

网络出版时间:2017-03-31 16:08

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2017.05.027

网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20170331.1608.054.html

珊瑚菌三萜的微波辅助提取工艺研究

金伟丽,杨丽聪,许海霞,林乐珍,郑国栋

(江西农业大学 食品科学与工程学院 江西省天然产物与功能食品重点实验室,江西 南昌 330045)

【摘要】 【目的】优化珊瑚菌三萜的微波提取工艺,为珊瑚菌三萜的工业化生产和综合利用提供理论依据。【方法】以珊瑚菌三萜提取率为响应值,考察提取时间、微波温度、乙醇体积分数、料(g)液(mL)比和微波功率对珊瑚菌三萜提取率的影响,在单因素试验基础上,通过 Box-Behnken 响应面法,确定其最佳提取工艺。【结果】珊瑚菌三萜的最佳提取工艺条件为微波功率 500 W、微波温度 50 ℃、乙醇体积分数 80%、微波时间 150 s、料液比 1:30,在此条件下,三萜提取率为 1.320%。【结论】利用 Box-Behnken 响应面设计法得到了珊瑚菌三萜微波提取优化工艺,且该工艺方便可行。

【关键词】 珊瑚菌;三萜;微波辅助提取;单因素试验;Box-Behnken 响应面

【中图分类号】 R284.2

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2017)05-0197-07

Microwave-assisted extraction of triterpenoids from *Ramaria botrytoides*

JIN Weili, YANG Licong, XU Haixia, LIN Lezhen, ZHENG Guodong

(College of Food Science and Engineering, Jiangxi Key Laboratory of

Natural Product and Functional Food, Jiangxi Agricultural University, Nanchang, Jiangxi 330045, China)

Abstract: 【Objective】 Microwave-assisted extraction technology of triterpenoids from *Ramaria botrytoides* was optimized to provide basis for development and application of triterpenoids in *Ramaria botrytoides*. 【Method】 With the yield of triterpene as index, effects of microwave power, microwave temperature, ethanol volume fraction, microwave time, and solid to liquid ratio were investigated by single factor tests and Box-Behnken response surface methodology. 【Result】 Optimum microwave extraction technology was: microwave extraction time 150 s, microwave temperature 50 ℃, solid(g) to liquid ratio(mL) 1:30, microwave power 500 W, and ethanol volume fraction 80%. The obtained extraction yield of triterpenoids was 1.320%. 【Conclusion】 Microwave-assisted extraction technology of triterpenoids from *Ramaria botrytoides* was convenient and feasible.

Key words: *Ramaria botrytoides*; triterpenoids; microwave extraction; single factor test; Box-Behnken response surface methodology

珊瑚菌又名“扫帚菌”,是一类大型真菌,该菌子实体呈扫帚状,色泽秀美,形体俊俏,珊瑚菌科各属还含有不少脆嫩可口、风味独特的食用菌。珊瑚菌

子实体中的成分主要是三萜、腺苷、倍半萜、吡喃酮及大环内酯化合物类^[1]。珊瑚菌具有破血缓中、祛风、和胃现气等作用^[2]。研究发现珊瑚菌还具有抗

【收稿日期】 2016-03-04

【基金项目】 国家“863”项目“松针、葛根中黄酮等功能性提取物的创制与应用”(2013BAD10B04-3)

【作者简介】 金伟丽(1993—),女,浙江绍兴人,在读硕士,主要从事天然产物与功能食品研究。E-mail:15170001093@163.com

【通信作者】 郑国栋(1969—),男,福建长乐人,教授,博士,硕士生导师,主要从事天然产物与功能食品研究。

E-mail:zrs150716@aliyun.com

乳腺癌^[3]、抗氧化^[4-5]等作用。

三萜类化合物(triterpenoids)由 30 个碳原子构成,是类异戊二烯代谢途径的重要产物之一,经 6 个异戊二烯单位连接而成^[6]。研究表明,三萜类化合物有抗菌、抗炎、抗肿瘤等生物活性^[7]。由于三萜化合物生物活性的多样性及重要性,相关物质的提取成为近年来中药化学研究的一个热点^[8]。

