

紫苏叶提取物对 1 型糖尿病小鼠降血糖作用

Hypoglycemic effect of perilla leaf extract on type 1 diabetic mice

齐 欣¹ 路欣彤² 林长青³ 崔承弼^{1,2}

QI Xin¹ LU Xin-tong² LIN Chang-qing³ CUI Cheng-bi^{1,2}

(1. 延边大学药学院, 吉林 延吉 133000; 2. 延边大学农学院, 吉林 延吉 133000;

3. 延边大学医学院中医系, 吉林 延吉 133000)

(1. School of Pharmacy, Yanbian University, Yanji, Jilin 133000, China; 2. College of Agriculture, Yanbian University, Yanji, Jilin 133000, China; 3. Department of Traditional Chinese Medicine, School of Medicine, Yanbian University, Yanji, Jilin 133000, China)

摘要:目的:探究紫苏叶提取物对 1 型糖尿病小鼠降血糖的作用。方法:采用链脲佐菌素(STZ)诱导建立 1 型糖尿病(T1DM)小鼠模型,设置正常组、模型组、紫苏叶提取物高剂量组(400 mg/kg)、紫苏叶提取物低剂量组(200 mg/kg)、阳性组(150 mg/kg),试验期间记录小鼠摄食量和饮水量,每周测定 T1DM 小鼠空腹血糖值(FBG),灌胃第 28 天时测定糖耐量水平(OGTT),随后进行眼球取血,解剖后取心、肝、脾、肺、肾测定脏器系数,测定总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)、糖化血红蛋白(GHb)、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、丙二醛(MDA)相关指标。结果:与模型组相比,经紫苏叶提取物治疗后的 T1DM 小鼠的摄食量和饮水量有所下降,食物效价显著提高($P < 0.05$),FBG 显著降低($P < 0.05$),TC、TG、GHb、MDA 水平也显著降低($P < 0.05$),SOD、CAT 显著增加($P < 0.05$)。结论:紫苏叶提取物能够对 1 型糖尿病小鼠起到降血糖作用。

关键词:紫苏叶;提取物;1 型糖尿病;降血糖

Abstract: Objective: This study focuses on exploring the effect of perilla leaf extract on hypoglycemic in type 1 diabetic mice. Methods: Streptozotocin (STZ) was used to induce the establishment of type 1 diabetes (T1DM) mouse model, and then the normal group, model group, perilla leaf extract high-dose group (400 mg/kg), perilla leaf extract low-dose group (200 mg/kg), positive group (150 mg/kg) were investigated. During the test,

the food intake and water consumption of the mice were recorded, and the fasting blood glucose (FBG) of T1DM mice was measured every week, and the glucose tolerance level (OGTT) was measured on the 28th day of gavage. Blood is taken from the eyeball later, the heart, liver, spleen, lung, and kidney are taken after dissection to determine the organ coefficient. Determination of total cholesterol (TC), triglycerides (TG), glycosylated hemoglobin (GHb), superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), malondialdehyde (MDA) related indicators. Results: The results showed that compared with the model group, the food intake and water intake of T1DM mice treated with perilla leaf extract decreased, food titers increased significantly ($P < 0.05$), and the FBG of T1DM mice treated with perilla leaf extract decreased significantly ($P < 0.05$), the levels of TC, TG, and MDA were also significantly reduced ($P < 0.05$), SOD, CAT significantly increased ($P < 0.05$). Conclusion: The perilla leaf extract can hypoglycemic in type 1 diabetic mice.

Keywords: perilla leaf; extract; type 1 diabetes; hypoglycemic

基金项目:吉林省重点科技攻关项目(编号:20170204023YY)

作者简介:齐欣,女,延边大学药学院在读博士研究生。

通信作者:崔承弼(1968—),男,延边大学农学院教授,博士生导师,博士。E-mail: cuichengbi@ybu.edu.cn

林长青(1970—),男,延边大学医学院副教授,研究生导师,博士。E-mail: lincq0608@163.com

收稿日期:2021-05-14

糖尿病已成为危害人类健康的隐形杀手,其病因主要是由于体内胰岛细胞受损不能正常分泌胰岛素或体内产生了胰岛素抵抗,糖尿病的发生多会伴随许多并发症的产生,对身体各个器官均有不同程度损害。据报道^[1],在未来的 10~20 年中,全球糖尿病患者数量将达到现在的 1.5~2.0 倍,呈加速增长的趋势。糖尿病分为 4 种类型,其中 1 型糖尿病和 2 型糖尿病患者人群居多,1 型糖尿病是由于体内胰岛 β 细胞受损,不能正常分泌胰岛素,导致胰岛素和胰高血糖素比例失衡,使机体维持在较高的血糖水平的一种自身免疫性疾病^[2]。

