

9 个品种番石榴果实提取物抗氧化活性比较研究

吴妙鸿¹, 邱珊莲¹, 林宝妹¹, 郑开斌^{2*}

(1. 福建省农业科学院亚热带农业研究所, 漳州 363005; 2. 福建省农业科学院农业生态研究所, 福州 350003)

摘要: 目的 分析比较 9 个品种番石榴果实的抗氧化活性, 为筛选适合开发天然抗氧化产品的番石榴优良品种提供理论依据。**方法** 测定‘紫色’‘红宝石’‘粉红蜜’‘西瓜’‘珍珠’‘帝王’‘翠玉’‘水蜜’‘本土’9 个品种番石榴醇提物和水提物的总酚、黄酮含量, 研究其对 2,2'-联氮-双(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二铵盐[2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) ammonium salt, ABTS]、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)自由基清除能力和总抗氧化能力, 利用抗氧化能力综合指数评价不同样品的抗氧化活性, 并分析总酚、黄酮含量与抗氧化活性的相关性。**结果** 9 个品种番石榴醇提物总酚和黄酮含量分别为 1.363~2.394 g/100 g 和 0.607~1.875 g/100 g, 对 DPPH、ABTS 自由基的半数清除浓度(medium inhibition concentration, IC₅₀)分别为 0.242~0.518 mg/mL 和 1.990~4.929 mg/mL, 总抗氧化能力为 0.113~0.206 mmol/g; 水提物总酚和黄酮含量则为 1.192~2.142 g/100 g 和 0.393~1.118 g/100 g, 对 DPPH、ABTS 自由基的 IC₅₀ 分别为 0.320~0.661 mg/mL 和 2.837~5.472 mg/mL, 总抗氧化能力为 0.105~0.181 mmol/g。水提物和醇提物的总酚、黄酮含量均以‘紫色’番石榴最高, 抗氧化能力综合指数也以‘紫色’最高。除‘水蜜’外, 其他品种醇提物的抗氧化活性均高于水提物。相关性分析结果显示, 总酚、黄酮含量与 DPPH 自由基清除能力、ABTS 自由基清除能力、总抗氧化能力和抗氧化能力综合指数呈正相关关系。**结论** 9 个品种番石榴的提取物中, ‘紫色’醇提物的总酚、黄酮含量和抗氧化活性最高, 是开发天然抗氧化产品的最佳来源。

关键词: 番石榴; 总酚; 黄酮; 抗氧化活性; 相关性分析

Antioxidant activities of fruit extracts from 9 kinds of cultivars of *Psidium guajava* L.

WU Miao-Hong¹, QIU Shan-Lian¹, LIN Bao-Mei¹, ZHENG Kai-Bin^{2*}

(1. Institute of Subtropical Agriculture, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Zhangzhou 363005, China;
2. Agricultural Ecology Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350003, China)

ABSTRACT: Objective To analyze and compare the antioxidant activities of 9 kinds of cultivars of *Psidium guajava* L. fruit, and to provide a theoretical basis for screening excellent varieties of *Psidium guajava* L. suitable for developing natural antioxidant products. **Methods** The content of total phenols and flavonoids of ethanol extracts and aqueous extracts from 9 kinds of cultivars of *Psidium guajava* L. ('Zise' 'Hongbaoshi' 'Fenhongmi' 'Xigua' 'Zhenzhu' 'Diwang' 'Cuiyu' 'Shuimi' 'Bentu') was determined, and the scavenging abilities towards

基金项目: 福建省自然科学基金项目(2020J011369)、福建省百千万工程领军人才资助专项

Fund: Supported by the Natural Science Foundation of Fujian Province (2020J011369), and the Leading Talents Funding Project of the Hundred-Thousand-Ten Thousand Project of Fujian Province

***通信作者:** 郑开斌, 博士, 研究员, 主要研究方向为农产品加工。E-mail: kaibin118@163.com

***Corresponding author:** ZHENG Kai-Bin, Ph.D, Professor, Agricultural Ecology Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350003, China. E-mail: kaibin118@163.com

2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonicacid) ammonium salt (ABTS) and 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) free radical, total antioxidant capacity were studied, furthermore, an overall antioxidant potency composite index was calculated to evaluate the antioxidant activity, then the correlations between the content of phenols and flavonoids with antioxidant activities were analyzed. **Results** The content of total phenols and flavonoids of ethanol extracts from 9 kinds of cultivars of *Psidium guajava* L. was 1.363–2.394 g/100 g and 0.607–1.875 g/100 g respectively, and the medium inhibition concentration (IC_{50}) towards DPPH and ABTS free radicals were 0.242–0.518 mg/mL and 1.990–4.929 mg/mL, then the total antioxidant capacities were 0.113–0.206 mmol/g. The content of total phenols and flavonoids of aqueous extracts from 9 kinds of cultivars of *Psidium guajava* L. was 1.192–2.142 g/100 g and 0.393–1.118 g/100 g respectively, and the IC_{50} towards DPPH and ABTS free radicals was 0.320–0.661 mg/mL and 2.837–5.472 mg/mL, then the total antioxidant capacities were 0.105–0.181 mmol/g. Both ethanol and aqueous extracts from 'Zise' *Psidium guajava* L. had the highest content of total phenols and flavonoids as well as antioxidant potency composite index. The antioxidant activities of ethanol extracts were generally higher than aqueous extracts for different cultivars except 'Shuimi'. The correlation analysis indicated that the content of total phenols and flavonoids was positively correlated with DPPH free radical scavenging ability, ABTS free radical scavenging ability, total antioxidant capacity and antioxidant potency composite index. **Conclusion** Among the extracts from 9 kinds of cultivars of *Psidium guajava* L., ethanol extract of 'Zise' has the highest content of total phenols and flavonoids as well as the strongest antioxidant activity, therefore, it is possible to be the optimum source to develop natural antioxidant products.

