

红花多糖纯化工艺及体外抗氧化活性研究

张馨心^{1,2} 王福玲^{1,3}

(1. 哈尔滨商业大学药学院, 黑龙江 哈尔滨 150076; 2. 哈尔滨商业大学英才学院, 黑龙江 哈尔滨 150076;
3. 浙江上药九旭药业有限公司, 浙江 金华 321016)

摘要: [目的] 采用水提醇沉法提取红花多糖(safflower polysaccharides, SPS), 并分析其结构和体外抗氧化活性。[方法] 红花粗多糖经脱蛋白、DEAE-52 纤维素和 Sephadex G-200 凝胶分离纯化后, 得到 SPS-A、SPS-B 和 SPS-C 3 个组分, 采用紫外—可见光谱扫描和红外光谱对其进行分析, 并考察 SPS-A 的体外抗氧化能力。[结果] SPS-A、SPS-B 和 SPS-C 含量分别为 89.75%, 90.37%, 90.22%, 样品中不含蛋白质或核酸类物质, 推测 SPS-A、SPS-B、SPS-C 为 β -型吡喃环结构。SPS-A 清除 DPPH 自由基的 IC_{50} 值为 0.35 mg/mL, Fe^{3+} 总抗氧化能力 (FRAP) 为 411.58 μ mol/L $FeSO_4$ 。[结论] 木瓜蛋白酶-Sevag 法对红花粗多糖的脱蛋白效果最佳; 红花多糖可能含 β -型吡喃环结构; 红花多糖可作为一种新型抗氧化药物及食物开发。
关键词: 红花多糖; 分离纯化; 柱层析; 红外光谱; 抗氧化

Purification process and antioxidant activity *in vitro* of polysaccharides from safflower

ZHANG Xinxin^{1,2} WANG Fuling^{1,3}

(1. School of Pharmacy, Harbin University of Commerce, Harbin, Heilongjiang 150076, China;
2. Honors' School, Harbin University of Commerce, Harbin, Heilongjiang 150076, China;
3. Zhejiang Shangyao Jiuxu Pharmaceutical Co., Ltd., Jinhua, Zhejiang 321016, China)

Abstract: [Objective] This study aimed to extract Safflower polysaccharides (SPS) via water extraction and alcohol precipitation method, and to analyze their structural characteristics and antioxidant activity *in vitro*. [Methods] SPS was separated into three fractions-SPS-A, SPS-B and SPS-C using DEAE-52 ion exchange and Sephadex G-200 gel chromatography. Structural properties were analyzed through UV-vis scanning and infrared spectroscopy. The antioxidant activity of SPS-A was assessed through DPPH radical scavenging and ferric reducing antioxidant power (FRAP) assays. [Results] The polysaccharide contents of SPS-A, SPS-B and SPS-C was 89.75%, 90.37%, 90.22%, respectively. The samples did not contain protein or nucleic acid substances. It is speculated that SPS-A, SPS-B and SPS-C were β -type pyran ring structures. The IC_{50} value of SPS-A for scavenging DPPH free radicals was 0.35 mg/mL, and the total antioxidant capacity of Fe^{3+} (FRAP) was 411.58 μ mol/L $FeSO_4$. [Conclusion] The papain-Sevag method was the most effective for deproteinization of crude polysaccharides. Safflower polysaccharide, characterized by β -type pyranose ring structures, demonstrated significant antioxidant potential, which can be enhanced by increasing polysaccharide concentration. Optimizing separation and purification processes could improve sample yield and support large-scale production. SPS holds promise as a novel antioxidant for pharmaceutical and functional food applications.

Keywords: safflower polysaccharides; isolation and purification; column chromatography; infrared spectroscopy; anti-oxidation

红花 (*Carthamus tinctorius* L.) 常用于活血祛瘀、痛经止痛^[1], 临床上多用于治疗心脑血管疾病^[2], 具有降血压、降脂、免疫调节等作用。同时, 红花粉又具有独特的风味^[3], 数百年来也被广泛用作重要的油料植物^[4]。多糖是一类结构和活性复杂的生物大分子^[5], 红花多糖有较强的免疫调节、抗肿瘤、抗氧化(且无细胞毒性)等活性^[6-7], 是

基金项目: 国家级大学生创新创业训练计划项目 (编号: 202210240022)

通信作者: 王福玲 (1986—), 女, 哈尔滨商业大学高级工程师, 博士。E-mail: 524640082@qq.com

收稿日期: 2024-03-29 改回日期: 2024-11-25

引用格式: 张馨心, 王福玲. 红花多糖纯化工艺及体外抗氧化活性研究[J]. 食品与机械, 2025, 41(3): 171-176.

