

火龙果花的体外抗氧化物提取工艺优化 及其抗炎活性

张艳军, 廖日权, 郑云云, 尹艳镇, 黄秋园, 徐国鑫, 黄恩交, 朱靖清, 吴彩丽

(钦州学院石油与化工学院, 广西高校北部湾石油天然气资源有效利用重点实验室, 广西钦州 535011)

摘要:旨在为探究火龙果花的抗氧化物提取工艺及其抗炎活性。选取火龙果花为原料, 用热回流法提取, 以粗提液对 DPPH 自由基及 OH 自由基的清除能力为指标, 先进行单因素实验, 考察提取温度、料液比、提取时间以及乙醇浓度对粗提物抗氧化活性的影响, 再采用 $L_9(3^4)$ 正交试验法, 优化火龙果花的体外抗氧化物提取工艺。结果表明: 70% 乙醇, 1:30 g/mL 料液比, 75 °C 下回流加热 3.0 h 为最优提取条件, 在最佳提取工艺下粗提物对 DPPH 自由基、OH 自由基的 IC_{50} 值分别为 0.273、0.288 mg/mL, 且在一定范围内, 粗提物的浓度越高, 其抗氧化活性越好, 量效关系明显。最佳工艺条件下, 粗提物对 LPS 诱导 RAW264.7 巨噬细胞产生的 NO 有很强的抑制作用, 且与浓度呈正相关, 具有剂量依赖性, 其半抑制浓度 IC_{50} 值为 13.94 μ g/mL, 该提取物具有很好的抗炎活性。

关键词: 火龙果花, 正交试验, 提取工艺, 抗氧化活性, 抗炎活性

Optimization of Extraction Technology on Antioxidants *in Vitro* from Pitaya Flower and Evaluation of Anti-inflammatory Activities

ZHANG Yan-jun, LIAO Ri-quan, ZHENG Yun-yun, YIN Yan-zhen, HUANG Qiu-yuan,
XU Guo-xin, HUANG En-jiao, ZHU Jing-qing, WU Cai-li

(Guangxi Colleges and Universities Key Laboratory of Beibu Gulf Oil and Natural Gas Resource Effective Utilization,
College of Chemistry and Chemical Engineering, Qinzhou University, Qinzhou 535011, China)

Abstract: To investigate the optimum technology for extraction of antioxidants and the extracts' anti-inflammatory activity from pitaya flower, the antioxidant activity *in vitro* of the extracts from pitaya flower was determined by scavenging capacity of DPPH· and ·OH. The effects of extraction temperature, solid-liquid ratio, extraction time and ethanol concentration were studied through the single factor experiments, and $L_9(3^4)$ orthogonal test was used to explore the antioxidant activities of extracts from pitaya flower *in vitro*. The results showed that, the optimized conditions were: 70% ethanol, the solid-liquid ratio of 1:30 g/mL, when treatment time was 3.0 h at 75 °C. Under these optimized conditions, the IC_{50} for scavenging capacity of the extracts against DPPH· and ·OH were 0.273, 0.288 mg/mL, respectively. And within a certain range, the higher the concentration of the crude extract, the better its antioxidant activity, which had an obviously dose-effect relationship. Moreover the extracts under the optimized conditions could decrease secretions of NO in LPS-induced RAW264.7 macrophage cells, and the anti-inflammatory activity for the extracts increased in a concentration-dependent manner with IC_{50} value of 13.94 μ g/mL. The extracts had good antioxidant activity and anti-inflammatory activity *in vitro*.

Key words: pitaya flower; orthogonal test; extraction technology; antioxidant activities; anti-inflammatory activities

中图分类号: TS201.2

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2018)18-0137-06

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2018.18.025

引文格式: 张艳军, 廖日权, 郑云云, 等. 火龙果花的体外抗氧化物提取工艺优化及其抗炎活性[J]. 食品工业科技, 2018, 39(18): 137-142, 82.

火龙果 (Pitaya) 是仙人掌科, 三角柱属植物^[1]。火龙果花包含了人体必需的氨基酸、维生素、微量元素、膳食纤维、蛋白质、不饱和脂肪酸等多种营养成分, 且其药用成分广泛, 主要含黄酮、萜类、多酚类等

活性物质^[2-4]。火龙果花中特有的粘液, 富含营养, 具有较高药用价值, 能起到抑菌、消炎、清火、润肺、止咳、增强免疫力、降血糖、降血脂、降血压、抗癌、治疗高尿酸症等作用^[5-7]。

