

响应面—满意度函数优化姜黄郁金多糖和黄酮 共提工艺条件及其抗氧化性研究

Optimization of extraction conditions and antioxidant
activity of *Curcuma Longa* polysaccharides and
flavonoids by response surface-satisfaction function

侯敏娜¹ 侯少平¹ 吴满芳² 王 珊¹

HOU Min-na¹ HOU Shao-ping¹ WU Man-fang² WANG Shan¹

彭修娟¹ 刘 峰³ 闫欢欢¹

PENG Xiu-juan¹ LIU Feng³ YAN Huan-huan¹

(1. 陕西国际商贸学院, 陕西 咸阳 712046; 2. 都昌县第二人民医院,

江西 九江 332600; 3. 陕西步长制药有限公司, 陕西 西安 710075)

(1. Shaanxi Institute of International Trade & Commerce, Xianyang, Shaanxi 712046, China;

2. Duchang County Second People's Hospital, Jiujiang, Jiangxi 332600, China;

3. Shaanxi Buchang Pharmaceutical Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi 710075, China)

摘要:以姜黄郁金为研究对象,采用响应面—满意度函数优化乙醇体积分数、料液比、超声时间和超声温度4个因素对姜黄郁金多糖和黄酮提取率的影响。结果表明,姜黄郁金多糖和黄酮共提条件为:以水为提取溶剂、超声温度50℃、料液比($m_{\text{姜黄郁金}}:V_{\text{水}}$)1:22(g/mL)、超声时间20 min,此时多糖和黄酮的提取率分别为1.01%,0.23%,满意度为0.823 7,与预测值相差甚小,说明该提取工艺可靠、可行。抗氧化试验表明,姜黄郁金多糖和黄酮对DPPH自由基最大清除率分别为 $(42.91 \pm 0.54)\%$ 、 $(65.46 \pm 0.38)\%$;对ABTS自由基最大清除率分别为 $(33.28 \pm 0.69)\%$ 、 $(34.26 \pm 0.18)\%$,说明其对DPPH自由基和ABTS自由基均有明显的清除能力,且黄酮的清除能力强于多糖。

关键词:姜黄郁金;黄酮;多糖;超声辅助提取;抗氧化

Abstract: The ethanol concentration, solid-liquid ratio, ultrasonic

time and temperature were optimized by response surface-satisfaction function with extraction rate of polysaccharide and flavonoid from *Curcuma Longa* as response values. The results showed that the optimum extraction conditions of *C. Longa* polysaccharide and flavonoids were as follows: water as extraction solvent, ultrasonic temperature 50℃, material-liquid ratio 1:22(g/mL), ultrasound time 20 min. The extraction rate of polysaccharide and flavones were 1.01% and 0.23% respectively, and the satisfactory degree is 0.823 7. The difference between the predicted value was very small, which showed that the extraction process was reliable and feasible. The antioxidant activity test showed that the maximum scavenging efficiency of polysaccharide and flavones to DPPH free radical was $(42.91 \pm 0.54)\%$ and $(65.46 \pm 0.38)\%$ respectively, and the maximum free radical scavenging rate to ABTS was $(33.28 \pm 0.69)\%$ and $(34.26 \pm 0.18)\%$, respectively. This indicated that they had obvious scavenging ability to these two kinds of free radicals, and the flavonoids were stronger than the polysaccharides.

Keywords: *Curcuma Longa*; flavonoids; polysaccharides; ultrasound-assisted extraction; antioxidation

基金项目:国家十三五重大新药创制项目(编号:2017ZX09301015);陕西国际商贸学院中药质量标志物创新团队项目(编号:SSY18TD02);陕西省大学生创新创业训练计划项目(编号:S201913123015);陕西省科技厅项目(编号:2020SF-323)

作者简介:侯敏娜,女,陕西国际商贸学院副教授,硕士。

通信作者:刘峰(1960—),男,陕西步长制药有限公司主任药师,博士。E-mail:liufeng1720@163.com

收稿日期:2020-07-15

姜黄郁金又称黄丝郁金,为姜黄属植物姜黄(*Curcuma Longa*)的干燥块根^[1],为常用中药材,具有保肝利胆、降血脂、免疫抑制、抗癌、抗炎、抗氧化、中枢抑制等^[2-3]药理作用。郁金不仅可作为行气舒肝解郁、降血

