

芜菁总多酚的提取工艺优化研究

海仁古丽·麦麦提¹, 刘 展², 海力茜·陶尔大洪^{1*}

(1. 新疆医科大学药学院, 乌鲁木齐 830011; 2. 新疆医科大学厚博学院, 克拉玛依 843000)

摘 要: **目的** 响应面法优化新疆芜菁中总多酚的提取工艺。**方法** 采用紫外分光光度法测定芜菁中总多酚的含量, 分别考察了乙醇浓度、料液比、超声时间、以及超声功率对芜菁总多酚得率的影响, 单因素的基础上进行了 4 因素 3 水平的设计, 以总多酚的得率为响应值, 分析数据, 优化新疆芜菁中总多酚的提取条件。**结果** 超声波提取新疆芜菁中总多酚的最佳工艺: 乙醇体积分数 40%、固液比 1: 30、时间 30 min、功率 105 W 时, 验证试验得出芜菁多酚的含量 13.09 mg/g, 该值与预测值 13.62 mg/g 接近, 表明响应面法得到的工艺参数准确和可靠。**结论** 该方法提取时间短, 溶剂用量少, 提取效率高的优点, 可作为芜菁多酚提取工艺的一种有效手段。

关键词: 芜菁; 总多酚; 响应面法

Optimization of extraction process of total polyphenols from *Brassica rapa* L.

HAIRENGULI Mai-Mai-Ti¹, LIU Zhan², HAILIQIAN Tao-Er-Da-Hong^{1*}

(1. College of Pharmacy, Xinjiang Medical University, Urumqi 830011, China;
2. Houbo College, Xinjiang Medical University, Karamay 843000, China)

ABSTRACT: Objective To optimize the extraction process of total polyphenols from *Brassica rapa* L. in xinjiang by response surface method. **Methods** The content of total polyphenols in *Brassica rapa* L. was determined by ultraviolet spectrophotometry. The effects of ethanol concentration, solid-liquid ratio, ultrasonic time and ultrasonic power on the yield of total phthalocyanine were investigated. On the basis of single factor, 4-factor and 3-level design was carried out, and the total polyphenols yield was taken as the response value to analyze the data and optimize the extraction conditions of total polyphenols in *Brassica rapa* L.. **Results** The optimal extraction process of total polyphenols in *Brassica rapa* L. by ultrasonic wave was as follows: ethanol volume fraction was 40%, solid-liquid ratio was 1:30, time was 30 min, power was 105 W. The results showed that the content of turnip polyphenols was 13.09 mg/g, which was close to the predicted value 13.62 mg/g, indicating that the process parameters obtained by response surface method were accurate and reliable. **Conclusion** The method has the advantages of short extraction time, less solvent consumption and high extraction efficiency, it can be used as an effective means for the extraction process of polyphenols from phthalocyanine.

KEY WORDS: *Brassica rapa* L.; total polyphony; response surface methodology

基金项目: 克拉玛依市创新人才工程项目(2017RC001A-20)

Fund: Supported by Karamay City Innovative Talent Engineering Project (2017RC001A-20)

*通讯作者: 海力茜·陶尔大洪, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为天然药物研究与开发。E-mail: hailiqian2471@sina.com

*Corresponding author: HAILIQIAN Tao-Er-Da-Hong, Professor, College of Pharmacy, Xinjiang Medical University, Urumqi 830011, China. E-mail : hailiqian2471@sina.com

1 引 言

新疆芜菁(*Brassica rapa* L.)又名蔓菁, 是十字花科植物的块根, 且有较长历史的药食同源类植物, 作为新疆道地药材, 深受各族居民喜爱^[1]。

新疆芜菁中含有黄酮、皂苷等有效成分具有抗肿瘤、抗衰老、免疫调节等功能^[2], 芜菁块根汁和叶汁具有很强的防辐射、抗诱变作用^[3], 还具有健胃、消食、开胸顺气等的药理作用^[4]。且在《本草纲目》与《食疗本草》都记载芜菁具有止咳平喘、利尿、消肿、令人肥健等功效^[5-10]。最近医药学研究发现, 芜菁含糖类、生物碱类、酚类、蛋白质等化学成分^[11], 总多酚是人们日常饮食中含量最丰富的抗氧化剂^[12], 在水果、蔬菜、谷物、巧克力和饮料中^[13]广泛存在。多酚类物质按结构大致可分为^[14]酚酸、黄酮类、香豆素、木脂素类化合物、醌类等^[15]。近几年来, 酚类物质因其抗氧化能力和多种药理作用受到越来越多的关注^[16], 在治疗和预防癌症^[17]、心血管疾病和其他疾病方面具有巨大潜力^[18]。目前芜菁多糖具有抗炎平喘^[19]、降血糖^[20]等多种活性的报道较多, 但对新疆芜菁中总多酚的研究报道较少, 对芜菁中总多酚的开发利用还较为欠缺^[21]。

因此本研究在单因素的基础上考察了新疆芜菁中总多酚提取工艺, 用响应面法优化了芜菁多酚的最佳提取工艺条件, 为今后的芜菁药材充分利用提供了基础实验数据。

2 材料与方法

2.1 仪 器

UV-2550 型紫外分光光度仪(日本岛津公司); HH-4 型数显恒温水浴锅(国华电器有限公司); AB135-5 型电子分析天平(瑞士 Mettler-Toledo 公司); KQ3200DE 型数控超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司); RE-52 型旋转蒸发器(上海亚荣生化仪器有限公司)。