收稿日期: 2017-12-14

作者简介: 张艳军 (1980-), 女, 硕士, 研究方向: 天然产物活性物质的提取、分离, E-mail: zhangyj201608@163.com。

基金项目: 本课题获广西教育厅项目资助 (2017KY0779); 广西自然科学基金项目资助 (2017GXNSFBA198083); 广西高校北部湾石油天然气资源有效利用重点实验室开放课题基金资助 (2017KLOG16)。

近年来,学者们对火龙果花的研究较多,主要涉及火龙果花的干制^[8]、保健饮料的制作^[9]、营养成分的研究等^[2]方面。周俊良等^[10]以脱水火龙果花为原料,研制出蜂蜜火龙果花茶饮料的最佳配比工艺,在此条件下该茶饮料的感官评价分数高,满足大众口味。高慧颖等^[11]探讨超声波辅助提取火龙果花多糖的工艺条件,多糖抗氧化活性的结果显示,其具有较强的抗氧化活性。王琦等^[12]探索了不同粉碎度、有机溶剂、温度以及提取时间对火龙果花精油提取率的影响,确立了火龙果花精油的最佳提取工艺条件。火龙果花因在药食两方面的广泛用途,具有较大的开发前景,而目前对火龙果花的体外抗氧化物提取工艺及抗炎活性的研究未见报道。

本文以火龙果花为研究对象,以乙醇为溶剂,先进行单因素实验,在此基础上采用正交试验进行火龙果花体外抗氧化物提取工艺优化,寻求最佳的提取工艺条件;并对最佳工艺条件下的粗提物进行了体外抗炎活性研究。该研究旨在为火龙果花的开发利用奠定基础 and 提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料与仪器

火龙果干花 粉碎后过 80 目筛,至于干燥器中备用,广西钦州市火龙果基地,粉碎,过 80 目筛,备用;DPPH(即二苯代苦味酰肼)、V_C、LPS(脂多糖)、胰酶、MTT(噻唑蓝) 美国 Sigma 公司;Hyclone DMEM 培养基、血清 美国 Gibco 公司;RAW264.7 小鼠巨噬细胞 中科院上海生命研究院;NO 检测试剂盒(Griess 试剂 I 和 Griess 试剂 II) 碧云天生物技术有限公司;乙醇、FeSO₄、水杨酸、过氧化氢等均为分析纯。

T6 型可见分光光度计 北京普析通用仪器有限责任公司;FB214C 型电子天平 上海精密科学仪器有限公司;M1000 型多功能酶标仪 瑞士 tecan 公司;311 型 CO₂ 培养箱 美国 Thermo 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 提取工艺 准确称量火龙果花约 2.0 g,在一定的温度、液料比和一定浓度的乙醇中,回流提取一定的时间,磁力搅拌辅助,回流完成后趁热抽滤,将滤液转移至 100 mL 容量瓶中,并用同浓度乙醇定容,得到的待测样品进行下一步的抗氧化活性测定。

1.2.2 单因素实验设计 提取温度对火龙果花提取物体外抗氧化活性的影响:预先设定料液比为 1:25 g/mL,乙醇浓度为 75%,回流时间 2 h,通过改变提取温度,分别设定为 45、55、65、75、85 °C 五个水平,来探究提取温度对火龙果花提取液抗氧化活性的影响。料液比对火龙果花提取物体外抗氧化活性的影响:设定提取温度 75 °C,乙醇浓度为 75%,回流时间 2h,通过改变料液比,分别设定为 1:20、1:25、1:30、1:35、1:40 g/mL 五个水平,来探究料液比对火龙果花提取液体外抗氧化活性的影响。提取时间对火龙果花提取物体外抗氧化活性的影响:设定温度 75 °C 和液料比 1:30 g/mL,乙醇浓度为 75%,通过改变回流时间,分别设定为 1.5、2.0、2.5、3.0、3.5 h 五个

水平,来探究提取时间对火龙果花提取液抗氧化活性的影响。溶剂乙醇浓度对火龙果花提取物体外抗氧化活性的影响:设定温度 75 °C,液料比 1:30 g/mL 和时间 3.0 h,通过改变溶剂乙醇浓度,分别设定为 60%、70%、80%、90%、100% 五个水平来探究溶剂乙醇浓度对火龙果花提取液体外抗氧化活性的影响。

1.2.3 正交试验设计 根据火龙果花体外抗氧化活性单因素实验结果,对影响火龙果花抗氧化活性的四个因素(提取温度 A,提取时间 B,料液比 C,乙醇浓度 D)采用正交试验法优化提取工艺,采用 L₉(3⁴) 正交表进行试验,因素水平见表 1。

