

网络出版时间:2018-07-06 13:25

DOI:10.13207/j.cnki.jnwfufu.2019.01.017

网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20180706.1324.034.html

番石榴醇提物抗氧化能力及 α -葡萄糖苷酶抑制活性研究

洪佳敏¹,林宝妹¹,张朝坤²,张树河¹,张 帅¹,郑菲艳¹,邱珊莲¹,郑开斌¹

(1 福建省农业科学院 亚热带农业研究所,福建 漳州 363005;2 福建省漳州市农业科学研究所,福建 漳州 363005)

【摘要】【目的】探讨 4 种番石榴醇提物的抗氧化能力、 α -葡萄糖苷酶抑制活性及功能性成分含量,为番石榴功能产品的开发利用提供参考。【方法】以‘宜盆红’、‘帝王’、‘山美白’、‘山美红’等 4 个品种番石榴果实为试材,测定其醇提物对 DPPH $\cdot$ 、 $\cdot$ OH、ABTS $^{+}$ 3 种自由基的清除能力, α -葡萄糖苷酶抑制活性及总多酚和总黄酮含量,并探讨功能活性与物质成分含量的相关性。【结果】4 种番石榴醇提物中,‘帝王’醇提物对 DPPH $\cdot$ 、 $\cdot$ OH、ABTS $^{+}$ 3 种自由基的清除能力最强,半清除浓度(IC₅₀)分别为 1.25、1.83 和 1.48 mg/mL;‘山美白’次之,IC₅₀ 分别为 1.46、1.94 和 1.68 mg/mL;‘山美红’的 IC₅₀ 分别为 1.61、2.58 和 1.94 mg/mL;‘宜盆红’最弱,IC₅₀ 分别为 2.02、3.15 和 2.28 mg/mL。4 种番石榴醇提物对 α -葡萄糖苷酶的半抑制浓度(IC₅₀)为 0.04~0.19 mg/mL,均远低于阳性对照阿卡波糖的 IC₅₀ 3.13 mg/mL。4 种番石榴的总多酚和总黄酮含量分别为 11.22~20.70 mg/g 和 21.65~50.68 mg/g,总多酚含量与 DPPH $\cdot$ 、ABTS $^{+}$ 自由基清除能力均呈显著正相关性($P<0.05$),但与 $\cdot$ OH 自由基清除能力、 α -葡萄糖苷酶抑制活性相关性均不显著($P>0.05$),总黄酮含量与抗氧化能力、 α -葡萄糖苷酶抑制活性均无显著相关关系($P>0.05$)。【结论】4 种番石榴醇提物中,‘帝王’醇提物抗氧化能力及总多酚、总黄酮含量最高,‘山美红’醇提物 α -葡萄糖苷酶抑制活性最强。

【关键词】 番石榴;醇提物;抗氧化能力; α -葡萄糖苷酶抑制活性

【中图分类号】 S667.9

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2019)01-0139-08

Antioxidant capacity and α -glucosidase inhibitory activity of ethanol extracts from guava fruits

HONG Jiamin¹, LIN Baomei¹, ZHANG Chaokun², ZHANG Shuhe¹,
ZHANG Shuai¹, ZHENG Feiyan¹, QIU Shanlian¹, ZHENG Kaibin¹

(1 Institute of Subtropical Agriculture, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Zhangzhou, Fujian 363005, China;

2 Zhangzhou Institute of Agricultural Sciences in Fujian Province, Zhangzhou, Fujian 363005, China)

Abstract: 【Objective】 This study compared the antioxidant capacity, α -glucosidase inhibitory activity, and contents of functional components of ethanol extracts of 4 different guava cultivars to provide reference for future exploitation of guava functional products. 【Method】 The fresh fruits of 4 guava cultivars including “Yipenhong”, “Diwang”, “Shanmeibai”, and “Shanmeihong” were selected and the scavenging effects of their ethanol extracts on DPPH $\cdot$, $\cdot$ OH, and ABTS $^{+}$ free radicals, inhibition on α -glucosidase activity as well as contents of total polyphenols and flavonoids were determined. The correlation between functional activity and active constituents was also explored. 【Result】 The ethanol extract of “Diwang” fruit showed

【收稿日期】 2017-10-20

【基金项目】 福建省公益类科研院所专项(2017R1024-1);福建省农业科学院青年英才计划项目(YC2015-19);福建省农业科学院青年创新团队项目(STIT2017-3-4);福建省农业科学院生产性工程化实验室中试项目(AG2017-5)

【作者简介】 洪佳敏(1988—),女,福建漳州人,硕士,主要从事农产品活性成分提取及加工研究。E-mail:jiaminhong2008@126.com

【通信作者】 邱珊莲(1979—),女,福建龙岩人,博士,主要从事天然产物化学研究。E-mail:slqiu79@163.com

the highest scavenging ability against DPPH $\cdot$ (IC_{50} 1.25 mg/mL), $\cdot$ OH (IC_{50} 1.83 mg/mL), and ABTS $^{+}$ (IC_{50} 1.48 mg/mL), followed by “Shanmeibai” (IC_{50} 1.46, 1.94 and 1.68 mg/mL) and “Shanmeihong” (IC_{50} 1.61, 2.58 and 1.94 mg/mL). The ethanol extract of “Yipenhong” fruit exhibited the lowest antioxidant capacity with IC_{50} of 2.02, 3.15 and 2.28 mg/mL, respectively. The IC_{50} values of α -glucosidase inhibitory activity of the 4 ethanol extracts ranged from 0.04 to 0.19 mg/mL, much lower than that of Acarbose (IC_{50} = 3.13 mg/mL). The contents of polyphenols and flavonoids of ethanol extracts ranged from 11.22 to 20.70 mg/g and from 21.65 to 50.68 mg/g, respectively. Correlation analysis revealed that the scavenging ability against DPPH $\cdot$ and ABTS $^{+}$ was highly significantly and positively correlated with polyphenols contents ($P < 0.05$). The scavenging ability against $\cdot$ OH and the inhibitory activity on α -glucosidase were not significantly correlated with polyphenols contents ($P > 0.05$). The antioxidant capacity and α -glucosidase inhibitory activity had no significant correlation with flavonoids ($P > 0.05$).【Conclusion】The ethanol extract of “Diwang” fruit showed the highest antioxidant capacity, as well as polyphenols and flavonoids contents. The ethanol extract of “Shanmeihong” fruit had the highest α -glucosidase inhibitory activity.

