

林宝妹,洪佳敏,邱珊莲,等.嘉宝果果皮提取物不同极性部位抗氧化活性研究[J].江苏农业科学,2020,48(1):179-183,188.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.01.034

嘉宝果果皮提取物不同极性部位抗氧化活性研究

林宝妹,洪佳敏,邱珊莲,郑开斌,张 帅

(福建省农业科学院亚热带农业研究所,福建漳州 363005)

摘要:采用有机溶剂萃取法将嘉宝果果皮 70% 乙醇提取物分为乙酸乙酯部位、正丁醇部位和水部位等 3 个不同极性部位,以清除 DPPH·、ABTS⁺、·OH、O₂⁻等 4 种自由基的能力为评价指标,研究各极性部位体外抗氧化活性,并以福林酚法测定各极性部位总多酚含量,分析总多酚含量与抗氧化活性间的相关性。结果表明,乙酸乙酯部位对 DPPH·、ABTS⁺、·OH 及 O₂⁻自由基的清除能力高于正丁醇部位,水部位清除能力最弱,乙酸乙酯部位(EC₅₀ = 0.944 mg/mL)和正丁醇部位(EC₅₀ = 1.121 mg/mL)对·OH 的清除能力高于维生素 C(EC₅₀ = 2.559 mg/mL)。乙酸乙酯部位的总多酚含量最高,为(41.287 ± 0.421) mg/g,其次为正丁醇部位,为(36.211 ± 0.240) mg/g,水部位最低,为(5.895 ± 0.092) mg/g。总多酚含量与 DPPH·、ABTS⁺和·OH 自由基的清除能力呈显著正相关($P < 0.05$),与 O₂⁻的清除能力呈极显著正相关($P < 0.01$);4 种抗氧化检测方法的试验结果呈极显著正相关($P < 0.01$)。说明嘉宝果果皮提取物乙酸乙酯部位与正丁醇部位总多酚含量较高,抗氧化活性较强,是抗氧化活性物质的主要极性部位;4 种抗氧化检测方法均可用于嘉宝果果皮抗氧化活性评价。

关键词:嘉宝果果皮;醇提物;不同极性部位;抗氧化活性

中图分类号: S667.901 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)01-0179-05

自由基是带有未成对电子的分子、原子或离子,人体内的自由基主要是氧自由基,包括生物体生成的第一个氧自由基超氧阴离子(O₂⁻)、化学性质最活泼的羟基自由基(·OH)、过氧化氢(H₂O₂)、一氧化氮(NO)、单线态氧(¹O₂)以及脂质过氧化产物等^[1]。自由基是机体在正常有氧呼吸过程中产生的物质,若机体未能及时清除,过量的自由基可与生物体内的细胞膜、蛋白质、脂肪酸、核酸等相互作用,造成生物体内细胞结构与功能的破坏。研究表明,衰老、癌症、糖尿病和神经退行性等多种疾病都与过量自由基的产生有密切关联,添加抗氧化剂或自由基清除剂能有效抑制或缓解自由基对机体的不利影响^[2-3]。传统的合成抗氧化剂虽

然具有较强的抗氧化能力,但是长期服用会产生一定的毒性,因此从植物中寻找天然抗氧化剂已经成为研究热点。植物多酚广泛存在于水果、蔬菜、谷物等植物的根、茎、叶、果实等部位,包括花青素、没食子酸、芸香苷、阿魏酸、儿茶酸等,以苯酚为基本骨架,具有多羟基结构,具有较强的抗氧化性^[4]。

嘉宝果(*Myrciaria cauliflora* Berg.),又名珍宝果、树葡萄、拟爱神木,为桃金娘科(Myrtaceae)拟爱神木属(*Myrciaria*)常绿灌木,是原产巴西的一种常见果树,现在我国台湾省、福建省、广东省等多个地区均有种植^[5]。果实营养成分丰富,富含多种维生素及微量元素,例如维生素 B₂、抗坏血酸(维生素 C)、锌、钙、铁等^[6]。果皮富含花青素、单宁、黄酮醇等酚类化合物,具有抗氧化、降血糖、降血脂、抗癌、消炎、抗菌等多种生物活性^[7-10]。目前已有多种嘉宝果果实加工品如果酒、果酱、果脯等在售,市场前景较好。目前对嘉宝果果皮抗氧化活性的研究主要是果皮粗提物或者直接应用果皮冻干粉,而对果皮粗提物的分离及抗氧化活性组分进行筛选的研究较少。本研究采用不同极性的有机溶剂对嘉宝果果皮提取物进行分级,通过测定总多酚含量并以清除 DPPH·自由基、ABTS⁺自由基、羟基自由基和超氧阴离子自由基对各极性部位的抗氧化性进行

