

刺梨汁对 I 型糖尿病小鼠的降糖作用

陈小敏¹, 谭书明², 黄颖¹, 陈萍¹, 宋长军¹

(1. 贵州大学酿酒与食品工程学院, 贵州贵阳 550025)

(2. 贵州大学生命科学学院, 贵州省农畜产品贮藏与加工重点实验室, 贵州贵阳 550025)

摘要: 研究刺梨汁高、中、低剂量组对链脲佐菌素 (STZ) 诱导形成 I 型糖尿病小鼠的降糖效果。将造模成功后的老鼠随机分为模型组、阳性组、刺梨汁高、中、低剂量组, 并设空白对照组。灌胃给药, 期间测定小鼠的饮食饮水量、体重、空腹血糖 (FBG)、糖耐量、糖化血清蛋白 (GSP)、糖化血红蛋白 (GHb)、血清胰岛素 (INS)、肝糖原以及脏器指数变化。连续灌胃治疗 28 d 后, 多饮多食的症状明显好转, 体重下降受到抑制; 与模型组相比, 刺梨汁高、中、低剂量组的 FBG 分别下降了 39.80%、18.18%、7.18%; GHb 降低了 29.85%、16.04%、10.52%; GSP 降低了 18.52%、9.80%、6.32%; INS 分别升高了 26.13%、20.60%、14.21%; 血糖时间曲线下面积 (AUC) 分别降低 44.43%、22.62%、14.07%, 肝糖原分别增加了 1.39、1.10 和 1.02 倍, 表明刺梨汁对 I 型糖尿病小鼠具有辅助治疗作用。

关键词: 刺梨; 糖尿病小鼠; 降糖; 糖代谢

文章编号: 1673-9078(2019)08-13-20

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.8.003

Hypoglycemic Effect of *Rosa roxburghii* Juice on Type I Diabetic Mice

CHEN Xiao-min¹, TAN Shu-ming², HUANG Ying¹, CHEN Ping¹, SONG Zhang-jun¹

(1. College of Brewing and Food Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

(2. Key Laboratory of Storage and Processing of Agricultural and Livestock Products, College of Life Science, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract: The hypoglycemic effect of *Rosa roxburghii* juice in high, middle and low dose groups on streptozotocin (STZ) -induced type I diabetic mice was studied. The mice were randomly divided into blank group, model group, positive group, high, middle and low dose groups administration by gavage for 4 weeks. Changes in diet and water intake, body weight, fasting blood glucose (FBG), glucose tolerance, glycosylated serum protein (GSP), glycosylated hemoglobin (GHb), serum insulin (INS), liver glycogen and organ index were measured during the study. After continuous gavage for 28 days, the symptoms of polydipsia and polyphagia were significantly improved and weight loss was inhibited. Compared with the model group, FBG in the high, medium and low dose groups of *Rosa roxburghii* juice decreased by 39.80%, 18.18% and 7.18%, respectively. GHb decreased by 29.85%, 16.04% and 10.52%. GSP decreased by 18.52%, 9.80% and 6.32%. INS increased by 26.13%, 20.60% and 14.21% respectively, the areas under the blood glucose time curve (AUC) were reduced by 44.43%, 22.62% and 14.07%, respectively, liver glycogen levels were increased by 1.39, 1.10 and 1.02 times, respectively, show that thorn pear juice have auxiliary therapy effect on the I diabetes mice.

Key words: *Rosa roxburghii*; diabetic mice; hypoglycemic; sugar metabolism

糖尿病主要由于胰岛素作用缺陷或胰岛素分泌不足引起的高血糖紊乱疾病^[1]。随着人们生活水平的提高及生活习惯的改变, 糖尿病患者人数不断攀升, 已成为继肿瘤、心血管疾病的第三大非传染性疾病。根据 2017 年国际糖尿病联合会 (IDF) 最新统计结果显示, 全球 20~79 岁糖尿病患者人数已达 4.25 万人死于糖尿病^[2-4]。目前临床上治疗糖尿病的方法主要是口服

