

超声波法提取紫薯茎叶中总黄酮的工艺优化

郑 丽, 彭 雪, 张 悦, 周瑾琨, 催静蕾, 邹基豪, 刘振春*

(吉林农业大学食品科学与工程学院, 吉林长春 130118)

摘 要:以紫薯茎叶为实验材料,采用超声波辅助溶剂法提取其中的总黄酮,考察液料比、提取时间、提取温度、超声功率和乙醇体积分数对紫薯茎叶中总黄酮得率的影响。基于单因素实验,选取四个主要影响因素液料比、超声时间、超声功率、乙醇浓度,应用 Box-Behnken 响应面实验设计法优化工艺条件。研究表明,紫薯茎叶中总黄酮的最佳提取工艺条件是:液料比 18:1 (mL/g)、提取时间 50 min、超声功率 200 W、乙醇体积分数 75%,总黄酮实际得率为 3.46%,与预测值 3.51% 相接近,研究结果为总黄酮的高效提取及紫薯茎叶的综合利用提供了参考。

关键词:紫薯茎叶,总黄酮,超声提取,响应面法

Optimization of Extraction Process of Total Flavonoids from Stems and Leaves of Purple Sweet Potato by Ultrasonic Method

ZHENG Li, PENG Xue, ZHANG Yue, ZHOU Jin-kun, CUI Jing-lei, ZOU Ji-hao, LIU Zhen-chun*

(School of Food Science and Engineering, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

Abstract: The experiment was to extract the total flavonoids from the stems and leaves of purple sweet potato by ultrasonic assisted ethanol extraction method. First of all, the effects of liquid ratio, extraction time, extraction temperature, ultrasonic power and ethanol volume fraction on total flavonoids in purple potato stem leaves were investigated. Based on single factor experiment, the optimum extraction conditions to flavonoids were determined using response surface methodology. The effects of four crucial parameters, including liquid/material rate, ultrasonic time, ultrasonic power and ethanol concentration. Results showed that the optimum extraction conditions were determined as follows: liquid/material ratio was 18:1 (g/mL), ultrasonic time was 50 min, ultrasonic power was 200 W, and ethanol concentration was 75%. The actual yield of total flavonoids was 3.46%, which was close to the predicted value of 3.51%. This study provided a reference for the efficient extraction of total flavones and the comprehensive utilization of the purple potato leaf.

Key words: stems and leaves of purple sweet potato; total flavonoids; ultrasonic extraction; response surface methodology

中图分类号: TS255.1

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2018)15-0189-06

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2018.15.034

引文格式: 郑丽, 彭雪, 张悦, 等. 超声波法提取紫薯茎叶中总黄酮的工艺优化[J]. 食品工业科技, 2018, 39(15): 189-194.

紫薯 (*Ipomoea batatas* (L.) Poir) 为旋花科番薯属紫薯种, 又名黑薯, 薯肉呈紫色至深紫色。它除了具有普通红薯的营养成分外, 还富含硒元素和花青素^[1], 我国紫薯亩产量达 2000~3000 kg^[2]。国内外大量研究表明, 总黄酮具有抗氧化^[3]、消除体内自由基^[4]、抗衰老^[5]、抗肿瘤^[6]以及抗心血管疾病^[7]等功能。在紫薯秧蔓的顶部约 5~15 cm 及嫩叶、叶柄统称为紫薯茎叶^[8], 紫薯茎叶作为一种营养丰富的紫薯副产物, 主要用作牲畜饲料或废弃物, 在东北地区这种现象普遍存在^[9-12]。若可以将紫薯的茎叶中大量

潜在的总黄酮资源加以综合利用, 不仅会使紫薯的经济价值最大化, 而且还可以保护环境。

黄酮类化合物根据其理化性质, 常用的提取方法有热水提取法、有机溶剂提取法、超声波提取法、酶解法、微波提取法以及超临界流体萃取法^[13-16]等。目前, 超声辅助乙醇提取技术在总黄酮类成分提取过程中的优势日益凸显, 超声提取法是依据超声波的空化作用、机械效应和热效应等加速细胞内有效物质的释放、扩散和溶解, 进而显著提高提取效率的一种方法^[17], 具有操作简单、无需加热、减少提取时

收稿日期: 2017-11-02

作者简介: 郑丽 (1990-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 谷物食品科学与副产物高值化利用, E-mail: 14794306051@163.com。

* 通讯作者: 刘振春 (1963-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 营养科学与功能性食品, E-mail: 13504467811@163.com。

