

## 西洋参花多糖闪式提取工艺优化及抗氧化活性研究

康忠禹, 赵大庆, 姚佳婧, 赵丽明, 黄宝泰, 刘莉, 齐滨

### Optimization of Flash Extraction Process and Antioxidant Activity of American Ginseng Flower Polysaccharides

KANG Zhongyu, ZHAO Daqing, YAO Jiajing, ZHAO Liming, HUANG Baotai, LIU Li, and QI Bin

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023050278>

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

#### 响应面优化人参花黄酮提取工艺及抗氧化活性

Response surface optimized extraction of flavonoids from *ginseng flower* and antioxidant activities

食品工业科技. 2018, 39(12): 216-221,230 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2018.12.038>

#### 响应面法优化马鞭草中总黄酮闪式提取工艺及其体外抗氧化活性

Optimization of Flash Extraction Technology of Total Flavonoids from *Verbena officinalis* L. by Response Surface Methodology and Its Antioxidant Activity *in Vivo*

食品工业科技. 2019, 40(3): 173-178,184 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.03.028>

#### 无花果总黄酮闪式提取工艺优化及其抗氧化活性

Optimization of Flash Extraction Process of Total Flavonoids from Fig (*Ficus carica* L.) and Its Antioxidant Activities

食品工业科技. 2020, 41(12): 186-191,220 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.12.030>

#### 红树莓多酚提取物闪式提取工艺优化及其抗氧化性

Optimization of flash extraction process and antioxidant activity of polyphenol from red raspberry

食品工业科技. 2018, 39(5): 197-202 <https://doi.org/>

#### 超声-闪式协同提取白及须根多糖工艺优化及其抗肿瘤活性

Optimization of Ultrasonic-Flash Synergistic Extraction and Antitumor Activity of Polysaccharide from Fibrous Root of *Bletilla striata*

食品工业科技. 2019, 40(20): 188-195,208 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.20.030>

#### 响应面法优化新疆芜菁多糖提取工艺及体外抗氧化活性研究

Optimization the extraction process of polysaccharide by response surface methodology from *Brassica rapa* L. and its antioxidant activity

食品工业科技. 2018, 39(2): 229-233 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2018.02.043>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

康忠禹, 赵大庆, 姚佳婧, 等. 西洋参花多糖闪式提取工艺优化及抗氧化活性研究 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(7): 184–190. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023050278

KANG Zhongyu, ZHAO Daqing, YAO Jiajing, et al. Optimization of Flash Extraction Process and Antioxidant Activity of American Ginseng Flower Polysaccharides[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(7): 184–190. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023050278

· 工艺技术 ·

# 西洋参花多糖闪式提取工艺优化及 抗氧化活性研究

康忠禹<sup>1</sup>, 赵大庆<sup>1</sup>, 姚佳婧<sup>2</sup>, 赵丽明<sup>1</sup>, 黄宝泰<sup>2</sup>, 刘 莉<sup>2,\*</sup>, 齐 滨<sup>2,\*</sup>

(1. 长春中医药大学, 吉林省人参科学研究院, 吉林长春 130117;

2. 长春中医药大学药学院, 吉林长春 130117)

**摘 要:**目的: 研究西洋参花多糖闪式提取的最佳工艺条件及抗氧化活性。方法: 以西洋参花为原料, 考察提取电压、液料比、提取时间对西洋参花多糖得率的影响, 采用响应面法优化西洋参花多糖闪式提取工艺。通过测定西洋参花多糖对 DPPH 自由基和羟基自由基的清除作用及总还原力, 考察西洋参花多糖的抗氧化活性。结果: 通过实验得到西洋参花多糖的最佳提取工艺条件为: 提取电压: 130 V, 液料比: 30:1 mL/g, 提取时间: 100 s。在此条件下, 西洋参花多糖得率为 11.12%±0.23%, 与模型预测值相当; 西洋参花多糖体外抗氧化显示其对 DPPH 自由基和羟基自由基清除率的 IC<sub>50</sub> 值分别为 1.34、1.42 mg/mL, 且具有一定还原力。表明西洋参花具有较强的抗氧化活性, 且随着多糖浓度的增加, 抗氧化活性不断增强。结论: 本实验得到的提取工艺条件具有可行性, 可用于西洋参花多糖的提取。西洋参花多糖具有较好的抗氧化活性。本研究可为西洋参花的开发利用提供理论依据。

**关键词:**西洋参花多糖, 闪式提取, 工艺优化, 抗氧化活性, 响应面法

中图分类号: TS201.2

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2024)07-0184-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023050278



本文网刊:

## Optimization of Flash Extraction Process and Antioxidant Activity of American Ginseng Flower Polysaccharides

KANG Zhongyu<sup>1</sup>, ZHAO Daqing<sup>1</sup>, YAO Jiajing<sup>2</sup>, ZHAO Liming<sup>1</sup>, HUANG Baotai<sup>2</sup>, LIU Li<sup>2,\*</sup>, QI Bin<sup>2,\*</sup>

(1. Jilin Ginseng Academy, Changchun University of Chinese Medicine, Changchun 130117, China;

2. School of Pharmacy, Changchun University of Chinese Medicine, Changchun 130117, China)

**Abstract:** Objective: To study the optimal process conditions of flash extraction and antioxidant activity of American ginseng flower polysaccharides (AGFPs). Methods: American ginseng flower (AGF) as the raw material, the effects of extraction voltage, liquid-material ratio, and extraction time on the yield of AGFPs were explored. The flash extraction process of AGFPs was improved by response surface methodology. The scavenging effect on DPPH and hydroxy free radicals and total reduction capacity of AGFPs were determined to assess the antioxidant activity of AGFPs. Results: The optimal extraction conditions were determined as 130 V of extraction voltage, 30:1 mL/g of liquid-material ratio, and 100 s of extraction time, resulting in an AGFPs yield of 11.12%±0.23%, which agreed with the model prediction. The AGFPs exhibited significant scavenging effects on DPPH and hydroxyl radicals, with IC<sub>50</sub> values of 1.34 mg/mL and 1.42 mg/mL, respectively, and had a certain reducing power. Conclusion: These results suggested that flash extraction was an efficient and rapid method for obtaining AGFPs from AGF, and that AGFPs had promising antioxidant potential for further applications. This study can provide a theoretical basis for the development and application of AGF.

