

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2023.04.011

王博, 姚伦广, 鲁云凤. 山楂皮渣中果胶超声波辅助提取工艺优化与抗氧化性研究[J]. 粮油食品科技, 2023, 31(4): 78-86.

WANG B, YAO L G, LU Y F. Ultrasonic-assisted extraction process optimization and antioxidant activity of pectin from hawthorn peel dregs[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2023, 31(4): 78-86.

山楂皮渣中果胶超声波辅助提取 工艺优化与抗氧化性研究

王 博¹, 姚伦广², 鲁云凤²

(1. 南阳市科学技术情报所, 河南 南阳 473000;

2. 南阳师范学院 生命科学与农业工程学院, 河南 南阳 473061)

摘 要: 确定山楂皮渣中果胶超声波辅助提取最佳工艺参数, 对所提取的果胶抗氧化性进行研究。以料液比、提取温度、超声波功率、超声波时间作为研究因素, 在进行单因素实验的前提下, 采用响应面实验设计方法, 建立相应的数学模型并开展数据分析。四个研究因素对山楂皮渣中果胶得率的影响由大到小依次为: 料液比>超声波功率>超声波时间>提取温度。山楂皮渣中果胶超声波辅助提取最佳工艺参数为: 料液比为 1:15、提取温度为 74℃、超声波功率为 425 W、超声波时间为 55 min。在此条件下, 山楂皮渣中实际果胶得率为 6.154%±0.041%。抗氧化性实验结果显示, 提取的山楂皮渣果胶对·OH、·O₂均具有较好的清除效果。响应面优化的山楂皮渣中果胶超声波辅助提取工艺有可行性, 提取的山楂皮渣果胶具有一定的抗氧化活性。

关键词: 超声波辅助提取; 山楂皮渣; 果胶; 抗氧化性

中图分类号: TS255.1 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2023)04-0078-09

Ultrasonic-assisted Extraction Process Optimization and Antioxidant Activity of Pectin from Hawthorn Peel Dregs

WANG Bo¹, YAO Lun-guang², LU Yun-feng²

(1. Science and Technology Information Intelligence of Nanyang, Nanyang, Henan 473000, China; 2. College of Life Sciences and Agricultural Engineering, Nanyang Normal University, Nanyang, Henan 473061, China)

Abstract: The purpose of this study was to determine the optimum technological parameters of ultrasonic assisted extraction of pectin from Hawthorn peel residue and study the antioxidant activity of the extracted pectin. Taking the solid-liquid ratio, extraction temperature, ultrasonic power and ultrasonic time as the research factors, on the premise of single factor experiment, the response surface experimental design method was used to establish the corresponding mathematical model and carry out data analysis. The effects of four factors on the yield of pectin in Hawthorn peel residue were as follows: solid-liquid ratio > ultrasonic power > ultrasonic time > extraction temperature. The optimum technological parameters of ultrasonic assisted extraction of pectin from Hawthorn peel residue were as follows: the ratio of solid to liquid 1:15, the

收稿日期: 2023-03-06

基金项目: 河南省大宗水果产业技术体系 (S2014-11-G04)

Supported by: Bulk Fruit Industry Technical System of Henan Province (No.S2014-11-G04)

作者简介: 王博, 男, 1986 年出生, 硕士, 工程师, 研究方向为农产品加工, 农产品分析检验等。E-mail: 171779869@qq.com

extraction temperature 74 °C, the ultrasonic power 425 W, and the ultrasonic time 55 min. Under this condition, the optimal extraction rate of pectin from hawthorn peel residue was $6.154 \pm 0.041\%$. In the antioxidant test of pectin ultrasonic-assisted extraction process in hawthorn peel residue, it was found that the extracted pectin had better scavenging ability on hydroxyl radicals and superoxide anion radicals. The ultrasonic assisted extraction process of pectin from hawthorn peel residue optimized by response surface methodology was feasible, and the extracted pectin from hawthorn peel residue had certain antioxidant activity.

Key words: ultrasonic-assisted extraction; hawthorn peel residue; pectin; oxidation resistance

山楂又名红果、山里红等，蔷薇目、蔷薇科、山楂属植物，是我国特有的药果兼用果实^[1]。研究表明，山楂具有活血化瘀、消食健胃、降血糖、降血脂、抗动脉粥样硬化、抗心肌缺血等功效^[2]。近年来，山楂深加工产业的迅速发展壮大，山楂果汁、果酒、休闲食品等产品越来越多的出现在了市场当中，这些产品在生产过程中也产生了大量的山楂皮渣。然而，这些山楂皮渣却并未得到充分利用与有效处理，时常会因处理不当而造成环境污染^[3]。虽然部分国内企业引进了专业设备处理生产后的山楂皮渣，但多数中小型企业却并不重视这一问题，甚至一些企业将山楂皮渣作为普通垃圾简单处理、随意丢弃，造成了资源换的浪费和环境的污染^[4]。鉴于此，以拓展山楂皮渣利用价值为目标，进行新产品、新工艺的研发与推广势在必行。