脂等的药膳品(如郁金茶、郁金木香茶、郁金清肝茶、荷叶郁金粥等);还可以用于抗皱、美肤的化妆品领域;其色素已被广泛用作食品和染料的添加剂^[4]。郁金含有挥发油、多糖、黄酮、微量元素等^[2,5]多种化学成分。目前,有关郁金的研究主要集中于治疗肝病、抑郁症、癫痫、哮喘等作用机制推测^[6-10],挥发油成分分析和含量测定方法^[11-12],以及不同品种郁金化学成分、药理作用分析等^[2]方面。而有关郁金多糖、黄酮共提工艺及其药理活性的分析比较研究尚未见报道。

多糖和黄酮类成分在植物中普遍存在,具有抗氧化、抗衰老、抗肿瘤等共性特点。其常用提取方法有溶剂提取法、超声提取法、微波提取法等^[13]。与其他方法相比,超声提取法具有省时、省溶剂、易操作、廉价等优势^[14];响应面法以较少的试验次数、较短的提取时间对试验参数进行优化,已被广泛应用于生物、化工及食品加工技术的模型建立及条件优化^[15];满意度函数是一种适合于多目标优化的方法,将不同响应值转化为 0~1 的无量纲数值,实现了多响应值优化转变为单响应值优化,易于寻求整体最优^[16]。

试验拟采用超声提取法,利用响应面—满意度函数法对姜黄郁金多糖和黄酮类成分共提条件进行优化;并以 DPPH 自由基、ABTS 自由基清除率为指标,分析姜黄郁金多糖和黄酮的抗氧化活性,旨在为姜黄郁金多糖和黄酮的深加工及药材资源的广泛、有效利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

姜黄郁金:经陕西中医药大学生药教研室杨新杰教授鉴定为 *Curcuma Longa* 的根茎,陕西康宇制药有限公司;

芦丁对照品(批号为 100080-201811)、葡萄糖对照品(批号为 100082-201803):中国药品生物制品鉴定所;

DPPH、ABTS:上海源叶生物科技有限公司;

无水乙醇、硫酸、亚硝酸钠、苯酚、硝酸铝、过硫酸钾、维生素 C:分析纯,天津市天力化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

高速万能粉碎机:FW-100 型,北京科伟永兴仪器有限公司;

电子分析天平:YP2102 型,北京赛多利斯仪器有限公司;

数控超声波提取器:KQ5200 型,昆山市超声仪器有限公司;

循环水式多用真空泵:SHB-111 型,郑州长城科工贸有限公司;

紫外—可见分光光度计:TU-1810 型,北京普析通用仪器有限责任公司。

1.3 方法

1.3.1 预处理 将姜黄郁金于 50 ℃ 干燥,粉碎,过 5 号筛,封存。

1.3.2 标准曲线绘制

(1) 葡萄糖标准曲线:准确称取于 105 ℃ 干燥后的葡萄糖标准品 5.032 mg,用纯化水定容至 50 mL,摇匀,得浓度为 0.1 mg/mL 葡萄糖标准溶液。参照硫酸—苯酚法^[16-18]制作标准曲线,得回归方程为 $y = 6.2625x - 0.0128$, $R^2 = 0.9948$ 。

(2) 芦丁标准曲线:准确称取于 105 ℃ 干燥后的芦丁标准品 5.069 mg,用 50% 乙醇定容至 25 mL,摇匀,得浓度为 0.2 mg/mL 芦丁标准溶液。参照文献^[19]制作标准曲线,得回归方程为 $y = 1.8910x + 0.0035$, $R^2 = 0.9974$ 。

1.3.3 多糖和黄酮提取率测定 根据 1.3.2 方法进行测定,按式(1)计算姜黄郁金多糖和黄酮提取率。

$$Y = [(C \times V \times N) / M] \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

Y ——姜黄郁金多糖或黄酮提取率, %;

C ——姜黄郁金多糖或黄酮质量浓度, mg/mL;

V ——姜黄郁金多糖或黄酮体积, mL;

N ——稀释倍数;

