

响应面法优化辣木叶总黄酮提取工艺的研究

张世奇^{1,2}, 刘颖柳¹, 谭兆平^{3*}

¹岭南师范学院食品科学与工程学院, 广东 湛江

²广东省辣木资源开发与利用工程技术研究中心, 广东 湛江

³广东省湛江市质量计量监督检测所, 广东 湛江

收稿日期: 2021年10月18日; 录用日期: 2021年11月18日; 发布日期: 2021年11月25日

摘要

以辣木叶为原料, 采用超声波辅助乙醇提取法提取辣木叶总黄酮。通过单因素试验考察乙醇浓度、料液比、提取时间、提取温度对总黄酮得率的影响, 并利用响应面试验优化提取工艺。研究表明, 辣木叶总黄酮的最佳提取工艺为: 乙醇浓度为80.4%, 料液比为1:70 g/mL, 提取时间为80 min, 提取温度为51℃, 此条件下总黄酮得率为6.585%。

关键词

辣木叶, 黄酮, 提取工艺, 响应面法

Optimization of Extraction Technology of Total Flavonoids from *Moringa oleifera* Leaf by Response Surface Methodology

Shiqi Zhang^{1,2}, Yingliu Liu¹, Zhaoping Tan^{3*}

¹College of Food Science and Engineering, Lingnan Normal University, Zhanjiang Guangdong

²Zhanjiang Institute of Supervision & Test on Quality & Metrology, Zhanjiang Guangdong

³Quality Measurement Supervision and Testing Institute of Zhanjiang, Zhanjiang Guangdong

Received: Oct. 18th, 2021; accepted: Nov. 18th, 2021; published: Nov. 25th, 2021

Abstract

Moringa oleifera leaves were used as raw materials to extract total flavonoids from *Moringa olei-*

*通讯作者。

文章引用: 张世奇, 刘颖柳, 谭兆平. 响应面法优化辣木叶总黄酮提取工艺的研究[J]. 化学工程与技术, 2021, 11(6): 364-376. DOI: 10.12677/hjct.2021.116047

fera leaf by ultrasonic assisted ethanol extraction. The effects of ethanol concentration, solid-liquid ratio, extraction time and extraction temperature on the yield of total flavonoids were investigated by single factor test, and response surface test was used to optimize the extraction process. The results showed that the optimal extraction conditions were as follows: ethanol concentration of 80.4%, solid-liquid ratio of 1:70 g/mL, extraction time of 80 min, extraction temperature of 51°C; the yield of total flavonoids was 6.585%.

Keywords

Moringa oleifera Leaf, Flavonoids, Extraction Process, The Response Surface Method

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

辣木(*Moringa oleifera*), 又称鼓槌树, 为辣木科辣木属多年生植物, 是印度北部喜马拉雅山南麓的速生树种[1], 其根、茎、叶均可食用, 营养成分含量丰富, 而且极具药用价值, 有“奇迹之树”之称[2] (见图 1)。20 世纪 60 年代, 我国云南以药用植物的身份引种辣木, 随后我国台湾、广东、广西以及福建等地陆续设立辣木种植基地。近年来, 随着辣木营养价值和药用价值的凸显, 国家对辣木的引种培育以及研究开发表现出高度的重视, 其生物活性也备受人们关注。



Figure 1. *Moringa oleifera* leaf and its powder

图 1. 辣木叶及其粉剂

辣木含有多种功能性成分如多糖、黄酮及多酚类物质、维生素、氨基酸, 其突出的经济价值和药用价值, 使辣木被广泛应用于农业、医药、美容保健等多个领域[3]。较多动物实验及临床研究表明, 辣木叶在降脂降糖[4] [5]、抗癌保肝[6] [7] [8]、抑菌消炎[9] [10]、抗氧化等[11] [12] [13]方面均有显著活性。相关研究通过验证辣木叶粉或水提物的生理活性, 推测其降糖降脂、抑菌抗炎等药理作用主要源于辣木叶中所含的黄酮及多酚类活性成分[14] [15], 随后该成分的分离提取工艺也受到众多国内外研究者的关注。如 Vongsak 等[16]使用挤压、煎煮以及浸泡等技术对辣木中的黄酮类物质进行提取, 发现 70%的乙醇溶液浸泡可获得最大提取率; 张涛等[17] [18]以水为溶剂, 利用超声波技术能够显著提高辣木叶中总黄酮的提取效果; 孙鸣燕等[19]采用乙醇回流法研究辣木叶总黄酮的提取效果, 进一步验证了乙醇对辣木黄酮的提取效果; 刘骋等[20]采用亚临界乙醇浸提辣木黄酮, 证实亚临界萃取法可有效提高提取率, 降低能源消耗。上述研究表明乙醇浸泡以及超声波辅助均能够有效提升辣木叶中黄酮的得率, 基于此, 本实验

以乙醇为提取溶剂,采用超声波辅助技术提取辣木叶的总黄酮,并通过响应面法考察料液比、乙醇浓度、提取时间及提取温度四个提取因素,对辣木叶黄酮得率的影响,对总黄酮的提取工艺进行优化,以期对辣木叶黄酮的深入研究提供理论基础和参考依据。

