

梯度醇沉对拐枣多糖的理化性质及抗氧化活性的影响研究

王 惠, 李晨希, 施月意, 淑 英, 杨 兵*

河北农业大学食品科技学院, 河北 保定

收稿日期: 2026年5月8日; 录用日期: 2026年5月23日; 发布日期: 2026年6月9日

摘 要

本研究以拐枣肉质果梗为实验材料, 通过梯度乙醇沉淀法得到拐枣多糖。采用热水浸提法获得拐枣多糖上清液, 对上清液进行处理后, 依次加入不同体积分数的乙醇, 使其达到不同的乙醇浓度(30%、50%、和70%, v/v), 获得三种拐枣粗多糖HDPP30、HDPP50、HDPP70, 研究其多糖得率、化学组成、结构表征和抗氧化生物活性, 以期为进一步研究拐枣多糖的结构和功效关系奠定基础。结果表明, 乙醇浓度的改变对拐枣多糖HDPP30、HDPP50、HDPP70的得率、化学组成成分含量、分子量分布、红外吸收特征峰、微观形貌均有影响, 但主要结构保持不变。多糖HDPP70的得率最高, 三种多糖在总糖含量、蛋白质含量、糖醛酸含量上均存在显著性差异。随着乙醇浓度的增大, 提取出的多糖对自由基的清除率逐渐增大, 抗氧化性生物活性逐渐增强。

关键词

拐枣多糖, 梯度醇沉, 化学组成, 结构表征, 抗氧化性

Study on the Effects of Gradient Alcohol Precipitation on the Physicochemical Properties and Antioxidant Activity of *Hovenia dulcis* Polysaccharides

Hui Wang, Chenxi Li, Yueyi Shi, Ying Shu, Bing Yang*

College of Food Science and Technology, Hebei Agricultural University, Baoding Hebei

Received: May 8, 2026; accepted: May 23, 2026; published: June 9, 2026

*通讯作者。

文章引用: 王惠, 李晨希, 施月意, 淑英, 杨兵. 梯度醇沉对拐枣多糖的理化性质及抗氧化活性的影响研究[J]. 生物过程, 2026, 16(2): 54-62. DOI: 10.12677/bp.2026.162007

Abstract

This research utilized the fleshy fruit stalks of *Hovenia dulcis* as experimental subjects and acquired *Hovenia dulcis* polysaccharides through a gradient ethanol precipitation technique. Initially, hot water extraction was employed to isolate the polysaccharide supernatant. Subsequent treatment involved the addition of ethanol at various concentrations (30%, 50%, and 70%, v/v) to yield three crude *Hovenia dulcis* polysaccharides termed HDPP30, HDPP50, and HDPP70. The study focused on investigating the yield, chemical composition, structural properties, and antioxidant activity of these polysaccharides, aiming to establish a groundwork for future exploration into their structural characteristics and efficacy. The findings indicated that altering the ethanol concentration influenced the yield, chemical composition, molecular weight distribution, infrared absorption features, and microscopic structure of HDPP30, HDPP50, and HDPP70, while preserving the primary structure. Notably, HDPP70 exhibited the highest polysaccharide yield, with significant variations in total sugar, protein, and uronic acid contents among the three polysaccharides. Moreover, the radical scavenging capability of the extracted polysaccharides and their antioxidant activity increased progressively with rising ethanol concentrations.

Keywords

Hovenia dulcis Polysaccharides, Gradient Ethanol Precipitation, Chemical Composition, Structural Characterization, Antioxidant Properties

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

拐枣, 学名枳椇, 是枳椇属鼠李科落叶乔木, 其果实的茎部外皮呈红棕色, 果实经过霜冻后会变得更加甜美且味道更浓郁。拐枣的果实可作为膳食补充剂使用, 在传统医学中也发挥着重要作用[1]。其栽培和利用历史源远流长。作为一种高纤维素、高糖分的水果, 拐枣被誉为第三代水果, 其果实、籽、叶和梗均具备药用价值, 是我国传统药食两用的珍贵资源, 拥有近两千年的应用历史, 证明了其食用安全性[2]。拐枣不仅富含多种有机酸、维生素和矿物质等营养成分, 还有活性多糖、酚类化合物、三萜皂苷和生物碱等多种生物活性物质。拐枣果实和花梗常被用作退烧药和治疗寄生虫感染的药物, 而种子(枳椇子)可用作利尿剂或解酒剂。此外, 拐枣果梗提取物在治疗酒后头痛、炎症、脂质过氧化损伤和癌症等方面显示出良好的应用潜力。

