

doi:10.3969/j.issn.1006-4931.2022.11.008

黄芪多糖高压破碎提取工艺优化及体外抗氧化活性研究*

梁万年¹,李海池^{2,3},钟超¹,廖志远¹,王晓可¹,陈图敏^{1△}

(1. 中国科学院大学深圳医院 < 光明 >, 广东 深圳 518106; 2. 广州中大南沙科技创新产业园有限公司, 广东 广州 511458; 3. 中智广州经济技术合作有限公司, 广东 广州 510080)

摘要:目的 优化黄芪多糖的高压破碎提取工艺,并评价黄芪多糖的体外抗氧化活性。方法 采用单因素试验考察黄芪药材中黄芪多糖的提取工艺,包括药材粒度、破碎提取压力、乙醇体积分数、液料比、提取次数。以黄芪多糖得率为评价指标,以药材粒度、破碎提取压力、乙醇体积分数、液料比为考察因素,采用 $L_9(3^4)$ 正交试验优化最佳高压破碎提取工艺。以 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)、2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐(ABTS)自由基的清除能力为指标,检测黄芪多糖的体外抗氧化活性。结果 高压破碎提取工艺最优条件为,将药材粉碎至 80 目,在 125 MPa 提取压力下加 20 倍水,提取 2 次;3 批药材样品中黄芪多糖得率平均为 9.41%,RSD 为 0.98%。黄芪多糖对 DPPH 自由基和 ABTS 自由基均具有一定的清除能力,自由基清除率为 50% 时黄芪多糖质量浓度分别为 1.131 mg/mL 和 1.037 mg/mL,且与黄芪多糖质量浓度呈正相关。结论 所建立的黄芪多糖高压破碎提取工艺稳定可行,黄芪多糖具有一定的体外抗氧化活性。

关键词:黄芪多糖;高压破碎提取; $L_9(3^4)$ 正交试验;体外抗氧化活性

中图分类号:R932;R284.2

文献标志码:A

文章编号:1006-4931(2022)11-0028-05

Optimization of High-Pressure Crushing Extraction Process of Astragalus Polysaccharides and Study of Its *in Vitro* Antioxidant Activity

LIANG Wannian¹, LI Haichi^{2,3}, ZHONG Chao¹, LIAO Zhiyuan¹, WANG Xiaoke¹, CHEN Tumin¹

(1. Shenzhen Hospital < Guangming > of University of Chinese Academy of Sciences, Shenzhen, Guangdong, China 518106; 2. Zhongda Nansha Science and Technology Innovation Industrial Park Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong, China 511458; 3. CHC Guangzhou Economic & Technical Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong, China 510080)

Abstract: Objective To optimize the high-pressure crushing extraction process of *Astragalus* polysaccharides (APS) and to evaluate its *in vitro* antioxidant activity. **Methods** The extraction process of APS in *Astragali Radix* was investigated by the single-factor test, including the particle size of medicinal materials, pressure of crushing extraction, volume fraction of ethanol, liquid-solid ratio and extraction times. The high-pressure crushing extraction process was optimized by the $L_9(3^4)$ orthogonal test with the yield of APS as the evaluation index and the particle size of medicinal materials, pressure of crushing extraction, volume fraction of

