

唐文文,陈 垣. 党参地上茎叶总黄酮提取工艺及其抗氧化活性[J]. 江苏农业科学,2021,49(17):171-177.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.17.031

党参地上茎叶总黄酮提取工艺及其抗氧化活性

唐文文^{1,2}, 陈 垣²

(1. 铜仁职业技术学院, 贵州铜仁 554300; 2. 甘肃农业大学农学院, 甘肃兰州 730070)

摘要:以党参废弃物茎叶为试验材料,在单因素试验基础上,设计 Box - Behnken 响应面实验,优化双酶协同超声波提取党参茎叶总黄酮的最佳提取工艺,采用清除 DPPH 自由基、ABTS 自由基和 FRAP 法评价党参茎叶总黄酮的抗氧化活性。结果表明,利用双酶协同超声法提取党参茎叶总黄酮的最佳条件为:液料比 40 mL : 1 g,乙醇体积分数 70%,双酶(纤维素酶:果胶酶=1:1)用量 0.45 mg/mL,酶解时间 60 min,超声时间 42 min,此条件下,总黄酮提取率为 6.511%。DPPH 自由基、ABTS 自由基和 FRAP 总还原力的分析结果表明,党参茎叶总黄酮具有较高的抗氧化活性,在浓度为 100 $\mu\text{g/mL}$ 时,对 DPPH 自由基清除率达到 91.74%;在浓度达到 500 $\mu\text{g/mL}$ 时,对 ABTS 自由基的清除率为 94.82%,非常接近维生素 C;党参茎叶总黄酮的总还原力为 28.22 mg/g。本研究确定出党参茎叶总黄酮具有抗氧化活性,可为党参资源的充分利用提供数据支撑。

关键词:党参茎叶;总黄酮;提取工艺;双酶协同超声法;响应面;抗氧化

中图分类号:R284 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2021)17-0171-07

党参[*Codonopsis pilosula* (Franch.) Nannf.] 为桔梗科多年生草本植物,始载于《本草从新》,是传统的补中益气类中药材,也是药食两用大宗中药材^[1-2]。《中国药典》规定党参的药用部位为根^[3],

在主产区为方便采挖根部,需先割掉其地上部分,在种植区调研发现,党参生长期其地上部分的生物量远大于根部,为促进根部生长,会在生长中期对其进行“打尖割蔓”,其地上部分茎叶多数被弃于田间路旁。随着人们健康意识的提高,党参需求量倍增,近年来党参年均种植面积均在 3.3 万 hm^2 以上,大量的党参茎叶被丢弃,浪费资源的同时又造成产地环境污染。有学者对党参地上部分的化学成分进行研究,但大多集中在多糖和皂苷上^[4-6],对其黄酮类化合物的研究较少,黄酮类化合物具有抗氧化、抗病毒、保肝、抗癌、抗炎等药理活性^[7],并且

收稿日期:2021-06-30

基金项目:国家重点研发专项(编号:2018YFC1706301);甘肃省现代农业中药材产业体系首席专家项目(编号:GARS-ZYC-1)。

作者简介:唐文文(1986—),女,河南许昌人,硕士,副教授,主要从事药用植物资源开发与利用研究。E-mail:412251544@qq.com。

通信作者:陈 垣,博士,教授,主要从事药用植物资源开发与利用研究。E-mail:chenyuan@gsau.edu.cn。

呋喃类等各大类物质成分含量相对稳定。因炉温太高会引起顶空气体压力过高,导致系统漏气,故建议检测戴云山羊肉挥发性物质的顶空设置条件为炉温 120 $^{\circ}\text{C}$ 、平衡时间 40 min。

参考文献:

- [1] 刘 远,林碧芬,林仕欣,等. 浅谈福建地方山羊品种高繁殖力资源的开发利用[J]. 中国草食动物,2010,30(6):57-59.
- [2] 甘善化. 戴云山羊品种特性及饲养管理技术要点[C]. 福建省科协第十一届学术年会畜牧兽医分会论文集. 惠安,2011:128-132.
- [3] 李文杨,张晓佩,高承芳,等. 福建戴云山羊的资源保护和开发利用[J]. 中国草食动物,2010(增刊1):31-34.
- [4] 张国森,蔡双英. 戴云山羊种质资源及其保种措施[J]. 福建畜

牧兽医,2002,24(6):33,34.