KEY WORDS: *Psidium guajava* L.; total phenols; flavonoids; antioxidant activity; correlation analysis

0 引言

番石榴(*Psidium guajava* L.)为桃金娘科(Myrtaceae)番石榴属(*Psidium*)热带灌木, 又名芭乐、鸡矢果、喇叭番石榴、拔子等, 原产于南美洲, 现在亚洲、非洲各国也广泛种植^[1]。我国的福建、广西、广东、云南等省份均有栽培。番石榴风味怡人、香气浓郁、清甜多汁、口感清爽、营养丰富, 富含膳食纤维、维生素和矿物质, 也含有多种重要的生物活性物质, 如多酚、黄酮、单宁、萜类、皂苷、类胡萝卜素、多糖等^[2-3]。药理学研究表明, 番石榴提取物具有抗氧化^[4]、抗炎^[5]、降血糖^[6]、镇痛^[1]、止泻^[7]、抑菌^[8]、抗肿瘤^[9]、保肝^[10]等多种生物活性, 在许多国家均被作为传统药物, 因此无论是作为食用的水果还是开发功能性产品, 番石榴均具有较大的潜力。目前, 国内外已有大量关于番石榴营养成分和生物活性的研究, 包括对番石榴中糖、酸、色素、矿物质、蛋白质、氨基酸、维生素 C、多酚和黄酮等营养物质的研究^[11-13], 以及对其提取物和副产物的氧自由基吸收能力、铁离子还原能力(ferric ion reducing antioxidant power, FRAP)、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)和 2,2'-联氮-双(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二铵盐[2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonicacid) ammonium salt, ABTS]自由基清除能力等研究^[14-16]。番石榴品种繁多, 多达 3800 种以上^[17]。不同品种的活性物质含量存在一定差异, 对比不同品种番石榴的抗氧化活性, 对于品种选育具有较大指导意义。同时, 不同提取方法对番石榴提取物的抗氧化活

性也有一定影响, 对比醇提物和水提物的活性差异, 能为开发利用番石榴功能性产品提供参考。本研究以福建地区较为常见且适应性较好的 9 个品种番石榴果实为研究对象, 分析比较了其醇提物和水提物的总酚、黄酮含量, 研究其对 DPPH、ABTS 自由基的清除能力和总抗氧化能力, 旨在筛选出活性物质含量高、适合开发功能性食品的优质来源。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

番石榴果实于 2021 年 7 月 19 日~28 日期间采自福建省农业科学院亚热带农业研究所闽台种质资源圃, 采摘谢花后 105~115 d 的成熟果实。供试品种共 9 个, 有紫肉番石榴: '紫色'; 红肉番石榴: '红宝石'、'粉红蜜'、'西瓜'; 白肉番石榴: '珍珠'、'帝王'、'翠玉'、'水蜜'、'本土'。

总抗氧化能力测试盒(FRAP 法, 货号: A015-3-1, 南京建成生物工程研究所); 福林酚试剂、DPPH、ABTS(美国 Sigma 公司); 没食子酸、芦丁(纯度>98%, 日本东京化成工业株式会社); 无水乙醇、抗坏血酸、碳酸钠、亚硝酸钠、硝酸铝、氢氧化钠(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司)。

1.1.2 主要仪器

PC650 型超声波细胞破碎仪(上海皓庄仪器有限公司); THZ-100B 型恒温培养摇床(上海一恒仪器有限公司); CR22N 型高速冷冻离心机(日本 HITACHI 公司); UPW-20N 型超纯水机(北京历元电子仪器有限公司);

BS110S 型分析天平(德国 Sartorius 集团); RE-52AA 型旋转蒸发仪(上海亚荣生化仪器厂); GZX-9246MBE 型电热鼓风干燥箱(上海博迅实业有限公司); FD-1 冷冻干燥机(北京博医康实验仪器有限公司); HH-600 型恒温水浴锅(金坛市新航仪器厂); MX-S 型涡旋混匀仪(大龙兴创实验仪器股份公司); L5S 型紫外分光光度计(上海仪电分析仪器有限公司); IMark 酶标仪(美国 Biorad 公司)。

1.2 实验方法

1.2.1 样品前处理

每个品种番石榴各随机选取 10 个表皮光滑、无机械伤、无病虫害的果实,用清水洗净除去表面灰尘杂质,自然晾干,切小块置于 60℃下烘干至恒重,用粉碎机粉碎后过 40 目筛,将粉末密封包装,4℃下保存备用。

1.2.2 番石榴提取物制备

醇提物制备:按 1:20 (g:mL)的比例在番石榴粉末中加入 70%(体积分数)的乙醇溶液,以 240 W 功率超声 30 min,随后以 280 r/min 振摇提取 1 h, 2300×g 离心 15 min,收集上清液,重复提取 2 次,合并上清液。提取液在 50℃下旋转蒸发至无醇味,利用冷冻干燥法除去剩余水分,即得番石榴果实醇提物冻干粉。

水提物制备:以 1:20 (g:mL)的比例在番石榴粉末中加入蒸馏水,按照上述提取方法获得提取液,随后进行冷冻干燥,即得番石榴果实水提物冻干粉。

1.2.3 总酚、黄酮含量测定

测定方法参照文献[18]。总酚含量测定采用福林酚法,以没食子酸作为标准品进行测定,得到线性回归方程(1):

$$Y=10.876X+0.0081 \quad (0.01\sim0.1 \text{ mg/mL}, r^2=0.9993) \quad (1)$$

式中, Y 为吸光值; X 为没食子酸质量浓度(mg/mL); 总酚含量以 100 g 提取物中含有的酚质量计,单位为 g/100 g。

黄酮含量测定采用硝酸铝法,以芦丁为标准品进行测定,得到线性回归方程(2):

$$Y=1.3013X+0.0053 \quad (0.1\sim0.8 \text{ mg/mL}, r^2=0.9997) \quad (2)$$

式中, Y 为吸光度值; X 为芦丁质量浓度(mg/mL); 黄酮含量以 100 g 提取物所含的黄酮质量计,单位为 g/100 g。

1.2.4 抗氧化活性测定

DPPH、ABTS 自由基清除能力测定参照文献[19-20],以清除率为 50%时样品的质量浓度,即半数清除浓度(medium inhibition concentration, IC_{50})来评价自由基清除能力。本研究样品的 DPPH 自由基清除率与质量浓度呈自然对数函数关系, DPPH 自由基的 IC_{50} 计算方法如式(3):

