



鸡血藤总黄酮超声辅助提取工艺优化

潘高红¹, 陈绍宁¹, 许红亮², 张 淼¹, 梁宗锁¹

(1.浙江理工大学生命科学与医药学院, 杭州 310018; 2.天津天士力现代中药资源有限公司, 天津 300400)

摘 要: 为了优化鸡血藤总黄酮超声辅助提取工艺, 采用单因素实验考察过筛目数、提取功率、提取时间和提取溶剂 4 个单因素对鸡血藤总黄酮提取率的影响, 并通过 $L_9(3^4)$ 正交法进行实验获得鸡血藤总黄酮的最佳提取工艺。结果显示: 影响鸡血藤提取率的因素大小顺序依次为溶剂、超声功率、提取时间和过筛目数。优化后的最佳提取工艺为鸡血藤粉末过 100 目筛, 体积分数 50% 的乙醇在 300 W 下超声提取 1.5 h, 在此工艺下鸡血藤总黄酮提取率为 29.54%, 优选所得的工艺稳定可行, 提取效率高。

关键词: 鸡血藤; 总黄酮; 超声提取法; 提取工艺; 含量测定; 正交试验

中图分类号: Q946.83

文献标志码: A

文章编号: 1673-3851 (2022) 07-0623-06

Optimization of ultrasound-assisted extraction technology for total flavonoids from *Spatholobus suberectus*

PAN Gaohong¹, CHEN Shaoning¹, XU Hongliang², ZHANG Miao¹, LIANG Zongsuo¹

(1.College of life Sciences and Medicine, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China;

2.Tianjin Tasly Modern Traditional Chinese Medicine Resources Co., Ltd., Tianjin 300400, China)

Abstract: In order to optimize the extraction technology for total flavonoids from *Spatholobus suberectus*, single-factor experiments were used to explore the effects of factors such as the influence of sieve mesh, extract power, extract time and solvent. The experiments were then performed using the $L_9(3^4)$ orthogonal test to obtain the best extraction process experiments of *Spatholobus suberectus*. The results have shown that the order of the four factors influencing the extraction rate was as follows: solvent, ultrasonic power, extraction time, sieve mesh. The optimal extraction process was determined to be powdering over 100 sieve mesh and ultrasonic extraction with 50% ethanol at 300 W for 1.5 h, under which the extraction content of total flavonoids was 29.54%, and the extraction process was stable and feasible, with high extraction efficiency.

Key words: *Spatholobus suberectus*; total flavonoids; ultrasonic extraction; extraction process; extraction content; orthogonal experimental

0 引 言

鸡血藤是豆科植物密花豆 (*Spatholobus suberectus*) 的干燥藤茎, 有活血化瘀、活血补血、舒

筋活络和调经止痛的作用。鸡血藤中主要化合物有总黄酮类^[1]、木脂素类^[2]、萜类^[3]、甾醇类^[4]及多糖^[5]等物质, 主产于广东、广西、云南、贵州、四川、福建等地区^[6]。鸡血藤中主要活性成分是总黄酮类化

合物,总黄酮类化合物常作为鸡血藤质量控制的指标性成分^[7-8],刘军民等^[9]以3种总黄酮成分为评价指标对鸡血藤进行质量评价,仰铁锤等^[10]以表儿茶素等6种总黄酮成分为评价指标对鸡血藤的质量进行评价,邓萌萌等^[11]对鸡血藤有效部位的总黄酮提取物含量进行测定。现代药理学研究表明,鸡血藤总黄酮类化合物具有抗炎^[12]、抗病毒^[13]、抗肿瘤^[14]、抗氧化^[15]、抗辐射^[16]以及提升造血功能^[17]等作用,因此,鸡血藤总黄酮成分具有重要药用价值。

中华人民共和国药典(2020版)对鸡血藤检查项目仅包含了显微鉴别、醇溶性浸出物测定和水分、灰分检查等方法^[18],但对鸡血藤总黄酮成分提取尚未有明确工艺。目前常使用加热回流提取法提取鸡血藤中的总黄酮,利用醇溶剂等容易挥发的溶剂作为提取溶剂,在不断重复回流过程中提取原料中有效成分。刘仰斌等^[19]使用60%乙醇回流提取鸡血藤总黄酮,需要时间为2.5 h,此法虽使用广泛、简单易行,但较耗费时间。因此,需要寻找一种简单方便且成本低的方法。随着提取分离技术的不断进步,超临界提取法^[20]与超声提取法^[21]等新型提取技术被应用于鸡血藤成分提取。其中,超声提取法是利用超声波的热效应、空化作用和机械效应等促进有效物质的释放、扩散和溶解。梁燕妮等^[22]、周光皎等^[23]使用超声法提取鸡血藤总黄酮,分别需要时间为41 min和1.5 h,使用超声法提取效率高,且提取液杂质少、提取温度低,可节约能耗^[24]。