Citation: ZHANG Xinxin, WANG Fuling. Purification process and antioxidant activity *in vitro* of polysaccharides from safflower[J]. Food & Machinery, 2025, 41(3): 171-176.

红花中的有效成分,具有重要的研究价值和良好的应用前景^[8]。从天然植物红花中提取的多糖通常含有大量蛋白质,采取高效稳定的脱蛋白工艺可以尽量避免蛋白质对多糖生物活性的影响。

近年来,有关以超声提取和水提醇沉法提取红花多糖的研究较多^[9],可通过调节影响多糖提取率的因素来提高红花多糖的提取率^[10-11],但有关红花多糖纯化工艺及具体结构的研究尚未见报道。研究拟对红花多糖进行提取纯化,分析多糖的脱蛋白方法,通过紫外、红外光谱对蛋白分离后得到的SPS-A、SPS-B、SPS-C 3个组分进行分析,探讨红花多糖的可能结构及该结构的抗氧化活性,为红花多糖的产业化发展提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

红花:采摘期为7月份,经中药学教研室鉴定为红花(*Carthamus tinctorius* L.)的干燥花,市售;

葡萄糖对照品:纯度 $\geq 98\%$,中国食品药品检定研究院;

苯酚、氯仿、正丁醇、无水乙醇、丙酮、浓硫酸、石油醚、氨水、双氧水、木瓜蛋白酶、氯化钠、硝酸银、维生素C(V_C)、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)、2,4,6-三吡啶基-1,3,5-三嗪(TPTZ)等均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

水浴锅:DZKW-4型,北京中兴伟业仪器有限公司;

粉碎机:FW-100型,北京市永光明医疗仪器有限公司;

离心机:L550型,湖南湘仪实验室仪器开发有限公司;

电子天平:BSA224S型,德国Sartorius公司;

紫外可见分光光度计:DB-20R型,澳大利亚Dynamica公司;

恒流泵:HL-2B型,上海嘉鹏科技有限公司;

红外光谱仪:FTIR-650型,天津港东科技股份有限公司;

冷冻干燥机:FREEZONE-12型,美国Labconco公司。

1.3 试验方法

1.3.1 红花粗多糖提取

红花 $\rightarrow$ 烘干($60\text{ }^{\circ}\text{C}$) $\rightarrow$ 粉碎 $\rightarrow$ 过筛(粉碎度 $0.600\sim 0.125\text{ mm}$) $\rightarrow m_{\text{粉末}}:V_{95\% \text{乙醇}}$ 为 $1:1\text{ (g/mL)}$,于 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 回流 2 h $\rightarrow$ 滤渣干燥 $\rightarrow m_{\text{滤渣}}:V_{\text{水}}$ 为 $1:20\text{ (g/mL)}$,于 $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 回流水提 90 min $\rightarrow$ 去残渣得上清液($3\text{ }000\text{ r/min}$ 离心 10 min) $\rightarrow$ 浓缩 $\rightarrow$ 加入乙醇至体积分数 80% 得沉淀 $\rightarrow$ 沉淀物依次经无水乙醇、丙酮、石油醚洗涤 $\rightarrow$ 自然干燥 $\rightarrow$ 粗多糖 $\rightarrow$ 饱和多糖水溶液(A)

1.3.2 红花粗多糖中蛋白质含量测定

(1) 蛋白质标准曲线绘制:依次取 $0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0\text{ mL}$ 牛血清白蛋白标准溶液,加入双蒸水至 1.0 mL ,分别加入 5 mL 考马斯亮蓝G-250标准溶液,振摇后静置,测定 595 nm 处吸光度,以吸光度为纵坐标,蛋白质质量浓度为横坐标,绘制牛血清白蛋白标准曲线 $y=28.029x+0.005\text{ }9, r=0.999\text{ }6$ 。

(2) 蛋白质含量测定:吸取 0.6 mL 多糖溶液,加双蒸

水至 1.0 mL ,加入 5 mL 考马斯亮蓝,依据标准曲线计算多糖中蛋白质含量。

(3) 多糖的标准曲线绘制:分别吸取 $0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0\text{ mL}$ 葡萄糖标准溶液,加入双蒸水至 2.0 mL ,振摇,加入 1.0 mL 6% 苯酚溶液, 5.0 mL 浓硫酸,摇匀,沸水浴 20 min ,冷却,测定 490 nm 处吸光度。以吸光度为纵坐标,葡萄糖质量浓度为横坐标,绘制葡萄糖标准曲线 $y=55.669x+0.021\text{ }6, r=0.999\text{ }0$ 。

