

白扁豆非淀粉多糖对 II 型糖尿病大鼠的降血糖降血脂作用

付王威¹, 吴睿婷¹, 万敏¹, 李睿城², 初悦雷¹, 吴琼琳¹, 李文娟¹

(1. 南昌大学食品科学与技术国家重点实验室, 江西南昌 330047) (2. 南昌大学口腔医学院, 江西南昌 330031)

摘要:本研究探讨了白扁豆非淀粉多糖(NS-DLP)对 II 型糖尿病大鼠降血糖降血脂作用。建立 II 型糖尿病模型大鼠, 采用 NS-DLP 灌胃干预。4 周后, 观察各组大鼠胰腺组织的病理学变化, 测定大鼠空腹血糖、血脂、血清胰岛素、胰腺炎症因子和氧化应激指标。结果表明, 与模型组相比, NS-DLP 高剂量(100 mg/kg bw)组大鼠空腹血糖和血清甘油三酯水平分别显著降低了 10.36% 和 29.93%; 病理学观察发现 NS-DLP 高剂量组大鼠胰岛面积和细胞数量明显增加; 且 NS-DLP 高剂量组大鼠血清胰岛素, 胰腺丙二醛、白介素 6 和肿瘤坏死因子- α 水平分别显著降低了 26.36%、39.13%、41.18% 和 47.18%; 超氧化物歧化酶和过氧化氢酶水平分别显著提高 10.38% 和 148.03%。因此, NS-DLP 可通过改善胰腺组织病变、减少胰岛素抵抗、降低胰腺炎症水平、抑制胰腺氧化应激水平, 对 II 型糖尿病大鼠发挥降血糖降血脂作用。

关键词: II 型糖尿病; 白扁豆非淀粉多糖; 降血糖; 降血脂

文章编号: 1673-9078(2021)08-1-7

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.8.1201

Hypoglycemic and Hypolipidemic Effects of Non-starch Polysaccharide from Dolichos Lablab L in Type II Diabetic Rats

FU Wang-wei¹, WU Rui-ting¹, WAN Min¹, LI Rui-cheng², CHU Yue-lei¹, WU Qiong-lin¹, LI Wen-juan¹

(1. State Key Laboratory of Food Science and Technology, Nanchang University, Nanchang 330047, China)

(2. School of Stomatology, Nanchang University, Nanchang 330031, China)

Abstract: This study investigated the hypoglycemic and hypolipidemic effects of non-starch polysaccharide from dolichos lablab L (NS-DLP) in type II diabetic rats. A type II diabetic rat model was established and a NS-DLP gavage intervention was used. After the 4-week administration, the pathological changes in the pancreatic tissues of each group of rats were examined, and their fasting blood glucose, blood lipids, serum insulin, pancreatic inflammatory factors and oxidative stress parameters were also determined. The results showed that compared with the model group, the fasting blood glucose and serum triglyceride levels of the diabetic rats with a NS-DLP high-dose treatment (100 mg/kg bw) were significantly reduced by 10.36% and 29.93%, respectively. Pathological experiments revealed that the area and cell number of pancreatic islets increased in the NS-DLP high-dose group. Moreover, the levels of serum insulin and pancreatic malondialdehyde, interleukin-6 and tumor necrosis factor- α in the NS-DLP high-group were significantly reduced by 26.36%, 39.13%, 41.18% and 47.18%, respectively, whilst the levels of superoxide dismutase and catalase increased significantly (by 10.38% and 148.03%, respectively). Accordingly, the administration with NS-DLP could exert hypoglycemic and hypolipidemic effects in type II diabetic rats, through improving pathological changes in pancreatic tissues, reducing insulin resistance, decreasing pancreatic inflammation, and inhibiting pancreatic oxidative stress.

Key words: type II diabetes; non-starch polysaccharide from dolichos lablab L; hypoglycemic effect; hyperlipidemic effects

引文格式:

付王威, 吴睿婷, 万敏, 等. 白扁豆非淀粉多糖对 II 型糖尿病大鼠的降血糖降血脂作用[J]. 现代食品科技, 2021, 37(8): 1-7, +35

FU Wang-wei, WU Rui-ting, WAN Min, et al. Hypoglycemic and hypolipidemic effects of non-starch polysaccharide from dolichos lablab L in type II diabetic rats [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(8): 1-7, +35

收稿日期: 2020-12-25

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(31872900); 南昌大学研究生创新专项资金项目(CX2019096)

作者简介: 付王威(1997-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 食品科学与工程

通讯作者: 李文娟(1982-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 食品科学与工程

糖尿病是一种以高血糖为病症的慢性代谢性疾病,伴有糖、脂、蛋白及电解质紊乱^[1]。据国际糖尿病联盟统计,2019年世界成年糖尿病患者高达9.3%,患者约4.38亿人,其中中国患者最多,约1.16亿人,预计到2045年,世界成年患者将攀升至7亿人^[2]。当前,临床上确诊的糖尿病主要为II型糖尿病,约占患者总数的90%^[3]。研究已证实长期高浓度血糖可引起机体脑、心、肾、眼球、血管等多处器官的损伤和病变,各种并发症多达100多种^[4],严重影响了人类的生理健康和生活质量^[5,6]。

