

沙棘果渣总黄酮提取工艺响应面法优化与抗氧化活性研究

田景民^{1,2}, 陈贵林^{1,3*}

(1. 内蒙古大学生命科学学院, 呼和浩特 010021; 2. 内蒙古医科大学药学院, 呼和浩特 010110;
3. 内蒙古自治区中蒙药材规范化生产工程技术研究中心, 呼和浩特 010021)

摘要: **目的** 优选沙棘果渣总黄酮提取的最佳工艺, 并对其抗氧化活性进行评价。 **方法** 选取提取时间、温度、料液比、乙醇体积分数为影响因素, 在单因素实验结果基础上确定各因素的分析水平, 利用响应面中心组合法设计实验方案。并通过体外抗氧化能力指数(ORAC)法研究沙棘果渣总黄酮的抗氧化能力。 **结果** 建立了沙棘果渣总黄酮提取的数学模型, 最佳提取工艺条件为乙醇体积分数 70%、提取温度 80℃、提取时间 100 min、液料比 25:1, 沙棘果渣总黄酮具有较强抗氧化活性, 与浓度成正相关。 **结论** 本研究结果可为沙棘果渣总黄酮工业化提取和应用提供理论指导。

关键词: 沙棘; 黄酮; 提取; 响应面; 抗氧化

Optimization of extraction of total flavones from residue of *Hippophae rhamnoides* L. using response surface methodology and their antioxidant activity

TIAN Jing-Min^{1,2}, CHEN Gui-Lin^{1,3*}

(1. College of Life Sciences, Inner Mongolia University, Hohhot 010021, China; 2. College of Pharmacy, Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010110, China; 3. The Good Agriculture Practice Engineering Technology Research Center of Chinese and Mongolian Medicine in Inner Mongolia, Hohhot 010021, China)

ABSTRACT: Objective To explore the optimal extraction conditions of total flavonoids from residue of *Hippophae rhamnoides* L. and evaluate the antioxidant activity. **Methods** Based on the single-factor tests, the conditions of total flavonoids from residue of Seabuckthorn were optimized by response surface methodology in order to increase the extraction yield of total flavonoids. Meanwhile, the antioxidant activity of total flavonoids was assessed by oxygen radical absorbent capacity (ORAC). **Results** The optimal extraction conditions of total flavonoids were ethanol concentration 70%, material-liquid ratio 1:25, extraction time 100 min and extraction temperature 80℃. Under the optimal conditions, the maximum extraction yield of total flavonoids was 2.73%. Extracted total flavonoids had a strong antioxidant activity in a dose-dependent manner. **Conclusion** These investigations will be reference a certain theoretical instruction and application value for the extraction of flavonoids in Seabuckthorn.

KEY WORDS: *Hippophae rhamnoides* L.; flavonoids; extraction; response surface methodology; antioxidant activity

基金项目: 内蒙古科技创新引导奖励资金项目(2010)

Fund: Supported by Inner Mongolia Science and Technology Innovation to Guide the Reward(2010)

*通讯作者: 陈贵林, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为药用植物化学。E-mail: chengl@life.imu.edu.cn

*Corresponding author: CHEN Gui-Lin, Professor, College of Life Science, Inner Mongolia University, No.235, West University Street, Hohhot 010021, China. E-mail: chengl@life.imu.edu.cn

1 引 言

沙棘(*Hippophae rhamnoides* L.)又名醋柳、酸刺,为胡颓子科(*elaegnaceae*)酸刺属的灌木或小乔木^[1]。我国沙棘资源丰富,大约有沙棘林 285 万 hm^2 ,每年大约以 6.67 万 hm^2 的数量增长^[2]。沙棘作为药品、食品、保健品原料应用广泛。目前,沙棘产品加工主要榨取果汁和提取沙棘种子油,产生大量的沙棘果渣,每年约有几百万吨果渣资源^[3]。沙棘果渣中含有丰富的黄酮类物质,含量约为 9.82 mg/g ^[4]。沙棘黄酮具有清除自由基、抗衰老、抗肿瘤、增强免疫、抗氧化、改善心脑血管等多项生理功能^[5,6]。若不对沙棘果渣进行综合利用,将会造成资源的极大浪费。研究利用沙棘果渣资源,变废为宝,具有重要意义。本文将对沙棘果渣黄酮提取工艺进行优选和体外抗氧化活性研究,较同类研究相比在中试设备条件下完成,优选工艺条件参数更接近工业化生产,主要为沙棘资源充分利用及工业化生产提供科学依据。

