

微波-超声辅助提取玉米须木犀草素的工艺优化

仇洋, 徐艳阳*, 刘辉, 田佳琦

(吉林大学食品科学与工程学院, 长春 130022)

摘要: **目的** 探究微波-超声辅助提取玉米须中木犀草素的工艺条件。**方法** 以木犀草素得率为评价指标, 考察液料比、乙醇浓度、超声温度、微波时间对木犀草素得率的影响, 在单因素试验的基础上, 采用 Box-Behnken 试验设计优化玉米须木犀草素的提取工艺, 并建立相应的回归模型。**结果** 玉米须中木犀草素的最佳提取条件如下: 液料比为 28 mL/g, 乙醇浓度为 74%, 超声温度为 58 °C, 微波时间为 49 s; 各因素对木犀草素得率的影响大小顺序为乙醇浓度>超声温度>液料比>微波时间。通过 3 次验证试验, 玉米须中木犀草素的得率为(0.101±0.001)%, 实际测定值与理论预测值的相对误差为-1.94%。**结论** 该研究获得了玉米须中木犀草素的最佳提取工艺, 为玉米须中木犀草素的开发提供参考。

关键词: 玉米须; 木犀草素; 微波; 超声; 提取; 响应面法

Optimization of microwave-ultrasonic assisted extraction process for luteolin from corn silk

QIU Yang, XU Yan-Yang*, LIU Hui, TIAN Jia-Qi

(College of Food Science and Engineering, Jilin University, Changchun 130022, China)

ABSTRACT: Objective To explore extraction conditions of total luteolin from corn silk by microwave-ultrasonic assisted extraction process. **Methods** Effects of liquid-solid ratio, alcohol concentration, ultrasonic temperature and microwave time on total luteolin yield were evaluated, and total luteolin yield from corn silk was determined as an indicator. Based on single factor tests, microwave-ultrasonic assisted extraction conditions of total luteolin from corn silk were optimized by Box-Behnken experimental design, and corresponding regression model was established. **Results** The optimal extraction conditions of total luteolin yield from corn silk were as follows: liquid-solid ratio of 28 mL/g, alcohol concentration of 74%, ultrasonic temperature of 58 °C and microwave time of 49 s. The influence of various parameters was in the following order: alcohol concentration>ultrasonic temperature>liquid-solid ratio>microwave time. Under these conditions, total luteolin yield reached (0.101±0.001)%, showing a relative error of -1.94% compared with predicted value. **Conclusion** The optimal extraction conditions of total luteolin from corn silk are obtained, and these results provide references for the development of luteolin from corn silk.

KEY WORDS: corn silk; luteolin; microwave; ultrasonic; extraction; response surface methodology

基金项目: 吉林大学本科教学改革研究项目(2013138)、吉林省高等教育教学改革研究项目(2014044)

Fund: Supported by the Project of Research on Teaching Reform for Undergraduate Student in Jilin University (2013138) and the Project of Research on Higher Education and Teaching Reform for Undergraduate Student in Jilin Province (2014044)

*通讯作者: 徐艳阳, 博士, 副教授, 主要研究方向为食品营养与安全。E-mail: xuyy@jlu.edu.cn

*Corresponding author: XU Yan-Yang, Ph.D., Associate Professor, College of Food Science and Engineering, Jilin University, No. 5988, Renmin Street, Changchun 130022, China. E-mail: xuyy@jlu.edu.cn

1 引言

玉米须是禾本科玉蜀黍属植物玉米的柱头,也是我国传统的中药材,具有平肝、利尿、抗菌等功效^[1,2],可用于辅助治疗高血压、肾炎、糖尿病、胆结石等病症^[3]。玉米是我国主要的粮食作物,其产量位居杂粮之首。2014年我国的玉米总产量达到21567.3万吨^[4],估算玉米须的总产量可超过750万吨。因此,玉米须来源丰富、价格低廉。目前仅有少部分被利用,绝大部分被丢弃,造成了严重的资源浪费。木犀草素(luteolin)是一种天然的羟基黄酮类化合物,具有多种生理活性,如抗菌^[5]、抗氧化^[6]、抗肺炎支原体感染^[7]、抗肿瘤^[8,9]、抗炎^[10]、抗过敏^[11]、抗病毒、抗辐射、利胆^[12]等。由于木犀草素良好的抗菌性和抗氧化性,作为天然的食品防腐剂和抗氧化剂等具有广阔的应用前景。

