

魏佳仪, 禄璐, 张淦淘, 等. 枸杞根黄酮提取工艺优化及其体外抗氧化、降血糖活性 [J]. 食品工业科技, 2025, 46(13): 243–250. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2024080162

WEI Jiayi, LU Lu, ZHANG Lutao, et al. Extraction Process Optimization of Flavonoids from *Lycium barbarum* Root and Its Antioxidant and Hypoglycemic Activities *in Vitro* [J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(13): 243–250. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2024080162

· 工艺技术 ·

枸杞根黄酮提取工艺优化及其体外抗氧化、降血糖活性

魏佳仪¹, 禄璐², 张淦淘², 金波², 宁豪奇³, 李艳萍³, 米佳^{2,*}, 闫亚美^{2,*}

(1. 宁夏大学食品科学与工程学院, 宁夏银川 750021;

2. 宁夏农林科学院枸杞科学研究所, 宁夏银川 750002;

3. 银川能源学院化学与生物工程学院, 宁夏银川 750101)

摘要: 为了研究枸杞根黄酮的提取工艺, 本研究以枸杞根为原料, 采用正交试验设计, 以总黄酮含量为指标, 优化乙醇浸提法提取枸杞根黄酮的工艺, 并研究了枸杞根提取物的体外抗氧化、降血糖活性。结果表明: 枸杞根黄酮的最佳提取工艺为: 水浴温度 60 ℃、乙醇浓度 80%、纤维素酶添加量 0.75%、水浴时间 90 min, 此时枸杞根提取物中总黄酮的含量最高, 为 103.61±0.08 mg/g。枸杞根提取物清除 DPPH 自由基和 ABTS⁺ 自由基的半抑制浓度 (IC₅₀) 分别为 0.09 mg/mL 和 1.06 mg/mL, 抑制 α -淀粉酶和 α -葡萄糖苷酶的 IC₅₀ 值分别为 7.27 mg/mL 和 19.35 mg/mL, 该工艺条件下的枸杞根黄酮提取物具有较好的体外抗氧化性和降血糖活性。

关键词: 枸杞根, 黄酮, 提取, 纤维素酶, 抗氧化活性, 降血糖活性

中图分类号: TS201.1

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2025)13-0243-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2024080162

本文网刊:



Extraction Process Optimization of Flavonoids from *Lycium barbarum* Root and Its Antioxidant and Hypoglycemic Activities *in Vitro*

WEI Jiayi¹, LU Lu², ZHANG Lutao², JIN Bo², NING Haoqi³, LI Yanping³, MI Jia^{2,*}, YAN Yamei^{2,*}

(1. School of Food Science and Engineering, Ningxia University, Yinchuan 750021, China;

2. Institute of Wolfberry Engineering Technology, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Yinchuan 750002, China;

3. School of Chemical and Biological Engineering, Yinchuan Energy University, Yinchuan 750101, China)

Abstract: To investigate the extraction process of flavonoids from *Lycium barbarum* roots, this study utilized *Lycium barbarum* roots as the source material and employed an orthogonal experimental design. The optimization of the ethanol extraction method for *Lycium barbarum* root flavonoids was based on the total flavonoid content. The study also explored the *in vitro* antioxidant and blood glucose-lowering activities of the *Lycium barbarum* root extract. The results indicated that the optimal extraction process for *Lycium barbarum* root flavonoids included a water bath temperature of 60 ℃, an ethanol concentration of 80%, the addition of 0.75% cellulase, and a water bath duration of 90 min. At these conditions, the *Lycium barbarum* root extract produced the maximum total flavonoid content, reaching 103.61±0.08 mg/g. The *Lycium barbarum* root extract demonstrated IC₅₀ values of 0.09 mg/mL and 1.06 mg/mL for scavenging DPPH and ABTS⁺ free radicals,

收稿日期: 2024-08-14

基金项目: 宁夏重点研发项目 (2021BEF02008); 宁夏“枸杞功效物质基础研究与深加工产品研发”科技创新团队项目 (2024CXTD007)。

作者简介: 魏佳仪 (1998-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 枸杞活性成分, E-mail: weijiayi0101@163.com。

* 通信作者: 米佳 (1989-), 女, 硕士, 助理研究员, 研究方向: 枸杞加工与贮藏, E-mail: lorna0102@126.com。

闫亚美 (1982-), 女, 博士, 研究员, 研究方向: 枸杞加工与贮藏, E-mail: yanyamei@163.com。

respectively. Additionally, the IC_{50} values for inhibiting α -amylase and α -glucosidase were 7.27 mg/mL and 19.35 mg/mL, respectively, providing impressive *in vitro* antioxidant and blood glucose-lowering activities.

Key words: *Lycium barbarum* root; flavonoids; extraction; cellulase; antioxidant activity; hypoglycemic activity

枸杞(*Lycium barbarum* L.)是茄科枸杞属植物,是传统的药食同源植物,其果实、根皮、茎叶均可入药^[1],且有较高的药用保健功能和营养价值^[2-4]。枸杞根,又名地骨皮,在中国有两千多年的药用历史。经研究表明,枸杞根皮中含有生物碱类、黄酮、有机酸、苷类、甾醇、香豆素、萜醌等多种化学成分^[5-6],具有调节血压血糖、解热镇痛、清除自由基、抗菌及抗病毒等生物活性^[7-8]。其中,黄酮类化合物是其主要活性成分之一,王发春等^[9]采用 $NaNO_2$ - $Al(NO_3)_3$ 比色法测得柴达木地骨皮中总黄酮含量可达 1.46%,杨凤琴等^[10]研究发现,地骨皮提取物总黄酮含量为 9.01%,韩伟等^[11]研究发现,地骨皮提取物总黄酮含量为 2.07%。三者的研究结果存在较大的差异,但目前有关枸杞根黄酮的研究不足,亟需对枸杞根的黄酮提取工艺及其活性进行评估,从而服务于枸杞根资源的开发利用。