2 材料与方法

2.1 材 料

沙棘果渣,为洁净蒙古沙棘果实榨汁去籽后的干燥果皮果肉。黄褐色粉末状,含水量 6%以下。内蒙古宇航人高技术产业有限公司提供。

2.2 试剂与仪器

芦丁标准品(>96%)(国药集团化学试剂有限公司);乙醇、亚硝酸钠、硝酸铝、氢氧化钠均为分析纯(国药集团化学试剂有限公司)。

热回流提取浓缩机 50 L(合肥小牛轻工设备有限公司);RF-5301 PC 岛津-荧光分光光度计(日本岛津公司);UV-2401PC 紫外-可见分光光度计(日本岛津公司);电子天平(北京赛多利斯仪器系统有限公司);HH-8 数显恒温水浴锅(国华电器厂)。

2.3 方 法

2.3.1 标准曲线的绘制^[7-9]

对照品溶液的制备:精密称取在 105 $^{\circ}\text{C}$ 减压干燥至恒重的芦丁对照品 20 mg ,置于 50 mL 容量瓶中,加 60%乙醇适量,置水浴上微热使其溶解,冷却,加 60%乙醇至刻度,摇匀。精密量取 25 mL 溶液,置 50 mL 容量瓶中,加水稀释至刻度,摇匀,即得标准品

贮备液(每 1 mL 含芦丁 0.2 mg)。

标准曲线的制作:精密量取对照品溶液 1.0、2.0、3.0、4.0、5.0、6.0 mL,分别置于 25 mL 容量瓶中,各加 30%乙醇至 6.0 mL,加 5%亚硝酸钠溶液 1 mL,混匀,放置 6 min,加 10%硝酸铝溶液 1 mL,混匀,放置 6 min,加 4.3%氢氧化钠试液 10 mL,再加 30%乙醇至刻度,摇匀,放置 15 min,利用紫外-可见分光光度计在 500 nm 的波长处测定其吸光度,以吸光度为纵坐标,浓度为横坐标,绘制标准曲线。

2.3.2 总黄酮提取率的计算^[10-13]

精密称取粉状提取物约 80 mg ,置于 100 mL 容量瓶中,加 60%乙醇适量,水浴微热使其溶解,冷却后,加 60%乙醇至刻度,摇匀。精密量取 25 mL,置于 50 mL 容量瓶中,加水至刻度,摇匀,作为供试品溶液。精密量取供试品溶液 3 mL,置于 25 mL 容量瓶中,加 30%乙醇至 6.0 mL,照标准曲线制备项下的方法,自“加 5%亚硝酸钠溶液 1 mL 起”,依法测定吸光度,同时取供试品溶液 3 mL,除不加氢氧化钠试液外,其余操作同上,作为空白。从标准曲线上读出供试品溶液中含无水芦丁的重量(mg),计算,即得。提取物总黄酮得率 $d\% = Y \times V \times V_0 \times W \times 1000 \times 100$

式中:Y 为标准曲线上查出的质量浓度/ (mg/mL) ;V 为反应体积/ mL ;V₀为配制的溶液体积/ mL ;v 为取样量/ mL ;W 为提取物质量/ g 。

2.3.3 沙棘果渣总黄酮最佳提取条件的确定^[14,15]

以乙醇体积分数、料液比、提取时间、提取温度进行单因素实验,通过单因素实验测定的水平范围,应用 Design-Expert 8.0 软件,设计 4 因素 3 水平的响应面实验,利用响应面实验结果,确定沙棘果渣总黄酮的最佳提取条件。响应面实验因素水平见表 1。

表 1 响应面实验因素水平表				
Table 1 Factors and levels in response surface design				
水平	A 乙醇体积分 数(%)	B 料液比 (g/mL)	C 提取时间 (min)	D 提取温度 ($^{\circ}\text{C}$)
-1	60	1 : 10	60	60
0	70	1 : 20	90	70
1	80	1 : 30	120	80

2.3.4 沙棘果渣总黄酮体外抗氧化实验方法^[16-21]