- [5] 刘 远,林仕欣,张晓佩,等. 戴云山羊品种特性与生产性能[J]. 家畜生态学报,2011,32(4):46-48.
- [6] 陈秀宏,肖 剑,陈 华. 顶空法测气液平衡影响因素的研究[J]. 化学工程师,2005,19(12):16-17.
- [7] 王 芳. 加热炉温度和加热平衡时间对顶空气相色谱法测定甲醇结果的影响[J]. 现代农业科技,2012(8):268-268,272.
- [8] 朱震海,蔡 嵘,宣栋樑. 顶空温度和平衡时间对顶空气相色谱法测定水中卤代烃结果的影响[J]. 中国卫生检验杂志,2015,25(6):797-800.
- [9] 马永娥,金雅薇,刘 珩,等. 顶空气相色谱法测定墨粉用苯丙树脂残余单体[J]. 热固性树脂,2016,31(4):51-53.
- [10] 冯棋琴,马玉琼,吴满梅,等. 不同产地压榨山茶油挥发性风味成分顶空取样 GC-MS 分析[J]. 中国油脂,2018,43(2):138-141,145.

植物源黄酮类化合物具天然低毒的特点,在开发高效安全的天然药物、护肤品、保健品等方面具有广阔前景。目前尚未见对党参地上部分茎叶黄酮类提取工艺和生物活性的研究,因此本试验采用双酶法协同超声波提取党参地上部分茎叶的总黄酮,再通过 Box - Behnken 响应面法优化其提取工艺,并测定其抗氧化活性,为党参资源的充分合理利用及其非药用部位的药理活性研究提供数据支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料、仪器与试剂

试验用党参茎叶,于 2020 年 9 月中旬采于甘肃省渭源县,经甘肃农业大学陈垣教授鉴定为桔梗科植物党参[*Codonopsis pilosula* (Franch.) Nannf.]地上部分茎叶,将地上部分茎、叶分离,去杂质,45℃烘干,备用。

UV - 1801 紫外可见分光光度计,购自北京瑞丽分析仪器公司;SB5200DTD 超声波清洗机,购自宁波新芝生物科技股份有限公司;CP214 电子天平,购自奥豪斯仪器(上海)有限公司;New Human Power 型超纯水仪,购自韩国 Human 公司;芸香苷(批号为 B20771,纯度≥98%),购自上海源叶生物科技有限公司;DPPH、ABTS,购自 Sigma 试剂公司;纤维素酶、果胶酶均为食品级,购自南宁庞博生物有限公司;乙醇、亚硝酸钠、硝酸铝、氢氧化钠均为分析纯,购自上海国药集团化学试剂有限公司。

1.2 方法

1.2.1 党参茎叶总黄酮的提取 精确称取党参茎叶(茎:叶=1:1)粉末 2.0 g,过四号筛,置于具塞三角瓶中,按不同液料比加入不同浓度的乙醇水溶液,密塞摇匀,调节溶液 pH 值为 4.5,按照纤维素酶:果胶酶=1:1 的比例加入不同量的双酶,放入 40℃水浴锅中保温酶解反应一定时间,取出,50℃、250 W 超声一定时间,摇匀,4 000 r/min 离心 10 min,精确量取上清液 5 mL,定容至 10 mL 容量瓶中,得党参茎叶总黄酮提取液。

1.2.2 党参茎叶总黄酮含量的测定 参考陈蓬凤等的方法^[8],以芸香苷为对照品,绘制标准曲线,以吸光度 *D* 为纵坐标,芸香苷浓度 *C* 为横坐标,得线性回归方程为 $D = 10.003C + 0.0007 (r^2 = 0.9993)$,芸香苷对照品质量浓度的线性范围为 0.015 ~ 0.75 mg/mL。按照下式计算党参茎叶总黄酮提取率(*x*)。

$$x = (C_1 \times V \times n) / m \times 100\%$$

式中:*C*₁ 为标准曲线中计算出的总黄酮浓度,mg/mL;*V* 为提取液体积,mL;*n* 为稀释倍数;*m* 为取样量,g。

1.2.3 单因素试验设计 精确称取党参茎叶粉末 2.0 g,其他提取条件保持一致,分别固定液料比 40 mL:1 g、乙醇体积分数 40%,超声时间 40 min、双酶(纤维素酶:果胶酶=1:1)用量 0.4 mg/mL、酶解时间 60 min 等因素中的 4 个,考察其余各因素对党参茎叶总黄酮提取率的影响。试验设计见表 1。