降糖类药物, 然而长期服用会对人体健康产生严重的副作用^[5,6]。因此从天然植物中探寻有降糖作用的食物原料具有广阔的市场前景。

刺梨 (*Rosa roxburghii* Tratt) 又名茨梨、木梨子, 为蔷薇科缙丝花的果实^[7]。主要分布在中国西南地区的四川、云南、贵州等省份, 尤其在贵州各地区均可见其分布^[8]。刺梨富含维生素 C, 其维生素 C 含量是其它单果作物 (番茄、猕猴桃等) 的几倍甚至几十倍^[9]。除此之外, 刺梨中还含有丰富的超氧化歧化酶、单宁、多酚、黄酮、多糖、微量元素以及氨基酸等物质^[10-13]。现代药理研究表明, 刺梨具有调节机体免疫

收稿日期: 2019-03-21

基金项目: 贵州省重大科技专项 (黔科合重大专项字 [2013] 6006-2)

作者简介: 陈小敏 (1993-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 果蔬贮藏与加工

通讯作者: 谭书明 (1964-), 男, 教授, 研究方向: 农产品贮藏与加工

功能、抗氧化、美容养颜、抗动脉粥样硬化、抗肿瘤、降血糖等功能^[14,15]。张晓玲等^[16]研究发现,刺梨中的黄酮能显著地降低糖尿病小鼠的血清葡萄糖,升高血清胰岛素,具有预防糖尿病的作用。也有研究报道,刺梨中活性成分维生素P具有预防糖尿病及其并发症的作用^[17]。目前,关于刺梨汁降血糖作用及其机理的研究报道较少。所以本文以刺梨原汁进行不同程度的浓缩后连续灌胃糖尿病小鼠四周后,探讨刺梨汁的降糖作用,期望为刺梨汁开发辅助降糖保健食品及降糖机理提供参考。

1 材料与方法

1.1 原料

刺梨原汁,贵州省贵阳市龙里县;刺梨汁高、中、低剂量组,刺梨原汁分别旋转蒸发浓缩8倍、4倍、2倍,4℃冰箱保存备用;SPF级18~22g的KM种雄性小鼠(合格证号:SCXK(辽)2015-0001),辽宁长生生物技术股份有限公司提供。

1.2 实验试剂与仪器

1.2.1 实验试剂

葡萄糖(AR)、柠檬酸(AR)、柠檬酸钠(AR),成都金山化学试剂有限公司;盐酸二甲双胍(≥98%),源叶生物科技有限公司;链脲佐菌素(STZ)(≥98%),美国sigma公司;血糖仪与配套血糖试纸,江苏鱼跃医疗设备股份有限公司;糖化血清蛋白(GSP)试剂盒、糖化血红蛋白(GHb)试剂盒、胰岛素(INS)酶联免疫分析试剂盒、肝糖原试剂盒,上海桥杜生物科技有限公司。

1.2.2 实验仪器

SpectraMax190 连续波长多功能酶标仪,美国Molecular Devices公司;H1-16KR 高速冷冻离心机,湖南可成仪器设备有限公司;R-201 旋转蒸发器,上海申胜生物技术有限公司;L5S 紫外-可见分光光度计,上海仪电分析仪器有限公司;DY89-II 电动玻璃匀浆机,宁波新芝生物科技股份有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 I型糖尿病小鼠模型的建立

体重18~22g,雄性KM小鼠30只,适应性喂养7d后,随机分组选取5只作为空白组,其他小鼠经过12h禁食,不禁水,一次性高剂量腹腔注射链脲佐菌素(STZ)150mg/(kg·bw)诱导I型糖尿病小鼠模型。造模期间自由饮食饮水,造模后第3d小鼠禁食10h后剪尾采血测定空腹血糖值(FBG),当FBG值高于11.10mmol/L(200mg/dL)视为建模成功^[18,19]。

1.3.2 糖尿病小鼠的分组及喂养

将造模成功的小鼠按血糖、体重随机分成6组(n=5),分别为模型组、阳性组、刺梨汁高、中、低剂量组、5只正常小鼠为空白组。模型组、空白组灌胃柠檬酸钠缓冲液,刺梨汁高、中、低组分别给与相应浓缩倍数的刺梨汁,阳性组灌胃生理盐水配制的盐酸二甲双胍溶液100mg/(kg·bw)。

灌胃开始后,每天记录小鼠的饮食量、饮水量。连续观察28d,每隔7d测定小鼠的FBG含量和体重(测定FBG含量前禁食不禁水10h),根据体重变化来调整小鼠的灌胃剂量。

