

蓬蒿籽多酚提取工艺的响应面优化 及其对食用油脂抗氧化活性研究

何福林, 黄丽佳, 游周敏, 梁 珍, 邵金华

(湖南科技学院 化学与生物工程学院, 湖南 永州 425199)

摘要:以蓬蒿籽为原料,在单因素实验基础上,采用响应面法对蓬蒿籽多酚的提取工艺条件进行优化,并对蓬蒿籽多酚的抗氧化活性进行研究。结果表明,蓬蒿籽多酚的最佳提取工艺条件为:提取温度 75 ℃,料液比 1:27,乙醇体积分数 53%,提取时间 70 min。在最佳条件下,蓬蒿籽多酚得率为 20.36%。蓬蒿籽多酚对猪油、菜籽油及花生油都有较强的抗氧化效果,较柠檬酸和 BHA 对猪油的抗氧化效果好,且与抗坏血酸、柠檬酸、BHA 及 BHT 有协同增效作用。

关键词:蓬蒿籽;多酚;提取;抗氧化

中图分类号:TS229;TS202.3 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2020)09-0067-06

Optimization of extraction process of polyphenols from *Chrysanthemum coronarium* seeds with response surface methodology and its antioxidant activity on edible oils

HE Fulin, HUANG Lijia, YOU Zhoumin, LIANG Zhen, SHAO Jinhua

(College of Chemical and Biological Engineering, Hunan University of Science and Engineering, Yongzhou 425199, Hunan, China)

Abstract: Taking the *Chrysanthemum coronarium* seeds as the raw material, the extraction technology of polyphenols from *Chrysanthemum coronarium* seeds was optimized by response surface methodology based on single factor experiment, and antioxidant activity of the polyphenols was studied. The results revealed that the optimal extraction conditions were obtained as follows: extraction temperature 75 ℃, solid-liquid ratio 1:27, ethanol volume fraction 53%, extraction time 70 min. Under the optimal conditions, the extraction rate of polyphenols from *Chrysanthemum coronarium* seeds was 20.36%. Moreover, polyphenols from *Chrysanthemum coronarium* seeds had stronger antioxidant effects on lard, rapeseed oil and peanut oil, better than citric acid and BHA on lard, and had synergistic effects with ascorbic acid, citric acid, BHA and BHT.

Key words: *Chrysanthemum coronarium* seeds; polyphenols; extraction; antioxidation

蓬蒿 (*Chrysanthemum coronarium*), 菊科蓬蒿属, 为一年生或两年生草本植物^[1]。蓬蒿在我国已经有 900 多年的栽培历史, 是南、北方人都比较喜爱食用的一种蔬菜^[2]。现代研究表明, 蓬蒿具有抗肿

瘤、止咳祛痰、植物化感作用、杀虫、护肝、抗氧化和杀菌等多种生物活性^[3]。蓬蒿籽质地坚硬, 多数情况下被当作废弃物丢弃, 造成资源浪费^[4]。多酚在植物的果实、根、叶以及皮中大量存在, 不但能清除自由基、抑制氧化酶活性以及螯合金属离子来抑制油脂氧化^[5], 还能间接提高人体内源性抗氧化酶的抗氧化活性^[6]。

氧化是食用油脂酸败的主要原因之一, 油脂氧化过程中氢过氧化物不稳定, 分解产生醛、酮、酸等物质^[7], 这些物质既对油脂的风味、色泽、质量有影

收稿日期:2020-03-10;修回日期:2020-05-27

基金项目:湖南省自然科学基金项目(2018JJ3194)

