

补骨脂乙醇提取物活性成分与抗氧化及胆酸盐结合能力的关联性分析

姜欣洋, 梁金月, 史继童, 刘兰玲, 张珊珊, 赵盼, 颜培正, 赵东升

Correlation Analysis between the Active Ingredients and the Antioxidant or Cholate-binding Ability of Ethanol Extracts from *Psoralea corylifolia* L.

JIANG Xinyang, LIANG Jinyue, SHI Jitong, LIU Lanling, ZHANG Shanshan, ZHAO Pan, YAN Peizheng, and ZHAO Dongsheng

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022010218>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

中国沙棘乙醇提取物的体外及对HepG2细胞的抗氧化活性

Antioxidant activity of ethanol extracts from Chinese seabuckthorn berries in vitro and on HepG2 cells

食品工业科技. 2017(05): 93-97

亨氏马尾藻醇提取物体内降血脂及抗氧化作用

Hypolipidemic and Antioxidant Activity of Ethanol Extracts of *Sargassum henslowianum*

食品工业科技. 2018, 39(24): 313-317

大孔树脂纯化红树莓籽黄酮及其体外结合胆酸盐能力评价

Purification of Flavonoids from Red Raspberry Seed by Macroporous Resin and the Ability of Bile Salt-binding *in Vitro*

食品工业科技. 2018, 39(23): 7-11

桑叶茯砖茶多糖的响应面提取工艺优化及其体外抗氧化降血脂作用

Optimization of Polysaccharides Extraction from Mulberry Leaves Fu Brick Tea by Response Surface Methodology and Its Antioxidant Activities & Hypolipidemic Effects *in Vitro*

食品工业科技. 2018, 39(18): 193-200

桑树桑黄总三萜提取工艺优化及其降血脂、抗氧化活性研究

Optimization of Extraction Technology of Total Triterpenoids from *Inonotus sanghuang* and Their Hypolipidemic and Antioxidant Activities

食品工业科技. 2021, 42(7): 208-215

不同蕨菜制品醇提物体外抗氧化及降血糖活性研究

Antioxidant and Hypoglycemic Activities of Ethanol Extracts from Different Products of *Blechnum orientale* L. *in Vitro*

食品工业科技. 2021, 42(19): 56-63



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

姜欣洋, 梁金月, 史继童, 等. 补骨脂乙醇提取物活性成分与抗氧化及胆酸盐结合能力的关联性分析 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(13): 381–388. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022010218

JIANG Xinyang, LIANG Jinyue, SHI Jitong, et al. Correlation Analysis between the Active Ingredients and the Antioxidant or Cholate-binding Ability of Ethanol Extracts from *Psoralea corylifolia* L.[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(13): 381–388. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022010218

· 营养与保健 ·

补骨脂乙醇提取物活性成分与抗氧化及胆酸盐结合能力的关联性分析

姜欣洋¹, 梁金月¹, 史继童¹, 刘兰玲¹, 张珊珊², 赵盼¹, 颜培正¹, 赵东升^{1,*}

(1. 山东中医药大学药学院, 山东济南 250355;

2. 山东中医药大学实验中心, 山东济南 250355)

摘要:目的: 在“成分-功效”关联模式下, 探究补骨脂四种不同浓度乙醇提取物主要活性成分含量、抗氧化及胆酸盐结合能力差异。方法: 以补骨脂为原料, 采用无水乙醇、75%乙醇、50%乙醇、水进行提取, 比较其总黄酮和总多酚含量, 并分别通过 3 种抗氧化体系与胆酸盐结合能力进行体外抗氧化和降脂活性评价, 并进行相关性分析。结果: 无水乙醇提取物总黄酮含量 (50.317 ± 0.018 mg/g) 和总多酚含量 (3.860 ± 0.045 mg/g) 最高。补骨脂 50% 乙醇提取物对 ABTS⁺ 和 DPPH·清除能力最强, IC₅₀ 值分别为 0.76 和 1.63 mg/mL, 无水乙醇提取物还原能力最强, A_{0.5} 值为 2.63 mg/mL。补骨脂水提取物对胆酸钠的结合能力最强, IC₅₀ 值为 0.67 mg/mL, 而 50% 乙醇提取物对牛磺胆酸钠和甘氨酸胆酸钠结合能力最强, IC₅₀ 值分别为 1.26 和 0.41 mg/mL。相关性结果表明, 补骨脂不同浓度乙醇提取物中总黄酮含量与 DPPH·清除率、牛磺胆酸钠结合率呈显著正相关性 ($P < 0.05$), 总黄酮、总多酚含量与还原能力均呈极显著性正相关关系 ($P < 0.01$), 而总多酚含量与胆酸钠结合率呈显著性负相关性 ($P < 0.05$)。结论: 补骨脂 50% 乙醇提取物活性含量较高, 抗氧化及结合胆酸盐能力最强, 可以作为潜在的天然抗氧化及降脂活性物质的重要来源。

关键词: 补骨脂, 乙醇提取物, 抗氧化, 胆酸盐, 关联分析, 降血脂

中图分类号: R15

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)13-0381-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022010218



本文网刊:

Correlation Analysis between the Active Ingredients and the Antioxidant or Cholate-binding Ability of Ethanol Extracts from *Psoralea corylifolia* L.

JIANG Xinyang¹, LIANG Jinyue¹, SHI Jitong¹, LIU Lanling¹, ZHANG Shanshan², ZHAO Pan¹,
YAN Peizheng¹, ZHAO Dongsheng^{1,*}

(1. College of Pharmacy, Shandong University of Traditional Chinese Medicine, Jinan 250355, China;

2. Experimental Center, Shandong University of Traditional Chinese Medicine, Jinan 250355, China)

Abstract: Objective: The contents of main active ingredients, antioxidant and cholate binding ability of different ethanol extracts from *Psoralea corylifolia* L. were explored based on the mode of correlation of “components-efficacy”. Methods: *Psoralea corylifolia* L. was extracted with anhydrous ethanol, 75% ethanol, 50% ethanol and water. The contents of total flavonoids and total polyphenols in *Psoralea corylifolia* L. were determined. The antioxidant and lipid-lowering activities *in vitro* of *Psoralea corylifolia* L. were evaluated by three antioxidant systems and the binding ability of cholate salts, respectively, and the correlation analysis was conducted. Results: The contents of total flavonoids and total polyphenols in

