

## 玉米须水提物对 2 型糖尿病小鼠的降血糖和保肝作用

金丹莉<sup>1,2</sup>, 陈跃文<sup>1,2\*</sup>, 柴庭庭<sup>1,2</sup>, 任少天<sup>1,2</sup>, 袁燕微<sup>1,2</sup>, 程逸潮<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>浙江工商大学食品与生物工程学院 杭州 310018

<sup>2</sup>浙江工商大学东海食品台州研究院 杭州 310018)

**摘要** 通过体质量、空腹血糖、口服葡萄糖耐量、胰岛素耐量、肝脏病理形态、脏器指数及组织学分析,研究玉米须水提物对 db/db 小鼠的降血糖和保护肝脏作用。连续灌胃 db/db 小鼠玉米须水提物 12 周,记录每组小鼠的体质量和空腹血糖,并进行口服葡萄糖耐量试验、胰岛素耐量试验和肝脏切片观察情况。结果表明:经玉米须水提物灌胃后的 db/db 小鼠空腹血糖明显降低( $P<0.05$ ),葡萄糖耐量和胰岛素抵抗能力显著改善( $P<0.05$ ),玉米须水提物对 db/db 小鼠肝脏组织具有一定的保护和修复作用,灌胃期间组间体质量无明显差异。结论:玉米须水提物对 2 型糖尿病小鼠具有改善高血糖水平和保护肝脏作用。

**关键词** 玉米须水提物; 2 型糖尿病; 降血糖; 保护肝脏

**文章编号** 1009-7848(2022)08-0101-08 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2022.08.011

2 型糖尿病 (Type 2 diabetes mellitus, T2DM) 是世界范围内最普遍的代谢疾病之一,约占糖尿病病型人数的 90%<sup>[1]</sup>。预计到 2045 年,糖尿病患者人数将可能增至 7.0 亿<sup>[2]</sup>。在空腹条件下,高水平的血糖值是糖尿病最显著的特征。如果体内长期处于异常高血糖水平状态,就会损害机体器官组织及功能,特别是眼睛、肝脏及神经系统等。

T2DM 具有高水平血糖和胰岛素抵抗的显著特点。一方面,血糖水平在胰岛素和胰高血糖素等激素的作用下,能够被严格调控在一个很狭窄的范围内;在餐后状态下,高血糖水平会触发葡萄糖摄取并抑制葡萄糖产生,从而能够将血糖维持在恒定的正常水平。T2DM 是一种异常的生理状态,会对葡萄糖浓度的稳态调节造成严重损害,不能及时地恢复到正常血糖水平;在此过程中,患者会减弱对葡萄糖的摄取,调节葡萄糖的机制会受到严重损害<sup>[3]</sup>。另一方面,胰岛素是体内唯一能够调节血糖水平的激素,然而,T2DM 患者对胰岛素的敏感性降低,导致胰岛素利用效率降低,血糖水平

不能恢复到正常状态。长时间处于血糖异常时,还可能破坏胰岛  $\beta$  细胞,导致高胰岛素血症<sup>[4]</sup>。此外,肝脏是主要负责葡萄糖产生和释放以及运输工作的脏器,能够在餐后处理绝大部分的葡萄糖。糖原是葡萄糖胞内可储存形式之一,其中生成糖原的主要途径是糖异生<sup>[5]</sup>。然而,在 T2DM 中,肝脏的糖异生过程被糖异生基因过度表达,导致该过程被异常激活,出现了高血糖、高胰岛素血症和胰岛素抵抗的主要症状<sup>[6]</sup>。

玉米须是农作物废弃物,具有资源丰富,容易获取等特点。2012 年,原中华人民共和国卫生部在《关于玉米须类产品安全性管理原则的请示》批复中明确玉米须可以作为普通食品管理使用。玉米须的主要功能成分有蛋白质、粗纤维、多糖、黄酮类、有机酸、皂苷、生物碱等<sup>[7]</sup>。关于玉米须功能特性的研究报道有很多,比如抗氧化、抗糖尿病、抗肿瘤、抗肥胖和精神保护作用等<sup>[8]</sup>。在中国,玉米须常以泡茶、入药等方式饮用,被用于糖尿病症状的改善,然而,关于玉米须水提物功能特性的研究和应用仍有限。

本研究采用超声辅助水提法制备玉米须水提物,通过高脂饮食喂养 db/db 小鼠诱导 T2DM 模型,研究玉米须水提物对 T2DM 小鼠模型的降血糖和保护肝脏作用,为玉米须的综合利用和精深加工提供理论参考。