微波辅助乙醇浸提^[9-11]是一种新工艺,发展前景良好,其具有较多的优点,如:体系受热均匀、加热速度快、选择性好、操作方便、费用低、节约能源等^[12]。响应面法是通过将试验中各因子与指标之间的关系用二次多项式拟合,以此来研究因子与因子之间及因子与响应值之间的相互关系,是一种采用多元二次回归方法来进行函数估计的工具^[13]。本研究利用单因素试验和 Box-Behnken 响应面法,对珊瑚菌中三萜类化合物的微波辅助提取工艺进行优化,找寻最优提取工艺条件,以期为今后规模化提取珊瑚菌中的三萜奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材 料

珊瑚菌由江西于都县盘古龙珠茶业有限公司赠送。齐墩果酸标准品(成都曼思特生物科技有限公司),冰乙酸、香草醛、无水乙醇、高氯酸等同属分析纯试剂。

1.2 仪器与设备

V5600 型可见光分光光度计(上海元析仪器有限公司);XH-100B 电脑微波催化合成萃取仪(北京祥鸽科技发展有限公司);HH-60 数显恒温磁力搅拌循环水箱(常州国华电力有限公司);TDL-5A 低速大容量离心机(上海安亭科学仪器厂)。

1.3 方 法

1.3.1 原料预处理 珊瑚菌先经清洗和切片,然后在 60 ℃条件下干燥至恒质量,粉碎后过 0.425 mm 筛,备用。

1.3.2 齐墩果酸标准曲线的绘制 称取一定量的齐墩果酸标准品,配成质量浓度为 1 mg/mL 的标准溶液。依次吸取 0,0.2,0.4,0.6,0.8,1.0 和 1.2 mL 齐墩果酸标准溶液于试管中,经水浴挥干乙醇,加入 0.8 mL 高氯酸和 0.4 mL 5%(体积分数)香草醛冰乙酸溶液,振荡,摇匀,置于水浴中反应 15 min 然后经冰水浴冷却,再用冰乙酸定容到 5 mL,摇匀,放置 30 min,在波长 540 nm 处测定吸光度^[14-15]。

绘制齐墩果酸质量浓度(X)与吸光度(Y)的标准曲线为 $Y=0.008\ 3X+0.005\ 7(R^2=0.999\ 3)$ 。

1.3.3 珊瑚菌中三萜提取率的测定 取 0.2 mL 经由不同提取方法制得的珊瑚菌三萜提取液,按 1.3.2 中齐墩果酸方法处理后在波长 540 nm 处测吸光度。由齐墩果酸标准曲线及所得吸光度值计算珊瑚菌三萜提取率:

$$Y=\frac{X-0.005\ 7}{0.008\ 3}\times\frac{V}{200}\times\frac{0.001}{M}\times100\%。$$

式中:Y 为三萜提取率(%);X 为吸光度;V 为定容溶液体积(mL);M 为样品质量(g)。

1.3.4 三萜提取工艺的单因素试验 (1)乙醇体积分数的影响。称取 0.5 g 珊瑚菌样品,固定提取温度为 50 ℃,提取功率 400 W,在提取时间 60 s、料(g)液(mL)比 1:2 条件下,用体积分数 40%,50%,60%,70%,80%和 90%乙醇进行提取,测定三萜含量,计算三萜提取率,分析乙醇体积分数对三萜提取率的影响。

(2)提取时间的影响。称取 0.5 g 珊瑚菌样品,固定乙醇体积分数 80%,提取功率 400 W,在料液比 1:25、提取温度 50 ℃条件下,分别提取 30,60,90,120,150,180 s,分析提取时间对三萜提取率的影响。

(3)微波温度的影响。称取 0.5 g 珊瑚菌样品,固定提取时间 150 s,乙醇体积分数 80%,在提取功率 400 W、料液比 1:25 的条件下,分别在 30,40,50,60,70 和 80 ℃下进行提取,分析微波温度对三萜提取率的影响。

(4)微波功率的影响。称取 0.5 g 珊瑚菌样品,固定温度 50 ℃,乙醇体积分数 80%,在提取时间 150 s、料液比 1:25 的条件下,在功率为 300,400,500,600,700,800 W 下进行提取,分析微波功率对三萜提取率的影响。

