ab}	0.74±1.04 ^{ab}	2.81±0.36 ^b	2.73±0.06 ^b	0.45±0.63 ^a
	GABA	27.31±0.21 ^a	50.39±1.28 ^b	42.62±10.64 ^{ab}	80.61±7.84 ^c	112.17±0.73 ^d	100.06±12.16 ^d
	EOHNH ₂	-	-	-	0.77±1.08	-	6.53±0.72
	Hypro	0.14±0.10 ^a	3.49±1.34 ^b	3.03±2.35 ^b	4.06±0.35 ^b	4.31±0.15 ^b	-
	总代谢物	27.45±0.31 ^a	63.25±3.74 ^b	88.25±9.63 ^b	46.39±14.03 ^a	126.74±2.31 ^c	128.92±14.21 ^c
	总含氮化合物	224.48±2.79 ^a	531.18±11.98 ^b	547.91±52.99 ^b	504.62±128.56 ^b	702.24±4.27 ^c	275.50±45.36 ^a

2.3 不同成熟度及海拔地区的刺梨果实主要活性成分及抗氧化活性比较

多酚类化合物包括黄酮类、单宁类、酚酸类以及花色苷类化合物等，被称为“第七类营养素”，具有强抗氧化作用^[22]。三萜类物质因具有潜在的调节机体代谢、增强免疫、抗炎、降抗动脉粥样硬化等多种生物活性，是功能食品重要定量分析指标^[23]。刺梨果实中的三萜类物质主要由多取代羟基熊果烷型五环三萜及其苷类物质组成^[24]。此外，多糖也是一类分子结构复杂且庞大的活性物质，具有调节免疫、抗肿瘤、降血糖、抗衰老等功效。现有研究已确证刺梨果实多糖有提高免疫力、抗氧化等作用^[25-27]。上述活性成分在不

同成熟度及海拔地区的刺梨果实含量如表 3 所示，结果表明，刺梨成熟果的总黄酮含量为 35.86~52.11 mg/g DW，显著高于苹果、猕猴桃、草莓的总黄酮含量^[28]。刺梨成熟果总单宁含量为 128.80~188.70 mg/g DW，远高于葡萄皮的丹宁含量，是刺梨果实涩味的主要来源^[29]，该结果与张晓娟等^[30]测定野生刺梨果实单宁含量的范围一致。刺梨成熟果总酚含量为 78.04~119.54 mg/g DW，显著高于番石榴、脐橙等水果^[31]。刺梨成熟果总三萜含量为 22.56~32.32 mg/g DW，也显著高于苹果、枣等常见水果^[32]。刺梨五成熟果的总黄酮、总单宁、总酚及总三萜含量均显著高于成熟果实($P<0.05$)，其中总黄酮和总三萜含量约为成熟果实的 2 倍。刺梨成熟果

的多糖含量为 5.76~15.43 mg/g DW, 五成熟刺梨果实的多糖含量显著低于成熟果实($P<0.05$)。比较同一地区不同海拔的刺梨果实主要活性成分含量, 并未发现明显的变化规律。而在同一海拔 1480 m 中, 毕节市种植的刺梨果实主要活性成分含量总体高于贵阳市, 其原因可能与不同地区的栽种环境、栽培条件等差异有关。

采用 DPPH 自由基清除能力评价刺梨果实的抗氧化活性, 结果如表 3 所示。结果发现, 成熟果的 DPPH 含量为 775.15~1103.72 Trolox $\mu\text{mol/g}$ DW, 远远高于番石榴、脐橙等其他水果^[31]。与同海拔(1480 m)同地区(毕节)的刺梨成熟果相比, 刺梨五成熟果的 DPPH 自由基清除能力无显著差异($P>0.05$), 表明成熟度对刺梨果实 DPPH 自由基清除能力的影响较小。毕节市和贵阳市中海拔较高的刺梨果实的 DPPH 自由基清除能力较低。而同一海拔 1480 m 中, 毕节市种植的刺梨果实 DPPH 自由基清除能力显著高于贵阳市种植的($P<0.05$), 表明栽种环境、栽培条件等因素均可能对刺梨果实 DPPH 自由基清除能力影响显著, 前者的 DPPH 自由基清除能力约为后者的 1.5 倍。

