

缩脾饮提取物分离及抗氧化、降血糖活性研究

李雅晴¹ 储晓琴^{1,2,3} 崔梦尧¹ 李 静¹ 贾妮妮¹ 蒋大圆⁴

(1. 安徽中医药大学药学院, 安徽 合肥 230012; 2. 现代药物制剂安徽省工程技术研究中心, 安徽 合肥 230012; 3. 药物制剂技术与应用安徽省重点实验室, 安徽 合肥 230012; 4. 安徽医学高等专科学校, 安徽 合肥 230601)

摘要: [目的] 基于新安医学中经典名方, 开发有助于抗氧化和维持血糖健康水平的保健食品。[方法] 基于单因素试验结果, 对提取过程中的料液比、提取时间和提取次数 3 个因素进行正交设计, 以总多糖和总黄酮提取量作为评价指标, 筛选最优提取工艺。以 DPPH 自由基清除率、ABTS 自由基清除率及 OH 自由基清除率为指标评价缩脾饮的体外抗氧化活性; 以 α -葡萄糖苷酶和 α -淀粉酶抑制率为指标评价其体外降糖活性。建立 2 型糖尿病 (T2DM) 大鼠模型, 记录大鼠的空腹血糖、体质量、24 h 进食量和饮水量, 测定大鼠血脂水平以及氧化应激指标, 并采用苏木精—伊红染色法 (HE) 观察肝组织形态。[结果] 缩脾饮最佳提取工艺为料液比 1:10 (g/mL)、提取时间 60 min、提取 2 次, 在此条件下缩脾饮中总黄酮提取量为 (9.15 ± 0.25) mg/g, 总多糖提取量为 (122.76 ± 1.48) mg/g。缩脾饮提取物对 DPPH 自由基、ABTS 自由基、OH 自由基的 IC_{50} 值分别为 (0.492 ± 0.130) , (0.669 ± 0.080) , (14.568 ± 2.010) mg/mL; 缩脾饮提取物对 α -葡萄糖苷酶、 α -淀粉酶的 IC_{50} 值分别为 (6.006 ± 0.730) , (6.864 ± 1.060) mg/mL。说明该工艺条件下的缩脾饮提取物具有良好的体外抗氧化和降血糖效果。体内试验表明, 模型组大鼠血糖明显升高且体质量减轻, 进食量和饮水量增加, 而缩脾饮组大鼠多食、多饮、多尿症状明显减轻, 血糖明显下降 ($P < 0.05$), 大鼠血清 TC、TG、LDL-C 水平明显低于模型组 ($P < 0.05$), 而 HDL-C 与模型组大鼠无统计学差异; 缩脾饮组大鼠血清 SOD 活性相比于模型组明显升高, MDA 水平降低 ($P < 0.05$), 且肝脏病理损伤有所恢复, 脂肪空泡数减少, 说明缩脾饮具有降低 T2DM 大鼠血糖作用, 并改善其氧化损伤和血脂异常、减轻肝组织病变。[结论] 最优工艺能有效提高缩脾饮总黄酮和总多糖含量, 且提取物具有良好的体内外抗氧化和降血糖活性。

关键词: 缩脾饮; 总黄酮; 总多糖; 提取工艺; 抗氧化; 降血糖

Optimization of extraction process of Suopiyin and its antioxidant and hypoglycemic activities *in vitro* and *in vivo*

LI Yaqing¹ CHU Xiaoqin^{1,2,3} CUI Mengyao¹ LI Jing¹ JIA Nini¹ JIANG Dayuan⁴

(1. School of Pharmacy, Anhui University of Chinese Medicine, Hefei, Anhui 230012, China; 2. Engineering Technology Research Center of Modern Pharmaceutical Preparation, Hefei, Anhui 230012, China; 3. Anhui Province Key Laboratory of Pharmaceutical Preparation Technology and Application, Hefei, Anhui 230012, China; 4. School of Pharmacy, Anhui Medical College, Hefei, Anhui 230601, China)

Abstract: [Objective] Based on classical prescriptions of Xin'an Medicine, a functional food was developed to help exert antioxidant effects and maintain healthy blood glucose levels. [Methods] Based on the results of single-factor experiments, an orthogonal design was applied to optimize three factors in the extraction process, namely the solid-liquid ratio, extraction time, and number of extraction cycles. The extraction yields of total polysaccharides and total flavonoids were used as evaluation indices to determine the optimal extraction

基金项目: 安徽省高等学校科学研究项目 (编号: 2023AH040108); 安徽省高等学校青年教师科研资助计划项目 (编号: gxgnfx2022113); 安徽省高等学校科研创新平台团队项目 (编号: 2022AH010036)

通信作者: 储晓琴 (1979—), 女, 安徽中医药大学教授, 博士。E-mail: chuxq420@163.com

收稿日期: 2024-12-18 **改回日期:** 2026-03-10

引用格式: 李雅晴, 储晓琴, 崔梦尧, 等. 缩脾饮提取物分离及抗氧化、降血糖活性研究[J]. 食品与机械, 2026, 42(4): 156-165.

Citation: LI Yaqing, CHU Xiaoqin, CUI Mengyao, et al. Optimization of extraction process of Suopiyin and its antioxidant and hypoglycemic activities *in vitro* and *in vivo* [J]. Food & Machinery, 2026, 42(4): 156-165.

process. The *in vitro* antioxidant activity of Suopiyin was evaluated using the scavenging rates of DPPH, ABTS, and hydroxyl ($\cdot\text{OH}$) radicals. The *in vitro* hypoglycemic activity was assessed by measuring the inhibitory rates of α -glucosidase and α -amylase. A type 2 diabetes mellitus (T2DM) rat model was established. Fasting blood glucose, body weight, 24-h food intake, and water intake were recorded. Blood lipid levels and oxidative stress indicators were measured, and hematoxylin-eosin (HE) staining was used to observe histopathological changes in liver tissue. **[Results]** The optimal extraction conditions for Suopiyin were as follows: a solid-liquid ratio of 1:10 (g/mL), an extraction time of 60 min, and two extraction cycles. Under these conditions, the extraction yields of total flavonoids and total polysaccharides were (9.15 ± 0.25) mg/g and (122.76 ± 1.48) mg/g, respectively. The IC_{50} values of the Suopiyin extract for DPPH, ABTS, and $\cdot\text{OH}$ radicals were (0.492 ± 0.130) , (0.669 ± 0.080) , and (14.568 ± 2.010) mg/mL, respectively. The IC_{50} values for inhibition of α -glucosidase and α -amylase were (6.006 ± 0.730) and (6.864 ± 1.060) mg/mL, respectively. These results indicate that the Suopiyin extract prepared under the above process conditions exhibited good antioxidant and hypoglycemic activities *in vitro*. *In vivo* experiments showed that rats in the model group had significantly increased blood glucose levels and reduced body weight, accompanied by increased food and water intake. In contrast, the symptoms of polyphagia, polydipsia, and polyuria were markedly alleviated in the Suopiyin group, and blood glucose levels were significantly reduced ($P < 0.05$). The serum TC, TG, and LDL-C levels in the Suopiyin group were significantly lower than those in the model group ($P < 0.05$), whereas HDL-C showed no statistically significant difference compared with the model group. In addition, serum SOD activity in the Suopiyin group was significantly increased, while the MDA level was decreased ($P < 0.05$). Liver pathological damage was alleviated, and the number of lipid vacuoles was reduced. These findings indicate that Suopiyin can reduce blood glucose levels in T2DM rats, improve oxidative damage and dyslipidemia, and alleviate liver tissue lesions. **[Conclusion]** The Suopiyin extract prepared using the optimal process effectively increases the contents of total flavonoids and total polysaccharides and exhibits good antioxidant and hypoglycemic activities both *in vitro* and *in vivo*.

