

# 不同番石榴果实提取物抗氧化、降血糖活性比较

朱清华<sup>1,2</sup>, 邬家燕<sup>1,2</sup>, 杨丹<sup>1,2</sup>, 雷福厚<sup>1,3</sup>, 申利群<sup>1,2\*</sup>, 吴爱群<sup>1,2\*</sup>

(1. 广西民族大学化学化工学院, 广西南宁 530006) (2. 广西高校少数民族医药古方挖掘与开发重点实验室, 广西南宁 530006) (3. 广西林产化学与工程重点实验室, 广西南宁 530006)

**摘要:** 该研究对红心和白心番石榴的生物活性进行了比较研究。通过提取番石榴的水和醇提取物, 并对其抗氧化活性、对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶和 ACE 酶的抑制活性进行了测试。研究结果显示, 红心番石榴的醇提取物在抗氧化活性方面表现出最佳效果, 其去除 ABTS<sup>+</sup> 自由基、羟自由基、DPPH 自由基清除率以及还原 Fe<sup>3+</sup> 的能力均强于其他提取物。对于  $\alpha$ -葡萄糖苷酶的抑制活性, 白心番石榴的乙醇提取物表现出最佳效果, 抑制率可达 93.99%。对于 ACE 酶的抑制活性, 红心番石榴的水提取物表现出最佳效果, 在 10 mg/mL 的质量浓度下可以达到 43.03%。通过 UPLC-QTOF-MS 定性分析番石榴提取物, 共鉴定出多种化合物, 主要包括抗坏血酸、奎宁酸、原花青素、鞣花素、儿茶素等。这些化合物在不同品种和提取方法下, 其化学成分及含量稍有不同。研究表明, 番石榴提取物具有很好的生物活性, 有望成为健康生活的宠儿。此外, 不同品种和提取方法对番石榴的化学成分、含量及生物活性有一定的差别, 这为后续研究提供了参考。

**关键词:** 番石榴; 抗氧化活性;  $\alpha$ -葡萄糖苷酶; ACE 酶; 成分分析

文章编号: 1673-9078(2024)11-238-245

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.11.1171

## Comparison of the Antioxidant and Hypoglycemic Activities of Different Guava Fruit Extracts

ZHU Qinghua<sup>1,2</sup>, WU Jiayan<sup>1,2</sup>, YANG Dan<sup>1,2</sup>, LEI Fuhou<sup>1,3</sup>, SHEN Liqun<sup>1,2\*</sup>, WU Aiqun<sup>1,2\*</sup>

(1. College of Chemistry and Chemical Engineering, Guangxi Minzu University, Nanning 530006, China)  
(2. Key Laboratory of Universities in Guangxi for Excavation and Development of Ancient Ethnomedicinal Recipes, Nanning 530006, China) (3. Guangxi Key Laboratory of Chemistry and Engineering of Forest Products, Nanning 530006, China)

**Abstract:** The bioactivities of red and white guava fruit were compared and examined in this studied. Water and alcoholic extracts of the guava fruits were prepared, and their antioxidant activities, as well as inhibitory effects against  $\alpha$ -glucosidase and ACE enzymes, were examined. The results revealed that the alcoholic extract of red guava exhibited the highest antioxidant activity, i.e. higher scavenging rates for ABTS<sup>+</sup>, hydroxyl, and DPPH free radicals, and higher ability of reducing Fe<sup>3+</sup>, compared with other extracts. As for the inhibitory effect against  $\alpha$ -glucosidase, the ethanol extract of the white guava was the most effective with an inhibition rate of 93.99%. As for the ACE enzyme inhibitory activity, the water extract

引文格式:

朱清华, 邬家燕, 杨丹, 等. 不同番石榴果实提取物抗氧化、降血糖活性比较 [J]. 现代食品科技, 2024, 40(11): 238-245.

ZHU Qinghua, WU Jiayan, YANG Dan, et al. Comparison of the antioxidant and hypoglycemic activities of different guava fruit extracts [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(11): 238-245.

收稿日期: 2023-09-27

基金项目: 广西重点研发计划项目 (桂科 AB20238008); 广西科技重大专项项目 (2022 AA12003); 国家自然科学基金项目 (21762006)

作者简介: 朱清华 (1997-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 药物化学, E-mail: zqhheyi@163.com

通讯作者: 申利群 (1970-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 天然有机化学, E-mail: liqunshen@126.com; 共同通讯作者: 吴爱群 (1970-), 女, 本科, 高级实验师, 研究方向: 天然产物分析, E-mail: aiqunwu@126.com

of the red guava was the most effective, achieving 43.03% inhibition at a mass concentration of 10 mg/mL. Qualitative analysis of the guava extracts using UPLC-QTOF-MS led to the identification of a variety of compounds, including mainly ascorbic acid, quinic acid, quinic acid, procyanidins, ellagins and catechins. The composition and contents of these compounds varied slightly with varieties and extraction methods. The results of the study showed that guava extracts possessed good bioactivities, and is expected to hold promise for promoting a healthy lifestyle. In addition, the chemical composition, content, and bioactivities of guava varied with varieties and extraction methods, which provide a reference for subsequent research.

