

余甘子叶总黄酮的超声波法提取工艺优化及其抗氧化能力研究

Optimization of ultrasonic-assisted extraction of total flavonoids from leaves of *phyllanthus emblica* and its antioxidant capacity

杜丽娟^{1,2} 苏秀芳^{1,2} 黄成银^{1,2}

DU Li-juan^{1,2} SU Xiu-fang^{1,2} HUANG Cheng-yin^{1,2}

(1. 广西民族师范学院生物与食品工程学院, 广西 崇左 532200;

2. 广西高校桂西南特色植物资源化学重点实验室培育基地, 广西 崇左 532200)

(1. College of Biology and Food Engineering, Guangxi Normal University for Nationalities, Chongzuo, Guangxi 532200, China; 2. Guangxi Colleges and Universities Key Laboratory Breeding Base of Chemistry of Guangxi Southwest Plant Resources, Chongzuo, Guangxi 532200, China)

摘要:以余甘子叶为原料,采用超声法提取总黄酮物质,并进行抗氧化能力测定。结果表明,余甘子叶总黄酮的最佳提取工艺为料液比 1:25 (g/mL)、乙醇浓度 60%、超声功率 70 W、提取时间 20 min、提取温度 60 ℃,此条件下的余甘子叶总黄酮提取率高达 14.57%。余甘子叶总黄酮具有较强的自由基清除能力,当浓度为 0.5 mg/mL 时,·OH 清除率为 82.72%,NaNO₂ 清除率为 66.14%;当浓度为 0.08 mg/mL 时,DPPH·清除率为 97.40%。

关键词:余甘子叶;总黄酮;超声提取;抗氧化能力

Abstract: Optimization ultrasonic-assisted extraction of total flavonoid from leaves of *phyllanthus emblica* was investigated and its antioxidant capacity was determined. Through single factor experiment and orthogonal experiment, the optimization of ultrasonic-assisted extraction of total flavonoids was determined as follows, including the ratio of material to liquid 1:25 (g/mL), ethanol concentration 60%, ultrasonic power 70 W, and extraction at 60 ℃ for 20 min. Under the control of these conditions, the extraction rate of the total flavonoids from leaves of *P. emblica* was as high as 14.57%. Moreover, the total flavonoids from leaves of *P. emblica* were found good scavenging effect. With the use of 0.5 mg/mL total flavonoid, the clearance rate of

·OH was found to be 82.72%, and that of NaNO₂ was 66.14%. When 0.08 mg/mL total flavonoid was used, the clearance rate of DPPH· was determined to be 97.40%.

Keywords: *phyllanthus emblica*; total flavonoids; ultrasonic extraction; antioxidant activity

余甘子(*Phyllanthus emblica* L.)为大戟科叶下珠属植物,广泛分布于广东、广西、云南等^[1]。余甘子营养丰富,是一种难得的食药两用物质,被联合国卫生组织指定为在世界范围内推广种植的 3 种保健植物之一^[2]。目前,余甘子果实的研究主要集中于黄酮、单宁等物质的提取^[3];抗氧化、护肝^[4]、防癌^[5]等功能性的评价;果酒^[6]、果醋^[7]、含片等功能性食品或药品的研究开发。张伦等^[8]对比了余甘子树枝、树皮、树叶等组织原花色素的质量浓度及抗氧化能力,李舒等^[9-10]测定了余甘子叶总黄酮含量,并分析了其药理作用机理,有关余甘子叶总黄酮提取工艺及抗氧化能力的研究尚未见报道。

黄酮是一大类化合物的总称,其在植物中的含量因植物品种差异较大^[11]。黄酮具有多种功效,如抗氧化、抗炎、降血糖等作用^[12]。Tung 等^[13]发现余甘子对非酒精性脂肪肝具有一定的保护作用,可能与其活性物质黄酮成分密切相关。常用的黄酮提取技术有微波辅助法、乙醇回流法和超声提取法等^[14]。微波辅助法快速高效,但产热不均匀,易出现局部位置温度高,破坏有效成分^[15];乙醇回流法是传统提取方法,简单易操作,但提取时间长,产率低^[16];超声提取法有助于细胞内物质更好地溶出,具有提取率高、时间短的特点^[17-18]。试验拟以余甘子叶为原料,采用超声法提取总黄酮并分析其抗氧化