表 1 党参茎叶总黄酮提取率单因素试验设计

水平	液料比 (mL : g)	乙醇体积分数(%)	超声时间 (min)	双酶用量 (mg/mL)	酶解时间 (min)
1	10 : 1	40	10	0.0	10
2	20 : 1	50	20	0.1	20
3	30 : 1	60	30	0.2	40
4	40 : 1	70	40	0.4	60
5	50 : 1	80	50	0.6	80
6	60 : 1	90	60	0.8	100

1.2.4 Box - Behnken 响应面试验设计 在“1.2.3”节单因素试验的基础上,对单因素试验结果进行分析后,选取对总黄酮提取率影响较大的因素为独立变量,以党参茎叶总黄酮提取率为响应值,设计响应面试验。

1.2.5 抗氧化活性测定

1.2.5.1 DPPH 自由基清除能力测定 将 DPPH

配制成浓度为 0.2 mmol/L 的 DPPH 乙醇溶液,参考 Dong 等的测定方法^[9],将党参茎叶总黄酮配成不同浓度的溶液,分别取所配溶液各 2 mL,均加入 2.0 mL DPPH 乙醇溶液,快速混匀,于室温下避光反应 30 min,在 517 nm 处测定吸光度,以乙醇为空白对照,以维生素 C 为阳性对照。样品对 DPPH 自由基清除率用下述方程计算:

$$y = [D_0 - (D_s - D_{s0})] / D_0 \times 100\%$$

式中: y 为 DPPH 自由基清除率, %; D_0 为空白组的吸光度; D_s 为不同样品吸光度; D_{s0} 为样品自身吸光度。

1.2.5.2 ABTS 自由基清除能力测定 参考 de Souza 等的方法^[10], 将 5 mL 7 mmol/L ABTS 溶液和 5 mL 2.45 mmol/L 过硫酸钾溶液混合摇匀, 室温中避光静置 12 h, 使用前, 用乙醇稀释至吸光度为 0.70 ± 0.02 (734 nm 波长下) 的 ABTS⁺ 工作液, 取不同浓度的样品溶液 50 μ L 加入 2 mL ABTS⁺ 工作液, 充分混合, 室温避光反应 6 min, 于 734 nm 处测吸光度, 以乙醇为空白对照, 以维生素 C 为阳性对照。样品对 ABTS 自由基清除率用下述方程计算:

$$T = (1 - D_s / D_0) \times 100\%$$

式中: T 为 ABTS 自由基清除率, %; D_0 为空白组的吸光度; D_s 为不同样品吸光度。

1.2.5.3 FRAP 总还原力的测定 参考 Jin 等的方法^[11], 取浓度为 0.2 mg/mL 的党参茎叶总黄酮溶液 0.5 mL 于 10 mL 具塞比色管中, 加入 4 mL FRAP 工作液 (现用现配), 充分混匀, 37 $^{\circ}$ C 水浴 30 min 后, 593 nm 处测定反应液的吸光度。以不同浓度的 VC 系列溶液绘制标准曲线 ($y = 6.823x + 0.0405$, $r^2 = 0.9976$), 以 1 g 样品中 VC 相当含量表示样品的总还原能力 (mg/g)。

1.3 数据处理

采用 Design - Expert 8.0.6 软件进行响应面分析, Excel 2010 和 SPSS 20.0 进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

如图 1 - A 所示, 在液料比为 10 ~ 40 mL : 1 g 范围内时, 随着液料比增加, 总黄酮的提取率逐渐升高, 主要是由于伴随着溶剂比例的提高, 增大了党参茎叶粉末与提取溶剂的接触面积, 促进黄酮类化合物的溶出, 当液料比达到 40 mL : 1 g 时, 提取率达到最大; 继续增大液料比, 提取率略微下降, 可能是由于溶剂比例过大会增加提取过程中的损耗。因此本试验选择 40 mL : 1 g 为最佳液料比。

如图 1 - B 所示, 乙醇体积分数在 40% ~ 70% 范围内时, 随着体积分数增加, 总黄酮提取率逐渐增大, 当乙醇体积分数达到 70% 时, 提取率达到最大值; 继续增加乙醇体积分数, 提取率下降。可能是由于党参茎叶中所含黄酮类化合物既有游离黄

酮又有可溶于水的黄酮苷类物质, 且游离黄酮占比较大, 乙醇体积分数过低造成游离黄酮苷元不能充分溶出, 体积分数过高又会影响极性较大的黄酮苷类物质溶出。因此本研究选择 60%、70%、80% 进行响应面优化试验。