**收稿日期:** 2022-05-09

**基金项目:** 浙江省教育厅一般项目(Y201942135);浙江省自然科学基金项目(LQ21C200004)

**作者简介:** 金丹莉(1999—),女,研究生

**通信作者:** 陈跃文 E-mail: chenyw@zjgsu.edu.cn

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

玉米须,吉林凉水滩农牧业有限公司。C57BL/KsJ 品种的 7 周龄雄性 Leprdb 突变 db/db 小鼠(20±5)g 和 C57BL/6 品种的 7 周龄雄性非糖尿病小鼠(20±5)g,江苏集萃药康生物科技股份有限公司(证号:SCXK(苏)2018-0008)。基础饲料(LAD0011)、高脂饲料(TP23300,60%高脂模型饲料),南通特洛非饲料科技有限公司。使用的所有其它化学品均为分析级。

### 1.2 仪器与设备

TGL-16M 冷冻离心机,湘仪离心机仪器有限公司;一次性使用采血针,苏州施莱医疗器械有限公司;血糖仪,强生(中国)医疗器械有限公司;光学显微镜及成像系统,尼康映像仪器销售(中国)有限公司。

### 1.3 方法

1.3.1 玉米须水提物的制备 玉米须烘干、粉碎,称取 50 g,按料液比 1:50、超声温度 50 °C、超声功率 360 W、提取时间 2 h 重复提取 3 次后合并滤液,60 °C 恒温下旋转蒸发浓缩。将浓缩液进行低温冷冻干燥得到玉米须水提物粉末,4 °C 冷藏保存。使用时用纯水溶解并配置成所需浓度。

1.3.2 动物实验设计 所有实验均按照中华人民共和国动物伦理程序和机构指南进行。动物福利评价依据《实验动物——动物福利伦理审查指南》(GB/T 35892-2018)执行。小鼠均饲养于(22±2)°C 的环境,定时 12 h 明暗交替,相对湿度保持在(50±5)%。给予无菌水和普通饲料,适应 1 周,再进行后续实验。体质量增加至为肥胖糖尿病小鼠(T2DM 模型)后,用普通标准饲料继续喂养至实验结束。

成功建模为 T2DM 后,每日上午 9~10 时固定时间,TLD 组和 THD 组小鼠分别灌胃 0.2 mL 的低、高剂量的玉米须水提物,对照组和 T2DM 组灌胃等体积生理盐水,灌胃深度为 3 cm,连续灌胃 12 周。分组情况如下:1)生理盐水处理的 C57BL/6 小鼠(对照组);2)生理盐水处理的 db/db 小鼠(T2DM 组);3)玉米须水提物低剂量(300 mg/kg)处理的 db/db 小鼠(TLD 组);4)玉米须水提物高剂量(600 mg/kg)处理的 db/db 小鼠(THD 组)。

1.3.3 诱发 2 型糖尿病 除对照组外,其余所有小鼠均被高脂饮食喂养 2 周<sup>[9]</sup>。当小鼠体质量超过 40 g 时,能够被定义为饮食诱导的 T2DM 小鼠,并进行空腹血糖(Fasting blood glucose, FBG)的测定。连续 2 周空腹血糖水平大于 11.1 mmol/L 即造模成功<sup>[10]</sup>。

1.3.4 体质量和一般体征的记录 记录小鼠初始、每周及处死前体质量。观察每只小鼠的活动情况。

1.3.5 空腹血糖的测定 在实验期间,每周使用血糖测定仪及配套试纸条进行 FBG 水平的快速测量。

1.3.6 口服葡萄糖耐量试验(OGTT)的测定 小鼠禁食不禁水 16 h 后,尾静脉采血,测定血清血糖<sup>[11]</sup>。此时血糖值定为-40 min 的血糖值,随后即用 0.2 mL 的低、高剂量的玉米须水提物给小鼠灌胃。40 min 后,以 2.0 g/kg 剂量的葡萄糖给小鼠灌胃。小鼠尾静脉采血,采用血糖测定仪及配套试纸条进行快速测定,待 3 s 后读取显示屏的血糖值。测定小鼠灌胃葡萄糖后 0,15,30,60,90,120 min 的血糖值,比较小鼠的葡萄糖耐量曲线的变化以及葡萄糖耐量曲线下面积(AUC)值。

1.3.7 胰岛素耐量试验(ITT)的测定 小鼠禁食不禁水 16 h 后,尾静脉采血,测定血清血糖<sup>[9]</sup>。然后立即向对照组、T2DM 组、TLD 组和 THD 组(1.0 U/kg)腹腔注射胰岛素。测定注射后 0,15,30,60,90,120 min 的血糖值。根据血糖值绘制血糖变化图,并计算胰岛素耐量 AUC 值。