(5)料液比的影响。称取 0.5 g 珊瑚菌样品,固定提取功率 500 W,在提取时间 150 s,乙醇体积分数 80%,提取温度 50 ℃的条件下,选择料液比分别为 1:15,1:20,1:25,1:30,1:35 和 1:40 进行提取,分析料液比对三萜提取率的影响。

1.3.5 珊瑚菌三萜微波提取条件的响应面优化 在单因素试验基础上,选取乙醇体积分数、料液比、微波时间 3 个影响因子,设计 Box-Behnken 试验,采用 3 因素 3 水平响应面分析方法,对珊瑚菌中三萜的微波提取条件进行优化,试验因素和水平见表 1。

表 1 珊瑚菌三萜化合物提取的响应面试验因素与水平
Table 1 Factors and levels in response surface design of extraction

水平 level	因素 Factor		
	乙醇体积分数/% Ethanol volume fraction	料(g)液(mL)比 Solid to liquid ratio	微波时间/s Microwave time
	A	B	C
−1	75	1 : 25	120
0	80	1 : 30	150
1	85	1 : 35	180

2 结果与分析

2.1 珊瑚菌三萜化合物提取工艺的单因素试验结果

2.1.1 乙醇体积分数的影响 乙醇体积分数对珊瑚菌三萜提取率的影响结果见图 1。图 1 表明,随着乙醇体积分数的增大,三萜提取率也在增加。乙

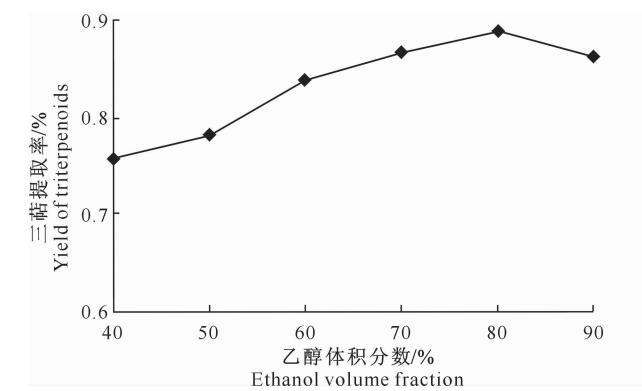


图 1 乙醇体积分数对珊瑚菌三萜化合物提取率的影响
Fig.1 Effects of ethanol volume fraction on triterpenoids yield

2.1.3 微波温度的影响 珊瑚菌三萜提取率受微波温度影响的结果见图 3。由图 3 可见,随着微波温度升高,珊瑚菌三萜提取率先上升后下降,当温度为 50 ℃时,三萜的提取率最大。一般来说,提高微波温度有利于珊瑚菌中三萜类物质的浸出,但温度过高则会影响其稳定性,加速珊瑚菌中三萜物质的氧化,因此微波温度以 50 ℃左右为宜。所以,进行

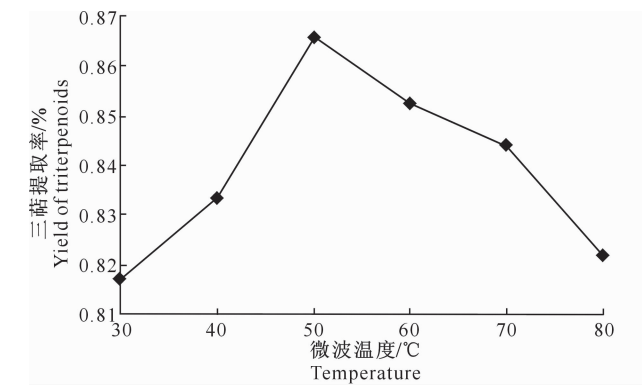


图 3 微波温度对珊瑚菌三萜化合物提取率的影响
Fig.3 Effects of temperature on triterpenoids yield

醇体积分数为 80%时三萜提取率最大,所以确定乙醇体积分数为 80%。

2.1.2 提取时间的影响 图 2 表明,随着微波时间的延长,提取液能更加充分地溶解珊瑚菌中的三萜,所以三萜提取率先增大后逐渐趋于平稳,且在 150 s 时最高。从实际生产角度出发,选择微波时间为 150 s 进行响应面分析。