2.2 试 剂

无水乙醇(分析纯, 天津市富宇精细化工有限公司); 没食子酸标准品(分析纯, 纯度: 98%, 天津市光复精细化工厂); 无水碳酸钠(分析纯, 上海虹光化工厂, 批号 20170305); 福林-酚试剂(上海荔达生物科技有限公司)。

2.3 药 材

本实验所用药材是新疆品质最优的阿克苏柯坪县芜菁。将药材经洗净切丝后, 避光通风处晾干, 取适量芜菁干燥药材, 研钵适当研磨成粉, 并过 60 目筛, 常温储存备用。

2.4 总多酚的含量测定

2.4.1 没食子酸对照品溶液的制备

精密量取 10 mg 没食子酸标准品, 加适量蒸馏水溶解

并定容至 100 mL 容量瓶中, 即得 0.1 mg/mL 的标准溶液。

2.4.2 没食子酸标准曲线的绘制

精密吸取没食子酸对照品溶液 0、0.15、0.30、0.45、0.60、0.75、0.90 mL, 置于 10 mL 的具塞试管中, 按以下顺序分别加各试剂: 加 3 mL 蒸馏水, 摇匀, 加 0.5 mL 福林试剂, 静置 1 min 后再加 1.5 mL 7.5% Na₂CO₃ 溶液, 充分摇匀后定容之刻度, 75 °C 水浴加热 10 min, 以 1 mL 蒸馏水代替储备液作为空白对照, 在 760 nm 测吸光度。

2.4.3 样品中总多酚的含量测定

称药材粉末 1.00 g 放于 100 mL 锥形瓶中, 按料液比加入乙醇溶剂, 在超声清洗器超声 30 min, 超声完了以后过滤, 将滤液用液枪精密吸取 0.06 mL 置于 10 毫升的棕色具塞试管中, 按以下顺序加蒸馏水 3.00 mL, 摇匀, 加 0.50 mL 福林试剂, 静置 1 min 后再加 7.5%Na₂CO₃ 溶液 1.5 mL, 充分摇匀后定容, 75 °C 水浴加热 10 min, 以 1 mL 蒸馏水作为空白对照, 在 760 nm 测吸光度, 平行 3 次。

总多酚含量的计算公式: $X=(C \cdot V \cdot N)/M$

式中: X 为多酚提取量, mg/g; C 为据标准曲线回归方程计算出的待测提取液中多酚的质量浓度, $\mu\text{g/mL}$; V 为待测液体积, mL;

N 为稀释倍数; M 为样品质量, g。

2.5 单因素试验

本实验研究不同因素对新疆芜菁中总多酚提取率的影响, 采用的是超声波辅助提取, 分别考察了乙醇浓度、料液、提取时间以及提取功率等对提取率影响较大的 4 个因素, 提取温度对得率也有一定的影响, 但是在超声仪器里面温度很难控制的, 因此不考虑温度, 本试验提取温度为 50 °C 左右, 进一步进行其他 4 单因素试验设计, 如表 1 所示。

表 1 单因素试验设计
Table 1 Single factor test design

乙醇浓度/%	料液比/(g/mL)	提取时间/min	提取功率/W
1	30	1:10	20
2	40	1:20	30
3	50	1:30	40
4	60	1:40	50
5	70	1:50	60

2.5.1 乙醇浓度的影响

称取 1.00 g 药材, 放 100 mL 锥形瓶中, 备 5 份, 加入 20 mL 溶剂, 分别为 30%、40%、50%、60%、70% 的乙醇溶液, 进行超声, 超声温度为 50 °C, 功率为 150 W, 时间为 30 min。将滤液按照“2.4.3”的流程测芜菁中总多酚的吸光度, 计算芜菁中总多酚得率。

2.5.2 料液比的影响

称取 1.00 g 药材, 放 100 mL 锥形瓶中, 备 5 份。加入 40%乙醇 10、20、30、40、50 mL 后放于超声波中进行超声, 超声温度为 50 ℃, 超声功率为 150 W, 超声时间为 30 min。将滤液按“2.4.3”的方法, 测芜菁中总多酚的吸光度, 计算总多酚得率。

2.5.3 超声时间的影响

称取 1.00 g 药材, 放 100 mL 锥形瓶中, 备 5 份。分别加入 30 mL 浓度为 40%的乙醇, 后放于超声波中进行超声, 超声温度为 50 ℃, 超声功率为 150 W, 超声时间分别为 20、30、40、50、60 min。续滤液按“2.4.3”的步骤测多酚的吸光度, 从而计算多酚得率。

2.5.4 提取功率的影响

称取 1.00 g 药材, 放 100 mL 锥形瓶里, 备 5 份。加入 40%乙醇 30 mL 后, 超声 30 min, 温度为 50 ℃, 超声功率分别 90、105、120、135、150 W。续滤液按“2.4.3”的步骤测多酚的吸光度, 计算多酚得率。

2.6 响应面优化

在单因素基础上, 按照 Box-Behnken 的设计原理, 选取乙醇浓度、提取时间、料液、超声功率为实验的影响因素, 新疆芜菁中总多酚的含量为响应值, 4 因素 3 水平进行实验设计, 如表 2 所示。