体外抗氧化能力指数(ORAC)测定参照 Prior 等人方法并加以改良。具体测定方法是将 96 孔板每个

微孔中加入待测样品溶液 20 μL , 再加入磷酸钾缓冲液 20 μL 和 AAPH 140 μL (终浓度 12.8 mmol/L), 最后添加荧光素钠 20 μL 至终浓度为 63 nmol/L, 立即启动反应并迅速将酶标板置于预温 37 $^{\circ}\text{C}$ 的荧光酶标仪中开始测定。采用动力学方式, 每 2 min 测定一个点, 至荧光强度衰减为零为止。ORAC 值是以 10 $\mu\text{mol/L}$ 的 Trolox 在荧光衰减曲线上对应的保护积分面积作为标准对照计算。

2.4 数据处理

数据用 Design-Expert 8.1 软件分析处理。

3 结果与分析

3.1 单因素实验结果

3.1.1 乙醇体积分数对沙棘果渣总黄酮提取率的影响

控制提取条件为料液比 1:10、提取温度 60 $^{\circ}\text{C}$ 、提取时间 60 min, 考查乙醇体积分数 60%~85%回流提取沙棘果渣总黄酮的提取率。由图 1 可知, 随着乙醇体积分数的增加总黄酮提取率先上升后下降, 在乙醇体积分数 70%时提取效率达到最大。70%乙醇极性与沙棘果渣中所含沙棘黄酮苷元及苷极性相近, 易于溶出。因此, 在其他条件不变的情况下乙醇最佳体积分数约为 70%。

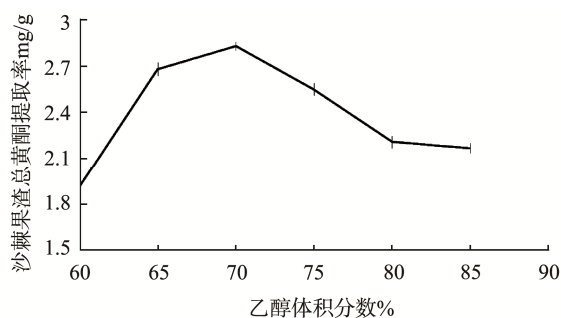


图 1 乙醇体积分数对沙棘果渣总黄酮提取率的影响

Fig. 1 Effect of ethanol concentration on the extraction rate of total flavonoids

3.1.2 料液比对沙棘果渣总黄酮提取率的影响

控制乙醇体积分数 70%、提取温度 60 $^{\circ}\text{C}$ 、提取时间 60 min, 考查料液比 1:10~1:35 对沙棘果渣总黄酮提取率的影响。由图 2 可知, 料液比 1:20 总黄酮提取率最高, 随着提取溶剂量的加大, 总黄酮提取率开始缓慢下降。可能与大分散体系下, 果渣中部分脂类物质发生乳化, 影响总黄酮的溶出有关。为了节

约能源, 其他提取条件不变的情况下最佳料液比为 1:20。

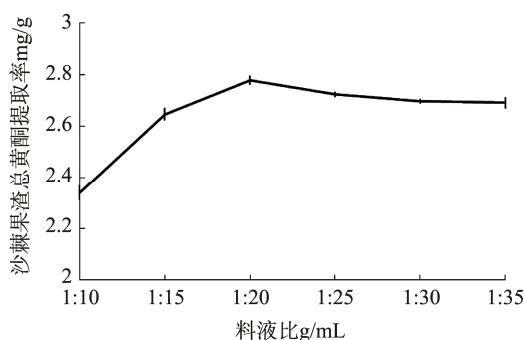


图 2 料液比对沙棘果渣总黄酮提取率的影响

Fig. 2 Effect of material-liquid ratio on the extraction rate of total flavonoids

3.1.3 提取时间对沙棘果渣总黄酮提取率的影响

控制乙醇体积分数 60%、提取温度 60 $^{\circ}\text{C}$ 、料液比 1:20, 考查提取时间 30~180 min 对沙棘果渣总黄酮提取率的影响。由图 3 可知, 在 120 min 以内, 随着提取时间的延长, 总黄酮提取率逐渐增加, 在提取时间 120 min 左右达到最佳。随着提取时间进一步提高, 总黄酮提取率开始缓慢下降。考虑节约能源, 其他提取条件不变的情况下最佳提取时间约为 120 min。