传统饮食讲究“五谷宜为养,失豆则不良”。白扁豆是中国的传统食物,又称藊豆、白藊豆和南扁豆,富含碳水化合物、蛋白质、矿物质等多种营养素,营养价值较高^[7]。近年来,研究发现白扁豆具有降血糖降血脂的作用,可作为糖尿病人饮食的优先选用食物之一^[8,9]。多糖是一类通过醛糖或酮糖,以糖苷键连接在一起的高分子多聚化合物,在此基础上,非淀粉多糖被定义为不含淀粉组分的、通过在大肠中完全或部分发酵而被机体利用的复合多糖^[10]。徐思琦^[11]等以黑木耳非淀粉多糖为研究对象,证实了该非淀粉多糖具有降血糖作用,为非淀粉多糖的开发利用提供了基础研究数据。目前,豆类多糖生物学活性方面的研究报道较多,在糖尿病防治领域被广泛研究^[12],然而非淀粉多糖的降血糖降血脂作用研究较少,且有关白扁豆来源非淀粉多糖的研究尚未见报道。团队前期从白扁豆成熟种子中提取纯化出一种非淀粉多糖(Non-starch polysaccharide from dolichos lablab L, NS-DLP),平均分子量约为 2.3×10^5 u,由葡萄糖、鼠李糖、半乳糖酸、半乳糖、木糖和阿拉伯糖组成,具备良好的抗氧化功能^[13]。本实验通过高糖高脂饮食结合STZ尾静脉注射建立II型糖尿病大鼠模型,观察和研究NS-DLP对II型糖尿大鼠的影响,以期对白扁豆资源的综合利用和多糖功能性产品的研发提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 动物、材料与试剂

清洁级Wistar大鼠,体重180~220 g,购自北京维通利华实验动物技术有限公司,许可证号:SCXK(京)2016-0006。

白扁豆,安徽济顺中药饮片有限公司;链脲佐菌素(Streptozotocin, STZ),美国Sigma公司;血糖试纸,罗氏诊断产品(上海)有限公司;BCA蛋白浓度测定试剂盒,上海碧云天生物技术有限公司;INS测定试剂盒、超氧化物歧化酶(Superoxide dismutase,

SOD)测定试剂盒、过氧化氢酶(Catalase, CAT)测定试剂盒、丙二醛(Malondialdehyde, MDA)测定试剂盒,南京建成生物工程研究所;大鼠白介素6(Interleukin-6, IL-6)测定试剂盒、大鼠肿瘤坏死因子- α (Tumor necrosis factor- α , TNF- α)测定试剂盒,博士德生物工程有限公司。

1.2 仪器与设备

血糖仪,罗氏诊断产品(上海)有限公司;Dimension RXLMAX型全自动生化分析仪,德灵诊断产品有限公司;3K15高速台式离心机,德国Sigma公司;3001全波长扫描式多功能读数仪(多功能酶标仪),美国Thermo公司;KZ-II组织破碎仪,武汉塞维尔生物科技有限公司;AL104型电子天平,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司等。

1.3 方法

1.3.1 白扁豆非淀粉多糖(NS-DLP)的提取制备

参照团队前期发表文献中的实验方法制备NS-DLP^[14]。将白扁豆实体进行粉碎后,加入95%乙醇溶液,室温浸泡过夜,过滤液体;滤渣加入蒸馏水,100℃下蒸煮5 h,过滤;依次进行淀粉酶、蛋白酶、糖化酶除杂,高温灭活后过滤、浓缩;加入95%乙醇溶液,4℃下沉淀多糖;醇沉后,4000×g离心10 min,加水复溶,Sevage法去除游离蛋白质,旋蒸、透析、浓缩、冻干。

1.3.2 II型糖尿病大鼠模型建立

清洁级Wistar雄性大鼠饲养于清洁卫生的环境(室温 25 ± 2 ℃、相对湿度 $50\% \pm 5\%$,昼夜明暗交替12 h/12 h),自由饮食饮水。适应性喂养一周后,选取6只大鼠作为正常组(Control组),喂以基础饲料,24只大鼠作为实验组,喂以高糖高脂饲料(66.5%基础饲料、10%猪油、20%蔗糖、2.5%胆固醇、1%胆酸钠)^[15]。8周后,实验组大鼠禁食12 h,尾静脉注射30 mg/kg bw STZ(溶解在0.1 mol/L柠檬酸-柠檬酸钠缓冲液中,pH为4.4),Control组大鼠注射同等剂量柠檬酸-柠檬酸钠缓冲液。一周后测定空腹血糖(Fasting blood-glucose, FBG),FBG连续两次超过11.1 mmol/L即造模成功^[16]。