*基金项目:广东省深圳市光明区科技创新局中医药基础研究(扶持类)项目[2020R01133];中国科学院大学深圳医院科研项目[HRF-2021007]。

第一作者:梁万年,男,硕士,主管中医师,研究方向为中药新药研发,(电子信箱)183579864@qq.com。

△通信作者:陈图敏,男,硕士,主治医师,研究方向为中药资源开发与应用,(电子信箱)49051091@qq.com。

- 衰疗效的系统评价[J]. 中国医院用药评价与分析, 2022, 22(2):224-231.
- [9] 刘红艳. 妇科养荣胶囊联合雌孕激素人工周期序贯治疗卵巢早衰患者的效果[J]. 中国民康医学, 2021, 33(16):73-75.
- [10] 潘素荣,王孝良,吕金英. 坤泰胶囊联合人工周期序贯治疗卵巢早衰 53 例[J]. 中国药业, 2015, 24(4):77-78.
- [11] 袁龙,刘鹏,李冰融,等. 针灸相关疗法治疗卵巢早衰疗效的网状 Meta 分析[J]. 上海中医药杂志, 2022, 56(1):19-27.
- [12] 唐仕欢,申丹,卢朋,等. 中医传承辅助平台应用评述[J]. 中华中医药杂志, 2015, 30(2):329-331.
- [13] 陈雯玥,任青玲,洪丹丹,等. 基于中医传承辅助平台分析中医药治疗卵巢早衰的用药规律[J]. 中国中医基础医学杂志, 2019, 25(9):1251-1254.
- [14] 于兆欣,刘颖,徐攀高,等. 基于中医传承辅助平台的中
- 医治疗心房颤动用药规律分析[J]. 中西医结合心脑血管病杂志, 2022, 20(3):394-398.
- [15] 张茜. 中西医结合治疗肾虚型卵巢储备降低和卵巢早衰的临床疗效观察[D]. 广州:广州中医药大学, 2015.
- [16] 车勇智,马宏博. 卵巢早衰中医研究进展[J]. 亚太传统医药, 2018, 14(11):87-89.
- [17] 邓阿黎. 卵巢早衰,中医多从“肾”论治[J]. 中医健康养生, 2020, 6(6):46-49.
- [18] 胡薇. 调理冲任在妇科疾病运用的研究现状[J]. 陕西中医学院学报, 2009, 32(3):77-79.
- [19] 陶丽新,滕秀香,赵枫朝,等. 潜类别模型在卵巢早衰中医证候辨证分型中的应用[J]. 北京中医药, 2012, 31(8):566-568.
- [20] 张云,李淑萍. 情志因素与卵巢早衰的相关性探讨[J]. 陕西中医, 2015, 36(12):1631-1633.

(收稿日期:2021-12-06;修回日期:2022-03-23)

ethanol and liquid - solid ratio as the investigation factors. The *in vitro* antioxidant activity of APS was determined with the scavenging capabilities of 1,1 - diphenyl - 2 - trinitrophenylhydrazine (DPPH) and 2,2 - azino - bis (3 - ethylbenzo - thiazoline - 6 - sulfonic acid) diammonium salt (ABTS) free radicals as the indexes. **Results** The optimal process of high - pressure crushing extraction was as follows : the medicinal materials were crushed to 80 mesh sieve and extracted for twice with 20 times the amount of water under 125 MPa. The average yield of APS in three batches of medicinal materials was 9.41% with an *RSD* of 0.98%. APS had a certain scavenging capability for DPPH and ABTS free radicals. When the scavenging rate of APS for DPPH and ABTS free radicals was 50%, the mass concentrations of APS were 1.131 mg/mL and 1.037 mg/mL, and the scavenging rate of APS for DPPH and ABTS free radicals was positively correlated with the mass concentration of APS. **Conclusion** The established high - pressure crushing extraction process of APS is stable and feasible, and APS has a certain *in vitro* antioxidant activity.

Key words: *Astragalus* polysaccharides; high - pressure crushing extraction; $L_9(3^4)$ orthogonal test; *in vitro* antioxidant activity