基金项目: 吉林省科技发展项目 (20150311)。

间等优点。另有研究表明,响应面法优化提取工艺能直观地反应各因素的交互作用^[18-19]。因此,本研究以紫薯茎叶为原料,主要考察了影响总黄酮提取的几个单因素如超声波功率、提取时间、提取温度、液料比和乙醇体积分数,通过统计软件 Design-Expert 里响应面法的 Box-Behnken 模式,对提取工艺条件进行优化,以期获得适宜的提取方法,为总黄酮的高效提取及紫薯茎叶的综合利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

紫薯茎叶 采摘于吉林省长春市蔬菜研究所范家屯镇种植基地,俗名紫玫瑰,自然风干后置于60℃的干燥箱中烘24 h,然后经样品粉碎机粉碎后过60目筛,密封于塑料袋中备用;芦丁(标品级) 天津一方科技有限公司;无水乙醇、亚硝酸钠、硝酸铝、氢氧化钠 分析纯,天津市天力化学试剂有限公司。

FZ102 型微型植物式样粉碎机 天津泰斯特仪器有限公司;JY92-IIDN 超声波细胞粉碎机 宁波新芝生物科技股份有限公司;FA2104 型电子分析天平 上海精密科学仪器有限公司天平仪器厂;Anki TDL-4 型离心机 上海安亭科学仪器厂;TU-1901 型紫外可见分光光度计 北京普析通用仪器有限公司;101A-3ET 型电热鼓风干燥箱 上海实验仪器有限公司;FD-IB-50 型冷冻干燥机 北京博医康实验仪器有限公司;SHB-III 循环水式多用真空泵 郑州长城科工贸有限公司;RE-52A 旋转蒸发仪 上海亚荣生化仪器厂。

1.2 实验方法

1.2.1 工艺流程 新鲜紫薯茎叶自然风干除杂→粉碎过筛(60目筛)→称取紫薯茎叶粉末→石油醚脱脂(液料比10:1 mL/g)→抽滤、干燥→乙醇溶解→超声辅助提取→离心(5000 r/min,10 min)→上清液定容→NaNO₂-Al(NO₃)₃ 显色法显色(参照文献[20])→测定吸光度→计算总黄酮得率

1.2.2 标准曲线的绘制 配制浓度为0.2 mg/mL 的芦丁标准溶液,硝酸铝显色法制作芦丁标准曲线,经分析处理得到线性回归方程。

1.2.3 总黄酮含量的测定 总黄酮测定参照倪晓霞等^[21]报道的硝酸铝显色法略作改动。将在不同条件下所得的样品滤液稀释到一定体积,准确移取待测液0.5 mL 于10 mL 比色管内,加入5% NaNO₂ 0.3 mL,振荡摇匀、静置5 min,再加入10% Al(NO₃)₃ 0.3 mL,摇匀、静置5 min,然后加入4% NaOH 3.0 mL,用蒸馏水稀释至刻度,摇匀、静置15 min,空白对照采用相同体积的蒸馏水代替样品溶液,在波长510 nm 处测定吸光度,结合公式(1)和标准曲线回归方程,求出紫薯茎叶总黄酮的得率。

$$Y(\%) = \frac{CNV}{m} \times 100 \quad \text{式(1)}$$

式中:Y-紫薯茎叶总黄酮得率,%;C-紫薯茎叶总黄酮质量浓度,mg/mL;N-稀释的倍数;m-称取紫薯茎叶粉末的质量,g;V-提取液体积,mL。

1.2.4 单因素实验

1.2.4.1 提取温度的选择 设定液料比为

20:1 (mL/g),提取时间为50 min,乙醇体积分数75%,超声波功率为200 W,按以上提取方法考察提取温度为30、40、50、60、70℃对紫薯茎叶总黄酮得率的影响。

1.2.4.2 超声功率对紫薯茎叶总黄酮的影响 设定乙醇体积分数为75%,液料比为20:1 (mL/g),提取时间为50 min,超声温度控制在50℃,考察超声波功率为100、200、300、400、500、600 W 时对紫薯茎叶总黄酮得率的影响。

1.2.4.3 提取时间对紫薯茎叶总黄酮的影响 设定乙醇体积分数为75%,液料比为20:1 (mL/g),超声功率为200 W,超声温度控制在50℃,考察提取时间为10、20、30、40、50、60 min 时对紫薯茎叶总黄酮得率的影响。