作者简介:何福林(1968),男,教授,硕士,研究方向为天然产物研究与开发(E-mail)il0749@163.com。

通信作者:邵金华,高级实验师,硕士(E-mail)jinhua0212@163.com。

响,还会产生一些有毒物质,参与各种疾病的代谢途径,导致神经性疾病、癌症、人体老化及冠心病的发生^[8]。防止油脂氧化最有效的方式就是添加抗氧化剂^[9]。目前,广泛使用人工合成抗氧化剂 BHA、BHT、TBHQ 等,但其存在安全隐患,过量使用会致畸、产生慢性病及癌变等^[10]。天然抗氧化剂绿色环保,安全性高,受到人们青睐^[11]。植物多酚属于天然的抗氧化剂,既安全又能减缓油脂的氧化^[12]。目前,国内外从植物中提取多酚的研究报道很多,但关于蓬蒿籽多酚的研究未见报道。本文采用响应面法优化蓬蒿籽多酚的提取工艺,采用 Schaal 烘箱法研究蓬蒿籽多酚对不同油脂的抗氧化能力,以期为蓬蒿籽多酚的开发和利用提供理论支持。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 原料与试剂

菜籽油、花生油,由永州市冷水滩区中良榨油厂现榨;猪油,实验室自制。蓬蒿籽,市售。碳酸钠、硫酸亚铁、乙酸钠、冰醋酸、没食子酸等均为分析纯。BHA、BHT,南京百慕达生物科技有限公司。

1.1.2 仪器与设备

F-008S 超声波清洗机,深圳福洋科技集团有限公司;Agilent Cary 60 紫外可见分光光度计,安捷伦科技(中国)有限公司;GL124-1SCN 电子分析天平,赛多利斯(上海)贸易有限公司;PTHW-500 普通恒温电热套,南京科尔仪器设备有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 原料预处理

将蓬蒿籽放入 40℃ 干燥箱内烘干至恒重,粉碎过 60 目筛,用 12 倍石油醚浸泡 24 h 脱脂,抽滤后滤渣于 50℃ 烘干,密封保存备用。

1.2.2 蓬蒿籽多酚的提取

准确称取 1.0 g 脱脂蓬蒿籽粉,在一定的温度、料液比下用不同体积分数的乙醇提取一定时间后,用四层纱布过滤,真空抽滤收集滤液,真空浓缩后 60℃ 真空干燥得蓬蒿籽多酚。

1.2.3 蓬蒿籽多酚得率的测定

1.2.3.1 多酚含量的测定

准确称取没食子酸 70 mg,少量蒸馏水溶解后用容量瓶定容至 100 mL,得到质量浓度为 0.7 mg/mL 的没食子酸标准溶液^[13]。分别取 0、0.5、1.0、1.5、2.0、3.0、4.0 mL 没食子酸标准溶液,用 50 mL 容量瓶定容,配成不同质量浓度的标准工作溶液。分别取不同质量浓度的标准工作液 1.0 mL 至 10.0 mL 比色管中,再向每个比色管中加入福林酚

试剂 1.5 mL,充分摇匀 30 s 后加入 6.0 mL 10% Na₂CO₃ 溶液,摇匀,加蒸馏水定容,在 30℃ 避光放置 2 h 进行显色反应,以不含没食子酸的比色管作为空白,在 760 nm(由 3 mL 显色后的没食子酸标准工作溶液和蓬蒿籽多酚样品溶液在 400~900 nm 下扫描确定的最大吸收波长)处测吸光度。以没食子酸质量浓度为横坐标,吸光度为纵坐标绘制标准曲线,得到标准曲线方程为 $y = 0.038x - 0.0051$, $R^2 = 0.9986$ 。

精密量取 1.0 mL 蓬蒿籽提取液(1.2.2 中真空抽滤后的滤液)于 10 mL 比色管中,向其中加入 1.5 mL 福林酚试剂,充分摇匀 30 s 后加入 6.0 mL 10% Na₂CO₃ 溶液,摇匀,加蒸馏水定容,在 30℃ 避光放置 2 h 进行显色反应,以不加蓬蒿籽提取液的作为空白,在 760 nm 处测吸光度。再根据标准曲线方程,求出提取液中多酚含量。