紫苏[*Perilla frutescens* (L.) Britt.]为唇形目、唇形科、紫苏属一年生草本植物,其茎、叶、种子皆可入药及食用。紫苏叶的有效化学成分包括酚酸类^[3]、类黄酮类^[4]、

挥发油等^[5],具有抗菌^[6]、抗肿瘤^[7]、抗炎症^[8]、抗氧化^[9]、调节机体免疫^[10]、降血糖等多种功能^[11],可应用于食用、药用以及其他行业。

目前对于降血糖以及紫苏的有效成分的研究颇多,但紫苏降血糖方面的研究目前仅在细胞层面有过报道^[12],而紫苏叶提取物的动物降血糖方面研究还属空白。试验拟以紫苏叶为试验材料,研究其提取物对于 1 型糖尿病小鼠(T1DM)的降血糖作用,及对相关指标的影响情况,旨在为紫苏叶的进一步开发和利用研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验动物

试验动物:体重为 20~30 g 的清洁级雄性昆明种小鼠,延边大学动物实验中心。于适宜条件饲养,饲养温度 25℃,湿度 50%~70%,适应性喂养 7 d 后进行后续试验。动物试验得到了延边大学试验动物伦理委员会批准。

1.2 试验材料与仪器

1.2.1 试验材料

紫苏叶:市售;

盐酸二甲双胍片:北京万辉双鹤药业有限责任公司;

链脲佐菌素(STZ):美国 Sigma 公司;

总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)、糖化血红蛋白(GHb)、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、丙二醛(MDA)试剂盒:江苏南京建城生物工程研究所。

1.2.2 试验仪器

血糖仪:AG-605 型,天津九安医疗电子股份有限公司;

电子天平:Scout SE-SE202F 型,奥豪斯仪器常州有限公司;

酶标仪:BK-EL10C 型,山东博科生物产业有限公司;

离心机:TG16A-WS 型,上海卢湘仪器有限公司;

电热恒温水浴锅:HWS-24 型,上海一恒科学仪器有限公司;

台式离心机:TDZ5-WS 型,湖南湘仪试验室仪器开发有限公司。

1.3 紫苏叶提取物的制备

将新鲜紫苏叶烘干至恒重,粉碎过 60 目筛,称取紫苏叶粉末,按料液比 1:30 (g/mL)加入 70%乙醇,60℃水浴 1 h,3 000 r/min 离心 10 min,提取 3 次,合并 3 次提取液,将提取液进行抽滤,减压蒸馏浓缩,冻干成粉,即为紫苏叶提取物,4℃保存备用^[13]。

1.4 T1DM 小鼠模型的建立

适应性喂养结束后,随机选取 10 只作为空白对照组,测定所有小鼠试验初始血糖值,另外 40 只以 50 mg/kg·BW 剂量进行腹腔注射 STZ,建立 T1DM 小

鼠模型,STZ 注射 72 h 后,隔夜禁食,进行 FBG 的测定,造模成功的标准为 FBG 高于 11.1 mmol/L。将造模成功小鼠随机分为 4 组,每组 10 只。剂量参照预试验中摸索的剂量进行设定。造模 2 周后对小鼠进行为期 4 周的灌胃,每周记录所有小鼠的体重和 FBG。组别和灌胃物如表 1 所示。

表 1 试验分组及灌胃物
Table 1 Test group and gavage

组别	灌胃物	剂量/(mg·kg ⁻¹)
空白对照组	蒸馏水	—
模型组	蒸馏水	—
紫苏叶提取物高剂量组	紫苏叶提取物	400
紫苏叶提取物低剂量组	紫苏叶提取物	200
阳性组	二甲双胍	150