1.3.8 肝脏病理形态的观察及脏器指数的测定 小鼠脱颈处死,取肝脏组织,生理盐水清洗去除组织上血迹,用滤纸吸干水分后,称重。按照公式(1)计算脏器指数<sup>[12]</sup>。然后立即在液氮中速冻并存储于-80 °C 直至使用。

$$\text{脏器指数}(\%) = \frac{\text{脏器质量}(\text{g})}{\text{体质量}(\text{g})} \times 100 \quad (1)$$

1.3.9 组织学分析 小鼠肝脏组织用 PBS 冲洗并在室温下用 4% 福尔马林固定 24 h,脱水,然后嵌入石蜡中切片。最后,将 4 μm 的切片用苏木精和伊红染色,在显微镜 200 倍和 400 倍视野下进行拍照<sup>[13]</sup>。

### 1.4 统计学分析

采用 SPSS 25.0、Origin 2021 软件对实验数

据进行统计分析处理,结果以平均值 $\pm$ 标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示。采用单因素方差分析法进行多组间差异显著性分析, $P < 0.05$  表示差异显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 玉米须水提取物对 2 型糖尿病小鼠体质量和一般体征的影响

如图 1 所示,在实验过程中,T2DM 小鼠表现出行动迟缓、逐渐消瘦的身体状态,并且常伴有饮水多、吃食多、排尿多以及后期体重减轻的病症,皮毛变得蓬松且无光泽。体质量下降和肝肾质量增加是糖尿病小鼠的典型特征,这可能与糖代谢缺陷和组织蛋白分解有关<sup>[14]</sup>。第 7 周后,玉米须水提取物 TLD 组和 THD 组的小鼠体质量增长速率开始减缓,体质量出现下降现象,小鼠的精神状态转好。Siram 等<sup>[15]</sup>通过饮食改善体质量能够影响机体内的代谢环境,更好地控制血糖、血脂和血压水平。然而,T2DM 组、TLD 组和 THD 组均为糖尿病小鼠,所以小鼠体质量没有出现明显差异。

### 2.2 玉米须水提取物对 2 型糖尿病小鼠空腹血糖 (FBG) 的影响

FBG 升高是 T2DM 最典型和最重要的症状。如图 2 所示,第 8 周时,T2DM 组、TLD 组和 THD 组小鼠的空腹血糖值均高于 11.1 mmol/L,为典型的 2 型糖尿病特征。对照组小鼠空腹血糖水平显著低于各个实验组( $P < 0.05$ )。随玉米须水提取物灌胃时间的延长,各个实验组之间血糖水平及增长速度开始出现变化。可以看出,第 10 和 12 周时,THD 组的空腹血糖水平低于 TLD 组,显著低于 T2DM 组( $P < 0.05$ )。研究表明多糖可以促进胰岛素分泌,保护胰岛  $\beta$  细胞从而提高胰岛素敏感性和改善糖代谢紊乱<sup>[16]</sup>。玉米丝的乙酸乙酯成分能够通过改善胰岛素、葡萄糖激酶表达,刺激胰岛素分泌,增强处理葡萄糖的速率<sup>[17]</sup>。植物性多糖不会提高血糖水平,反而具有降血糖活性<sup>[18]</sup>。

### 2.3 玉米须水提取物对 2 型糖尿病小鼠口服葡萄糖耐量 (OGTT) 的影响

如图 3a 所示,灌胃葡萄糖 30 min 过后,各实验组的血糖水平均显著高于对照组,表明 T2DM 小鼠的葡萄糖分解能力明显低于正常小鼠<sup>[19]</sup>。此外,在灌胃的 30~120 min 内,THD 组和 TLD 组小

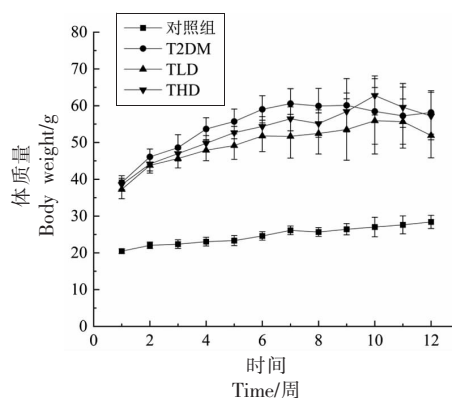
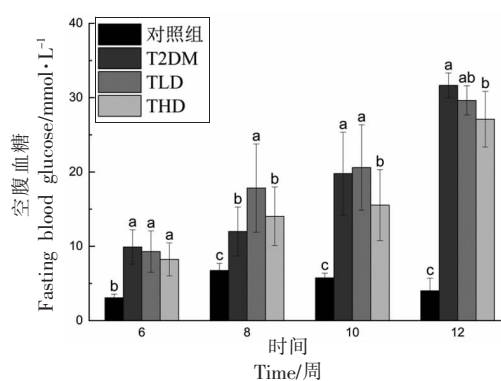