2. 材料与amp;方法

2.1. 材料与仪器

辣木叶(湛江市佳池塘辣木种植基地);无水乙醇(分析纯,国药集团化学试剂有限公司);芦丁(标准品,北京中科质检生物技术有限公司);硝酸铝(分析纯,国药集团化学试剂有限公司)、亚硝酸钠(分析纯,国药集团化学试剂有限公司)其他试剂均为国产分析纯。

电子分析天平 JA3002 上海蒲春计量仪器有限公司;粉碎机 MJ-BL25B3 广东美的生活电器制造有限公司;离心机 TGL16M 上海之信仪器有限公司;超声清洗器 DL-360E 宁波新芝生物科技股份有限公司;紫外可见分光光度计 TU-1810DASPC 北京普析通用仪器有限责任公司;数显恒温水浴锅 HH-2 常州荣华仪器制造有限公司。

2.2. 实验方法

2.2.1. 辣木叶总黄酮的提取工艺流程

辣木叶→烘干→粉碎过筛(100目)→乙醇分散→超声仪器辅助提取(固定功率 80 w)→离心分离→减压浓缩→辣木叶总黄酮。

2.2.2. 总黄酮标准曲线的绘制

分别吸取 200 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 0、2、4、6、8、10 mL 的芦丁标准溶液加入至 25 mL 容量瓶中,加入 10 mL 30% 乙醇溶液、5% NaNO_2 溶液 1 mL 和 10% $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 溶液 1 mL,混匀静置 6 min。加入 10 mL 4% NaOH 溶液,用 30%乙醇溶液定容至 25 mL,混匀避光静置 15 min。在 510 nm 处分别测定各芦丁标准溶液的吸光度,得到吸光度(y)和质量浓度(x)的线性回归方程为 $y = 14.388x + 0.0028$, $R^2 = 0.9993$,该方程在总黄酮含量为 0~80 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 呈良好的线性关系

2.2.3. 总黄酮得率计算

根据 2.2.2 的紫外可见分光光度法测定不同提取液的吸光度,利用标准曲线计算反应液中总黄酮的质量浓度。总黄酮得率计算公式如下:

$$\text{总黄酮得率}(\%) = \frac{C \times K \times V}{M} \times 100 \quad \text{式(1)}$$

式(1)中 C 为由标准曲线计算得到的反应液中的总黄酮浓度, g/mL ; K 为反应时提取液的稀释倍数 25; V 为提取液的总体积, mL ; M 为辣木叶干粉质量, g 。

2.2.4. 单因素试验

按照 2.2.1 的提取工艺,考察乙醇浓度(50%、60%、70%、80%、90%)、料液比(1:30、1:40、1:50、1:60、1:70 g/mL)、提取温度(50 $^\circ\text{C}$ 、60 $^\circ\text{C}$ 、70 $^\circ\text{C}$ 、80 $^\circ\text{C}$ 、90 $^\circ\text{C}$)、提取时间(50、60、70、80、90 min)对辣木叶总黄酮得率的影响。

2.2.5. 响应面试验设计

在单因素试验的基础上,以乙醇浓度、料液比、提取时间与及提取温度为自变量,辣木叶总黄酮得率为响应值,设计四因素三水平响应面优化试验。试验因素水平编码如表 1 所示。

Table 1. Code table in response surface design**表 1.** 响应面设计编码表

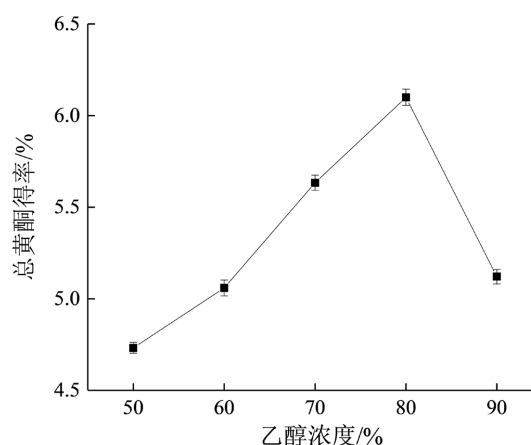
因素	水平		
	-1	0	1
A 乙醇浓度(%)	70	80	90
B 料液比(g/mL)	1:60	1:70	1:80
C 提取温度(°C)	40	50	60
D 提取时间(min)	70	80	90

3. 结果与分析

3.1. 单因素试验结果

3.1.1. 乙醇浓度对总黄酮得率的影响

由图 2 可知, 乙醇浓度为 80% 时, 辣木叶总黄酮的得率最大。当乙醇浓度小于 80% 时, 总黄酮的得率随着乙醇浓度的增加而增加, 当乙醇浓度大于 80% 时, 总黄酮的得率逐渐下降。这可能由于总黄酮中包含多种黄酮, 不同种类的黄酮在水和乙醇中的溶解度不同, 当乙醇浓度为 80% 时, 大多数黄酮类化合物与其极性更加接近, 因此总黄酮得率最高。

