

芍药花提取物中黄酮的测定及其体外抗氧化和降脂活性研究

竹娟, 王译晗, 陈立莉, 曲文鑫, 刘荣*

东北林业大学生命科学学院; 黑龙江省森林食品资源利用重点实验室, 哈尔滨 150040

摘要: 对芍药花不同溶剂提取物中黄酮含量、体外抗氧化活性以及降脂活性进行对比研究。本文采用 $\text{NaNO}_2\text{-Al}(\text{NO}_3)_3$ 显色法测定黄酮含量, 以 DPPH 自由基清除率、ABTS 自由基清除率和总还原能力为考察指标评价芍药花提取物的抗氧化能力, 以抑制胰脂肪酶能力、结合胆酸盐能力及胆固醇吸附能力为考察指标评价芍药花提取物的降脂活性。结果表明: 低共熔溶剂提取物总黄酮含量高于乙醇提取物总黄酮含量, 同时低共熔溶剂提取法也提高了芍药花提取物的抗氧化活性和降脂活性, 低共熔溶剂提取物对 ABTS 自由基清除的 IC_{50} 值为 0.256 mg/mL, 对 DPPH 自由基清除的 IC_{50} 值为 0.296 mg/mL; 对胰脂肪酶半数抑制浓度为 0.788 mg/mL, 对胆酸钠、牛磺胆酸钠和甘氨酸钠结合的 IC_{50} 值分别为 0.883、0.841、0.850 mg/mL, 在芍药花粗提物用量为 0.5 g 时, 对胆固醇吸附量最大为 6.28 mg/g。因此低共熔溶剂可作为提取芍药花中抗氧化和降脂成分的适宜提取溶剂, 提取物具有较好的抗氧化和降脂潜力, 为芍药花后续高价值化利用提供理论基础。

关键词: 芍药花; 黄酮; 抗氧化性; 降脂活性

中图分类号: R284.2 文献标识码: A

Determination of flavonoids in *Paeonia lactiflora* flower extracts and their *in vitro* antioxidant and hypolipidemic activities

ZHU Juan, WANG Yi-han, CHEN Li-li, QU Wen-xin, LIU Rong*

College of Life Science, Northeast Forestry University; Key Laboratory of Forest Food Resource Utilization of Heilongjiang Provincial, Harbin 150040, China

Abstract: This paper presents a comparative study of flavonoid content, *in vitro* antioxidant activity and lipid-lowering activity of different solvent extracts of *Paeonia lactiflora* flower. In this paper, the flavonoid content was determined by $\text{NaNO}_2\text{-Al}(\text{NO}_3)_3$ colorimetric method, the antioxidant capacity of *P. lactiflora* flower extract was evaluated by DPPH radical scavenging rate, ABTS radical scavenging rate, and total reducing capacity, and the lipid-lowering activity of *P. lactiflora* flower extract was evaluated by pancreatic lipase inhibition capacity, bile-acid-binding capacity, and cholesterol-adsorption capacity. The results showed that the total flavonoid content of the low-eutectic solvent extract was higher than that of the ethanol extract, and also the low-eutectic solvent

extraction method improved the antioxidant activity and lipid-lowering activity of *P. lactiflora* flower extracts, and the IC₅₀ values of the low-eutectic solvent extracts for the scavenging of ABTS free radicals were 0.256 mg/mL, and for the scavenging of DPPH free radicals, the IC₅₀ values of the low-eutectic solvent extracts for the scavenging of DPPH free radicals were 0.296 mg/mL; and the IC₅₀ values for the inhibition of pancreatic Lipase half inhibitory concentration was 0.788 mg/mL, the IC₅₀ values for sodium cholate, sodium taurocholate and sodium glycinate binding were 0.883, 0.841, 0.850 mg/mL, respectively, and the maximum adsorption of cholesterol was 6.28 mg/g when the dosage of *P. lactiflora* flower crude extract was 0.5 g. Therefore, low eutectic solvent can be used as a suitable extraction solvent for extracting antioxidant and lipid-lowering components from *P. lactiflora* flower, and the extracts have better antioxidant and lipid-lowering potentials, which can provide theoretical basis for the subsequent high-value utilization of *P. lactiflora* flower.

Key words: *Paeonia lactiflora* flower; flavonoids; oxidation resistance; lipid-lowering activity

高脂血症自 20 世纪以来对人们的身体健康产生了严重的危害，其主要的临床表现是：血浆中胆固醇及游离脂肪酸等一种或多种脂质成分代谢异常，需要采用药物治疗。目前，研究的重点在于开发能够降低或消除高血脂及相关症状的安全药物。这些药物的效果可以通过评估其对胰脂肪酶抑制能力和与胆酸盐结合能力来反映^[1]。芍药（*Paeonia lactiflora*）属毛茛科草本花卉，芍药花除具有重要的观赏价值外还有相当重要的药用价值。芍药花富含黄酮、没食子酸鞣质、芍药甙等功能性成分，对治疗氧化应激与炎症相关疾病有潜在价值^[2]，故花瓣某种程度上具有降血脂潜力，可作为开发药物的植物资源。