基金项目:2011 年度“广西高校优秀人才资助计划”项目(编号:桂教人[2011]40 号);广西民族师范学院学科专业带头人科研启动项目(编号:2014RCDT001)

作者简介:杜丽娟,女,广西民族师范学院教师,硕士。

通信作者:苏秀芳(1971—),女,广西民族师范学院教授,硕士。

E-mail:suxiufang-88@sina.com

收稿日期:2019-12-15

能力,以期为余甘子叶的开发利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

余甘子叶:广西民族师范学院;

芦丁:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

DPPH:纯度 $\geq 97\%$,上海蓝季科技发展有限公司;

亚硝酸钠、硝酸铝、氢氧化钠、95%乙醇、30%过氧化氢、水杨酸、抗坏血酸、石油醚、柠檬酸、对氨基苯磺酸、盐酸萘乙二胺、磷酸氢二钠、七水合硫酸亚铁等:分析纯。

1.1.2 仪器与设备

可见分光光度计:VIS-722N 型,北京瑞利分析仪器有限公司;

数控超声波清洗仪:SG1200HE 型,上海冠特超声仪器有限公司;

电热鼓风干燥箱:SG1200HE 型,北京市永光明医疗仪器有限公司;

分析天平:AR124CN 型,奥豪斯仪器(上海)有限公司;

高速万能粉碎机:FW100 型,天津市泰斯特仪器有限公司;

循环水式多用真空泵:SHZ-D(Ⅲ)型,河南省予华仪器有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 余甘子叶预处理 根据文献[19]修改如下:取完好无损的余甘子叶片,用自来水清洗 3 次,再用蒸馏水洗净,阴凉处自然沥干,60℃恒温烘箱中烘至恒重,粉碎,粉末置于 1 000 mL 锥形瓶中,按料液比 1:30 (g/mL)加入沸程为 60~90℃的石油醚,搅拌均匀,除色除脂(3 次),过滤。将脱色脱脂的余甘子叶粉末烘干备用。

1.2.2 余甘子叶总黄酮得率的测定

(1) 标准曲线的绘制:准确称取 0.020 0 g 芦丁标准品,用 50%乙醇溶解转移至 50 mL 容量瓶并定容。用移液管分别吸取 0.00,1.00,2.00,3.00,4.00,5.00 mL 于 25 mL 的比色管中,然后依次加入 5% NaNO_2 溶液 0.40 mL、10% $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 溶液 0.40 mL、4% NaOH 溶液 5 mL,每次加入试剂后摇匀静置 6 min,并定容至 25 mL,于 510 nm 处测定吸光值。得曲线方程 $y=10.986x-0.0027$, $R^2=0.9998$ 。

(2) 余甘子叶总黄酮含量的计算:称取 0.500 0 g 余甘子叶粉末,置于锥形瓶中并加入适量的 50%乙醇,摇匀后密封,特定条件下进行提取,抽滤,将滤液定容于 100 mL 容量瓶。取 1.00 mL 提取液于 25 mL 容量瓶中,按 1.2.2(1)添加试剂,于 510 nm 处测定吸光值。采用 50%乙醇溶液为空白对照,并按式(1)计算总黄酮得率。

$$F = \frac{C \times V \times X}{M} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

F ——总黄酮得率,%;

C ——总黄酮浓度,mg/mL;

V ——样品溶液体积,mL;

X ——稀释倍数;

M ——余甘子叶粉末质量,mg。

1.2.3 单因素试验

(1) 料液比:在乙醇浓度 50%、超声功率 50 W、提取时间 20 min,提取温度 50℃下,考察料液比[1:15, 1:20, 1:25, 1:30, 1:35 (g/mL)]对总黄酮得率的影响。

(2) 乙醇浓度:在料液比 1:25 (g/mL)、超声功率 50 W、提取温度 50℃,提取时间 20 min 下,考察乙醇浓度(30%,40%,50%,60%,70%)对总黄酮得率的影响。