黄芪为豆科植物蒙古黄芪 *Astragalus membranaceus* (Fisch.) Bge. Var. *mongholicus* (Bge.) Hsiao 或膜荚黄芪 *Astragalus membranaceus* (Fisch.) Bge. 的干燥根^[1]。黄芪多糖是黄芪的有效成分,是从黄芪根中得到的大分子活性物质,主要为葡聚糖和杂多糖,具有抗肿瘤、抗衰老、抗氧化、抗辐射、抗病毒、调节免疫、改善心血管功能、双向调节血糖、保护神经等作用^[2-5]。目前,通常采用热水浸提、酶解法、微波辅助提取、超声波辅助提取、超高压提取等方法提取黄芪多糖,但存在提取温度高、多糖易降解、需特定降解酶、仪器设备要求高、提取效率较低等问题^[6-8]。高压破碎提取技术是一种新型提取方法^[9],在低温或常温条件下,利用高压作用使样品高速通过狭窄的缝隙时受到强大的剪切力、撞击作用、湍流作用及在压力瞬间释放产生的空化效果等作用效果总和,使得细胞瞬间破碎并膨胀,促进细胞内有效成分溶出,从而提高有效成分的得率^[10],具有无需浸泡保压、提取效率高、对仪器设备耐压要求较低等优点。本研究中采用高压破碎提取法在低温条件下提取黄芪多糖,采用正交试验优化其提取工艺,并研究其体外抗氧化活性,以开辟提取、分离黄芪多糖的新途径。现报道如下。

1 仪器与试剂

1.1 仪器

UV - 2450型紫外可见分光光度计(岛津<中国>有限公司);AL104型分析天平(梅特勒-托利多仪器<上海>有限公司,精度为万分之一);JN - 10C型低温超高压连续流细胞破碎仪(广州聚能纳米生物科技股份有限公司);DK - 410HTDS型超声波清洗机(深圳市得康洗净电器有限公司);RE - 52 AA型旋转蒸发器,SHZ - D III型循环真空泵(上海予华仪器设备有限公司)。

1.2 试剂

黄芪药材饮片(广州至信中药饮片有限公司,批号为180601),经广州中大南沙科技创新产业园有限公司李海池副主任药师鉴定为正品;*D* - 无水葡萄糖标准品(中国食品药品检定研究院,批号110833 - 201908,纯

度为99.9%);1,1 - 二苯基 - 2 - 三硝基苯肼(DPPH,梯希爱<上海>化成工业发展有限公司,批号为1090 - 66 - 4,纯度97.0%);2,2 - 联氮 - 二(3 - 乙基 - 苯并噻唑 - 6 - 磺酸)二铵盐(ABTS,美国Sigma - Aldrich公司,批号为SLBG1958V,纯度为98.0%);过硫酸钾($K_2S_2O_8$,分析纯,国药集团化学试剂有限公司);维生素C片(佛山手心制药有限公司,批号为2011109);浓硫酸、无水乙醇、苯酚(分析纯,广州化学试剂厂);纯化水为自制双蒸水。

2 方法与结果

2.1 高压破碎提取方法^[9-10]

常温条件下,将黄芪药材粉碎后加入一定比例提取液,通过高速分散作用,使黄芪药材粉末在提取液中进一步粉碎,且均匀分散,将均匀分散的样品连续注入高压粉碎提取装置内;低温条件下,黄芪多糖类成分在瞬间产生的较大压力差作用下,迅速分散到提取液中,离心,分离滤液和药渣。所得滤液即为黄芪多糖类成分提取液。

2.2 多糖提取工艺流程

黄芪药材 → 粉碎 → 过筛 → 高压破碎提取 → 过滤 → 滤液减压浓缩 → 加95%乙醇(使含醇量达70%)^[11],4℃沉淀12h → 离心(转速为4000 r/min)10min → 沉淀物 → 无水乙醇洗涤 → 减压干燥 → 多糖粗品。按公式计算多糖得率。多糖得率(%) = (提取黄芪多糖质量 / 黄芪药材质量) × 100%。

2.3 多糖标准曲线绘制

取干燥至恒重的*D* - 无水葡萄糖标准品50mg,精密称定,置100mL容量瓶,加水溶解并定容,摇匀,配成质量浓度为0.5g/L的母液;精密移取0.1,0.2,0.5,0.7,1.5,2.0mL母液,分别置10mL容量瓶,分别加入6%苯酚溶液1.0mL和浓硫酸5.0mL,摇匀,静置10min,加水定容,以相应试剂为空白,于490nm波长处测定吸光度。以多糖质量浓度(*X*,g/L)为横坐标、吸光度(*Y*)为纵坐标绘制标准曲线,得回归方程 $Y = 9.4961X - 0.0025$, $R^2 = 0.9996$ ($n = 6$)。结果表明,多糖质量浓度在0.005~0.100g/L范围内与吸光度线性关系良好。