M ——药材质量, mg。

1.3.4 满意度函数 以姜黄郁金多糖和黄酮提取率为响应值,按式(2)转化为无量纲的期望值 d_i ($0 \leq d_i \leq 1$), d 越接近 1,效果越好。将多个响应值的 w_i 次方根的积作为满意度值 D ^[16,19],并按式(3)进行计算。

$$d_i(Y_i) = \begin{cases} 0 & Y_i < Y_{\min,i} \\ \frac{Y_i(x) - Y_{\min,i}}{Y_{\max,i} - Y_{\min,i}} & Y_{\min,i} \leq Y_i(x) \leq Y_{\max,i} \\ 1 & Y_i(x) > Y_{\max,i} \end{cases} \quad (2)$$

$$D = d_1^{w_1} \times d_2^{w_2} \times d_3^{w_3} \times \cdots \times d_i^{w_i}, \quad (3)$$

式中:

$Y_i(x)$ ——第 i 个指标的响应值;

$Y_{\max,i}$ 、 $Y_{\min,i}$ ——最高、最低响应值;

w_i ——权重(取 0~1),且 $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ 。

将姜黄郁金多糖提取率设为 Y_1 ,黄酮提取率设为 Y_2 ,经查阅文献^[16,20]得知姜黄郁金多糖的最高提取率为 1.151%,最小为 0.000%;黄酮的最高提取率为 0.314%,最小为 0.000%。 w_1 设为 0.6, w_2 设为 0.4,得满意度 D 。利用响应面软件对满意度进行分析,满意度对应最大值的提取工艺即为最优提取条件。

1.3.5 单因素试验

(1) 乙醇体积分数:在料液比($m_{\text{姜黄郁金}} : V_{\text{水}}$) 1 : 20 (g/mL),超声时间 20 min,超声温度 50 ℃ 下,考察乙醇体积分数(0%, 20%, 40%, 60%)对姜黄郁金黄酮和多

糖提取率的影响。

(2) 料液比:在提取溶剂为水,超声时间 20 min,超声温度 50 ℃下,考察料液比[$m_{\text{姜黄郁金}} : V_{\text{水}}$ 分别为 1:10, 1:20, 1:30, 1:40 (g/mL)]对姜黄郁金黄酮和多糖提取率的影响。

(3) 超声时间:在提取溶剂为水,料液比($m_{\text{姜黄郁金}} : V_{\text{水}}$)1:20 (g/mL),超声温度 50 ℃下,考察超声时间(15, 20, 25, 30 min)对姜黄郁金黄酮和多糖提取率的影响。

(4) 超声温度:在提取溶剂为水,料液比($m_{\text{姜黄郁金}} : V_{\text{水}}$)1:20 (g/mL),超声时间 20 min 下,考察超声温度(30, 40, 50, 60 ℃)对姜黄郁金黄酮和多糖提取率的影响。

1.3.6 响应面试验设计 在单因素试验基础上,以姜黄郁金黄酮和多糖提取率的满意度为评价指标进行响应面试验设计,优选最佳提取工艺条件。

1.3.7 姜黄郁金多糖和黄酮抗氧化能力测定

(1) 对 DPPH 自由基的清除能力:参照文献[21—23]并修改,分别配置浓度为 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 mg/mL 的姜黄郁金多糖和黄酮样品溶液。移取 2 mL 不同浓度的两种样品溶液,各加入 2 mL DPPH 溶液,摇匀,暗处反应 30 min,测定 517 nm 处吸光度。以无水乙醇为空白对照,按式(4)计算自由基清除率。

$$K = \frac{1 - (A_i - A_j)}{A_0} \times 100\%, \quad (4)$$

式中:

K ——自由基清除率, %;

A_i ——样品组吸光度;

A_j ——样品对照组吸光度;

A_0 ——空白对照组吸光度。

(2) 对 ABTS 自由基的清除能力:参照文献[23—24]并修改,测定 734 nm 处吸光度。以无水乙醇为空白对照,按式(4)计算自由基清除率。

1.3.8 数据处理 采用 Excel 2007 软件制作图表,用 Design Expert 8.0.6 软件对试验数据进行分析。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

由图 1 可知,当提取溶剂为水时,姜黄郁金多糖和黄酮提取率均达最高,说明姜黄郁金多糖和黄酮极性偏大,在水中溶解度最好;当料液比($m_{\text{姜黄郁金}} : V_{\text{水}}$)为 1:20 (g/mL)时,两者提取率均达最高,随着溶剂的增加,大部分水溶性杂质浸出,阻止目标成分溶出,提取率降低;当超声时间为 20 min 时,姜黄郁金多糖提取率达最高,而黄酮提取率在 15~20 min 下降比较缓慢,超过 20 min 后下降较明显,可能是由于随着超声时间的延长,超声波的振荡作用破坏了姜黄郁金中小分子多糖和黄酮类成分,使提取率降低;当提取温度为 50 ℃时,姜黄郁金多糖和黄酮提取率均达最大,随着超声温度的升高,小分子姜黄郁金黄酮和多糖成分发生分解或改变,提取率降低。故