本文利用超声提取技术对鸡血藤总黄酮类成分进行提取,分析过筛目数、溶剂、超声功率、提取时间对鸡血藤总黄酮提取率的影响,在此基础采用正交试验法优化鸡血藤总黄酮的提取工艺,以期提高鸡血藤的利用率,为鸡血藤总黄酮成分提取提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 试验材料与试剂

鸡血藤中药材的干燥藤茎是密花豆鸡血藤(*S. suberectus*),购自广东源森泰药业有限公司;芦丁20 mg/支(批号为DSTD001701),购自乐美天医药科技有限公司;硝酸钠、乙醇、甲醇等试剂均购自杭州高晶精细化工有限公司;本文所用的化学试剂均为分析纯。

1.2 仪器设备

TP-214型万分之一电子天平(赛多利斯科学仪

器有限公司)、UV-5500型紫外可见分光光度计(上海元析仪器有限公司)、KQ-500DE超声仪(昆山市超声仪器有限公司)、HH-4PD恒温水浴锅(金坛区西城新瑞仪器厂)和Heal Force超纯水仪(上海康雷分析仪器有限公司)。

1.3 芦丁标准曲线绘制

称取芦丁标准品16.50 mg,加入体积分数为50%的乙醇,制得质量浓度为0.33 mg/mL的芦丁标准品溶液母液。取芦丁对照品溶液0.5、1.0、2.0、3.0、4.0、5.0、6.0 mL和10.0 mL,分别置于25 mL量瓶中,制成质量浓度分别为0.0066、0.0132、0.0264、0.0396、0.0528、0.0660、0.0792 mg/mL和0.1320 mg/mL的溶液,分别加入5%亚硝酸钠溶液1 mL,摇匀后放置5 min;再加入10%硝酸铝溶液1 mL,摇匀后放置5 min;最后加入4%氢氧化钠溶液10 mL,用50%乙醇定容至刻度,摇匀后放置9 min。在505 nm测定吸光度。以芦丁质量浓度(x)为横坐标,吸光度(y)为纵坐标绘制标准曲线,得回归方程为 $y=12.172x+0.0232$, $R^2=0.9996$ 。

1.4 总黄酮提取及含量检测

鸡血藤药材粉碎过100目筛,称取0.30 g药材粉末,加入体积分数为50%的乙醇溶液25 mL,超声提取(300 W、1.5 h、50℃),溶液离心过滤,取1 mL上清液按标准曲线测定方法处理,测得吸光度值,通过式(1)计算总黄酮提取率:

$$Y/\% = \frac{c \times N \times V}{1000 \times M} \times 100 \quad (1)$$

其中: Y 为总黄酮提取率,%; c 为总黄酮质量浓度,mg/mL; N 为稀释的倍数, V 为提取体积,mL; M 为鸡血藤粉末质量,g。

1.5 单因素试验

a)过筛目数优选:称取鸡血藤粗粉5份,每份0.30 g,分别过30、60、80、100目筛和150目筛,考察不同过筛目数对总黄酮提取的影响。每份样品中加入体积分数为50%的乙醇溶液,其他提取条件为超声功率200 W,提取时间1.5 h,提取温度50℃。

b)提取溶剂优选:称取鸡血藤粗粉5份,每份0.30 g粉碎鸡血藤过150目筛,分别加入体积分数为50%和100%的甲醇溶液和体积分数为50、70%和95%的乙醇溶液,考察不同溶剂对鸡血藤总黄酮提取的影响。其他提取条件为超声功率200 W,提取时间1.5 h,提取温度50℃。

c)超声功率优选:称取鸡血藤粗粉5份,每份0.30 g粉碎鸡血藤过150目筛,加入体积分数为

50%的乙醇溶液,分别使用不同超声功率,200、250、300、350 W 和 400 W 提取,考察不同功率对鸡血藤总黄酮提取的影响。其他提取条件为提取时间 1.5 h、提取温度 50 ℃。

d)提取时间优选:分别精确称取鸡血藤粗粉 5 份,每份 0.30 g 粉碎鸡血藤过 150 目筛,加入体积分数为 50%的乙醇溶液,使用超声功率为 300 W,在温度为 50 ℃时分别提取 1.0、1.5、2.0、2.5 h 和 3.0 h,考察不同提取时间对鸡血藤总黄酮提取的影响。

