

响应面法优化超声-微波 协同辅助提取橄榄多酚工艺研究

项昭保^{1,2}, 刘星宇³

(1.催化与功能有机分子重庆市重点实验室, 重庆 400067;
2.重庆工商大学环境与资源学院, 重庆 400067; 3.重庆邮电大学生物信息学院, 重庆 400065)

摘要:目的:优化超声-微波协同提取橄榄多酚的工艺条件,为工业化生产中提取橄榄多酚提供参考。方法:在单因素实验的基础上,采用响应面法优化超声-微波协同提取橄榄多酚的提取工艺。结果:橄榄多酚最佳提取工艺为:微波功率为 550 W,微波提取时间为 4.4 min,超声功率为 330 W,乙醇浓度为 62%,此条件下的橄榄多酚实际得率为 6.33%,接近于模型预测值 6.35%。结论:该工艺简便、快速、得率高,为工业化应用提供了精确有效的参考标准,为广泛开发利用橄榄资源提供了良好的参考价值。

关键词:橄榄,多酚,超声,微波,提取,响应面法

Optimization of ultrasonic-microwave synergistic extraction of polyphenol from *Canarium album* by response surface methodology

XIANG Zhao-bao^{1,2}, LIU Xing-yu³

(1.Chongqing Key Laboratory of Catalysis & Functional Organic Molecules, Chongqing 400067, China;
2.College of Environmental and Resources, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China;
3.College of Bio-Information, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: Objective: The technology for ultrasonic-microwave synergistic extracting polyphenols from *Canarium album* was optimized, which can provide certain references for actual production. Methods: On the basis of single factor experiments, the optimum conditions for the extraction of polyphenol was obtained by response surface methodology. Results: The optimum conditions of extracting polyphenol from *Canarium album* were as follows: microwave power 550 W, microwave extraction time 4.4 min, ultrasonic power 330 W, ethanol concentration 62%. Under these conditions, the polyphenol yield was 6.33%, which was close to the model predictive value of 6.35%. Conclusion: the optimum process was simple and rapid, which had good yield. Furthermore, this study offered not only an accurate and effective reference standard for industrial applications, but also a good reference value for widely exploitation and utilization of *Canarium album* resource.

Key words: *Canarium album*; polyphenols; ultrasonic; microwave; extraction; response surface methodology

中图分类号: TS255.1

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2016)01-0195-06

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2016.01.032

橄榄 (*Canarium album* (Lour.) Raeusch.) 是橄榄科橄榄属植物,为卫生部首批公布的药食两用物种,有较高的药用价值,《农书》、《增补本草备要》、《本草纲目》、《日华子本草》等阐明了橄榄具有消酒解毒、清咽生津作用,能治咽喉痛,有开胃、下气、止泻等功效。随着橄榄的广泛应用,国内外学者从橄榄中分离出了多种酚类物质,并证明了其具有较强的抗氧化^[1]、抗菌^[2]、抗炎^[3]、抗肿瘤^[4]和抗乙肝病毒^[5]等药理作用,橄榄多酚成为当前的研究热点。

超声波和微波作为现代化提取技术,与传统溶剂提取法相比,具有提取时间短、提取效率高、能耗低

等优点,在天然产物有效部位提取中广泛应用^[6-8],但是超声-微波协同提取的报道较少,但效果更好。如闫海清^[9]等运用超声微波联用技术提取蓝莓总多酚,优化结果表明超声微波联用技术较单一超声提取或微波提取能大大提高多酚得率。对于橄榄多酚的提取研究,罗永会等^[10]采用传统乙醇浸提,最佳工艺需 4 h,得率 5.75%;曾培源等^[11]采用超声辅助提取橄榄多酚,最佳工艺需提取 3 次,每次 40 min,共 2 h,得率 2.32%;何志勇等^[12]采用微波辅助提取橄榄多酚,最佳工艺仅需 15 s,得率 1.2%,传统提取法耗时但得率较高,现代提取法省时但得率较低,为提高现代提取

收稿日期: 2015-01-23

作者简介: 项昭保 (1977-), 男, 博士, 教授, 主要从事天然产物成分研究工作, E-mail: xiangzb@126.com。

基金项目: 重庆市基础与前沿研究计划一般项目 (CSTC2014jcyjA10099); 重庆工商大学科研启动项目 (2015-56-07); 重庆工商大学科研基金项目 (2015); 重庆邮电大学大学生科研训练项目 (A2014-49)。