2.4 相关性分析

对不同成熟度及海拔地区的刺梨果实样品主要营养

及活性成分含量等指标进行相关性分析, 结果如表 4 所示。表 4 表明, 刺梨果实的总黄酮、总酚和总三萜含量这 3 种抗氧化活性物相互之间均呈现显著正相关($P<0.05$), 其中总黄酮和总三萜含量呈极显著正相关($P<0.01$)。然而刺梨果实的 DPPH 自由基清除能力仅和总单宁含量具有显著的正相关关系($P<0.05$), 表明刺梨果实中的单宁为其 DPPH 自由基清除能力的重要贡献物。而周广志等^[16]发现, 刺梨果实总酚与 DPPH 自由基清除能力呈极显著正相关($P<0.01$), 其原因与不同样品中各抗氧化活性成分比重存在差异有关。为了进一步明确刺梨果实中黄酮、酚类及三萜类化合物的抗氧化活性, 其他抗氧化活性评价有待进一步研究。此外, 刺梨果实总黄酮和总三萜含量呈极显著正相关($P<0.01$)、总黄酮与总酸含量显著负相关($P<0.05$)、总三萜与总糖含量显著负相关($P<0.05$)、总酸和总糖含量呈极显著正相关($P<0.01$)。综上可知, 总糖、总酸含量越高, 刺梨果实黄酮、酚类及三萜类等抗氧化活性成分含量越低。表 4 还表明, 总酚含量与总游离氨基酸含量呈显著负相关($P<0.05$), 总氨基酸代谢产物含量则与总多糖和总游离氨基酸含量呈显著正相关($P<0.05$)。

表 3 不同成熟度及海拔地区的刺梨果实主要活性成分含量及抗氧化活性(n=3)
Table 3 Content of main active components and antioxidant capacity of *Rosa roxburghii* fruits of different maturities, altitudes and regions (n=3)

指标	成熟果			五成熟果		
	毕节 2000 m	毕节 1600 m	毕节 1480 m	贵阳 1480 m	贵阳 1250 m	毕节 1480 m
总黄酮/(mg/g DW)	48.84±5.66 ^b	52.11±0.75 ^b	44.40±2.25 ^{ab}	35.86±0.49 ^a	44.40±2.16 ^{ab}	119.25±7.85 ^c
总单宁/(mg/g DW)	152.82±12.5 ^b	188.7±5.21 ^{cd}	184.66±6.88 ^{cd}	128.80±10.48 ^a	175.26±6.83 ^c	206.48±17.09 ^d
总酚/(mg/g DW)	119.54±9.59 ^d	101.79±0.89 ^c	110.93±0.82 ^d	78.04±4.14 ^a	90.58±2.77 ^b	156.65±5.51 ^e
总三萜/(mg/g DW)	23.19±4.06 ^a	28.57±3.57 ^{ab}	32.32±2.38 ^b	22.56±1.12 ^a	25.60±2.92 ^{ab}	54.40±4.36 ^c
总多糖/(mg/g DW)	5.76±1.72 ^b	8.3±1.05 ^c	8.66±1.57 ^c	5.77±0.63 ^b	15.43±1.19 ^d	3.09±0.46 ^a
DPPH /(Trolox $\mu\text{mol/g}$ DW)	826.15±148.91 ^{ab}	1097.85±82.39 ^c	1103.72±145.48 ^c	775.15±17.66 ^a	990.67±53.22 ^{bc}	1026.35±27.99 ^{bc}

表 4 各指标间的相关性分析
Table 4 Correlation analysis among indicators

	总糖	可溶性 蛋白	总酸	维生素 C	总黄酮	总酚	总三萜	总单宁	DPPH 清 除能力	总多糖	总游离 氨基酸	总氨基酸 代谢物
总糖	1											
可溶性 蛋白	-0.70	1										
总酸	0.95**	-0.79	1									
维生素 C	0.59	-0.26	0.64	1								
总黄酮	-0.78	0.59	-0.85*	-0.88*	1							
总酚	-0.65	0.34	-0.66	-0.73	0.90*	1						
总三萜	-0.90*	0.73	-0.93**	-0.74	0.96**	0.86*	1					

表 4(续)