1.5 糖尿病小鼠的各项指标测定

1.5.1 体重和空腹血糖值(FBG) 体重采用称重法,FBG 的测定,对小鼠禁食 8 d,禁食不禁水,取尾静脉血进行测定。

1.5.2 糖耐量水平(OGTT) 在最后一次给药后,隔夜禁食,灌胃浓度为 100 mg/mL 葡萄糖,每 10 g 体重灌胃 0.1 mL 葡萄糖,分别在灌胃后 0,30,60,90 min 时测定小鼠血糖水平并记录。

1.6 糖尿病小鼠血清基础指标测定

1.6.1 TG 和 TC 取血清,依次按试剂盒说明书加入蒸馏水、校准品、样本、工作液,混匀后,37℃孵育 10 min,于 510 nm 处测定各孔吸光值并记录。

1.6.2 GHb、SOD、CAT 和 MDA 按试剂盒说明书进行操作。

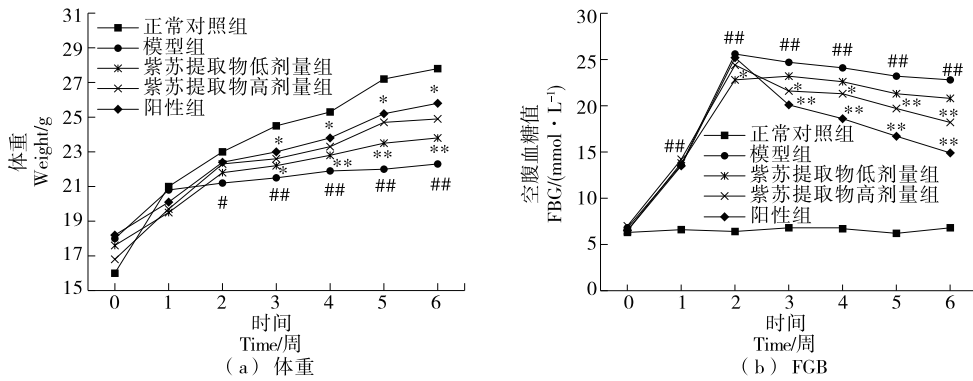
1.7 统计分析

使用 SPSS 22.0 对试验数据进行统计学分析,并用平均值±标准偏差表示。试验数据采用单因素方差分析法进行组间比较。 $P<0.05$ 表示具有显著性差异, $P>0.05$ 表示无统计学意义。

2 结果与分析

2.1 对 T1DM 小鼠体重和 FBG 的影响

由图 1 可知,试验组中 T1DM 小鼠的体重均显著低于正常组($P<0.05$),经紫苏叶提取物治疗后的 T1DM 小鼠可以有效缓解体重下降,并接近阳性组。灌胃 4 周后,经紫苏叶提取物治疗后的 T1DM 小鼠的 FBG 较模型组比较显著降低($P<0.05$)。已有研究^[12]指出,紫苏叶提取物在细胞层面显示出降血糖活性。试验中,经紫苏叶提取物不同剂量组治疗后能够缓解体重的下降,降低 T1DM 小鼠的 FBG,且与阳性药物二甲双胍组有相似的治疗效果,说明紫苏叶提取物可以有效治疗 T1DM 小鼠。



#与正常组相比差异显著($P<0.05$),##与正常组相比差异极显著($P<0.01$);*与模型组相比差异显著($P<0.05$),**与模型组相比差异极显著($P<0.01$)

图1 紫苏叶提取物对T1DM小鼠体重、FGB的影响

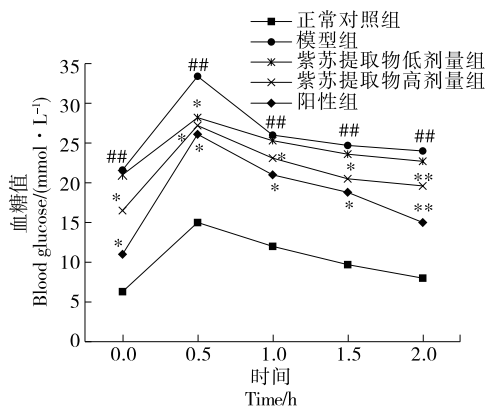
Figure 1 Effect of perilla extract on body weight, FGB in T1DM mice