技术橄榄多酚的得率,本文采用橄榄多酚的提取研究中未见报道超声微波协同提取技术,利用响应面法对橄榄多酚的提取工艺进行优化,为进一步推动橄榄多酚的工业生产和深加工,加大开发利用橄榄资源提供重要基础资料。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

橄榄 采自重庆市江津区石蟆镇橄榄种植基地,晒干、打粉、过筛、备用;没食子酸标准品、福林酚试剂 国药集团化学试剂有限公司;乙醇 重庆川东化工有限公司;碳酸钠 上海虹光化工厂,均为分析纯。

T6 新悦型可见分光光度计 北京普析通用仪器有限责任公司;20B 型万能粉碎机 江阴市祝塘永昌药化机械厂;Sartorius LE225D 型电子分析天平 苏州赛恩斯仪器有限公司;超声微波组合反应系统 南京先欧仪器制造有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 建立标准曲线 精密称取没食子酸 50 mg,用蒸馏水溶解,定容至 100 mL,制备得 0.50 mg/mL 的标准液。再精密吸取 1.25、2.50、3.75、5.00、6.25、7.50 mL 没食子酸标准液分别定容于 25 mL 容量瓶内,配成梯度质量浓度分别为 0.025、0.050、0.075、0.100、0.125、0.150 mg/mL 的没食子酸溶液。然后从各稀释溶液中吸取 1.00 mL 加入 25 mL 容量瓶中,先加 10 mL 蒸馏水,摇匀,再加 1.50 mL 福林酚试剂,充分摇匀,5 min 后加入 6 mL 10% Na_2CO_3 溶液,定容,摇匀,然后在 30 ℃ 避光放置反应 60 min,以蒸馏水作参比,在 765 nm 处测定其吸光值^[13]。以吸光值为纵坐标,标准溶液浓度为横坐标,绘制标准曲线。

1.2.2 橄榄多酚得率的计算 精密吸取 1 mL 多酚提取液,蒸馏水定容至 25 mL 容量瓶。再采用 1.2.1 的方法测定其吸光值。重复实验三次,橄榄样品中的总多酚含量以没食子酸标准品计。

多酚得率: $Y(\%) = \rho \times A \times V / (1000M) \times 100$
式中, Y 为橄榄多酚得率,%; ρ 为待测液中多酚浓度, mg/mL; A 为稀释倍数; V 提取液总体积, mL; M 为称取的橄榄粉末质量, g。

1.2.3 单因素实验对橄榄多酚提取条件的优化

1.2.3.1 超声波时间对多酚得率的影响 称取 1 g 橄榄样品 6 份,各加入 65% 乙醇溶液 30 mL,分别在 150 W 超声波功率下各提取 10、20、30、40、50、60 min。提取液按 1.2.2 法进行多酚得率的计算,重复实验三次。

1.2.3.2 超声波功率对多酚得率的影响 称取 1 g 橄榄样品 6 份,各加入 65% 乙醇溶液 30 mL,分别在超声波功率为 75、150、225、300、375、450 W 条件下提取 40 min。提取液按 1.2.2 法进行多酚得率的计算,重复实验三次。

1.2.3.3 微波功率对多酚得率的影响 称取 1 g 橄榄样品 6 份,各加入 65% 乙醇溶液 30 mL,超声波功率 300 W 提取 40 min,分别在微波功率为 350、400、450、500、550、600 W 条件下协同提取 1 min,提取液按 1.2.2 法进行多酚得率的计算,重复实验三次。

1.2.3.4 微波时间对多酚得率的影响 称取 1 g 橄榄样品 6 份,各加入 65% 乙醇溶液 30 mL,超声波功率 300 W 提取 40 min,分别在微波功率为 500 W 条件下协同提取 1、2、3、4、5、6 min,提取液按 1.2.2 法进行多酚得率的计算,重复实验三次。

1.2.3.5 乙醇浓度对多酚得率的影响 称取 1 g 橄榄样品 6 份,分别加入 45%、55%、65%、75%、85%、95% 乙醇溶液 30 mL,超声波功率 300 W 提取 40 min,微波功率 500 W 条件下协同提取 4 min,提取液按 1.2.2 法进行多酚得率的计算,重复实验三次。