Key words: guava fruits; ethanol extracts; antioxidant capacity; inhibitory activity on α -glucosidase

番石榴(*Psidium guajava* Linn.), 又名芭乐、喇叭番石榴、鸡屎果等, 为桃金娘科番石榴属果树, 属热带乔木, 原产于南美洲。番石榴果实甘甜多汁, 果肉柔滑, 气味芬芳, 富含 V_C 、 V_A 、叶酸、氨基酸等多种营养成分和矿质元素^[1], 以及果胶、单宁、生物碱、三萜类、类黄酮、皂苷、类胡萝卜素、凝集素等生物活性物质等^[2-3], 具有抗氧化、抗菌、抗腹泻、降血糖、降血压、抗诱变、抗肿瘤等功效^[4-6]。

目前国内对番石榴的研究多集中在贮藏保鲜^[7]、产品加工^[8-9]、活性成分提取及抗氧化能力分析^[10-11]等方面。国外对其果实、叶等提取物进行了相关功效研究, 如 Musa 等^[12]研究发现, 粉红色番石榴果实丙酮提取物富含多酚且具有很高的抗氧化能力, 可以作为天然抗氧化剂的优良膳食来源; Vasconcelos 等^[13]研究发现, 红番石榴富含番茄红素, 其提取物具有抗炎和抗氧化作用; Freire 等^[14]研究显示, 番石榴叶乙醇/丙酮提取物具有抗氧化活性和低胆固醇血症作用; Takahashi 等^[15]研究发现, 番石榴茶叶提取物对白细胞型 12-脂肪氧合酶具有抑制作用, 可预防动脉粥样硬化。

多酚主要存在植物中, 具有潜在促进健康作用。目前对番石榴的功效研究多集中于单一品种果肉或叶多酚类物质抗氧化能力及预防心血管疾病作用等方面, 关于不同品种番石榴果实醇提物抗氧化能力及 α -葡萄糖苷酶抑制活性的研究尚未有报道。为此, 本研究以 4 种番石榴果实为研究对象, 采用比色法分别测定其醇提物的抗氧化能力、 α -葡萄糖苷酶抑制活性及总多酚和总黄酮含量, 并探讨功能活性与总多酚、总黄酮含量的相关性, 旨在为筛选具有较

强活性的番石榴品种及其功能产品开发提供理论依据。

1 材料与方法

试验于 2017-05—2017-07 在福建省农业科学院亚热带农业研究所实验室内进行。

1.1 材料

番石榴于 2017-05-25 采自福建省漳州市农业科学研究所内, 供试品种有“宜盆红”、“帝王”、“山美白”、“山美红”。每个品种随机选取 9 株健康植株于谢花后 30 d 采取果实样品, 每 3 株果实混合成 1 个样品, 即每个品种果实均设 3 个重复。试验期间样品于 4 $^{\circ}$ C 冰箱保存。

主要试剂: 1,1-苯基-2-苦肼基自由基(DPPH $\cdot$)、2,2'-联氮双(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二铵盐(ABTS)、 α -葡萄糖苷酶(α -glucosidase, G5003-100UN)、4-硝基苯- α -D-吡喃葡萄糖苷(PNPG, N1377-1G)和邻二氮菲(P9375-5G), 均购自 Sigma 公司; 阿卡波糖(Acarbose Hydrate, $C_{25}H_{43}NO_{18} \cdot xH_2O$, A₂485)、没食子酸和芦丁, 均购自日本东京化成工业株式会社; 抗坏血酸(V_C)、无水乙醇、体积分数 95% 乙醇、双氧水、硫酸亚铁、磷酸二氢钾、磷酸氢二钾和碳酸钠, 均购自国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

紫外可见分光光度计, L5S 型, 上海仪电分析仪器有限公司; 超纯水机, UPW-20N 型, 北京历元电子仪器有限公司; 分析天平, BS110S 型, 德国 Sartorius 集团; 水浴锅, HH $\cdot$ S21-8-S 型, 上海新苗医疗

器械制造有限公司;台式冷冻恒温振荡器,THZ-C-1型,苏州培英实验设备有限公司;粉碎机,WBL2521H型,佛山美的集团;旋转蒸发仪,RE-52AA型,上海亚荣生化仪器厂;电热鼓风干燥箱,GZX-9246MBE,上海博迅实业有限公司医疗设备厂。

1.3 方 法

1.3.1 番石榴醇提物的制备 将采集的番石榴果实切块,与体积分数50%乙醇按1:10质量体积比混合,用粉碎机粉碎1 min,摇床振荡(28℃,180 r/min)提取16 h,然后以6 000 r/min离心15 min,取上清,获得100 mg/mL番石榴醇提物原液,4℃保存,待测。