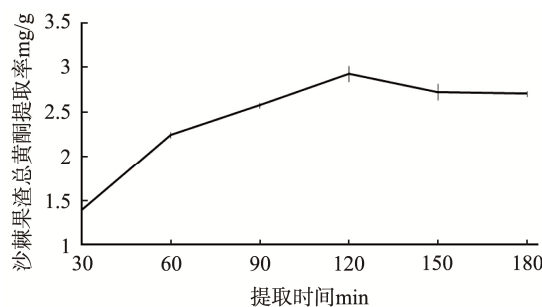


图 3 提取时间对沙棘果渣总黄酮提取率的影响

Fig. 3 Effect of extraction time on the extraction rate of total flavonoids

3.1.4 提取温度对沙棘果渣总黄酮提取率的影响

控制乙醇体积分数 70%、提取时间 120 min, 料液比 1:20, 考查提取温度 40~90 $^{\circ}\text{C}$ 对沙棘果渣总黄酮提取率的影响。由图 4 可知, 在提取温度 40~80 $^{\circ}\text{C}$ 之间, 总黄酮提取率与提取温度正相关。提取温度在

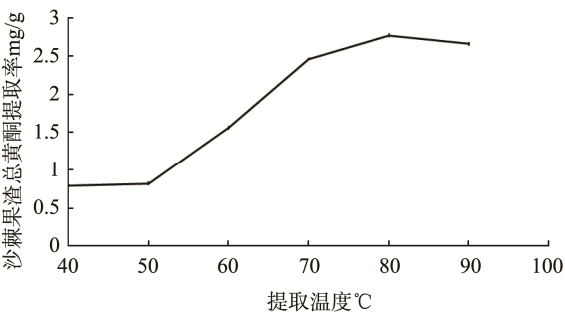


图 4 提取温度对沙棘果渣总黄酮提取率的影响

Fig. 4 Effect of extraction temperature on the extraction rate of total flavonoids

90℃以后开始总黄酮提取率下降。温度过高，总黄酮可能会发生分解破坏，同时温度高能耗大。因此，其他提取条件不变的情况下最佳提取温度约为80℃。

3.2 响应面法优化实验

3.2.1 响应面回归模型的建立与分析

通过响应面法对乙醇体积分数、料液比、提取时间、提取温度4个单因素分析得到以下实验方案及结果，见表2。

应用 Design Expert 软件进行多元回归拟合分析，得到分析结果如表3所示。可得提取条件与沙棘果渣总黄酮得率之间的二次多项式模型为：总黄酮提取率% $=2.64+0.012A+0.15B+0.046C+0.048D-0.035AC-0.01AD-0.02BC-0.0025BD-0.0075CD-0.18A^2-0.068B^2-0.036C^2-0.047D^2$ 。

由表3可以得出，回归模型具有高度显著性($P<0.0001$)，失拟性($P=0.0750>0.05$)具有不显著性。B、C、D均达到极显著水平($P<0.0001$)表明实验模型拟合度较好。AC、 A^2 、 B^2 、 C^2 、 D^2 对中国沙棘果渣总黄酮得率有显著影响($P<0.05$)；因素A、AB、AD、BC、BD、CD对中国沙棘果渣总黄酮得率影响不显著($P>0.05$)。

由方差分析F值可知，各因素对沙棘果渣总黄酮提取率的影响依次为B(料液比)>D(提取温度)>C(提取时间)>A(乙醇体积分数)。

3.2.2 两因素间交互作用的分析

从响应面图(图5)可以看出，各因素之间的相互作用对沙棘果渣总黄酮提取率的影响。若曲线越陡峭，则表明该因素对沙棘果渣总黄酮提取率的影响越大，相应表现为响应值变化的大小。料液比对提取率影响最大，说明提取溶剂过少，不利于总黄酮溶

表 2 响应面实验设计及结果

Table 2 Experimental design and results for response surface analysis

实验号	A 乙醇体积分数	B 料液比	C 提取时间	D 提取温度总黄酮	提取率%
1	1	0	1	0	2.4
2	-1	0	0	-1	2.33
3	0	0	-1	1	2.55
4	-1	0	0	1	2.48
5	1	1	0	0	2.59
6	-1	-1	0	0	2.22
7	0	-1	1	0	2.47
8	-1	0	1	0	2.48
9	0	-1	0	1	2.41
10	0	1	0	-1	2.63
11	0	0	0	0	2.64
12	0	0	1	1	2.67
13	0	0	0	0	2.63
14	0	0	0	0	2.66
15	0	0	1	-1	2.61
16	0	1	0	1	2.71
17	0	0	-1	-1	2.46
18	0	1	1	0	2.7
19	0	0	0	0	2.66
20	0	1	-1	0	2.65
21	0	-1	0	-1	2.32
22	1	0	0	-1	2.37
23	-1	0	-1	0	2.36
24	-1	1	0	0	2.53
25	1	0	-1	0	2.42
26	1	-1	0	0	2.28
27	0	0	0	0	2.63
28	0	-1	-1	0	2.34
29	1	0	0	1	2.48