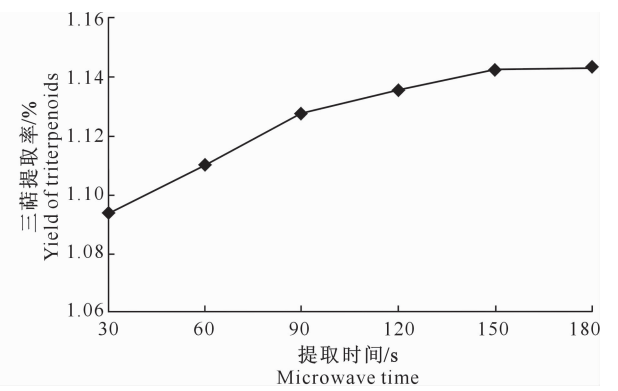


图 2 提取时间对珊瑚菌三萜化合物提取率的影响
Fig.2 Effects of microwave time on triterpenoids yield

响应面分析时固定微波温度为 50 ℃。

2.1.4 微波功率对三萜提取率的影响 图 4 表明,随着微波功率的增大,珊瑚菌三萜提取率先增加后下降,当微波功率达到 500 W 时,三萜提取率最大,且明显优于其他处理。所以,进行响应面优化时固定微波功率 500 W。

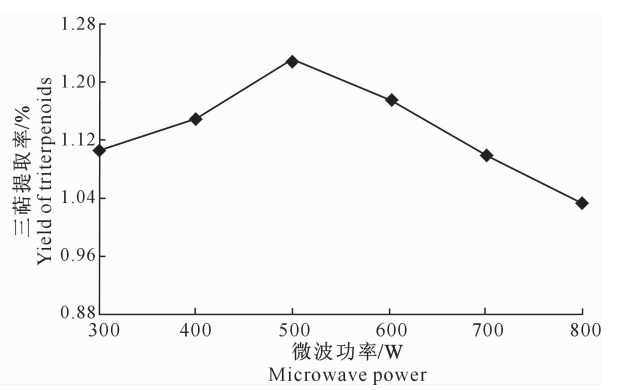


图 4 微波功率对珊瑚菌三萜化合物提取率的影响
Fig.4 Effects of microwave power on triterpenoids yield

2.1.5 料液比对三萜提取率的影响 料液比对珊瑚菌三萜化合物提取率的影响见图 5。图 5 表明,随料液比增大,珊瑚菌三萜提取率呈先增后减的趋势,在料液比为 1 : 30 时提取率达到最大,所以选择料液比为 1 : 30。

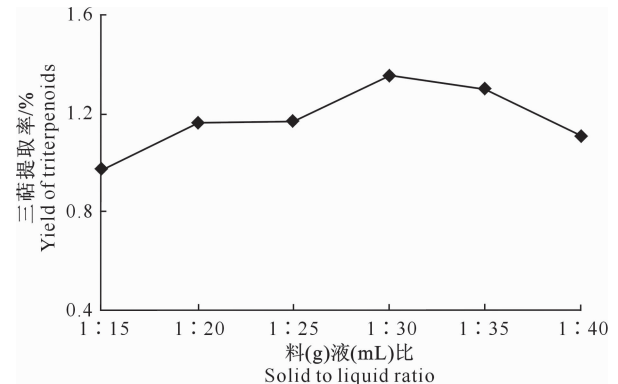


图 5 料液比对珊瑚菌三萜化合物提取率的影响
Fig. 5 Effects of solid to liquid ratio on triterpenoids yield

表 2 珊瑚菌三萜化合物提取工艺的响应面试验结果

试验号 No.	因素 Factor			三萜提取率/% Yield of triterpenoids	
	乙醇体积分数 Ethanol volume fraction A	料(g)液(mL)比 Solid to liquid ratio B	微波时间 Microwave time C	实测值 Measured value	预测值 Predicted value
1	−1	−1	0	0.85	0.83
2	1	−1	0	0.94	0.88
3	−1	1	0	0.90	0.96
4	1	1	0	0.90	0.92
5	−1	0	−1	1.08	1.06
6	1	0	−1	0.82	0.84
7	−1	0	1	0.96	0.94
8	1	0	1	1.16	1.18
9	0	−1	−1	0.76	0.80
10	0	1	−1	0.88	0.84
11	0	−1	1	0.83	0.87
12	0	1	1	1.02	0.98
13	0	0	0	1.37	1.30
14	0	0	0	1.34	1.30
15	0	0	0	1.3	1.30
16	0	0	0	1.29	1.30
17	0	0	0	1.22	1.30