多糖是一种自然界中含量最丰富的生物多聚物[3]。多糖是拐枣的主要活性成分。在国内, 许多学者对拐枣多糖进行了深入研究。朱炯波[4]和王艳林[5]分别对干制拐枣果梗和鲜样拐枣果梗的多糖含量进行测定, 得拐枣果梗中的多糖含量分别为 13.83%和 19.4%~28.6%, 符合拐枣高糖的特点。杨静[6]测得拐枣多糖具有较强的抗氧化性。这些研究不仅为拐枣多糖的提取和应用提供了理论基础, 还为其在保健品、药品等领域的应用提供了可能。然而, 水溶性多糖的提取常采用水提醇沉方式, 但面临多糖中杂质含量较多, 需进一步分离纯化。乙醇梯度醇沉可作为提高多糖纯度一种快速提取手段被广泛应用。基于此, 本研究采用乙醇梯度醇沉提取工艺提取拐枣多糖, 研究梯度醇沉对拐枣多糖的理化性质和抗氧化活性的影响。本研究成果可为拐枣多糖的开发和利用提供理论支撑, 促进拐枣多糖在功能食品开发中提供科学依据。

2. 材料与方法

2.1. 材料与仪器

拐枣：采集于陕西旬阳太极缘生物科技有限公司的种植基地。

石油醚、氢氧化钠、苯酚：天津福晨化学试剂有限公司；无水乙醇：天津汇杭化工科技有限公司；正丁醇、磷酸：天津市富宇精细化工有限公司；氯仿：天津宝力公司；半乳糖醛酸：上海源叶生物科技有限公司；浓硫酸、过硫酸钾、溴化钾：天津市天力化学试剂有限公司；不同分子量的葡聚糖、DPPH、ABTS、抗坏血酸(VC)、牛血清蛋白溶液、考马斯亮蓝 G-250、3-苯基酚：北京索莱宝。试剂均是分析纯级。

超声波清洗机 SB-5200DT，宁波新芝生物科技股份有限公司；涡旋振荡器 MX-F，美国 SCILOGEX 公司；pH 计 PHS-3C，上海仪电科学仪器股份有限公司；旋转蒸发仪 RV8，德国 IKA 艾卡集团；恒温水浴锅 HH-601，江苏金坛市恒丰仪器制造有限公司；真空冷冻干燥机 FD-5，西盟生命技术(香港)有限公司；酶标仪 1500-28，中国赛默飞世尔科技有限公司；立式压力蒸汽灭菌锅 SQ510C，重庆雅马拓科技有限公司。

2.2. 实验方法

2.2.1. 拐枣的预处理与多糖的提取

拐枣多糖的预处理及多糖的提取参考实验室前期[7]研究。多糖提取采用热水浸提工艺，具体工艺为：料液比为 1:25，提取时间为 2 h，提取温度为 95℃，重复提取三次，收集三次提取上清液，减压浓缩至原体积的 20%。浓缩液加入无水乙醇至乙醇浓度为 30% (v/v)，4℃条件下醇沉 12 h，离心收集上清液和沉淀，多糖沉淀复溶后经流水透析(7000~140,000 Da) 48 h，然后经过 Sevage 法脱蛋白，再冷冻干燥获得拐枣多糖样品 HDPP30；继续上述操作，使上清液中乙醇浓度逐步提升至 50% (v/v) 和 70% (v/v)，获得的多糖沉淀分别复溶，蒸馏水流水透析(7000~140,000 Da) 48 h，然后经过 Sevage 法脱蛋白，冷冻干燥分别拐枣多糖样品 HDPP50 和 HDPP70。按下列公式(1)计算每种多糖样品的得率。

$$\text{多糖得率}(\%, w/w) = \frac{\text{拐枣粗多糖质量}(\text{g})}{\text{预处理的拐枣果梗质量}(\text{g})} \times 100 \quad (1)$$

2.2.2. 拐枣多糖基础化学组成的测定

以无水葡萄糖为对照品，采用苯酚-硫酸法测定总糖含量[8]；以牛血清蛋白标准溶液为对照品，采用考马斯亮蓝法测定多糖中蛋白质含量[9]。

2.2.3. 拐枣多糖的分子量分布

参考杨兵[10]方法，采用高效尺寸排阻色谱法(HPSEC)在安捷伦 1260 高效液相色谱系统上进行测定，色谱柱为 TSK-Gel G4000 SWXL。拐枣多糖(5 mg)溶解在 1.0 mL 蒸馏水中。色谱条件如下：进样量：5 μL；温度：35℃；流动相：超纯水；流速：0.7 mL/min。使用不同分子量的葡聚糖(分别为 10、40、70、200、500、1000 和 5300 kDa)绘制标准曲线，以计算拐枣多糖的分子量(Mw)。

2.2.4. 拐枣多糖的傅里叶红外光谱(FT-IR)分析

称取 HDPP30、HDPP50、HDPP70 三种拐枣多糖样品各 2 mg，将三种拐枣多糖分别和 200 mg 溴化钾粉末进行充分研磨然后压片，放入红外光谱仪中，在 400~4000 cm⁻¹ 波数范围内进行扫描，设置分辨率为 4/cm⁻¹。