表 3 方差分析
Table 3 Analysis of variance for the fitted regression model

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
回归模型	0.55	14	0.039	46.70	<0.0001	**
A	0.001633	1	0.001633	1.96	0.1838	
B	0.26	1	0.26	312.53	< 0.0001	**
C	0.025	1	0.025	30.18	< 0.0001	**
D	0.028	1	0.028	33.56	< 0.0001	**
AB	0.000	1	0.000	0.000	1.0000	
AC	0.0049	1	0.0049	5.87	0.0296	
AD	0.0004	1	0.0004	0.48	0.5003	
BC	0.0016	1	0.0016	1.92	0.1880	
BD	0.000025	1	0.000025	0.030	0.8651	
CD	0.000225	1	0.000225	0.27	0.6119	
A ²	0.21	1	0.21	257.21	< 0.0001	**
B ²	0.030	1	0.030	36.17	< 0.0001	**
C ²	0.00829	1	0.00829	9.92	0.0071	
D ²	0.014	1	0.014	17.15	0.0010	
残差	0.012	14	0.0008354			
失拟性	0.011	10	0.001107	4.68	0.0750	
纯误差	0.00092	4	0.00023			
总差	0.56	28				
R ²	0.9790					
R ² _{Adj}	0.9581					
S/N	23.453					

出, 提取效率低。增加提取溶剂用量, 虽然有助于提高提取效率, 但是料液比过高, 回收溶剂增加能耗。提取温度对总黄酮提取率影响次之, 因为温度高, 提取溶剂能快速回流产生浓度梯度, 利于总黄酮从沙棘果渣中扩散到溶剂中。温度过高, 也不利于黄酮的稳定。提取时间和乙醇体积分数对沙棘果渣总黄酮提取率影响较小。从图 5 也可以看出, 对沙棘果渣总黄酮提取率的影响次序依次是: 料液比>提

取温度>提取时间>乙醇体积分数, 与回归分析结果吻合。

3.2.3 最佳工艺条件的预测与验证

通过二次多项回归分析预测, 采用乙醇热回流法提取沙棘果渣总黄酮的最佳工艺条件为乙醇体积分数 69.88%、提取温度 80 ℃、提取时间 99.54 min、液料比 24.64∶1。此条件下, 沙棘果渣总黄酮得率预测值为 2.738%。考虑实际生产操作, 把提取工艺参数修正为乙醇体积分数 70%、提取温度 80 ℃、提取时间 100 min、液料比 25∶1。按修正后工艺参数进行三组平行验证实验, 实际测定的沙棘果渣总黄酮得率为 2.73%。测定结果稳定, 偏差小。因此, 所得最佳工艺条件合理可靠。

3.3 沙棘果渣总黄酮抗氧化指数测定结果

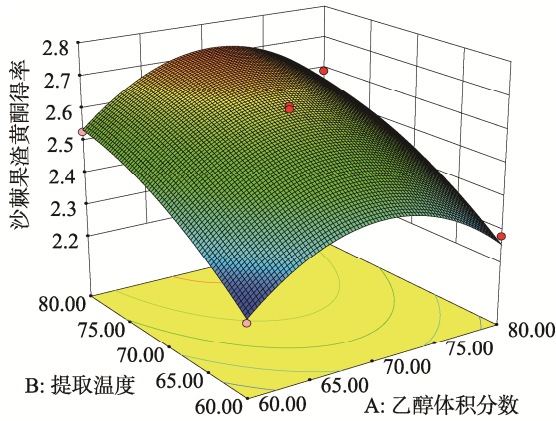
由图 6 可知, 样品分别稀释 500 倍和 1000 倍, 维生素 E(10 μmol/L)为阳性对照, 曲线下面积为荧光衰减强度(抗氧化能力)。稀释 1000 倍相当于 4.3 μmol/L 维生素 E 抗氧化能力, 稀释 500 倍相当于 6.6 μmol/L 维生素 E 抗氧化能力。实验结果说明, 沙棘果渣总黄酮稀释 500 倍和 1000 倍的浓度下均具有较强抗氧化活性。抗氧化活性与浓度成正相关。