黄酮的提取方法主要有醇提法、超声波提取法、微波法、酶解法等^[12-15],其中,醇提法具有产物杂质少、提取率高、对设备要求简单、避免高温破坏活性成分等优点^[16]。酶法能够破坏细胞壁从而加速有效成分的溶解,显著改善黄酮的提取量^[17]。纤维素酶辅助乙醇浸提法能够结合两者优势,提高生物活性成分的提取效率及提取量,是植物活性成分提取的有效手段。纤维素酶辅助乙醇浸提法已在稻壳^[18]、红枣核^[19]、芹菜^[20]等植物材料的黄酮提取过程中体现出较高效率,可应用于枸杞根黄酮提取中。

综上所述,本试验以枸杞根为研究对象,采用纤维素酶辅助乙醇浸提法提取枸杞根中的黄酮,通过单因素实验和正交试验优化提取工艺,并通过测定黄酮提取物对 DPPH 和 ABTS⁺ 自由基的清除能力、对 α -淀粉酶和 α -葡萄糖苷酶的抑制能力评价其体外抗氧化及降糖活性,以期对枸杞根黄酮在食品、化妆品、医药等领域的进一步深入研究与利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

宁夏枸杞根 宁夏农林科学院芦花台园林场提供,清洗后鼓风干燥箱 60 ℃ 干燥至恒重备用;纤维素酶(10000 U/g) 上海阿拉丁生化科技股份有限公司;芦丁 纯度>98%,上海源叶生物科技有限公司;亚硝酸钠、硝酸铝、氢氧化钠 分析纯,天津大茂化学试剂有限公司;甲醇、无水乙醇 徐州天鸿化工有限公司;1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)、2,2'-联氨-双(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二胺盐(ABTS) 上海麦克林生化科技有限公司; α -葡萄糖苷酶(G5003-100U)、 α -淀粉酶(A3176-500kU)、阿

卡波糖、维生素 C、无水碳酸钠、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、3,5-二硝基水杨酸(DNS)、酒石酸钾钠 分析纯,上海广诺化学科技有限公司。

BS224S 分析天平 德国赛多利斯公司;UV-1780 紫外可见分光光度计 日本京都岛津公司;Centrifuge5810R 冷冻型台式大容量高速离心机 德国艾本德股份公司;De-500 多功能粉碎机 浙江红景天工贸有限公司;DHG-9240A 电热鼓风干燥箱 上海一恒科学仪器有限公司;HHS 数显式电热恒温水浴锅 上海博迅实业有限公司;IS50 傅里叶红外光谱分析仪 美国尼高利公司。

1.2 实验方法

1.2.1 黄酮的提取 枸杞根用中药粉碎机粉碎,过 40 目筛,称取 1 g 的枸杞根粉末置于 50 mL 锥形瓶,加入 30 mL 一定浓度乙醇溶液(含有一定浓度的纤维素酶),摇匀,水浴提取,冷却后,过滤得滤液,用相同浓度的乙醇溶液定容至 50 mL 容量瓶中^[21]。

1.2.1.1 单因素实验 按照 1.2.1 黄酮提取工艺,分别考察纤维素酶添加量(0.25%、0.5%、0.75%、1%、1.25%)、水浴温度(30、40、50、60、70 ℃)、乙醇浓度(50%、60%、70%、80%、90%)、水浴时间(60、90、120、150、180 min)对提取物总黄酮含量的影响,考察某一因素时,其他因素条件固定为:纤维素酶添加量 0.75%,水浴温度 50 ℃,乙醇浓度 60%,水浴时间 120 min。每组实验平行 3 次,考察各因素对枸杞根提取物中总黄酮含量的影响。

1.2.1.2 正交试验 以枸杞根中的总黄酮含量为考察指标,纤维素酶添加量(A)、水浴温度为(B)、乙醇浓度(C)、水浴时间(D)为影响因素,正交试验设计见表 1。

表 1 正交设计试验因素水平

Table 1 Orthogonal design experimental factors and levels

水平	因素			
	A 纤维素酶添加量(%)	B 水浴温度(℃)	C 乙醇浓度(%)	D 水浴时间(min)
1	0.5	50	70	60
2	0.75	60	80	90
3	1	70	90	120

1.2.2 总黄酮含量的测定 精密称取芦丁 20.0 mg,用 70% 乙醇溶液溶解并定容至 10 mL 棕色容量瓶中,配成 2 mg/mL 的芦丁标准溶液,分别取 0、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0、1.2 mL 至 25 mL 容量瓶中,分别加入 5% $NaNO_2$ 溶液 0.5 mL,摇匀,放置 6 min,加入 10% $Al(NO_3)_3$ 溶液 0.5 mL,摇匀,放置 6 min,加 4% $NaOH$ 溶液 4 mL,再用 30% 乙醇定容,摇匀,

放置 10 min, 于 510 nm 处测定吸光度值^[21]。以芦丁标准溶液的质量浓度(mg/mL)为横坐标, 吸光度值(A)为纵坐标, 绘制得到的标准曲线为 $y = 9.2766x + 0.0105$, $R^2 = 0.9989$, 以此计算样品中总黄酮的含量。

枸杞根总黄酮含量的测定方法同标准品。

$$W(\text{mg/g}) = \frac{c \times n \times v}{m} \quad \text{式 (1)}$$

式中: W 表示样品中的总黄酮含量, mg/g; c 表示根据标准曲线计算得到的供试液的质量浓度, mg/mL; v 表示供试液的体积, mL; n 表示稀释倍数; m 为样品称样量, g。

1.2.3 紫外及红外光谱分析

1.2.3.1 紫外光谱分析 配制 2 mg/mL 枸杞根黄酮溶液, 于紫外可见分光光度计 200~600 nm 进行全波长扫描。

1.2.3.2 红外光谱分析 采用溴化钾(KBr)压片法^[22], 将冷冻干燥后的枸杞根提取物粉末与干燥 KBr 混合(1:200), 研磨后压片, 在 450~4000 cm^{-1} 范围内扫描红外光谱。

1.2.4 枸杞根提取物体外抗氧化活性、降糖活性测定 按照上述最佳提取工艺制备枸杞根提取物, 经冷冻干燥后得提取物粉末, 测定前按照质量体积比配制不同浓度的样品溶液, 测定其抗氧化及降糖活性。