图 1 玉米须水提取物对小鼠体质量的影响

Fig.1 Effects of corn silk extract on the body weight of mice



注:图中不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

图 2 玉米须水提取物对小鼠 FBG 的影响

Fig.2 Effects of corn silk extract on FBG in mice

鼠血糖下降速度均比 T2DM 组快,特别是 THD 组。如图 3b 所示,TLD 组和 THD 组小鼠 AUC 值分别 ( $3\ 217 \pm 140$ )mmol/L 和 ( $2\ 967 \pm 125$ )mmol/L,与 T2DM 组相比,均有所下降。此外,THD 组小鼠 AUC 显著低于 T2DM 组( $P < 0.05$ ),TLD 组与 THD 组小鼠 AUC 具有显著性差异( $P < 0.05$ )。Ma 等<sup>[20]</sup>的研究发现,玉米须多糖能够有效抑制  $\alpha$ -淀粉酶和  $\alpha$ -葡萄糖苷酶的活性,从而通过控制淀粉代谢来有效控制餐后血糖水平。同时,植物化学分析揭示了生物碱、黄酮类化合物、酚类、皂苷、单宁和植物甾醇作为玉米须水提取物中可能存在的成分,也具备抑制作用<sup>[21]</sup>。玉米须多糖和黄酮类物质是通过范德华力和氢键自发发生的,能够协同抑制  $\alpha$ -淀粉酶和  $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性<sup>[22]</sup>,减缓葡萄糖进入体内循环的速率,从而起到降血糖的效果。综上,通过灌胃玉米须水提取物,TLD 组和 THD 组糖尿病小

鼠均显著降低了餐后血糖水平,表明玉米须水提取物能有效控制糖尿病小鼠的餐后血糖,改善其糖

耐量,提高其对葡萄糖的耐受力,具有一定的降血糖功能且具有量效关系。

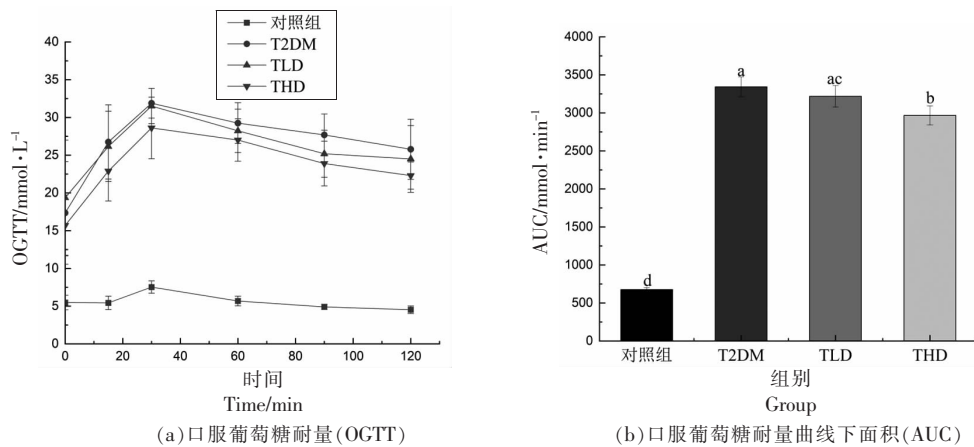


图3 玉米须水提取物对小鼠 OGTT 及 AUC 的影响

Fig.3 Effects of corn silk extract on OGTT and AUC in mice

2.4 玉米须水提取物对 2 型糖尿病小鼠胰岛素耐量的影响

如图 4a 所示,在 0~30 min 内,与对照组相比,各实验组腹腔注射胰岛素后,血糖均快速下降,表现出更高的胰岛素敏感性。当注射 60~120 min 内,TLD 组和 THD 组小鼠血糖缓慢上升至原有水平;而 T2DM 组小鼠的血糖仍在缓慢下降,未出现上升趋势。此外,各实验组的胰岛素耐量均显著高于对照组 ( $P<0.05$ ),说明灌胃玉米须水提取物虽有效用,但不能达到正常小鼠的胰岛素耐量水平。如图 4b 所示,TLD 组和 THD 组的 AUC 值分别 ( $3\ 361\pm67$ )mmol/L 和 ( $3\ 151\pm156$ )mmol/L,与 T2DM 组相比,均显著下降 ( $P<0.05$ )。此外,THD 组小鼠 AUC 显著低于 T2DM 组 ( $P<0.05$ ),TLD 组