**Figure 2.** Effect of ethanol concentration on total flavonoids yield**图 2.** 乙醇浓度对总黄酮得率的影响

3.1.2. 料液比对总黄酮得率的影响

由图 3 可知, 料液比太低时, 部分黄酮无法溶解在提取液中, 导致总黄酮得率较低, 随着料液比增加黄酮溶解的总量逐渐增多, 当料液比达到 1:70 g/mL 时得率最高, 料液比继续增加时, 可能是由于其他物质的溶出干扰了黄酮溶解导致总黄酮得率下降。因此最佳料液比是 1:70 g/mL。

3.1.3. 温度对总黄酮得率的影响

由图 4 可知, 当提取温度小于 50°C 时, 随着提取温度的升高, 辣木叶总黄酮的得率增加, 这可能是由于温度升高后, 黄酮更容易溶解到提取液中, 溶解度增加使得总黄酮的得率增加。当提取温度大于 50°C 时, 随着提取温度的继续升高, 总黄酮得率下降, 这可能是由于提取温度过高会破坏中黄酮类化合物的结构, 使总黄酮得率下降。因此辣木叶总黄酮的最佳提取温度为 50°C。

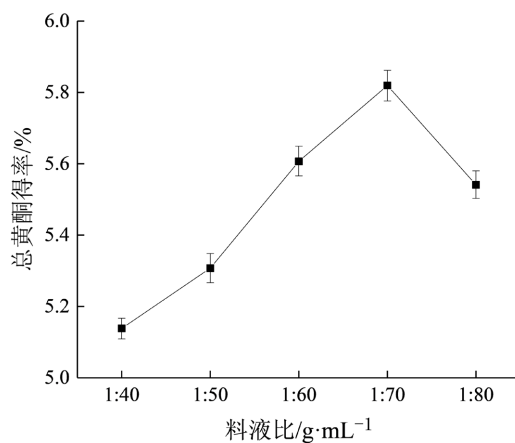


Figure 3. Effect of material-liquid ratio on total flavonoids yield
图 3. 料液比对总黄酮得率的影响

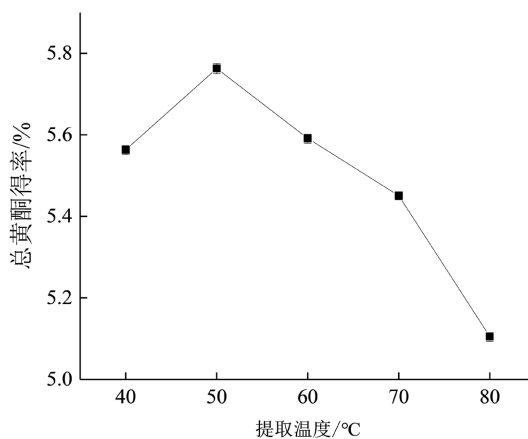


Figure 4. Effect of extraction temperature on total flavonoids yield
图 4. 提取温度对总黄酮得率的影响

3.1.4. 提取时间对总黄酮得率的影响

由图 5 可知, 当提取时间小于 80 min 时, 辣木叶总黄酮的得率随着提取时间的增加逐渐增大, 当提

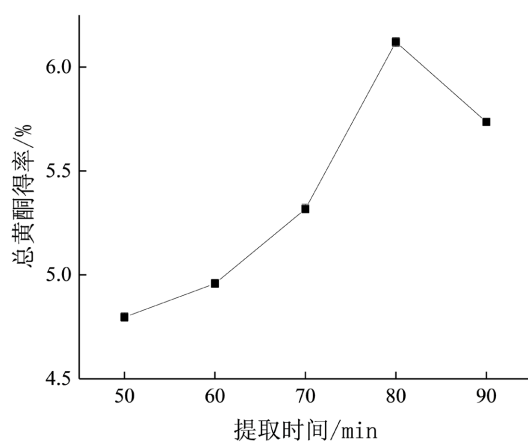


Figure 5. Effect of extraction time on total flavonoids yield
图 5. 提取时间对总黄酮得率的影响

取时间大于 80 min 时, 总黄酮的得率开始降低。这是因为当提取时间太短时, 辣木叶中的总黄酮不能完全被提取出来, 当提取时间太长时, 辣木叶中的黄酮会被超声破坏导致黄酮得率下降。因此最佳的提取时间为 80 min。

3.2. 响应面设计优化的结果及分析

3.2.1. 回归方程的建立与显著性分析

采用 Design-Expert 8.06 软件对表 2 结果进行拟合, 以乙醇浓度(A)、料液比(B)、提取温度(C)、提取时间(D)为变量, 辣木叶总黄酮得率 Y 为考察指标, 得到线性回归方程:

$$Y = 6.57 + 0.15A + 0.18B + 0.065C + 0.021D - 0.27AB - 0.020AC + 0.090AD + 4.5 \times 10^{-3}BC - 0.975 \times 10^{-3}BD - 0.045CD - 1.35A^2 - 0.65B^2 - 0.39C^2 - 0.20D^2$$

