

β -环糊精辅助提取黑果腺肋花楸多酚的工艺优化

李瑜, 王周利, 蔡瑞, 杨逍迪, 岳田利, 袁亚宏, 崔璐

(西北农林科技大学食品科学与工程学院, 陕西杨凌 712100)

摘要: 本研究以黑果腺肋花楸为原料, β -环糊精为提取介质, 探究了 β -环糊精辅助提取黑果腺肋花楸中多酚类物质的可行性, 并对 β -环糊精所提取的多酚物质进行了分析。本研究在单因素试验的基础上, 选取 β -环糊精提取的最佳浓度、提取温度和提取时间进行三因素三水平 Box-Behnken 响应面试验, 应用 Design-Expert 8.0.6 软件得到最佳提取条件, 并对最佳提取条件的多酚类物质进行 HPCL 分析。结果表明: 黑果腺肋花楸中多酚类物质的最佳条件为提取温度 66 °C、提取时间 93 min、 β -环糊精浓度 33 g/L, 在该条件下, 多酚提取量为 12.93 mg/g。对 β -环糊精辅助提取所得黑果腺肋花楸多酚提取液进行 HPLC 分析, 结果显示提取液中含有的多酚种类有香草酸、表儿茶素、阿魏酸、绿原酸及咖啡酸, 它们的含量分别为 239.80 μ g/g、613.00 μ g/g、17.48 μ g/g、30.93 μ g/g 和 16.11 μ g/g。本研究表明 β -环糊精可辅助提取黑果腺肋花楸中多酚类物质, 为黑果腺肋花楸的开发与应用提供理论借鉴。

关键词: 黑果腺肋花楸; 多酚; 提取; β -环糊精

文章编号: 1673-9078(2021)05-188-195

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.5.0883

Optimization of β -cyclodextrin-assisted Extraction of Polyphenols from *Aronia melanocarpa*

LI Yu, WANG Zhou-li, CAI Rui, YANG Xiao-di, YUE Tian-li, YUAN Ya-hong, CUI Lu

(College of Food Science and Engineering, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

Abstract: In this study, *Aronia melanocarpa* was used as the raw material, β -cyclodextrin was used as the extraction medium, and the feasibility of β -cyclodextrin-assisted extraction of polyphenols from *Aronia melanocarpa* was explored. On the basis of single factor experiments, the optimal concentration of β -cyclodextrin, extraction temperature and extraction time were selected for the three-factor three-level Box-Behnken response surface test, and the Design-Expert 8.0.6 software was used to obtain the optimal extraction conditions. HPCL analysis of the polyphenols obtained under the optimal extraction conditions was performed. The results showed that the optimal conditions for extracting the polyphenols in *Aronia melanocarpa* were: temperature, 66 °C; extraction duration, 93 min; β -cyclodextrin concentration, 33 g/L. Under these conditions, the amount of extracted polyphenols was 12.93 mg/g. The HPLC analysis of the polyphenol extract of *Aronia melanocarpa* obtained by β -cyclodextrin-assisted extraction showed that the polyphenols contained in the extract were vanillic acid, epicatechin, ferulic acid, chlorogenic acid and caffeic acid, with their contents were as 239.80 μ g/g, 613.00 μ g/g, 17.48 μ g/g, 30.93 μ g/g, and 16.11 μ g/g, respectively. This research shows that β -cyclodextrin can assist the extraction of polyphenols from *Aronia melanocarpa*, which provides a theoretical reference for the development and application of *Aronia melanocarpa*.

Key words: *Aronia melanocarpa*; polyphenols; extraction; β -cyclodextrin

引文格式:

李瑜,王周利,蔡瑞,等. β -环糊精辅助提取黑果腺肋花楸多酚的工艺优化[J].现代食品科技,2021,37(5):188-195

LI Yu, WANG Zhou-li, CAI Rui, et al. Optimization of β -cyclodextrin-assisted extraction of polyphenols from *Aronia melanocarpa* [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(5): 188-195

黑果腺肋花楸又名不老莓、野樱莓, 是蔷薇科,

收稿日期: 2020-09-22

基金项目: 陕西省重点研发计划项目 (2019NY-107)

作者简介: 李瑜 (1997-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 农产品加工与质量安全

通讯作者: 崔璐 (1981-), 女, 博士, 高级实验师, 研究方向: 农产品加工与质量安全检测

腺肋花楸属多年生落叶灌木, 原产地在美国东北部, 在 20 世纪 90 年代初, 为改善土壤、环境条件, 引入我国辽宁省西北部^[1,2]。其果实为紫黑色圆形浆果, 可加工成果汁、果酒、果酱、罐头、果脯等食品和饮料, 是一种具有极高营养价值与经济价值的新型小浆果^[3]。研究表明, 黑果腺肋花楸果实中富含花青素、原花青素和酚酸等多酚类物质^[4], 且多酚含量是已知

