

响应面法优化竹叶椒总木脂素的 超声提取工艺

张丙云,孙莉,黄艳,郭涛*,王雅*

(兰州理工大学生命科学与工程学院,甘肃兰州 730050)

摘要:目的:优化竹叶椒总木脂素的超声提取工艺。方法:以竹叶椒总木脂素得率为指标,在单因素实验的基础上,采用响应面设计方法对影响木脂素得率的乙醇质量分数、液料比、提取温度、超声功率进行优化。结果:最优工艺条件为乙醇质量分数 79.6%,料液比 20:1,功率为 150W,温度为 67.0℃时,总木脂素提取率为 3.406%,实验结果与模型预测值相符。结论:利用响应面法分析结果可靠,得到竹叶椒木脂素超声辅助提取的最优工艺条件。

关键词:竹叶椒,总木脂素,超声提取,响应面法

Optimization of ultrasound-assisted extraction of total lignans from *Zanthoxylum armatum* DC. by response surface methodology

ZHANG Bing-yun, SUN Li, HUANG Yan, GUO Tao*, WANG Ya*

(School of Life Science and Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

Abstract: Objective: To optimize the ultrasound-assisted extraction technology of total lignans from *Zanthoxylum armatum* DC. Method: Based on the single-factor tests, the extraction conditions of ethanol concentration, ratio of solvent to material, extraction temperature and ultrasonic power were optimized by response surface methodology in order to increase the extraction rate of total lignans from *Zanthoxylum armatum* DC. Results: The optimal extraction rate of lignans were ethanol concentration 79.6%, ratio of solvent to material 20mL/g, extraction temperature 67.0℃ and ultrasonic power 150W. Under these optimized conditions, the extraction yield of total lignans was up to 3.406%, which was agreed with model predictions. Conclusion: The extraction process by response surface methodology was reliable and the optimal extraction rate of lignans was achieved.

Key words: *Zanthoxylum armatum* DC.; total lignans; ultrasound-assisted extraction; response surface methodology

中图分类号: TS201.2

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2014)07-0198-05

竹叶椒 (*Zanthoxylum armatum* DC.) 是一种常见的花椒属药食两用植物^[1], 隶属于芸香科花椒属植物, 我国始载于《本草图经》。别名山椒, 狗花椒, 花胡椒等^[2]。竹叶椒在我国大部分地区有分布, 国内有些地区有栽培品种, 具有祛风除湿、温中理气、清热解暑、活血止痛的功效^[3]。竹叶椒中的木脂素类成分有许多药理活性作用, 本实验在前期工作中已经对竹叶椒中的化学成分进行系统分离, 发现竹叶椒中含有多种木脂素类成分, 并分离得到二十多种木脂素化合物^[4], 并证实木脂素类化合物是竹叶椒抗炎的主要活性成分之一^[5]。此外, 木脂素还具有抗肿瘤、抗氧化、降压、镇静、保肝和血小板活化因子 (PAF) 拮抗活性等药理活性, 并可用作植物萌发抑制剂、生长抑制剂和杀菌剂等^[6]。

超声波在天然产物提取中的应用, 主要是利用超声波的空化效应和振动作用增大介质分子的运动速度, 促进目标物与溶剂充分混合, 使可溶性活性成分迅速溶出, 从而增大目标物的提取率^[7]。响应面分析 (response surface methodology, RSM) 采用多元二次回归方程来拟合影响因素与响应值之间的函数关系^[8], 是有效优化工艺条件的分析方法, 可精确的表述因素与响应值之间的关系^[9]。与正交实验设计相比, 能研究几种因素之间的交互作用, 现被越来越广泛地应用于解决多变量问题^[10-11]。本实验在单因素实验的基础上, 选取乙醇质量分数、液料比、提取温度和超声功率 4 个因素进行中心组合设计, 利用响应面分析法优化竹叶椒总木脂素的超声提取工艺, 以期为进一步开发利用竹叶椒木脂素提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

竹叶椒 (*Zanthoxylum armatum*) 药材为竹叶椒根茎藤, 于 2010 年采于广西南宁, 经复旦大学潘胜利教授鉴定, 凭证标本 (ZA#09121) 保存于兰州理工大