1.2.3.6 液固比对多酚得率的影响 称取 1 g 橄榄样品 6 份,分别加入 65% 乙醇溶液 10、15、20、25、30、35 mL,超声波功率 300 W 提取 40 min,微波功率 500 W 条件下协同提取 4 min,提取液按 1.2.2 法进行多酚得率的计算,重复实验三次。

1.2.4 响应面法优化橄榄多酚的提取工艺 在单因素实验的基础上,进行四因素三水平的 Box-Behnken 的中心组合设计,见表 1,采用响应面法分析所选 4 个因子对响应值(橄榄多酚得率)的影响,同时优化橄榄多酚的提取工艺。每组实验重复三次。

表 1 Box-Behnken 的中心组合因素水平表

Table 1 Factors and levels of Box-Behnken central component experiments design

水平	因素			
	A 微波功率 (W)	B 微波时间 (min)	C 超声功率 (W)	D 乙醇浓度 (%)
-1	450	3	225	55
0	500	4	300	65
1	550	5	375	75

1.2.5 统计分析 单因素实验数据使用 SPSS 19.0 软件进行显著性分析。响应面实验数据采用 Design expert 8.0.6 进行数据处理。

2 结果与讨论

2.1 标准曲线

据步骤 1.2.1 得回归方程: $A = 6.1977C + 0.0592$, $R^2 = 0.9987$,表明在 0.025 ~ 0.150 mg/mL 浓度范围内,没食子酸浓度 C 与吸光度 A 之间有着很好的线性相关性,如图 1 所示。

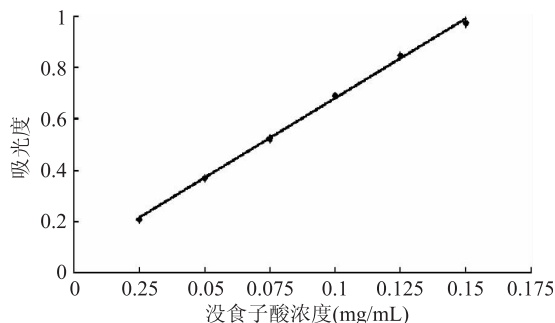


图 1 没食子酸标准曲线

Fig.1 Standard curve of gallic acid

2.2 单因素实验结果

2.2.1 超声波提取时间对多酚得率的影响 由图 2

可知,在 40 min 内,随着超声波提取时间的增长,多酚得率逐渐增大,当提取时间延长到 40 min 后,多酚得率开始略有下降,但经显著性分析,无明显差异,与曾培源等^[11]采用超声辅助提取橄榄多酚的单一提取时间 40 min 相同,因此在随后的实验中选择超声波提取时间为 40 min,且不作为响应面考察条件。

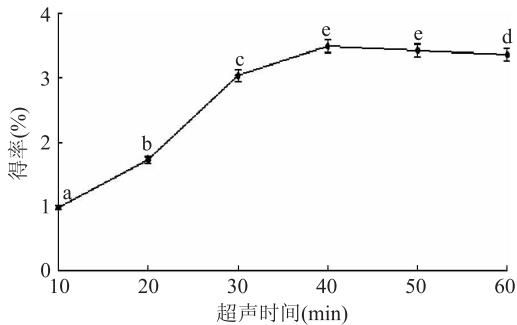


图2 超声波提取时间对橄榄多酚得率的影响

Fig.2 Effect of ultrasonic extraction time on the yield of polyphenols

注:图中不同字母表明差异性显著($p < 0.05$),相同字母表示无显著性差异($p > 0.05$),下同。

2.2.2 超声波功率对多酚得率的影响 由图 3 可知,随着超声波功率的增大,多酚得率逐渐增大,但是当超声波功率超过 300 W 以后,多酚得率开始明显下降。可能是由于大功率的超声波导致某些多酚物质结构被破坏,从而得率下降,这与王涓等^[14]报道一致,故根据实验结果,选取超声波功率 225、300、375 W 作为响应面考察条件。