2.2.2 响应面试验结果的方差分析 采用Design-Expert 程序对所得数据进行回归分析,结果见表 3。从表 3 可以看出,该试验中模型的 $P<0.01$,失拟项 P 值为 0.353 2,表明二次方程拟合较好。因此可用 2.2.1 节中的回归方程替代试验真实点对试验结果进行分析。由方差分析结果可知, X_3 项影响显著, X_1X_3 、 X_1^2 、 X_2^2 、 X_3^2 项影响极显著,说明各个试验因子与响应值之间不是简单的线性关系。

2.2 珊瑚菌三萜化合物提取工艺的响应面优化

2.2.1 响应面试验结果 根据单因素试验结果,考虑到工业化生产中的实际情况,以及防止微波提取温度过高所致有效成分破坏,本研究固定提取温度为 50 ℃,提取功率为 500 W,利用 Box-Behnken 试验设计方法,对影响珊瑚菌三萜化合物提取率的 3 个主要因素(乙醇体积分数、料液比、微波时间)进行优化研究,结果见表 2。利用 Design-Expert 8.0.6,对表中数据进行多元回归拟合,获得微波提取珊瑚菌中三萜提取率对自变量乙醇体积分数、料液比和微波时间的二次多项回归模拟方程为:

$$R_1=1.300+3.750X_1+0.040X_2+0.054X_3-0.023X_1X_2+0.120X_1X_3+0.018X_2X_3-0.140X_1^2-0.270X_2^2-0.160X_3^2。$$

其中, X_1 、 X_2 、 X_3 为 3 个自变量乙醇体积分数、料液比、微波时间的编码值,三萜提取率用 R_1 表示。由 $R^2=0.9595$ 可知,该模型拟合实际试验的情况较好。

2.2.3 各因素交互作用分析 根据回归分析结果作响应面图,结果见图 6~8。由图 6 可知,料液比与乙醇体积分数交互作用不显著,随着乙醇体积分数的增加,珊瑚菌中三萜化合物提取率先增大后减小,这可能是由于乙醇的极性较弱,一方面随着其体积分数的增大使提取液极性减小,逐渐接近于珊瑚菌中三萜类物质的极性,根据相似相溶原理,使三萜提取率逐渐增大;另一方面随着乙醇体积分数的不

断增大,苹果渣中其他醇溶性杂质的溶出量也不断增大,造成三萜提取率出现部分下降。当乙醇体积分数在 79%~81%时,三萜提取率最高。此外,三萜提取率随着料液比的增加也呈现先增后减的趋

势,在 1:30~1:35 时,提取率最高,但是总体变化范围不大,从实际生产角度考虑,选择料液比 1:30 为最佳。

表 3 珊瑚菌三萜化合物提取响应面试验结果的回归分析
Table 3 Regression analysis results on triterpenoids yield

方差来源 Source	平方和 Quadratic sum	自由度 Degree of freedom	均方 Mean sum of square	F 值 F value	P 值 P value	显著性 Significance
模型 Model	0.64	9	0.071	18.40	0.000 4	* *
X ₁	11 250	1	11 250	0.029	0.869 2	
X ₂	0.013	1	0.013	3.32	0.111 3	
X ₃	0.023	1	0.023	5.99	0.044 2	*
X ₁ X ₂	2 025	1	2 025	0.53	0.492 2	
X ₁ X ₃	0.053	1	0.053	13.72	0.007 6	* *
X ₂ X ₃	1 225	1	1 225	0.32	0.590 6	
X ₁ ²	0.079	1	0.079	20.49	0.002 7	* *
X ₂ ²	0.31	1	0.31	79.30	<0.000 1	* *
X ₃ ²	0.11	1	0.11	28.65	0.001 1	* *
残差 Residual	0.027	7	3 856			
失拟检验 Lack of fit	0.014	3	4 692	1.45	0.353 2	
纯误差 Net errors	0.013	4	3 230			
总误差 Sum errors	0.670	16				

注: * 表示在 5% 水平下检验显著, * * 表示在 1% 水平下检验显著。
Note: * means significant difference under 5% level, * * means significant difference under 1% level.