收稿日期: 2013-08-12 * 通讯联系人

作者简介: 张丙云 (1968-), 女, 博士, 副教授, 从事食品贮藏与保鲜技术研究。

基金项目: 甘肃自然科学基金 (1112RJZA016)。

学制药系教研室;木脂素对照品 L-细辛脂素(L-asarinin)本实验室分离制备并鉴定,纯度大于99.0%;乙醇(分析纯),纯水。

RE52CS 型旋转蒸发器 上海亚荣生化仪器厂;KQ-250DB 型数控超声波(超声功率 250W,功率可调 40%~100%) 昆山市超声仪器有限公司;HX202T 型电子天平 慈溪市天东衡器厂;AB104-N 电子分析天平 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;Varian Cary 50 紫外可见分光光度计 美国瓦里安技术中国有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 检测波长的选择 将本实验室分离的主要竹叶椒木脂素 L-细辛脂素(L-asarinin),用 95% 乙醇配制对照品溶液,在 200~800nm 范围内扫描测定,结果显示对照品在 284nm 处有最大吸收峰,故选定 284nm 为检测波长。

1.2.2 标准曲线的绘制 精密称取竹叶椒木脂素对照品 L-细辛脂素 2.5mg,用 95% 乙醇溶解定容于 10mL 容量瓶,得到浓度为 0.25mg/mL 的木脂素对照品溶液。精密吸取对照品溶液 0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,0.6mL,分别置于 10mL 容量瓶中,加 95% 乙醇定容,摇匀。分别在 284nm 处测定其吸光度。以对照品浓度(mg/mL)为自变量,吸光度(A)为因变量,求得回归方程: $Y = 20.345X - 0.0075$,相关系数 $R^2 = 0.9944$ 。本方程在 0.0025~0.015mg/mL 范围内线性关系良好。

1.2.3 单因素实验 分别准确称取 2.0g 干燥竹叶椒粉末,选取不同的乙醇质量分数(60%,70%,80%,90%,95%)、提取温度(40、50、60、70、75℃)、液料比(5:1,10:1,15:1,20:1,25:1,30:1)、超声功率(100、125、150、175、200、225、250W),进行单因素实验。每次提取时间为 40min,分别提取 2 次,合并提取液,减压浓缩,得到乙醇提取物浸膏,称重。分别取提取物浸膏 10mg,用 95% 乙醇稀释定容。测定其在 284nm 处的吸光度,计算木脂素得率,并确定相关因素及各因素的适宜范围。

$$\text{木脂素提取率}(\%) = \frac{C \times V \times M}{M_0 \times W \times 1000} \times 100$$

其中:C 为木脂素的质量浓度(mg/mL);V 为定容体积;M 为提取所得浸膏质量;M₀ 为测定所用浸膏质量;W 为竹叶椒粉末质量。

1.2.4 响应面分析实验 根据 Box-Behnken 中心组合设计的实验原理和单因素实验结果,选择乙醇质量分数、提取温度、液料比、超声功率 4 个因素,按照单因素实验的提取方法,进行 4 因素 3 水平共 29 个实验点的响应面分析实验。使用 Design-expert software 8.05 进行数据分析,求出数学模型,进而得到最佳的提取工艺条件。实验因素与水平编码见表 1。

2 结果与分析

2.1 竹叶椒总木脂素提取工艺条件单因素实验结果

2.1.1 乙醇质量分数对竹叶椒总木脂素提取效率的影响 固定提取温度为 50℃,液料比为 10:1,超声提取功率为 225W,改变乙醇质量分数,观察其对总木

脂素提取率的影响,其结果如图 1。如图所示,在乙醇质量分数为 60%~80% 范围内,总木脂素提取率逐渐增加,乙醇质量分数为 80% 时,提取率达到最高;之后随着乙醇质量分数增加,提取率逐渐降低。这是由于当乙醇体积分数较低时,木脂素类成分溶解度较差,从而提取率较低,而当乙醇质量分数较大时,竹叶椒中溶解成分较多,木脂素类成分纯度相对降低,因而影响其木脂素得率。因此,将响应面实验中乙醇质量分数设定为 70%~90%。

表 1 竹叶椒总木脂素提取工艺条件

响应面分析实验因素水平表

Table 1 Factors and levels of RSM about extraction condition of total lignans from *Zanthoxylum armatum* DC.