收稿日期:2019-05-14

基金项目:福建省农业科学院培育创新团队(编号:STYT2017-2-11);福建省公益类科研院所专项(编号:2018R1024-6、2017R1024-7);福建省农业科学院科技创新项目(编号:PC2018-9);福建省农业科学院青年英才计划项目(编号:YC2015-19)。

作者简介:林宝妹(1988—),女,福建漳州人,硕士,研究实习员,主要从事天然产物化学研究。E-mail:yogobm@qq.com。

通信作者:邱珊莲,博士,副研究员,主要从事天然产物化学研究。E-mail:slqiu79@163.com。

评价,为嘉宝果果皮的研究与利用提供理论基础与方法参考。

1 材料与方法

1.1 材料

嘉宝果成熟果实采自福建省龙海市惠昌嘉宝果专业合作社,供试嘉宝果品种为“沙巴”。

1.2 主要仪器设备

紫外可见分光光度计:L5S 型,上海仪电分析仪器有限公司生产;超纯水机:UPW-20N 型,北京历元电子仪器有限公司生产;分析天平:BS110S 型,德国 Sartorius 集团生产;粉碎机:WBL2521H 型,佛山美的集团生产;数控超声波清洗仪:KQ-300DE 型,昆山市超声仪器有限公司生产;冷冻高速离心机:MIKRO-22R 型,德国 Hettich 生产;台式冷冻恒温振荡仪,THZ-C-1 型,苏州培英实验设备有限公司生产;旋转蒸发仪:RE-52AA 型,上海亚荣生化仪器厂生产。

1.3 嘉宝果果皮提取物不同极性部位制备

1.3.1 嘉宝果果皮提取物制备 嘉宝果成熟果实去籽和果肉→嘉宝果果皮→60℃烘干至恒质量→粉碎,过 40 目筛→提取溶剂 70% 乙醇、料液比 1 g:60 mL、28℃、180 r/min 振荡提取 20 h→28℃、120 W 超声波提取 20 min→8 000 r/min 离心 15 min→取上清液待用。

1.3.2 不同极性部位制备 取“1.3.1”节制备的提取液→50℃旋转蒸发仪旋蒸至无醇味→以超纯水稀释浓缩液至原提取液体积→依次以乙酸乙酯、正丁醇按照 1:1 体积比萃取 3 次→合并萃取液→40~65℃旋转蒸发仪除去溶剂→获得乙酸乙酯相、正丁醇相以及萃取后剩下的水相,重新溶解各极性部位,以原材料质量浓度表示各极性部位质量浓度,单位为 mg/mL。

1.4 总多酚含量测定

参考 Wang 等的福林酚法^[11],并修改如下:将不同极性部位提取物用超纯水稀释成 10 mg/mL,取 0.1 mL 样品于试管中,再加入 0.1 mL 1.0 mol/L Folin-Ciocalteu 试剂和 2.8 mL 水,混匀,静置 8 min 后加入 2 mL 7.5% 碳酸钠溶液,摇匀,室温下密封避光 2 h,于 765 nm 处测吸光度,试验重复 3 次。按照上述方法,以没食子酸为标准品,以没食子酸质量浓度为 x 轴,吸光度为 y 轴,绘制回归曲线。不同极性部位提取物的总多酚含量以 1 g 原材料含有的没

食子酸质量计,单位为 mg/g。

1.5 抗氧化能力测定

1.5.1 DPPH·清除能力 参照 Tang 等的方法^[12]并稍作修改,具体如下:分别取 0.5 mL 样品于试管中,再加 4.5 mL 0.13 mmol/L DPPH·的 95% 乙醇溶液,摇匀后置于暗处反应 30 min,于 517 nm 处测定吸光度 D_1 ;同时设置空白对照组 D_0 (以超纯水代替样品)和样品本底组 D_2 (以 95% 乙醇代替 DPPH·溶液),试验重复 3 次,求其平均值,计算 DPPH·清除率。按照上述方法测定维生素 C 对 DPPH·的清除率。

$$\text{DPPH} \cdot \text{清除率} = [1 - (D_1 - D_2)/D_0] \times 100\%$$

1.5.2 ABTS⁺清除能力 参照 Seczyk 等的方法^[13]并稍作修改:配制 ABTS⁺反应工作液,7 mmol/L ABTS⁺与 2.45 mmol/L 过硫酸铵等体积混合,暗处静置 12 h,以 95% 乙醇稀释至吸光度为 0.7 ± 0.05 ,为反应工作液。取 0.1 mL 样品于试管中,加入 3.8 mL ABTS⁺反应工作液,摇匀后置于暗处反应 6 min,于 734 nm 处测定吸光度 D_1 ,同时设置空白对照组 D_0 (以超纯水代替样品)和样品本底组 D_2 (以 95% 乙醇代替 ABTS⁺反应工作液),试验重复 3 次,求其平均值,计算 ABTS⁺清除率。按照上述方法测定维生素 C 对 ABTS⁺的清除率。