(4) 多糖样品测定:吸取 1.0 mL 多糖溶液,加入 1.0 mL 6% 苯酚溶液, 5.0 mL 浓硫酸,摇匀,沸水浴 20 min ,依据标准曲线计算多糖含量。

1.3.3 脱蛋白

(1) 三氯乙酸法:在A中按体积比 $1:1$ 加入 3% 三氯乙酸,静置 2 h ,离心去沉淀,B操作(重复上述操作直至无蛋白,透析,浓缩,加入 4 倍无水乙醇,洗涤沉淀,干燥),得脱蛋白多糖(C1)。

(2) Sevag法:在A中加入Sevag($V_{\text{氯仿}}:V_{\text{正丁醇}}=4:1$),剧烈震荡 20 min ,静置 0.5 h ,去两相间白色蛋白,B操作,得C2。

(3) 酶法:在A中加入底物浓度为 1% 的木瓜蛋白酶^[12], $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 酶解 2 h ,沸水灭活 10 min ,浓缩,加入 4 倍无水乙醇,洗涤沉淀,干燥,得C3。

(4) 酶-Sevag法:酶解灭活后,加入Sevag,剧烈震荡,静置,去蛋白,B操作,得C4。

分别按式(1)、式(2)计算脱蛋白率和多糖保留率。

$$X = \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{\alpha_1} \times 100\%, \quad (1)$$

$$Y = \frac{\beta_2}{\beta_1} \times 100\%, \quad (2)$$

式中,

X ——脱蛋白率,%;

α_1 ——处理前蛋白含量,%;

α_2 ——处理后蛋白含量,%;

Y ——多糖保留率,%;

β_1 ——处理前多糖含量,%;

β_2 ——处理后多糖含量,%。

1.3.4 脱色及透析 用氨水将脱蛋白后的多糖水溶液pH调至 $8\sim 9$,加入双氧水^[13]至终浓度 10% , $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 水浴 2 h ,冷却后流水透析 72 h ,蒸馏水透析 24 h , $3\text{ }500\text{ r/min}$ 离心 10 min ,去沉淀,浓缩至适当体积,得多糖半纯品溶液。

1.3.5 DEAE-52纤维素离子交换柱层析 将一定量半纯品溶液进行离子交换柱层析(Whatman, $2.0\text{ cm}\times 30\text{ cm}$),依次用蒸馏水和 $0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.80\text{ mol/L}$ NaCl溶液洗脱, 1 mL/min ,各洗脱液收集 30 管,每管 10 mL 。D操作(苯酚—硫酸法^[14])隔管检测,合并单一峰,透析,硝酸银检测无 Cl^- 后,冷冻干燥,得纯多糖(E)。

1.3.6 Sephadex G-200凝胶柱层析 将纯多糖(E)各组分分别溶于适量纯水中后进行凝胶柱层析(Pharmacia, $1.6\text{ cm}\times 40\text{ cm}$),用 0.05 mol/L NaCl溶液洗脱, 0.1 mL/min ,

每组洗脱液收集30管,每管2 mL,D操作。

1.3.7 紫外—可见光谱扫描 将SPS-A、SPS-B、SPS-C分别配成质量浓度为1 mg/mL,于190~400 nm进行扫描。

1.3.8 红外光谱分析 称取SPS-A、SPS-B、SPS-C各2 mg,分别与400 mg干燥的KBr混合均匀,研磨,压片,于4 000~400 cm^{-1} 进行扫描^[15]。

1.3.9 抗氧化活性检测

(1) DPPH 自由基清除率:用无水乙醇溶解定容得质量浓度为0.04%的DPPH贮存液,避光保存,使用时将DPPH贮存液稀释10倍。取100 μL 不同稀释浓度的红花多糖溶液(1,0.5,0.25,0.125,0.062 5,0.031 25 mg/mL),分别加入1.4 mL无水乙醇和1.0 mL DPPH,室温避光70 min,测定517 nm处吸光值;以无水乙醇为空白组,1.5 mL无水乙醇+1.0 mL DPPH为对照^[16],按式(3)计算DPPH自由基清除率。

$$Z = \frac{A_1 - A_2}{A_1} \times 100\%, \quad (3)$$

式中:

Z——DPPH 自由基清除率,%;

A_1 ——对照组吸光度;