目前,国内学者钟方丽^[13]、朱丽^[14]、熊清平^[15]以及国外学者 Kalaiselvan^[16]、Shabana^[17]等分别对锦灯笼宿萼、菊花、花生壳、倒地铃、姜黄等进行了木犀草素的提取研究,但对玉米须中木犀草素的提取研究未见报道。提取木犀草素的常用方法主要有传统的浸提法、热回流法,近年来出现的超声辅助提取和微波辅助提取等新方法^[18]。因此,本文将微波和超声波分阶段联合提取玉米须中的木犀草素,并应用响应面法进行优化,旨在为玉米须中木犀草素的开发及应用提供参考。

2 材料与方法

2.1 材料与仪器

玉米须(黑龙江省伊春市);木犀草素标准品(HPLC纯98%,上海源叶生物科技有限公司);无水乙醇(分析纯,天津市永大化学试剂有限公司);乙酸钾(分析纯,天津市华东试剂厂);无水氯化铝(分析纯,天津市光复精细化工研究所)。

AL104型电子分析天平(梅特勒-托利多仪器有限公司);FW177型中草药粉碎机(天津市泰斯特仪器有限公司);MM721AAU-PM型美的微波炉(佛山市顺德区美的微波炉制造有限公司);KQ-250DB型超声波清洗器(江苏省昆山市超声仪器有限公司);101A-1ET电热鼓风干燥箱(上海实验仪器厂有限公司);LD4-2A型低速离心机(北京市雷勃尔离心机有限公司);TU-1810型紫外分光光度计(北京普析通用仪器有限责任公司)。

2.2 试验方法

2.2.1 玉米须木犀草素的提取工艺

玉米须→清洗→烘干→粉碎(过60目筛)→微波处理→超声处理→离心→定容→测定

2.2.2 玉米须中木犀草素含量的测定方法

(1) 最大吸收波长的确定

采用 $\text{AlCl}_3\text{-CH}_3\text{COOK}$ 显色法^[18]测定玉米须木犀草素

的得率。准确称取木犀草素标准品6.00 mg,加入少量无水乙醇溶解,定容至50 mL。精确移取木犀草素标准溶液1.0 mL,依次加入0.1 mol/L AlCl_3 溶液4 mL和1.0 mol/L CH_3COOK 溶液6.4 mL,用蒸馏水定容至50 mL,避光15 min,在250~600 nm范围内扫描,确定木犀草素标准品的最大吸收波长。

(2) 木犀草素标准曲线的绘制

精确吸取木犀草素标准溶液0、1.0、2.0、3.0、4.0、5.0 mL于50 mL容量瓶中,采用2.2.2(1)中所述方法测定玉米须中木犀草素的含量,在最大吸收波长处测定吸光度。

2.2.3 单因素试验设计

选取液料比、乙醇浓度、超声温度、微波时间作为单因素。称取1.0 g玉米须粉末,加入乙醇溶液并充分振荡,分别进行微波、超声波处理,在4000 r/min条件下离心15 min,并取上清液,按照2.2.2所述方法测定玉米须中木犀草素的含量。各单因素水平如下:液料比为10、20、30、40、50 mL/g;乙醇浓度为50%、60%、70%、80%、90%;超声温度为30、40、50、60、70 °C;微波时间为40、60、80、100、120 s。在进行单因素试验时,其他固定条件分别为液料比20 mL/g、乙醇浓度70%、超声温度60 °C、微波时间120 s。

2.2.4 响应面优化设计试验

在单因素试验结果的基础上,以液料比、乙醇浓度、超声温度、微波时间4个因素为自变量,玉米须木犀草素的得率为响应值。采用Box-Behnken试验设计优化提取条件,试验因素及水平编码见表1。

表1 试验因素水平编码表

Table 1 Coded variables and levels of factors

因素	水平		
	-1	0	1
A 液料比(mL/g)	20	30	40
B 乙醇浓度(%)	60	70	80
C 超声温度(°C)	50	60	70
D 微波时间(s)	40	60	80

2.3 数据处理与分析

2.3.1 数据处理

利用公式(1)计算玉米须木犀草素的得率,采用Microsoft Office Excel 2010软件计算平均值、标准偏差并绘制图形。

$$Y = \frac{C \times V \times N}{M} \times 100\% \quad (1)$$

式中:Y为玉米须木犀草素的得率(%);C为提取样液的浓度(mg/mL);V为提取样液的体积(mL);N为稀释倍数;M为称取玉米须的质量(mg)。

2.3.2 数据分析

单因素试验数据运用SPSS 17.0统计软件进行Duncan

多重比较分析。采用 Design-Expert 8.06 软件进行响应面优化分析。

3 结果与分析

3.1 最大吸收波长的确定

木犀草素标准品样液在 250~600 nm 波长范围内的扫描结果见图 1。当波长为 405 nm 时, 吸光度达到最大值, 为 0.213 Abs。因此选择 405 nm 作为测定玉米须中木犀草素含量的吸收波长。

