

段小华,罗时静,王伟琪,等. 响应面法优化槲蕨总黄酮提取工艺及其抗氧化活性[J]. 江西师范大学学报(自然科学版), 2022, 46(5): 497-502.

DUAN Xiaohua, LUO Shijing, WANG Weiqi et al. The optimization of extraction technology of total flavonoids from *Dryopteris roosii* by response surface methodology and its antioxidant activity [J]. Journal of Jiangxi Normal University(Natural Science) 2022, 46(5): 497-502.

文章编号: 1000-5862(2022)05-0497-06

响应面法优化槲蕨总黄酮提取工艺及其抗氧化活性

段小华,罗时静,王伟琪,邓荣根,鲁顺保

(江西师范大学生命科学学院,江西省亚热带植物资源保护与利用重点实验室,江西 南昌 330022)

摘要: 为了优化槲蕨总黄酮的提取工艺并研究其抗氧化活性,该文以料液比、乙醇体积分数、超声处理功率和超声辅助提取时间为考察因素,以槲蕨总黄酮产率为研究目标,在单因素实验的基础上运用响应曲面分析法优化槲蕨总黄酮的提取工艺,并探讨了超声波提取的槲蕨总黄酮的抗氧化活性. 研究结果表明:超声波辅助乙醇提取槲蕨总黄酮的最佳工艺是料液比为 1:30.00($\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$)、超声功率为 450.00 W、乙醇体积分数为 68.00%,在该优化条件下槲蕨总黄酮的产率为 1.452 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$. 抗氧化研究表明:槲蕨总黄酮对羟自由基、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼自由基(DPPH·)和超氧阴离子($\text{O}_2^{\cdot-}$)具有较强的清除能力,这说明槲蕨总黄酮具有良好的抗氧化活性.

关键词: 槲蕨; 总黄酮; 响应面法; 超声波提取; 抗氧化活性

中图分类号: TS 201.1 **文献标志码:** A **DOI:** 10.16357/j.cnki.issn1000-5862.2022.05.09

0 引言

槲蕨(*Drynaria roosii* Nakaike)属于槲蕨科(Drynariaceae)槲蕨属(*Drynaria*)植物^[1],主要分布于中国南方城市,为多年生附生蕨类,通常附生于岩石壁、墙壁或树干上^[2].在《中国药典》中记载,槲蕨的根状茎“骨碎补”常被作为中药材使用,具有疗伤止痛、补肾强骨等功效,外用还能消风祛斑^[3].现代研究表明:槲蕨根茎具有修复牙周组织^[4]、治疗骨质疏松^[5]、活血化痰^[6]、强心、镇痛镇静^[7]、抗炎、抗氧化^[8]和抗过敏^[9]等药理作用.槲蕨根状茎所含的化学成分包括黄酮类、三萜类、木质素、苯丙素类等化合物^[10-11],但其药理作用的主要活性物质是黄酮类化合物.黄酮类化合物具有抗炎、抗菌抑菌、抗癌、抗肿瘤、抗氧化、抗衰老、抗疲劳、降血脂、降血清胆固醇、治疗心血管疾病等多种生物活性功能^[12-15].因此,槲蕨总黄酮的提取及其活性研究受到研究者的普遍关注^[16-17].

传统提取总黄酮的方法有乙醇浸提法、水煎煮法、水浸提法等^[17].此类方法虽然经济节约,但是耗时较长.超声波提取法具有设备简单、操作方便、提取时间短、提取率高等优点^[18],是目前提取天然植物有效成分常用的方法.响应面法(response surface methodology, RSM)是一种较优且应用较广的实验优化方法.目前,有关槲蕨总黄酮超声波提取工艺优化大多数采用正交实验法^[19-20].李景等^[21]对槲蕨总黄酮的超声波提取工艺进行了响应面优化,但他们没有考虑超声波功率这个重要的因子.为完善槲蕨总黄酮的提取工艺,本文采用超声波辅助乙醇提取,结合响应面法来进一步优化槲蕨总黄酮的提取工艺,并探究了槲蕨总黄酮的抗氧化作用,为充分利用槲蕨资源、进一步研究其药理活性提供参考.

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

槲蕨来源于市售,于80℃恒温箱中烘干至恒质

收稿日期: 2022-05-31

基金项目: 国家自然科学基金(31760136)资助项目.