2.2 对T1DM小鼠OGTT水平的影响

由图2可知,试验组灌胃葡萄糖后0,30,60,90 min时小鼠的血糖水平均显著高于正常组($P<0.05$),经紫苏叶提取物处理的小鼠血糖水平在30 min后低于模型组,且高剂量组最为显著,与阳性组显示出有相似的治疗效果。灌胃葡萄糖30 min后,血糖升高到一定值,经紫苏叶提取物治疗后的T1DM小鼠对血糖的调节能力有所升高,因此在60,90,120 min时血糖值下降得较为显著。由此可知,紫苏叶提取物能够调节T1DM小鼠的OGTT水平。

2.3 对T1DM小鼠摄食量、饮水量、食物效价的影响

由图3可知,模型组小鼠摄食量和饮水量均显著高于正常组($P<0.05$),经紫苏叶提取物治疗后的T1DM小鼠摄食量和饮水量均显著低于模型组($P<0.05$),模型组T1DM小鼠食物效价极显著低于正常组($P<0.01$),经紫苏叶提取物治疗后的T1DM小鼠食物效价显著高于模型组($P<0.05$)。这可能是由于经紫苏叶提取物治疗后,小鼠糖尿病“三多一少”的症状得以改善,对食物的消化吸



#与正常组相比差异显著($P<0.05$),##与正常组相比差异极显著($P<0.01$);*与模型组相比差异显著($P<0.05$),**与模型组相比差异极显著($P<0.01$)

图2 紫苏叶提取物对OGTT水平的影响

Figure 2 Effects of perilla extract on OGTT level

收程度有所提高。说明紫苏叶提取物能够有效地改善小鼠食物效价。在其他研究^[14]中显示经紫苏叶多糖治疗后,与正常组比较,模型组小鼠行动迟缓,饲料消耗量和饮水量增多,体质量显著增加,与试验结果一致。

2.4 对T1DM小鼠脏器系数的影响

由表2可知,所有组别之间小鼠脾脏脏器系数不存在显著性差异,而模型组心、肝、肾的脏器系数均显著高于正常组($P<0.05$),试验组经紫苏叶提取物治疗后的肝、肾的脏器系数显著下降($P<0.05$),且高剂量组效果更好。糖尿病会引发肝肾肿大,而经治疗后会有效改善肝肾肿大的情况。孙广平等^[15]表明紫苏叶多糖能够改善2型糖尿病大鼠肝损伤的情况,对肝脏有保护作用。由此可见,紫苏叶提取物能够改善T1DM小鼠脏器系数,减少糖尿病对脏器的损伤。这与程琳杰等^[16]的研究结果一致,该研究证实了茉莉紫苏复合浓缩液对高血糖引起的脏器损伤具有一定的保护作用。

2.5 对T1DM小鼠血清中TC、TG水平的影响

由图4可知,正常组小鼠的TC、TG水平在4.80,0.65 mmol/L,模型组小鼠TC、TG水平显著升高($P<0.05$),紫苏叶提取物高剂量组TC、TG值降低到5.70,0.92 mmol/L,与阳性组有相似的治疗效果。T1DM小鼠出现异常脂代谢情况会使血清中TC、TG浓度增加,其原因可能是T1DM小鼠机体内胰岛 β 细胞被破坏,不能正常分泌胰岛素,导致体内对葡萄糖的吸收转化失调,使脂肪分解成大量的游离脂肪酸(FFA),组织吸收脂肪酸的能力降低,无法通过主动运输运送到组织当中,FFA大量释放到血液和肝脏中,导致血清中TC、TG含量增多。试验中,经紫苏叶提取物治疗后T1DM小鼠体内TC、TG的水平得到了明显改善,说明紫苏叶提取物具有改善T1DM小鼠体内TC、TG的作用。

2.6 对T1DM小鼠血清中GHb、SOD、CAT和MDA水平的影响

糖化血红蛋白是人体血液中红细胞内的血红蛋白与

血糖结合的产物,血糖测试结果反映的是即刻的血糖水平,而糖化血红蛋白测试通常可以反映患者近 8~12 周的血糖控制情况。SOD 是氧自由基的自然天敌,是机体内氧自由基的头号杀手,CAT 的主要作用就是催化

H_2O_2 分解为 H_2O 与 O_2 ,使得 H_2O_2 不致于与 O_2 在铁螯合物作用下反应生成 $\cdot\text{OH}$,自由基作用于脂质发生过氧化反应,氧化终产物为丙二醛,会引起蛋白质、核酸等生命大分子的交联聚合,且具有细胞毒性。因此,机体内