表 1 正交试验设计因素水平表

Table 1 Factors and levels table of orthogonal test

水平	因素			
	A 提取温度 (°C)	B 提取时间 (h)	C 料液比 (g/mL)	D 乙醇 浓度(%)
1	65	2.5	1:25	60
2	75	3.0	1:30	70
3	85	3.5	1:35	80

1.2.4 体外抗氧化实验

1.2.4.1 DPPH 自由基清除率的测定 参照文献[13],取待测样品各 2 mL,分别加入 2 mL 1.0 × 10⁻⁴ mol/L DPPH,摇匀后暗室存放,30 min 后,在 517 nm 测溶液的吸光值,并用空白液进行参比。每份样品平行测定 3 次取平均值。由所测得的吸光度值,计算出各待测样品对 DPPH 自由基的清除率 K₁,即用下式计算:

$$\text{清除率 } K_1(\%) = [1 - (A_i - A_j) / A_0] \times 100$$

式中:A_i—DPPH 溶液和待测溶液吸光度;A_j—待测溶液和溶剂吸光度;A₀—DPPH 溶液和溶剂的吸光度。

1.2.4.2 OH 自由基清除率的测定 参照文献[14],待测样品各 2 mL,加入 6 mmol/L 硫酸亚铁 2 mL,再加入 6 mmol/L 水杨酸-乙醇 2 mL,最后加入 6 mmol/L 的过氧化氢溶液 2 mL,摇匀后水浴 37 °C,0.5 h,在 510 nm 处测定吸光值 A₁。以等体积水代替水杨酸-乙醇溶液,测定吸光值 A₂,以扣除样品本身颜色干扰,以等体积水代替样品,为空白样,测定吸光值 A₀,每份样品平行测定 3 次,取平均值。由所测得的吸光度值,计算出各待测样品对 OH 自由基的清除率 K₂,即用下式计算:

$$\text{清除率 } K_2(\%) = [1 - (A_1 - A_2) / A_0] \times 100$$

式中:A₁—样品 + 硫酸亚铁 + 水杨酸-乙醇 + 过氧化氢的吸光度;A₂—样品 + 硫酸亚铁 + 蒸馏水 + 过氧化氢的吸光度的吸光度;A₀—蒸馏水 + 硫酸亚铁 + 水杨酸-乙醇 + 过氧化氢的吸光度。

1.2.4.3 样品对自由基的半清除浓度(IC₅₀)测定 在最佳工艺条件下,回流提取样品后,将样品减压浓缩,置于真空干燥箱烘干。将样品配制成浓度为 0.1、0.2、0.3、0.4、0.5 mg/mL,以不同浓度的 V_C 为阳性对照,分别测定其对 DPPH 自由基与 OH 自由基的清除率,计算其半清除浓度。

1.2.5 体外抗炎活性测试

1.2.5.1 不同浓度样品对细胞活力影响 根据 MTT 法^[15-16],选取了 2.5、5.0、10.0、20.0 $\mu\text{g/mL}$ 四个浓度各 10 mL,判断这四个剂量组以及 100 ng/mL LPS(脂多糖)处理对巨噬细胞 RAW264.7 活力影响,设定未加药(加入 DMEM 培养基)正常组细胞活力为 100%。

1.2.5.2 不同浓度样品对 LPS 诱导的 RAW264.7 巨噬细胞中 NO 含量的影响 利用 griess 法^[17],将密度为 2×10^6 个/mL 的 RAW264.7 巨噬细胞,以每孔 180 μL 均匀接种于 96 孔板中,细胞贴壁 2 h 后,每孔分别加入 10 μL 2 $\mu\text{g/mL}$ LPS,4 h 后加入 10 μL 2.5、5.0、10.0、20.0 $\mu\text{g/mL}$ 粗提取物,设 LPS 对照和空白对照,每个浓度设 4 个复孔,培养 24 h 后取培养液上清于 96 孔板中,按 50 $\mu\text{L/孔}$,在各孔中室温加入 Griess 试剂 I 和 Griess 试剂 II,标准品用 DMEM 稀释,浓度分别为 0.00、1.56、3.12、6.25、12.50、25.00、50.00、100.00 $\mu\text{mol/L}$,以 10% DMEM 加显色剂为空白对照,在 540 nm 酶标仪测定各孔吸光度值,以 NaNO_2 为标准品,按标准曲线回归方程求出待测样品中 NO 浓度。

1.3 数据处理

采用 Microsoft excel 2017, Origin Pro 8, SPSS 17.0 进行数据处理,单因素试验和抗氧化、抗炎活性测定均重复 3 次,取平均值。