如图 1 - C 所示, 超声时间对党参茎叶总黄酮的提取率影响较大, 超声提取时间在 40 min 内时, 随着时间的延长, 总黄酮提取率增加, 在 40 min 时提取率达到最大; 此时继续增加超声提取时间, 不仅未使提取率进一步提高, 反而有所降低。可能因为超声时间过短, 植物细胞壁不能被充分破坏, 阻碍了有效成分的溶出; 而超声时间过长, 一部分黄酮类物质在超声波的空化作用及机械效应下结构发生改变。因此, 本研究选择 30、40、50 min 进行响应面优化试验。

如图 1 - D 所示, 双酶用量对的提取率影响较大, 未加酶处理的总黄酮提取率远低于加酶处理, 可能由于党参茎秆中纤维素类和果胶类含量较多, 影响活性成分的溶出, 纤维素酶和果胶酶能够分解植物细胞壁中的纤维素和果胶, 从而加快破坏细胞壁的速度。在双酶用量为 0.4 mg/mL 时, 党参茎叶总黄酮提取率最高, 因此本研究选择酶用量 0.3、0.4、0.5 mg/mL 进行响应面优化试验。

如图 1 - E 所示, 当酶解时间在 60 min 之内时, 总黄酮提取率随酶解时间延长而升高, 并且升高较快, 60 min 以后提取率趋于平缓。酶解时间过短, 纤维素酶和果胶酶不能充分破坏原料的细胞壁, 随着酶解时间延长, 纤维素和果胶已被降解完全, 过长的酶促反应时间可能还会破坏黄酮的结构, 从节约时间和保证纯度考虑, 确定酶解反应时间为 60 min。

2.2 响应面试验

2.2.1 响应面试验设计及结果 根据单因素试验结果, 固定液料比为 40 mL : 1 g、酶解时间为 60 min 条件下, 选取乙醇体积分数 (A)、超声时间 (B)、双酶用量 (C) 等 3 个因素为变量, 以党参茎叶总黄酮提取率 (x) 为响应值, 采用 Box - Behnken 法设计 3 因素 3 水平响应面试验, 试验设计见表 2, 响应面试验结果见表 3。使用 Design - Expert 8.0.6 软件对试验数据进行二次响应面回归分析, 得到如下多元二次回归方程:

$$x = 6.55 + 0.20A + 0.057B + 0.087C - 0.046AB - 0.050AC + 0.0005BC - 0.57A^2 - 0.13B^2 - 0.073C^2。$$

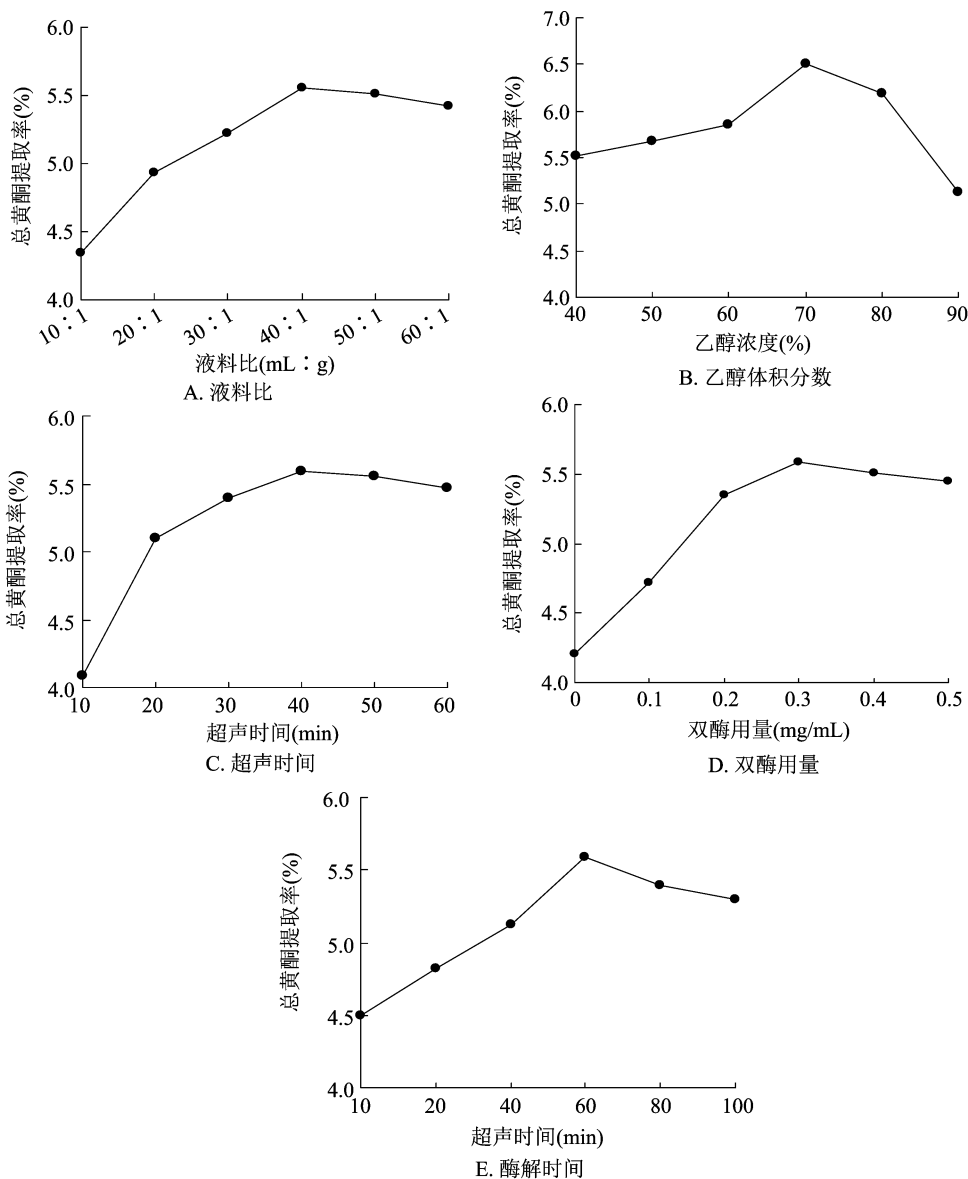


图1 各因素对党参茎叶总黄酮提取率的影响

表 2 党参茎叶总黄酮提取响应面试验设计因素及水平			
水平	A:乙醇体积分数(%)	B:超声时间(min)	C:双酶用量(mg/mL)
-1	60	30	0.3
0	70	40	0.4
1	80	50	0.5

由表4可知,该模型显著性检验的 P 值 <0.0001 ,表明该模型具有统计学意义。失拟项的 P 值为 $0.3211 > 0.05$,调整系数 $R^2_{adj} = 0.9851$,变异系数 CV 为 0.69% ,说明回归模型拟合较好,能较准确反映3个因素对党参茎叶总黄酮提取率的影响。从 F 值可以看出各因素对党参茎叶总黄酮提取率的影响大小:乙醇体积分数 $>$ 双酶用量 $>$ 超声时间。

2.2.2 方差和交互作用分析 从表4方差来源中 A 、 B 、 C 、 AB 、 AC 、 BC 、 A^2 、 B^2 和 C^2 的 P 值分别为 <0.0001 、 0.0070 、 0.0007 、 <0.0001 、 0.0004 、 0.0102 ,表明 A 、 B 、 C 等3个因素对党参茎叶总黄酮提取率有极显著影响($P < 0.01$),且乙醇体积分数的影响最大,这在图2各因素两两交互作用的3D响应面图曲线坡度陡峭程度上得到了验证,乙醇体积分数的曲面最为陡峭;另外乙醇体积分数和双酶用量、乙醇体积分数和超声时间均有一定的交互作用,而超声时间和双酶用量的等高线为圆形,3D响应面几乎无曲度,说明二者几乎无交互作用。

2.2.3 最优提取条件的确定及验证 根据响应面分析得到最优提取条件为:乙醇体积分数 71.38% ,

表 3 党参茎叶总黄酮提取响应面试验结果

试验号	A	B	C	总黄酮提取率 (%)
1	-1	0	1	5.862
2	0	1	-1	6.293
3	-1	1	0	5.772
4	-1	-1	0	5.511
5	0	0	0	6.605
6	0	-1	1	6.402
7	1	0	1	6.132
8	1	-1	0	6.013
9	0	-1	-1	6.235
10	0	0	0	6.538
11	1	1	0	6.092
12	0	1	1	6.462
13	0	0	0	6.582
14	0	0	0	6.533
15	1	0	-1	6.053
16	-1	0	-1	5.582
17	0	0	0	6.512

超声时间 41.93 min,双酶用量 0.45 mg/mL,此条件下党参茎叶总黄酮的提取率理论值可达 6.597%。考虑到实际可操作性,最佳提取条件优化为:液料比 40 mL : 1 g,乙醇体积分数 70%,双酶用量 0.45 mg/mL,酶解时间 60 min,超声时间 42 min,得到实际提取率为 6.511%,与理论值相差 0.086 百分点。说明此模型预测较好且稳定,可用于党参茎叶中总黄酮的提取。