收稿日期: 2022-01-25

基金项目: 国家自然科学基金 (81903780, 82004233); 国家重点研发计划项目 (2017YFC1701503); 山东省中医药科技发展计划项目 (2019-0030); 山东省大学生创新创业训练计划项目 (S202110441014); 山东中医药大学中药资源保护与质量评价双创团队支持项目。

作者简介: 姜欣洋 (2001-), 男, 本科, 研究方向: 药食两用中药研究, E-mail: 2234028777@qq.com。

*** 通信作者:** 赵东升 (1983-), 男, 博士, 讲师, 研究方向: 特色药食两用中药资源研究与开发, E-mail: dongshengpw2008@163.com。

anhydrous ethanol extract were the highest, (50.317±0.018) mg/g and (3.860±0.045) mg/g, respectively. The 50% ethanol extract showed the best ability to scavenge ABTS⁺· and DPPH·, the IC₅₀ values were 0.76 and 1.63 mg/mL, respectively. The anhydrous ethanol extract showed the strongest reducing ability, the A_{0.5} value was 2.63 mg/mL. The water extract showed the strongest binding capacity to sodium cholate, the IC₅₀ value was 0.67 mg/mL. The 50% ethanol extract showed the strongest binding capacity to sodium taurocholate and sodium glycinate, the IC₅₀ values were 1.26 and 0.41 mg/mL, respectively. The correlation results showed that the content of total flavonoids of different ethanol extracts from *Psoralea corylifolia* L. had a significant positive correlation with DPPH· clearance rate and sodium taurocholate binding rate ($P<0.05$). And the content of total flavonoids and total polyphenols had a very significant positive correlation with reduction ability ($P<0.01$). While the content of total polyphenols had a significant negative correlation with sodium cholate binding rate ($P<0.05$). Conclusion: The 50% ethanol extract of *Psoralea corylifolia* L. has high content of active ingredients and the strongest antioxidant and cholate binding ability. It can be used as a potential important source of natural antioxidant and lipid-lowering active substances.

Key words: *Psoralea corylifolia* L.; ethanol extracts; antioxidant; cholate; correlation analysis; hypolipidemic

补骨脂(*Psoralea corylifolia* L.)是一种豆科补骨脂属草本植物,主产于云南西双版纳和四川金沙江流域^[1-3],被广泛应用于保健食品领域,如其乙醇提取物已作为食品添加剂用于泡菜等食品的加工生产^[4-6]。其种子或果实具有重要的药理活性,中医临床常用其治疗由肾阳不足引起的阳痿遗精、遗尿尿频、腰膝酸痛等疾病^[7]。文献调研表明其具有抗氧化、降胆固醇、抗炎和免疫调节等生理活性^[2,8],这主要与其所含有的黄酮类、单萜酚类、酚类苯桂酸等成分有关^[6,9]。不同极性溶剂可以显著地影响植物提取物的主要化学成分含量和功效^[10-11],目前,国内外有对补骨脂总黄酮提取方法及提取工艺和补骨脂不同浓度乙醇提取物干预小鼠前列腺增生作用差异的研究^[12-14],并有研究报道补骨脂乙醇提取物对 α -葡萄糖苷酶具有抑制作用^[15],但鲜有补骨脂不同浓度乙醇提取物中的主要活性成分含量及其体外抗氧化与降脂功效的比较研究。

中药成分复杂多样,通过将成分含量与生物活性进行关联分析,可以初步筛选活性组分和评价质量^[16-17]。因此,本实验在“成分-功效”关联模式下,采用不同浓度乙醇分别提取补骨脂,进行总黄酮与总多酚含量比较,利用 ABTS⁺·清除率、DPPH·清除率、还原能力和胆酸盐结合率体外实验开展抗氧化和降血脂能力评估,通过相关性分析建立补骨脂不同浓度乙醇提取物主要活性成分-体外抗氧化/降脂功效的评价模型,旨在为补骨脂在保健食品、药物等应用领域的进一步研究和资源利用提供必要的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

补骨脂(四川) 安徽亳州中药材批发市场,经山东中医药大学张永清教授鉴定为豆科补骨脂属植物补骨脂 *Psoralea corylifolia* L.的干燥成熟果实;2,2'-联氮双(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二铵盐(ABTS) 纯度≥98%,上海麦克林生化科技有限公司;1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH) 纯度≥97%,上海阿拉丁生化科技股份有限公司;铁氰化钾 纯度≥99.5%,天津市巴斯夫化工有限公司;胆酸钠、牛磺胆

酸钠、甘氨酸胆酸钠盐 纯度≥98%,上海凯为化学科技有限公司;芦丁 纯度大于98%,上海源叶生物科技有限公司;没食子酸、硝酸铝、氢氧化钠、亚硝酸钠、三氯化铁、三氯乙酸、无水乙醇 均为国产分析纯。

KQ-500GVDV 双频恒温数控超声波清洗器

昆山市超声仪器有限公司;X-5 紫外可见分光光度计

上海元析仪器有限公司;RH-QG 全温光照振荡器

常州市金坛精工仪器设备有限公司;FA1204B 电

子天平 上海佑科仪器仪表有限公司;ST16R 高速冷冻离心机 赛默飞世尔科技有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 补骨脂不同浓度乙醇提取物制备 将补骨脂自然晾干,粉碎,过60目筛。准确称取补骨脂粉末4份,每份40g,分别置于锥形瓶中,按1:40 g/mL料液比分别加入无水乙醇、75%乙醇、50%乙醇和水,参考鲁宪坤等^[13]的方法进行提取,抽滤,滤液浓缩至浸膏状,分别用相应溶剂溶解定容至100 mL,即得提取物溶液(相当于原药材0.4 g/mL)。

1.2.2 总黄酮、总多酚含量测定 分别取无水乙醇、75%乙醇、50%乙醇、水提取液0.1 mL置于10 mL容量瓶中,参考裴文清等^[18]的方法测定。配制质量浓度为0.00、0.01、0.02、0.04、0.06、0.08 mg/mL的芦丁标准溶液,绘制标准曲线,得回归方程为: $A=12.416C+0.0092$, $r=0.9990$ (A为吸光度值;C为芦丁质量浓度:mg/mL)。结果以每克补骨脂粉末中所含芦丁当量(mg/g)表示。

分别移取无水乙醇、75%乙醇、50%乙醇、水提取液0.1 mL置于10 mL容量瓶中,参考崔施展等^[19]的方法测定。配制质量浓度为0、0.001、0.003、0.005、0.007、0.009 mg/mL的没食子酸标准溶液,绘制标准曲线,得回归方程为: $A=96.11C+0.0203$, $r=0.9991$ (A为吸光度值;C为没食子酸质量浓度:mg/mL)。结果以每克补骨脂粉末中所含没食子酸当量(mg/g)表示。