1.2.4.1 DPPH、ABTS⁺自由基清除能力测定 DPPH 自由基清除能力测定参考 Shen 等^[23] 的方法; ABTS⁺ 自由基清除能力测定参考张静等^[24] 的方法。

$$\text{DPPH 自由基清除率}(\%) = \left(1 - \frac{A_1 - A_2}{A_0}\right) \times 100 \quad \text{式 (2)}$$

式中, A_1 为待测样品溶液与 DPPH 乙醇混合溶液的吸光值, A_2 为待测样品溶液与无水乙醇混合溶液的吸光值, A_0 为 DPPH 自由基乙醇溶液与待测样品溶剂混合液的吸光值。

$$\text{ABTS}^+ \text{ 自由基清除率}(\%) = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100 \quad \text{式 (3)}$$

式中, A_1 为待测样品溶液与 ABTS 稀释液混合后的吸光值; A_0 为 ABTS 稀释液的吸光值。

1.2.4.2 α -淀粉酶、 α -葡萄糖苷酶抑制活性的测定 α -淀粉酶和 α -葡萄糖苷酶抑制活性测定参考 De Bellis 等^[25] 的方法。

$$\alpha\text{-淀粉酶活性抑制率}(\%) = \left(1 - \frac{A_{\text{样品}} - A_{\text{背景}}}{A_{\text{空白}}}\right) \times 100 \quad \text{式 (4)}$$

式中: $A_{\text{样品}}$ 为 α -淀粉酶溶液+枸杞根黄酮提取液+可溶性淀粉+DNS 显色剂; $A_{\text{背景}}$ 为磷酸盐缓冲液+枸杞根黄酮提取液+可溶性淀粉+DNS 显色剂; $A_{\text{空白}}$ 为 α -淀粉酶溶液+磷酸盐缓冲液+可溶性淀粉+DNS 显色剂。

$$\alpha\text{-葡萄糖苷酶活性抑制率}(\%) = \left(1 - \frac{A_{\text{样品}} - A_{\text{背景}}}{A_{\text{空白}}}\right) \times 100 \quad \text{式 (5)}$$

式中: $A_{\text{样品}}$ 为 α -葡萄糖苷酶溶液+枸杞根黄酮提取液+PNPG 溶液的吸光值; $A_{\text{背景}}$ 为磷酸盐缓冲液+枸杞根黄酮提取液+PNPG 溶液的吸光值; $A_{\text{空白}}$ 为 α -葡萄糖苷酶液+磷酸盐缓冲液+PNPG 溶液的吸光值。

1.3 数据处理

每组实验重复 3 次, 结果以平均值 $\pm$ 标准误差表示。利用 SPSS Statistics 24.0 软件进行单因素方差分析($P < 0.05$), 试验数据采用 IBM SPSS 22.0 软件进行 IC_{50} 值计算及单因素差异分析(ANOVA), 以 $P < 0.05$ 为具有统计学显著差异; 并采用 Origin 2021 软件对数据或结果进行可视化作图处理。

2 结果与分析

2.1 单因素实验结果

如图 1(A~D)所示, 当纤维素酶添加量达到 1% 时, 枸杞根提取物中总黄酮含量达到最大 88.21 ± 0.05 mg/g。随着纤维素酶添加量的增大, 提取物中总黄酮含量逐渐增多。然而, 当纤维素酶的添加量过高时, 使得部分纤维附着在提取物表面, 影响了黄酮类物质的浸出^[26], 使得枸杞根提取物中总黄酮含量有所下降。枸杞根提取物中总黄酮含量总体随着提取温度的升高而增大, 当水浴温度达到 60 $^{\circ}\text{C}$ 时, 总黄酮含量达到了峰值 85.29 ± 0.02 mg/g。然而, 水浴温度增加至 70 $^{\circ}\text{C}$ 后总黄酮含量开始下降, 降低的原因可能是随着温度的提高会破坏纤维素酶的活性使得率降低, 从而导致提取物中的总黄酮含量有所下降^[27]。当乙醇浓度在 50%~80% 范围内, 枸杞根提取物中总黄酮含量随着乙醇浓度的增大而增加, 其中, 乙醇浓度达到 80%, 提取物中的总黄酮含量达到了 99.97 ± 0.09 mg/g; 继续增加乙醇浓度至 90%, 此时总黄酮的含量有下降趋势。这可能是因为当乙醇浓度过大时, 杂质更易溶解, 总黄酮提取率降低; 乙醇浓度过大同时会导致植物细胞通透性变差, 故总黄酮难以溶出, 总黄酮提取率也会随之下降^[28]。水浴时间为 90 min 时, 枸杞根提取物中总黄酮含量达到最高 89.15 ± 0.14 mg/g。在 60~90 min 时, 总黄酮含量随着水浴时间延长而升高, 当大于 90 min 后, 总黄酮含量显著下降($P < 0.05$), 分析原因可能是: 在提取黄酮的最开始阶段, 溶剂内外存在较大的浓度差, 因此随着水浴时间的增加, 黄酮会迅速进入提取溶剂中, 从而提高提取效率^[29]; 但随着水浴时间的不断延长, 样品中其他醇溶性物质被浸提出来, 还会使部分热敏化合物发生降解反应导致提取物总黄酮含量有所下降^[30]。