(3) 超声功率:在料液比 1:25 (g/mL)、乙醇浓度 50%、提取温度 50℃,提取时间 20 min 下,考察超声功率(30,40,50,60,70 W)对总黄酮得率的影响。

(4) 提取温度:在料液比 1:25 (g/mL)、乙醇浓度 50%、超声功率 60 W,提取时间 20 min 下,考察提取温度(30,40,50,60,70℃)对总黄酮得率的影响。

(5) 提取时间:在料液比 1:25 (g/mL)、乙醇浓度 50%、超声功率 60 W,提取温度 60℃下,考察提取时间(10,20,30,40,50 min)对总黄酮得率的影响。

1.2.4 抗氧化能力

(1) 对 $\cdot\text{OH}$ 清除能力的测定:根据文献[20]修改如下:依次移取不同浓度的余甘子叶总黄酮提取液(0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 mg/mL) 2.0 mL、9.9 mmol/L 水杨酸 1.0 mL、9.9 mmol/L $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 溶液 1.0 mL、8.8 mmol/L H_2O_2 溶液 1.0 mL 放入比色管中,摇匀,37℃水浴 30 min,于 510 nm 处测定吸光值。以蒸馏水代替 H_2O_2 为对照组,以蒸馏水代替余甘子叶总黄酮提取液为空白组测定吸光值,以抗坏血酸(V_C)为阳性对照,按式(2)计算 $\cdot\text{OH}$ 清除率。

$$C = \frac{A_0 - (A_1 - A_2)}{A_0} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

C —— $\cdot\text{OH}$ 清除率,%;

A_1 ——样液组吸光值;

A_2 ——对照组吸光值;

A_0 ——空白组吸光值。

(2) 对 DPPH $\cdot$ 清除能力的测定:根据文献[21],修改如下:依次移取不同浓度的余甘子叶总黄酮提取液(0.01, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08 mg/mL) 2.0 mL、0.25 mmol/L DPPH—乙醇溶液 2.0 mL 放入比色管中,暗处反应 30 min,于 517 nm 处测吸光值;以无水乙醇为对照,抗坏血酸(V_C)为阳性对照,并按式(3)计算 DPPH $\cdot$ 清除率。

$$C = \frac{A_0 - (A_1 - A_2)}{A_0} \times 100\%, \quad (3)$$

式中:

C——DPPH·清除率, %;

A₁——样液与 DPPH 混合后的吸光值;

A₂——样液与乙醇混合后的吸光值;

A₀——DPPH 与乙醇混合后的吸光值。

(3) 对 NaNO₂ 清除能力的测定: 根据文献[22]修改如下: 依次移取不同浓度的余甘子叶总黄酮提取液(0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 μg/mL) 2.0 mL, 5 μg/mL NaNO₂ 溶液 2.0 mL 及 pH=3 的柠檬酸—盐酸缓冲液 3.0 mL 放入比色管中, 37 ℃ 水浴 1 h, 冷却, 加入 0.4% 对氨基苯磺酸 2.0 mL, 5 min 后再加入 0.2% 盐酸萘乙二胺 1.0 mL, 静置 15 min, 于 540 nm 处测定吸光值。以 60% 乙醇为空白对照, 抗坏血酸(V_C)为阳性对照, 按式(4)计算 NaNO₂ 清除率。

$$C = \frac{A_0 - A}{A_0} \times 100\%, \quad (4)$$

式中:

C——NaNO₂ 清除率, %;

A₀——样液组吸光值;

A——对照组吸光值。

1.3 数据处理

所有数据测定 3 次, 取均值, 采用 Origin 8.5、SPSS 19.0 软件进行绘制和数据处理。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

2.1.1 料液比对余甘子叶总黄酮得率的影响 由图 1 可知, 余甘子叶总黄酮物质得率随料液比的增加先增加后减小, 当料液比为 1:25 (g/mL) 时达最大值(13.91%)。因此, 最适料液比为 1:25 (g/mL)。