大量研究表明，植物中的黄酮类化合物能够有效改善脂质代谢紊乱，对高脂血症有一定控制和治疗作用^[3]，如罗布麻叶^[4]、沙苑子^[5]的黄酮提取物均可明显改善高脂血症小鼠肝脏氧化应激水平，实现对血脂代谢调节。目前对芍药花的研究主要集中在黄酮成分的研究及抗氧化活性^[6]对其降血脂功能的研究报道较少。当前芍药花的提取工艺主要有超声辅助法^[7]、热水浸提法^[8]、乙醇浸提法^[9]等，常用甲醇、乙醇、石油醚等容易造成环境污染的挥发性有机溶剂。在 2003 年，Abbott 等^[10]首先提出了低共溶性溶剂（deep eutectic solvent, DES），它是由氢键供体和氢键受体组成。在 DES 当中，常常作为氢键受体的氯化胆碱与多种氢键供体在萃取黄酮、多酚和多糖等活性物质的研究中已被多次研究^[11,12]。DES 具有制备简单便捷、成本低廉、安全性强，可回收性高等优点，所以被作为绿色溶剂广泛应用于天然活性物质提取。而将微波辅助低共熔溶剂提取芍药花的提取未见报道。

本研究中，对芍药花两种不同溶剂提取物进行了抗氧化能力的考察，主要以 DPPH 自由基、ABTS 自由基清除率以及总还原能力等指标来进行研究与分析。体外降脂能力以对胰

脂肪酶抑制能力、胆酸盐吸附能力及胆固醇结合能力为考察指标，以期为芍药花生物活性领域更深层次开发利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

芍药花于 2022 年黑龙江省农科院园艺分院提供，经刘荣副研究员鉴定为芍药 (*Paeonia lactiflora*) 的花瓣；氯化胆碱 (98%，百灵威)；DPPH (批号 128258，纯度>98%，MedChemExpress 公司)；ABTS (批号 C15306340，纯度>98%，上海麦克林生化科技有限公司)；牛磺胆酸钠 (批号 145426,纯度>98%，上海源叶生物技术有限公司)；甘氨酸胆酸钠 (批号 863570，纯度>98%，上海源叶生物技术有限公司)；猪胆酸钠 (批号 73163538，纯度>98%，上海源叶生物技术有限公司)；分析纯乙醇及分析纯丙三醇均 (中国西陇化工股份有限公司)；实验用水为娃哈哈纯水。

1.2 主要仪器与设备

RT-6000 型酶标仪 (深圳雷杜生命科学有限公司)；TD6M 离心机 (湖南凯达科学仪器有限公司)；DK-98-IIA 电热恒温水浴锅 (天津市泰斯特仪器有限公司)；P70D20N1P-G5 (W0) 微波炉 (广东格兰仕微波生活电器制造有限公司)；90-2 型恒温磁力搅拌器 (宁波新芝生物科技股份有限公司)；SHA-C 水浴恒温振荡器 (常州金坛良友仪器有限公司)。

1.3 试验方法

1.3.1 原料预处理

芍药花低温干燥，粉碎后 60 目过筛，用石油醚脱脂 24 h，真空过滤得芍药花脱脂粉末。

1.3.2 芍药花不同溶剂提取物的制备

称取 2 g 芍药花粉末，将其与乙醇和 DES 分别混合均匀，利用响应面优化微波辅助提取，分别得到最佳提取工艺，在转速为 6 000 r/min 条件下离心 10 min (离心力为 500 g)，通过减压浓缩至提取物体积的 1/3 得到芍药花粗提液，再冻干得到芍药花粗提物。

1.3.2.1 芍药花乙醇提取物的制备

根据响应面实验优化结果，确定在乙醇体积分数为 60%、料液比 1:26 (g/mL)、微波时间 25 min、微波功率 500 W 条件下，利用微波辅助法对 2 g 芍药花粉进行提取，再将得到的粗提液经过减压浓缩冻干后，备用。

1.3.2.2 芍药花 DES 提取物的制备

根据响应面实验优化结果，确定在 DES 体系中氯化胆碱和丙三醇比例为 1:3、微波时间 190 s、微波功率 500 W、料液比 1:30 (g/mL)、含水量 37%条件下，利用微波辅助法

对 2 g 芍药花粉进行提取，再将得到的粗提液经过减压浓缩冻干后，备用。

1.3.3 芍药花总黄酮含量测定

采用 $\text{NaNO}_2\text{-Al}(\text{NO}_3)_3$ 显色法稍作改进^[13]，测定芍药花提取物中黄酮的得率，精密吸取 0.0、1.0、2.0、3.0、4.0、5.0、6.0 mL 芦丁标准溶液分别置于 25 mL 容量瓶中，依次加入 60% 乙醇 6.0、5.0、4.0、3.0、2.0 mL、1.0、0.0 mL；加入 1.0 mL 5% 亚硝酸钠溶液，摇匀，静置 6 min；加入 1.0 mL 10% 硝酸铝溶液，摇匀，静置 6 min；加入 10.0 mL 5% 氢氧化钠溶液，添加 60% 乙醇至刻度线，摇匀静置反应 15 min，取第一管为空白对照，测量 507 nm 波长处吸光度值，制得标准曲线。回归方程为： $y=7.375x-0.0039$ ($R^2=0.9995$)。取浸提液 3.0 mL，按照上述方法顺序进行测定，测定其含量。