	总糖	可溶性 蛋白	总酸	维生素 C	总黄酮	总酚	总三萜	总单宁	DPPH 清 除能力	总多糖	总游离 氨基酸	总氨基酸 代谢物
总单宁	-0.54	0.77	-0.65	-0.27	0.69	0.69	0.77	1				
DPPH 清 除能力	-0.35	0.72	-0.44	0.20	0.30	0.324	0.46	0.88*	1			
总多糖	0.57	0.11	0.52	0.61	-0.53	-0.56	-0.47	0.01	0.26	1		
总游离氨 基酸	0.43	0.14	0.40	0.79	-0.71	-0.84*	-0.58	-0.21	0.20	0.80	1	
总氨基酸 代谢物	0.49	0.14	0.42	0.49	-0.55	-0.77	-0.51	-0.25	-0.01	0.86*	0.88*	1

注: ** 在 0.01 级别(双尾), 相关性极显著, *在 0.05 级别(双尾), 相关性显著。

2.5 主成分分析

通过构建主成分分析(principal component analysis, PCA)模型, 分析不同成熟度及海拔地区刺梨果实的品质差异, 所得主成分特征值及方差贡献率、主成分载荷矩阵, 分别由表 5、6 所示。表 5 表明, 主成分 1、2、3 的方差贡献率分别为 58.83%、23.19%和 9.44%, 3 个主成分累计方差贡献率为 91.46%, 说明前 3 个主成分代表了 12 个指标 91.46%的综合信息, 能较好地反映原始高维矩阵数据的信息。由表 6 可知, 决定第 1 主成分大小的主要因素是总三萜、总黄酮、总酚含量, 决定第 2 主成分大小的主要因素是 DPPH 自由基清除能力, 决定第 3 主成分大小的主要因素是总多糖含量。

图 1 为不同成熟度及海拔地区的刺梨果实的主成分得分图。从主成分 1 得分上看, 刺梨五成熟果与成熟果的分布相距较远, 表明两者差异较大。不同成熟果实样品在主成分 1 得分上差异较小, 但在主成分 2 得分上具有一定的差异, 其中毕节 1600 m 与毕节 1480 m 的刺梨果实有部分重叠, 说明两者品质较相近。总体而言, 刺梨成熟果在品质上并未随海拔、种植地区而呈现规律性变化。

表 5 主成分特征值及方差贡献率
Table 5 Principal component eigenvalues and variance contribution rates

主成分	特征值	方差贡献率/%	累积方差贡献率/%
1	7.65	58.83	58.83
2	3.02	23.19	82.02
3	1.23	9.44	91.46

3 结论与讨论

本研究考察了成熟度及种植海拔地区对刺梨果实营养活性成分及抗氧化活性的影响。结果发现与其他水果相比, 刺梨果实含有 14 种游离氨基酸及 7 种氨基酸代谢物, 以及

丰富的维生素 C、黄酮、单宁、多酚、三萜类化合物等活性成分, 表明其是功能食品的优质原料。在成熟度因素方面, 刺梨五成熟果的维生素 C 含量仅约为成熟果的 1/20, 其总黄酮、总酚及总三萜含量均显著高于成熟果实($P<0.05$), 其中总黄酮和总三萜含量约为成熟果实的 2 倍, 然而其组成、安全性及功效活性有待进一步研究, 进而为五成熟刺梨果实在功能食品加工中的应用提供依据。海拔对果实产量和品质的影响是相关气候因子间接作用的综合结果。不同海拔对刺梨果实维生素 C 含量影响较大, 其中毕节 1480 m 刺梨果实的维生素 C 含量最高。刺梨果实的必需氨基酸、总氨基酸含量与海拔呈负相关。同一海拔 1480 m 中, 毕节市种植的刺梨果实主要活性成分含量及抗氧化活性均高于贵阳市种植的, 表明种植海拔、地区以及栽培条件等因素均可能影响刺梨果实品质。此外, 主成分分析结果表明刺梨五成熟果与成熟果的品质差异显著; 刺梨成熟果在品质上并未随海拔、种植地区而呈现规律性变化, 其中毕节 1600 m 与毕节 1480 m 的刺梨果实品质相似度最高。本研究结果可为刺梨果实的精准栽培及开发利用提供一定参考。

表 6 主成分载荷矩阵
Table 6 Principal component loading matrix

主成分	1	2	3
总三萜	-0.98	0.18	0.00
总黄酮	-0.98	0.00	0.16
总酚	-0.93	-0.14	0.09
总酸	0.88	-0.24	0.25
总糖	0.85	-0.15	0.30
维生素 C	0.81	0.37	-0.35
总游离氨基酸	0.72	0.65	-0.07
总单宁	-0.71	0.59	0.02
总氨基酸代谢物	0.65	0.56	0.37
DPPH 清除率	-0.36	0.81	-0.24
可溶性蛋白	-0.58	0.76	-0.02
总多糖	0.60	0.66	0.44