1.3.3 动物分组及处理

将II型糖尿病大鼠随机分为4组:模型组(STZ组)、NS-DLP低剂量组(LD组,NS-DLP 25 mg/kg bw)、中剂量组(MD组,NS-DLP 50 mg/kg bw)、高剂量组(HD组,NS-DLP 100 mg/kg bw),每组6只,

将 NS-DLP 溶于超纯水中, 每日灌胃一次, Control 组和 STZ 组给予同等剂量超纯水。4 周后, 所有大鼠禁食 12 h, 进行眼底静脉取血、处死、解剖, 收集胰腺组织备用。

1.3.4 血清指标测定

血液静置 2 h 后, 4 °C 3500 r/min 离心 10 min, 收集血清。采用全自动生化分析仪检测 FBG、血清总胆固醇 (Total cholesterol, TC)、甘油三酯 (Triglyceride, TG)、高密度脂蛋白胆固醇 (High-density lipoprotein cholesterol, HDL-C) 和低密度脂蛋白胆固醇 (Low-density lipoprotein cholesterol, LDL-C) 水平; 采用胰岛素 (Insulin, INS) 试剂盒测定血清 INS 水平。

1.3.5 胰腺组织病理切片观察

采用预冷的生理盐水洗去胰腺表面的血渍, 滤纸拭干, 剔除脂肪。取部分胰腺组织固定于 10% 福尔马林溶液中, 进行石蜡包埋、切片、苏木素-伊红染色等处理, 利用光学显微镜观察胰腺组织胰岛区域的病理学变化并拍照。

1.3.6 胰腺组织炎症因子指标测定

取部分胰腺组织, 以 1:9 的比例加入生理盐水, 60 Hz 低温匀浆 1 min, 4 °C 5000 r/min 离心 15 min, 取上清液。严格按照 IL-6 和 TNF- α 测定试剂盒说明书检测匀浆液中 IL-6 和 TNF- α 的含量。

1.3.7 胰腺组织氧化应激指标测定

取部分胰腺组织, 以 1:9 的比例加入生理盐水, 60 Hz 低温匀浆 1 min, 4 °C 5000 r/min 离心 15 min, 取上清液。严格按照 SOD、CAT 和 MDA 测定试剂盒说明书检测匀浆液中 SOD、CAT 的活性与 MDA 含量, 并使用 BCA 蛋白浓度测定试剂盒检测匀浆液中蛋白质含量。

1.4 数据处理与分析

采用 SPSS 21.0 软件进行单因素方差分析, 所有实验数据以平均数 \pm 标准差表示。 $p < 0.05$ 表示差异显著, $p < 0.01$ 表示差异极显著。

2 结果与讨论

2.1 NS-DLP 对 II 型糖尿病大鼠血清 FBG 的影响

本实验通过 FBG 指标评价 NS-DLP 对 II 型糖尿病大鼠血糖的影响, 各组 FBG 水平如图 1 所示。与 Control 组大鼠 FBG 水平相比 (4.37 mmol/L), STZ 组大鼠 FBG 水平 (29.05 mmol/L) 极显著上升

($p < 0.01$); 进行 NS-DLP 处理 4 周后, LD 和 MD 组大鼠 FBG 水平显著下降 ($p < 0.05$), HD 组大鼠 FBG 水平极显著下降 ($p < 0.01$), 下降幅度分别为 8.60%、8.87% 和 10.36%。王彤^[17]等以馒头作为标准参照食物, 观察了 II 型糖尿病患者进食不同干豆后的血糖变化, 结果显示进食白扁豆血糖指数得到了显著降低。与大多数天然多糖^[18,19]研究结果相似, 本实验数据表明 NS-DLP 对 II 型糖尿病大鼠具有一定的降血糖作用。

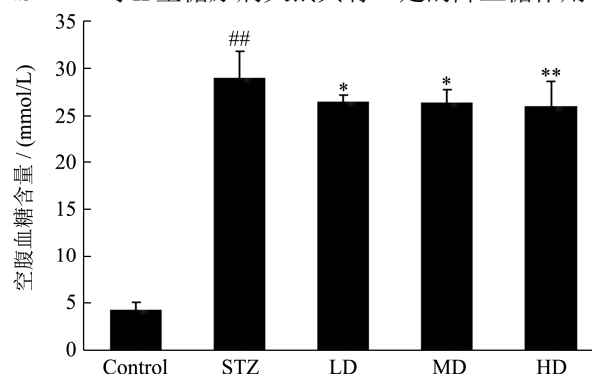


图 1 NS-DLP 对 II 型糖尿病大鼠 FBG 的影响

Fig.1 The effect of NS-DLP on FBG levels of type II diabetic rats

注: *表示与 STZ 组相比差异显著 ($p < 0.05$); **表示与 STZ 组相比差异极显著 ($p < 0.01$); #表示与 Control 组相比差异显著 ($p < 0.05$); ##表示与 Control 组相比差异极显著 ($p < 0.01$); 下同。