2.2.5. 拐枣多糖的 SEM 扫描电镜分析

参考文献[11]的方法，精确称取拐枣多糖 HDPP30、HDPP50、HDPP70 各 5 mg，置于碳导电介质板

上喷金,然后将样品置于 SEM 电镜下室温扫描,观察三种拐枣多糖的表面结构。

2.2.6. 拐枣多糖的 DPPH 自由基清除率测定

参考文献[6]的方法,用无水乙醇配制 0.2 mmol/L 的 DPPH 溶液,取适量该溶液与蒸馏水等体积混合,在 517 nm 处测量其吸光度,记为 A_0 。将拐枣多糖溶解于蒸馏水中,配制成浓度为 0.005、0.01、0.02、0.04、0.06、0.08、0.10 mg/mL 的溶液,准确量取 2.00 mL 拐枣多糖溶液,与无水乙醇等体积混合后在 517 nm 处测量其吸光度,记为 A_1 ;将 DPPH 溶液分别与拐枣多糖溶液等体积混合,使其充分混匀后,室温静置,避光反应 30 min,在 517 nm 处测量混合反应液的吸光度并记为 A_2 ;阳性对照选择相同浓度梯度的抗坏血酸(VC)溶液。DPPH 清除率按照公式(2)计算。

$$\text{DPPH清除率}(\%) = \frac{A_0 + A_1 - A_2}{A_0} \times 10 \quad (2)$$

2.2.7. 拐枣多糖 ABTS 自由基清除率测定

称取 0.096 g ABTS 溶解于蒸馏水中,倒入 25 mL 容量瓶作为储备液 1;称取 0.033 g 过硫酸钾溶解于蒸馏水中,倒入 25 mL 容量瓶作为储备液 2;取两种储备液各 500 μ L 等体积混合,室温避光条件下反应 18 小时,得到母液;随后,母液用无水乙醇稀释 50 倍用作后续反应液。取 1 mL 该反应液与蒸馏水等体积混合后在 734 nm 处测量其吸光值,标记为 A_0 。用浓度梯度为 0.50、1.00、2.00、3.00、4.00、5.00 mg/mL 的拐枣多糖溶液与蒸馏水等体积混合后在 734 nm 处测量吸光值,标记为 A_1 。取 4.00 mL 拐枣多糖溶液混合 4.00 mL 母液稀释后的反应液,室温避光条件下反应 10 min 后在 734 nm 处测量其吸光度,标记为 A_2 ,阳性对照选择相同浓度梯度的系列抗坏血酸(VC)溶液,同样进行吸光度测量。ABTS 清除率按照公式(3)计算。

$$\text{ABTS清除率}(\%) = \frac{A_0 + A_1 - A_2}{A_0} \times 10 \quad (3)$$

2.3. 数据处理

每个样品测定三次,利用 SPSS 27 软件与 Origin 2018 软件对所得数据进行分析。采用平均值 \pm 标准差的格式来呈现实验结果。选用 ANOVA 分析方法比较不同组别之间的差异,并设定差异显著性水平为 $p < 0.05$ 。

3. 结果与分析

3.1. 拐枣多糖得率及化学组成分析

葡萄糖标准曲线回归方程为 $y = 0.0047x + 0.092$, $R^2 = 0.996$;蛋白质标准曲线回归方程为 $y = 0.0035x + 0.5736$, $R^2 = 0.996$;半乳糖醛酸标准曲线回归方程为 $y = 0.0031x + 0.0612$, $R^2 = 0.997$ 。由表 1 可知,三种拐枣多糖中,拐枣多糖 HDPP30 的总糖含量最高为 $55.07 \pm 0.71\%$,明显高于拐枣多糖 HDPP50 和拐枣多糖 HDPP70 的总糖含量;拐枣多糖 HDPP50 的蛋白质含量最低;拐枣多糖 HDPP30 和拐枣多糖 HDPP70 的得率相当,分别为 6.33%和 6.71%,拐枣多糖 HDPP50 的得率最小。总体来看,拐枣多糖 HDPP50 的多糖得率和基本化学组成含量均低于拐枣多糖 HDPP30 和拐枣多糖 HDPP70。

Table 1. Yield and basic chemical composition of *Hovenia dulcis* polysaccharides

表 1. 拐枣多糖得率及基本化学组成

| 样品 | 总糖% | 蛋白质% | 多糖得率% |
|--------|--------------------|-------------------|-------|
| HDPP30 | 55.07 ± 0.71^a | 6.14 ± 0.13^b | 6.33 |