1.3.2 番石榴果实干物质质量分数的测定 取番石榴果实,先称其鲜质量,然后烘干至恒质量,计算干物质质量分数。经计算,‘宜盆红’、‘帝王’、‘山美白’、‘山美红’的干物质质量分数依次为25.97%,19.11%,20.47%和21.12%。

1.3.3 抗氧化能力测定 (1)DPPH·自由基清除能力。参照文献[16]的方法测定。以抗坏血酸(V_C)为对照,将4种番石榴醇提物原液用蒸馏水稀释成1,5,7.5,10,12.5 mg/mL的供试溶液;精密称取0.025 0 g DPPH·粉末,用体积分数95%乙醇溶解并定容至500 mL,制成质量浓度为0.05 mg/mL的DPPH·溶液。取0.5 mL上述番石榴供试溶液和4.5 mL 0.05 mg/mL的DPPH·溶液充分混匀,于室温下密封避光静置30 min,分别于517 nm下测定吸光值,计算DPPH·清除率。 $\text{DPPH}\cdot\text{清除率}=[1-(A_i-A_j)/A_0]\times 100\%$,其中, A_0 为以0.5 mL蒸馏水代替番石榴供试溶液时的吸光值, A_i 为样品吸光值, A_j 为以4.5 mL体积分数95%乙醇溶液代替DPPH·溶液时的吸光值。

(2)·OH自由基清除能力。参照文献[17]的方法测定。以抗坏血酸(V_C)为对照,将4种番石榴醇提物原液用蒸馏水稀释成1,5,10,15,20 mg/mL的供试溶液。取1 mL 0.5 mmol/L邻二氮菲-无水乙醇溶液和2 mL 0.2 mol/L的磷酸盐缓冲液(pH 7.4),充分混匀后加入1 mL 0.5 mmol/L新配制的硫酸亚铁溶液,混匀后依次加入1 mL 0.1%新配制的双氧水及1 mL上述番石榴供试溶液,于37℃水浴60 min,分别于510 nm处测定吸光值,计算·OH清除率。 $\cdot\text{OH}\text{清除率}=[(A_2-A_1)/(A_0-A_1)]\times 100\%$,其中, A_0 为以2 mL蒸馏水代替双氧水和番石榴供试溶液时的吸光值, A_2 为样品吸光值, A_1 为

以1 mL蒸馏水代替番石榴供试溶液时的吸光值。

(3)ABTS⁺自由基清除能力。参照文献[18]的方法测定。以抗坏血酸(V_C)为对照,将4种番石榴醇提物原液用蒸馏水稀释成1,5,7.5,10,15 mg/mL的供试溶液;精密称取0.384 1 g ABTS粉末,用体积分数95%乙醇溶解并定容至100 mL,制成浓度为7 mmol/L的ABTS⁺溶液。将7 mmol/L ABTS⁺溶液与2.45 mmol/L过硫酸钾溶液等体积混合,室温避光放置16 h,制得ABTS⁺自由基溶液,再用体积分数95%乙醇稀释,获得734 nm吸光值为0.700±0.050的ABTS⁺应用液。取0.1 mL上述番石榴供试溶液,加入3.8 mL ABTS⁺应用液混匀后制成样品,室温下避光反应6 min,于734 nm处测定吸光值,计算ABTS⁺清除率。 $\text{ABTS}^+\text{清除率}=[1-(A_i-A_j)/A_0]\times 100\%$,其中, A_0 为以0.1 mL蒸馏水代替番石榴供试溶液时的吸光值, A_i 为样品吸光值, A_j 为以3.8 mL体积分数95%乙醇溶液代替ABTS⁺应用液时的吸光值。

1.3.4 α -葡萄糖苷酶抑制活性测定 以阿卡波糖为对照,将4种番石榴醇提物原液用蒸馏水稀释成0.1,0.3,0.5,0.7,1.0 mg/mL的供试溶液。取500 μL 0.2 mol/L磷酸钾缓冲液(pH 6.8),加入80 μL 15 mmol/L PNPG,200 μL 上述番石榴供试溶液和1.62 mL蒸馏水充分混匀后,于37℃恒温水浴5 min,再加入100 μL 0.2 U/mL α -葡萄糖苷酶溶液,摇匀,于37℃恒温水浴15 min,最后加入2.5 mL 0.2 mol/L碳酸钠溶液制成样品,于400 nm处测定吸光值,计算 α -葡萄糖苷酶活性抑制率。 α -葡萄糖苷酶活性抑制率 $=[1-(A_i-A_j)/A_0]\times 100\%$,其中, A_0 为以200 μL 蒸馏水代替番石榴供试溶液时的吸光值, A_i 为样品吸光值, A_j 为以100 μL 蒸馏水代替 α -葡萄糖苷酶溶液时的吸光值。

1.3.5 半清除浓度 IC_{50} 的计算 IC_{50} 指提取物对自由基的清除率(或对 α -葡萄糖苷酶活性抑制率)为50%时所需番石榴醇提物的质量浓度,用来表示番石榴醇提物清除自由基能力或 α -葡萄糖苷酶抑制活性。将番石榴醇提物原液用蒸馏水稀释成0.1,0.3,0.5,0.7,1.0 mg/mL的供试溶液,测定各质量浓度供试溶液对自由基(α -葡萄糖苷酶)的清除率(抑制率),绘制清除率(抑制率)与番石榴醇提物的质量浓度关系曲线,根据曲线确定以鲜质量计的 IC_{50} ,再乘以1.3.2节的干物质质量分数,即得最终的以干质量计的 IC_{50} 。 IC_{50} 值越小,表明番石榴醇提物清除能力(抑制活性)越强。