2.2 正交试验结果及分析

以枸杞根提取物中总黄酮含量为考察指标, 纤维素酶添加量(A)、水浴温度(B)、乙醇浓度(C)、水

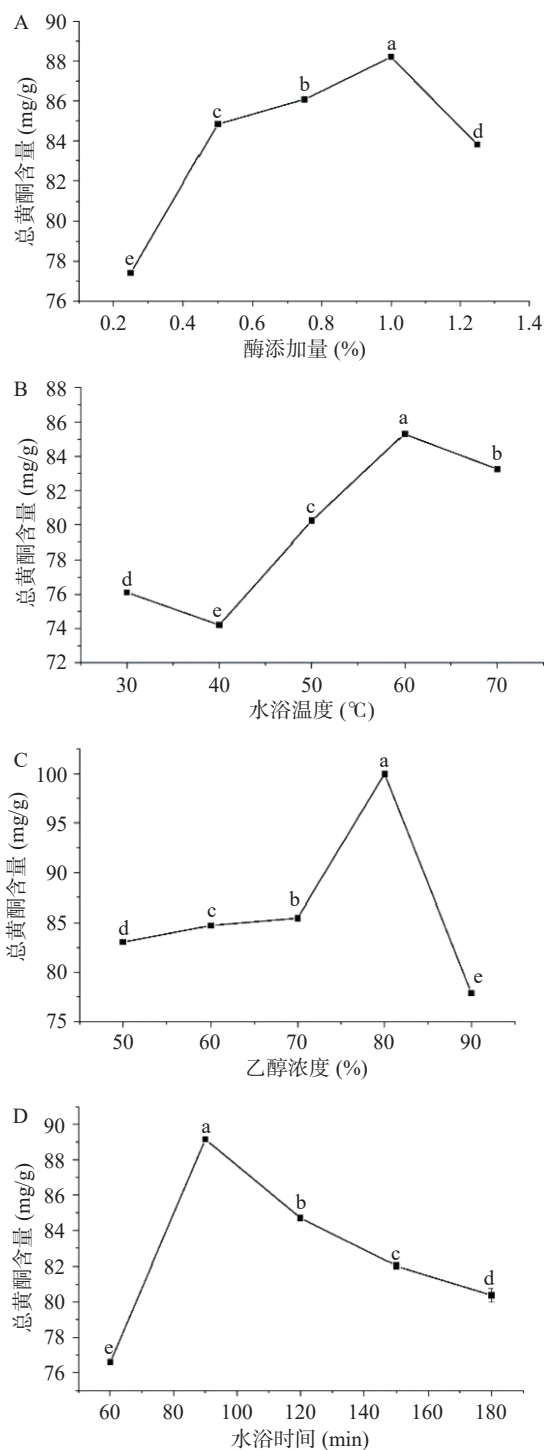


图1 酶添加量(A)、水浴温度(B)、乙醇浓度(C)、水浴时间(D)对枸杞根提取物中总黄酮含量的影响

Fig.1 Effect of enzyme concentration (A), temperature (B), ethanol concentration (C), and extraction time (D) on total flavonoid content of the *Lycium barbarum* root extract

注: 图中不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$); 图4~图5同。

浴时间(D)为影响因素, 正交试验设计及结果见表2。

由表2可知, 各因素影响程度依次为 B(水浴温度) > C(乙醇浓度) > A(酶添加量) > D(水浴时间), 最优工艺为 $A_2B_2C_2D_2$, 即纤维素酶添加量 0.75%, 水浴温度 60 °C, 乙醇浓度 80%, 水浴时间 90 min 为最优, 进行验证实验。

表2 正交试验结果

Table 2 Orthogonal experimental results

试验号	A 纤维素酶添加量	B 水浴温度	C 乙醇浓度	D 水浴时间	总黄酮含量 (mg/g)
1	1	1	1	1	81.00±0.04
2	2	1	2	2	88.99±0.06
3	1	2	3	2	84.82±0.04
4	3	2	2	1	91.96±0.24
5	2	2	1	3	86.91±0.23
6	1	3	2	3	46.62±0.06
7	2	3	3	1	43.79±0.04
8	3	1	3	3	81.21±0.28
9	3	3	1	2	43.80±0.06
K_1	70.81	83.73	70.57	72.25	
K_2	73.23	87.9	75.86	72.54	
K_3	72.32	44.74	69.94	71.58	
R	2.42	43.16	5.92	0.96	

2.3 验证实验

为了进一步验证上述优化工艺条件, 按照正交最佳实验条件 $A_2B_2C_2D_2$, 即在纤维素酶添加量为 0.75%, 水浴温度 60 °C, 乙醇浓度 80%, 水浴时间 90 min, 实验进行两组, 每组平行重复三次实验。验证实验结果表明, 在最佳工艺条件下枸杞根提取物中总黄酮的平均含量为 103.61 ± 0.08 mg/g, RSD 值 < 5%, 高于正交表中所有组别。表明正交试验优化的提取条件稳定可行。此工艺可用来提取枸杞根中的黄酮。

2.4 紫外及红外光谱分析

2.4.1 紫外光谱分析 图2为枸杞根黄酮提取物的紫外吸收光谱图。在 255 nm 和 335 nm 处的两个吸收峰分别属于黄酮类化合物在紫外吸收光谱中的两个特征吸收带, 即黄酮母环中 A 环对应的 Band II (240~280 nm) 和 B 环对应的 Band I (300~400 nm)^[31]。

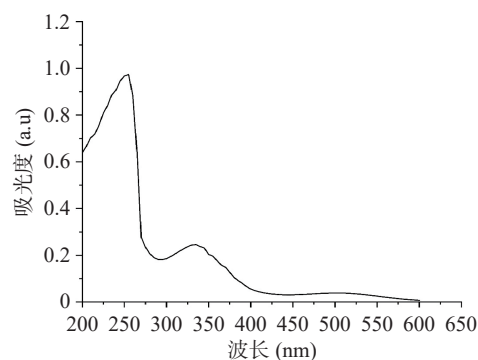


图2 枸杞根提取物的紫外光谱

Fig.2 Ultraviolet spectrum of *Lycium barbarum* root extract

2.4.2 傅里叶红外光谱分析 如图3所示, 枸杞根提取物主要吸收峰有: 3460、2970、2930、2090、1640、1460、1400、1260、1080、1050、875 cm^{-1} 。其中, 推测 3460 cm^{-1} 处为分子间氢键 O-H 伸缩振动, 说明了酚羟基或糖环上羟基的存在^[32]; 2970、2930 cm^{-1} 处为 C-H 的伸缩振动, 故推测此处为亚甲基的 C-

H 伸缩振动; 2090 cm^{-1} 处为 C=O 的伸缩振动^[33]; 1640、1460、1400 cm^{-1} 为苯环骨架特征吸收峰, 这符合 O-H 面内弯曲振动吸收峰(1450~1300 cm^{-1})的波数范围^[34]; 1260 cm^{-1} 处为 C-H 的弯曲振动^[35]; 1080、1050 cm^{-1} 处为 C-O 或 C-O-C 的伸缩振动, 875 cm^{-1} 处为苯环上取代基位置引起的吸收峰, 以上分析, 可以进一步推测特征吸收峰与黄酮类化合物的典型结构基本重合^[36], 此结果与张越^[36] 和孙美玲等^[37] 研究报道相一致。

