

番石榴多酚体外抗氧化活性的研究

邝高波, 黄 和*

(广东海洋大学食品科技学院, 广东湛江 524088)

摘要:微波辅助提取的番石榴多酚粗提物经过NKA-9大孔吸附树脂初步纯化和Sephadex LH-20葡聚糖凝胶的分离,得到四个不同组分(GP1、GP2、GP3、GP4)。以抗坏血酸(V_C)为阳性对照,采用总抗氧化能力、羟自由基、超氧阴离子自由基和DPPH自由基四种体外抗氧化能力评价体系测定了番石榴粗多酚(CGP)、大孔吸附树脂纯化多酚(PGP)和各分离组分的抗氧化能力。结果表明:番石榴多酚具有很高的抗氧化活性,总抗氧化能力大小为 $GP4 > V_C > GP3 > GP2 > PGP > CGP > GP1$ 。番石榴多酚能有效地清除羟自由基、超氧阴离子自由基和DPPH自由基,在一定范围内清除自由基能力和浓度成线性关系。

关键词:番石榴, 多酚, 分离, 抗氧化能力

Study on antioxidant activity of guava polyphenols *in vitro*

KUANG Gao-bo, HUANG He*

(College of Food Science and Technology, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China)

Abstract: The crude guava polyphenols was extracted by the microwave assisted extraction, and then purified with NKA-9 macro porous resin. After the separation of purified guava polyphenols with the Sephadex LH-20, four different components were obtained (GP1, GP2, GP3 and GP4). The total antioxidant activity (T-AOC), DPPH radical scavenging, hydroxyl radical scavenging and superoxide anion scavenging were selected to study the antioxidant activity *in vitro* of the crude guava polyphenols (CGP), the purified guava polyphenols (PGP) and the four different components. Ascorbic acid (V_C) was used as the positive control. The results showed that the GP4 had the strongest total antioxidant activity, followed by V_C , GP3, GP2, PGP, CGP and GP1. And the guava concentration and free radical scavenging capacity was a linear relationship within a certain concentration range.

Key words: guava; polyphenols; separation; antioxidant activity

中图分类号: TS255.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2014)02-0111-05

番石榴 (*Psidium guajava* L.) 属于桃金娘科番石榴属, 嗜热畏寒, 为亚热带水果, 在我国广东、广西、福建均有种植, 味清香可口, 含有丰富的营养物质^[1]。研究表明, 番石榴具有抗氧化、抑菌、抗肿瘤和抗衰老等生理功能^[2]。植物多酚化学结构复杂, 生物性质活泼, 主要分为水解单宁和缩合单宁, 有抗氧化、抗动脉硬化、抗肿瘤, 防止中风等生理活性^[3-5]。番石榴中含有丰富的多酚类物质^[6], 其含量和番石榴抗氧化效果具有一定的量效关系^[7]。

生物体在新陈代谢过程中会产生许多高活性自由基, 如果来不及清除, 会对人类健康产生重大影响, 因此寻找天然的抗氧化剂就显得十分必要。苹

果多酚、葡萄籽多酚、绿茶多酚等均具有抗氧化活性^[8-10], 然而目前对番石榴多酚的抗氧化活性并没有系统的研究。本实验以总抗氧化能力、DPPH自由基清除能力、羟自由基清除能力和超氧阴离子自由基清除能力为指标, 对番石榴多酚的抗氧化活性进行了测定, 为其综合应用提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

番石榴 购于湛江沃尔玛超市, 产地湛江; 无水甲醇、无水乙醇、没食子酸、铁氰化钾、三氯化铁、香草醛和盐酸 均为国产分析纯; NKA-9大孔吸附树脂 上海摩速科学器材有限公司; Sephadex LH-20葡聚糖凝胶 北京Solarbio科技有限公司; DPPH自由基 梯希爱(上海)化成工业发展有限公司; 羟自由基测定试剂盒、总抗氧化能力(T-AOC)测定试剂盒、抗超氧阴离子自由基及产生超氧阴离子自由基测试

收稿日期: 2013-06-19 * 通讯联系人

作者简介: 邝高波(1989-), 男, 在读硕士研究生, 研究方向: 食品科学。

基金项目: 广东省科技计划项目[2012]145号。

化酶活性的研究[J]. 西南民族大学学报, 2006, 32(6): 1207-1209.
[8] 陈瑗, 周玫. 自由基医学[M]. 北京: 人民军医出版社, 1991: 20-26.

