

人心果叶不同极性组分的抗氧化与抗菌活性

Antioxidant and antibacterial activities of different polar parts from *Manilkara zapota* leaves

马飞跃^{1,2} 张 明^{1,2} 李 娅^{1,2} 杜丽清^{1,2} 帅希祥³

MA Fei-yue^{1,2} ZHANG Ming^{1,2} LI Ya^{1,2} DU Li-qing^{1,2} SHUAI Xi-xiang³

(1. 中国热带农业科学院亚热带作物研究所, 广东 湛江 524091; 2. 农业部热带果树生物学重点实验室, 广东 湛江 524091; 3. 南昌大学食品科学与技术国家重点实验室, 江西 南昌 330047)

(1. South Subtropical Crops Research Institute of the Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Zhanjiang, Guangdong 524091, China; 2. Key Laboratory of Tropical Fruit Biology of the Ministry of Agriculture, Zhanjiang, Guangdong 524091, China; 3. State Key Laboratory of Food Science and Technology, Nanchang University, Nanchang, Jiangxi 330047, China)

摘要:通过体外 DPPH 自由基、ABTS 自由基清除能力和总抗氧化能力评价人心果叶不同极性萃取物(石油醚相、乙酸乙酯相、正丁醇相、水相)的抗氧化活性,并探究各极性组分对金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌和大肠杆菌的抑制能力。结果表明:乙酸乙酯组分的体外抗氧化活性最强,清除 DPPH 自由基能力 IC_{50} 值为 (0.019 ± 0.010) mg/mL,总抗氧化能力以水溶性维生素 E 当量(TEAC)表示,值为 (5.824 ± 0.234) mmol/g。当质量浓度达到 0.50 mg/mL 时,乙酸乙酯组分对 ABTS 自由基清除率就已经超过了 50%;且乙酸乙酯组分能够明显抑制金黄色葡萄球菌的生长,最小抑菌浓度(MIC)和最小杀菌浓度(MBC)分别为 0.313、0.625 mg/mL。人心果叶乙酸乙酯组分具有显著的抗氧化和抗菌活性,可用于天然抗氧化剂和抗菌剂的开发。

关键词:人心果叶;萃取物;极性;抗氧化;抗菌

Abstract: In order to investigate the antioxidant and antibacterial activity of different polar parts (petroleum ether part, ethyl acetate part, *n*-butanol part and water part) from *Manilkara zapota* leaves. The DPPH radical-scavenging assay, ABTS radical-scavenging assay and FRAP antioxidant capacity assay were carried out. And the antibacterial effects of different polar parts from *Manilkara zapota* leaves against *Bacillus subtilis*, *Escherichia*

coli and *Staphylococcus aureus* were studied. The results showed that the extracts obtained from ethyl acetate extraction had the highest antioxidant activities; the IC_{50} of the DPPH radical-scavenging and ABTS radical-scavenging were (0.019 ± 0.010) mg/mL, and the Trolox Equivalent Antioxidant Capacity (TEAC) value was (5.824 ± 0.234) mmol/g. The ethyl acetate-extracts, at the concentration of 0.50 mg/mL, had $>50\%$ scavenging rate according to the ABTS radical-scavenging assay. The ethyl acetate-extracts also showed outstanding resistant activity against *Staphylococcus aureus*, the MIC and MBC were 0.313 mg/mL and 0.625 mg/mL, respectively. It was confirmed that the ethyl acetate-extracts from *Manilkara zapota* leaves showed outstanding antioxidant activity and antibacterial activity, and they could be used in the exploring of natural antioxidants and antibacterial agents.

Keywords: *Manilkara zapota* leaves; extracts; polar; antioxidant activity; antibacterial activity

人心果(*Manilkara zapota*)为山榄科铁线子属常绿乔木的水果,原产于美洲,后经东南亚等地引种至中国^[1]。果实味美多汁,富含对人体有益物质,具有润肺止咳、增强免疫力等作用,目前国内外对其果实成分及其活性研究得较为广泛^[2-4]。人心果叶中多酚和黄酮类物质含量也很丰富^[5]^[57],且具有多种生物活性,如降血糖、降血脂、抗氧化和抗肿瘤等^[5]^[48-52]^[6-7]。张秀梅等^[8]和陈海芳等^[9]在研究多种热带果树叶片抗氧化能力时发现,其中人心果叶表现出极好的抗氧化活性。但目前针对人心果叶的研究多以粗提物为主,甚少有关于其主要活性成分富集纯化的研究,且对于其中的抗氧化和抗菌有效组分及成分类别研究也较少,并未明确人心果叶抗氧化和抗