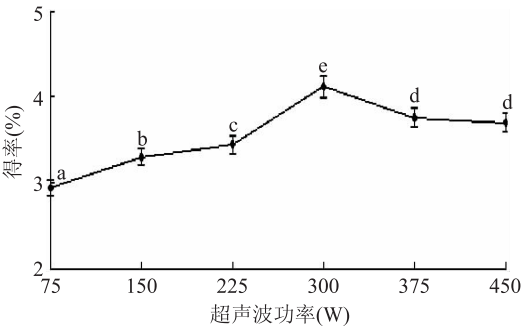


图3 超声波功率对橄榄多酚得率的影响

Fig.3 Effect of ultrasonic power on the yield of polyphenols

2.2.3 微波功率对多酚得率的影响 由图 4 可知,在 500 W 的微波功率内,随着功率的增大多酚得率逐渐增大,当微波功率为 500 W 时,多酚得率达到最大值。随后呈逐渐下降的趋势。可能是因为较大的微波功率使得多酚物质结构被破坏,从而导致得率下降,这与闫海清等^[9]报道一致。故根据实验结果,选取微波功率 450、500、550 W 作为响应面考察条件。

2.2.4 微波提取时间对多酚得率的影响 由图 5 知,随着微波提取时间的增大,多酚的得率也随之增大,但是当提取时间大于 4 min 后,其得率开始呈现下降的趋势,可能是由于长时间的微波辐射,导致提取温度增大,某些多酚类物质被降解,从而导致多酚得率下降,这与闫海清等^[9]报道一致。因此根据实验结果,选取微波提取时间 3、4、5 min 作为响应面考察条件。

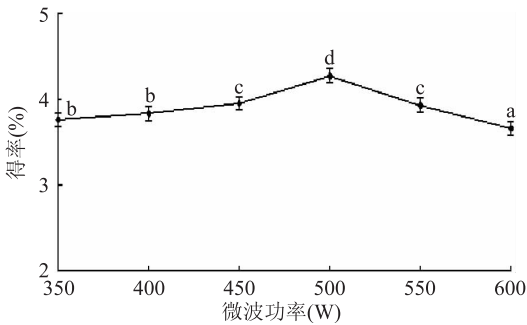


图4 微波功率对橄榄多酚得率的影响

Fig.4 Effect of microwave power on the yield of polyphenols

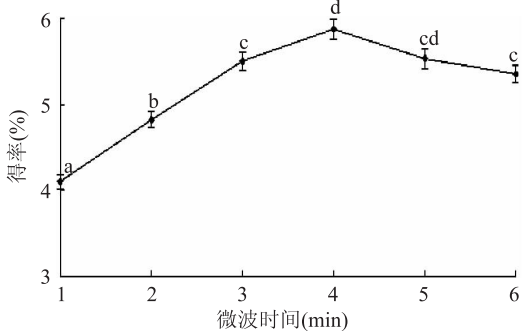


图5 微波提取时间对橄榄多酚得率的影响

Fig.5 Effect of microwave extraction time on the yield of polyphenols

2.2.5 乙醇浓度对橄榄多酚得率的影响 由图 6 知,乙醇浓度在 45%~65% 的范围内,随着浓度的增加,多酚得率也随之增大,但是 65% 的浓度范围以后,得率开始逐渐减少,原因可能是过高的乙醇浓度不能强有力地破坏橄榄中多酚类物质与蛋白质或其他物质的连接,使得多酚得率降低;但过低的乙醇浓度,会使糖类水溶性杂质的浸出率提高,多酚的得率也会降低,这与饶瑜等^[15]报道一致。所以根据实验结果,选取乙醇浓度 55%、65%、75% 三个水平作为响应面考察条件。

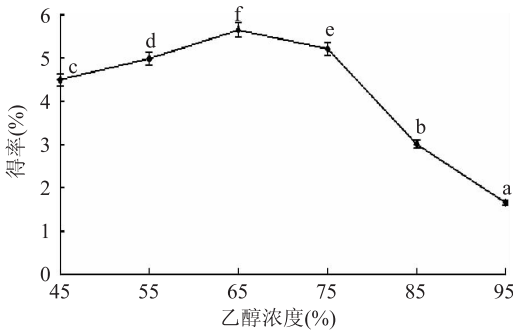


图6 乙醇浓度对橄榄多酚得率的影响

Fig.6 Effect of the concentration of ethanol on the yield of polyphenols

2.2.6 液固比对橄榄多酚得率的影响 由图 7 知,液固比在 10:1~25:1 (mL/g) 范围内,橄榄多酚得率随液固比的增加显著提高,当液固比超过 25:1 (mL/g) 时,多酚得率基本没有显著变化,其原因可能是在料液比为 25:1 (mL/g) 时,溶剂对多酚类物质溶解已达到平衡,增加溶剂量对增加多酚的得率几乎无影响,