[9] Yen Gow Chin, Chen Hui Yin. Antioxidant activity of various tea extracts in relation to their antimutagenicity[J]. Journal of Agricultural and Food, 1995, 43(3): 27-32.

盒 南京建成生物工程研究所。

RE52-99型旋转蒸发器 上海亚荣生化仪器厂；SIGMA3-18K型高速冷冻离心机 北京博励行仪器有限公司；DBS-160型电脑自动部分收集器、DHL-A电脑恒流泵 上海青浦沪西仪器厂；PYX-CXG250型电脑恒温层析柜 科力仪器；层析柱 1.6×40cm；BL-620S型电子天平 日本Shimadzu公司。

1.2 实验方法

1.2.1 番石榴多酚的制备和含量测定 新鲜番石榴果打浆，在料液比1:10(m:v)、微波功率490W、乙醇体积分数50%的条件下提取130s，纱布过滤，离心(8000×g, 5min)，旋转蒸发浓缩得到番石榴多酚粗提物备用。

参照郑仕宏^[11]的方法对番石榴多酚含量测定的条件进行改良。准确称取0.05g没食子酸，定容至1000mL，配制成50μg/mL的没食子酸标准液。常温下分别移取0、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0、1.2、1.4mL到10mL比色管，加入福林酚试剂2mL，摇匀后再加入质量分数为12%的碳酸钠溶液2.5mL，反应30s后用蒸馏水定容至10mL，放置黑暗处反应2h后于765nm下测定吸光度，以没加没食子酸标准液的反应液为空白对照，制作标准曲线。

采用NKA-9大孔吸附树脂纯化番石榴多酚^[12]，样品经过冷冻干燥，测定得多酚纯度为45.7%。

1.2.2 Sephadex LH-20分离番石榴多酚 大孔吸附树脂纯化后的番石榴多酚采用Sephadex LH-20进行进一步分离，将Sephadex LH-20充分溶胀，湿法装柱(柱高30cm)，取1mL 26.5mg/mL大孔树脂纯化番石榴多酚用0.45μm微滤膜过滤，上样。

洗脱条件：流速1mL/min，收集150管，每管收集4mL。20%甲醇(1~35管)、40%甲醇(36~70管)、60%甲醇(71~105管)和80%的甲醇(106~150管)进行梯度洗脱，最后用无水甲醇冲柱。植物多酚具有苯环结构，在紫外区有较强的紫外吸收，收集物在280nm^[13-15]波长下测定吸光度，绘制动态洗脱曲线。

1.2.3 番石榴多酚的颜色分析 植物多酚结构中具有许多酚羟基，可以与特定还原剂和金属离子发生颜色反应，此性质可以用以初步鉴定物质是否属于多酚类^[16]。

1.2.3.1 三氯化铁-乙醇法 试管中分别加入2mL Sephadex LH-20分离后收集的组分，再加入1mL 2%的三氯化铁-乙醇试剂，观察颜色变化，若为多酚类物质，颜色呈蓝色。

1.2.3.2 香草醛-盐酸法 试管中分别加入2mL Sephadex LH-20分离后收集的组分，再加入1mL 5%的香草醛-盐酸试剂，观察颜色变化，若为多酚类物质，颜色呈粉色。

1.2.3.3 三氯化铁-铁氰化钾法 试管中分别加入2mL Sephadex LH-20分离后收集的组分，再加入1mL 1%的三氯化铁-铁氰化钾试剂，观察颜色变化，若为多酚类物质，颜色呈蓝色。

1.2.4 番石榴多酚总抗氧化能力 参照总抗氧化能力(T-AOC)测定试剂盒说明书，以V_c为阳性对照，对番石榴多酚粗提物、大孔吸附树脂纯化多酚以及分

离后的各组分进行总抗氧化能力测定，各实验组浓度都为300μg/mL。

1.2.5 番石榴多酚羟基自由基清除能力 参照羟基自由基测定试剂盒说明书，以V_c为阳性对照，对番石榴多酚粗提物、大孔吸附树脂纯化多酚以及分离后的各组分进行羟基自由基清除能力的测定。