1.2.4.4 乙醇体积分数对紫薯茎叶总黄酮的影响 设定液料比为20:1 (mL/g),超声功率为200 W,提取时间为50 min,超声温度控制在50℃,考察乙醇体积分数为55、60、65、70、75、80% 时对紫薯茎叶总黄酮得率的影响。

1.2.4.5 液料比对紫薯茎叶总黄酮的影响 设定乙醇体积分数为75%,超声功率为200 W,提取时间为50 min,超声温度控制在50℃,考察液料比为10:1、20:1、30:1、40:1、50:1、60:1 (mL/g) 时对紫薯茎叶总黄酮得率的影响。

1.2.5 响应面优化实验设计 根据单因素实验结果,选取对得率影响显著的因素,按照 Box-Behnken 中心组合设计原理,设计4因素3水平响应面分析实验,进一步优化提取总黄酮条件。实验因素水平和编码如表1所示。

表1 响应面实验因素水平表

Table 1 Factors and levels table of response surface experiment

水平	因素			
	A 超声功率 (W)	B 提取时间 (min)	C 乙醇体积 分数(%)	D 液料比 (mL/g)
-1	100	40	70	10:1
0	200	50	75	20:1
1	300	60	80	30:1

1.3 数据处理与统计分析

实验操作重复三次取平均值,计算标准误差并制图分析。实验方案设计和模型构建采用 Design Expert 8.0.6 软件,数据处理采用 Origin Pro 8.5 进行,统计分析采用 SPSS 18.0 软件中的单因素 ANOVA 进行,显著性水平为 $p < 0.05$,极显著水平为 $p < 0.01$ 。

2 结果与分析

2.1 标准曲线的绘制

在波长510 nm 处测定吸光度,并以芦丁标准品的浓度为横坐标,吸光度为纵坐标绘制标准曲线。如图1所示,线性回归方程为: $y = 0.26x + 0.0215$, $R^2 = 0.9922$ 。

2.2 单因素实验结果

2.2.1 提取温度的选择 由图2可知,提取温度对紫

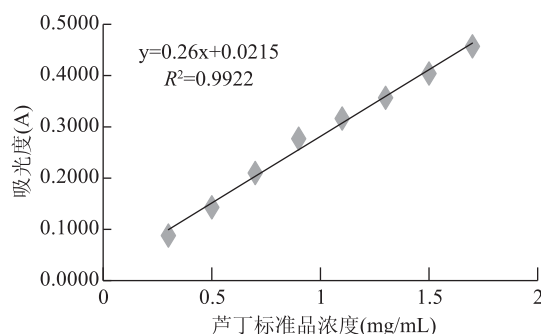


图1 芦丁标准曲线

Fig.1 The standard curve of rutin

薯茎叶总黄酮的得率影响较小,其得率随提取温度的增加而增加,但是当温度超过 50 ℃ 后,紫薯茎叶总黄酮的得率略有下降。本实验中总黄酮的得率随提取温度的变化趋势与一些报道是相符的^[22]。本研究选择提取温度为 50 ℃。

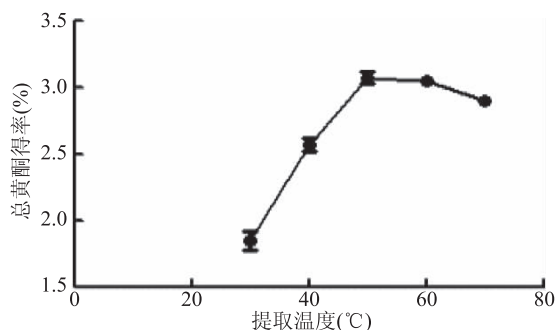


图2 提取温度对紫薯茎叶总黄酮得率的影响

Fig.2 The effect of extraction temperature on total flavonoids of purple potato stem leaves

2.2.2 超声功率对总黄酮得率的影响 超声波功率对黄酮类化合物的提取有着很重要的影响^[23-25]。由图 3 可知,当超声功率小于 200 W 时,随着功率的升高,得率增加;当超声功率大于 200 W 时,随着功率的升高,得率减少;在超声功率 200 W 时,达到最大值 3.25%。这可能是因为,在一定的超声波作用下,随着超声功率的增加,超声波的空化作用、机械效应和热效应等加速细胞内有效物质的释放、扩散和溶解,但是,当功率过高,温度升高过快,加速乙醇有机溶剂的挥发,黄酮类物质溶出减少。这种现象与其它报道类似^[26]。本研究选择超声功率为 200 W 作为响应面实验设计的中心点。