3.2 木犀草素标准曲线的绘制

以木犀草素标准品溶液浓度 C 为横坐标, 吸光度 A 值为纵坐标, 绘制标准曲线, 得回归方程为 $Y=0.0731X+0.0188(r^2=0.9979)$, 其中 Y 表示吸光度值, X 表示木犀草素标准品的浓度, 由回归系数可知木犀草素浓度在 0~12 $\mu\text{g/mL}$ 范围内线性关系良好, 如图 2 所示。

3.3 单因素试验结果

3.3.1 液料比对玉米须中木犀草素得率的影响

由图 3 可以看出, 当液料比在 10~30 mL/g 之间, 木犀草素得率随液料比的增加而增大。这是因为随着液料比的增

加, 玉米须内部细胞与乙醇溶液间的浓度差变大, 促进木犀草素溶于乙醇溶液, 而残留在玉米须中的量减少, 得率增大。当液料比为 30 mL/g 时, 木犀草素得率达到最大值。当液料比超过 30 mL/g 之后, 木犀草素得率逐渐减小。可能是与木犀草素竞争乙醇溶液的杂质溶出量增加, 导致木犀草素的溶解度降低, 得率下降。经 Duncan 多重比较分析可得, 液料比 10、20、30 mL/g 之间, 液料比 40、50 mL/g 之间差异显著($P<0.05$), 液料比 30、40 mL/g 之间差异不显著($P>0.05$)。所以, 综合考虑液料比选取 30 mL/g 较佳。

3.3.2 乙醇浓度对玉米须中木犀草素得率的影响

由图 4 可以看出, 随着乙醇浓度由 50% 逐渐增至 70%, 木犀草素得率逐渐升高。这是因为随着乙醇浓度的增大, 木犀草素的溶解度增加, 有利于玉米须中木犀草素的溶出。当乙醇浓度为 70% 时, 提取效果最好, 木犀草素得率达到最大。但是乙醇浓度超过 70% 后, 木犀草素得率迅速下降。其原因可能是乙醇浓度进一步增大产生较大渗透压, 同时乙醇溶液中水减少, 不利于细胞溶胀, 所以玉米须中木犀草素的溶出量减少而得率降低。经 Duncan 多重比较分析可得, 乙醇浓度 50%、60%、70%、80%、90% 之间差异显著($P<0.05$)。综合考虑后, 乙醇浓度选取 70% 较佳。