1.6 正交试验

采用 $L_9(3^4)$ 正交法优化鸡血藤总黄酮提取工艺,选择鸡血藤过筛目数(A)、提取溶剂(B)、提取功率(C)、提取时间(D)为影响因素,在单因素试验结果中选出 3 个水平条件,以鸡血藤总黄酮的提取率为评价指标进行优选试验,因素水平表见表 1。

表 1 因素水平表				
水平	因素			
	筛目数 A/目	溶剂 B	超声功率 C/W	时间 D/h
1	80	甲醇	200	1.5
2	100	50%乙醇	250	2.0
3	150	70%乙醇	300	2.5

1.7 数据分析

所有实验重复进行 3 次,使用 Excel、正交设计助手 II v3.1 等软件对试验数据进行统计和分析。

2 结果与分析

2.1 单因素试验结果

2.1.1 过筛目数对总黄酮提取率的影响

过筛目数对鸡血藤总黄酮提取效果影响结果见图 1。由图 1 可知,当过筛目数从 30 目到 150 目时,总黄酮提取率逐渐上升,其原因可能是随着过筛目数的增加,鸡血藤粉末粒径降低,粉末越碎与溶剂接触面积越多,因此总黄酮的提取率升高^[25-26]。鸡血藤总黄酮提取率在 30 到 150 目中,当过筛目数为 150 目时提取率最高,为 27.79%,所以选取 80、100 目和 150 目 3 个水平设计正交实验。

2.1.2 提取溶剂对总黄酮提取率的影响

提取溶剂对鸡血藤总黄酮提取效果影响结果见图 2。图 2 显示:乙醇溶液提取效果优于甲醇溶液,可能是鸡血藤总黄酮成分极性与乙醇相近,因此使用乙醇提取效果较好^[27]。使用 50%乙醇溶液提取效果最佳,提取率为 28.25%;乙醇溶液体积分数提

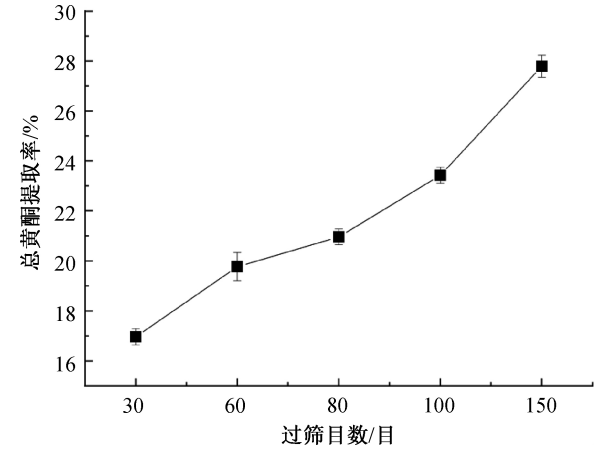


图 1 总黄酮提取率和过筛目数的关系曲线

升至为 70%乙醇、95%乙醇时,提取效果逐渐降低,其原因可能是随着乙醇体积分数增大鸡血藤中所含有的糖类物质、脂溶性物质以及色素等物质会大量析出^[28-29]。因此,鸡血藤总黄酮最佳提取溶剂为体积分数 50%的乙醇溶液。