2.1.2 乙醇浓度对余甘子叶总黄酮得率的影响 由图 2 可知, 余甘子叶总黄酮物质得率随乙醇浓度的增大先上

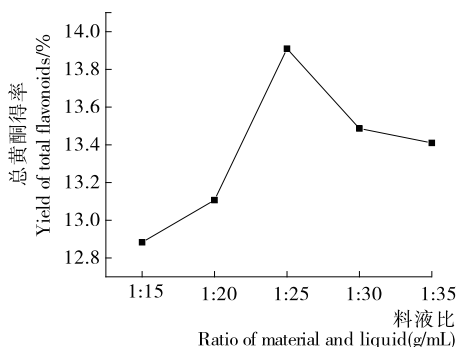


图 1 料液比对余甘子叶总黄酮得率的影响

Figure 1 Effect of material and liquid ratio on the yield of total flavonoids from *phyllanthus emblica's* leaves

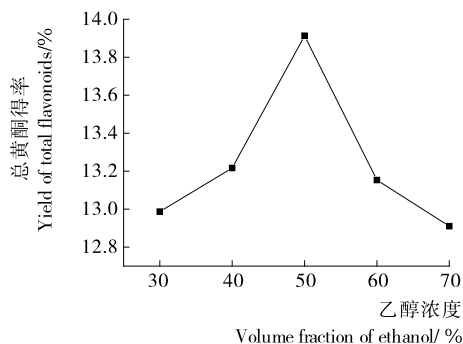


图 2 乙醇浓度对余甘子叶总黄酮得率的影响

Figure 2 Effect of ethanol volume fraction on the yield of total flavonoids from *phyllanthus emblica's* leaves

升后下降, 当乙醇浓度为 50% 时达最大值(13.91%)。因此, 最适乙醇浓度为 50%。

2.1.3 超声功率对余甘子叶总黄酮得率的影响 由图 3 可知, 余甘子叶总黄酮物质得率随超声功率的增大先上升后下降。当超声功率为 60 W 时, 得率高达 13.97%。超声功率越大, 破坏细胞壁的能力就越强, 因此余甘子叶总黄酮物质的浸出就越多; 但超声功率过大, “空化作用” 过强, 在一定程度会破坏一些黄酮物质的结构, 影响总黄酮得率。与苏适等^[23]的研究结果类似。因此, 超声功率 60 W 最为合适。

2.1.4 提取温度对余甘子叶总黄酮得率的影响 由图 4 可知, 余甘子叶总黄酮得率随提取温度的升高先增加后减小, 当提取温度为 60 ℃ 时得率最大, 为 14.11%。适宜的温度能促使溶剂分子加快运动, 有利于总黄酮物质的溶解; 温度过高, 乙醇挥发加剧, 同时高温导致部分不稳定的黄酮类成分发生分解反应, 使得余甘子叶总黄酮得率下降, 与杨丽维等^[24-25]的研究结果一致。因此, 提取温度选择 60 ℃ 最为合适。

2.1.5 提取时间对余甘子叶总黄酮得率的影响 由图 5

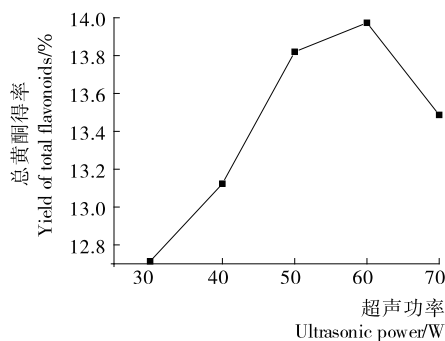


图 3 超声功率对余甘子叶总黄酮得率的影响

Figure 3 Effect of ultrasonic power on the yield of total flavonoids from *phyllanthus emblica's* leaves