2.2.3 提取时间对总黄酮得率的影响 由图 4 可知,紫薯茎叶中总黄酮的得率在 10~50 min 内逐渐提高,在超声时间 50 min 时,得率获得最大值,这可能是因为超声时间小于 50 min 时,超声波的空化作用加速了细胞内有效物质的释放;当超声达到一定时间后,继续延长,总黄酮得率反而下降,可能因为超声时间过长,引起温度升高,导致紫薯茎叶中部分黄酮类物质结构遭到破坏,进而影响了总黄酮的溶出。在一些报道中,有些原材料提取总黄酮也观察到类似现象^[27]。本研究选择提取时间 50 min 作为响应面实验设计的中心点。

2.2.4 乙醇体积分数对总黄酮得率的影响 由图 5

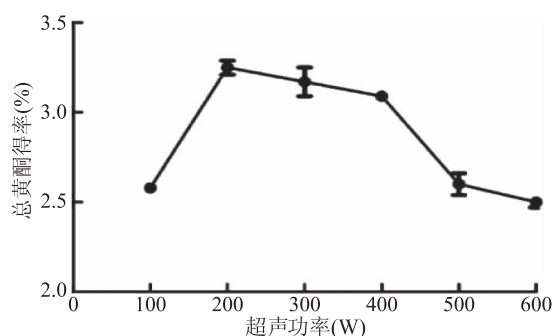


图3 超声功率对总黄酮得率的影响

Fig.3 The effect of ultrasonic power on flavonoids

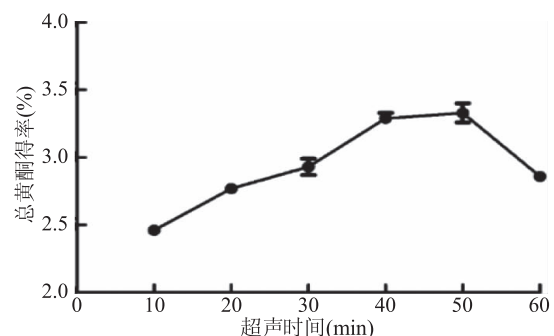


图4 超声时间对总黄酮得率的影响

Fig.4 The effect of ultrasonic time on total total flavonoids

可知,当乙醇体积分数小于 75% 时,随着乙醇体积分数的提高,得率增加;当乙醇体积分数大于 75% 时,随着乙醇体积分数的提高,得率减少;在体积分数 75% 时达到最大值。这可能是因为乙醇体积分数不同导致极性有所差异,当乙醇体积分数逐渐增加时,总黄酮与蛋白质等物质之间形成的氢键遭到破坏,疏水相互作用力变强,增加了黄酮类化合物的溶出,得率变大;而乙醇体积分数过高,增加了紫薯茎叶中总黄酮与试剂间的极性差异,使得黄酮类物质溶出减少。这种现象与其它报道类似^[28]。本研究选择乙醇体积分数 75% 作为响应面实验设计的中心点。

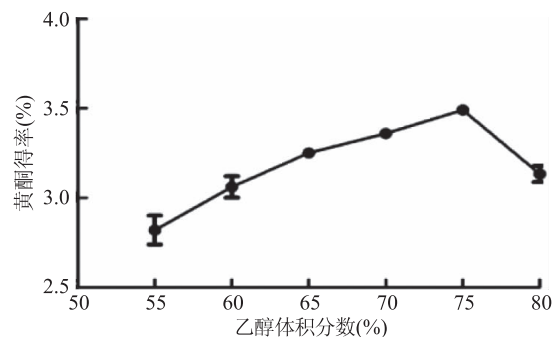


图5 乙醇体积分数对总黄酮得率的影响

Fig.5 The effect of ethanol volume fraction on total flavonoids

2.2.5 液料比对总黄酮得率的影响 由图 6 可知,随着液料比的增加,紫薯茎叶总黄酮得率不断增大,在液料比为 20:1 (mL/g) 时有最大值,而后液料比再增加,得率反而减少,可能原因是,当乙醇体积用量多时,溶解能力增加,总黄酮溶出增加,但是,溶剂用量过多,将一些醇溶性杂质也溶出,致使得率减少。在一些报道中,有些原材料提取总黄酮也观察到类似