**Key words:** guava ; antioxidant activity;  $\alpha$ -glucosidase; ACE enzymes; composition analysis

番石榴又被称作番稔、拔子、花稔、番桃树、鸡矢果等，是桃金娘科番石榴<sup>[1,2]</sup>。番石榴中含有大量的营养物质<sup>[3]</sup>，包括维生素 A、B、C、微量元素钙、磷、铁、钾以及叶酸等，这些物质对身体健康和美容具有积极的作用。能够滋润皮肤、增强肌肤活力、抑制黑色素的生成，让肌肤保持健康<sup>[4,5]</sup>。另外番石榴还可以有效促进人体血糖的平衡<sup>[6]</sup>，对于慢性病的预防和管理有积极的作用。果实的提取物中含有多酚、黄酮、多糖等成份<sup>[7]</sup>，通过对番石榴果实提取物的研究发现，它们具有很强的抗氧化活性和抑制  $\alpha$ -葡萄糖苷酶的活性<sup>[8,9]</sup>。总之，番石榴是一种有益健康的水果，其提取物被广泛的添加于食品、药品、保健品和化妆品中，前景非常广泛。

世界卫生组织的研究报告显示，中国的糖尿病患者居于世界第一<sup>[10,11]</sup>，目前阿卡波糖是治疗糖尿病的一线药物，但它有一定的肠胃副作用<sup>[12]</sup>。ACE 酶可以调节高血压引起的疾病，而 ACE 抑制剂具有降血压的效果，但药物长期服用会引起一些不良反应。目前需要寻找一种具有抗氧化、 $\alpha$ -葡萄糖苷酶、ACE 酶抑制的健康食品，有助于预防糖尿病、高血压以及防止黑色素形成。

## 1 材料与方法

### 1.1 原料

红、白心番石榴，广西南宁市联华超市购买；抗坏血酸 (Vc)，2,2-联氨基二(3-乙基-苯并噻唑啉-6-磺酸)二铵盐溶液 (ABTS)、硫酸钾、硫酸亚铁 ( $\text{FeSO}_4$ )、水杨酸、磷酸盐缓冲溶液、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼 (DPPH)、铁氰化钾、三氯乙酸溶液、三氯化铁溶液、甲醇、无水乙醇，对硝基苯基- $\alpha$ -D-吡喃葡萄糖苷 (PNPG)、 $\alpha$ -葡萄糖苷酶溶液、碳酸钠、ACE 酶、马尿酸 (HHL)、盐酸、硼酸 (均为分析纯)，上海阿拉丁试剂有限公司；喹啉 (分析纯)，上海麦克林生化科技有限公司；苯

磺酰氯 (分析纯)，上海麦克林生化科技有限公司。甲醇 (色谱纯)，上海阿拉丁试剂有限公司。

### 1.2 仪器设备

DF-101S 集热式恒温加热磁力搅拌器，巩义市予华仪器责任有限公司；ACQUITY UPLC BEH C18 ( $2.1 \times 100 \text{ mm}, 1.7 \mu\text{m}$ ) 色谱柱，XEVO G2-S QTOF-MS 型 UPLC-QTOF-MS/MS，美国 Waters 公司；Multiskan FC 型 GO 全波长酶标仪，美国赛默飞世尔公司；LGJ-10 真空冷冻干燥机，北京松源华兴科技发展有限公司。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 不同类型番石榴的提取

将白、红心番石榴洗净，分别切成小碎丁。分别放入两个 2 000 mL 的圆底烧瓶中，往盛有红、白心番石榴的圆底烧瓶内分别倒入蒸馏水 (或者乙醇)，回流提取 2 h。重复三次，收集滤液，旋转蒸发，然后冷冻干燥得到提取物。

#### 1.3.2 羟自由基的清除活性数据分析

利用 Fenton 反应产生出的羟自由基与水杨酸反应<sup>[13,14]</sup>，生成的物质在 510 nm 处有吸收波长，加入我们的物质生成量会相对减少。用移液枪吸取 200  $\mu\text{L}$  不同质量浓度梯度的番石榴提取液 (0.1、0.5、1、2、3、4、5 mg/mL) 于离心管中。再向离心管中加入 200  $\mu\text{L}$  2 mmol/L 浓度的  $\text{FeSO}_4$  溶液和 200  $\mu\text{L}$  2 mmol/L 浓度的  $\text{H}_2\text{O}_2$  溶液，放置室温下反应 10 min。然后再向离心管中加入 200  $\mu\text{L}$  2 mmol/L 浓度的水杨酸溶液，摇晃混合均匀，置于 37  $^\circ\text{C}$  水浴中 30 min。空白组用蒸馏水代替番石榴提取物，对照组用蒸馏水代替水杨酸溶液。酶标分析仪波长为 510 nm，测量吸光度值。以 Vc 为阳性对照，计算各组的清除率：

$$\phi_1 = \frac{A_1 - A + A_0}{A_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

$\varphi_1$ —羟自由基清除率, %;

$A$ —样品的吸光值;

$A_0$ —对照组的吸光值;