植物中最高^[5]。这些多酚类物质具有极强的抗氧化活性^[6]、抗衰老^[7]、抗癌^[8]、预防心脑血管疾病^[9]、免疫调节和抗炎^[10]等功能,可以保持人体正常生理机能。目前,黑果腺肋花楸中多酚类物质的提取大多采用溶剂提取法,如 Wangenstein 等^[11]使用 80%乙醇作为溶剂提取黑果腺肋花楸浆果酚类物质;郑悦等^[12]分别用水、50%~100%乙醇溶液和 50%~100%甲醇溶液作为提取溶剂提取黑果腺肋花楸中花色苷。但有机溶剂具有一定的危害性,因此尝试使用无污染的有机食品添加剂 β -环糊精提取多酚具有一定的研究价值。

近年来,利用 β -环糊精作为提取剂,提取植物重要活性成分的研究逐渐增多^[13]。 β -环糊精是一种环状低聚糖,具有外亲水、内疏水的独特结构^[14]。在水溶液中,由于其特殊的环状中空圆筒型结构,可以选择性的包合大小和形状合适的分子形成 β -环糊精包合物,如挥发油和多酚类化合物等^[15]。朱德艳^[16]采用 β -环糊精为辅助材料对紫茄皮中的花青素进行提取。冯欢欢等^[17]以 β -环糊精为提取介质,蒸馏水为提取溶剂,从茶末中提取多酚类物质。与有机溶剂提取相比,采用 β -环糊精提取多酚物质,更安全、经济和环保^[18]。

本试验首先通过单因素试验和响应面优化试验得到 β -环糊精提取黑果腺肋花楸中多酚的最佳条件,然后在最佳提取条件下对 β -环糊精提取的黑果腺肋花楸多酚类物质进行 HPLC 分析。本研究旨在探讨 β -环糊精辅助提取黑果腺肋花楸中多酚类物质的可行性,以期黑果腺肋花楸的开发利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

黑果腺肋花楸冻果(产自辽宁省),除去叶片、枝干等杂质后常温解冻,榨汁机充分打碎果实至浆(成汁状),置于棕色瓶于 4℃冰箱中密封储存备用。

甲醇:分析纯,四川西陇化工有限公司; β -环糊精:分析纯,天津市科密欧化学试剂有限公司;福林酚:分析纯,北京索莱宝科技有限公司;没食子酸:分析纯,天津市科密欧化学试剂有限公司;无水碳酸钠:分析纯,四川西陇化工有限公司;乙腈,色谱纯,安徽天地高纯溶剂有限公司;乙酸、甲醇,色谱纯,天津市科密欧化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

HR2096 飞利浦搅拌机:飞利浦电子香港有限公司;SBL-30DTY 超声波恒温清洗机:宁波新芝生物科技有限公司;JA2003 电子分析天平:上海舜宇恒平科

学仪器有限公司;RE-5205 旋转蒸发器:上海亚荣生化仪器厂;HC-3018R 高速冷冻离心机:安徽中科中佳科学仪器有限公司;优普超纯水制造系统:西安优普仪器设备有限公司;UVmini-1240 紫外可见分光光度计、LC-20ADpump 高效液相色谱仪:岛津公司。

1.3 试验方法

1.3.1 多酚物质的提取

准确称取 3.0 g 黑果腺肋花楸匀浆置于 50 mL 具塞三角瓶中,分别加入水、50%甲醇溶液和 33 g/L β -环糊精溶液各 20 mL,在功率 400 W、33 kHz、温度 40℃条件下,超声提取 60 min 后,于 5000×g、4℃条件下离心 10 min。分别取上清液 1.0 mL 旋转蒸干,用 20 mL 甲醇溶解多酚并沉淀 β -环糊精,过滤,将上清液置于 50 mL 锥形瓶中封口避光待用。

1.3.2 总酚含量的测定

采用福林-酚法测定总酚含量^[19]。配制没食子酸的质量浓度分别为 0、2、4、8、16、32、64、100 $\mu\text{g/mL}$,量取 0.5 mL 没食子酸溶液于 10 mL 离心管中,依次加入 2.0 mL 7.5% Na_2CO_3 溶液和 2.0 mL 蒸馏水和 0.5 mL Folin-Ciocalteu 试剂,摇匀,于 40℃水浴中避光反应 90 min 后,在波长 765 nm 处测定吸光度,平行设计 3 组试验。以没食子酸质量浓度(C)为横坐标,吸光度(A)为纵坐标,绘制标准曲线,得回归方程。

其中按照标准曲线制作方法,测定样品吸光度,多酚含量的计算公式如下:

$$Y_1 = \frac{X_1 \times V_1 \times N_1}{M_1}$$

式中: Y_1 为样品中多酚的浓度(mg/g); X_1 为样品中多酚的浓度(mg/mL); V_1 为样液体积(mL); N_1 为稀释倍数; M_1 为样品的质量(g)。

1.3.3 单因素试验

准确称取 3.0 g 黑果腺肋花楸匀浆置于 50 mL 具塞三角瓶中,分别考察 β -环糊精质量浓度(5、10、15、20、25、30、35 g/L)、温度(30、40、50、60、70℃)及提取时间(20、40、60、80、100 min)对多酚提取率的影响。

1.3.4 响应面优化试验

表 1 响应面试验因素水平及编码

Table 1 Response surface test factor level and coding

因素	水平		
	-1	0	1
A-提取温度/℃	50	60	70
B-提取时间/min	60	80	100
C- β -环糊精质量浓度/(g/L)	25	30	35