作者简介: 段小华(1973—),男,江西永新人,副教授,博士,主要从事植物活性物质与食品营养方面的研究. E-mail: 907827460@qq.com

量,粉碎后过 60 目筛,将干燥样品粉末置于 4 ℃ 冰箱中保存备用。

芦丁标准品购自中国药品生物制品检定所; DPPH 购自上海麦克林生化科技有限公司; 无水乙醇、95% 乙醇、氢氧化钠、亚硝酸钠、硝酸铝、氯化钠、水杨酸、30% H_2O_2 溶液、九水合硝酸铝、硫酸亚铁、抗坏血酸、Tris、盐酸、邻苯三酚等均为分析纯试剂。

1.2 实验仪器

实验仪器主要有: DHG-9070 型电热恒温鼓风干燥箱(上海一恒科学仪器有限公司), JYS-M01 九阳磨粉机(九阳股份有限公司), JA5003N 电子天平(上海精密科学仪器有限公司), KQ-500DE 数控超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司), SHZ-D (Ⅲ) 循环水式真空泵(巩义市英峪予华仪器厂), 759S 紫外-可见分光光度计(上海棱光技术有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 槲蕨总黄酮的提取工艺流程 槲蕨根→60 ℃ 烘干至恒质量→粉碎→过 60 目筛→精确称取 1 g 槲蕨根粉末→按一定料液比添加提取剂于常温下浸泡 24 h→超声波辅助提取→减压抽滤→收集滤液→定容→取样测定→计算总黄酮产率。

1.3.2 槲蕨总黄酮产率的测定 参照杨斌等^[22]和许远等^[23]的方法测定样品中槲蕨总黄酮含量,并计算总黄酮产率。

1.3.3 单因素实验 采用超声波辅助乙醇法提取槲蕨总黄酮,在其他条件相同的情况下,各单因素变量分别设置为:乙醇体积分数为 35%、45%、55%、65%、75%、85%,超声功率为 300、350、400、450、500 W,超声时间为 15、30、45、60、75 min,料液比为 1:20、1:25、1:30、1:35、1:40 $g \cdot mL^{-1}$,分析各因素对槲蕨总黄酮产率的影响。

1.3.4 响应面实验设计 在单因素实验的基础上,选取料液比(A)、超声功率(B)、乙醇体积分数(C)3 个因素为自变量,槲蕨总黄酮产率为响应值,采用 Design-Expert 8.0.6 软件依据 Box-Behnken 中心组合设计原理,设计 3 因素 3 水平的响应面实验优化槲蕨总黄酮的提取工艺,各因素水平如表 1 所示。

表 1 响应面实验设计

水平	因素		
	A/($g \cdot mL^{-1}$)	B/W	C/%
-1	1:25	400	55
0	1:30	450	65
+1	1:35	500	75

1.3.5 槲蕨总黄酮抗氧化活性测定 DPPH·清除能力的测定方法参照文献[23];羟基自由基

($\cdot OH$)清除能力的测定方法参照文献[24];氧自由基($O_2^{\cdot -}$)清除能力的测定采用邻苯三酚自氧化法,并参照文献[25]的方法进行。

1.3.6 数据统计分析 采用 Microsoft Excel 2016 软件对单因素实验数据和抗氧化活性实验数据进行数据分析和绘图,用 Design-Expert 8.0.6 软件对响应面优化实验设计进行分析以及对响应面实验数据进行分析和绘图($n=3$)。

2 结果与分析

2.1 单因素试验结果与分析

2.1.1 料液比对槲蕨总黄酮产率的影响 料液比对槲蕨总黄酮产率的影响如图 1(a)所示。由图 1(a)可知:槲蕨总黄酮产率随着料液比的增大先呈上升趋势;当料液比为 1:30($g \cdot mL^{-1}$)时,总黄酮产率达到最高值,然后随着料液比继续增大,总黄酮的产率呈下降趋势。其原因可能是:随着料液比的增大,槲蕨根茎粉末在溶液中的分散程度增大^[26],接触面积也越来越大,总黄酮产率提高。但当料液比超过 1:30($g \cdot mL^{-1}$)时,黄酮的溶出已达到极限,可能还有其他物质溶出,影响了槲蕨总黄酮的提取效果,导致其产率下降^[27]。因此,本文选取料液比为 1:25~1:35($g \cdot mL^{-1}$)进行响应面实验。