1.3.6 总多酚、总黄酮含量测定 参照文献[11]的方法测定。总多酚含量测定以没食子酸为标准品,建立方程: $y=0.002\ 0x+0.061\ 4(0\sim300\ \mu\text{g/mL}, R^2=0.995\ 2)$,式中 y 为吸光值, x 为没食子酸质量浓度($\mu\text{g/mL}$)。样品中总多酚含量用每克干燥果实中所含没食子酸的质量进行计算,单位为 mg/g 。总黄酮含量测定以芦丁为标准品,建立方程: $y=1.206\ 5x-0.005\ 1(0\sim60\ \mu\text{g/mL}, R^2=0.999\ 7)$,其中 y 为吸光值, x 为芦丁质量浓度($\mu\text{g/mL}$)。样品中总黄酮含量用每克干燥果实中所含芦丁的质量进行计算,单位为 mg/g 。

1.4 数据处理

试验数据采用 Excel 2007 进行线性回归分析;采用 SPSS 22.0 统计软件进行相关性和单因素方差分析。

2 结果与分析

2.1 番石榴醇提物的抗氧化能力

2.1.1 DPPH· 自由基清除能力 不同品种番石榴醇提物对 DPPH· 自由基的清除效果见图 1-A 和表 1。图 1-A 显示,随着 4 种番石榴醇提物质量浓度的增加,其对 DPPH· 自由基的清除作用相应增强,在测定的质量浓度范围内两者呈线性关系,相关系数 $R^2=0.973\ 6\sim0.996\ 6$ 。由表 1 可知,4 种番石榴醇提物对 DPPH· 自由基清除能力的大小依次为‘帝王’>‘山美白’>‘山美红’>‘宜盆红’。其中抗氧化能力最强的为‘帝王’醇提物($\text{IC}_{50}=1.25\ \text{mg/mL}$),最弱的为‘宜盆红’醇提物($\text{IC}_{50}=2.02\ \text{mg/mL}$)。

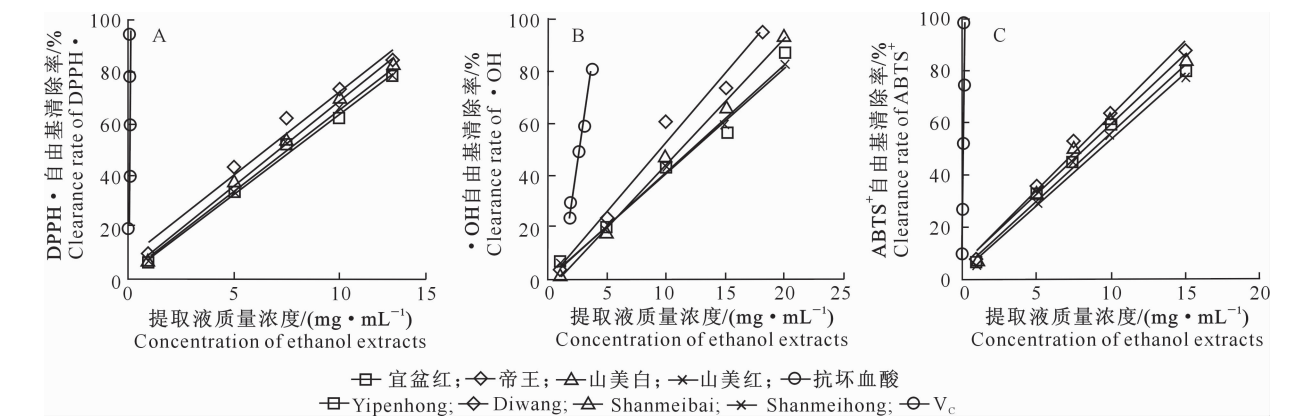


图 1 番石榴醇提物对 3 种自由基的清除作用

Fig. 1 Scavenging capacity of ethanol extracts from guava fruits against DPPH·, ·OH and ABTS+ radicals

表 1 4 种番石榴醇提物对 3 种自由基清除效果的比较

Table 1 Comparison of scavenging effect of ethanol extracts from 4 guava fruits on DPPH·, ·OH and ABTS+ radicals

自由基种类 Free radical	番石榴醇提物 Ethanol extract of guava fruit	线性回归方程 Linear regression equation	R^2	$\text{IC}_{50}/(\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1})$
DPPH·	宜盆红 Yipenhong	$y=6.193\ 5x+1.771\ 5$	0.992 2	2.02
	帝王 Diwang	$y=6.498\ 1x+7.628\ 9$	0.973 6	1.25
	山美白 Shanmeibai	$y=6.614\ 9x+2.868\ 0$	0.995 0	1.46
	山美红 Shanmeihong	$y=6.241\ 3x+2.549\ 8$	0.995 0	1.61
	抗坏血酸 V_C	$y=948.762\ 9x+1.625\ 5$	0.996 6	0.05
·OH	宜盆红 Yipenhong	$y=4.115\ 2x+0.098\ 1$	0.987 4	3.15
	帝王 Diwang	$y=5.288\ 9x-0.668\ 1$	0.981 7	1.83
	山美白 Shanmeibai	$y=4.847\ 1x-4.083\ 3$	0.996 7	1.94
	山美红 Shanmeihong	$y=4.050\ 0x+0.438\ 5$	0.995 7	2.58
	抗坏血酸 V_C	$y=31.297\ 8x-33.209\ 1$	0.996 8	2.66
ABTS^+	宜盆红 Yipenhong	$y=5.196\ 1x+4.584\ 2$	0.989 3	2.28
	帝王 Diwang	$y=5.712\ 2x+5.618\ 0$	0.986 4	1.48
	山美白 Shanmeibai	$y=5.470\ 8x+5.233\ 4$	0.988 4	1.68
	山美红 Shanmeihong	$y=5.057\ 7x+3.515\ 0$	0.992 6	1.94
	抗坏血酸 V_C	$y=596.049\ 9x+3.273\ 7$	0.999 5	0.08

