

发芽绿豆多酚提取物对 II 型糖尿病小鼠糖脂代谢的改善作用

沈鑫婷^{1,2}, 姜秀杰², 许庆鹏², 张东杰^{2*}

(¹黑龙江省农业科学院食品加工研究所 黑龙江省食品加工重点实验室
黑龙江省全谷物营养食品工程技术研究中心 哈尔滨 150086

²黑龙江八一农垦大学 黑龙江大庆 163000)

摘要 目的:探究发芽绿豆多酚提取物对 II 型糖尿病(T2DM)模型小鼠糖脂代谢的改善作用。方法:根据 C57BL/6 小鼠体重随机分为正常对照组、模型组、发芽绿豆多酚提取物高、中、低剂量组、阳性对照组。通过高脂饮食联合腹腔注射链脲佐菌素(STZ)的方法建立 2 型糖尿病小鼠模型。连续灌胃 5 周后,测定小鼠空腹血糖值、葡萄糖耐量、脏器指数、血脂水平等指标,观察肝脏组织形态。结果:与模型组相比,发芽绿豆多酚提取物能降低小鼠空腹血糖,并显著提高其糖耐量水平($P<0.01$);改善 T2DM 小鼠血清中血脂指标(TC、TG、LDL-C、HDL-C)的浓度($P<0.01$);降低小鼠血清 ALT、AST 的活力,并对 STZ 诱导的糖尿病小鼠肝脏组织细胞形态有一定的修复作用。结论:一定剂量的发芽绿豆多酚提取液可以有效改善 II 型糖尿病小鼠高血糖和血脂代谢紊乱的症状。

关键词 II 型糖尿病;发芽绿豆多酚;血糖;血脂;肝脏组织

文章编号 1009-7848(2023)06-0132-08 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2023.06.015

2 型糖尿病通常被称为非胰岛素依赖型糖尿病,是一种以持续高血糖诊断为基础的代谢性疾病^[1]。对于糖尿病的治疗可以防止一些破坏性的并发症,然而,通常不能恢复到正常血糖或消除所带来的不良后果^[2]。其特点是由慢性高血糖驱动的胰岛素抵抗,通常通过血糖诊断^[3]。它与基因或一些生活方式相关,到目前为止肥胖是最常见的风险因素^[4]。根据世界卫生组织(WHO2016 年)的数据,2 型糖尿病占病例的 90%~95%,而且几十年来的迅速增长一直是一个国际问题^[5]。目前治疗糖尿病的常用降糖药物虽具有较好的效果,但大多具有副作用^[6]。开发一种天然安全的药物成为当前研究糖尿病的重点,而来源于食品或植物中的天然活性成分因安全、健康、作用效果温和的特点而备受青睐。

豆科植物被认为是第二重要的人类粮食作物,仅次于谷物(禾本科豆科),因为与谷物相比,它们营养丰富、均衡,被称为“穷人的肉”^[7-8]。绿豆,又名青小豆、菘豆、植豆等,在所有类型的豆类植

物中,绿豆的营养价值较高^[9-10]。有研究表明绿豆及其提取物具有许多其它潜在的健康益处,如降血糖、降血脂作用以及抗高血压、抗癌、抗黑色素生成、保护肝脏和免疫调节特性^[11-16]。本研究利用黑龙江省特色绿豆资源作为多酚富集原料。与绿豆^[17-19]相比,萌发和发酵的绿豆及其提取物具有更好的肝保护作用,而且发芽后绿豆的抗氧化活性也有所提高。发芽处理作为加工手段之一,可有效提高谷物的营养价值和生物活性成分含量,相比之下,当绿豆经发芽处理后,许多的大分子物质会降解成为各种小分子物质,更加利于人体的吸收,发芽绿豆比未发芽的绿豆含有更多的功能性物质^[20],其中的酚酸和类黄酮(包括牡荆素和异牡荆素)的总含量显著增加,分别是生绿豆种子的 4.5 倍和 6.8 倍^[21-22]。酚类物质是人类日常饮食中最重要的抗氧化剂^[23],具有降血糖、降血压等作用。发芽绿豆多酚是以绿豆为原料,经发芽处理后,采用超声辅助乙醇提取法得到的具有生物活性的物质,本试验前期已证明发芽绿豆多酚提取物对 α -葡萄糖苷酶有一定的抑制作用,并表现出较好的体外降糖效果。而发芽绿豆多酚在小鼠体内的降血糖效果以及对肝脏组织形态的影响未做深入研究。

本试验建立 2 型糖尿病小鼠模型,对造模成

收稿日期:2022-06-08

基金项目:“十四五”国家重点研发计划项目
(2021YFD2100902)

