



无子刺梨的体内外抗氧化活性及化学成分分析

安雪菲 但汉龙 罗旭璐 刘云 李永和 赵平

Antioxidant Activities and Content Analysis of Chemical Constituents in *Rosa sterilis*

An Xuefei, Dan Hanlong, Luo Xulu, Liu Yun, Li Yonghe, Zhao Ping

引用本文:

安雪菲, 但汉龙, 罗旭璐, 刘云, 李永和, 赵平. 无子刺梨的体内外抗氧化活性及化学成分分析[J]. 西南林业大学学报, 2022, 42(5):177–182. doi: 10.11929/j.swfu.202010017

An Xuefei, Dan Hanlong, Luo Xulu, Liu Yun, Li Yonghe, Zhao Ping. Antioxidant Activities and Content Analysis of Chemical Constituents in *Rosa sterilis*[J]. *Journal of Southwest Forestry University(Natural Science)*, 2022, 42(5):177–182. doi: 10.11929/j.swfu.202010017

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11929/j.swfu.202010017>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

桦褶孔菌挥发油的化学成分及2种活性研究

Chemical Composition of the Volatile Oil from *Lenzites betulina* and Its Antioxidant and Antimicrobial Activity
西南林业大学学报. 2021, 41(6): 103–108 <https://doi.org/10.11929/j.swfu.202007042>

丛枝蓼化学成分的生物活性分析

Biological Activities Research of Compounds from *Polygonum posumbu*
西南林业大学学报. 2017, 37(6): 210–214 <https://doi.org/10.11929/j.issn.2095-1914.2017.06.032>

柳叶红千层分离黄酮的成分及其生物活性研究

Flavones and Their Biological Activities from the Leaves of *Callistemon salignus*
西南林业大学学报. 2017, 37(4): 209–212 <https://doi.org/10.11929/j.issn.2095-1914.2017.04.031>

辣木茎叶营养成分及多酚提取物体外抗氧化研究

Analyses of Nutritional Components and Antioxidant Activity of Polyphenol Extracts from Stems and Leaves of *Moringa oleifera*
西南林业大学学报. 2020, 40(2): 179–183 <https://doi.org/10.11929/j.swfu.201905037>

6BA对铝胁迫杉木幼苗抗氧化酶活性的研究

Study on 6BA on the Antioxidant Enzyme Activity of *Cunninghamia lanceolata* Seedlings Under Aluminum Stress
西南林业大学学报. 2021, 41(5): 172–177 <https://doi.org/10.11929/j.swfu.202003075>

遮荫和氮素添加对芒萁光合特性与抗氧化酶活性的影响

Effects of Light Intensity Gradient and Nitrogen Addition on Photosynthetic Characteristics and Antioxidant Enzyme Activities of *Dicranopteris dichotoma*
西南林业大学学报. 2019, 39(6): 24–32 <https://doi.org/10.11929/j.swfu.201901043>

DOI: 10.11929/j.swfu.202010017

引文格式: 安雪菲, 但汉龙, 罗旭璐, 等. 无子刺梨的体内外抗氧化活性及化学成分分析 [J]. 西南林业大学学报 (自然科学), 2022, 42(5): 177-182.

无子刺梨的体内外抗氧化活性及化学成分分析

安雪菲¹ 但汉龙¹ 罗旭璐² 刘云¹ 李永和² 赵平¹

(1. 西南林业大学西南地区林业生物质资源高效利用国家林业局重点实验室, 云南昆明 650233;

2. 云南林业职业技术学院, 云南昆明 650224)