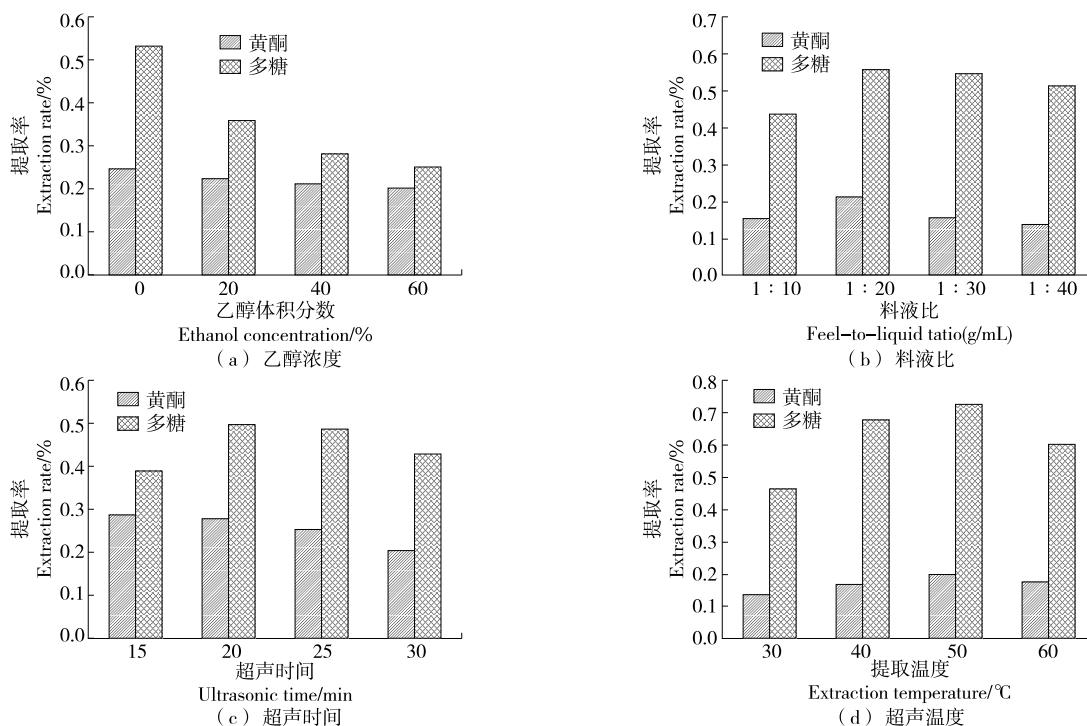


图 1 各因素对姜黄郁金多糖及黄酮共提得率的影响

Figure 1 Effect of different factors on the co-extraction rate of polysaccharides and flavonoids from *Curcuma Longa*

姜黄郁金多糖和黄酮共提条件为:以水为提取溶剂、料液比($m_{\text{姜黄郁金}}:V_{\text{水}}$)1:20 (g/mL)、超声时间 20 min、超声温度 50 ℃。

2.2 姜黄郁金多糖和黄酮共提工艺优化

2.2.1 响应面试验设计与结果 根据 Box-Behnken 中心组合试验设计原则结合单因素试验结果,以姜黄郁金多糖和黄酮提取率的满意度为响应值,选取料液比、超声时间、超声温度为因素,进行三因素三水平的响应面分析试验,因素水平见表 1,试验设计与结果见表 2。

2.2.2 回归方程的建立与方差分析 对表 2 进行多元回归拟合,得到二次回归方程:

$$D=0.80+0.055A-0.066B+0.046C+9.675E-003AB-4.250E-003AC+0.048BC-0.28A^2-0.089B^2-0.11C^2。$$
 (5)