这与曾培源等^[11]报道一致。故实验中选择料液比为25:1 (mL/g), 并且不作为响应面考察条件。

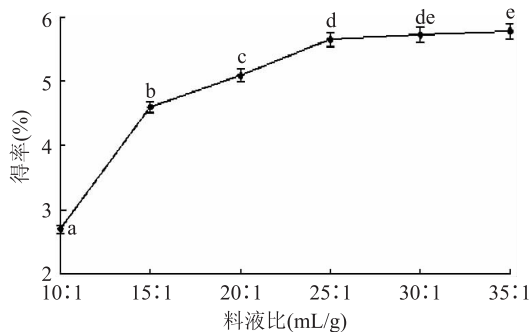


图7 液固比对橄榄多酚得率的影响

Fig.7 Effect of ratio of liquid to solid on the yield of polyphenols

2.3 响应面法优化橄榄多酚的提取工艺

在单因素实验的基础上,采用 Box-Behnken 中心组合进行四因素三水平的实验设计。以微波功率、微波提取时间、超声波功率和乙醇浓度为自变量,以橄榄多酚得率 Y 为响应值。实验设计及结果如表 2。

表2 响应面分析方案及实验结果

Table 2 Experimental design and corresponding results for response surface analysis

实验号	A	B	C	D	Y 多酚得率 (%)
1	1	0	1	0	5.33
2	1	0	-1	0	5.43
3	-1	0	0	1	4.28
4	0	0	-1	1	4.78
5	1	0	0	1	4.67
6	1	0	1	0	5.41
7	-1	0	-1	0	5.05
8	-1	-1	0	0	4.85
9	0	0	-1	-1	4.52
10	0	-1	0	1	4.48
11	0	0	1	1	4.58
12	1	-1	0	0	5.45
13	0	1	1	0	4.83
14	0	-1	0	-1	4.66
15	1	1	0	0	5.58
16	1	0	0	-1	5.96
17	0	-1	1	0	4.95
18	0	1	0	-1	6.1
19	0	0	1	-1	6.09
20	-1	0	0	-1	5.35
21	0	1	-1	0	5.49
22	-1	1	0	0	5.27
23	0	-1	-1	0	4.81
24	0	1	0	1	4.68
25	0	0	0	0	6.26
26	0	0	0	0	6.31
27	0	0	0	0	6.18
28	0	0	0	0	6.21
29	0	0	0	0	6.25

表 2 中,1~24 为析因实验,25~29 为中心实验,29 个实验点分为析因点和零点,其中析因点为因素 A、B、C 和 D 所构成的多维空间顶点,零点为区域的中心点,中心点实验进行 5 次,用以估计实验误差。根据表 2 的实验方案进行实验后,通过 design expert 8.0.6 软件对数据进行二次回归拟合,获得橄榄多酚得率对编码自变量微波功率、微波时间、超声功率和乙醇浓度的二次多项回归。根据实验结果建立的数学模型为:

$$Y = 6.24 + 0.20A + 0.23B + 0.093C - 0.41D - 0.069AB - 0.071AC - 0.054AD - 0.19BC - 0.31BD - 0.39CD - 0.36A^2 - 0.55B^2 - 0.57C^2 - 0.71D^2$$

模型的可靠性可通过方差分析和相关系数来考察。当 $p(Pr > F)$ 值小于 0.01 时影响为高度显著, $p(Pr > F)$ 值小于 0.05 影响显著。由表 3 的回归分析结果可知,模型的 $p(Pr > F)$ 值 < 0.0001 ,说明回归方程具有高度的显著性。此外, $R^2 = 92.05\%$,表明响应值橄榄多酚得率实际值与预测值之间具有较好的拟合度,该实验方案是可行的。一次项 B 和 D 对 Y 值的影响高度显著 ($p < 0.01$), A 对 Y 值也有显著影响 ($p < 0.05$),交互项 CD 影响极显著 ($p < 0.01$), BD 也有显著影响 ($p < 0.05$),二次项 A^2 、 B^2 、 C^2 、 D^2 对 Y 值也有极显著的影响 ($p < 0.01$)。响应曲面图可以形象地描述各因素之间的相互作用,如图 8~图 13 所示。