摘要: 采用 DPPH 和 ABTS 自由基清除活性和 ROS 清除活性测试方法, 评价无子刺梨果汁及果渣提取物的体内外抗氧化活性, 采用紫外分光光度法分别对果汁和果渣中多酚、黄酮和三萜等主要化学成分的含量进行测定分析。结果表明: 果汁提取物对 DPPH 自由基和 ABTS 自由基的半清除浓度分别为 $(17.58 \pm 0.48) \mu\text{g/mL}$ 和 $(56.26 \pm 3.07) \mu\text{g/mL}$, 果渣提取物对 DPPH 和 ABTS 自由基的半清除浓度分别为 $(45.38 \pm 0.68) \mu\text{g/mL}$ 和 $(101.67 \pm 1.15) \mu\text{g/mL}$, 果汁提取物的体外抗氧化活性均强于阳性对照 Vc 和果渣提取物。果汁提取物和果渣提取物的 ROS 清除率分别为 $(84.80 \pm 3.40)\%$ 和 $(83.80 \pm 3.60)\%$, 表明 2 种提取物的体内抗氧化活性相当, 且均强于阳性对照。果汁中总多酚、总黄酮和总三萜的含量分别为 (32.81 ± 0.19) 、 (29.62 ± 0.06) 、 $(61.88 \pm 0.62) \text{mg/g}$, 果渣中总多酚、总黄酮和总三萜的含量分别为 (21.66 ± 0.29) 、 (12.11 ± 0.05) 、 $(15.16 \pm 0.22) \text{mg/g}$, 果汁中主要化学成分的含量均高于果渣, 并与其抗氧化能力呈正相关关系。

关键词: 无子刺梨; 抗氧化活性; 总多酚; 总黄酮; 总三萜

中图分类号: Q946.8

文献标志码: A

文章编号: 2095-1914(2022)05-0177-06

Antioxidant Activities and Content Analysis of Chemical Constituents in *Rosa sterilis*

An Xuefei¹, Dan Hanlong¹, Luo Xulu², Liu Yun¹, Li Yonghe², Zhao Ping¹

(1. Key Laboratory of National Forestry and Grassland Administration on Highly-efficient Utilization of Forestry Biomass Resources in Southwest China, Southwest Forestry University, Kunming Yunnan 650233, China; 2. Yunnan Forestry Technological College, Kunming Yunnan 650224, China)

Abstract: In order to evaluate the antioxidant activities and the major chemical constituents of *Rosa sterilis*, the antioxidant activities of the juice extract and pomace extract of title plant were evaluated by DPPH and ABTS free radical scavenging assays, and the contents of total polyphenols, total flavonoids and total triterpenoids in the juice and pomace were determined by ultraviolet spectrophotometry, respectively. The results showed that the SC_{50} values of the juice extract against DPPH and ABTS free radicals were $(17.58 \pm 0.48) \mu\text{g/mL}$ and $(56.26 \pm 3.07) \mu\text{g/mL}$, and the SC_{50} values for the pomace extract against DPPH and ABTS free radicals were $(45.38 \pm 0.68) \mu\text{g/mL}$ and $(101.67 \pm 1.15) \mu\text{g/mL}$, respectively, indicated that the *in vitro* antioxidant activity of the juice extracts is stronger than those of the Vc and pomace extract. The ROS scavenging rates of juice and pomace ex-

收稿日期: 2020-10-09; 修回日期: 2020-12-07

基金项目: 推进黔西南试验区建设科技合作专项资金项目 (黔西南科合 2015-31) 资助; 西南林业大学科技创新基金项目 (C15081) 资助。

第 1 作者: 安雪菲 (1996—), 女, 硕士研究生。研究方向: 天然产物化学。Email: 1483884277@qq.com。

通信作者: 赵平 (1965—), 男, 博士, 研究员。研究方向: 天然产物化学。Email: hypzhao@yahoo.com。

tracts were (84.80±3.40) % and (83.80±3.60) %, respectively, indicated that the *in vivo* antioxidant activity of 2 extracts was similar and stronger than that of the positive control GSH. The results also showed that the contents of total polyphenols, total flavonoids and total triterpenoids were (32.81±0.19) mg/g, (29.62±0.06) mg/g and (61.88±0.62) mg/g in the juice, and (21.66±0.29) mg/g, (12.11±0.05) mg/g and (15.16±0.22) mg/g in the pomace, respectively, indicated the contents of the major chemical constituents in the juice is higher than those of the pomace, which with a positive correlation to their antioxidant activities.