2.2 NS-DLP 对 II 型糖尿病大鼠血脂水平的影响

大量研究已证实, 高血脂与 II 型糖尿病息息相关: 一方面高浓度的血脂可与葡萄糖竞争进入细胞代谢, 阻碍葡萄糖的氧化利用; 另一方面高血脂可促使游离脂肪酸大量生成, 游离脂肪酸不仅会干扰 INS 与其受体结合, 而且能够直接破坏胰岛细胞的分泌功能, 导致胰岛 β 细胞凋亡^[20,21]。Nie^[22]研究报道, 车前子多糖可显著降低 II 型糖尿病大鼠血清的 TC、TG 水平, 提高 HDL-C 水平, 部分改善 LDL-C 水平, 进而缓解大鼠的脂代谢紊乱。邵红亮等^[23]研究发现灌胃 6 周 100 mg/kg bw 红芪多糖, 可将 II 型糖尿病大鼠血清 TC、TG 和 LDL-C 水平分别降低 8.11%、14.46%、14.58%, HDL-C 水平提高 17.02%。本实验研究得到了类似的结果, 如图 2, Control 组大鼠血清 TC、TG、HDL-C 和 LDL-C 浓度分别为 1.70、0.95、1.51 和 0.41 mmol/L。与 Control 组相比, STZ 组大鼠血清 TC、TG 和 LDL-C 浓度分别极显著升高至 3.46、7.09、1.05 mmol/L ($p < 0.01$), HDL-C 浓度显著降低至 1.25 mmol/L ($p < 0.05$), 而灌胃给予 NS-DLP 可不同程度地改善该症状, 其中, 各组大鼠血清 TC 和 LDL-C 水平均下降,

但结果无显著性差异,其原因可能在于多糖灌胃周期不够长,NS-DLP 降 TC 和 LDL-C 作用尚未完全凸显;LD 组大鼠血清 TG 浓度显著降低至 5.29 mmol/L ($p<0.05$);MD 组大鼠血清 TG 浓度极显著降低至 4.90 mmol/L, HDL-C 浓度极显著提升至 1.65 mmol/L ($p<0.01$);HD 组大鼠血清 TG 浓度显著降低 4.97 mmol/L ($p<0.05$), HDL-C 浓度极显著提升 1.61 mmol/L ($p<0.01$)。上述结果表明 NS-DLP 可改善 II 型糖尿病大鼠的血脂水平,其效果主要体现在降低 TG 水平和提高 HDL-C 水平,值得注意的是 MD 组大鼠指标略优于 HD 组,显示 NS-DLP 在机体内的有效作用与剂量之间没有呈现预期的正相关依赖关系,结合其他实验参数(大部分情况下,HD 组大鼠指标均优于 MD 组大鼠),提示了 NS-DLP 体内作用模式较为复杂。

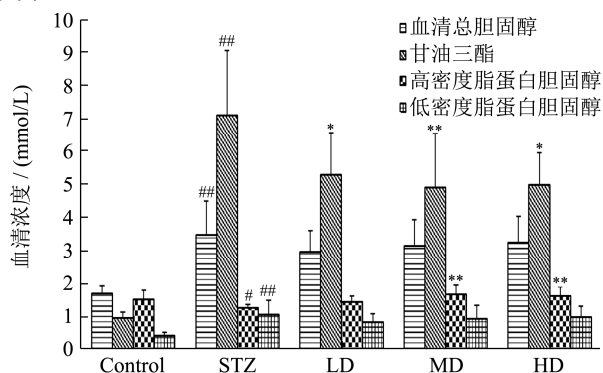


图 2 NS-DLP 对 II 型糖尿病大鼠血脂水平的影响

Fig.2 The effect of NS-DLP on blood lipids levels of type II diabetic rats

2.3 NS-DLP 对 II 型糖尿病大鼠胰腺组织形态的影响

STZ 作为一种广谱抗菌素,对实验动物胰岛 β 细胞具有高度选择性的损伤作用,在糖尿病动物模型建立中被广泛应用。其诱导糖尿病的机制可能是通过亚硝基胍产生自由基对胰岛 β 细胞造成损伤,导致胰腺组织病变和胰岛萎缩,从而诱发糖尿病^[24]。与 Li 等^[25]和 Zhang 等^[26]试验结果相似,各组大鼠胰腺组织病理形态学变化如图 3 所示,Control 组大鼠胰腺胰岛组织结构完整,近似椭圆,边界清晰圆润,细胞分布均匀、排列整齐。STZ 组大鼠胰岛组织严重萎缩变形,边界不规则、模糊不清,细胞空泡变性。LD 组、MD 组和 HD 组较 STZ 组大鼠胰岛组织损伤有明显的改善,其中 HD 组效果最佳,胰岛面积显著增大,结构趋向完整,边界清晰,细胞数目增多。上述结果表明 NS-DLP 可减轻 II 型糖尿病大鼠胰岛组织病理性病变,对维系