2.4 高压破碎提取工艺优化

2.4.1 单因素试验^[9-10,12]

药材粒度:称取适量不同粒度(过60,80,100,120,140目筛)的黄芪药材,以液料比为20:1(V/m),提取溶剂为纯化水,破碎提取压力为100 MPa,提取1次的条件进行高压破碎提取,考察不同药材粒度对黄芪多糖得率的影响。结果见图1 A。可知,黄芪药材粒度在80目时,黄芪多糖的得率较高。

破碎提取压力:称取黄芪药材(过80目筛)适量,共7份,以液料比为20:1(V/m),提取溶剂为纯化水,提取1次,破碎提取压力分别为50,75,100,125,150,175,200 MPa的条件进行高压破碎提取,考察不同破碎提取压力对黄芪多糖得率的影响。结果见图1 B。可见,黄芪多糖的得率随着破碎提取压力的升高而提高,125 MPa时多糖得率最大,继续提高破碎提取压力多糖得率反而降低。

乙醇体积分数:称取黄芪药材(过80目筛)适量,共5份,以液料比为20:1(V/m),提取溶剂分别为纯化水、10%乙醇、20%乙醇、30%乙醇、40%乙醇,破碎提取压力为125 MPa,提取1次的条件进行高压破碎提取,考察不同乙醇体积分数对黄芪多糖得率的影响。结果见图1 C。可见,黄芪多糖的得率随乙醇体积分数的升高而降低。不同体积分数乙醇,极性大小不同,对多糖的溶解能力不同。多糖易溶于水溶液,不易溶于乙醇溶液。

液料比(V/m)^[10]:称取黄芪药材(过80目筛)适量,共5份,以纯化水为提取溶剂,破碎提取压力为125 MPa,提取1次,液料比分别为5:1,10:1,20:1,30:1,40:1(V/m)的条件进行高压破碎提取,考察不同液料比对黄芪多糖得率的影响。结果见图1 D。可见,当液料比20:1(V/m)时,多糖得率较高。

提取次数:称取黄芪药材(过80目筛)适量,共4份,以纯化水为提取溶剂,液料比为20:1(V/m),破碎提取压力为125 MPa,不同提取次数(分别提取1,2,3,4次)进行高压破碎提取,考察不同提取次数比对黄芪多糖得率的影响。结果见图1 E。可见,当提取次数超过2次时,黄芪多糖的得率变化不大,继续增加提取次数反而会增加其他杂质的溶出,也会增加后续工艺的处理难度。综合考虑黄芪多糖得率及其对实际应用的影响,以提取2次为佳。

2.4.2 正交试验优化提取工艺

根据单因素试验考察结果,以黄芪多糖得率为评价指标,选取药材粒度(A)、破碎提取压力(B)、乙醇体积分数(C)、液料比(D)4个考察因素,采用正交试验优化高压破碎提取黄芪多糖的工艺参数。因素水平见表1。

表1 因素与水平
Tab.1 Factors and levels

水平	因素A(目)	因素B(MPa)	因素C(%)	因素D(mL/g)
1	60	100	0	10
2	80	125	10	20
3	100	150	20	30

由正交设计助手Ⅱ 3.1软件分析可知,4个因素对黄芪多糖得率的影响次序为 $C > A > B > D$,乙醇体积分数对黄芪多糖得率具有显著影响。根据实际操作、溶液制备的难易程度(如浓缩时间、成分影响等)及料液比成本综合考虑,最终选择液料比为20:1(V/m)。可得因素与水平的最佳组合为 $A_2B_2C_1D_2$,即高压破碎提取黄芪多糖的最佳工艺参数为药材粒度80目,破碎提取压力125 MPa,液料比20:1(V/m)用水提取2次。取3批药材,按最佳工艺参数进行验证,结果3批药材中多糖平