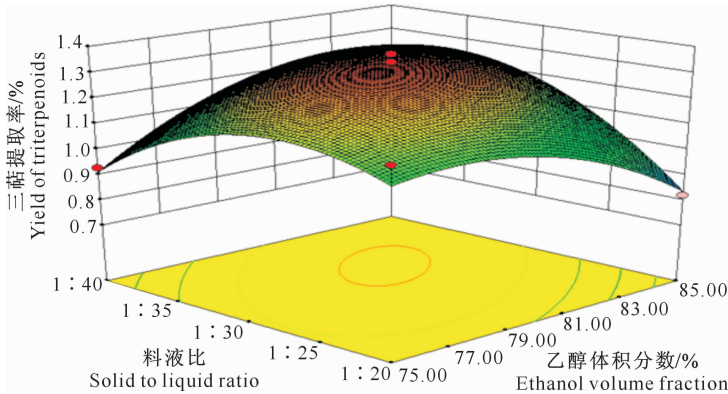


图 6 乙醇体积分数和料液比对珊瑚菌三萜化合物提取率的影响

Fig. 6 Effects of ethanol volume fraction and solid to liquid ratio on triterpenoids yield

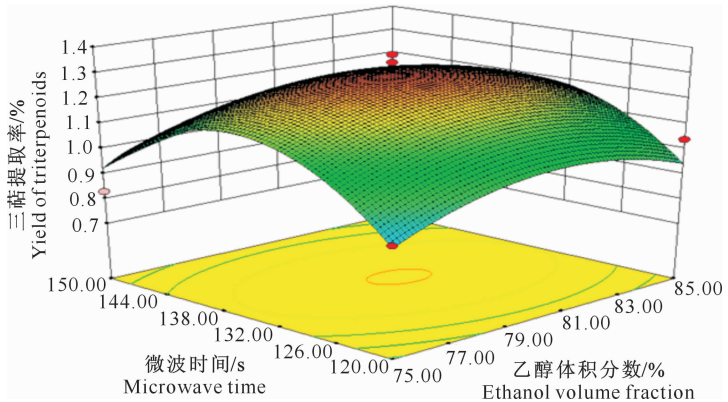


图 7 乙醇体积分数和微波时间对珊瑚菌三萜化合物提取率的影响

Fig. 7 Effects of ethanol volume fraction and microwave time on triterpenoids yield

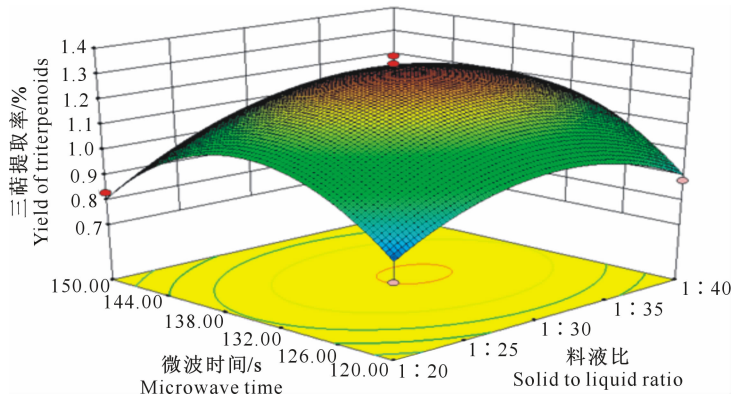


图 8 料液比和微波时间对珊瑚菌三萜化合物提取率的影响

Fig. 8 Effects of solid to liquid ratio and microwave time on triterpenoids yield

由图 7 可知,乙醇体积分数和微波时间交互作用显著,随着时间的延长三萜提取率增加,因为随着微波时间的延长,珊瑚菌中的三萜逐渐被溶出。

图 8 显示在乙醇体积分数为 80 % 时,微波时间和料液比对提取率的影响。由图 8 可知,微波时间与料液比的交互作用不显著。

由图 6、图 7 和图 8 可知,乙醇体积分数、料液比、微波时间对珊瑚菌三萜提取率的影响呈近似二次关系。这些结果与回归方程的方差分析相符合,由此说明响应面优化设计能够较好地反映珊瑚菌中三萜提取率受试验所设定的 3 个因素的影响,对试验结果具有一定的应用价值,对各因素的考察也较为系统、全面。