给药剂量依据《药理实验方法学》中“标准体重动物剂量换算表”确定小鼠给药的等效剂量。

表1 各组小鼠的分组及喂养

Table 1 Grouping and feeding of mice in each group

分组	灌胃	灌喂时间/d	饮水
正常组(NC)	柠檬酸钠缓冲溶液	28	蒸馏水
阳性组(PC)	100 mg/kg 盐酸二甲双胍	28	蒸馏水
模型组(MC)	柠檬酸钠缓冲溶液	28	蒸馏水
刺梨高剂量组(HF)	刺梨高剂量	28	蒸馏水
刺梨中剂量组(MF)	刺梨中剂量	28	蒸馏水
刺梨低剂量组(DF)	刺梨低剂量	28	蒸馏水

1.4 测定指标及方法

1.4.1 小鼠饮食饮水量及体重的测定

每天准时记录小鼠的饮食饮水量。每隔7d测量体重一次,连续测量28d。

1.4.2 空腹血糖(FBG)的测定

小鼠禁食不禁水6h后,通过剪尾采血法测定各组小鼠的FBG值。每周进行1次FBG的测定,连续28d。

1.4.3 口服糖耐量测定

连续灌胃28d后,各组小鼠禁食不禁水12h,每只小鼠按2.00g/kg·bw剂量灌胃给予葡萄糖,剪尾采

血测定给予葡萄糖后 0、0.5、1 和 2 h 时的血糖值, 观察各组小鼠在给予葡萄糖后不同时间点血糖值的变化情况。血糖曲线下面积 (AUC) 根据以下公式进行计算^[20,21]:

$$AUC(\text{hmmol/L}) = \frac{(0.5A + B + C + 0.5D)}{2}$$

式中: A、B、C 和 D 分别代表给予葡萄糖后 0、0.5、1 和 2 h 的血糖值。

1.4.4 糖化血红蛋白 (GHb) 和糖化血清蛋白 (GSP) 的测定

连续灌胃 28 d 后, 禁食不禁水 12 h, 摘眼球取血, 室温静置 1 h, 3500 r/min 离心 15 min, 分离血清, -80 °C 储藏备用。按试剂盒的操作步骤进行测定。

1.4.5 胰岛素 (INS) 的测定

具体操作步骤按试剂盒说明书进行测定。

1.4.6 小鼠肝糖原的测定

小鼠连续灌胃 28 d 后禁食不禁水 12 h 脱颈处死, 解剖小鼠取其肝脏, 并用 0.9% 生理盐水漂洗干净 (预先配好灭菌于 4 °C 冰箱保存备用), 用吸水纸吸干肝脏表面的水分, 用锡箔纸包裹扔入液氮转入 -80 °C 冰箱保存备用。具体操作步骤按试剂盒说明书进行。

1.4.7 小鼠脏器指数的测定

小鼠取血处死前称量体重并记录, 解剖取其肝脏、肾脏、脾脏等组织。用生理盐水洗净, 吸水纸擦干后精确称量各组织器官重量并记录, 各器官重量与体重的比值即为脏器指数。

1.5 数据分析

实验结果以 ($\bar{x} \pm s$) 表示, 采用 SPSS 22.0 进行统计分析; 各组结果采用 Duncan 显著性差异测验进行单向方差分析, 显著水平为 0.05。

2 结果与分析

2.1 刺梨汁对糖尿病小鼠体重、饮食、饮水量的影响

糖尿病的典型症状是“三多一少”, 即饮食饮水尿量增多, 体重下降。各组小鼠经 28 d 灌胃后, 体重变化如图 1 所示。

正常组与其它各组相比, 体重显著增加, 模型组与正常组相比, 体重减轻, 呈不断下降趋势, 表明小鼠糖尿病症状越来越严重。28 d 后模型组体重比正常组体重下降了 17.28%; 阳性组与模型组相比, 体重逐渐上升, 增加了 3.33%; 刺梨高、中、低剂量组治疗