因素	水平		
	-1	0	1
X ₁ 液料比	10:1	15:1	20:1
X ₂ 乙醇质量分数(%)	70	80	90
X ₃ 超声功率(W)	125	150	175
X ₄ 温度(℃)	60	70	75

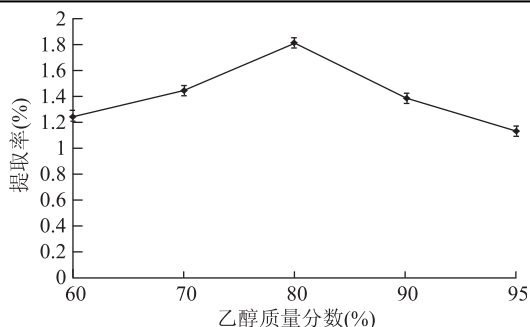


图 1 乙醇质量分数对竹叶椒总木脂素提取率的影响

Fig.1 Effect of ethanol concentration on the yield of total lignans from *Zanthoxylum armatum* DC.

2.1.2 提取温度对竹叶椒总木脂素提取效率的影响 固定乙醇质量分数为 90%,液料比为 10:1,超声提取功率为 225W,改变提取温度,观察其对总木脂素提取率的影响,其结果如图 2。如图所示,随着提取温度的增高,分子扩散速度加快,有助于木脂素成分的溶出,因此适当提高温度可使总木脂素提取率增高,在温度达到 70℃,总木脂素提取率最高,之后随着温度的上升,提取率有所下降,由于乙醇沸点在 75~80℃,温度过高,乙醇挥发较大,所以,在响应面实验中将提取温度定为 60~75℃。

2.1.3 液料比对竹叶椒总木脂素提取效率的影响 固定提取温度为 50℃,乙醇质量分数为 90%,超声提取功率为 225W,改变液料比,观察其对总木脂素提取率的影响,其结果如图 3。如图所示,当液料比从 5:1 增加到 10:1 时,总木脂素提取率增加显著,这是因为料液比过低时,木脂素不能充分溶出,因此,加大料液比,总木脂素的得率增加。而当液料比大于 10:1,随着液料比增加,竹叶椒中总木脂素提取率增加缓慢,且趋于平缓。考虑到液料比过大,不仅浪费溶剂,而且后续浓缩比较费时,因此,将响应面实验中液料比设定为 10:1~20:1。

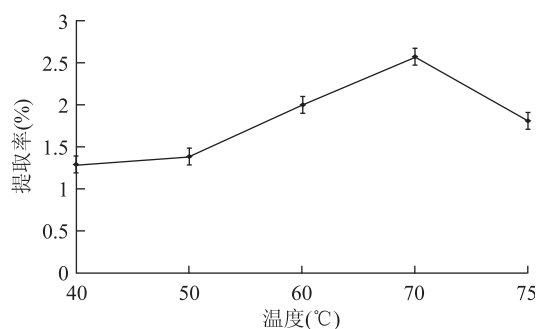


图2 温度对竹叶椒总木脂素提取率的影响

Fig.2 Effect of temperature on the yield of total lignans from *Zanthoxylum armatum* DC.

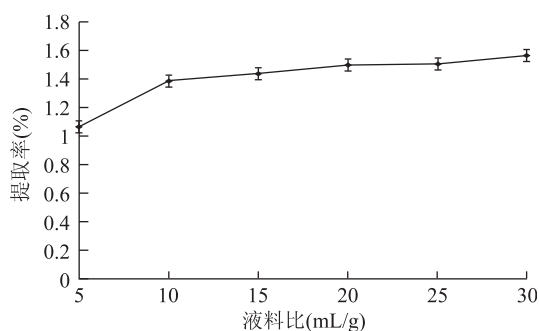


图3 液料比对竹叶椒总木脂素提取率的影响

Fig.3 Effect of the ratio of solvent to material on the yield of total lignans from *Zanthoxylum armatum* DC.

