

金刺梨果实发育期间营养成分及抗氧化能力变化

Analysis of changes in the nutrients and the antioxidant activities

for *Rosa sterilis* D.Shi during development

谢国芳^{1,2} 王玉波^{1,2} 孔德银^{1,2} 汪莉蓉³

XIE Guo-fang^{1,2} WANG Yu-bo^{1,2} KONG De-yin^{1,2} WANG Li-rong³

周笑犁^{1,2} 赵治兵^{1,2} 刘永玲^{1,2}

ZHOU Xiao-li^{1,2} ZHAO Zhi-bing^{1,2} LIU Yong-ling^{1,2}

(1. 贵阳学院食品与制药工程学院, 贵州 贵阳 550005; 2. 贵州省果品加工工程技术研究中心,
贵州 贵阳 550005; 3. 贵州医科大学神奇民族医药学院, 贵州 贵阳 550005)

(1. Food and Pharmaceutical Engineering Institute, Guiyang University, Guiyang, Guizhou 550005, China;

2. Guizhou Engineering Research Center for Fruit Processing, Guiyang University, Guiyang, Guizhou 550005, China;

3. Shen Qi Ethnic Medicine College of Guizhou Medical University, Guiyang, Guizhou 550005, China)

摘要:为了解金刺梨果实发育期间主要营养成分及其抗氧化能力的变化规律,分析不同发育期金刺梨果实纤维素、还原糖、抗坏血酸、可溶性蛋白质、总黄酮及总酚等主要营养成分的变化,采用 DPPH 法、FRAP 法和 ABTS 法分析其抗氧化能力,通过相关性分析和主成分分析法分析其抗氧化活性营养成分。结果显示:金刺梨发育期各营养成分和抗氧化能力变化趋势存在差异。纤维素和蛋白质含量随果实发育呈先降后增趋势,还原糖、抗坏血酸含量与 FRAP 的变化趋势一致,随果实发育呈现持续上升趋势,即成熟果实中更高;总黄酮含量和 DPPH 在整个发育期均维持较高的水平;而总酚含量和 ABTS 则随着果实的发育呈先增后降的趋势。相关性分析和主成分分析显示:还原糖和抗坏血酸含量是金刺梨果实主要的抗氧化营养成分。整体而言,成熟的金刺梨果实具有较高的营养成分和抗氧化能力。

关键词:金刺梨;发育期间;营养成分;抗氧化能力

Abstract: To understand the changes of the main nutrients and antioxidant activities of *Rosa sterilis* D.Shi during development. The changes of the main nutrients of *Rosa sterilis* D.Shi, including cellulose during development, reducing sugar, protein, ascorbic acid, total flavonoids, and total polyphenols, were investigated. The antioxidant capacity was analyzed by using the DPPH, ABTS, and FRAP. The antioxidant nutrients were determined by correlation analysis and principal component analysis. The results showed that there were differences in changes of nutrients and antioxidant activities of *Rosa sterilis* D.Shi during development. The content of cellulose and protein decreased with the development. The content of reducing sugar and ascorbic acid in *Rosa sterilis* D.Shi was consistent with the change trend of FRAP, which showed a continuous upward trend with the development. The total flavonoids content and DPPH maintained a high level in the development period. However, total polyphenols and ABTS of *Rosa sterilis* D.Shi increased first and then decreased with the development. Correlation analysis and principal component analysis showed that reducing sugar and ascorbic acid was the main antioxidant nutrients in *Rosa sterilis* D.Shi. Overall, the mature fruit of *Rosa sterilis* D.Shi has high nutrients and antioxidant activities.

Keywords: *Rosa sterilis* D.Shi; development; nutrients; antioxidant activity

基金项目:贵州省自然科学基金项目(编号:黔科合基础[2016]1007);贵州省林业厅林业科学技术研究(编号:黔林科合[2018]12号);贵州省大学生创新创业训练计划项目(编号:201710976070);贵州省普通高等学校特色重点实验室(编号:黔教合 KY 字[2016]007号);贵阳市科技局贵阳学院专项资金资助(编号:GYU-KYZ[2018]01-17)

作者简介:谢国芳(1987—),男,贵阳学院副教授,硕士。

E-mail: xieguofang616@sina.com

收稿日期:2018-05-31

金刺梨(*Rosa sterilis* D.Shi)又称无籽刺梨,蔷薇科蔷薇属多年生灌木,为贵州省特有种系。果实含有蛋白质、糖、维生素、氨基酸、总酚、微量元素和 SOD 等功效成分^[1-3]。无论鲜销、贮藏还是加工,金刺梨果实成熟度直接影响其品质,虽然目前已明确了刺梨果实发育过程中抗坏血酸^[4-5]、总酚、总黄酮、总三萜等主要活性物质^[6]、矿质元素^[7]、内源激