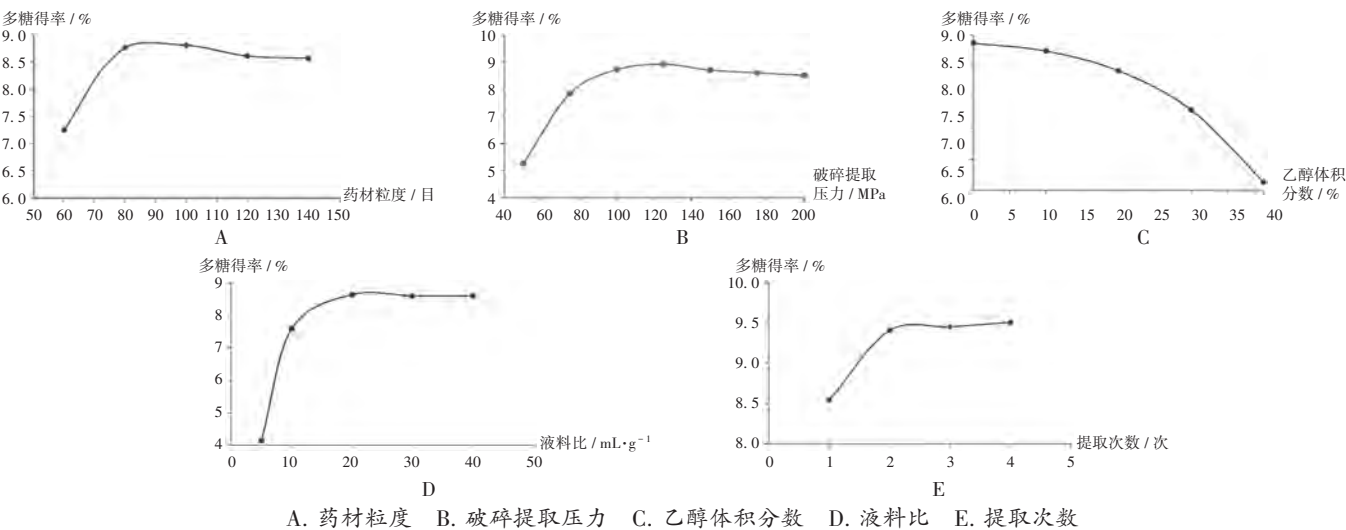


图1 黄芪多糖单因素试验

A. Particle size of medicinal materials B. Pressure of crushing extraction C. Volume fraction of ethanol D. Liquid - solid ratio E. Extraction times

Fig.1 Single factor test of APS

表2 $L_9(3^4)$ 正交试验设计与结果
Tab.2 Design and results of the $L_9(3^4)$ orthogonal test

试验号	因素				多糖得率 (%)
	A	B	C	D	
1	1	1	1	1	8.33
2	1	2	2	2	8.56
3	1	3	3	3	7.02
4	2	1	2	3	9.13
5	2	2	3	1	8.15
6	2	3	1	2	9.37
7	3	1	3	2	7.38
8	3	2	1	3	9.45
9	3	3	2	1	8.27
K_1	7.970	8.280	9.050	8.250	
K_2	8.883	8.720	8.653	8.437	
K_3	8.367	8.220	7.517	8.533	
R	0.913	0.500	1.533	0.283	

表3 方差分析结果
Tab.3 Results of ANOVA

因素	离差平方和	自由度	F值	P
A	1.258	2	10.145	> 0.05
B	0.447	2	3.605	> 0.05
C	3.800	2	30.645	< 0.05
D	0.124	2	1.000	> 0.05
误差	0.120	2		