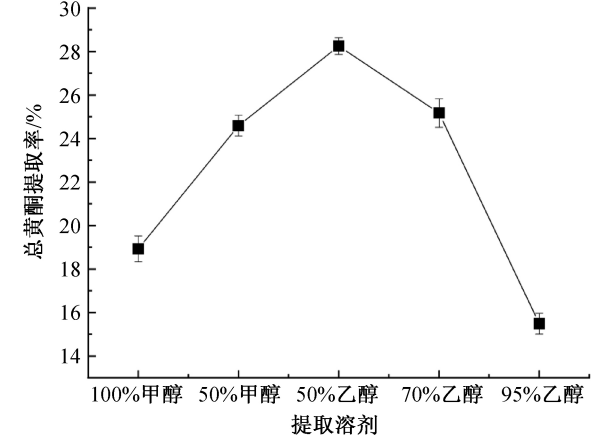


图 2 总黄酮提取率和提取溶剂的关系曲线

2.1.3 提取功率对总黄酮提取率的影响

超声功率对鸡血藤总黄酮提取效果影响结果如图 3 所示。超声功率从 200 W 到 300 W 时,随着功率的提高,总黄酮提取率不断上升,在 300 W 时达到最大,提取率为 27.83%,当超声功率由 300 W 上升到 350 W 时,提取率下降为 26.59%(见图 3),其原因可能是过高超声功率导致总黄酮物质被破坏^[30-31]。因此,鸡血藤总黄酮提取最佳超声功率为 300 W。

2.1.4 提取时间对总黄酮提取率的影响

提取时间对鸡血藤总黄酮提取效果影响结果见图 4。图 4 表明:1.0 h 到 2.0 h 之间,随着提取时间增长,总黄酮提取率缓慢上升,2.0 h 的提取率最高,为 22.71%,提取时间超出 2.0 h 后,提取率逐渐降低,3.0 h 的提取率为 22.14%,与提取 1.5 h 接

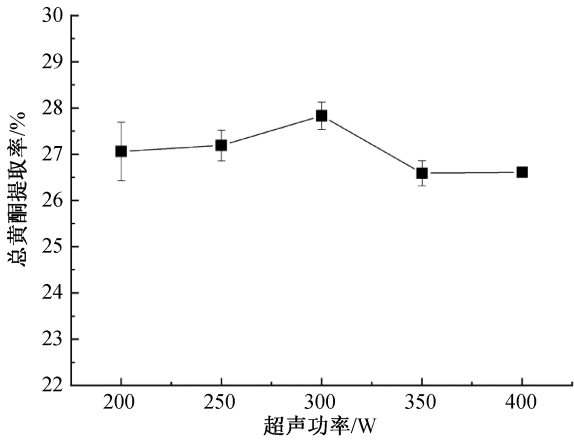


图3 总黄酮提取率和超声功率的关系曲线

近。随提取时间的延长,提取物中化学物质可能发生降解导致提取效果下降^[32],或高分子杂质的溶出增加影响总黄酮物质的提取^[33]。因此,鸡血藤总黄酮提取效果最佳时间为 2.0 h。

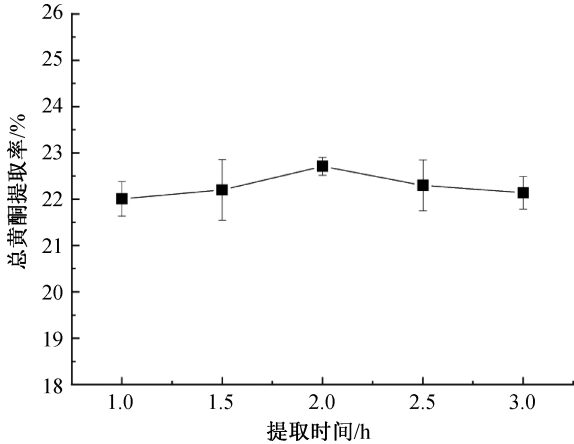


图4 总黄酮提取率和提取时间的关系曲线

2.2 正交试验结果

以单因素试验为基础,选择 $L_9(3^4)$ 正交试验优化鸡血藤总黄酮超声提取工艺,正交试验设计与结果见表 2。从表 2 中可以看出,以总黄酮提取率为评价指标,最佳提取工艺为 $A_2B_2C_3D_1$ 。4 个单因素对鸡血藤总黄酮提取影响不同,影响由大到小依次为提取溶剂、超声功率、提取时间和过筛目数,即 $k_B > k_C > k_D > k_A$ 。由 $k_{A2} > k_{A1} > k_{A3}$, $k_{B2} > k_{B3} > k_{B1}$, $k_{C3} > k_{C2} > k_{C1}$, $k_{D3} > k_{D1} > k_{D2}$ 得出最佳理论提取工艺为 $A_2B_2C_3D_3$,从 k_{D3} 、 k_{D1} 数据分析来看, D_1 、 D_3 结果无显著差异,考虑能耗及实际操作性,选择提取时间为 1.5 h。

影响鸡血藤总黄酮提取的因素大小依次为 B 提取溶剂、C 超声功率、D 提取时间、A 过筛目数,提取溶剂、超声功率、提取时间对提取率有显著性影响 ($p < 0.05$),其中,因素 B 提取溶剂是影响鸡血藤总