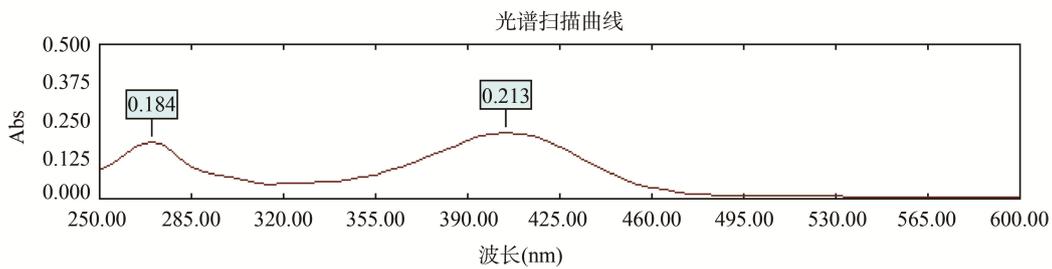


图 1 木犀草素标准品光谱扫描图
Fig. 1 Spectral scanning graph of standard luteolin

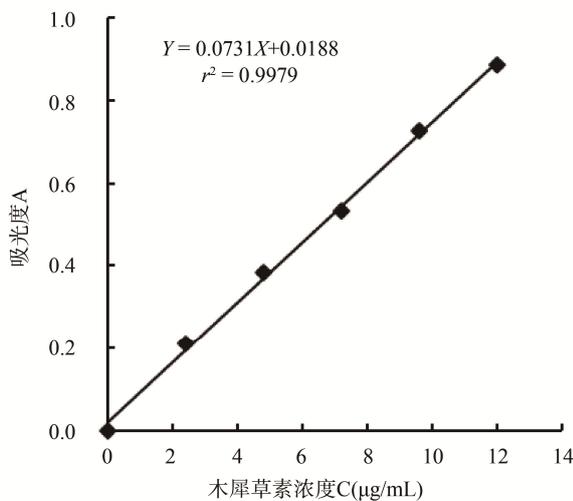


图 2 木犀草素标准曲线
Fig. 2 Standard curve of luteolin

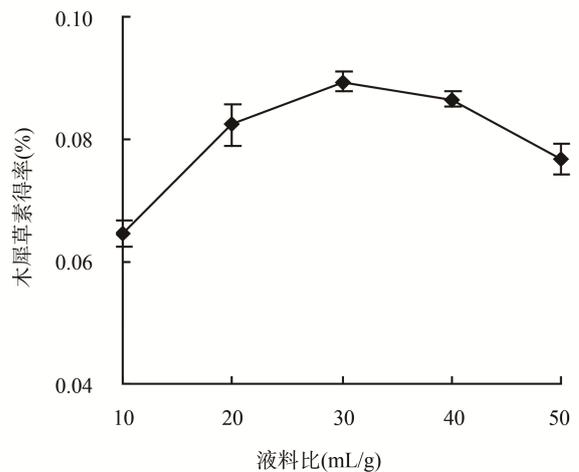


图 3 液料比对玉米须中木犀草素得率的影响($n=3$)
Fig. 3 Effect of liquid-solid ratio on total luteolin yield from corn silk ($n=3$)

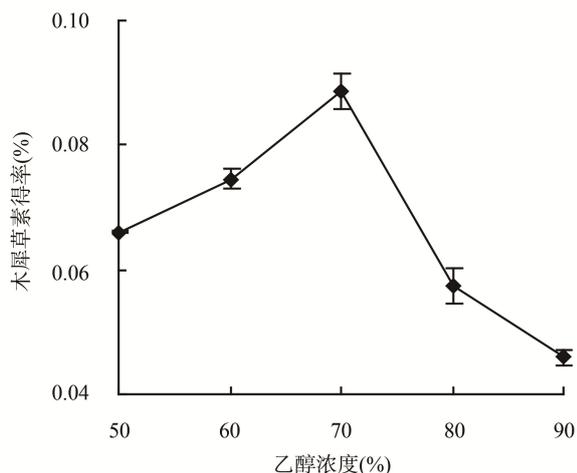


图4 乙醇浓度对玉米须中木犀草素得率的影响($n=3$)

Fig. 4 Effect of alcohol concentration on total luteolin yield from corn silk ($n=3$)

3.3.3 超声温度对玉米须中木犀草素得率的影响

由图5可以看出,超声温度在30~60℃之间时,木犀草素的得率快速增大。这是因为超声波产生空化作用、机械作用等会在溶剂中形成无数气泡,气泡迅速爆裂产生局部压力来破坏组织细胞壁,释放细胞内木犀草素^[19],同时超声温度升高加快了分子扩散,使得木犀草素迅速溶于提取溶剂中而得率升高。但是当超声温度超过60℃后,木犀草素的得率降低。这是因为超声温度逐渐接近乙醇的沸点,乙醇加速挥发,从而影响了提取效果。经Duncan多重比较分析可得,超声温度30、40、50、60℃之间差异显著($P<0.05$)。因此超声温度选取60℃较佳。

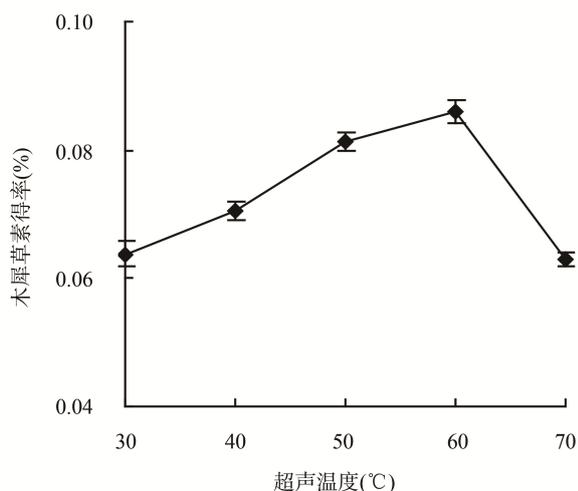


图5 超声温度对玉米须中木犀草素得率的影响($n=3$)

Fig. 5 Effect of ultrasonic temperature on total luteolin yield from corn silk ($n=3$)

3.3.4 微波时间对玉米须中木犀草素得率的影响

由图6可以看出,随着微波时间的延长,木犀草素的得率先增大后减小。当微波时间为60s时,木犀草素得率达到最大值。这可能是因为微波处理40s时,木犀草素在溶剂中不能达到平衡,溶解量小,提取效果较差。继续延长微波时间会加速分子的热运动,破裂细胞壁,木犀草素大量溶出,得率升高。当微波时间超过60s后,提取溶剂中木犀草素的溶解度达到饱和,同时部分木犀草素分解,提取效果同样较差,得率下降。经Duncan多重比较分析可得,微波时间40、60、80s之间差异显著($P<0.05$)。因此微波时间选取60s较佳。