28 d 后, 与模型组相比均能不同程度的抑制体重下降; 特别高剂量组体重不断上升, 比模型组增加了 8.00%。各组小鼠的饮食饮水量如图 2、图 3 所示。

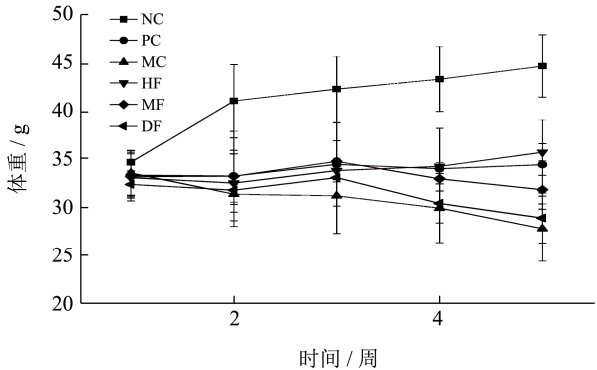


图 1 刺梨汁对糖尿病小鼠体重的影响

Fig.1 Effect of Rose roxburgh juice on body weight in diabetic mice

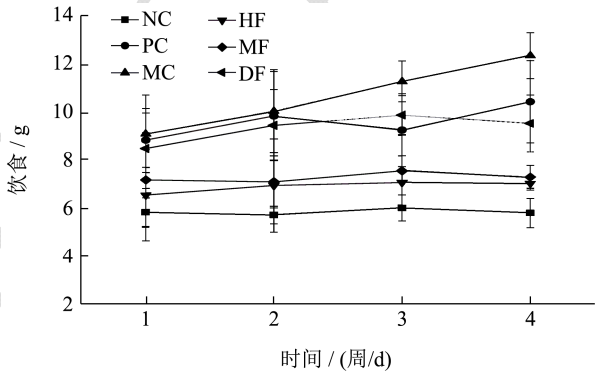


图 2 刺梨汁对糖尿病小鼠饮食量的影响

Fig.2 Effect of Rose roxburgh juice on diet of diabetic mice

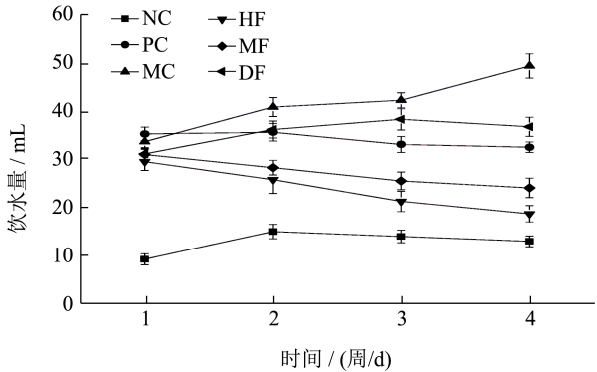


图 3 刺梨汁对糖尿病小鼠饮水量的影响

Fig.3 Effect of Rose roxburgh juice on water intake in diabetic mice

正常组经过 28 d 的灌胃治疗后饮食饮水量无明显变化, 而模型组饮食饮水量不断上升, 糖尿病多饮多食症状明显, 从阳性组和刺梨高、中、低各组的饮食饮水量变化可看出, 各组的饮食饮水量相比模型组都有不同程度的改善, 特别是刺梨高剂量组明显优于刺梨中剂量和低剂量组。结果表明: 刺梨汁对糖尿病小鼠多饮多食症状具有改善作用, 能不同程度的抑制糖

尿病小鼠体重下降。黄颂^[22]等研究茯茶水提取物对糖尿病小鼠的降糖作用,发现茯茶水提取物能明显改善糖尿病小鼠“三多一少”症状,抑制体重下降。李凤华^[23]等研究结果表明石榴籽水提取物高剂量组能缓解小鼠消瘦症状,但作用缓慢。