Key words: *Rosa sterilis*; antioxidant activity; total polyphenols; total flavonoids; total triterpenoids

贵州省特有植物无子刺梨 (*Rosa Sterills*) 与刺梨 (*R. roxburghii*) 同属蔷薇科 (Rosaceae) 蔷薇属多年生攀援灌木^[1-3], 其成熟果实香甜爽口, 酸味适中, 加工鲜食均可^[4]。有关刺梨的化学成分和生物活性的研究报道较多, 研究表明多酚、黄酮和三萜是刺梨的主要有效成分, 具有提高免疫功能、延缓衰老、抗动脉粥样硬化、抗氧化、预防癌症、降血脂和抗糖尿病等生理活性^[5-7]。自 1985 年时圣德^[1]首次报道无子刺梨新分类群以来, 国内外对无子刺梨的研究主要集中在其形态分类^[2-3]、亲缘关系^[8-9]、繁殖^[10]、光合生理^[11]和成分分析^[2, 12-14]等方面, 而对无子刺梨果实的抗氧化活性及其主要化学成分含量分析研究至今未见报道。

活性筛选实验方法分为体外与体内实验, 体外实验虽然具有快速高效的优点, 但不涉及被筛选物质的吸收、分布和代谢等问题, 其筛选结果往往与体内实验结果不符, 而以斑马鱼 (*Danio rerio*) 建立的体内实验可以弥补体外实验的不足。斑马鱼模型既具有体外实验快速高效的优点, 又具有哺乳类动物实验预测性强、可比度高等优点, 加之其发育周期快、繁殖能力强、胚胎透明和易于观察, 近年来已发展成为国内外高效筛选药理活性的理想模式动物模型^[15-17]。本实验以贵州省兴仁县产无子刺梨新鲜成熟果实为原料, 采用 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼 (DPPH)、2,2'-连氮-二(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸) (ABTS) 自由基清除活性和活性氧簇 (ROS) 清除活性测试方法评价其果汁提取物和果渣提取物的体内外抗氧化活性, 并采用紫外分光光度法分别对果汁和果渣中总多酚、总黄酮和总三萜等主要化学成分的含量进行测定, 以期对无子刺梨进一步的开发利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1) 材料 无子刺梨新鲜成熟果实, 于 2014

年 10 月采自贵州省兴仁县回龙镇狮子村生长良好的植株。

2) 试剂、药品 对照品没食子酸、芦丁和齐墩果酸购自中国药品生物制品检定所, 福林酚试剂、DPPH、ABTS、还原型谷胱甘肽 (GSH) 和 ROS 特异性荧光染料购自 Sigma 公司, AB-8 大孔吸附树脂购自北京慧德易科技有限责任公司, 碳酸钠、抗坏血酸钠、果胶酶、亚硝酸钠、硝酸铝、氢氧化钠、香兰醛、冰乙酸、高氯酸、维生素 C (Vc)、二甲基亚砷 (DMSO)、甲醇和乙醇均为分析纯, 水为重蒸馏水。

3) 仪器 CP224C 电子天平 (奥豪斯仪器有限公司, 美国), UV-2500 紫外分光光度计 (北京莱伯泰科仪器有限公司, 中国), 高速中药粉碎机 (浙江瑞安市永历制药机械有限公司, 中国), SG250HDT 超声波仪 (上海冠特超声仪器有限公司, 中国), 赛特路斯 BT244S 型万分之一电子天平 (北京赛多利斯仪器系统有限公司, 中国), EYELA 旋转蒸发仪 N-1001 型 (东京理化器械有限公司, 日本), 96 孔酶标板 (Costar Technologies Inc., 美国), Mithras LB940 多功能酶标仪 (Berthold Technologies Inc., 德国)。