2.3 党参茎叶总黄酮抗氧化能力评价

自由基对人体正常细胞的攻击与摧毁,是引起人类衰老和患病的主要原因,抗氧化剂通过清除自由基在保证人体健康中起着至关重要的作用。黄酮类化合物除了直接捕捉或络合自由基外,还可通过激活机体的抗氧化系统来发挥抗氧化作用^[12],从而减少机体的氧化损伤。本研究采用清除 DPPH 自由基、ABTS 自由基和 FRAP 法评价党参茎叶总黄酮的抗氧化活性。

如图 3 和图 4 所示,党参茎叶总黄酮有较强的 DPPH 自由基清除能力,在浓度为 10~80 μg/mL

表 4 党参茎叶总黄酮提取回归模型方差分析

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	1.96	9	0.22	118.42	<0.000 1	**
A	0.31	1	0.31	165.80	<0.000 1	**
B	0.026	1	0.026	14.24	0.007 0	**
C	0.060	1	0.060	32.78	0.000 7	**
AB	8.281 × 10 ⁻³	1	8.281 × 10 ⁻³	4.50	0.071 7	
AC	0.010	1	0.010	5.48	0.0517	
BC	0.001 × 10 ⁻³	1	0.001 × 10 ⁻³	54.29 × 10 ⁻⁵	0.982 1	
A ²	1.39	1	1.39	752.88	< 0.000 1	**
B ²	0.075	1	0.075	40.51	0.000 4	**
C ²	0.022	1	0.022	12.14	0.0102	*
残差	0.013	7	1.842 × 10 ⁻³			
失拟项	7.047 × 10 ⁻³	3	2.349 × 10 ⁻³	1.61	0.321 1	
纯误差	5.846 × 10 ⁻³	4	1.462 × 10 ⁻³			
总回归	1.98	16				

注: *、** 分别表示差异显著($P<0.05$)、极显著($P<0.01$)。 $R^2_{Adj}=0.985\ 1$, $CV=0.69\%$ 。

时,清除率随着浓度的升高而快速增大;在浓度为 100 μg/mL 时,清除率达到 91.74%,略低于 VC。党参茎叶总黄酮对 ABTS 自由基的清除能力与 DPPH 走势相似,在 50~400 μg/mL 范围内,清除率增大较快;在浓度达到 500 μg/mL 时,对 ABTS 清除率为 94.82%,非常接近 VC。

党参茎叶总黄酮清除 DPPH、ABTS 的半抑制浓度(IC₅₀)以及 FRAP 总还原力分析结果见表 5,IC₅₀ 越小,清除自由基能力越强。由表 5 可知,ABTS 自由基的 IC₅₀ 为 DPPH 自由基的近 7 倍,说明党参茎叶总黄酮对 DPPH 自由基具有更强的清除能力。铁离子的总还原力用来确定各样品是否具有潜在的