Table 2. Response surface test design and results

表 2. 响应面试验设计及结果

编号	乙醇浓度(%)	料液比(g/mL)	提取温度(°C)	提取时间(min)	黄酮得率 Y(%)
1	-1	-1	0	0	4.121
2	1	-1	0	0	4.97
3	-1	1	0	0	4.883
4	1	1	0	0	4.657
5	0	0	-1	-1	5.938
6	0	0	1	-1	6.233
7	0	0	-1	1	6.012
8	0	0	1	1	6.127
9	-1	0	0	-1	4.937
10	1	0	0	-1	5.017
11	-1	0	0	1	4.728
12	1	0	0	1	5.169
13	0	-1	-1	0	5.238
14	0	1	-1	0	5.599
15	0	-1	1	0	5.337
16	0	1	1	0	5.716
17	-1	0	-1	0	4.557
18	1	0	-1	0	4.922
19	-1	0	1	0	4.673
20	1	0	1	0	4.959
21	0	-1	0	-1	5.344
22	0	1	0	-1	5.826
23	0	-1	0	1	5.535

Continued

24	0	1	0	1	5.978
25	0	0	0	0	6.641
26	0	0	0	0	6.627
27	0	0	0	0	6.637
28	0	0	0	0	6.443
29	0	0	0	0	6.488

由表 3 可知, 一次项乙醇浓度 A 和料液比 B 差异极显著($P < 0.01$), 该模型乙醇浓度和料液比的交互作用极显著($P < 0.01$), 该模型 $R^2 = 0.9238$, $R^2_{Adj} = 0.9699$, 说明模型拟合程度高, 能够较好描述辣木叶总黄酮得率随提取条件变化的规律。由表中的 F 值的大小判断, 各因素对总黄酮得率的影响由高到低排序: B (料液比) > A (乙醇浓度) > C (提取温度) > D (提取时间)。

Table 3. The variance analysis of regression model

表 3. 回归模型的方差分析

来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	14.14	14	1.01	65.54	<0.0001	**
A	0.27	1	0.27	17.42	0.0009	**
B	0.37	1	0.37	24.17	0.0002	**
C	0.051	1	0.051	3.28	0.0916	
D	5.376×10^{-3}	1	5.625×10^{-3}	0.35	0.5642	
AB	0.29	1	0.29	18.75	0.0007	**
AC	1.56×10^{-3}	1	1.560×10^{-3}	0.10	0.7550	
AD	0.033	1	0.033	2.11	0.1680	
BC	8.1×10^{-5}	1	8.1×10^{-5}	5.256×10^{-3}	0.9432	
BD	3.802×10^{-4}	1	3.802×10^{-4}	0.025	0.8774	
CD	8.1×10^{-3}	1	8.1×10^{-3}	0.53	0.4804	
A ²	11.90	1	11.90	772.07	<0.0001	**
B ²	2.77	1	2.77	179.46	<0.0001	**
C ²	0.98	1	0.98	63.88	<0.0001	**
D ²	0.25	1	0.25	16.49	0.0012	**
残差	0.22	14	0.015			
失拟项	0.18	10	0.018	2.02	0.2592	
误差	0.036	4	8.898×10^{-3}			
总和	14.38	28				

$R^2 = 0.9238$ $R^2_{Adj} = 0.9699$

注: *表示差异显著($0.01 < P < 0.05$); **表示差异极显著($P < 0.01$)。

3.2.2. 响应面因素交互影响图及分析

由图 6 和图 7 可知乙醇浓度和料液比的交互作用非常显著。虽然在单因素条件下乙醇浓度达 80% 时，总黄酮得率最高，但和料液比进行交互时，如果料液比偏低或偏高，总黄酮的得率无法达到最高值；同理当料液比为 1:70 g/mL 时，如果乙醇浓度偏低或偏高也会影响总黄酮得率，只有当乙醇浓度在 80%，料液比在 1:70 g/mL 附近，总黄酮得率才可接近最大值。

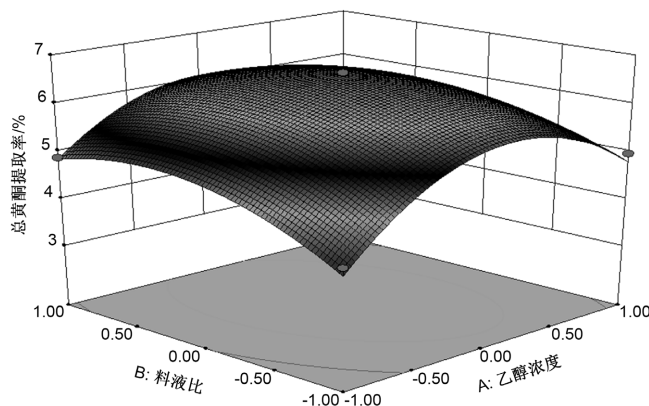


Figure 6. The response surface chart for ethanol concentration and material-liquid ratio on yield of total flavone from *Moringa oleifera* leaves