Keywords: Suopiyin; total flavonoids; total polysaccharides; extraction process; antioxidant activity; hypoglycemic activity

缩脾饮是新安医学中的经典名方,最早出自《宋·太平惠民和剂局方》,后由汪昂收录于《医方解集》中。此方由缩砂仁、乌梅肉、草果、炙甘草、干葛、白扁豆组成,具有健脾化湿之功,用于解伏热、除烦渴、消暑毒、止吐泻。

现代社会由于生活节奏的加快、不健康的饮食习惯等原因,2型糖尿病(T2DM)患者越来越年轻化,药物治疗虽能够改善症状,但长期服用有一定的副作用。缩脾饮中六味中药皆属于食药同源,是独具特色的健康资源^[1],具有较高的营养价值和广泛的药理作用。砂仁具有保护胃肠、降血糖、降脂减肥、降血脂、抗氧化等功效^[2-5];乌梅具有抗氧化、抗炎等药理作用^[6-7],日常食用乌梅可以增加食欲、消除疲劳、缓解便秘等;草果具有调节胃肠道功能紊乱、降脂降糖、抗氧化等多种药理作用^[8-10],用于治疗寒热痰饮,同时也作为调料;炙甘草有抗炎、保肝、抗氧化等作用^[11-12],在中药方剂中具有缓和药性的作用;葛根具有抗炎、抗氧化、改善血液循环、减少胰岛素抵抗等药理作用^[13-16],其茎、叶、花、果、根均可入药;白扁豆具有抗菌、降血糖、降血脂的作用^[17-18],其性味甘平,适合大多数体质的人食用。这些药理作用可能与组方药材中富含的黄酮、多糖类成分^[19-23]密切相关。相关研究^[24-27]表明,黄酮类^[28]与多糖类成分可通过清除自由基、激活抗氧化酶发挥抗氧化作用,并通过改善胰岛素抵抗、调节糖代谢酶活性、保护胰岛 β 细胞及调控肠道菌群等机制发挥降血糖作用。然而,目前关于此方的现代应用研究较少,其抗氧化与降血糖活性也未见报道。试验拟以此经典名方为

基础,经单因素及正交试验选出最佳提取方法,旨在提高总黄酮和总多糖提取量,并通过体内外试验分析其抗氧化和降血糖活性,为开发抗氧化和维持血糖健康水平的保健食品提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验动物

试验动物选用河南斯克贝斯生物技术有限公司(许可证号:SCXK(豫)2020-0005)提供的40只SPF级雄性SD大鼠(6周龄,体质量 (200 ± 10) g)。动物房温度 (25 ± 1) $^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $(40 \pm 5)\%$,采用12 h明暗交替光照。每笼饲养不超过5只,垫料每2日更换1次。适应性饲养7 d,动物自由摄食饮水,每日记录体质量及健康状态。该试验全程符合动物伦理委员会相关规定(动物伦理号AHUCM-rats-2023219)。

1.2 材料与仪器

砂仁、乌梅、炙甘草、草果、葛根、白扁豆:安徽省中医院;

芦丁标准品、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)、2,2'-氨基-二(3-乙基-苯并噻唑啉磺酸-6)铵盐(ABTS)、链脲佐菌素(STZ):上海阿拉丁试剂有限公司;

阿卡波糖:98%,上海麦克林生化科技有限公司;

PBS溶液(pH 6.8)、对硝基苯基- β -D-吡喃葡萄糖(PNPG)、 α -葡萄糖苷酶(活力 ≥ 50 units/mg)、 α -淀粉酶(9 U/mg)、3,5-二硝基水杨酸(DNS)试剂:上海源叶生物科技有限公司;

无水葡萄糖、无水乙醇、亚硝酸钠、硝酸铝、氢氧化钠、苯酚、浓硫酸、过硫酸钾、 H_2O_2 、硫酸亚铁、水杨酸、可溶性淀粉、无水碳酸钠、柠檬酸、柠檬酸钠:分析纯,上海阿拉丁生化科技股份有限公司;

盐酸二甲双胍片:石家庄以岭药业股份有限公司;

总胆固醇(TC)测定试剂盒、甘油三酯(TG)测定试剂盒、低密度脂蛋白(LDL-C)测定试剂盒、高密度脂蛋白(HDL-C)测定试剂盒、超氧化物歧化酶(SOD)试剂盒、丙二醛(MDA)试剂盒:南京建成生物工程研究所;

紫外可见分光光度计:UV-1000 型,翱艺仪器有限公司;

电子分析天平:TP10002 型,上海佑科仪器有限公司;

数显恒温水浴锅:HH-6 型,常州普天仪器制造有限公司;

烘箱:YGH-SOOSBS 型,上海跃进医疗器械有限公司;

多功能酶标仪:Spark 型,上海一忻科学仪器有限公司;

血糖仪:倍稳 II 型,微泰医疗器械(杭州)股份有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 单因素试验 按处方比例称取砂仁 2 g、乌梅 2 g、炙甘草 3 g、草果 1 g、白扁豆 1 g、葛根 1 g,分别考察料液比[1:6, 1:8, 1:10, 1:12 (g/mL)]、提取时间(30, 60, 90, 120 min)和提取次数(1, 2, 3, 4 次)对缩脾饮中总黄酮和总多糖提取量的影响。考察某一因素时,固定其他条件:料液比 1:10 (g/mL),提取时间 60 min,提取 1 次。

1.3.2 正交试验设计 以总黄酮和总多糖提取量为评价指标,以料液比、提取时间及提取次数为影响因素,设计 $L_9(3^4)$ 正交试验,确定最优提取工艺。根据式(1)计算综合评分。

$$S = \frac{F}{F_{\max}} \times 50 + \frac{P}{P_{\max}} \times 50, \quad (1)$$

式中:

S ——综合评分;

F ——总黄酮提取量,mg/g;

$F_{\max}$ ——总黄酮提取量最大值,mg/g;

P ——总多糖提取量,mg/g;

$P_{\max}$ ——总多糖提取量最大值,mg/g。

1.3.3 总黄酮含量测定 采用硝酸铝—亚硝酸钠显色法^[29-30],得到标准曲线回归方程为 $y = 11.157x + 0.003$ ($R^2 = 0.9995$),线性范围为 0.016~0.080 mg/mL。按式(2)计算总黄酮提取量。

$$F = \frac{n \times c \times V}{m}, \quad (2)$$

式中:

F ——总黄酮提取量,mg/g;

n ——稀释倍数;

c ——提取液质量浓度,mg/mL;

V ——提取液体积,mL;

m ——样品质量,g。

1.3.4 总多糖含量测定 采用苯酚—硫酸法^[31-32],得到标准曲线回归方程为 $y = 0.1763x - 0.1819$ ($R^2 = 0.9995$),线性范围为 0.02~0.10 mg/mL。按式(3)计算总多糖提取量。

$$P = \frac{n \times c \times v}{m}, \quad (3)$$

式中:

P ——总多糖提取量,mg/g;

n ——稀释倍数;

c ——提取液质量浓度,mg/mL;

V ——提取液体积,mL;

m ——样品质量,g。

1.3.5 体外抗氧化活性

(1) DPPH 自由基清除率测定:根据文献[33-34]并修改。取 0.5 mL 不同质量浓度缩脾饮水提液,加入 2 mL DPPH-乙醇溶液(0.1 mmol/L),混匀,室温避光 30 min,以无水乙醇作为空白对照,维生素 C 作为阳性对照,测定 517 nm 处吸光度。按式(4)计算 DPPH 自由基清除率。

$$R = \left(1 - \frac{A_1 - A_2}{A_0}\right) \times 100\%, \quad (4)$$

式中:

R ——自由基清除率,%;

A_0 ——空白组的吸光度;

A_1 ——样品组吸光度;

A_2 ——样品对照组吸光度。

(2) ABTS 自由基清除率测定:根据文献[35-36]并修改。取 1 mL 不同质量浓度缩脾饮水提液,加入 3 mL ABTS 工作液,混匀,室温避光 10 min,以无水乙醇作为空白对照,维生素 C 作为阳性对照,测定 734 nm 处吸光度。按式(4)计算 ABTS 自由基清除率。

(3) OH 自由基清除率测定:根据文献[37-38]并修改。取 1 mL 不同质量浓度缩脾饮水提液,依次加入 1 mL H_2O_2 溶液(8.8 mmol/L),1 mL FeSO_4 溶液(9 mmol/L)和 1 mL 水杨酸—乙醇溶液(9 mmol/L),摇匀,37 °C 水浴 30 min,以蒸馏水作为空白对照,维生素 C 作为阳性对照,测定 510 nm 处吸光度。按式(4)计算清除 OH 自由基清除率。

1.3.6 体外降血糖活性

(1) α -葡萄糖苷酶抑制活性测定:根据文献[39-40]

并修改。在96孔酶标板中加入60 μL 磷酸盐缓冲溶液(pH 6.9)和50 μL 不同质量浓度缩脾饮水提物溶液,加入20 μL α -葡萄糖苷酶溶液(0.8 U/mL),摇匀,37 $^{\circ}\text{C}$ 水浴20 min,加入20 μL PNPG溶液(1 mmol/L),37 $^{\circ}\text{C}$ 水浴45 min,迅速加入80 μL Na_2CO_3 溶液(0.2 mol/L)终止反应,测定405 nm处吸光度。以阿卡波糖作为阳性对照,按式(5)计算 α -葡萄糖苷酶抑制率。

$$I = \left(1 - \frac{A_1 - A_2}{A_3 - A_4} \right) \times 100\%, \quad (5)$$

式中:

I ——抑制率,%;

A_1 ——样品组吸光度;

A_2 ——不加样品对照组吸光度;

A_3 ——不加样品空白组吸光度;

A_4 ——空白对照组吸光度。

(2) α -淀粉酶抑制活性测定:根据文献[41—42]并修改。向试管中加入0.2 mL不同质量浓度缩脾饮水提物溶液和0.2 mL淀粉酶溶液(1 U/mL),37 $^{\circ}\text{C}$ 水浴10 min。加入0.4 mL 1%可溶性淀粉溶液,摇匀,37 $^{\circ}\text{C}$ 水浴10 min。加入0.5 mL DNS试剂,沸水浴5 min,冷却,加蒸馏水定容,测定540 nm处吸光度。以阿卡波糖作为阳性对照,按式(5)计算 α -淀粉酶抑制率。

1.3.7 体内降血糖活性

(1) 糖尿病大鼠模型的建立与给药:从40只SD大鼠中随机选10只作为正常组给予普通饲料,其余大鼠作为模型组给予高脂饲料。4周后,模型组大鼠按剂量35 mg/kg腹腔注射STZ溶液,正常组大鼠腹腔注射相同剂量的柠檬酸钠缓冲液。72 h后尾静脉取血测空腹血糖,血糖 ≥ 16.7 mmol/L视为造模成功。将造模成功的大鼠随机分为3组,每组10只,分别为模型组、缩脾饮组和二甲双胍组。缩脾饮组大鼠每天按5.71 g/kg给予缩脾饮提取液;二甲双胍组大鼠每天按200 mg/kg给药。正常组和模型组大鼠给予10 mL/kg去离子水。试验期间所有大鼠自由摄食饮水,每24 h更换一次垫料,试验周期56 d。末次给药后,大鼠禁食不禁水12 h,称重并测血糖。按剂量50 mg/kg注射戊巴比妥钠麻醉大鼠,然后进行腹主动脉取血,静置,离心后取上清液。取出肝脏称重后用4%多聚甲醛溶液固定,于-80 $^{\circ}\text{C}$ 保存。

(2) 各组大鼠一般情况、血糖、体质量、摄食量和饮水量监测:每天观察大鼠精神状态、毛发颜色等,每周记录各组大鼠的空腹血糖、体质量、24 h进食量和饮水量。

(3) 各组大鼠血脂水平测定:根据试剂盒说明书。

(4) 各组大鼠血清氧化应激水平测定:根据试剂盒说

明书。

(5) 各组大鼠肝脏组织HE染色:取各组大鼠肝脏切片进行HE染色,并在光学显微镜下观察大鼠肝脏组织病理学变化。

1.4 数据处理

每组试验重复3次,结果以平均值 $\pm$ 标准差表示。使用Excel 2021、IBM SPSS Statistics 27软件进行数据分析,采用Origin 2022软件绘图。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

2.1.1 料液比对缩脾饮总黄酮、总多糖提取量的影响

由图1可知,适度提高料液比能够促进药材饮片和溶剂充分接触和反应,从而提高缩脾饮中总黄酮和总多糖提取量。当料液比为1:10 (g/mL)时,总黄酮、总多糖提取量分别为(7.35 $\pm$ 0.03), (81.73 $\pm$ 1.29) mg/g。继续提高料液比,总黄酮、总多糖提取量增加不明显,可能是由于溶剂增加到一定程度后,药材饮片中有效成分基本溶出。综合分析,选择料液比1:6~1:10 (g/mL)进行后续试验。