和 THD 组小鼠 AUC 具有显著性差异 ( $P<0.05$ )。Sabiou 等<sup>[21]</sup>表明玉米须水提取物中存在生物碱、酚类、单宁、类黄酮、皂苷和甾醇等活性物质。这些物质还具有再生胰腺  $\beta$  细胞和抑制碳水化合物代谢酶活性的抗糖尿病能力<sup>[23]</sup>。许多研究发现玉米须提取物对血糖代谢的作用机制是通过增加胰岛素水平和恢复受损的  $\beta$  细胞,促进胰岛素分泌,而不是通过增加糖原和抑制糖异生的方式<sup>[24]</sup>。这表明,低、高剂量的玉米须水提取物灌胃后,能够增强机体对胰岛素敏感性,改善胰岛素抗性,从而改善糖代谢通路,增加组织、细胞对葡萄糖的摄取能力,最终有效控制血糖水平,对代谢健康产生积极健康的影响。

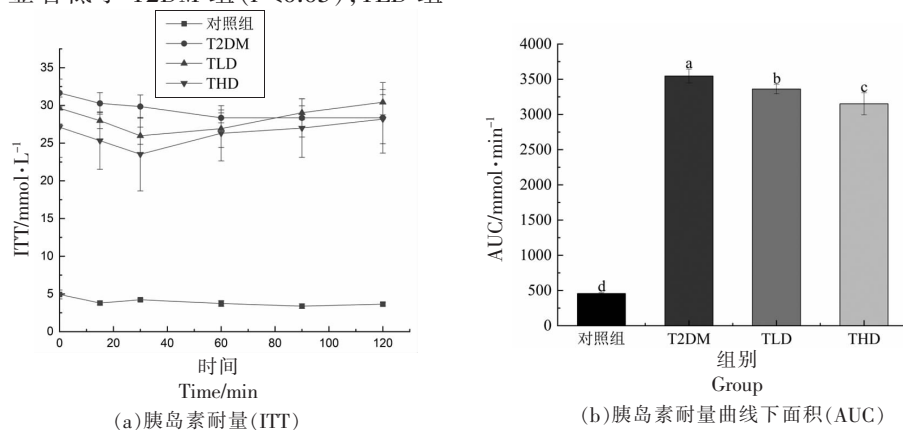


图4 玉米须水提取物对小鼠 ITT 及 AUC 的影响

Fig.4 Effects of corn silk extract on ITT and AUC in mice

## 2.5 玉米须水提取物对 2 型糖尿病小鼠胰腺、肝脏、附睾脂肪的脏器指数的影响

表 1 所示, T2DM 组小鼠肝脏和附睾脂肪指数明显大于对照组小鼠 ( $P < 0.05$ ), 胰腺指数明显小于对照组小鼠 ( $P < 0.05$ )。经过玉米须水提取物灌胃后, TLD 组和 THD 组小鼠的附睾脂肪的脏器指数有所下降, 胰腺的脏器指数有所上升。Zhang 等<sup>[18]</sup>阐述了玉米须多糖在小鼠肝毒性模型中的作用, 研究表明血清中的谷氨酸丙酮酸转氨酶、谷氨酸

草酰乙酸转氨酶和乳酸脱氢酶的水平显著降低, 并且能够明显观察到小鼠肝脏中丙二醛水平的降低, 这说明玉米须含有多糖成分对机体无毒性, 还对肝脏、胰腺组织具有保护作用, 免受损伤。玉米须多糖能够降低胆固醇和总甘油三酯在内的血脂水平, 能够在一定程度上保护肝脏<sup>[25]</sup>。玉米须中含有蛋黄素等黄酮类物质能够有效地改善肝脏的胆固醇水平<sup>[26]</sup>。上述结果表明玉米须水提取物具有修复肝脏、胰腺、附睾的损伤器官的潜力。

表 1 玉米须水提取物对小鼠胰腺、肝脏、附睾脂肪脏器指数的影响

Table 1 Effects of corn silk extract on the index of pancreas, liver and epididymal fat organs in mice

