

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2025.80516

基于超高压提取技术的 6 种人参属药材 糖蛋白提取工艺比较及优化

常芳瑜¹ 臧皓² 程立业¹ 韩路生¹ 杜连云¹ 王恩鹏¹

(1. 长春中医药大学吉林省人参科学研究院, 吉林 长春 130117; 2. 通化师范学院医药学院, 吉林 通化 134001)

摘要: [目的] 综合比较、筛选人参属中具有代表性的 6 种药材的糖蛋白制备工艺。[方法] 以糖蛋白收率、DPPH 自由基清除能力、羟自由基清除能力及 Fe^{2+} 螯合抑制率为指标, 采用传统热提取和超高压提取(UHPP)两种方法对人参、三七、西洋参、竹节参、屏边三七和珠子参 6 种药材的糖蛋白提取率及抗氧化活性进行比较。采用 Box-Behnken 响应面法优化抗氧化活性最高的西洋参糖蛋白超高压提取工艺参数。[结果] 6 种人参属药材的超高压提取法的糖蛋白提取率均高于热回流提取法的, 且西洋参糖蛋白的 DPPH 自由基清除能力、羟自由基清除能力及 Fe^{2+} 螯合抑制率显著高于其他药材, 超高压提取法的西洋参糖蛋白抗氧化活性最强。超高压提取西洋参糖蛋白的最佳工艺为提取时间 12 min、提取压强 400 MPa、料液比 1:18 (g/mL), 此时西洋参糖蛋白含量为 25.27%, 与预测值偏差仅为 0.14%, 较传统回流法的显著提升。[结论] 超高压提取技术可用于制备较高抗氧化活性人参属药材糖蛋白原料。

关键词: 人参属; 西洋参; 超高压提取; 热回流提取; 响应面法; 抗氧化; 糖蛋白; 工艺优化

Comparison and optimization of glycoprotein extraction processes for six *Panax* medicinal herbs using ultra-high pressure extraction technology

CHANG Fangyu¹ ZANG Hao² CHENG Liye¹ HAN Lusheng¹ DU Lianyun¹ WANG Enpeng¹

(1. Jilin Provincial Institute of Ginseng Science, Changchun University of Chinese Medicine, Changchun, Jilin 130117, China; 2. College of Medicine, Tonghua Normal University, Tonghua, Jilin 134001, China)

Abstract: [Objective] To comprehensively compare and screen glycoprotein preparation processes for six representative medicinal materials from the genus *Panax*. [Methods] Glycoprotein yield, DPPH radical scavenging capacity, hydroxyl radical scavenging capacity, and Fe^{2+} chelation inhibition rate were used as evaluation indicators. Glycoprotein extraction rates and antioxidant activities of six medicinal materials, including *P. ginseng*, *P. notoginseng*, *P. quinquefolius*, *P. japonicus* (T.Nees) C.A.Mey., *P. stipuleanatus* H.T. Tsai & K. M. Feng, and *P. bipinnatifidus* Seem, were compared using traditional thermal extraction and ultra-high pressure processing (UHPP). The Box-Behnken response surface method was employed to optimize UHPP parameters for *P. quinquefolius* glycoproteins with the highest antioxidant activity. [Results] UHPP produced higher glycoprotein extraction rates for all six *Panax* species compared with thermal reflux extraction. *P. quinquefolius* glycoproteins exhibited significantly higher DPPH radical scavenging capacity, hydroxyl radical scavenging capacity, and Fe^{2+} chelation inhibition rate than the other species, demonstrating the strongest antioxidant activity among UHPP-extracted glycoproteins. The optimal UHPP conditions for *P. quinquefolius* glycoprotein extraction were as follows: extraction time of 12 min, extraction pressure of 400 MPa, and solid-to-liquid ratio of 1:18 (g/mL). Under these conditions, the glycoprotein content reached 25.27%, deviating only 0.14% from the predicted value, representing a significant improvement over traditional reflux extraction. [Conclusion] UHPP technology can be used to prepare glycoproteins from *Panax* species with high antioxidant activity.

基金项目: 吉林省科技发展计划项目(编号:20210401108YY); 吉林省大学生创新创业训练计划项目(编号:S202410199065)

通信作者: 王恩鹏(1983—), 男, 长春中医药大学教授, 博士。E-mail: wangep@ccucm.edu.cn

收稿日期: 2025-05-28 **改回日期:** 2025-12-24

引用格式: 常芳瑜, 臧皓, 程立业, 等. 基于超高压提取技术的 6 种人参属药材糖蛋白提取工艺比较及优化[J]. 食品与机械, 2026, 42(6): 142-149.

Citation: CHANG Fangyu, ZANG Hao, CHENG Liye, et al. Comparison and optimization of glycoprotein extraction processes for six *Panax* medicinal herbs using ultra-high pressure extraction technology[J]. Food & Machinery, 2026, 42(6): 142-149.