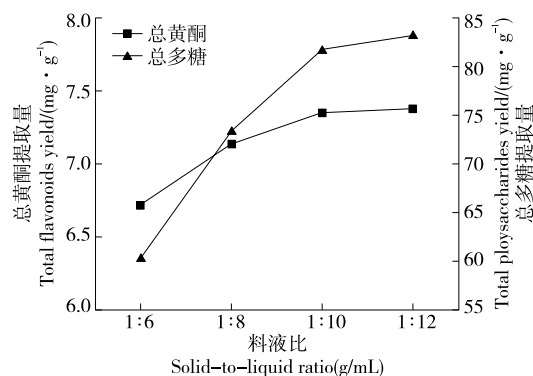


图1 料液比对缩脾饮总黄酮、总多糖提取量的影响

Figure 1 Effect of solid-liquid ratio on the extraction amount of total flavonoids and total polysaccharides in Suopiyin

2.1.2 提取时间对缩脾饮总黄酮、总多糖提取量的影响

由图2可知,提取时间较短,饮片中的有效成分不易被浸出,提取效果差。随着提取时间的延长,总多糖、总黄酮提取量呈先上升后稳定稍下降的趋势,故选择30, 60, 90 min进行后续正交试验。

2.1.3 提取次数对缩脾饮总黄酮、总多糖提取量的影响

由图3可知,增加提取次数,缩脾饮中总黄酮、总多糖提取量呈先增大后稍减小趋势。提取次数较多可能会增加水溶性杂质,从而影响提取效果。综合考虑,提取1~3次较合适。

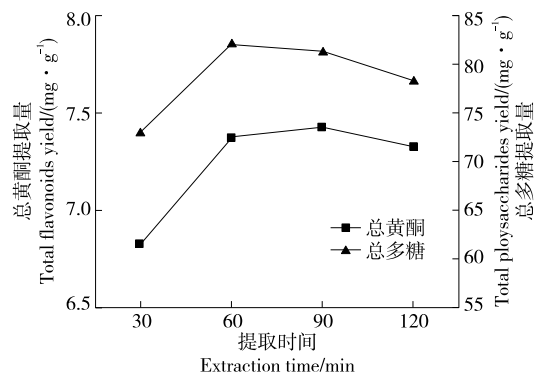


图2 提取时间对缩脾饮总黄酮、总多糖提取量的影响
Figure 2 Effect of extraction time on the amount of total flavonoids and total polysaccharides extracted from Suopiyin

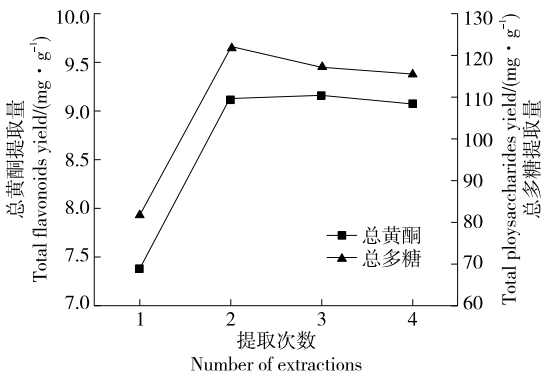


图3 提取次数对缩脾饮总黄酮、总多糖提取量的影响
Figure 3 Effect of number of extraction cycles on the amount of total flavonoids and polysaccharides extracted from Suopiyin

2.2 正交试验

在单因素试验基础上,以料液比、提取时间和提取次数为因素进行三因素三水平正交试验。试验因素水平见表1,试验设计及结果见表2。由表2可知,各因素对总黄酮、总多糖提取量影响的主次顺序为料液比>提取次数>提取时间,最优工艺为A₃B₂C₂,即料液比1:10(g/mL),提取时间60 min,提取2次。由表3可知,料液比和提取次数具有显著差异($P<0.05$),提取时间无显著性差异。

表1 因素水平表

Table 1 Orthogonal factor level table			
水平	A 料液比(g/mL)	B 提取时间/min	C 提取次数
1	1:6	30	1
2	1:8	60	2
3	1:10	90	3

按最优工艺重复3次验证实验,计算得总黄酮平均提取量为 (9.15 ± 0.25) mg/g,总多糖平均提取量为 (122.76 ± 1.48) mg/g。相较于传统方法其提取量显著提高,有助于增强黄酮—多糖复合成分的协同作用。

2.3 体外抗氧化活性

由图4(a)可知,当质量浓度为0.3~3.0 mg/mL时,DPPH自由基清除率随样品质量浓度的增加不断增大,但达到一定限度后保持平衡。缩脾饮水提物和维生素C对DPPH自由基的半数抑制浓度(IC₅₀)值分别为 (0.492 ± 0.130) , (0.065 ± 0.010) mg/mL。当质量浓度为3.0 mg/mL时,缩脾饮提取物对DPPH自由基清除率为 $(96.16\pm1.53)\%$,接近此质量浓度下维生素C的,表明缩脾饮提取

表2 正交试验设计及结果

Table 2 Design and results by orthogonal test							
试验号	A	B	C	D(空白)	总黄酮提取量/(mg·g ⁻¹)	总多糖提取量/(mg·g ⁻¹)	综合评分
1	1	1	1	1	6.06	36.59	52.55
2	1	2	2	2	7.44	85.10	81.89
3	1	3	3	3	7.02	78.15	76.34
4	2	1	2	3	7.58	72.70	77.37
5	2	2	3	1	8.25	97.47	92.14
6	2	3	1	2	7.11	69.30	73.05
7	3	1	3	2	7.86	94.32	88.42
8	3	2	1	3	7.37	81.83	80.05
9	3	3	2	1	8.15	115.64	99.39
k ₁	70.26	72.78	68.55	81.36			
k ₂	80.86	84.69	86.22	81.12			
k ₃	89.29	82.93	85.63	77.92			
R	19.03	11.91	17.67	3.44			

表3 方差分析[†]

来源	离差平方和	自由度	均方	F值	P值
A	1 418.08	2	709.04	23.29	0.041
B	803.89	2	401.95	13.20	0.070
C	1 568.92	2	784.46	25.77	0.037
D(误差)	60.88	2	30.44	1.00	0.500

[†] $F_{0.05(2,2)}=19.00$ 。

物对DPPH自由基具有良好的清除能力。由图4(b)可知, ABTS自由基清除率随缩脾饮提取物质量浓度的增加而增大。当缩脾饮提取物和维生素C质量浓度为3.0 mg/mL时, ABTS自由基清除率分别为(91.98±2.35)%、(98.96±1.96)%, 抗氧化效果明显。缩脾饮提取物和维生素C对ABTS自由基的IC₅₀值分别为(0.669±0.080)、(0.054±0.020 mg/mL), 表明缩脾饮对ABTS自由基有一定清除能力。由图4(c)可知, 缩脾饮提取物的OH自由基清除率呈浓度依赖性, 随着质量浓度增加, 抗氧化能力增强。缩脾饮提取物和维生素C对OH自由基的IC₅₀值分别为(14.568±2.010)、(0.829±0.060) mg/mL。综上, 缩脾饮