2.2.4 最优提取工艺的验证 根据回归模型预测得出,珊瑚菌三萜最佳提取条件为:乙醇体积分数 80.46 %,料液比 1 : 33.33,微波时间 156.09 s,三萜提取率的理论预测值为 1.311 %。为了使实际操作更加方便,修正珊瑚菌中三萜的优化提取工艺条件为:乙醇体积分数 80 %,料液比 1 : 30,微波时间 150 s。重复试验 3 次,总三萜提取率分别为 1.317 %,1.321 %,1.322 %,平均值为 1.320 %,与预测值基本一致,即该方程与实际情况拟合很好,说明珊瑚菌三萜的微波提取工艺分析和参数优化可用响应曲面法进行分析。

3 结 论

本研究采用微波辅助法对珊瑚菌中的三萜类物质进行提取,参照叶芝红等^[16]、孟宪军等^[17]、白新鹏等^[18]的研究方法及结论,选择微波提取过程中对三萜提取效率影响较大的料液比、乙醇体积分数、微波时间、微波温度、微波功率进行单因素试验,确定了影响珊瑚菌中三萜提取率各因素的大体范围。

在单因素试验基础上,根据 Box-Behnken 试验设计,建立乙醇体积分数、料液比、微波时间对珊瑚菌三萜提取率的回归模型,并对模型进行检验,确定最佳提取工艺为:乙醇体积分数 80 %,料液比 1 : 30,微波时间 150 s,微波温度 50 ℃,微波功率 500 W,在此条件下三萜提取率为 1.320 %。

微波辅助提取法的最大优点是时间短、单位时间内提取效率高。刘姬桢等^[19]采用超声辅助法提取珊瑚菌中三萜,超声时间为 40 min,提取率为 2 %;超声提取时间是本试验中微波时间的 16 倍,而提取率仅提高了 34 %,因此从实际生产角度考虑,采用微波提取产生的经济价值更高,微波辅助提取珊瑚菌三萜的工艺方便可行。

【参考文献】

[1] 窦晓兰. 珊瑚菌化学成分的研究 [D]. 郑州:河南工业大学, 2013.
Dou X L. Study on chemical constituents of coral [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2013.
[2] 李 华, 卫 敏, 陈伟妍, 等. 珊瑚菌总萜提取工艺研究 [J]. 时珍国医国药, 2012, 23(4): 950-951.
Li H, Wei M, Chen X Y, et al. Study on extraction process of total triterpenes compounds from coral [J]. Lishizhen Medicine and Materia Medica Research, 2012, 23(4): 950-951.
[3] 常正尧, 吴亚楠, 李永芳, 等. 珊瑚菌抗乳腺癌作用的研究 [J]. 时珍国医国药, 2013, 24(1): 152-154.
Chang Z Y, Wu Y N, Li Y F, et al. Study on the anti breast cancer effect of coral [J]. Lishizhen Medicine and Materia Medica Research, 2013, 24(1): 152-154.
[4] 王丽娟, 张 飞, 苗玉洁, 等. 珊瑚菌多糖的提取及其对羟自由基的清除作用研究 [J]. 食品工业, 2012(10): 43-46.
Wang L J, Zhang F, Miao Y J, et al. Study on the extraction of polysaccharide from the coral and its scavenging effect on hydroxyl radical [J]. Food Industry, 2012(10): 43-46.
[5] Gursoy N, Sarikurkeu C, Tepe B, et al. Evaluation of antioxi-

dant activities of 3 edible mushrooms; *Ramaria flava* (Schaeff. : Fr.) Quél. , *Rhizopogon roseolus* (Corda) T. M. Fries, and *Russula delicata* Fr [J]. Food Science and Biotechnology, 2010, 19(3) : 691-696.

[6] 辛 国,王恩鹏,张 辉,等. 三萜类化合物的提取分离及测定方法研究 [J]. 长春中医药大学学报, 2008, 24(4) : 378-379.
Xin G, Wang E P, Zhang H, et al. Study on the extraction and separation of triterpenoids compounds and its determination method [J]. Journal of Changchun University of Traditional Chinese Medicine, 2008, 24(4) : 378-379.