Keywords: *Panax*; *Panax quinquefolius*; ultra-high-pressure extraction; thermal reflux extraction; response surface method; antioxidant; glycoprotein; process optimization

人参属(*Panax*)药材是亚洲,尤其是中国较为大宗的中药材品种,如人参、西洋参、三七等,其特有的皂苷类、酚酸类活性成分在抗衰老活性原料的开发利用方面备受关注。糖蛋白作为一类兼具糖链与蛋白结构的生物大分子,具有抗氧化、免疫调节及抗炎等生物活性^[1-4],在功能性食品和护肤品领域展现出广阔应用前景^[5-7]。传统热提取技术存在能耗高、提取时间长、高温易导致热敏性成分降解等问题,限制了糖蛋白活性与产率的同步提升^[8-10]。近年来,超高压提取(UHPP)技术凭借其低温、高效、环保等优势,被广泛应用于植物活性成分提取领域^[11-12]。彭瑶等^[13]研究表明,UHPP可通过物理压力破坏细胞壁结构,促进目标成分溶出,但针对人参属药材糖蛋白的系统研究仍较为匮乏,尤其在多品种横向比较、工艺参数优化及活性保留机制等方面尚未形成完整的技术体系。

目前,抗衰老研究多聚焦于小分子的应用,有关大分子成分的跨品种研究较少,且以传统回流法^[14]和超声波辅助法^[15]提取为主,缺乏对UHPP技术适用性的深入探讨^[16]。此外,现有优化方法多采用单因素试验,难以精准解析多参数间的交互作用。试验拟以6种人参属药材为对象,系统比较UHPP与传统热提取的糖蛋白提取率及抗氧化活性差异,采用响应面法构建多因素协同优化模型,重点突破西洋参糖蛋白的绿色高效制备技术瓶颈。通过整合化学分析与生物活性评价,旨在解决传统工艺效率低、活性损失大的核心问题,同时阐明UHPP对糖蛋白结构与功能的影响机制,为植物源活性成分的绿色提取与高值化应用提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

人参(*Panax ginseng* C. A. Mey.)、西洋参(*Panax quinquefolius* L.)、三七(*Panax notoginseng* (Burkill) F. H. Chen):产自吉林抚松;

竹节参(*Panax japonicus* C. A. Mey.):产自四川泸州;

屏边三七(*Panax stipuleanatus* H. T. Tsai & K. M. Feng):产自云南文山;

珠子参(*Panax japonicus* C. A. Mey. var. *major* (Burk.) C. Y. Wu et K. M. Feng):产自云南丽江;

浓硫酸、95%乙醇、盐酸、甲醛:分析纯,天津新通精细化工有限公司;

苯酚、葡萄糖、氢氧化钠、酚酞:分析纯,上海麦克林生化科技股份有限公司;

BCA蛋白浓度测定试剂盒:碧云天生物技术有限公司。

1.1.2 主要仪器设备

超高压装置:HPP.L2-700/1型,天津华泰森森生物工程股份有限公司;

电子天平:ME203/02型,梅特勒—托利多仪器(上海)有限公司;

旋转蒸发仪:N-1300型,上海爱朗仪器有限公司;

烘干箱:DHG-9023A型,上海精宏实验设备有限公司;

油浴锅:OSB-2200型,上海爱朗仪器有限公司;

酶标仪:M200pro型,瑞士TECAN公司。

1.2 方法

1.2.1 原料预处理 6种药材于2024年9月由长春中医药大学中药鉴定教研室张涛副教授鉴定为人参属(5年生)药材的根,所用药材均为晒干干燥品,形态以主根为主。

1.2.2 6种药材糖蛋白的制备

(1) 传统热提取:6种药材各取10 g,粉碎成粗粉,加入20倍量水加热回流提取4 h,减压浓缩,离心除去不溶物,加入乙醇至醇体积分数为72%,静置过夜,离心,沉淀依次用无水乙醇、丙酮反复洗涤,真空干燥,得6种药材粗糖蛋白。

(2) UHPP:6种药材各取10 g,分别溶于100 mL水溶液中,搅拌均匀后放入无菌聚乙烯袋中,排除袋内空气后密封,放入超高压装置中,400 MPa提取8.5 min,迅速释放压力。离心,上清液用无水乙醇(体积比1:4)于4℃沉淀12 h,4 000 r/min离心10 min,用热水重新溶解至适当体积,得6种药材粗糖蛋白。

1.2.3 糖蛋白收率测定 按式(1)计算样品蛋白或多糖提取率。

$$r = \frac{cVN}{m \times 10^6}, \quad (1)$$

式中:

r ——蛋白或多糖收率,%;

C ——提取液中蛋白或多糖质量浓度,g/mL;

V ——提取液体积,mL;

N ——稀释倍数,mL;

m ——药材样品质量,g。

1.2.4 糖蛋白抗氧化能力测定

(1) DPPH自由基清除能力:根据文献[17]。

(2) 羟自由基清除能力:将50 μL粗糖蛋白溶液加入

到 96 孔板中,分别加入 50 μL 浓度为 3 mmol/L 的过氧化氢溶液和硫酸亚铁溶液,混匀,孵化 10 min,加入 50 μL 浓度为 6 mmol/L 的水杨酸溶液,黑暗处孵化 30 min,测定 492 nm 处吸光度值,计算半抑制浓度(IC_{50} 值)。

(3) Fe^{2+} 螯合抑制率:将 50 μL 甲醇溶液、110 μL 超纯水和 20 μL 浓度为 0.5 mmol/L 的氯化亚铁溶液加入到 96 孔板中混匀,静置 5 min,加入 20 μL 浓度为 2.5 mmol/L 的非咯嗪溶液,混匀,静置 10 min,用水取代非咯嗪溶液作为对照样品,测定 562 nm 处吸光度,计算 IC_{50} 值。