续表

| | | | |
|--------|--------------------|-------------------|------|
| HDPP50 | 41.62 ± 1.09^c | 5.72 ± 0.12^c | 5.11 |
| HDPP70 | 45.72 ± 0.59^b | 6.85 ± 0.12^a | 6.71 |

注：不同小写字母代表组间具有显著性差异($p < 0.05$)。

3.2. 分子量分析

测定多糖分子量对于研究多糖理化性质具有重要的意义[12]。由表 2 和图 1 可知,不同体积分数的乙醇沉淀出的三种多糖分子量之间具有差异性。多糖 HDPP30、多糖 HDPP50 均含有一个分子量分布范围,多糖 HDPP70 有两个分子量分布范围,说明三种多糖组分较为单一。拐枣多糖 HDPP30 和拐枣多糖 HDPP50 分子量分布范围的平均分子量分别为 234.257 kDa、999.798 kDa。拐枣多糖 HDPP70 的分子量分布范围的平均分子量分别为 107764.363 kDa、375.278 kDa。三种多糖的分子量分布范围平均分子量相比可得,多糖 HDPP70 的平均分子量最大,其次是多糖 HDPP50,最后是多糖 HDPP30。三种拐枣多糖的分子量大小及分布的比较结果说明分子量较小的多糖具有较差的水溶性,低体积分数的乙醇即可将其沉淀出来,高体积分数的乙醇沉淀出较大分子量的多糖。 M_w/M_n ,为多分散性指数,反映了聚合物摩尔质量分布的宽度。单分散聚合物的多分散性指数值为 1,较高的 M_w/M_n 值表示较宽的摩尔质量分布[13]。由表 2 可知,三种拐枣多糖的多分散性指数均高于 1,且数值很大,说明提取的三种拐枣多糖均具有较宽的摩尔质量分布。

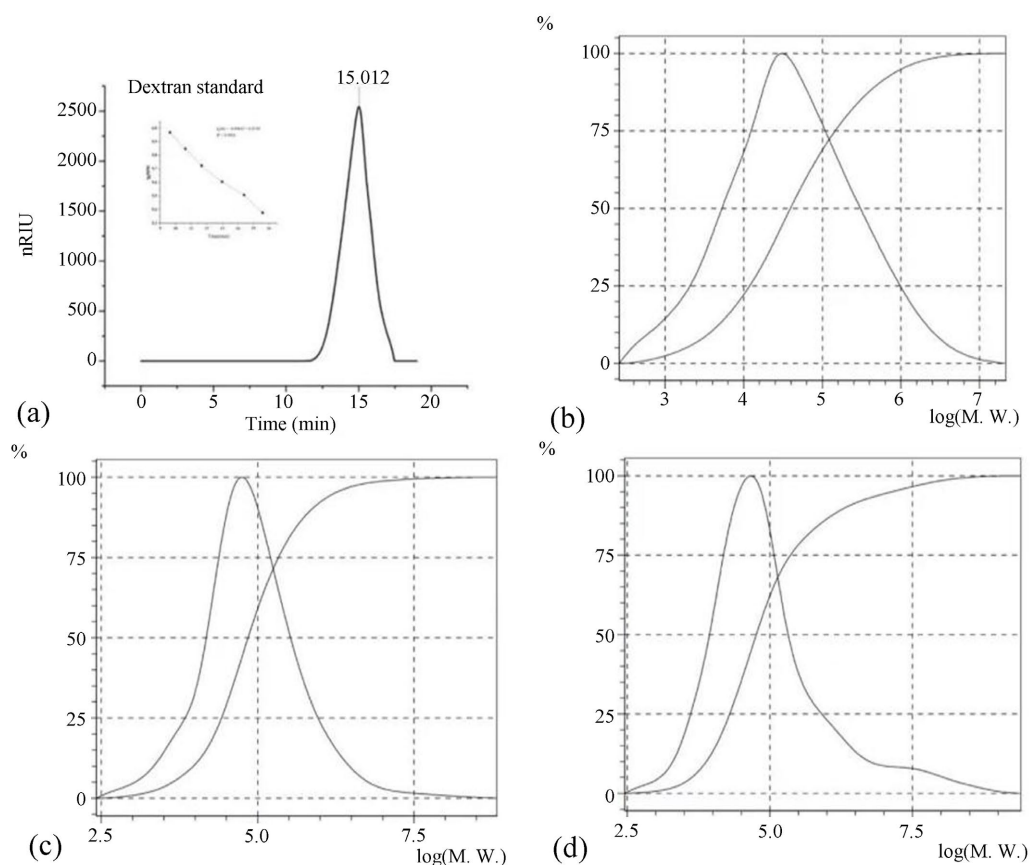


Figure 1. Molecular weight distribution chromatogram. (a) Dextran reference material; (b) HDPP30; (c) HDPP50; (d) HDPP70