1.2.6 番石榴多酚超氧阴离子自由基清除能力 参照抗超氧阴离子自由基测定试剂盒说明书，以V_c为阳性对照，测定番石榴多酚粗提物、大孔吸附树脂纯化多酚以及分离后的各组分的超氧阴离子清除能力。

1.2.7 番石榴多酚DPPH自由基清除能力 将40mg DPPH自由基溶于500mL 70%的乙醇，配制成2×10⁻⁴mol/L的溶液，以V_c为阳性对照，参照杨建兴^[17]和朱尚彬等^[18]的方法测定番石榴粗多酚、大孔吸附树脂纯化多酚和各分离组分的DPPH自由基清除能力。

$$\text{清除率}(\%) = (1 - \frac{A_2 - A_3}{A_1}) \times 100$$

式中，A₁：2mL DPPH自由基溶液+2mL 70%乙醇反应的吸光值；A₂：2mL DPPH自由基溶液+2mL样品液反应的吸光值；A₃：2mL 70%乙醇+2mL样品液反应的吸光值。

2 结果与分析

2.1 标准曲线的绘制

按1.2.1的方法制作没食子酸标准曲线，如图1所示。得到的回归方程为 $y=0.1331x+0.0149$ ， $R^2=0.9993$ ，在1~7μg/mL浓度范围内具有良好的线性关系，适用于番石榴多酚总含量的测定。

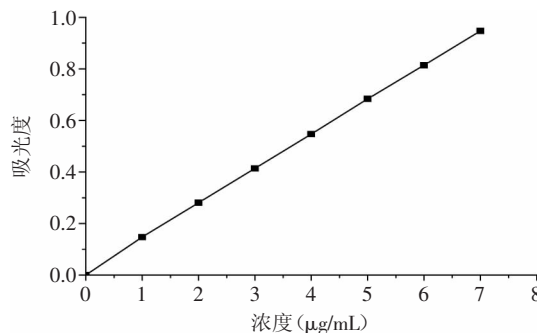


图1 没食子酸标准曲线

Fig.1 Standard curve of gallic acid

2.2 Sephadex LH-20分离番石榴多酚

大孔吸附树脂纯化后的番石榴多酚经过Sephadex LH-20葡聚糖凝胶进一步分离后得到以下四个组分(见图2)，从左到右依次为GP1、GP2、GP3和GP4。GP1出峰较早，最大峰值在12管左右，根据Sephadex LH-20葡聚糖凝胶的分离原理，表明GP1为分子量和极性较大的番石榴多酚，也可能含有高极性大分子杂质。GP2组分峰高最低，含量最少，GP4组分分子量最小，极性最低。整个洗脱峰具有一定的拖尾现象，峰形波动性和峰宽较大，不具备单分子物质峰形条件，每个组分都为极性和分子量相接近的混合物。

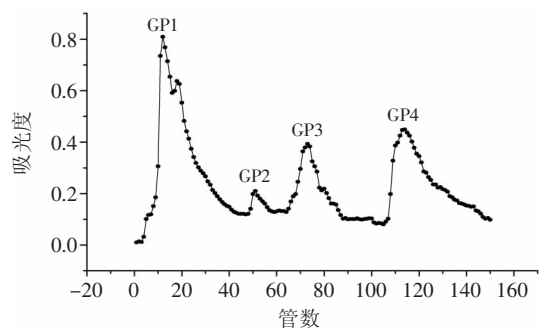


图2 Sephadex LH-20分离番石榴多酚动态洗脱曲线图

Fig.2 The dynamic desorption curve of guava polyphenols with Sephadex LH-20

2.3 番石榴多酚的颜色分析

番石榴多酚经过Sephadex LH-20分离后,各组分颜色反应见表1。由表1可知,四种分离组分均为多酚类物质。GP1组分的三氯化铁-铁氰化钾反应颜色和其他组分存在差别,可能是羟基位置不同造成的,文献表明邻位酚羟基酚类物质此反应成蓝色^[16]。

表1 番石榴多酚的颜色反应结果

Table 1 Color reaction of guava polyphenols

方法	GP1	GP2	GP3	GP4
三氯化铁-乙醇	蓝色	蓝色	蓝色	蓝色
香草醛-盐酸	淡粉色	粉色	淡粉色	粉色
三氯化铁-铁氰化钾	绿色	蓝色	蓝色	蓝色
物质类型	多酚	多酚	多酚	多酚