由表 3 可知,模型组 $P=0.0047<0.01$, F 值为 $8.70>0.05$,说明各项拟合良好。失拟项 $F=4.77$, $P=0.0828>0.05$,说明该模型与姜黄郁金多糖及黄酮提取实际工艺情况拟合程度良好,可以预测姜黄郁金多糖及黄酮共提取最佳工艺。调整系数 $R^2_{\text{adj}}=0.8124$,即该模型可以解释 81.24% 响应值的变化,模型拟合程度较好。此外,一次项 C 、二次项 A^2 和 B^2 具有显著性。由 F 值可

知,各因素对姜黄郁金多糖和黄酮共提满意度的影响大小依次为超声温度>液料比>超声时间。

2.2.3 响应面分析 由图 2 可知,姜黄郁金多糖和黄酮共提满意度随超声时间和超声温度的延长呈先升高后下降趋势,但变化缓慢,等高线图略偏圆形,说明二者交互作用不显著;料液比和超声时间交互作用的曲面较陡,说

表 2 响应面试验设计与结果

Table 2 Design of response surface experiment scheme

试验号	A	B	C	多糖提取率/%	黄酮提取率/%	满意度/%
1	0	0	0	0.921 1	0.205 2	0.737 9
2	1	0	1	0.541 4	0.214 8	0.546 3
3	-1	0	1	0.711 2	0.102 5	0.478 6
4	0	1	-1	0.376 6	0.246 8	0.464 5
5	-1	0	-1	0.296 7	0.085 2	0.263 1
6	1	1	0	0.463 5	0.191 7	0.475 6
7	0	0	0	1.151 0	0.200 3	0.835 3
8	0	-1	1	0.750 4	0.194 9	0.639 2
9	0	-1	-1	0.920 1	0.220 3	0.758 6
10	0	0	0	0.901 2	0.314 1	0.863 5
11	-1	1	0	0.386 2	0.088 6	0.313 0
12	0	0	0	0.931 6	0.223 3	0.768 5
13	0	1	1	0.569 8	0.191 8	0.538 4
14	1	0	-1	0.272 6	0.194 4	0.347 8
15	0	0	0	0.984 5	0.214 8	0.782 1
16	-1	-1	0	0.569 8	0.090 5	0.398 7
17	1	-1	0	0.532 4	0.197 1	0.522 6

表 1 试验因素水平表

Table 1 Experimental factor level table

水平	A 料液比(g/mL)	B 超声时间/min	C 超声温度/℃
-1	1:10	15	40
0	1:20	20	50
1	1:30	25	60

表 3 方差分析[†]

Table 3 Analysis of variance

来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	0.530	9	0.059	8.700	0.004 7	* *
A	0.024	1	0.024	3.540	0.102 0	
B	0.035	1	0.035	5.110	0.048 3	*
C	0.017	1	0.017	2.490	0.158 3	
AB	3.744E-004	1	3.744E-004	0.055	0.821 3	
AC	7.225E-005	1	7.225E-005	0.011	0.682 8	
BC	9.341E-006	1	9.341E-006	1.370	0.279 7	
A ²	0.330	1	0.330	48.700	0.000 2	* *
B ²	0.034	1	0.034	4.940	0.061 6	
C ²	0.049	1	0.049	7.200	0.031 4	*
残差	0.048	7	6.807E-003			
失拟项	0.037	3	0.012	4.770	0.082 8	
纯误差	0.010	4	2.604E-003			
总和	0.580	16				

[†] * * 表示极显著($P<0.01$), * 表示显著($P<0.05$); $R^2=0.9179$, $R^2_{\text{adj}}=0.8124$, $CV=14.41\%$ 。