1.2.5 单因素试验

(1) 提取时间:固定提取次数 1 次,料液比 1:10 (g/mL),提取压强 400 MPa,考察提取时间(10,15,20,25,30 min)对西洋参糖蛋白含量的影响。

(2) 提取次数:固定提取时间 10 min,料液比 1:10 (g/mL),提取压强 400 MPa,考察提取次数(1,2,3 次)对西洋参糖蛋白含量的影响。

(3) 料液比:固定提取时间 10 min,提取压强 400 MPa,提取次数 1 次,考察料液比[1:10,1:20,1:30,1:40,1:50 (g/mL)]对西洋参糖蛋白含量的影响。

(4) 提取压强:固定提取时间 10 min,料液比 1:10 (g/mL),提取次数 1 次,考察提取压强(200,300,400,500,600 MPa)对西洋参糖蛋白含量的影响。

1.2.6 响应面试验 根据单因素试验结果,固定提取次数为 1 次,以提取时间、提取压强和料液比为因素,运用 Box-Behnken 法进行三因素三水平响应面设计^[18],结合 Design-Expert 11.0 软件进行响应面分析,筛选西洋参糖蛋白的最佳提取工艺。

1.2.7 西洋参糖蛋白含量测定

(1) 标准曲线绘制:采用苯酚—硫酸比色法^[19],绘制葡萄糖标准曲线方程 $y = 13.483x + 0.0862$, $R^2 = 0.9965$ 。

(2) 样品溶液测定:将西洋参糖蛋白粉配制成 0.1 mg/mL 溶液,用酶标仪测定 490 nm 处吸光度,按式(2)计算糖多糖含量。

$$W_1 = \frac{CVm_1}{m_2m_3} \times 100\%, \quad (2)$$

其中:

W_1 ——多糖含量,%;

C ——样品溶液中多糖质量浓度,mg/mL;

V ——样品定容体积,mL;

m_1 ——粗提物质量,g;

m_2 ——样品溶液中的质量,g;

m_3 ——原料质量,g。

(3) 西洋参糖蛋白中蛋白质质量分数:采用 BCA

法^[20]构建蛋白质标准曲线,得曲线方程 $y = 0.586x + 0.141$, $R^2 = 0.996$ 。

(4) 样品溶液:按标准曲线方法测定吸光值并按式(3)计算蛋白质含量。

$$W_2 = \frac{CVm_1}{m_2m_3} \times 100\%, \quad (3)$$

其中:

W_2 ——蛋白质含量,%;

C ——样品溶液中蛋白质质量浓度,mg/mL;

V ——样品定容体积,mL;

m_1 ——粗提物质量,g;

m_2 ——样品溶液中的质量,g;

m_3 ——原料质量,g。

(5) 西洋参糖蛋白含量:按式(4)进行计算。

$$W = W_1 + W_2, \quad (4)$$

式中:

W ——西洋参糖蛋白含量,%。

1.2.8 数据处理 各试验重复 3 次,运用 Excel 软件进行数据统计分析,借助 Design-Expert 8.0.6 软件进行响应面试验设计及方差分析,并利用 Origin 2019 软件绘制相关图表。

2 结果与分析

2.1 传统热提取与 UHPP 的提取效率比较

由图 1 可知,UHPP 对 6 种人参属药材糖蛋白的收率均极显著高于传统热提取法($P < 0.01$)。由于超高压瞬间施加的物理压力能高效破坏植物细胞壁和膜结构,促进胞内糖蛋白的释放。同时,该优势在 6 种人参属药材上均得到一致体现,充分证明了超高压方法在该类药材糖蛋白提取中具有良好的普适性和广泛适用性。

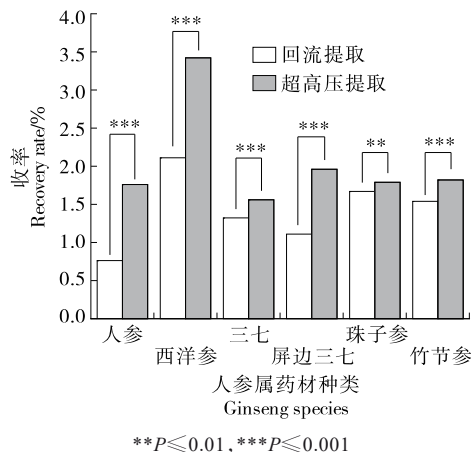
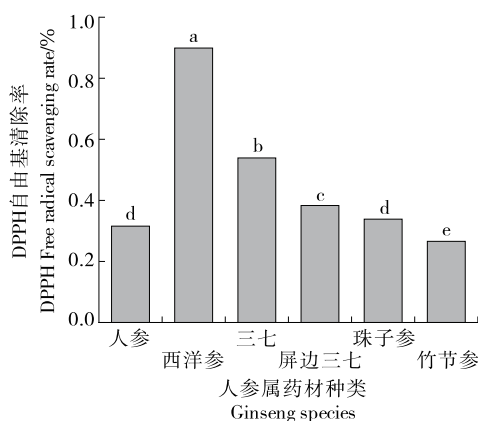