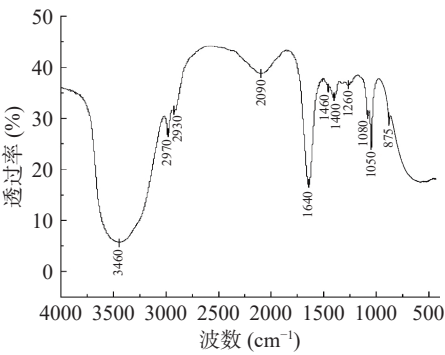


图 3 枸杞根提取物的傅里叶红外光谱
Fig.3 Fourier transform infrared spectroscopy of the *Lycium barbarum* root extract

2.5 枸杞根提取物的抗氧化活性分析

2.5.1 枸杞根提取物对 DPPH 自由基清除能力 如图 4 所示, 对照组维生素 C 以及枸杞根提取物对 DPPH 自由基清除能力都展现出与浓度呈正相关, 随着质量浓度的增加抗氧化能力不断增强。当枸杞根

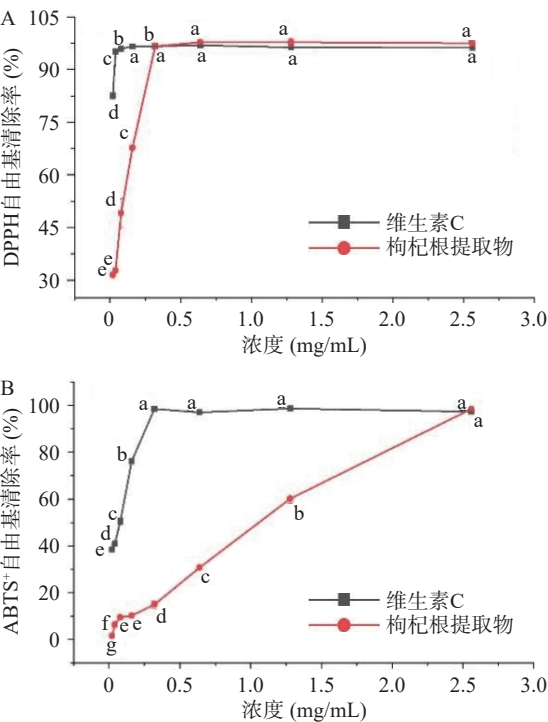


图 4 枸杞根提取物对 DPPH(A)、ABTS⁺(B) 自由基的清除率
Fig.4 Scavenging activities of *Lycium barbarum* root flavonoids on DPPH (A) and ABTS⁺ (B) free radical

提取物浓度达到 0.32 mg/mL 时, 其 DPPH 自由基清除率达到了 96.63%, 枸杞根提取物清除 DPPH 自由基的 IC_{50} 值为 0.09 mg/mL (表 3)。研究表明植物中含有多种抗氧化成分, 具有清除自由基的作用, 甘草总黄酮清除 DPPH 自由基的 IC_{50} 值为 44.87 mg/L ^[38], 黄酮粗提液总抗氧化能力优于维生素 C。金凌洁^[39] 研究表明, 0.02 mg/mL 的地骨皮提取物对 DPPH 自由基的清除能力相当于 0.04 mg/mL 的芦丁溶液或 0.02 mg/mL 的维生素 C 溶液, 即地骨皮提取物对 DPPH 自由基的清除能力与维生素 C 相当, 且效果优于芦丁, 与本研究结果类似, 可见枸杞根提取物是一种潜在的 DPPH 自由基清除剂。

2.5.2 枸杞根提取物对 ABTS⁺ 自由基清除能力 如图 4 所示, 枸杞根提取物对 ABTS⁺ 自由基的清除率随着浓度的增加逐渐升高, 且呈一定的浓度依赖性。当浓度为 2.56 mg/mL 时枸杞根提取物对 ABTS⁺ 自由基的清除率达 98%, 达到同浓度维生素 C 的清除效果。枸杞根提取物清除 ABTS⁺ 自由基的 IC_{50} 值为 1.06 mg/mL (表 3), 唐文文等^[40] 测得当归地上部分总黄酮清除 ABTS⁺ 自由基的 IC_{50} 值为 1.50 mg/mL , 且在较低浓度时上升较快, 一定浓度后趋于平缓, 直至达到最强的清除能力, 本文与之研究结果一致。可见枸杞根提取物对 ABTS⁺ 自由基具有较好的清除能力。

抗氧化活性物质	IC_{50} (mg/mL)	
	DPPH 自由基	ABTS ⁺ 自由基
维生素 C	<0.1	<0.1
枸杞根提取物	0.09	1.06

2.6 枸杞根提取物的体外降血糖活性分析

2.6.1 对 α -淀粉酶的抑制作用 α -淀粉酶是能够催化糖原、淀粉等水解的酶, 存在于唾液和胰腺中, α -淀粉酶抑制剂可以与体内的 α -淀粉酶发生作用, 阻止淀粉等转化为葡萄糖, 有效控制血糖水平^[41]。枸杞根提取物对 α -淀粉酶的抑制活性见图 5(A), 当浓度为 1.00~8.00 mg/mL 时, 枸杞根黄酮提取物对 α -淀粉酶活性的抑制率由 $20.57\% \pm 0.31\%$ 上升至 $58.81\% \pm 0.45\%$, 呈现一定的剂量依赖性, 对照组阿卡波糖在浓度为 1.00 mg/mL 对 α -淀粉酶的抑制率为 $68.11\% \pm 0.52\%$, 是同其浓度枸杞根提取物抑制率的 3.31 倍, 之后随着浓度的增加对 α -淀粉酶的抑制率逐渐上升至 $99.78\% \pm 0.07\%$ 。经计算, 枸杞根黄酮和阿卡波糖抑制 α -淀粉酶活性的 IC_{50} 值分别为 7.27 mg/mL 和 0.35 mg/mL (表 4)。综上所述, 枸杞根总黄酮对 α -淀粉酶活性具有一定的体外抑制作用, 但不如阿卡波糖。