1.3.4 芍药花不同溶剂提取物抗氧化活性研究

1.3.4.1 DPPH 自由基清除率测定

参考 Liu 等^[14]的方法稍作修改，分别制备不同浓度梯度的芍药花提取物溶液（0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mg/mL），以相同质量浓度范围的 V_C 做阳性对照。517 nm 下测各组反应的吸光度值，按公式（1）计算 DPPH 自由基清除率（ R ）。

$$R = \left(1 - \frac{A_1 - A_2}{A_0}\right) \times 100\% \quad (1)$$

式中： A_0 ：无水乙醇代替样液反应的吸光值； A_1 ：样品组吸光值； A_2 ：无水乙醇代替 DPPH 反应液所得吸光值。

1.3.4.2 ABTS 自由基清除率测定

参考 Qin 等^[15]的方法稍作修改，分别制备不同浓度梯度的芍药花提取物溶液（0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mg/mL），以相同质量浓度范围的 V_C 做阳性对照。734 nm 下测各组反应的吸光度值，按公式（1）计算自由基清除率。式中： A_0 ：无水乙醇代替样液反应的吸光值； A_1 ：样品组吸光值； A_2 ：蒸馏水代替 ABTS 反应液所得吸光值。

1.3.4.3 总还原能力的测定

参考 Jin 等^[16]的方法稍作修改，分别制备 0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mg/mL 的芍药花提取物溶液，以相同质量浓度范围的 V_C 做阳性对照。在 700 nm 下测定各反应吸光值，吸光值的高低反映了还原力的强弱。

1.3.5 不同溶剂条件下提取的黄酮降脂活性的研究

1.3.5.1 胰脂肪酶的抑制作用

参考 Gong 等^[17]方法，稍作修改，测定芍药花提取物对胰脂肪酶的抑制作用。依次加入

食用花生油，磷酸盐缓冲溶液，胰脂肪酶溶液（由磷酸盐缓冲溶液配制）于数个 250 mL 的锥形瓶中，以蒸馏水替代作为空白对照；抑制管中依次加入不同浓度的芍药花提取物溶液，胰脂肪酶溶液，同时用蒸馏水代替芍药花提取物溶液作背景对照。37 °C 条件下水浴 5 min 后，加入乙醇（95%）终止反应，滴加 3 至 4 滴 1% 酚酞，用 0.025 mol/L 的 NaOH 溶液滴定，同时作空白对照。按公式（2）计算抑制率（ I ）。

$$I = \frac{V_1 - V_2 - (V_3 - V_4)}{V_1 - V_2} \times 100\% \quad (2)$$

式中： V_1 为样品管消耗 NaOH 溶液的量，mL； V_2 为背景对照消耗的 NaOH 溶液的量，mL； V_3 为空白管消耗的 NaOH 溶液的量，mL； V_4 为空白对照管消耗的 NaOH 溶液的量。

1.3.5.2 胆酸盐结合能力

根据 WU 等^[18]的方法制备胆酸盐标准曲线，标准曲线所采用的横坐标标注不同胆酸盐物质的浓度，纵坐标则为吸光值的测量结果。得到胆酸钠标准曲线为： $y=0.3971x+0.0073$ （ $R^2=0.9932$ ）；牛磺胆酸钠标准曲线为： $y=1.2936x-0.0149$ （ $R^2=0.9977$ ）；甘氨酸胆酸钠标准曲线为： $y=1.2614x+0.0007$ （ $R^2=0.9965$ ）。

芍药花提取物体外结合胆酸盐能力：先将 2.0 mL 的不同浓度芍药花提取物、2.0 mL 的 0.01 mol/L HCl 溶液以及 6.0 mL 浓度为 10 mg/mL 的胃蛋白酶溶液按序加入 50.0 mL 的离心管中，模拟 37 °C 的恒温环境中进行 1 h 的胃消化，再将 8 mL 胰脂肪酶溶液加入并且将 pH 值调节到 6.3，接着模拟在 37 °C 的环境下进行 1 h 的肠道消化。模拟结束后添加 8.0 mL 胆酸盐溶液，将温度恒定在 37 °C 并不断振荡约 1 h，再以 4 000 r/min 的离心速率离心 20 min 后，取 2.5 mL 上清液于试管中，加入体积为 7.5 mL 60% 的 H_2SO_4 溶液，水浴反应进行 20 min，冷却至室温后，检测 387 nm 处的吸光值，然后利用公式（3）计算芍药花提取物与各种胆酸盐结合率（ D ）。

$$D = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100\% \quad (3)$$

式中， C_0 和 C_1 分别为空白溶液和样品溶液中胆酸盐浓度， $\mu\text{mol/L}$ 。

1.3.5.3 胆固醇吸附能力

参考 Wei 等^[19]方法绘制胆固醇标准曲线，得到胆固醇标准曲线方程： $y=2.9032x+0.0149$ （ $R^2=0.9975$ ）。根据样品的吸光度值计算样品中胆固醇含量。