4 讨 论

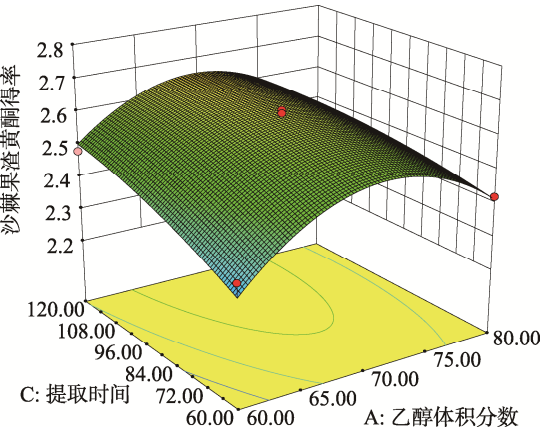
本研究利用 50 L 小型热回流提取机组, 按小型工业化生产要求完成。采用乙醇热回流法提取沙棘果渣总黄酮, 单因素分析和响应曲面分析优化沙棘果渣总黄酮的工艺条件为乙醇体积分数 70%、提取温度 80 ℃、提取时间 100 min、液料比 25∶1。按最佳条件三次平行验证实验, 实际测定沙棘果渣总黄酮的提取率为 2.73%。同时确立了沙棘果渣总黄酮提取率与各提取条件的二次多项式模型, 拟合度很好。70%乙醇为提取溶剂, 能很好地提取出沙棘果渣中的沙棘黄酮苷和苷元。温度 80 ℃达到乙醇的沸点, 有助于黄酮类物质有效扩散到提取溶剂中提高提取效率。温度超过 100 ℃, 所得沙棘总黄酮颜色加深。工业化生产, 提取时间过长会增加能耗, 增加生产成本。本研究确定提取时间 100 min, 经过放大验证实验, 保证提取效率的同时, 尽量节约了能耗。工艺简单, 生产设备要求不高, 易于工业化生产。为沙棘果渣总黄酮提取的工业化生产提供参考。

沙棘果渣总黄酮具有较强体外抗氧化能力, 沙棘果渣总黄酮稀释 500 倍和 1000 倍的浓度下均具很

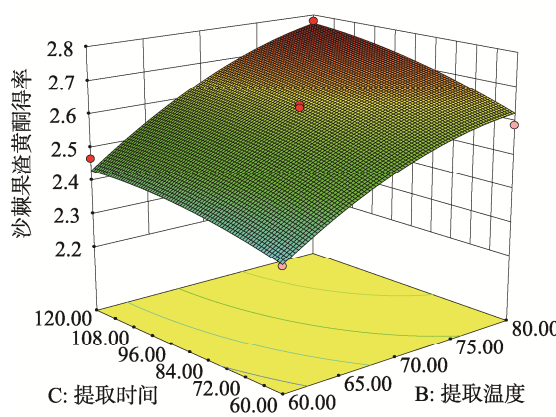
好的抗氧化活性。抗氧化活性与浓度成正相关。可以为沙棘黄酮在食品药品领域的利用提供依据。