图 6. 乙醇浓度和料液比对辣木叶总黄酮得率影响的响应面图

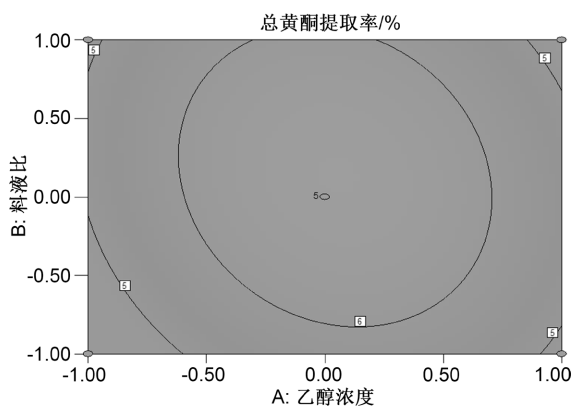


Figure 7. The counter plots for ethanol concentration and material-liquid ratio on yield of total flavone from *Moringa oleifera* leaves

图 7. 乙醇浓度和料液比对辣木叶总黄酮得率影响的等高线图

图 8 中响应面非常平缓，图 9 中等高线接近圆形，说明提取温度和提取时间交互时对辣木叶总黄酮得率的影响不显著，在提取温度 50℃ 和提取时间 80 min 附近，总黄酮得率出现峰值。

由图 10 和图 11 可知，乙醇浓度对总黄酮的提取率影响大于提取温度对总黄酮得率的影响，但二者交互后对总黄酮的得率影响不显著，总黄酮最大得率在提取温度 50℃，乙醇浓度为 80% 附近。

由图 12 和图 13 可知，乙醇浓度对总黄酮的提取率影响更大，因此响应面图上，曲面在乙醇浓度方向上弯曲程度更高，等高线在乙醇浓度方向上形成椭圆短轴，但当提取时间和乙醇浓度交互后，对总黄酮的得率影响不显著，总黄酮最大得率在提取时间 80 min，乙醇浓度为 80% 附近达最大值。

由图 14 和图 15 可知，料液比对总黄酮得率影响更大，但当与提取时间交互后，交互作用不显著，总黄酮得率在提取时间 80 min，料液比 1:70 g/mL 附近可达最大值。

由图 16 和图 17 可知, 提取温度和料液比交互作用不显著, 总黄酮最大得率在提取温度 50℃, 料液比 1:70 g/mL 附近可达最大值。

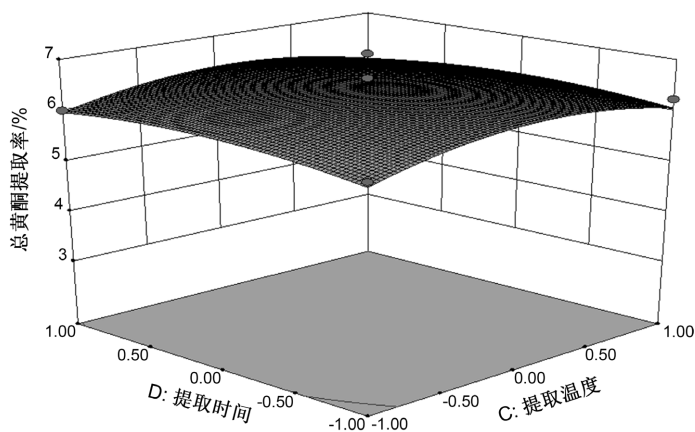


Figure 8. The response surface chart for extraction time and temperature on yield of total flavone from *Moringa oleifera* leaves
图 8. 提取时间与提取温度对辣木叶总黄酮得率影响的响应面图

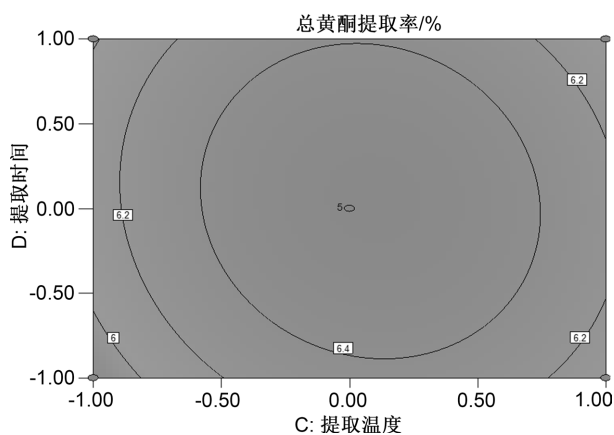


Figure 9. The counter plots for extraction time and temperature on yield of total flavone from *Moringa oleifera* leaves
图 9. 提取时间与提取温度对辣木叶总黄酮得率影响的等高线图

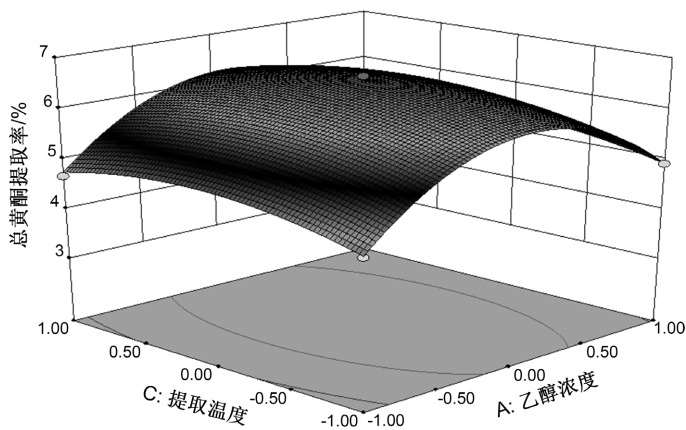


Figure 10. The response surface chart for temperature and ethanol concentration on yield of total flavone from *Moringa oleifera* leaves
图 10. 提取温度与乙醇浓度对辣木叶总黄酮得率影响的响应面图