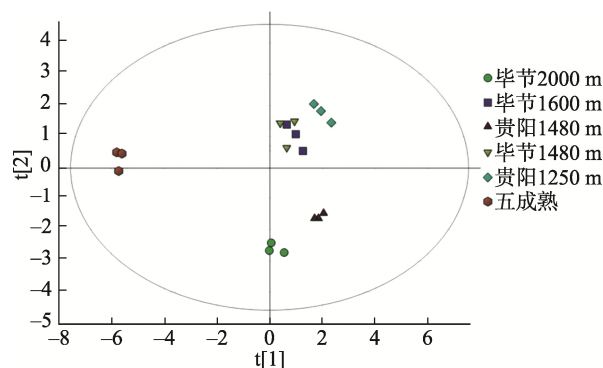


图 1 不同成熟度及海拔地区的刺梨果实主成分得分图

Fig.1 Principal component analysis diagram of *Rosa roxburghii* fruits of different maturities, altitudes and regions

参考文献

- [1] 代甜甜, 杨小生. 刺梨化学成分及药理活性研究进展[J]. 贵阳中医学报, 2015, 37(4): 93–97.
DAI TT, YANG XS. Research progress on chemical constituents and pharmacological activities of *Rosa roxburghii* [J]. Guiyang Coll Tradit China Med, 2015, 37(4): 93–97.
- [2] XU P, CAI X, ZHANG W, *et al.* Flavonoids of *Rosa roxburghii* Tratt exhibit radioprotection and anti-apoptosis properties via the Bcl-2(Ca²⁺)/caspase-3/PARP-1 pathway [J]. Apoptosis, 2016, 21(10): 1125–1143.
- [3] 李发耀, 欧国腾, 樊卫国, 等. 中国刺梨产业发展报告(2020)[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2020.
LI FY, OU GT, FAN WG, *et al.* Report on the development of China's *Rosa roxburghii* industry (2020) [M]. Beijing: Social Science Literature Publisher, 2020.
- [4] 杨静华. 考马斯亮蓝法测定苦荞麦中可溶性蛋白的含量[J]. 山西医药杂志, 2018, 47(2): 206–207.
YANG JH. Determination of soluble protein in tartary buckwheat by Coomassie brilliant blue method [J]. Shanxi Med J, 2018, 47(2): 206–207.
- [5] YU Y, XIAO G, XU Y, *et al.* Effects of dimethyl dicarbonate (DMDC) on the fermentation of litchi juice by *Lactobacillus casei* as an alternative of heat treatment [J]. J Food Sci, 2014, 79(5): M947–M954.
- [6] LU M, AN HM, WANG DP. Characterization of amino acid composition in fruits of three *Rosa roxburghii* genotypes [J]. Horticult Plant J, 2017, 3(6): 232–236.
- [7] 董彩霞, 董园园, 王健, 等. 同一流动相测定植物体内 12 种有机酸和维生素 C 的高效液相色谱法[J]. 土壤学报, 2005, 42(2): 331–335.
DONG CX, DONG YY, WANG J, *et al.* Determination of the contents of twelve organic acid and vitamin C in plants with one mobile phase by HPLC [J]. Acta Pedol Sin, 2005, 42(2): 331–335.
- [8] DRAGOVIC-UZELAC V, SAVIC Z, BRALA A, *et al.* Evaluation of phenolic content and antioxidant capacity of blueberry cultivars (*Vaccinium corymbosum* L.) grown in the northwest Croatia [J]. Food Technol Biotech, 2010, 48(2): 214–221.
- [9] 王振伟, 申森, 胡晓冰. 刺梨中黄酮的超声提取及 HPLC 测定[J]. 湖北农业科学, 2014, 53(19): 4684–4687.
WANG ZW, SHEN S, HU XB. Extracting total flavonoids from *Rosa roxburghii* Tratt with ultrasonic wave and determination by HPLC [J]. Hubei Agric Sci, 2014, 53(19): 4684–4687.
- [10] 桑嘉记, 温靖, 刘昊澄, 等. 不同品种英德红茶的品质比较分析[J]. 现代食品科技, 2021, 37(4): 157–162.
SANG JQ, WEN J, LIU HC, *et al.* Quality comparative analysis of different varieties of Yingde black tea [J]. Mod Food Technol, 2021, 37(4): 157–162.