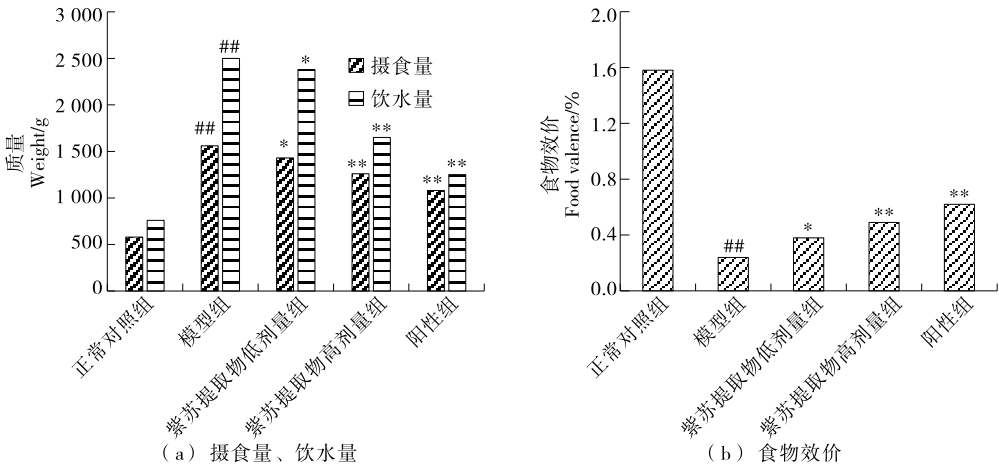


图 3 紫苏叶提取物对 T1DM 小鼠摄食量、饮水量、食物效价的影响
Figure 3 The effect of perilla extract on food intake, water intake and food titer in T1DM mice

表 2 紫苏叶提取物对 T1DM 小鼠脏器系数的影响[†]

Table 2 The effect of perilla extract on organ coefficient of T1DM mice

组别	心脏	肝脏	脾脏	肾脏
正常对照组	0.75±0.05	4.43±0.11	0.39±0.03	1.58±0.13
模型组	0.93±0.09#	6.25±0.08#	0.41±0.02	2.14±0.12#
紫苏叶提取物低剂量组	0.82±0.05*	6.20±0.14	0.39±0.05	2.09±0.07
紫苏叶提取物高剂量组	0.79±0.04*	5.89±0.15*	0.40±0.02	1.66±0.04*
阳性组	0.78±0.03*	5.71±0.06*	0.38±0.04	1.61±0.02*