$$\text{ABTS}^+ \text{清除率} = [1 - (D_1 - D_2)/D_0] \times 100\%$$

1.5.3 ·OH 清除能力 参考刘晓飞等的方法^[14],并稍作修改,具体如下:2 mL pH 值 7.4 的磷酸盐缓冲液和 0.5 mmol/L 邻二氮菲 70% 乙醇溶液、0.5 mmol/L 硫酸亚铁、样品各 1 mL 依次加入试管中,再加入 1 mL 0.1% 过氧化氢溶液,于 37℃水浴中反应 1 h,反应结束后于 510 nm 处测定吸光度 D_1 ,同时设置损伤组 D_2 (以超纯水代替样品)、未损伤组(以超纯水代替过氧化氢溶液和样品) D_0 ,样品本底组 D_3 (以超纯水代替反应试剂)试验重复 3 次,求其平均值,计算·OH 清除率。按照上述方法测定维生素 C 对·OH 的清除率。

$$\cdot \text{OH} \text{清除率} = [1 - (D_1 - D_2 - D_3)/(D_0 - D_2)] \times 100\%$$

1.5.4 O₂⁻清除能力 参考陈红艳等的方法^[15],取 5 mL pH 值 8.2 的 Tris-HCl 缓冲液与 1 mL 样品、3.7 mL 超纯水混匀,置于带塞试管中,25℃水浴 20 min,加入 3 mmol/L 邻苯三酚 0.3 mL,迅速摇匀,于 319.5 nm 处,每隔 1 min 测定 1 次吸光度,一共测定 4 min,以吸光度值 D 对反应时间 t 作线性关

系图,记斜率为 V_1 ;同时设立空白对照组(以超纯水代替样品),记斜率为 V_0 。试验重复 3 次,求其平均值,计算维生素 C 对 $O_2^- \cdot$ 的清除率。

$$O_2^- \cdot \text{清除率} = (1 - V_1/V_0) \times 100\%。$$

1.6 统计分析

试验数据采用 Excel 2007 进行回归曲线的制作;采用 SPSS 22.0 统计软件进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 没食子酸标准曲线

以不同质量浓度没食子酸测得的吸光度建立回归方程: $y = 1.668x + 0.079$ ($r^2 = 0.9955$),由图 1 可见,没食子酸在质量浓度 $0.100 \sim 0.500$ mg/mL 内与吸光度有良好的线性关系。

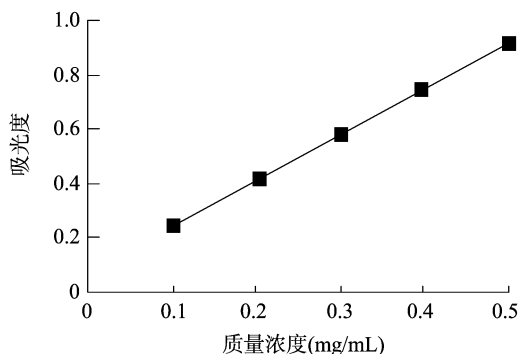


图1 没食子酸标准曲线

2.2 果皮提取物不同极性部位总多酚含量

由图 2 可见,嘉宝果果皮粗提液不同极性部位总多酚含量在 $5.895 \sim 41.287$ mg/g,其含量从高到低依次为乙酸乙酯部位 > 正丁醇部位 > 水部位,乙酸乙酯部位和正丁醇部位的总多酚含量较为接近,乙酸乙酯部位总多酚含量为 (41.287 ± 0.421) mg/g,正丁醇部位的总多酚含量为 (36.211 ± 0.240) mg/g,水部位含量最低,为 (5.895 ± 0.092) mg/g,水部位仅约为乙酸乙酯部位多酚含量的 1/8。

2.3 果皮提取物不同极性部位抗氧化能力

2.3.1 DPPH \cdot 、ABTS $^{+}$ 、 \cdot OH 清除能力 由图 3、图 4、图 5、表 1 可知,在试验的浓度范围内,果皮提取物各极性部位对 DPPH \cdot 、ABTS $^{+}$ 、 \cdot OH 等 3 种自由基的清除作用随着提取物浓度的增加而增强,二者呈线性关系, $r^2 > 0.98$ 。且各极性部位对以上 3 种自由基的清除能力相差较小,回归曲线斜率相近,EC $_{50}$ 值较为接近,但仍有以下区别:正丁醇部位和乙酸乙酯部位对 DPPH \cdot 、ABTS $^{+}$ 、 \cdot OH 自由基