1.2.3 不同浓度乙醇提取物的抗氧化活性测定

1.2.3.1 ABTS⁺·清除能力测定 分别移取浓度为2、

4、6、8、10 mg/mL 无水乙醇、75% 乙醇、50% 乙醇、水提取液和 V_C 溶液 0.5 mL 于 10 mL 的离心管中, 参考杨美莲等^[20] 的方法测定。按式(1)计算清除率。

$$ABTS^+ \cdot \text{清除率}(\%) = \frac{A_0 - (A_1 - A_2)}{A_0} \times 100 \quad \text{式 (1)}$$

式中: A_0 为 0.5 mL 乙醇溶液代替样品溶液的吸光度值; A_1 为样品组吸光度值; A_2 为 4 mL 无水乙醇代替 ABTS 溶液的吸光度值。

1.2.3.2 DPPH·清除能力测定 分别移取浓度为 2、4、6、8、10 mg/mL 无水乙醇、75% 乙醇、50% 乙醇、水提取液和 V_C 溶液 2 mL 于 10 mL 的离心管中, 参考慕钰文等^[21] 的方法测定。按式(2)计算清除率。

$$DPPH \cdot \text{清除率}(\%) = \frac{A_0 - (A_1 - A_2)}{A_0} \times 100 \quad \text{式 (2)}$$

式中: A_0 为 2 mL DPPH 溶液加入 2 mL 乙醇溶液的吸光度; A_1 为 2 mL 样品溶液加入 2 mL DPPH 溶液的吸光度; A_2 为 2 mL 样品溶液加入 2 mL 无水乙醇的吸光度。

1.2.3.3 还原能力的测定 分别移取浓度为 2、4、6、8、10 mg/mL 无水乙醇、75% 乙醇、50% 乙醇、水提取液和 V_C 溶液 0.5 mL 于 10 mL 的离心管中, 参照黎善铭等^[22] 的方法测定。吸光度值越高, 表明其还原能力越强。

1.2.4 结合胆酸盐实验 分别移取质量浓度为 2、4、6、8、10 mg/mL 四种提取液 0.5 mL 于 3 支 50 mL 离心管中, 各加入 4 mL 的胆酸钠、牛磺胆酸钠和甘氨酸胆酸钠溶液(0.6 mmol/L), 参考李珊等^[23] 的方法测定。按式(3)计算结合率。

$$\text{胆酸盐结合率}(\%) = \frac{A_0 - (A_1 - A_2)}{A_0} \times 100 \quad \text{式 (3)}$$

式中: A_0 为 0.5 mL 对应溶剂加入 4 mL 胆酸盐的吸光度; A_1 为 0.5 mL 样品溶液加入 4 mL 胆酸盐溶液的吸光度; A_2 为 0.5 mL 样品溶液加入 4 mL 磷酸缓冲液的吸光度。

1.3 数据处理

以上实验均平行操作三次, 数据以 $\bar{x} \pm SD$ 表示。采用 SPSS 26.0, GraphPad Prism 8.0.1 进行数据处理和绘图, 使用 Pearson 相关性分析。

2 结果与分析

2.1 补骨脂不同浓度乙醇提取物中总黄酮和总多酚含量分析

由表 1 可知, 补骨脂不同溶剂提取物中总黄酮和总多酚含量存在显著性差异($P < 0.05$), 总黄酮和总多酚含量随着溶剂极性的增大而降低, 与慕钰文等^[21] 研究花椒籽不同浓度乙醇提取物中总多酚含量变化规律相似, 根据相似相溶原理推测此变化趋势是由于补骨脂中黄酮和多酚多属于低极性物质所致。总黄酮含量范围为(5.980±0.023)~(50.317±0.018)mg/g, 其中, 无水乙醇提取物中总黄酮含量最高, 达到(50.317±

0.018)mg/g, 其次是 75% 乙醇提取物和 50% 乙醇提取物, 水提取物总黄酮含量最少, 四者之间差异性显著($P < 0.05$), 与李婧雯等^[24] 研究的蒲公英根不同溶剂提取物黄酮含量变化规律相似; 总多酚含量范围为(3.860±0.045)~(1.877±0.003)mg/g, 无水乙醇和 75% 乙醇提取物中总多酚含量相近, 分别为(3.860±0.045)和(3.670±0.007)mg/g, 显著高于 50% 乙醇提取物和水提取物($P < 0.05$)。

表 1 补骨脂不同浓度乙醇提取物中总黄酮和总多酚含量
Table 1 Contents of total flavonoids and polyphenols of different ethanol extracts from *Psoralea corylifolia* L.

含量(mg/g)	溶剂类型			
	无水乙醇	75%乙醇	50%乙醇	水
总黄酮	50.317±0.018 ^a	40.390±0.046 ^b	30.943±0.051 ^c	5.980±0.023 ^d
总多酚	3.860±0.045 ^a	3.670±0.007 ^a	2.810±0.041 ^b	1.877±0.003 ^c

注: 同行不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

2.2 补骨脂不同浓度乙醇提取物抗氧化活性分析

2.2.1 补骨脂不同浓度乙醇提取物对 $ABTS^+$ ·清除作用的比较 由图 1-A 可以看出, 补骨脂不同浓度乙醇提取物对 $ABTS^+$ ·均具有一定的清除能力, 当样品溶液浓度在 2~8 mg/mL 时, 各提取物对 $ABTS^+$ ·清除率随浓度的增大而增大, 在 8~10 mg/mL 范围内, 清除率达到平稳状态。当质量浓度为 10 mg/mL 时,

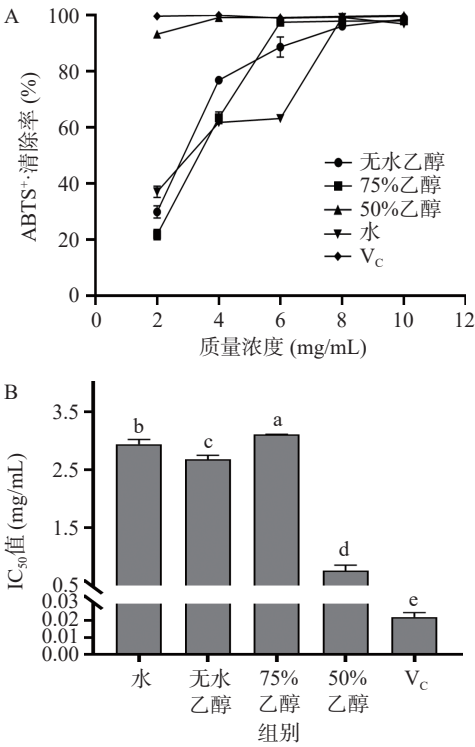


图 1 不同浓度乙醇提取物清除 $ABTS^+$ ·能力(A)及其 IC_{50} (B)