果胶作为存在于植物细胞壁中高分子天然多糖，在山楂皮渣中也具有价高的含量，约为 6.4%^[5]。研究表明，山楂果胶不仅具有良好的体内外抗氧化活性，而且还具备解毒抗炎、抗衰老、抑制癌细胞扩散、改善血脂代谢等多重功效^[6]，可以开发成为保健类食品或药品。鉴于山楂果胶的多样性功效，如何有效对山楂中果胶进行分离、提取、纯化已成为国内山楂深加工领域研究的重要方向^[7]。为进一步探索山楂皮渣中果胶的开发利用价值，本文将开展山楂皮渣果胶超声波辅助提取最佳工艺以及提取果胶抗氧化的研究，以期能够为研发以山楂皮渣为原料的天然食源性抗氧化剂提供理论参考与研究思路。

目前，以醇沉法、盐析法为代表的植物果胶提取方法已日渐成熟，但依然存在提取率偏低、

杂质较多以及实验成本高等突出性问题。已有研究证实，在上述实验方法的基础上，融入超声波辅助提取技术，可以有效提高植物果胶的得率，并减少提取果胶中的杂质^[8]。结合目前山楂皮渣的醇沉法提取工艺，本文创新性的引入了超声波辅助技术，将料液比、提取温度、超声波功率、超声波时间四项因素作为实验变量因素，研究确定获得高山楂皮渣果胶得率的最佳工艺参数。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

样品：河南省漯河市体宝饮品有限公司提供的山楂皮渣。

试剂：浓盐酸、浓硫酸、无水乙醇、95%乙醇（分析纯）：南京化学试剂股份有限公司；硫酸亚铁、邻苯三酚、水杨酸、双氧水、三羟甲基氨基甲烷（Tris）（分析纯）：沈阳市新化试剂厂；维生素 C（分析纯）：天津市大茂化学试剂厂。

三羟甲基氨基甲烷-盐酸（Tris-HCl）缓冲溶液制备：25 °C 环境下分别调节获取浓度为 0.1 mol/L 的三羟甲基氨基甲烷溶液和盐酸溶液，将 50 mL 三羟甲基氨基甲烷溶液与 29.2 mL 盐酸溶液充分混合均匀，加蒸馏水定容至 100 mL，此时可获得浓度为 0.05 mol/L 的三羟甲基氨基甲烷-盐酸缓冲溶液，pH 值为 8.0。

1.2 设备与仪器

101-2AB 型电热鼓风干燥箱：天津泰斯特仪器有限公司；SHA-C 型数显恒温水浴锅：常州市亿能实验仪器厂；SZCL 智能数显恒温电热套：上海力辰仪器有限公司；JJ-1B 精密小型电动搅拌机：金坛区西城永城仪器制造厂；JP-010S 实验室

超声波清洗器：山东欧莱博科技有限公司；CY-GJ-100-1D 型粉碎机：鹤壁精中科技有限公司；TG16G 型台式高速离心沉淀机：绍兴苏珀仪器有限公司；RE-301 型旋转蒸发仪：上海予华仪器设备有限公司。

1.3 山楂皮渣果胶提取流程

山楂皮渣样品预处理→果胶酶灭活→调节样品溶液 pH→超声波辅助提取→样品混合液抽滤→滤液离心（4 000 r/min，10 min）→回收上层清液→旋转蒸发浓缩→浓缩液醇沉→抽滤→无水乙醇洗涤 3 次→干燥→称重→计算得率。

1.4 山楂皮渣果胶得率计算

山楂皮渣果胶得率计算方式如下：

$$\text{山楂皮渣果胶得率}(\%) = m/m_0 \times 100\%$$

式中： m 为果胶干燥样品质量（单位：g）； m_0 为山楂皮渣质量（单位：g）。

1.5 山楂皮渣果胶提取物抗氧化性研究

1.5.1 $\cdot\text{OH}$ 清除率测定

将 6 支试管分别编号为 1~6 号，其中 1 号试管加入 2 mL 蒸馏水，作为空白对照样品；2 至 6 号试管分别加入浓度为 0.4、0.8、1.2、1.6、2.0 mg/mL 的实验样品溶液各 2 mL。参考芬顿反应法^[9]，利用分光光度计于波长 510 nm 处测定各个样品的吸光度。其中，1 号样品吸光度计为 A_1 ，2~6 号样品吸光度分别计为 A_X （ X 为样品编号）。采用同样的方法，将 2~6 号样品所添加的 3% H_2O_2 溶液改换为蒸馏水，测定样品吸光度，所测值计为 2~6 号样品的底吸光度 A_{Xd} 。以维生素 C（vitaminC，VC）的吸光度值为对比参照。 $\cdot\text{OH}$ 清除率按照公式（1）计算：

$$\cdot\text{OH} \text{ 清除率}(\%) = [A_1 - (A_X - A_{Xd})] / A_1 \times 100\% \quad (1)$$

式中： A_1 为空白对照样品吸光度值； A_X 为 2~6 号实验样品吸光度值； A_{Xd} 为 2~6 号实验样品的底吸光度值。

1.5.2 $\cdot\text{O}_2$ 清除率测定

将 6 支试管分别编号为 1~6 号，其中 1 号试管加入 2 mL 蒸馏水，作为空白对照样品；2 至 6 号试管分别加入浓度为 0.4、0.8、1.2、1.6、2.0 mg/mL 的实验样品溶液各 2 mL。参考邻苯三酚自氧化法^[10]，