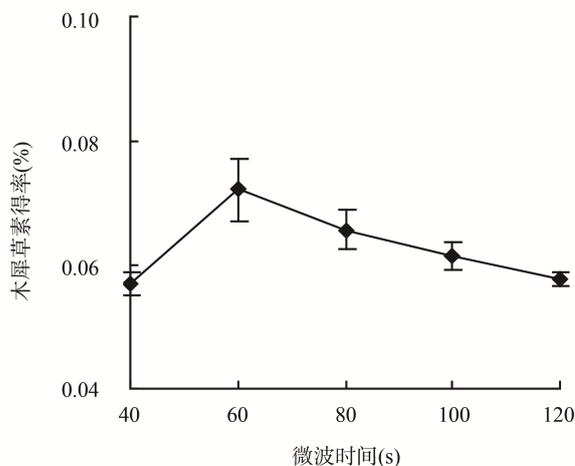


图6 微波时间对玉米须中木犀草素得率的影响($n=3$)

Fig. 6 Effect of microwave time on total luteolin yield from corn silk ($n=3$)

3.4 响应面法优化玉米须木犀草素的提取工艺

3.4.1 响应面法试验结果分析

采用Design-Expert 8.06软件中Box-Behnken中心组合试验设计,共设计29个试验点,其中析因点24个,零点5个。试验结果及分析见表2和3。

利用Design Expert 8.06软件对表2中数据进行回归拟合分析,得到响应回归方程为:

$$Y = +0.10 - 2.583 \times 10^{-3}A + 0.014B - 8.333 \times 10^{-4}C + 4.167 \times 10^{-4}D + 2.250 \times 10^{-3}AB + 8.750 \times 10^{-3}AC - 1.250 \times 10^{-3}AD - 5.250 \times 10^{-3}BC - 5.000 \times 10^{-3}BD + 5.000 \times 10^{-4}CD - 6.208 \times 10^{-3}A^2 - 0.020B^2 - 0.013C^2 - 1.458 \times 10^{-3}D^2$$

方程中A为液料比(mL/g),B为乙醇浓度(%),C为超声温度(°C),D为微波时间(s)。

由表3方差分析可知,模型F值为11.88, $P<0.0001$,表明该模型极显著;预测值与试验值有较高相关性($r^2=0.9224$);失拟项不显著($P>0.05$);变异系数(CV)为7.36%,说明模型方程能够较好地反映真

实值, 可用该模型对玉米须中木犀草素得率进行分析、预测并确定木犀草素的最佳提取工艺。该模型中一次项 B , 二次项 B^2 , C^2 对木犀草素得率的影响极显著 ($P < 0.01$); 交互项 AC 和二次项 A^2 对木犀草素得率的

影响显著 ($P < 0.05$); 其他项对木犀草素得率的影响不显著 ($P > 0.05$)。根据 F 检验得到 4 个因素对玉米须中木犀草素得率的影响大小顺序为: 乙醇浓度 > 超声温度 > 液料比 > 微波时间。

表 2 响应面法试验设计及结果
Table 2 Experimental design and results for response surface methodology

试验编号	A 液料比(mL/g)	B 乙醇浓度(%)	C 超声温度(°C)	D 微波时间(s)	木犀草素得率/%
1	30	80	70	60	0.075
2	30	70	60	60	0.099
3	20	70	60	80	0.093
4	30	70	60	60	0.091
5	30	70	70	80	0.087
6	30	70	50	40	0.087
7	20	80	60	60	0.093
8	40	70	60	80	0.091
9	30	70	60	60	0.106
10	30	60	60	80	0.068
11	30	80	60	80	0.089
12	30	60	50	60	0.048
13	20	60	60	60	0.075
14	30	70	50	80	0.087
15	30	60	60	40	0.056
16	40	70	50	60	0.072
17	40	80	70	60	0.080
18	30	80	50	60	0.091
19	30	80	50	60	0.088
20	30	80	60	40	0.097
21	40	70	60	40	0.088
22	40	70	60	40	0.094
23	20	70	70	60	0.069
24	30	70	70	40	0.085
25	30	70	60	60	0.095
26	30	60	70	60	0.056
27	40	60	60	60	0.053
28	40	70	70	60	0.088
29	30	70	60	60	0.109