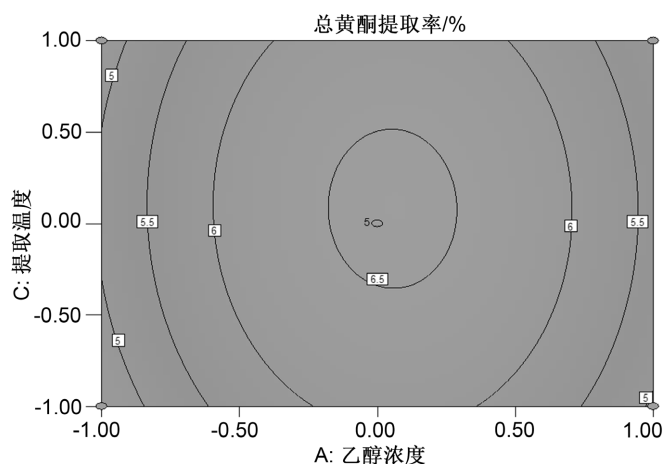


Figure 11. The counter plots for temperature and ethanol concentration on yield of total flavone from *Moringa oleifera* leaves

图 11. 提取温度与乙醇浓度对辣木叶总黄酮得率影响的等高线图

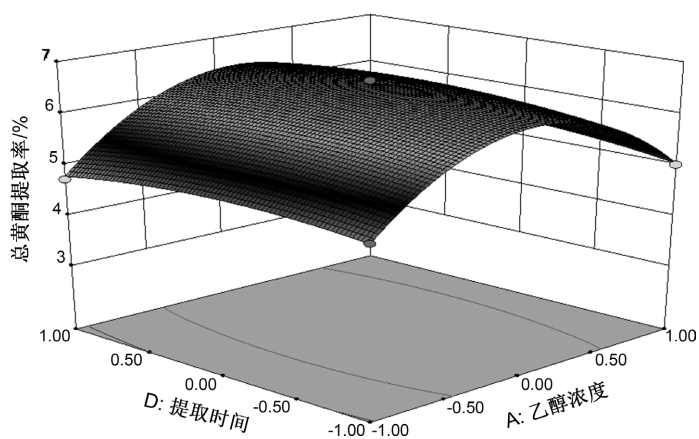


Figure 12. The response surface chart for extraction time and ethanol concentration on yield of total flavone from *Moringa oleifera* leaves

图 12. 提取时间与乙醇浓度对辣木叶总黄酮得率影响的响应面图

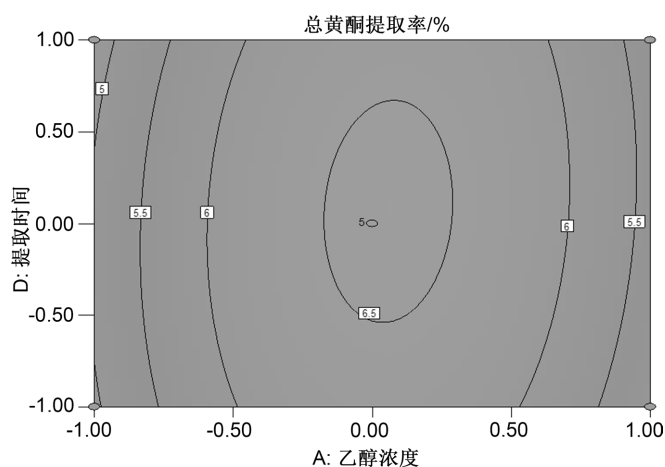


Figure 13. The counter plots for extraction time and ethanol concentration on yield of total flavone from *Moringa oleifera* leaves

图 13. 提取时间与乙醇浓度对辣木叶总黄酮得率影响的等高线图

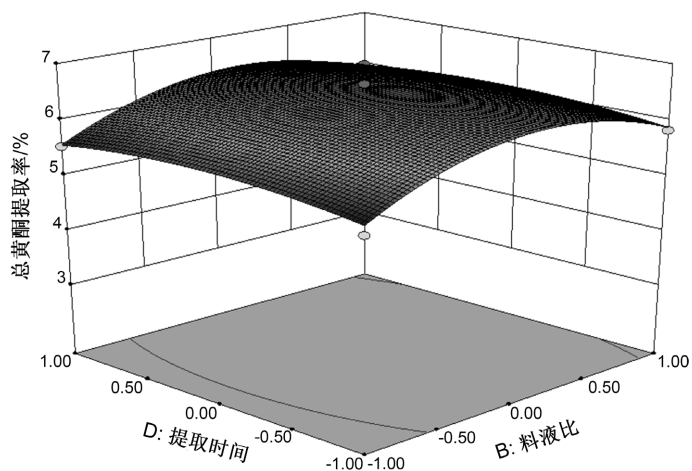


Figure 14. The response surface chart for extraction time and material-liquid ratio on yield of total flavone from *Moringa oleifera* leaves