2.6.2 对 α -葡萄糖苷酶抑制作用 α -葡萄糖苷酶可

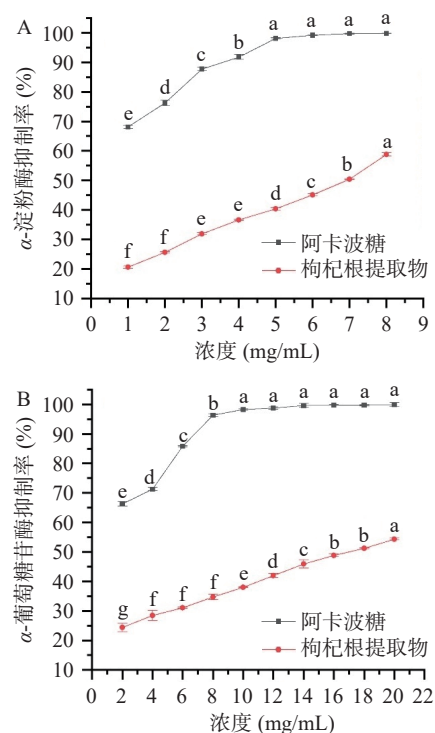


图5 枸杞根提取物对 α -淀粉酶(A)、 α -葡萄糖苷酶(B)的抑制率

Fig.5 Inhibition rate of *Lycium barbarum* root flavonoids on α -amylase (A) and α -glucosidase (B)

表4 枸杞根提取物对不同酶活性抑制率的 IC_{50} 值

Table 4 IC_{50} values of *Lycium barbarum* root flavonoids extracts on inhibition of α -amylase and α -glucosidase

降糖活性物质	IC_{50} (mg/mL)	
	α -淀粉酶	α -葡萄糖苷酶
阿卡波糖	0.35	0.73
枸杞根提取物	7.27	19.35

通过水解葡萄糖苷键释放葡萄糖而使血糖升高,当其被抑制时可达到控制血糖的目的^[42]。枸杞根提取物抑制 α -葡萄糖苷酶的活性变化如图5(B)所示,当浓度在2.00~20.00 mg/mL时,枸杞根黄酮对 α -葡萄糖苷酶的抑制率由24.36%±1.29%上升至54.33%±0.41%,呈现一定的剂量依赖性。其中枸杞根黄酮浓度为20.00 mg/mL时与对照组浓度为2.00 mg/mL时对 α -葡萄糖苷酶的抑制效果相当。经计算,枸杞根黄酮和阿卡波糖抑制 α -葡萄糖苷酶活性的 IC_{50} 值分别为19.35 mg/mL和0.73 mg/mL(表4)。由此可知,枸杞根总黄酮对 α -葡萄糖苷酶活性具有一定的体外抑制作用,但不如阿卡波糖。

3 结论

本文对枸杞根黄酮的提取工艺及抗氧化活性、降血糖活性进行了研究。通过单因素和正交验证试验得到枸杞根黄酮的最佳提取工艺为:水浴温度60℃,乙醇浓度80%,纤维素酶添加量0.75%,水浴时间90 min,该工艺条件下提取物的总黄酮含量为103.61±0.08 mg/g,紫外光谱结果与红外光谱结果均

显示所得提取物含大量的黄酮类化合物。对枸杞根提取物的体外抗氧化活性研究表明,枸杞根提取物对DPPH自由基、ABTS⁺自由基的清除能力呈现一定的量效关系,枸杞根提取物清除DPPH自由基和ABTS⁺自由基的 IC_{50} 值分别为0.09 mg/mL和1.06 mg/mL。由此可见枸杞根可作为一种较好的天然抗氧化剂,具有潜在的应用价值。枸杞根提取物对 α -淀粉酶和 α -葡萄糖苷酶活性抑制的 IC_{50} 值分别为7.27 mg/mL和19.35 mg/mL。通过测定提取物对 α -淀粉酶和 α -葡萄糖苷酶的抑制作用表明了枸杞根提取物具有降糖潜力。后期研究中,需进一步对枸杞根提取物分离、纯化及鉴定,探究其单体活性及构效关系,为枸杞根提取物的开发应用提供理论基础和数据支持。

© The Author(s) 2025. 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] CHENG J, ZHOU Z W, SHENG H P, et al. An evidence-based update on the pharmacological activities and possible molecular targets of *Lycium barbarum* polysaccharides[J]. Drug Design, Development and Therapy, 2015, 9: 33–38.
- [2] QIAN D, ZHAO Y X, YANG G, et al. Systematic review of chemical constituents in the genus *Lycium* (Solanaceae)[J]. Molecules, 2017, 22(6): 911.
- [3] 禄璐, 米佳, 罗青, 等. 枸杞总黄酮提取工艺优化及其体外抗氧化活性分析[J]. 食品工业科技, 2019, 40(24): 165–171. [LU L, MI J, LUO Q, et al. Optimization of extraction technology of *Lycium barbarum* total flavonoids and analysis of its *in vitro* antioxidant activity[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(24): 165–171.]
- [4] ZU M H, SONG H L, ZHANG J B, et al. *Lycium barbarum* lipid-based edible nanoparticles protect against experimental colitis[J]. Colloids and Surfaces B, 2020, 187: 110747.
- [5] KULCZYŃSKI B, GRAMZA-MICHAŁOWSKA A. Goji berry (*Lycium barbarum*): Composition and health effects—a review[J]. Polish Journal of Food and Nutrition Sciences, 2016, 66(2): 67–75.
- [6] AGATA K. Microstructural and histochemical characteristics of *Lycium barbarum* L. fruits used in folk herbal medicine and as functional food[J]. Protoplasma, 2018, 255(6): 1839–1854.
- [7] BILGE Y B, TEMELKAN B, INCI S, et al. Antioxidant protective effect of flavonoids on linoleic acid peroxidation induced by copper(II)/ascorbic acid system[J]. Chemistry and Physics of Lipids, 2011, 164(8): 732–739.
- [8] CHIKAKO K, WANG D H, JUN K, et al. Freezing activities of flavonoids in solutions containing different ice nucleators[J]. Cryobiology, 2012, 64(3): 279–285.
- [9] 王发春, 韩鸿萍, 马永贵, 等. 柴达木地骨皮中总黄酮提取及含量测定[J]. 青海师范大学学报(自然科学版), 2010, 26(1): 51–53. [WANG F C, HAN H P, MA Y G, et al. Determination and extraction of total flavonoids in *Lycium barbarum* from Qaidam Basin[J]. Journal of Qinghai Normal University (Natural Science), 2010, 26(1): 51–53.]