2.1.4 超声功率对竹叶椒总木脂素提取效率的影响

固定提取温度为50℃,乙醇质量分数为90%,液料比为10:1,改变超声提取功率,观察其对总木脂素提取率的影响,其结果如图4。如图所示,当超声功率为100~150W时,总木脂素提取率逐渐增高,而当超声功率为150W时,木脂素提取率最高,之后随着超声功率的增加,总木脂素提取率下降明显,分析其主要原因是由于超声的振动作用可增大介质分子的运动速度,适当的加大超声功率可促进目标物与溶剂充分混合,使可溶性活性成分迅速溶出,从而增大总木脂素的提取率,所以将响应面实验中超声功率设定为125~175W。

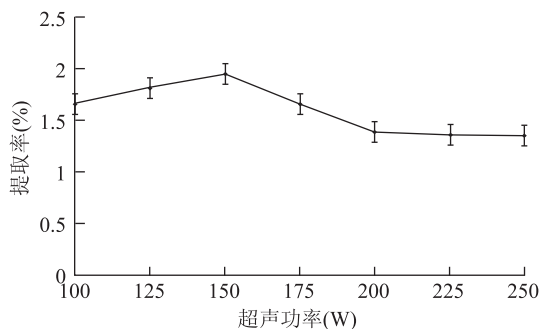


图4 超声功率对竹叶椒总木脂素提取率的影响

Fig.4 Effect of ultrasonic power on the yield of total lignans from *Zanthoxylum armatum* DC.

2.2 竹叶椒总木脂素提取工艺条件响应面分析实验结果

2.2.1 响应面设计方案 选取乙醇质量分数、液料

比、提取温度、超声功率4个因素作为自变量,以竹叶椒总木脂素提取率为响应值。Box-Behnken 实验设计与结果如表2所示。

表2 竹叶椒总木脂素提取工艺条件
Box-Behnken 实验设计方案与实验结果

Table 2 Experimental design and extraction yield of total lignans with Box-Behnken software

实验号	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	提取率 (%)
1	1	1	0	0	2.925
2	0	0	0	0	3.29
3	1	0	1	0	3.060
4	-1	-1	0	0	2.876
5	0	-1	0	1	1.758
6	0	0	0	0	3.268
7	0	0	-1	1	2.105
8	0	0	1	1	2.063
9	0	0	1	-1	2.321
10	0	0	0	0	3.218
11	0	0	-1	-1	2.380
12	-1	0	0	1	2.290
13	0	1	1	0	2.530
14	0	0	0	0	3.25
15	1	0	0	1	2.350
16	0	1	0	1	1.860
17	0	1	0	-1	2.022
18	-1	1	0	0	2.804
19	1	-1	0	0	2.987
20	0	-1	0	-1	2.180
21	0	0	0	0	3.234
22	0	-1	1	0	2.610
23	0	1	-1	0	2.690
24	-1	0	-1	0	3.117
25	-1	0	0	-1	2.489
26	1	0	-1	0	3.225
27	1	0	0	-1	2.520
28	0	-1	-1	0	2.633
29	-1	0	1	0	2.950

2.2.2 方差分析及显著性检验 用软件 Design-Expert.8.05 对所得数据进行回归分析,分析结果如表3所示。对各因素进行回归拟合之后,得到回归方程:

$$\begin{aligned} \text{竹叶椒总木脂素提取率}(\%) = & -108.52370 - 0.071317X_1 + 0.63955X_2 + 0.10471X_3 + 2.36440X_4 + \\ & 5.00000 \times 10^{-5} X_1X_2 + 4.00000 \times 10^{-6} X_1X_3 + 3.64828 \\ & \times 10^{-4} X_1X_4 - 1.37000 \times 10^{-4} X_2X_3 + 7.91379 \times 10^{-4} \\ & X_2X_4 - 2.20690 \times 10^{-5} X_3X_4 + 1.68333 \times 10^{-3} X_1^2 - \\ & 4.22667 \times 10^{-3} X_2^2 - 3.14467 \times 10^{-4} X_3^2 - 0.018121X_4^2 \end{aligned}$$