Fig.1 $ABTS$ cationic radical scavenging abilities (A) and their IC_{50} values (B) of different ethanol extracts

注: V_C 表示抗坏血酸对照, 图中不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$); 图 2~图 6 同。

各提取物清除率均达到 97% 左右,但小于 V_C 对照组。由图 1-B 可知,各提取物清除 $ABTS^+$ 的 IC_{50} 值均大于 V_C 对照组,50% 乙醇提取物清除 $ABTS^+$ 的 IC_{50} 值为 0.76 mg/mL,显著低于其他三种溶剂的 IC_{50} 值($P<0.05$),其次是无水乙醇、水、75% 乙醇提取物,其 IC_{50} 值分别为 2.68、2.94、3.11 mg/mL,因此,50% 乙醇提取物清除 $ABTS^+$ 能力最强,经分析可能是由于 50% 乙醇提取物存在多糖等其他活性成分,导致其总活性成分含量较高更易于清除 $ABTS^+$,这与师聪等^[25]的实验结果一致,即 50% 乙醇苹果提取物清除 $ABTS^+$ 能力最强。

2.2.2 补骨脂不同浓度乙醇提取物对 DPPH·清除作用的比较 由图 2-A 可知,提取物的 DPPH·清除率均小于 V_C 对照组且相互之间差异性显著($P<0.05$),在浓度为 2~8 mg/mL 范围内,各提取物对 DPPH·清除率随着浓度的增大具有上升趋势,在 8~10 mg/mL 范围内,清除率增加缓慢。当浓度为 10 mg/mL 时,无水乙醇和 50% 乙醇提取物对 DPPH·清除率分别达到 93.21% 和 92.64%,其次为 75% 乙醇和水提取物,清除率分别达到 87.37% 和 79.15%。由图 2-B 可知,各提取物清除 DPPH·的 IC_{50} 值均大于 V_C 对照组,无水乙醇和 50% 乙醇提取物清除 DPPH·的 IC_{50} 值最小,分别是 1.89 和 1.63 mg/mL,其次是 75% 乙醇和水提取物, IC_{50} 值分别为 3.58 和 3.89 mg/mL,因此,50% 乙醇提取物对 DPPH·清除能力最强,这与覆盆子 50% 乙醇提取物清除 DPPH·能力最强报道

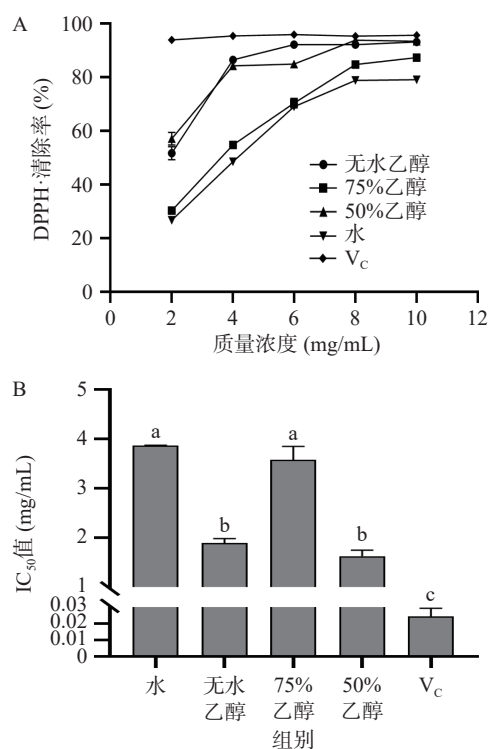


图2 不同浓度乙醇提取物清除 DPPH·能力(A)及其 IC_{50} (B)

Fig.2 DPPH free radical scavenging abilities (A) and their IC_{50} values (B) of different ethanol extracts

结果一致^[26],此结果可能是由于除黄酮多酚外,其他活性物质也参与抗氧化体系所导致。

2.2.3 补骨脂不同浓度乙醇提取物还原能力的比较

由图 3-A 可知, V_C 的还原能力最大, V_C 浓度为 2~10 mg/mL 时,还原能力基本维持在 3.5 以上。在浓度为 2~10 mg/mL 时,各提取物的还原能力随提取物浓度的增加而升高。当样品浓度为 10 mg/mL 时,无水乙醇、75% 乙醇和 50% 乙醇提取物的还原力分别为 0.84、0.82、0.65,而水提取物还原能力较弱,还原力基本维持在 0.1~0.25 之间。由图 3-B 可知,各提取物还原力为 0.5 时对应的提取物质量浓度($A_{0.5}$)均大于 V_C 对照组,不同浓度乙醇提取物还原能力的 $A_{0.5}$ 值大小顺序为:水>50% 乙醇>75% 乙醇>无水乙醇,这表明无水乙醇提取物还原能力最好, $A_{0.5}$ 值为 2.63 mg/mL,显著低于其他三种溶剂提取物的 $A_{0.5}$ 值($P<0.05$),这与李春爱等^[27]对橄榄果渣还原能力的研究结果相似,即随着提取物乙醇浓度增大还原能力逐渐增大,这可能是由于乙醇含量较多的提取物中总黄酮和总多酚含量较多导致其还原能力较强。

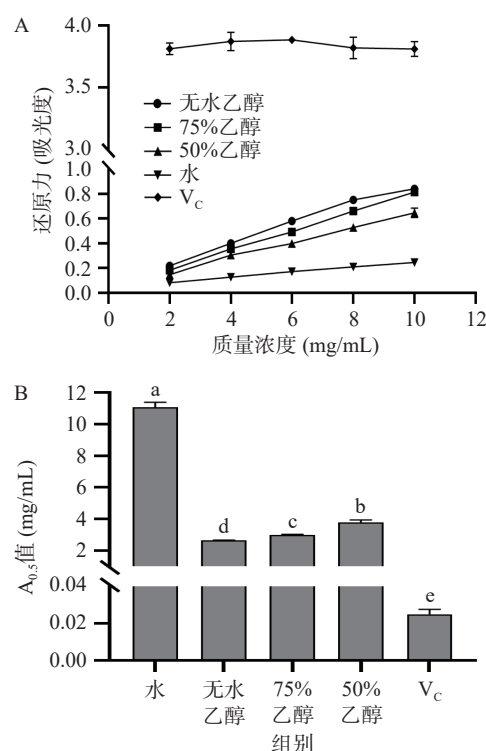


图3 不同浓度乙醇提取物还原能力(A)及其 $A_{0.5}$ (B)
Fig.3 Reducing capacity (A) and their $A_{0.5}$ values (B) of different ethanol extracts