表 2 响应面因素水平设计
Table 2 Response surface factor level design

水平	因素			
	A 乙醇浓度 /%	B 料液比 /(g/mL)	C 提取时间 /min	D 提取功率 /W
-1	30	1:20	20	90
0	40	1:30	30	105
1	50	1:40	40	120

3 结果与分析

3.1 线性关系的考察

根据“2.4.2”方法, 测出的吸光度和计算出的浓度作回归方程, 所得标准曲线为 $Y=103.54X+0.0044$, $r=0.9993$, 说明浓度在 0.0015~0.0075 mg/mL 范围内与吸光度呈良好的线性关系, 如图 1。

3.2 单因素实验

3.2.1 乙醇浓度对多酚提取的影响

从图 2 可知, 乙醇浓度 30%~40%时, 随着乙醇浓度的增加, 总多酚得率逐渐增加。乙醇浓度 40%时, 总多酚得率达到最大, 为 12.01 mg/g。乙醇浓度在 50%~70%时, 随着乙醇浓度的增加, 溶液的极性不断的增强, 多酚的溶解

度逐渐下降, 导致总多酚得率也逐步降低。因此, 提取新疆芜菁中总多酚时, 乙醇浓度 40%左右为宜。

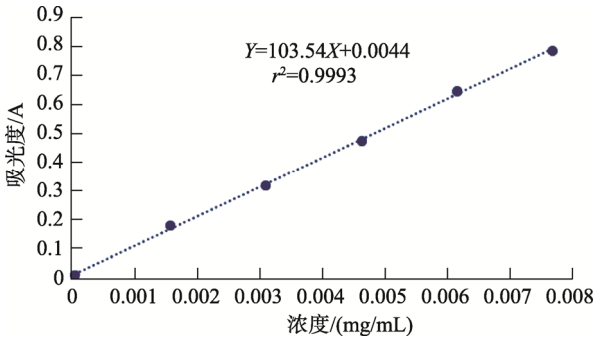


图 1 没食子酸对照品的标准曲线图
Fig.1 Standard curve of gallic acid reference substance

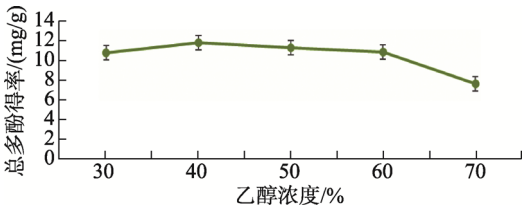


图 2 乙醇浓度对总多酚得率的影响(n=3)
Fig.2 Effect of ethanol concentration on the yield of total polyphenols (n=3)

3.2.2 料液比的影响

从图 3 可知, 料液比 1:10~1:30(g/mL)时, 随着溶剂用量的增加, 总多酚得率增加。当料液比 1:30(g/mL)时, 芜菁多酚的得率达到最高为 15.32 mg/g。当料液比 1:30~1:50(g/mL)时, 虽然料液比逐步增加, 但是多酚的提取率逐步下降, 因此料液比控制在 1:30 (g/mL)左右为宜。

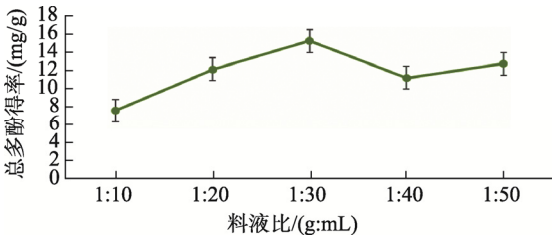


图 3 料液比对多酚得率的影响(n=3)
Fig.3 Effect of solid-liquid ratio on the yield of polyphenols (n=3)

3.2.3 提取时间的影响

从图 4 可知, 提取时间 20~30 min 时, 随着时间的增加总多酚得率逐步增加, 在 30 min 时多酚得率达到最高为 12.56 mg/g。40 min 时逐步下降, 这个时候药材除了多酚类成分以外还别的成分也提取出来会影响它的得率, 有可能这个时间点提取的多酚不在 760 nm 范围, 因为总多酚包括很多单体组分。在 60 min 时多酚得率又开始升高但是还是不到最高点, 为了缩短提取时间, 提取 30 min 时, 多酚

得率又高, 提取时间又短, 因此芫菁多酚提取时间控制在 30 min 为宜。

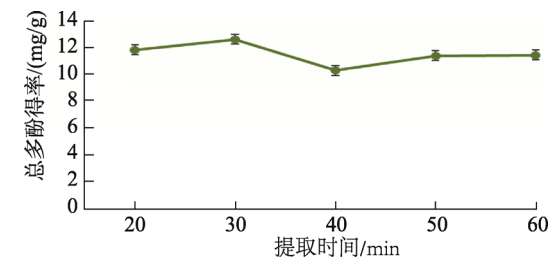


图 4 提取时间对总多酚得率的影响($n=3$)
Fig.4 Effect of extraction time on the yield of total polyphenols ($n=3$)

3.2.4 提取功率的影响

从图 5 可知, 超声功率 90~105 W 时, 总多酚含量逐步上升趋势, 在 105~150 W 时先下降后逐步上升又下降趋势, 120 W 突然下降的原因存在偶然误差, 在超声功率 105 W 时总多酚含量达到最高点为 14.5 mg/g, 因此芫菁多酚提取的超声功率控制在 105 W 为宜。