现象^[29-31]。本研究选择液料比 20:1 (mL/g) 作为响应面实验设计的中心点。

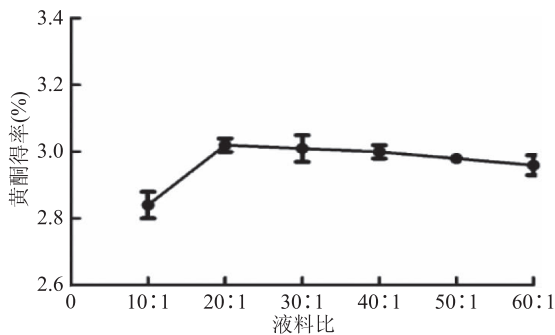


图6 液料比对总黄酮得率的影响
Fig.6 The effect of ratio of material to liquid on total flavonoids

2.3 响应面法优化总黄酮提取工艺条件

2.3.1 回归模型的建立与显著性分析 根据 Box-Behnken 中心组合设计原理,以紫薯茎叶中总黄酮得率为响应值,利用 Design-Expert 8.06 对表 2 中的数据进行分析,经因素回归拟合,得到编码值的二次多项回归方程为:

$$Y = 3.46 + 0.16A + 0.12B + 0.15C - 0.063D - 0.12AB - 0.052AC + 0.037AD + 0.028BC - 0.25BD + 0.36CD - 0.26A^2 - 0.40B^2 - 0.32C^2 - 0.15D^2$$

由表 3 回归模型方差分析可知,该模型是极显著的($p < 0.01$)。该回归模型的决定系数为 $R^2 = 0.9838$,校正决定系数 $R^2_{Adj} = 0.9675$,失拟项 $p = 0.8049 > 0.05$,不显著,说明回归方程拟合程度良好,自变量与响应面之间线性关系显著,可用于紫薯茎叶中总黄酮提取效果的理论预测。模型中一次项 A、B、C、D,二次项 A^2 、 B^2 、 C^2 、 D^2 和交互项 AB、BD、CD 表现为差异极显著($p < 0.01$),其余项差异均不显著($p > 0.05$)。根据表 4 可得,4 个因素对总黄酮得率的影响程度依次为: $A > C > B > D$,即超声功率 > 乙醇体积分数 > 提取时间 > 液料比。

2.3.2 响应面及等高线分析 各个因素之间的相互作用对紫薯茎叶中总黄酮得率的影响可以由响应面及等高线反映出来,如图 7 所示。根据表 3 与图 7 可以得到,超声时间(B)与超声功率(A)交互作用对总黄酮得率影响显著($p < 0.05$),BD 和 CD 两个交互作用比较明显之外,其余交互项均不显著($p > 0.05$) (影响不显著的交互作用响应面图未列出)。交互作用不显著可能是因素的主效应在起作用^[32]。曲线走势越陡峭,表明该因素对总黄酮的得率影响越大;曲线走势越平缓说明该因素对总黄酮得率影响较小^[33-34]。研究结果表明,对紫薯茎叶总黄酮的得率影响最大的是超声功率,其次是乙醇体积分数和超声时间,这与表 3 中回归分析结果相吻合。

2.4 提取工艺的优化与验证实验

经 Design-Expert 8.06 分析优化,得到超声波法提取紫薯茎叶中总黄酮的最佳工艺条件为:液料比 17.63:1 (g/mL)、超声时间 51.88 min、超声功率 225.19 W、乙醇体积分数 75.41%,在此条件下,根据

表2 响应面分析设计及结果

Table 2 Design and results of response surface analysis

实验号	A 超声功率 (W)	B 提取时间 (min)	C 乙醇体积分数 (%)	D 液料比 (mL/g)	Y 总黄酮得率 (%)
1	200	50	75	20:1	3.48
2	200	60	70	20:1	2.66
3	200	50	80	30:1	3.47
4	200	40	80	20:1	2.71
5	200	50	75	20:1	3.33
6	200	50	75	20:1	3.49
7	200	40	75	10:1	2.61
8	100	40	75	20:1	2.46
9	200	60	75	30:1	2.78
10	100	50	70	20:1	2.56
11	200	50	70	30:1	2.41
12	300	50	70	20:1	3.01
13	300	50	75	10:1	3.19
14	200	50	75	20:1	3.50
15	200	50	70	10:1	3.28
16	200	50	75	20:1	3.51
17	300	50	75	30:1	3.17
18	200	40	70	20:1	2.49
19	100	50	80	20:1	2.92
20	200	60	80	20:1	2.99
21	300	50	80	20:1	3.16
22	100	50	75	10:1	2.95
23	200	50	80	10:1	2.9
24	200	60	75	10:1	3.4
25	100	50	75	30:1	2.78
26	300	40	75	20:1	3.01
27	200	40	75	30:1	2.97
28	100	60	75	20:1	2.87
29	300	60	75	20:1	2.96