[†] # 与正常组相比差异显著 ($P<0.05$); * 与模型组相比差异显著 ($P<0.05$)。

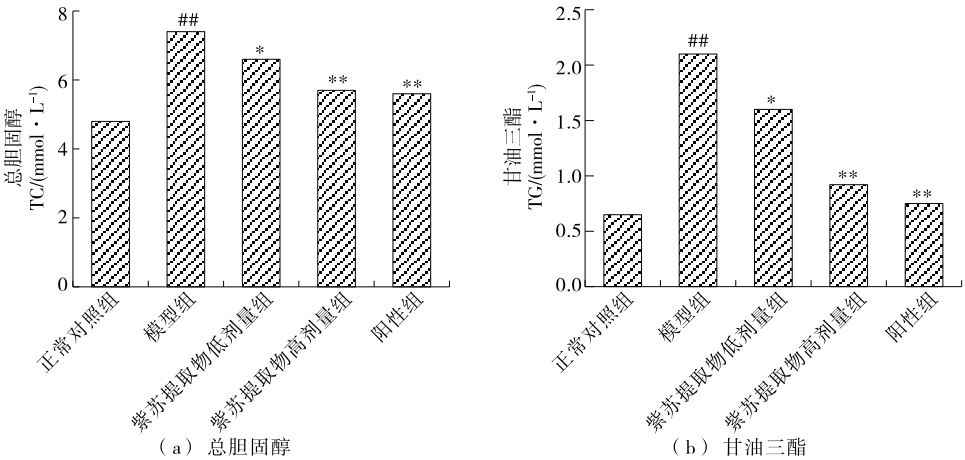
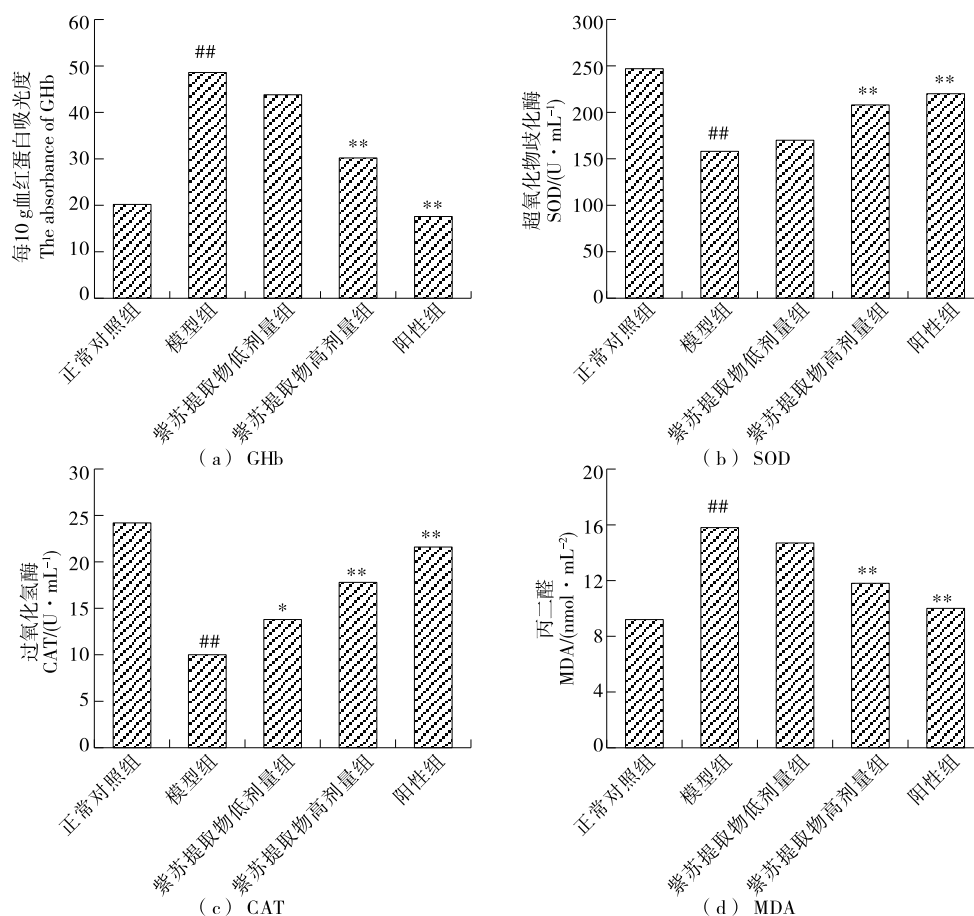


图 4 紫苏叶提取物对 T1DM 小鼠 TC、TG 水平的影响
Figure 4 Effects of perilla extract on serum lipid profiles TC, TG level in T1DM mice

SOD、CAT 以及 MDA 的水平能够反映出机体内氧化损伤程度。由图 5 可知,正常对照组的小鼠每 10 g 血红蛋白吸光度为 20.2,模型组中糖化血红蛋白含量显著增加,经紫苏叶提取物治疗后能够显著降低其水平($P<0.05$),与正常对照组相比,模型组小鼠血清中的 SOD、CAT 水平显著降低($P<0.05$),经紫苏叶提取物治疗后能够提高 SOD 和 CAT 水平,而模型组小鼠的 MDA 水平达到

15.8 nmol/mL,显著高于正常组($P<0.05$),经紫苏叶提取物治疗后可降低其水平。紫苏叶提取物作用于体内后,能够提高体内清除代谢过程中产生的有害物质的能力,减轻脂质过氧化反应的发生。说明紫苏叶提取物能够改善 T1DM 小鼠体内 GHb、SOD、CAT 和 MDA 的水平。在闫爽等^[17]的研究中也证实了经治疗后的糖尿病大鼠体内各种氧化酶的水平会有所改善,与试验结果一致。



#与正常组相比差异显著($P<0.05$),##与正常组相比差异极显著($P<0.01$);*与模型组相比差异显著($P<0.05$),**与模型组相比差异极显著($P<0.01$)