图 1. 分子量分布色谱图。(a) 葡聚糖标准品; (b) HDPP30; (c) HDPP50; (d) HDPP70

Table 2. The molecular weight distribution of *Hovenia dulcis* polysaccharides
表 2. 拐枣多糖的分子量分布

| 样品 | 峰号 | 平均分子量(kDa) | Mw/Mn |
|--------|----|------------|-------|
| HDPP30 | 1 | 234.257 | 27.31 |
| HDPP50 | 1 | 999.798 | 57.58 |
| HDPP70 | 1 | 107764.363 | 3.37 |
| | 2 | 375.278 | 23.57 |

3.3. 红外光谱分析

HDPP30、HDPP50、HDPP70 三种拐枣多糖的 FT-IR 光谱如图 2 所示, 三种多糖均在 3375 cm^{-1} 、 2930 cm^{-1} 、 1733 cm^{-1} 、 1623 cm^{-1} 等处出现吸收峰。 3375 cm^{-1} 处的强吸收峰是由于羟基的 O-H 伸缩振动[14]; 2930 cm^{-1} 处的吸收峰是由烷基的 C-H 伸缩振动而产生的[15]; 1733 cm^{-1} 处的吸收峰由羧基(COO-)产生[16]。 1623 cm^{-1} 处的吸收峰是由 C = O 弯曲振动引起, 1447 cm^{-1} 处的吸收峰是由 C-H 弯曲振动引起。 1334 cm^{-1} 处的吸收峰因 S = O 伸缩振动引起。 $1200\sim 1000\text{ cm}^{-1}$ 波数之间的吸收峰是由 C-O-C 键和 C-O-H 键伸缩振动引起, 由此可知多糖中含有吡喃糖环[17]。HDPP30、HDPP50、HDPP70 的红外光谱图吸收峰在 $900\text{ cm}^{-1}\sim 840\text{ cm}^{-1}$ 范围内出现差异。HDPP50、HDPP70 在 892 cm^{-1} 处出现吸收峰, 表明多糖存在 α -构型的糖苷键。HDPP30、HDPP50 在 840 cm^{-1} 处出现吸收峰, 表明多糖存在 β -构型的糖苷键[18]。HDPP30、HDPP50、HDPP70 三种多糖样品均具有多个多糖类物质的典型吸收峰, 在一定程度上验证了多糖的存在。

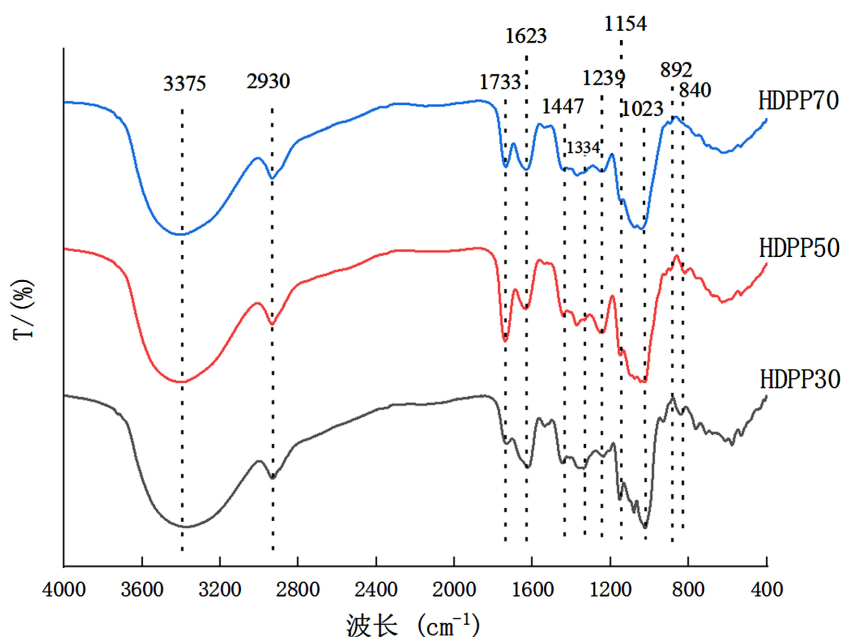


Figure 2. The FT-IR spectra of HDPP30, HDPP50, and HDPP70
图 2. 拐枣多糖 HDPP30、HDPP50、HDPP70 的 FT-IR 光谱图

3.4. SEM 分析

SEM 电子显微镜扫描可以观察多糖的外形相貌[19]。SEM 具有高分辨率、视野深度大的特点, 可以观察到较大的粗糙表面结构[20]。HDPP30、HDPP50、HDPP70 的 SEM 图如图 3 所示。HDPP30 多糖在