第一作者:沈鑫婷,女,硕士生

通信作者:张东杰 E-mail:byndzj@163.com

功小鼠灌胃不同浓度的发芽绿豆多酚提取物,观察其调控血糖的效果,并通过与T2DM模型组小鼠空腹血糖、血脂水平、葡萄糖耐受量以及肝脏组织切片情况的对比,探究发芽绿豆多酚提取物对T2DM小鼠降血糖的影响。

1 材料与方法

1.1 动物、材料与试剂

C57BL/6小鼠(18~20)g,SPF级,雄性,购于辽宁长生生物技术股份有限公司(许可证号:SCXK(辽)2020-0001)本实验动物处理遵循黑龙江八一农垦大学动物伦理委员会原则。基础饲料、高脂饲料,购于南通特洛非饲料科技有限公司。

发芽绿豆多酚,黑龙江八一农垦大学食品学院实验室制备;链脲佐菌素、盐酸二甲双胍,上海源叶生物科技有限公司;试剂盒,南京建成生物技术有限公司;其它试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

GA-3血糖仪,三诺生物传感股份有限公司;TU-1810紫外-可见分光光度计,北京普析通用仪器有限公司;酶标仪,中国迈瑞医疗公司;RE-2000A旋转蒸发仪,上海亚荣生化仪器厂。

1.3 方法

1.3.1 发芽绿豆多酚的制备流程 发芽绿豆多酚制备^[24-27]:将绿豆进行发芽处理(采用响应面优化法,确定绿豆的最优发芽工艺为:绿豆的浸泡温度25℃、浸泡时间11h、发芽温度28℃、发芽时间3d、浸泡液CaCl₂浓度2mmol/L)→烘干→粉碎→过筛→醇提→发芽绿豆多酚粗提物→浓缩→冷冻干燥→AB-8大孔树脂纯化→冷冻干燥→制得发芽绿豆多酚。

1.3.2 2型糖尿病模型的建立 SPF级C57BL/6雄性小鼠在12h明暗交替(8:00-20:00),室温(23±2)℃,相对湿度40%左右且通风良好的环境下分笼饲养,试验期间自由饮食饮水。适应性喂养1周,根据体重随机分为正常对照组(*n*=6)和造模组(*n*=30),正常组和造模组分别进食基础饲料和高脂饲料,共4周,禁食12h,造模组小鼠腹腔注射30mg/kg·BW STZ,正常组注射相同体积柠檬酸缓冲液(pH=4)^[28-29]。3d后测定小鼠空腹血糖值,在造模后第7天检测空腹血糖水平超过

11.1mmol/L且伴随表现出“三多一少”特征的小鼠被视为造模成功。

1.3.3 动物分组及给药方法 将造模成功的小鼠随机分为5组:模型组(DM)、阳性对照组(MET,二甲双胍,150mg/kg)、高剂量组(150mg/kg)、中剂量组(100mg/kg)、低剂量组(50mg/kg)。阳性对照组以及低、中、高剂量治疗组分别用二甲双胍水溶液和发芽绿豆多酚水溶液进行灌胃,其它组灌胃等体积生理盐水,连续灌胃5周。试验期间,每天观察动物进食量、精神状态、毛发色泽等,每周按时称量小鼠体重。

1.3.4 空腹血糖值测定及口服葡萄糖耐量试验 每周按时禁食12h,测定空腹血糖值。在末次给药后,小鼠禁食不禁水6h,以2g/kg bw剂量灌胃25%的葡萄糖溶液,测定灌胃第0,30,60,90,120min的血糖值,根据公式(1)计算血糖曲线下面积(AUC),通过曲线下面积来表达葡萄糖耐受量(OGTT)的变化。

$$\text{AUC}(\text{mmol/L}) = \frac{(\text{FBG}_0 + \text{FBG}_{30}) \times 0.5}{2} + \frac{(\text{FBG}_{30} + \text{FBG}_{60}) \times 0.5}{2} + \frac{(\text{FBG}_{60} + \text{FBG}_{90}) \times 0.5}{2} + \frac{(\text{FBG}_{90} + \text{FBG}_{120}) \times 0.5}{2} \quad (1)$$

1.3.5 小鼠脏器指数的测定 解剖后,摘取小鼠肝脏、肾脏、胰腺等组织,用生理盐水冲洗组织,用滤纸吸干水分,称重,并根据公式(2)计算脏器指数。

$$\text{脏器指数}(\%) = \frac{\text{器官质量}(\text{g})}{\text{体质量}(\text{g})} \times 100 \quad (2)$$

1.3.6 血清指标测定 试验结束时,小鼠禁食12h,乙醚麻醉,摘眼球取血,室温下静置30min,低温3500r/min离心10min,取血清,备用。

1.3.7 肝脏组织病理学观察 取部分固定于4%多聚甲醛溶液中的新鲜肝脏组织,将其石蜡包埋、切片、染色、封片处理,于电子显微镜下进行病理学形态观察。

1.4 数据统计分析

用SPSS进行数据处理,结果以平均值±标准差表示,用ANOVA及多重比较进行显著性差异分析,*P*<0.05为差异显著,*P*<0.01为差异极显著。用Origin软件作图。