图 1 6 种药材的传统热提取和 UHPP 收率比较
Figure 1 Comparison of traditional reflux extraction and UHPP yields of six Panax herbs

2.2 抗氧化能力分析

2.2.1 DPPH 自由基清除能力 由图2可知,西洋参糖蛋白对DPPH自由基清除能力最大,显著高于其他药材($P<0.05$)。清除能力越大,抗氧化性越强,故西洋参糖蛋白的抗氧化能力比较好,表示其可能含有更丰富的活性基团,能够更有效淬灭自由基。值得注意的是,西洋参糖蛋白在达到最大清除率后维持稳定,而人参、三七等药材在高浓度下清除率降低。

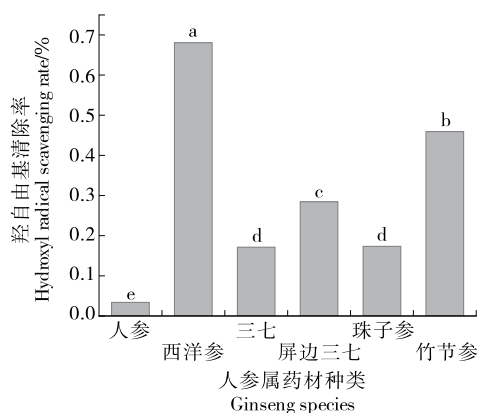


小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)

图2 6种药材糖蛋白的DPPH自由基清除能力

Figure 2 DPPH radical scavenging capacity of glycoproteins of six *Panax* herbs

2.2.2 羟自由基清除能力 由图3可知,西洋参糖蛋白表现出显著优于其他5种药材的羟自由基清除能力($P<0.05$)。西洋参糖蛋白在宽浓度范围内保持清除率稳定上升;西洋参糖蛋白在清除不同类型自由基方面均表现卓越,表明其抗氧化机制可能具有广谱性,而非单一途径。这种广谱抗氧化活性对于其在抗衰老、抗炎等领域的应



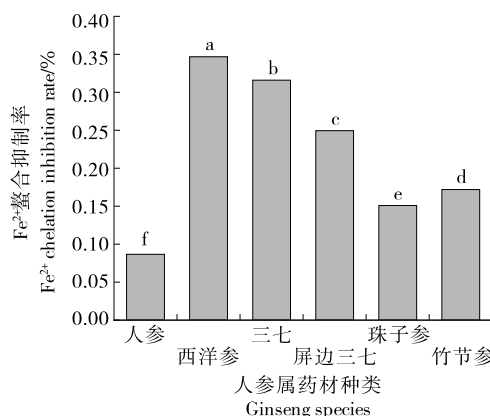
小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)

图3 6种药材糖蛋白的羟自由基清除能力

Figure 3 Hydroxyl radical scavenging capacity of glycoproteins of six *Panax* herbs

用尤为重要。进一步印证了其作为高效抗氧化剂的潜力。

2.2.3 Fe^{2+} 螯合抑制率 由图4可知,西洋参糖蛋白具有最高的 Fe^{2+} 螯合作用,且显著高于其他5种药材的($P<0.05$),西洋参糖蛋白达到最大螯合率后维持稳定且无回落;相比之下,屏边三七、人参等药材在高浓度区段呈现螯合率停滞或下降,表明西洋参糖蛋白结构中含有更丰富的、具有高效螯合能力的位点,说明西洋参糖蛋白活性最高,显示出较好的抗氧化能力。



小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)

图4 6种药材糖蛋白对亚铁离子的螯合能力

Figure 4 Chelating ability of glycoproteins of six *Panax* herbs for ferrous ions

2.3 单因素试验

2.3.1 提取时间 由图5可知,提取时间对多糖和蛋白质含量影响显著。多糖含量在15 min时达到峰值后下降,可能与细胞壁破裂促进溶出及美拉德反应有关。蛋白质

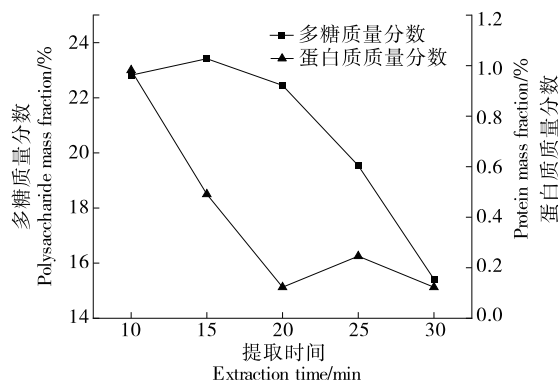


图5 提取时间对西洋参糖蛋白中多糖和蛋白质含量的影响

Figure 5 Effect of extraction time on the mass fraction of polysaccharides and proteins in *Panax quinquefolius* glycoproteins

含量持续下降至 87.8% 后趋于稳定,推测因热致变性沉淀。综上,最优提取时间为 15 min。

2.3.2 提取压强 由图 6 可知,提取压强对多糖和蛋白质溶出存在显著阈值效应。多糖含量在 400 MPa 达到峰值后下降,前期可能是溶剂渗透性增强,后期与机械剪切破坏有关。蛋白质同期出现峰值,或与破坏蛋白-多糖结合有关。故最优提取压强为 400 MPa。