$$IC_{50}=e^{[(50-b)/a]} \quad (3)$$

式中, a 为自然对数方程中的斜率; b 为自然对数方程中的截距; e 为自然指数。

本研究中样品的 ABTS 自由基清除率与质量浓度呈线性函数关系, ABTS 自由基的 IC_{50} 计算方法如式(4):

$$IC_{50}=(50-b)/a \quad (4)$$

式中, a 为线性方程中的斜率; b 为线性方程中的截距。

总抗氧化能力采用总抗氧化能力测试盒(FRAP 法)测定,以每 g 样品将 Fe^{3+} 还原成 Fe^{2+} 的量计,单位为 mmol/g。

抗氧化能力综合指数计算参考 SEERAM 等[21]的方法。定义自由基清除能力最强的样品清除能力指数为 100,按照公式(5)分别计算其他样品的 DPPH、ABTS 自由基清除能力指数。定义总抗氧化能力最强的样品总抗氧化能力指数为 100,按照公式(6)计算其他样品的总抗氧化能力指数。

$$\text{自由基清除能力指数} = IC_{50, \text{best}} / IC_{50, \text{sample}} \times 100 \quad (5)$$

式中, $IC_{50, \text{sample}}$ 为样品的半数清除浓度; $IC_{50, \text{best}}$ 为自由基清除能力最强的样品半数清除浓度。

$$\text{总抗氧化能力指数} = FRAP_{\text{sample}} / FRAP_{\text{best}} \times 100 \quad (6)$$

式中, $FRAP_{\text{sample}}$ 为样品的总抗氧化能力; $FRAP_{\text{best}}$ 为样品中最高总抗氧化能力。

抗氧化能力综合指数为样品的 DPPH 自由基清除能力指数、ABTS 自由基清除能力指数、总抗氧化能力指数三者的平均值。

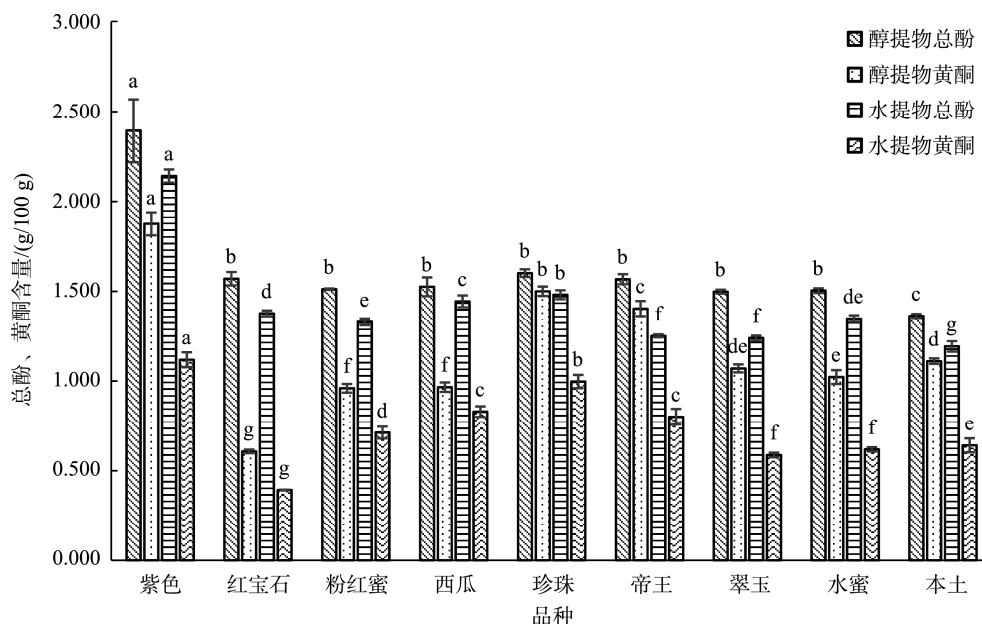
1.3 数据处理

所有实验均重复 3 次,数据以平均值±标准偏差表示。实验数据采用 Excel 2007 作图及进行回归分析,采用 SPSS 22.0 统计软件进行显著性分析(Duncan 法)和相关性分析(Pearson 法), $P<0.05$ 表示差异显著, $P<0.01$ 表示差异极显著。

2 结果与分析

2.1 番石榴果实提取物总酚、黄酮含量

9 个品种番石榴醇提物、水提物的总酚和黄酮含量见图 1。醇提物的总酚含量为 1.363~2.394 g/100 g, 黄酮含量为 0.607~1.875 g/100 g, ‘紫色’番石榴醇提物总酚和黄酮含量均显著高于其他品种($P<0.05$), ‘珍珠’的总酚和黄酮含量仅次于‘紫色’, ‘本土’的总酚含量和‘红宝石’黄酮含量均显著低于其他品种($P<0.05$)。水提物的总酚含量为 1.192~2.142 g/100 g, 黄酮含量为 0.393~1.118 g/100 g, 与醇提物相似, ‘紫色’番石榴水提物的总酚和黄酮含量与其他品种差异显著($P<0.05$), 为 9 个品种中含量最高, 其次是‘珍珠’, 总酚含量最低的是‘本土’, 黄酮含量最低的为‘红宝石’。对比总酚和黄酮含量可知, 不同品种的醇提物均高于水提物, 这与 LIN 等[22]的研究结果一致, 该研究显示番石榴醇提物和水提物的总酚含量分别为 212.7 mg/100 g FW (fresh weight, 鲜重)和 161.1 mg/100 g FW, 这是因为多数酚类物质的醇溶性优于水溶性, 且乙醇溶液介电常数高, 溶剂更容易渗透进细胞[23], 有利于多酚物质的提取。番石榴中多酚种类丰富, 黄和等[24]的研究表明番石榴酚类组分包括没食子酸、儿茶素、槲皮素、原儿茶酸、山奈素和绿原酸, 也有研究发现黄熟期番石榴中含有反式肉桂酸、对羟基苯乙酸、绿原酸、香草醛、儿茶素、表儿茶素、槲皮素、槲皮素-3-*D*-半乳糖苷、槲皮素-3-*O*-葡萄糖苷、山奈酚-3-*O*-葡萄糖苷、木犀草素-7-*O*-葡萄糖苷、表儿茶素没食子酸酯、鞣花酸等[25]。