1.2 供试样品制备

无子刺梨果实经榨汁过滤, 果汁密封后冷冻备用。所得果渣置于 50 °C 鼓风烘箱烘干至恒质量, 粉碎过 40 目筛后于阴凉干燥处保存备用。冷冻果汁解冻后量取 500 mL 置于烧杯中, 加入抗坏血酸钠 12.5 mg 和果胶酶 25 mg, 于 50 °C 水浴上恒温保持 4 h, 过滤备用; 称取无子刺梨干燥果渣粉末 15 g, 采用超声辅助乙醇提取法^[18], 在料液比 1 : 23、乙醇体积分数 52%、提取时间 70 min 条件下提取 4 次, 提取液于 50 °C 减压浓缩, 得到剩余水溶液备用。上述所得的 2 种样品溶液分别通过 AB-8 大孔树脂层析柱 (35 mm×550 mm) 吸附, 依次用 1000 mL 蒸馏水洗脱、1000 mL 乙醇解吸附, 收集乙醇洗脱液于 50 °C 减压浓缩干

燥, 得到果汁提取物和果渣提取物。

1.3 测定及分析方法

1.3.1 体外抗氧化活性的测定与分析

采用张镜等^[19]和Feng等^[20]的方法, 取不同质量浓度的供试样品溶液分别与DPPH工作液、ABTS工作液反应, 分别按下式计算供试样品的自由基清除率。根据供试样品溶液的DPPH和ABTS自由基清除曲线, 分别计算半清除浓度(SC₅₀值)。实验重复3次, 并以Vc作为阳性对照。

$$\text{DPPH 自由基清除率} = \left[1 - \left(\frac{A_a}{A_b} \right) \right] \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{ABTS 自由基清除率} = \left\{ \frac{[A_0 - (A_x - A_{x_0})]}{A_0} \right\} \times 100\% \quad (2)$$

式中: A_a 为样品溶液和DPPH工作液反应后的吸光值, A_b 为乙醇和DPPH工作液的吸光值; A_x 为样品和ABTS工作液反应后的吸光值, A_{x_0} 为乙醇和样品溶液的吸光值, A_0 表示混合溶液为乙醇和ABTS工作液时的吸光值。

1.3.2 体内抗氧化活性的测定与分析

实验动物为成年野生型AB系斑马鱼, 按照李美娟等^[21]的方法进行培养。平均每对能产200~300个胚胎。在受精后6h和24h对胚胎进行清理(移除已死亡胚胎), 并根据胚胎的发育阶段挑选合适的胚胎。在28℃条件下用养鱼用水孵育胚胎(养鱼用水水质: 每1L反渗透水中加入200mg速溶海盐, 电导率为480~510μS/cm; pH为6.9~7.2; 硬度为53.7~71.6mg/L CaCO₃)。因为胚胎可以从自身的卵黄囊中获取营养物质, 所以在受精后9d不需要喂食。

样品浓度在3.0μg/mL时, 实验组斑马鱼没有出现死亡现象, 因此选择3.0μg/mL作为样品的浓度。实验在96孔板中进行, 每板设计1个阴性对照组、1个模型组、1个溶剂组、1个阳性对照组和8个样品检测组, 每样品组8个孔; 阴性对照组没有斑马鱼, 其他各组均每孔1尾鱼。活性氧模型组为ROS特异性荧光染料处理的斑马鱼; 阴性对照组只含ROS染料的养鱼用水, 不含斑马鱼; 溶剂对照组为0.1% DMSO处理组; 阳性对照组为GSH处理组; 所有实验组均含有相同浓度的溶剂。化合物处理结束后, 应用多功能酶标仪对各实验组进行荧光定量分析, 取6孔斑马鱼荧

光值作统计学处理。采用方差分析和Dunnett's *t*-检验进行统计学分析, $P < 0.05$ 表明具有显著性差异。统计学处理结果用 $\bar{x} \pm SE$ 表示。样品的ROS清除率按公式(3)计算。

$$\text{ROS清除率} = \left[1 - \left(\frac{\text{待测样品荧光值}}{\text{溶剂组荧光值}} \right) \right] \times 100\% \quad (3)$$

1.3.3 3种主要化学成分含量的测定与分析

分别精密称取4.0mg果汁提取物和果渣提取物, 用70%乙醇溶解后定容至10mL, 配制成0.4mg/mL的溶液。按照Lee等^[22]的方法进行操作, 实验重复3次, 将测得的样品吸光度值带入本实验室已建立的没食子酸标准曲线的回归方程($y = 3.2223x + 0.0341$, $R^2 = 0.9999$)^[23], 并结合稀释倍数分别计算出果汁和果渣原料中总多酚的含量。