在单因素试验的基础上,采用统计分析软件 Design-Expert 8.0.6 中 Box-Behnken 试验方法^[20],以 β -环糊精浓度、提取温度和提取时间为自变量,以多酚的提取量为响应值,设计 3 因素 3 水平试验方案,试验因素水平及编码见表 1。

1.3.5 HPLC 分析

色谱条件:岛津 HPLC 系统(LC20AD 高压泵、SPD-M20A 型二极管、CTO-10AS 柱温箱);色谱柱:Agilent5 TC-C18 250×4.6 mm;柱温 30℃;流动相 A 为乙腈(含 0.5%乙酸):超纯水=1:1,流动相 B 为 2%乙酸超纯水溶液;280 nm、320 nm 双通道检测;洗脱程序:洗脱程序:0 min~3 min, A 为 10%, 3 min~15 min, A 为 15%, 15 min~25 min, A 为 45%, 25 min~35 min, A 为 55%, 35 min~45 min, A 为 80%, 45 min~50 min, A 为 80%, 50 min~51 min, 回到初始状态。

精确称取 9 种多酚标准品(香草酸、表儿茶素、p-香豆酸、阿魏酸、根皮苷、肉桂酸、绿原酸、咖啡酸、槲皮素)各 1.0 mg,配置成 5 mL 0.02 mg/mL 单标和混标,经液相分析得到单标和混标图,通过保留时间对混合标准色谱图中的各个峰进行定性,并通过峰面积进行定量。

1.3.6 数据处理

单因素试验采用 Excel 2010 进行数据处理。Box-Behnken 设计采用统计分析软件 Design Expert 8.0.6 对响应面实验数据进行二次多项回归拟合方差分析、显著性检测和响应面分析,获取回归模型及最佳提取工艺参数^[21]。

2 结果与分析

2.1 标准曲线的制备

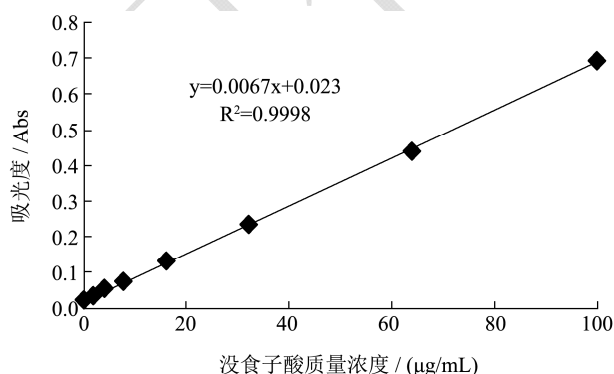


图1 没食子酸标准曲线

Fig.1 Gallic acid standard curve

由线性模拟试验结果得标准曲线如图 1 所示,没食子酸标准的线性回归方程为 $y=0.0067x+0.023$,由回

归系数 ($R^2=0.9998$) 可知,当没食子酸浓度在 0~100 $\mu\text{g/mL}$ 范围内时,没食子酸浓度和吸光度线性关系良好。

2.2 单因素试验结果

2.2.1 β -环糊精浓度对黑果腺肋花楸提取多酚的影响

如图 2 所示,在超声 400 W、33 kHz、40℃、60 min 的提取条件下,当 β -环糊精浓度从 5 g/L 升高至 25 g/L 时,多酚的提取量显著增加,从 6.46 mg/g 提高到 8.19 mg/g,这是因为 β -环糊精的浓度提高,提取过程中形成的 β -环糊精-多酚包合物越多,最终得到的多酚提取量也越多;再继续增大 β -环糊精的浓度至 35 g/L,提取的多酚量没有显著性增加,为 8.37 mg/g (30 g/L)、8.34 mg/g (35 g/L)。因此,选择 β -环糊精质量浓度 25 g/L、30 g/L、35 g/L 进行后续响应面优化试验。

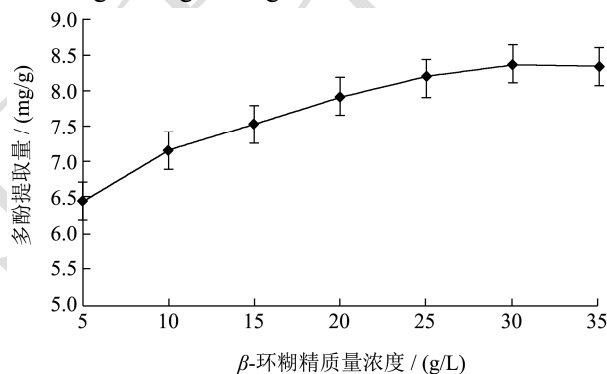


图2 β -环糊精浓度对黑果腺肋花楸提取多酚的影响

Fig.2 The effect of β -cyclodextrin concentration on the extraction of polyphenols from *Aronia melanocarpa*