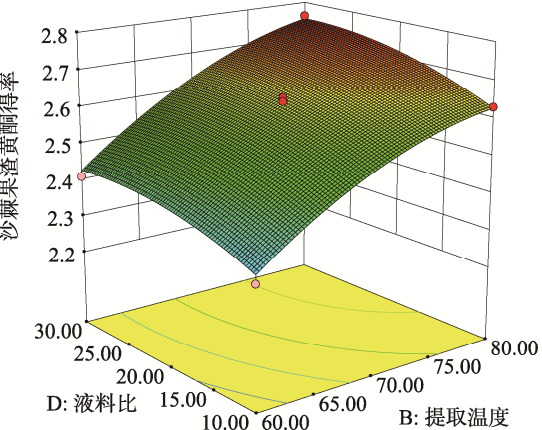
5a. 提取温度和乙醇体积分数对总黄酮提取率的影响



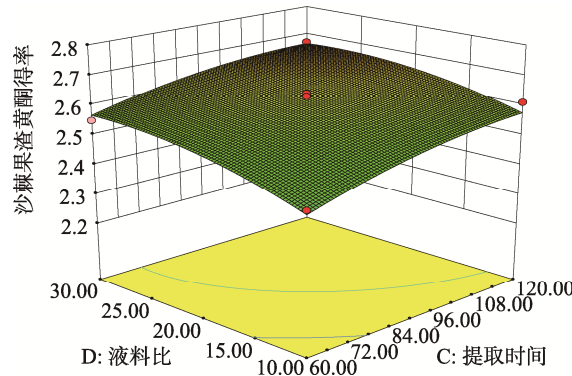
5b. 提取时间和乙醇体积分数对总黄酮提取率的影响



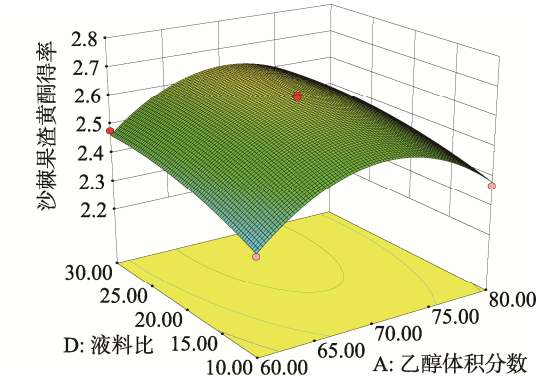
5c. 提取时间和提取温度对总黄酮提取率的影响



5d. 液料比和提取温度对总黄酮提取率的影响



5e. 提取时间和液料比对总黄酮提取率的影响



5f. 乙醇体积分数和液料比对总黄酮提取率的影响

图 5 两因素相互作用对沙棘果渣总黄酮提取率的响应面和等高线图

Fig. 5 Response surface and contour plots for the effect of operating parameters on the extraction rate of total flavonoids

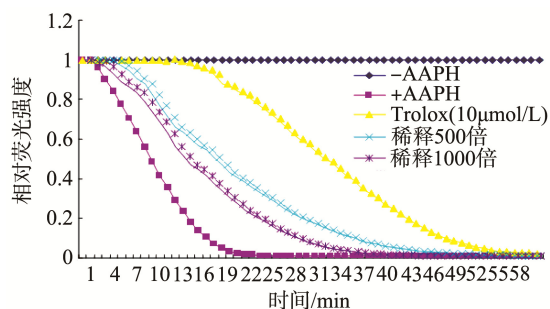


图6 沙棘果渣总黄酮抗氧化能力指数

Fig. 6 The antioxidative activity of total flavonoids at different concentrations