对二次回归方程进行方差分析,从表3中可以看出,回归模型 $p < 0.0001$,说明此回归方差模型极显著,该实验方法可靠。方程失拟项不显著,说明该回归模型与实测值能够较好的拟合。方程回归系数 R^2

表 3 回归模型方差分析

Table 3 ANOVA (analysis of variance) of regression equation

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	p 值
模型	5.99	14	0.43	194.13	<0.0001 **
X ₁	0.019	1	0.019	8.45	0.0115 *
X ₂	0.010	1	0.010	4.58	0.0505
X ₃	0.027	1	0.027	12.16	0.0036 **
X ₄	0.18	1	0.18	83.46	<0.0001 **
X ₁ X ₂	2.500 × 10 ⁻⁵	1	2.500 × 10 ⁻⁵	0.011	0.9167
X ₁ X ₃	1.000 × 10 ⁻⁶	1	1.000 × 10 ⁻⁶	4.535 × 10 ⁻⁴	0.9833
X ₁ X ₄	8.041 × 10 ⁻⁴	1	8.041 × 10 ⁻⁴	0.36	0.5556
X ₂ X ₃	4.692 × 10 ⁻³	1	4.692 × 10 ⁻³	2.13	0.1667
X ₂ X ₄	0.015	1	0.015	6.86	0.0202 *
X ₃ X ₄	7.356 × 10 ⁻⁵	1	7.356 × 10 ⁻⁵	0.033	0.8577
X ₁ ²	0.011	1	0.011	5.21	0.0386 *
X ₂ ²	1.16	1	1.16	525.57	<0.0001 **
X ₃ ²	0.25	1	0.25	113.64	<0.0001 **
X ₄ ²	5.02	1	5.02	2278.37	<0.0001 **
残差	0.031	14	2.205 × 10 ⁻³		
失拟误差	0.028	10	2.768 × 10 ⁻³	3.48	0.1205
纯误差	3.184 × 10 ⁻³	4	7.960 × 10 ⁻⁴		
总误差	6.02	28			

注: *p < 0.05, 差异显著; **p < 0.01, 差异极显著。

= 0.9949, 说明该模型相关度好, 可用该模型对提取物提取率进行分析和预测。回归方程各项的方差分析结果表明: X₁, X₃, X₄, X₂X₄, X₁², X₂², X₃², X₄² 均达到显著水平。选定的因素对竹叶椒总木脂素提取率的影响大小依次为温度、超声功率、料液比、乙醇质量分数, 即温度对总木脂素提取率的影响最大。

2.2.3 响应面分析实验因素的相互影响 响应面 Y 对于因素 X₁, X₂, X₃, X₄ 构成的三维空间在二维平面上的等高图, 可以直观地反映各因素对响应值的影响, 从响应面分析图上可以找到它们之间的相互作用。等高线图表示在同一椭圆型的曲线上, 总木脂素的提取率是相同的, 而中心的提取率最高。等高线的形状也可以表示相互作用的强弱, 如果等高线图趋于椭圆形, 则交互作用明显, 若趋于圆形, 则交互作用较弱^[12]。此外, 如果一个响应面的坡度趋于陡峭 (即等高线排列紧密), 表明响应值受操作条件的变化而影响较大, 反之, 操作条件的改变对响应值影响较小^[13]。根据以上响应面和等高线的性质, 分析所得响应面和等高线图, 得到料液比与温度, 乙醇质量分数与温度, 超声功率与温度之间的交互效应明显, 其他因素之间交互效应不明显。用 Design-Expert 8.05 软件处理得到响应面分析结果, 具有代表性的响应面图如图 5。

2.2.4 最优工艺条件求取与模型验证 通过 Design-Expert 8.05 软件求得预测的总木脂素提取的最优工艺条件为: 料液比为 20:1, 乙醇质量分数为 79.66%, 功率为 146.88W, 温度为 67.09℃, 总木脂素的提取率最高, 可达到 3.49722%。但为了验证模型的有效性, 并考虑到实验室实际情况和实验仪器的局限性, 将最优工艺条件修正为料液比 20:1, 乙醇质量分数 79.6%, 功率为 150W, 温度为 67.0℃。按照此