2.4 番石榴多酚的总抗氧化能力

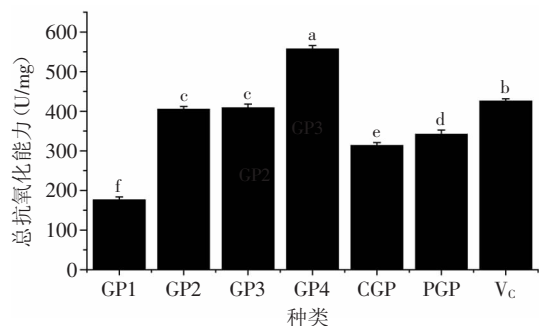


图3 番石榴多酚的总抗氧化能力

Fig.3 The total antioxidant activity of guava polyphenols

注:小写字母不同,代表差异显著, $p < 0.05$ 。

表2 番石榴多酚清除羟自由基能力

Table 2 The hydroxyl radical scavenging activity of guava polyphenols

种类	线性回归方程及线性范围	相关系数 R^2	半抑制浓度 IC_{50} ($\mu\text{g/mL}$)
GP1	$y = 0.133x - 0.5522$ (5~10 $\mu\text{g/mL}$)	0.9965	7.91
GP2	$y = 0.0067x - 0.4124$ (100~200 $\mu\text{g/mL}$)	0.9368	136.18
GP3	$y = 0.008x - 0.3088$ (50~150 $\mu\text{g/mL}$)	0.9871	101.1
GP4	$y = 0.0055x - 0.3208$ (100~200 $\mu\text{g/mL}$)	0.9951	149.24
CGP	$y = 0.0931x - 0.064$ (5~10 $\mu\text{g/mL}$)	0.9972	6.05
PGP	$y = 0.0183x - 0.1738$ (20~50 $\mu\text{g/mL}$)	0.9951	36.81
V_c	$y = 0.0038x - 0.2238$ (100~250 $\mu\text{g/mL}$)	0.9905	190.47

机体中的抗氧化物质能使 Fe^{3+} 还原成 Fe^{2+} ,后者与菲林类物质反应形成稳定络合物,在520nm下具有强吸收,测定反应前后的吸光度,根据试剂盒方法计算得到番石榴多酚的总抗氧化能力见图3。

从图3中可知,GP4的总抗氧化能力最高,GP1的总抗氧化能力最低,GP3组分总抗氧化能力稍高于GP2组分,但是没有显著性差异($p > 0.05$)。这种趋势与极性大小相一致,可能番石榴多酚的总抗氧化能力与极性有关。大孔吸附树脂纯化多酚(PGP)的总抗氧化能力高于粗多酚(CGP),但低于对照物 V_c 的总抗氧化能力。

2.5 番石榴多酚羟自由基清除能力

Fenton反应是最常见的产生羟自由基的化学反应,双氧水的量和Fenton反应产生的羟自由基量成正比关系,当给予电子受体后,用griess试剂显色,形成红色物质,呈色与羟自由基的量成正比关系,根据试剂盒方法,在550nm下测定吸光度,测定番石榴多酚对羟自由基的清除能力(见图4和表2)。

从图4可知番石榴大孔吸附树脂纯化多酚和粗多酚以及各分离组分均对羟自由基有较好的清除效果,清除率都能达到80%以上,其中粗多酚和GP1浓度为20 $\mu\text{g/mL}$ 时清除率分别为95.42%和92.38%,达到了90%以上。在一定浓度范围内,清除率与多酚浓度呈良好的线性关系,各线性浓度范围见表2。番石榴大孔吸附树脂纯化多酚和粗多酚以及各分离组分对清除羟自由基的半抑制浓度均低于 V_c 的半抑制浓度,说明番石榴多酚清除羟自由基活性强于 V_c 。番石榴粗多酚清除羟自由基效果最好,其次是GP1,他们的半抑制浓度分别为6.05 $\mu\text{g/mL}$ 和7.91 $\mu\text{g/mL}$ 。大孔