基金项目:中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(编号:1630062018003,1630062020025)

作者简介:马飞跃,女,中国热带农业科学院亚热带作物研究所助理研究员,硕士。

通信作者:杜丽清(1976—),男,中国热带农业科学院亚热带作物研究所研究员,硕士。E-mail:mfylc@yahoo.com

收稿日期:2020-10-27

菌活性的主要极性组分;在前期研究^[10]中发现不同提取方法所得人心果叶粗提物的抗氧化能力存在差异,可能是由于不同提取方法所得粗提物的有效组分不同。而人心果叶各极性组分所含抗氧化物质的种类也可能存在不同,具有抗氧化能力的结构和官能团也会不同。试验拟采用 DPPH 自由基、ABTS 自由基清除能力和总抗氧化能力方法测定人心果叶不同极性组分(石油醚组分、乙酸乙酯组分、正丁醇组分、水层组分)的抗氧化活性,并评价其抗菌活性,为人心果天然抗氧化剂和抗菌剂的开发以及在食品和医药领域的应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料与仪器

人心果叶:中国热带农业科学院南亚热带作物研究所种质资源圃;

DPPH:美国 Sigma 公司;

维生素 C:>99.0%,河北源创生物科技有限公司;

维生素 E:河北源创生物科技有限公司;

没食子酸:国药集团化学试剂有限公司;

FRAP 法和 ABTS 法总抗氧化能力检测试剂盒:碧云天生物技术有限公司;

其他试剂均为分析纯;

金黄色葡萄球菌(ATCC 6538)、枯草芽孢杆菌(ATCC 6633)、大肠杆菌(ATCC 8739):黑龙江省科学院应用微生物研究所;

高速药材调料粉碎机:FZ-06 型,浙江温岭市百乐粉碎设备厂;

旋转蒸发仪:Heidolph Hei-VAP Preciscion 型,德国海道尔夫公司;

纯水仪:RODI-220A1 型,厦门锐思捷水纯化技术有限公司;

酶联免疫分析仪:Spark 10M 型,帝肯(上海)贸易有限公司;

超声波提取仪:SK5210HP 型,上海科导超声仪器有限公司;

台式高速冷冻离心机:MULTIFUGEXIR 型,美国 Thermo 公司。

1.2 试验方法

1.2.1 不同极性组分样品制备 摘取新鲜人心果叶于干燥箱中将其低温烘干至重量恒定,用粉碎机将其粉碎。称取适量干人心果叶,按料液比($m_{\text{人心果叶}}:V_{\text{乙醇}}$)1:10(g/mL)加入 80%乙醇,热回流 3 h,趁热过滤,所得滤渣重复提取 3 次,合并 3 次滤液,于 50℃减压蒸馏去乙醇后,得粗提物。以蒸馏水溶解粗提物,之后依次用石油醚(PE)、乙酸乙酯(EA)、正丁醇(Bu)进行萃取,各极性溶剂按照 $V_{\text{粗提物}}:V_{\text{溶剂}}=1:1$ 萃取 5 次,分别合并每个萃取

剂的溶液,减压蒸馏,干燥至恒重(60℃),得到包括水相(Wa)在内的 4 个不同极性组分的浸膏。

1.2.2 总酚含量测定 采用福林酚法^[11]。分别称取相同质量各极性组分浸膏,以相同体积乙醇和蒸馏水溶解,配制成相同浓度的浸膏溶液。准确吸取各极性组分浸膏溶液 0.20 mL,分别加入 1.00 mL 福林酚试剂(0.1 mol/L)和 0.80 mL 纯水,混匀,静置 5 min,再加入 1.00 mL Na_2CO_3 溶液(7.5%),充分混匀。避光反应 2 h,在 765 nm 处测定吸光度。以维生素 C(V_C)作为对照品,以没食子酸质量浓度(50~1 000 mg/L)作为横坐标(X),吸光度作为纵坐标(Y),制作标准曲线: $Y=2\,078.9X-122.21$ ($R^2=0.998\,0$),并根据标准曲线及式(1)计算人心果叶不同极性组分总酚含量。

$$C_P=C_1V_1/M_1, \quad (1)$$

式中:

C_P ——不同极性组分总酚含量,mg/g;

C_1 ——样品总酚质量浓度,mg/L;

V_1 ——定容的体积,L;

M_1 ——各极性组分浸膏的质量,g。

1.2.3 总黄酮含量测定 采用硝酸铝比色法^[12]。准确吸取各极性组分浸膏溶液 1 mL,加 10%亚硝酸钠溶液 0.3 mL,混匀,静置 6 min;加 10%硝酸铝溶液 0.3 mL,混匀,静置 6 min;加 1 mol/L NaOH 溶液 4 mL,定容 10 mL,静置 15 min,于 510 nm 处测定吸光值。以水溶性维生素 E 作为对照品,以芦丁浓度(1.0~5.0 mg/L)作为横坐标(X),吸光度作为纵坐标(Y),制作标准曲线: $Y=2.588\,1X-0.005\,1$ ($R^2=0.999\,7$)。并根据标准曲线及式(2)计算人心果叶不同极性部位总黄酮含量。

$$C_F=C_2V_2/M_2, \quad (2)$$

式中:

C_F ——不同极性组分总黄酮含量,mg/g;

C_2 ——样品总黄酮含量,mg/L;

V_2 ——定容的体积,L;

M_2 ——各极性组分浸膏的质量,g。

1.2.4 抗氧化活性测定

(1) DPPH 自由基清除能力:将各极性组分浸膏分别配置成不同浓度的溶液,准确移取各样品溶液各 0.1 mL,按 Ma 等^[13]的方法测定其 DPPH 自由基清除能力。

(2) ABTS 自由基清除能力:用 ABTS 法总抗氧化能力检测试剂盒测定。

(3) 总抗氧化能力:用 FRAP 法总抗氧化能力检测试剂盒。用 TEAC 值,即水溶性维生素 E 当量来表示人心果叶各极性组分总抗氧化能力。

1.2.5 抗菌活性测定 参照文献[14],将菌株保持在恒定的 4℃琼脂平板上,并在 37℃的营养琼脂孵育 24 h。样品溶液用无菌生理盐水稀释不同浓度,在 96 孔板上每

孔加入 100 μL 不同浓度的样品溶液和 100 μL 菌液 (10^5 CFU/mL), 在 37 $^{\circ}\text{C}$ 下孵育 24 h, 试验重复 3 次。以抑制菌株生长的最低质量浓度为最小抑菌浓度 (MIC); 以杀死 99.9% 细菌数量的最低质量浓度为最小杀菌浓度 (MBC), 青霉素作为阳性对照。

1.2.6 统计分析 采用 SPSS 17.0 软件对试验数据进行分析, 采用 Origin 8.0 软件对分析后的试验数据进行分析作图。

2 结果和分析

2.1 不同极性组分的总酚、总黄酮含量

如图 1 所示, 人心果叶不同极性萃取组分均含有多酚和黄酮类物质, 其含量大小顺序为总酚: $\text{EA} > \text{Bu} > \text{Wa} > \text{PE}$, 总黄酮: $\text{EA} > \text{Bu} > \text{PE} > \text{Wa}$ 。不同极性组分之间的总酚和总黄酮含量差异显著 ($P < 0.05$), 其中 EA 的总酚和总黄酮含量均为最高, 分别为 (163.47 ± 1.46) , (123.00 ± 1.39) mg/g; PE 的总酚含量最低, 为 (12.26 ± 0.36) mg/g; Wa 的总黄酮含量最低, 为 (22.98 ± 0.83) mg/g, 说明石油醚和水不利于富集酚类和黄酮类成分。由于不同种类的多酚和黄酮的极性和溶解性不同, 因此, 不同极性的萃取溶剂所得萃取组分中多酚和黄酮的种类和含量各不相同。