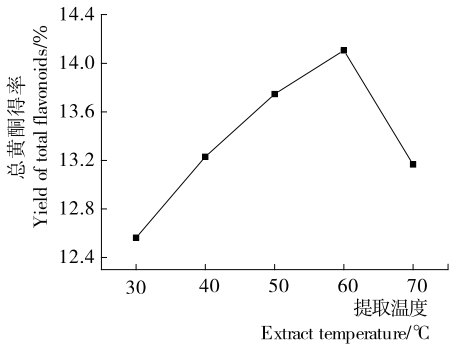


图 4 提取温度对余甘子叶总黄酮得率的影响

Figure 4 Effect of extract temperature on the yield of total flavonoids from *phyllanthus emblica*'s leaves

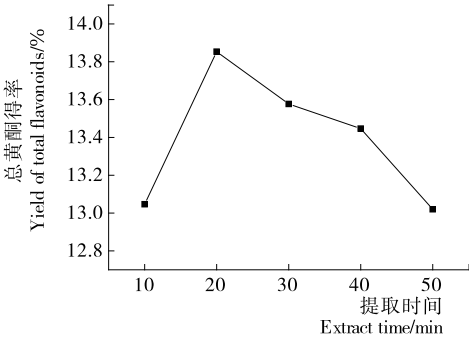


图 5 提取时间对余甘子叶总黄酮得率的影响

Figure 5 Effect of extract time on the yield of total flavonoids from *phyllanthus emblica*'s leaves

可知,余甘子叶总黄酮物质得率随提取时间的延长先上升后下降。当提取时间为 20 min 时得率最大,为 13.85%。说明超声提取能在较短的时间里将余甘子叶总黄酮提取较为完全,提取时间越长,余甘子叶的其他活性成分也开始溶出,在一定程度上抑制了黄酮物质的溶出,同时,长时间的加热和超声使已溶出的黄酮物质水解或氧化,从而降低余甘子叶总黄酮得率。因此,提取时间选择 20 min 最为合适。

2.2 正交试验

根据单因素试验结果,在最佳提取温度 60 °C 下,选取料液比、乙醇浓度、超声功率、提取时间进行四因素三水平正交试验设计,因素水平见表 1,试验结果见表 2。

表 1 正交试验因素水平表

Table 1 Orthogonal experimental factors level table

水平	A 料液比 (g/mL)	B 乙醇 浓度/%	C 超声功 率/W	D 提取时 间/min
1	1:20	40	50	10
2	1:25	50	60	20
3	1:30	60	70	30

表 2 余甘子叶总黄酮提取正交试验结果

Table 2 Results of orthogonal experiment on extraction of total flavonoids from *phyllanthus emblica*'s leaves

试验号	A	B	C	D	总黄酮得率/%
1	1	1	1	1	12.821
2	1	2	2	2	13.913
3	1	3	3	3	14.095
4	2	1	2	3	13.595
5	2	2	3	1	13.731
6	2	3	1	2	14.368
7	3	1	3	2	13.185
8	3	2	1	3	13.458
9	3	3	2	1	13.048
k_1	13.610	13.200	13.549	13.200	
k_2	13.898	13.701	13.519	13.822	
k_3	13.230	13.837	13.670	13.716	
R	0.668	0.637	0.151	0.622	

由表 2 可知,各因素对余甘子叶总黄酮得率的影响大小依次为乙醇浓度>料液比>提取时间>超声功率。由表 3 可知,料液比、乙醇浓度、提取时间对余甘子叶总黄酮的得率有显著影响,而超声功率无显著影响。根据正交试验结果,余甘子叶总黄酮的最佳提取工艺为 $A_2B_3C_3D_2$,即料液比 1:25 (g/mL)、乙醇浓度 60%、超声功率 70 W、提取时间 20 min、提取温度 60 °C。对最佳提取工艺进行验证 ($n=3$),余甘子叶总黄酮得率为 14.565%,RSD 值为 0.476%,说明通过正交试验得到的最佳工艺条件稳定可靠。

表 3 正交试验结果方差分析[†]

Table 3 Variance analysis of orthogonal test

来源	平方和	自由度	均方	F 值	显著水平
A	0.656	2	0.327	30.704	**
B	0.657	2	0.328	30.772	**
C	0.021	2	0.011	1.000	
D	0.647	2	0.323	30.309	**
总和	1.981	8			