2.1.2 超声功率对槲蕨总黄酮产率的影响 超声功率对槲蕨总黄酮产率的影响如图 1(b)所示。由图 1(b)可知:在超声功率 ≤ 450 W 时,槲蕨总黄酮产率随着超声强度的增大而提高;当超声功率达到 450 W 时,槲蕨总黄酮产率达到最大值;当超声功率 > 450 W 时,槲蕨总黄酮产率随超声功率的增大而减小。其原因可能是:超声波功率越大,超声波所产生的破碎效应和空化效应越明显,对细胞壁的破坏作用也越大,这有利于黄酮的加速溶出^[28]。但若超声强度过大,则会破坏黄酮物质的结构,从而使总黄酮的产率降低^[29]。因此,本文选取超声功率为 400~500 W 进行响应面实验。

2.1.3 乙醇体积分数对提取的影响 乙醇体积分数对槲蕨总黄酮产率的影响如图 1(c)所示。由图 1(c)可知:槲蕨总黄酮产率开始随着乙醇体积分数的增加而增加。当乙醇的体积分数为 65% 时,总黄酮产率达到最大值,然后随着乙醇体积分数继续增加,总黄酮产率反而下降。其原因可能是:黄酮与乙醇极性相近,随着乙醇体积分数的增加,黄酮的溶出也增多,从而使其产率增加^[28]。当乙醇的体积分数过高时,一些醇溶性杂质、脂溶性杂质和色素等成分

大量溶出^[30]影响黄酮的溶出,从而使槲蕨总黄酮产率下降.因此,本文选取乙醇体积分数为 55%~75%进行响应面实验.

2.1.4 超声时间对提取的影响 超声时间对槲蕨总黄酮产率的影响如图 1(d)所示.由图 1(d)可知:在 15~30 min 内,槲蕨总黄酮产率随着超声提取时间的增加而提高;在 30~45 min 内,总黄酮产率下降;当超声时间>45 min 时,总黄酮产率随超声时间延长而提升.其原因可能是:在提取之初,随着超声时间增加,总黄酮逐渐溶于乙醇提取液,产率逐渐

增加,但在到达一定时间后,原料内外黄酮质量浓度达到相对平衡状态^[31],在样品内的黄酮不易被继续溶出,同时有些骨碎补黄酮类化合物成分的结构被破坏,从而导致产率有所减少.然后随着超声时间的延长,超声波的机械震动和空化作用持续加强,导致槲蕨细胞破碎程度增大,总黄酮的溶出又继续增加,从而使黄酮的产率增加^[32].考虑到超声提取时间越长,能耗和经济成本越大.因此,本文在响应面实验中将超声波提取时间定为 30 min,且不作为响应面考察因素.