2.2 不同极性组分的抗氧化活性

2.2.1 DPPH 自由基清除能力 由图 2 可知, 在试验范围内随各极性组分质量浓度增加, 对 DPPH 自由基的清除能力增强。结合不同极性组分的总酚和总黄酮含量推断, 总酚和总黄酮含量与 DPPH 自由基清除能力具有一定的正相关性, 含量高, 则清除率较大。不同极性组分中 PE 对 DPPH 自由基的清除能力最低, EA 的最高且高于维生素 C。虽然 Wa 的总黄酮含量最低, 但其总酚含量高于 PE, 对 DPPH 自由基的清除能力也略高于 PE, 说明

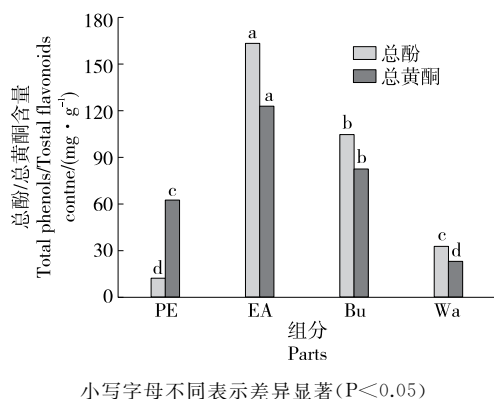


图 1 人心果叶不同极性组分总酚和总黄酮含量

Figure 1 Contents of total phenol and total flavonoids of different polar parts from *Manilkara zapota* leaves

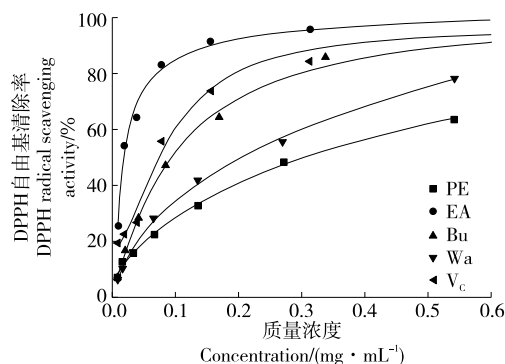


图 2 人心果叶不同极性组分清除 DPPH 自由基能力
Figure 2 DPPH radical scavenging activity of different polar parts from *Manilkara zapota* leaves

Wa 中的主要抗氧化活性物质为多酚类物质。EA、Bu、Wa、PE 4 种组分及维生素 C 清除 DPPH 自由基的 IC_{50} 值分别为 (0.019 ± 0.010) , (0.094 ± 0.013) , (0.137 ± 0.015) , (0.306 ± 0.020) , (0.075 ± 0.015) mg/mL。 IC_{50} 值越小, 其抗氧化能力越强, 因此, 各极性组分抗氧化活性顺序为: $\text{EA} > \text{Bu} > \text{Wa} > \text{PE}$ 。结果表明, EA 和 Bu 的抗氧化活性较强, 后续可对二者进行进一步的分离纯化等研究, 以及其他生物活性的验证。

2.2.2 ABTS 自由基清除能力 图 3 显示了各极性组分对 ABTS 自由基的清除能力, 所呈趋势与其对 DPPH 自由基的清除能力略有差异, 在试验范围内, 随着样品质量浓度增加, 各组分和水溶性维生素 E 对自由基的清除率也不断增加。虽然 Wa 的总酚或总黄酮含量低于 PE 和 Bu, 但其对 ABTS 自由基清除率高于二者, 说明 Wa 还含有其他抗氧化成分^[15]。当提取物质量浓度达到 0.50 mg/mL 时, EA 对 ABTS 自由基清除率为 58.79%, 而其他极性组分在此质量浓度下均未超过 50%。

2.2.3 总抗氧化能力 由图 4 可知, EA 的 TEAC 值最高, 为 (5.824 ± 0.234) mmol/g, PE 的最低, 为 (0.492 ± 0.092) mmol/g, 其他两个组分的 TEAC 值较为相近。总