注: $F_{0.05}(2, 2) = 19.00$ 。
Note: $F_{0.05}(2, 2) = 19.00$ 。

均得率为9.41%, RSD 为0.98%,表明该工艺稳定可行,可用于黄芪多糖的提取。

2.5 多糖体外抗氧化活性研究

2.5.1 DPPH 自由基清除率^[13-14]

溶液制备:取干燥至恒重的采用最优提取工艺提取的黄芪多糖0.5 g,精密称定,置100 mL容量瓶中,加水定容,摇匀,配制成质量浓度为5 mg/mL的供试品溶液。取上述供试品溶液,加水稀释成质量浓度分别为0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50 mg/mL的系列黄芪多糖待测溶液。同法制备系列阳性对照维生素C溶液。取DPPH标准品20 mg,精密称定,配制成质量浓度为0.04 mg/mL的DPPH无水乙醇溶液500 mL,充分振摇,4℃下避光保存,备用。

活性测定:分别取不同质量浓度的黄芪多糖待测溶液和维生素C溶液与DPPH无水乙醇溶液,各2 mL,充分混匀,避光静置反应30 min,于517 nm波长下测定吸光度(A),平行测定3次,取平均值。按以下公式计算, DPPH 自由基清除率(%) = $[1 - (A_1 - A_2) / A_0] \times 100\%$ 。式中,空白组(A_0)2 mL无水乙醇 + 2 mL DPPH 无水乙醇溶液;样品组(A_1)2 mL待测溶液 + 2 mL DPPH 无水

乙醇溶液;本底组(A_2)2 mL待测溶液 + 2 mL无水乙醇溶液。结果见图2 A。

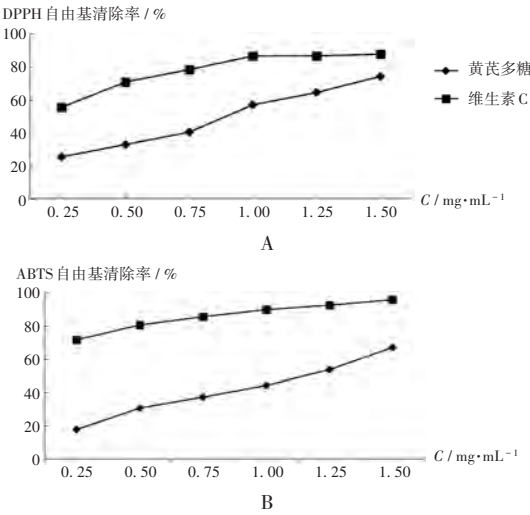


图2 黄芪多糖对DPPH和ABTS自由基清除率的影响
A. DPPH free radical B. ABTS free radical

Fig.2 Effect of APS on the scavenging rates for DPPH and ABTS free radicals

测定结果:由图2 A可知,DPPH 自由基清除率随黄芪多糖质量浓度的增加而逐渐升高。以质量浓度(X, mg/mL)为横坐标、清除率(Y)为纵坐标绘制标准曲线,得回归方程 $Y = 10.148 X + 13.719 (R^2 = 0.9864)$ 。采用GraphPad Prism 8.0软件计算得DPPH 自由基清除率为50%时,黄芪多糖质量浓度为1.131 mg/mL。

2.5.2 ABTS 自由基清除率

溶液制备:参照2.5.1项下方法配制不同质量浓度的黄芪多糖溶液和维生素C溶液。参考文献[15-18],并作适当调整以制备ABTS贮备液,取ABTS标准品193.3 mg和 $K_2S_2O_8$ 粉末34.5 mg,精密称定,制成浓度为7 mmol/L的ABTS溶液和7.35 mmol/L的 $K_2S_2O_8$ 溶液各100 mL,混匀,室温下避光反应16 h,备用。使用前用蒸馏水稀释,于734 nm波长处测定吸光度为 0.70 ± 0.05 。

活性测定:分别取不同质量浓度的黄芪多糖溶液和维生素C溶液1 mL及ABTS贮备液2 mL,充分混匀,避光静置反应10 min,于734 nm波长下测定吸光度,平行测定3次,取平均值。按以下公式计算,ABTS 自由基清除率(%) = $[1 - (A_1 / A_0)] \times 100\%$ 。式中,空白组(A_0)1 mL蒸馏水 + 2 mL ABTS贮备液;样品组(A_1)1 mL待测溶液 + 2 mL ABTS贮备液。结果见图2 B。