胰腺正常组织形态、结构具有保护作用,提示 NS-DLP 的降血糖降血脂作用与其对胰腺保护作用有关。

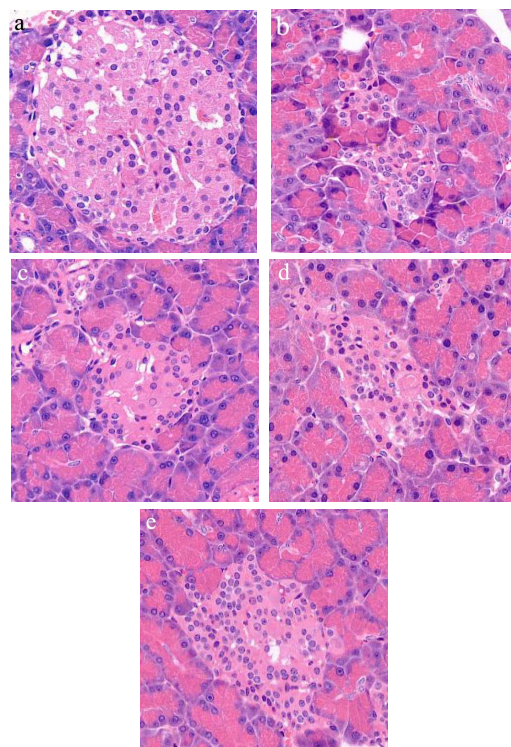


图 3 NS-DLP 对 II 型糖尿病大鼠胰腺形态的影响 ($\times 400$)

Fig.3 The effect of NS-DLP on the morphology of pancreas of type II diabetic rats ($\times 400$)

注: a: Control 组; b: STZ 组; c: LD 组; d: MD 组; e: HD 组。

2.4 NS-DLP 对 II 型糖尿病大鼠血清 INS 水平的影响

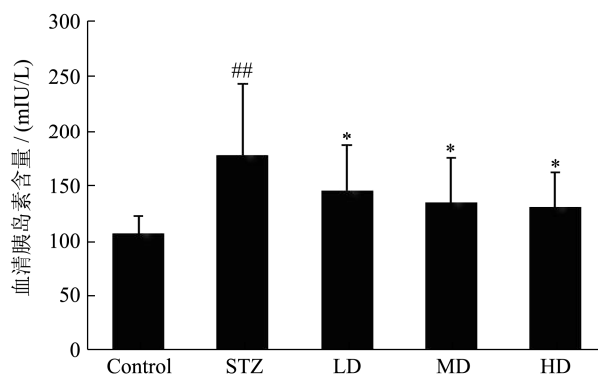


图 4 NS-DLP 对 II 型糖尿病大鼠血清胰岛素水平的影响

Fig.4 The effect of NS-DLP on serum INS levels of type II diabetic rats

胰岛素抵抗 (Insulin Resistance, IR) 和 INS 分泌障碍是 II 型糖尿病重要病理机制之一,不仅是其发生的驱动因素,而且贯穿于整个病情的发展。发病初期,患者出现 IR, INS 生物效应降低,此时机体会代偿性

分泌更多的 INS 以维持血糖平衡^[27]，但随着病情的发展，患者胰腺组织和胰岛功能逐渐病变，最终出现 INS 分泌障碍，导致 FBS 骤升^[28]。胡吉蕾等^[29]研究报道，赶黄草水提物可提高 II 型糖尿病大鼠 INS 的葡萄糖吸收率和利用率，将 INS 水平显著降低 15.78% ($p < 0.01$)。本实验得到了相似的结果，由图 4 可知，Control 组大鼠血清胰岛素含量为 106.97 mIU/L，STZ 组为 178.03 mIU/L，上升幅度为 66.43%，结果具有极显著性 ($p < 0.01$)，而灌胃给予 NS-DLP 均可降低糖尿病大鼠血清 INS 水平，其中 HD 组大鼠下降幅度达到 26.36%，效果最优，结果具有显著性差异 ($p < 0.05$)。上述结果表明 NS-DLP 可降低 II 型糖尿病大鼠血清 INS 水平，改善 IR 程度。

2.5 NS-DLP 对 II 型糖尿病大鼠胰腺炎症因子

水平的影响

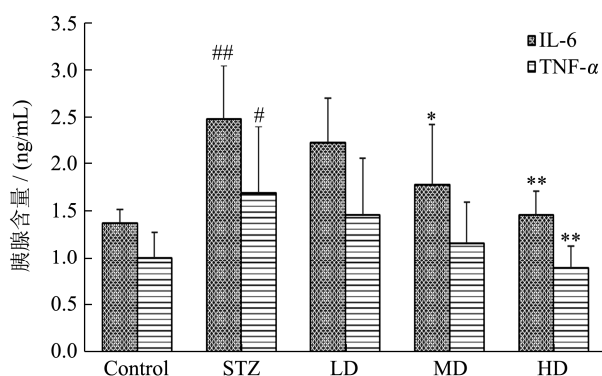


图 5 NS-DLP 对 II 型糖尿病大鼠胰腺 IL-6、TNF- α 水平的影响

Fig.5 The effect of NS-DLP on pancreatic IL-6 and TNF- α levels of type II diabetic rats