2 结果与分析

2.1 小鼠一般状况及体重变化

试验期间,观察发现正常组小鼠精神状态良好,毛发光滑,试验前后的进食量、饮水量比较稳定,体重逐渐增长。糖尿病模型组小鼠精神比较萎靡,毛发暗淡无光泽,与试验前对比出现了“三多一少”症状。阳性对照组和各剂量干预组的小鼠体

重下降趋势减缓,精神状态也有所好转。如表1所示,造模成功后,模型组小鼠体重和正常组小鼠相比,出现极显著下降($P<0.01$);试验结束时,与模型组对比,灌胃发芽绿豆多酚溶液中剂量组小鼠体重显著增加($P<0.05$),高剂量组和灌胃二甲双胍的阳性对照组小鼠体重极显著增加($P<0.01$)。

表1 发芽绿豆多酚对小鼠体重的影响($\bar{x} \pm s, n=6$)

Table 1 Effect of germinated mung bean polyphenols on body weight of mice($\bar{x} \pm s, n=6$)

组别	体重/g				
	第1周	第2周	第3周	第4周	第5周
正常组	25.94 ± 1.04	26.72 ± 0.83	27.03 ± 0.86	27.23 ± 1.61	27.65 ± 1.22
模型组	27.30 ± 0.66	27.06 ± 0.72	26.08 ± 0.96	24.42 ± 0.75#	24.00 ± 0.99##
低剂量组	27.82 ± 1.86	26.03 ± 1.50	25.55 ± 1.35	25.75 ± 0.50	25.70 ± 1.13
中剂量组	26.27 ± 1.52	26.42 ± 2.30	26.40 ± 2.23	25.67 ± 2.19	26.60 ± 2.60*
高剂量组	27.55 ± 1.76	26.88 ± 1.40	26.53 ± 1.25	26.77 ± 1.18*	27.00 ± 0.91**
阳性对照组	26.18 ± 1.19	25.93 ± 1.44	26.05 ± 1.66	26.95 ± 2.24*	28.12 ± 1.95**

注:##表示模型组与正常组比较差异极显著($P<0.01$);*表示各组与模型组比较差异显著($P<0.05$);**表示各组与模型组比较差异极显著($P<0.01$),下同。

2.2 发芽绿豆多酚对小鼠脏器指数的影响

通过脏器指数可以看出实验动物的状态以及病变情况。由表2显示,与正常对照组相比,模型组小鼠的肝脏指数显著升高了49.26%($P<0.01$);与模型组比较,中、高剂量组和阳性对照组的肝脏

指数均显著降低($P<0.05, P<0.01$)。表明糖尿病小鼠会出现明显的肝脏、肾脏肿胀现象,而二甲双胍阳性药物和各剂量组治疗后会在一定程度上减轻脏器肿胀;也表明发芽绿豆多酚具有改善II型糖尿病小鼠脏器指数的作用。

表2 发芽绿豆多酚对小鼠脏器指数的影响($n=6$)

Table 2 Effect of germinated mung bean polyphenols on organ index of mice ($n=6$)

组别	脏器指数/%			
	肝脏指数	肾脏指数	脾脏指数	胰腺指数
正常组	3.37 ± 0.22	1.21 ± 0.14	0.24 ± 0.03	0.44 ± 0.14
模型组	5.03 ± 1.21##	1.45 ± 0.15	0.29 ± 0.10	0.65 ± 0.30
低剂量组	4.27 ± 1.23	1.39 ± 0.22	0.25 ± 0.06	0.55 ± 0.16
中剂量组	3.84 ± 0.52*	1.29 ± 0.19	0.25 ± 0.04	0.51 ± 0.08
高剂量组	3.64 ± 0.45*	1.28 ± 0.11	0.24 ± 0.04	0.52 ± 0.11
阳性对照组	3.49 ± 0.72**	1.28 ± 0.15	0.24 ± 0.02	0.53 ± 0.11

2.3 发芽绿豆多酚对小鼠空腹血糖及糖耐量的影响

由表3可知,正常组小鼠空腹血糖浓度比较稳定,模型组小鼠的空腹血糖浓度在造模成功后呈现逐渐上升趋势;与模型组相比,在治疗第4周时,中、高剂量组空腹血糖均极显著低于模型组;

在试验结束时,低、中、高剂量组的空腹血糖浓度表现出极显著低于模型组($P<0.01$)。空腹血糖的测定结果表明发芽绿豆多酚溶液可以改善II型糖尿病小鼠干预期间的血糖水平,治疗组中以高剂量的多酚溶液效果最佳。