A_2 ——样品组吸光度。

(2) Fe^{3+} 总抗氧化能力(FRAP法):取25 mL 0.3 mol/L 醋酸盐缓冲液(pH 3.6),加入2.5 mL经10倍稀释后的10 mmol/L TPTZ溶液(溶解于40 mmol/L 酸盐),加入2.5 mL 20 mmol/L的 FeCl_3 ,混匀即为FRAP工作液。取300 μL 不同质量浓度的红花多糖溶液(1,0.5,0.25,0.125,0.062 5,0.031 25 mg/mL)与2.7 mL FRAP混匀,37 $^\circ\text{C}$ 水浴30 min,测定593 nm处吸光值;以无水乙醇为空白,300 μL 无水乙醇+2.7 mL FRAP为对照。同时绘制 FeSO_4 标准曲线为 $y=0.001\ 9x+0.201$, $r=0.998\ 0$,以1 $\mu\text{mol/L}$ FeSO_4 为标准,用达到同样吸光值所需的 FeSO_4 量来表示样品抗氧化能力^[17]。

1.3.10 数据分析 采用SPSS 16.0软件进行数据分析,采用Origin 8.0、GraphPad Prism 6.01软件作图。

2 结果与分析

2.1 红花粗多糖含量分析

试验测得,红花粗多糖中多糖含量约为29.37%,SPS-A、SPS-B、SPS-C含量分别89.75%,90.37%,90.22%。

2.2 脱蛋白方法比较

由表1可知,木瓜蛋白酶-Sevag法的脱蛋白效果最佳,推测酶可降解多糖溶液中的游离蛋白并将吸附或结合于多糖中的蛋白脱离,利于Sevag充分与这些降解及脱离的蛋白结合,增加脱蛋白率。

2.3 DEAE-52离子交换柱层析

由图1~图4可知,蒸馏水、0.05 mol/L NaCl、0.1 mol/L NaCl 3个组分的多糖含量较高,且随着NaCl浓度的增加未出现明显的单一对称峰,选择洗脱得到的3个组分记为SPS-A、SPS-B和SPS-C。

表1 脱蛋白方法比较

方法	脱蛋白率/%	多糖保留率/%
酶法	61.0	45.7
Sevag法	70.1	38.9
三氯乙酸法	55.7	40.2
酶-Sevag	72.9	44.6

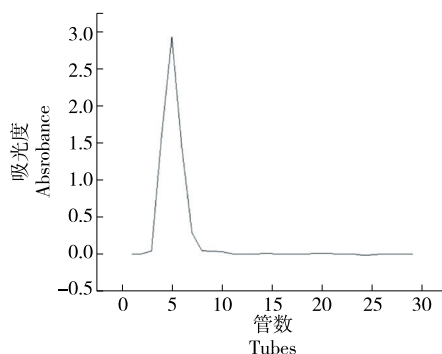


图1 双蒸水 DEAE-52 洗脱曲线

Figure 1 Elution curves of DEAE-52 in double distilled water

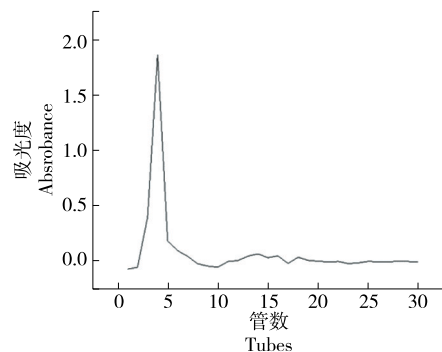


图2 0.05 mol/L 氯化钠 DEAE-52 洗脱曲线

Figure 2 Elution curve of DEAE-52 with 0.05 mol/L sodium chloride

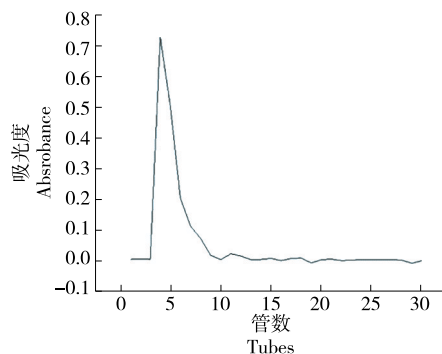


图3 0.1 mol/L 氯化钠 DEAE-52 洗脱曲线

Figure 3 Elution curve of DEAE-52 with 0.1 mol/L

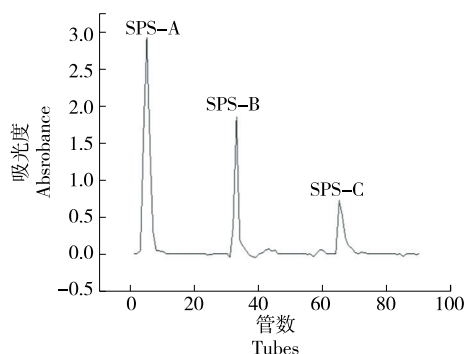


图4 不同浓度洗脱对比

Figure 4 Elution comparison of different sodium chloride concentrations

2.4 Sephadex G-200 凝胶柱层析

由图 5 可知, SPS-A、SPS-B 和 SPS-C 经过 Sephadex G-200 柱层析后分别仍只有一个洗脱组分, 峰型单一且对称, 说明分离纯化得到的多糖为均一多糖。SPS-A、SPS-B、SPS-C 含量分别为 89.75%, 90.37%, 90.22%。