2.2 刺梨汁对糖尿病小鼠空腹血糖 (FBG) 的影响

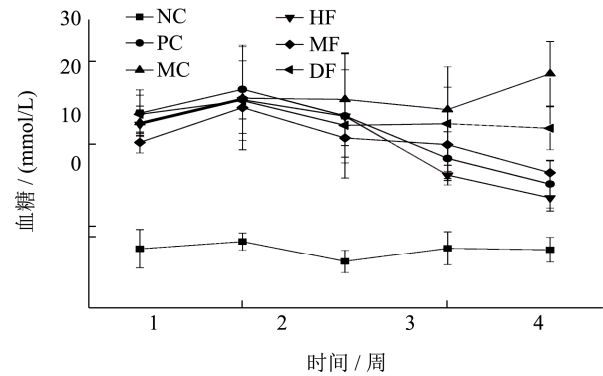


图 4 刺梨汁对糖尿病小鼠空腹血糖的影响

Fig.4 Effect of *Rose roxburgh* juice on fasting blood glucose in diabetic mice

刺梨汁经连续灌胃 28 d 后 FBG 变化水平如图 4 所示。

空腹血糖是临床最常用的检测指标,反映胰岛 β 细胞的功能状态,当 FBG 值越高,胰岛细胞受损越严重。周艺^[24]通过研究发现刺梨茶的乙醇溶剂能显著降低糖尿病小鼠的 FBG 值,其主要降糖活性成分可能是多酚、黄酮等醇溶性小分子物质。贾蕊^[25]等研究齿叶白鹃梅叶对糖尿病大鼠降糖作用,发现给药 6 周后齿叶白鹃梅叶高剂量组能显著降低糖尿病大鼠的 FBG 值 ($p<0.05$)。从图 4 中可看出小鼠经过造模后各组小

鼠的 FBG 值明显高于正常组。特别是模型组与正常组相比,血糖值不断上升,说明模型组小鼠糖尿病越来越严重;除模型组和正常组外,其它各组小鼠经过 28 d 的灌胃治疗后血糖值均有不同程度的下降,阳性组下降了 36.21%,刺梨高、中、低剂量组分别下降了 39.80%、18.18%、7.18%。其中刺梨高剂量组经过 4 周灌胃治疗后的血糖值降到 13.43 mmol/L,虽然未能降到正常血糖水平,但有明显的改善效果。

2.3 刺梨汁对糖尿病小鼠糖耐量的影响

糖耐量是指机体对葡萄糖的耐受能力,通过测定糖耐量,可推知胰岛素的分泌情况^[26]。由表 2 所示,各组小鼠经过灌胃葡萄糖溶液后,在 0.5 h 时各组小鼠的血糖值均达到最大值,2 h 后各组的血糖值均有不同程度的下降。正常组小鼠的血糖值经过 2 h 后血糖降到正常值范围,而模型组小鼠 2 h 后的血糖保持在较高值,耐糖量水平显著高于正常组 ($p<0.01$),说明造模成功。阳性对照组的糖耐量水平低于模型对照组,说明二甲双胍能够降低糖尿病小鼠餐后血糖曲面下面积,提高其糖耐量水平。与模型组相比,刺梨汁高、中、低剂量组的血糖值在 1 h、2 h 明显降低 ($p<0.01$),曲面下的面积(AUC)与模型组相比,分别下降了 44.43%、22.62%、14.07%。表明刺梨高、中、低剂量组均能不同程度的降低糖尿病小鼠葡萄糖负荷后的血糖值,降低餐后血糖时间曲面下的面积(AUC),提高糖尿病小鼠糖耐量能力,促进胰岛素的分泌,特别是刺梨汁高剂量组效果较明显。杨晓霞^[27]等人研究杨桃果汁对糖尿病小鼠的降糖作用,发现杨桃果汁中、高剂量组糖耐量血糖曲线下面积(AUC)显著降低,高剂量组下降最明显 ($p<0.05$)。

表 2 刺梨汁对糖尿病小鼠糖耐量的影响

Table 2 Effect of *Rose roxburgh* juice on glucose tolerance in diabetic mice

组别	血糖/(mmol/L)				AUC/(h·mmol/L)
	0 h	0.5 h	1 h	2 h	
NC	7.26±1.62	10.50±2.51	9.23±1.64	7.87±1.88	13.65±1.91
PC	12.77±3.42**	26.30±2.14**	21.50±2.55**	14.93±1.66**	30.83±1.91**
MC	18.53±1.89###	31.72±1.54###	30.62±1.21###	29.40±1.37###	43.15±1.45###
HF	11.30±1.40**	20.30±1.93**	15.95±1.55**	12.10±1.03**	23.98±1.96**
MF	13.83±1.79*	28.48±1.26	23.30±0.93**	16.18±1.67**	33.39±1.40**
DF	16.68±1.32	30.30±1.37	26.30±1.02**	18.45±2.10**	37.08±0.83**