2 结果与分析

2.1 单因素实验结果

2.1.1 提取温度对火龙果花提取物抗氧化活性的影响 由图 1 可知,提取温度对 DPPH 自由基及 OH 自由基的清除率都有着一定的影响,在温度为 45~75 $^{\circ}\text{C}$ 时,提取液对 DPPH 自由基和 OH 自由基清除率随温度的上升而增加,但超过 75 $^{\circ}\text{C}$ 后,清除率随温度的上升而减小,这可能是因为,过高的温度会使火龙果花中抗氧化活性成分多酚、花青素、多糖等的结构被破坏^[18],从而使提取物对 DPPH 自由基和 OH 自由基的清除率减小。综上可知,75 $^{\circ}\text{C}$ 下提取时提取物对自由基的清除能力最强。

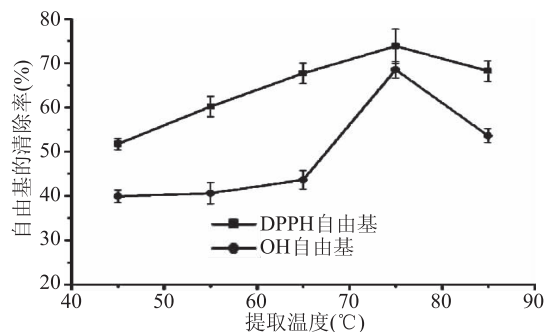


图1 提取温度对 DPPH 和 OH 自由基清除率的影响
Fig.1 Effects of extracting temperature on the DPPH and OH radical-scavenging

2.1.2 料液比对火龙果花提取物抗氧化活性的影响 由图 2 可看出,样品和溶剂在不同的比例下,对 DPPH 自由基清除率及 OH 自由基的清除率影响也不同,且在料液比为 1:20~1:30 g/mL 范围内,清除率随料液比的增加而上升,这是由于,随着提取溶液

的增多,样品在溶液中的分散程度增大,提取物与溶剂的接触面积增大,有利于火龙果花中抗氧化活性成分能充分溶出。但超过 1:30 g/mL 后,清除率变化不大,这可能是由于达到一定的料液比时,火龙果花提取液中的抗氧化活性成分多糖、黄酮等基本溶解完全,溶剂量继续增加,抗氧化活性成也不会再有所增加,考虑到实验过程中原料的经济性与实验的效率,选定料液比在 1:30 g/mL 为最佳。

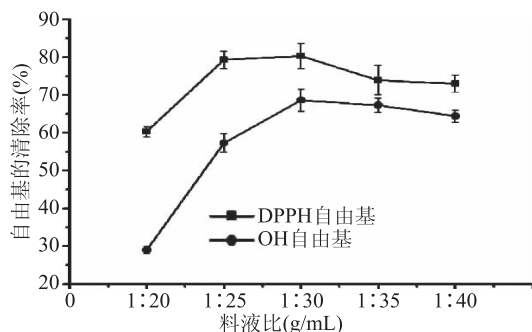


图2 料液比对 DPPH 和 OH 自由基清除率的影响
Fig.2 Effects of solid-liquid ratio on the DPPH and OH radical scavenging rate

2.1.3 提取时间对火龙果花提取物抗氧化活性的影响 由图 3 可知,在热回流法提取火龙果花体外抗氧化性的实验中,提取的时间对清除率有影响,且呈这样一个规律:提取时间 1.0~3.0 h 时,提取液对 DPPH 自由基和 OH 自由基的清除率都呈上升趋势,而超过 3.0 h 后,清除率呈下降趋势,这可能是因为,火龙果花提取液中的抗氧化活性成分在一定时间、温度下与溶剂充分接触,基本已经溶解完全,继续增加时间,反而会使得某些成分被破坏^[19]。因此,提取时间设定在 3.0 h,提取效果最佳,提取液清除自由基能力最强。

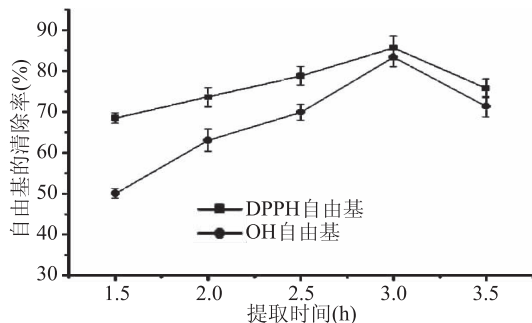


图3 提取时间对 DPPH 和 OH 自由基清除率的影响
Fig.3 Effects of extracting time on the DPPH and OH radical scavenging rate