图 14. 提取时间与料液比对辣木叶总黄酮得率影响的响应面图

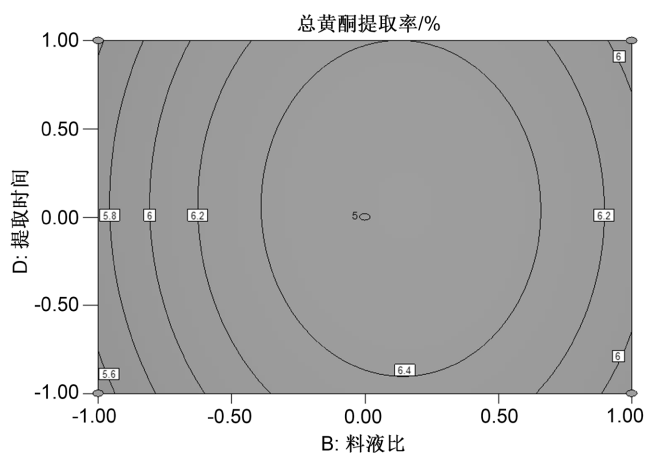


Figure 15. The counter plots for extraction time and material-liquid ratio on yield of total flavone from *Moringa oleifera* leaves

图 15. 提取时间与料液比对辣木叶总黄酮得率影响的等高线图

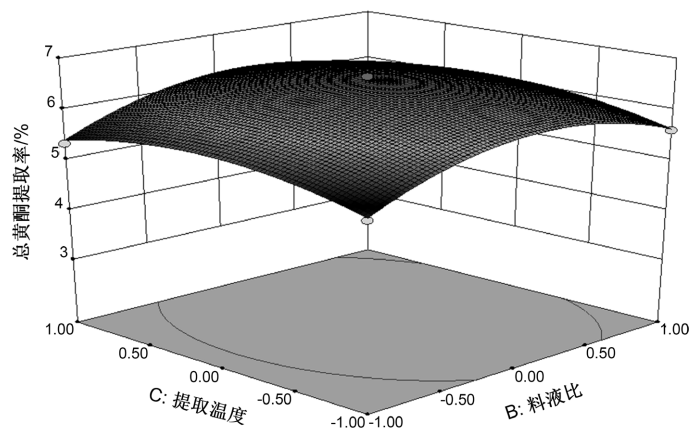


Figure 16. The response surface chart for temperature and material-liquid ratio on yield of total flavone from *Moringa oleifera* leaves

图 16. 提取温度与料液比对辣木叶总黄酮得率影响的响应面图

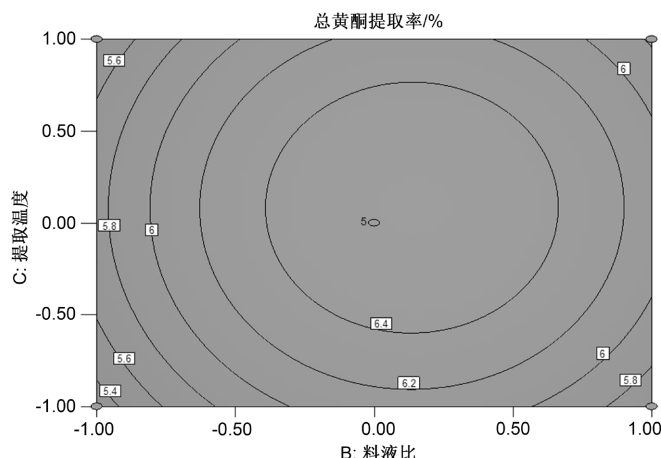


Figure 17. The counter plots for temperature and material-liquid ratio on yield of total flavone from *Moringa oleifera* leaves
图 17. 提取温度与料液比对辣木叶总黄酮得率影响的等高线图

结合线性回归结果分析可知辣木叶总黄酮的最佳提取工艺为乙醇浓度 80.4%、料液比 1:68.7 g/mL、提取时间 79.9 min、提取温度 50.8℃。

3.2.3. 最佳提取工艺的验证

为了验证最佳提取工艺的可靠性, 考虑实验的可操作性, 对响应面法预测的参数进行优化得到修正后的提取条件为: 乙醇浓度 80%、料液比 1:69 g/mL、提取时间 80 min、提取温度 51℃, 平行试验三次取平均值, 试验结果的平均值为 $6.584\% \pm 0.04\%$, 与预测值 6.585%接近, 证明该模型具有指导意义。

4. 结论

研究采用响应面法对辣木叶中提取总黄酮的工艺条件进行优化, 实验最佳条件乙醇浓度 80%、料液比 1:69 g/mL、提取时间 80 min、提取温度 51℃, 辣木叶总黄酮得率的预测值是 6.585%, 总黄酮得率在验证试验是 $6.584\% \pm 0.04\%$, 该结果可以表明, 该试验能很好分离得到辣木叶总黄酮, 进一步为辣木资源的开发提供理论依据。