2.2.2 提取温度对 β -环糊精提取黑果腺肋花楸中多酚的影响

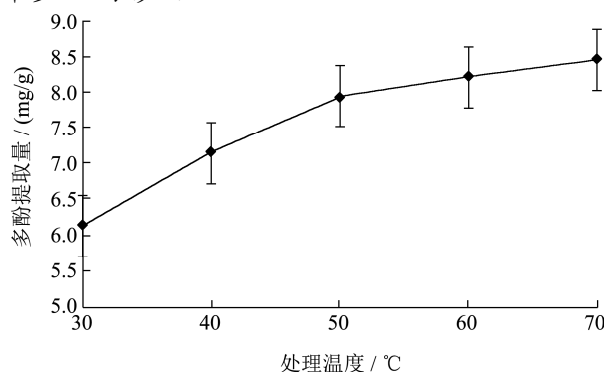


图3 提取温度对 β -环糊精辅助提取黑果腺肋花楸中多酚的影响

Fig.3 The effect of extraction temperature on β -cyclodextrin-assisted extraction of polyphenols from *Aronia melanocarpa*

如图 3 所示,在 β -环糊精浓度为 15 g/L,超声 400

W、33 Hz、提取时间 60 min 的提取条件下, 提取温度从 30 ℃ 升高到 50 ℃ 时, 多酚的提取量显著增加, 从 6.14 mg/g 提高到 7.96 mg/g, 分析原因可能是因为温度升高有利于多酚的溶出; 继续升高提取的温度至 70 ℃, 多酚的提取量没有显著性增加, 为 8.21 mg/g (60 ℃)、8.46 mg/g (70 ℃)。判断可能是因为温度升高一方面导致 β -环糊精-多酚包合物脱包合, 另一方面部分多酚被氧化, 多酚浓度不再上升^[22]。因此, 选择提取温度 50 ℃、60 ℃、70 ℃ 进行后续响应面优化试验。

2.2.3 提取时间对 β -环糊精提取黑果腺肋花楸中多酚的影响

如图 4 所示, 在 β -环糊精浓度为 15 g/L, 超声 400 W、33 Hz、40 ℃ 的提取条件下, 提取时间从 20 min 延长至 80 min 时, 多酚的提取量显著增加, 从 6.48 mg/g 提高到 7.81 mg/g, 继续延长提取的时间至 100 min, 提取的多酚量没有显著性增加, 为 7.90 mg/g。判断可能是因为提取时间延长, 多酚的溶出已经达到

饱和, 故提取量趋于平衡。因此, 选择处理时间 60 min、80 min、100 min 进行后续响应面优化试验。

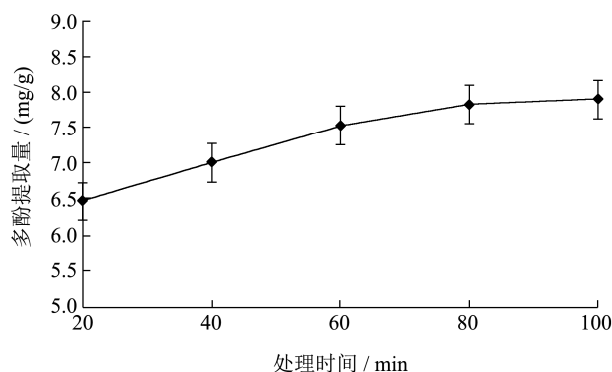


图 4 提取时间对 β -环糊精辅助提取黑果腺肋花楸中多酚的影响

Fig.4 The effect of extraction time on β -cyclodextrin-assisted extraction of polyphenols from *Aronia melanocarpa*

2.3 响应面试验结果

2.3.1 二次响应面回归模型的建立与方差分析

表 2 Box-Behnken 试验设计及结果

Table 2 Box-Behnken experimental design and results

序号	A-提取温度	B-提取时间	C- β -环糊精质量浓度	Y-多酚提取量/(mg/g)
1	0	1	1	12.32
2	0	-1	1	10.72
3	0	1	-1	10.60
4	0	-1	-1	8.91
5	-1	0	-1	5.89
6	1	0	1	11.91
7	-1	0	1	8.64
8	1	0	-1	12.11
9	-1	1	0	6.99
10	1	1	0	12.67
11	-1	-1	0	6.24
12	1	-1	0	10.74
13	0	0	0	11.54
14	0	0	0	12.14
15	0	0	0	10.91
16	0	0	0	11.28
17	0	0	0	11.68

响应面试验设计及结果见表 2。采用 Design-Expert 8.0.6 软件对表 2 试验数据进行回归分析, 得到方差分析结果见表 3。对各因素进行回归拟合, 得到多酚提取量 (Y) 和提取温度 (A)、提取时间 (B)、 β -环糊精质量浓度 (C) 之间的二次多项回归方程为:

$$Y=109.02+2.58A+0.23B+1.53C+1.46E-0.030AB-0.015AC-2.22E-0.040BC-0.017A^2-1.70E-0.030B^2-7.92E$$

$$-0.030C^2 \quad (R^2=0.9859)$$

对该模型回归方差分析, 结果如表 3 所示。由表可知: 此二次回归模型方程是显著的 ($p<0.0001<0.05$); 失拟项不显著 ($p=0.7888>0.05$), 说明该回归模型方程显著。相关系数 R^2 为 0.9859, 表明该模型的二次多项回归方程拟合良好, 即这种试验方法是准确可靠的, 可以使用该方程模拟真实的 3 因素 3 水平分析, 用该模型对