2.5 紫外全波长扫描

由图 6 可知, SPS-A、SPS-B 和 SPS-C 在 260, 280 nm 处并无吸收峰存在, 表示样品中不存在蛋白质、核酸类物质, 分离组分中红花多糖纯度较高, 用此方法分离红花多糖效果较好。

2.6 红外光谱

由图 7 和表 2 可知, 红花多糖在 $3\ 800\sim 3\ 200\text{ cm}^{-1}$ 处

具有强的宽吸收峰, 主要为 O—H 伸缩振动; $3\ 000\sim 2\ 800\text{ cm}^{-1}$ 处为 C—H 伸缩振动^[18]; $1\ 400\sim 1\ 200\text{ cm}^{-1}$ 处为 C—H 变角振动, 此 3 个峰为多糖特征峰^[19-20]。 $1\ 600, 1\ 420\text{ cm}^{-1}$ 处为 —COOH 伸缩振动, $1\ 250\sim 940\text{ cm}^{-1}$ 处为吡喃环上 C—O—C 和 C—O—H 伸缩振动^[21]; 890 cm^{-1} 附近的吸收峰表明多糖为 β 构型。推测 SPS-A、SPS-B、SPS-C 为 β -型吡喃环^[22]结构。

2.7 抗氧化活性

2.7.1 DPPH 自由基清除能力 由图 8 可知, 红花多糖具有一定的抗氧化能力, 可能与其分子结构中含有的羟基、醚键以及吡喃环的强供电子能力有关^[23]。随着样品质量浓度的增加, 粗多糖 SPS、纯多糖 SPS-A 的还原能力均增加, 呈一定的多糖浓度依赖性, 且纯多糖 SPS-A 的还原能力较粗多糖 SPS 的强, 说明红花纯多糖的抗氧化能力较强。当粗多糖 SPS、纯多糖 SPS-A 溶液分别稀释至 0.75, 0.35 mg/mL 时, DPPH 自由基清除率均达 50%, 此时 V_c 的 IC_{50} 值为 $0.789\text{ }\mu\text{g/mL}$ 。

2.7.2 Fe^{3+} 总抗氧化能力 由图 9 可知, 红花多糖的 FRAP 自由基清除率存在浓度依赖现象, 随着样品质量浓度的增加, SPS、SPS-A 的抗氧化能力均有所增强, 且纯多糖 SPS-A 与粗多糖 SPS 抗氧化能力的差距也随之增加, 当多糖质量浓度为 1 mg/mL 时, SPS、SPS-A 的总抗氧化能力分别为 $310.53, 411.58\text{ }\mu\text{mol/L FeSO}_4$, 此时 V_c 的 FRAP 值为 $18.95\text{ mmol/L FeSO}_4$ 。