图 5 紫苏叶提取物对 T1DM 小鼠 GHb、SOD、CAT 和 MDA 水平的影响

Figure 5 Effects of perilla extract on GHb, SOD, CAT and MDA levels in T1DM mice

3 结论

紫苏叶提取物能够改善 T1DM 小鼠体内糖尿病相关指标的水平,在动物水平具有显著的降血糖作用。但该试验仅对紫苏叶粗提物以及 T1DM 小鼠的基础指标进行了研究,后续将分离紫苏叶单体,明确起降血糖作用的主要活性成分,并对其在酶活性以及细胞水平对其降血糖作用机制进行进一步深入探讨。

参考文献

[1] 国际糖尿病联盟. IDF 糖尿病图谱[EB/OL]. (2019-11-14)[2019-

11-15]. <https://diabetesatlas.org/en/>.

International Diabetes Federation. IDF diabetes atlas [EB/OL]. (2019-11-14)[2019-11-15]. <https://diabetesatlas.org/en/>.

[2] 郑朝安. 1 型糖尿病的发病机制[J]. 国际儿科学杂志, 2020(4): 274-278.

ZHENG Chao-an. Pathogenesis of type 1 diabetes[J]. International Journal of Pediatrics, 2020(4): 274-278.

[3] 落艳娇, 郭佳琪, 李卫萍, 等. 紫苏叶不同栽培年份和采收期 8 种酚类成分含量研究[J]. 中国中药杂志, 2021, 46(3): 567-574.

LUO Yan-jiao, GUO Jia-qi, LI Wei-ping, et al. Study on the contents of 8 phenolic components of perilla leaves in different cul-