多酚得率进行分析和预测是可行的。模型的一次项 A、B、C、AC 和二次项 A^2 、 B^2 对多酚提取量的影响极显著 ($p<0.01$)；其他项对多酚提取量的影响不显著。其中各变量的一次项 F 值能很好地反应各因素 (β -环糊精

质量浓度、提取温度及提取时间) 对多酚得率影响的大小，且 F 值越大说明对多酚提取率的影响越大^[23]，因此可知回归方程一次项系数表明影响因素的主次顺序为提取温度> β -环糊精质量浓度>提取时间。

表 3 回归模型方差分析

Table 3 Analysis of variance of regression model					
变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	p 值
Model	74.62	9	8.29	54.27	<0.0001
A-温度	48.35	1	48.35	316.42	<0.0001
B-时间	4.44	1	4.44	29.08	0.0010
C- β -环糊精质量浓度	4.63	1	4.63	30.27	0.0009
AB	0.34	1	0.34	2.22	0.1801
AC	2.18	1	2.18	14.26	0.0069
BC	0.00	1	0.00	0.01	0.9129
A^2	11.76	1	11.76	76.99	<0.0001
B^2	1.93	1	1.93	12.60	0.0093
C^2	0.17	1	0.17	1.08	0.3331
残差	1.07	7	0.15		
失拟项	0.23	3	0.08	0.36	0.7888
纯误差	0.84	4	0.21		
总和	75.69	16			

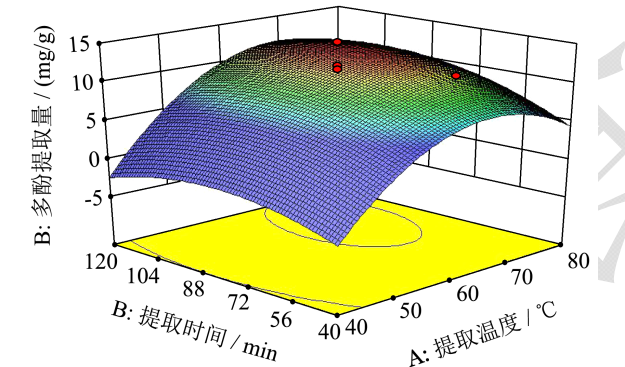


图 5 提取温度和提取时间的响应面图

Fig.5 The contour map of extraction temperature and extraction time

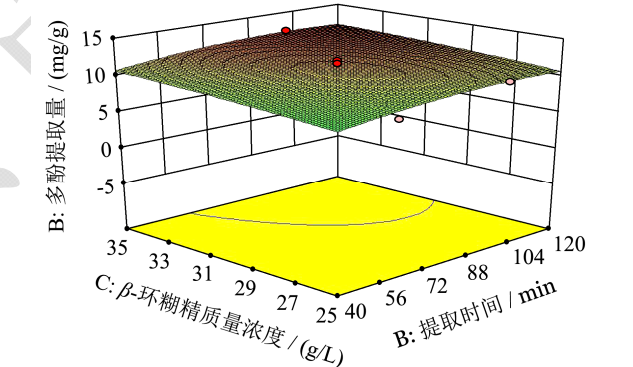


图 7 提取时间和 β -环糊精质量浓度的响应面图

Fig.7 The contour map of extraction time and β - cyclodextrin mass concentration

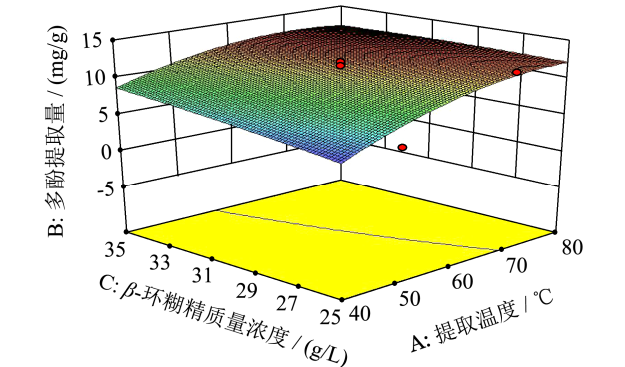


图 6 提取温度和 β -环糊精质量浓度的响应面图

Fig.6 The contour map of extraction temperature and β -cyclodextrin mass concentration

2.3.2 两因素交互作用的分析

通过 DesignExpert 8.0.6 软件对回归结果做响应面，结果见图 5~7。各图显示了 β -环糊精质量浓度、提取温度和提取时间中任意 1 个变量处于零平时，其余 2 个变量对多酚得率的影响。其中响应曲面的坡度反映出因素之间两两交互作用对响应值的影响，坡度越陡峭响应值越敏感^[24]。

通过比较图 5~图 7 可知，图形均成向上的凸状，其中提取温度和提取时间的交互作用对多酚提取量的影响最显著，表现为凸起形状最明显； β -环糊精质量浓度和提取时间的交互作用对多酚提取量最不显著，表现为图形最平缓；提取温度和 β -环糊精质量浓度影