$A_1$ —空白组的吸光值。

### 1.3.3 ABTS<sup>+</sup>自由基的清除活性数据分析

ABTS 在氧化剂的作用下可以被氧化成游离的 ABTS<sup>+</sup>, 抗氧化剂会抑制它的生成, 可以通过酶标仪测定 734 nm 处的吸收波长来测定出抗氧化能力。配制质量浓度为 (0.1、0.5、1、2、3、4、5 mg/mL) 的番石榴提取物样品溶液, 取 7 mmol/L 浓度的 ABTS 溶液与 1.4 mmol/L 浓度的 K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub> 溶液等体积混合均匀后, 在避光环境下放置 24 h, 即可得到工作液<sup>[12]</sup>。将 150 μL 的工作液和 50 μL 的样品溶液混合, 在避光环境下反应 6 min, 酶标仪波长为 734 nm 测定吸光值。进行三次以上所述的实验, 计算平均值。计算清除率:

$$\varphi_2 = \frac{A_1 - A + A_0}{A_1} \times 100\% \quad (2)$$

式中:

$\varphi_2$ —ABTS<sup>+</sup> 自由基清除率, %;

$A$ —样品的吸光值;

$A_0$ —对照组的吸光值;

$A_1$ —空白组的吸光值。

### 1.3.4 测定总还原能力数据分析

抗氧化物质将 Fe<sup>3+</sup> 还原成 Fe<sup>2+</sup> 而 Fe<sup>2+</sup> 与和三氯化铁生成的 Fe[Fe(CN)<sub>6</sub>]<sub>3</sub> 在 700 nm 处有特定吸收波长。向 2 mL 离心管中加入 500 μL 0.2 mol/L 浓度的磷酸盐缓冲溶液 (pH 值 6.6), 200 μL 番石榴样品溶液, 500 μL 质量分数 1% 的铁氰化钾, 混匀后置于水浴锅内 50 °C 水浴 20 min。然后再加入 500 μL 质量分数 10% 的三氯乙酸, 混合均匀, 静置 10 min。取出混合液 500 μL, 加入 500 μL H<sub>2</sub>O, 100 μL 质量分数 0.1% 的氯化铁溶液, 静置 10 min, 用酶标仪分析, 波长为 700 nm, 测定吸光度, 以指示还原力的强弱。

### 1.3.5 DPPH 自由基清除能力数据分析

抗氧化剂通过清除 DPPH 形成非自由基 DPPH, 反应体系由紫色变成黄色。取上面配置好的番石榴与 DPPH 乙醇溶液 (1:3) 混合<sup>[15,16]</sup>, 室温避光放置 30 min, 在吸光度 517 nm 测定吸光度, 进行三次以上所述的实验, 计算清除率:

$$\varphi_3 = \frac{A_1 - A + A_0}{A_1} \times 100\% \quad (3)$$

式中:

$\varphi_3$ —DPPH 自由基清除率, %;

$A$ —样品的吸光值;

$A_0$ —对照组的吸光值;

$A_1$ —空白组的吸光值。

### 1.3.6 番石榴提取物对 α-葡萄糖苷酶的抑制活性数据分析

参考文献<sup>[17-19]</sup>制备出试验方案, 加入 40 μL α-葡萄糖苷酶溶液 (1 U/mL) 和 600 μL 的磷酸缓冲溶液 (pH 值 6.8), 孵育 20 min, 加入 120 μL 的对硝基苯基-α-D-吡喃葡萄糖苷 (PNPG, 2 mmol/L 的浓度), 40 min 以后加入 100 μL 的碳酸钠 (1 mol/L 的浓度) 来终止反应, 在 405 nm 处用酶标仪测吸光度。根据以上步骤设计出空白对照组、阴性对照组、待测样品组以及待测样品空白组。平行测试三次, 计算出抑制率。

$$\varphi_1 = \frac{A - (A_1 - A_2) - A_0}{A - A_0} \times 100\% \quad (4)$$

式中:

$\varphi_1$ —提取物对 α-葡萄糖苷酶抑制率, %;

$A$ —阴性对照;

$A_0$ —空白对照;

$A_1$ —待测样品;

$A_2$ —待测样品空白。

### 1.3.7 番石榴提取物对 ACE 酶的抑制活性数据分析

参考文献<sup>[20,21]</sup>方法进行改进, 主要是利用马尿酸与苯磺酰氯反应生产黄色络合物, 通过酶标仪检测络合物的吸光度来反应马尿酸的生成量。加入 50 μL ACE 酶 (0.1 U/mL) 和 10 μL 的硼酸盐缓冲溶液 (pH 值 8.3), 30 μL 的样品溶液, 在 37 °C 下孵育 15 min, 然后加入 30 μL 8.3 mmol/L 浓度的 HHL 溶液, 在 37 °C 的摇床中孵育 1 h。加入 70 μL 的 HCl 在避光条件下加入 570 μL 的喹啉, 230 μL 的苯磺酰氯, 在 30 °C 条件下避光 30 min, 加入 0.5 mL 的无水乙醇, 避光 30 °C 放置 30 min, 在 492 nm 处测定吸光值; 根据以上步骤设计出空白对照组、阴性对照组、待测样品组以及待测样品空白组。平行测试三次, 计算出抑制率。

$$\varphi_2 = \frac{A - (A_1 - A_2) - A_0}{A - A_0} \times 100\% \quad (5)$$

式中:

$\varphi_2$ —提取物对 ACE 酶抑制率, %;

$A$ —阴性对照;

$A_0$ —空白对照;

$A_1$ —待测样品;

$A_2$ —待测样品空白。

### 1.3.8 不同类型番石榴提取物的成分分析

取适量的红、白心番石榴水和醇提取物, 加入体积分数 50% 的甲醇溶解, 取上清液, 过 0.22  $\mu\text{m}$  滤膜, 色谱柱: ACQUITY UPLC BEH C18 (2.1 mm $\times$ 100 mm, 1.7  $\mu\text{m}$ ), 进样量 2  $\mu\text{L}$ , 流量: 0.4 mL/min<sup>[22]</sup>; 流动相为: A 相 (0.1% 体积分数甲酸-水) 和 B 相 (乙腈), 梯度洗脱, 其中流动相的比例变化为: 0~1 min, 5% 体积分数 B; 1~2 min, 10%~30% 体积分数 B; 2~3.5 min, 30%~40% 体积分数 B; 3.5~5 min, 40%~80% 体积分数 B; 5~7 min, 80%~95% 体积分数 B。柱温: 35  $^{\circ}\text{C}$ 。数据获取软件: MassLynx 4.1; 离子扫描模式为: ESI- 负离子模式; 扫描范围: 100~1 500 Da; 离子源温度 (Source Temperature): 120  $^{\circ}\text{C}$ ; 去溶剂气温度 (Desolvation Temperature): 350  $^{\circ}\text{C}$ ; 去溶剂气体流速 (Desolvation Gas Flow): 800 L/h; 在线校准物质 (LockSpray): 亮氨酸脑啡肽 [5-Leucine]Enkephalin (LE); 毛细管电压 (Capillary): 2.0 kV; 锥孔电压 (Sampling Cone): 40 V。

### 1.4 数据处理

实验重复 3 次, 采用 Origin 8.5 软件进行数据处理, 结果以平均值  $\pm$  标准差表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 番石榴提取物抗氧化活性评价

由图 1 所示, 随着抗坏血酸和番石榴四种提取物质量浓度的递增, 其对 ABTS<sup>+</sup> 自由基的去除率、羟自由基的清除率、总还原能力以及对 DPPH 自由基清除率都呈递增的趋势, 并且与样品浓度呈正相关。可以看出红心番石榴的醇提取物对 ABTS<sup>+</sup> 自由基的清除能力在质量浓度为 5 mg/mL 时清除率达到了 100%, 和 Vc 的清除率基本持平, 总体来说红心番石榴比白心番石榴的提取物对 ABTS<sup>+</sup> 自由基清除作用更强一些。四种物质对 ABTS<sup>+</sup> 自由基的清除能力为: 抗坏血酸>红心番石榴的醇提取物>白心番石榴的醇提取物>红心番石榴的水提取物>白

心番石榴的水提取物; 红心番石榴的水提取物在最大质量浓度 (10 mg/mL) 对羟基自由基 ( $\cdot\text{OH}$ ) 的去除率从 73.30% 提高到 99.50%, 而在白心番石榴水提取物在最大浓度下仅达到 95.20%。番石榴的乙醇提取物对羟自由基的清除能力明显优于番石榴水提取物。对羟自由基的清除能力排序为: 抗坏血酸>红心番石榴的乙醇提取物>白心番石榴的乙醇提取物>红心番石榴的水提取物>白心番石榴的水提取物; 红心番石榴的乙醇提取物从较低的总还原能力 (0.098) 逐渐增加到较高水平 (1.079)。此外, 两种番石榴的乙醇提取物相对于两种番石榴的水提取物也表现出更好的还原能力。但它们与抗坏血酸相比都有着一定的差距。四种番石榴提取物的总还原能力为: 抗坏血酸>红心番石榴的乙醇提取物>白心番石榴的乙醇提取物>红心番石榴的水提取物>白心番石榴的水提取物; 在清除 DPPH 自由基能力方面, 红心番石榴的乙醇提取物在质量浓度 5 mg/mL 的条件下清除自由基的能力大于抗坏血酸 (Vc), 表明其在这个浓度具有强大的清除 DPPH 能力。两种番石榴的醇提取物在清除 DPPH 自由基方面表现比水提取物能力更强, 在一定的浓度下甚至于可以超过抗坏血酸。四种番石榴提取物的清除 DPPH 自由基的能力为: 红心番石榴的乙醇提取物>红心番石榴的水提取物>抗坏血酸>白心番石榴的乙醇提取物>白心番石榴的水提取物。总体来说, 红心提取物抗氧化活性优于白心提取物, 这是由于抗坏血酸对于清除自由基有很强的活性, 红心番石榴的乙醇提取物中含有的熊果酸和羟基积雪草酸也具有一定的清除自由基的活性使得比红心番石榴的水提取物抗氧化活性好。