测定结果:由图2 B可知,ABTS 自由基清除率随黄芪多糖质量浓度的增加而逐渐升高。以质量浓度(X, mg/mL)为横坐标、清除率(Y)为纵坐标绘制标准曲线,得回归方程 $Y = 9.2153 X + 9.7653 (R^2 = 0.9861)$ 。采用GraphPad Prism 8.0软件计算得ABTS 自由基清除率为50%时黄芪多糖质量浓度为1.037 mg/mL。

3 讨论

高压破碎提取技术是在低温或常温条件下,利用高压作用使细胞瞬间破碎并膨胀,细胞内的成分与提取溶剂充分接触、溶解、分散,从而提高有效成分的得率,并避免有效成分的降解^[19-20]。本研究中以高压破碎技术提取黄芪多糖,结果表明方法稳定可行。

本研究中通过对自由基的清除能力评价黄芪多糖的体外抗氧化活性,选择了2种常用的体外抗氧化活性测定方法,均根据吸光度的降幅程度评价黄芪多糖的抗氧化能力。DPPH·在有机溶剂中是一种稳定的有机自由基,其醇溶液呈深紫色,当存在抗氧化剂时,DPPH·与抗氧化剂发生反应,于517 nm波长处最大吸收峰的吸光度值下降,且下降程度呈线性关系^[21]。ABTS是一种化学性自由基引发剂,ABTS被氧化后可生成稳定的蓝绿色阳离子自由基ABTS⁺·,与抗氧化剂反应时,生成无色的ABTS,于734 nm波长处最大吸收峰的吸光度值减小^[22]。本研究中采用DPPH法和ABTS法测定的体外抗氧化活性结果基本一致,表明采用高压破碎提取的黄芪多糖具有一定的体外抗氧化活性,但与维生素C相比偏弱。

目前,关于黄芪多糖的提取方法有热水浸提法、酶提取法、微波辅助提取法、超声波辅助提取法、超高压提取等,其中超高压技术提取法与本方法类似。超高压提取技术是在常温下用100~1 000 MPa的流体静压力作用于料液上,保压一段时间,然后迅速卸压,使细胞内外渗透压力差突然增大,破坏细胞的各种膜,达到提取目的^[23-24]。相比于超高压提取技术,高压破碎提取技术无需浸泡保压,对仪器设备的耐压要求较低,该工艺解决了现有工艺存在的一些问题^[25-26]。

本研究中采用 $L_9(3^4)$ 正交试验优化了黄芪多糖的高压破碎提取工艺的提取条件,最优提取工艺为药材粉碎至80目,提取压力为125 MPa,溶剂为水,液料比20:1(V/m),提取2次,多糖得率平均为9.41%。体外抗氧化活性试验表明,黄芪多糖对DPPH自由基和ABTS自由基均有一定的清除能力。本研究中建立的方法具有参数更简单、更经济合理等优势,为黄芪多糖的开发与利用开辟了新途径。

参考文献

- [1] 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: 315.
- [2] 李 钦, 胡继宏, 高 博, 等. 黄芪多糖在免疫调节方面的最新研究进展[J]. 中国实验方剂学杂志, 2017, 23(2): 199-206.
- [3] 姜 辉, 顾胜龙, 张玉婷, 等. 黄芪化学成分和药理作用研究进展[J]. 安徽中医药大学学报, 2020, 39(5): 93-96.
- [4] 盛耀光, 刘少静, 马 秀, 等. 黄芪多糖的药理作用及剂型研究进展[J]. 广州化工, 2019, 47(15): 28-30.
- [5] 邓六勤, 黎海桂, 吴宝仪. 黄芪多糖的氧化降解及其抗氧化

和抗肿瘤活性研究[J]. 中国药业, 2018, 27(1): 13-16.