注: #, ###代表模型组与正常组的显著性差异, # $p<0.05$, ### $p<0.01$; *, **代表各组与模型组的显著性差异, * $p<0.05$, ** $p<0.01$ 。

2.4 刺梨汁对糖尿病小鼠 GHb 和 GSP 的影响

连续灌胃 28 d 后, 各组小鼠的 GHb 和 GSP 结果

如图 5 和图 6 所示。GHb 和 GSP 能反映机体过去 2~3 个月内的平均血糖水平变化情况,与血糖浓度成正比,是目前测量血糖最为精确的方法。从图 5 和图 6 中可

看出，模型组的 GHb 和 GSP 与正常组比较差异性极显著 ($p<0.01$)，分别高出正常组 186.98%、267.20%。与模型组比较，刺梨高、中、低剂量组均能不同程度的降低小鼠的 GHb 和 GSP，GHb 分别降低了 29.85%、16.04%、10.52%；GSP 分别降低了 18.52%、9.80%、6.32%，特别是高剂量组优于中、低剂量组，有明显的剂量-效应关系，表明不同浓度的刺梨汁均能降低糖尿病小鼠的血糖水平。钟欢欢^[28]研究参麦颗粒对糖尿病大鼠的降糖作用，结果表明高剂量参麦颗粒和盐酸二甲双胍片可显著地降低糖尿病大鼠的 GHb 含量 ($p<0.01$)。刘红芹^[29]等研究发现葛根、桑叶、苦瓜、苦荞配方提取液能有效降低 GHb 和 GSP 含量。

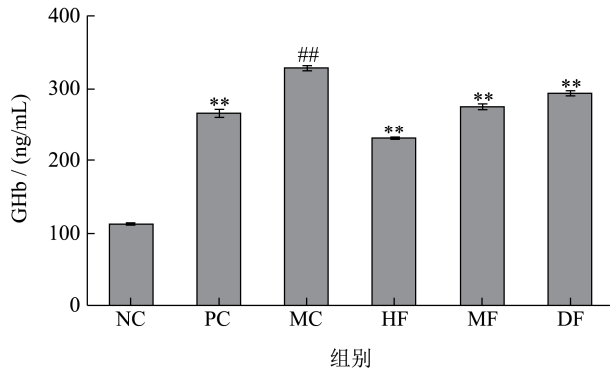


图5 刺梨汁对糖尿病小鼠糖化血红蛋白的影响

Fig.5 Effects of *Rose roxburgh* juice on glycosylated hemoglobin in diabetic mice

注：#，##代表模型组与正常组的显著性差异，# $p<0.05$ ，## $p<0.01$ ；*，**代表各组与模型组的显著性差异，* $p<0.05$ ，** $p<0.01$ 。下图同。

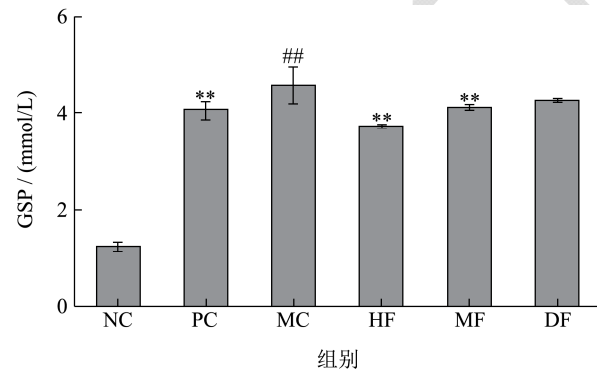


图6 刺梨汁对糖尿病小鼠糖化血清蛋白的影响

Fig.6 Effect of *Rose roxburgh* juice on glycosylated serum protein in diabetic mice

2.5 刺梨汁对糖尿病小鼠 INS 的影响

胰岛素是机体内唯一能降低血糖的激素，如果胰岛素缺乏或分泌不足将导致血糖升高^[30]。刺梨汁连续灌胃 28 d 后，按试剂盒测定步骤测定小鼠血清中的 INS 含量如图 7 所示。与空白组比较，模型组中的 INS