提取物可以有效清除自由基, 表现出良好的体外抗氧化活性。

2.4 体外降糖活性

阿卡波糖是2型糖尿病治疗中最常用的药物^[43], 也是一种 α -葡萄糖苷酶抑制剂。由图5可知, 缩脾饮提取物和阿卡波糖对 α -葡萄糖苷酶的抑制效果随着质量浓度的增加而加强, 其IC₅₀值分别为(6.006±0.730)、(2.844±0.430) mg/mL。当缩脾饮提取物质量浓度为60 mg/mL时, α -葡萄糖苷酶抑制率达(89.35±1.25)%, 说明缩脾饮水提取物具有一定的 α -葡萄糖苷酶抑制能力。由图6可知, 缩脾饮水提取物和阿卡波糖的IC₅₀值分别为(6.864±1.060)、(30.458±2.260) μ g/mL, 且在1.5~60.0 mg/mL质量浓度范围内, 缩脾饮水提取物对 α -淀粉酶的抑制作用随着样品质量浓度的增加而增强, 呈现出一定的量效关系, 说明缩脾饮水提取物具有一定的 α -淀粉酶抑制能力, 但明显弱于阿卡波糖。综上, 缩脾饮提取物表现出良好的体外降糖活性。

2.5 体内降糖活性

2.5.1 各组大鼠一般情况、血糖、体质量、摄食量和饮水量变化 试验过程中, 正常组大鼠未出现死亡且空腹血

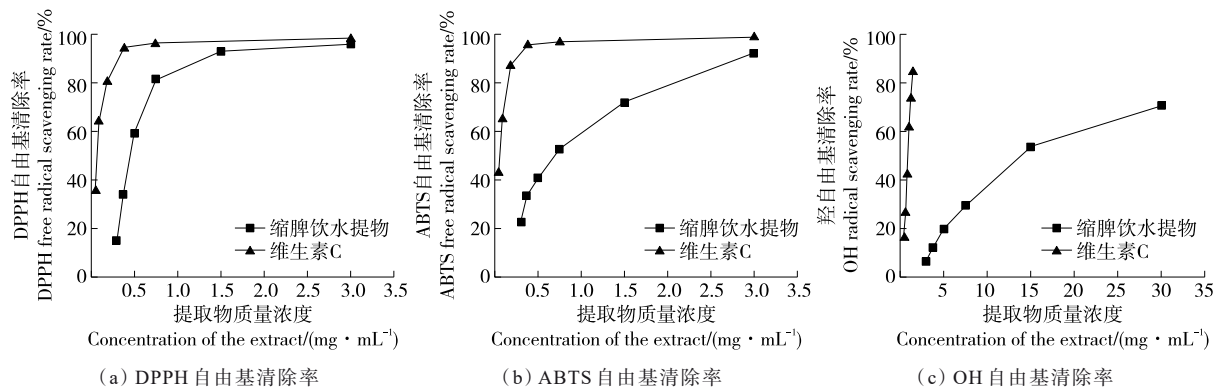
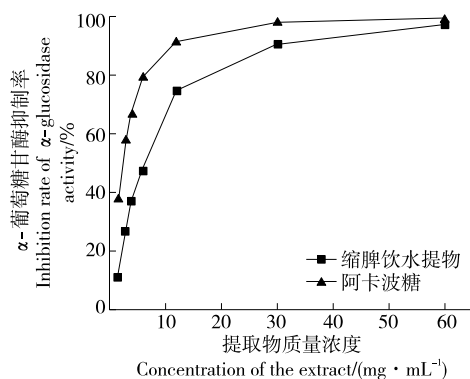


图4 缩脾饮提取物的抗氧化活性

Figure 4 Antioxidant activity of the extracts of Suopiyin

图5 缩脾饮提取物的 α -葡萄糖苷酶抑制能力Figure 5 Inhibitory activity of Suopiyin on α -glucosidase

糖保持稳定, 大鼠体重缓慢增加, 进食、饮水和尿量皆正常。模型组大鼠剩余8只且空腹血糖持续增加。由表4可知, 8周后模型大鼠血糖达到(25.90±2.32) mmol/L, 与正常组大鼠具有极显著差异($P<0.01$), 大鼠体质量持续下降、毛发枯黄、饮水量增加, 表现出糖尿病多饮多食且体质量减轻的症状。由表5~表7可知, 给药8周后, 缩脾饮组 and 二甲双胍组大鼠状态均有一定好转。缩脾饮组大鼠剩余8只, 大鼠体质量、饮水量下降缓慢, 与模型组大鼠有极显著性差异($P<0.01$), 且血糖呈先上升后下降趋势; 二甲双胍组大鼠血糖下降效果更明显。综上, 缩脾饮提取物对2型糖尿病大鼠具有一定的降血糖作用, 并可以缓解糖尿病症状。

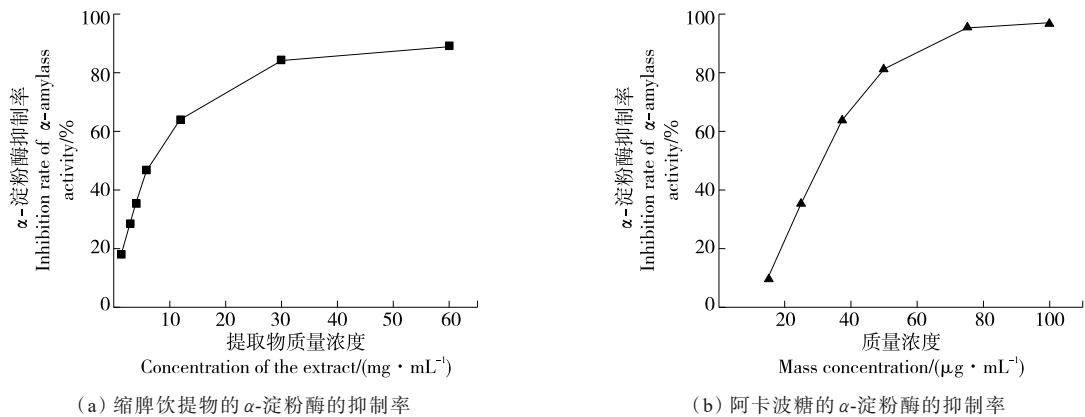


图 6 缩脾饮提取物对 α-淀粉酶的抑制能力
Figure 6 Inhibitory activity of Suopiyin on α-amylase

表 4 各组大鼠血糖变化[†]
Table 4 Changes in blood glucose level in rats from each group mmol/L

组别	正常组	模型组	缩脾饮组	二甲双胍组
造模完成	5.4±1.52	18.6±3.81 ^{##}	17.9±4.40	18.5±3.72
1 周	5.1±0.74	21.5±2.23 ^{##}	20.3±3.29	20.2±2.45 [*]
2 周	4.5±1.21	24.2±3.15 ^{##}	21.6±3.97	19.6±3.24 [*]
3 周	5.3±0.86	23.9±2.62 ^{##}	24.6±2.82	19.0±2.94 [*]
4 周	5.5±1.23	25.5±1.87 ^{##}	22.3±4.31	17.3±3.3 ^{**}
5 周	5.2±0.65	23.6±3.14 ^{##}	22.8±2.84	16.4±1.37 ^{**}
6 周	4.7±0.82	24.6±2.62 ^{##}	21.9±3.53	16.7±2.22 ^{**}
7 周	5.0±1.73	25.0±1.26 ^{##}	20.6±3.74 [*]	15.5±1.37 ^{**}
8 周	6.1±0.76	25.9±2.32 ^{##}	21.8±4.31 [*]	16.5±1.63 ^{**}