黄酮提取率的主要因素(见表 3)。综合考虑,确定鸡血藤总黄酮最佳提取工艺是 $A_2B_2C_3D_1$,即鸡血藤粉末过 100 目筛,用 50%乙醇在 300 W 下超声提取 1.5 h,提取率为 29.54%。

表2 正交试验结果

试验号	因素与水平				Y/%
	A/目	B	C/W	D/h	
1	80	甲醇	200	1.5	20.07
2	80	50%乙醇	250	2.0	25.86
3	80	70%乙醇	300	2.5	25.91
4	100	甲醇	250	2.5	22.62
5	100	50%乙醇	300	1.5	29.54
6	100	70%乙醇	200	2.0	19.78
7	150	甲醇	300	2.0	21.08
8	150	50%乙醇	250	2.5	25.79
9	150	70%乙醇	300	1.5	24.64
K_1	71.84	63.77	65.64	74.25	
K_2	71.94	81.19	73.12	66.72	
K_3	71.51	70.33	76.53	74.32	
k_1	23.95	21.26	21.88	24.75	
k_2	23.98	27.06	24.37	22.24	
k_3	23.84	23.44	25.51	24.77	
R	0.43	17.42	10.89	7.60	

表3 方差分析结果

方差来源	平方和	自由度	方差	F 值	显著性 p
A	0.03	2	0.02	1.00	
B	51.52	2	25.76	1549.25	<0.05
C	20.67	2	10.33	621.55	<0.05
D	12.72	2	6.36	382.43	<0.05

2.3 验证试验

称取鸡血藤粗粉 5 份,按优选工艺 $A_2B_2C_3D_1$ 条件进行提取,即过 100 目筛后称取 0.3 g 置入具塞试管中,加入 50%乙醇 25 mL,提取温度为 50 ℃,超声波功率为 300 W,提取时间 1.5 h,总黄酮含量测得结果见表 4。5 次总黄酮提取率平均为 29.30%,相对标准偏差为 4.56% ($n=5$),说明该工艺稳定可靠,可重复性强,适用于鸡血藤总黄酮的提取。

表4 验证试验

工艺条件	总黄酮提取率/%	平均含量/%	相对标准偏差/%
$A_2B_2C_3D_1$	30.55	29.30	4.56
	29.55		
	30.03		
	27.07		
	29.30		

3 讨论

超声法为新兴的提取工艺,是利用超声波的空化作用加速植物有效成分的提取的技术。该法因具有设备简单、操作方便、耗时短等优点成为替代传统提取方法的现代环保提取法^[34]。本文使用超声法提取鸡血藤总黄酮,对提取溶剂、提取时间、过筛目数以及超声功率进行优化,总黄酮提取率为29.54%。周光皎^[23]、席飞飞等^[35]、陈乾平等^[36]使用超声法提取鸡血藤,测得总黄酮提取率为3.34%~5.73%。采用本工艺,黄酮提取率高于相关研究约21%~23%,极大提升了黄酮提取率,使鸡血藤中总黄酮能够得到充分利用。本文中提取溶剂对鸡血藤总黄酮的提取影响最大,在使用体积分数为50%的乙醇为提取溶剂时提取效果最佳,与潘虹^[37]、周光皎^[23]、李斌等^[38]等研究结果一致。此外,工艺中提取时间的长短往往决定该工艺所耗费的成本高低,本文中获得的最佳提取时间为1.5 h,张夏辉等^[39]使用浸渍法提取鸡血藤总黄酮,提取时间3 h,总黄酮提取率为7.75%,潘虹等^[37]和王有娣等^[40]等使用加热回流法对鸡血藤总黄酮进行提取,分别需要3 h和2.5 h,总黄酮提取率为16.51%和34.90%,提取率较高,但是提取温度高、提取时间长,增加了能耗成本。因此,本文所得最佳提取工艺易于操作,可节省提取时间,在最佳提取工艺下获得鸡血藤总黄酮提取率较高,可提高鸡血藤的利用率,提取工艺可行。