1.2.3.2 多酚得率的计算

$$\text{多酚得率} = \frac{C \times V \times N}{M} \times 100\%$$

式中: C 为蓬蒿籽提取液中多酚含量,mg/mL; V 为提取液的体积,mL; N 为稀释倍数; m 为蓬蒿籽粉质量,g。

1.2.4 蓬蒿籽多酚对油脂的抗氧化效果测定

1.2.4.1 蓬蒿籽多酚对不同油脂抗氧化效果的影响

取猪油、菜籽油、花生油各 50 g,向其中添加 0.02% 的蓬蒿籽多酚,混匀,放入(60±2)℃ 的烘箱中,每隔 8 h 摇匀并交换它们在烘箱中的位置,在 0、2、4、6、8、10、12、14、16、18 d 取样测定过氧化值(POV),每次测定重复 3 次。

1.2.4.2 蓬蒿籽多酚与其他抗氧化剂抗氧化活性比较

取等量的猪油样品各 50 g,分别添加 0.02% 的蓬蒿籽多酚、BHT、BHA、柠檬酸、抗坏血酸,混匀,同时以不加抗氧化剂的猪油为空白对照,然后按 1.2.4.1 操作,测定油样在加速氧化条件下的过氧化值。

1.2.4.3 蓬蒿籽多酚与其他抗氧化剂的协同作用对猪油的抗氧化效果

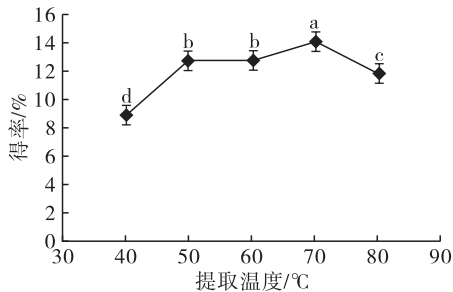
取等量的猪油样品各 50 g,分别添加 0.02% 蓬蒿籽多酚与 0.02% BHT、0.02% BHA、0.02% 柠檬酸、0.02% 抗坏血酸 4 种复配物,以及 0.04% 的蓬蒿籽多酚,混匀,同时以不加抗氧化剂的猪油为空白对照,再按 1.2.4.1 操作,测定油样在加速氧化条件下的过氧化值。

2 结果与讨论

2.1 单因素实验

2.1.1 提取温度对蓬蒿籽多酚得率的影响

在料液比 1:20、乙醇体积分数 60%、提取时间 55 min 条件下,考察提取温度对蓬蒿籽多酚得率的影响,结果见图 1。



注:不同小写字母表示差异显著, $P < 0.05$ 。下同。

图 1 提取温度对蓬蒿籽多酚得率的影响

由图 1 可知,随着提取温度的升高,蓬蒿籽多酚得率逐渐增加,当提取温度为 70 °C 时,蓬蒿籽多酚得率最高,继续升高提取温度,其得率降低。这是因为随着提取温度的升高,多酚物质运动加剧,在乙醇中扩散速度越快,提取效果越好,但提取温度过高会破坏蓬蒿籽中的活性成分,而且会增加杂质溶出量,降低多酚溶出量,使蓬蒿籽多酚得率下降^[14]。

2.1.2 料液比对蓬蒿籽多酚得率的影响

在乙醇体积分数 60%、提取时间 55 min、提取温度 70 °C 条件下,考察料液比对蓬蒿籽多酚得率的影响,结果见图 2。

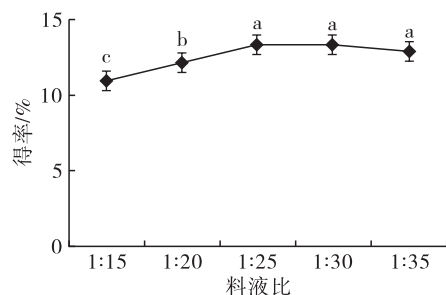


图 2 料液比对蓬蒿籽多酚得率的影响

由图 2 可知,当料液比在 1:25 时,蓬蒿籽多酚得率达到最大,说明料液比越高,可溶性物质溶出越多,可以提高蓬蒿籽多酚得率^[15]。当料液比超过 1:25 后,蓬蒿籽多酚得率变化不大且有下降趋势,这是因为当料液比过高时,可溶性物质溶出已达到最大,增加溶剂反而促进其他杂质溶出,增加了后续浓缩的难度^[16]。