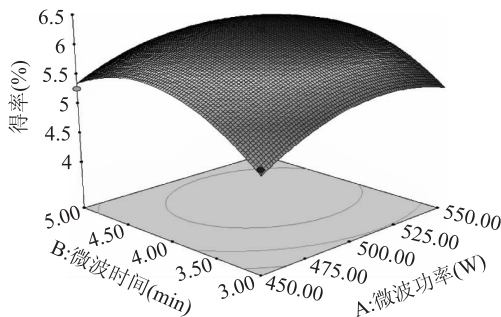


图8 微波时间和微波功率对多酚得率的交互影响

Fig.8 Effect of microwave extraction time and microwave power on the yield of polyphenols

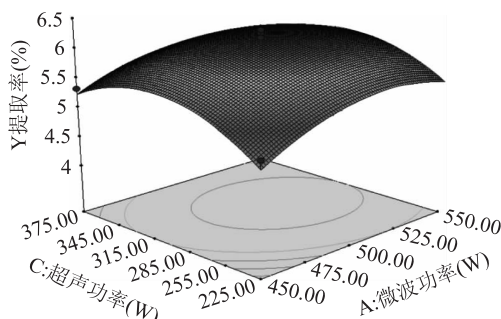


图9 超声功率和微波功率对多酚得率的交互影响

Fig.9 Effect of ultrasonic power and microwave power on the yield of polyphenols

当响应曲面坡度比较平滑,说明响应值受各个变量变化的影响较小,相反,当响应曲面坡度较陡峭,则说明响应值受变量交互作用较为明显。通过比较图 8~图 13,考察微波功率、微波时间、超声波功

表3 回归分析结果

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	Pr > F	显著性
模式	10.55	14	0.75	11.57	<0.0001	**
A	0.47	1	0.47	7.18	0.0179	*
B	0.63	1	0.63	9.67	0.0077	**
C	0.10	1	0.10	1.58	0.2299	
D	2.23	1	2.23	31.68	<0.0001	**
AB	0.021	1	0.021	0.32	0.5790	
AC	0.022	1	0.022	0.35	0.5661	
AD	0.011	1	0.011	0.19	0.6731	
BC	0.14	1	0.14	2.26	0.1394	
BD	0.38	1	0.38	5.90	0.0292	*
CD	0.75	1	0.75	12.02	0.0038	**
A ²	1.04	1	1.04	15.98	0.0013	**
B ²	2.22	1	2.22	34.14	<0.0001	**
C ²	2.11	1	2.11	32.42	<0.0001	**
D ²	3.28	1	3.28	50.27	<0.0001	**
残差	0.91	14	0.065			
失拟项	0.90	10	0.090	5.52	0.0544	
纯误差	0.009	4	0.002			
总离差	11.47	28				

注：**：差异高度显著($p < 0.01$)；*：差异显著($p < 0.05$)。

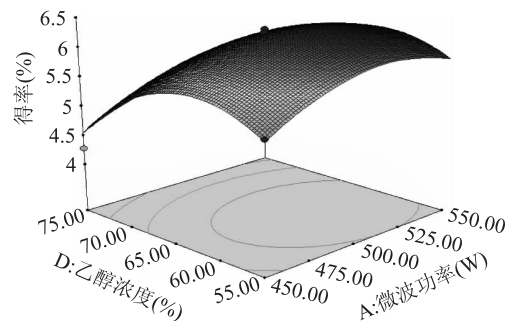


图10 乙醇浓度和微波功率对多酚得率的交互影响
Fig.10 Effect of the concentration of ethanol and microwave power on the yield

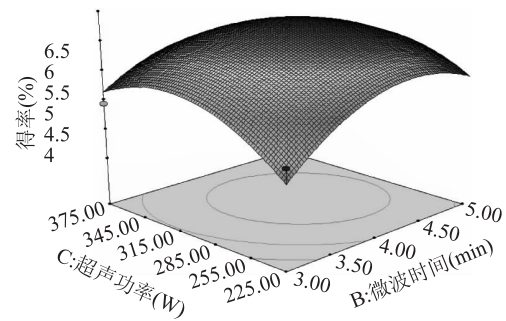


图11 超声功率和微波时间对多酚得率的交互影响
Fig.11 Effect of ultrasonic power and microwave extraction time on the yield of polyphenols