2 结果与分析

2.1 不同溶剂提取物中总黄酮含量

试验利用微波分别辅助乙醇和 DES 两种溶剂提取芍药花黄酮, 发现不同溶剂对总黄酮提取效果具有不同的影响, 芍药花乙醇提取物(ethanol extract, EE)中黄酮的得率为 8.51 mg/g, 芍药花 DES 提取物(DES extract, DE)中黄酮的得率为 17.44 mg/g。首先可能是溶剂有一定的溶解性, 即该溶剂对质子、电子有较强的贡献与接纳能力, 能够促使分子间的氢键以及物质之间的相互作用, 进而影响到黄酮的萃取效果; 其次, 无论是极性和非极性的化合物, DES 均有增溶作用, 根据“相似相溶”原理, 加入水后 DES 极性发生变化, 从而改变其溶解性能; 最后, 由于氯化胆碱和丙三醇组成的 DES 体系黏度较低, 易于流动和扩散, 存在一定的黏度, 从而使芍药花粉末悬浮, 分散于溶剂中, 增大了两者间的接触面积, 促进了黄酮物质的释放^[20]。Li 等^[21]采用超声辅助 DES 从银杏叶中提取黄酮, 可显著提高银杏叶黄酮得率。Wang^[22]采用 DES 提取羊肚菌总黄酮时发现, 在最优提取条件下, 天然低共熔溶剂提取法、乙醇提取法相比较, 天然低共熔溶剂提取法的总黄酮得率最高, 达到 16.56%; 60%乙醇次之, 均与本研究结果一致。

2.2 芍药花不同溶剂提取物抗氧化活性研究

2.2.1 DPPH 自由基清除能力的测定

由图 1 可知, 试验浓度范围内, 不同溶剂提取物对 DPPH 自由基清除率呈现明显的浓度依赖性, 随着提取物浓度的增加, 芍药花提取物清除 DPPH 自由基能力也随之增强。在 1.0 mg/mL 时, 芍药花 DES 提取物和芍药花乙醇提取物对 DPPH 自由基清除率分别为 73.58% 和 61.07%, 且均小于 Vc。由图 1 可得 Vc 和芍药花不同提取物对 DPPH 自由基的半数清除浓度 IC₅₀, 具体结果见表 1。可以得知, 芍药花 DES 提取物的 IC₅₀ 值小于芍药花乙醇提取物为 0.296 mg/mL。较高 DPPH 自由基的清除能力可能与较高黄酮含量有关, 黄酮类化合物是抗氧化活性主要贡献者^[23], 而 DES 提取物含量均高于乙醇提取物。Wang 等^[24]研究了 DES 和乙醇两种溶剂提取物对 DPPH 和羟基自由基清除能力的影响, 在相同的提取条件下, 采用 DES 提取物对 DPPH 自由基清除能力始终优于乙醇提取物, 与本研究结论一致。

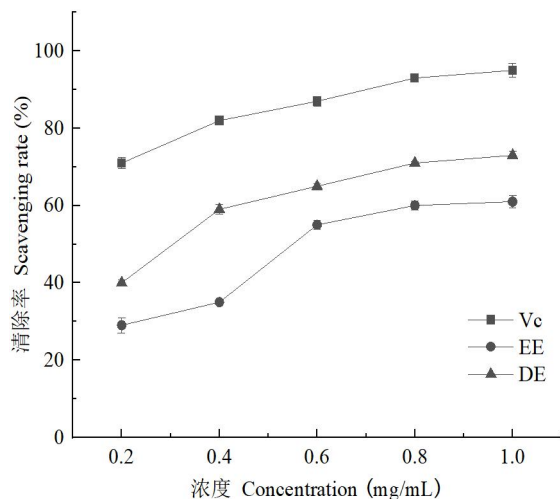


图1 芍药花不同溶剂提取物对 DPPH 自由基的清除率

Fig.1 Scavenging of DPPH radicals by different solvent extracts of *P. lactiflora* flower

2.2.2 ABTS 自由基清除能力的测定

由图 2 可知，在试验浓度范围内，不同溶剂提取物对 ABTS 自由基清除率呈现明显的浓度依赖性，随着提取物浓度的增加，芍药花提取物清除 ABTS 自由基能力也随之增强。在 1.0 mg/mL 时，芍药花 DES 提取物和芍药花乙醇提取物对 ABTS 自由基清除率分别为 80.16% 和 68.40%，且均小于 Vc。这与 He^[25]发现黑果腺肋花楸叶黄酮具有显著的 ABTS 自由基清除作用，在 0.5 mg/mL 时，其 ABTS 自由基清除率高达 99.47% 的结论一致。因此认为芍药花黄酮可以有效地清除 ABTS 自由基。同时由图 2 可得芍药花不同提取物对 ABTS 自由基的半数清除浓度 IC₅₀。由表 1 可得，芍药花 DES 提取物的 IC₅₀ 值小于芍药花乙醇提取物。