组别	胰腺质量/g	胰腺的脏器指数/%	肝脏质量/g	肝脏的脏器指数/%	附睾脂肪质量/g	附睾脂肪的脏器指数/%
对照组	0.29 ± 0.01 <sup>a</sup>	1.04 ± 0.04 <sup>a</sup>	0.98 ± 0.08 <sup>b</sup>	3.50 ± 0.09 <sup>c</sup>	0.28 ± 0.03 <sup>c</sup>	1.00 ± 0.08 <sup>c</sup>
T2DM	0.24 ± 0.06 <sup>a</sup>	0.42 ± 0.04 <sup>c</sup>	2.76 ± 0.21 <sup>a</sup>	4.70 ± 0.32 <sup>b</sup>	2.81 ± 0.31 <sup>a</sup>	4.80 ± 0.34 <sup>a</sup>
TLD	0.25 ± 0.04 <sup>a</sup>	0.49 ± 0.03 <sup>b</sup>	2.87 ± 0.35 <sup>a</sup>	5.50 ± 0.37 <sup>a</sup>	2.41 ± 0.22 <sup>ab</sup>	4.70 ± 0.31 <sup>a</sup>
THD	0.28 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.49 ± 0.02 <sup>b</sup>	2.89 ± 0.27 <sup>a</sup>	5.00 ± 0.33 <sup>ab</sup>	2.06 ± 0.15 <sup>b</sup>	3.60 ± 0.44 <sup>b</sup>

## 2.6 玉米须水提取物对 2 型糖尿病小鼠肝脏病理形态的影响

图 5 所示, 对照组小鼠中肝细胞分布密集, 细胞形态良好, 具有丰富的细胞质, 血管形状整齐, 未见明显病变。与对照组相比, T2DM 组肝细胞内有大空泡形成, 脂肪面积较大, 出现脂肪滴, 血管周围纤维增生, 炎性细胞浸润, 部分细胞坏死, 表明 T2DM 组小鼠出现肝脏脂肪代谢障碍症状, 过多的脂类物质在肝脏中积累沉积。低、高剂量玉米须水提取物摄入的 TLD 组和 THD 组相比 T2DM 组小鼠脂肪空泡减小, 炎性细胞浸润减少, 血管周围

增生减弱, 小鼠肝脏脂质积累显著改善。随着灌胃剂量的升高, 小鼠肝脏细胞结构变得更加清晰和完整, 表明低、高剂量的玉米须水提取物不同程度上减轻、修复和保护 T2DM 小鼠的肝脏组织。研究表明, 水溶性多糖比碱溶性多糖表现出了更好的生物活性<sup>[27]</sup>, 其中植物性多糖还对肝损伤具有保护作用<sup>[28]</sup>。玉米多糖能够通过介导自由基清除和调节肝脏微粒体细胞色素 P450 活性, 有效保护肝脏<sup>[18]</sup>。玉米须水提取物灌胃能够减少肝脏脂质累积, 从而防止 T2DM 小鼠肝脏的形态的病变<sup>[29]</sup>。

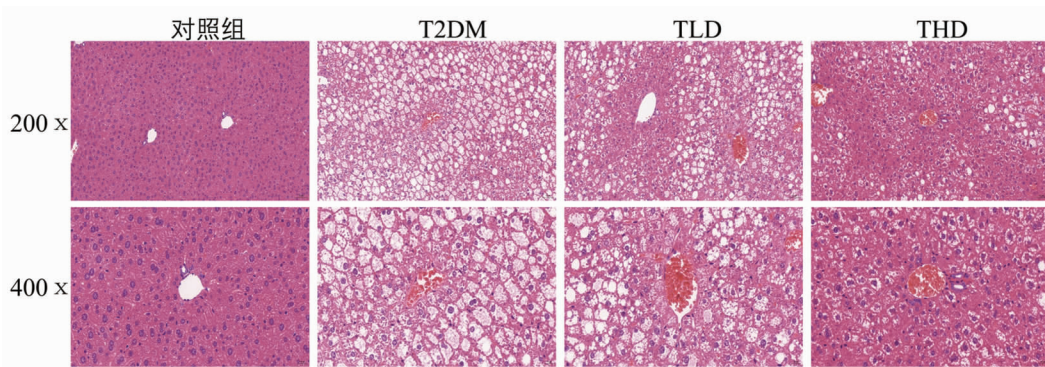


图 5 玉米须水提取物对小鼠肝脏 HE 染色的影响

Fig.5 Effects of corn silk extract on HE staining in mouse liver

### 3 结论

超声辅助水提法制备玉米须水提物,通过高脂饲料诱导 db/db 小鼠为 T2DM 模型,进行降血糖实验,不同剂量的玉米须水提物均可有效改善 2 型糖尿病小鼠的血糖水平。与 T2DM 组小鼠相比,低剂量玉米须水提物可降低小鼠空腹血糖水平,提高葡萄糖耐受能力、改善胰岛素抵抗以及保护肝脏;高剂量玉米须水提物能显著降低小鼠空腹血糖水平( $P<0.05$ ),显著提高葡萄糖耐受能力( $P<0.05$ ),显著改善胰岛素抵抗( $P<0.05$ ),减小肝脏脂肪空泡,使细胞结构变得清晰,具有保护和修复肝脏作用,说明玉米须水提物对降血糖及保肝作用具有量效关系。本文研究了玉米须水提物的降血糖活性以及保护肝脏的作用,可为玉米须在功能性食品中的深加工开发和产业衍生应用提供一定的理论基础。