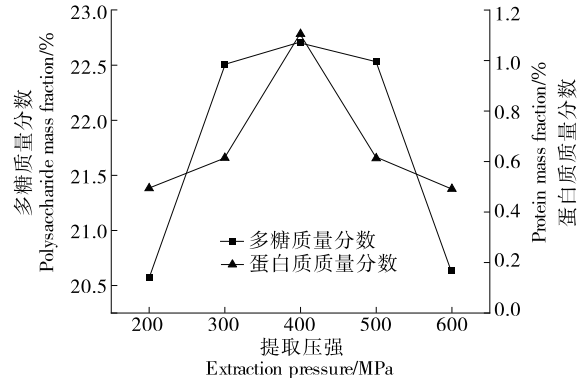


图 6 提取压强对西洋参糖蛋白中多糖和蛋白质含量的影响

Figure 6 Effect of extraction pressure on the mass fraction of polysaccharides and proteins in *Panax quinquefolius* glycoproteins

2.3.3 料液比 由图 7 可知,料液比对多糖和蛋白质溶出存在拮抗效应。多糖含量在料液比为 1:20 (g/mL) 时达峰值,前期可能是浓度效应提升了提取率,后期与过度浓缩引发传质限制有关。蛋白质呈线性递减趋势,推测因高浓度体系抑制溶解。故最佳料液比为 1:20 (g/mL)。

2.3.4 提取次数 由图 8 可知,提取次数对目标成分存在差异化效应:多糖含量保持稳定,反映首次提取即达溶出

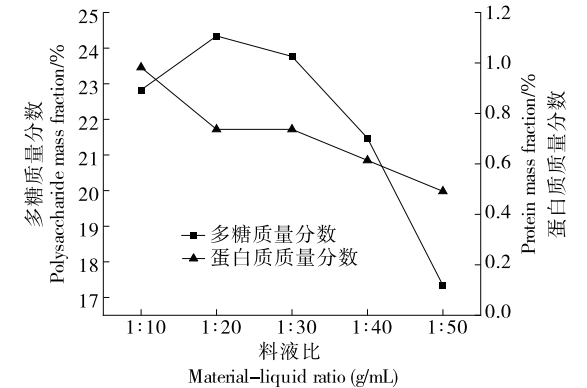


图 7 料液比对西洋参糖蛋白中多糖和蛋白质含量的影响

Figure 7 Effect of solid-to-liquid ratio on the mass fraction of polysaccharides and proteins in *Panax quinquefolius* glycoproteins

饱和状态;蛋白质含量呈梯度耗竭趋势,印证固液分离对可溶性蛋白的持续清除作用。第 3 次提取出现多糖折损现象。故从效率和经济性考虑,单次提取为最优且充分的选择。

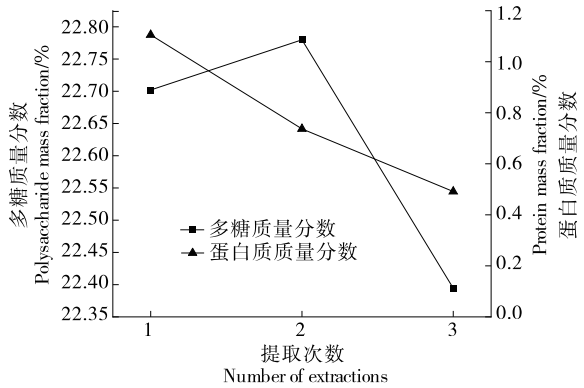


图 8 提取次数对西洋参糖蛋白中多糖和蛋白质含量的影响

Figure 8 Effect of the number of extractions on the mass fraction of polysaccharides and proteins in *Panax quinquefolius* glycoproteins

2.4 响应面实验

2.4.1 模型方程建立与显著性检验 响应面实验因素见表 1,响应面实验设计与结果见表 2。对试验结果进行二次多项式回归分析,回归方程为:

$$Y=1.398+0.760\ 45A+0.095\ 593B+0.050\ 9C-0.000\ 355AB+0.002\ 8AC+0.000\ 06BC-0.027\ 79A^2-0.000\ 116B^2-0.002\ 972C^2。$$

由表 3 可知,回归模型 $P<0.01$,证实模型具有统计学意义。失拟项 $P>0.05$,证实模型可靠性。一次项 A、B、交互项 AB、AC 以及二次项 A^2 、 B^2 、 C^2 对西洋参糖蛋白含量影响极显著 ($P<0.01$)。根据效应强度排序,关键因素依次为提取时间>提取压强>料液比。

表 1 响应面实验因素与水平			
Table 1 Response surface test factors and levels			
水平	A 提取时间/min	B 提取压强/MPa	C 料液比(g/mL)
-1	10	300	1:10
0	15	400	1:20
1	20	500	1:30

2.4.2 交互作用分析 由图 9 可知,AB、AC 交互作用均导致响应面曲面斜率变化显著,表明其交互作用对西洋参糖蛋白含量影响显著。

2.4.3 验证实验 根据响应面实验结果,确定西洋参糖蛋白的最佳提取工艺为提取时间 12.07 min、提取压强

表2 响应面试验设计与结果

试验号	A	B	C	糖蛋白含量/%
1	-1	-1	0	24.14
2	1	-1	0	22.86
3	-1	1	0	24.12
4	1	1	0	22.13
5	-1	0	-1	25.07
6	1	0	-1	23.24
7	-1	0	1	24.84
8	1	0	1	23.57
9	0	-1	-1	23.99
10	0	1	-1	23.56
11	0	-1	1	23.74
12	0	1	1	23.55
13	0	0	0	25.17
14	0	0	0	25.18
15	0	0	0	25.11
16	0	0	0	25.14
17	0	0	0	25.26