利用分光光度计于波长 320 nm 处，测定各个样品的吸光度。其中，1 号样品吸光度计为 B_1 ，2~6 号样品吸光度分别计为 B_X （ X 为样品编号）。以维生素 C（vitaminC，VC）的吸光度值为对比参照。 $\cdot\text{O}_2$ 清除率按照公式（2）计算：

$$\cdot\text{O}_2 \text{ 清除率}(\%) = (B_1 - B_X) / B_1 \times 100\% \quad (2)$$

式中： B_1 为空白对照样品吸光度值； B_X 为 2~6 号实验样品吸光度值。

1.6 实验方案

1.6.1 单因素实验

设定料液比、提取温度、超声波功率、超声波时间四项因素为单因素实验因素，评价指标为山楂皮渣果胶得率，分析研究各项实验因素变化所产生的影响与作用。

设定基础实验因素条件为：提取温度 55 °C、超声波功率 300 W、超声波时间 50 min，研究“料液比”在不同水平下（1 : 5、1 : 10、1 : 15、1 : 20、1 : 25 g/mL），对山楂皮渣中果胶得率的影响与作用规律。

设定基础实验因素条件为：料液比 1 : 15、超声波功率 300 W、超声波时间 50 min，研究“提取温度”在不同水平下（25、40、55、70、85 °C），对山楂皮渣中果胶得率的影响与作用规律。

设定基础实验因素条件为：料液比 1 : 15、提取温度 55 °C、超声波时间 50 min，研究“超声波功率”在不同水平下（100、200、300、400、500 W），对山楂皮渣中果胶得率的影响与作用规律。

设定基础实验因素条件为：料液比为 1 : 15、提取温度为 55 °C、超声波功率为 300 W，研究“超声波时间”在不同水平下（10、30、50、70、90 min），对山楂皮渣中果胶得率的影响与作用规律。

1.6.2 响应面法实验

在单因素实验结果的基础上，响应面法实验依然以料液比（ X_1 ）、提取温度（ X_2 ）、超声波功率（ X_3 ）、超声波时间（ X_4 ）为自变量，山楂皮渣中果胶得率（ Y ）为响应值，进行响应面优化实验。响应面实验设计因素水平编码表如表 1 所示。

1.7 数据处理

采用 Design-expert10.0 软件进行实验设计，并进行数据分析。

表 1 响应面实验设计因素水平编码表
 Table 1 Response surface experimental design factor level coding table

水平	料液比/ (g : mL)	提取 温度/℃	超声波 功率/W	超声波 时间/min
-1	1 : 25	55	300	30
0	1 : 20	70	400	50
1	1 : 15	85	500	70

2 结果与分析

2.1 单因素实验结果

2.1.1 料液比实验结果与分析

随着料液比的增加, 山楂皮渣果胶得率呈现出先上升后下降的总体趋势, 如图 1 所示。其中, 料液比在 1 : 5~1 : 20 的区间, 果胶得率呈上升趋势; 料液比在 1 : 20~1 : 25 的区间, 果胶得率呈下降趋势; 取得最高果胶得率的料液比为 1 : 20。原因可能是: 料液比中果胶浓度过大, 会导致果胶溶解不够充分, 进而造成果胶不能够完全进行提取^[11]。因此, 结合本次实验结果, 在响应面法实验设计方案中, 料液比适宜选择 1 : 15、1 : 20、1 : 25 三个水平。

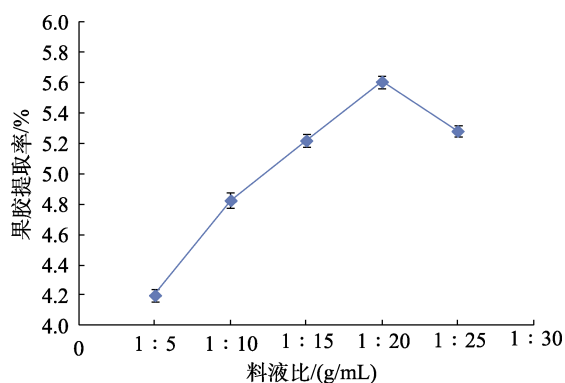


图 1 不同料液比条件下果胶提取率变化示意图

Fig.1 Schematic diagram of the change of pectin extraction rate under different ratio of solid to liquid conditions

2.1.2 提取温度实验结果与分析

随着提取温度的增加, 山楂皮渣果胶得率呈现出先缓慢上升后迅速下降的总体趋势(如图 2)。其中, 提取温度在 25~70 ℃ 的区间, 果胶得率呈缓慢上升趋势; 提取温度在 70~85 ℃ 的区间, 果胶得率呈迅速下降趋势; 取得最高果胶得率的提取温度为 70 ℃。原因可能是: 在较低提取温度条件下, 植物细胞膜流动性会随着提取温度的增

加而提升, 植物细胞膜流动性的提升有助于果胶从植物细胞膜中渗透出来; 当提取温度超过一定范围之后, 高温将会使部分果胶结构发生改变, 进而导致果胶得率降低^[12]。因此, 结合本次实验结果, 在下步响应面法实验设计当中, 提取温度适宜选择 55、70、85 ℃ 三个水平。