参考梁倩等^[24]的方法, 以芦丁为标准品绘制其标准曲线, 得线性回归方程为: $y = 10.174x - 0.0216$ ($R^2 = 0.9996$), 表明芦丁在0.01~0.05mg/mL范围内线性关系良好。精密称取10mg果汁提取物和果渣提取物, 用70%乙醇溶解后定容至100mL, 配制成0.1mg/mL的溶液。之后按梁倩等^[24]的方法进行操作, 实验重复3次, 将测得的样品吸光度值带入上述回归方程, 并结合稀释倍数分别计算出果汁和果渣原料中总黄酮的含量。

采用毛得奖等^[25]的方法, 以齐墩果酸为标准品绘制其标准曲线, 得线性回归方程为: $y = 5.782x + 0.103$ ($R^2 = 0.9999$), 表明齐墩果酸在0.06~0.42mg/mL范围内具有良好的线性关系。准确称取10mg提取样品, 用乙醇溶解后定容至10mL, 配制成1.0mg/mL的溶液。之后按毛得奖等^[25]的方法进行操作, 实验重复3次, 将测得的样品吸光度值带入上述回归方程, 并结合稀释倍数分别计算出果汁和果渣原料中总三萜的含量。

2 结果与分析

2.1 无子刺梨果汁和果渣提取物的体外抗氧化活性

由图1可知, Vc对DPPH自由基的清除率在10~40μg/mL浓度范围内的线性关系较好, SC₅₀值为(18.23±1.73)μg/mL。Vc对ABTS自由基的清除率在50~150μg/mL浓度范围内的线性关系较好, SC₅₀值为(77.45±1.01)μg/mL。

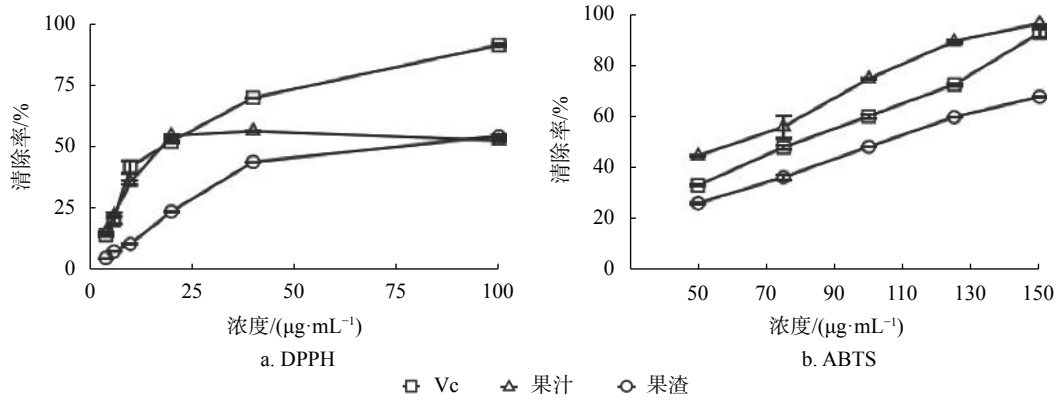


图1 果汁和果渣提取物的DPPH和ABTS自由基清除率

Fig. 1 DPPH and ABTS free radical scavenging rates of the juice and pomace extracts

由表1可知,果汁提取物对DPPH自由基的清除率在4~20 µg/mL浓度范围内的线性关系较好,SC₅₀值为(17.58±0.48) µg/mL;对ABTS自由基的清除率在50~150 µg/mL浓度范围内的线性关系较好,SC₅₀值为(56.26±3.07) µg/mL。与Vc清除DPPH和ABTS自由基的SC₅₀相比,表明果汁提取物的抗氧化活性稍强于Vc。果渣提取物