2.1.3 乙醇体积分数对蓬蒿籽多酚得率的影响

在提取时间 55 min、提取温度 70 °C、料液比

1:25 条件下,考察乙醇体积分数对蓬蒿籽多酚得率的影响,结果见图 3。

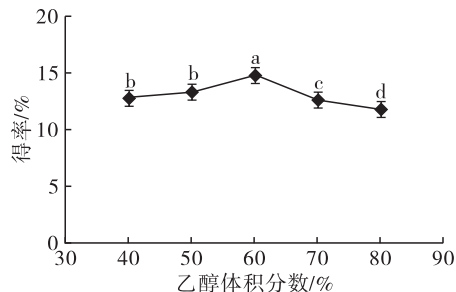


图 3 乙醇体积分数对蓬蒿籽多酚得率的影响

由图 3 可知,当乙醇体积分数在 40% ~ 60% 区间蓬蒿籽多酚得率呈上升趋势,在 60% ~ 80% 区间蓬蒿籽多酚得率呈下降趋势,当乙醇体积分数为 60% 时,蓬蒿籽多酚得率最高,为 14.83%。可能的原因是当乙醇体积分数较小时,淀粉、蛋白质、一些多糖以及果胶等部分亲水性物质会溶于乙醇溶液,影响多酚的提取^[17];当乙醇体积分数过高时会妨碍乙醇渗透进植物细胞,从而影响多酚的提取^[18]。

2.1.4 提取时间对蓬蒿籽多酚得率的影响

在提取温度 70 °C、料液比 1:25、乙醇体积分数 60% 条件下,考察提取时间对蓬蒿籽多酚得率的影响,结果见图 4。

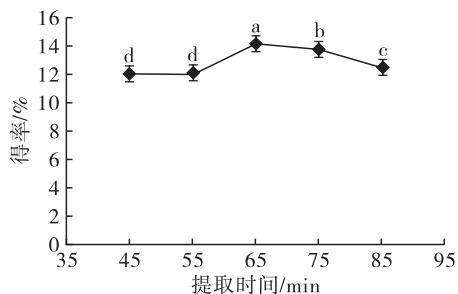


图 4 提取时间对蓬蒿籽多酚得率的影响

由图 4 可知,随着提取时间的延长,蓬蒿籽多酚得率逐渐升高,在提取时间为 65 min 时,蓬蒿籽多酚得率最高,超过 65 min 时,蓬蒿籽多酚得率降低。可能是因为随着提取时间的延长,蓬蒿籽中的多酚会逐渐扩散到溶剂中,当达到一定的提取时间之后,蓬蒿籽多酚的溶解速度变慢,提取时间过长,会增加杂质溶出,多酚结构可能遭到破坏,从而导致得率下降。

2.2 响应面优化实验

2.2.1 实验设计与结果

在单因素实验的基础上,采用四因素三水平的 Box - Behnken 中心组合设计实验,分别考察提

取温度(X_1)、料液比(X_2)、乙醇体积分数(X_3)及提取时间(X_4)对蓬蒿籽多酚得率(Y)的影响。响应面实验因素水平见表1,响应面实验设计与结果见表2。

表1 响应面实验因素水平

水平	$X_1/^\circ\text{C}$	X_2	$X_3/\%$	X_4/min
-1	60	1:25	50	55
0	70	1:30	60	65
1	80	1:35	70	75