2.1.2 ·OH 自由基清除能力 不同品种番石榴醇提物对·OH 自由基的清除效果见图 1-B 和表 1。图 1-B 显示,4 种番石榴醇提物对·OH 自由基的清除能力与 DPPH·一致,由大到小依次为‘帝王’>‘山美白’>‘山美红’>‘宜盆红’。由表 1 可知,‘帝王’醇提物清除·OH 自由基的能力最强,其线性回归方程为 $y=5.288\ 9x-0.668\ 1$, $R^2=0.981\ 7$, IC_{50} 为 1.83 mg/mL;‘宜盆红’醇提物对·OH 自由基的清除能力最弱,其线性回归方程为 $y=4.115\ 2x+0.098\ 1$, $R^2=0.987\ 4$, IC_{50} 为 3.15 mg/mL。与 DPPH· 自由基清除效果不同的是,除‘宜盆红’外,其他 3 种番石榴醇提物对·OH 自由基的清除能力均高于抗坏血酸。

2.1.3 ABTS⁺ 自由基清除能力 不同品种番石榴醇提物对 ABTS⁺ 自由基的清除效果见图 1-C 和表 1。图 1-C 表明,4 种番石榴醇提物均对 ABTS⁺ 自由基有一定的清除效果,且随醇提物质量浓度的增加而升高,并在一定的醇提物质量浓度范围内呈线性关系, R^2 值均大于 0.98。由表 1 可知,4 种番石榴醇提物清除 ABTS⁺ 自由基能力与前两种自由基的清除效果一致,由高到低表现为‘帝王’>‘山美白’>‘山美红’>‘宜盆红’,其中抗氧化能力最强的为‘帝王’, IC_{50} 为 1.48 mg/mL,最弱的为‘宜盆红’, IC_{50} 为 2.28 mg/mL。

2.2 番石榴醇提物对 α-葡萄糖苷酶活性的抑制作用

不同品种番石榴醇提物对 α-葡萄糖苷酶的活性抑制作用见图 2。图 2 显示,4 种番石榴醇提物对

α-葡萄糖苷酶活性均有一定的抑制作用,随着醇提物质量浓度的增加,抑制率均逐渐增高,起初增幅较大,随后变得较为平缓,均近似呈抛物线形。对图 2 曲线采用对数函数进行拟合,结果见表 2。由表 2 可知,趋势线拟合程度较高, $R^2=0.941\ 4\sim0.998\ 8$,4 种番石榴醇提物对 α-葡萄糖苷酶的抑制作用从大到小依次为‘山美红’>‘山美白’>‘宜盆红’>‘帝王’。其中‘山美红’醇提物对 α-葡萄糖苷酶的抑制活性最强, IC_{50} 为 0.04 mg/mL,‘帝王’最弱, IC_{50} 为 0.19 mg/mL。4 种番石榴醇提物对 α-葡萄糖苷酶活性的抑制作用均远高于阳性对照阿卡波糖(IC_{50} 为 3.13 mg/mL)。

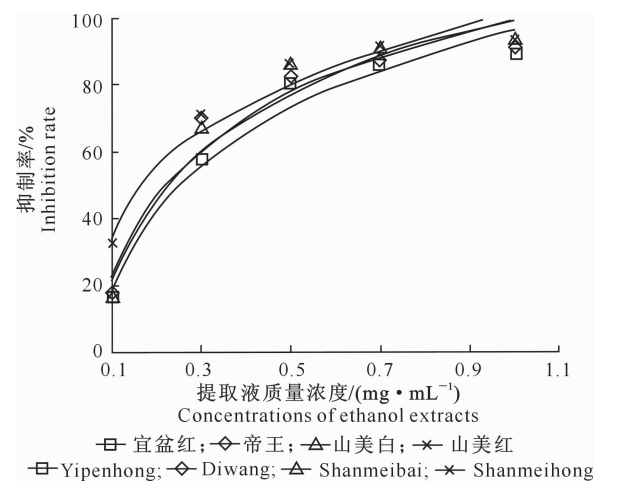


图 2 番石榴醇提物对 α-葡萄糖苷酶活性抑制效果的影响

Fig. 2 Inhibitory effect of ethanol extracts from guava fruit on α-glucosidase

表 2 4 种番石榴醇提物对 α-葡萄糖苷酶抑制活性的比较			
Table 2 Comparison of inhibitory activity of ethanol extracts from 4 guava fruits on α-glucosidase			
番石榴醇提物 Ethanol extracts of guava fruit	对数回归方程 Logarithm regression equation	R ²	IC ₅₀ /(mg·mL ⁻¹)
宜盆红 Yipenhong	y=33.389 4 ln x+96.578 3	0.969 0	0.06
帝王 Diwang	y=33.194 6 ln x+100.118 1	0.941 4	0.19
山美白 Shanmeibai	y=35.021 0 ln x+102.199 1	0.945 4	0.05
山美红 Shanmeihong	y=27.645 8 ln x+99.311 2	0.959 5	0.04
阿卡波糖 Acarbose	y=23.755 8 ln x+22.867 5	0.998 8	3.13

2.3 不同品种番石榴醇提物总多酚与总黄酮含量

不同品种番石榴醇提取物中总多酚和总黄酮含量的测定结果如表 3 所示。由表 3 可知,4 种番石榴果实的总多酚含量为 11.22~20.70 mg/g,总多酚含量由高到低依次为‘帝王’>‘山美白’>‘山美红’>‘宜盆红’;各品种间总多酚含量差异显著,其中‘帝王’总多酚含量极显著高于‘山美白’、‘山美