对DPPH自由基的清除率在4~40 µg/mL浓度范围内的线性关系较好,SC₅₀值为(45.38±0.68) µg/mL;对ABTS自由基的清除率在50~150 µg/mL浓度范围内的线性关系较好,SC₅₀值为(101.67±1.15) µg/mL,与Vc的SC₅₀相比,表明果渣提取物的抗氧化活性弱于Vc。

表1 无子刺梨果汁和果渣提取物对DPPH和ABTS自由基的半清除浓度

Table 1 SC₅₀ values of juice and pomace extracts of *R. sterilis* against DPPH and ABTS free radicals

样品	DPPH回归方程	DPPH SC ₅₀ (g·mL ⁻¹)	ABTS回归方程	ABTS SC ₅₀ (g·mL ⁻¹)
Vc	$y=0.929x+32.92$ ($R^2=0.9989$)	18.23 ± 1.73	$y=0.598x+3.622$ ($R^2=0.9906$)	77.45 ± 1.01
果汁提取物	$y=2.416x+7.529$ ($R^2=0.9773$)	17.58 ± 0.48	$y=0.570x+17.904$ ($R^2=0.9815$)	56.26 ± 3.07
果渣提取物	$y=1.097x+0.215$ ($R^2=0.9971$)	45.38 ± 0.68	$y=0.444x+4.816$ ($R^2=0.9959$)	101.67 ± 1.15

2.2 无子刺梨果汁和果渣提取物的体内抗氧化活性

由表2可知,ROS清除率分别为(84.8±3.4)% ($P<0.001$)、(83.8±3.6)%和(52.2±6.7)%,表明无子刺梨果汁提取物和果渣提取物的ROS清除能力相当,且优于阳性对照GSH。

表2 果汁和果渣提取物的ROS清除率

Table 2 ROS scavenging rates of fruit juice and pomace extracts %

样品	ROS清除率
GSH	52.2 ± 6.7*
果汁提取物	84.8 ± 3.4**
果渣提取物	83.8 ± 3.6**

注: *表示差异显著 ($P<0.05$), **表示差异极显著 ($P<0.01$)。

2.3 无子刺梨果汁和果渣中3种主要化学成分的含量

由表3可知,无子刺梨果汁中总多酚、总黄酮和总三萜的含量均分别高于果渣中的含量。其

中,果汁总多酚达(32.81±0.19) mg/g,是果渣总多酚含量的1.51倍;果汁中的总黄酮含量为(29.62±0.06) mg/g,与果汁总多酚含量较为接近,是果渣总黄酮含量的2.45倍;果汁中的总三萜含量高达(61.88±0.62) mg/g,为果渣总三萜含量的4.08倍。

表3 果汁和果渣中3种主要化学成分的含量

Table 3 Contents of total polyphenols, total flavonoids and total triterpenoids in the juice and pomace mg/g

	总多酚	总黄酮	总三萜
果汁	32.81±0.19	29.62±0.06	61.88±0.62
果渣	21.66±0.29	12.11±0.05	15.16±0.22

3 结论与讨论

本实验采用DPPH、ABTS自由基清除活性和ROS清除活性测试方法评价了无子刺梨果汁提取物和果渣提取物的体内外抗氧化活性,结果显示,果汁提取物对DPPH和ABTS自由基的SC₅₀分

别为 $(17.58 \pm 0.48) \mu\text{g/mL}$ 和 $(56.26 \pm 3.07) \mu\text{g/mL}$, 果渣提取物对 DPPH 和 ABTS 自由基的 SC_{50} 分别为 $(45.38 \pm 0.68) \mu\text{g/mL}$ 和 $(101.67 \pm 1.15) \mu\text{g/mL}$, 果汁提取物和果渣提取物的 ROS 清除率分别为 $(84.80 \pm 3.40)\%$ 和 $(83.80 \pm 3.60)\%$, 表明果汁提取物的体外抗氧化活性强于阳性对照 Vc 和果渣提取物。在 DPPH 自由基清除活性实验中, 发现果汁和果渣提取物的自由基清除率并未随着样品浓度的增加而递增, 可能是由于样品溶液的颜色随着浓度的增加而增加所致^[20]。果汁提取物和果渣提取物的 ROS 清除率分别为 $(84.80 \pm 3.40)\%$ 和 $(83.80 \pm 3.60)\%$, 表明 2 种提取物的体内抗氧化活性相当, 且均强于阳性对照 GSH。同时, 采用紫外分光光度法分别对果汁和果渣中主要有效成分总多酚、总黄酮和总三萜的含量进行了测定, 果汁中总多酚、总黄酮和总三萜的含量分别为 (32.81 ± 0.19) 、 (29.62 ± 0.06) 、 $(61.88 \pm 0.62) \text{mg/g}$, 果渣中总多酚、总黄酮和总三萜的含量分别为 (21.66 ± 0.29) 、 (12.11 ± 0.05) 、 $(15.16 \pm 0.22) \text{mg/g}$, 表明果汁中总多酚、总黄酮和总三萜等主要化学成分的含量均高于果渣, 并与其体外抗氧化能力呈正相关关系。