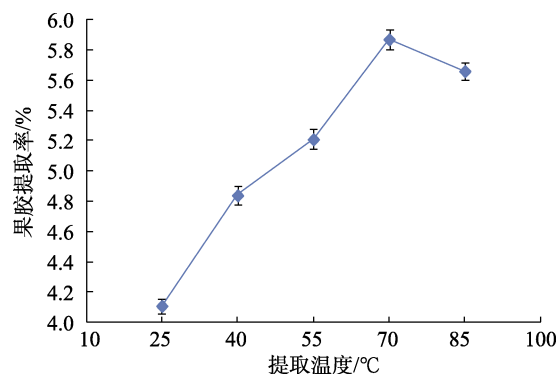


图 2 不同提取温度条件下果胶提取率变化示意图

Fig.2 Schematic diagram of the change of pectin extraction rate under different extraction temperature conditions

2.1.3 超声波功率实验结果与分析

随着超声波功率的增大, 山楂皮渣果胶得率呈现出先上升后下降的总体趋势(如图 3)。其中, 超声波功率在 100~400 W 的区间, 果胶得率呈上升趋势; 超声波功率在 400~500 W 的区间, 果胶得率呈下降趋势; 取得最高果胶得率的超声波功率为 400 W。原因可能是: 超声波功率在一定范围之内, 超声波空化效应所产生的微射流冲击力与超声波功率呈正比例增加关系, 微射流冲击力的增加会加速山楂皮渣细胞组织的破裂, 释放出更多的果胶分子; 当超声波功率超过一定范围之后, 会使溶液中产生气泡, 而这些气泡将会阻碍容器中提取

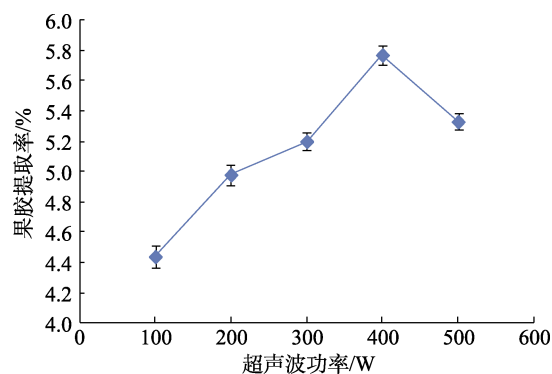


图 3 不同超声波功率条件下果胶提取率变化示意图

Fig.3 Schematic diagram of the change of pectin extraction rate under different ultrasonic power conditions

反应,致使果胶得率下降^[13]。因此,结合本次实验结果,在下步响应面法实验设计当中,超声波功率适宜选择 300、400、500 W 三个水平。

2.1.4 超声波时间实验结果与分析

随着超声波时间的延长,山楂皮渣果胶得率呈现出先上升后下降的总体趋势(如图 4)。其中,超声波时间在 10~50 min 的区间,果胶得率呈上升趋势;超声波时间在 50~90 min 的区间,果胶得率呈下降趋势;取得最高果胶得率的超声波时间为 50 min。原因可能是:超声波时间过短,超声波空化效应所产生的微射流冲击力不足以使足量的山楂皮渣细胞组织的破裂,影响果胶分子的释放;超声波时间过长,所产生的机械剪切力将会使部分果胶结构发生改变,进而导致果胶得率降低^[14]。因此,结合本次实验结果,在下步响应面法实验设计当中,超声波时间适宜选择 30、50、70 min 三个水平。

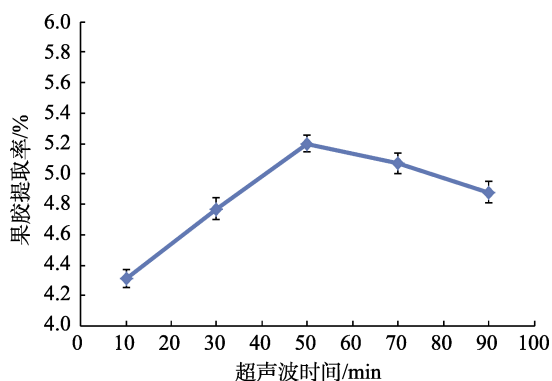


图 4 不同超声波时间条件下果胶提取率变化示意图

Fig.4 Schematic diagram of the change of pectin extraction rate under different ultrasonic time conditions

2.2 响应面法实验结果

2.2.1 响应面法实验设计

在单因素实验结果的基础上,以料液比(X_1)、提取温度(X_2)、超声波功率(X_3)、超声波时间(X_4)为响应面实验设计因素,以山楂皮渣中果胶得率(Y)为响应面值,构建响应面数学模型。表 2 为响应面实验设计与结果。表 3 为响应面实验结果方差分析。

本次响应面数学模型的回归方程为:

$$Y=5.8+0.36X_1+0.077X_2+0.084X_3+0.08X_4+0.046X_1^2-0.23X_2^2-0.25X_3^2-0.35X_4^2+0.013X_1X_2+0.018X_1X_3+$$

$$0.13X_1X_4+0.15X_2X_3-0.028X_2X_4-0.035X_3X_4$$

表 2 响应面实验设计与结果

Table 2 Design and result of response surface test

序号	料液比/ (g : mL)	提取 温度/℃	超声波 功率/W	超声波 时间/min	果胶得 率/%
1	-1	-1	0	0	5.15
2	1	-1	0	0	6.01
3	-1	1	0	0	5.20
4	1	1	0	0	6.11
5	0	0	-1	-1	5.03
6	0	0	1	-1	5.19
7	0	0	-1	1	5.28
8	0	0	1	1	5.30
9	-1	0	0	-1	5.22
10	1	0	0	-1	5.52
11	-1	0	0	1	5.17
12	1	0	0	1	5.98
13	0	-1	-1	0	5.19
14	0	1	-1	0	5.14
15	0	-1	1	0	5.15
16	0	1	1	0	5.70
17	-1	0	-1	0	5.18
18	1	0	-1	0	5.89
19	-1	0	1	0	5.30
20	1	0	1	0	6.08
21	0	-1	0	-1	5.09
22	0	1	0	-1	5.28
23	0	-1	0	1	5.24
24	0	1	0	1	5.32
25	0	0	0	0	5.79
26	0	0	0	0	5.81
27	0	0	0	0	5.72
28	0	0	0	0	5.85
29	0	0	0	0	5.83