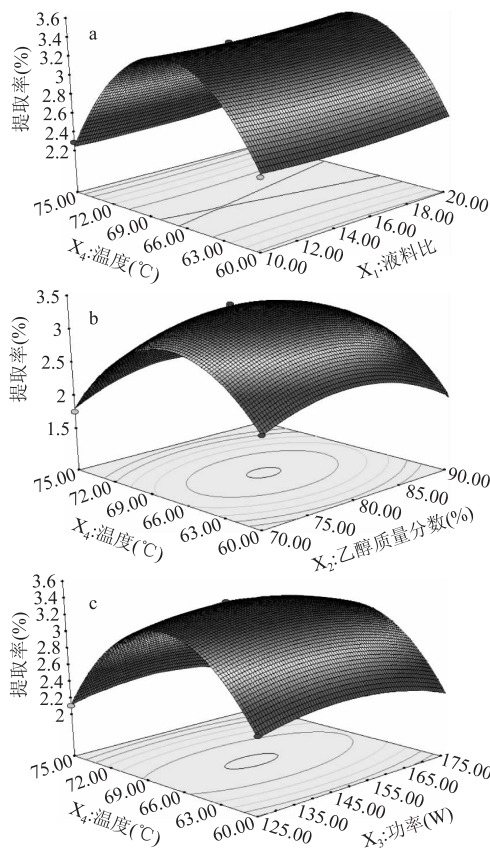


图 5 料液比 (X₁), 乙醇质量分数 (X₂), 超声功率 (X₃) 和温度 (X₄) 对总木脂素提取率的影响

Fig.5 The effects of the ratio of solvent to material, ethanol concentration, ultrasonic power and temperature on extraction yield of total lignans

(下转第 206 页)

大小均匀。无孔的表面结构是有效隔绝仙人掌多糖与外界环境接触、反应,保护仙人掌多糖的关键。仙人掌多糖作为一种水溶性多糖具有吸潮性,通过微胶囊技术包裹仙人掌多糖,由于壁材的保护,相对于4℃贮存的仙人掌多糖,贮存稳定性较好。

参考文献

- [1] Gibbs B F, Kermasha S, Alli I, et al. Encapsulation in the food industry: a review[J]. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 1999, 50(3): 213-224.
- [2] Doan T V, Couet W, Olivier J C. Formulation and *in vitro* characterization of inhalable rifampicin - loaded PLGA microspheres for sustained lung delivery[J]. International Journal of Pharmaceutics, 2011, 414(1-2): 112-117.
- [3] Desai K G H, Park H J. Recent Developments in Microencapsulation of Food Ingredients[J]. Dry Technol, 2005, 23(7): 1361-1394.
- [4] Jones S R, Grey B D, Mistry K K, et al. The development of colour-encapsulated microspheres for novel colour cosmetics[J]. Journal of Microencapsulation, 2009, 26(4): 325-333.
- [5] Kim H J, Kim T H, Kang K C, et al. Microencapsulation of rosmarinic acid using polycaprolactone and various surfactants[J]. Int J Cosmet Sci, 2010, 32(3): 185-191.
- [6] Zhao Longyan, Lan Qijie, Huang Zhenchi, et al. Antidiabetic effect of a newly identified component of *Opuntia dillenii* polysaccharides[J]. Phytomedicine, 2011, 18(8-9): 661-668.
- [7] Zhao Longyan, Huang Wei, Yuan Qingxia, et al. Hypolipidaemic effects and mechanisms of the main component of

Opuntia dillenii Haw. polysaccharides in high - fat emulsion - induced hyperlipidaemic rats[J]. Food Chemistry, 2012, 134(2): 964-971.