方程得到总黄酮得率的预测值为 3.51%。为检验模型的准确性,采用优化后的最佳提取条件进行实验,为了实验的可操作性,将最佳实验条件修正为:液料比 18:1 (g/mL)、超声时间 50 min、超声功率 200 W、乙醇体积分数 75%,进行 5 次实验结果如表 4 所示,结果表明,采用上述优化条件进行实验,总黄酮得率为 3.46%,预测值与实际值接近,说明该回归模型优化的配合工艺是有效的,由响应面法优化得到的提取紫薯茎叶中总黄酮的工艺有较强的实用价值。

表4 优化条件下的总黄酮得率

Table 4 Total flavonoids rate under optimal conditions

实验号	1	2	3	4	5	平均值
总黄酮得率 (%)	3.46	3.47	2.99	3.52	3.86	3.46

3 结论

针对东北地区紫薯茎叶资源,以优化紫薯茎叶总黄酮的超声辅助提取方法为目的,在单因素实验

表 3 回归模型显著性检验与方差分析
Table 3 Regression model significance test and variance analysis

变异源	平方和	自由度	均方	F 值	p 值	显著性
模型	3.17	14	0.23	60.56	<0.0001	**
A	0.32	1	0.32	85.69	<0.0001	**
B	0.17	1	0.17	44.34	<0.0001	**
C	0.25	1	0.25	67.53	<0.0001	**
D	0.047	1	0.047	12.55	0.0033	**
AB	0.053	1	0.053	14.16	0.0021	**
AC	0.011	1	0.011	2.95	0.1079	
AD	5.625×10^{-3}	1	5.625×10^{-3}	1.51	0.2400	
BC	3.025×10^{-3}	1	3.025×10^{-3}	0.81	0.3834	
BD	0.24	1	0.24	64.27	<0.0001	**
CD	0.52	1	0.52	138.76	<0.0001	**
A ²	0.42	1	0.42	113.41	<0.0001	**
B ²	1.02	1	1.02	273.41	<0.0001	**
C ²	0.65	1	0.65	172.91	<0.0001	**
D ²	0.14	1	0.14	37.43	<0.0001	**
残差	0.052	14	3.736×10^{-3}			
失拟误差	0.03	10	3.002×10^{-3}	0.54	0.8049	
纯误差	0.022	4	5.570×10^{-3}			
总和	3.22	28				