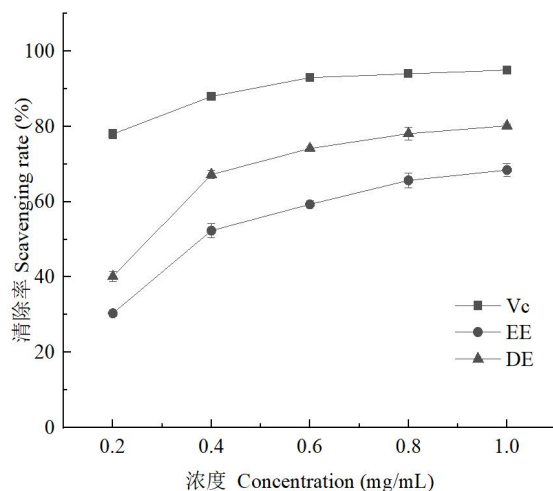


图2 芍药花不同溶剂提取物对 ABTS 自由基的清除率

Fig.2 Scavenging of ABTS free radicals by different solvent extracts of *P. lactiflora* flower

Fu 等^[12]研究发现与乙醇提取物相比, DES 提取物的 ABTS 自由基清除能力活性整体优于乙醇提取物, 与本研究结论一致。这种差异可能是由于不同极性溶剂提取物的抗氧化能力与黄酮含量有关或者与提取物中活性物质的成分、性质及结构有关^[26]。

2.2.3 总还原能力的测定

由图 3 可知, 在试验浓度范围内, 不同溶剂提取物的总还原能力呈现明显的浓度依赖性, 随着提取物浓度的增加, 芍药花提取物总还原能力也随之增强。且在提取物浓度为 1.0 mg/mL 时, $V_c >$ 芍药花 DES 提取物 $>$ 芍药花乙醇提取物。这与 Hang^[27]从山药皮提取黄酮对铁还原能力相同, 山药皮和 V_c 吸光值, 随着质量浓度增加而增大, 还原力增强, 抗氧化活性变大。由此可知芍药花提取物具备铁离子还原能力。Liu 等^[28]利用 DES 和常规溶剂分别通过超声辅助获得的香料提取物的总还原能力的对比得出 DES 提取物总还原能力更强, 与本研究结论一致。

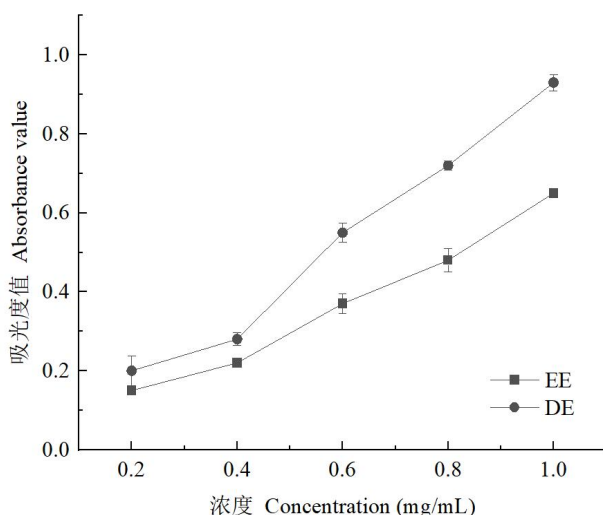


图 3 芍药花不同溶剂提取物的总还原能力

Fig.3 Total reducing power of different solvent extracts of *P. lactiflora* flower

2.2.4 不同溶剂芍药花提取物的抗氧化能力

从表 1 可以看出, 样品的 ABTS 自由基清除能力、DPPH 自由基清除能力两个指标的 IC_{50} 值大小顺序均为: $V_c <$ 芍药花 DES 提取物 $<$ 芍药花乙醇提取物。由此可以得出芍药花 DES 提取物抗氧化能力大于芍药花乙醇提取物。

表 1 不同溶剂芍药花提取物抗氧化能力

Table 1 Antioxidant capacity of different solvent extracts of *P. lactiflora* flower

样品	IC ₅₀ (mg/mL)	
Sample	ABTS 自由基清除能力	DPPH 自由基清除能力
	ABTS radical scavenging effects	DPPH radical scavenging effects
Vc	0.062	0.099
乙醇提取物 ethanol extract	0.419	0.575
DES 提取物 des extract	0.256	0.296

2.3 不同溶剂条件下提取的黄酮降脂活性的研究

2.3.1 胰脂肪酶抑制作用

根据图 4 所示,随着提取物浓度的升高,不同样品对胰脂肪酶的抑制效果逐步加强,且芍药花两种不同溶剂提取的黄酮化合物对胰脂肪酶活性的抑制表现存在差异。当浓度为 1.0 mg/mL 时,芍药花 DES 提取物对胰脂肪酶抑制率达 68.57%,比芍药花乙醇提取物提高了 9.51%,说明芍药花 DES 提取物抑制胰脂肪酶效果比芍药花乙醇提取物好。研究表明富含黄酮的天然原料能够表现出较好的胰脂肪酶抑制能力,从而抑制脂肪吸收,减少老鼠肥胖^[29,30]。而芍药花 DES 提取物中黄酮含量更高,这可能是 DES 提取物对胰脂肪酶抑制能力更好的原因。