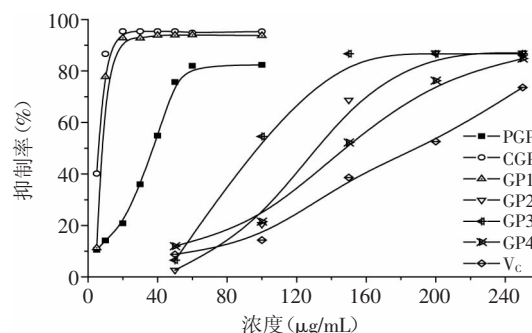


图4 番石榴多酚清除羟自由基能力

Fig.4 The hydroxyl radical scavenging activity of guava polyphenols

吸附树脂纯化多酚(PGP)的半抑制浓度为36.81 $\mu\text{g/mL}$, 高于粗多酚的半抑制浓度,可能是由于在大孔吸附树脂纯化多酚过程中,一些对羟自由基清除活性很高的多酚类物质的损失而造成清除效果减弱。有文献报道了龙眼核大孔吸附树脂纯化多酚的清除羟自由基半抑制浓度为142.4 mg/mL ^[19],与此相比,番石榴多酚对羟自由基清除效果明显优于龙眼核多酚。

2.6 番石榴多酚超氧阴离子自由基清除能力

反应体系模拟体内黄嘌呤和黄嘌呤氧化酶反应系统,产生超氧阴离子自由基,当有电子传递物质和gress显色剂加入后反应体系呈紫红色,按照试剂盒方法,在550nm处比色,测定番石榴多酚对超氧阴离子自由基清除效果(见图5和表3)。

由图表可知,Sephadex LH-20葡聚糖凝胶分离得到的组分GP1、GP2、GP3和GP4的清除超氧阴离子自由基活性较低,最大清除率分别为65.31%、73.32%、79.32%和77.49%(均在2400 $\mu\text{g/mL}$ 浓度下),半抑制浓度都在1 mg/mL 左右,其中GP1的半抑制

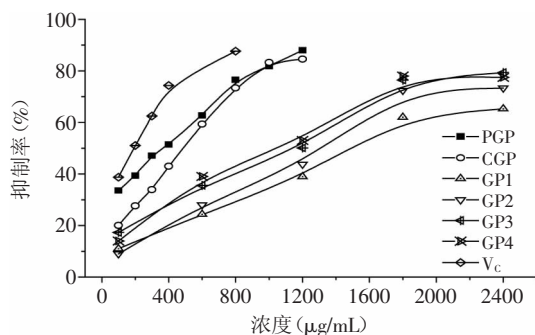


图5 番石榴多酚清除超氧阴离子自由基能力

Fig.5 The superoxide anion scavenging activity of guava polyphenols

浓度更是高达1377 $\mu\text{g/mL}$ 。大孔吸附树脂纯化多酚的超氧阴离子自由基的清除能力强于粗多酚,它们半抑制浓度都比各分离组分低,分别为372 $\mu\text{g/mL}$ 和475.75 $\mu\text{g/mL}$ 。大孔吸附树脂纯化多酚和粗多酚浓度为1200 $\mu\text{g/mL}$ 时达到最大的超氧阴离子清除率,分别为87.97%和84.54%。在一定浓度范围内,番石榴多酚的超氧阴离子自由基清除率与其浓度呈良好的线性关系,各线性范围浓度见表3。有报道指出经过D4020大孔吸附树脂纯化后的苹果多酚在质量浓度为60 mg/mL 时,其超氧阴离子自由基清除率为55%^[20],弱于番石榴多酚。

2.7 番石榴多酚的DPPH自由基清除能力

DPPH自由基的乙醇溶液呈紫色,在517nm处有强吸收,在自由基清除剂存在时,吸收降低,溶液褪色,褪色程度与自由基清除剂剂量成线性关系,因此用分光光度法可以进行DPPH自由基清除能力的测定^[17]。