- [6] 梁子敬, 张景艳, 冯海鹏, 等. 响应面优化黄芪多糖的提取工艺[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(21): 72-76.
- [7] 胡碧君. 黄芪多糖提取工艺优化及其抗氧化活性研究[J]. 中国药业, 2018, 27(24): 11-14.
- [8] 英 华, 刘宗彬, 徐丽娟, 等. 黄芪多糖的超声提取工艺的研究[J]. 白城师范学院学报, 2015, 29(2): 5-8.
- [9] 段明慧, 葛发欢, 马晋芳, 等. 一种连续式低温高压破碎提取金银花中酚酸类成分的方法: CN107802665[P]. 2018-03-16.
- [10] DUAN MH, FANG T, MA JF, et al. Homogenate-assisted high-pressure disruption extraction for determination of phenolic acids in *Lonicerae Japonicae* Flos [J]. Journal of Chromatography B, 2018, 1097/1098: 119-127.
- [11] 王 轶, 于国英, 高振坤. 正交试验法优化白及粗多糖的提取工艺[J]. 中药材, 2012, 35(2): 314-316.
- [12] 叶陈丽, 贺 帅, 曹伟灵, 等. 中药提取分离新技术的研究进展[J]. 中草药, 2015, 46(3): 457-464.
- [13] 马 铭, 白瑞斌, 刘景龙, 等. 3种党参提取物体外抗氧化活性探究[J]. 中成药, 2020, 42(9): 2514-2517.
- [14] 田崇梅, 邢梦雨, 夏道宗. 黄芪多糖提取工艺优化及体外抗氧化性研究[J]. 时珍国医国药, 2018, 29(9): 2072-2076.
- [15] 陈艾萌, 潘 洁, 胡 博, 等. 川牛膝多糖抗氧化活性测定和微波提取工艺优化[J]. 中成药, 2017, 39(1): 80-84.
- [16] 程轩轩, 张旭红, 杨慧文, 等. 白藜多糖的分离纯化及抗氧化活性研究[J]. 中草药, 2017, 48(20): 4219-4223.
- [17] 庞丹清, 阙祖亮, 陈 勇, 等. 响应面法优化当归藤多糖提取工艺及抗氧化活性研究[J]. 时珍国医国药, 2019, 30(1): 22-25.
- [18] 谢晨红, 刘俊秋, 开国银. 银杏叶正丁醇部位化学成分及其抗氧化活性研究[J]. 浙江中医药大学学报, 2019, 43(10): 1114-1118.
- [19] 方 婷, 段明慧, 马晋芳, 等. 高压破碎提取雨生红球藻中虾青素的工艺研究[J]. 中药材, 2018, 41(9): 2163-2166.
- [20] 李海池, 李志良, 史庆龙, 等. 高压破碎提取-工业色谱分离制备10-脱乙酰基巴卡亭Ⅲ[J]. 中药材, 2019, 42(6): 1364-1369.
- [21] 王雪梅, 吴汉平, 汪晓敏, 等. 16种中草药提取物的抗氧化活性研究[J]. 安徽大学学报(自然科学版), 2015, 42(6): 74-80.
- [22] 曹玉娜, 宋志前, 魏 征, 等. 抗氧化剂的抗氧化活性测定方法研究进展[J]. 中国药房, 2013, 24(1): 86-88.
- [23] 刘春娟, 张守勤, 张劲松, 等. 超高压技术提取黄芪多糖研究[J]. 中成药, 2009, 31(9): 1359-1363.
- [24] 刘 琳. 牛蒡活性成分的提取与研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2009.
- [25] 陈寿妮. 黄芪多糖的提取工艺研究[J]. 时珍国医国药, 2014, 25(4): 845-846.
- [26] 金芬芬, 金锡蛟, 杨惠鑫, 等. 不同提取方法对黄芪多糖提取率影响的实验研究[J]. 中华中医药学刊, 2013, 31(10): 2136-2137.

(收稿日期: 2021-08-06; 修回日期: 2021-12-06)