2.3 补骨脂不同浓度乙醇提取物对胆酸盐结合能力比较

胆酸盐可以通过“肝肠循环”进行再利用,通过结合胆酸盐,胆酸盐无法完成“肝肠循环”,肝脏将更多的胆固醇转化成胆汁酸,因而间接地降低胆固醇,进而达到降脂目的^[28-29]。胆酸盐可分为游离型胆酸盐和结合型胆酸盐^[30],本实验选择游离型胆酸盐(胆酸钠)和结合型胆酸盐(牛磺胆酸钠,甘胺胆酸钠)开展研究。

如图 4-A 所示,各提取物对胆酸钠都具有一定的结合能力,结合率随着样品浓度的增加而升高,当样品浓度达到 10 mg/mL 时,无水乙醇提取物对胆酸钠的结合能力较大,结合率达到 73.14%,其次为水、50% 乙醇和 75% 乙醇提取物,结合率分别为 61.98%、58.30% 和 46.09%。由图 4-B 可以看出,无水乙醇、75% 乙醇和 50% 乙醇、水提取物对胆酸钠的 IC_{50} 值分别为 3.63、20.42、6.98 和 0.67 mg/mL,所以水提取物对胆酸钠的结合能力最强,其次为无水乙醇提取物、50% 乙醇提取物和 75% 乙醇提取物,并且四种溶剂胆酸钠结合能力存在显著性差异($P<0.05$),可能与水提取物中多糖成分含量较高更易与游离胆酸盐结合有关,这与林沛纯等^[31]的研究结果相似,即岩藻聚糖粗多糖对三种胆酸盐中的水合胆酸钠结合能力最大。

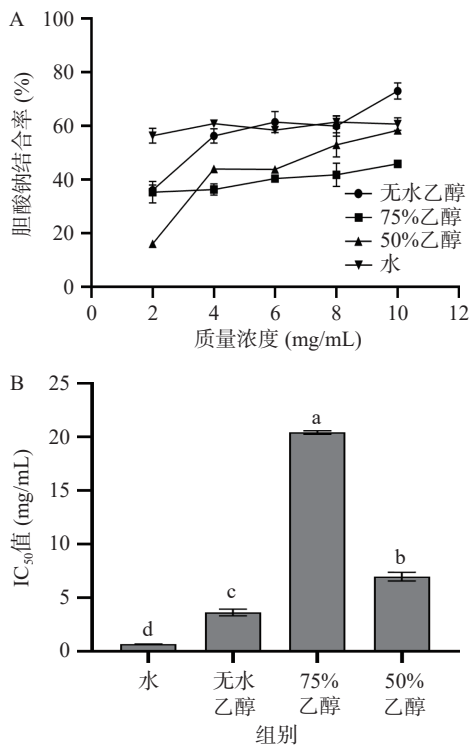


图 4 不同浓度乙醇提取物结合胆酸钠能力(A)及其 IC_{50} (B)

Fig.4 Sodium cholate binding capacity (A) and their IC_{50} values (B) of different ethanol extracts

从图 5-A 可以看出,各提取物对牛磺胆酸钠均有一定的结合能力,并且在 2~10 mg/mL 浓度范围内,随实验浓度提高结合率逐步增大。当浓度为 10 mg/mL 时,50% 乙醇提取物对牛磺胆酸钠的结合率达到 79.56%,并高于 10 mg/mL 裙带菜多糖对牛磺胆酸盐的结合率(52.3%)^[32]。由图 5-B 可知,不同溶剂提取物结合牛磺胆酸钠的 IC_{50} 值大小顺序:水提取物>无水乙醇提取物>75% 乙醇提取物>50% 乙醇提取物,表明 50% 乙醇提取物对牛磺胆酸钠的结合能力最强, IC_{50} 值为 1.26 mg/mL,显著低于水提取物的 IC_{50} 值为 4.36 mg/mL($P<0.05$),但其余两种提取物之间差异并不显著($P>0.05$)。经分析可能是由于

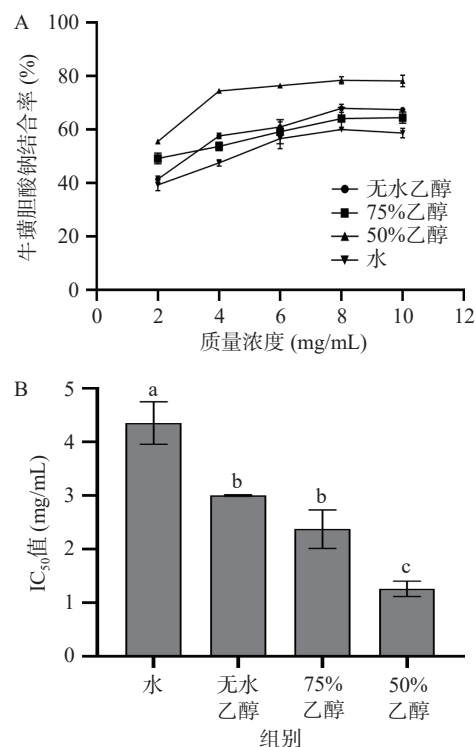


图 5 不同浓度乙醇提取物结合牛磺胆酸钠能力(A)及其 IC_{50} (B)

Fig.5 Sodium taurocholate binding capacity (A) and their IC_{50} values (B) of different ethanol extracts