### 2.2 番石榴提取物对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶的抑制活性

由图 2 可知, 四种番石榴的提取物均对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶有一定程度的抑制效果, 且在质量浓度范围内, 随着质量浓度的增加, 其抑制活性明显提高, 呈一定的线性关系。提取物对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性的抑制强弱依次为: 白心乙醇提取物>红心乙醇提取物>红心水提取物>白心水提取物。这表明乙醇提取物对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶的抑制活性明显高于水提取物, 当白心乙醇提取物的质量浓度达到 10 mg/mL 的时候抑制率高达 93.99%。不同种类的番石榴提取物可能含有不同种类和浓度的化合物, 这些化合物在抑制  $\alpha$ -葡萄糖苷酶方面具有不同的活性。白心番石榴乙醇提取物中的 D-吡喃葡萄糖苷在对于葡萄糖苷酶抑制酶活性方面具有较强的影响。 $\alpha$ -葡萄糖苷酶是与血糖

控制相关的酶，其抑制可以有助于减缓碳水化合物的消化和血糖的升高。

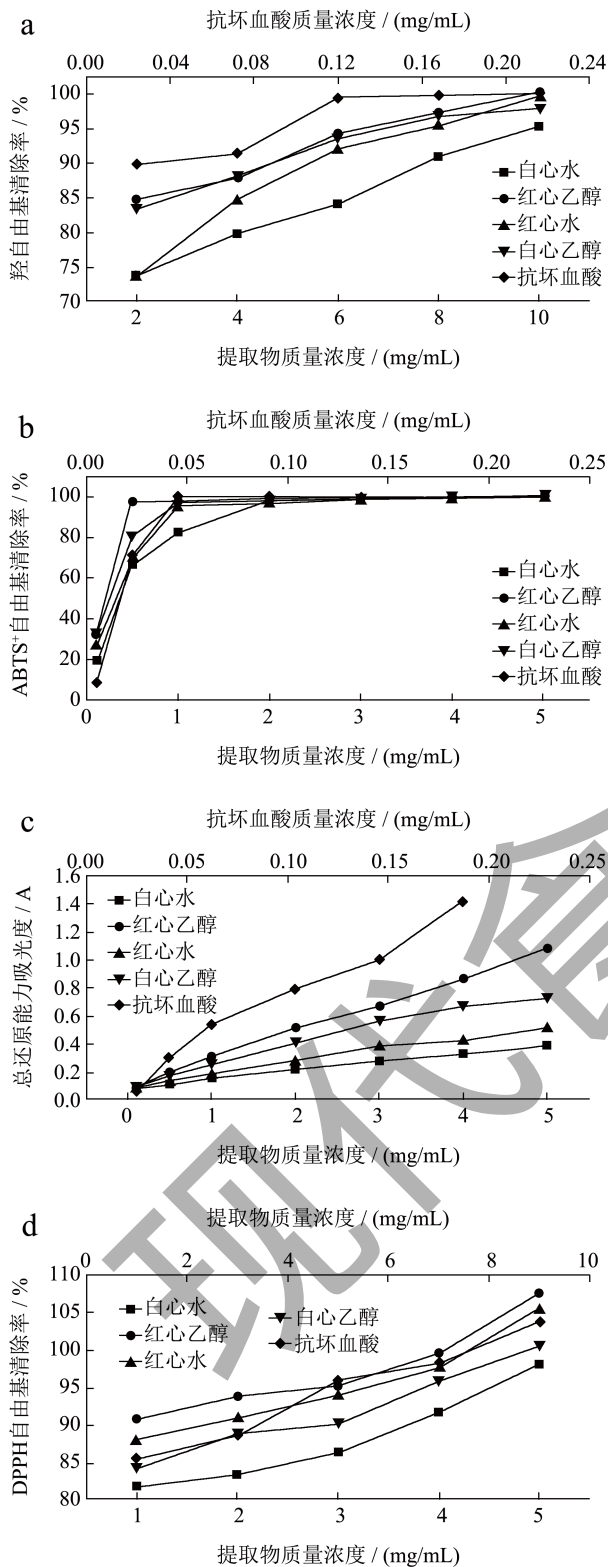


图1 番石榴提取物对自由基清除能力的影响

Fig.1 Effect of Guava extract on free radical scavenging ability

### 2.3 番石榴提取物对ACE酶抑制活性

由图3可知，四种番石榴的提取物均对ACE酶有一定的抑制效果，通过对10 mg/mL质量浓度的不同提取物进行比较，它们对ACE酶抑制效果从高到低依次为：红心水提取物>红心醇提取物>白心水提取物>白心醇提取物。红心番石榴在抑制ACE酶方面表现出较好的效果，特别是总红心水提取物的质量浓度达到10 mg/mL的时候抑制率达到43.03%。与之相比，白心番石榴的提取物的抑制效果相对较弱。这是由于红心番石榴水提物中含有一定量的槲皮素-3-O-β-D-半乳糖苷和番石榴苷B，这些提取物对于保护心脑血管疾病有一定的生理活性。这也证实了番石榴作为一种天然食材对健康的益处。