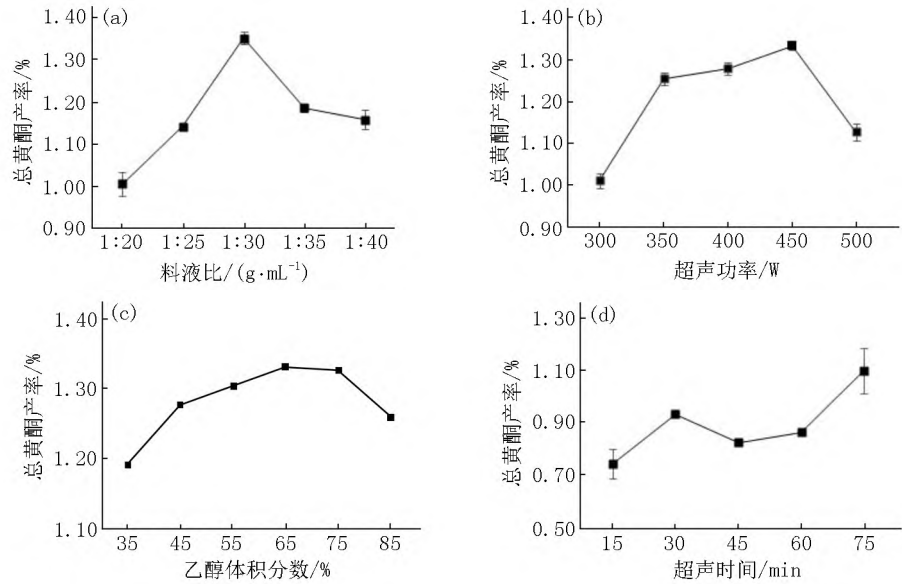


图 1 料液比、超声功率、乙醇体积分数、超声时间对槲蕨总黄酮产率的影响

2.2 响应面结果与分析

根据响应面实验设计方案,在单因素实验基础上,以料液比、超声功率和乙醇体积分数为考察因素,以总黄酮产率为响应值进行响应面实验,实验设计及结果如表 2 所示.

采用 Design-expert8.0.6 软件对表 2 数据进行多元回归拟合,得到槲蕨总黄酮产率(Y)与超声辅助各因素变量间的回归方程:

$$Y = 1.43 + 0.028A + 0.029B + 0.029C - 5.061 \times 10^{-3}AB - 2.956 \times 10^{-3}AC + 8.124 \times 10^{-4}BC - 0.062A^2 - 0.22B^2 - 0.038C^2.$$

对回归模型进一步进行方差分析,结果如表 3 所示.由表 3 可知:模型的 $P < 0.0001$ 说明回归模型方程极显著;失拟项的 $P = 0.5827 > 0.05$ (不显著),这说明回归方程与实验拟合较好.相关系数 $R^2 = 0.9745$ 、调整系数 $R_{\text{调}} = 0.9418$,这表明模型拟合较好; $C_v = 2.47\%$ 表明实验的可信度和精确度较高.根据回归方程各项分析可知:回归模型 1 次项 A、B、C 和平方项 C^2 为模型显著因素,平方项 A^2 和 B^2 为模型极显著因素,其他各因素对槲蕨总黄酮产

率的影响均不显著.各因素对槲蕨总黄酮产率的影响作用大小依次为 $C > B > A$.

表 2 Box-Behnken 实验设计与结果

编号	A/(g·mL ⁻¹)	B/W	C/%	产率/%
1	1:30	450	65	1.415
2	1:30	450	65	1.374
3	1:35	450	75	1.384
4	1:35	400	65	1.122
5	1:25	450	55	1.262
6	1:35	500	65	1.190
7	1:25	450	75	1.310
8	1:30	500	75	1.222
9	1:35	450	55	1.348
10	1:30	400	55	1.108
11	1:30	450	65	1.447
12	1:30	400	75	1.182
13	1:25	500	65	1.168
14	1:30	450	65	1.460
15	1:30	500	55	1.145
16	1:25	400	65	1.080
17	1:30	450	65	1.432

表3 响应面方差分析

来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
模型	0.27	9	0.030	29.78	<0.000 1**
A	6.288×10^{-3}	1	6.288×10^{-3}	6.34	0.039 9*
B	6.867×10^{-3}	1	6.867×10^{-3}	6.93	0.033 8*
C	6.905×10^{-3}	1	6.905×10^{-3}	6.97	0.033 5*
AB	1.025×10^{-4}	1	1.025×10^{-4}	0.10	0.757 2
AC	3.495×10^{-5}	1	3.495×10^{-5}	0.035	0.856 4
BC	2.640×10^{-6}	1	2.640×10^{-6}	2.663×10^{-3}	0.960 3
A ²	0.016	1	0.016	16.23	0.005 0**
B ²	0.21	1	0.21	212.38	<0.000 1**
C ²	5.952×10^{-3}	1	5.952×10^{-3}	6.01	0.044 1*
残差	6.938×10^{-3}	7	5.952×10^{-3}		
失拟项	2.468×10^{-3}	3	9.912×10^{-3}	0.74	0.582 7
纯误差	4.470×10^{-3}	4	1.117×10^{-3}		
总离差	0.27	16			

注: * 表示 $P < 0.05$; ** 表示 $P < 0.01$.