50% 乙醇提取物中除总黄酮和总多酚外,还有多糖等其他活性成分也参与了牛磺胆酸钠的结合体系^[29,33]。

由图 6-A 可以看出,各提取物对甘胺胆酸钠均

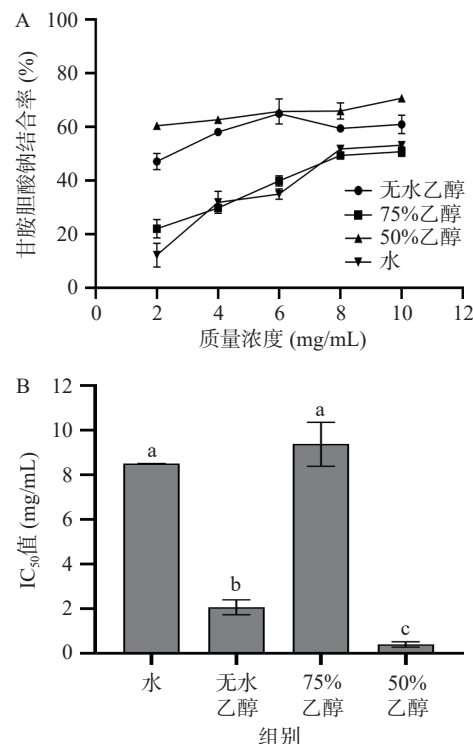


图 6 不同浓度乙醇提取物结合甘胺胆酸钠能力(A)及其 IC_{50} (B)

Fig.6 Sodium glycocholate binding capacity (A) and their IC_{50} values (B) of different ethanol extracts

表 2 补骨脂活性成分含量与抗氧化活性和胆酸盐结合率的相关性分析

Table 2 Correlation analysis between the contents of active components and antioxidant activity and cholate binding rate of *Psoralea corylifolia* L.

指标	总黄酮	总多酚	ABTS ⁺ ·	DPPH·	还原能力	胆酸钠	牛磺胆酸钠	甘胺胆酸钠
总黄酮	1.000	0.972**	0.019	0.553*	0.948**	-0.433	0.514*	0.389
总多酚		1.000	-0.139	0.383	0.912**	-0.545*	0.433	0.210
ABTS ⁺ ·			1.000	0.735	0.244	0.190	0.729**	0.787**
DPPH·				1.000	0.616**	0.232	0.653*	0.970**
还原能力					1.000	-0.551*	0.744**	0.540
胆酸钠						1.000	-0.456	0.403
牛磺胆酸钠							1.000	0.569*
甘胺胆酸钠								1.000

注: **表示在0.01水平上相关性显著, *表示在0.05水平上显著相关。

有一定结合能力,并且在 2~10 mg/mL 浓度范围内,随实验浓度提高结合率逐步增大。当浓度为 10 mg/mL 时,50% 乙醇提取物对甘胺胆酸钠的结合能力最强,结合率达到 70.97%,与体积浓度为 1.0 mL/mL 的药桑葡萄酒对甘胺胆酸钠结合率 69.36% 结果相近^[34]。由图 6-B 可以看出,50% 乙醇提取物和无水乙醇提取物对甘胺胆酸钠的 IC₅₀ 值较小,分别为 0.41 mg/mL 和 2.07 mg/mL,显著低于其他两种溶剂($P<0.05$),所以 50% 乙醇提取物对甘胺胆酸钠结合能力最强,其次是无水乙醇提取物,其余两种提取物结合能力相对较弱。

2.4 补骨脂不同浓度乙醇提取物中活性成分与抗氧化及胆酸盐结合能力的相关性分析

测定不同浓度乙醇提取物中总黄酮和总多酚含量,通过相关性分析探究活性成分含量与抗氧化及胆酸盐结合能力的关联性,初步建立补骨脂不同浓度乙醇提取物主要活性成分-体外抗氧化/降脂功效评价模型。从表 2 可以看出,总黄酮含量与 DPPH·清除率、牛磺胆酸钠结合率呈显著性正相关($P<0.05$);总黄酮、总多酚含量与还原能力均呈极显著正相关($P<0.01$),与张天凤等^[35]的研究报道亚麻籽粕提取物总黄酮、总多酚含量与还原能力均呈显著性正相关结果一致;总多酚含量与胆酸钠结合率呈显著性负相关($P<0.05$);ABTS⁺·清除率和甘胺胆酸钠结合率与总黄酮和总多酚含量相关性较低。上述结果表明,补骨脂中总黄酮和总多酚均有一定的抗氧化和降脂活性,总黄酮的抗氧化和结合胆酸盐能力更强。

3 结论

本研究选用不同浓度乙醇溶剂提取补骨脂,其主要活性成分含量、体外抗氧化活性及胆酸盐结合能力之间差异显著($P<0.05$)。实验结果表明,补骨脂不同乙醇浓度提取物的总黄酮和总多酚含量范围分别为(5.980±0.023)~(50.317±0.018)mg/g 和(1.877±0.003)~(3.860±0.045)mg/g,其中,无水乙醇提取物总黄酮和总多酚含量均最高。50% 乙醇提取物具有最强的 ABTS⁺·和 DPPH·清除能力,其次是无水乙醇提取物,而无水乙醇提取物还原能力最强。补骨脂

水提取物对胆酸钠的结合能力最强,50% 乙醇提取物对牛磺胆酸钠和甘胺胆酸钠的结合能力最强。相关性分析表明,补骨脂不同浓度乙醇提取物中总黄酮含量与 DPPH·清除率、牛磺胆酸钠结合率呈显著正相关性($P<0.05$),总黄酮、总多酚含量与还原能力均呈极显著性正相关关系($P<0.01$),总多酚含量与胆酸钠结合率呈显著性负相关($P<0.05$),总黄酮和总多酚含量与 ABTS⁺·清除率和甘胺胆酸钠结合率相关性较低。同时,推测补骨脂中除黄酮和多酚外,多糖等其他重要活性成分也具有良好的抗氧化及降脂活性,需要进一步测定补骨脂中其他活性成分含量并进行分析,为补骨脂作为抗氧化和降脂物质提供一定的指导作用。

参考文献

- [1] GAO H T Y, LANG G Z, ZANG Y D, et al. Bioactive monoterpene phenol dimers from the fruits of *Psoralea corylifolia* L. [J]. *Bioorg Chem*, 2021, 112: 104924.
- [2] CHOPRA B, DHINGRA A K, DHAR K L. *Psoralea corylifolia* L. (Buguchi)-folklore to modern evidence: Review [J]. *Fitoterapia*, 2013, 90: 44-56.
- [3] ZHANG X N, ZHAO W W, WANG Y, et al. The chemical constituents and bioactivities of *Psoralea corylifolia* Linn.: A review [J]. *Am J Chin Med*, 2016, 44: 35-60.
- [4] QIAO C F, HAN Q B, SONG J Z, et al. Chemical fingerprint and quantitative analysis of fructus psoraleae by high-performance liquid chromatography [J]. *J Sep Sci*, 2007, 30: 813-818.
- [5] 陈建平, 谢皓玥, 周际宇. 高效液相色谱-串联质谱法同时测定保健食品中淫羊藿苷、金丝桃苷、补骨脂素 [J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(1): 192-196. [CHEN J P, XIE H Y, ZHOU J Y. Simultaneous determination of icariin, hyperoside and psoralen in functional food by high performance liquid chromatography tandem mass spectrometry [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2021, 12(1): 192-196.]
- [6] 鲁亚奇, 张晓, 王金山, 等. 补骨脂化学成分及药理作用研究进展 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2019, 25(3): 180-189. [LU Y Q, ZHANG X, WANG J J, et al. Research progress on chemical constituents and pharmacological effects of *Psoraleae Fructus* [J]. *Chinese Journal of Experimental Traditional Chinese Medicine*, 2019, 25(3): 180-189.]