红’和‘宜盆红’3 个品种($P<0.01$)。4 种番石榴的总黄酮含量为 21.65~50.68 mg/g,由高到低依次为‘帝王’>‘山美红’>‘山美白’>‘宜盆红’,与总多酚类似,‘帝王’总黄酮含量亦极显著高于‘山美白’、‘山美红’和‘宜盆红’3 个品种($P<0.01$),‘山美红’总黄酮含量显著高于‘山美白’和‘宜盆红’($P<0.05$)。

表 3 4 种番石榴醇提物中的总多酚与总黄酮含量

Table 3 Contents of polyphenols and flavonoids of 4 guava fruits

mg/g

番石榴醇提物 Ethanol extracts of guava fruit	总多酚 Total phenolic	总黄酮 Total flavonoid	番石榴醇提物 Ethanol extracts of guava fruit	总多酚 Total phenolic	总黄酮 Total flavonoid
宜盆红 Yipenhong	11.22±0.59 dC	21.65±3.88 cBC	山美白 Shanmeibai	16.44±0.58 bB	27.44±6.95 cB
帝王 Diwang	20.70±1.59 aA	50.68±4.18 aA	山美红 Shanmeihong	14.13±0.44 cB	37.16±2.85 bB

注:同列数据后不同小写字母表示在 $P<0.05$ 水平上差异显著,不同大写字母表示在 $P<0.01$ 水平上差异显著。

Note: Different lowercase letters indicate significant difference ($P<0.05$), different uppercase letters indicate extremely significant difference ($P<0.01$).

2.4 番石榴生物活性与总多酚和总黄酮含量的相关性

不同品种番石榴醇提物抗氧化能力、 α -葡萄糖苷酶抑制活性与其总多酚、总黄酮含量的相关性分析结果见表 4。表 4 表明,番石榴醇提物总多酚含

量与其 DPPH $\cdot$ 、ABTS $^{+}$ 自由基清除能力均呈显著正相关性($P<0.05$),但与 $\cdot$ OH 自由基清除能力、 α -葡萄糖苷酶抑制活性均无显著相关性($P>0.05$)。番石榴醇提物总黄酮含量与 3 种自由基清除能力及 α -葡萄糖苷酶抑制活性均无显著相关性($P>0.05$)。

表 4 番石榴生物活性与其总多酚、总黄酮含量的相关性

Table 4 Correlation between biological activity and contents of polyphenols and flavonoids of guava fruits

自由基及酶 Free radicals and α -glucosidase	总多酚 Total phenolics		总黄酮 Total flavonoids	
	相关系数 r Correlation coefficient	显著性水平(P) Significance level	相关系数 r Correlation coefficient	显著性水平(P) Significance level
DPPH $\cdot$	0.960 2	0.039 8*	0.813 2	0.186 7
$\cdot$ OH	0.928 4	0.071 6	0.646 8	0.353 2
ABTS $^{+}$	0.971 5	0.028 5*	0.758 1	0.241 9
α -葡萄糖苷酶 α -glucosidase	0.773 2	0.226 8	0.770 7	0.229 3

注: * 表示 $P<0.05$ 水平相关性显著; * * 表示 $P<0.01$ 水平相关性极显著。

Note: Correlation is significant at * $P<0.05$ or * * $P<0.01$.

3 讨论与结论

为探讨番石榴醇提物的抗氧化能力,本研究采用分光光度法,测定 4 种番石榴醇提物对 DPPH $\cdot$ 、 $\cdot$ OH、ABTS $^{+}$ 等 3 种自由基的清除能力,结果表明,4 种番石榴醇提物均具有一定的抗氧化能力,但品种之间存在一定差异,‘帝王’醇提物对 3 种自由基的清除能力最强,其次为‘山美白’,‘宜盆红’最弱。但同一番石榴醇提物对以上 3 种自由基的清除效果有所不同,以‘帝王’为例,其对 DPPH $\cdot$ 、 $\cdot$ OH 自由基和 ABTS $^{+}$ 自由基的 IC₅₀ 分别为 1.25,1.83 和 1.48 mg/mL,与抗坏血酸相比,其对 DPPH $\cdot$ 、ABTS $^{+}$ 自由基的清除能力弱于抗坏血酸,而对 $\cdot$ OH 自由基的清除能力却远高于抗坏血酸,这可能与醇提物的抗氧化活性成分有关^[19-20]。

本研究测定了 4 种番石榴醇提物对 α -葡萄糖苷酶的体外抑制作用,结果发现,4 种番石榴醇提物均对 α -葡萄糖苷酶活性有一定抑制作用,以‘山美红’醇提物的抑制效果最强,‘山美白’次之,‘帝王’最弱,4 种番石榴醇提物对 α -葡萄糖苷酶活性的抑制效果均远高于阿卡波糖,说明番石榴具有潜在降低

餐后血糖的作用。但番石榴中究竟是何种活性成分在发挥 α -葡萄糖苷酶活性的抑制作用,尚有待进一步深入研究^[21]。

本研究显示,4 种番石榴醇提物均含有多酚和黄酮类物质,其中以‘帝王’含量最丰富,其总多酚含量为(20.70±1.59) mg/g,总黄酮含量为(50.68±4.18) mg/g,均极显著高于其他 3 个品种果实,且高于苹果、香蕉、菠萝、甜樱桃^[22-23] 及王琦等^[24] 报道的 10 多种水果的总多酚含量。本试验还发现,不同品种番石榴醇提物总多酚、总黄酮含量存在显著性差异,此研究结果与海棠果实的相关研究结果^[25] 相似。李楠等^[25] 对 14 种海棠果实总多酚的研究表明,不同海棠资源的总多酚和总黄酮含量有所差异,其中以贴梗海棠最高,其次为垂丝海棠,花冠海棠最低。黄玲艳等^[26] 研究显示,16 种可食花卉都含有一定的总多酚和总黄酮,但不同花卉之间总多酚和总黄酮含量差异较大。这种品种间差异可能受遗传因素、成熟度^[27-28] 等多方面因素的影响。