率和乙醇浓度四个因素两两之间交互作用对橄榄多酚提取的影响,可知乙醇浓度和微波时间以及乙醇浓度和超声功率之间存在明显的交互作用,这与响应面曲线的分析结果相一致。

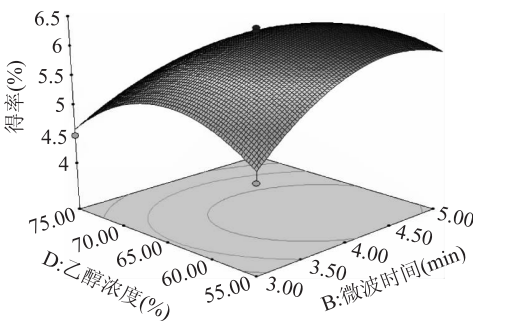


图12 乙醇浓度和微波时间对多酚得率的交互影响
Fig.12 Effect of the concentration of ethanol and microwave extraction time on the yield

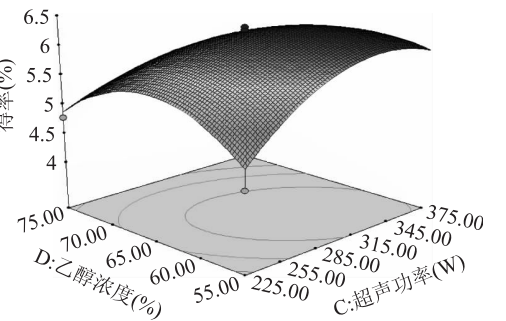


图13 乙醇浓度和超声功率对多酚得率的交互影响
Fig.13 Effect of the concentration of ethanol and ultrasonic power on the yield

2.4 橄榄多酚最佳提取条件的确定及实验验证

通过 Design expert 8.0.6 软件对响应面优化工艺结果分析得到最佳提取工艺为:微波功率为 550 W,微波时间为 4.4 min,超声功率为 329.98 W,乙醇浓度

为61.85%,此条件下模型给出的橄榄多酚得率预测值为6.35%。为验证响应面法所得预测值的可靠性,采用上述实验条件进行橄榄多酚提取的工艺验证,考虑到实验中实际操作的方便,将上诉工艺条件修正为超声波时间40 min、液料比25:1(mL/g)、微波功率550 W、微波时间4.4 min、超声功率330 W、乙醇浓度62%。在上述条件下进行平行实验三次,得到橄榄多酚得率的平均值为6.33%。此工艺参数下的结果与预测值非常接近,证明了响应面法优化橄榄多酚提取工艺参数的准确性和有效性,说明所建模型拟合良好且可靠。

3 结论

本实验是在六个单因素实验结果的基础上,选取四个对橄榄多酚得率影响较大的四个因素(微波功率、微波时间、超声功率和乙醇浓度)进行四因素三水平的响应面优化。从而得到了橄榄多酚的最佳提取工艺参数:超声波时间40 min、液料比25:1(mL/g)、微波功率550 W、微波时间4.4 min、超声功率330 W、乙醇浓度62%,在此条件下,橄榄多酚的得率可达6.33%,与预测值6.35%基本一致,说明响应面法得到橄榄多酚超声微波提取工艺的条件真实可靠。充分利用超声微波协同提取技术和响应面分析,得到的工艺简单、快速、得率高,很好地兼顾了橄榄多酚提取的省时和高得率。

参考文献

- [1] 张亮亮,杨志伟,林益明.橄榄多酚抗氧化活性研究[J].食品工业科技,2008,29(4):57-59.
- [2] 项昭保,何从林,任绍光,等.野生橄榄黄酮抑菌效应及其在牛奶保鲜中的应用研究[J].食品工业科技,2004,25(10):69-70.
- [3] 耿成燕,宫德正,姜丽平,等.橄榄叶提取物对大鼠急性炎症和痛觉过敏的研究[J].天然产物研究与开发,2011,23(5):931-934.