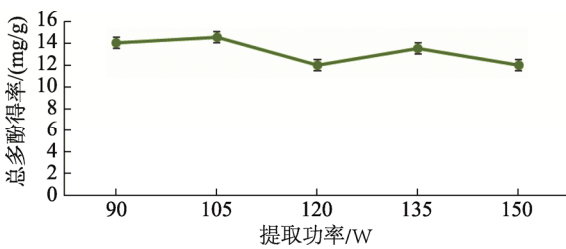


图 5 提取功率对得率的影响($n=3$)
Fig.5 Effect of extraction power on yield ($n=3$)

3.3 Box-Behnken 试验设计与结果

利用 Design-Expert 8.0.6 软件进行数据拟合, 试验设计与结果见表 3。

3.4 模型的建立与显著性检验

利用 Design-Expert V8.0.6 软件对数据进行多元回归拟合, 得多元回归方程: $Y=13.67+7.5\times10^{-3}A+0.38B-0.35C+0.59D+0.52AB+0.37AC+5.00\times10^{-3}AD-0.013BC+0.41BD-0.85CD-1.10A^2-1.17B^2-0.98C^2-0.76D^2$ 。

由表 4 的结果可知, 方程模型的显著性 $P<0.0001$ 属极显著范围, 说明该模型是有效可靠的。模型的失拟项为 $P=0.057>0.05$, 不显著, 说明拟合的回归方程符合实际情况。相关系数 $r^2=0.9707$, $r^2_{Adj}=0.9413$, 表明模型与实验值拟合性良好, 实验误差较小, 实验精密度高, 该模型可用于芫菁中总多酚得率的分析预测。方程各项系数的绝对值直接反映各因素对响应值的影响程度, 系数的正, 负值直接反映了影响方向。由于该方程的二次项系数均为负值, 因此具有极大值点, 能够进行优化分析。各因素对芫菁总

多酚提取率的影响顺序为: $C>D>B>A$, 即提取时间>提取功率>料液比>乙醇浓度。

表 3 Box-Behnken 的结果
Table 3 Results of Box-Behnken

实验号	A 乙醇体积分数/%	B 料液比/(g/mL)	C 提取时间/min	D 提取功率/W	总多酚得率/(mg/g)
1	0	1	0	-1	11.19
2	-1	0	0	1	11.26
3	0	0	-1	1	10.39
4	1	0	-1	0	10.54
5	-1	1	0	0	10.65
6	1	1	0	0	10.90
7	-1	0	-1	0	9.51
8	0	0	0	0	13.48
9	-1	-1	0	0	11.08
10	1	0	1	0	10.87
11	0	-1	1	0	10.84
12	0	-1	0	-1	11.27
13	0	1	0	1	10.49
14	1	0	0	-1	11.45
15	0	0	0	0	13.62
16	0	0	1	1	11.23
17	-1	0	0	1	10.39
18	0	-1	0	1	10.53
19	0	0	-1	-1	10.53
20	-1	0	1	0	11.36
21	0	0	0	0	13.56
22	0	1	-1	0	10.32
23	0	1	1	0	12.11
24	0	0	0	0	13.59
25	0	0	0	0	13.59
26	-1	0	0	-1	10.84
27	0	0	1	-1	11.24
28	1	-1	0	0	10.50
29	0	-1	-1	0	11.50

3.5 响应面分析

各因素交互作用对总多酚提取率影响的响应曲面图如图 6~11。图中曲面的陡峭程度，可以说明变量对提取率的影响程度，曲面较陡表明影响较大，反之则较小；等高

线图反映了因素之间交互作用的强弱，椭圆形表示交互作用显著，圆形表示交互作用不显著。

据响应曲面得出的最佳实验方案是：乙醇浓度(40%)、料液比(1: 30, g/mL)、超声时间(30 min)、提取功率(105 W)。

表 4 方差分析结果
Table 4 Analysis of variance

来源	平均和	自由度	均方	<i>F</i> 值	<i>P</i> 值	
模型	35.48	14	2.53	33.10	< 0.0001	**
<i>A</i>	2.083*10 ⁻⁴	1	2.083*10 ⁻⁴	2.721*10 ⁻³	0.9591	<i>N</i>
<i>B</i>	3.000*10 ⁻⁴	1	3.000*10 ⁻⁴	3.918*10 ⁻³	0.9510	<i>N</i>
<i>C</i>	1.97	1	1.97	25.70	0.0002	**
<i>D</i>	0.41	1	0.41	5.41	0.0355	*
<i>AB</i>	0.17	1	0.17	2.25	0.1559	<i>N</i>
<i>AC</i>	0.58	1	0.58	7.54	0.0158	*
<i>AD</i>	0.55	1	0.55	7.15	0.0182	*
<i>BC</i>	1.50	1	1.50	19.60	0.0006	**
<i>BD</i>	4.000*10 ⁻⁴	1	4.000*10 ⁻⁴	5.224*10 ⁻³	0.9434	<i>N</i>
<i>CD</i>	4.225*10 ⁻³	1	4.225*10 ⁻³	0.055	0.8177	<i>N</i>
<i>A</i> ²	14.40	1	14.40	188.02	< 0.0001	**
<i>B</i> ²	9.91	1	9.91	129.43	< 0.0001	**
<i>C</i> ²	11.88	1	11.88	155.20	< 0.0001	**
<i>D</i> ²	11.09	1	11.09	144.78	< 0.0001	**
残差	1.07	14	0.077			
失拟项	1.06	10	0.11	36.95	0.057	
纯误差	0.011	4	2.870*10 ⁻³			
总和	36.55	28				