扫描电子显微镜下呈不规则块状，表面有许多圆孔，崎岖不平，HDPP30 的多孔结构可能使多糖有较强的溶解力。HDPP50 多糖在扫描电子显微镜下呈不规则块状，表面有许多排列紧密的孔状结构，呈蜂窝状，粗糙。这可能有助于提高多糖的水溶性[21]。HDPP70 多糖在扫描电子显微镜下呈片状和球形存在，表面粗糙。由图 3(c)可知，多糖的片状结构呈破碎状态，说明多糖分子之间存在排斥力。

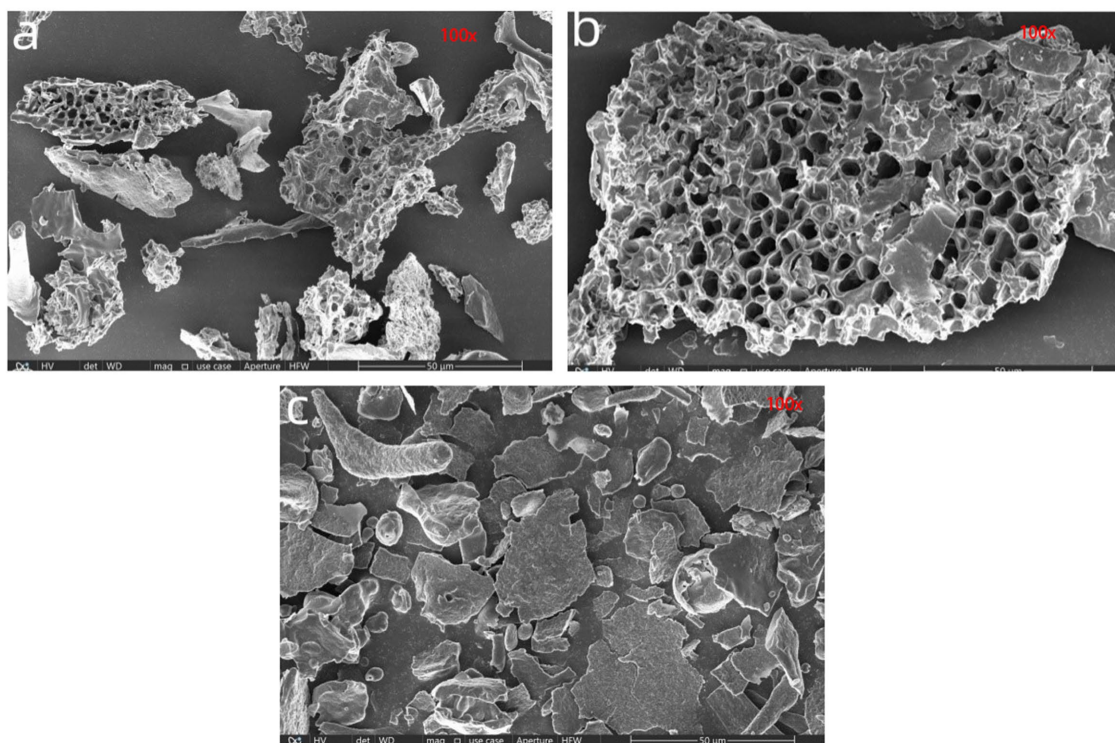


Figure 3. The SEM micrograph of HDPP30 (a), HDPP50 (b), and HDPP70 (c)
图 3. 拐枣多糖 HDPP30(a)、HDPP50(b)、HDPP70(c)的 SEM 图