4 结论

鸡血藤化学成分复杂,药用价值较高。本文采用超声法,在单因素试验基础上使用正交试验对鸡血藤总黄酮类化合物的提取工艺进行优化,在最佳条件下提取鸡血藤总黄酮提取率为29.54%,使用本工艺所提取的鸡血藤总黄酮提取率较高,可为有关鸡血藤质量评价标准制定过程中总黄酮含量测定项下的前处理方法提供实验依据。本文中得到主要结论如下:

a)不同单因素对鸡血藤提取率影响不同,随着过筛目数的增加,鸡血藤提取率增大,使用甲醇溶液提取效果低于使用乙醇溶液,随着超声功率和提取时间的增加,鸡血藤总黄酮的提取率先增加后降低。

b)正交试验中各因素对鸡血藤总黄酮提取率影响大小顺序依次为提取溶剂、超声功率、提取时间和过筛目数。

c)最佳提取工艺条件为:鸡血藤粉末过100目筛,加入50%乙醇,超声功率300 W,提取时间1.5 h;在最佳工艺条件下,鸡血藤的总黄酮提取率为29.54%,提取效率高。

参考文献:

- [1] 应军, 曾祥腾, 何燕, 等. 大孔吸附树脂富集纯化鸡血藤总黄酮的研究[J]. 中药材, 2010, 33(11): 1798-1800.
- [2] 唐任能, 曲晓波, 关树宏, 等. 鸡血藤的化学成分[J]. 中国天然药物, 2012, 10(1): 32-35.
- [3] 张祎, 邓岫, 李晓霞, 等. 鸡血藤化学成分的分离与结构鉴定[J]. 沈阳药科大学学报, 2014, 31(3): 174-178.
- [4] 刘晓艳, 徐崑, 杨秀伟, 等. 鸡血藤非黄酮类化学成分的研究[J]. 中国中药杂志, 2020, 45(5): 1120-1127.
- [5] 丁梁斌, 马春梅, 赵苹苹, 等. 响应面法优化酶解-超声辅助提取鸡血藤多糖工艺研究[J]. 中国食品添加剂, 2021, 32(7): 88-96.
- [6] 刘杰, 何钢, 刘贤桂, 等. 人工栽培鸡血藤中五种黄酮类物质含量测定[J]. 分子植物育种, 2017, 15(9): 3832-3837.
- [7] 曹斌, 韦桂宁. 鸡血藤中黄酮类化合物药理作用研究进展[J]. 内科, 2017, 12(3): 341-343.
- [8] 陈军, 孟爽爽, 李苗苗, 等. 不同树脂环纹数鸡血藤药材质量的分析和评价[J]. 中药新药与临床药理, 2021, 32(3): 392-399.
- [9] 刘军民, 安冉, 翟明, 等. 鸡血藤商品药材质量评析[J]. 中药新药与临床药理, 2012, 23(5): 573-575.
- [10] 仰铁锤, 林振坤, 丁平, 等. 鸡血藤药材质量评价研究[J]. 中国药学杂志, 2009, 44(23): 1765-1768.
- [11] 邓萌萌, 周波, 吴佳欣, 等. 鸡血藤有效部位提取物紫外-可见分光光度法测定总黄酮含量[J]. 四川中医, 2018, 36(11): 195-197.
- [12] 陈海兰, 赵尉丹, 付远妨, 等. 鸡血藤总黄酮抗炎活性的研究[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2017, 527(11): 211-213.
- [13] Chen S R, Wang A Q, Lin L G, et al. In vitro study on anti-hepatitis C virus activity of *Spatholobus suberectus* Dunn[J]. Molecules, 2016, 21(10): 1367-1367.
- [14] 王兰英, 孙吉利, 苏家茹. 鸡血藤总黄酮对人乳腺癌细胞株 MCF-7 增殖凋亡的影响及对 Wnt/ β -catenin 通路的调控作用[J]. 中医学报, 2021, 36(7): 1512-1518.
- [15] 何梦杰, 刘莹莹, 任瑞华, 等. 益母草与鸡血藤及其配伍的抗氧化活性比较[J]. 药学研究, 2021, 40(1): 6-8.
- [16] 谭潇, 董宪喆, 郭代红, 等. 鸡血藤醇提物及其活性成分儿茶素抗辐射作用及机制研究[J]. 中国中药杂志, 2016, 41(9): 1718-1724.

[17] Guan Y, An P, Zhang Z, et al. Screening identifies the Chinese medicinal plant *Caulis Spatholobi* as an effective HAMP expression inhibitor[J]. *Journal of Nutrition*, 2013, 143(7): 1061-1066.

[18] 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, 2020:202-203.