注：“***”表示影响极显著(*P*<0.01), “**”表示影响显著(*P*< 0.05), *N* 表示影响不显著(*P*>0.05)。

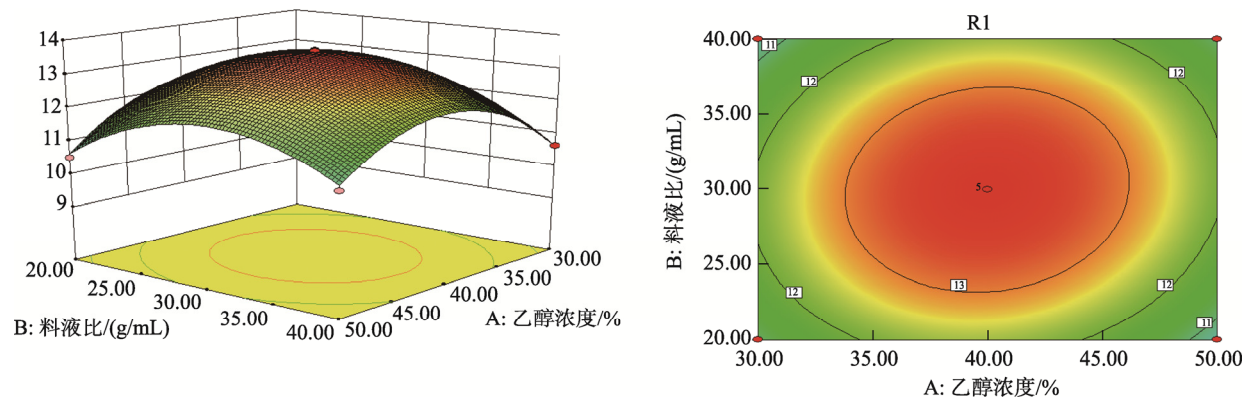


图 6 乙醇浓度和料液比对茺菁多酚得率的交互作用
Fig.6 Interaction of ethanol concentration and feed-liquid ratio on the yield of turnip polyphenols

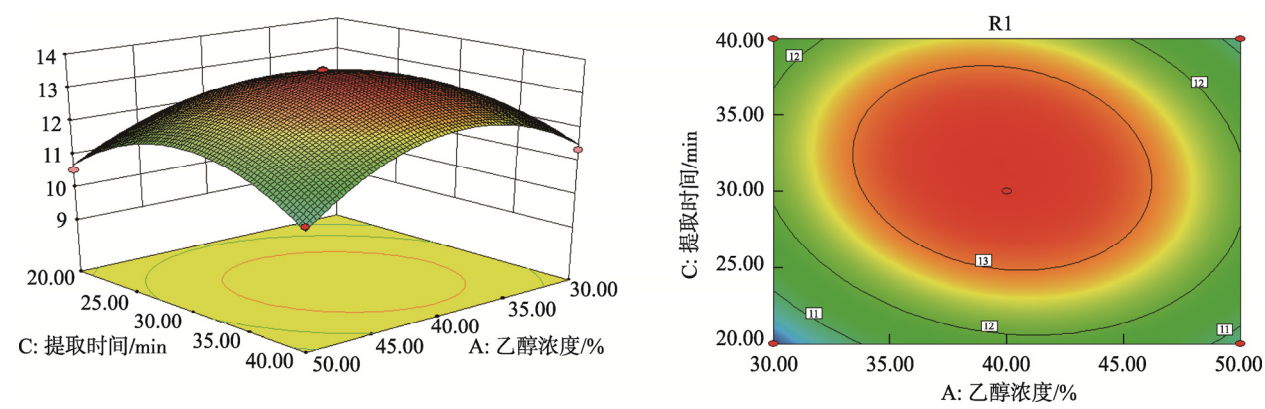


图 7 乙醇浓度与提取时间的对茺菁多酚得率的交互作用
Fig.7 Interaction of ethanol concentration and extraction time on the yield of turnip polyphenols

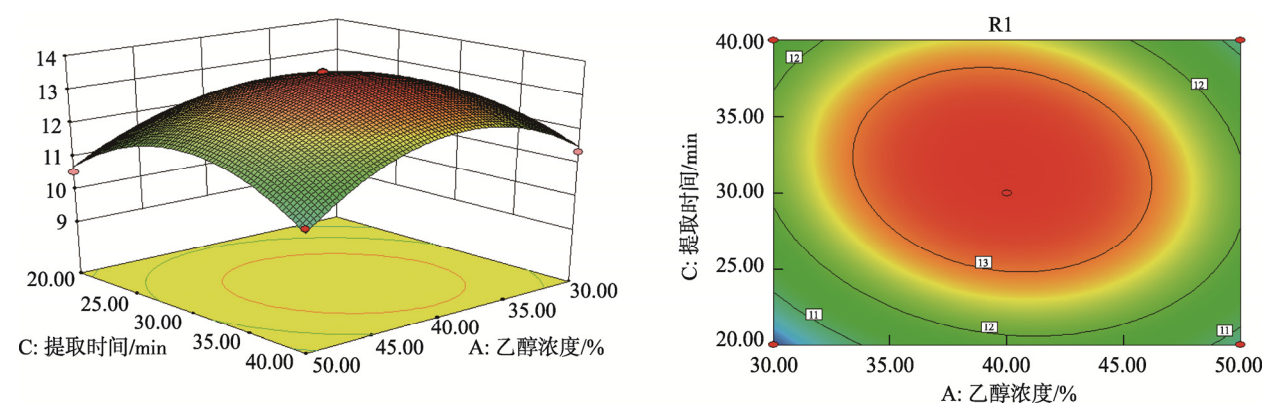


图 8 乙醇浓度和提取功率对茺菁多酚得率的交互作用
Fig.8 Interaction of ethanol concentration and extraction power on the yield of turnip polyphenols