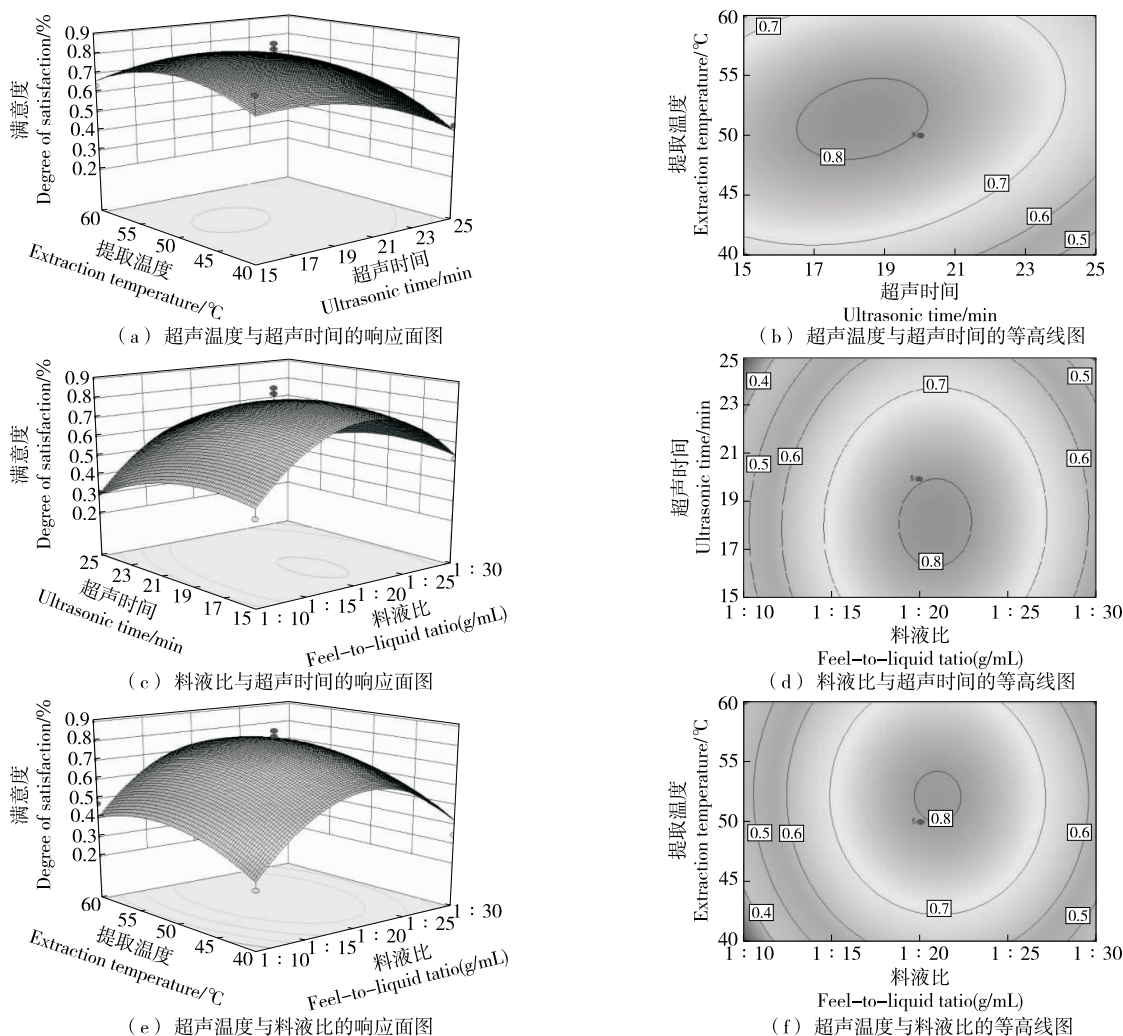


图2 各因素交互作用对姜黄郁金多糖和黄酮共提满意度的影响

Figure 2 The satisfaction of *Curcuma Longa* polysaccharides and flavonoids co-extraction with different factors

明其对姜黄郁金多糖和黄酮共提满意度影响较大,等高线图近似椭圆形,说明两因素与响应值之间交互作用影响较大;料液比和超声温度交互作用的等高线图呈椭圆形,说明二者与响应值之间交互作用显著。综上,姜黄郁金多糖和黄酮共提条件范围:超声温度 45~55 ℃,料液比($m_{\text{姜黄郁金}} : V_{\text{水}}$) 1:20~1:25 (g/mL),超声时间 15~25 min。

2.3 工艺验证

经求导可得,姜黄郁金多糖及黄酮共提取的最佳工艺条件为:超声温度 50 ℃,料液比($m_{\text{姜黄郁金}} : V_{\text{水}}$) 1.0:22.3 (g/mL),超声时间 20 min,此时的预测满意度为 0.826 3,姜黄郁金多糖提取率为 1.04%,黄酮提取率为 0.25%。考虑实际的可操作性,将姜黄郁金多糖及黄酮共提条件调整为:超声温度 50 ℃,料液比($m_{\text{姜黄郁金}} : V_{\text{水}}$) 1:22 (g/mL),超声时间 20 min。通过 3 次平行实验验证,最佳工艺条件下的满意度为 0.823 7,与预测值相差极小,说明运用该试验分析方法得出的提取工艺可靠、可