[†] $F_{0.05}(2,8)=4.46, F_{0.01}(2,8)=8.62$; * 表示影响显著 ($P<0.05$), ** 表示影响极显著 ($P<0.01$)。

2.3 余甘子叶总黄酮的抗氧化能力

2.3.1 对 ·OH 的清除能力 由图 6 可知,当余甘子叶总黄酮浓度为 0.5 mg/mL 时,清除率可达 82.72%,此时的 V_C 清除率为 99.14%,说明余甘子叶总黄酮在较大浓度时具有很强的清除 ·OH 的能力。

2.3.2 对 DPPH · 的清除能力 由图 7 可知,当样品浓

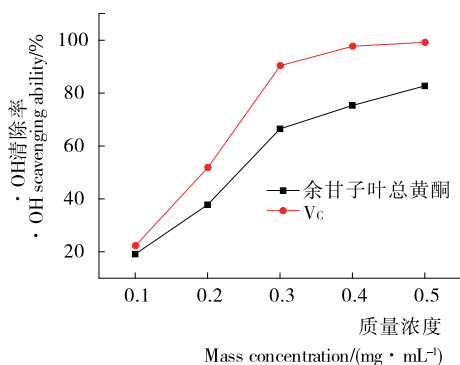


图6 余甘子叶总黄酮对·OH的清除能力

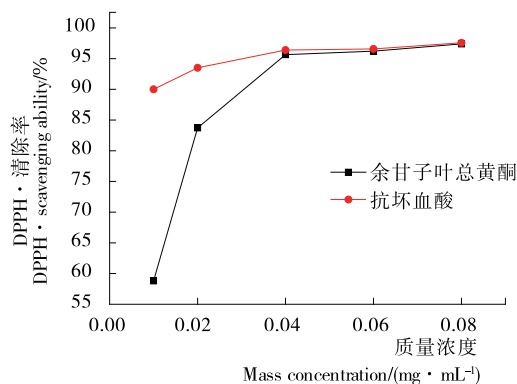
Figure 6 The ·OH scavenging ability of total flavonoids in the leaves of *phyllanthus emblica*

图7 余甘子叶总黄酮对DPPH·的清除能力

Figure 7 The DPPH· scavenging ability of total flavonoids in the leaves of *phyllanthus emblica*

度为0.08 mg/mL时,余甘子叶总黄酮和V_c对DPPH·清除率分别为97.40%,97.58%,说明余甘子叶总黄酮具有很强的清除DPPH·的能力。

2.3.3 对NaNO₂的清除能力 由图8可知,当样品浓度为0.5 mg/mL时,余甘子叶黄酮提取液和V_c对亚硝酸钠的清除率分别为66.14%,94.65%,说明余甘子叶黄酮具

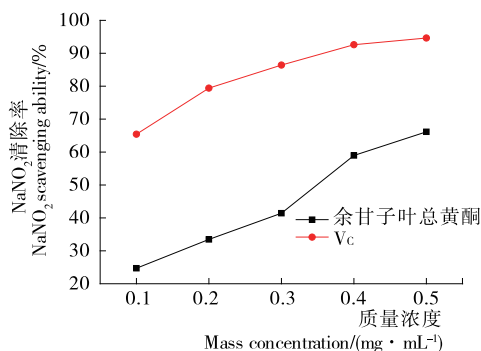


图8 余甘子叶总黄酮对亚硝酸盐的清除能力

Figure 8 The NaNO₂ scavenging ability of total flavonoids in the leaves of *phyllanthus emblica*

有一定的清除亚硝酸钠的能力,但清除能力低于V_c。

3 结论

余甘子叶总黄酮的最佳提取工艺为料液比1:25(g/mL)、乙醇浓度60%、超声功率70 W、提取时间20 min、提取温度60℃,此时提取率最大为14.57%。余甘子叶总黄酮对·OH、DPPH·以及NaNO₂均具有一定的清除能力,当余甘子总黄酮提取液的质量浓度为0.5 mg/mL时,对·OH和NaNO₂的清除率分别为82.72%,66.14%,当余甘子总黄酮提取液的质量浓度为0.8 mg/mL时,对DPPH·的清除率为97.40%,表明余甘子叶总黄酮具有较强的抗氧化能力。后续可对余甘子叶总黄酮进行进一步分离纯化鉴定,确定单体并分析其功效作用,建立余甘子叶保健产品与黄酮活性成分的量效关系。