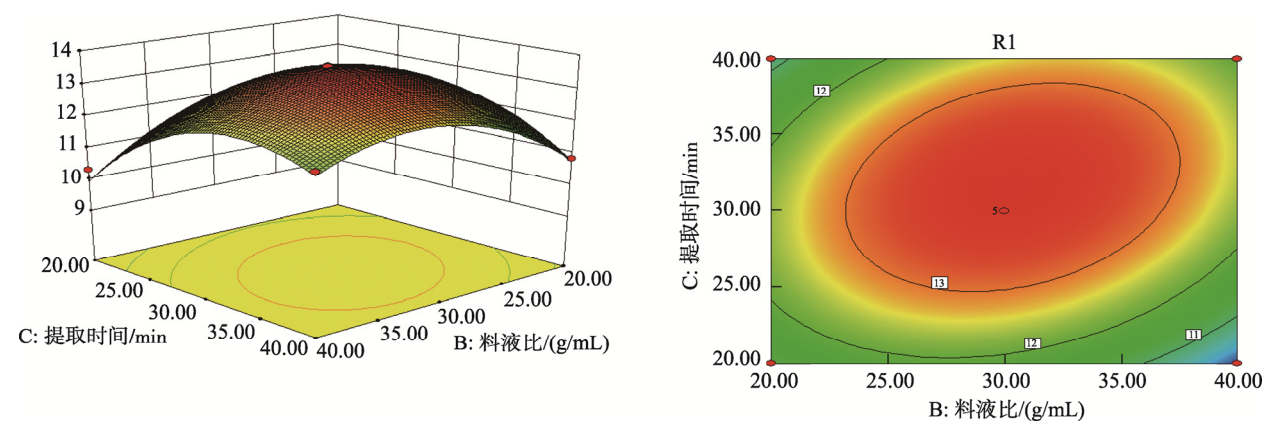


图 9 料液比和提取时间对茺菁得率的交互作用
Fig.9 Interaction of material-liquid ratio and extraction time on turnip yield

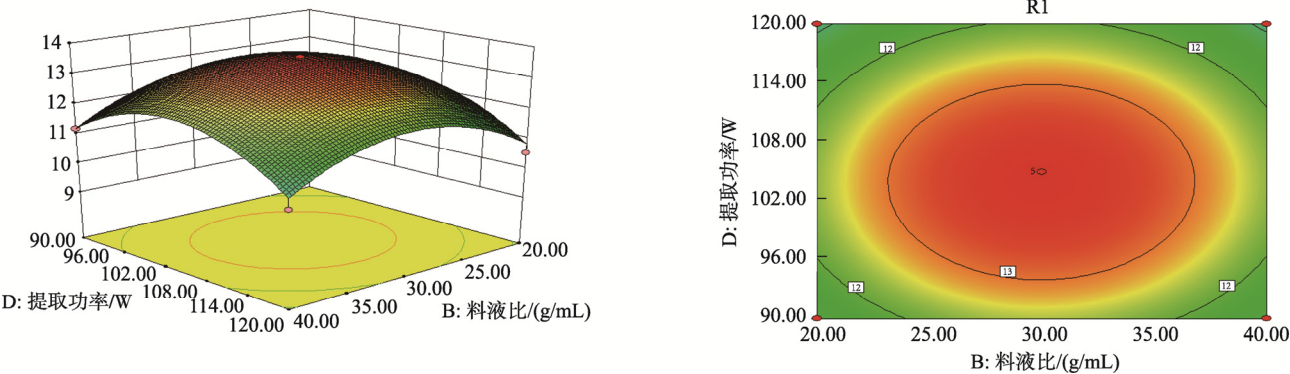


图 10 料液比和提取功率对茺菁多酚得率的交互作用
Fig.10 Interaction of solid-liquid ratio and extraction power on the yield of turnip polyphenols