### 参 考 文 献

- [1] CASTILLO J J, MULL N, REAGAN J L, et al. Increased incidence of non-Hodgkin lymphoma, leukemia, and myeloma in patients with diabetes mellitus type 2: A meta-analysis of observational studies[J]. *Blood*, 2012, 119(21): 4845-4850.
- [2] CHO N H, SHAW J E, KARURANGA S, et al. IDF diabetes atlas: Global estimates of diabetes prevalence for 2017 and projections for 2045[J]. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 2018, 138: 271-281.
- [3] PETERSEN K F, DUFOUR S, BEFROY D, et al. Reversal of nonalcoholic hepatic steatosis, hepatic insulin resistance, and hyperglycemia by moderate weight reduction in patients with type 2 diabetes[J]. *Diabetes*, 2005, 54(3): 603-608.
- [4] 魏叶, 朱心瑶, 王坤, 等. 白藜芦醇对胰岛素抵抗小鼠糖脂代谢的影响及心肌的保护作用[J]. *科学技术与工程*, 2020, 20(15): 5976-5982.
- WEI Y, ZHU X Y, WANG K, et al. Effects of resveratrol on glucose and lipid metabolism and myocardial protection in mice with insulin resistant[J]. *Science Technology and Engineering*, 2020, 20(15): 5976-5982.
- [5] GUO Y, DAI R J, DENG Y L, et al. Hypoglycemic activity of the extracts of *Belamcanda chinensis* leaves(BCLE) on KK-Ay mice[J]. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 2019, 110(1): 449-455.
- [6] KIM M S, KIM S H, PARK S, et al. Ginseng berry improves hyperglycemia by downregulating hepatic gluconeogenesis and steatosis in mice with diet-induced type 2 diabetes[J]. *Journal of Functional Foods*, 2017, 35: 295-302.
- [7] EBRAHIMZADEH M A, POURMORAD F, HAFEZI S J T J O B. Antioxidant activities of Iranian corn silk[J]. *Turkish Journal of Biology*, 2008, 32(1): 43-49.
- [8] PAN Y X, WANG C, CHEN Z Q, et al. Physicochemical properties and antidiabetic effects of a polysaccharide from corn silk in high-fat diet and streptozotocin-induced diabetic mice[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2017, 164: 370-378.
- [9] WENG L B, CHEN T H, HUANG L Y, et al. A nutraceutical combination of cinnamon, purple onion, and tea linked with key enzymes on treatment of type 2 diabetes[J]. *J Food Biochem*, 2021, 45(12): e13971.
- [10] LU J M, WANG Y F, YAN H L, et al. Antidiabetic effect of total saponins from *Polygonatum kingianum* in streptozotocin-induced diabetic rats[J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2016, 179: 291-300.
- [11] 陈艳, 刘杨, 高晓鸽, 等. 人参水提物对小鼠血糖及血脂代谢的影响[J]. *东北师大学报(自然科学版)*, 2009, 41(4): 112-115.
- CHEN Y, LIU Y, GAO X G, et al. Effect of water extract of ginseng on the metabolism of blood glucose and blood lipid in mice [J]. *Journal of Northeast Normal University (Natural Science Edition)*, 2009, 41(4): 112-115.
- [12] 吴亚楠, 邹辉, 刘玉茜, 等. 蒲公英根不同多糖组分的降血糖作用及调控途径研究[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(15): 90-97.
- WU Y N, ZOU H, LIU Y Q, et al. Hypoglycemic effect and regulatory pathway of different polysaccharide components from dandelion root[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2021, 47(15): 90-97.
- [13] PARK H S, HUR H J, KIM S H, et al. Biochanin A improves hepatic steatosis and insulin resistance by regulating the hepatic lipid and glucose metabolic