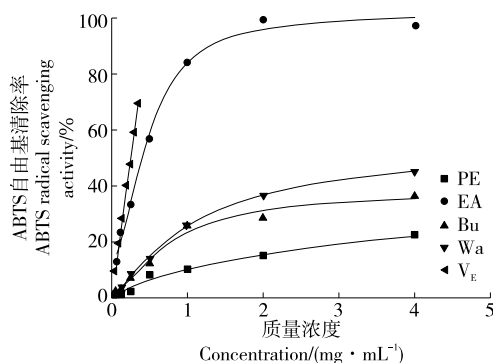
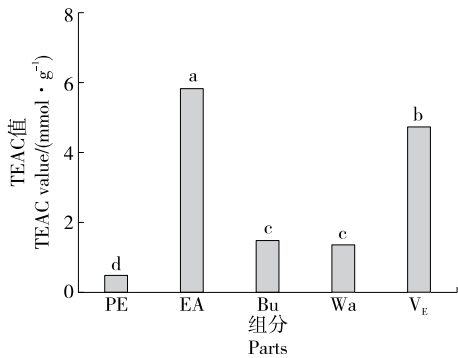


图 3 人心果叶不同极性组分清除 ABTS 自由基能力
Figure 3 ABTS radical scavenging activity of different polar parts from *Manilkara zapota* leaves



小写字母不同表示差异显著(P<0.05)

图4 人心果叶不同极性组分的总抗氧化能力

Figure 4 The total antioxidant capacity assay of different polar parts from *Manilkara zapota* leaves

体趋势与清除 DPPH 自由基抗氧化能力以及总酚含量趋势基本保持一致。因此,人心果叶 EA 的抗氧化能力最强。

根据 2.2.1~2.2.3 结果分析,在不同的抗氧化体系中,不同极性组分的不同抗氧化能力大小顺序存在差异,可能与采用不同的抗氧化体系和不同极性组分所含抗氧化成分种类不同有关^[16]。人心果叶中主要的抗氧化活性物质集中在乙酸乙酯和正丁醇组分,与嘉宝果嫩叶^[17]、豆腐柴叶^[18]、芒果叶^[19]、野地瓜茎^[20]等的不同极性组分抗氧化活性结果相类似。其中嘉宝果嫩叶^[17]和豆腐柴叶^[18]的乙酸乙酯组分和正丁醇组分的抗氧化活性同样高于其他两个极性组分,且水相组分对 DPPH 自由基的清除能力高于石油醚组分,该结果与试验的研究结果一致。而 ABTS 自由基清除能力方面,人心果叶水相组分的清除率高于石油醚组分,甚至高于正丁醇组分,与嘉宝果嫩叶^[17]和豆腐柴叶^[18]的又略有不同。一般石油醚组分和水相组分由于极性相差较大,其所含主要活性物质差异较大,导致在不同抗氧化体系中表现出来的抗氧化能力差异也较大。

对比人心果叶不同极性组分的总酚和总黄酮含量,分析发现几种不同抗氧化体系表现的抗氧化活性与其总酚和总黄酮含量的相关性存在差异,可能是由不同的抗

氧化机理以及自由基清除原理不同导致的;或者是由于不同极性组分所含活性物质之间存在协同作用而导致的差异。例如水相组分虽然总黄酮含量最低,但其对 ABTS 自由基清除能力高于石油醚组分,以及总酚和总黄酮含量都高的正丁醇组分,表明人心果叶不同极性组分抗氧化活性不仅与总酚和总黄酮含量相关,与其他活性成分及其之间的相互作用也有关。亦有研究^[21-23]报道,总酚和总黄酮与其抗氧化活性呈相关性,且相关性存在差异。

2.3 不同极性组分的抗菌活性

由表 1 可知,人心果叶各极性组分对革兰氏阳性菌(金黄色葡萄球菌,枯草芽孢杆菌)的抗菌活性较强,而对革兰氏阴性菌(大肠杆菌)的抗菌活性较弱,人心果叶不同极性组分对大肠杆菌的 MIC 和 MBC 均大于 20 mg/mL,可能是由细菌菌株的细胞膜差异导致的^[24]。其中对金黄色葡萄球菌的抑制活性较为明显,不同极性组分中 EA 的抗菌活性最强,MIC 和 MBC 分别为 0.313, 0.625 mg/mL;PE 的抗菌活性最弱,MIC 和 MBC 分别为 2.500,1.250 mg/mL;Wa 的抗菌活性与 PE 的接近。而对枯草芽孢杆菌也表现出了一定的抑制作用,但其中 EA 的 MIC 和 MBC 分别为 5.000,10.000 mg/mL。这一结果与各极性组分抗氧化的结果一致。结合不同极性组分的总酚和总黄酮含量比较发现,抗氧化和抗菌活性与其所含总酚和总黄酮含量密切相关。Wei 等^[25]的研究也表明,富含总酚和总黄酮的植物具有抗菌潜力,但由于总酚和总黄酮所含物质种类的复杂性,且各成分之间可能存在协同作用等因素,很难将其总的抗菌活性归因于一种或者几种物质。