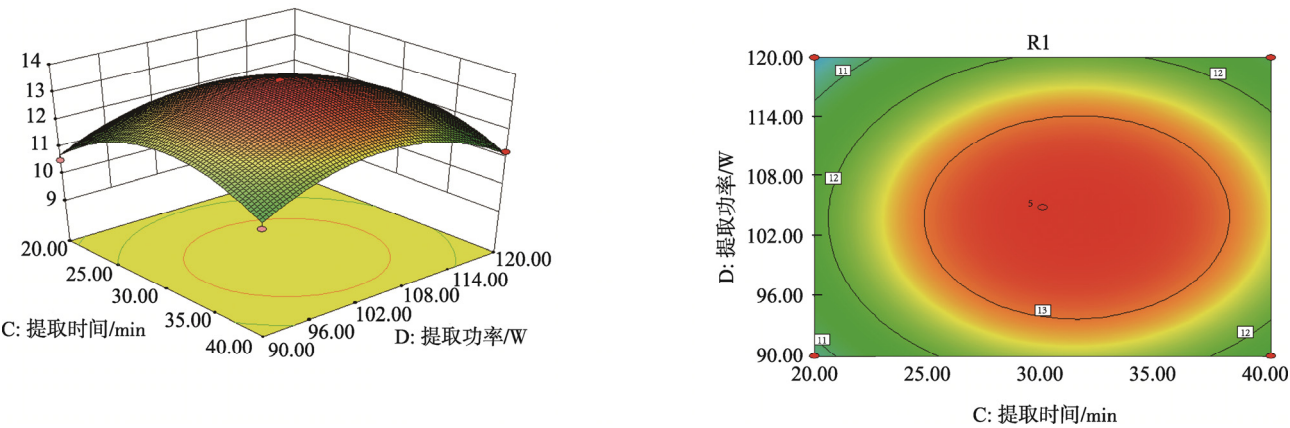


图 11 提取时间和提取功率对茺菁多酚得率的交互作用
Fig.11 Interaction of extraction time and power on the yield of turnip polyphenols

3.6 最佳实验方案的验证

称取粉末 1.00 g 放于锥形瓶中，加入体积分数 40%乙醇 30 mL，超声 30 min，将超声后的茺菁过滤得到滤液，然后吸取 0.06 mL 置于 10 mL 棕色具塞试管中，加蒸馏水 3.00 mL，加 0.5 mL 福林酚试剂静置 1 min 后加 1.5 mL 7.5%的无水碳酸钠溶液，蒸馏水定容至 10 mL，70 ℃水浴放于 10 min，用紫外分光光度计测吸光度(A)，如表 5。

验证实验的平均吸光度为 0.275 A，得出的茺菁多酚的含量 13.09 mg/g，回归方程预测值 13.62 mg/g，该数据和模型预测值接近，说明此模型科学可靠，因此最终确定的最佳工艺为乙醇浓度 40%、料液比 1:30(g/mL)、超声时间 30 min、提取功率 105 W。

表 5 实验验证数据
Table 5 Experimental validation data

序号	1 号	2 号	3 号
吸光度/A	0.260	0.281	0.284

4 结 论

总多酚的提取方法很多，包括溶剂提取、回流提取、微波辅助提取、超声辅助提取，本实验采用的是超声波辅助提取，提取时间比回流提取方法快了 90 min^[22]，溶剂的用量比相关实验少 30%^[23]，提取率高于 8.64 mg/g^[22]的特点，是新疆茺菁中总多酚提取的首选方法。响应面分析具有实验次数少、耗时短，回归方程精密度高、能分析各种因素间交互作用的特点，适合用于工业化生产。

参考文献

[1] 宋曙辉, 刘庞源, 何洪巨, 等. 不同品种茺菁营养成分及硫苷含量分析 [J]. 营养学报, 2016, 38(6): 610–612.
Song SH, Liu PY, He HJ *et al.* Analysis of nutritional composition and glucoside content of different turnip varieties [J]. J Nutr, 2016, 38(6): 610–612.
[2] Mittal R, Kodiyan J, Gerring R, *et al.* Role of innate immunity in the pathogenesis of otitis media [J]. Int J Infect Dis, 2014, 29(10): 259–267.
[3] 安熙强, 马媛, 张涛, 等. 维药恰玛古粉和蜜膏对辐射损伤防护的对比