各因素交互作用对槲蕨总黄酮产率影响的响应面结果如图2所示. 响应面图和等高线图能够将回归模型直观生动地表现出来: 3D 响应面图形状越陡峭、2 维等高线越趋近于椭圆形表明 2 因素交互作用越显著; 若响应曲面坡度平缓、等高线趋近于圆形, 则 2 因素交互作用对响应值的影响较小^[33-34]. 由图2可知: 超声功率和料液比、乙醇体积分数和料液比、乙醇体积分数和超声功率这 3 组交互作用的响应曲面图都较为平缓, 它们对槲蕨总黄酮产率的影响均不显著. 该结果与模型方差分析结果一致.

根据回归模型预测槲蕨总黄酮提取的最佳工艺条件为料液比 $1:31.08 (\text{g} \cdot \text{mL}^{-1})$ 、超声功率 453.22 W、乙醇体积分数 68.84%, 在该条件下槲蕨总黄酮的产率为 1.435%. 结合试验实际情况, 将最优提取工艺参数调整为料液比 $1:30.00 (\text{g} \cdot \text{mL}^{-1})$ 、超声功率 450.00 W、乙醇体积分数 68.00%, 在该条件下进行 3 次平行试验验证, 取平均值, 得到槲蕨总黄酮的产率为 1.452%, 与预测值接近. 这说明该模型能较好地反映槲蕨总黄酮的提取条件, 与实际情况拟合较好.

2.3 槲蕨总黄酮抗氧化性分析

2.3.1 槲蕨总黄酮对 DPPH·清除能力 不同质量浓度的槲蕨总黄酮对 DPPH·清除能力如图3所示. 从图3可知: 槲蕨总黄酮对 DPPH·的清除率随槲蕨总黄酮质量浓度的增加而增大, 具有较好的量效关系. 当槲蕨总黄酮质量浓度为 $0.066 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 时, 对 DPPH·的清除率为 65.74%. 维生素 C 对 DPPH·清除率的变化趋势与槲蕨总黄酮的相似, 但在相同质量浓度的条件下, 槲蕨总黄酮对 DPPH·的清除能力均显著低于维生素 C 对 DPPH·的清除能力.

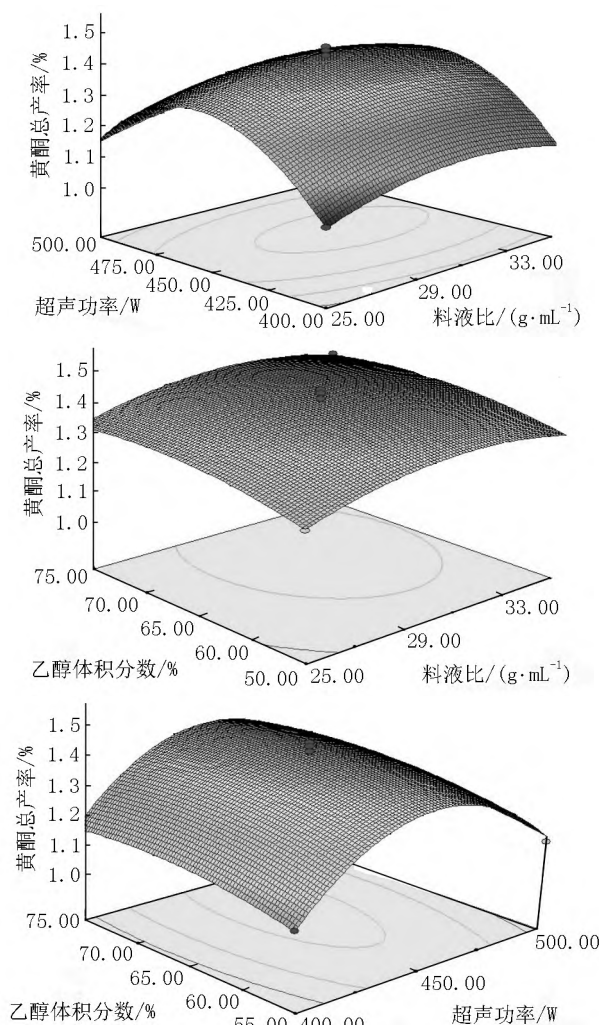


图2 各因素交互作用的响应面图

2.3.2 槲蕨总黄酮对·OH清除能力 不同质量浓度槲蕨总黄酮对·OH的清除能力如图4所示. 从图4可以看出: 在低质量浓度时, 槲蕨总黄酮对·OH的清除率增长较慢; 当槲蕨总黄酮质量浓度达