炎症与糖尿病胰腺功能紊乱的发病机理密切相关，炎症因子在 II 型糖尿病患者胰腺中过量产生，引起胰岛 β 细胞功能障碍，导致胰岛素分泌失调。IL-6、TNF- α 均为重要的炎症介质，对胰腺组织具有直接的损伤作用^[30]，同时可加重脂肪、肌肉、肝脏等器官的 IR，常作为胰腺炎严重程度的诊断指标^[31]。沈蒙等^[32]报道了灌胃黑豆皮可溶性膳食纤维可显著降低 II 型糖尿病大鼠胰腺 TNF- α 等炎症因子的水平，从而发挥

胰腺保护作用。本研究得到了类似的结果，如图 5 所示，与 Control 组相比，STZ 组大鼠胰腺中 IL-6 和 TNF- α 水平分别极显著升高了 79.93% 和 67.96% ($p < 0.01$)。与 STZ 组相比，LD、MD 和 HD 组大鼠胰腺 IL-6 和 TNF- α 水平均下降，其中 MD 组 IL-6 的结果具有显著性差异，下降幅度为 28.39% ($p < 0.05$)，HD 组 IL-6 和 TNF- α 的结果具有极显著性差异，下降幅度分别 41.18% 和 47.18% ($p < 0.01$)。上述结果表明 NS-DLP 可显著降低 II 型糖尿病大鼠胰腺的炎症水平。

2.6 NS-DLP 对 II 型糖尿病大鼠胰腺氧化应激的影响

氧化应激是机体内自由基过量产生的负面效应，具体表现为氧化中间产物大量产生，内源性抗氧化剂显著减少，被认为是组织炎症和损伤的重要机制^[33,34]。II 型糖尿病患者体内普遍存在氧化应激，段晋宁等^[35]研究显示糖尿病大鼠的治疗作用与莪术多糖减轻胰腺氧化应激水平有关，中剂量组 (500 mg/kg bw) 可将 II 型糖尿病大鼠胰腺 SOD 和 CAT 水平由 24.33 和 13.62 U/mg prot 显著提升至 28.03 和 16.39 U/mg prot，MDA 水平由 8.39 nmol/mg prot 显著降至 7.49 nmol/mg prot。借鉴邱茵等人^[36]的研究，本实验检测了 NS-DLP 对 II 型糖尿病大鼠胰腺氧化应激的影响，得到了类似的结果。

如表 1 所示，与 Control 相比，STZ 组大鼠胰腺中 SOD 和 CAT 活力分别降低了 7.09% 和 74.26%，MDA 水平升高了 53.33%，结果具有极显著性差异 ($p < 0.01$)，而灌胃给予 NS-DLP 可不同程度地改善该症状，其中低剂量 NS-DLP 对 MDA 水平的作用具有显著性差异 ($p < 0.05$)，对 SOD 和 CAT 水平的作用具有极显著性差异 ($p < 0.01$)，中、高剂量 NS-DLP 对三者的作用均具有极显著性差异 ($p < 0.01$)。上述结果表明 NS-DLP 可提高 II 型糖尿病大鼠胰腺的抗氧化能力，降低脂质过氧化损伤水平。

表 1 NS-DLP 对 II 型糖尿病大鼠胰腺 MDA、SOD、CAT 水平的影响

Table 1 The effect of NS-DLP on pancreatic MDA, SOD and CAT levels of type II diabetic rats

组别	MDA 水平/(nmol/mg prot)	SOD 水平/(U/mg prot)	CAT 水平/(U/mg prot)
Control 组	1.46±0.37	277.88±9.89	57.27±8.79
STZ 组	2.34±0.72**	255.79±15.05###	14.74±4.69###
LD 组	1.68±0.41*	278.49±5.98**	29.64±6.37**
MD 组	1.54±0.39**	278.56±10.36**	32.91±9.82**
HD 组	1.44±0.51**	282.34±14.39**	36.56±4.70**

3 结论

本研究结果表明, NS-DLP 对 II 型糖尿病大鼠具有降血糖降血脂作用, 可改善 IR 水平。在此基础上, 通过对胰腺组织的病理学观察及相关生化指标的检测发现, 其降血糖降血脂作用机制与其降低胰岛组织损伤和胰腺炎症水平, 提高胰腺抗氧化活力有关。该结论可为 NS-DLP 防治糖尿病的研究提供一定的理论依据, 后续将继续开展 NS-DLP 降血糖作用相关信号通路、代谢组学、肠道微生物组学的进一步研究, 揭示 NS-DLP 降血糖的内在分子机制, 推动白扁豆糖尿病膳食产品的研发。