注: 不同字母表示不同品种番石榴提取物的总酚或黄酮含量差异显著($P < 0.05$)。

图 1 9 个品种番石榴提取物总酚、黄酮含量

Fig.1 Total phenols and flavonoids content of extracts from 9 kinds of cultivars of *Psidium guajava* L.

2.2 番石榴提取物抗氧化活性

2.2.1 醇提物抗氧化活性

(1) DPPH 自由基清除能力

醇提物的质量浓度与 DPPH 自由基清除能力存在量效关系, 在一定浓度范围内, DPPH 自由基清除能力与浓度呈对数函数关系(表 1)。不同品种的清除能力大小表现为: ‘紫色’>‘珍珠’>‘帝王’>‘翠玉’>‘水蜜’>‘红宝石’>‘西瓜’>‘粉红蜜’>‘本土’, ‘紫色’番石榴的清除能力最高, 显著高于其他品种($P < 0.05$)。除‘本土’品种外, 其余白肉番石榴的清除能力均大于红肉番石榴。不同品种番石榴醇提物 IC_{50} 范围为 0.242~0.518 mg/mL, 显著高于阳性对照维生素 C (0.007 mg/mL), 可见其 DPPH 自由基清除能力低于维生素 C。贾桂云等^[26]研究了番石榴果皮、果肉醇提物的 DPPH 自由基清除能力, 并与维生素 C 进行对比, 发现果皮、果肉的 IC_{50} 分别为 0.43 mg/mL 和 1.05 mg/mL, 也显著高于维生素 C (0.026 mg/mL), 与本研究结果一致。

(2) ABTS 自由基清除能力

在一定质量浓度范围内, 醇提物的 ABTS 自由基清除能力与浓度呈线性关系(表 1), 随浓度提高而提高。不同品种的清除能力大小表现为: ‘紫色’>‘珍珠’>‘帝王’>‘西瓜’>‘水蜜’>‘翠玉’>‘粉红蜜’>‘红宝石’>‘本土’, 和 DPPH 自由基清除能力类似, ‘紫色’的 ABTS 自由基清除能力最强, 其次是‘珍珠’, 最弱的是‘本土’, 三者的差异显著($P < 0.05$)。不同品种番石榴醇提物 IC_{50} 范围为 1.990~4.929 mg/mL, 洪佳敏等^[15]研究了 4 个品种番石榴醇提物的 ABTS 自由

清除能力, 发现其 IC_{50} 为 1.48~2.28 mg/mL, 本研究结果与其接近。番石榴醇提物的 ABTS 自由基清除能力均低于维生素 C。

(3) 总抗氧化能力

总抗氧化能力是一种基于电子转移评价抗氧化性的方法, 反映的是抗氧化剂将 Fe^{3+} 还原成 Fe^{2+} 的能力, 也称还原能力^[26]。由表 1 可知, 不同品种番石榴醇提物的总抗氧化能力表现为‘紫色’>‘红宝石’>‘珍珠’>‘西瓜’>‘粉红蜜’>‘帝王’>‘水蜜’>‘翠玉’>‘本土’, 总抗氧化能力最高的为‘紫色’, 其次是‘红宝石’, 最低的是‘本土’, 三者差异显著($P < 0.05$)。9 个品种番石榴醇提物总抗氧化能力范围为 0.113~0.206 mmol/g, 低于维生素 C (8.817 mmol/g)。

2.2.2 水提物抗氧化活性

(1) DPPH 自由基清除能力

9 个品种番石榴水提物的 DPPH 自由基清除能力与质量浓度在一定范围内呈对数函数关系(表 2)。清除能力大小表现为: ‘紫色’>‘珍珠’>‘水蜜’>‘西瓜’>‘翠玉’>‘红宝石’>‘帝王’>‘粉红蜜’>‘本土’, ‘水蜜’和‘西瓜’‘翠玉’和‘红宝石’之间的差异不显著($P > 0.05$), 其余品种的差异均显著($P < 0.05$)。番石榴水提物清除 DPPH 自由基的 IC_{50} 范围为 0.320~0.661 mg/mL, 除‘西瓜’和‘珍珠’外, 其余品种水提物的 DPPH 自由基清除能力均小于醇提物。

(2) ABTS 自由基清除能力

在一定质量浓度范围内, 番石榴水提物的 ABTS 自由基清除能力与浓度呈线性量效关系(表 2)。清除能力大小表

现为:‘紫色’>‘珍珠’>‘水蜜’>‘西瓜’>‘翠玉’>‘红宝石’>‘粉红蜜’>‘帝王’>‘本土’,与水提物的 DPPH 自由基清除能力大小排序接近。‘翠玉’和‘红宝石’、‘红宝石’和‘粉红蜜’之间无显著差异($P>0.05$),其余品种间均有显著差异($P<0.05$)。不同品种番石榴水提物清除 ABTS 自由基的 IC_{50} 范围为 2.837~5.472 mg/mL,9 个品种番石榴水提物的 ABTS 自由基清除能力均低于醇提物。

(3)总抗氧化能力

不同品种番石榴水提物的总抗氧化能力见表 2,其抗氧化能力范围为 0.105~0.181 mmol/g,表现为‘紫色’>‘红宝石’>‘水蜜’>‘珍珠’>‘翠玉’>‘西瓜’>‘粉红蜜’>‘帝王’>‘本土’,‘紫色’番石榴的总抗氧化能力最强,‘红宝石’次之,‘本土’最弱,三者存在显著差异($P<0.05$)。除‘翠玉’和‘水蜜’外,其余品种水提物的总抗氧化能力均小于醇提物。

表 1 9 个品种番石榴果实醇提物的抗氧化活性
Table 1 Antioxidant activities of fruits ethanol extracts from 9 kinds of cultivars of *Psidium guajava* L.