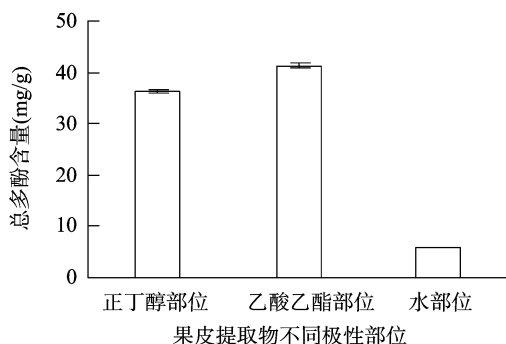


图2 嘉宝果果皮提取物不同极性部位的总多酚含量

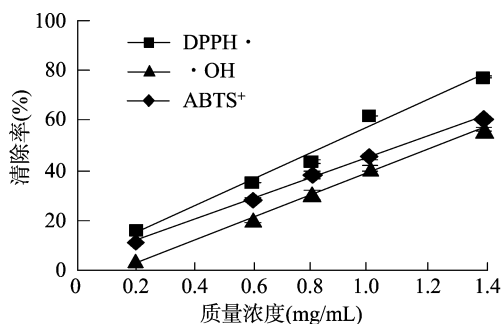


图3 嘉宝果果皮提取物正丁醇部位清除 DPPH \cdot 、ABTS $^{+}$ 、 \cdot OH 的回归曲线

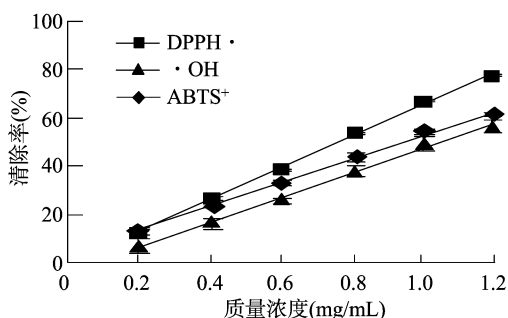


图4 嘉宝果果皮提取物乙酸乙酯部位清除 DPPH \cdot 、ABTS $^{+}$ 、 \cdot OH 的回归曲线

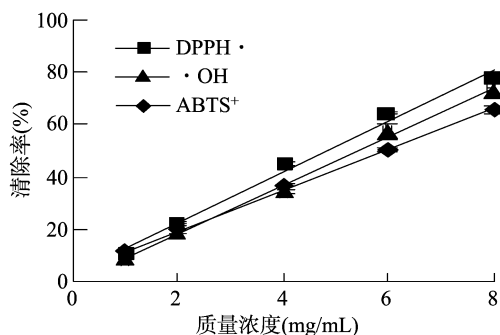


图5 嘉宝果果皮提取物水部位清除 DPPH \cdot 、ABTS $^{+}$ 、 \cdot OH 的回归曲线

的清除能力大小顺序依次均为 DPPH \cdot > ABTS $^{+}$ > \cdot OH,而水部位对以上自由基的清除能力大小顺序为 DPPH \cdot > \cdot OH > ABTS $^{+}$,即水部位清除 \cdot OH

的能力大于清除 ABTS⁺。清除 DPPH·、ABTS⁺、·OH 自由基能力大小依次为乙酸乙酯部位>正丁醇部位>水部位。表 1、表 2 结果表明,抗氧化剂(维生素 C)对 DPPH·和 ABTS⁺自由基的清除能力大于各极性部位,但清除·OH 自由基的能力弱于乙酸乙酯部位和正丁醇部位。

表 1 嘉宝果果皮提取物不同极性部位自由基清除效果的比较

自由基	样品	线性回归方程	线性范围 (mg/mL)	EC ₅₀ (mg/mL)
DPPH·	正丁醇部位	$y = 52.836x + 4.404 (r^2 = 0.985\ 9)$	0.020 ~ 1.400	0.863
	乙酸乙酯部位	$y = 66.238x + 0.522 (r^2 = 0.998\ 3)$	0.020 ~ 1.200	0.763
	水部位	$y = 9.779x + 2.903 (r^2 = 0.990\ 8)$	1.000 ~ 8.000	4.816
ABTS ⁺	正丁醇部位	$y = 41.376x + 3.633 (r^2 = 0.996\ 5)$	0.020 ~ 1.400	1.243
	乙酸乙酯部位	$y = 48.734x + 3.991 (r^2 = 0.997\ 5)$	0.020 ~ 1.200	1.052
	水部位	$y = 7.761x + 3.978 (r^2 = 0.998\ 9)$	1.000 ~ 8.000	5.378
·OH	正丁醇部位	$y = 45.303x - 6.364 (r^2 = 0.995\ 7)$	0.020 ~ 1.400	1.121
	乙酸乙酯部位	$y = 51.593x - 4.269 (r^2 = 0.994\ 7)$	0.020 ~ 1.200	0.944
	水部位	$y = 9.267x + 0.162 (r^2 = 0.996\ 7)$	1.000 ~ 8.000	5.93
O ₂ ⁻ ·	正丁醇部位	$y = 8.971x - 53.386 (r^2 = 0.990\ 9)$	0.020 ~ 1.400	11.525
	乙酸乙酯部位	$y = 9.049x - 22.877 (r^2 = 0.984\ 3)$	0.020 ~ 1.200	8.053
	水部位	—	—	—