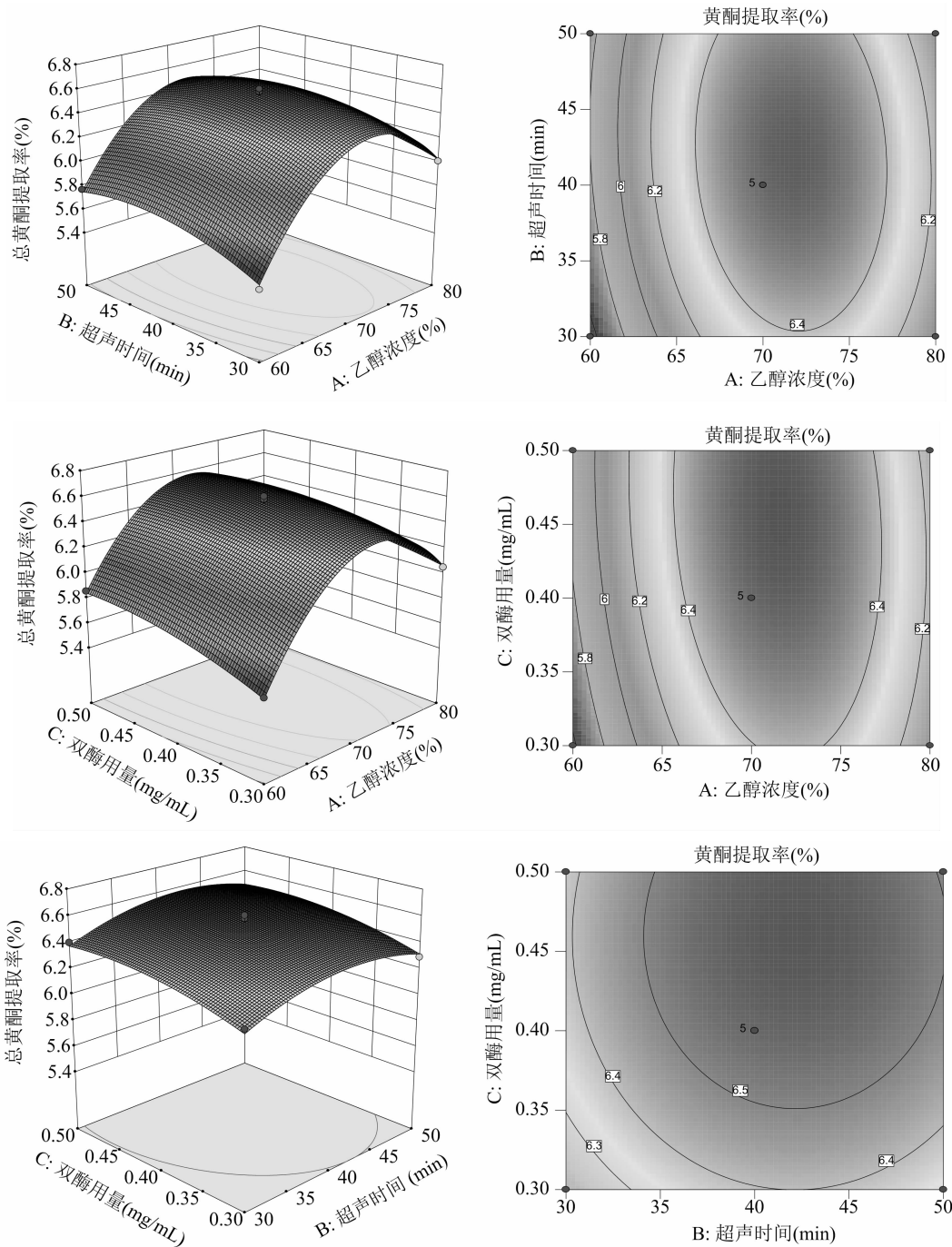


图2 各因素交互作用对党参茎叶总黄酮提取率的影响

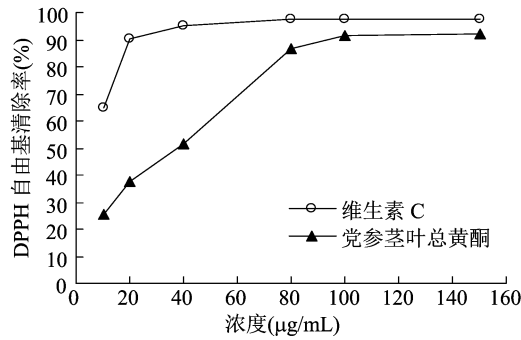


图3 党参茎叶总黄酮对 DPPH 自由基的清除能力

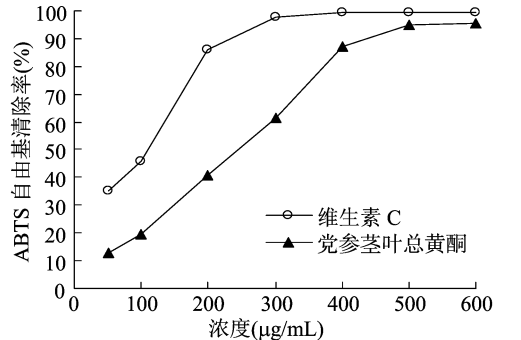


图4 党参茎叶总黄酮对 ABTS 自由基的清除能力

抗氧化活性。用维生素 C 建立的标准曲线进行换算,以 1 g 样品中维生素 C 相当含量表示其抗氧化能力,如表 5 所示,党参茎叶总黄酮的总还原力为 28.22 mg/g。以上 DPPH 自由基、ABTS 自由基和总还原力测定结果表明,党参茎叶具有较强的抗氧化活性。另外本研究还表明,党参茎叶总黄酮对 DPPH 自由基、ABTS 自由基清除力与 FRAP 总还原力存在一定的差异性,可能与其成分含量和组成不同以及不同的抗氧化体系考察的抗氧化活性的不同方面有关。