素^[8]和钙调素^[9]等变化规律,但由于刺梨与金刺梨主要营养和理化成分存在一定差异^[10-12],截至目前,金刺梨果实发育过程中营养成分的变化特点及其抗氧化能力尚不清楚。因此,本试验拟通过研究金刺梨果实发育期间纤维素、还原糖、抗坏血酸、可溶性蛋白质、总黄酮、总酚等主要营养成分和抗氧化能力(DPPH、ABTS 和 FRAP)的变化,分析抗氧化能力的主要成分,以期对金刺梨合理采收、开发、挖掘保健价值及其调控等具有一定的指导意义。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

金刺梨鲜果:采于贵州安顺普定金刺梨种植基地,共选 40 株长势良好、产量稳定的金刺梨植株用于试验采样,根据果皮和果肉色泽选择 5 个不同发育期(图 1),分别记为

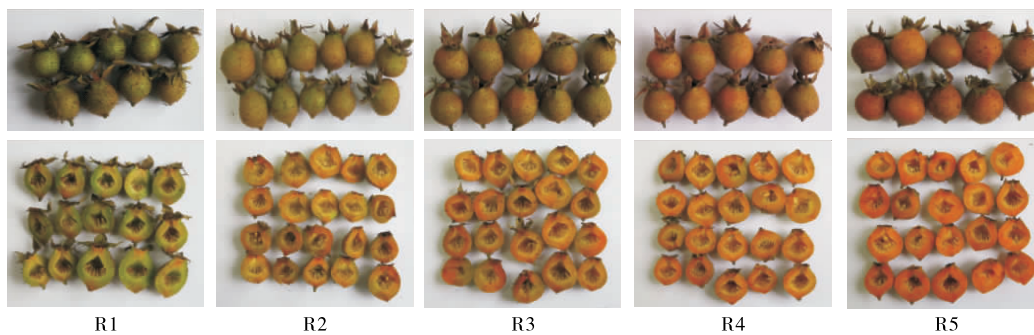


图 1 不同成熟期金刺梨果实

Figure 1 Fruits of *Rosa sterilis* D.Shi during development

1.3 金刺梨主要营养成分分析方法

- 1.3.1 纤维素 采用缪颖等^[13]的方法。
- 1.3.2 还原糖 采用 Xie 等^[14]的方法。
- 1.3.3 抗坏血酸 采用 Xie 等^[15]的方法。
- 1.3.4 蛋白质 采用 Xie 等^[14]的方法。
- 1.3.5 总酚 采用 Nuncio-Jauregui 等^[16]的方法。
- 1.3.6 总黄酮 采用 DragoviC-Uzelac 等^[17]的方法。

1.4 金刺梨抗氧化能力分析方法

- 1.4.1 DPPH 自由基清除能力(DPPH) 采用 Tauchen 等^[18]的方法。
- 1.4.2 ABTS 自由基清除能力(ABTS) 采用 Schaich 等^[19]的方法。

R1~R5,每个成熟期随机选 8 株采集大小、色泽基本一致的果实,采后当天运回实验室,液氮冷冻打浆,超低温冰箱贮存备用;

芦丁、焦性没食子酸、2,4,6-三吡啶基三嗪(TPTZ)、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)、水溶性维生素 E(Trolox);美国 Sigma 公司;

其他化学试剂均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

- 电子天平:YH-A 6002 型,瑞安市英衡电器有限公司;
- 超高速冷冻离心机:TGL-166RS 型,上海安亭科学仪器厂;
- 超声清洗器:KQ5200DE 型,昆山市超声仪器有限公司;
- 紫外分光光度计:UV-2550 型,日本岛津公司。

1.4.3 Fe³⁺ 还原抗氧化能力(FRAP) 采用 Todorovic 等^[20]的方法。

1.5 数据处理

试验采用 3 组平行的随机组合设计,试验结果采用 Microsoft Excel 软件进行整理,并以(平均值±标准偏差)表示,采用 IBM SPSS 22 软件进行 Duncan's 间差异显著性统计、Pearson's 相关性分析和主成分分析,P<0.05 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 金刺梨发育期营养成分分析

由表 1 可知,不同成熟阶段金刺梨果实的主要营养成分均呈显著变化。其中,纤维素和蛋白质含量均随果实的成熟

表 1 金刺梨发育期营养成分分析[†]