响程度位于两者之间。

2.3.3 最佳提取条件的确定和模型的验证试验

由 Design-Expert 8.0.6 分析回归模型, 得到黑果腺肋花楸多酚的提取最佳条件为提取温度 66.44 °C、提取时间 93.55 min、 β -环糊精质量浓度 33.42 g/L。考虑到实际操作和仪器的便利性, 将总多酚的最佳提取条件修正提取温度 66 °C、提取时间 93 min、 β -环糊精质量浓度 33 g/L。在上述条件下, 进行三次验证性试验, 实际测定值与理论预测值的相对误差为 0.96%, 说明试验结果与模型拟合良好, 利用响应面法优化 β -环糊精辅助提取黑果腺肋花楸中多酚的工艺条件结果准确。

2.3.4 不同提取方法对多酚提取率的影响

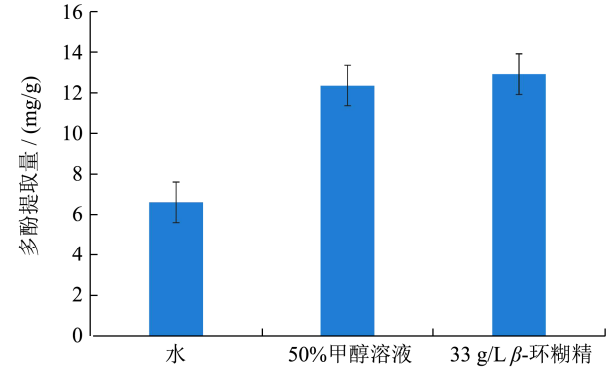


图 8 不同提取剂的多酚提取量比较

Fig.8 Comparison of the extraction amount of polyphenols with different extractants

在最佳工艺条件下: 提取温度 66 °C、提取时间 93 min、 β -环糊精质量浓度 33 g/L, 比较 3 种不同提取剂对多酚提取率的影响, 试验结果见图 8。由图 8 可知, β -环糊精对黑果花楸中多酚的提取量最大, 为 12.93 mg/g, 50%甲醇溶液提取所得的多酚量次之, 为 12.37 mg/g, 而水作为提取剂所得多酚提取量最小,

为 6.61 mg/g。 β -环糊精可使多酚提取量提高, 主要是由于在提取过程中, β -环糊精与多酚形成的包合物, 增加了多酚的溶解度以及溶出的速度^[25]。表明与传统提取法比较, β -环糊精辅助法提取的黑果腺肋花楸中多酚提取量有所提高。

2.4 HPLC 分析

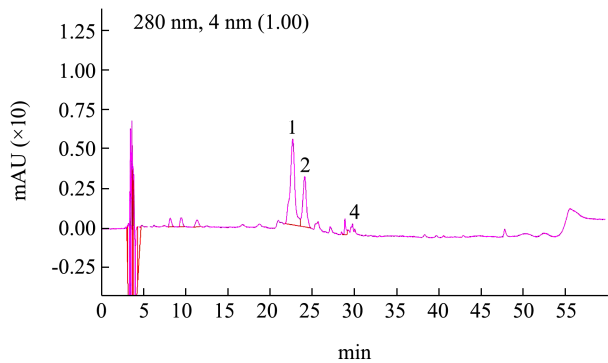


图 9 样品 280 nm 色谱图

Fig.9 Sample 280 nm chromatogram

注: 1-香草酸, 2-表儿茶素, 4-阿魏酸。

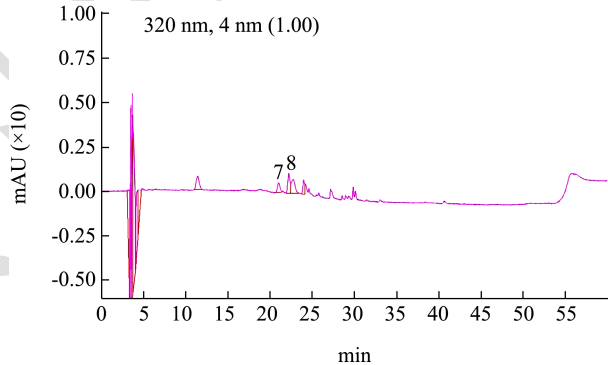


图 10 样品 320 nm 色谱图

Fig.10 Sample 320 nm chromatogram

注: 7-绿原酸, 8-咖啡酸。

表 4 黑果腺肋花楸中各类多酚组分分析

Table 4 Analysis of various polyphenols in *Aronia melanocarpa*

波长/nm	峰序号	多酚类别	标准品停留时间/min	样品停留时间/min	样品含量/(μ g/g)
280	1	香草酸	21.98	22.71	239.80
	2	表儿茶素	23.98	24.14	613.00
	3	p-香豆酸	27.05	-	-
	4	阿魏酸	28.85	28.90	17.48
	5	根皮苷	33.53	-	-
	6	肉桂酸	39.66	-	-
320	7	绿原酸	20.74	20.97	30.93
	8	咖啡酸	21.98	22.18	16.11
	9	槲皮素	23.78	-	-