2.1.4 溶剂浓度对火龙果花提取物抗氧化活性的影响 由图 4 可知,提取溶剂的浓度对自由基的清除率影响趋势是:当乙醇浓度为 60%~70% 范围时,清除率呈逐渐上升的趋势,但当乙醇浓度继续增加时,提取液最自由基的清除率反而下降,这可能是由于高浓度的乙醇极性偏小,会使火龙果花中的蛋白、多糖等极性稍大的成分凝固而不能溶解,或者一些酚类不能被溶出^[20],抗氧化活性成分的溶解度变低,导致提取物与对自由基的清除率能力下降。故设定

表2 $L_9(3^4)$ 正交试验设计及结果Table 2 $L_9(3^4)$ orthogonal test design and results

实验号	A	B	C	D	DPPH 自由基清除率(%)	OH 自由基清除率(%)
1	1	1	1	1	48.96	47.60
2	1	2	2	2	81.74	78.98
3	1	3	3	3	61.92	51.63
4	2	1	2	3	76.81	65.88
5	2	2	3	1	53.11	51.02
6	2	3	1	2	80.52	78.62
7	3	1	3	2	76.14	61.29
8	3	2	1	3	73.17	60.26
9	3	3	2	1	58.91	56.27
k_1	64.20	67.30	67.55	53.66		
k_2	70.15	69.34	72.49	79.47		
k_3	69.41	67.102	63.702	70.63		
R	5.94	2.22	8.76	25.81		
k'_1	59.07	58.25	62.16	51.63		
k'_2	65.17	63.09	66.71	72.62		
k'_3	59.27	62.17	54.64	59.26		
R'	6.10	4.83	12.07	21.00		

70%的乙醇浓度为最佳条件。

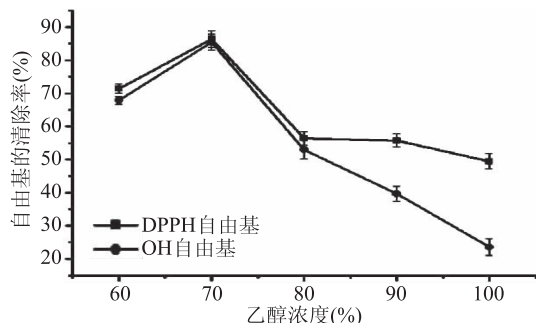


图4 乙醇浓度对DPPH和OH自由基清除率的影响

Fig.4 Effects of ethanol concentration on the DPPH and OH radical scavenging rate

2.2 正交实验结果及验证

在单因素实验基础上,按 $L_9(3^4)$ 进行正交试验设计(见表2)。

本实验研究了提取温度、提取时间、料液比以及乙醇浓度四个因素对火龙果花提取物体外抗氧化活性的影响,由正交实验的结果中极差分析得,影响火龙果花提取的因素主次顺序为 $D > C > A > B$,即乙醇浓度对结果影响最大,其次是料液比,接着是提取温度,提取时间的影响最小。根据 $L_9(3^4)$ 正交实验确定出最佳提取工艺条件为 $A_2B_2C_2D_2$,即提取温度为 $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、提取时间为 3.0 h 、料液比为 $1:30\text{ g/mL}$ 、溶剂乙醇浓度为 70% ,在最佳提取工艺下所测得的 DPPH 自由基清除率达到 $86.40\% \pm 1.07\%$,OH 自由基的清除率达到 $83.50\% \pm 0.52\%$ 。

2.3 最佳提取工艺条件下样品对自由基的半清除浓度(IC_{50})

在最佳工艺条件下所得样品,由图5和图6可知,样品与 V_c 对自由基的清除能力随着样品浓度的

增加而增大,计算其对自由基的半清除浓度。结果表明:样品对 DPPH 自由基的清除曲线方程: $y = 185.17x - 0.493$, $R^2 = 0.9985$, IC_{50} 值为 0.273 mg/mL , V_c 对 DPPH 自由基: $y = 790.62x + 17.12$, $R^2 = 0.9974$, IC_{50} 值为 0.0416 mg/mL ;样品对 OH 自由基的清除曲线方程: $y = 178.27x - 0.132$, $R^2 = 0.9974$, IC_{50} 值为 0.288 mg/mL 。 V_c 对 OH 自由基的清除曲线方程: $y = 140.94x - 0.877$, $R^2 = 0.9986$, IC_{50} 值为 0.361 mg/mL 。综上所述,样品对 DPPH 自由基的清除率低于 V_c ,而样品对 OH 自由基的清除率高于 V_c 。