3 结论

红花粗多糖经脱蛋白、透析、纤维素和凝胶柱层析,

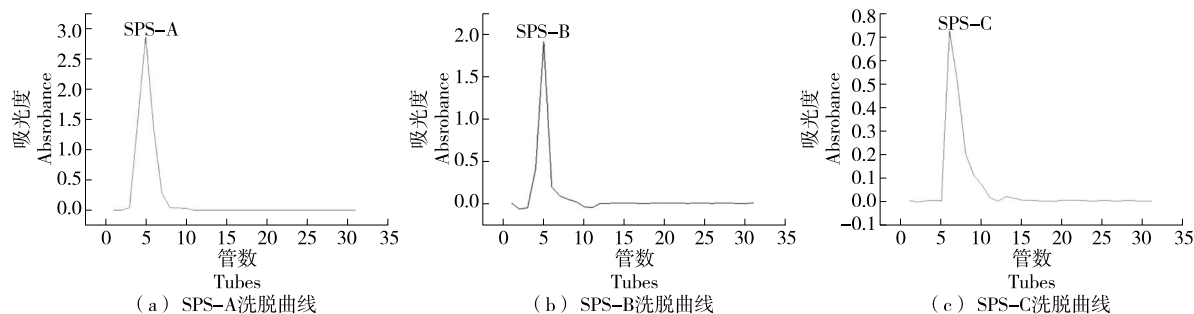


图5 Sephadex G-200 凝胶洗脱曲线

Figure 5 Sephadex G-200 gel elution curve

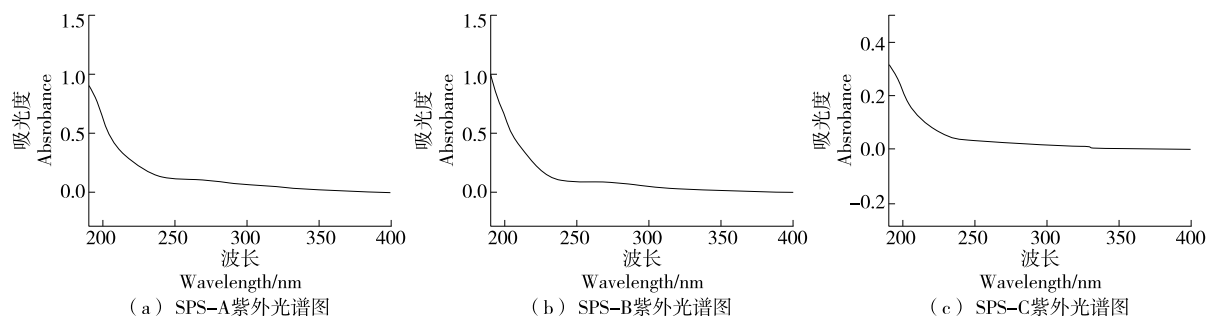


图6 紫外光谱图

Figure 6 Ultraviolet spectrum diagram

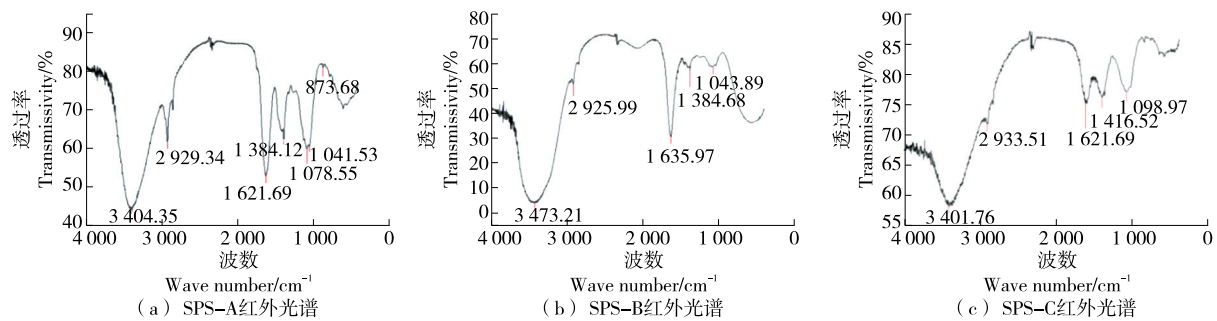


图7 SPS-A、SPS-B、SPS-C 红外光谱

Figure 7 Infrared spectrum of SPS-A, SPS-B and SPS-C

表2 红外光谱分析

Table 2 Infrared spectral analysis

振动方式	官能团	吸收峰波数/cm ⁻¹		
		SPS-A	SPS-B	SPS-C
伸缩振动	O—H	3 404.35	3 473.21	3 401.76
伸缩振动	C—H	2 929.34	2 925.99	2 933.51
变角振动	C—H	1 384.12	1 384.68	
非对称伸缩振动	—COOH	1 621.69	1 635.97	1 621.69
对称伸缩振动	—COOH			1 416.52
伸缩振动	C—O—C	1 078.55		1 098.97
弯曲振动	C—O—H	1 041.53	1 043.89	

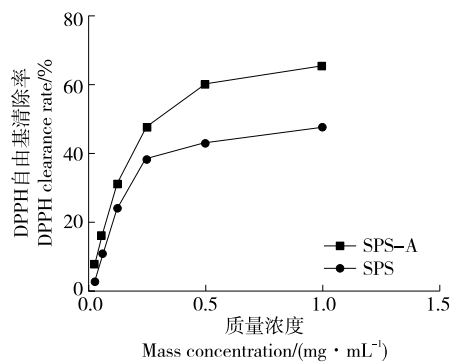


图8 DPPH 自由基清除试验

Figure 8 DPPH scavenging free radical experiment

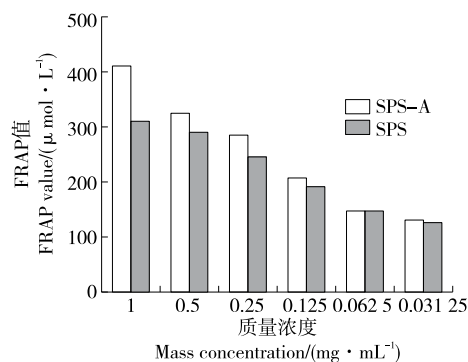


图9 总抗氧化能力试验

Figure 9 Total antioxidant capacity test

可获得均一度较好的纯多糖^[24],其中,木瓜蛋白酶-Sevag法的脱蛋白效果最好。红花多糖具有清除自由基作用及抗氧化活性,且呈现一定的量效关系,其能力虽弱于维生素C,但多糖作为一种天然活性物质,毒副作用小,可被广泛应用^[25]。红花多糖的性质、结构和潜在的生物学活性以及机制还有待进一步研究。