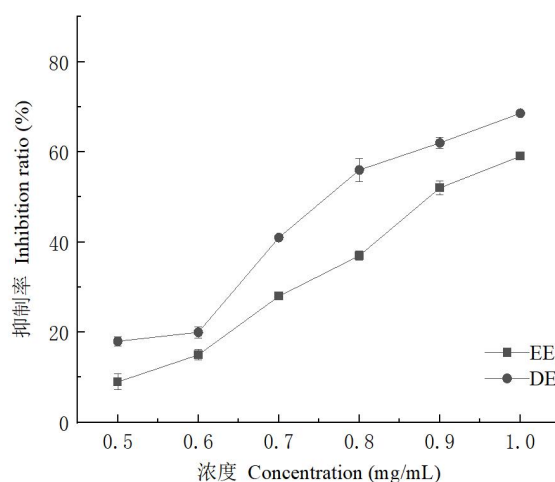


图 4 芍药花不同溶剂提取物的胰脂肪酶抑制能力

Fig.4 Pancreatic lipase inhibitory capacity of different solvent extracts of *P. lactiflora* flower

2.3.2 胆酸盐结合能力

有研究表明胆酸盐结合能力越强,胆固醇转化胆汁酸的速度越快,从而达到降低胆固醇、降脂的目的^[31]。由图 5 可知,两种芍药花提取物对 3 种胆酸盐结合能力具有一定的差异,在黄酮浓度为 0.5 mg/mL 时,芍药花乙醇提取物对胆酸钠、牛磺胆酸钠和甘氨酸钠的结合率分

别为 30.28%、39.82%和 38.22%，初步判断乙醇提取物中含有较强的结合胆酸盐的活性成分。芍药花 DES 提取物对胆酸钠、牛磺胆酸钠和甘氨酸钠的结合率高达 37.45%、42.78%和 39.98%，比乙醇提取物分别提高了 7.17%、2.96%和 1.76%，这可能是由于微波作用促进了黄酮内部结构侧链的断裂和官能团的释放，增大结合效果，而 DES 由于极性较大，增强了提取物的溶解性，使芍药花总黄酮在 DES 中溶解更充分，从而增强在肠道内与胆酸盐的结合效率，促进胆酸盐在肝脏中的循环，降低胆酸盐在肝脏中的积累，使肝脏中的胆固醇快速转化为胆酸盐，降低体内的胆固醇含量^[32]。

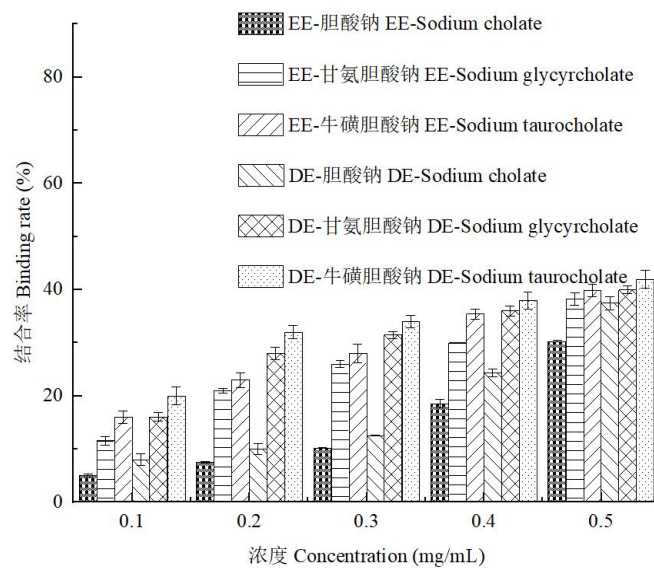


图 5 芍药花不同溶剂提取物胆酸盐结合能力

Fig.5 Bile acid salt binding capacity of different solvent extracts of *P. lactiflora* flower

2.3.3 胆固醇吸附能力

由图 6 可知，在起始溶液中胆固醇溶液浓度相同的条件下，随着芍药花粗提物用量的增加，其对胆固醇的吸附量逐渐趋于稳定。提取物从 0.1 g 变为 0.4 g 时，其对胆固醇吸附量明显上升，而从 0.4 g 到 0.5 g 时，吸附量变化不明显值值趋于平缓。这种现象的发生可能是因为随着芍药花粗提物用量增加，接触胆固醇的表面积增大，当达到饱和吸附量时，胆固醇的浓度不再是吸附的主要影响因素，因此对吸附量的影响减小^[33]。当芍药花粗提物用量为 0.5 g 时，芍药花 DES 提取物对胆固醇吸附量为 6.28 mg/g 比乙醇提取物对胆固醇吸附量高 2.04 mg/g。说明芍药花 DES 提取物吸附胆固醇能力比芍药花乙醇提取物好。原因可能是在外界环境相同的条件下黄酮类化合物在 DES 中的稳定性高于在乙醇和水等传统溶剂中，其稳定性主要与溶质、溶剂分子间的强氢键作用和螯合作用有关，从而促进芍药花总黄酮溶解吸附胆固醇^[34]。