收稿日期: 2023-05-26

基金项目: 国家重点研发计划 (2021YFD1600903); 吉林省大学生创新创业训练计划项目 (S202210199030S)。

作者简介: 康忠禹 (1991-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 中药有效成分发现、生物转化及健康产品研究与开发, E-mail: 911367951@qq.com。

\* 通信作者: 刘莉 (1978-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 中药活性物质分析研究, E-mail: 68734263@qq.com。

齐滨 (1978-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 天然产物开发与研究, E-mail: qibin88@126.com。

**Key words:** American ginseng flower polysaccharides; flash extraction; process optimization; antioxidant activity; response surface methodology

西洋参(*Panax quinquefolium* L.)为五加科人参属多年生的草本植物,别名为花旗参、西洋人参等。具有补气养阴,清热生津的功效<sup>[1]</sup>。西洋参原产于加拿大和美国,最初是通过英法殖民地转运到东亚,之后传入中国。我国于 20 世纪 70 年代,在东北、华北等地引种栽培成功<sup>[2]</sup>。2020 年 1 月,西洋参正式被纳入药物质目录管理<sup>[3]</sup>。根部为西洋参药用部位,故其地上部分往往不被重视,所以研究相对较少。西洋参花为西洋参的花蕾,其主要成分包括皂苷类、黄酮类、木质素类、挥发油及多糖等<sup>[4-8]</sup>。刘雪莹等<sup>[9]</sup>研究表明西洋参花多糖具有免疫调节作用。在种植过程中,为保证其品质,往往要进行摘蕾处理,但研究表明西洋参地上部分花蕾和叶中总皂苷含量最多<sup>[10]</sup>。这表明西洋参花的研究对于西洋参产业的开发具有重要意义。

目前的报道多为对西洋参传统药用部位即根部多糖提取工艺的研究<sup>[11-14]</sup>,而对于其非药用部位西洋参花多糖的提取工艺研究很少。闪式提取法是一种新型提取方法,其具有提取速度快、时间短等特点,现已广泛应用于多糖的提取<sup>[15-18]</sup>。因此本研究运用闪式提取法提取西洋参花粗多糖,利用 Box-Behnken 响应面试验,筛选出西洋参花多糖的最佳提取工艺。探讨其抗氧化活性,为西洋参花多糖的开发与利用提供理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

西洋参花 吉林省白山市西洋参种植基地,2022 年 8 月份采收,批号:20220810-1;DPPH、抗坏血酸( $V_C$ )、邻二氮菲 分析纯,美国 Sigma 公司;三氯乙酸、无水葡萄糖、铁氰化钾、苯酚、三氯化铁、无水乙醇、浓盐酸等 国产分析纯,北京化工厂。

FA1204B 电子天平 上海精密科学仪器有限公司;JHBE-50S 型闪式提取器 北京金鼎科技有限公司;UV-2550 紫外-可见分光光度计 日本岛津公司;Centrifuge 5804R 离心机 德国 Eppendorf 公司;ALPHA 3-4 LSC basic 冻干机 德国 CHRIST 公司。

### 1.2 实验方法

1.2.1 西洋参花粗多糖的闪式提取 西洋参花于 45 ℃ 条件下烘干至恒重,粉碎成粉末过 60 目筛,称取西洋参花粉 20 g,加入 95% 乙醇 200 mL,于 80 ℃ 条件下回流 4 h,残渣烘干备用,取西洋参花残渣,加入闪式提取器中,以水为提取溶剂,根据单因素实验及响应面试验设计要求,设置提取电压、液料比、提取时间及提取次数。提取结束后抽滤,滤液减压浓缩至 50 mL,sevage 法除蛋白三次,用无水乙醇调节至多糖溶液中乙醇体积分数为 80%,4 ℃ 醇沉

过夜,离心收集沉淀,烘干至其无醇味,适量蒸馏水溶解,冷冻干燥,即得西洋参花粗多糖<sup>[19]</sup>。

#### 1.2.2 西洋参花多糖得率的测定

1.2.2.1 葡萄糖标准曲线的绘制 标准曲线绘制:称取无水葡萄糖 10.00 mg,定容于 100 mL 容量瓶中,分别移取 0、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mL 于玻璃试管中,分别加去离子水补足至 1 mL,每个浓度重复三次。每只试管中加入 0.5 mL 6% 苯酚溶液及 2.5 mL 浓硫酸,迅速振荡,静置至室温,用紫外-可见分光光度计检测样品在 490 nm 处的吸光度,横坐标为葡萄糖浓度,纵坐标为吸光度,绘制葡萄糖标准曲线<sup>[20]</sup>。线性回归方程为:  $y=12.305x-0.0225$ ,  $R^2=0.9997$ 。