相关性分析结果表明,番石榴醇提物总多酚含量与 DPPH $\cdot$ 、ABTS $^{+}$ 自由基清除能力均呈显著正相关性,与 $\cdot$ OH 自由基清除能力、 α -葡萄糖苷酶抑

制活性均无显著相关性,总黄酮含量与 DPPH $\cdot$ 、ABTS $^{+}$ 、 $\cdot$ OH 自由基清除能力及 α -葡萄糖苷酶抑制活性均无显著相关性,该结果与 Luximon 等^[29]的研究结果相似。说明番石榴的抗氧化能力与总多酚含量具有一定的相关性,但 α -葡萄糖苷酶抑制活性不仅取决于总多酚和总黄酮含量,也可能与其他活性成分^[30]有关。

4 种番石榴醇提物中以‘帝王’醇提物抗氧化能力最强,总多酚和总黄酮含量最高,‘山美红’醇提物的 α -葡萄糖苷酶抑制活性最强,且 4 种番石榴醇提物对 α -葡萄糖苷酶抑制活性均远高于阿卡波糖。综上所述,试验中的 4 种番石榴均可作为 α -葡萄糖苷酶抑制剂的良好来源。

[参考文献]

- [1] Dakappa S S, Adhikari R, Timilsina S S, et al. A review on the medicinal plant *Psidium guajava* Linn. (Myrtaceae) [J]. Journal of Drug Delivery and Therapeutics, 2013, 3(2): 162-168.
- [2] Chauhan A K, Singh S, Singh R P, et al. Guava-enriched dairy products: a review [J]. Indian Journal of Dairy Science, 2015, 68(1): 1-5.
- [3] Joseph B, Priya M. Review on nutritional, medicinal and pharmacological properties of guava (*Psidium guajava* Linn.) [J]. International Journal of Pharma and Bio Sciences, 2011, 2(1): 53-69.
- [4] Fu L, Lu W Q, Zhou X M. Phenolic compounds and *in vitro* antibacterial and antioxidant activities of three tropic fruits: persimmon, guava, and sweetsop [J]. Biomed Research International, 2016(3): 1-9.
- [5] Divya N, Ilavenil S. Hypoglycemic and hypolipidemic potentials of *Psidium guajava* in alloxan induced diabetic rats [J]. Research Journal of Pharmacy and Technology, 2012, 5(1): 125-128.
- [6] Qin X J, Yu Q, Yan H, et al. Meroterpenoids with antitumor activities from guava (*Psidium guajava*) [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2017, 65(24): 4993-4999.
- [7] 张福平, 陈蔚辉, 郑楚萍, 等. 超声波结合气调包装对番石榴贮藏品质与生理的影响 [J]. 南方农业学报, 2017, 48(3): 493-498.
- Zhang F P, Chen W H, Zheng C P, et al. Effects of ultrasonic treatment combining modified atmosphere package on quality and physiological changes of *Psidium guajava* during postharvest storage [J]. Journal of Southern Agriculture, 2017, 48(3): 493-498.
- [8] 闫旭, 刘璇, 毕金峰, 等. 干燥方法对番石榴活性物质含量及抗氧化能力的影响 [J]. 食品科学, 2016, 37(17): 57-64.
- Yan X, Liu X, Bi J F, et al. Effects of different drying methods on bioactive compounds and antioxidant capacity of guava [J]. Food Science, 2016, 37(17): 57-64.
- [9] 李媛, 黄苇, 曾丽萍, 等. 即食潮式甘草番石榴软罐头工艺研究 [J]. 中国食品添加剂, 2016(4): 110-115.
- Li Y, Huang W, Zeng L P, et al. A study on production technique of Chaozhou style licorice juice myrtle soft tin [J]. China Food Additives, 2016(4): 110-115.
- [10] 欧阳文, 朱晓艾, 邵祥辉, 等. 番石榴叶乙酸乙酯萃取物化学成分研究 [J]. 食品科学, 2014, 35(15): 30-37.
- Ouyang W, Zhu X A, Shao X H, et al. Chemical constituents from ethyl acetate extract of *Psidium guajava* Linn. leaves [J]. Food Science, 2014, 35(15): 30-37.
- [11] 李升锋, 徐玉娟, 廖森泰, 等. 不同品种番石榴果实评价及糖酸组分和抗氧化能力的分析 [J]. 食品科学, 2009, 30(1): 68-72.
- Li S F, Xu Y J, Liao S T, et al. Evaluation of fruit and analysis of sugar and acid compositions and antioxidant activities of different guava cultivars [J]. Food Science, 2009, 30(1): 68-72.
- [12] Musa K H, Abdullah A, Jusoh K, et al. Antioxidant activity of pink-flesh guava (*Psidium guajava* L.): effect of extraction techniques and solvents [J]. Food Analytical Methods, 2011, 4(1): 100-107.
- [13] Vasconcelos A G, Amorim A D G N, Santos R C D, 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 Research International, 2017, 99(2): 959-968.
- [14] Freire J M, Abreu C P D, Duarte S M D S, et al. Nutritional characteristics of guava leaves and its effects on lipid metabolism in hypercholesterolemic rats [J]. African Journal of Biotechnology, 2014, 13(46): 4289-4293.
- [15] Takahashi Y, Otsuki A, Mori Y, et al. Inhibition of leukocyte-type 12-lipoxygenase by guava tea leaves prevents development of atherosclerosis [J]. Food Chemistry, 2015, 186: 2-5.
- [16] Xu J G, Tian C R, Hu Q P, et al. Dynamic changes in phenolic compounds and antioxidant activity in oats (*Avena nuda* L.) during steeping and germination [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2009, 57(21): 10392-10398.
- [17] 曹燕, 庞市宾, 徐磊, 等. 金鸡菊提取物体外抗氧化活性 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2011, 17(12): 144-147.
- Cao Y, Pang S B, Xu L, et al. Antioxidant activities of coreopsis tinctoria extracts *in vitro* [J]. Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae, 2011, 17(12): 144-147.
- [18] Hu Q, Xu J. Profiles of carotenoids, anthocyanins, phenolics, and antioxidant activity of selected color waxy corn grains during maturation [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2011, 59: 2026-2033.
- [19] 邝高波, 黄和. 番石榴多酚体外抗氧化活性的研究 [J]. 食品工业科技, 2014, 35(2): 111-115.
- Kuang G B, Huang H. Study on antioxidant activity of guava polyphenols *in vitro* [J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(2): 111-115.
- [20] 刘龙云, 吴彩娥, 李婷婷, 等. 棕榈花苞抗氧化成分提取及体外抗氧化活性研究 [J]. 林业工程学报, 2017, 2(1): 70-77.