参考文献

- [1] 王佐梅,肖洪彬,李雪莹,等. 中药红花的药理作用及临床应用研究进展[J]. 中华中医药杂志, 2021, 36(11): 6 608-6 611.
WANG Z M, XIAO H B, LI X Y, et al. Research progress on pharmacological actions and clinical applications of Carthami Flos[J]. China Journal of Traditional Chinese Medicine and Pharmacy, 2021, 36(11): 6 608-6 611.
- [2] WANG X P, WANG P F, BAI J Q, et al. Investigating the effects and possible mechanisms of Danshen-Honghua herb pair on acute myocardial ischemia induced by isoproterenol in rats[J]. Biomedicine & Pharmacotherapy, 2019, 118: 109268.
- [3] 王庆颖,张志锋,吕露阳,等. 花类药食同源中药安全性评价的研究进展[J]. 中草药, 2021, 52(3): 864-872.
WANG Q Y, ZHANG Z F, LYU L Y, et al. Research progress on safety evaluation of medicine and food homology of flower categories of Chinese materia medica[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2021, 52(3): 864-872.
- [4] WU X Y, CAI X B, AI J X, et al. Extraction, structures, bioactivities and structure-function analysis of the polysaccharides from safflower (*Carthamus tinctorius* L.) [J]. Frontiers in Pharmacology, 2021, 12: 767947.
- [5] 张迪,付美玲,费丛璇,等. 多糖—植物蛋白复合物的制备及特性研究进展[J]. 食品与机械, 2024, 40(4): 227-232.
ZHANG D, FU M L, FEI C X, et al. Research progress on preparation and characteristics of polysaccharide plant protein complex[J]. Food & Machinery, 2024, 40(4): 227-232.
- [6] 马新毅,王梦娜,曹彦刚,等. 红花中芳香苷类化学成分研究[J]. 中药材, 2024(2): 352-356.
MA X Y, WANG M N, CAO Y G, et al. Chemical constituents of aromatic glycosides from *Carthamus tinctorius*[J]. Journal of