- [J]. 科技导报, 2010, 28(10): 28–31.
- An XQ, Ma Y, Zhang T, *et al.* Comparison of radiation damage protection between uygur medicine chamagu powder and honey paste [J]. Sci Technol Report, 2010, 28(10): 28–31.
- [4] 廖作庄. 肉桂多酚的药理作用及其机制研究进展[J]. 右江医学, 2018, 46(3): 359–362.
- Liao ZZ. Advances in pharmacological action and mechanisms of cinnamon polyphenols [J]. Youjiang Med, 2018, 46(3): 359–362.
- [5] 中国医学百科全书编委会. 中国医学百科全书[M]. 上海: 科学技术出版社, 2004.
- Chinese medical encyclopedia editorial committee. Encyclopedia of Chinese medicine [M]. Shanghai: Science and Technology Publishing, 2004.
- [6] 中国中医药管理局中华本草编委会. 中华本草[M]. 上海: 科学技术出版社, 1998.
- Editorial committee of Chinese materia medica of China administration of traditional Chinese medicine. Chinese materia medical [M]. Shanghai: Science and Technology Publishing House, 1998.
- [7] 马合木提·买买提明, 赛力慢·哈得尔, 玛尔哈巴·吾斯满. 芜菁种籽的研究进展[J]. 种子, 2013, 32(10): 54–56.
- Mahmut MMTM, Saliman HDE, Marhaba WSM. Research progress of turnip seeds [J]. Seed, 2013, 32(10): 54–56.
- [8] 旷南岳. 芜菁药材质量标准的初步研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆医科大学, 2011.
- Kuang NY. Preliminary study on quality standard of turnip [D]. Urumqi: Xinjiang Medical University, 2011.
- [9] 王菁. 新疆芜菁总黄酮止咳、平喘、祛痰药理作用的研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆医科大学, 2013.
- Wang J. Pharmacological effects of total flavones of turnip in Xinjiang on relieving cough, asthma and expectoration [D]. Urumqi: Xinjiang Medical University, 2013.
- [10] 李雅双, 连路宁, 阿西娜, 等. 芜菁化学成分及生物活性的研究进展[J]. 时珍国医国药, 2013, 24(9): 2247–2249.
- Li YS, Lian LN, A XN, *et al.* Advances in chemical constituents and biological activities of turnip [J]. Lishizhen Med Mater Med Res, 2013, 24(9): 2247–2249.
- [11] 尤新. 有益人类健康的植物多酚类功能性食品添加剂和配料[J]. 食品工业科技, 2012, 33(12): 18–22.
- You X. Plant polyphenols functional food additives and ingredients for human health [J]. Food Ind Sci Technol, 2012, 33(12): 18–22.
- [12] 王豪, 涂宗财, 罗亚林, 等. 七种坚果仁中多酚、三萜含量及其抗氧化活性比较[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(6): 223–228.
- Wang H, Tu ZC, Luo YL, *et al.* Comparison of polyphenols, triterpenoids and their antioxidant activities in seven kinds of nuts [J]. Food Ferment Ind, 2019, 45(6): 223–228.
- [13] 张晓燕, 孙成举, 孙丙升, 等. 葡萄酒中多酚物质的种类、影响因素及其作用[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2017, (6): 51–56.
- Zhang XY, Sun CJ, Sun BS, *et al.* Types, influencing factors and functions of polyphenols in wine [J]. Chin Foreign Grapes Wines, 2017, (6): 51–56.
- [14] 郭爱伟, 刘莉莉, 杨亚晋, 等. 植物多酚的生物活性及其在家禽生产中的应用[J]. 动物营养学报, 2019, 31(2): 8–16.
- Guo AW, Liu LL, Yang YP, *et al.* Biological activity of plant polyphenols and its application in poultry production [J]. J Anim Nutr, 2019, 31(2): 8–16.
- [15] 赵蓓蓓, 贾祥泽, 孙思薇, 等. 淀粉-多酚复合物理化及功能特性的研究进展[J]. 食品科学, 2018, 39(13): 297–303.
- Zhao BB, Jia XZ, Sun SW, *et al.* Advances in physicochemical and functional properties of starch-polyphenol complexes [J]. Food Sci, 2018, 39(13): 297–303.
- [16] 杨保求, 马飞军, 蒲云峰. 新疆芜菁皂苷的体内抗氧化活性研究[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(16): 6–9, 10.
- Yang BQ, Ma FJ, Pu YF. *In vivo* antioxidant activity of saponins extracted from *Brassica campestris* L. [J]. Food Res Dev, 2016, 37(16): 6–9, 10.
- [17] 范智义, 袁晓金, 贾本盼, 等. 天然酚类化合物对晚期糖基化末端产物抑制作用研究 进展[J]. 中国食品学报, 2019, 19(3): 312–322.
- Fan ZY, Yuan XJ, Jia BP, *et al.* Advances in studies on the inhibitory effects of natural phenolic compounds on advanced glycosylation end products [J]. Chin J Food, 2019, 19(3): 312–322.
- [18] Wang W, Wang XQ, Ye H, *et al.* Optimization of extraction, characterization and antioxidant activity of polysaccharides from *Brassica rapa* L. [J]. Int J Biol Macromol, 2016, 82: 979–988.
- [19] 唐贤斌. 芜菁多糖对哮喘大鼠炎症反应的影响[J]. 中国医师杂志, 2012, 14(12): 1615–1617.
- Tang XB. Effect of turnip polysaccharide on inflammatory response in asthmatic rats [J]. Chin J Phys, 2012, 14(12): 1615–1617.
- [20] 阿克拜尔江·阿巴斯, 李冠, 王静. 新疆芜菁多糖降血糖作用的研究[J]. 新疆农业科学, 2011, 48(3): 471–479.
- Aikebaierjiang ABS, Li G, Wang J. Study on hypoglycemic effect of turnip polysaccharide in Xinjiang [J]. Xinjiang Agric Sci, 2011, 48(3): 471–479.
- [21] 张谦筱, 安熙强, 白利平, 等. 恰玛古多糖的抗氧化功能及其片剂的制备工艺[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(6): 2079–2085.
- Zhang QX, An XQ, Bai LP, *et al.* Antioxidant function of Chamagu polysaccharide and preparation technology of its tablets [J]. J Food Saf Qual, 2017, 8(6): 2079–2085.
- [22] 姚宏亮, 沈洁, 何逸凡. 藕皮多酚提取工艺优化及其体外抗氧化性研究[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(14): 103–108.
- Yao HL, Shen J, Er YF. Optimization of extraction process of husk polyphenols and its antioxidant activity *in vitro* [J]. Food Res Dev, 2019, 40(14): 103–108.
- [23] 吴雅露, 王心怡, 泮张彬, 等. 响应面法优化红苕葛多酚的提取工艺及抗氧化性[J]. 粮食与饲料工业, 2019, (7): 40–46.
- Wu YL, Wang XY, Ban ZB, *et al.* Optimization of extraction process and antioxidant activity of polyphenols from *polygonum cuspidatum* by response surface methodology [J]. Food Feed Ind, 2019, (7): 40–46.

(责任编辑: 韩晓红)

作者简介



海仁古丽·麦麦提, 硕士研究生, 主要研究方向为天然药物研究与开发。
E-mail: 1106802956@qq.com



海力茜·陶尔大洪, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为天然药物研究与开发。
E-mail: hailiqian2471@sina.com