表2 响应面实验设计与结果

实验号	X_1	X_2	X_3	X_4	$Y/\%$
1	1	0	0	1	15.83
2	1	0	0	-1	13.69
3	-1	-1	0	0	12.88
4	0	1	0	-1	11.86
5	1	1	0	0	13.48
6	-1	0	0	1	12.49
7	0	0	-1	1	16.98
8	0	0	1	1	12.08
9	0	0	0	0	18.25
10	0	1	1	0	12.89
11	0	0	0	0	18.66
12	1	-1	0	0	16.55
13	1	0	-1	0	17.98
14	-1	0	1	0	11.65
15	0	0	1	-1	13.03
16	0	-1	-1	0	18.22
17	0	-1	0	-1	12.12
18	0	0	-1	-1	12.25
19	0	-1	0	1	16.59
20	1	0	1	0	14.32
21	0	0	0	0	19.18
22	0	1	-1	0	12.05
23	-1	1	0	0	11.08
24	0	-1	1	0	11.48
25	0	1	0	1	11.31
26	-1	0	-1	0	13.95
27	0	0	0	0	19.03
28	0	0	0	0	19.19
29	-1	0	0	-1	11.97

2.2.2 响应面实验分析

对表2的数据进行分析,得到回归方程: $Y = 18 + 1.51X_1 - 1.41X_2 - 1.15X_3 + 0.69X_4 - 0.063X_1X_2 - 0.35X_1X_3 + 0.47X_1X_4 + 1.31X_2X_3 - 1.25X_2X_4 - 0.87X_3X_4 - 1.29X_1^2 - 2.48X_2^2 - 2.32X_3^2 - 2.68X_4^2$ 。

对回归方程进行显著性检验分析,结果见表3。

表3 方差分析

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
模型	224.72	14	16.05	111.48	<0.000 1 **
X_1	26.49	1	26.49	184.00	<0.000 1 **
X_2	19.18	1	19.18	133.19	<0.000 1 **
X_3	21.28	1	21.28	147.80	<0.000 1 **
X_4	8.94	1	8.94	62.12	<0.000 1 **
X_1X_2	0.40	1	0.40	2.80	0.116 4
X_1X_3	0.46	1	0.46	3.21	0.094 8
X_1X_4	0.66	1	0.66	4.56	0.050 9
X_2X_3	14.36	1	14.36	99.76	<0.000 1 **
X_2X_4	6.30	1	6.30	43.76	<0.000 1 **
X_3X_4	8.07	1	8.07	56.02	<0.000 1 **
X_1^2	34.64	1	34.64	240.61	<0.000 1 **
X_2^2	57.64	1	57.64	400.30	<0.000 1 **
X_3^2	30.96	1	30.96	215.04	<0.000 1 **
X_4^2	59.15	1	59.15	410.82	<0.000 1 **
残差	2.02	14	0.14		
失拟项	1.36	10	0.14	0.84	0.629 3
纯误差	0.65	4	0.16		
总和	226.74	28			

注:** $P < 0.000 1$,差异极显著。

由表3可见,此模型极显著,相关系数(R^2)为0.991 1,校正决定系数(R_{Adj}^2)为0.982 2,失拟项不显著。说明此回归方程拟合度好,误差较小,能用来预测和分析蓬蒿籽多酚得率。提取温度(X_1)、料液比(X_2)、乙醇体积分数(X_3)及提取时间(X_4)对蓬蒿籽多酚得率的影响极显著,各因素对蓬蒿籽多酚得率影响的顺序为 $X_1 > X_3 > X_2 > X_4$,即提取温度 > 乙醇体积分数 > 料液比 > 提取时间。

2.2.3 最佳条件及验证实验

通过响应面优化分析,确定蓬蒿籽多酚最佳的提取条件为:提取温度74.55 $^\circ\text{C}$,料液比1:27.16,乙醇体积分数52.63%,提取时间69.65 min。在最佳条件下,蓬蒿籽多酚得率预测值为20.25%。结合实际综合考虑,将理论值修正为提取温度75 $^\circ\text{C}$ 、料液比1:27、乙醇体积分数53%、提取时间70 min,在此条件下进行3次平行实验,得到蓬蒿籽多酚得率为20.36%。实际值接近理论值,说明模型可靠。

2.3 蓬蒿籽多酚对油脂的抗氧化效果

2.3.1 蓬蒿籽多酚对不同油脂的抗氧化效果(见图5)