(上接第133页)

- starch particles[J].Iranian Journal of Science and Technology, 2011,18(3):439-445.
- [17] Zobel H F. Starch crystal transformation and their industrial importance[J].Starch,1988,40(1):1-7.
 - [18] Biswas A, Shogren R L, Stevenson D G, et al. Ionic liquids as solvents for biopolymers: Acylation of starch and zein protein[J].

(上接第194页)

- 优化研究[J].大连海洋大学学报,2013,28(3):303-306.
- [12] 李理,张静.蛋白水解产物中多肽得率的测定方法研究[J].现代食品科技,2010,26(8):884-888.
 - [13] 邹东恢,梁敏,江成英,等.大豆多肽复合酶解及脱色工艺条件优化的研究[J].粮油加工,2007(11):89-92.
 - [14] 隋华嵩,赵倩辉,薛龙,等.金丝梅花粉可溶性多肽提取工艺研究[J].食品与发酵科技,2012,48(2):40-43.
 - [15] 王远红,王聪,郭丽,等.海参科(Holothuriidae)中4种海参的营养成分分析[J].中国海洋大学学报,2010,40(7):111-114.

- [4] Duan WJ, Tan SY, Chen J, et al. Isolation of anti-HIV components from Canarium album fruits by high-speed counter-current chromatography[J]. Analytical Letters, 2013, 46: 1057-1068.
- [5] Xiang ZB, Mo HQ, Qu ZT, et al. Ellagic Acid from the Dried Fruits of Canarium album with Anti-hepatitis B Activity[J]. Asian Journal of Chemistry, 2011, 23(8): 3759-3760.
- [6] Hossain MB, Brunton NP, Patras A, et al. Optimization of ultrasound assisted extraction of antioxidant compounds from marjoram (Origanum majorana L.) using response surface methodology[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2012, 19: 582-590.
- [7] Wang XS, Wu YF, Chen GY, et al. Optimisation of ultrasound assisted extraction of phenolic compounds from Sparganium rhizoma with response surface methodology[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2013, 20: 846-854.
- [8] Teng H, Lee WY. Optimization of Microwave-assisted Extraction of Polyphenols from Mulberry Fruits (Morus alba L.) Using Response Surface Methodology[J]. Journal of Korean Society for Applied Biological Chemistry, 2013, 56: 317-324.
- [9] 阎海青,陈相艳,程安玮,等.超声微波联用技术提取蓝莓多酚的工艺优化[J].中国食品添加剂,2014,1:88-94.
- [10] 罗永会,张翠香,徐春萍,等.正交实验优选大理野生橄榄总多酚的提取工艺[J].食品科技,2013,38(11):226-229.
- [11] 曾培源,朱贵峰.超声提取橄榄多酚工艺条件的优化[J].海峡药学,2014,26(3):17-19.
- [12] He ZY, Xia WS. Microwave-assisted extraction of phenolics from Canarium album L. and identification of the main phenolic compound[J]. Natural Product Research, 2011, 25(2): 85-92.
- [13] 向丽,周铁军,王光西.分光光度法测定青果多酚的含量[J].湖北农业科学,2012,51(6):1242-1244.
- [14] 王涓,潘忠礼,马海乐,等.超声波的空化作用及其对多酚稳定性的影响[J].食品工业科技,2014,35(19):388-391.
- [15] 饶瑜,焦士蓉,龚丽,等.广元地区油橄榄叶多酚提取条件及其抗氧化活性研究[J].西华大学学报:自然科学版,2013,32(5):96-99.

Carbohydrate Polymers, 2006(66):546-550.

- [19] Xie W L, Li S, Liu Y W. Synthesis of Starch Esters in Ionic Liquids[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2010, 116(1): 218-224.
- [20] Yoo D, Yoo B. Rheology of rice starch-sucrose composites[J]. Starch, 2005, 57(6): 254-261.

- [16] 王磊,陆海霞,陈青.东海海参(Acaudina molpadioidea)营养成分分析及评价[J].食品与发酵工业,2014,40(8):215-218.
- [17] 乔若瑾.新型海蜇调味品的制备研究[D].青岛:中国海洋大学,2013.
- [18] 苏永昌,刘淑集,吴成业.海参多肽的制备工艺优化及其抗氧化测定[J].福建水产,2009(2):6-10.
- [19] M. Rosari Schmeer. Grow the inhibiting agents from mercenaria extracts chemical and biological properties[J]. Science, 1964, (144): 413-414.