西洋参花粗多糖含量的测定:取 0.1 mg/mL 西洋参花粗多糖溶液,根据标准曲线测定步骤测定西洋参花粗多糖吸光度值,并根据标准曲线计算多糖浓度。

1.2.2.2 多糖得率的计算 多糖得率按照下式进行计算。

$$\text{多糖得率}(\%) = \frac{CV}{m} \times 100$$

式中: C: 样品中多糖浓度, g/mL; V: 样品体积, mL; m: 西洋参花质量, g。

1.2.3 单因素实验 根据 1.2.1 的方法,称取西洋参花粉 20 g,以水为溶剂进行闪式提取,考察不同提取电压、液料比、提取时间及提取次数对西洋参花多糖得率的影响。进行单因素实验考察时,固定条件分别为:提取电压 130 V、液料比 30:1 mL/g、提取时间 100 s、提取次数 2 次。西洋参花多糖提取液经抽滤、减压浓缩、除蛋白、醇沉处理后得到粗多糖,采用 1.2.2.1 中方法测定西洋参花多糖浓度。

1.2.4 响应面法优化西洋参花多糖提取 参考西洋参花多糖提取单因素实验结果,以西洋参花多糖得率为响应值,考察提取电压、液料比、提取时间三个因素对西洋参花多糖得率的影响,试验影响因素和水平见表 1。

表 1 响应面试验因素水平

Table 1 Experimental factors and levels of response surface

| 水平 | 因素       |            |          |
|----|----------|------------|----------|
|    | A提取电压(V) | B液料比(mL/g) | C提取时间(s) |
| -1 | 110      | 20:1       | 80       |
| 0  | 130      | 30:1       | 100      |
| 1  | 150      | 40:1       | 120      |

#### 1.2.5 西洋参花多糖抗氧化活性测定

1.2.5.1 西洋参花多糖对 DPPH 自由基清除能力的测定 参照文献 [21] 中的方法测定西洋参花多糖

对 DPPH 自由基清除率: 称量一定质量的西洋参花多糖样品以及水溶性  $V_C$ , 分别配制成 0.1、0.4、0.8、1.2、1.6、2.0 mol/L 的样品溶液。准确量取 1 mL 西洋参花多糖样品以及水溶性  $V_C$  样品溶液于试管中, 加入 4.5 mL 0.1 mmol/L 的 DPPH 溶液混合, 避光反应 30 min, 515 nm 波长下测定西洋参花多糖样品以及水溶性  $V_C$  的吸光度值。样品对 DPPH 自由基的清除作用按以下公式计算:

$$\text{DPPH自由基清除率}(\%) = \left(1 - \frac{A_1 - A_2}{A_0}\right) \times 100$$

式中:  $A_0$ 、 $A_1$ 、 $A_2$  分别代表对照品、多糖样品、样品空白的吸光度值。

1.2.5.2 西洋参花多糖对羟基自由基清除能力的测定 西洋参花多糖对羟基自由基的清除率, 采用邻二氮菲法进行测定<sup>[22]</sup>。取 0.75 mmol/L 邻二氮菲溶液 1 mL 和 0.2 mol/L PBS 溶液 (pH7.4) 2 mL 于试管中, 加入不同浓度样品溶液混匀, 加入 0.75 mmol/L  $\text{FeSO}_4$  溶液 1 mL 和 0.025%  $\text{H}_2\text{O}_2$  溶液 1 mL, 混匀, 37 °C 水浴反应 1 h, 536 nm 波长处测定吸光度值。1 mL 蒸馏水代替西洋参花多糖样品溶液作为空白对照组, 1 mL 蒸馏水代替 0.025%  $\text{H}_2\text{O}_2$  溶液作为样品对照组, 西洋参花多糖样品对羟基自由基清除率的计算公式如下:

$$\text{羟基自由基清除率}(\%) = \frac{A_1 - A_0}{A_2 - A_0} \times 100$$

式中:  $A_0$ 、 $A_1$ 、 $A_2$  分别代表空白对照组、多糖样品组、样品对照组的吸光度值。

1.2.5.3 西洋参花多糖总还原能力的测定 参照文献 [23] 中的方法, 取 1 mL 不同浓度的西洋参花多糖溶液, 分别加入 0.2 mol/L 磷酸盐缓冲溶液和 1.0% 铁氰化钾溶液各 2.5 mL, 迅速混匀, 水浴 50 °C 反应 20 min, 待溶液冷却至室温后, 向试管中分别加入 10% 三氯乙酸溶液 2.5 mL, 离心取上清液 2.5 mL, 加入 2.5 mL 蒸馏水和 0.1% 三氯化铁 0.5 mL, 混匀, 测定其在 700 nm 波长处吸光度值, 以蒸馏水替代样品作为对照组,  $V_C$  为阳性对照组, 按照以下公式计算还原力:

$$M = A_1 - A_2$$

式中:  $A_1$  为样品吸光度值;  $A_2$  为对照组吸光度值。

### 1.3 数据处理

所有西洋参花多糖的提取实验均重复三次。运用 Design-Expert 8.0.6.1 软件对西洋参花多糖提取工艺数据进行分析, 西洋参花多糖抗氧化活性分析绘图利用 GraphPad prism 8.0.2 软件完成。

## 2 结果与分析

### 2.1 西洋参花多糖闪式提取单因素考察结果

2.1.1 提取电压对多糖得率的影响 由图 1 可知, 西洋参花多糖得率在提取电压为 70~130 V 的范围内

逐渐升高, 分析其原因可能为随着电压升高, 闪式提取器内剪刀刀转速增快, 剪切力增加, 由于剪切力的影响, 西洋参花多糖更易溶出<sup>[17]</sup>。但是当超过 130 V 时, 多糖得率明显下降, 可能因为, 随着电压增加, 刀头转速加快, 西洋参花颗粒过小, 多糖被吸附在颗粒表面不易溶出, 导致西洋参花多糖得率下降, 因此选择 110、130、150 V 电压进行后续试验<sup>[24]</sup>。