参考文献

- [1] 许嵘,郭幼红,黄清茹.余甘子研究概况[J].海峡药学,2012,24(1):45-46.
- [2] 刘晓丽,赵谋明.余甘子的综合利用研究[J].食品与机械,2006(4):90-93.
- [3] LU C C, YANG S H, HSIA S M, et al. Inhibitory effects of *Phyllanthus emblica* L. on hepatic steatosis and liver fibrosis in vitro[J]. Funct Foods, 2016, 20(1): 20-30.
- [4] GUO Qing, ZHANG Qian-qian. Liver metabolomics study reveals protective function of *Phyllanthus urinaria* against CCl₄-induced liver injury[J]. Chinese Journal of Natural Medicines, 2017, 15(7): 525-533.
- [5] 侯开卫,刘凤书,李绍家,等.余甘果抗衰老作用的研究[J].食品科学,1990(4):2-5.
- [6] 张敏.余甘果酒酿制工艺的研究[J].食品科学,2002(10):65-68.
- [7] 黄春秋,梁珠民,庞琳.橄榄余甘果复合果醋生产工艺研究[J].南方农业学报,2011,42(9):1122-1126.
- [8] 张伦,杨申明,徐成东,等.滇橄榄树不同组织原花色质量浓度及抗氧化性能研究[J].林业工程学报,2017,2(4):57-62.
- [9] 李舒,钟振国,赖进科.余甘子叶提取物总黄酮的含量测定[J].辽宁中医药大学学报,2011,13(7):109-110.
- [10] 陈文雅,钟振国,张雯艳.余甘子叶的化学成分与药理作用研究概况[J].广西中医药大学学报,2016,19(3):82-83,93.
- [11] 郑定华,袁淑娜,陈俊明,等.5种石油醚前处理对不同植物样品黄酮含量测定的影响[J].热带农业工程,2017,41(2):1-6.
- [12] 唐栩,许东晖,梅雪婷,等.26种黄酮类天然活性成分的药理研究进展[J].中药材,2003(1):46-54.

(下转第193页)

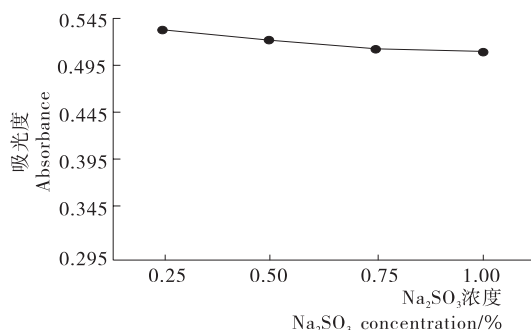


图3 还原剂 Na_2SO_3 对兰州百合多糖提取物稳定性的影响

Figure 3 Effect of reducing agent Na_2SO_3 on the stability of polysaccharide extracts from *Lilium davidii* var