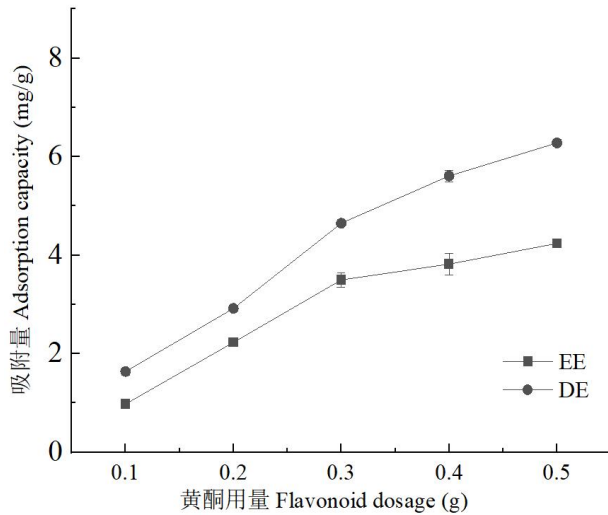


图6 芍药花不同溶剂提取物胆固醇吸附能力

Fig.6 Cholesterol adsorption capacity of different solvent extracts of *P. lactiflora* flower

3 结论

本文在前试验基础上确定微波辅助乙醇、低共熔溶剂法提取芍药花黄酮的条件,测定芍药花在两种溶剂最佳工艺条件下的黄酮得率,结果显示芍药花乙醇提取物得率为 8.51 mg/g,芍药花 DES 提取物得率为 17.44 mg/g;同时研究了两种溶剂提取物的抗氧化能力和体外降脂能力,结果显示:根据两种溶剂芍药花提取物的 IC_{50} 值,测得芍药花 DES 提取物抗氧化能力大于芍药花乙醇提取物,且试验浓度范围内,不同溶剂提取物的总还原能力呈现明显的浓度依赖性,随着提取物浓度的增加,芍药花提取物总还原能力也随之增强。随着芍药花提取物浓度的升高,不同样品对胰脂肪酶的抑制效果逐步加强,且芍药花 DES 提取物对胰脂肪酶活性的抑制优于乙醇提取物。在试验浓度范围内芍药花 DES 提取物对胆酸钠、牛磺胆酸钠和甘氨酸钠的结合率均大于乙醇提取物。在起始溶液中胆固醇溶液浓度相同的条件下,随着芍药花粗提物用量的增加,芍药花 DES 提取物对胆固醇吸附量比乙醇提取物对胆固醇吸附量高。研究结果可为进一步开发利用芍药花提供一定的科学依据。

参考文献

- 1 Peng CH,Cheng JJ,Yu MH,et al.*Solanum nigrum* polyphenols reduce body weight and body fat by affecting adipocyte and lipid metabolism[J].Food Funct,2020,11:483-492.
- 2 Jin ZF,Zhou YH,Jin YZ,et al.Effects of *Saccharomycopsis fibuligera* fermentation on antioxidant activity and active components of *Paeonia lactiflora* Pall. flowers[J].Yangzhou Univ Agric:Life Sci(扬州大学学报:农业与生命科学版),2023,44:109-117.
- 3 Li B.Effects of yeasts fermentation on active components and antioxidant,anti-aging activities of *Paeonia*

- lactiflora* Pall[D].Yangzhou:Yangzhou University(扬州大学),2021.
- 4 Pan SY,Tian YZ,Wei P.Ionic liquid-based microwave-assisted extraction and antioxidant activity of total flavonoids from *Apocynum venetum* L. leaves[J].Mod Food Sci Technol(现代食品科技),2019,35:182-190.
 - 5 Mo XC,Hu DH,Zhang Q,et al.Extraction and antioxidant activities of flavonoids from *Astragalus complanatus*[J].Guangzhou Chem Ind(广州化工),2022,5:45-49.
 - 6 Gong MJ.The study of chemical composition and antioxidant and anti-inflammatory activities of *Paeonia lactiflora* flower[D].Guangzhou:Guangzhou University of Chinese Medicine(广州中医药大学),2023.
 - 7 Zeng X,Tan H,Liu B,et al.Optimization of ultrasonic-assisted extraction and purification of total flavonoids with biological activities from Radix Puerariae[J].Biomass Convers Biorefin,2023.DOI:10.1007/s13399-023-04921-3.
 - 8 Wang GH,Wei YD,Yu DH,et al.Purification and activity determination of flavonoids from *Flammulina velutipes* by high pressure hot water extraction[J].Food Sci Technol(食品科技),2019,44:228-235.
 - 9 Wu YC.Researches on chemicals extraction separation and the antioxidant active material basis in *Paeonia lactiflora* Pall ‘Zhong Jiang’[D].Ya'an:Sichuan Agricultural University(四川农业大学),2018.
 - 10 Abbott AP,Capper G,Davies DL,et al.Novel solvent properties of choline chloride/urea mixtures[J].Chem Commun,2003,1:70-71.
 - 11 Wen JJ,Liu LL,Zhang SH,et al.Research progress of flavonoids extraction based on deep eutectic solvents[J].Fine Chem Intermed(精细化工中间体),2023,53:6-11.
 - 12 Fu Y,Shi X,Zhang DM,et al.Antioxidant activities in extracts from *Pinus massoniana* needles by deep eutectic solvents[J].Beijing For Univ(北京林业大学学报)2021,43:149-158.
 - 13 Wang X,Liu YM,Hao J,et al.Ultrasonic-assisted extraction process optimization and properties of *Hibiscus manihot* L. flower[J].Fine Chem(精细化工),2024,41:1310-1317.
 - 14 Liu SL,Gao Y,Wu XY,et al.Optimization of extraction process and evaluation of antioxidant activity of total flavonoids from *Dandelion*[J].Chem Eng(化学工程师),2024,38:88-91.
 - 15 Qin YZ,He Y,Feng YT,et al.Optimization of ultrasound-assisted alkali extraction of bound polyphenol from *Rosa sterilis* and its antioxidant activity[J].Sci Technol Food Ind(食品工业科技),2024,45:1-9.
 - 16 Jin X,Ma XL,Li P,et al.Optimization of extraction of total glycosides from *Paeonia veitchii* and analysis of its composition and antioxidant activity[J].China Food Addit(中国食品添加剂),2024,35:109-118.
 - 17 Gong SJ,Teng CQ,Liang DY,et al.*In vitro* study on hypolipidemic effects of theabrownins in *Liupao* tea [J].Tea Sci(茶叶科学),2020,40:536-543.