注:—表示在试验条件下未测得。

表 2 维生素 C 清除 DPPH·、ABTS⁺、·OH、O₂⁻·等 4 种自由基效果的比较

样品	自由基	线性回归方程	线性范围 (mg/mL)	EC ₅₀ (mg/mL)
维生素 C	DPPH·	$y = 999.761x - 0.132 (r^2 = 0.998\ 3)$	0.010 ~ 0.080	0.050
	ABTS ⁺	$y = 726.218x - 1.179 (r^2 = 0.999\ 6)$	0.010 ~ 0.100	0.070
	·OH	$y = 41.811x - 56.997 (r^2 = 0.992\ 8)$	1.600 ~ 3.000	2.559
	O ₂ ⁻ ·	$y = 539.867x + 15.945 (r^2 = 0.993\ 1)$	0.040 ~ 0.120	0.063

2.3.2 O₂⁻·清除能力 由表 1、表 2 可知,不同极性部位对超氧阴离子 O₂⁻·的清除能力差异明显,各极性部位的清除能力均小于维生素 C (EC₅₀ = 0.063 mg/mL)。因水相对 O₂⁻·自由基的清除能力弱,在试验浓度下无法获得线性回归方程并求得 EC₅₀值,其余 2 个极性部位在一定的浓度范围内,提取物质量浓度与 O₂⁻·的清除率之间呈现明显的量效关系(图 6), r^2 均大于 0.98,以乙酸乙酯相 (EC₅₀ = 8.053 mg/mL) 的清除能力最强,正丁醇相 (EC₅₀ = 11.525 mg/mL) 次之,水相清除能力最差。

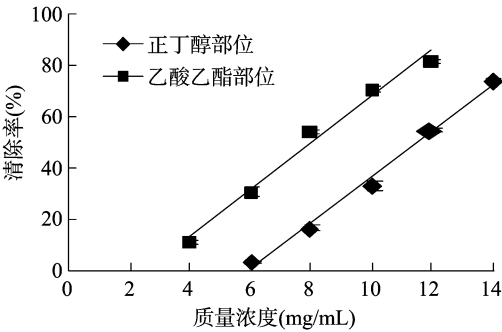


图6 嘉宝果果皮提取物正丁醇部位和乙酸乙酯部位清除 O₂⁻的回归曲线

2.4 抗氧化与总多酚含量的相关性

由表 3 可见,嘉宝果果皮提取物不同极性部位中总多酚含量与抗氧化能力之间有良好的相关性,其中总多酚含量与 DPPH·、ABTS⁺和·OH 自由基的清除能力呈显著正相关($P < 0.05$),与 O₂⁻·的清除能力呈极显著正相关($P < 0.01$)。可以认为嘉宝果果皮提取物不同极性部位中的总多酚含量可在一定程度上反映抗氧化能力的强弱。4 种抗氧化评价方法的结果均呈极显著正相关($P < 0.01$),说明 4 种方法均可以用于嘉宝果果皮抗氧化活性评价,结果趋势一致。

表 3 抗氧化与总多酚含量的相关性

抗氧化评价方法	相关系数的 P 值			
	总多酚含量	DPPH·	ABTS ⁺	·OH
DPPH·	0.035 5 *			
ABTS ⁺	0.029 9 *	0.005 6 **		
·OH	0.032 4 *	0.003 1 **	0.002 5 **	
O ₂ ⁻ ·	0.000 0 **	0.000 0 **	0.000 0 **	0.000 0 **