注: “-”表示未检出。

在 β -环糊精辅助提取多酚的最佳工艺条件下,提取黑果腺肋花楸中多酚,得到多酚甲醇溶液,过0.45 μm 滤膜后,进行液相分析得到样品图,如图9和图10所示,通过与标准品色谱图进行对比,可以得出样品中的多酚有:香草酸、表儿茶素、阿魏酸、绿原酸及咖啡酸,从表4中可知它们的含量分别为:239.80 $\mu\text{g/g}$ 、613.00 $\mu\text{g/g}$ 、17.48 $\mu\text{g/g}$ 、30.93 $\mu\text{g/g}$ 和16.11 $\mu\text{g/g}$ 。

3 结论

本试验通过单因素(β -环糊精浓度、提取温度和提取时间)和响应面优化试验获得了 β -环糊精辅助提取黑果腺肋花楸中多酚最佳工艺参数,再对 β -环糊精辅助提取所得黑果腺肋花楸多酚提取液进行HPLC分析。试验结果表明:3个因素影响多酚提取的主次顺序为提取温度> β -环糊精质量浓度>提取时间; β -环糊精辅助提取黑果腺肋花楸中多酚的最佳工艺参数是提取温度66 $^{\circ}\text{C}$ 、提取时间93 min、 β -环糊精浓度33 g/L,在该条件下,多酚提取量为12.93 mg/g;对 β -环糊精辅助提取所得黑果腺肋花楸多酚提取液进行HPLC分析,结果显示提取液中含有的多酚种类有香草酸、表儿茶素、阿魏酸、绿原酸及咖啡酸,它们的含量分别为239.80 $\mu\text{g/g}$ 、613.00 $\mu\text{g/g}$ 、17.48 $\mu\text{g/g}$ 、30.93 $\mu\text{g/g}$ 和16.11 $\mu\text{g/g}$ 。本研究为 β -环糊精辅助提取黑果腺肋花楸中多酚类物质和黑果腺肋花楸的开发利用提供了理论依据,但本文中所作研究均来自同一产地同一品种同一批次的黑果腺肋花楸,今后可在本研究的基础上,对不同品种不同产地黑果腺肋花楸多酚的种类、提取量和提取条件进行比较性研究。

参考文献

- [1] Cindric I J, Zeiner M, Mihajlov-kononov D, et al. Inorganic macro- and micronutrients in "Superberries" black chokeberries (*Aronia melanocarpa*) and related teas [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2017, 14(5): 539
- [2] Sidor A, Gramza-michalowska A. Black chokeberry *Aronia melanocarpa* L - a qualitative composition, phenolic profile and antioxidant potential [J]. Molecules, 2019, 24(20): 3710
- [3] 胡文泽,李淼,郭东旭,等.黑果腺肋花楸研究进展[J].食品与发酵工业,2020,46(23):316-322
HU Wen-ze, LI Miao, GUO Dong-xu, et al. Research progress on *Aronia melanocarpa* [J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(23): 316-322
- [4] 郭金颖,张克义,庞静.黑果腺肋花楸的功能性成分及保健作用研究进展[J].饮料工业,2020,23(1):68-71
- [5] GUO Jin-ying, ZHANG Ke-yi, PANG Jing. Advances in studies on the functional components and health care effects of *Aronia melanocarpa* [J]. Beverage Industry, 2020, 23(1): 68-71
- [5] 刘飞,穆晶晶,张博,等.超声波辅助提取黑果腺肋花楸花色苷工艺优化及稳定性研究[J].天然产物研究与开发,2018, 30(3):485-494
LIU Fei, MU Jing-jing, ZHANG Bo, et al. Optimization of ultrasonic-assisted extraction of anthocyanins from Black chokeberry (*Aronia melanocarpa*) and their stability features [J]. Natural Product Research and Development, 2018, 30(3): 485-494
- [6] Appel K, Meiser P, Millan E, et al. Chokeberry (*Aronia melanocarpa* (Michx.) Elliot) concentrate inhibits NF-kappa B and synergizes with selenium to inhibit the release of pro-inflammatory mediators in macrophages [J]. Fitoterapia, 2015, 105: 73-82
- [7] 张国坤.花楸花色苷对衰老的干预作用及机制研究[D].沈阳:辽宁大学,2017
ZHANG Guo-kun. The effects of anthocyanins (*Aronia melanocarpa* Elliot) on aging and the mechanism of the interventions [D]. Shenyang: Liaoning University, 2017
- [8] Stanisavljevic N, Samardjic J, Jankovic T, et al. Antioxidant and antiproliferative activity of chokeberry juice phenolics during *in vitro*, simulated digestion in the presence of food matrix [J]. Food Chemistry, 2015, 175(175): 516-522
- [9] Parzonko A, Oswit A, Bazylo A, et al. Anthocyanins-rich *Aronia melanocarpa* extract possesses ability to protect endothelial progenitor cells against angiotensin II induced dysfunction [J]. Phytomedicine, 2015, 22(14): 1238-1246
- [10] Valchevakuzmanova S, Kuzmanov A, Kuzmanova V, et al. *Aronia melanocarpa* fruit juice ameliorates the symptoms of inflammatory bowel disease in TNBS-induced colitis in rats [J]. Food & Chemical Toxicology an International Journal Published for the British Industrial Biological Research Association, 2018: 113(7): 33-39
- [11] Wangenstein H, Br Unlich M, Nikolic V, et al. Anthocyanins, proanthocyanidins and total phenolics in four cultivars of aronia: antioxidant and enzyme inhibitory effects [J]. Journal of Functional Foods, 2014, 7(2): 746-752
- [12] 郑悦,王萍.黑果花楸花色苷提取、纯化工艺研究[J].北京林业大学学报,2016,38(11):118-124
ZHENG Yue, WANG Ping. Extraction and purification conditions of anthocyanin from the fruit of *Aronia melanocarpa* [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2016,