- [7] 魏蒙蒙,王树瑶,杨维,等.补骨脂的化学成分及主要毒性研究进展[J].中国实验方剂学杂志,2019,25(7):207-219. [WEI M M, WANG S Y, YANG W, et al. Chemical constituents of *Psoralea Fructus* and its main toxic ingredients[J]. Chinese Journal of Experimental Formulae, 2019, 25(7): 207-219.]
- [8] RAJENDRA P N, ANANDI C, BALASUBRAMANIAN S, et al. Antidermatophytic activity of extracts from *Psoralea corylifolia* (Fabaceae) correlated with the presence of a flavonoid compound [J]. *J Ethnopharmacol*, 2004, 91: 21-24.
- [9] KOUL B, TAAK P, KUMAR A, et al. Genus *Psoralea*: A review of the traditional and modern uses, phytochemistry and pharmacology[J]. *J Ethnopharmacol*, 2019, 232: 201-226.
- [10] 胡栋宝,罗丽昌,杨猛,等.不同溶剂提取黑牛肝菌中的多酚及抗氧化活性的比较研究[J].食用菌,2020,42(6):69-72. [HU D B, LUO L C, YANG M, et al. A comparative study on extracting polyphenol and antioxidant activity of polyphenol from *Boletus aereus* by different solvents[J]. *Edible Fungi*, 2020, 42(6): 69-72.]
- [11] 廖霞,吴振,杨勇,等.乌天麻不同溶剂提取物的总多酚、总黄酮含量及其抗氧化能力评价[J/OL].食品与发酵工业:1-9 [2022-01-22]. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.027943. [LIAO X, WU Z, YANG Y, et al. Total polyphenols, total flavonoids contents and antioxidant capacities of different solvents extracts from *Gastrodia elata* Bl. f. *glauca* S. Chow[J]. Food and Fermentation Industries: 1-9 [2022-01-22]. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.027943.]
- [12] 赵益业,蔡宇,冯笑珍,等.回流法与超声法提取补骨脂总黄酮的比较研究[J].中草药,2008(5):769-770. [ZHAO Y Y, CAI Y, FENG X Z, et al. Comparative study on extraction of total flavonoids from psoralen by reflux method and ultrasonic method [J]. *Chinese Medicinal Materials*, 2008(5): 769-770.]
- [13] 鲁宪坤,翟鑫源,李方红,等.补骨脂总黄酮提取工艺的优化[J].中成药,2022,44(1):193-197. [LU X K, ZHAI X Y, LI F H, et al. Optimization of extraction process of total flavonoids from psoralen[J]. *Chinese Patent Medicine*, 2022, 44(1): 193-197.]
- [14] 王凯燕,耿子凯,刘莉,等.补骨脂不同溶剂提取物对前列腺增生小鼠干预作用比较[J].山东中医药大学学报,2019,43(6):594-598. [WANG K Y, GENG Z K, LIU L, et al. Comparison of intervention effect of different solvent extracts of buguzhi (*Psoralea Fructus*) on mice with Benign Prostatic Hyperplasia[J]. Journal of Shandong University of Traditional Chinese Medicine, 2019, 43(6): 594-598.]
- [15] 林萍萍,陈明珠,张吟.补骨脂及其主要化学成分降糖机制的研究进展[J/OL].中国中药杂志:1-10 [2022-03-02]. DOI:10.19540/j.cnki.cjcmm.20211229.701. [LIN P P, CHEN M Z, ZHANG Y. Hypoglycemic mechanism of *Psoralea Fructus* and its main chemical constituents[J/OL]. China Journal of Traditional Chinese Medicine: 1-10 [2022-03-02]. DOI: 10.19540/j.cnki.cjcmm.20211229.701.]
- [16] 常爱冰,刘妍如,王梅,等.基于“甾酮类化学成分-抗氧化生物活性”关联分析评价牛膝药材商品等级[J].天然产物研究与开发,2020,32(10):1737-1746. [CHANG A B, LIU Y R, WANG M, et al. Commercial grade evaluation of *Achyranthes bidentata* based on "phytoecdysones components-antioxidant biological activity" correlation[J]. Natural Product Research and Development, 2020, 32(10): 1737-1746.]
- [17] 秦月雯,侯金丽,王萍,等.马齿苋“成分-活性-中药功效-疾病”研究进展及关联分析[J].中草药,2020,51(7):1924-1938. [QIN Y W, HOU J L, WANG P, et al. Research progress and correlation analysis on "phytochemistry-pharmacological effects-CMM efficacy-diseases" of *Portulaca oleracea*[J]. *Chinese Herbal Medicine*, 2020, 51(7): 1924-1938.]
- [18] 裴文清,吕沛楠,王靖宇,等.木瓜皮多酚和黄酮提取工艺优化及酪氨酸酶与胰脂肪酶抑制活性研究[J].食品工业科技,2022,43(1):188-195. [PEI W Q, LYU L N, WANG J Y, et al. Optimization of extraction of polyphenols and flavonoids from papaya peel and its anti-tyrosinase and anti-pancreatic lipase[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(1): 188-195.]
- [19] 崔施展,谢晓亮,贾东升,等.黑枸杞不同溶剂提取物抗氧化活性[J].食品研究与开发,2017,38(9):38-41. [CUI S Z, XIE X L, JIA D S, et al. Antioxidant activity of extracts from different solvents of black wolfberry[J]. *Food Research and Development*, 2017, 38(9): 38-41.]
- [20] 杨美莲,程桂广,蔡圣宝,等.朝鲜蓟叶多酚提取及抗氧化活性研究[J].现代食品科技,2019,35(4):157-165,21. [YANG M L, CHENG G G, CAI S B, et al. Extraction and antioxidant activity of polyphenols from Artichoke leaves[J]. Modern Food Science and Technology, 2019, 35(4): 157-165, 21.]
- [21] 慕钰文,黄玉龙,张辉元.花椒籽不同溶剂提取物的活性成分及抗氧化性比较[J].包装与食品机械,2021,39(3):21-26. [MU Y W, HUANG Y L, ZHANG H Y. Bioactive compounds extracted with different solvents from *Zanthoxylum bungeanum* Maxim. seeds and comparison of their antioxidant activities[J]. *Packaging and Food Machinery*, 2021, 39(3): 21-26.]
- [22] 黎善铭,桂海霞,梅朋飞,等.毛薯多糖提取分离工艺优化及抗氧化活性研究[J/OL].热带作物学报:1-11 [2022-01-23]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1019.S.20211026.2212.002.html>. [LI S M, GUI H X, MEI P F, et al. Extraction, isolation, process optimization and anti-oxidant activity of polysaccharides from *Dioscorea esculenta*[J/OL]. Journal of tropical crops: 1-11 [2022-01-23]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1019.S.20211026.2212.002.html>.]
- [23] 李珊,刘耀耀,刘哲,等.狭果茶藨子黄酮提取工艺优化及其体外降血脂活性[J].食品研究与开发,2021,42(3):73-79. [LI S, LIU Y Y, LIU Z, et al. Optimization of the extraction process of flavonoids from *Ribes stenocarpum* Maxim. and its hypolipidemic activity *in vitro*[J]. Food Research and Development, 2021, 42(3): 73-79.]
- [24] 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 and hypoglycemic capabilities of *Taraxacum mongolicum* root extracts in different solvents[J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(5): 64-72.]
- [25] 师聪,宫号,李茹,等.苹果不同极性萃取物总黄酮、总多酚含量与其抗氧化活性的相关性[J].化学试剂,2022,44(1):84-89. [SHI C, GONG H, LI R, et al. Correlation between total flavo-