注: * 表示达显著相关($P < 0.05$); ** 表示达极显著相关($P < 0.01$)。

3 讨论与结论

正常情况下人体内自由基的产生与消除处于动态平衡中。适当数量的自由基不但对人体无害,而且参与体内能量传递、炎症消除、抑制肿瘤等重要过程。自由基的数量过多,会破坏机体细胞结构,引起脂质过氧化,干扰正常代谢活动,与糖尿病、心血管疾病、癌症、神经退行性疾病等的发生发展密切相关^[16-17]。除机体自身的自由基清除系统如抗氧化酶、维生素、激素等,许多天然产物中富含的小分子如维生素 C、维生素 E、 β -胡萝卜素以及各种多酚等均能有效清除自由基,帮助人体抵御过量自由基造成的危害,对这些天然产物进行抗氧化功能评价,有利于天然抗氧化剂的开发应用。本课题组前期研究发现,嘉宝果果皮醇提取物能有效清除 DPPH \cdot 、 \cdot OH 及 ABTS $^{+}$ 等自由基,表现出较好的抗氧化性,但未对果皮醇提取物进行分部位有效性研究。

本研究利用不同极性有机溶剂,将嘉宝果果皮粗提物分为乙酸乙酯部位、正丁醇部位以及水部位,并检测各极性部位的总多酚含量及其对 DPPH \cdot 、ABTS $^{+}$ 、 \cdot OH 及 $O_2^{\cdot-}$ 的清除能力。结果显示,嘉宝果果皮提取物不同极性部位对 DPPH \cdot 、ABTS $^{+}$ 、 \cdot OH 及 $O_2^{\cdot-}$ 等 4 种自由基具有较强的清除作用,以乙酸乙酯部位的自由基清除能力最强,正丁醇部位次之,水部位最弱。本研究结果与多种植物提取物不同极性部位的抗氧化能力结果相类似,如柑橘果皮^[18]、黄刺玫果^[19]、覆盆子^[20]、香椿叶^[21]、金樱子^[22] 等提取物均以乙酸乙酯部位的自由基清除能力为最强,正丁醇部位次之,水部位较弱。存在差异的是,嘉宝果果皮提取物乙酸乙酯部位及正丁醇部位清除自由基能力较为接近,二者清除自由基的 EC_{50} 相差较小,而菠萝皮渣^[23]、扁担藤^[24]、卷丹^[25] 等提取物则是乙酸乙酯部位的抗氧化性明显高于正丁醇部位。

嘉宝果果皮提取物各极性部位的不同抗氧化能力检测方法所得的 EC_{50} 值与各极性部位的总多酚含量呈显著或极显著负相关,这表明总多酚含量与抗氧化能力基本趋于一致,即总多酚含量越高,抗氧化能力越强,说明嘉宝果果皮提取物中的抗氧化物质主要为多酚类,并且主要集中在乙酸乙酯部位和正丁醇部位,这与覆盆子^[20]、菠萝皮渣^[23]、拐枣^[26] 等提取物一致。4 种抗氧化检测方法之间呈极显著正相关($P < 0.01$),这表明嘉宝果果皮提取

物不同极性部位清除 DPPH \cdot 、ABTS $^{+}$ 、 \cdot OH 及 $O_2^{\cdot-}$ 的能力趋于一致,例如乙酸乙酯部位具有较强的 DPPH \cdot 、ABTS $^{+}$ 清除能力,同时也有很强的 \cdot OH 清除能力。但是不同检测方法所得的结果也不同,例如乙酸乙酯部位清除 \cdot OH 的能力($EC_{50} = 0.944 \text{ mg/mL}$)高于维生素 C($EC_{50} = 2.559 \text{ mg/mL}$),但其清除 $O_2^{\cdot-}$ 的能力($EC_{50} = 8.053 \text{ mg/mL}$)却远低于维生素 C($EC_{50} = 0.063 \text{ mg/mL}$)。4 种抗氧化方法检测得出的抗氧化能力顺序并未完全一致,这可能是由于不同检测方法的反应体系及反应机理不同导致试验结果存在差异,此外,不同极性部位所含的抗氧化物质种类不同也可能导致结果的差异。因此,在评价植物提取物抗氧化活性时应采用多种不同方法进行多方面检测。

本研究以嘉宝果果皮为原料,以不同极性有机溶剂依次萃取果皮醇提取物获得提取物乙酸乙酯部位、正丁醇部位及水部位。通过 4 种不同方法检测各极性部位的抗氧化活性并测定其多酚含量,结果发现,各极性部位中以乙酸乙酯部位抗氧化活性最强,总多酚含量最高,清除 \cdot OH 的能力甚至超过了维生素 C,表现出极强的羟自由基清除能力,具有抗氧化剂开发价值。本研究结果可为今后嘉宝果果皮多酚的开发利用提供一定的参考。

参考文献:

- [1] 王建英,任引哲,王迎新. 氧自由基与人体健康[J]. 化学世界, 2006,47(1):61-63.
- [2] Poprac P, Jomova K, Simunkova M, et al. Targeting free radicals in oxidative stress - related human diseases [J]. Trends in Pharmacological Sciences, 2017,38(7):592-607.
- [3] 崔 剑,李兆洪,洪啸吟. 自由基生物抗氧化与疾病[J]. 清华大学学报(自然科学版),2000,40(6):9-12.
- [4] 范金波,蔡茜彤,冯叙桥,等. 5 种天然多酚类化合物抗氧化活性的比较[J]. 食品与发酵工业,2014,40(7):77-83.
- [5] 梁海峰,刘顺枝,江学斌,等. 嘉宝果生物活性物质及加工研究进展[J]. 福建农业科技,2017(6):73-77.
- [6] 唐 丽,袁婷婷,钟秋平. 嘉宝果营养成分分析[J]. 经济林研究,2014,32(2):120-124.
- [7] Plaza M, Batista A G, Cazarin C B B, et al. Characterization of antioxidant polyphenols from *Myrciaria jaboticaba* peel and their effects on glucose metabolism and antioxidant status: a pilot clinical study[J]. Food Chemistry, 2016,211(15):185-197.
- [8] Leite - Legatti A V, Batista A G, Dragano N R V, et al. Jaboticaba peel: Antioxidant compounds, antiproliferative and antimutagenic activities[J]. Food Research International, 2012,49(1):596-603.

(下转第 188 页)

- [20] Wu B, Li X E, Hu H G, et al. Effect of chlorine dioxide on the control of postharvest diseases and quality of litchi fruit[J]. African Journal of Biotechnology, 2011, 10(32): 6030–6039.
- [21] 许萍, 乔勇进, 周慧娟, 等. 固体二氧化氯保鲜剂对夏黑葡萄保鲜效果的影响[J]. 食品科学, 2012, 33(10): 282–286.
- [22] 彭楨, 侣丽莎, 郭蕊. 二氧化氯消毒剂在食品企业的应用[J]. 工业 B, 2015(38): 203–203.
- [23] 谭伟, 杜金华. 二氧化氯在巨峰葡萄表面杀灭匍枝根霉效果的研究[J]. 现代食品科技, 2006, 22(2): 64–66.
- [24] 顾宁, 胡双启, 池致超, 等. 气体 ClO_2 对葡萄致腐菌的杀菌及保鲜效果研究[J]. 食品研究与开发, 2011, 32(10): 148–151.
- [25] 宋慧波, 师邱毅, 孙志栋. 一种复合保鲜剂对巨峰葡萄保鲜的影响[J]. 食品科技, 2015(11): 251–254.
- [26] 王 岍, 方赤光, 董 青, 等. 五步碘量法测定二氧化氯的含量[J]. 中国公共卫生, 2003, 19(1): 117–118.
- [27] 张志良, 瞿伟菁, 李小方. 植物生理学实验指导[M]. 4 版. 北京: 高等教育出版社, 2009.
- [28] 周慧娟, 乔勇进, 王海宏, 等. 臭氧处理对宫川柑橘保鲜效果的影响[J]. 保鲜与加工, 2010, 10(3): 12–16.
- [29] 王 静, 徐为民, 诸永志, 等. 贮藏温度对鲜切牛蒡褐变的影响[J]. 江苏农业学报, 2008, 24(4): 492–496.
- [30] 张 桂. 果蔬采后呼吸强度的测定方法[J]. 理化检验—化学分册, 2005, 41(8): 596–597.
- [31] 黄伟坤. 食品检验与分析[M]. 北京: 轻工业出版社, 1989.
- [32] 张昭其, 庞学群, 段学武, 等. 荔枝采后果皮花色苷的降解与花色苷酶活性变化[J]. 中国农业科学, 2003, 36(8): 945–949.
- [33] 庞学群, 张昭其, 段学武, 等. pH 值和温度对荔枝果皮花色苷稳定性的影响[J]. 园艺学报, 2001, 28(1): 25–30.
- [34] 李 宁, 关文强, 段双科. 葡萄采后致病病原菌鉴定及侵染规律[J]. 保鲜与加工, 2005, 5(3): 37–39.
- [35] 宋开艳. 葡萄采后病害病原菌致病特点及拮抗菌的筛选[D]. 阿拉尔: 塔里木大学, 2011.
- [36] 顾 宁, 胡双启, 晋日亚, 等. 气体二氧化氯对葡萄表面青霉的杀菌效果及营养成分的变化规律[J]. 食品科技, 2010(11): 67–70.
- [37] 曾柏全, 邓子牛, 熊兴耀, 等. 二氧化氯对藤稔葡萄保鲜及贮藏品质的影响[J]. 经济林研究, 2007, 25(1): 49–51.
- [38] 马李一. 漂白紫胶水果保鲜剂的研制与应用研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2004.
- [39] 聂继云. 果品质量安全分析技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.
- [40] 李艳红, 郭 芹, 吴 斌, 等. NO 和 ClO_2 处理对采后伽师瓜抗氧化酶活性的影响[J]. 保鲜与加工, 2015(6): 13–16, 22.
- [41] 张维静, 陆 海, 杜希华. 抗坏血酸过氧化物酶在植物抵抗氧化胁迫中的作用[J]. 山东师范大学学报(自然科学版), 2008, 23(4): 113–115.
- [42] 邢庆振, 郁松林, 于 坤, 等. 壳聚糖对葡萄冷藏期间果皮色素及相关酶活性的影响[J]. 北方园艺, 2010(16): 181–183.
- [43] 陈 钊. 二氧化氯对真菌杀灭机理及果蔬保鲜效果的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2011.
- [44] 付聿成. 二氧化氯对果蔬酶促褐变抑制的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2006.