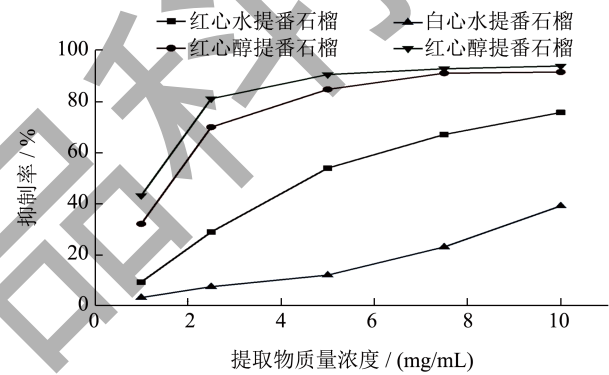


图2 番石榴提取物对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶的抑制率

Fig.2 Inhibition rate of guava extract on  $\alpha$ -glucosidase

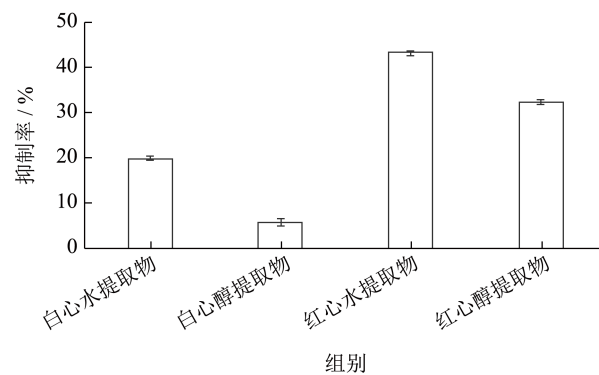


图3 番石榴提取物对ACE酶的抑制率

Fig.3 Inhibition rate of guava extract on ACE enzyme

### 2.4 番石榴提取物的物质组成分析

番石榴有多种化学成分因而具有丰富的营养保健价值，如多酚、黄酮、单宁、酚酸、萜类化合物等<sup>[23-26]</sup>。根据Rashmi等<sup>[27]</sup>报道番石榴果实主要有有机

酸有抗坏血酸、柠檬酸、没食子酸和阿魏酸等。在番石榴乙醇提取物中<sup>[28]</sup>,发现主要化合物为:喹啉酸;咖啡酰基葡萄糖、槲皮素-3-O-(O-没食子酰基)-己糖苷、槲皮素-3-O-β-D-木黄酮、槲皮素-O-α-L-鼠李吡喃糖苷、槲皮素等。有研究报告认为<sup>[29]</sup>,槲皮素、芦丁和富含多酚的植物提取物可以减少氧化应激、线粒体功能障碍和细胞死亡。通过检索文献<sup>[30-32]</sup>及 FooDB (<https://foodb.ca>)、Scifinder (<https://scifinder-n.cas.org>) 等数据库,从50%体积分数甲醇溶解的不同种类番石榴提取物中分析出14种含量较多的化合物进行分析鉴定,其中大部分为多酚和酚酸类化合物。负离子模式下不同番石榴提取物的UPLC-MS总离子流图如图4~5所示,分离出的14种化合物通过二级质谱离子碎片和文献以及数据库提供的数据分析进行了表征,提取物化学成分如表1所示,总结了14个化合物的所有化学信息和MS/MS离子碎片以及误差值,柠檬酸分子式为C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub>,MS/MS数据显示147、111、87处的离子碎片,通过图6分析出了ESI-MS/MS裂解途径,为后续离子碎片的验证提供了基础。

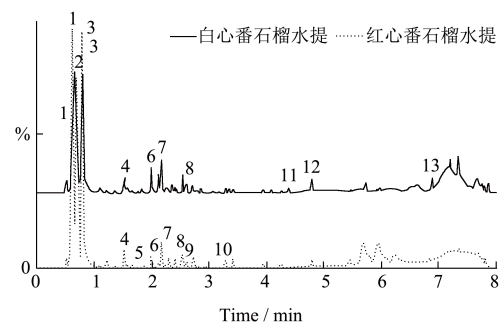


图4 番石榴水提取 LC-MS 总离子流图

Fig.4 Total ion flow map of LC-MS extracted by water from guava

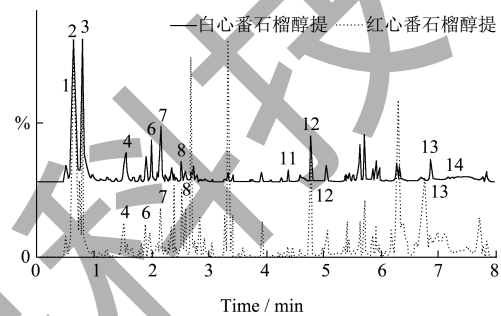


图5 番石榴醇提取 LC-MS 总离子流图

Fig.5 Total ion flow map of LC-MS extracted by ethyl alcohol from guava

表1 不同种类番石榴提取物化学成分的UPLC-QTRAP-MS/MS分析  
Table 1 Different guava extracts of chemical constituents by UPLC-QTRAP-MS/MS