- Chinese Medicinal Materials, 2024(2): 352-356.
- [7] ZHOU H Y, YANG J, ZHANG C H, et al. Safflower polysaccharide inhibits the development of tongue squamous cell carcinoma[J]. World Journal of Surgical Oncology, 2018, 16(1): 167.
- [8] SUN Y, SUN M S, SUN Y F, et al. Safflower polysaccharide inhibits hepatocellular carcinoma cells through P38MAPK activation[J]. Cancer Advances, 2021, 4(2): 7.
- [9] 包淋斌, 白建芳, 潘其忠. 红花多糖的提取工艺及其在动物上的研究[J]. 浙江畜牧兽医, 2022, 47(3): 13-14, 27.
- BAO L B, BAI J F, PAN Q Z. The study on the extraction technology of safflower polysaccharide and its application in animal[J]. Zhejiang Journal Animal Science and Veterinary Medicine, 2022, 47(3): 13-14, 27.
- [10] 王锐, 李娅兰, 白皓天, 等. 基于星点设计—效应面法优化红花多糖提取工艺研究[J]. 海南医学院学报, 2022, 28(5): 332-338.
- WANG R, LI Y L, BAI H T, et al. Optimization of extraction technology of safflower polysaccharide based on central composite design response surface methodology[J]. Journal of Hainan Medical University, 2022, 28(5): 332-338.
- [11] 肖付才, 李颖奎, 黄斐, 等. 山茱萸多糖提取工艺优化及结构表征[J]. 食品与机械, 2024, 40(2): 161-167.
- XIAO F C, LI Y K, HUANG F, et al. Optimization of extraction process and structural characterization of polysaccharides from *Cornus officinalis*[J]. Food & Machinery, 2024, 40(2): 161-167.
- [12] 谢冰宗, 李密, 董彩文, 等. 黄精皂苷与多糖超声辅助提取工艺优化及降血糖活性研究[J]. 食品与机械, 2024, 40(1): 158-166, 196.
- XIE B Z, LI M, DONG C W, et al. Study on the technology of ultrasonic assisted combined extraction of saponins and polysaccharides from *Polygonatum sibiricum* and its hypoglycemic activity[J]. Food & Machinery, 2024, 40(1): 158-166, 196.
- [13] 郑婷婷, 吕建彪, 龚婉莹, 等. 白及叶多糖脱色脱蛋白方法及其抗氧化活性研究[J]. 粮食与油脂, 2024, 37(3): 86-90, 105.
- ZHENG T T, LYU J B, GONG W Y, et al. Study on the decolourisation and deproteinization methods of polysaccharides from *Bletilla striata* leaves and its antioxidant activity[J]. Cereals & Oils, 2024, 37(3): 86-90, 105.
- [14] MASUKO T, MINAMI A, IWASAKI N, et al. Carbohydrate analysis by a phenol-sulfuric acid method in microplate format[J]. Analytical Biochemistry, 2005, 339(1): 69-72.
- [15] 康志敏, 耿宁宁, 何梦影, 等. 砂仁多糖对小麦淀粉理化性质及消化特性的影响[J]. 食品与机械, 2024, 40(6): 19-24, 110.
- KANG Z M, GENG N N, HE M Y, et al. Effects of *Amomum villosum* polysaccharide on physicochemical and in vitro digestibility properties of wheat starch[J]. Food & Machinery, 2024, 40(6): 19-24, 110.
- [16] LIN D, XU C J, LIU Y, et al. Chemical structures and antioxidant activities of polysaccharides from *Carthamus tinctorius* L[J]. Polymers, 2022, 14(17): 3 510.
- [17] 高原, 王福玲, 贾琦, 等. 红葡萄酒、桃红葡萄酒和白葡萄酒的抗氧化活性比较[J]. 化学工程师, 2016, 30(10): 59-62.
- GAO Y, WANG F L, JIA Q, et al. Antioxidant activity difference in red wine, rose wine and white wine research[J]. Chemical Engineer, 2016, 30(10): 59-62.
- [18] TIAN W N, DAI L W, LU S M, et al. Effect of *Bacillus* sp. DU-106 fermentation on *Dendrobium officinale* polysaccharide: structure and immunoregulatory activities[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 135: 1 034-1 042.
- [19] ZHANG Y, GU M, WANG K P, et al. Structure, chain conformation and antitumor activity of a novel polysaccharide from *Lentinus edodes*[J]. Fitoterapia, 2010, 81(8): 1 163-1 170.
- [20] WANG Z M, PENG X, LEE K D, et al. Structural characterisation and immunomodulatory property of an acidic polysaccharide from mycelial culture of *Cordyceps sinensis* fungus Cs-HK1[J]. Food Chemistry, 2011, 125(2): 637-643.
- [21] 康桥, 孙越, 刘梦瑶, 等. 金铃子果皮多糖超声辅助提取工艺优化及其抗氧化和降糖活性研究[J]. 食品工业科技, 2024, 45(21): 164-173.
- KANG Q, SUN Y, LIU M Y, et al. Optimization of the ultrasonic-assisted extraction process of polysaccharides from the peels of wild bitter melon (*Momordica charantia* Linn. Var. *Abbreviata* Ser.) and a preliminary study on their antioxidant and hypoglycemic activities[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(21): 164-173.
- [22] DUAN G L, YU X B. Isolation, purification, characterization, and antioxidant activity of low-molecular-weight polysaccharides from *Sparassis latifolia*[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 137: 1 112-1 120.
- [23] 吴静. 百香果皮多糖的提取及生物活性研究[D]. 长春: 长春师范大学, 2023: 6-7.
- WU J. Extraction and bioactivity of polysaccharide from passion fruit peel[D]. Changchun: Changchun Normal University, 2023: 6-7.
- [24] 蒋忠桂, 李迪, 李开凤, 等. 高降糖活性柠檬皮多糖制备工艺优化及结构表征[J]. 食品与机械, 2024, 40(4): 187-195.
- JIANG Z G, LI D, LI K F, et al. Optimization of preparation process and preliminary structure characterization of polysaccharides from lemon peel with high hypoglycemic activity[J]. Food & Machinery, 2024, 40(4): 187-195.
- [25] 杨紫焰, 李倩倩, 张翠香, 等. 植物多糖抗乳腺癌作用的研究进展[J]. 现代药物与临床, 2024, 39(5): 1 343-1 347.
- YANG Z Y, LI Q Q, ZHANG C X, et al. Progress on plant polysaccharides against breast cancer[J]. Drugs & Clinic, 2024, 39(5): 1 343-1 347.