Table 1 Analysis of nutrients of *Rosa sterilis* D.Shi during development

成熟阶段	纤维素/ %	还原糖/ %	蛋白质/ (10 ⁻² mg·g ⁻¹)	抗坏血酸/ (10 ⁻² mg·g ⁻¹)	总酚/ (10 ⁻² mg·g ⁻¹)	总黄酮/ (10 ⁻² mg·g ⁻¹)
R1	2.49±0.24 ^a	7.76±0.14 ^c	1.58±0.13 ^{ab}	204.28±0.78 ^d	310.17±0.28 ^b	210.41±6.69 ^a
R2	2.11±0.06 ^{ab}	9.01±0.15 ^b	1.45±0.00 ^{bc}	217.55±16.80 ^d	373.75±9.28 ^a	227.04±3.18 ^a
R3	2.04±0.13 ^{ab}	9.78±0.34 ^b	1.27±0.04 ^c	286.61±26.93 ^c	405.95±10.62 ^a	212.80±7.38 ^a
R4	1.47±0.19 ^c	9.62±0.06 ^b	1.43±0.02 ^{bc}	495.57±25.91 ^b	398.81±8.36 ^a	186.67±1.12 ^b
R5	1.60±0.02 ^{bc}	12.91±0.52 ^a	1.75±0.10 ^a	869.89±9.65 ^a	373.14±12.40 ^a	212.43±0.86 ^a
P	0.024	<0.001	0.048	<0.001	0.007	0.015

† 同列不同字母表示不同处理间差异显著(P<0.05)。

呈先降后升的趋势,分别在 R4 和 R3 时到达低峰;而还原糖和抗坏血酸含量随着果实的成熟呈持续上升趋势,均在 R5 时到达最大值,分别是 R1 的 1.7, 4.3 倍,说明金刺梨果实中还原糖含量的积累规律与金樱子^[21]一致,抗坏血酸含量积累规律与刺梨一致,但显著低于刺梨果实^[6,8-9];总酚含量在 R1 至 R2 期间显著上升,在 R3 时到达最大值,是 R1 的 1.3 倍,随后略微下降,与刺梨果实总酚积累规律完全相反,且显著低于刺梨^[9],说明金刺梨与刺梨果实中的酚类组分存在差异;金刺梨果实的总黄酮含量则随果实的成熟无明显变化趋势,但在 R4 时显著低于其他成熟阶段,与刺梨果实发育期总黄酮积累规律一致^[9]。

2.2 金刺梨发育期抗氧化能力分析

由表 2 可知,金刺梨果实发育期对 DHHP、ABTS 自由基清除能力和 FRAP 存在较大差异。金刺梨果实对 DPPH 自由基清除能力随果实的成熟呈先降后增的趋势,在 R3 时到达最小值,与刺梨果实抗氧化能力变化规律一致^[9];金刺梨果实对 ABTS 自由基清除能力随果实的成熟呈先增后降的趋势,在 R4 时到达最大值,分别是 R1 的 2.0 倍,随后显著下降,R5 时仅为 R4 时的 54%;金刺梨果实对 FRAP 随果实的成熟呈持续上升趋势,在 R5 时到达最大值,是 R1 时的

表 2 金刺梨发育期抗氧化能力分析[†]

Table 2 Analysis of antioxidant activity of *Rosa sterilis* D. Shi during development

成熟阶段	DPPH	ABTS	FRAP
R1	11.47±0.11 ^{ab}	78.88±1.90 ^d	31.46±0.17 ^c
R2	11.45±0.12 ^{ab}	88.49±0.02 ^c	36.76±0.07 ^b
R3	11.13±0.22 ^b	107.36±2.19 ^b	39.16±1.37 ^b
R4	11.52±0.15 ^{ab}	161.10±1.10 ^a	39.47±0.79 ^b
R5	11.71±0.02 ^a	86.69±2.34 ^c	50.08±0.31 ^a
P	0.194	<0.001	<0.001

† 同列不同字母表示不同处理间差异显著(P<0.05)。

1.6 倍,在成熟果实中含量最高,与还原糖含量和抗坏血酸含量的变化规律一致,主要是由于多糖和抗坏血酸具有较强的抗氧化能力^[3,22-23];金刺梨果实对 ABTS 自由基清除能力和 FRAP 与刺梨果实存在一定差异^[9],主要是由其营养成分差异引起的。

2.3 金刺梨营养成分与抗氧化能力相关性分析

金刺梨果实主要营养成分与抗氧化能力相关性分析结果见表 3。

表 3 营养成分与抗氧化能力相关性分析[†]