许多研究表明, 多酚、黄酮及三萜类物质是果蔬中主要的抗氧化物质^[26-29], 其抗氧化能力通常和这些物质的含量呈正相关关系。如陈玉霞等^[30] 分析比较了常见 25 种蔬菜的体外抗氧化活性, 发现抗氧化活性与总多酚和总黄酮含量之间存在较大的相关性。在本研究中, 无籽刺梨果汁中总多酚、总黄酮和总三萜等主要化学成分的含量均高于果渣中的含量, 且果汁提取物的体外抗氧化能力也强于果渣, 同样也呈类似的正相关关系, 说明这些物质是无籽刺梨体外抗氧化活性的主要化学物质基础。此外, 果汁提取物和果渣提取物中的总多酚、总黄酮和总三萜的含量差异较大, 但二者的体内抗氧化活性非常接近, 推测可能是由于果渣提取物中含有其他的抗氧化物质所致, 值得进一步深入研究。本实验仅对无籽刺梨果汁提取物和果渣提取物的体内外抗氧化活性及其主要化学成分含量进行了测定, 其化学成分的分离鉴定和进一步的活性评价等值得深入研究, 将为无籽刺梨功能性产品进一步的开发利用等提供参考。

[参 考 文 献]

- [1] 时圣德. 贵州蔷薇属新分类群 [J]. 贵州科学, 1985, 3(1): 8-9.
- [2] 邓朝义, 方仕能, 黄勇. 贵州特有种子植物无籽刺梨形态特征研究及分类学订正 [J]. 种子, 2009, 28(9): 62, 68.
- [3] 韦景枫, 程友忠, 蒙先举, 等. 无籽刺梨生物学特性观察 [J]. 中国林副特产, 2012, (6): 27-29.
- [4] 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.
- [5] 王薇, 夏炳南. 刺梨的研究进展 [J]. 中国药学杂志, 1996, 31(11): 643-646.
- [6] 何伟平, 朱晓韵. 刺梨的生物活性成分及食品开发研究进展 [J]. 广西轻工业, 2011, 27(11): 1-3.
- [7] 代甜甜, 杨小生. 刺梨化学成分及药理活性研究进展 [J]. 贵阳中医学院学报, 2015, 37(4): 93-97.
- [8] Wen X P, Pang X M, Deng X X. Characterization of genetic relationships of *Rosa roxburghii* Tratt and its relatives using morphological traits, RAPD and AFLP markers [J]. The Journal of Horticultural Science & Biotechnology, 2004, 79(2): 189-196.
- [9] 邓亨宁, 高信芬, 李先源, 等. 无籽刺梨杂交起源: 来自分子数据的证据 [J]. 植物资源与环境学报, 2015, 24(4): 10-17.
- [10] 唐军荣, 郑元, 张亚威, 等. 无籽刺梨离体快繁技术研究 [J]. 云南农业大学学报 (自然科学), 2015, 30(1): 70-75.
- [11] 郑元, 吴月圆, 辛培尧, 等. 环境因子对无籽刺梨光合生理日变化进程的影响研究 [J]. 西部林业科学, 2013, 42(3): 21-27.
- [12] Liang G Y, Gray A I, Waterman P G. Pentacyclic triterpenes from the fruits of *Rosa sterilis* [J]. Journal of Natural Products, 1989, 52(1): 162-166.
- [13] 姜永新, 高健, 赵平, 等. 无籽刺梨新鲜果实挥发性成分的 GC-MS 分析 [J]. 食品研究与开发, 2013, 34(14): 91-94.
- [14] Liu M H, Zhang Q, Zhang Y H, et al. Chemical analysis of dietary constituents in *Rosa roxburghii* and *Rosa sterilis* fruits [J]. Molecules, 2016, 21(9): 1204.
- [15] 马瑞娇, 贾智莉, 王学芳, 等. 基于斑马鱼模型的抗结核药物肝脏毒性比较研究 [J]. 中国抗生素杂志, 2020, 45(9): 953-959.
- [16] Zhou J, Xu Y Q, Guo S Y, et al. Rapid analysis of hypolipidemic drugs in a live zebrafish assay [J]. Journal of Pharmacological & Toxicological Methods, 2015, 72: 47-52.
- [17] 王丹丹, 韦英杰, 景莉君, 等. 基于斑马鱼毒/效联合评价的强骨胶囊抗骨质疏松活性与安全性研究 [J]. 中