表 3 发芽绿豆多酚对小鼠血糖的影响($\bar{x} \pm s, n=6$)Table 3 Effect of germinated mung bean polyphenols on blood glucose in mice ($\bar{x} \pm s, n=6$)

组别	血糖值/ $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$					
	灌胃 0 周	灌胃 1 周	灌胃 2 周	灌胃 3 周	灌胃 4 周	灌胃 5 周
正常组	5.83 ± 1.06	5.83 ± 1.04	5.73 ± 0.69	6.10 ± 1.47	6.15 ± 0.93	6.16 ± 1.65
模型组	13.78 ± 2.14 ^{###}	12.02 ± 2.18 ^{###}	12.47 ± 2.75 ^{###}	12.85 ± 1.25 ^{###}	13.36 ± 1.43 ^{###}	13.26 ± 1.12 ^{###}
低剂量组	11.52 ± 1.89	11.07 ± 1.12	10.83 ± 1.14	10.48 ± 1.01	10.10 ± 0.87*	9.76 ± 0.71*
中剂量组	13.07 ± 3.26	13.28 ± 2.83	12.27 ± 2.14	10.98 ± 1.56	9.72 ± 0.93**	8.55 ± 0.71**
高剂量组	12.87 ± 1.85	11.76 ± 1.89	10.62 ± 1.26	10.33 ± 1.47	9.55 ± 1.11**	7.90 ± 1.64**
阳性对照组	12.62 ± 2.31	12.21 ± 2.26	11.25 ± 2.38	10.30 ± 2.24	8.75 ± 2.07**	7.18 ± 2.35**

糖耐量是指对葡萄糖的耐受能力,可以根据机体耐受葡萄糖的程度来判断给药后胰岛 β 细胞对血糖的调节能力。血糖曲线下面积可以用来表示人体利用和清除葡萄糖的程度,如果数值增大,说明机体糖耐量能力下降,反之则能力升高。如表 4 所示,正常组小鼠的血糖浓度随着时间变化趋势平缓,而模型组小鼠血糖在前 30 min 快速升高,并达到峰值后又呈现下降趋势,但血糖值一直

较高。各剂量治疗组的血糖值在 60 min 后缓慢下降,但均未恢复到初始血糖值。由表 4 可知,模型组的 AUC 显著高于正常组($P<0.01$),各剂量治疗组和阳性对照组与模型组比呈现显著性降低($P<0.01$)。结果表明,发芽绿豆多酚溶液可以在一定程度上提高 II 型糖尿病小鼠的糖耐量,且从恢复程度上看,高剂量效果较好。

表 4 发芽绿豆多酚对小鼠糖耐量的影响

Table 4 Effects of germinated mung bean polyphenols on glucose tolerance in mice

组别	血糖值/ $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$					
	0 min	30 min	60 min	90 min	120 min	AUC
正常组	6.13 ± 1.68	10.58 ± 1.22	10.03 ± 5.22	7.53 ± 2.01	7.15 ± 1.45	18.06 ± 2.87
模型组	12.71 ± 1.52 ^{###}	24.45 ± 3.18 ^{###}	24.02 ± 3.13 ^{###}	20.48 ± 1.86 ^{###}	19.13 ± 1.05 ^{###}	41.96 ± 3.86 ^{###}
低剂量组	9.98 ± 1.05*	17.07 ± 1.61**	17.83 ± 6.89	15.98 ± 4.98*	13.90 ± 4.13**	31.41 ± 6.77**
中剂量组	9.90 ± 1.41*	19.92 ± 3.10	20.85 ± 5.17	15.91 ± 4.11*	12.35 ± 2.45**	33.90 ± 4.54**
高剂量组	8.48 ± 1.73**	21.85 ± 4.96	22.03 ± 4.43	17.15 ± 4.63	10.32 ± 3.59**	35.21 ± 5.95**
阳性对照组	8.48 ± 2.82**	24.31 ± 5.81	20.95 ± 4.79	14.35 ± 2.90**	9.25 ± 2.70**	34.49 ± 4.79**

2.4 发芽绿豆多酚对小鼠血清含量的影响

糖尿病与血脂水平密切相关,降低血脂水平会有助于改善糖尿病。由图 1 可知,与正常组相比,模型组小鼠的 TC、TG、LDL-C 浓度均极显著升高,HDL-C 浓度下降,这表明糖尿病小鼠已经出现了脂代谢紊乱的情况。与模型组对比,阳性对照组和低、中、高剂量组的 TC 浓度分别降低了 36.07%,16.86%,24.31%,27.84%($P<0.01$),LDL-C 浓度也呈现显著的下降趋势,阳性对照组和中剂量组的 TG 浓度也分别降低了 25.17%,20.49%($P<0.05$),说明发芽绿豆多酚提取物对 T2DM 小