回归方程的一次项的 F 值与各实验因素对山楂皮渣果胶得率的影响呈正相关关系: F 值越大,说明该因素对果胶得率的影响越大。由表 3 可知:各实验因素对山楂皮渣中果胶得率的影响由大到小依次为:料液比(X_1)>超声波功率(X_3)>超声波时间(X_4)>提取温度(X_2)。

从一次项看, X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 均与 Y 呈正相关,且对 Y 的影响均达到了极显著水平。

从二次项看, X_1^2 与 Y 呈正相关,且对 Y 的影响不显著; X_2^2 、 X_3^2 、 X_4^2 与 Y 呈负相关,且对 Y 的影响达到了极显著水平。

表 3 响应面实验方差分析
 Table 3 Variance analysis of response surface test

来源	系数	自由度	平方和	均方差	F	Pr>F	显著性
X_1	0.360	1	1.590 0	1.590 0	205.86	<0.000 1	**
X_2	0.077	1	0.071 0	0.071 0	9.12	0.009 2	**
X_3	0.084	1	0.085 0	0.085 0	11.00	0.005 1	**
X_4	0.080	1	0.077 0	0.077 0	9.93	0.007 1	**
X_1^2	0.046	1	0.014 0	0.014 0	1.79	0.201 7	
X_2^2	-0.230	1	0.350 0	0.350 0	45.36	<0.000 1	**
X_3^2	-0.250	1	0.410 0	0.410 0	52.97	<0.000 1	**
X_4^2	-0.350	1	0.810 0	0.810 0	104.26	<0.000 1	**
X_1X_2	0.013	1	0.000 6	0.000 6	0.08	0.780 3	
X_1X_3	0.018	1	0.001 2	0.001 2	0.16	0.696 6	
X_1X_4	0.130	1	0.065 0	0.065 0	8.41	0.011 6	*
X_2X_3	0.150	1	0.090 0	0.090 0	11.64	0.004 2	**
X_2X_4	-0.028	1	0.003 0	0.003 0	0.39	0.541 7	
X_3X_4	-0.035	1	0.004 9	0.004 9	0.63	0.439 2	
模型		14	3.330 0	0.240 0	30.81	<0.000 1	**
残差		14	0.110 0	0.007 7			
失拟项		10	0.098 0	0.009 8	3.93	0.099 6	
纯误差		4	0.001 0	0.002 5			
总和		28	3.440 0				

注：极显著水平 ($P<0.01$) 标记为**；显著水平 ($P<0.05$) 标记为*。

Note: The extremely significant level ($P<0.01$) marked as **; Significantly ($P<0.05$) marked as*.

从交互项看, X_1X_2 、 X_1X_3 、 X_1X_4 、 X_2X_3 与 Y 呈正相关, 其中 X_1X_2 、 X_1X_3 对 Y 的影响不显著, X_1X_4 对 Y 的影响达到了显著水平, X_2X_3 对 Y 的影响达到了极显著水平; X_2X_4 、 X_3X_4 与 Y 呈负相关, 且对 Y 的影响不显著。

表 3 显示失拟项的 F 值为: $F_{\text{失拟}}=3.93<F_{0.05}(4, 10)=5.99$, 说明本次响应面实验设计的数学模型拟合程度较好。同时从表 3 中可以看出, 本次响应面实验设计所建立的数学模型 F 值达到极显著水平, 说明通过响应面数学模型的回归方程可以较为准确地预测实验结果^[15]。

结合图 5 中双因素交互作用响应面及等高线分布情况可知, 提取温度(X_2)与超声波功率(X_3)的交互项的响应面图曲面坡度最为陡峭、等高线密集呈椭圆形, 这就意味着相对其他交互项而言, 提取温度(X_2)与超声波功率(X_3)的交互项的对山楂皮渣果胶得率(Y)影响最为显著, 这一分析结果也与上文中 X_2X_3 对 Y 的影响达到了极显著水平结论一致。

2.2.2 响应面实验设计最优组合选择

利用 design-expert 极值分析工具进行分析,

得出获得高山楂皮渣果胶得率的最佳工艺条件为: 料液比为 1 : 15、提取温度为 73.78 °C、超声波功率为 425.776 W、超声波时间为 55.488 min。在此条件下, 山楂皮渣中果胶得率的理论预测值为 6.263%。结合现有实验设备的可控范围, 修正最优提取参数为: 料液比为 1 : 15、提取温度为 74 °C、超声波功率为 425 W、超声波时间为 55 min。按照这一条件进行三次平行验证, 果胶得率平均值为 6.154%±0.041%, 与理论预测值的相对误差为 1.77%, 符合统计学相对误差不超过 10%的要求^[16], 说明利用该回归模型预测山楂皮渣中果胶得率可信度良好。