到 $0.0165 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 时, 对 $\cdot\text{OH}$ 的清除率随着浓度的增加而显著增强; 当槲蕨总黄酮质量浓度为 $0.0660 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 时, 其对 $\cdot\text{OH}$ 的清除率达到 68.27%。维生素 C 对 $\cdot\text{OH}$ 的清除率随着质量浓度的增加而增加, 在相同质量浓度的条件下, 槲蕨总黄酮对 $\cdot\text{OH}$ 的清除能力均低于维生素 C 对 $\cdot\text{OH}$ 的清除能力。

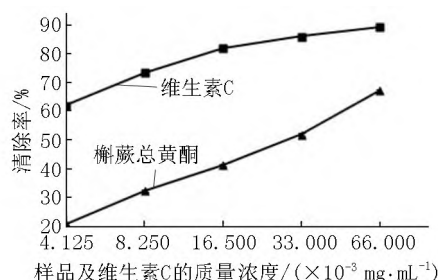


图3 槲蕨总黄酮和维生素 C 对 DPPH· 的清除能力

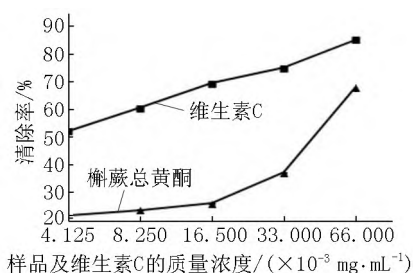


图4 槲蕨总黄酮和维生素 C 对 $\cdot\text{OH}$ 的清除能力

2.3.3 槲蕨总黄酮对 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 的清除能力 不同质量浓度的槲蕨总黄酮对 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 的清除能力如图 5 所示。从图 5 可看出: 槲蕨总黄酮和维生素 C 对 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 的清除率均随着其质量浓度的增加而增大, 但槲蕨总黄酮对 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 的清除率的增幅大于维生素 C 的清除率的增幅, 在相同质量浓度的条件下, 槲蕨总黄酮对 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 的清除能力均强于维生素 C 对 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 的清除能力, 当槲蕨总黄酮的质量浓度为 $0.0660 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 时, 槲蕨总黄酮对 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 清除率达 42.86%, 这说明槲蕨总黄酮具有较强的抗氧化能力。

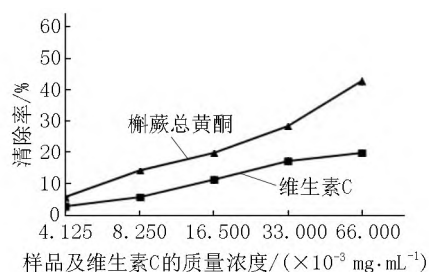


图5 槲蕨总黄酮和维生素 C 对 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 的清除能力

3 结论

根据单因素实验和响应面优化分析, 超声波辅助槲蕨总黄酮的最佳提取工艺条件是料液比为 1:30.00 ($\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$)、超声功率为 450.00 W、乙醇体积分数为 68.00%, 在此条件下槲蕨总黄酮产率为

1.452%。体外抗氧化活性实验结果表明: 槲蕨总黄酮对 $\cdot\text{OH}$ 、DPPH· 和 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 都具有一定的清除能力, 当槲蕨总黄酮的质量浓度为 $0.066 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 时, 其对 $\cdot\text{OH}$ 、DPPH· 和 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 的清除率分别为 68.27%、65.74% 和 42.86%, 这说明槲蕨总黄酮具有较强的抗氧化活性, 是一种天然的抗氧化剂。