- pathways in diet-induced obese mice[J]. *Molecular Nutrition & Food Research*, 2016, 60(9): 1944–1955.
- [14] SEZIK E, ASLAN M, YESILADA E, et al. Hypoglycaemic activity of *Gentiana olivieri* and isolation of the active constituent through bioassay-directed fractionation techniques[J]. *Life Sciences*, 2005, 76(11): 1223–1238.
- [15] SIRAM A T, YANAGISAWA R, SKAMAGAS M. Weight management in type 2 diabetes mellitus[J]. *Mount Sinai Journal of Medicine: A Journal of Translational and Personalized Medicine*, 2010, 77(5): 533–548.
- [16] YU Y, SHEN M Y, SONG Q Q, et al. Biological activities and pharmaceutical applications of polysaccharide from natural resources: A review [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2018, 183(1): 91–101.
- [17] CHANG C C, YUAN W, ROAN H Y, et al. The ethyl acetate fraction of corn silk exhibits dual antioxidant and anti-glycation activities and protects insulin-secreting cells from glucotoxicity [J]. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 2016, 16(1): 432.
- [18] ZHANG Y, WANG C F, LIU C X, et al. Recent developments in stigma maydis polysaccharides: Isolation, structural characteristics, biological activities and industrial application[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2020, 150(1): 246–252.
- [19] 唐明明. 水芹的漂烫、超微粉碎及具有降血糖活性的固体饮料的工艺研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2019.
- TANG M M. Study on blanching, superfine grinding of water dropwort and processing technology of solid beverage with hypoglycemic activity[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2019.
- [20] MA Y Q, WANG X, GAO S. Hypoglycemic activity of polysaccharides from sweet corn cob on streptozotocin-induced diabetic rats[J]. *Journal of Food Science*, 2017, 82(1): 208–213.
- [21] SABIU S, O'NEILL F H, ASHAF A O T. Kinetics of  $\alpha$ -amylase and  $\alpha$ -glucosidase inhibitory potential of *Zea mays* Linnaeus (Poaceae), *Stigma maydis* aqueous extract: An *in vitro* assessment[J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2016, 183(1): 1–8.
- [22] GUO Q W, MA Q Q, XUE Z H, et al. Studies on the binding characteristics of three polysaccharides with different molecular weight and flavonoids from corn silk (*Maydis stigma*)[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2018, 198(1): 581–588.
- [23] CHIKA A, BELLO S O. Antihyperglycaemic activity of aqueous leaf extract of *Combretum micranthum* (Combretaceae) in normal and alloxan-induced diabetic rats[J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2010, 129(1): 34–37.
- [24] HASANUDIN K, HASHIM P, MUSTAFA S. Corn silk (*Stigma Maydis*) in healthcare: A phytochemical and pharmacological review[J]. *Molecules*, 2012, 17(8): 9697–9715.
- [25] ZHAO W Z, YIN Y G, YU Z P, et al. Comparison of anti-diabetic effects of polysaccharides from corn silk on normal and hyperglycemia rats[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2012, 50(4): 1133–1137.
- [26] CHA J H, KIM S R, KANG H J, et al. Corn silk extract improves cholesterol metabolism in C57BL/6J mouse fed high-fat diets[J]. *Nutr Res Pract*, 2016, 10(5): 501–506.
- [27] SUN J, ZHOU B, TANG C, et al. Characterization, antioxidant activity and hepatoprotective effect of purple sweetpotato polysaccharides[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2018, 115(1): 69–76.
- [28] CAO J J, LV Q Q, ZHANG B, et al. Structural characterization and hepatoprotective activities of polysaccharides from the leaves of *Toona sinensis* (A. Juss) Roem[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2019, 212(1): 89–101.
- [29] SHENG L, CHEN Q, DI L, et al. Evaluation of anti-diabetic potential of corn silk in high-fat diet/streptozotocin-induced type 2 diabetes mice model[J]. *Endocrine, Metabolic & Immune Disorders Drug Targets*, 2021, 21(1): 131–138.

## Hypoglycemic and Hepatoprotective Effects of Corn Silk Extract on Type 2 Diabetic Mice

Jin Danli<sup>1,2</sup>, Chen Yuewen<sup>1,2\*</sup>, Chai Tingting<sup>1,2</sup>, Ren Shaotian<sup>1,2</sup>, Yuan Yanwei<sup>1,2</sup>, Cheng Yichao<sup>1,2</sup>

*(<sup>1</sup>School of Food Science and Biotechnology, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310018*

*<sup>2</sup>Donghai Food Research Institute (Taizhou), Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310018)*

**Abstract** The objective was to investigate the hypoglycemic and hepatoprotective effect of corn silk extract on db/db mice by body weight, fasting blood glucose (FBG), oral glucose tolerance test (OGTT), insulin tolerance test (ITT), liver pathomorphological organ index and histological analysis. In this study, the body weight and FBG of each group of db/db mice were recorded by continuous gavage of corn silk extract for 12 weeks, and OGTT, ITT and liver sections were observed. The results showed that the FBG of db/db mice after gavage with corn silk extract was significantly reduced ( $P<0.05$ ), and the OGTT and ITT were significantly improved ( $P<0.05$ ). At the same time, corn silk extract had some protective and repairing effects on the liver tissues of db/db mice. There was no significant difference in body weight between groups during gavage. In conclusion, the corn silk extract has improved the high blood glucose level and protected the liver in T2DM.

**Keywords** corn silk extract; type 2 diabetes; lower blood sugar; liver protection