行,此时多糖提取率为 1.01%,黄酮提取率为 0.23%。

2.4 姜黄郁金多糖和黄酮的抗氧化性

由图 3 可知,姜黄郁金多糖和黄酮对 DPPH 自由基、ABTS 自由基具有一定的清除能力,但两者作用效果都明显弱于维生素 C,且黄酮对两种自由基的清除能力强于多糖,这与黄酮类属于多酚化合物,是天然抗氧化剂有关。当姜黄郁金粗多糖和黄酮质量浓度为 2 mg/mL 时,其对 DPPH 自由基的清除能力达最大,分别为 $(42.91 \pm 0.54)\%$, $(65.46 \pm 0.38)\%$ 。当多糖质量浓度为 2 mg/mL 时,其对 ABTS 自由基的清除能力达最大,为 $(33.28 \pm 0.69)\%$;当黄酮质量浓度为 1.5 mg/mL 时,其对 ABTS 自由基的清除能力达最大,为 $(34.26 \pm 0.18)\%$ 。

3 结论

试验表明,姜黄郁金多糖及黄酮共提条件为:以水为提取溶剂、超声温度 50 ℃、料液比($m_{\text{姜黄郁金}} : V_{\text{水}}$) 1:22 (g/mL)、超声时间 20 min,此时姜黄郁金多糖、黄酮

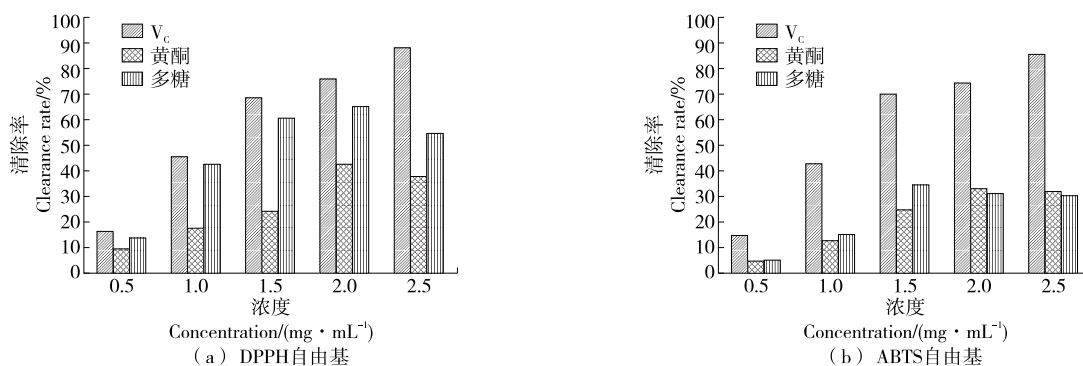


图 3 姜黄郁金多糖、黄酮及维生素 C 对自由基的清除能力

Figure 3 The scavenging ability of *Curcuma Longa* polysaccharides, flavonoids and V_c to different free radicals

提取率分别为 1.01%, 0.23%, 满意度为 0.823 7。在抗氧化作用的浓度范围内, 当姜黄郁金多糖和黄酮质量浓度为 2 mg/mL 时, 其对 DPPH 自由基的清除能力均达最大, 分别为 (42.91 ± 0.54)%, (65.46 ± 0.38)%; 当多糖质量浓度为 2 mg/mL 时, 其对 ABTS 自由基的清除能力达最大, 为 (33.28 ± 0.69)%; 当黄酮质量浓度为 1.5 mg/mL 时, 其对 ABTS 自由基的清除能力达最大, 为 (34.26 ± 0.18)%, 说明姜黄郁金多糖和黄酮具有较好的清除自由基能力, 且黄酮的清除能力强于多糖。姜黄郁金多糖和黄酮成分组成较多且复杂, 而抗氧化活性可能是其中一种或几种成分发挥作用, 其具体功能成分物质有待于后续研究。