品种	DPPH 自由基清除能力			ABTS 自由基清除能力			总抗氧化能力 (mmol/g)
	回归方程	浓度范围 (mg/mL)	IC_{50} (mg/mL)	回归方程	浓度范围 (mg/mL)	IC_{50} (mg/mL)	
紫色	$Y=33.04\ln(X)+96.114$ $r^2=0.9728$	0.1~0.9	0.242±0.008 ^b	$Y=21.585X+6.6247$ $r^2=0.9911$	0.5~4.0	1.990±0.084 ^b	0.206±0.005 ^b
红宝石	$Y=38.272\ln(X)+75.681$ $r^2=0.9813$	0.2~1.4	0.510±0.001 ^{fg}	$Y=9.6598X+4.8531$ $r^2=0.9933$	1.0~9.0	4.668±0.054 ^f	0.151±0.008 ^c
粉红蜜	$Y=37.323\ln(X)+74.305$ $r^2=0.9811$	0.2~1.4	0.517±0.010 ^g	$Y=9.6519X+6.3157$ $r^2=0.9872$	1.0~9.0	4.524±0.049 ^e	0.131±0.009 ^d
西瓜	$Y=39.692\ln(X)+76.558$ $r^2=0.9760$	0.2~1.4	0.511±0.008 ^{fg}	$Y=10.007X+7.172$ $r^2=0.9909$	1.0~9.0	4.281±0.113 ^d	0.132±0.010 ^d
珍珠	$Y=37.418\ln(X)+81.288$ $r^2=0.9815$	0.2~1.2	0.436±0.007 ^c	$Y=10.437X+9.6358$ $r^2=0.9852$	1.0~9.0	3.873±0.074 ^c	0.139±0.009 ^{cd}
帝王	$Y=37.003\ln(X)+78.43$ $r^2=0.9912$	0.2~1.4	0.458±0.014 ^d	$Y=10.032X+8.0865$ $r^2=0.9879$	1.0~9.0	4.199±0.074 ^d	0.128±0.009 ^d
翠玉	$Y=37.385\ln(X)+76.245$ $r^2=0.9923$	0.2~1.4	0.490±0.005 ^e	$Y=9.8953X+5.429$ $r^2=0.9942$	1.0~9.0	4.502±0.069 ^e	0.125±0.009 ^{de}
水蜜	$Y=38.597\ln(X)+76.991$ $r^2=0.9838$	0.2~1.4	0.499±0.012 ^{ef}	$Y=9.6822X+6.7014$ $r^2=0.9915$	1.0~9.0	4.478±0.031 ^e	0.126±0.011 ^{de}
本土	$Y=36.604\ln(X)+73.738$ $r^2=0.9802$	0.2~1.4	0.518±0.017 ^g	$Y=8.8925X+6.1785$ $r^2=0.9940$	1.0~9.0	4.929±0.080 ^g	0.113±0.009 ^e
维生素 C	$Y=34.19\ln(X)+219.76$ $r^2=0.9622$	0.002~0.018	0.007±0.000 ^a	$Y=713.57X-0.6976$ $r^2=0.9999$	0.02~0.14	0.071±0.000 ^a	8.817±0.106 ^a

注:同列不同小写字母分别表示差异显著($P<0.05$),下同。

表 2 9 个品种番石榴果实水提物的抗氧化活性
Table 2 Antioxidant activities of fruits aqueous extracts from 9 kinds of cultivars of *Psidium guajava* L.

品种	DPPH 自由基清除能力			ABTS 自由基清除能力			总抗氧化能力 (mmol/g)
	回归方程	浓度范围 (mg/mL)	IC_{50} (mg/mL)	回归方程	浓度范围 (mg/mL)	IC_{50} (mg/mL)	
紫色	$Y=43.858\ln(X)+100.01$ $r^2=0.9962$	0.2~0.7	0.320±0.005 ^b	$Y=14.841X+8.032$ $r^2=0.9918$	1.0~6.0	2.837±0.045 ^b	0.181±0.019 ^b
红宝石	$Y=40.531\ln(X)+75.773$ $r^2=0.9860$	0.3~1.4	0.529±0.005 ^e	$Y=9.3636X+4.3052$ $r^2=0.9968$	1.0~9.0	4.880±0.056 ^{fg}	0.140±0.008 ^{cd}
粉红蜜	$Y=39.224\ln(X)+70.093$ $r^2=0.9880$	0.3~1.5	0.599±0.002 ^g	$Y=9.1543X+4.6714$ $r^2=0.9975$	1.0~10.0	4.952±0.067 ^g	0.121±0.006 ^f
西瓜	$Y=38.874\ln(X)+76.210$ $r^2=0.9923$	0.3~1.4	0.510±0.001 ^d	$Y=9.9952X+3.0077$ $r^2=0.9941$	1.0~9.0	4.702±0.059 ^e	0.125±0.002 ^{ef}
珍珠	$Y=39.206\ln(X)+85.130$ $r^2=0.9868$	0.3~1.2	0.408±0.003 ^c	$Y=10.593X+6.1841$ $r^2=0.9907$	1.0~9.0	4.136±0.059 ^c	0.134±0.004 ^{cde}
帝王	$Y=37.937\ln(X)+72.103$ $r^2=0.9971$	0.3~1.4	0.559±0.010 ^f	$Y=8.8227X+3.6173$ $r^2=0.9975$	1.0~9.0	5.257±0.059 ^h	0.106±0.009 ^g
翠玉	$Y=41.263\ln(X)+76.322$ $r^2=0.9907$	0.3~1.4	0.528±0.005 ^e	$Y=9.7496X+3.1138$ $r^2=0.9967$	1.0~9.0	4.809±0.049 ^f	0.128±0.002 ^{def}
水蜜	$Y=39.295\ln(X)+77.143$ $r^2=0.9843$	0.3~1.4	0.501±0.002 ^d	$Y=9.7657X+4.9705$ $r^2=0.9944$	1.0~9.0	4.611±0.042 ^d	0.140±0.004 ^c
本土	$Y=34.072\ln(X)+63.748$ $r^2=0.9602$	0.3~2.0	0.661±0.014 ^h	$Y=8.4525X+3.7497$ $r^2=0.9973$	1.0~9.0	5.472±0.078 ⁱ	0.105±0.002 ^g
维生素 C	$Y=34.19\ln(X)+219.76$ $r^2=0.9622$	0.002~0.018	0.007±0.000 ^a	$Y=713.57X-0.6976$ $r^2=0.9999$	0.02~0.14	0.071±0.000 ^a	8.817±0.106 ^a