- [10] 杨凤琴,陈少平,马学琴.地骨皮的醇提取物及其体外抑菌活性研究[J]. *宁夏医学杂志*, 2007(9): 787-789. [YANG F Q, CHEN S P, MA X Q. Experimental study on bacteriostasis effect of alcohol extracts from *Lycium barbarum* L *in vitro* [J]. *Ningxia Medical Journal*, 2007(9): 787-789.]
- [11] 韩伟,金凌洁,孙晓海.地骨皮中黄酮类化合物的吐温-80 协同超声提取[J]. *南京工业大学学报(自然科学版)*, 2012, 34(4): 105-109. [HAN W, JIN L J, SUN X H. Tween-80-assisted ultrasonic extraction of flavonoids from *Cortex Lycii* [J]. *Journal of Nanjing Tech University (Natural Science Edition)*, 2012, 34(4): 105-109.]
- [12] 刘元林,龙鸣,田晓静,等.枸杞黄酮超声波辅助提取工艺优化及枸杞品质综合判定[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(21): 88-94. [LIU Y L, LONG M, TIAN X J, et al. Optimization of ultrasonic-assisted extraction technology of *Lycium barbarum* flavonoids and comprehensive judgment of *Lycium barbarum* quality [J]. *Food Research and Development*, 2019, 40(21): 88-94.]
- [13] 刘媛洁,张良.响应面法优化复合酶辅助超声波提取柚子皮总黄酮工艺[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(23): 143-150. [LIU Y J, ZHANG L. Optimization of complex enzyme-assisted ultrasonic extraction of total flavonoids from grapefruit peel by response surface methodology [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2019, 40(23): 143-150.]
- [14] 杨立风,方双杰,吴茂玉,等.微波辅助提取黑枸杞多酚及抗氧化活性研究[J]. *食品科技*, 2020, 45(2): 258-263, 271. [YANG L F, FANG S J, WU M Y, et al. Microwave-assisted extraction and antioxidant activity of black wolfberry polyphenols [J]. *Food Science and Technology*, 2020, 45(2): 258-263, 271.]
- [15] 刘金铭,王辉,张欢,等.超声辅助低共熔溶剂萃取法在活性成分提取与食品分析预处理中应用的研究进展[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(7): 399-407. [LIU J M, WANG H, ZHANG H, et al. Research progress in the application of ultrasonic-assisted eutectic solvent extraction in active ingredient extraction and food analysis pretreatment [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(7): 399-407.]
- [16] BLICHARSKI T, ONISZCZUK A. Extraction methods for the isolation of isoflavonoids from plant material [J]. *Open Chemistry*, 2017, 15(1): 34-45.
- [17] 黄宇玖,何跃腾,林佩瑶,等.纤维素酶辅助乙醇溶液从蒺藜老茎和叶提取总黄酮[J]. *南昌大学学报(工科版)*, 2019, 41(1): 15-20. [HUANG Y M, HE Y T, LIN P Y, et al. Study on process of total flavonoids extraction from old stems and leaves of *Artemisia selengensis* by cellulose-assisted ethanol solution [J]. *Journal of Nanchang University (Engineering & Technology)*, 2019, 41(1): 15-20.]
- [18] 贾冬舒,秦凤贤,刘蓓,等.酶法-乙醇辅助提取稻壳总黄酮工艺的研究[J]. *粮食与油脂*, 2018, 31(8): 19-22. [JIA D S, QIN F X, LIU B, et al. Study on extraction of total flavonoids from rice hull by enzymatic ethanol extraction [J]. *Cereals & Oils*, 2018, 31(8): 19-22.]
- [19] 杨保求,张春兰,陈娟,等.酶法提取红枣核中总黄酮的研究[J]. *食品工业*, 2013, 34(6): 8-11. [YANG B Q, ZHANG C L, CHEN J, et al. Study on the enzymatic extraction of total flavonoids from jujube pit [J]. *The Food Industry*, 2013, 34(6): 8-11.]
- [20] 赵刚,顾佳丽,励建荣. Plackett-Burman 设计及响应面法优化芹菜中总黄酮的超声提取工艺[J]. *中国食品学报*, 2017, 17(8): 147-155. [ZHAO G, GU J L, LI J R. Optimization of ultrasonic extraction conditions of total flavonoids from *Apium graveolens* by Plackett-Burman design and response surface analysis [J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2017, 17(8): 147-155.]
- [21] MANZOOR M F, XU B, KHAN S, et al. Impact of high-intensity thermosonication treatment on spinach juice: Bioactive compounds, rheological, microbial, and enzymatic activities [J]. *Ultrason Sonochem*, 2021, 78: 105740.
- [22] DINH T V, SARAVANA P S, WOO H C, et al. Ionic liquid assisted subcritical water enhances the extraction of phenolics from brown seaweed and its antioxidant activity [J]. *Separation and Purification Technology*, 2018, 196: 287-299.
- [23] SHEN D Y, BEGUM N, SONG H L, et al. *In vitro* and *in vivo* antioxidant activity and umami taste of peptides (<1 kDa) from porcine bone protein extract [J]. *Food Bioscience*, 2021, 40: 100901.
- [24] 张静,陶俊菠,刘银,等.响应曲面法优化超声辅助提取芒果叶中多酚和黄酮工艺及抗氧化活性研究[J]. *云南民族大学学报(自然科学版)*, 2020, 29(6): 527-534. [ZHANG J, TAO J H, LIU Y, et al. Optimization of ultra-sound-assisted extraction technology total polyphenols and flavonoids from mango leaves with the response surface method and the antioxidant activity [J]. *Journal of Yunnan Minzu University (Natural Sciences Edition)*, 2020, 29(6): 527-534.]
- [25] DE BELLIS R, CHIARANTINI L, POTENZA L, et al. High production of secondary metabolites and biological activities of *Cydonia oblonga* Mill. pulp fruit callus [J]. *Journal of Functional Foods*, 2022, 94: 105133.
- [26] 吕凤娇,谢晓兰.响应面法优化纤维素酶辅助提取黄芪总皂苷的工艺研究[J]. *福州大学学报(自然科学版)* 2015, 43(3): 398-404. [LÜ F J, XIE X L. Optimization of cellulase assisted extraction of astragalosides from *Astragalus* by response surface method [J]. *Journal of Fuzhou University (Natural Science Edition)*, 2015, 43(3): 398-404.]
- [27] 穆易君,陈洋,刘崑,等.纤维素酶-超声联合提取菠菜中总黄酮及其成分分析[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(19): 187-193. [MU Y J, CHEN Y, LIU K, et al. Extraction of total flavonoids from spinach by cellulase-ultrasound and its composition analysis [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2019, 40(19): 187-193.]
- [28] WU Y C, WU P, LI Y B, et al. Natural deep eutectic solvents as new green solvents to extract anthraquinones from *Rheum palmatum* L [J]. *RSC Advances*, 2018, 8(27): 15069-15077.
- [29] VO T P, NGUYEN L N H, NGUYEN D Q, et al. Optimization of the ultrasonic-assisted extraction process to obtain total phenolic and flavonoid compounds from watermelon (*Citrullus lanatus*) rind [J]. *Current Research in Food Science*, 2022, 5: 2013-2021.
- [30] 陈文,王湘君,陈文婧,等. Design-Expert 优化纤维素酶提取一点红黄酮工艺 [J]. *食品工业*, 2022, 43(9): 1-8. [CHEN W, WANG X J, CHEN W J, et al. The Optimization of cellulase extraction process of flavone from *Emilia sonchifolia* by response surface methodology [J]. *The Food Industry*, 2022, 43(9): 1-8.]
- [31] 马玲龙. 黄酮类—铜(II)配合物的合成、表征及抗氧化活性研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2020. [MA L L. Synthesis, characterization and antioxidant activity of flavonoid-copper (II) complex [D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2020.]
- [32] WANG Y J, YAO S J, GUANG Y X, et al. A novel process for preparation of (1→3)- β -D-glucan sulphate by a heterogeneous reaction and its structural elucidation [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2005, 59(1): 93-99.
- [33] ZHANG Y L, XIA Y. Study on different extracts of *Chrysan-*