- [11] ZENG FF, GE ZW, LIMWACHIRANON J, *et al.* Antioxidant and tyrosinase inhibitory activity of *Rosa roxburghii* fruit and identification of main bioactive phytochemicals by UPLC-Triple-TOF/MS [J]. Int J Food Sci Technol, 2017, 52(4): 897–905.
- [12] 刘晓涵, 陈永刚, 林励, 等. 蒽酮硫酸法与苯酚硫酸法测定枸杞子中多糖含量的比较[J]. 食品科技, 2009, 34(9): 270–272.
LIU XH, CHEN YG, LIN L, *et al.* Comparison of anthrone sulfuric acid method and phenol sulfuric acid method for the determination of polysaccharide content in *Lycii fructus* [J]. Food Sci Technol, 2009, 34(9): 270–272.
- [13] 吴洪娥, 金平, 周艳, 等. 刺梨与无籽刺梨的果实特性及其主要营养成分差异[J]. 贵州农业科学, 2014, 42(8): 221–223.
WU HER, JIN P, ZHOU Y, *et al.* Characteristics and main nutrition components of *R. roxburghii* and *R. sterilis* fruits [J]. Guizhou Agric Sci, 2014, 42(8): 221–223.
- [14] 张文婷, 陆秋艳. 亚热带水果中糖组分的测定及分析[J]. 营养学报, 2019, 41(3): 308–312.
ZHANG WT, LU QY. Determination and analysis of sugar components in subtropical fruits [J]. Acta Nutr Sin, 2019, 41(3): 308–312.
- [15] 何伟平, 滕建文, 朱晓韵, 等. 刺梨 VC 和多酚成分稳定性及抗氧化性研究[J]. 广西轻工业, 2011, 27(9): 1–3.
HE WP, TENG JW, ZHU XY, *et al.* Study on the stability and antioxidant activity of VC and polyphenols in *Rosa roxburghii* [J]. Guangxi Light Ind, 2011, 27(9): 1–3.
- [16] 周广志, 鲁敏, 安华明. 刺梨果实发育过程中主要活性物质含量及其抗氧化性分析[J]. 食品科学, 2018, 39(22): 27–32.
ZHOU GZ, LU M, AN HM. Analysis of main active substances content and antioxidant activity during fruit development of *Rosa roxburghii* [J]. Food Sci, 2018, 39(22): 27–32.
- [17] 李敬阳, 王甲水, 唐粉玲, 等. 香蕉果实营养差异及其对人体膳食摄入量贡献评价[J]. 热带作物学报, 2015, 36(1): 174–178.
LI JY, WANG JS, TANG FL, *et al.* Evaluation for nutrient composition of banana and contribution to recommended nutrient intake of consumers [J]. J Trop Crop, 2015, 36(1): 174–178.
- [18] 陈成花, 张婧, 刘炳杰, 等. 蓝莓果渣营养成分分析及评估[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(9): 223–227.
CHEN CH, ZHANG J, LIU BJ, *et al.* Analysis and evaluation of nutritional components in blueberry pomace [J]. Food Ferment Ind, 2016, 42(9): 223–227.
- [19] 刘兆金, 印遇龙, 邓敦, 等. 精氨酸生理营养研究[J]. 氨基酸和生物资源, 2005, 27(4): 54–57.
LIU ZJ, YIN YL, DENG D, *et al.* Study on arginine physiological nutrition [J]. Amino Acids Biotic Res, 2005, 27(4): 54–57.
- [20] 梁臣, 陈忠. γ -氨基丁酸及其受体功能的研究与应用现状[J]. 动物医学进展, 2015, 36(4): 108–112.
LIANG C, CHEN Z. Research and application status of γ -aminobutyric acid and its receptor function [J]. Prog Vet Med, 2015, 36(4): 108–112.