$R^2=0.9838$ $R^2_{Adj}=0.9675$

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

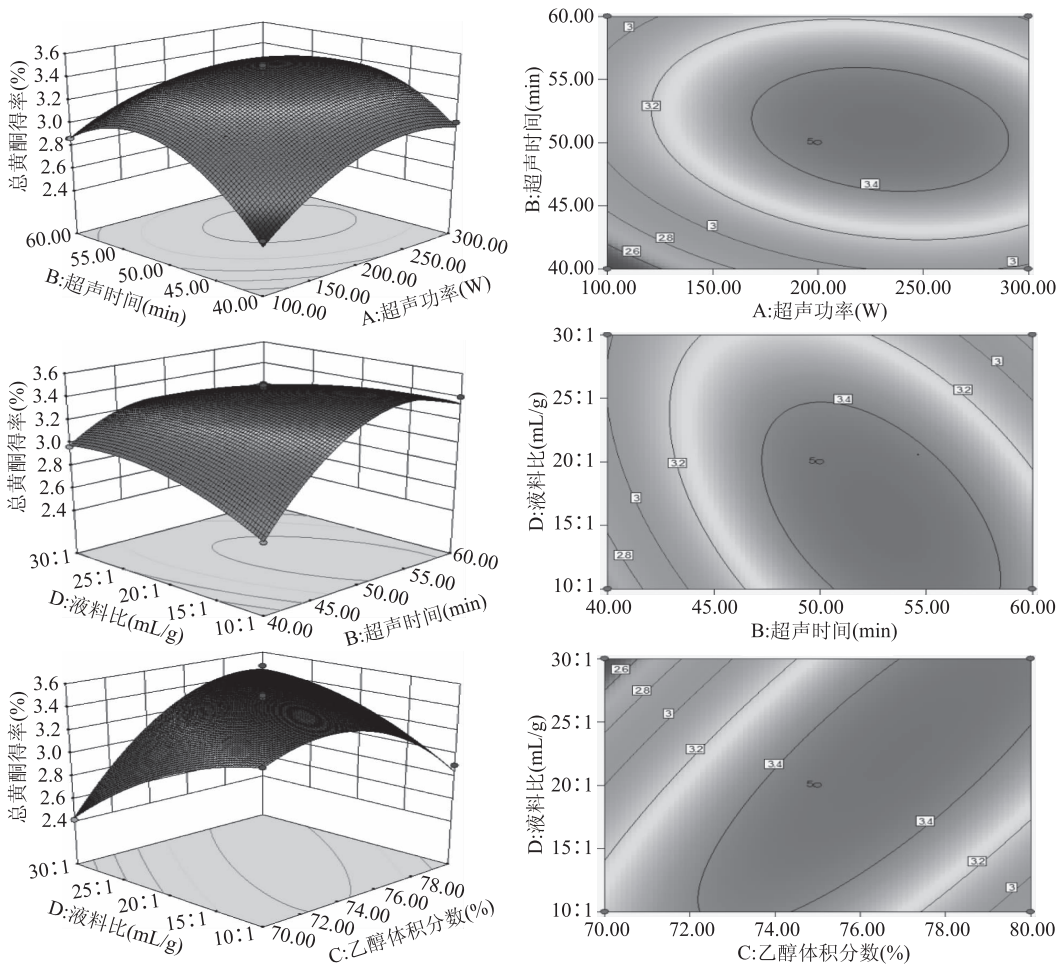


图 7 各因素交互作用响应面及等高线
Fig.7 Interaction response surface and contour line of factors

的基础上优化提取工艺。确定最佳提取工艺为:液料比 18:1 (mL/g)、提取时间 50 min、超声功率 200 W、乙醇体积分数 75%,在此条件下验证实验,紫薯茎叶中总黄酮得率为 3.46%。超声波法辅助乙醇提取紫薯茎叶总黄酮,成本低,操作简洁方便。利用响应面分析方法对超声波辅助提取紫薯茎叶中黄酮的提取工艺条件进行优化,可以获得最佳的工艺参数,从而为进一步的实验研究提供依据,同时,也为东北紫薯茎叶资源的开发利用提供可行性依据。