基金项目

岭南师范学院自然科学基金(ZL1817)。

参考文献

- [1] Jahn, S. (1996) On the Introduction of a Tropical Multipurpose Tree to China: Traditional and Potential Utilisation of *Moringa oleifera* Lamarck. *Senckenbergiana Biologica*, **75**, 243-254.
- [2] 汪泰, 顾文宏, 何军, 熊俊芬, 张乃明. 辣木新资源食品研究进展[J]. 食品工业科技, 2017, 38(8): 364-368.
- [3] 李月, 钟惠萍, 陈晓雯, 王力. 辣木活性成分、提取工艺及应用研究进展[J]. 内蒙古民族大学学报: 自然科学版, 2019, 34(5): 369-375.
- [4] Ghasi, S., Nwobodo, E. and Ofili, J.O (2000) Hypocholesterolemic Effects of Crude Extract of Leaf of *Moringa oleifera* Lam in High-Fat Diet Fed Wistar Rats. *Journal of Ethnopharmacology*, **69**, 21-25.
[https://doi.org/10.1016/S0378-8741\(99\)00106-3](https://doi.org/10.1016/S0378-8741(99)00106-3)
- [5] Momoh, M.A., Chime, S.A. and Kenchukwu, F.C. (2013) Novel Drug Delivery System of Plant Extract for the Management of Diabetes: An Antidiabetic Study. *Journal of Dietary Supplements*, **10**, 252-263.
<https://doi.org/10.3109/19390211.2013.822454>
- [6] Rahaman, M.H.A., Kadir, N.H.A., Amin, N.M. and Omar, W.B.W. (2017) Cytotoxicity Effect of Water Extracts of *Moringa oleifera* Leaves and Seeds against MCF-7 Cells. *Acta Horticulturae*, **1158**, 279-286.

- <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1158.31>
- [7] Helmy, S.A., Morsy, N., Elaby, S.M. and Ghaly, M.A.A. (2017) Hypolipidemic Effect of *Moringa oleifera* Lam Leaf Powder and Its Extract in Diet-Induced Hypercholesterolemic Rats. *Journal of Medicinal Food*, **20**, 755-762. <https://doi.org/10.1089/jmf.2016.0155>
- [8] Omodanisi, E.I., Aboua, Y.G., Chegou, N.N. and Oguntibeju, O.O. (2017) Hepatoprotective, Antihyperlipidemic, and Anti-Inflammatory Activity of *Moringa oleifera* in Diabetic-Induced Damage in Male Wistar Rats. *Pharmacognosy Research*, **9**, 182-187.
- [9] 孙洲悦, 陈思远, 陈永雄, 王力. 辣木叶多酚提取条件的优化及其抑菌性能研究[J]. 食品工业, 2018, 39(5): 70-74.
- [10] 王远. 辣木叶黄酮的提取, 分离纯化, 结构鉴定及其生物活性研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江工商大学, 2017.
- [11] Chumark, P., Khunawat, P., Sanvarinda, Y., Phornchirasilp, S., Morales, N.P., Phivthong-ngam, L., *et al.* (2008) The *in Vitro* and *ex Vivo* Antioxidant Properties, Hypolipidaemic and Antiatherosclerotic Activities of Water Extract of *Moringa oleifera* Lam. Leaves. *Journal of Ethnopharmacology*, **116**, 439-446. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2007.12.010>
- [12] 李倩, 夏杏洲, 周伟, 廖良坤, 李积华, 彭芍丹, 等. 辣木叶提取液在发酵过程营养成分及其抗氧化活性的变化[J]. 食品工业科技, 2019, 40(1):110-115.
- [13] 孙朦, 王鸿飞, 李艳霞, 王凯凯, 宋佳敏, 许凤, 等. 辣木叶总黄酮提取工艺优化及抗氧化能力研究[J]. 核农学报, 2018, 32(9): 1772-1780.
- [14] 陈瑞娇, 朱必凤, 王玉珍, 刘主. 辣木叶总黄酮的提取及其降血糖作用[J]. 食品与生物技术学报, 2007, 26(4): 42-45.
- [15] Cheenpracha, S., Park, E.J., Yoshida, W.Y., Barit, C., Wall, M., Pezzuto, J.M., *et al.* (2010) Potential Anti-Inflammatory Phenolic Glycosides from the Medicinal Plant *Moringa oleifera* Fruits. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, **18**, 6598-6602. <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2010.03.057>
- [16] Vongsak, B., Sithisarn, P. and Gritsanapan, W. (2013) Bioactive Contents and Free Radical Scavenging Activity of *Moringa oleifera* Leaf Extract under Different Storage Conditions. *Industrial Crops & Products*, **49**, 419-421. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.05.018>
- [17] 张涛, 马海乐. 超声波提取辣木黄酮技术的研究[J]. 粮油食品科技, 2005, 13(5): 19-21.
- [18] 王苗苗, 赵有为, 赵开丽, 万力, 刘凤霞, 王可兴, 等. 响应面法优化辣木叶总黄酮超声波辅助提取工艺[J]. 热带农业科技, 2015(4): 22-28.
- [19] 孙鸣燕. 辣木黄酮和多糖提取方法及其含量影响因素的初步研究[D]: [硕士学位论文]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2008.
- [20] 刘骋. 亚临界萃取辣木生物活性成分初探[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津大学, 2015.