表 5 党参茎叶总黄酮清除 DPPH 自由基、ABTS 自由基的 IC_{50} 及 FRAP 总还原力

样品	IC_{50} ($\mu\text{g/mL}$)		FRAP 总还原力 (mg/g)
	清除 DPPH	清除 ABTS	
党参茎叶总黄酮	36.94 \pm 2.22	239.23 \pm 6.13	28.22 \pm 0.47

3 结论

本研究采用双酶协同超声法对党参茎叶总黄酮进行提取,集合了超声波和酶 2 种提取方法的特点,通过超声波的振动使细胞壁软化破碎,纤维素酶和果胶酶的加入能够分解那些阻止有效成分溶出的纤维和果胶,使黄酮类成分更易溶出^[13-14]。通过单因素和 Box - Behnken 响应面试验,确定党参茎叶总黄酮的最佳提取条件为:液料比 40 mL : 1 g,乙醇体积分数 70%,双酶用量 0.45 mg/mL,酶解时间 60 min,超声时间 42 min,得到实际提取率为 6.511%,与理论值的相差 0.086 百分点,说明此模型预测较好且稳定,可用于党参茎叶中总黄酮的提取;通过清除 DPPH 自由基、ABTS 自由基和 FRAP 法的抗氧化结果明确了党参茎叶总黄酮有较强的抗氧化活性。有研究表明,党参茎叶的毒性小,安全使用范围大^[15],因此党参茎叶一方面可以作为提取天然抗氧化剂的原料,另一方面可用于食品保健品、护肤品的开发提取原料以及作为饲料添加剂使用。

参考文献:

- [1] 于小红,赵 嵘,代云桃,等. 党参标准汤剂质量评价的建立[J]. 中国实验方剂学杂志,2017,23(7):24-29.
- [2] 吴仪洛. 本草从新:十八卷[M]. 新 1 版. 上海:上海卫生出版社,1957:5.
- [3] 国家药典委员会. 中国药典:一部[M]. 北京:中国医药科技出版社,2020:293.
- [4] Aga E B, Li H J, Chen J, et al. Chemical constituents from the aerial parts of *Codonopsis nervosa* [J]. Chinese Journal of Natural Medicines, 2012, 10(5):366-369.
- [5] 成 铭,皮文霞,陆兔林,等. 党参地上部分的党参炔苷、多糖含量测定及影响因素分析[J]. 中药材,2020,43(5):1092-1098.
- [6] 蔡兴航,孙晓春,孙安敏,等. 党参茎叶总皂苷提取工艺及其抗氧化活性研究[J]. 中国农学通报,2018,34(26):146-151.
- [7] Lin L Z, Zhuang M Z, Lei F F, et al. GC/MS analysis of volatiles obtained by headspace solid-phase microextraction and simultaneous-distillation extraction from *Rabdosia serra* (MAXIM.) HARA leaf and stem[J]. Food Chemistry, 2013, 136(2):555-562.
- [8] 陈逢凤,梅 新,黄师荣,等. 不同品种薯尖的总酚、总黄酮含量及抗氧化活性比较[J]. 现代食品科技,2021,37(3):132-138,15.
- [9] Dong X Z, Huang Y Y, Wang Y H, et al. Anti-inflammatory and antioxidant jasmonates and flavonoids from lychee seeds[J]. Journal of Functional Foods, 2019, 54:74-80.
- [10] de Souza D R, Willems J L, Low N H. Phenolic composition and antioxidant activities of saskatoon berry fruit and pomace[J]. Food Chemistry, 2019, 290:168-177.
- [11] Jin L, Li X B, Tian D Q, et al. Antioxidant properties and color parameters of herbal teas in China [J]. Industrial Crops and Products, 2016, 87:198-209.
- [12] 杨 硕,徐元庆,邢媛媛,等. 植物源黄酮类化合物对动物免疫和抗氧化功能影响的研究进展[J]. 动物营养学报,2019,31(7):2958-2964.
- [13] 王 英,张玉刚,戴洪义. 苹果果皮中类黄酮的超声波辅助提取及稳定性研究[J]. 食品科学,2011,32(16):178-181.
- [14] 李 侠,邹基豪,王大为. 响应面试验优化超声波-酶法提取绿豆皮黄酮类化合物工艺[J]. 食品科学,2017,38(8):206-212.
- [15] 何国耀,王建国,郭福存,等. 党参茎叶的急、慢性毒性试验[J]. 中国兽医科技,1988,18(1):53-54.