含量显著降低，下降了 26.13%，差异性极显著 ($p<0.01$)，表明模型组小鼠的胰岛细胞受损严重，胰岛素分泌减少；与模型组比较，刺梨汁高、中、低剂量组均有显著的升高，分别升高了 26.13%、20.60%、14.21%。沈玖君^[31]通过研究 4 种食源性植物配方对糖尿病小鼠的降糖机制，结果发现植物配方根叶组、全叶组、混合粉小鼠血清胰岛素水平分别升高了 35.59%、23.65%和 28.19%，推测其作用机制可能是通过促进胰岛细胞分泌胰岛素，刺梨汁作用机制可能与此相似。

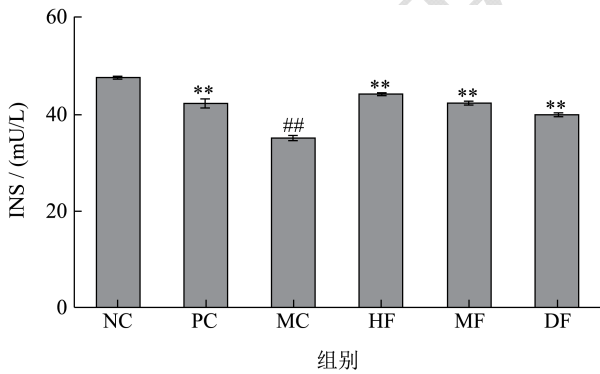


图7 刺梨汁对糖尿病小鼠血清胰岛素的影响

Fig.7 Effects of *Rose roxburgh* juice on serum insulin in diabetic mice

2.6 刺梨汁对糖尿病小鼠肝糖原的影响

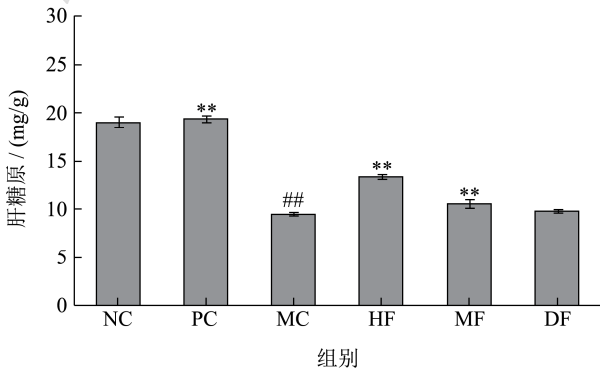


图8 刺梨汁对糖尿病小鼠肝糖原的影响

Fig.8 Effect of *Rose roxburgh* juice on hepatic glycogen in diabetic mice

各组小鼠肝糖原含量如图 8 所示，从图中可看出正常组与模型组比较差异性极显著 ($p<0.01$)，模型组较正常组肝糖原显著下降，说明模型组小鼠肝糖原的储存能力弱，造模成功；阳性组经过 28 d 治疗与模型组比较肝糖原含量显著升高；而刺梨汁高、中、低剂量组与模型组比较，肝糖原含量均有不同程度的上升，分别升高 1.39、1.10 和 1.02 倍，特别是高、中剂量组与模型组相比，差异性极显著 ($p<0.01$)，低剂量组与模型组相比差异不显著。由此可得出，刺梨汁可通过

刺激肝脏等外周组织摄取葡萄糖合成糖原，调控血糖的波动。赵磊^[32]等研究发现南瓜、山药、葛根和桑叶配方高剂量组可提高小鼠肝脏合成肝糖原能力，较模型组肝糖原含量提高 22.80% ($p<0.05$)。

2.7 刺梨汁对糖尿病小鼠脏器指数的影响

连续灌胃治疗 28 d 后小鼠禁食不禁水 12 h，取血解剖前首先记录小鼠体重；解剖取其肝脏、肾脏、脾脏用预冷的生理盐水冲洗干净后，准确称量各器官重量并计算各脏器指数如表 3 所示。从表 3 可看出，模型组的肝系数比正常组升高了 28.33%，差异性显著 ($p<0.05$)，表明糖尿病小鼠的肝脏出现明显的肿大现象。阳性组和刺梨汁高、中、低剂量组的肝系数与模型组比较均有不同程度的降低，分别降低了 13.02%、