试验提供了一种简单高效的提取方法,后期可采用微波、生物酶、粒子液体等其他方法进一步减少提取时间。

参考文献

- [1] 卫莹芳. 中药鉴定学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2010: 281.
- [2] 任利君, 刘俊田, 弥曼, 等. 百合多糖的研究进展[J]. 西北药学杂志, 2005, 20(6): 284-285.
- [3] YANG Ying, LI Fen. Effects of neutral polysaccharide from lily on enhancing efficacy and reducing toxicity of 5-FU and proliferation of gastric carcinoma cell line SGC-7901 in vitro[J]. Journal of Yanan University : Medical Sciences, 2013, 11(2): 8-11.
- [4] 熊明郁, 牛世全. 水提法提取百合多糖优选工艺的研究[J]. 安徽农业科学, 2014(36): 13 047-13 049.
- [5] 高丹丹, 安文强, 陈红. 响应面法优化兰州百合多糖的提取工艺[J]. 食品工业科技, 2013(5): 226-229.
- [6] 张占军, 王富花, 葛洪, 等. 响应面法优化百合多糖超声辅助提取工艺[J]. 食品研究与开发, 2017(18): 40-44.
- [7] 刘佳, 郭少林, 陈婷婷, 等. 响应面法优化超声辅助提取桔梗多糖工艺[J]. 生物化工, 2019(2): 70-72.
- [8] 陈晓白, 蒋夏荣, 杨秋元, 等. 山银花多糖提取工艺优化及其抗氧化活性研究[J]. 中国食品添加剂, 2018(11): 155-161.
- [9] HALL M B. Efficacy of reducing sugar and phenol-sulfuric acid assays for analysis of soluble carbohydrates in feedstuffs[J]. Animal Feed Science and Technology, 2013, 185(1): 94-100.
- [10] 史娟. 微波预处理-超声波提取山茱萸多糖及稳定性研究[J]. 食品研究与开发, 2014(1): 1-5.
- [11] 蔡锦源, 梁莹. 白及多糖的提取工艺及其生物活性研究[J]. 食品工业, 2018(1): 45-49.
- [12] RAZA Aun, LI Feng, XU Xiu-quan, et al. Optimization of ultrasonic-assisted extraction of antioxidant polysaccharides from the stem of *Trapa quadrispinosa* using response surface methodology[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2017, 94: 335-344.
- [13] 赵玉红, 王静, 金秀明. 超声波辅助酶法提取榛子壳色素工艺条件的研究[J]. 中国调味品, 2010, 35(4): 110-114.
- [14] TUNG Yu-tang, HUANG Cheng-ze, LIN Jia-hong, et al. Effect of *Phyllanthus emblica* L. fruit on methionine and choline-deficiency diet-induced nonalcoholic steatohepatitis [J]. Journal of Food and Drug Analysis, 2018, 26(4): 1 245-1 252.
- [15] 佟永薇. 黄酮类化合物提取方法的研究及展望[J]. 食品研究与开发, 2008(7): 188-190.
- [16] 夏甜天, 曹龙奎. 几种不同提取方法对燕麦总多酚含量的影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(20): 183-189.
- [17] 陈义勇, 张德谨. 乌饭树叶黄酮超声-微波辅助提取工艺的优化[J]. 食品与机械, 2016, 32(1): 148-153.
- [18] 胡爱军, 郑捷. 食品工业中的超声提取技术[J]. 食品与机械, 2004(4): 57-60.
- [19] 施利奇, 张彦青, 戚务勤, 等. 酸枣水提物不同提取工艺优化及抗氧化活性研究[J]. 食品与机械, 2019, 35(11): 182-190.
- [20] 许建本, 苏秀芳, 莫耀芳. 超声波辅助法提取假苹婆树叶总黄酮及其清除羟自由基能力[J]. 食品工业科技, 2018, 39(23): 199-202, 209.
- [21] 张雪春, 田智宇, 王振兴, 等. 核桃青皮多糖微波辅助提取工艺及抗氧化活性研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(7): 146-151.
- [22] TSAI Chun-en, LIN Li-huei. DPPH scavenging capacity of extracts from *Camellia* seed dregs using polyol compounds as solvents[J]. Heliyon, 2019, 5(8): 1-6.
- [23] 程知庆, 沈和定, 姚理想, 等. 干燥方法对瘤背石磺多糖抗氧化性和还原力的影响[J]. 食品与机械, 2015, 31(6): 169-172.
- [24] 苏适, 王双侠. 响应曲面优化超声波辅助提取无花果叶总黄酮的工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(9): 101-106.
- [25] 杨丽维, 陈颖, 张峻. 葛根总黄酮提取工艺比较研究[J]. 天津农学院学报, 2016, 23(3): 27-30.
- [26] 余腾飞, 唐年初, 刘诚毅. 忧遁草多糖提取工艺优化及抗氧化活性研究[J/OL]. 食品与机械. (2019-12-09) [2020-03-02]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/43.1183.TS.20191209.1136.002.html>.

(上接第 189 页)