参考文献

- [1] 任艾. 乌兰察布药用植物图谱[M]. 北京: 中国国际医药出版社, 2012.
Ren A. Atlas of medicinal plants in Wulanchabu [M]. Beijing: China International Medical Press, 2012.
- [2] 胡建忠, 温秀凤, 夏静芳, 等. 我国沙棘资源建设成效及开发利用展望[J]. 现代农业科技, 1993, (9): 211–212.
Hu JZ, Wen XF, Xia JF, *et al.* Prospect of development and utilization of seabuckthorn resources construction achievements of china [J]. Mod Agric Sci Technol, 1993, (9): 211–212.
- [3] Erci Sli S, Orhan E, Ozdemir O, *et al.* The genotypic effects on the chemical composition and antioxidant activity of sea buckthorn berries grown in Turkey [J]. Sci Hort, 2007, 115: 27–33.
- [4] 姜少娟, 马养民, 孔东宁, 等. 超声波法提取沙棘果渣中总黄酮的最佳工艺研究[J]. 西北农林科技大学学报, 2006, 34(10): 184–188.
Jiang SJ, Ma YM, Kong DN. Research on ultrasonic wave extraction of total flavonoids from fruit marc of Hippophae rhamnoides L [J]. J Northwest A F Univ, 2006, 34(10): 184–188.
- [5] 侯霄. 沙棘黄酮药理作用的研究进展[J]. 国际沙棘研究与开发, 2009, 6(2): 5–11.
Hou X. Progress in pharmaceutical effects of total flavonoids of seabuckthorn [J]. Int Res Devel Seabuckthorn, 2009, 6(2): 5–11.
- [6] 包文芳, 李保桦, 胡红瞞, 等. 沙棘属植物化学成分研究概况[J]. 中国药物化学杂志, 1997, 7(1): 66–70.
Bao WF, Li BH, Hu HS, *et al.* Research survey on chemical constituents in plants of Hippophae [J]. Chin J Med Chem, 1997, 7(1): 66–70.
- [7] 中华人民共和国药典(第1部) [S]. 北京: 中国医药科技出版社, 2010.
The State Pharmacopoeia Commission (First) [S]. Beijing: China Medicine Science and Technology Press, 2010.
- [8] 徐红艳, 包怡红. 响应面法优化胡桃楸种仁壳总黄酮微波提取工艺[J]. 食品科学, 2013, 34(18): 32–35.
Xu HY, Bao YH. Optimization of microwave-assisted extraction of total flavonoids from seed shell of Juglans mandshurica using response surface methodology [J]. Food Sci, 2013, 34(18): 32–35.
- [9] 杨林, 林鹏, 钱娇玲, 等. 响应面法优化锁阳总黄酮超声提取工艺[J]. 中医药学报, 2013, 41(5): 76–80.
Yang L, Lin P, Qian JL. Optimization of ultrasound -assisted extraction of total flavonoids from cynomorium songaricum by response surface methodology [J]. Acta Chin Med Pharm, 2013, 41(5): 76–80.
- [10] Tian SQ, Wang ZY, Fan ZL, *et al.* Optimization of CO₂ laser-based pretreatment of corn stover using response surface methodology [J]. Biores Technol, 2011, 102(22): 10493–10497.
- [11] Yang XJ, Duan SY, Song LL. Extraction of total flavonoids from flos Ionicerae japonicae and its antioxidant activity [J]. Med Plant, 2012, 3(7): 30–32.
- [12] Qiu HY, Zhang SJ. Study on extraction technology and antioxidant activity of total flavonoids from folium menthae haplocalycis [J]. Med Plant, 2010, 1(10): 24–28.
- [13] Thomas M, Emilie D, Claire E, *et al.* Evaluation of a simple and promising method for extraction of antioxidants from sea buckthorn berries: Pressurised solvent-free microwave assisted extraction [J]. Food Chem, 2011, 126: 1380–1386.
- [14] 焦岩, 王振宇. 响应面法优化纤维素酶辅助提取大果沙棘果渣总黄酮工艺研究[J]. 林产化学与工业, 2010, 30(1): 85–91.
Jiao Y, Wang ZY. Optimization of technology using response surface analysis for extracting flavonoids from seabuckthorn residue assisted by cellulase [J]. Chem Ind Forest Prod, 2010, 30(1): 85–91.
- [15] 赵文杰, 敬思群, 热那汗·买买提. 响应面法沙棘果渣总黄酮提取条件优化[J]. 食品工业, 2013, 34(2): 86–89.
Zhao WJ, Jing SQ, Renahan MMT. Optimizaton of extration of total flavones from mare of Sea buckth orn [J]. Food Ind, 2013, 34(2): 86–89.
- [16] 王晓宇, 杜国荣, 李华. 抗氧化能力的体外测定方法研究进展[J]. 食品与生物技术学报, 2012, 31(3): 247–251
Wang XY, Du GR, Li H. Progress of analytical methods for antioxidant capacity in vitr [J]. J Food Sci Biotechnol, 2012, 31(3): 247–251
- [17] 宗保, 李强, 佟丽, 等. 过山枫总黄酮抗氧化作用研究[J]. 中

药材, 2011, 34(3): 435–437.

Zong B, Li Q, Tong L, *et al.* Study on the of total flavonoids of celastus aculeatus merr and their antioxidant activity [J]. J Chin Med Mater, 2011, 34(3): 435–437.

[18] Huang JL, Wei CY, Li QH. Study on the content of forsythin, total flavonoids of forsythia suspensa and their antioxidant activity [J]. Med Plant, 2012, 3(6): 28–30

[19] Prior RL, Wu X, Schaich K. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements [J]. J Agric Food Chem, 2005, 53(10): 4290–4302.

[20] Huang D, Ou B, Prior RL. The chemistry behind dietary antioxidant capacity assays [J]. J Agric Food Chem, 2005, 53(6): 1841–1856.

[21] Prior RL, Hoang H, Gu L, *et al.* Assays for hydrophilic and lipophilic antioxidant capacity (oxygen radical absorbance

capacity (ORAC)) of plasma and other biological and food samples [J]. J Agric Food Chem, 2003, 51(11): 3273–3279.

(责任编辑: 杨翠娜)

作者简介



田景民, 讲师, 在读博士研究生, 主要研究方向为药用植物化学。

E-mail: tianjingminyaoxue@163.com



陈贵林, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为药用植物化学。

E-mail: chengl@life.imu.edu.cn