参考文献

- [1] 杜方岭,王文亮,王守经.甘薯的营养价值及其开发利用研究[J].中国食物与营养,2008,25(9):27-28.
- [2] 王世宽,吴平,许燕丽,等.甘薯叶的营养成分与应用前景[J].四川理工学院学报,2009,22,(6):57-59.
- [3] 高荫榆,洪雪娥,罗丽萍,等.甘薯叶柄藤类黄酮的体外抗氧化作用研究[J].食品科学,2006,27(7):103-106.
- [4] 俞浩,毛斌斌,周国梁,等.白背三七总黄酮对糖尿病大鼠的降血糖作用[J].食品科学,2013,34(15):295-298.
- [5] 张天翼.甘薯茎叶医疗及保健作用的研究[J].辽宁师专学报:自然科学版,2007,9(3):27-28.
- [6] 鄢春旻.黄酮类化合物抗病毒及抗炎活性研究[D].南京:南京大学,2012.
- [7] 鲍诚.紫甘薯花色苷双酶法提取纯化工艺与降血糖功能及机理研究[D].烟台:烟台大学,2012.
- [8] 王玫.甘薯叶黄酮类化合物的提取、分离、纯化及其挥发性化学成分的研究[D].长沙:中南大学,2010.
- [9] Barreca D, Gattuso G, Laganà G, et al. C- and O- glycosyl flavonoids in Sanguinello and Tarocco blood orange (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) juice; Identification and influence on antioxidant properties and acetylcholinesterase activity[J].Food Chem,2016,196(8):619-627.
- [10] Fu Z, Zhang W, Zhen W, et al. Genistein induces pancreatic beta-cell proliferation through activation of multiple signaling pathways and prevents insulin-deficient diabetes in mice[J].Endocrinology,2010,151(13):3026-3037.
- [11] Zhang Y, Liu D. Flavonol kaempferol improves chronic hyperglycemia-impaired pancreatic beta-cell viability and insulin secretory function[J].Eur J Pharmacol,2011,670(6):325-332.
- [12] Zhu W, Jia Q, Wang Y, et al. The anthocyanin cyanidin-3-O-beta-glucoside, a flavonoid, increases hepatic glutathione synthesis and protects hepatocytes against reactive oxygen species during hyperglycemia; Involvement of a cAMP-PKA-dependent signaling pathway[J].Free Radic Biol Med,2012,52(9):314-327.
- [13] 何明祥.仙草中黄酮的热水法提取[J].农产品加工学刊,2008,8(8):44-46.
- [14] 邵圣娟,卫静莉.微波辅助提取甘薯叶中黄酮类化合物的工艺研究[J].科研与开发,2015,34(3):10-12.
- [15] 陈瑛,孙兴力,王文渊.红薯叶中黄酮类化合物的超临界提取研究[J].广州化工,2011,21(6):82-84.
- [16] 陆国权,任韵,唐中厚,等.甘薯黄酮类物质的提取及其基因型差异研究[J].浙江大学学报:农业与生命科学版,2005,31(5):541-544.
- [17] 王才和,杨巍,王刚,等.超声波辅助提取紫薯茎叶总黄酮的工艺研究[J].农产品加工·学刊,2011,32(10):46-48.
- [18] Spencer JP. Beyond antioxidants: The cellular and molecular interactions of flavonoids and how these underpin their actions on the brain[J].Proc. Nutr. Soc,2010,69(5):244-260.
- [19] Fu Z, Zhen W, Yuskavage J, et al. Epigallocatechin gallate delays the onset of type 1 diabetes in spontaneous non-obese diabetic mice[J].Br J Nutr,2011,105(12):1218-1225.
- [20] Eid HM, Martineau LC, Saleem A, et al. Stimulation of AMP-activated protein kinase and enhancement of basal glucose uptake in muscle cells by quercetin and quercetin glycosides, active principles of the antidiabetic medicinal plant *Vaccinium vitis-idaea* [J].Mol Nutr Food Res,2010,54(17):991-1003.
- [21] 倪晓霞,王庆芬,魏浩泽,等.紫外分光光度法测定蒲地灌肠液中总黄酮含量[J].中医药导报,2017,23(2):57-59.
- [22] 酆鑫,尚红梅,姜玉杰.响应面优化串叶松香草总黄酮的提取工艺及其抗氧化活性研究[J].食品工业科技,2018,39(4):137-142.
- [23] YUAN Jun, HUANG Jun, WU Gang, et al. Multiple responses optimization of ultrasonic-assisted extraction by response surface methodology (RSM) for rapid analysis of bioactive compounds in the flower head of *Chrysanthemum morifolium* Ramat [J]. Industrial Crops and Products,2015,74(15):192-199.
- [24] 曾林晖,邓泽元,余修亮,等.蜂胶黄酮的超声波提取工艺优化及其抗氧化活性研究[J].食品工业科技,2016,37(12):295-300.
- [25] Spencer JP. Beyond antioxidants: the cellular and molecular interactions of flavonoids and how these underpin their actions on the brain[J].Proc.Nutr.Soc,2010,69:244-260.
- [26] 李侠,邹基豪,王大为.响应面实验优化超声波-酶法提取绿豆皮黄酮类化合物工艺[J].食品科学,2017,38(8):206-212.
- [27] 王丹,刘涛,黎晨晨,等.响应面法优化东北红松针总黄酮的超声辅助乙醇提取工艺[J].食品工业科技,2018,39(4):143-149.
- [28] 张黎明,李瑞超,郝利民,等.响应面优化玛咖叶总黄酮提取工艺及其抗氧化活性研究[J].现代食品科技,2014,31(4):233-239.
- [29] Rosso V V, Mercadante A Z. HPLC-PDA-MS/MS of anthocyanins and carotenoids from dovyalis and tamarillo fruits [J].Journal of Agricultural and Food Chemistry,2007,55(22):9135-9141.
- [30] 郭玲.新疆石榴生理活性物质的提取及其特性的研究[D].安徽农业大学,2006.
- [31] 薄南南,傅桦.玉米须中总黄酮的提取及含量测定[J].首都师范大学学报:自然科学版,2009,30(4):44-47.
- [32] 何念武,秦娇娇,王新军.超声辅助提取灰灰菜多糖工艺优化及体外抗氧化活性[J].食品工业科技,2017,38(8):1-10.
- [33] 陈晨胡,文忠,田沛源,等.超声辅助提取香蕉皮多酚工艺优化及其抗氧化性的分析[J].食品科学,2014,35(2):12-17.
- [34] 王海燕,李睿,曾秀,等.响应面优化超声波提取桑叶谢皮素工艺[J].食品科学,2014,35(22):56-62.