表 3 二次回归模型的方差分析
Table 3 ANOVA for quadratic regression model

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	6.215×10^{-3}	14	4.440×10^{-4}	11.88	<0.0001	**
A 液料比	8.008×10^{-5}	1	8.008×10^{-5}	2.14	0.1653	
B 乙醇浓度	2.296×10^{-3}	1	2.296×10^{-3}	61.44	<0.0001	**
C 超声温度	8.333×10^{-6}	1	8.333×10^{-6}	0.22	0.6441	
D 微波时间	2.083×10^{-6}	1	2.083×10^{-6}	0.056	0.8168	
AB	2.025×10^{-5}	1	2.025×10^{-5}	0.54	0.4738	
AC	3.063×10^{-4}	1	3.063×10^{-4}	8.19	0.0125	*
AD	6.250×10^{-6}	1	6.250×10^{-6}	0.17	0.6888	
BC	1.102×10^{-4}	1	1.102×10^{-4}	2.95	0.1079	
BD	1.000×10^{-4}	1	1.000×10^{-4}	2.68	0.1242	
CD	1.000×10^{-6}	1	1.000×10^{-6}	0.027	0.8724	
A ²	2.500×10^{-4}	1	2.500×10^{-4}	6.69	0.0215	*
B ²	2.552×10^{-3}	1	2.552×10^{-3}	68.27	<0.0001	**
C ²	1.153×10^{-3}	1	1.153×10^{-3}	30.85	<0.0001	**
D ²	1.380×10^{-5}	1	1.380×10^{-5}	0.37	0.5532	
残缺	5.233×10^{-4}	14	3.738×10^{-5}			
失拟项	2.993×10^{-4}	10	2.993×10^{-5}	0.53	0.8079	
纯误差	2.240×10^{-4}	4	5.600×10^{-5}			
总变异	6.739×10^{-3}	28				

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

3.4.2 响应曲面分析

根据回归方程得出不同因素的响应曲面和等高线结果见图 7~8。从响应面图和等高线图可以分析出各因素变化及两因素的交互作用对响应值的影响。在响应面图中, 曲面越陡峭, 表明该因素对响应值的影响越显著。等高线形状与两个因素的交互作用强弱有关。等高线形状接近椭圆形, 表明两个因素间交互作用较强, 若形状接近圆形, 表明两个因素间的交互作用较弱。

由图 7 可以看出, 乙醇浓度的响应曲面比超声温度的响应曲面陡峭, 并且乙醇浓度轴向等高线较密集, 这说明与超声温度相比, 乙醇浓度对木犀草素得率的影响更显著($P < 0.0001$)。等高线接近圆形, 说明乙醇浓度与超声温度的

交互作用较弱, 且对玉米须中木犀草素得率的影响不显著($P = 0.1079 > 0.05$)。从响应面图可以看出, 随着乙醇浓度的增加, 木犀草素得率快速增大, 达到一定浓度后, 木犀草素得率下降。随着超声温度的升高, 木犀草素的得率先增大后减小。

从图 8 等高线图可以看出, 等高线呈椭圆形, 说明超声温度和液料比的交互作用对木犀草素得率的影响显著($P = 0.0125 < 0.05$)。随着液料比的增加, 木犀草素得率先增大后减小, 保持超声温度不变, 液料比超过 30 mL/g 不利于木犀草素的提取。从响应面图的弧度变化可知, 超声温度和液料比对木犀草素得率的影响均不显著($P = 0.6441 > 0.05$, $P = 0.1653 > 0.05$), 表现为超声温度的响应曲面弧度变化较小, 液料比的响应曲面较平缓。

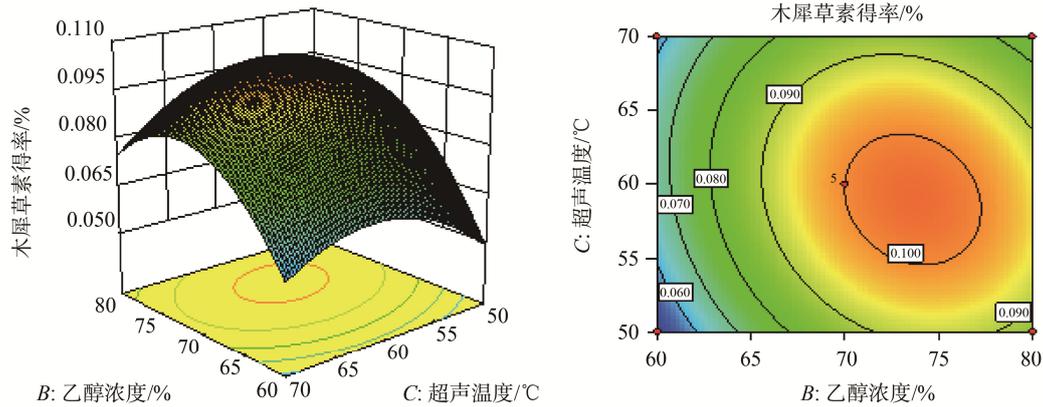


图 7 乙醇浓度与超声温度对玉米须中木犀草素得率影响的响应面和等高线图

Fig. 7 Response surface and contour plots for effects of alcohol concentration and ultrasonic temperature on total luteolin yield from corn silk