3 结论

采用 DPPH 自由基清除、ABTS 自由基清除和总抗氧化能力 3 种体外抗氧化活性测定的方法来综合评价人心果叶不同极性组分的抗氧化能力。结果表明,人心果叶各极性组分均具有一定的抗氧化能力和抗菌活性,且在一定质量浓度范围内,其抗氧化能力的大小和质量浓度之间存在明显的量效关系;同时表明人心果叶中所含抗氧化及抗菌活性物质的极性范围分布较广,种类丰富,

表 1 人心果叶不同极性组分抗菌活性

Table 1 Minimal inhibitory concentration (MIC) and minimal bactericidal concentration (MBC) values of different polar parts from *Manilkara zapota* leaves mg/mL

组分	金黄色葡萄球菌		枯草芽孢杆菌		大肠杆菌	
	MIC	MBC	MIC	MBC	MIC	MBC
PE	2.500	1.250	>20.000	>20.000	>20.000	>20.000
EA	0.313	0.625	5.000	10.000	>20.000	>20.000
Bu	0.625	2.500	>20.000	>20.000	>20.000	>20.000
Wa	1.250	1.250	>20.000	>20.000	>20.000	>20.000
青霉素	0.006	0.500	0.002	0.160	0.002	0.160

可以为天然抗氧化剂和抗菌剂的开发提供物质基础;且人心果叶各极性组分的抗氧化能力与其总酚和总黄酮含量存在一定的相关性,但并不是简单的线性相关,各极性组分所含物质种类存在差异,在不同抗氧化体系中表现出的抗氧化能力强弱顺序也存在差异。总体上乙酸乙酯组分的抗氧化能力最强,尤其在 DPPH 自由基清除能力方面,乙酸乙酯组分的清除作用强于维生素 C,且其中总酚和总黄酮的含量也最高,抗菌活性也最好,正丁醇组分的抗氧化能力、总酚和总黄酮含量以及抗菌活性次之。因此,后续的研究可从活性指导分离的角度,将乙酸乙酯组分作为其主要的活性成分组分,进行进一步的成分分离、结构鉴定以及探索更多生物活性等方面的研究。同时通过单体成分的分离和鉴定作为研究其相互间协同和拮抗作用的物质基础。

参考文献

- [1] 吴涛,张慧贤,张方州,等. 人心果不同溶剂提取物的抗氧化活性研究[J]. 南方农业, 2019, 13(27): 125-128, 140.
- [2] WANG Hong-yu, LIU Ting-ting, SONG Li-xia, et al, Profiles and α -amylase inhibition activity of proanthocyanidins in unripe *Manilkara zapota* (Chiku) [J]. J Agric Food Chem, 2012, 60(12): 3 098-3 104.
- [3] FAYEK N R, MONEM A R, MOSSA M Y, et al, Chemical and biological study of *Manilkara zapota* (L.) Van royen leaves (sapotaceae) cultivated in egypt[J]. Pharmacognosy Research, 2012, 4(2): 85-91.
- [4] MA Jun, LUO Xiao-dong, PETR P, et al, Bioactive novel polyphenols from the fruit of *Manilkara zapota* (Sapodilla) [J]. J Nat Prod, 2003, 66: 983-986.
- [5] 冯慧玲. 人心果叶缩合单宁分离纯化及其结构与生物活性的鉴定[D]. 厦门: 厦门大学, 2014.
- [6] HERNÁNDEZ B G I, DZUL R R E, VELÁZQUEZ M G M, et al. The influence of drying temperatures on the metabolic profiles and antioxidant activity of *Manilkara zapota* leaves [J]. Metabolites, 2019, 9(10): 217-225.
- [7] SARA T A, ABDULRAHMAN K A, ABDULLAH K A, et al. Protective effect of lyophilized sapodilla (*Manilkara zapota*) fruit extract against CCl_4 -induced liver damage in rats[J]. Saudi Journal of Biological Sciences, 2020, 27(9): 2 373-2 379.
- [8] 张秀梅, 骆党委, 朱祝英, 等. 3 种热带果树叶子甲醇粗提物的抗氧化活性比较[J]. 核农学报, 2015, 29(1): 95-100.
- [9] 陈海芳, 付琼, 马飞跃, 等. 热带果树叶子的抗氧化性评价[J]. 中国热带农业, 2016(3): 45-47.
- [10] 马飞跃, 张秀梅, 刘玉革, 等. 人心果叶片提取物抗氧化活性评价[J]. 中国南方果树, 2016, 45(6): 79-82.
- [11] ANWESA C, SANJIB R. In vitro free radical scavenging activities of aerial parts' aqueous extract and extract fractions of *Ampelocissus latifolia* (Roxb.) Planch in relation to total phenolics and