Table 3 Correlation coefficient among nutrients and antioxidant activity

抗氧化能力	纤维素	还原糖	蛋白质	抗坏血酸	总黄酮	总酚
DPPH	-0.273	0.405	0.656 *	0.555	-0.133	0.068
ABTS	-0.597	-0.067	-0.109	0.090	-0.652 *	0.625
FRAP	-0.696 *	0.962 * *	0.555	0.922 * *	-0.033	0.350

† * 和 * * 分别表示在 P<0.05 和 P<0.01 水平上显著相关。

由表 3 可知,还原糖和抗坏血酸含量与 FRAP 呈现极显著正相关关系,说明抗坏血酸和糖类物质是金刺梨果实的主要抗氧化成分,与前期研究^[3,22]结果一致;蛋白质与 DPPH 呈现显著正相关性,总酚与 DPPH、ABTS 和 FRAP 均具有一定的正相关性,但不显著,可能与金刺梨果实中抗坏血酸含量显著高于总酚有关^[3],而刺梨果实中总酚则为主要活性物质^[9],说明刺梨和金刺梨果实中活性物质呈现较大差异;由于金刺梨果实发育期间纤维素和总黄酮含量与 3 种抗氧化能力呈现不同的变化趋势,以致呈现负相关性。

2.4 金刺梨 6 种营养成分的主成分分析

通过对金刺梨果实的 6 种主要营养成分进行主成分分析,结果如表 4 和图 2 所示,前 3 个主成分的累计方差贡献率达到 92.379%,几乎反应了原始 6 个指标的全部信息,表明主要营养成分对抗氧化能力的贡献较为集中。其中主成分 1 代表性指标为纤维素、抗坏血酸和还原糖,主要为抗氧化能力指标,抗坏血酸和还原糖在主成分 1 正方向上有较高载荷,纤维素在主成分 1 负方向上有较高载荷;主成分 2 代表性指标为总黄酮和可溶性蛋白质,均在主成分 2 正方向上具有较高载荷;主成分 3 代表性指标为总酚,在主成分 3 正方向上具有较高载荷。可以推断,主成分 1 综合反映了金刺梨具有较强抗氧化能力的营养成分。

表 4 主成分因子载荷矩阵

Table 4 Component load matrix after principal component analysis

指标	因子权重		
	PC1	PC2	PC3
纤维素	-0.895	0.374	-0.051
还原糖	0.903	0.260	-0.044
可溶性蛋白质	0.578	0.689	-0.016
抗坏血酸	0.922	0.155	-0.299
总黄酮	-0.336	0.823	0.401
总酚	0.530	-0.309	0.783
特征值	3.195	1.480	0.868
方差贡献率/%	53.248	24.660	14.471
累计方差贡献率/%	53.248	77.908	92.379

3 结论

通过对发育期间金刺梨果实中纤维素、还原糖、蛋白质、抗坏血酸、总黄酮、总酚及体外抗氧化能力进行研究发现,纤维素和蛋白质含量随着果实的发育呈先降后增趋势,在幼果

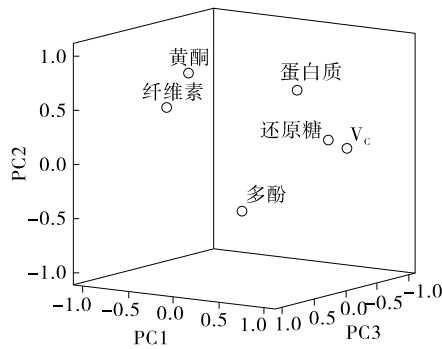


图2 主成分因子旋转示意图

Figure 2 Rotation schematic of principal component

和成熟果中含量较高;还原糖和抗坏血酸含量和FRAP随着果实的发育呈持续上升趋势,在成熟果实中含量最高;而总酚则随着果实的发育呈先增后降的趋势,总黄酮含量在整个发育期均维持较高的水平;DPPH维持相对稳定,ABTS则呈先增后降的趋势。整体而言,成熟果实具有较高的营养成分和抗氧化能力,具有较高的综合营养价值,是功能食品、药品开发的优质原料。

参考文献

[1] 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(10): 1 259-1 268.

[2] 鲁敏, 安华明, 赵小红. 无籽刺梨与刺梨果实中氨基酸分析[J]. 食品科学, 2015, 36(14): 118-121.

[3] 谢国芳, 徐小燕, 王瑞, 等. 金刺梨果实和叶中酚类、V_c含量及其抗氧化能力分析[J]. 植物科学学报, 2017, 35(1): 122-127.

[4] 牟君富, 王绍美, 朱庆刚, 等. 刺梨果实发育中生理生化变化规律的初步研究[J]. 贵州农业科学, 1984(3): 50-52.