番石榴多酚的DPPH自由基清除能力见图6,从图6中可知,大孔吸附树脂纯化多酚、粗多酚以及各

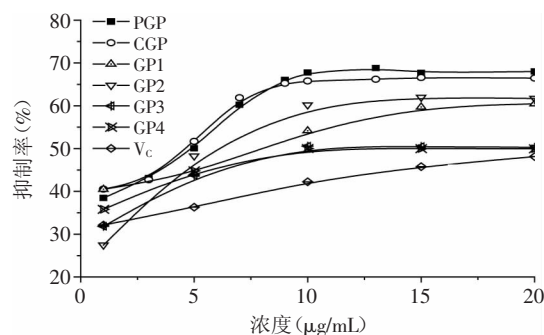


图6 番石榴多酚的DPPH自由基清除能力

Fig.6 The DPPH radical scavenging activity of guava polyphenols

表3 番石榴多酚清除超氧阴离子自由基能力

Table 3 The superoxide anion scavenging activity of guava polyphenols

种类	线性回归方程及线性范围	相关系数 R^2	半抑制浓度 IC_{50} ($\mu\text{g/mL}$)
GP1	$y=0.0003x+0.0869$ (600~1800 $\mu\text{g/mL}$)	0.9993	1377
GP2	$y=0.0004x+0.0728$ (600~1800 $\mu\text{g/mL}$)	0.8917	1068
GP3	$y=0.0004x+0.0702$ (600~1800 $\mu\text{g/mL}$)	0.9938	1074.5
GP4	$y=0.0004x+0.1269$ (600~1800 $\mu\text{g/mL}$)	0.9832	932.75
CGP	$y=0.0008x+0.1194$ (300~800 $\mu\text{g/mL}$)	0.9986	475.75
PGP	$y=0.0006x+0.2768$ (200~600 $\mu\text{g/mL}$)	0.9969	372
V_c	$y=0.0013x+0.2598$ (100~800 $\mu\text{g/mL}$)	0.9994	184.77

表4 番石榴多酚的DPPH自由基清除能力

Table 4 The DPPH radical scavenging activity of guava polyphenols

种类	线性回归方程及线性范围	相关系数 R^2	半抑制浓度 IC_{50} ($\mu\text{g/mL}$)
GP1	$y=0.0157x+0.3694$ (5~15 $\mu\text{g/mL}$)	0.9722	8.32
GP2	$y=0.0359x+0.2618$ (1~10 $\mu\text{g/mL}$)	0.9527	6.64
GP3	$y=0.0205x+0.3112$ (1~10 $\mu\text{g/mL}$)	0.9512	9.21
GP4	$y=0.0156x+0.3523$ (1~10 $\mu\text{g/mL}$)	0.9533	9.47
CGP	$y=0.048x+0.2808$ (3~7 $\mu\text{g/mL}$)	0.9986	4.57
PGP	$y=0.0361x+0.3351$ (1~7 $\mu\text{g/mL}$)	0.9717	4.56
V_c	$y=0.0086x+0.3213$ (1~20 $\mu\text{g/mL}$)	0.9717	20.78

个分离组分的半抑制浓度均在 $10\mu\text{g/mL}$ 以下,在低浓度下表现为较强的DPPH自由基清除活性。但是在高浓度下其清除DPPH自由基活性较弱,最大清除率都较低(均低于70%)。一定范围内的多酚浓度与抑制率成线性关系,各线性范围见表4,由表可知其线性浓度范围都较低,对DPPH自由基清除能力强于 V_c 。研究表明^[21]经过D101树脂纯化后的菠萝多酚清除DPPH自由基的半抑制浓度为 1.47mg/mL ,与此相比番石榴多酚的DPPH自由基清除能力更好。

3 结论与讨论

本研究表明番石榴多酚粗提物、大孔吸附树脂纯化物以及Sephadex LH-20葡聚糖凝胶分离得到的四个组分都有较强的抗氧化活性。四个组分的总抗氧化能力大小与其极性可能为逆负关系,极性越大,总抗氧化能力表现为越小。大孔吸附树脂纯化多酚的总抗氧化能力强于粗多酚,但是都稍逊于 V_c 的总抗氧化能力。

番石榴多酚对羟自由基、超氧阴离子自由基和DPPH自由基有良好的清除作用,且在一定范围内多酚浓度和自由基清除率成良好的线性关系。番石榴多酚对各个自由基的清除作用不具有一致性,粗多酚和GP1对羟自由基清除效果最好,大孔吸附树脂纯化多酚具有最强的DPPH和超氧阴离子自由基清除能力。番石榴多酚最易于对DPPH自由基进行清除,线性浓度范围和半抑制浓度(均小于 $10\mu\text{g/mL}$)最低,其次是对羟自由基的清除能力较好。番石榴粗多酚与GP1组分远高于大孔吸附树脂纯化多酚和其他分离组分的羟自由基清除能力,可能是由于在大孔吸附树脂纯化过程中,树脂对极性大的GP1组分吸附较弱,且在解吸时先用极性高的纯水冲柱时又损失了部分对羟自由基清除活性高的GP1组分,确切原因还需进一步探索。