- 38(11): 118-124
- [13] 宁东元,张秋云,覃晓莉,等.黄酮类化合物制备包合物的研究进展[J].科技与创新,2019,13(2):41-42
- NING Dong-yuan, ZHANG Qiu-yun, QIN Xiao-li, et al. Research progress on preparation of inclusion compounds of flavonoids [J]. Science and Technology & Innovation, 2019, 13(2): 41-42
- [14] 杨建文,任晓亮,戚爱棣.环糊精及其衍生物在中药提取中的应用研究进展[J].药物评价研究,2015,38(2):208-213
- YANG Jian-wen, REN Xiao-liang, QI Ai-di. Research progress in applications of cyclodextrin and its derivatives in Chinese materia medica extracting [J]. Drug Evaluation Research, 2015, 38(2): 208-213
- [15] Del Valle E M M. Cyclodextrins and their uses: a review [J]. Process Biochemistry, 2004, 39(9): 1033-1046
- [16] 朱德艳. β -环糊精辅助提取紫茄皮中花青素研究[J].北方园艺,2016,10:32-34
- ZHU De-yan. Study on β -cyclodextrin assisted extraction anthocyanidin from purple eggplant skin [J]. Northern Horticulture, 2016, 10: 32-34
- [17] 冯欢欢,陈识文,高梦祥. β -环糊精结合响应面法优化茶多酚的提取工艺[J].食品科技,2014,39(11):212-216
- FENG Huan-huan, CHEN Shi-wen, GAO Meng-xiang. Optimization of the extraction process of tea polyphenols from tea dust by response surface methodology and β -CD [J]. Food Science and Technology, 2014, 39(11): 212-216
- [18] 王周利,袁亚宏,刘宇璇,等.响应面法优化 β -环糊精提取葡萄叶白藜芦醇工艺[J].食品科学,2016,37(22):13-19
- WANG Zhou-li, YUAN Ya-hong, LIU Yu-xuan, et al. Response surface optimization of extraction of resveratrol from grape vine leaves using β -cyclodextrin [J]. Food Science, 2016, 37(22): 13-19
- [19] 熊汝琴,李平,王锐.Folin-Ciocalteu 比色法测定昭通青花椒总酚含量[J].中国调味品,2019,44(10):140-143
- XIONG Ru-qin, LI Ping, WANG Rui. Determination of total phenols in Zhaotong *Zanthoxylum schinifolium* by Folin-Ciocalteu colorimetry [J]. China Condiment, 2019, 44(10): 140-143
- [20] Balasubramanian B, Ilavenil S, Al-Dhabi N A, et al. Isolation and characterization of *Aspergillus* sp. for the production of extracellular polysaccharides by response surface methodology [J]. Saudi Journal of Biological Sciences, 2019, 26(3): 449-454
- [21] 陈越,宋振康,张海悦.响应面优化龙葵果多糖提取工艺及抗氧化活性的研究[J].食品科技,2020,45(7):209-215
- CHEN Yue, SONG Zhen-kang, ZHANG Hai-yue. Optimization extraction and antioxidant activity of polysaccharide from *Solanum nigrum* fruit by response surface methodology [J]. Food Science and Technology, 2020, 45(7): 209-215
- [22] Rui Cai, Yahong Yuan, Lu Cui, et al. Cyclodextrin-assisted extraction of phenolic compounds: current research and future prospects [J]. Trends in Food Science & Technology, 2018, 79: 19-27
- [23] 包振伟,顾林,白东辉,等.响应面法优化黑胡椒油树脂提取工艺[J].食品科学,2013,34(14):17-21
- BAO Zhen-wei, GU Lin, BAI Dong-hui, et al. Optimization of extraction process for black pepper oleoresin using response surface methodology [J]. Food Science, 2013, 34(14): 17-21
- [24] 徐彩虹,马丽鑫,李桂杰,等.响应面法优化米糠多酚的醇提工艺[J].食品工业科技,2017,38(16):194-198
- XU Cai-hong, MA Li-xin, LI Gui-jie, et al. Optimization of ethanol extraction technique of polyphenols from rice bran by response surface methodology [J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(16): 194-198
- [25] 朱兴一,彭章芯,谢捷,等.响应面法优化 β -环糊精辅助提取茶多酚的工艺[J].江苏农业科学,2013,41(9):221-223
- ZHU Xing-yi, PENG Zhang-xin, XIE Jie, et al. Optimization of β -cyclodextrin-assisted extraction of tea polyphenols by response surface methodology [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2013, 41(9): 221-223