参考文献

- [1] 朱小花, 蒋爱民, 余铭, 等. 香蕉粉对 II 型糖尿病模型大鼠血糖及胰岛素抵抗的影响[J]. 现代食品科技, 2016, 32(3): 7-11
ZHU Xiao-hua, JIANG Ai-min, YU Ming, et al. Effects of banana powder on blood glucose and insulin resistance in a rat model of type II diabetes mellitus [J]. Modern Food Science and Technology, 2016, 32(3): 7-11
- [2] Saeedi P, Petersohn I, Salpea P, et al. Global and regional diabetes prevalence estimates for 2019 and projections for 2030 and 2045: results from the international diabetes federation diabetes atlas [J]. Diabetes Research and Clinical Practice, 2019, 157: 107843
- [3] Dang S, Ma Y, Wen T, et al. Preparation of nanometer composite peptide SCM and its therapeutic effect on type II diabetes [J]. China Biotechnology, 2018, 38(5): 17-23
- [4] Wu Y, Ding Y, Tanaka Y, et al. Risk factors contributing to type 2 diabetes and recent advances in the treatment and prevention [J]. International Journal of Medical Sciences, 2014, 11(11): 1185-1200
- [5] Parsamanesh N, Moossavi M, Bahrami A, et al. Therapeutic potential of curcumin in diabetic complications [J]. Pharmacological Research, 2018, 136: 181-193
- [6] Pickering R J, Rosado C J, Sharma A, et al. Recent novel approaches to limit oxidative stress and inflammation in diabetic complications [J]. Clinical & Translational Immunology, 2018, 7(4): e1016
- [7] 李海洋, 李若存, 陈丹, 等. 白扁豆研究进展[J]. 中医药导报, 2018, 24(10): 117-120
LI Hai-yang, LI Ruo-cun, CHEN Dan, et al. Research progress of baibian dou (white hyacinth bean) [J]. Guiding Journal of Traditional Chinese Medicine and Pharmacology, 2018, 24(10): 117-120
- [8] 沈月, 王益平, 蒲清荣, 等. 三豆苡苓药膳改善单纯性肥胖体质效果研究[J]. 美食研究, 2016, 33(1): 54-58
SHEN Yue, WANG Yi-ping, PU Qing-rong, et al. Positive effect research of San-dou-yi-ling diet on people with simple obesity [J]. Journal of Researches on Dietetic Science and Culture, 2016, 33(1): 54-58
- [9] 徐宝成, 廖洪波, 李洪军. 低血糖指数食品研究进展及展望[J]. 粮食与油脂, 2003, 7: 22-24
XU Bao-cheng, LIAO Hong-bo, LI Hong-jun. Research development and prospect for low glycemic index food [J]. Cereals and Oils, 2003, 7: 22-24
- [10] 尚加英, 郑学玲, 赵波, 等. 谷物非淀粉多糖特性、制备及分析方法研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(20): 259-267
SHANG Jia-ying, ZHEN Xue-ling, ZHAO Bo, et al. The progress on characteristics, preparation and analysis methods of non-starch polysaccharides in cereal [J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(20): 259-267
- [11] 徐思琦, 何杰民, 王爽, 等. 黑木耳非淀粉多糖组成与功能性研究[J]. 中国食品学报, 2016, 16(8): 65-70
ZHEN Si-qi, HE Jie-min, WANG Shuang, et al. Study on the Composition and Functional Properties of Nonstarch Polysaccharides from *Auricularia auriculata* [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2016, 16(8): 65-70
- [12] 阚丽娇, 胡婕伦, 聂少平. 豆类水溶性多糖研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(5): 1750-1757
KAN Li-jiao, HU Jie-lun, NIE Shao-ping. Advances in soluble polysaccharides from legumes [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2015, 6(5): 1750-1757
- [13] 尹术华, 吴文英, 宋也好, 等. 白扁豆非淀粉多糖的理化性质、抗氧化活性及其抑菌性能[J]. 食品工业科技, 2020, 41(19): 39-44
YIN Shu-hua, WU Wen-ying, SONG Ye-hao, et al. Physicochemical properties, antioxidant and antibacterial capacities of non-starch polysaccharide from *Dolichos lablab* L [J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(19): 39-44
- [14] Chen Y, Xie M Y, Nie S P, et al. Purification, composition analysis and antioxidant activity of a polysaccharide from the fruiting bodies of *Ganoderma atrum* [J]. Food Chemistry, 2008, 107(1): 231-241
- [15] Gao H, Wen J J, Hu J L, et al. Polysaccharide from fermented *Momordica charantia* L. with *Lactobacillus plantarum* NCU116 ameliorates type 2 diabetes in rats [J]. Carbohydrate Polymers, 2018, 201: 624-633