[†] 与正常组比较,##为差异极显著($P<0.01$);与模型组比较,^{*}为差异显著($P<0.05$),^{**}为差异极显著($P<0.01$)。

表 5 各组大鼠体质量变化[†]
Table 5 Changes of body weight in rats from each group g

组别	正常组	模型组	缩脾饮组	二甲双胍组
造模完成	312.5±21.91	335.7±14.10	329.4±14.97	341.0±9.65
1 周	345.8±18.54	287.2±13.53 ^{##}	284.5±8.85	306.4±7.65 [*]
4 周	365.3±13.68	265.7±18.10 ^{##}	301.7±17.66 ^{**}	304.5±18.87 ^{**}
6 周	372.0±15.42	262.7±11.43 ^{##}	295.0±11.52 ^{**}	307.7±15.33 ^{**}
8 周	378.3±16.14	250.7±5.16 ^{##}	293.7±10.49 ^{**}	316.3±11.47 ^{**}

[†] 与正常组比较,##为差异极显著($P<0.01$);与模型组比较,^{*}为差异显著($P<0.05$),^{**}为差异极显著($P<0.01$)。

2.5.2 各组大鼠血液生化指标变化 由表 8 可知,与正常组比较,模型组大鼠血清中 TC、TG、LDL-C 含量显著增加,HDL-C 含量显著下降($P<0.01$);与模型组比较,缩脾饮组大鼠血清中 TC、LDL-C 含量明显下降($P<0.01$),TG

表 6 各组大鼠摄食量变化[†]
Table 6 Changes in food intake in rats from each group g/kg

组别	空白组	模型组	缩脾饮组	二甲双胍组
造模完成	52.6±10.93	75.7±11.03 ^{##}	74.4±13.12 ^{**}	78.6±15.65 ^{**}
1 周	64.1±7.24	70.5±11.64	57.0±6.97	82.0±7.90 [*]
4 周	75.3±9.87	78.3±9.36	69.7±6.75	80.3±9.52
6 周	83.4±8.44	87.7±14.42	74.3±9.84	91.7±10.44
8 周	90.7±11.53	83.3±7.55	80.2±8.23	88.5±11.73

[†] 与正常组比较,##为差异极显著($P<0.01$);与模型组比较,^{*}为差异显著($P<0.05$),^{**}为差异极显著($P<0.01$)。

含量也有所降低($P<0.05$),HDL-C 含量有升高趋势,但无统计学差异;二甲双胍组大鼠血清中 TC、TG、LDL-C 含量显著下降($P<0.01$),HDL-C 含量显著升高($P<0.05$)。综上,缩脾饮提取物可以调节糖尿病大鼠血脂水平,其效果主要表现在降低 TC 和 LDL-C 水平方面。

2.5.3 血清氧化应激水平测定 由表 9 可知,模型组大鼠血清超氧化物歧化酶(SOD)水平下降,丙二醛(MDA)水平升高,且与正常组大鼠比较具有极显著差异($P<0.01$)。与模型组相比,缩脾饮组大鼠经 8 周干预后血清中 SOD 活性明显升高,MDA 水平降低($P<0.05$),说明缩脾饮提取物能够增强糖尿病大鼠抗氧化能力,降低氧化损伤水平。

2.5.4 各组大鼠肝脏组织 HE 染色 由图 7 可知,正常组大鼠肝小叶结构清晰且肝细胞形态完整,排列整齐、呈放射状。模型组大鼠肝组织结构异常,肝索不清晰、肝细胞排列紊乱且不规则,脂肪空泡增加。与模型组相比,缩脾饮组和大鼠肝组织病变情况均减轻,肝细胞结构完整有序,但缩脾饮组大鼠肝细胞仍可见部分脂肪空泡。综上,缩脾饮提取物可改善糖尿病大鼠肝脏损伤。

表 7 各组大鼠饮水量变化[†]
Table 7 Changes in water intake in rats from each group mL/kg

组别	造模完成	1 周	4 周	6 周	8 周
空白组	103.8±9.76	108.4±10.55	105.3±8.11	110.0±11.40	107.7±10.86
模型组	133.0±9.94 ^{##}	143.3±11.26 ^{##}	139.7±8.84 ^{##}	145.3±9.63 ^{##}	156.8±10.76 ^{##}
缩脾饮组	136.2±12.47	141.8±10.70	137.0±11.55	135.7±9.32	134.4±10.35 ^{**}
二甲双胍组	131.3±9.53	137.3±11.66	130.4±10.19	133.8±12.34	129.2±9.87 ^{**}

[†] 与正常组比较,##为差异极显著($P<0.01$);与模型组比较,**为差异极显著($P<0.01$)。

表 8 各组大鼠 TC、TG、LDL-C 和 HDL-C 变化情况[†]
Table 8 Changes of TC, TG, LDL-C, and HDL-C in rats from each group mmol/L

组别	TC	TG	LDL-C	HDL-C
正常组	1.89±0.08	0.61±0.07	0.47±0.09	1.14±0.09
模型组	6.01±0.18 ^{##}	1.84±0.10 ^{##}	1.34±0.08 ^{##}	0.58±0.06 ^{##}
缩脾饮组	5.25±0.09 ^{**}	1.48±0.08 [*]	0.94±0.12 ^{**}	0.62±0.13
二甲双胍组	4.10±0.14 ^{**}	1.24±0.17 ^{**}	0.73±0.14 ^{**}	0.87±0.09 [*]

[†] 与正常组比较,##为差异极显著($P<0.01$);与模型组比较,*为差异显著($P<0.05$),**为差异极显著($P<0.01$)。

表 9 各组大鼠超氧化物歧化酶、丙二醛变化情况[†]
Table 9 Changes of SOD and MDA in rats from each group

组别	SOD/(U·mL ⁻¹)	MDA/(nmol·mL ⁻¹)
正常组	184.09±13.33	5.38±0.44
模型组	97.36±14.84 ^{##}	11.92±1.04 ^{##}
缩脾饮组	135.75±9.41 [*]	8.70±1.40 [*]
二甲双胍组	155.58±7.94 ^{**}	6.75±1.33 ^{**}

[†] 与正常组比较,##为差异极显著($P<0.01$);与模型组比较,*为差异显著($P<0.05$),**为差异极显著($P<0.01$)。

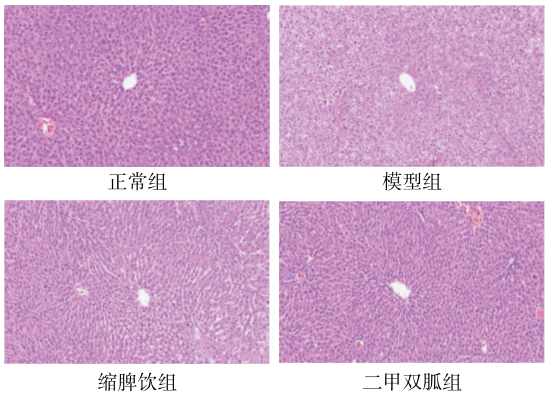


图 7 各组大鼠肝脏组织形态变化

Figure 7 Morphological changes of liver tissue in each group (100×)