鼠脂代谢紊乱有较好的调节作用。

2.5 发芽绿豆多酚对小鼠肝损伤的影响

ALT 和 AST 酶活力的高低,是反映肝脏组织功能的一项重要指标,而通过肝脏病理能够更直观的判断组织的受损情况。由图 2 可知,模型组小鼠的 ALT 活力与正常组比增加了 86.40%,AST 活力增加了 83.39%,而各剂量组小鼠的 ALT、AST 活力呈现显著降低的趋势,与模型组对比,高剂量组和阳性对照组的小鼠 ALT 活力降低了 19.54%,34.33%,AST 活力降低了 30.58%,33.47%。说明发芽绿豆多酚溶液低、中、高剂量组与阳性对照组能

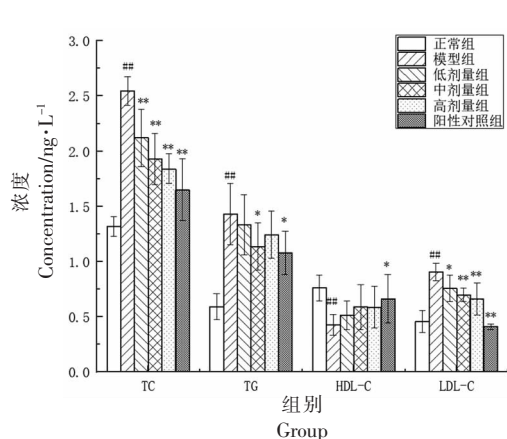


图1 发芽绿豆多酚对小鼠血脂的影响

Fig.1 Effect of germinated mung bean polyphenols on blood lipid in mice

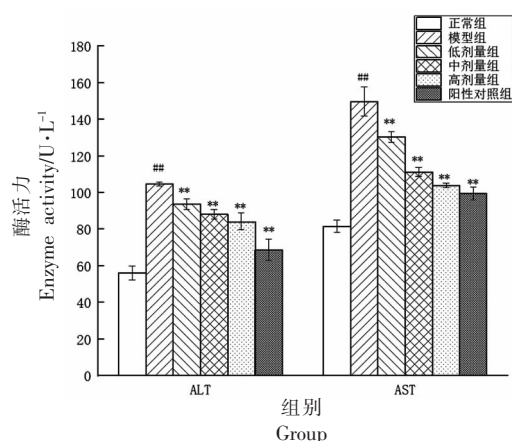


图2 发芽绿豆多酚对小鼠ALT和AST活力的影响

Fig.2 Effect of germinated mung bean polyphenols on ALT and AST activity in mice

很好的降低小鼠血清ALT、AST的活力。

观察灌胃发芽绿豆多酚的各组动物解剖组织切片结果,和模型组对比,动物内脏均未出现较为严重的损伤情况,说明发芽绿豆多酚灌胃的剂量对动物是安全的。如图3所示,正常组的肝组织结构基本正常,肝细胞结构饱满。与正常组相比,模

型组的小鼠肝组织可见部分肝细胞明显坏死,细胞核固缩溶解消失,肝细胞出现肿胀现象。阳性对照组和各剂量组小鼠肝损伤情况与模型组比有明显改善,低、中剂量组的肝组织可见部分肝细胞仍有轻微水肿,而高剂量组和阳性对照组小鼠的肝组织结构基本正常。

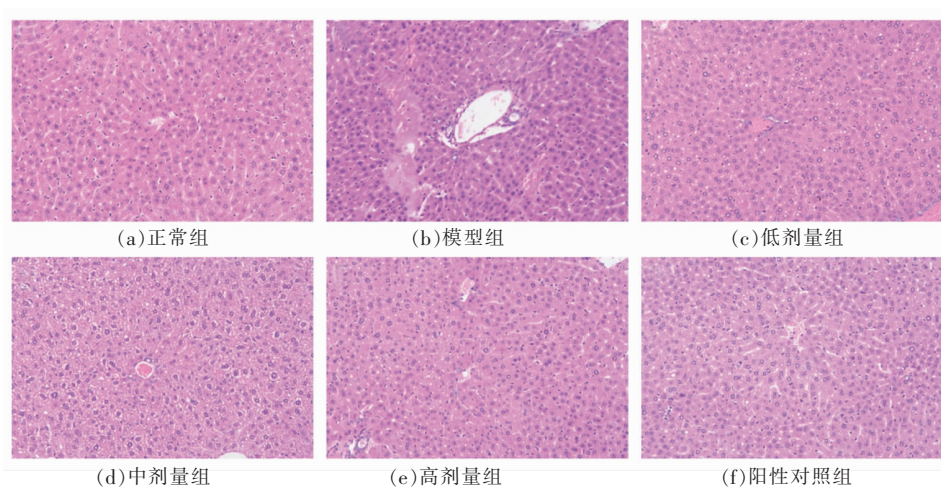


图3 发芽绿豆多酚对小鼠肝组织的影响

Fig.3 Effect of germinated mung bean polyphenols on liver tissue of mice

3 讨论

2型糖尿病大多是由基因遗传和环境因素共同引发的,其主要危险因素是家族史、不良生活习惯、肥胖、血脂异常、糖耐量异常等,其症状体现为血糖水平升高,并在一定程度上会导致机体糖代谢紊乱^[30]。本研究采用高脂饲料联合STZ诱导2