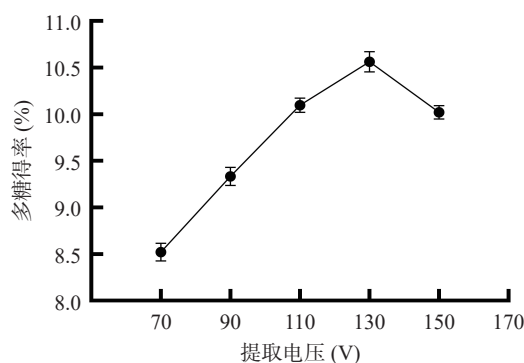


图1 提取电压对西洋参花多糖得率的影响

Fig.1 Effect of extraction voltage on polysaccharides yield of American ginseng flower

2.1.2 液料比对多糖得率的影响 由图 2 可知, 当液料比从 20:1 增加到 30:1 时, 西洋参花多糖得率明显增加, 液料比为 30:1 mL/g 时多糖得率最高。之后西洋参花多糖得率开始下降, 可能是随着液料比比重的增加, 影响了溶剂间的热传递, 从而不利于多糖的溶出, 导致西洋参花多糖得率下降, 而当液料比过低时, 多糖溶液的黏度过大, 活性成分不易扩散, 导致西洋参花多糖得率较低<sup>[25]</sup>。因此选择液料比 20:1、30:1 和 40:1 mL/g 作为响应面优化水平。

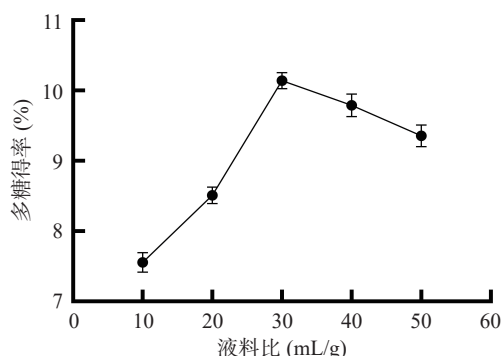


图2 液料比对西洋参花多糖得率的影响

Fig.2 Effect of liquid to solid ratio on polysaccharides yield of American ginseng flower

2.1.3 提取时间对多糖得率的影响 由图 3 可知, 提取时间选择 40~100 s, 随着提取时间的增加, 西洋参花多糖得率呈现上升趋势, 提取时间为 100 s 时得率最高, 之后得率开始逐渐降低, 分析可能因为随着提取时间的延长, 西洋参花多糖溶出增多, 从而西洋参花多糖得率上升, 但随着提取时间继续延长, 闪式提取器内温度增加, 从而使西洋参花多糖分解, 因此选择 80、100、120 s 进行后续试验<sup>[26]</sup>。

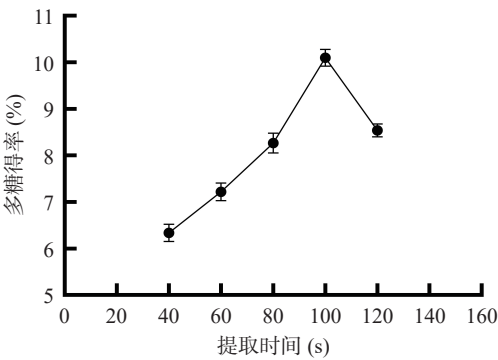


图 3 提取时间对西洋参花多糖得率的影响  
Fig.3 Effect of extraction time on polysaccharides yield of American ginseng flower

2.1.4 提取次数对多糖得率的影响 由图 4 可知, 西洋参花多糖得率随提取次数增加呈上升趋势, 当提取次数为 2 次时西洋参花多糖得率趋于稳定。说明提取 2 次时, 西洋参花多糖已经基本提取完全。考虑时间及成本问题, 最终选择 2 次为最佳提取次数。

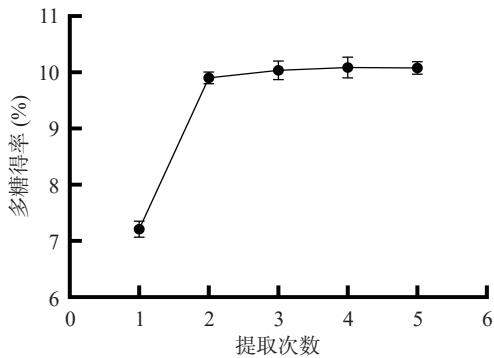


图 4 提取次数对西洋参花多糖得率的影响  
Fig.4 Effect of extraction times on polysaccharides yield of American ginseng flower

2.2 响应面法优化西洋参花多糖提取工艺试验结果

2.2.1 试验设计方案及结果 参考闪式提取西洋参花多糖单因素实验结果, 以闪式提取电压、液料比、提取时间为影响因素, 设计 Box-Behnken 试验, 以西洋参花多糖得率为响应值。设计方案及结果见表 2。

2.2.2 回归模型的建立及分析 对表 2 数据进行拟合, 得到的二次多项回归方程为: 多糖得率=11.18-0.27A+0.068B-0.24C+0.25AB-0.051AC-0.15BC-1.14A<sup>2</sup>-1.10B<sup>2</sup>-1.41C<sup>2</sup>。响应面回归模型方差分析结果见表 3。