3 结论

缩脾饮在最佳提取工艺下,总黄酮、总多糖含量显著

提高。缩脾饮提取物能有效清除 DPPH 自由基、ABTS 自由基和 OH 自由基,表现出较强的体外抗氧化活性,从而帮助机体减少氧化伤害,防止器官与功能老化。该提取物可以降低糖尿病大鼠血清丙二醛水平,升高超氧化物歧化酶水平,表明其可以通过抑制脂质过氧化反应和增强抗氧化酶系统两种机制共同发挥抗氧化作用。此外,该提取物对 α -葡萄糖苷酶和 α -淀粉酶均有一定的抑制作用,能有效降低糖尿病大鼠空腹血糖并减轻糖尿病症状。后续应深入挖掘缩脾饮功能性成分及作用机制,并在中医药理论的指导下有针对性地开发缩脾饮系列产品。

参考文献

[1] 黄璐琦,何春年,马培,等.我国药食两用物品产业发展战略思考[J].中国工程科学,2022,24(6):81-87.
HUANG L Q, HE C N, MA P, et al. Strategic thinking on the development of food-medicine industry[J]. Strategic Study of CAE, 2022, 24(6): 81-87.
[2] LV Y N, LI J X, LI Y, et al. Unveiling the potential mechanisms of Amomi fructus against gastric ulcers *via* integrating network pharmacology and *in vivo* experiments[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2024, 319: 117179.
[3] ZHANG T, LU S H, BI Q, et al. Volatile oil from amomi fructus attenuates 5-fluorouracil-induced intestinal mucositis[J]. Frontiers in Pharmacology, 2017, 8: 786.
[4] KIM Y S, KIM H R, ANTONISAMY P, et al. Amomum villosum Lour. Fruit extract mitigates hyperlipidemia through SREBP-2/LDLR/HMGCR signaling in high-cholesterol diet-fed mice[J]. Journal of King Saud University - Science, 2022, 34 (7): 102230.
[5] KIM H R, PAULRAYER A, KWON Y G, et al. Acute effects of Amomum villosum Lour. fruit extract on postprandial glycemia and insulin secretion: a single-blind, placebo-controlled, crossover study in healthy subjects[J]. Saudi Journal of Biological Sciences, 2020, 27(11): 2 968-2 971.
[6] LUO W, TAPPI S, WANG C F, et al. Effect of high hydrostatic pressure (HHP) on the antioxidant and volatile properties of candied Wumei fruit (*Prunus mume*) during osmotic dehydration [J]. Food and Bioprocess Technology, 2019, 12(1): 98-109.
[7] SUN C, XIAO K Y, HE Y X, et al. Common mechanisms of

- Wumei pills in treating ulcerative colitis and type 2 diabetes: exploring an integrative approach through network pharmacology[J]. *Medicine*, 2024, 103(4): e37094.
- [8] MEI L, WANG F, YANG M, et al. Studies on the mechanism of the volatile oils from Caoguo-4 decoction in regulating spleen deficiency diarrhea by adjusting intestinal microbiota[J]. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2022, 2022: 5559151.
- [9] XIE L B, YU D, LI Y N, et al. Characterization, hypoglycemic activity, and antioxidant activity of methanol extracts from *Amomum tsao-ko*: *in vitro* and *in vivo* studies[J]. *Frontiers in Nutrition*, 2022, 9: 869749.
- [10] LIU L J, ZHAO Y M, MING J, et al. Polyphenol extract and essential oil of *Amomum tsao-ko* equally alleviate hypercholesterolemia and modulate gut microbiota[J]. *Food & Function*, 2021, 12(23): 12 008-12 021.
- [11] YU X M, BAO Y R, MENG X S, et al. Multi-pathway integrated adjustment mechanism of licorice flavonoids presenting anti-inflammatory activity[J]. *Oncology Letters*, 2019, 18(5): 4 956-4 963.
- [12] 张光辉, 张拴, 靳如意, 等. 甘草黄酮的提取工艺优化、含量测定及体外抗氧化活性研究[J]. *化学与生物工程*, 2020, 37(8): 17-21.
- ZHANG G H, ZHANG S, JIN R Y, et al. Extraction process optimization, content determination, and *in vitro* antioxidant activity of licoflavone[J]. *Chemistry & Bioengineering*, 2020, 37(8): 17-21.
- [13] XU L, JOIS S, CUI H L. Metformin and Gegen Qinlian Decoction boost islet α -cell proliferation of the STZ induced diabetic rats[J]. *BMC Complementary Medicine and Therapies*, 2022, 22(1): 193.
- [14] 王秋丹, 赵凯迪, 林长青. 葛根多糖抗氧化性及其降血糖作用研究[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(5): 381-388.
- WANG Q D, ZHAO K D, LIN C Q. Study on antioxidant properties of pueraria Lobata polysaccharides and its hypoglycemic effect[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(5): 381-388.
- [15] WU M J, ZHANG Q, YI D, et al. Quantitative proteomic analysis reveals antiviral and anti-inflammatory effects of puerarin in piglets infected with porcine epidemic diarrhea virus[J]. *Frontiers in Immunology*, 2020, 11: 169.
- [16] 岳奕含, 严铭铭, 邵帅, 等. 葛根蛋白酶解物大孔树脂吸附工艺优化及其体外抗氧化活性研究[J]. *食品与机械*, 2024, 40(1): 167-174.
- YUE Y H, YAN M M, SHAO S, et al. Optimization of macroporous resin adsorption process of enzymatic hydrolysis of Pueraria protein and its antioxidant activity *in vitro* by response surface method[J]. *Food & Machinery*, 2024, 40(1): 167-174.
- [17] FANG L Z, ZHENG Q F, HAN J. Research on saponin active compounds of Tuchao Baibiandouren for the treatment of type-2 diabetes based on UHPLC-Q-Exactive Orbitrap MS and network pharmacology[J]. *Digital Chinese Medicine*, 2021, 4(1): 19-31.
- [18] 付王威. 白扁豆多糖对II型糖尿病大鼠的降血糖作用及其机制初探[D]. 南昌: 南昌大学, 2021.
- FU W W. Hypoglycemic effect and mechanism of white hyacinth bean polysaccharide in type II diabetic rats[D]. Nanchang: Nanchang University, 2021.
- [19] ZHANG M, SHUAI X X, WEI Z, et al. Characterization, antioxidant and antitumor activities of phenolic compounds from *Amomum villosum* Lour[J]. *Frontiers in Nutrition*, 2024, 11: 1327164.
- [20] 曹田欣, 闫小娟, 张海悦. 乌梅多糖提取工艺、理化性质及其体外功能活性[J]. *食品研究与开发*, 2024, 45(24): 101-110.
- CAO T X, YAN X J, ZHANG H Y. Extraction process, physicochemical properties, and *in vitro* functional activity of polysaccharide from fructus mume[J]. *Food Research and Development*, 2024, 45(24): 101-110.
- [21] 谢瑞强, 王长福. 炙甘草化学成分和药理作用研究进展[J]. *中医药信息*, 2023, 40(4): 84-89.
- XIE R Q, WANG C F. Research progress on chemical constituents and pharmacological effects of prepared glycyrrhiza[J]. *Information on Traditional Chinese Medicine*, 2023, 40(4): 84-89.
- [22] WANG Z J, DU H, PENG W Q, et al. Efficacy and mechanism of *Pueraria lobata* and *Pueraria thomsonii* polysaccharides in the treatment of type 2 diabetes[J]. *Nutrients*, 2022, 14(19): 3 926.
- [23] SHU G W, HE Y X, LEI N, et al. Cellulase-assisted extraction of polysaccharides from white hyacinth bean: characterization of antioxidant activity and promotion for probiotics proliferation[J]. *Molecules*, 2017, 22(10): 1 764.
- [24] LV S, ZHU Z B, XIAO H. Flavonoids and their metal complexes as potential agents for diabetes mellitus with future perspectives[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2025, 65(30): 7 170-7 200.
- [25] SARIAN M N, AHMED Q U, MAT SO'AD S Z, et al. Antioxidant and antidiabetic effects of flavonoids: a structure-activity relationship based study[J]. *BioMed Research International*, 2017, 2 017(1): 8386065.
- [26] CHAKRABORTY I, SEN I K, MONDAL S, et al. Bioactive polysaccharides from natural sources: a review on the antitumor and immunomodulating activities[J]. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 2019, 22: 101425.
- [27] BAI L, XU D, ZHOU Y M, et al. Antioxidant activities of natural polysaccharides and their derivatives for biomedical and medicinal applications[J]. *Antioxidants*, 2022, 11(12): 2 491.
- [28] 戴昊昕, 杨大伟. 显齿蛇葡萄叶提取物黄酮化合物鉴定及抗