参考文献

- [1] 兰凤英. 郁金的药理作用及临床应用[J]. 长春中医药大学学报, 2009, 25(1): 27-28.
- [2] 秦洛宜. 姜黄、莪术、郁金的化学成分与药理作用研究分析[J]. 临床研究, 2019, 27(2): 3-4.
- [3] 王艺涵, 金艳, 张卫, 等. 经典名方中莪术 郁金 姜黄片姜黄的本草考证[J/OL]. 中国现代中药. (2020-04-02) [2020-07-23]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5442.R.20200402.1024.002.html>.
- [4] 李敏, 张娜, 戴佳波. 郁金类中药材种质资源的研究进展[J]. 中南药学, 2007(6): 546-548.
- [5] 肖长坤. 姜黄属植物的化学成分研究进展[J]. 中国实验方剂学杂志, 2012, 18(21): 339-347.
- [6] 陈丰, 陈绍红, 柳海艳, 等. 基于数据挖掘的中医药治疗酒精性肝病组方用药规律分析[J]. 中草药, 2020, 51(12): 3 253-3 259.
- [7] 张磊. 基于网络药理学的郁金治疗哮喘的作用机制研究[J]. 中国临床药理学与治疗学, 2020, 25(1): 61-67.
- [8] 李灵, 陈健, 郭炜, 等. 基于网络药理学中药郁金治疗抑郁症作用机制研究[J]. 辽宁中医药大学学报, 2020, 22(2): 121-125.
- [9] 王倩, 袁莉莉, 张永玲, 等. 石菖蒲-郁金配伍治疗癫痫的网络药理学研究[J]. 中国中药杂志, 2019, 44(13): 2 701-2 708.
- [10] 潘小姣, 杨秀芬, 陈勇, 等. RP-HPLC 测定桂郁金中吉玛

- 酮的含量[J]. 中国实验方剂学杂志, 2012, 18(12): 81-83.
- [11] 刘雪梅, 杨秀芬, 刘耀泉, 等. 超临界 CO₂ 萃取桂郁金挥发油的化学成分[J]. 中国实验方剂学杂志, 2011, 17(19): 114-116.
- [12] 刘硕谦, 刘仲华, 黄建安, 等. 反向高效液相色谱法同时测定姜黄药材中 3 个组分的含量[J]. 分析化学, 2005, 33(3): 309-312.
- [13] ZHANG Zuo-fa, LV Guo-ying, HE Wei-qiang, et al. Effects of extraction methods on the antioxidant activities of polysaccharides obtained from *Flammulina velutipes* [J]. Carbohydrate Polymers, 2013, 98(2): 1 524-1 531.
- [14] 杭瑜瑜, 励建荣, 裴志胜, 等. 响应面法优化超声波辅助提取菠萝皮中黄酮[J]. 中国食品添加剂, 2015, 5(3): 142-145.
- [15] 周旋, 侯少平, 蔡文卓, 等. 女贞子总黄酮超声辅助提取工艺及体外抗氧化活性研究[J]. 食品与机械, 2019, 35(3): 188-194.
- [16] 刘盛荣, 郑世仲, 阮俊峰, 等. 正交-满意度函数优化灵芝多糖及三萜共提取条件及其清除自由基活性[J]. 菌物学报, 2019, 38(5): 728-738.
- [17] 黄晓君, 聂少平, 王玉婷, 等. 铁皮石斛多糖提取工艺优化即其成分分析[J]. 食品科学, 2013, 34(6): 21-22.
- [18] 李刚刚, 孙静, 伏衡一, 等. 兰州百合鳞茎多糖超声波辅助提取工艺优化及稳定性研究[J]. 食品与机械, 2020, 36(3): 190-193.
- [19] 侯敏娜. 荔枝核中总黄酮提取工艺研究[J]. 现代中药研究与实践, 2014, 28(4): 44-45.
- [20] 彭茹洁, 赵少甫, 王承藩, 等. Plackett-Burman 试验联用满意度函数-响应面法优化白及多糖絮凝纯化工艺[J]. 南京工业大学学报(自然科学版), 2019, 41(1): 57-60.
- [21] 贺晓华, 许龙, 谈满江, 等. 不同提取方法赶黄草提取物清除 DPPH 自由基的作用研究[J]. 时珍国医国药, 2009(2): 221-224.
- [22] 许建本, 黄妹. 黄花草总黄酮超声辅助提取工艺优化及抗氧化活性研究[J]. 食品与机械, 2020, 36(2): 176-181.
- [23] 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]. 食品与机械, 2020, 36(2): 171-175.
- [24] 朱玉昌, 焦必宁. ABTS 法体外测定果蔬类总抗氧化能力的研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2005, 31(8): 77-79.