由表 3 可以看出, 该模型的  $P<0.01$ , 表明响应值差异极显著, 建模成功。三个考察因素对于西洋参花多糖得率的影响程度大小顺序为: 提取电压>提取时间>液料比。失拟项  $P$  值为  $0.9906>0.05$ , 说明模型拟合好, 本试验不存在失拟因素。模型的决定系数  $R^2=0.9933$ , 调整决定系数  $R^2_{adj}=0.9874$ , 说明所建立模型能够较好地确定关键影响因素, 可以应用所建立的模型对西洋参花多糖进行提取工艺的优化, 模型中一次项 A、C 达到极显著( $P<0.01$ ), AB 达到显著水平( $P<0.05$ ), 各因素的二次项对西洋参花多糖得率的

表 2 响应面试验设计方案及结果  
Table 2 Design and test results of response surface methodology

| 试验号 | A提取电压 | B液料比 | C提取时间 | 西洋参花多糖得率(%) |
|-----|-------|------|-------|-------------|
| 1   | 1     | 1    | 0     | 8.97        |
| 2   | 0     | 0    | 0     | 11.34       |
| 3   | 0     | -1   | 1     | 8.69        |
| 4   | 1     | 0    | -1    | 8.07        |
| 5   | 0     | 1    | 1     | 9.13        |
| 6   | 0     | 0    | 0     | 11.32       |
| 7   | -1    | 1    | 0     | 9.01        |
| 8   | 0     | 0    | 0     | 11.16       |
| 9   | 1     | -1   | 0     | 8.35        |
| 10  | 0     | 1    | -1    | 8.35        |
| 11  | 0     | -1   | -1    | 8.49        |
| 12  | -1    | 0    | 1     | 9.25        |
| 13  | -1    | -1   | 0     | 9.39        |
| 14  | 0     | 0    | 0     | 11.04       |
| 15  | -1    | 0    | 1     | 8.91        |
| 16  | 1     | 0    | 1     | 8.65        |
| 17  | 0     | 0    | 0     | 11.02       |

表 3 回归模型方差分析表  
Table 3 Variance analysis of response surface quadratic regression

| 方差来源           | 平方和                 | 自由度 | 均方                  | F值                  | P值        |
|----------------|---------------------|-----|---------------------|---------------------|-----------|
| 模型             | 22.15               | 9   | 2.46                | 115.55              | <0.0001** |
| A              | 0.40                | 1   | 0.40                | 18.76               | 0.0034**  |
| B              | 0.036               | 1   | 0.036               | 1.71                | 0.2321    |
| C              | 0.33                | 1   | 0.33                | 15.42               | 0.0057**  |
| AB             | 0.25                | 1   | 0.25                | 11.74               | 0.0110*   |
| AC             | $5.54\times10^{-3}$ | 1   | $5.54\times10^{-3}$ | 0.26                | 0.6257    |
| BC             | 0.084               | 1   | 0.084               | 3.95                | 0.0873    |
| A <sup>2</sup> | 4.49                | 1   | 4.49                | 210.88              | <0.0001** |
| B <sup>2</sup> | 4.18                | 1   | 4.18                | 196.13              | <0.0001** |
| C <sup>2</sup> | 6.81                | 1   | 6.81                | 319.96              | <0.0001** |
| 残差             | 0.15                | 7   | 0.021               |                     |           |
| 失拟项            | $5.64\times10^{-4}$ | 2   | $2.82\times10^{-4}$ | $9.50\times10^{-3}$ | 0.9906    |
| 纯误差            | 0.15                | 5   | 0.03                |                     |           |
| 总离差            | 22.30               | 16  |                     |                     |           |

注: \*\*表示差异极显著 $P<0.01$ , \*表示差异显著 $P<0.05$ 。

影响均达到了极显著水平( $P<0.01$ )。

2.2.3 响应面优化分析 由图 5 可以看出, 提取电压和液料比、提取电压和提取时间以及液料比和提取时间每两个因素的交互作用响应面图中曲面变化幅度均较大, 且其等高线图均接近椭圆形, 说明每两个因素的交互作用均对西洋参花多糖得率有影响。其中提取电压和液料比两因素的交互作用曲面幅度更大, 等高线接近椭圆形更加明显, 说明其对西洋参花多糖得率的影响也更加显著。

2.2.4 优化与验证实验 经响应面分析预测得到最佳提取条件为: 提取电压: 127.75 V, 液料比: 30.24: 1 mL/g, 提取时间: 98.31 s, 西洋参花多糖的得率为 11.20%。根据实际情况, 调整后的提取工艺条件为: 提取电压: 130 V, 液料比: 30:1 mL/g, 提取时间: 100 s。在调整后实验条件基础上, 进行 3 次工艺验