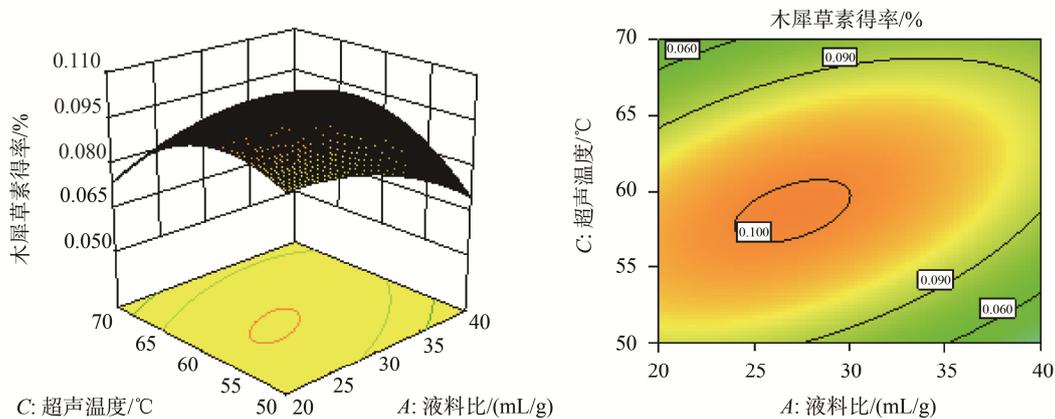


图 8 液料比与超声温度对玉米须中木犀草素得率影响的响应面和等高线图

Fig. 8 Response surface and contour plots for effects of liquid-solid rate and ultrasonic temperature on total luteolin yield from corn silk

3.5 验证试验

通过响应面法分析得到玉米须中木犀草素的最佳提取工艺如下: 液料比为 27.87 mL/g、乙醇浓度为 74.30%、超声温度为 58.04 °C、微波时间为 49.32 s。考虑实际操作的局限性, 将工艺参数修正为: 液料比为 28 mL/g、乙醇浓度为 74%、超声温度为 58 °C、微波时间为 49 s。在上述条件下, 进行 3 次验证性试验, 得到玉米须中木犀草素的得率为(0.101±0.001)%, 实际测定值与理论预测值的相对误差为-1.94%。

4 结 论

采用微波-超声辅助提取玉米须中木犀草素, 应用响

应面法建立了玉米须中木犀草素得率与液料比(A)、乙醇浓度(B)、超声温度(C)、微波时间(D)4 个因素的二次回归方程为: $Y=+0.10-2.583\times 10^{-3}A+0.014B-8.333\times 10^{-4}C+4.167\times 10^{-4}D+2.250\times 10^{-3}AB+8.750\times 10^{-3}AC-1.250\times 10^{-3}AD-5.250\times 10^{-3}BC-5.000\times 10^{-3}BD+5.000\times 10^{-4}CD-6.208\times 10^{-3}A^2-0.020B^2-0.013C^2-1.458\times 10^{-3}D^2$ 。通过响应面法优化得到玉米须中木犀草素的最佳提取条件如下: 液料比为 28 mL/g、乙醇浓度为 74%、超声温度为 58 °C、微波时间为 49 s。经过 3 次验证试验, 玉米须中木犀草素的得率为(0.101±0.001)%, 实际值与理论值的相对误差为-1.94%, 说明该响应面模型对预测木犀草素得率和优化玉米须木犀草素的提取工艺具有一定的可靠性。本文为木犀草素的开发提供了新的植物资源依据。