2.2.3 抗氧化能力综合指数比较

本研究利用 DPPH 自由基清除能力、ABTS 自由基清除能力和总抗氧化能力来评价番石榴提取物的抗氧化活性,但由于不同样品对以上 3 个指标的特异性和敏感性有所区别,因此需要利用抗氧化能力综合指数来比较不同样品的抗氧化活性。由表 3 可知,对比抗氧化能力综合指数,醇提物的抗氧化活性大小为:‘紫色’>‘珍珠’>‘红宝石’>‘帝王’>‘西瓜’>‘粉红蜜’>‘翠玉’>‘水蜜’>‘本土’,水提物则为:‘紫色’>‘珍珠’>‘水蜜’>‘红宝石’>‘西瓜’>‘翠玉’>‘粉红蜜’>‘帝王’>‘本土’,醇提物和水提物的抗氧化活性均以‘紫色’品种最高,其次为‘珍珠’,‘本土’最弱。除‘水蜜’番石榴外,其他品种的醇提物的抗氧化活性均高于水提物,这可能是由于醇提物的总酚、黄酮含量均高于水提物,而‘水蜜’番石榴水提物抗氧化活性高于醇提物的原因,可能是其还原糖、总糖、维生素 C 含量均较高^[27],这些物质也具有较强的抗氧化活性且水溶性较好,李珊等^[28]利用水溶剂提取法提取番石榴多糖,发现其对各种自由基均具有较好的清除效果。

2.3 总酚、黄酮含量与抗氧化活性的相关性

番石榴提取物总酚、黄酮含量与抗氧化活性的相关性见表 4。总酚含量与 DPPH、ABTS 自由基清除能力、

总抗氧化能力和抗氧化能力综合指数呈极显著正相关关系($0.927 \leq r \leq 0.963$; $P < 0.01$); 黄酮含量与 DPPH、ABTS 自由基清除能力、总抗氧化能力和抗氧化能力综合指数呈显著正相关关系($0.505 \leq r \leq 0.740$; $P < 0.05$)。已有大量研究表明多酚、黄酮具有抗氧化作用。HARTATI 等^[29]研究发现番石榴果实提取物总酚含量与 DPPH 自由基清除能力、FRAP、铜离子还原能力的相关系数分别为 0.982、0.987 和 0.946。陈冠林等^[30]研究了 33 种水果的总酚含量及其抗氧化能力,结果也发现总酚含量与 DPPH、ABTS 自由基清除能力和 FRAP 存在较强的线性正相关关系($0.7569 \leq r^2 \leq 0.8447$)。李焱等^[31]研究了西番莲种籽中的总黄酮对氧化损伤模型小鼠的体内抗氧化活性,发现总黄酮显著提高了小鼠的超氧化物歧化酶、过氧化氢酶活力,降低了丙二醛、蛋白羰基含量,具有良好的体内抗氧化活性。综合以上分析,酚类、黄酮可能是番石榴提取物抗氧化活性的重要贡献物质。目前,已有报道阐释了植物多酚的抗氧化机制,如利用结构中的酚羟基捕捉自由基,导致自由基氧化反应链中断,从而中止氧化反应,也可通过与氧化酶结合改变其构象来抑制酶活性,从而抑制氧化反应,还可螯合作为促氧化剂的金属离子,延缓氧化反应^[32]。

表 3 9 个品种番石榴果实提取物抗氧化能力综合指数
Table 3 Antioxidant potency composite index of fruits extracts from 9 kinds of cultivars of *Psidium guajava* L.

样品	抗氧化能力指数			抗氧化能力综合指数
	DPPH 自由基清除能力	ABTS 自由基清除能力	总抗氧化能力	
醇提物	紫色	100.00	100.00	100.00
	红宝石	47.45	42.63	54.46
	粉红蜜	46.81	43.99	51.46
	西瓜	47.36	46.48	52.64
	珍珠	55.50	51.38	58.12
	帝王	52.84	47.39	54.12
	翠玉	49.39	44.20	51.42
	水蜜	48.50	44.44	51.37
	本土	46.72	40.37	47.32
水提物	紫色	75.63	70.14	77.88
	红宝石	45.75	40.78	51.50
	粉红蜜	40.40	40.19	46.44
	西瓜	47.45	42.32	50.15
	珍珠	59.31	48.11	57.49
	帝王	43.29	37.85	44.20
	翠玉	45.83	41.38	49.78
	水蜜	48.30	43.16	53.14
	本土	36.61	36.37	41.32

表 4 总酚、黄酮含量与抗氧化活性相关性
Table 4 Correlations between total phenols, flavonoids content and antioxidant activities

抗氧化指标	总酚含量		黄酮含量	
	相关系数(<i>r</i>)	显著性水平(<i>P</i>)	相关系数(<i>r</i>)	显著性水平(<i>P</i>)
DPPH 自由基清除能力	0.948	0.000	0.740	0.000
ABTS 自由基清除能力	0.952	0.000	0.739	0.000
总抗氧化能力	0.927	0.000	0.505	0.033
抗氧化能力综合指数	0.963	0.000	0.686	0.002