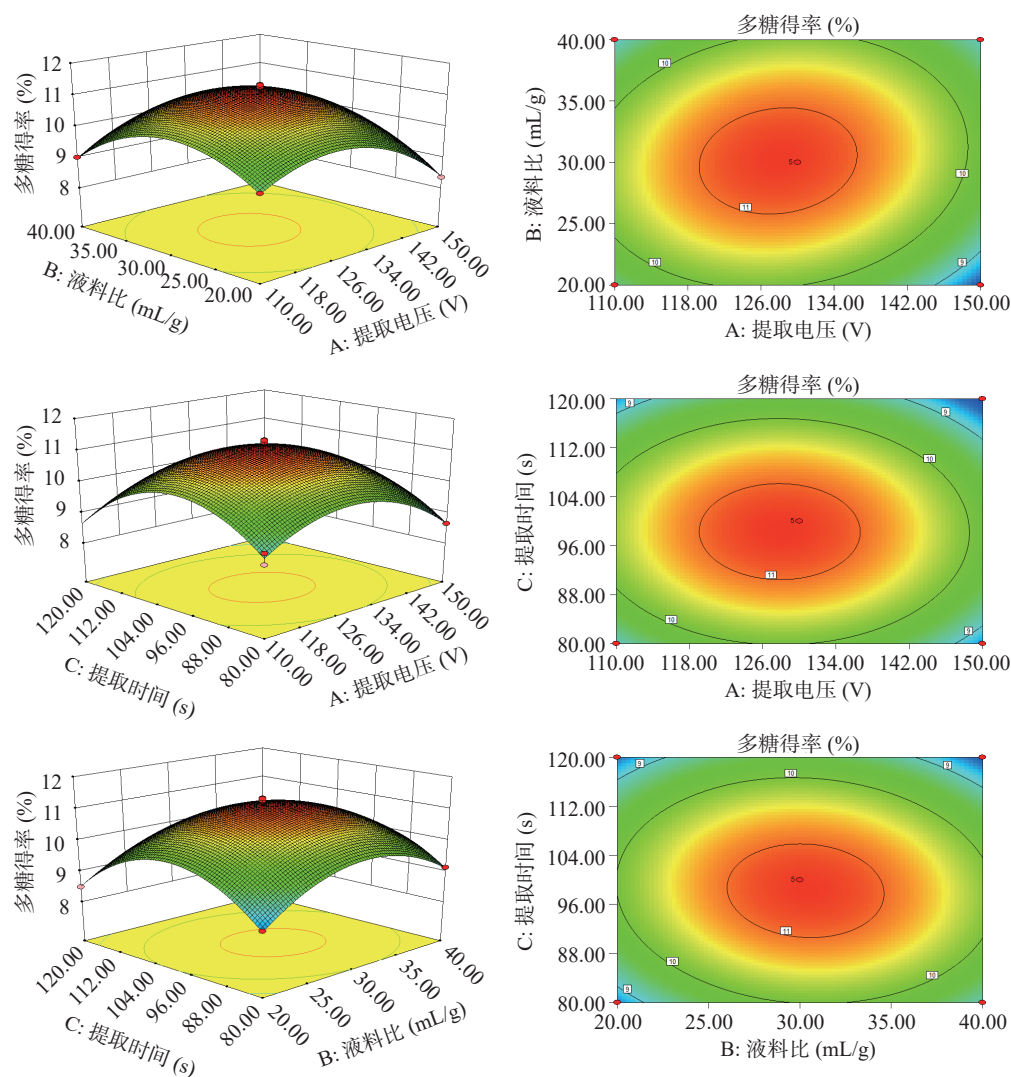


图5 各因素之间交互作用的响应面图和等高线图

Fig.5 Response surface and contour plots for the effects of experimental factors

证实实验,得到西洋参花多糖得率为  $11.12\% \pm 0.23\%$ 。与预测值  $11.20\%$  相差甚小,说明本模型可以较好地反映西洋参花多糖的提取过程,该工艺可靠合理。同时,与传统水煎煮提取西洋参花多糖相比较<sup>[9]</sup>,多糖得率由  $5.72\%$  提升至  $11.12\%$ ,多糖得率得到明显提升,应用闪式提取法也极大地缩短了提取时间,由此表明应用闪式提取法提取西洋参花多糖可用于指导实际生产和实验过程。

## 2.3 西洋参花多糖的抗氧化活性

**2.3.1 DPPH 自由基清除能力** 如图6所示,当西洋参花多糖的浓度在  $0.1 \sim 1.6 \text{ mg/mL}$  范围内时,对DPPH 自由基的清除率随着西洋参花多糖浓度的增加而增强。但当西洋参花多糖浓度超过  $1.6 \text{ mg/mL}$  时,曲线变缓,表明西洋参花多糖对DPPH 自由基的清除能力逐渐达到饱和。当西洋参花多糖浓度为  $2.0 \text{ mg/mL}$  时,其DPPH 自由基清除率达到最高值为  $61.48\%$ 。 $IC_{50}$  值为  $1.34 \text{ mg/mL}$ ,与  $V_C$  相比效果欠佳。但是与西洋参茎和叶相比,西洋参花多糖对DPPH 自由基的清除能力要强于西洋参茎和叶多糖对DPPH 自由基的清除能力<sup>[27]</sup>。

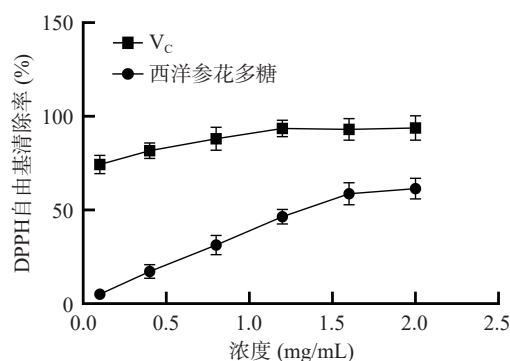


图6 西洋参花多糖的DPPH 自由基清除率

Fig.6 DPPH free radical scavenging rate of American ginseng flower polysaccharides

**2.3.2 羟基自由基清除能力** 由图7可知,西洋参花多糖对羟基自由基的清除效果随多糖浓度增加而不断增大,但随着西洋参花多糖浓度增高而逐渐变缓,当浓度为  $2.0 \text{ mg/mL}$  时,其对羟基自由基清除率达到最高值为  $60.01\%$ , $IC_{50}$  值为  $1.42 \text{ mg/mL}$ 。但与  $V_C$  相比效果仍欠佳。与西洋参茎和叶相比,西洋参花多糖对羟基自由基的清除能力要强于西洋参茎和叶多糖对羟基自由基的清除能力<sup>[27]</sup>。