参考文献

- [1] 窦传斌, 杜娟, 许启泰. 玉米须多糖的利尿作用研究[J]. 河南大学学报: 医学版, 2007, 26(3): 35-37.
Dou CB, Du J, Xu QT. Study on diuretic effect of stigma maydis polysaccharide [J]. J Henan Univ: Med Sci, 2007, 26(3): 35-37.
- [2] 王元清, 严建业, 喻林华, 等. 玉米须提取物抑菌活性及耐热耐压稳定性研究[J]. 江苏农业科学, 2010, (4): 308-309.
Wang YQ, Yan JY, Yu LH, *et al.* Study on antimicrobial activity and stability of heat resistance and press-ure resistance of maize [J]. Jiangsu Agric Sci, 2010, (4): 308-309.
- [3] 董晓宁, 井玉红. 玉米须有效成分及疗效研究进展[J]. 中国酿造, 2013, 10: 004.
Dong XN, Jing YH. Research progress on effective constituents and curative effect of corn silk [J]. China Brew, 2013, 10: 004.
- [4] 何丽媛. 2014 年中国玉米市场回顾及 2015 年展望[J]. 中国畜牧杂志, 2015, 51(2): 62-66.
He LY. Chinese corn market's review of 2014 and the outlook of 2015 [J]. Chin J Anim Sci, 2015, 51(2): 62-66.
- [5] 林卓慧. 木犀草素抗菌活性研究[J]. 检验医学与临床, 2009, 6(12): 1022-1022.
Lin ZH. Study on antibacterial activity of luteolin [J]. Lab Med Clin, 2009, 6(12): 1022-1022.
- [6] Rooban BN, Sasikala V, Devi V G, *et al.* Prevention of selenite induced oxidative stress and cataractogenesis by luteolin isolated from *Vitex negundo* [J]. Chem-Biol Interact, 2012, 196(1): 30-38.
- [7] Törmäkangas L, Vuorela P, Saario E, *et al.* In vivo treatment of acute *Chlamydia pneumoniae* infection with the flavonoids quercetin and luteolin and an alkyl gallate, octyl gallate, in a mouse model [J]. Biochem Pharmacol, 2005, 70(8): 1222-1230.
- [8] Tang X, Wang H, Fan L, *et al.* Luteolin inhibits Nrf2 leading to negative regulation of the Nrf2/ARE pathway and sensitization of human lung carcinoma A549 cells to therapeutic drugs [J]. Free Radical Biol Med, 2011, 50(11): 1599-1609.
- [9] Yan J, Wang Q, Zheng X, *et al.* Luteolin enhances TNF-related apoptosis-inducing ligand's anticancer activity in a lung cancer xenograft mouse model [J]. Biochem Biophys Res Commun, 2012, 417(2): 842-846.
- [10] Deqiu Z, Kang L, Jiali Y, *et al.* Luteolin inhibits inflammatory response and improves insulin sensitivity in the endothelium [J]. Biochimie, 2011, 93(3): 506-512.
- [11] Das M, Ram A, Ghosh B. Luteolin alleviates bronchoconstriction and airway hyperreactivity in ovalbumin sensitized mice [J]. Inflammation Res, 2003, 52(3): 101-106.
- [12] 王继双, 何焱, 张文静, 等. 木犀草素的药理作用研究进展[J]. 生命科学, 2013, 25(6): 560-564.
Wang JS, He Y, Zhang WJ, *et al.* Advances in studies on pharmacological effects of luteolin [J]. Chin Bull Life Sci, 2013, 25(6): 560-564.
- [13] 钟方丽, 薛健飞, 刘威振. 超声波辅助法提取锦灯笼宿萼中的木犀草素[J]. 食品与机械, 2012, (1): 171-174.
Zhong FL, Xue JF, Liu WZ. Ultrasonic-assisted extraction of luteolin from *Physalis Alkekengi* L. var. *Franchetii* (mast.) makino [J]. Food Mach, 2012, (1): 171-174.
- [14] 朱丽, 卢化. HPLC 法测定药用菊花中木犀草素的含量[J]. 湖北中医杂志, 2010, 32(2): 74-75.
Zhu L, Lu H. Determination of luteolin in chrysanthemum by HPLC [J]. Hubei J Tradit Chin Med, 2010, 32(2): 74-75.
- [15] 熊清平, 张强华, 石莹莹, 等. 花生壳中木犀草素的微波辅助提取工艺研究[J]. 中国酿造, 2011, (9): 30-33.
Xiong QP, Zhang QH, Shi YY, *et al.* Microwave assisted extraction of luteolin from peanut hull [J]. China Brew, 2011, (9): 30-33.
- [16] Rajasekaran A, Sarathikumar N, Vivekanandan KM. Simultaneous estimation of luteolin and apigenin in methanol leaf extract of *Bacopa monnieri* Linn by HPLC [J]. Methodol, 2011, 1(2010).
- [17] Shabana MH, Afifi MS. A new acylated luteolin glycoside from *Curcuma Longa* L. and free radical scavenging potential of its extracts [J]. J Med Plant Res, 2014, 8(1): 1-5.
- [18] 高山, 程丹, 胡平. 万寿菊木犀草素提取工艺优化研究[J]. 内蒙古师范大学学报: 自然科学版, 2012, 41(6): 644-648.
Gao S, Cheng D, Hu P. Optimization of extraction technology of luteolin from *Tagetes Erecta* L. [J]. J Inn Mongolia Norm Univ Nat Sci Ed, 2012, 41(6): 644-648.
- [19] Afshari K, Samavati V, Shahidi S A. Ultrasonic-assisted extraction and in-vitro antioxidant activity of polysaccharide from Hibiscus leaf [J]. Int J Biol Macromol, 2015, 74: 558-567.

(责任编辑: 白洪健)

作者简介



仇洋, 硕士, 主要研究方向为食品营养与安全。
E-mail: 347682205@qq.com



徐艳阳, 博士, 副教授, 主要研究方向为食品营养与安全。
E-mail: xuyy@jlu.edu.cn