- [16] 朱科学, 聂少平, 宋丹, 等. 黑灵芝多糖对 II 型糖尿病大鼠血糖、血脂及肠系膜上动脉病变改善作用[J]. 食品科学, 2013, 34(23):300-304
ZHU Ke-xue, NIE Shao-ping, SONG Dan, et al. Protective effect of polysaccharide from *Ganoderma atrum* on fasting blood glucose, serum lipids and arteriosclerotic narrowing of superior mesenteric arteries in type II diabetic rats [J]. Food Science, 2013, 34(23): 300-304
- [17] 王彤, 何志谦, 梁奕铨. 干豆对糖尿病患者血糖指数和 C 肽的影响[J]. 营养学报, 1998, 4:44-49
WANG Tong, HE Zhi-qian, LIANG Yi-quan. Effects of dried beans on glycemic index and C-peptide in diabetic patients [J]. Acta Nutrimenta Sinica, 1998, 4: 44-49
- [18] Chen X, Chen L, Liang R, et al. Research progress on hypoglycemic active components in natural products [J]. European Journal of Biomedical Research, 2016, 2(1): 21-26
- [19] Chen H, Wang Y. An Overview of Polysaccharides and the Influence Factors of Hypoglycemic Activity [M]. Structure and Health Effects of Natural Products on Diabetes Mellitus, 2021: 163-177
- [20] Zlatkina V, Karaya O Y N. Trigger mechanisms in insulin resistance and diabetes mellitus development [J]. Vessel Plus, 2019, 3: 2574-1209
- [21] Li F, Munsey T S, Sivaprasadarao A. TRPM2-mediated rise in mitochondrial Zn^{2+} promotes palmitate-induced mitochondrial fission and pancreatic β -cell death in rodents [J]. Cell Death & Differentiation, 2017, 24(12): 1999-2012
- [22] Nie Q, Hu J, Gao H, et al. Polysaccharide from *Plantago asiatica* L. attenuates hyperglycemia, hyperlipidemia and affects colon microbiota in type 2 diabetic rats [J]. Food Hydrocolloids, 2019, 86: 34-42
- [23] 邵红亮, 温娅娜, 万生芳, 等. 红芪多糖对 2 型糖尿病大鼠血脂代谢紊乱及胰岛素抵抗的影响[J]. 甘肃科技, 2018, 34(10): 99-101, 125
SHAO Hong-liang, WEN Ya-na, WAN Sheng-fang. Effect of *Astragalus* polysaccharide on dyslipidemia and insulin resistance in type 2 diabetic rats [J]. Gansu Science and Technology, 2018, 34(10): 99-101, 125
- [24] Szkudelski T. The mechanism of alloxan and streptozotocin action in B cells of the rat pancreas [J]. Physiological Research, 2001, 50(6): 537-546
- [25] Li L, Li R C, Song Y H, et al. Effects of a *Ganoderma atrum* polysaccharide against pancreatic damage in streptozotocin-induced diabetic mice [J]. Food & Function, 2019, 10(11): 7227-7238
- [26] Zhang C, Chen H, Bai W. Characterization of *Momordica charantia* L. polysaccharide and its protective effect on pancreatic cells injury in STZ-induced diabetic mice [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 115: 45-52
- [27] 李露, 张贤益, 汤小芳, 等. 膳食中碳水化合物与代谢综合征的研究进展[J]. 食品科学, 2019, 40(7):268-273
LI Lu, ZHANG Xian-yi, TANG Xiao-fang, et al. Advances in understanding dietary carbohydrates and metabolic syndrome [J]. Food Science, 2019, 40(7): 268-273
- [28] Tushuizen M E, Bunck M C, Pouwels P J, et al. Pancreatic fat content and β -cell function in men with and without type 2 diabetes [J]. Diabetes Care, 2007, 30(11): 2916-2921
- [29] 胡吉蕾, 郑乐愉, 唐薇, 等. 赶黄草水提物对高脂饮食联合 STZ 诱导的 II 型糖尿病大鼠的降血糖作用[J]. 现代食品科技, 2020, 36(2):25-31
HU Ji-lei, ZHENG Le-yu, TANG Wei, et al. Hypoglycemic effects of extracts of *Penthorum chinense* Pursh in high fat diet and streptozotocin-induced type II diabetic rats [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(2): 25-31
- [30] Zhang Y, Yan L, Han W. Elevated level of miR-551b-5p is associated with inflammation and disease progression in patients with severe acute pancreatitis [J]. Therapeutic Apheresis and Dialysis, 2018, 22(6): 649-655
- [31] Rehman K, Akash M S H, Liaqat A, et al. Role of interleukin-6 in development of insulin resistance and type 2 diabetes mellitus [J]. Critical Reviews™ in Eukaryotic Gene Expression, 2017, 27(3): 229-236
- [32] 沈蒙, 王维浩, 康丽君, 等. 黑豆皮可溶性膳食纤维对糖尿病小鼠抗炎因子的调节作用[J]. 食品科学, 2020, 41(9):81-85
SHEN Meng, WANG Wei-hao, KANG Li-jun, et al. Effect of soluble dietary fiber from black soybean hull on the regulation of anti-inflammatory factors in diabetic mice [J]. Food Science, 2020, 41(9): 81-85
- [33] Ježek P, Jabůrek M, Plecítá-Hlavatá L. Contribution of oxidative stress and impaired biogenesis of pancreatic β -cells to type 2 diabetes [J]. Antioxidants & Redox Signaling, 2019, 31(10): 722-751
- [34] Asmat U, Abad K, Ismail K. Diabetes mellitus and oxidative stress - a concise review [J]. Saudi Pharmaceutical Journal, 2016, 24(5): 547-553

(下转第 35 页)