[1] 时圣德. 贵州蔷薇属新分类群 [J]. 贵州科学, 1985,

- 成药, 2015, 37(5): 938-943.
- [18] 但汉龙, 李娜, 罗旭璐, 等. 无子刺梨总黄酮的超声辅助提取优化及其抗氧化活性 [J]. 天然产物研究与开发, 2017, 29(S1): 158-165.
- [19] 张镜, 廖富林, 陈梓云, 等. 阴香果实花色苷的体外抗氧化活性 [J]. 食品科学, 2011, 32(17): 128-132.
- [20] Feng S L, Cheng H R, Fu L, et al. Ultrasonic-assisted extraction and antioxidant activities of polysaccharides from *Camellia oleifera* leaves [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2014, 68: 7-12.
- [21] 李美娟, 劳乔聪, 姜永新, 等. 几种植物原花青素及其片段化产物的抗 ROS 活性评价 [J]. 西部林业科学, 2014, 43(1): 99-103.
- [22] Lee K W, Kim Y J, Lee H J, et al. Cocoa has more phenolic phytochemicals and a higher antioxidant capacity than teas and red wine [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2003, 51(25): 7292-7295.
- [23] 张霞, 张詠, 但汉龙, 等. 玫瑰花蒂多酚的超声辅助提取工艺优化及其抗氧化活性评价 [J]. 甘肃农业大学学报, 2017, 52(3): 102-109.
- [24] 梁倩, 郑艳玲, 刘云, 等. 野龙竹竹叶黄酮含量及其抗氧化活性测定实验 [J]. 西部林业科学, 2013, 42(2): 110-112.
- [25] 毛得奖, 朱亚玲, 庞海强, 等. 垂序商陆浆果红色素提取及总皂苷含量测定研究 [J]. 中国调味品, 2012, 37(12): 99-102.
- [26] 雷福红, 李青青, 刘莉莉, 等. 麻疯树籽仁粕多酚提取工艺优化研究 [J]. 西南林业大学学报 (自然科学), 2019, 39(1): 178-183.
- [27] 曾昭成, 张祖兵, 雷福红, 等. 辣木茎叶营养成分及多酚提取物体外抗氧化研究 [J]. 西南林业大学学报 (自然科学), 2020, 40(2): 179-183.
- [28] 张汇慧, 吴彩娥, 范龚健, 等. 刺梨黄酮的精制及其抗氧化活性比较 [J]. 南京林业大学学报 (自然科学版), 2015, 39(3): 101-105.
- [29] 代甜甜, 李齐激, 南莹, 等. 刺梨抗氧化活性部位的化学成分 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2015, 21(21): 62-65.
- [30] 陈玉霞, 郭长江, 杨继军, 等. 常见 25 种蔬菜抗氧化活性的比较研究 [J]. 河南工业大学学报 (自然科学版), 2007, 28(5): 37-41.

(责任编辑 冯 雪)