- themum indicum* by Fourier transform infrared spectroscopy[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2012, 32(12): 3225–3228.
- [34] 蔡冬宝, 施月, 马娇, 等. 高钙菜黄酮的分级分离各级分的抗氧化活性[J]. 食品工业科技, 2019, 40(5): 108–113, 123. [CAI D B, SHI Y, MA J, et al. Antioxidant activity of flavonoids fractionation extracts from *Sedum aizoon* L[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(5): 108–113, 123.]
- [35] ZHAO R M, ZHAO J, DUAN H X, et al. Green and efficient extraction of four bioactive flavonoids from pollen typhae by ultrasound-assisted deep eutectic solvents extraction[J]. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 2018, 161: 246–253.
- [36] 张越, 砂仁中黄酮类化合物的提取及其生物活性研究[D]. 长春: 吉林大学, 2022. [ZHANG Y. Study on the extraction and bioactivity of flavonoids from amomum kernel[D]. Changchun: Jilin University, 2022.]
- [37] 孙美玲, 邱学志, 周婧, 等. 水晶冰菜总黄酮提取工艺优化、结构表征及组成成分分析[J]. 食品工业科技, 2022, 43(4): 196–204. [SUI M L, QIU X Z, ZHOU J, et al. Optimization of extraction technology structural characterization and composition analysis of total flavonoids from crystal ice cabbage[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(4): 196–204.]
- [38] 李伟, 张东向, 刘丽杰, 等. 甘草细胞总黄酮提取及抗氧化活性研究[J]. 饲料研究, 2022, 45(24): 68–72. [LI W, ZHANG D X, LIU L J, et al. Study on extraction and antioxidant activity of total flavonoids from *Glycyrrhiza uralensis* Fisch cells[J]. Feed Research, 2022, 45(24): 68–72.]
- [39] 金凌洁. 表面活性剂、超声、酶解组合协同提取枸杞根有效成分的工艺研究[D]. 上海: 华东理工大学, 2012. [JIN L J. Study on the processing of effective ingredients from *Cortex lycii* with the surfactant ultrasonic and enzyme combined extraction[D]. Shanghai: East China University of Science and Technology, 2012.]
- [40] 唐文文, 陈垣. Box-Behnken 响应面优化超声联合双酶法提取当归地上部分总黄酮及其抗氧化活性研究[J]. 饲料研究, 2021, 44(12): 81–85. [TANG W W, CHEN H. Optimization of ultrasonic-double enzyme synergistic method of total flavonoids from aerial parts of *Angelica sinensis* by Box-Behnken response surface and the evaluation of their antioxidation activities[J]. Feed Research, 2021, 44(12): 81–85.]
- [41] 常相娜, 陈雪峰, 龚频, 等. 融水香菇多糖结构表征及体外抗氧化、降糖活性[J]. 中国食品添加剂, 2022, 33(4): 1–9. [CHANG X N, CHEN X F, GONG P, et al. [Structural characterization *in vitro* anti-oxidative effect and hypoglycemic activity of lentinan from Rongshui county[J]. China Food Additives, 2022, 33(4): 1–9.]
- [42] 李婧雯, 包怡红. 不同溶剂的蒲公英根提取物的抗氧化活性及降糖能力比较分析[J]. 现代食品科技, 2020, 36(5): 64–72. [LI J W, BAO Y H. Comparative analysis of antioxidant activity and hypoglycemic ability of dandelion root extracts with different solvents[J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(5): 64–72.]