由图5可知,随着时间的延长,不同油样的过氧化值不断增大,未添加蓬蒿籽多酚的空白油样的过氧化值迅速增加,而添加蓬蒿籽多酚油样的过氧化值增速减缓。说明蓬蒿籽多酚对猪油、菜籽油及花

生油的氧化酸败有不同程度的延缓作用。

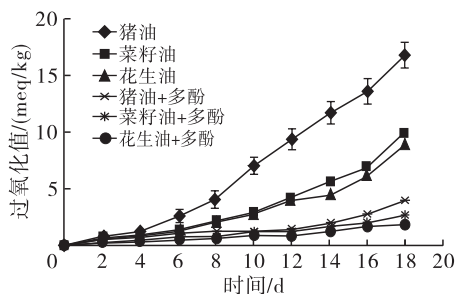


图5 蓬蒿籽多酚对不同油脂的抗氧化效果

2.3.2 蓬蒿籽多酚与其他抗氧化剂抗氧化活性比较(见图6)

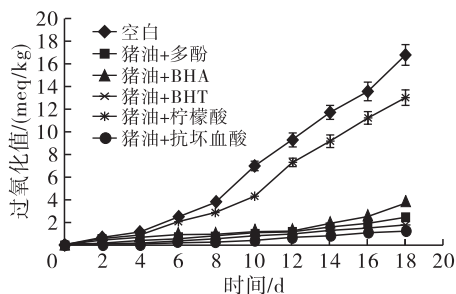


图6 蓬蒿籽多酚与其他抗氧化剂抗氧化活性比较

由图6可知,随着时间的延长,不同油样的过氧化值都有不同程度的增长,但添加抗氧化剂的油样的过氧化值都低于空白油样,添加蓬蒿籽多酚的油样的过氧化值低于添加BHA及柠檬酸的油样,高于添加BHT及抗坏血酸的油样。说明蓬蒿籽多酚的抗氧化能力强于柠檬酸和BHA,与BHT接近,低于抗坏血酸。

2.3.3 蓬蒿籽多酚与其他抗氧化剂的协同作用对猪油抗氧化效果(见图7)

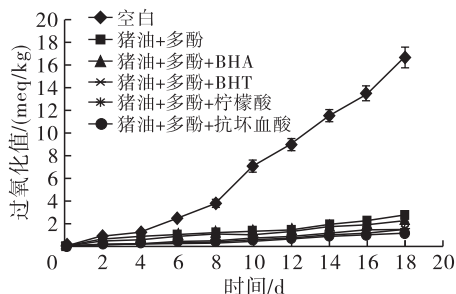


图7 蓬蒿籽多酚与其他抗氧化剂协同增效作用

由图7可知:随着时间的延长,空白油样的过氧化值迅速增大,而添加了蓬蒿籽多酚的油样过氧化值明显低于空白油样;各复配组对油样的抗氧化效果强于单一蓬蒿籽多酚组,复配组对猪油的抗氧化效果由强到弱为蓬蒿籽多酚+抗坏血酸>蓬蒿籽多酚+柠檬酸>蓬蒿籽多酚+BHT>蓬蒿籽多酚+BHA。蓬蒿籽多酚与有机酸实验组抗氧化效果的提高,可能是由于有机酸能够与油中一些金属离子螯

合成金属盐,使油脂的催化能力降低,进而增加了蓬蒿籽多酚的抗氧化能力^[19-20]。

3 结论

本文在单因素实验的基础上,采用响应面实验对蓬蒿籽多酚提取工艺条件进行了优化,得到最佳的提取工艺条件为:提取温度75℃,料液比1:27,乙醇体积分数53%,提取时间70 min。在最佳条件下,蓬蒿籽多酚得率为20.36%。蓬蒿籽多酚对油脂的抗氧化研究表明,蓬蒿籽多酚对猪油、菜籽油及花生油都有较好的抗氧化效果,蓬蒿籽多酚较柠檬酸和BHA对猪油的抗氧化效果好,并且与抗坏血酸、柠檬酸、BHA及BHT有协同增效作用。