- 18 Wu Y,Zhu C P,Zhang Y,et al.Immunomodulatory and antioxidant effects of pomegranate peel polysaccharides on immunosuppressed mice[J].Int J Biol Macromol,2019,137:504-511.
- 19 Wei XY,Jiang CX,Zeng XR,et al.Process optimization and physicochemical characteristics analysis of soluble dietary fiber from corn bran modified by composite enzymes[J].Sci Technol Food Ind(食品工业科技),2024,45:202-209.
- 20 Ren S,Mu T,Wu W.Advances in deep eutectic solvents:new green solvents[J].Processes,2023,11:1920.
- 21 Li JC.Extraction and purification of flavonoids from *Ginkgo biloba* leaves by deep eutectic solvents[D].Beijing:Beijing University of Chemical Technology(北京化工大学),2020.
- 22 Wang CY.Study on extraction and application of *Morchella* flavonoids based on choline chloride eutectic solvent[D].Jinzhong:Shanxi Agricultural University(山西农业大学)2021.
- 23 Liu J,Xiang ZY,Zhu BY,et al.Comparison of active components, antioxidant activity and pancreatic lipase inhibitory activity in different solvent extracts of *Penthorum chinense* leaf[J/OL].Sci Technol Food Ind(食品工业科技),1-17[2024-06-03].<https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023100072>.
- 24 Wang Y,Cheng C,Zhang HN,et al.Extraction of flavonoids from maize pollen by deep eutectic solvent and its antioxidant activity[J].Food Sci Technol(食品科技),2023,48:195-201.
- 25 He XH,Shi ZJ,Wang AN,et al.Optimization of extraction process of flavonoids from *Aronia melanocarpas* leaves and analysis of their antioxidant and bile salt binding capacity[J].Sci Technol Food Ind (食品工业科技),2023,44:253-260.
- 26 Lv TT,Tao J,Xie Q,et al.Optimization of enzymatic hydrolysis-ultrasound assisted aqueous two-phase extraction of total flavonoids from *Paulownia* flowers and its antioxidant capacity *in vitro*[J].Feed Ind(饲料工业),2024,45:134-142.
- 27 Hang SY,Yang LX,Guo JH,et al.Optimization of extraction technology and antioxidant activity of flavonoids and polyphenols from yam skin[J].Food Res Dev(食品研究与开发),2023,44:122-127.
- 28 Liu J,Mu T,Sun H,et al.Effects of processing and storage conditions on the stability of sweet potato(*Ipomoea batatas* L.) leaf flavonoids[J].Int Food Sci Technol,2020,55:2251-2260.
- 29 Wang SX.Inhibition of naringin and naringin on pancreatic lipase and its anti-obesity effect in rats[D].Tianjin:Tianjin University of Science and Technology(天津科技大学),2022.
- 30 Liao JL,Fang T,Fan YL.Inhibitory effects of *Lycium barbarum* leaves flavonoids on pancreatic lipase activity (中国食品学报),2022,22:43-53.
- 31 Li DH,DuLJ,Kang N,et al.Effect of extraction techniques on the extraction and hypolipidemic activity *in*

vitro of triterpenoids from *Inonotus Hispidus*[J].Food Sci(食品科学),2018,39:291-297.

32 Guo C,Liu JC,Zhang JX,et al.Hypolipidemic and hypoglycemic effects of *Sorghum* rice bran flavonoid extract on obese C57BL/6 mice[J].Food Sci Technol(食品科技),2023,48:203-209.

33 Shi H,Zhang Y,Chen L,et al.Adsorption for oil and fat,cholesterol and sodium cholate of dietary fiber from longan shell and longan core[J].Food Ind(食品工业),2015,36:103-107.

34 Wang ZD.Extraction and analysis of flavonoids from *Chrysanthemum* and its mechanism of reducing blood lipid[D].Nanjing:Southeast University(东南大学),2022.

收稿日期: 2024-04-22

接受日期:

基金项目: 国家重点研发计划项目子课题 (2016YFC0500307-07)

*通信作者 Tel: 86-018645123581; E-mail:lrwxh123@163.com