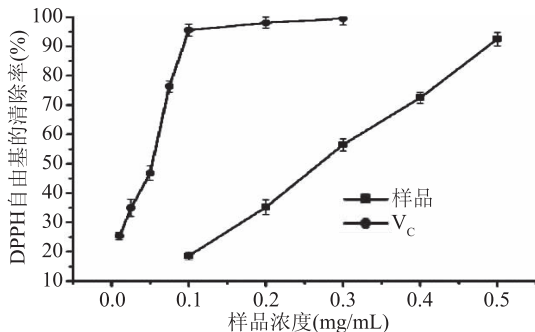


图5 样品浓度对DPPH自由基清除能力的影响

Fig.5 Effect of sample concentration on DPPH· radical scavenging ability

2.4 最佳提取工艺条件下体外抗炎活性测定结果

2.4.1 不同浓度的样品对细胞活力的影响 由图7试验结果表明,与正常组相比,选取的四个剂量组以及LPS的加入对RAW264.7细胞活力也无显著差异($p > 0.05$)。证明在实验设置的药物剂量下,设定浓度的样品没有细胞毒性。

2.4.2 粗提取物对LPS诱导RAW264.7巨噬细胞中NO的作用 从图8中可见,相较于正常组,LPS作用后的RAW264.7巨噬细胞中NO含量极显著增大($p <$

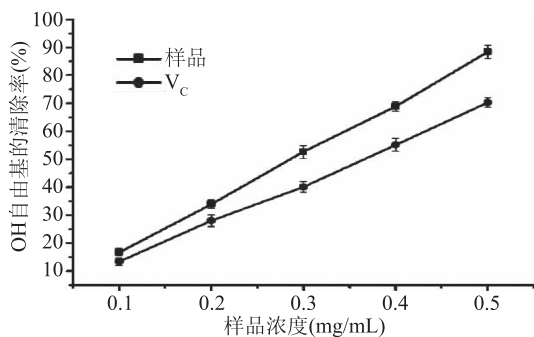


图6 样品浓度 OH 自由基的清除能力的影响

Fig.6 Effect of sample concentration on OH radical scavenging ability

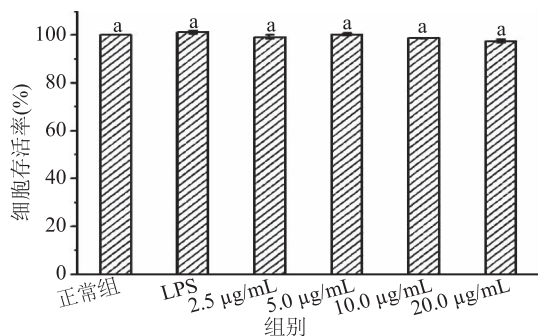


图7 粗提物浓度对细胞活力的影响

Fig.7 Effect of extract concentration on cell viability

注: a 表示组间差异不显著 ($p > 0.05$, $n = 3$)。

0.01); 相较于 LPS 组, 粗提物可极显著抑制 NO 的释放 ($p < 0.01$), 且浓度越大, 化合物对 LPS 诱导 RAW264.7 细胞产生 NO 的抑制作用越强。表明化合物通过抑制 NO 的释放表现出来的抗炎活性与浓度呈正相关, 具有剂量依赖性, 得抑制率与样品浓度曲线方程: $y = 2.502x + 15.15$, $R^2 = 0.980$ (x 为样品浓度, $\mu\text{g/mL}$; y 对 NO 的抑制率, %), 算得粗提物对 NO 的半抑制浓度 IC_{50} 为 $13.94 \mu\text{g/mL}$ 。

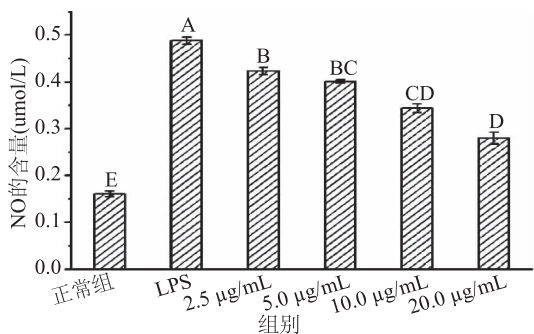


图8 粗提物浓度对细胞中 NO 的影响

Fig.8 Effect extract concentration on NO in cell

注: 不同大写字母表示组间差异极显著 ($p < 0.01$, $n = 3$)。

3 结论

本实验对火龙果花粗提物体外抗氧化活性工艺及抗炎进行了初步探究。实验结果表明: 在 70% 乙醇, 1:30 g/mL 料液比, 提取温度 75°C , 3.0 h 热回流为最佳提取条件, 此条件下粗提物对 DPPH 自由基的 IC_{50} 值为 0.273 mg/mL , OH 自由基的 IC_{50} 值为