表3 方差分析[†]

来源	平方和	自由度	均方	F值	P值	显著性
模型	14.33	9	1.59	322.17	<0.000 1	**
A	5.07	1	5.07	1 026.00	<0.000 1	**
B	0.23	1	0.23	47.46	0.000 2	**
C	0.00	1	0.00	0.65	0.447 5	
AB	0.13	1	0.13	25.49	0.001 5	**
AC	0.08	1	0.08	15.86	0.005 3	**
BC	0.01	1	0.01	2.91	0.131 6	
A ²	2.03	1	2.03	411.10	<0.000 1	**
B ²	5.71	1	5.71	1 155.48	<0.000 1	**
C ²	0.37	1	0.37	75.26	<0.000 1	**
残差	0.03	7	0.00			
失拟项	0.02	3	0.01	2.31	0.218 5	
纯误差	0.01	4	0.00			
所有项	14.37	16				

[†] **表示极显著($P<0.01$), *表示显著($P<0.05$); $R^2=0.997\ 6$, $R_{Adj}^2=0.994\ 5$ 。

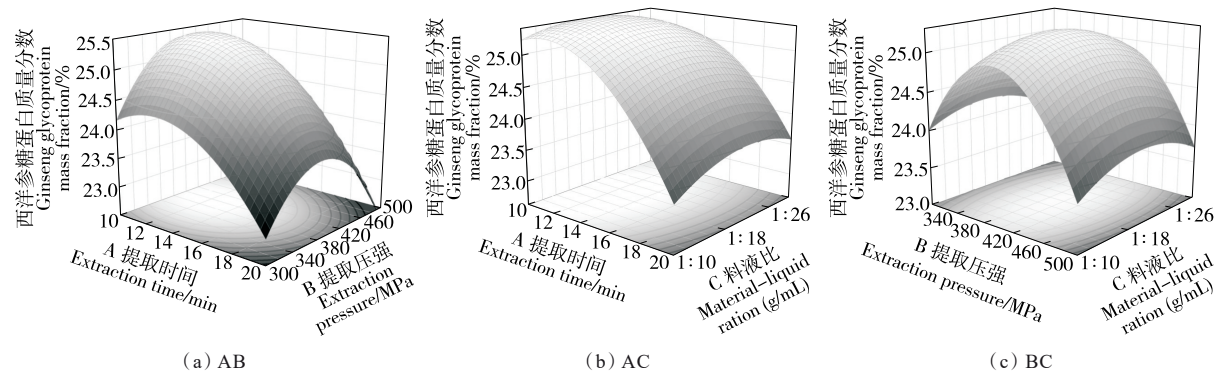


图9 各因素间交互作用对西洋参糖蛋白含量影响的曲面图

Figure 9 Surface plots of the effects of interactions among factors on the mass fraction of *Panax quinquefolius* glycoproteins

396.64 MPa、料液比 1:18.25 (g/mL)、提取次数 1 次,模型预测糖蛋白含量为 25.41%。为符合实际操作,将最佳工艺修正为提取时间 12 min、提取压强 400 MPa、料液比 1:18 (g/mL)、单次提取,此时糖蛋白含量为 25.27% ($n=3$),与预测值偏差仅为 0.14%。故该模型预测精度高,工艺稳定性良好。与传统热提取法相比,该工艺耗时缩短了 80%,显著低于文献[21—24]的;同时避免了热敏性成分的降解^[25],进一步证实了该工艺的可靠性。

3 结论

超高压提取在提升人参属 6 种药材糖蛋白含量方面具有普适性优势^[26],其机制在于高效破坏细胞结构并规

避了热敏成分降解;通过 DPPH 自由基清除能力、羟自由基清除能力及 Fe^{2+} 螯合抑制率等多指标评价,揭示了西洋参糖蛋白的抗氧化活性显著优于同属其他药材 ($P<0.05$)。基于 Box-Behnken 响应面法的最佳西洋参糖蛋白提取工艺为提取时间 12 min,提取压强 400 MPa,料液比 1:18 (g/mL),此时糖蛋白含量为 25.27%,在显著提升含量的同时将提取时间缩短至传统热提取法的 5.4%。后续拟采用高效液相色谱—质谱联用技术^[27]深入解析糖蛋白结构特征,结合分子对接技术^[28]阐明其构效作用机制,同时开展基于斑马鱼模型的体内抗氧化评价^[29],为推进人参属糖蛋白在抗衰老功能性食品及护肤品领域的应用提供理论依据。