- [8] 蔡为荣, 顾小红, 汤坚. 仙人掌多糖提取纯化及其抗凝血活性研究[J]. 食品科学, 2010, 31(6): 131-135, 264.
- [9] Schepetkin I A, Xie G, Kirpotina L N, et al. Macrophage immunomodulatory activity of polysaccharides isolated from *Opuntia polyacantha* [J]. International Immunopharmacology, 2008, 8(10): 1455-1466.
- [10] Khoee S, Yaghoobian M. An investigation into the role of surfactants in controlling particle size of polymeric nanocapsules containing penicillin-G in double emulsion[J]. European Journal of Medicinal Chemistry, 2009, 44(6): 2392-2399.
- [11] Xu Bin, Dou HongJing, Tao Ke, et al. Influence of experimental parameters and the copolymer structure on the size control of nanospheres in double emulsion method[J]. Journal of Polymer Research, 2011, 18(1): 131-137.
- [12] 赵龙岩, 袁清霞, 李子娇, 等. 仙人掌多糖的双酶法提取及含量测定方法优化[J]. 中国医药工业杂志, 2011, 42(2): 96-100.
- [13] Ito F, Fujimori H, Honnami H, et al. Control of drug loading efficiency and drug release behavior in preparation of hydrophilic - drug - containing monodisperse PLGA microspheres[J]. Journal of Materials Science, 2010, 21(5): 1563-1571.
- [14] Chen J L, Chiang C H, Yeh M K. The mechanism of PLA microparticle formation by water - in - oil - in - water solvent evaporation method[J]. Journal of Microencapsulation, 2002, 19(3): 333-346.

(上接第 201 页)

修正条件,进行三次平行验证实验,得到总木脂素提取率为 3.406%,与理论值的偏差为 2.6% < 3%,数据较为吻合,说明通过响应面优化后得出的提取条件参数可靠,具有一定的实践指导意义。

3 结论

通过超声法从竹叶椒中提取总木脂素成分,在单因素实验的基础上,选择乙醇质量分数、温度、液料比和超声功率作为实验因素进行 Box-Behnken 中心组合实验设计,使用 Design-Expert 软件进行数据拟合,建立了超声提取竹叶椒中总木脂素的工艺数学模型。

通过模型的响应面和等高线,对影响木脂素提取率的各个因素及其相互作用进行分析,得到了竹叶椒总木脂素超声提取的最优工艺条件:料液比 20:1,乙醇质量分数 79.6%,功率为 150W,温度为 67.0℃,并且经过验证,该模型是可靠的。

参考文献

- [1] 郭涛,孙莉,黄艳,等.药食两用植物竹叶椒近五年药理活性研究进展[J].中国现代中药,2013,15(2):109-111.
- [2] 国家中医药管理局《中华本草》编委会.中华本草[M].上海:上海科学技术出版社,1997:10.
- [3] 《全国中草药汇编》编写组.全国中草药汇编(下册)[M].北京:人民卫生出版社,1986:258.
- [4] Guo T, Xie H, Deng Y X, et al. A new lignan and other

constituents from *Zanthoxylum armatum* DC[J]. Natural Product Research: Formerly Natural Product Letters, 2012, 26(9): 859-864.

- [5] Guo T, Deng Y X, Xie H, et al. Antinociceptive and anti-inflammatory activities of ethyl acetate fraction from *Zanthoxylum armatum* in mice[J]. Fitoterapia, 2011, 82: 347-351.
- [6] 郭铁英,李名扬.木脂素类化合物的研究进展[J].现代农业科技,2008(9):199-203.
- [7] 王锋,李稳宏,李多伟,等.超声萃取-溶剂纯化银杏外种皮活性成分新工艺[J].化学工程,2004,15(12):861-862.
- [8] 任丹丹,陈谷.响应面法优化黄秋葵多糖超声提取工艺[J].食品科学,2011,32(8):143-146.
- [9] Li Q H. Application of response surface methodology for extraction optimization of germinant pumpkin seeds protein[J]. Food chemistry, 2005, 92(4): 701-706.
- [10] 王鸿,邓泽元,刘蓉,等.响应曲面法优化山落菜根多糖的提取工艺[J].食品科学,2010,30(2):46-50.
- [11] 慕运动.响应面方法及其在食品工业中的应用[J].郑州工程学院学报,2001,22(3):91-94.
- [12] 徐秀泉,许源,汤建,等.响应面法优化金莲花总黄酮的超声提取工艺[J].中国实验方剂学杂志,2011,17(14):35-38.
- [13] 刘奉强,肖鉴谋,刘太泽.应用响应面法优化超声波提取荆芥中总黄酮的工艺[J].南昌大学学报:工科版,2011,33(2):149-155.