- 氧化活性研究[J]. 食品与机械, 2026, 42(1): 139-144.
- DAI H X, YANG D W. Flavonoid identification and antioxidant activity of *Ampelopsis grossedentata* leaf extract [J]. Food & Machinery, 2026, 42(1): 139-144.
- [29] 王欣, 刘雨默, 郝静, 等. 金花葵花黄酮超声辅助提取工艺优化及性能[J]. 精细化工, 2024, 41(6): 1 310-1 317.
- WANG X, LIU Y M, HAO J, et al. Ultrasonic-assisted extraction process optimization and properties of *Hibiscus manihot* L. flower[J]. Fine Chemicals, 2024, 41(6): 1 310-1 317.
- [30] BOUTERFAS K, MEHDADI Z, ELAOUFI M M, et al. Antioxidant activity and total phenolic and flavonoids content variations of leaves extracts of white Horehound (*Marrubium vulgare* Linné) from three geographical origins[J]. Annales Pharmaceutiques Françaises, 2016, 74(6): 453-462.
- [31] 周香辉, 莫晓宁, 凌楠, 等. 广西产‘桂桑优’桑叶不同溶剂提取物的抗氧化及降糖活性分析[J]. 食品科技, 2022, 47(12): 193-199.
- ZHOU X H, MO X N, LING N, et al. Analysis of antioxidant and hypoglycemic activities of different solvent extracts from Guangxi ‘Gui Sangyou’ mulberry leaf[J]. Food Science and Technology, 2022, 47(12): 193-199.
- [32] 伦麒景, 罗珮妍. 苯酚硫酸法与硫酸蒽酮法测定灵芝孢子粉中灵芝多糖含量的比较[J]. 食品安全导刊, 2024(14): 89-91, 95.
- LUN Q J, LUO P Y. Comparison of phenol-sulfuric acid method and anthrone sulfate method for determining the content of *ganoderma lucidum* polysaccharides in *ganoderma lucidum* spore[J]. China Food Safety Magazine, 2024(14): 89-91, 95.
- [33] CHANG S S, LEI X, XIE Q, et al. *In vitro* study on antioxidant and lipid-lowering activities of tobacco polysaccharides[J]. Bioresources and Bioprocessing, 2024, 11 (1): 15.
- [34] LI X J, CHEN Q, LIU G K, et al. Chemical elucidation of an Arabinogalactan from rhizome of *Polygonatum sibiricum* with antioxidant activities[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2021, 190: 730-738.
- [35] ABUDUWAILI A, NUERXIATI R, MUTAILIFU P, et al. Isolation, structural modification, characterization, and bioactivity of polysaccharides from *Folium Isatidis*[J]. Industrial Crops and Products, 2022, 176: 114319.
- [36] CAO M, CAO Z, TIAN J J, et al. Structural characterization and *in vitro* antioxidant activity of a novel polysaccharide from summer-autumn tea[J]. Foods, 2024, 13(6): 821.
- [37] CHEN F, HUANG G L, YANG Z Y, et al. Antioxidant activity of *Momordica charantia* polysaccharide and its derivatives[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 138: 673-680.
- [38] 钟晓瑜, 杨志伟. 二氢杨梅素与马铃薯淀粉的相互作用及抗氧化性的研究[J]. 食品研究与开发, 2024, 45(8): 71-77.
- ZHONG X Y, YANG Z W. Study on the interaction and antioxidation of dihydromyricetin with potato starch[J]. Food Research and Development, 2024, 45(8): 71-77.
- [39] SANTOS C M M, PROENÇA C, FREITAS M, et al. Inhibition of the carbohydrate-hydrolyzing enzymes α -amylase and α -glucosidase by hydroxylated xanthenes[J]. Food & Function, 2022, 13(14): 7 930-7 941.
- [40] KOWALSKI R, GONZALEZ DE MEJIA E. Phenolic composition, antioxidant capacity and physical characterization of ten blackcurrant (*Ribes nigrum*) cultivars, their juices, and the inhibition of type 2 diabetes and inflammation biochemical markers[J]. Food Chemistry, 2021, 359: 129889.
- [41] 孙楠. 绿豆皮膳食纤维中结合多酚的纯化制备、抗氧化活性及 α -淀粉酶抑制机理的研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2024.
- SUN N. Purification, antioxidant activity and α -amylase inhibition mechanism of bound polyphenols from mung bean coat dietary fiber[D]. Nanchang: Nanchang University, 2024.
- [42] ZAHARUDIN N, SALMEÁN A A, DRAGSTED L O. Inhibitory effects of edible seaweeds, polyphenolics and alginates on the activities of porcine pancreatic α -amylase[J]. Food Chemistry, 2018, 245: 1 196-1 203.
- [43] BRAUNY M M, MAIER L. Gut bacteria thwart the blood sugar-lowering effect of acarbose[J]. Nature Metabolism, 2023, 5(5): 732-734.