参考文献

- [1] 徐蓓. 不同人参属中药中脂溶性成分差异表征与体外活性评价[D]. 天津: 天津中医药大学, 2024: 74-88.
XU B. Differentiation characterization and in vitro activity evaluation of the liposoluble components from different panax-derived traditional Chinese medicines[D]. Tianjin: Tianjin University of Traditional Chinese Medicine, 2024: 74-88.
- [2] 乔俊茹, 艾连中, 夏永军, 等. 人参属花茶中酚类物质的提取动力学与体外抗氧化活性[J]. 中国食品学报, 2025, 25(4): 8-18.
QIAO J R, AI L Z, XIA Y J, et al. Extraction kinetics for phenolic compositions and in vitro antioxidant activities of panax flowers teas[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2025, 25(4): 8-18.
- [3] 郭强, 王坤, 党彩艳, 等. 人参皂苷 Rg1 对大鼠神经病理性疼痛的缓解作用和机制研究[J]. 重庆医科大学学报, 2025, 50(10): 1 418-1 425.
GUO Q, WANG K, DANG C Y, et al. Effect and mechanism of ginsenoside Rg1 in alleviating neuropathic pain in rats [J]. Journal of Chongqing Medical University, 2025, 50(10): 1 418-1 425.
- [4] 黄金星, 翟哲, 陶玲玲, 等. 人参多糖作为佐剂在免疫治疗中的应用[J]. 中国现代中药, 2025, 27(5): 972-979.
HUANG J X, ZHAI Z, TAO L L, et al. Application of ginseng polysaccharides as adjuvants in immunotherapy[J]. Modern Chinese Medicine, 2025, 27(5): 972-979.
- [5] 周明, 安全, 翟文丽, 等. 三七总皂苷改善皮肤老化的探究[J]. 香料香精化妆品, 2023(5): 86-92.
ZHOU M, AN Q, ZHAI W L, et al. Improvement of skin aging by panax notoginsenosides[J]. Flavour Fragrance Cosmetics, 2023(5): 86-92.
- [6] 李玉梅, 王鹏, 张红燕, 等. 红参活性成分及其在化妆品中作用的研究进展[J]. 化工管理, 2022(25): 96-98.
LI Y M, WANG P, ZHANG H Y, et al. Research progress on the active ingredients of red ginseng and its role in cosmetics[J]. Chemical Management, 2022(25): 96-98.
- [7] 李晓敏, 高晴晴, 赵余庆. 人参提取物及皂苷类成分在皮肤护理及护发方面的研究进展[J]. 中草药, 2021, 52(16): 5 078-5 088.
LI X M, GAO Q Q, ZHAO Y Q. Research progress of Panax ginseng extracts and saponins in skin care[J]. 2021, 52(16): 5 078-5 088.
- [8] 高婧怡. 香菇糖蛋白的制备、结构及抗氧化特性的研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2024: 18-50.
GAO J Y. Preparation, structure and antioxidant properties of *Lentinus edodes* glycoprotein[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2024: 18-50.
- [9] 韩伟, 安海. 黄芩苷提取方法研究进展[J]. 微量元素与健康研究, 2025, 42(1): 76-78, 83.
HAN W, AN H. Progress of extraction methods of baicalin[J]. Studies of Trace Elements and Health, 2025, 42(1): 76-78, 83.
- [10] 吴静雨, 陈晓凡, 徐万爱, 等. 薏苡仁活性成分研究进展[J]. 中国中药杂志, 2024, 49(6): 1 474-1 484.
WU J Y, CHEN X F, XU W A, et al. Research progress on active ingredients of coicis semen[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2024, 49(6): 1 474-1 484.
- [11] 张芳. 芍药籽油超高压提取及脂肪酸组成分析[J]. 现代食品, 2024, 30(23): 183-186.
ZHANG F. Ultra-high pressure extraction and fatty acid composition analysis of *Paeonia lactiflora* seed oil[J]. Modern Food, 2024, 30(23): 183-186.
- [12] 张芳. 光皮木瓜多酚超高压提取工艺及抗氧化特性研究[J]. 现代农业科技, 2025(8): 125-127, 131.
ZHANG F. Ultra-high-pressure extraction process and antioxidant properties of polyphenols from *Chsenomeles Sinensis* (Thouin) Koehne[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2025(8): 125-127, 131.
- [13] 彭瑶, 申迎宾, 朱叙丞, 等. 辣木多糖提取工艺及生物活性的研究进展[J]. 食品工业, 2022, 43(4): 233-238.
PENG Y, SHEN Y B, ZHU X C, et al. Recent progress on extraction technology and biological activities of *Moringa oleifera* polysaccharides[J]. The Food Industry, 2022, 43(4): 233-238.
- [14] 俞萍, 岳煜贤, 张宇, 等. 响应面法优化人参糖蛋白制备工艺[J]. 食品与机械, 2021, 37(7): 194-199.
YU P, YUE Y X, ZHANG Y, et al. Optimization of preparation of ginseng glycoprotein by response surface methodology[J]. Food & Machinery, 2021, 37(7): 194-199.
- [15] 冯麟, 李荣英, 王婷, 等. 生姜中活性物质糖蛋白的提取工艺及抗菌活性[J]. 食品工业, 2021, 42(6): 73-76.
FENG L, LI R Y, WANG T, et al. Extraction technology and antibacterial activity of glycoprotein from ginger[J]. The Food Industry, 2021, 42(6): 73-76.
- [16] 高晓杰, 聂玲萍, 罗紫嫣, 等. 双孢蘑菇糖蛋白提取工艺优化[J]. 中南农业科技, 2025, 46(2): 30-33.
GAO X J, NIE L P, LUO Z Y, et al. Optimization of glycoprotein extraction process of *Agaricus bisporus*[J]. South-Central Agricultural Science and Technology, 2025, 46(2): 30-33.
- [17] 张露云. 东北三省当归归属中药资源研究与药理活性评价[D]. 长春: 长春中医药大学, 2020: 29-40.
ZHANG L Y. Research on Chinese medicine resources and evaluation of pharmacological activities of *Angelica L.* in the northeast three provinces[D]. Changchun: Changchun University of Chinese Medicine, 2020: 29-40.
- [18] YUAN S, XU C Y, XIA J, et al. Extraction of polysaccharides from *Codonopsis pilosula* by fermentation with response surface methodology[J]. Food Science & Nutrition, 2020, 8(12): 6 660-6 669.