[5] 安华明, 樊卫国, 刘庆林, 等. 刺梨果实和叶片发育过程中抗坏血酸和抗氧化酶的协同变化[J]. 园艺学报, 2007, 34(5): 1 293-1 296.

[6] 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/OL]. 食品科学: 1-8 [2018-07-29]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20180122.1112.004.html>.

[7] 樊卫国, 向显衡, 罗充, 等. 刺梨果实生长发育期间Ca、Mg、Fe、Mn、Zn、Cu元素含量变化研究[J]. 山地农业生物学报, 1994(3): 50-55.

[8] 樊卫国, 安华明, 刘国琴, 等. 刺梨果实与种子内源激素含量变化及其与果实发育的关系[J]. 中国农业科学, 2004, 37(5): 728-733.

[9] 罗充, 樊卫国, 刘进平, 等. 钙、钙调素在刺梨果实发育过程中的含量变化研究[J]. 种子, 2004, 23(12): 6-8.

[10] 付慧晓, 王道平, 黄丽荣, 等. 刺梨和无籽刺梨挥发性香气成分分析[J]. 精细化工, 2012, 29(9): 875-878.

[11] 刘松, 赵德刚. 无籽刺梨(*Rosa kweichonensis* var *sterilis*)研究进展[J]. 山地农业生物学报, 2014, 33(1): 76-80.

[12] 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.

[13] 缪颖, 田维娜, 郝长敏, 等. 壳聚糖处理延缓采后菜豆荚纤维化的研究[J]. 中国农业大学学报, 2012, 17(1): 132-137.

[14] XIE Guo-fang, TAN Shu-ming, YU Lu. Effect of calcium chloride treatment on quality of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) [J]. Eur J Horti Sci, 2014, 79(1): 16-21.

[15] XIE Guo-fang, TAN Shu-ming, YU Lu. Effect of cultivar on quality of the common bean during storage[J]. Int Agri Eng J, 2015, 24(2): 69-78.

[16] NUNCIO-JÁUREGUI N, MUNERA-PICAZO S, CALÍN-SÁNCHEZ Á, et al. Bioactive compound composition of pomegranate fruits removed during thinning [J]. J Food Compos Anal, 2015, 37: 11-19.

[17] DRAGOVIC-UZELA 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.

[18] TAUCHEN J, MARSIK P, KVASNICOVA M, et al. In vitro antioxidant activity and phenolic composition of Georgian, Central and West European wines[J]. J Food Compos Anal, 2015, 41: 113-121.

[19] SCHAICH K, TIAN X, XIE J. Hurdles and pitfalls in measuring antioxidant efficacy: A critical evaluation of ABTS, DPPH, and ORAC assays[J]. J Funct Foods, 2015, 14: 111-125.

[20] TODOROVIC V, REDOVNIKOVIC I R, TODOROVIC Z, et al. Polyphenols, methylxanthines, and antioxidant capacity of chocolates produced in Serbia[J]. J Food Compos Anal, 2015, 41: 137-143.

[21] XIE Guo-fang, WANG Jia-jia, XU Xiao-yan, et al. Effect of different ripening stages on bioactive compounds and antioxidant capacity of wild *Rosa laevigata Michx*[J]. Food Sci Tech (Campinas), 2016, 36(3): 396-400.

[22] 杨江涛, 杨娟, 谢红, 等. 刺梨多糖粗品与纯品体外抗氧化作用[J]. 食品工业科技, 2008(2): 94-96.

[23] 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, 30(4): 407-409.

(上接第72页)

[18] BAZINET R P, LAYÉ S. Polyunsaturated fatty acids and their metabolites in brain function and disease[J]. Nature Reviews Neuroscience, 2014, 15(12): 771-85.

[19] 孙维维, 姜晓明, 徐杰, 等. 太平洋磷虾油提取工艺优化及与南极磷虾油品质的比较[J]. 中国油脂, 2018, 43(1): 8-12.

[20] 周莉, 李佩璇, 赵钰灵, 等. 响应面法优化南极磷虾粗脂肪索氏提取工艺[J]. 食品科学, 2017, 38(24): 165-170.

[21] 李莹莹, 李家鹏, 吴晓丽, 等. 蒸煮温度和时间对猪肉脂肪酸组成比例关系的影响[J]. 食品科学, 2012, 33(23): 27-30.

[22] 朱元元, 尹雪斌, 周守标. 南极磷虾及矿物质营养的初步研究[J]. 极地研究, 2010, 22(2): 135-140.

[23] 沈晓盛, 李彦霖, 张海燕, 等. 南极磷虾中氟与矿质元素的分布特征及其相关性分析[J]. 现代食品科技, 2013, 29(9): 2 279-2 282.