3.5. 拐枣多糖提取物对 DPPH 自由基的清除能力

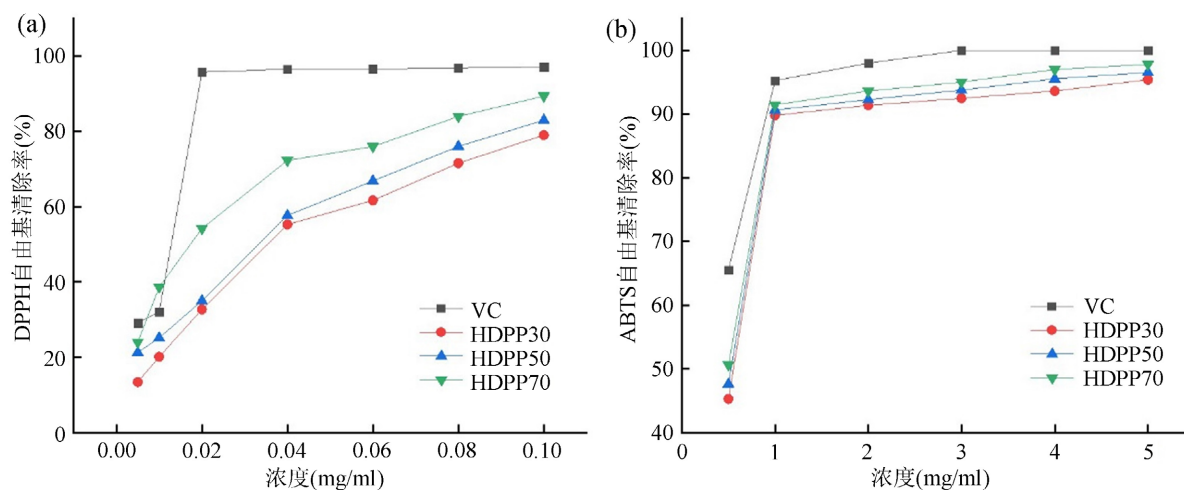


Figure 4. The DPPH radicals (a) and ABTS radicals (b) of HDPP30, HDPP50, and HDPP70
图 4. 拐枣多糖 DPPH 自由基(a)和 ABTS 自由基的清除率(b)

DPPH 法是测定物质抗氧化性的常用方法[22]。由图 4(a)可知,三种拐枣多糖对 DPPH 自由基的清除率均随多糖溶液浓度的增大而增大。总体来看,与相同浓度的 VC 溶液相比,拐枣多糖的清除能力比 VC 稍弱。HDPP70 多糖溶液浓度为 0.01 mg/mL 时,对 DPPH 自由基的清除率明显高于 VC 的清除率。当三种拐枣多糖溶液浓度相同时,对 DPPH 自由基的清除能力由强到弱依次为 HDPP70、HDPP50、HDPP30。当浓度达到 0.10 mg/mL 时,VC、HDPP30、HDPP50 和 HDPP70 对 DPPH 自由基的清除率可分别达到 97.17%、79.04%、82.97%和 89.41%。经过计算,HDPP30、HDPP50、HDPP70 的 IC_{50} 分别为 0.0329、0.0281、0.0164 mg/mL,表明三种拐枣多糖均有一定的抗氧化能力,其中 HDPP70 具有最强的抗氧化活性,其次是 HDPP50,最后是 HDPP30。

3.6. 拐枣多糖提取物对 ABTS 自由基的清除能力

通过吸光度值的变化来检测 ABTS 自由基的清除率,已经成为广泛用于检测化学成分的抗氧化性活性的使用方法[23]。由图 4(b)可知,三种拐枣多糖对 ABTS 自由基的清除率均随多糖溶液浓度的增大而增大。在 0.5~1 mg/mL 时,ABTS 自由基清除率不断增加且增长迅速,2~5 mg/mL 时多糖对 ABTS 自由基清除率的增加趋于平缓。总体来看,三种拐枣多糖对 ABTS 自由基的清除能力均弱于 VC。经过计算,HDPP30、HDPP50、HDPP70 的 IC_{50} 分别为 0.0187、0.0164、0.0131 mg/mL,表明本研究提取的三种拐枣多糖均具有较强的抗氧化活性,其抗氧化活性由强到弱依次为 HDPP70、HDPP50、HDPP30。

4. 结论

多糖的活性与其结构密切相关,传统的水提醇沉获取的多糖杂质较多,而不同乙醇体积分数下醇沉多糖可进一步提高多糖的纯度。基于此,本研究采用热水提取结合乙醇梯度醇沉提取拐枣多糖,获得三种多糖组分 HDPP30、HDPP50 和 HDPP70。对三种多糖组分结构初步表征结果显示,醇沉浓度影响多糖的平均分子量,醇沉浓度越高平均分子量越高;红外结果显示,三种多糖均显示出多糖的典型特征吸收峰,HDPP30、HDPP50 同时含有 α 和 β 构型糖苷键,而 HDPP70 仅含有 β 构型糖苷键;HDPP30、HDPP50 的 SEM 显示它们表面有孔,有更强的吸水性,而 HDPP70 形貌呈片状,表面光滑。体外抗氧化结果显示,HDPP30、HDPP50、HDPP70 均对 DPPH 自由基和 ABTS 自由基具有较强的清除能力,并且抗氧化性逐渐增强,其中 HDPP70 相较于其他两种多糖的体外抗氧化能力略强。综上,通过调控乙醇沉淀浓度可有效分离得到不同分子量的拐枣多糖组分,其中 70%乙醇沉淀组分(HDPP70)展现出最优的体外抗氧化活性,表明其作为天然抗氧化剂具有进一步开发的潜力。拐枣多糖的研究具有极其重要的科学价值和应用前景,要继续深入研究其提取纯化技术、化学结构、活性机制等方面,以期拐枣多糖的开发与利用提供更为全面、深入的科学依据。