- [19] 陈文博. 西藏绵头雪莲花多糖的结构鉴定及生物活性的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2020: 16-20.
- CHEN W B. Structural elucidation and the biological activity of polysaccharides from *Saussurea laniceps*[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2020: 16-20.
- [20] AMINI Y, AMEL JAMEHDAR S, SADRI K, et al. Different methods to determine the encapsulation efficiency of protein in PLGA nanoparticles[J]. Bio-Medical Materials and Engineering, 2017, 28(6): 613-620.
- [21] 白春龙. 红薯糖蛋白提取、分离、特征及生物活性研究[D]. 长春: 长春师范大学, 2024: 13-17.
- BAI C L. Extraction, isolation, characterization and biological activity of sweet potato glycoprotein[D]. Changchun: Changchun Normal University, 2024: 13-17.
- [22] 亓伟华, 胡楠楠, 琚心心, 等. 红薯叶中糖蛋白的提取工艺研究[J]. 粮食与油脂, 2023, 36(1): 135-138.
- QI W H, HU N N, JU X X, et al. Study on extraction technology of glycoprotein from *Ipomoea batatas* (L.) Lam. leaves[J]. Cereals & Oils, 2023, 36(1): 135-138.
- [23] 东方, 王鑫, 朱欣宇, 等. 地皮菜糖蛋白提取优化及其硒化合物体内抗氧化活性研究[J]. 中国食品添加剂, 2022, 33(10): 38-46.
- DONG F, WANG X, ZHU X Y, et al. Optimization of extraction process of glycoprotein from *Nostoc commune* Vaucher and antioxidant activity of its selenide *in vivo*[J]. China Food Additives, 2022, 33(10): 38-46.
- [24] 孙丹丹, 孙银玲, 郑宏宇, 等. 发酵桑叶糖蛋白提取工艺优化及活性研究[J]. 中国医药导报, 2023, 20(19): 10-13, 34.
- SUN D D, SUN Y L, ZHENG H Y, et al. Study of optimization and activity of extraction process of fermented mulberry leaf glycoprotein [J]. China Medical Herald, 2023, 20(19): 10-13, 34.
- [25] 戴康伟, 邹晓琴, 张名位, 等. 红枣多糖超高压耦合低共熔溶剂提取工艺优化及其抗氧化活性[J]. 现代食品科技, 2024, 40(8): 243-251.
- DAI K W, ZOU X Q, ZHANG M W, et al. Optimization of the deep eutectic solvent-based ultrahigh pressure extraction of jujube polysaccharides and analysis of their antioxidative activity[J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(8): 243-251.
- [26] 孟继坤, 张楠, 吴浩, 等. 超高压提取铁皮石斛多糖工艺优化及其抗氧化活性分析[J]. 食品与机械, 2023, 39(1): 157-163.
- MENG L K, ZHANG N H, WU H, et al. Optimization of ultrahigh pressure extraction technology of polysaccharide from *Dendrobium officinale* and its antioxidant activities[J]. Food & Machinery, 2023, 39(1): 157-163.
- [27] 林松, 林小青. 基于超高效液相色谱—四极杆飞行时间质谱联用技术分析芍药颗粒中化学成分[J]. 中国当代医药, 2025, 32(6): 4-9.
- LIN S, LIN X Q. Analysis of chemical composition in Shaodan Granules by UHPLC-Q-TOF-MS[J]. China Modern Medicine, 2025, 32(6): 4-9.
- [28] 李海霞, 张长荣, 史玉玲, 等. 基于分子对接技术探讨黄樟醚致肝损伤的分子机制[J/OL]. 中国高原医学与生物学杂志. (2025-05-29) [2025-09-11]. <https://link.cnki.net/urlid/63.1081.R.20250528.1640.004>.
- LI H X, ZHANG C R, SHI Y L, et al. Discussion on the molecular mechanism of safrole-induced liver in-jury based on molecular docking technology[J/OL]. Journal of Chinese High Altitude Medicine and Biology. (2025-05-29) [2025-09-11]. <https://link.cnki.net/urlid/63.1081.R.20250528.1640.004>.
- [29] 邢琦, 陈海燕, 华李羽, 等. 桦木汁对斑马鱼胚胎的体外抗氧化作用及体内酶学检测[J]. 食品与机械, 2025, 41(2): 160-165.
- XING Q, CHEN H Y, HUA L Y, et al. Antioxidant effects and enzymatic analysis of birch sap on zebrafish embryos[J]. Food & Machinery, 2025, 41(2): 160-165.