2.3 山楂皮渣果胶提取物抗氧化性实验

2.3.1 •OH 清除能力实验

临床医学研究证实, 人体中的•OH 中具有较强氧化活性, 细胞中过多的•OH 会导致血清抗蛋白酶失活以及基因的变异, 诱发人体出现各种慢性疾病^[17]。图 6 显示, 随着质量浓度的增加, 山楂皮渣提取果胶与 VC 对•OH 的清除能力呈现出同样的变化趋势, 即先上升后趋于稳定。在质

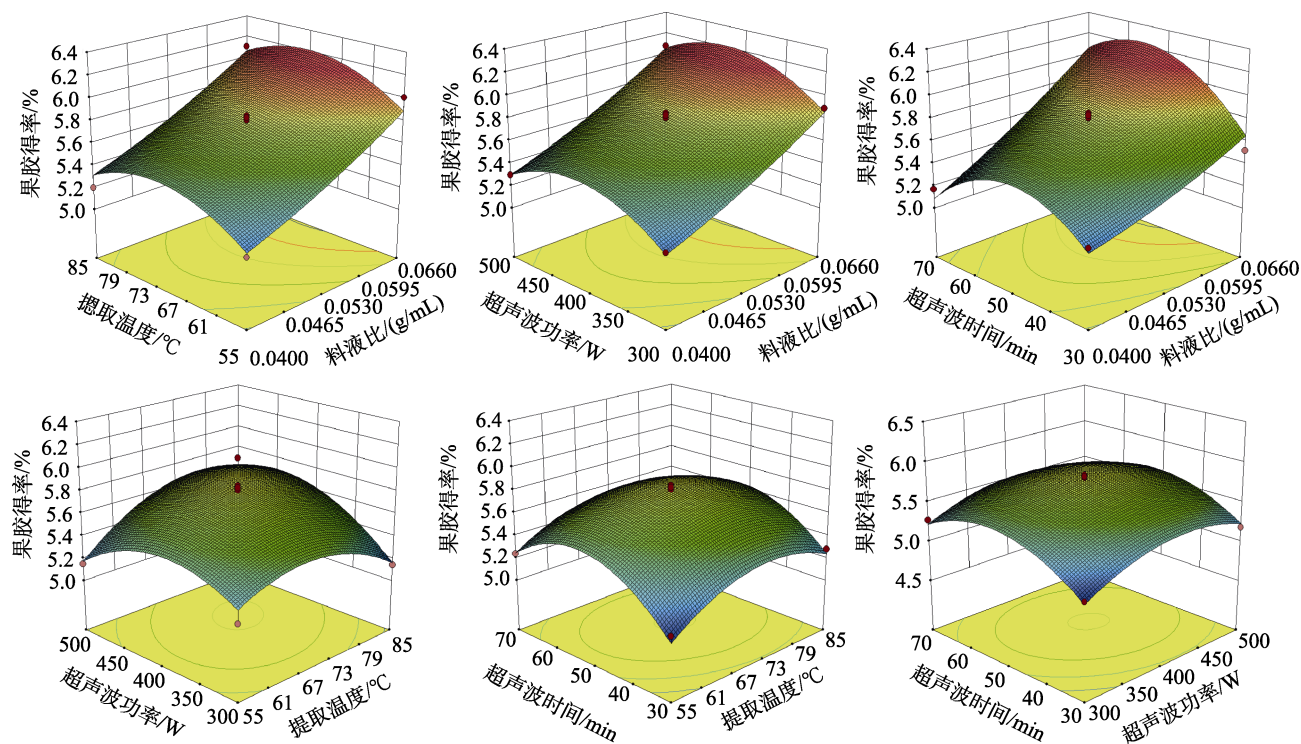


图 5 响应面交互作用及等高线分布状况

Fig.5 Response surface interaction and contour distribution

量浓度为 0.4、0.8、1.2、1.6、2.0 mg/mL 的条件下, 所提取果胶对 $\cdot\text{OH}$ 的清除率是 VC 对 $\cdot\text{OH}$ 的清除率的 63.22%、66.87%、82.43%、91.66%、91.54%。由此可见, 随着质量浓度的提升, 山楂皮渣提取果胶对 $\cdot\text{OH}$ 的清除水平越来越接近于 VC 对 $\cdot\text{OH}$ 的清除水平, 这也说明了本次实验所提取果胶对于 $\cdot\text{OH}$ 具有良好的清除效果。

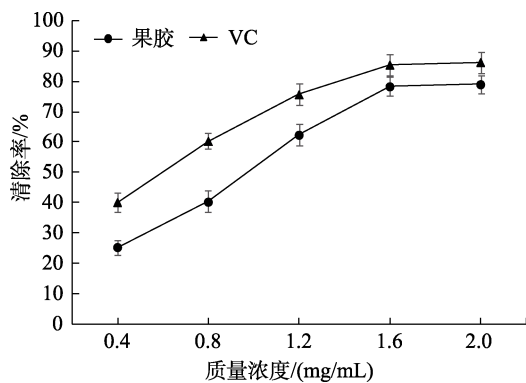
图 6 山楂皮渣果胶提取物与 VC 对 $\cdot\text{OH}$ 的清除能力

Fig.6 Scavenging ability of pectin extract from Hawthorn peel residue and VC on hydroxylradical