序号	保留时间/min	化学式	化学名称	白心水提	白心醇提	红心水提	红心醇提	[M-H] <sup>-</sup> (error ppm)	MS/MS fragment ions
1	0.62	C <sub>7</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	奎宁酸	✓	✓	✓	✓	191.0555(-1.0)	85、93、109、127、171
2	0.65	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>6</sub>	抗坏血酸			✓	✓	175.0231(-1.7)	71、87、115
3	0.69	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub>	柠檬酸	✓	✓	✓	✓	191.0192(-0.1)	87、111、147
4	1.52	C <sub>15</sub> H <sub>14</sub> O <sub>7</sub>	没食子儿茶精	✓	✓	✓	✓	305.0675(-2.4)	111、125、137、165、219
5	1.66	C <sub>41</sub> H <sub>26</sub> O <sub>26</sub>	鞣花素			✓		933.0731(-1.4)	175、301、425、489、569、631
6	2.01	C <sub>30</sub> H <sub>26</sub> O <sub>12</sub>	原花青素	✓	✓	✓	✓	577.1375(-0.7)	125、161、245、289、407、451
7	2.19	C <sub>15</sub> H <sub>14</sub> O <sub>6</sub>	表儿茶素	✓	✓	✓	✓	289.0711(-0.3)	109、179、203、245
8	2.54	C <sub>16</sub> H <sub>20</sub> O <sub>10</sub>	二氢阿魏酸 4-O-葡萄糖苷	✓	✓	✓	✓	371.0964(-1.8)	121、249
9	2.62	C <sub>21</sub> H <sub>20</sub> O <sub>12</sub>	槲皮素-3-O-β-D-半乳糖苷			✓		463.1682(-1.3)	255、271、300
10	3.28	C <sub>28</sub> H <sub>27</sub> O <sub>13</sub>	番石榴苷 B			✓		571.1473(-1.1)	169、257、313
11	4.52	C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>3</sub>		✓	✓			213.1487(-0.5)	183、195
12	4.79	C <sub>30</sub> H <sub>48</sub> O <sub>6</sub>	羟基积雪草酸	✓	✓		✓	503.3324(-0.8)	503
13	6.88	C <sub>30</sub> H <sub>48</sub> O <sub>3</sub>	熊果酸	✓	✓		✓	455.3336(0)	437、409、247
14	7.18	C <sub>17</sub> H <sub>34</sub> O <sub>6</sub>	D-吡喃葡萄糖苷		✓			333.2281(-0.4)	333

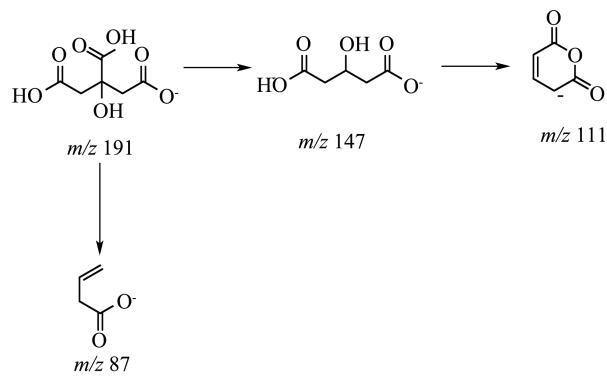


图6 柠檬酸的 ESI-MS/MS 裂解途径

Fig.6 ESI MS/MS fragmentation pathways of citric acid

### 3 结论

目前已经有研究针对番石榴不同部位做了乙醇提取的部分研究,发现番石榴各部位都可入药,本研究对红、白心番石榴果实的不同提取方法产生的提取物的生物活性,包括抗氧化活性、 $\alpha$ -葡萄糖苷酶和 ACE 酶抑制活性做了研究。表明不同品种、不同溶剂提取其活性有差异,综合评比红心番石榴乙醇提取物抗氧化活性最好这是由于红心番石榴比白心番石榴多含有大量的抗坏血酸、白心番石榴乙醇提取物  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性最好可以达到 93.99%,白心番石榴水提物 ACE 酶抑制活性可以达到 43.03%。化学成分分析表明:番石榴中存在多种具有药用价值的化合物,如抗坏血酸、奎宁酸、原花青素、鞣花素、儿茶素和熊果酸等。这些化合物显示多种生物活性,包括抗氧化、抗糖尿病和心血管健康等方面。这些结果对于进一步研究番石榴的营养价值和药用潜力非常有价值。此发现为其在医学、保健和食品工业中的应用提供了重要的理论依据。