- Liu L Y, Wu C E, Li T T, et al. Extraction of antioxidant components in palm bud and antioxidative activity *in vitro* [J]. China Forestry Science and Technology, 2017, 2(1): 70-77.
- [21] 刘美凤, 蒋利荣, 刘华鼎, 等. 番石榴叶抗 II 型糖尿病活性成分的虚拟筛选 [J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2011, 39(3): 28-31.
- Liu M F, Jiang L R, Liu H N, et al. Virtual screening of anti-diabetes II active components in *Psidium guajava* leaves [J]. Journal of South China University of Technology(Natural Science Edition), 2011, 39(3): 28-31.
- [22] 王志远, 李清彪, 杨翠娴, 等. 八种水果中的多酚含量及其抗氧化性 [J]. 天然产物研究与开发, 2007, 19(6): 1040-1043.
- Wang Z Y, Li Q B, Yang C X, et al. Polyphenol contents in eight fruits and their antioxidant activities [J]. Natural Product Research and Development, 2007, 19(6): 1040-1043.
- [23] 王贤萍, 段泽敏, 戴桂林, 等. 甜樱桃主要栽培品种多酚含量的测定与品质分析 [J]. 中国农学通报, 2011, 27(13): 173-176.
- Wang X P, Duan Z M, Dai G L, et al. Polyphenol quantitative analysis and quality evaluated in fruit of sweet cherry cultivars [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(13): 173-176.
- [24] 王 琦, 余亚白, 赖呈纯, 等. 几种台湾水果的抗氧化能力研究 [J]. 福建农业学报, 2010, 25(6): 703-706.
- Wang Q, Yu Y B, Lai C C, et al. Antioxidative activities in fruits from Taiwan [J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2010, 25(6): 703-706.
- [25] 李 楠, 师俊玲, 王 昆. 14 种海棠果实多酚种类及体外抗氧化活性分析 [J]. 食品科学, 2014, 35(5): 53-58.
- Li N, Shi J L, Wang K. Composition and *in vitro* antioxidant activity of polyphenols extracted from crabapples [J]. Food Science, 2014, 35(5): 53-58.
- [26] 黄玲艳, 黄宏轶, 汪元元, 等. 16 种常见可食花卉水提液的总多酚与总黄酮含量及其抗氧化活性 [J]. 食品工业科技, 2017, 38(4): 353-357.
- Huang L Y, Huang H Y, Wang Y Y, et al. Total phenolic, flavonoid contents and antioxidant capacities of aqueous extract of 16 common edible flowers [J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(4): 353-357.
- [27] 刘杰超, 张春岭, 陈大磊, 等. 不同品种枣果实发育过程中多酚类物质, V_C 含量的变化及其抗氧化活性 [J]. 食品科学, 2015, 36(17): 94-98.
- Liu J C, Zhang C L, Chen D L, et al. Changes in phenolics, vitamin C and antioxidant capacity during development of different cultivars of jujube fruits [J]. Food Science, 2015, 36(17): 94-98.
- [28] 张秀梅, 刘玉革, 朱祝英, 等. 不同成熟度桑葚果实和叶片的多酚、黄酮和抗氧化性研究 [J]. 果树学报, 2014, 31(4): 660-666.
- Zhang X M, Liu Y G, Zhu Z Y, et al. Polyphenols, flavonoids and antioxidants of mulberry fruit and leaves with different maturity [J]. Journal of Fruit Science, 2014, 31(4): 660-666.
- [29] Luximon-Ramma A, Bahorun T, Crozier A. Antioxidant actions and phenolic and vitamin C contents of common mauritian exotic fruits [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2003, 83(5): 496-502.
- [30] 黄 菲, 张瑞芬, 董丽红, 等. 荔枝果肉多糖级分的抗氧化和 α -葡萄糖苷酶抑制活性研究 [J]. 食品科学技术学报, 2016, 34(4): 26-30.
- Huang F, Zhang R F, Dong L H, et al. Antioxidant activity and α -glucosidase inhibitory effect of litchi pulp polysaccharide fractions [J]. Journal of Food Science and Technology, 2016, 34(4): 26-30.