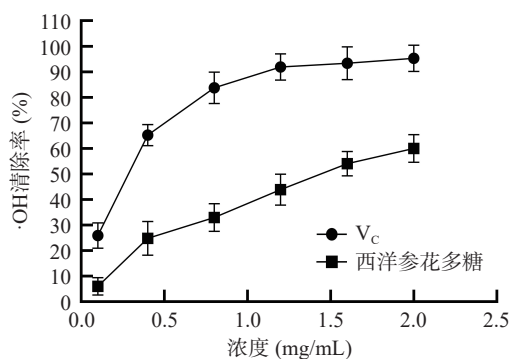


图 7 西洋参花多糖的·OH 清除率

Fig.7 ·OH scavenging rate of American ginseng flower polysaccharides

2.3.3 总还原能力 多糖分子中含有苷羟基,一定条件下可异变为羰基结构,因而具有一定还原性。如图 8 所示,西洋参花多糖具有一定的还原力。当多糖浓度在 0.1~2.0 mg/mL 时,其还原能力逐渐增强,但是仍然弱于 V<sub>C</sub>。

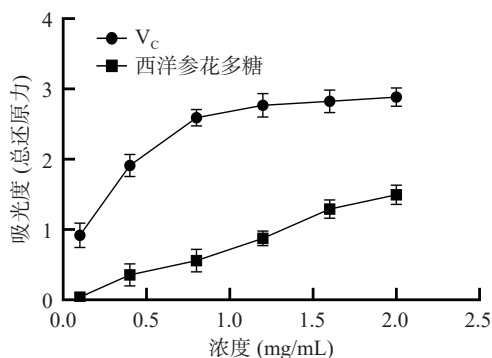


图 8 西洋参花多糖总还原力的测定

Fig.8 Determination of total reducing power of American ginseng flower polysaccharides

### 3 结论

本研究通过响应面法优化了闪式提取西洋参花多糖的最佳提取工艺,得到西洋参花多糖的最优提取工艺为:提取电压:130 V,液料比:30:1 mL/g,提取时间:100 s,同时在最优工艺的实验条件上进行了三次验证实验,最后得到多糖得率的平均值为 11.12%±0.23%,与预测值接近。另外,西洋参花多糖对于 DPPH 自由基、羟基自由基的清除以及总还原力都具有良好的效果,这说明西洋参花具有较好的抗氧化活性。西洋参花作为西洋参的非药用部位,对其的深入研究对于西洋参产业的开发和利用具有重要意义,本研究为西洋参花多糖的提取和活性研究提供了技术支持。

© The Author(s) 2024. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

### 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: 136. [Chinese Pharmacopoeia Commis-

sion. Pharmacopoeia of the People's Republic of China- I [M]. Beijing: China Medical Science Press, 2020: 136. ]

[2] 张正海, 雷慧霞, 钱佳奇, 等. 西洋参的引种简史[J]. 人参研究, 2020, 32(2): 59–62. [ZHANG Zhenghai, LEI Huixia, QIAN Jiaqi, et al. Introduction history of *Panax quinquefolium* L.[J]. Ginseng Research, 2020, 32(2): 59–62. ]

[3] 李春莲, 万楚军, 龚雪, 等. 西洋参种质资源及品种选育技术研究进展[J]. 西北农业学报, 2021, 30(3): 321–332. [LI Chunlian, WAN Chujun, GONG Xue, et al. Advance of research in germplasm resources and breeding techniques of american ginseng[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2021, 30(3): 321–332. ]

[4] 刘昌达. 西洋参花蕾化学成分的研究[D]. 沈阳: 沈阳药科大学, 2008. [LIU Changda. Research on the chemical constituents of flower buds of *Panax quinquefolium* L.[D]. Shenyang: Shenyang Pharmaceutical University, 2008. ]

[5] 孟祥颖, 李向高, 张宏, 等. 国产西洋参花蕾中挥发油的分离与鉴定[J]. 分析化学, 2001(5): 542–545. [MENG Xiangying, LI Xianggao, ZHANG Hong, et al. Analysis of the volatile oils in the flowerbuds of *Panax quinquefolium* L.[J]. Chinese Journal of Analytical Chemistry, 2001(5): 542–545. ]

[6] 许宁. 西洋参花主要化学成分的研究[D]. 长春: 长春中医药大学, 2020. [XU Ning. Study on the primary chemical constituents of the flower buds of *Panax quinquefolium* L.[D]. Changchun: Changchun University of Chinese Medicine, 2020. ]

[7] NAKAMURA S, SUGIMOTO S, MATSUDA H, et al. Medicinal flowers. XVII. New dammarane-type triterpene glycosides from flower buds of American ginseng, *Panax quinquefolium* L.[J]. Chemical & Pharmaceutical Bulletin, 2007, 55(9): 1342–1348.

[8] SRITULARAK B, MORINAGA O, YUAN C, et al. Quantitative analysis of ginsenosides Rb1, Rg1, and Re in American ginseng berry and flower samples by ELISA using monoclonal antibodies [J]. Journal of Natural Medicines, 2009, 63(3): 360–363.

[9] 刘雪莹, 赵雨, 刘莉, 等. 西洋参花多糖的提取和体外免疫调节作用的研究[J]. 食品工业, 2018, 39(1): 23–25. [LIU Xueying, ZHAO Yu, LIU Li, et al. The extraction of polysaccharides from american ginseng flower and immunomodulation activities *in vitro* [J]. The Food Industry, 2018, 39(1): 23–25. ]

[10] 刘俊文, 徐美利, 徐冰, 等. 西洋参不同部位皂苷成分研究[J]. 天津中医药, 2019, 36(7): 715–718. [LIU Junwen, XU Meili, XU Bing, et al. Study on saponin components in different parts of *Panax quinquefolium* L.[J]. Tianjin Journal of Traditional Chinese Medicine, 2019, 36(7): 715–718. ]

[11] YANG X S, WANG L J, DUNG C, et al. Optimization of ultrasonic-assisted extraction process of polysaccharides from American ginseng and evaluation of its immunostimulating activity[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2014, 13(12): 2807–2815.