0.288 mg/mL 。最佳工艺条件下提取物对 LPS 诱导 RAW264.7 巨噬细胞产生的 NO 有很强的抑制作用, 且与浓度呈正相关, 具有剂量依赖性, 其半抑制浓度 IC_{50} 值为 $13.94 \mu\text{g/mL}$, 可见火龙果花具有较好的体外抗氧化和抗炎活性。有关资料显示火龙果花中含有丰富的多糖、黄酮和黄酮醇、三萜类化合物等活性物质^[2,21], 这些物质涉及抗氧化^[11]、抗炎^[22]等功效与本研究结果一致。该研究为拓宽火龙果花综合利用途径奠定基础 and 提供理论依据, 为火龙果花的药用成分的进一步研究提供了一定的实验依据, 为火龙果花资源的开发利用打下基础。

参考文献

- [1] 高慧颖, 王琦, 余亚白, 等. 火龙果花的研究现状与开发前景[J]. 热带生物学报, 2012, 3(3): 281-286.
- [2] 蔡永强, 郑伟, 王彬. 火龙果花营养成分分析[J]. 西南农业学报, 2010, 23(1): 283-286.
- [3] Lin H K, Tan C P, Karim R, et al. Chemical composition and DSC thermal properties of two species of hylocereus cacti seed oil: *Hylocereus undatus* and *Hylocereus polyrhizus* [J]. Food Chemistry, 2009, 119(4): 1326-1331.
- [4] 高慧颖, 黄贤贵, 王琦, 等. 滩涂种植火龙果花的营养成分分析评价[J]. 黑龙江农业科学, 2016(2): 114-117.
- [5] 王领, 何聪芬, 董银卯, 等. 火龙果的生物学特性及开发利用概况[J]. 北方园艺, 2008(3): 57-60.
- [6] 王彬, 郑伟, 蔡永强. 火龙果果实发育期间营养元素含量的变化[J]. 热带作物学报, 2015, 36(7): 1242-1246.
- [7] 朱春华, 李进学, 龚琪, 等. 火龙果加工综合利用状况[J]. 保鲜与加工, 2014, 4(1): 57-61, 64.
- [8] 夏杏洲, 胡雪琼, 湛素华. 霸王花(火龙果花)干制工艺的研究[J]. 食品研究与开发, 2006, 27(6): 80-82.
- [9] 夏杏洲, 钟日初, 郭茵薇. 火龙果花保健饮料的研制[J]. 现代食品科技, 2004, 20(4): 69-71.
- [10] 周俊良, 沈佳奇, 马玉华, 等. 火龙果花茶浸提工艺的优化[J]. 贵州农业科学, 2016, 44(12): 121-124.
- [11] 高慧颖, 王琦, 黄贤贵, 等. 火龙果花不同部位多糖的测定及其体外抗氧化活性[J]. 福建农业学报, 2015, 30(10): 944-947.
- [12] 王琦, 高慧颖, 郑亚凤, 等. 响应面法优化有机溶剂提取火龙果花精油工艺的研究[J]. 福建农业学报, 2014, 29(1): 72-77.
- [13] 熊双丽, 卢飞, 史敏娟, 等. DPPH 自由基清除活性评价方法在抗氧化剂筛选中的研究进展[J]. 食品工业科技, 2012, 33(8): 380-383.
- [14] 段志芳, 付莉. 剑花水提取液化学成分清除自由基作用研究[J]. 食品科技, 2011, 36(9): 262-266.
- [15] 孟雪莲, 刘佳, 刘莹莹, 等. 虫草素对脂多糖诱导巨噬细胞过度活化的抑制作用研究[J]. 食品工业科技, 2017, 38(13): 297-301, 306.
- [16] Huang M Y, Lin J, Huang Z, et al. Design, synthesis and anti-inflammatory effects of novel 9-O-substituted-berberine derivatives[J]. Medicinal Chemistry Communications, 2016(7): 658-666.