- flavonoid contents[J]. Journal of King Saud University-Science, 2020, 32(1): 732-739.
- [12] 禄璐, 米佳, 罗青, 等. 枸杞总黄酮提取工艺优化及其体外抗氧化活性分析[J]. 食品工业科技, 2019, 40(24): 165-171.
- [13] MA Fei-yue, GU Cheng-bo, LI Chun-ying, et al. Microwave-assisted aqueous two-phase extraction of isoflavonoids from *Dalbergia odorifera* T. Chen leaves [J]. Separation and Purification Technology, 2013, 115: 136-144.
- [14] 侯春莲. 木豆叶中牡荆苷与异牡荆苷提取纯化工艺及其抗菌活性研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2006: 48-50.
- [15] 薛雅荣, 薛海波, 郝丽琴, 等. 菠萝皮渣醇提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.
- [16] 康兆勇, 李玉霜, 吴过, 等. 厚朴叶不同极性溶剂萃取物总酚含量及体外抗氧化活性研究[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(24): 73-79.
- [17] 邱珊莲, 林宝妹, 张少平, 等. 嘉宝果嫩叶提取物不同极性部位抗氧化及抑制 α -葡萄糖苷酶活性研究[J]. 热带作物学报, 2019, 40(7): 1 373-1 378.
- [18] 孙零寒, 黄玲艳, 顾嘉昌, 等. 豆腐柴提取物不同极性部位的总酚、总黄酮含量及体外抗氧化活性[J]. 食品工业科技, 2017, 38(15): 55-58.
- [19] 刘刚, 姜唯唯, 吴京, 等. 芒果叶不同极性部位提取物的抗氧化活性[J]. 食品研究与开发, 2014, 35(11): 10-14.
- [20] 刘永玲, 叶思帆, 杨怡, 等. 野地瓜茎正丁醇萃取物中主要抗氧化活性成分的筛选[J]. 食品与机械, 2020, 36(6): 176-181.
- [21] 吴峰华, 刘相真, 杨虎清, 等. 覆盆子醇提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.
- [22] 黄越, 周春晖, 戴宏杰, 等. 猴头菇醇提物及其不同极性部位的体外抗氧化活性[J]. 食品工业科技, 2017, 38(21): 16-20.
- [23] 尹显楼, 詹济华, 谭洋, 等. 铁苋菜不同极性萃取物的抗氧化及抑菌活性研究[J]. 食品与机械, 2019, 35(6): 172-176.
- [24] ARAÚJO F M, DANTAS M C, SILVA L S, et al. Antibacterial activity and chemical composition of the essential oil of *Croton heliotropifolius* Kunth from Amargosa Bahia, Brazil [J]. Ind Crop Prod, 2017, 105: 203-206.
- [25] WEI Zuo-fu, ZHAO Ren-na, DONG Li-jia, et al. Dual-cooled solvent-free microwave extraction of *Salvia officinalis* L. essential oil and evaluation of its antimicrobial activity[J]. Ind Crop Prod, 2018, 120: 71-76.

信息窗

更正启事

刊登于我刊 2021 年第 4 期第 37 卷的《蛋黄凝胶形成机理及影响因素研究进展》一文,由于作者笔误和审核不细致,导致作者姓名有误。文章第二作者“徐旖梦”应为“徐旻梦”,第三作者“遇仕友”应为“遇世友”,特此更正。

《食品与机械》编辑部
2021 年 5 月