(上接第 183 页)

- [9] Lenquist S A, Batista A G, Marineli R D S, et al. Freeze-dried jaboticaba peel added to high-fat diet increases HDL-cholesterol and improves insulin resistance in obese rats[J]. Food Research International, 2012, 49(1): 153–160.
- [10] Machado G H A, Marques T R, Carvalho T C L D, et al. Antibacterial activity and *in vivo* wound healing potential of phenolic extracts from jaboticaba skin[J]. Chemical Biology and Drug Design, 2018, 92(1): 1333–1343.
- [11] Wang Z H, Wang C Z, Zhang C W, et al. Ultrasound-assisted enzyme catalyzed hydrolysis of olive waste and recovery of antioxidant phenolic compounds[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2017, 44: 224–234.
- [12] Tang W, Xing Z, Li C, et al. Molecular mechanisms and *in vitro* antioxidant effects of *Lactobacillus plantarum* MA2[J]. Food Chemistry, 2017, 221(15): 1642–1649.
- [13] Seczyk L, Swieca M, Dzik D, et al. Antioxidant, nutritional and functional characteristics of wheat bread enriched with ground flaxseed hulls[J]. Food Chemistry, 2017, 214: 32–38.
- [14] 刘晓飞, 王 鑫, 孟庆虹, 等. 发芽糙米多糖双水相萃取工艺优化及其抗氧化活性[J]. 食品与机械, 2017, 33(7): 149–154.
- [15] 陈红艳, 李雨浩, 岑浩彬. 黑茶茶多酚类物质的提取及其抗氧化性能研究[J]. 中国农业大学学报, 2017, 22(9): 101–107.
- [16] Jakus V. The role of free radicals, oxidative stress and antioxidant systems in diabetic vascular disease[J]. Bratislavské Lekárske Listy, 2000, 101(10): 541–551.
- [17] Dholia N, Ramteke P, Varghese J F, et al. Oxidative stress-induced molecular and genetic mechanisms in human health and diseases[J]. Free Radicals in Human Health and Disease, 2014(6): 91–103.
- [18] 李 怡. 柑橘果皮醇提取物不同极性部位抗氧化、抗炎活性研究[D]. 重庆: 西南大学, 2015: 27–35.
- [19] 任 婧, 杨官娥, 柴秋彦, 等. 黄刺玫果提取物体外抗氧化活性研究[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(18): 11–15.
- [20] 吴峰华, 刘相真, 杨虎清, 等. 覆盆子醇提取物及其不同极性部位抗氧化活性研究[J]. 中国食品学报, 2012, 12(2): 24–29.
- [21] 张京芳, 王冬梅, 周 丽, 等. 香椿叶提取物不同极性部位体外抗氧化活性研究[J]. 中国食品学报, 2007, 7(5): 12–17.
- [22] 皮建辉, 胡朝曦, 蔡 婧, 等. 金樱子提取物不同极性部位体外抗氧化活性分析[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(3): 285–288.
- [23] 薛雅荣, 薛海波, 郝丽琴, 等. 菠萝皮渣醇提取物不同极性部位抗氧化活性研究[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(20): 8–11.
- [24] 潘乔丹, 熊圆圆, 陈文东, 等. 扁担藤不同极性成分抗氧化活性研究[J]. 中国实验方剂学杂志, 2013, 19(1): 232–235.
- [25] 周中流, 石任兵, 刘 斌, 等. 卷丹乙醇提取物及其不同极性部位抗氧化活性的比较研究[J]. 食品科学, 2011, 32(9): 55–58.
- [26] 李伟青, 王 颀, 孙剑锋, 等. 拐枣抗氧化活性的研究[J]. 食品工业, 2011(11): 50–52.