4 参考文献

- [1] 中国科学院中国植物志编委会. 中国植物志 [M]. 北京: 科学出版社, 2000: 65.
- [2] 沈宗芳, 郭昕, 田波, 等. 槲蕨的生活习性与柚皮苷累积规律 [J]. 江西农业大学学报, 2019, 41(5): 901-907.
- [3] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 一部 [M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2015.
- [4] SONG Nan, ZHAO Zhihu, MA Xinlong, et al. Naringin promotes fracture healing through stimulation of angiogenesis by regulating the VEGF/VEGFR-2 signaling pathway in osteoporotic rats [J]. Chemico-Biological Interactions, 2017, 261: 11-17.
- [5] LEE Y E, LIU H C, LIN Yiling, et al. *Drynaria fortunei* J. SM. improves the bone mass of ovariectomized rats through osteocalcin-involved endochondral ossification [J]. Journal of Ethnopharmacology, 2014, 158: 94-101.
- [6] 刘剑刚, 谢雁鸣, 徐哲, 等. 骨碎补总黄酮的活血化癥作用及对实验性微循环障碍和骨质疏松症的影响 [J]. 中国骨质疏松杂志, 2006, 12(1): 46-49, 24.
- [7] 杨斌, 陈功锡, 蒋道松, 等. 国产槲蕨属药用植物研究进展 [J]. 中国野生植物资源, 2010, 29(1): 1-6.
- [8] 汲广全, 邓靖, 莫正昌, 等. 槲蕨提取物体外抗氧化活性研究 [J]. 食品工业科技, 2010, 31(8): 65-66, 69.
- [9] 彭双, 韩立峰, 王涛, 等. 骨碎补中的化学成分及药理作用研究进展 [J]. 天津中医药大学学报, 2012, 31(2): 122-125.
- [10] WANG Xinluan, WANG Naili, ZHANG Yan, et al. Effects of eleven flavonoids from the osteoprotective fraction of *Drynaria fortunei* (KUNZE) J. SM. on osteoblastic proliferation using an osteoblast-like cell line [J]. Chemical & Pharmaceutical Bulletin, 2008, 56(1): 46-51.
- [11] 谌顺清, 梁伟, 张雪妹, 等. 骨碎补化学成分和药理作用研究进展 [J]. 中国中药杂志, 2021, 46(11): 2737-2745.
- [12] YIN Lujun, HAN Haiyan, ZHENG Xue, et al. Flavonoids analysis and antioxidant, antimicrobial and anti-inflammatory activities of crude and purified extracts from *Veronicastrum latifolium* [J]. Industrial Crops and Products, 2019, 137: 652-661.
- [13] BOJIC M, MALES Z, ANTOLIC A, et al. Antithrombotic activity of flavonoids and polyphenols rich plant species [J]. Acta Pharmaceutica, 2019, 69(4): 483-495.
- [14] HIDA K, NAIKI T, NAIKI-ITO A, et al. Luteolin suppresses bladder cancer growth via regulation of mechanistic target of rapamycin pathway [J]. Cancer Science, 2020, 111(4):