- tivation years and harvest periods[J]. Chinese Journal of Chinese Materia Medica, 2021, 46(3): 567-574.
- [4] 陈建欣, 刘静, 汪川苏. 紫苏中黄酮的提取及测定研究[J]. 广州化工, 2015, 43(3): 132-134.
CHEN Jian-xin, LIU Jing, WANG Chuan-su. Extraction and determination of flavonoids in Perilla[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2015, 43(3): 132-134.
- [5] 张彦, 陈博, 刘强, 等. 栽培品种紫苏叶和紫苏梗挥发油气相色谱—质谱分析[J]. 国际中医中药杂志, 2020, 42(7): 679-682.
ZHANG Yan, CHEN Bo, LIU Qiang, et al. Gas chromatography-mass spectrometry analysis of volatile oil from cultivated varieties of perilla leaves and perilla stems [J]. International Journal of Chinese Medicine and Materia Medica, 2020, 42(7): 679-682.
- [6] 徐健, 王珊, 宋占俞, 等. 紫苏精油的抑菌活性及其精华滋养乳的制备和质量检测[J]. 时珍国医国药, 2020, 31(5): 1 119-1 122.
XU Jian, WANG Shan, SONG Zhan-yu, et al. Antibacterial activity of perilla essential oil and preparation and quality inspection of its essence nourishing milk [J]. Lishizhen Medicine and Materia Medica, 2020, 31(5): 1 119-1 122.
- [7] LEE Hosun, LEE Ji Eun, MOON Hee-suk, et al. Oral nutritional supplement enriched with purple perilla extract might enhance NK-cell activity after pancreaticobiliary cancer surgery[J]. HPB, 2019, 21(2): 423.
- [8] WANG Xiao-feng, LI Heng, JIANG Kun, et al. Anti-inflammatory constituents from Perilla frutescens on lipopolysaccharide-stimulated RAW264.7 cells[J]. Fitoterapia, 2018, 130: 61-65.
- [9] 茹巧美, 任国平, 胡琼. 聚乙二醇提取紫苏叶花色苷工艺优化及抗氧化活性[J]. 食品科技, 2020, 45(10): 220-228.
RU Qiao-mei, REN Guo-ping, HU Qiong. Polyethylene glycol extraction process optimization and antioxidant activity of perilla leaf anthocyanins [J]. Food Science and Technology, 2020, 45(10): 220-228.
- [10] 张世林. 紫苏抗过敏成分的研究与开发[D]. 太原: 中北大学, 2020: 18-25.
ZHANG Shi-lin. Research and development of anti-allergic components of perilla[D]. Taiyuan: North University of China, 2020: 18-25.
- [11] WANG Jian-kang, HE Yu-tong, YU De-qing, et al. Perilla oil regulates intestinal microbiota and alleviates insulin resistance through the PI3K/AKT signaling pathway in type-2 diabetic KKAY mice[J]. Food and Chemical Toxicology, 2020, 135: 110965.
- [12] 李项辉. 紫苏叶提取物的降血糖活性研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2017: 61-65.
LI Xiang-hui. Study on the hypoglycemic activity of perilla leaf extract[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2017: 61-65.
- [13] 王亚楠, 张志军, 李会珍. 紫苏叶提取物对黄嘌呤氧化酶的抑制作用[J]. 中成药, 2020, 42(2): 462-465.
WANG Ya-nan, ZHANG Zhi-jun, LI Hui-zhen. Inhibition of perilla leaf extract on xanthine oxidase [J]. Chinese Patent Medicine, 2020, 42(2): 462-465.
- [14] 孙广平, 袁丽, 方晓琳, 等. 紫苏叶多糖对糖尿病模型小鼠胰腺组织氧化应激及 PI3K/AKT/GLUT4 信号通路的影响[J]. 中国药房, 2020, 31(15): 1 874-1 879.
SUN Guang-ping, YUAN Li, FANG Xiao-lin, et al. The effect of perilla leaf polysaccharide on oxidative stress and PI3K/AKT/GLUT4 signaling pathway in pancreatic tissue of diabetic mice[J]. Chinese Pharmacy, 2020, 31(15): 1 874-1 879.
- [15] 孙广平, 袁丽, 方晓琳, 等. 紫苏叶多糖改善 2 型糖尿病大鼠肝损伤的作用及机制研究[J]. 中药材, 2020(11): 2 799-2 802.
SUN Guang-ping, YUAN Li, FANG Xiao-lin, et al. Study on the effect and mechanism of perilla leaf polysaccharide in improving liver injury in type 2 diabetic rats[J]. Chinese Medicinal Materials, 2020(11): 2 799-2 802.
- [16] 程琳杰, 吴荣书. 茉莉紫苏复合浓缩液对高血糖小鼠血糖影响的研究[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(19): 36-40.
CHENG Lin-jie, WU Rong-shu. Study on the effect of jasmine and perilla complex concentrate on blood sugar in hyperglycemic mice[J]. Food Research and Development, 2020, 41(19): 36-40.
- [17] 闫爽, 李光耀, 戴丛书, 等. 蒲公英提取物对 2 型糖尿病大鼠降血糖的作用[J]. 食品与机械, 2020, 36(11): 138-142.
YAN Shuang, LI Guang-yao, DAI Cong-shu, et al. The effect of dandelion extract on lowering blood sugar in type 2 diabetic rats[J]. Food and Machinery, 2020, 36(11): 138-142.
- (上接第 54 页)
- [23] 朱鸣, 张娅, 许姗, 等. 硫化亚锡—碳球复合物的制备及其在亚硝酸盐检测中的应用[J]. 扬州大学学报(自然科学版), 2019, 22(4): 21-25.
ZHU Ming, ZHANG Ya, XU Shan, et al. Preparation of stannous sulfide carbon sphere complex and its application in nitrite detection[J]. Journal of Yangzhou University(Natural Science Edition), 2019, 22(4): 21-25.
- [24] FANG Teng-yue, LI Hang-qian, BO Guang-yong, et al. On-site detection of nitrate plus nitrite in natural water samples using smartphone-based detection [J]. Microchemical Journal, 2021, 165: 106 117-106 124.
- [25] 商景天, 王修俊, 王继辉. 有机酸对泡菜中亚硝酸盐的降解作用[J]. 食品与机械, 2018, 34(3): 73-78.
SHANG Jing-tian, WANG Xiu-jun, WANG Ji-hun. Degradation of nitrite in pickles by organic acids[J]. Food & Machinery, 2018, 34(3): 73-78.
- [26] 李慧, 张子燕. 泡菜中亚硝酸盐的研究[J]. 现代食品, 2020, 21(20): 88-90.
LI Hui, ZHANG Zi-yan. Study on nitrite in pickle[J]. Modern Food, 2020, 21(20): 88-90.
- [27] 易任远. 数码成像比色在“检测泡菜中亚硝酸盐含量”实验中的应用[J]. 生物学教学, 2020, 45(1): 48-50.
YI Ren-yuan. Application of digital imaging colorimetry in the experiment of "detection of nitrite content in pickles"[J]. Biology Teaching, 2020, 45(1): 48-50.