参考文献:

- [1] 王丽芳,卢德勋,丁国和. 菊科植物蓬蒿有效成分提取工艺条件筛选[J]. 畜牧与饲料科学,2011,32(21):141-142.
- [2] 王凤娟,孙飞龙,张冬梅,等. 响应面法优化提取蓬蒿中多酚类物质[J]. 西安工程大学学报,2017,31(4):480-485.
- [3] ABDELGALEIL S A M, SAAD M M G, ARIEFTA N R, et al. Antimicrobial and phytotoxic activities of secondary metabolites from *Haplophyllum tuberculatum* and *Chrysanthemum coronarium* [J]. S Afr J Bot, 2020, 128:35-41.
- [4] 万春鹏,刘琼,张新龙,等. 药食两用植物蓬蒿化学成分及生物活性研究进展[J]. 现代食品科技, 2014, 30(10):282-288.
- [5] 费鹏,赵胜娟,陈曦,等. 植物多酚抑菌活性、作用机理及应用研究进展[J]. 食品与机械, 2019, 35(7):226-230.
- [6] 符莎露,吴甜甜,吴春华,等. 植物多酚的抗氧化和抗菌机理及其在食品中的应用[J]. 食品工业, 2016, 37(6):242-246.
- [7] LEA T, TAKAHASHI K, OKAZAKI E, et al. Mitigation of lipid oxidation in tuna oil using gelatin pouches derived from horse mackerel (*Trachurus japonicus*) scales and incorporating phenolic compounds [J/OL]. LWT, 2020, 128[2020-03-01]. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109533>.
- [8] ZHU M T, SHI T, GUO Z Y, et al. Comparative study of the oxidation of cold-pressed and commercial refined camellia oil during storage with ¹H and ³¹P NMR spectroscopy [J/OL]. Food Chem, 2020, 321[2020-03-19]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126640>.
- [9] UCAR Y. Antioxidant effect of nanoemulsions based on citrus peel essential oils: prevention of lipid oxidation in trout [J/OL]. Eur J Lipid Sci Tech, 2020, 122(5)[2020-04-28]. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201900405>.
- [10] 王占一,葛笑昆,周婉梅,等. 藕节多酚超声波辅助提取工艺优化及其抗油脂氧化能力研究[J]. 中国油脂, 2020, 45(4):51-55.

(下转第76页)

根据响应面模型可得出,水煮法去精油的原料迷迭香脂溶性抗氧化剂最优提取条件为提取温度 61 ℃、料液比 1:11、提取时间 61 min、提取次数 5 次,此时迷迭香脂溶性抗氧化剂得率预测值为 2.920 3%。在最优提取条件下,重复进行 3 次平行验证试验,迷迭香脂溶性抗氧化剂得率平均为 2.860 1%,与预测值相差不大,表明该模型的可靠性较高。蒸馏法去精油的原料迷迭香脂溶性抗氧化剂最优提取条件为提取温度 71 ℃、料液比 1:11、提取时间 81 min、提取次数 4 次,此时的迷迭香脂溶性抗氧化剂得率预测值为 3.839 7%。在最优提取条件下,重复进行 3 次平行验证试验,迷迭香脂溶性抗氧化剂得率平均为 3.801 3%,与预测值相差不大,表明该模型的可靠性较高。

3 结论

本研究通过响应面分析法建立了迷迭香脂溶性抗氧化剂提取工艺的数学模型,以抗氧化剂得率为指标,通过响应面分析最终确定了蒸馏法和水煮法去精油后,采用无添加食用油提取其中的脂溶性抗氧化剂的最优条件。对比分析表明,蒸馏法去精油的抗氧化剂得率(3.801 3%)优于水煮法去精油的(2.860 1%)。