3 结 论

本研究对比分析了9个品种番石榴醇提物和水提物的总酚、黄酮含量和抗氧化活性,结果表明,醇提物总酚和黄酮含量分别为1.363~2.394 g/100 g和0.607~1.875 g/100 g,水提物总酚和黄酮含量则为1.192~2.142 g/100 g和0.393~1.118 g/100 g,总酚和黄酮含量均以‘紫色’最高,‘珍珠’次之,‘本土’的总酚含量最低,而黄酮含量则以‘红宝石’最低,9个品种番石榴醇提物的总酚和黄酮含量均高于水提物。醇提物和水提物的抗氧化能力综合指数均以‘紫色’品种最高,其次为‘珍珠’,‘本土’最弱。除‘水蜜’番石榴外,其他品种的醇提物抗氧化活性均高于水提物。9个品种番石榴的醇提物和水提物中,‘紫色’番石榴醇提物是开发天然抗氧化剂的优质来源。

本研究分析了番石榴提取物总酚、黄酮含量与抗氧化活性的相关性,发现总酚、黄酮含量与抗氧化活性存在显著正相关关系,目前已有一些关于番石榴果实中酚类组分的研究,但各个酚类组分与抗氧化活性的相关性以及贡献率的研究尚不清晰,因此,后续研究可对抗氧化活性较强的‘紫色’番石榴果实中酚类、黄酮组分进行定性定量分析,进一步研究发挥抗氧化作用的主要酚类、黄酮组分,为开发高附加值的功能性产品提供参考。

参考文献

[1] AMADIKE UE, EMMANUEL O, EBUBECHI UM, *et al.* The ethnobotanical, phytochemistry and pharmacological activities of *Psidium guajava* L. [J]. Arab J Chem, 2022, 15: 1–26.

[2] GUTIÉRREZ RMP, MITCHELL S, SOLIS RV. *Psidium guajava*: A review of its traditional uses, phytochemistry and pharmacology [J]. J Ethnopharmacol, 2008, 117(1): 1–27.

[3] WELI A, AL-KAABI A, AL-SABAHI J, *et al.* Chemical composition and biological activities of the essential oils of *Psidium guajava* leaf [J]. J King Saud Univ Sci, 2019, 31(4): 993–998.

[4] GUALBERTO NC, SANTOS-OLIVEIRA C, NOGUEIRA JP, *et al.* Bioactive compounds and antioxidant activities in the agro-industrial residues of acerola (*Malpighia emarginata* L.), guava (*Psidium guajava* L.), genipap (*Genipa americana* L.) and umbu (*Spondias tuberosa* L.) fruits assisted by ultrasonic or shaker extraction [J]. Food Res Int, 2021, 147: 1–13.

[5] VASCONCELOS AG, AMORIM ADGN, DOS SANTOSRC, *et al.* Lycopene rich extract from red guava (*Psidium guajava* L.) displays anti-inflammatory and antioxidant profile by reducing suggestive hallmarks of acute inflammatory response in mice [J]. Food Res Int, 2017, 99 (2): 959–968.

[6] MNBA B, HMEC D, MLSV C, *et al.* Evaluation of the antidiabetic potential of *Psidium guajava* L. (Myrtaceae) using assays for α -glucosidase, α -amylase, muscle glucose uptake, liver glucose production, and triglyceride accumulation in adipocytes [J]. J Ethnopharmacol, 2020, 257: 1–8.

[7] KORIE M, ARBID MS, SALEH HN. Antidiarrheal andprotein conservative activities of *Psidium guajava* in diarrheal rats [J]. J Integr Med, 2019, 17(1): 57–65.

[8] HIRUDKAR JR, PARMAR KM, PRASAD RS, *et al.* The antidiarrhoeal evaluation of *Psidium guajava* L. against enteropathogenic *Escherichia coli* induced infectious diarrhea [J]. J Ethnopharmacol, 2020, 251: 1–10.

[9] LIN HC, LIN JY. GSF3, a polysaccharide from guava (*Psidium guajava* L.) seeds, inhibits MCF-7 breast cancer cellgrowth via increasing Bax/Bcl-2 ratio or Fas mRNA expressionlevels [J]. Int J Biol Macromol, 2020, 161: 1261–1271.

[10] VIJAYAKUMAR K, ARUMUGAM VA, RAMASAMY M, *et al.* Hepatoprotective effects of *Psidium guajava* on mitochondrial enzymes and inflammatory markers in carbon tetrachloride-induced hepatotoxicity [J]. Drug Dev Ind Pharm, 2020, 46(12): 2041–2050.

[11] KUMARI P, MANKAR A, KARUNA K, *et al.* Mineral composition, pigments, and postharvest quality of guava cultivars commercially grown in India [J]. J Agric Food Res, 2020, 2: 1–5.

[12] 张朝坤, 黄婉莉, 陈洪彬, 等. 番石榴果实生长发育和营养品质变化规律分析[J]. 热带作物学报, 2021, 42(4): 1035–1040.

ZHANG CK, HUANG WL, CHEN HB, *et al.* Analysis on the law of *Psidium guajava* L. fruit growth and nutritional quality [J]. Chin J Trop Crop, 2021, 42(4): 1035–1040.

[13] 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.

PENG Y, ZHANG M, CUI XL, *et al.* Analysis of nutrients and bioactive compounds in fruits of *Psidium guajava* L. cv. pearl [J]. Food Mach, 2020, 36(8): 36–40.

[14] 郑必胜, 曹双, 钟伟. 不同品种番石榴的酚类物质及抗氧化活性[J]. 食品科技, 2014, 39(12): 225–230.