参考文献

- [1] 杨海涛,曹小燕. 超声辅助浸提拐枣中多糖及抗氧化性研究[J]. 应用化工, 2017, 46(11): 2174-2177+2182.
- [2] 王艳林,韩钰,黄利鸣,钱京萍. 拐枣的食用价值研究——II. 食用安全性分析[J]. 天然产物研究与开发, 1994, 6(2): 79-83.
- [3] 占少琴. 天然植物多糖提取工艺及研究进展[J]. 中国食品工业, 2023(21): 111-113.
- [4] 朱炯波,赵虹桥,董爱文,施立毛. 拐枣中多糖的提取与含量测定[J]. 林产化工通讯, 2005, 39(1): 27-30.
- [5] 王艳林,韩钰,樊玉谷. 拐枣的食用价值研究——I: 营养成分分析[J]. 天然产物研究与开发, 1994, 6(1): 89-92.
- [6] 杨静,李博,张延妮. 拐枣多糖的反复冻融回流工艺优化及抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技, 2022, 43(19): 273-279.
- [7] Shao, W., Shu, Y., Wang, Y., Deng, Y., Zhang, N., Liu, X., et al. (2026) Effects of Sulfated *Tricholoma mongolum* Imai Polysaccharides on Scallop Mince Gel Properties: Mechanisms and Structural Analysis. *International Journal of*

- Biological Macromolecules*, **362**, Article ID: 152082. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2026.152082>
- [8] 赵小亮, 郭正磊, 杨超福, 王海利, 王宝忠, 向紫骏, 张伟杰. 半夏多糖的制备和表征及抗氧化和免疫增强活性研究[J]. 中成药, 2024,46(3): 1013-1018.
- [9] 汪名春. 枳椇肉质果梗多糖的分离纯化、结构分析及生物活性研究[D]: [博士学位论文]. 南京: 南京农业大学, 2011.
- [10] 杨兵. 拐枣多糖的分离纯化和结构解析及其降血糖活性研究[D]: [博士学位论文]. 重庆: 西南大学, 2020.
- [11] Li, Q. and Zhang, C. (2013) A Study of Antioxidant Activity about Seleno-Polysaccharide of *Cordyceps militaris* from Different Areas of China. *Advanced Materials Research*, **807**, 1984-1987. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.807-809.1984>
- [12] 祁兆奔, 任晓艳, 李怡彤, 马金云, 刘权. 红三叶多糖的酶提取方法及抗氧化活性研究[J]. 草业学报, 2024, 33(6): 105-115.
- [13] Yang, J.S., Mu, T.H. and Ma, M.M. (2018) Extraction, Structure, and Emulsifying Properties of Pectin from Potato Pulp. *Food Chemistry*, **244**, 197-205. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.10.059>
- [14] 海力茜·陶尔大洪, 李明珠, 顾圆村, 钱方园, 阿曼妮萨·麦提如则, 卡地尔亚·库尔班, 杨飞. 不同梯度醇沉对红芪多糖提取含量的影响及其抗氧化活性和红外谱图的分析[J]. 新疆医科大学学报, 2023, 46(8): 1079-1083.
- [15] 宋照风, 谭杰安, 周子凡, 朱峰, 赵海全. 黄芪多糖衍生物的制备及乳化性能研究[J]. 轻工科技, 2023, 39(5): 8-15.
- [16] 米合热尼沙·阿木热江, 阿合买提江·吐尔逊, 杨飞, 海力茜·陶尔大洪. 不同乙醇浓度醇沉对库尔勒香梨多糖含量及红外表征的影响[J]. 新疆医科大学学报, 2022, 45(8): 886-889+895.
- [17] 吴静. 百香果皮多糖的提取及生物活性研究[D]: [硕士学位论文]. 长春: 长春师范大学, 2023.
- [18] Jing, Y., Huang, L., Lv, W., Tong, H., Song, L., Hu, X., et al. (2014) Structural Characterization of a Novel Polysaccharide from Pulp Tissues of *Litchi chinensis* and Its Immunomodulatory Activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **62**, 902-911. <https://doi.org/10.1021/jf404752c>
- [19] 陈娟娟, 张高鹏, 邓佳颖, 等. 银耳子实体多糖的分离制备与构象特征研究[J]. 食品工业, 2023, 44(11): 88-92.
- [20] 范信晖, 李科, 杨一丹, 等. 黄芪多糖的结构表征研究进展[J]. 山西中医药大学学报, 2022, 23(3): 260-267.
- [21] 程亚楠. 多花黄精多糖提取纯化、结构表征及其体外益生活性研究[D]: [硕士学位论文]. 南昌: 南昌大学, 2024.
- [22] Yeo, J. and Shahidi, F. (2019) Critical Re-Evaluation of DPPH Assay: Presence of Pigments Affects the Results. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **67**, 7526-7529. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b02462>
- [23] 张保, 李立天, 张萌, 郑朋朋, 敖新宇. 拐枣枝多糖提取工艺优化与其抗氧化性研究[J]. 中国酿造, 2016, 35(7): 155-160.