目前,对迷迭香中抗氧化剂的提取大多是采用有机溶剂提取法,其他提取剂的研究较少,从而限制了迷迭香的综合开发利用。本研究采用无添加食用

油作提取剂,提供了一个全新、安全、无害及稳定的迷迭香脂溶性抗氧化剂的提取方法,且此方法提取的天然脂溶性抗氧化剂为其在食用油保鲜技术等方面的研究提供一定的理论参考依据。

参考文献:

- [1] 方晓璞,解克伟,任春明,等.迷迭香天然抗氧化剂的应用研究[J].中国油脂,2014,39(7):27-29.
- [2] 李榕.食品中多种抗氧化剂的测定方法研究[D].南京:南京农业大学,2007.
- [3] 曾伟,梁天绪.迷迭香提取物在油脂和肉类制品中的应用[J].中国食品添加剂,2000,11(3):42-46.
- [4] 杨燕.迷迭香抽提物的性质与应用[J].中国食品工业,1999,16(3):38-39.
- [5] 霍晓娜.天然抗氧化剂对控制猪肉脂肪氧化及保鲜效果研究[J].肉类研究,2005,26(10):145-148.
- [6] 李涛,余旭亚,陈朝银,等.抗氧化剂的研究与应用现状[J].食品研究与开发,2003,24(2):23-25.
- [7] 肖香.迷迭香精油及抗氧化剂的提取纯化研究[D].江苏无锡:江南大学,2006.
- [8] 陈凌霞,孙海杰,徐滕滕,等.迷迭香精油和抗氧化剂的提取方法及相关研究[J].化学工程与技术,2020,10(3):215-223.
- [9] 刘凤柳,天建华,曾婉俐,等.迷迭香有效成分的提取方法综述[J].应用化工,2014(S1):177-180.
- [10] 王秀环,孙伟卫,季新燕,等.迷迭香精油提取工艺研究进展[J].山西中医学院学报,2015,16(1):73-76.
- [11] 常馨月,陈程莉,龚娣,等.天然抗氧化剂抑制油脂氧化的研究进展[J].中国油脂,2020,45(4):46-50.
- [12] ALAM M K, RANA Z H, LSLAN S N, et al. Comparative assessment of nutritional composition, polyphenol profile, antidiabetic and antioxidative properties of selected edible wild plant species of Bangladesh[J/OL]. Food Chem, 2020,320[2020-03-01]. https://doi.org/10.1016/j.food-chem.2020.126646.
- [13] 郭宏垚,李冬,雷雄,等.花椒多酚提取工艺响应面优化及动力学分析[J].食品科学,2018,39(2):247-253.
- [14] LAKKA A, GRIGORAKIS S, KARAGEORGOU I, et al. Saffron processing wastes as a bioresource of high-value added compounds: development of a green extraction process for polyphenol recovery using a natural deep eutectic solvent [J/OL]. Antioxidants (Basel, Switzerland), 2019, 8(12)[2020-03-01]. https://doi.org/10.3390/antiox8120586.
- [15] 周琦,曾莹,祝遵凌.响应面法优化香水莲花多酚的提取工艺及其抗氧化活性[J].现代食品科技,2018,34(11):1-8.
- [16] 张玲,黄健文,吴晓颖,等.青橄榄浸膏的提取及其抗氧化活性研究[J].天然产物研究与开发,2019,31(1):147-154,23.
- [17] 胡会刚,赵巧丽.菠萝皮渣多酚的提取分离及其抗氧化活性评价[J].食品科技,2020,45(1):286-293.
- [18] KIM Y M, SEO S B. Beneficial effects on cosmetic activity by optimizing the calamondin orange extraction process[J/OL]. Nat Prod Commun, 2019, 14(6)[2020-03-01]. https://doi.org/10.1177/1934578X19856783.
- [19] 南海娟,王正荣,葛亚明,等.金银花与叶醇提取物对油脂的抗氧化活性比较[J].食品与发酵工业,2017,43(6):175-180.
- [20] 许中畅,卢晓霆.葵盘总黄酮对油脂抗氧化作用研究[J].中国油脂,2016,41(2):44-47.

(上接第 71 页)