### 参考文献

- [1] 莫单丹,周小雷,唐炳兰,等.番石榴叶炮制品质量标准研究[J].中国民族民间医药,2020,29(14):28-32.
- [2] 邵雪花,赖多,朱华兴,等.不同杀菌剂对番石榴枝枯病原菌的毒力和田间防效[J].植物保护,2019,45(2):199-203,217.
- [3] 陈海坚,郭振粤,彭远杰,等.番石榴有机食品生产技术操作经验[J].中国热带农业,2019,3:70-72,69.
- [4] 聂勇.选择适合老年人吃的水果[J].现代养生,2019,19:36-37.
- [5] 邱珊莲,林宝妹,张少平,等.不同成熟期番石榴果实品质特征与评价[J].食品安全质量检测学报,2020,11(24):9230-9238.
- [6] 彭燕,张敏,崔小丽,等.珍珠番石榴果实中的营养成分与活性物质分析[J].食品与机械,2020,36(8):36-40.
- [7] 李孔会,廖森泰,邹宇晓,等.不同年份番石榴叶茶理化成分及抗氧化活性研究[J].广东农业科学,2021,48(1):142-149.
- [8] 侯鑫鑫.苦葛皂苷A提取工艺及其微乳剂的研制[D].雅安:四川农业大学,2018.
- [9] 李真真.益心舒胶囊新工艺研究[D].北京:中国中医科学院,2017.
- [10] 世界卫生组织国际癌症研究机构 [EB/OL]. <https://www.iarc.fr/faq/latest-global-cancer-data-2020-qa/>. -data-2020-qa/. [International Agency for Research on Cancer [EB/OL]. <https://www.iarc.fr/faq/latest-global-cancer-data-2020-qa/>. -data-2020-qa/.
- [11] International Diabetes Federation. IDF diabetes atlas, 9th ed [EB/OL]. [2020-04-03]. <http://www.diabetesatlas.org>.
- [12] 刘冉,程霜,王雷,等.不同品种甘薯叶提取物抗氧化及对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性的研究[J].食品工业科技,2019,40(23):283-289.
- [13] 王丹,袁永俊,谭青云,等.不同菌种发酵对铁皮石斛多糖及其生物活性的影响[J].中国调味品,2019,44(9):39-43.
- [14] 王嘉佳.抗疲劳功能因子的评价与核桃功能饮料的开发[D].石家庄:河北科技大学,2020.
- [15] 董蕊,孙昌霞.木贼醇提物不同萃取部位总酚酸、黄酮含量测定及抗氧化活性研究[J].食品工业科技,2018,39(8):56-60,66.
- [16] 吴颖,崔彬滢,王露,等.5种天然植物提取物抗氧化性和酪氨酸酶抑制作用的比较[J].现代食品科技,2018,34(10):81-86,37.
- [17] 田程飘,朱伟伟,宋雅玲,等.生姜与醋泡姜抗氧化、抑菌和抗肿瘤活性比较研究[J].食品工业科技,2019,40(14):18-23.
- [18] 刘冉,程霜,王雷,等.不同品种甘薯叶提取物抗氧化及对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性的研究[J].食品工业科技,2019,40(23):283-289.
- [19] 庄远杯,魏爱红,陈堪彬,等.番石榴不同部位乙醇提取物的抗氧化、降血糖及酪氨酸酶抑制活性[J].食品工业科技,2022,43(8):365-371.
- [20] 朱文佳,寇自农,张曦,等. $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂体外筛选方法的研究[J].食品研究与开发,2012,33(8):171-175.
- [21] 王毅梅.草鱼源ACE抑制肽的分离纯化及定量构效研究[D].武汉:武汉工业学院,2011.
- [22] 冯学珍.裙带菜ACE抑制肽的分离纯化及其抑制机理研究[D].南宁:广西大学,2021.
- [23] BEZERRA C F, ROCHA J E, DO NASCIMENTO SILVA M K, et al. Analysis by UPLC-MS-QTOF and antifungal activity of guava (*Psidium guajava* L.) [J]. Food and Chemical Toxicology, 2018, 119: 122-132.
- [24] JIAO Y, HUA D, HUANG D, et al. Characterization of a new heteropolysaccharide from green guava and its application

- as an  $\alpha$ -glucosidase inhibitor for the treatment of type II diabetes [J]. *Food & Function*, 2018, 9(7): 3997-4007.
- [25] LIU H, WEI S, SHI L, et al. Preparation, structural characterization, and bioactivities of polysaccharides from *psidium guajava*: A review [J]. *Food Chemistry*, 2023, 411(15): 135423.
- [26] GROVER I S, Bala S. Studies on antimutagenic effects of guava (*Psidium guajava*) in salmonella typhimurium [J]. *Mutation Research/Genetic Toxicology*, 1993, 300(1): 1-3.
- [27] TAMBE R, SINGHAL R G, BHISE K, et al. Phytochemical screening and HPTLC fingerprinting of leaf extracts of *Psidium guajava* linn [J]. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 2014, 3(1): 52-56.
- [28] EIDENBERGER T, SELG M, KRENNHUBER K. Inhibition of dipeptidyl peptidase activity by flavonol glycosides of guava (*Psidium guajava* L.): A key to the beneficial effects of guava in type II diabetes mellitus [J]. *Fitoterapia*, 2013, 89: 74-79.
- [29] LI Y, LI D, AN Q, et al. New acylated phenolic glycosides with ROS-scavenging activity from *psidium guajava* leaves [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2019, 67(40): 11089-11098.
- [30] JAMIESON S, WALLACE C E, DAS N, et al. Guava (*Psidium guajava* L.): a glorious plant with cancer preventive and therapeutic potential [J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2022, 63(2): 192-223.
- [31] ALVAREZ-SUAREZ J M, GIAMPIERI F, GASPARRINI M, et al. Guava (*Psidium guajava* L. cv. red suprema) crude extract protect human dermal fibroblasts against cytotoxic damage mediated by oxidative stress [J]. *Plant Foods for Human Nutrition*, 2018, 73: 18-24.
- [32] SATO R, DANG K M, MCPHERSON B G, et al. Anticancer activity of guava (*Psidium guajava*) extracts [J]. *Journal of Complementary and Integrative Medicine*, 2010, 7(1): 43.