[19] 刘仰斌, 张志花. 均匀设计法优选鸡血藤总黄酮提取工艺研究[J]. *宜春学院学报*, 2014, 36(9): 85-87.

[20] 王健松, 李远彬, 王羚郦, 等. 超临界和亚临界提取的沉香精油的气相色谱-质谱联用分析[J]. *时珍国医国药*, 2017, 28(5): 1082-1085.

[21] 董攀, 罗泽欣, 王冬梅. 鸡血藤原花青素的提取工艺和体外抗氧化活性[J]. *中山大学学报(自然科学版)*, 2017, 56(1): 8-13.

[22] 梁燕妮, 刘平江, 丘观玲. 响应面法优化超声提取鸡血藤总黄酮[J]. *梧州学院学报*, 2020, 30(3): 26-33.

[23] 周光姣, 王超群. 超声波辅助醇提取鸡血藤总黄酮工艺研究[J]. *甘肃中医学院学报*, 2014, 31(1): 17-22.

[24] 万水昌, 王志祥, 乐龙, 等. 超声提取技术在中药及天然产物提取中的应用[J]. *西北药学杂志*, 2008, 23(1): 60-62.

[25] 张德斌, 翟文姣, 刘国香, 等. 不同粒径对蛹虫草活性成分溶出量的影响[J]. *食品科技*, 2021, 46(12): 204-209.

[26] 刘蕊, 戴娜桑, 李健, 等. 不同粒径粉碎对葛根主要有效成分葛根素溶出影响的研究[J]. *中兽医医药杂志*, 2011, 30(1): 40-44.

[27] 桂利利, 吴正坤, 余惠凡, 等. 黄药叶总黄酮提取工艺优化及其抗氧化活性研究[J]. *食品研究与开发*, 2021, 42(19): 100-108.

[28] Yu M, Wang B, Qi Z, et al. Response surface method was used to optimize the ultrasonic assisted extraction of flavonoids from *Crinum asiaticum*[J]. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 2019, 26(8): 2079-2084.

[29] 李成华, 薛长松, 李丽. 酸浆宿萼总黄酮提取工艺优化及其抗氧化活性[J]. *北方园艺*, 2018, 422(23): 124-131.

[30] 李阳, 余晓晖, 郭玫, 等. 超声辅助提取西藏凹乳芹总黄酮工艺的优化[J]. *中成药*, 2022, 44(2): 362-366.

[31] 逯家辉, 姜鑫, 李昊龙, 等. 应用响应面法优化超声波法提取甘草中总黄酮的工艺[J]. *吉林大学学报(工学版)*, 2008, 38(2): 293-298.

[32] 时桂芹, 沈佳鑫, 孙新成, 等. 芍药种皮黄酮类化合物的超声辅助提取工艺优化及抗氧化活性分析[J]. *中国食品添加剂*, 2021, 32(2): 26-34.

[33] 卢伟, 杨光义, 叶方, 等. 正交试验设计优选重楼总皂苷提取工艺[J]. *中国药师*, 2015, 18(9): 1484-1487.

[34] 宁娜, 韩建军, 李广平, 等. 鸡血藤活性成分提取的研究进展[J]. *山东化工*, 2021, 50(12): 40-41.

[35] 席飞飞, 何钢, 刘贤桂, 等. Zn、B 配施对鸡血藤黄酮类化合物积累的影响[J]. *热带亚热带植物学报*, 2018, 26(1): 73-78.

[36] 陈乾平, 谷筱玉, 龙海荣, 等. 不同产地鸡血藤药材中芒柄花素及总黄酮的含量测定[J]. *当代化工*, 2016, 45(7): 1549-1552.

[37] 潘虹, 包永睿, 孟宪生, 等. 综合权重相关分析优选鸡血藤抗肝肿瘤组分的提取工艺[J]. *中成药*, 2015, 37(11): 2413-2417.

[38] 李斌, 李霄, 宁小青, 等. 广西产野生与栽培鸡血藤的总黄酮含量研究[J]. *广西中医学院学报*, 2012, 15(2): 53-55.

[39] 张夏辉, 蒋世云, 傅凤鸣, 等. 鸡血藤中黄酮类化合物提取工艺的研究[J]. *化学分析计量*, 2013, 22(1): 92-94.

[40] 王有娣, 钟丽娟, 徐娟娟, 等. 正交试验优选鸡血藤总黄酮提取工艺[J]. *中国饲料*, 2021, 669(1): 39-42.

(责任编辑:张会巍)