- [17] Choi W S, Shin P G, Lee J H, et al. The regulatory effect of veratric acid on NO production in LPS-stimulated RAW264.7 macrophage cells [J]. Cellular Immunology, 2012, 280 (2): 164-170.
- [18] 耿小双, 熊晨阳, 刘光荣, 等. 竹荪多糖提取工艺及其抗氧化性的研究[J]. 食品工业科技, 2018, 39 (13): 223-226. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1759.TS.20180210.1151.058.html>.
- [19] Ko M J, Cheigh C I, Chung M S. Relationship analysis between flavonoids structure and subcritical water extraction

(上接第82页)

- Reaction Associated Fluorescence in Cereal-Based Products[J]. Czech Journal of Food Sciences, 2008, 26(5): 339-346.
- [23] 李向红, 王发祥, 张付兰, 等. 冷藏过程中草鱼肌原纤维蛋白结构的变化[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41 (10): 177-181.
- [24] Pearce K N, Kinsella J E. Emulsifying properties of proteins: Evaluation of a turbidimetric technique[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1978, 26(3): 716-723.
- [25] Yamaguchi K, Nomi Y, Homma T, et al. Determination of furosine and fluorescence as markers of the Maillard reaction for the evaluation of meat products during actual cooking conditions [J]. Food Science and Technology Research, 2012, 18 (1): 67-76.
- [26] Pirestani S, Nasirpour A, Keramat J, et al. Preparation of chemically modified canola protein isolate with gum Arabic by means of Maillard reaction under wet-heating conditions [J]. Carbohydrate Polymers, 2017, 155: 201.
- [27] Jing H, Kitts D D. Chemical and biochemical properties of casein-sugar Maillard reaction products [J]. Food and Chemical Toxicology An International Journal Published for the British Industrial Biological Research Association, 2002, 40(7): 1007.
- [28] Boekel M A J S V. Kinetic aspects of the Maillard reaction: A critical review [J]. Molecular Nutrition and Food Research, 2001, 45(3): 150-9.
- [29] Sun W W, Yu S J, Zeng X A, et al. Properties of whey protein isolate-dextran conjugate prepared using pulsed electric field [J]. Food Research International, 2011, 44(4): 1052-1058.
- [30] Guo X, Xiong Y L. Characteristics and functional properties of buckwheat protein-sugar Schiff base complexes [J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 51(2): 397-404.
- [31] Matiacevich S B, Buera M P. A critical evaluation of fluorescence as a potential marker for the Maillard reaction [J].

(SWE) [J]. Food Chemistry, 143(1): 147-55.

- [20] Li Y, Jiang J G, Li W F, et al. Optimum extraction process of polyphenols from the bark of *Phyllanthus emblica* L. based on response surface methodology [J]. Journal of Separation Science. 2009, 32(9): 1437-1444.
- [21] 黄翠萍. 火龙果花的化学成分研究及黄酮、三萜和木脂素类化合物的质谱解释 [D]. 桂林: 广西师范大学, 2010.
- [22] 侯晓丽, 孙铭学, 高焕焕, 等. 抗炎天然产物活性成分研究进展 [J]. 药学实践杂志, 2015, 33(1): 20-27.

Food Chemistry, 2006, 95(3): 423-430.

- [32] Tarassuk N P, Simonson H D. Browning and the fluorescence of evaporated milk. [J]. Food Technology Champaign, 1950, 4(3): 88-92.
- [33] Jiang Z, Brodtkorb A. Structure and antioxidant activity of Maillard reaction products from α -lactalbumin and β -lactoglobulin with ribose in an aqueous model system [J]. Food Chemistry, 2012, 133(3): 960-968.
- [34] 程恒, 陈尚武, 景浩. 3种乳蛋白与乳糖在不同湿度条件下美拉德反应进程的研究 [J]. 食品科技, 2013(6): 58-66.
- [35] Geng X, Cui B, Li Y, et al. Preparation and characterization of ovalbumin and carboxymethyl cellulose conjugates via glycosylation [J]. Food Hydrocolloids, 2014, 37(37): 86-92.
- [36] Huang Y T, Liao H F, Wang S L, et al. Glycation and secondary conformational changes of human serum albumin: study of the FTIR spectroscopic curve-fitting technique [J]. Aims Biophysics, 2016, 3(2): 247-260.
- [37] Sun Y, Hayakawa S, Izumori K. Modification of ovalbumin with a rare ketohexose through the Maillard reaction: effect on protein structure and gel properties [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2004, 52(5): 1293-1299.
- [38] Enomoto H, Li C P, Morizane K, et al. Glycation and phosphorylation of beta-lactoglobulin by dry-heating: Effect on protein structure and some properties [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55(6): 2392.
- [39] 闫冰, 房子舒, 高彦祥, 等. ϵ -聚赖氨酸与葡聚糖糖基化反应初级阶段产物的乳化性研究 [J]. 食品工业科技, 2012, 33(9): 53-57.
- [40] 陆钊. 糖基化反应改进大米蛋白功能性质的研究 [D]. 无锡: 江南大学, 2008.
- [41] 高守义, 刘廷福. 一元线性回归相关系数显著性检验 [J]. 林业勘察设计, 1981(1): 36.

全国中文核心期刊
轻工行业优秀期刊