综合所知,番石榴多酚具有良好的总抗氧化能力和清除自由基活性,可以作为天然抗氧化剂清除体内正常代谢所产生的羟自由基、超氧阴离子等活性氧自由基,避免自由基失衡诱发恶性肿瘤和机体的快速衰老^[22],为番石榴多酚的综合应用提供了理论基础。但是其与抗氧化活性的具体构效关系,还需要对各分离组分进一步进行单体分离和结构鉴定的研究。

参考文献

- [1] 刘建林,夏明忠,袁颖. 番石榴的综合利用现状及发展前景[J]. 中国林副特产,2005(6):60-62.
- [2] 温靖,徐玉娟,肖更生,等. 番石榴果实的营养价值和药理作用及其加工利用[J]. 农产品加工,2009(6):11-13.
- [3] MANACH C, WILLIAMSON G, MORAND C, *et al.*

- Bioavailability and bioefficacy of polyphenols in humans. I. Review of 97 bioavailability studies[J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 2005, 81(Suppl 1): 230-242.
- [4] 韩丙军,彭黎旭. 植物多酚提取技术及其开发应用现状[J]. 华南热带农业大学学报, 2005, 11(1): 21-25.
- [5] LETICIA X, ROSA M, VALERIO -ALFARO G, *et al.* Antioxidant activity, phenolic compounds and anthocyanins content of eighteen strains of Mexican maize[J]. Food Science and Technology, 2009, 42: 1187-1192.
- [6] 曹增梅,黄和. 超声波辅助提取番石榴中多酚类物质的研究[J]. 食品与机械, 2012, 28(5): 123-126.
- [7] 王琦,余亚白,陈源,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.
- [8] 冯涛,杨容,李越敏,等. 苹果多酚提取物抗氧化活性研究[J]. 食品研究与开发, 2008, 29(12): 189-192.
- [9] 高文波,翁国斌. 绿茶多酚抗氧化作用及其机制研究进展[J]. 国际药学研究杂志, 2009, 36(5): 332-335.
- [10] 夏兰兰,张雅丽,朱磊,等. 葡萄籽多酚化合物抗氧化能力与抗癌细胞增殖活性的评价[J]. 食品科技, 2011, 36(11): 174-178.
- [11] 郑仕宏,张海德,何双,等. Folin-Ciocalteus法测定槟榔中多酚含量的研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2009, 29(6): 165-169.
- [12] 曹增梅,黄和. 大孔树脂纯化番石榴多酚的工艺优化[J]. 食品工业科技, 2013, 34(7): 215-218.
- [13] 易湘茜,韦保耀,滕建文,等. 高效液相色谱法测定菠萝中多酚类化合物[J]. 分析与检测, 2006, 32(2): 99-101.
- [14] 周丽明. 芒果多酚的提取、分离纯化及抗氧化、抑菌作用研究[D]. 武汉:华中农业大学, 2007.
- [15] Revilla E, Ryan J M. Analysis of several phenolic compounds with potential antioxidant properties in grape extracts and wines by high-performance liquid chromatography-photodiode array detection without sample preparation[J]. Journal of Chromatography A, 2000, 881(47): 461-469.
- [16] 石碧,狄莹. 植物多酚[M]. 北京:科学出版社, 2000.
- [17] 杨建兴,徐桂花,王文琪,等. 几种特色蔬菜抗氧化作用的研究[J]. 安徽农学通报, 2009, 15(3): 43-45.
- [18] 朱尚彬,聂尚平,朱盼,等. 黑灵芝不同溶剂提取物抗氧化活性比较研究[J]. 食品科学, 2009, 30(17): 98-101.
- [19] 吴兰兰. 龙眼核多酚的分离纯化及其结构和抗氧化活性研究[D]. 厦门:集美大学, 2010.
- [20] 王丽媛,苗利利,仇农学. 苹果渣中高纯度多酚物质的制备及体外抗氧化活性评价[J]. 农产品加工, 2009(3): 29-33.
- [21] 沈佩仪. 菠萝皮中多酚类物质的提取、纯化及抗氧化活性研究[D]. 南昌:南昌大学, 2012.
- [22] Butterfield DA, Castenga A, Pocernich CB. Nutritional approaches to combat oxidative stress in alzheimers disease[J]. The Journal of Nutritional Biochemistry, 2012, 13(8): 444-461.