2.3.2 $\cdot\text{O}_2^-$ 清除能力实验

临床医学研究证实, 人体中的 $\cdot\text{O}_2^-$ 同样具有较强氧化活性, 其作用机理主要是加速人体细胞内的脂质类物质过氧化反应, 造成细胞内有害物质

沉积, 引发心脑血管疾病、癌症等难以治愈的疾病^[18]。图 7 显示, 随着质量浓度的增加, 山楂皮渣提取果胶与 VC 对 $\cdot\text{O}_2^-$ 的清除能力呈现出同样的变化趋势, 即先上升后趋于稳定。在质量浓度为 0.4、0.8、1.2、1.6、2.0 mg/mL 的条件下, 所提取果胶对 $\cdot\text{O}_2^-$ 的清除率是 VC 对 $\cdot\text{O}_2^-$ 的清除率的 55.33%、54.54%、67.84%、75.69%、76.39%。由此可见, 随着质量浓度的提升, 山楂皮渣提取果胶对 $\cdot\text{O}_2^-$ 的清除水平越来越接近于 VC 对 $\cdot\text{O}_2^-$ 的清除水平, 这也说明了本次实验所提取果胶对于 $\cdot\text{O}_2^-$ 具有良好的清除效果。

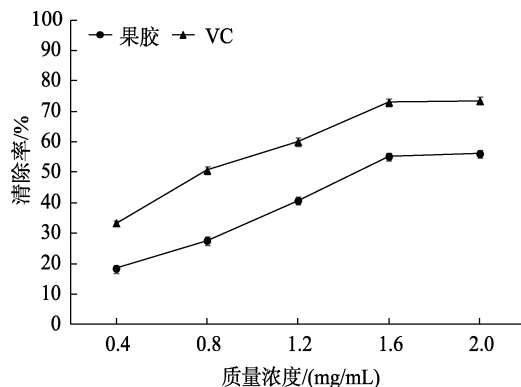
图 7 山楂皮渣果胶提取物与 VC 对 $\cdot\text{O}_2^-$ 的清除能力

Fig.7 Scavenging ability of pectin extract from Hawthorn peel residue and VC on Super oxide anion radical

3 结论与讨论

本研究在单因素实验分析料液比、提取温度、超声波功率、超声波时间对山楂皮渣中果胶得率影响的基础上,采用响应面实验设计确定了最优山楂皮渣果胶超声波辅助提取工艺参数。结合实验实际操作条件进行修正后,最终确定最优提取工艺参数为:料液比为 1:15、提取温度为 74℃、超声波功率为 425 W、超声波时间为 55 min,该条件下山楂皮渣果胶得率为 6.154%±0.041%。传统的酸法直接加热提取山楂果胶方法虽然成本低廉,操作简便,但得率普遍低于 5%,且提取时间为 80 min 以上^[19]。与传统的酸法直接加热提取相比,采用超声波提取方式,山楂果胶得率明显增加,提取时间也大幅缩短,这说明超声波辅助提取山楂皮渣果胶是一种省时高效的提取方法。

抗氧化性实验证实,以 VC 作为·OH 和·O₂ 两类自由基清除效果的对照,本研究中的山楂皮渣果胶提取物对·OH、·O₂ 均具有良好的清除效果,这一结论与侯玉婷等^[20]的研究结果一致。

本研究为以山楂皮渣为原料的保健食品、化工产品的开发与利用提供了一定的理论基础与科学依据,对拓展山楂皮渣的利用价值、促进天然食源性抗氧化剂的开发,提供了研究思路。受实验条件的影响与限制,关于山楂皮渣果胶提取物的纯度和相应理化性质未能进行研究,这将作为下步关于山楂皮渣果胶提取物研究的主要方向之一。

参考文献:

- [1] 姚园,崔丽贤,刘素稳,等. 山楂功能成分及加工研究进展[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(15): 211-215.
YAO Y, CUI L X, LIU S W, et al. Research progress on functional components and processing of hawthorn[J]. Food Res Dev, 2017, 38(15): 211-215.
- [2] MIN Q, BAI Y T, ZHANG Y C, et al. Hawthorn leaf flavonoids protect against diabetes-induced cardiomyopathy in rats via PKC- α signaling pathway[J]. Evid-based Compl Alt, 2017, 2017: 2071952.
- [3] 高远,张立军. 我国山楂加工产业的现状及发展建议[J]. 中国果菜, 2020, 40(9): 36-39.
GAO Y, ZHANG L J. Current situation and development suggestions of hawthorn processing industry in China[J]. Chin Fruit Veget, 2020, 40(9): 36-39.
- [4] 刘慧,张春岭,陈大磊,等. 响应面法优化超声波提取山楂皮渣三萜酸工艺[J]. 保鲜与加工, 2017, 17(1): 53-59.
LIU H, ZHANG C L, CHEN D L, et al. Optimization of ultrasonic extraction of triterpene acid from hawthorn peel residue by response surface methodology[J]. Storage Process, 2017, 17(1): 53-59.
- [5] 王存堂,李子钰,张福娟,等. 山楂属果实不同组织乙醇提取物的抗氧化成分及性能研究[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(16): 117-122.
WANG C T, LI Z Y, ZHANG F J, et al. Research on antioxidant component and antioxidant capacities of the ethanolic extract in different tissues of hawthorn (*Crataegus pinnatifida* Bunge)[J]. Food Ferment Ind, 2021, 47(16): 117-122.
- [6] DEHGHANIS, MEHRIS, HOSSEINZADEHH. The effects of *Crataegus pinnatifida* (Chinese hawthorn) on metabolic syndrome: A review[J]. Iran J Bas Med Sci, 2019, 22(5): 460-468.
- [7] 许洪波,唐志书,刘澳昕,等. 山楂核化学成分与药理活性研究进展[J]. 中成药, 2018, 40(3): 674-680.
XU H B, TANG Z S, LIU A X, et al. Advances in the study of chemical constituents and pharmacological activities of hawthorn nuclei[J]. China Pat Med, 2018, 40(3): 674-680.
- [8] 郑植,庞林江. Box-Behnken 响应面法优化超声辅助提取木耳菜果胶及其抗氧化活性分析[J]. 食品科技, 2021, 46(4): 173-179.
ZHENG Z, PANG L J. Optimization of ultrasonic assisted extraction of pectin from basellarubra by box-behnken response surface and the evaluation of antioxidant activity in pectin[J]. Food Sci Technol, 2021, 46(4): 173-179.
- [9] 徐士钊,齐菲,席雅琳,等. 响应面法优化辽东槲木总皂苷提取工艺及其抗氧化作用[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(3): 204-209.
XU S Z, QI F, XI Y L, et al. Optimization of extraction process of total saponins from *Aralia elata* (Miq.) Seem by response surface analysis and its antioxidant activity[J]. Jiangsu Agr Sci, 2020, 48(3): 204-209.
- [10] 曹小燕,杨海涛. 微波-超声波协同辅助优化阳荷多糖提取工艺及抗氧化性分析[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(8): 68-74.
CAO X Y, YANG H T. Micro wave ultrasonic assisted optimization of extraction process and antioxidant analysis of Yang he polysaccharide[J]. Food Res Dev, 2020, 41(8): 68-74.
- [11] 肖力力,曹国璠,何天久,等. 马铃薯果胶的提取、结构、活性及应用研究进展[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(6): 190-197.
XIAO L L, CAO G P, HE T J, et al. Study on the extraction, structure, activity and application of potato pectin[J]. Food Res Dev, 2021, 42(6): 190-197.
- [12] DEY S, RATHODVK. Ultra sound assisted extraction of β -carotene from *Spirulina platensis*[J]. Ultrason Sonochem, 2013, 20(1): 271-276.
- [13] YANG T, ZHANG Z H, SUN D W. Kinetic modeling of

- ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from grapemarc: Influence of acoustic energy density and temperature[J]. Ultrason Sonochem, 2014, 21(4): 211-216.
- [14] MOORTHYI, GANESHMJH, ILAKYAS, et al. Ultrasound assisted extraction of pectin from waste Artocarpusheterophyllus fruit peel[J]. UltrasonSonochem, 2017, 34: 174-181.
- [15] 张文婷, 王后玮, 潘金鹏, 等. 响应面法优化油茶壳中茶皂素提取工艺及 HPLC 验证[J]. 食品工业, 2019, 40(10): 75-79.
- ZHANG W T, WANG H W, PAN J P, et al. Optimization of extraction process and HPLC verification of tea saponin from oil tea shell by response surface methodology[J]. Food Ind, 2019, 40(10): 75-79.
- [16] 杨秀东, 白子凡, 徐永涛, 等. 响应面法优化托盘根总皂苷提取工艺及抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技, 2021, 42(18): 183-189.
- YANG X D, BAI Z F, XU Y T, et al. Optimization of extraction process of total saponins from rubuscrataegif oliusbunge. Root by response surface methodology and it santioxidant activity[J]. Sci Technol Food Ind, 2021, 42(18): 183-189.
- [17] TAYYEBE, HATAMI, SAYYEDA, et al. Total phenolic contents and antioxidant activities of different extracts and fractions from the aerial parts of Artemisia biennis wild[J]. Iran J Pharm Res. 2014, 13(2): 551-559.
- [18] DELGADILLOP, CLAUDIA, CUCHILLO-HILARIO, et al. Phenolic compounds inorganic and aqueous extracts from acacia farnesiana pods analyzed by ULPS-ESI-Q-oe/TOF-MS invitro antioxidant activity and anti-inflammatory responsein CD-1 Mice[J]. Mol (Basel, Swi), 2018, 23(9): 231-238.
- [19] 刘晓莉, 姜少娟. 山楂果胶提取工艺的研究[J]. 黑龙江农业科学, 2014(10): 107-112.
- LIU X L, JIANG S J. Study on the extraction processs of hawthorn pectin[J]. Heilongjiang Agric Sci, 2014(10): 107-112.
- [20] 侯玉婷, 张鑫雨, 苏金芳, 等. 响应面优化酶法辅助提取山楂果胶及其体外抗氧化和抗糖化活性[J]. 食品工业科技, 2018, 39(22): 180-186.
- HOU Y T, ZHANG X Y, SU J F, et al. Optimization of enzymatic-assisted extraction of hawpectin by response surface methodology and its anti-oxidation/glycation activities invitro[J]. Sci Technol Food Ind, 2018, 39(22): 180-186. 完

备注: 本文的彩色图表可从本刊官网 (<http://lspkj.ijournal.cn>)、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。