型糖尿病小鼠模型,在发芽绿豆多酚提取物干预第5周后,试验结果显示,与模型组比较,高剂量组和阳性对照组的小鼠体重显著升高;低、中、高剂量组的空腹血糖浓度显著降低($P < 0.01$),表明一定剂量的发芽绿豆多酚提取物可以改善T2DM小鼠的"三多一少"症状,降低糖尿病小鼠干预期

间的血糖浓度并在一定程度上增强其糖耐受程度。本试验抑制血糖水平结论与邢莎莎等^[31]、刘芷君等^[29]研究结果一致。T2DM 是以糖脂代谢紊乱为主的代谢性疾病,进而导致组织、器官以及消化系统等病变^[32]。本试验中,与模型组比较,发芽绿豆多酚提取物剂量组的 TC、TG、HDL-C、LDL-C 的水平均有显著变化,与马永强等^[33]的研究结果一致。表明发芽绿豆多酚提取物可以在一定程度上调节糖尿病小鼠的血脂水平,其调节机制还有待于进一步探究。

肝脏作为调节血糖浓度的主要器官,参与糖的代谢过程,器官损伤与糖尿病密切相关。本试验中,阳性对照组和发芽绿豆多酚提取物剂量组干预后,显著降低了脏器指数,推测可能具有改善 2 型糖尿病小鼠脏器功能的作用。研究表明,如果肝细胞出现损伤时,ALT 和 AST 会被释放到血液中,则血液中 ALT 和 AST 水平会出现升高,表明血液中 ALT 和 AST 水平与肝组织的损伤情况密切相关^[34]。本试验中,高剂量组小鼠 ALT 和 AST 活力显著降低了 19.54%,30.58%,推测可能说明发芽绿豆多酚溶液一定剂量范围内能很好的降低小鼠血清 ALT、AST 的活力,同时能修复小鼠肝细胞溶解现象,使肝损伤情况得到改善,该机理还有待进一步研究。有研究证明全绿豆和发芽的绿豆是一种有效的肝保护剂,能够以剂量依赖的方式降低肝酶活性和肝组织病理学^[35]。

综上所述,发芽绿豆多酚提取物可以显著改善 T2DM 小鼠的血糖、血脂水平,同时对肝损伤起到一定程度的修复作用。表明了发芽绿豆多酚是一种具有开发潜力和研究价值的天然降糖物质,在糖尿病治疗中的应用具有广阔的前景。

参 考 文 献

- [1] GERSTEIN H C, MILLER M E, BYINGTON R P, et al. Effects of intensive glucose lowering in type 2 diabetes[J]. The New England Journal of Medicine, 2008, 358(24): 2545-2559.
- [2] ENZO B. Reduction in the incidence of type 2 diabetes mellitus with lifestyle intervention or metformin [J]. L'Endocrinologo, 2002, 3(1): 91-92.
- [3] American Diabetes Association. Standards of medical care in diabetes-2020. Classification and diagnosis of diabetes[J]. Diabetes Care, 2020, 43(1): 14-31.
- [4] ZHENG Y, LEY S H, HU F B. Global aetiology and epidemiology of type 2 diabetes mellitus and its complications[J]. Nat Rev Endocrinol, 2018, 14(2): 88-98.
- [5] DEFONZO R A, FERRANNINI E, GROOP L, et al. Type 2 diabetes mellitus[J]. Nat Rev Dis Primers, 2015, 1(1): 15019.
- [6] 杨娜, 张化冰, 许岭翎. 1 型糖尿病的非胰岛素降糖药物治疗[J]. 中国医刊, 2019, 54(4): 352-355.
- [7] YANG N, ZHANG H B, XU L L. Type 1 diabetes mellitus, non insulin hypoglycemic therapy[J]. China Journal of Medicine, 2019, 54(4): 352-355.
- [8] HALL C, HILLEN C, GARDEN R J. Composition, nutritional value, and health benefits of pulses[J]. Cereal Chem, 2017, 94: 11-31.
- [9] SINGH B, SINGH J P, SHEVKANI K, et al. Bioactive constituents in pulses and their health benefits[J]. J. Food Sci Technol, 2017, 54: 858-870.
- [10] HOU D Z, YOUSAF L, XUE Y, et al. *Vigna radiata* mung bean (L.): Bioactive polyphenols, polysaccharides, peptides, and health benefits [J]. Nutrients, 2019, 11(6): 1238.
- [11] GAN R Y, LUI W Y, WU K, et al. Bioactive compounds and bioactivities of germinated edible seeds and sprouts: An updated review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2017, 59(1): 1-14.
- [12] XU J L, LIU T T, LI Y Y, et al. Hypoglycemic and hypolipidemic effects of triterpenoid-enriched Jamun (*Eugenia jambolana* Lam.) fruit extract in streptozotocin-induced type 1 diabetic mice[J]. Food Funct, 2018, 9(6): 3330-3337.
- [13] ALI N M, MOHD YUSOF H, YEAP S K, et al. Anti-inflammatory and antinociceptive activities of untreated, germinated, and fermented mung bean aqueous extract[J]. Evid Based Complement Alternat Med, 2014, 2014: 350507.
- [14] GUPTA N, SRIVASTAVA N, BHAGYAWANT S S. Vicilin-A major storage protein of mungbean exhibits antioxidative potential, antiproliferative effects and ACE inhibitory activity[J]. PLoS One, 2018, 13(2): e0191265.
- [15] CHAI W M, WEI Q M, DENG W L, et al. Anti-melanogenesis properties of condensed tannins from