- noids, total polyphenols and antioxidant activity of different extracts from *Fructus herba* [J]. *Chemical Reagents*, 2022, 44(1): 84–89.]
- [26] 师聪, 解春芝, 张建萍, 等. 覆盆子不同极性溶剂提取物的抗氧化活性比较 [J]. *食品科技*, 2021, 46(1): 220–224. [SHI C, XIE C Z, ZHANG J P, et al. Comparison of antioxidant activities of different solvent extracts from raspberry [J]. *Food Science and Technology*, 2021, 46(1): 220–224.]
- [27] 李春爱, 田立鹏, 蔡梦, 等. 橄榄果渣乙醇提取物成分分析及抗氧化和抑菌性能研究 [J]. *天然产物研究与开发*, 2022, 34(1): 7–15. [LI C A, TIAN L P, CAI M, et al. Study on the component, antioxidant and antibacterial properties of ethanol extract from olive pomace [J]. *Natural Product Research and Development*, 2022, 34(1): 7–15.]
- [28] 姚旭, 郇萍, 顾青. 4 种甜橙皮黄酮类化合物体外抗氧化活性及降糖降脂功能研究 [J]. *中国食品学报*, 2022, 22(1): 49–57. [YAO X, LI P, GU Q. Studies on antioxidant activity, hypoglycemic and lipid-lowering capacity of flavonoids in sweet orange peels *in vitro* [J]. *Chinese Journal of Food Science*, 2022, 22(1): 49–57.]
- [29] 李井雷, 刘玉婷, 宗帅, 等. 羊肚菌胞外多糖体外降血糖降血脂活性研究 [J]. *食品研究与开发*, 2020, 41(16): 39–45. [LI J L, LIU Y T, ZONG S, et al. *In vitro* hyperglycemic and hypolipidemic activity of *Morchella esculenta* extracellular polysaccharides [J]. *Food Research and Development*, 2020, 41(16): 39–45.]
- [30] 吕冰冰, 谢笔钧, 孙智达. 红肉番石榴果胶的理化特性及其体外降脂作用 [J]. *食品工业科技*, 2021, 42(20): 51–60. [LYU B B, XIE B J, SUN Z D. Physical and chemical properties of red-flesh guava pectin and its lipid-lowering effect *in vitro* [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(20): 51–60.]
- [31] 林沛纯, 谌素华, 郑素丽. 亨氏马尾藻岩藻聚糖的提取及体外吸附胆酸盐的作用 [J]. *食品工业科技*, 2020, 41(17): 58–61, 67. [LIN P C, CHEN S H, ZHENG S L. Extraction of fucoidan from *Sargassum henslowianum* and its binding effect on binding bile salts *in vitro* [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(17): 58–61, 67.]
- [32] 唐茹萌, 焦文雅, 桑亚新, 等. 裙带菜多糖体外和体内降血脂活性 [J]. *食品科学*, 2022, 43(1): 142–149. [TANG R M, JIAO W Y, SANG Y X, et al. *In vitro* and *in vivo* hypolipidemic effect of *Undaria pinnatifida* polysaccharide [J]. *Food Science*, 2022, 43(1): 142–149.]
- [33] 赵有伟, 李德海. 超声微波协同制备粗毛纤孔菌多糖及体外降脂作用的研究 [J]. *食品工业科技*, 2021, 42(20): 191–198. [ZHAO Y W, LI D H. Ultrasonic and microwave synergistic preparation of polysaccharide from *Inonotus hispidus* and its effect on lowering lipid *in vitro* [J]. *Food Industry Science and Technology*, 2021, 42(20): 191–198.]
- [34] 古丽米热·祖努纳, 王伟雄, 吕泽, 等. 药桑葡萄酒发酵工艺优化及体外抗氧化与结合胆酸盐能力研究 [J/OL]. *食品工业科技*: 1–17 [2022-01-23]. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2021060236. [GULEMIRE Z, WANG W X, LYU Z, et al. Optimization of fermentation process of grape medicine mulberry wine and its antioxidant and bile acid binding capacity *in vitro* [J]. *Science and Technology of Food Industry*: 1–17 [2022-01-23]. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2021060236.]
- [35] 张天凤, 张振山, 王帅, 等. 亚麻籽粕提取物抗氧化成分及抗氧化活性研究 [J]. *粮食与油脂*, 2021, 34(12): 137–141. [ZHANG T F, ZHANG Z S, WANG S, et al. Study on antioxidant components and antioxidant activity of flaxseed meal extract [J]. *Grain and Oil*, 2021, 34(12): 137–141.]