ZHENG BS, CAO S, ZHONG W. Analysis of phenolic compounds and

- antioxidation in different cultivar guavas [J]. Food Sci Technol, 2014, 39(12): 225–230.
- [15] 洪佳敏, 林宝妹, 张朝坤, 等. 番石榴醇提物抗氧化能力及 α -葡萄糖苷酶抑制活性研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2019, 47(1): 139–146.
- HONG JM, LIN BM, ZHANG CK, *et al.* Antioxidant capacity and α -glucosidase inhibitory activity of ethanol extracts from guava fruits [J]. J Northwest Agric For Univ (Nat Sci Ed), 2019, 47(1): 139–146.
- [16] FERREIRA BL, JUNIOR TK, BLOCK JM, *et al.* Innovative approach for obtaining phenolic compounds from guava (*Psidium guajava* L.) coproduct using ionic liquid ultrasound-assisted extraction (IL-UAE) [J]. Biocatal Agric Biotechnol, 2021, 38: 1–14.
- [17] NASEER S, HUSSAIN S, NAEEM N, *et al.* The phytochemistry and medicinal value of *Psidium guajava* (guava) [J]. Clin Phytosci, 2018, 4(32): 1–8.
- [18] 林宝妹, 张帅, 洪佳敏, 等. 马齿苋不同溶剂提取物的抗氧化活性[J]. 食品工业, 2020, 41(3): 141–145.
- LIN BM, ZHANG S, HONG JM, *et al.* Antioxidant activities of different solvent extracts from *Portulaca oleracea* L. [J]. Food Ind, 2020, 41(3): 141–145.
- [19] TANG W, XING ZQ, LI C, *et al.* Molecular mechanisms and *in vitro* antioxidant effects of *Lactobacillus plantarum* MA2 [J]. Food Chem, 2017, 221: 1642–1649.
- [20] HU QP, XU JG. Profiles of carotenoids, anthocyanins, phenolics, and antioxidant activity of selected color waxy corn grains during maturation [J]. J Agric Food Chem, 2011, 59(5): 2026–2033.
- [21] SEERAM NP, AVIRAM M, ZHANG YJ, *et al.* Comparison of antioxidant potency of commonly consumed polyphenol-rich beverages in the United States [J]. J Agric Food Chem, 2008, 56(4): 1415–1422.
- [22] LIN CY, YIN MC. Renal protective effects of extracts from guava fruit (*Psidium guajava* L.) in diabetic mice [J]. Plant Food Hum Nutr, 2012, 67(3): 303–308.
- [23] JOUYBAN A, SOLTANPOUR S, CHAN HK. A simple relationship between dielectric constant of mixed solvents with solvent composition and temperature [J]. Int J Pharmaceut, 2004, 269(2): 353–360.
- [24] 黄和, 林晓霞, 邝高波, 等. 番石榴多酚成分分析及抑菌活性研究[J]. 热带作物学报, 2014, 35(12): 2482–2487.
- HUANG H, LIN XX, KUANG GB, *et al.* Quantitative analysis and antimicrobial activity of guava polyphenols [J]. Chin J Trop Crop, 2014, 35(12): 2482–2487.
- [25] MONRIBOT-VILLANUEVA JL, ALTÚZAR-MOLINA A, ALUJA M, *et al.* Integrating proteomics and metabolomics approaches to elucidate the ripening process in white *Psidium guajava* [J]. Food Chem, 2022, 367: 1–12.
- [26] 贾桂云, 吴凌志, 羊传慧, 等. 芒果和番石榴的果皮、果肉多酚含量测定及抗氧化性比较分析[J]. 海南师范大学学报(自然科学版), 2018, 31(1): 38–43.
- JIA GY, WU LZ, YANG CH, *et al.* Polyphenol contents of peel and flesh extracts from mango and guava and the comparative analysis of their antioxidant properties [J]. J Hainan Norm Univ (Nat Sci Ed), 2018, 31(1): 38–43.
- [27] 邱珊莲, 林宝妹, 郑开斌. 5 个番石榴品种果实食用品质和香气特征分析[J/OL]. 热带亚热带植物学报, 1–9. [2022-05-17]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1374.Q.20220516.2011.014.html>
- QIU SL, LIN BM, ZHENG KB. Analysis of edible quality and aroma characteristics of fruits in five cultivars of *Psidium guajava* [J/OL]. J Trop Subtrop Bot, 1–9. [2022-05-17]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1374.Q.20220516.2011.014.html>
- [28] 李珊, 梁俭, 冯彬, 等. 番石榴多糖的提取工艺优化, 纯化及其抗氧化活性测试[J]. 粮食与油脂, 2020, 33(7): 68–73.
- LI S, LIANG J, FENG B, *et al.* Extraction process optimization, purification and antioxidant activity test of guava polysaccharides [J]. J Cere Oils, 2020, 33(7): 68–73.
- [29] HARTATI R, NADIFAN HI, FIDRIANNY I. Crystal guava (*Psidium guajava* L. “Crystal”): Evaluation of *in vitro* antioxidant capacities and phytochemical content [J]. Sci World J, 2020, (3): 1–7.
- [30] 陈冠林, 陈松根, 赵颖莹, 等. 33 种水果的总酚含量及其抗氧化能力研究[J]. 食品工业, 2014, 35(9): 264–268.
- CHEN GL, CHEN SG, ZHAO YY, *et al.* Total phenolic contents and antioxidant capacities of 33 fruits [J]. Food Ind, 2014, 35(9): 264–268.
- [31] 李焱, 黄苇, 卢明剑, 等. 西番莲种籽中总黄酮的体内抗氧化活性及其成分分析[J]. 食品科学, 2020, 41(1): 203–208.
- LI Y, HUANG W, LU MJ, *et al.* *In vivo* antioxidant capacity and flavonoid composition of the seeds of *Passiflora edulis* Sims [J]. Food Sci, 2020, 41(1): 203–208.
- [32] 曹双. 番石榴酚类物质抗氧化和抗肿瘤活性研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2015.
- CAO S. Antioxidant and antitumor activities of phenolics from guava (*Psidium guajava* L.) [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2015.

(责任编辑: 于梦娇 韩晓红)

作者简介

吴妙鸿, 硕士研究生, 主要研究方向为植物天然产物提取与利用。
E-mail: miaohongwu@qq.com

郑开斌, 博士, 研究员, 主要研究方向为农产品加工。
E-mail: kaibin118@163.com