- 1165-1179.
- [15] HARIRI M ,GHASEMI A ,BARADARAN H R ,et al. Beneficial effect of soy isoflavones and soy isoflavones plus soy protein on serum concentration of C-reactive protein among postmenopausal women: an updated systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials [J]. *Complementary Therapies in Medicine* 2021 59: 102715.
- [16] FARHADI F ,KHAMENEH B ,IRANSHAHI M ,et al. Antibacterial activity of flavonoids and their structure-activity relationship: an update review [J]. *Phytotherapy Research* , 2019 33(1) : 13-40.
- [17] 关丽 ,黄兴雨. 骨碎补总黄酮研究进展 [J]. *化学工程师* 2020 34(10) : 48-50 69.
- [18] MODARRES-GHEISARI S M M ,GAVAGSAZ-GHOACHANI R ,MALAKI M ,et al. Ultrasonic nano-emulsification: a review [J]. *Ultrasonics Sonochemistry* 2019 52: 88-105.
- [19] 韩风波 ,毕博 ,宫敬利 ,等. 槲蕈总黄酮超声波提取工艺的优化 [J]. *现代农业研究* 2019 25(11) : 94-95.
- [20] 黄艳萍 ,刘浩 ,王金香 ,等. 骨碎补总黄酮的超声提取工艺 [J]. *医药导报* 2007 26(7) : 793-794.
- [21] 李景 ,林立. 响应面法优选骨碎补总黄酮的超声提取工艺 [J]. *福建中医药* 2017 48(4) : 40-42.
- [22] 杨斌 ,胡福朝 ,陈功锡 ,等. 微波提取槲蕈根茎中黄酮类物质的条件优化试验 [J]. *中药材* ,2009 32(12) : 1907-1910.
- [23] 许远 ,魏和平 ,吴彦 ,等. 响应面优化囊荷总黄酮提取及抗氧化研究 [J]. *食品工业科技* 2015 36(5) : 233-239.
- [24] 丁利君 ,周圳辉 ,林燕如. 芒萁中黄酮物质的提取及其抗氧化研究 [J]. *食品科学* 2005 26(8) : 77-82.
- [25] 贺文英 ,赵智宏 ,丁鹤 ,等. 超声波提取苦豆籽粕中总黄酮及抗氧化性研究 [J]. *食品工业* 2014 35(7) : 130-133.
- [26] TIAN Jingyao ,MUHAMMAD S ,CHEN Ai ,et al. An experimental study exploring the influencing factors for ultrasonic-assisted extraction of flavonoid compounds from leaves of *Amorpha fruticosa* L. [J]. *Journal of Forestry Research* 2019 30(5) : 1735-1741.
- [27] 李亚军 ,易鹤 ,杨军衡 ,等. 黑老虎花总黄酮超声辅助提取工艺优化及其抗氧化性研究 [J]. *食品工业科技* , 2021 42(13) : 179-183.
- [28] 马金魁 ,黄晓辰 ,张佳仪 ,等. 响应面法优化辣木叶总黄酮提取工艺及其抑菌性研究 [J]. *食品研究与开发* , 2019 40(15) : 57-65.
- [29] 李艳艳 ,王俊青 ,刘王文 ,等. 响应面法优化超声辅助提取大果青扦叶总黄酮及其抗氧化性研究 [J]. *食品研究与开发* 2020 41(22) : 30-36.
- [30] 王宗成 ,龙燕萍 ,彭延波 ,等. 响应面优化油茶叶黄酮提取工艺及抑菌活性研究 [J]. *中国油脂* 2017 42(4) : 123-126 130.
- [31] 白生文 ,汤超 ,田京 ,等. 沙棘果渣总黄酮提取工艺及抗氧化活性分析 [J]. *食品科学* 2015 36(10) : 59-64.
- [32] 张贞发 ,韦馥轩 ,赵汉民 ,等. 超声波辅助提取大新苦丁茶中总黄酮的工艺研究 [J]. *食品研究与开发* 2021 , 42(2) : 122-126.
- [33] 谭春远 ,阎杰 ,黄惠敏 ,等. 特纳草黄酮超声强化提取工艺的响应面法优化及其抗氧化性 [J]. *食品工业科技* , 2021 42(16) : 191-198.
- [34] 唐森 ,王梦萱 ,谢济运 ,等. 响应面优化微波辅助莪术总黄酮的提取工艺研究 [J]. *中国食品添加剂* ,2021 , 32(2) : 42-50.

The Optimization of Extraction Technology of Total Flavonoids from *Dryopteris roosii* by Response Surface Methodology and Its Antioxidant Activity

DUAN Xiaohua ,LUO Shijing ,WANG Weiqi ,DENG Ronggen ,LU Shunbao

(Jiangxi Subtropical Plant Resource Protection and Utilization Key Laboratory ,College of Life Science ,Jiangxi Normal University , Nanchang Jiangxi 330022 ,China)

Abstract: For optimizing the extraction process of total flavonoids from *Drynaria roosii* and determined its antioxidant activity ,taking extraction yield of total flavonoids as the objective and solid-liquid ratio ,ethanol volume fraction ,ultrasonic power and ultrasonic-assisted extraction time as main factors ,response surface methodology are conducted to acquire the optimum extraction process of total flavonoids from *Drynaria roosii* on the basis of single factor test. At the same time ,the antioxidant activity of total flavonoids extrated by ultrasonic is evaluated. The result shows that the optimum conditions of ultrasonic-assisted ethanol extraction are as follows. Solid-liquid ratio is 1:30.00(g · mL⁻¹) ,ultrasonic power is 450.00 W and ethanol volume fraction is 68.00%. Under these conditions ,the extraction yield of total flavonoids is 1.452 (mg · g⁻¹) ,which is consistent with the predict values. The antioxidant study shows that the total flavonoids from *Drynaria roosii* has obviously hydroxyl radicals ,1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH ·) and superoxide anion (O₂⁻ ·) scavenging ability ,which suggests it has good antioxidant activity.

Key words: *Dryopteris roosii*; total flavonoids; response surface method; ultrasonic-assisted extraction; antioxidant activity (责任编辑: 刘显亮)