[7] 林 虢,何艳梅. 茯苓三萜化合物的药理作用研究进展 [J]. 黑龙江科技信息, 2014(31) : 77.
Lin X, He Y M. Research progress on the pharmacological effects of *Poria cocos* triterpenes compounds [J]. Heilongjiang Science and Technology Information, 2014(31) : 77.

[8] 任雪琴,任晓慧,吴 兵,等. 三萜化合物及其 NMR 研究进展 [J]. 武汉工业学院学报, 2011, 30(1) : 47-51.
Ren X Q, Ren X H, Wu B, et al. Research progress of triterpenes compounds and its NMR [J]. Journal of Wuhan Polytechnic University, 2011, 30(1) : 47-51.

[9] Hiranvarachath B, Devahastin S, Soponronnarit S. Comparative evaluation of atmospheric and vacuum microwave-assisted extraction of bioactive compounds from fresh and dried *Centella asiatica* L. leaves [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2014, 50(3) : 750-757.

[10] Cao J Q, Zhang B Y, Zhao Y Q. A new cucurbitane triterpene in acid-treated ethanol extract from *Momordica charantia* [J]. Chinese Herbal Medicines, 2013, 5(3) : 234-236.

[11] Xu H J, Shi X W, Ji X, et al. A rapid method for simultaneous determination of triterpenoid saponins in *Pulsatilla turczaninovii* using microwave-assisted extraction and high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Food Chemistry, 2012, 135(1) : 251-258.

[12] 温志英,张 朝. 响应面优化柑桔皮黄色素微波辅助提取工艺 [J]. 中国农学通报, 2011, 27(4) : 350-355.
Wen Z Y, Zhang C. Optimization of microwave assisted extraction technology of citrus peel uranidin using response surface method [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(4) : 350-355.

[13] 吴 修,孙 泽,杨恩龙,等. 响应面法优化女贞子中总三萜的提取工艺研究 [J]. 上海中医药杂志, 2016(1) : 83-87.
Wu X, Sun Z, Yang E L, et al. Optimization of extraction process for total triterpenoids in *Ligustrum lucidum* ait. , by response surface methodology [J]. Shanghai Journal of Traditional Chinese Medicine, 2016(1) : 83-87.

[14] Uysal S, Aktumsek A. A phytochemical study on *Potentilla anatolica* : an endemic turkish plant [J]. Industrial Crops and Products, 2015, 76 : 1001-1007.

[15] 黄霄云,何晋浙,王 静,等. 微波提取灵芝中三萜类化合物的研究 [J]. 中国食品学报, 2010, 10(2) : 89-96.
Kui X Y, He J Z, Wang J, et al. The study on the microwave extraction of the triterpenoid saponins from *Ganoderma lucidum* [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2010, 10(2) : 89-96.

[16] 叶芝红,赵 艳,朱艳萍,等. 响应面法优化微波辅助提取平卧菊三七三萜的工艺研究 [J]. 食品工业科技, 2016, 37(2) : 291-295.
Ye Z H, Zhao Y, Zhu Y P, et al. Optimization of microwave-assisted extraction of triterpenoids from *Gynura procumbens* by response surface methodology [J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(2) : 291-295.

[17] 孟宪军,李 斌,李元魁,等. 响应面法优化微波辅助提取北五味子总三萜工艺 [J]. 食品与生物技术学报, 2011, 30(1) : 20-24.
Meng X J, Li B, Li Y S, et al. Optimization for microwave-assisted extraction of total triterpenoids from *Schisandra chinensis* by response surface method [J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2011, 30(1) : 20-24.

[18] 白新鹏,裴爱泳,方希修. 改进微波装置辅助提取猕猴桃根三萜类化合物的研究 [J]. 农业工程学报, 2006, 22(8) : 188-193.
Bai X P, Qiu A Y, Fang X X. Optimized conditions for extracting triterpenoid from *Actinidia deliciosa* root by using improved microwave-assisted equipment [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2006, 22(8) : 188-193.

[19] 刘姬桀,杨丽聪,徐 洁,等. 超声辅助提取珊瑚菌中的三萜类化合物 [J]. 食品科技, 2016, 41(7) : 203-206.
Liu J L, Yang L C, Xu J, et al. Ultrasonic assisted extraction of triterpenes from *Ramaria botrytoides* [J]. Food Science and Technology, 2016, 41(7) : 203-206.