- Vigna angularis seeds with potent antioxidant and DNA damage protection activities[J]. Food Funct, 2019, 10(1): 99–111.
- [15] XIE J H, DU M X, SHEN M Y, et al. Physico-chemical properties, antioxidant activities and angiotensin-I converting enzyme inhibitory of protein hydrolysates from Mung bean (*Vigna radiata*) [J]. Food Chem, 2019, 270: 243–250.
- [16] LOPES L A R, MARTINS M D C, FARIAS L M D, et al. Cholesterol-lowering and liver-protective effects of cooked and germinated mung beans (*Vigna radiata* L.)[J]. Nutrients, 2018, 10: 821.
- [17] MOHD ALI N, MOHD YUSOF H, LONG K, et al. Antioxidant and hepatoprotective effect of aqueous extract of germinated and fermented mung bean on ethanol-mediated liver damage[J]. Biomed Res Int, 2013, 2013: 693613.
- [18] ALSHAMMARI G M, BALAKRISHNAN A, CHINNASAMY T. Butein protects the nonalcoholic fatty liver through mitochondrial reactive oxygen species attenuation in rats [J]. Biofactors, 2018, 44 (3): 289–298.
- [19] GOLABI P, BUSH H, YOUNOSSEI Z M. Treatment strategies for nonalcoholic fatty liver disease and nonalcoholic steatohepatitis[J]. Clin Liver Dis, 2017, 21(4): 739–753.
- [20] HUANG X Y, CAI W X, XU B J. Kinetic changes of nutrients and antioxidant capacities of germinated soybean (*Glycine max* L.) and mung bean (*Vigna radiata* L.) with germination time[J]. Food Chemistry, 2014, 143: 269–276.
- [21] PAJAK P L, SOCHA R, GAŁKOWSKA D, et al. Phenolic profile and antioxidant activity in selected seeds and sprouts[J]. Food Chemistry, 2014, 143 (7): 300–306.
- [22] GUO X B, LI T, TANG K X, et al. Effect of germination on phytochemical profiles and antioxidant activity of mung bean sprouts (*Vigna radiata*) [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(44): 11050–11055.
- [23] DILIP G, ARJAN S. Vascular action of polyphenols [J]. Molecular Nutrition & Food Research, 2009, 53 (3): 322–331.
- [24] 王若兰, 郭亚鹏. 响应面法优化超声波辅助提取藜麦多酚的工艺条件[J]. 粮食与油脂, 2020, 33(9): 1–7.
- WANG R L, GUO Y P. Optimization of ultrasonic assisted extraction of quinoa polyphenols by response surface method[J]. Food and Oil, 2020, 33(9): 1–7.
- [25] AHMED H M, TAVASZI-SAROSI S. Identification and quantification of essential oil content and composition, total polyphenols and antioxidant capacity of *Perilla frutescens*(L.) Britt[J]. Food Chem, 2019, 275: 730–738.
- [26] 朱俊玲, 梁凯, 闫巧珍, 等. 小米多酚的分离纯化及其组分分析[J]. 中国粮油学报, 2021, 36(2): 34–40.
- ZHU J L, LIANG K, YAN Q Z, et al. Separation, purification and component analysis of millet polyphenols[J]. China Journal of Cereals and Oils, 2021, 36(2): 34–40.
- [27] 冯进, 李敏, 曾晓雄, 等. 大孔树脂纯化蓝莓叶多酚及其组成分析[J]. 食品科学, 2013, 34(10): 86–91.
- FENG J, LI M, ZENG X X, et al. Purification of polyphenols from blueberry leaves by macroporous resin and their composition analysis [J]. Food Science, 2013, 34(10): 86–91.
- [28] 吴睿婷, 付王威, 初悦雷, 等. 黑灵芝多糖对糖尿病大鼠血糖血脂调节及肠道菌群的影响[J]. 食品科学, 2022, 43(5): 91–102.
- WU R T, FU W W, CHU Y L, et al. Effects of *Ganoderma lucidum* polysaccharide on blood glucose and lipid regulation and intestinal flora in diabetic rats[J]. Food Science, 2022, 43(5): 91–102.
- [29] 刘芷君, 林玲, 雷郑延, 等. 茶籽皂苷对链脲佐菌素诱导的糖尿病大鼠血糖的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(19): 179–184.
- LIU Z J, LIN L, LEI Z Y, et al. Effects of tea seed saponins on blood glucose in streptozotocin induced diabetic rats [J]. Food Science, 2020, 41 (19): 179–184.
- [30] 姜梦如, 刘丹丹, 朱浩, 等. 蓝刺头及蓝刺头复方水提物对实验性 II 型糖尿病大鼠血糖及血脂的影响 [J]. 中国兽医学报, 2017, 37(5): 923–929.
- JIANG M R, LIU D D, ZHU H, et al. Effects of Lanacitou and Lanacitou compound water extract on blood glucose and blood lipid in experimental type II diabetic rats[J]. Chinese Journal of Veterinary Medicine, 2017, 37(5): 923–929.
- [31] 邢莎莎, 陈超. 香椿子多酚对糖尿病大鼠的降血糖