[12] 陈军辉. 西洋参活性成分及其指纹图谱研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2005. [CHEN Junhui. Studies on the active chemical compositions of *Panax quinquefolium* L. and their fingerprint[D]. Nanchang: Nanchang University, 2005. ]

[13] 吴宪玲, 于晓红, 刘涛, 等. 响应面法优化西洋参多糖的酶解辅助提取工艺[J]. 食品工业, 2016, 37(1): 118–122. [WU Xianling, YU Xiaohong, LIU Tao, et al. Optimization of enzymatic extraction of polysaccharides from *Panax quinquefolium* by response surface methodology[J]. The Food Industry, 2016, 37(1): 118–122. ]

[14] YU X N, YANG X S, CUI B, et al. Antioxidant and immunoregulatory activity of alkali-extractable polysaccharides from

- North American ginseng[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2014, 65: 357–361.
- [15] 崔胜文, 罗双群. 霍山石斛多糖的闪式提取工艺优化及降血糖作用研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2023, 14(4): 305–313. [CUI Shengwen, LUO Shuangqun. Optimization of homogenate extraction and hypoglycemic effects of polysaccharides from *Dendrobium huoshanense*[J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2023, 14(4): 305–313.]
- [16] 冉丽梅, 樊旭, 赵鹤鹏, 等. 闪式提取沙棘总黄酮工艺及其抗氧化活性研究[J]. *粮食与油脂*, 2023, 36(1): 110–114. [RAN Limei, FAN Xu, ZHAO Hepeng, et al. Study on the flash extraction technology and antioxidant activity of total flavonoids from *Hippophae rhamnoides* L.[J]. *Cereals & Oils*, 2023, 36(1): 110–114.]
- [17] 蔡永萍, 李阳杰. 薏苡仁多糖闪式提取工艺优化及其生物活性[J]. *食品研究与开发*, 2023, 44(9): 164–170. [CAI Yongping, LI Yangjie. Optimization of flash extraction process of polysaccharides in *Coix lachryma* seed and their bioactivity[J]. *Food Research and Development*, 2023, 44(9): 164–170.]
- [18] ZHU Y, WU M, LI X, et al. Flash extraction, characterization, and immunoenhancement activity of polysaccharide from *Hippophae rhamnoides* Linn[J]. *Chemistry & Biodiversity*, 2023, 20(3): e202200776.
- [19] GHOSH R, BRYANT D L, ARIVETT B A, et al. An acidic polysaccharide (AGC3) isolated from North American ginseng (*Panax quinquefolius*) suspension culture as a potential immunomodulatory nutraceutical[J]. *Current Research in Food Science*, 2020, 3: 207–216.
- [20] 郑艳. 西洋参多糖的分离纯化及结构研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2015. [ZHENG Yan. Purification and structure analysis of the polysaccharides from *Panax quinquefolius*[D]. Changchun: Northeast Normal University, 2015.]
- [21] SHEN S G, JIA S R, WU Y K, et al. Effect of culture conditions on the physicochemical properties and antioxidant activities of polysaccharides from *Nostoc flagelliforme*[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2018, 198: 426–433.
- [22] 王海东, 韩荣欣, 张红印, 等. Osborne 法分级提取五味子蛋白及抗氧化活性比较[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(23): 59–65. [WANG Haidong, HAN Rongxin, ZHANG Hongyin, et al. Extraction of *Schisandra chinensis* protein by Osborne method and its antioxidant activity[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(23): 59–65.]
- [23] 杨小梅, 苏林静, 黎小椿, 等. 葶苈皮皂苷的体外抗氧化活性研究[J]. *食品科技*, 2020, 45(5): 240–245. [YANG Xiaomei, SU Linjing, LI Xiaochun, et al. Research on antioxidative activity of chinese water chestnut peel saponins *in vitro*[J]. *Food Science and Technology*, 2020, 45(5): 240–245.]
- [24] 东方, 王鑫, 王伟伟, 等. 芡实多糖闪式提取工艺优化及抗氧化活性研究[J]. *食品科技*, 2020, 45(12): 174–181. [DONG Fang, WANG Xin, WANG Weiwei, et al. Extraction optimization process by flash technology and antioxidant activity of *Euryale* polysaccharides[J]. *Food Science and Technology*, 2020, 45(12): 174–181.]
- [25] MAZAREI F, JOOYANDEH H, NOSHAD M, et al. Polysaccharide of caper (*Capparis spinosa* L.) leaf: Extraction optimization, antioxidant potential and antimicrobial activity[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2017, 95: 224–231.
- [26] 陈艳, 王杰, 李慧, 等. 黄精多糖的闪式提取及对乳酸菌发酵特性的影响[J]. *食品工业*, 2017, 38(6): 161–166. [CHEN Yan, WANG Jie, LI Hui, et al. Extraction of polysaccharide from *Polygonatum* and its effects on fermentation characteristics of lactic acid bacteria[J]. *The Food Industry*, 2017, 38(6): 161–166.]
- [27] 曾俊. 西洋参多糖的提取分离、结构表征及抗氧化活性研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2021. [ZENG Jun, Extraction, isolation, structure characterization and antioxidant activity of polysaccharides derived from *Panax quinquefolius*[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2021.]