- [21] 黄艳. 常见果蔬中游离氨基酸含量的测定[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(9): 4088–4089.
HUANG Y. Determination of free amino acid content in common fruits and vegetables [J]. Anhui Agric Sci, 2013, 41(9): 4088–4089.
- [22] 林晓丽, 韩文凤, 郭红英, 等. 水果中酚类物质研究进展[J]. 食品与发酵科技, 2018, 54(3): 82–84.
LIN XL, HAN WF, GUO HY, *et al.* Research progress on phenolic compounds in fruits [J]. Food Ferment Technol, 2018, 54(3): 82–84.
- [23] 谭世强, 谢敬宇, 郭帅, 等. 三萜类物质的生理活性研究概况[J]. 中国农学通报, 2012, 28(36): 23–27.
TAN SQ, XIE JY, GUO S, *et al.* Study on the physiological activity of triterpenoids [J]. Chin Agric Sci Bull, 2012, 28(36): 23–27.
- [24] 秦晶晶, 李齐激, 薛琰, 等. 刺梨总三萜提取方法及其 α -葡萄糖苷酶抑制活性研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(10): 186–189.
QIN JJ, LI QJ, XUE Y, *et al.* The extraction method of total triterpenoids from *Rosa roxburghii* and its α -glucosidase inhibitory activity [J]. Food Ind Sci Technol, 2014, 35(10): 186–189.
- [25] 周笑犁, 阳桥美, 孔艳秋, 等. 刺梨果渣多糖对 α -淀粉酶活性的抑制作用[J]. 食品科技, 2020, 45(10): 207–212.
ZHOU XL, YANG QM, KONG YQ, *et al.* The inhibitory effect of polysaccharide from *Rosa roxburghii* pomace on α -amylase activity [J]. Food Sci Technol, 2020, 45(10): 207–212.
- [26] 杨江涛, 杨娟, 杨江冰, 等. 刺梨多糖对衰老小鼠体内抗氧化能力的影响[J]. 营养学报, 2008, (4): 407–409.
YANG JT, YANG J, YANG JB, *et al.* Antioxidant effect of polysaccharide from *Rosa roxburghii* in aging mice [J]. Acta Nutr Sin, 2008, (4): 407–409.
- [27] 周笑犁, 卢颖, 朱坤珑, 等. 刺梨果渣多糖的发酵制备工艺优化及其抗氧化活性研究[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(14): 24–29.
ZHOU XL, LU Y, ZHU KL, *et al.* Fermentation process optimization and antioxidant activity of polysaccharide from *Rosa roxburghii* pomace [J]. Food Res Dev, 2019, 40(14): 24–29.
- [28] 陈伟, 曹杰, 张莹, 等. 蔬菜水果的抗氧化活性与总黄酮含量的相关性[J]. 现代预防医学, 2010, 37(7): 1245–1247.
CHEN W, CAO J, ZHANG Y, *et al.* The relevance between antioxidant activation and the content of flavonoid vegetable and fruit [J]. Mod Prev Med, 2010, 37(7): 1245–1247.
- [29] 万怡震, 乔飞, 贺普超. 中国野生葡萄种子及果皮单宁的研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2001, 29(6): 43–46.
WAN YZ, QIAO F, HE PC. The tannin contents of the seed and the berry skin in Chinese wild *Vitis* [J]. J Northwest A F Univ (Nat Sci Ed), 2001, 29(6): 43–46.
- [30] 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 XJ, LIU H, ZHONG M, *et al.* Comparison of nutritional quality of three kinds of *Rosa roxburghii* in Anshun area [J]. Food Res Dev, 2016, 37(7): 44–47.
- [31] 赵谋明, 董红竹, 林恋竹. 八种水果多酚的定量分析与抗氧化活性研究[J]. 现代食品科技, 2017, 33(10): 225–236.
ZHAO MM, DONG HZ, LIN LZ. Comparative study on the phenolic profiles of eight fruits and their antioxidant activities [J]. Mod Food Sci Technol, 2017, 33(10): 225–236.
- [32] 赵爱玲, 薛晓芳, 王永康, 等. 不同树种果实糖、酸及三萜酸组分的比较分析[J]. 果树资源学报, 2020, 1(6): 1–6.
ZHAO AIL, XUE XF, WANG YK, *et al.* Comparative analysis of sugar, acid and triterpenoid acid components in fruit of different tree species [J]. J Fruit Res, 2020, 1(6): 1–6.

(责任编辑: 张晓寒 郑 丽)

作者简介



陈钰祺, 主要研究方向为农产品加工。
E-mail: 1431004535@qq.com



林 菱, 硕士, 副研究员, 主要研究方向为农产品加工。
E-mail: sannylam@126.com