- 作用研究[J]. 中药药理与临床, 2011, 27(3): 42-44.
- XING S S, CHEN C. Hypoglycemic effect of Chinese toona seed polyphenol on diabetic rats[J]. Pharmacology and Clinic of Chinese Medicine, 2011, 27(3): 42-44.
- [32] PARI L, SRINIVASAN S. Antihyperglycemic effect of diosmin on hepatic key enzymes of carbohydrate metabolism in streptozotocin-nicotinamide-induced diabetic rats[J]. Biomed Pharmacother, 2010, 64: 477-481.
- [33] 马永强, 张凯, 王鑫, 等. 甜玉米芯多糖对糖尿病大鼠的降血糖作用[J]. 食品科学, 2020, 41(13): 169-173.
- MA Y Q, ZHANG K, WANG X, et al. Hypoglycemic effect of sweet corn cob polysaccharide on diabetic rats[J]. Food Science, 2020, 41(13): 169-173.
- [34] 刘小茜, 吴文晓, 耿兴超, 等. 药物性肝损伤生物标志物研究进展[J]. 中国新药杂志, 2018, 27(1): 47-52.
- LIU X Q, WU W X, GENG X C, et al. Research progress in biomarkers of drug-induced liver injury [J]. Chinese Journal of New Medicine, 2018, 27(1): 47-52.
- [35] LOPES L A R, MARTINS M, FARIAS L M, et al. *Vigna radiata* cholesterol-lowering and liver-protective effects of cooked and germinated mung beans (L.)[J]. Nutrients, 2018, 10(7): 821.

The Ameliorative Effect of Polyphenol Extract from Sprouting Mung Bean on Glycolipid Metabolism in Type 2 Diabetic Mice

Shen Xinting^{1,2}, Jiang Xiujie², Xu Qingpeng², Zhang Dongjie^{2*}

¹Food Processing Research Institute, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Heilongjiang Province Key Laboratory of Food Processing, Heilongjiang Province Engineering Research Center of Whole Grain Nutritious Food, Harbin 150086

²Heilongjiang Bayi Agricultural Reclamation University, Daqing 163000, Heilongjiang

Abstract Objective: To investigate the improvement of glycolipid metabolism in mice with type 2 diabetes mellitus (T2DM) induced by polyphenol extract from mung bean sprout. Methods: C57BL/6 mice were randomly divided into normal control group, model group, high, medium and low dose groups of germinated mung bean polyphenol extract and positive control group. A mouse model of type 2 diabetes was established by high fat diet combined with intraperitoneal injection of Streptozotocin (STZ). After continuous gavage for 5 weeks, fasting blood glucose, glucose tolerance, organ index, blood lipid level and liver morphology were measured. Results: during the experiment, compared with the model group, the polyphenol extract of germinated mung bean could reduce the fasting blood glucose and significantly improve the glucose tolerance of mice ($P<0.01$); Improve the concentration of serum lipid indexes (TC, TG, LDL-C, HDL-C) in T2DM mice ($P<0.01$); The activity of ALT and AST in serum of mice was reduced, and the morphology of liver tissue in STZ induced diabetic mice was repaired. Conclusion: a certain dose of germinated mung bean polyphenols extract can effectively improve the symptoms of hyperglycemia and dyslipidemia in type 2 diabetic mice.

Keywords type II diabetes mellitus; germinated mung bean polyphenols; blood glucose; blood lipids; liver tissue