14.15%、8.11%、6.42%，表明刺梨汁对小鼠的肝脏具有一定的保护作用。糖尿病后期常伴随肾病的产生，由表 3 可看出，模型组的肾系数与正常组相比，差异性极显著 ($p<0.01$)，比正常组升高了 56.76%，表明模型组小鼠肾脏受到损伤、水肿。而阳性组和刺梨汁高、中、低剂量组与模型组相比，肾系数有不同程度的下降，特别是刺梨汁高剂量组与模型组相比下降了 32.76%，差异性极显著 ($p<0.01$)，表明刺梨汁能抑制糖尿病小鼠的肾脏损伤。脾系数可以间接反映小鼠的免疫功能状态，模型组与正常组比较，脾系数上升了 52.17%，差异性极显著 ($p<0.01$)；而阳性组与刺梨汁高剂量组与模型组比较差异性显著 ($p<0.05$)，中、低剂量组与模型组比较差异性不显著，说明刺梨汁对小鼠的脾系数影响不大。

表 3 连续灌胃 28 d 后小鼠的脏器指数

Table 3 Viscera index of mice after continuous intragastric administration for 28 days				
组别	体重/g	肝系数/(g/100 g·bw)	肾系数/(g/100 g·bw)	脾系数/(g/100 g·bw)
NC	46.42±1.68	4.13±0.20	1.48±0.06	0.23±0.02
PC	33.41±0.62**	4.61±0.83	1.76±0.23*	0.31±0.02*
MC	23.57±3.52###	5.30±0.04#	2.32±0.08###	0.35±0.02###
HF	34.26±4.28**	4.55±0.33	1.56±0.22**	0.30±0.02*
MF	29.25±1.66*	4.87±0.88	1.80±0.35*	0.32±0.03
DF	25.83±1.20	4.96±0.54	1.94±0.30	0.34±0.01

注：#，## 代表模型组与正常组的显著性差异，# $p<0.05$ ，## $p<0.01$ ；*，** 代表各组与模型组的显著性差异，* $p<0.05$ ，** $p<0.01$ 。

3 结论

通过诱导 I 型糖尿病小鼠模型，测定各项指标对糖尿病小鼠的影响。研究表明，刺梨高、中、低剂量组与模型组比较均有不同程度的降低糖尿病小鼠的血糖水平，特别是高剂量组与模型组比较有差异性极显著 ($p<0.01$)。通过本研究证明刺梨汁对糖尿病小鼠具有辅助治疗作用，若将刺梨汁研发成具有功能性的食品，将带动刺梨产业的快速发展。但目前关于刺梨汁降糖机制还不清楚，相关研究还待进一步深入。

参考文献

[1] Zhao C, Yang C, Liu B, et al. Bioactive compounds from marine macroalgae and their hypoglycemic benefits [J]. Trends in Food Science & Technology, 2018, 72: 1-12

[2] 陈菲菲. 齐墩果酸衍生物 DKS26 的抗糖尿病作用及其机制研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2018

CHEN Fei-fei. Anti-diabetic effects and mechanisms of the oleanolic acid derivative DKS26 [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2018

[3] 赵博, 王一峰, 侯宏红. 中国榧木粗多糖对糖尿病大鼠的降

血糖作用[J]. 食品科学, 2015, 36(13): 211-214

ZHAO Bo, WANG Yi-feng, HOU Hong-hong. Hypoglycemic effect of crude polysaccharide extract from aralia Chinese on diabetic rats [J]. Food Science, 2015, 36(13): 211-214

[4] G Selvakumar, G Shathirapathiy, et al. Immediate effect of bitter gourd, ash gourd, Knol-khol juices on blood sugar levels of patients with type 2 diabetes mellitus: A pilot study [J]. Journal of Traditional and Complementary Medicine. 2017, 7(4): 526-531

[5] 焦丹, 李浩霞, 吴丹丹, 等. 魔芋低聚糖缓解高糖水平诱发的代谢综合征及相关机制研究[J]. 食品科学 2019, 13: 137-142

JIAO Dan, LI Hao-xia, WU Dan-dan, et al. The alleviatory effect and mechanism of konjac oligosaccharides on high glucose induced-metabolic syndrome [J]. Food Science, 2019, 13: 137-142

[6] 于淑池, 陈文, 杭瑜瑜, 等. 海南苦丁茶多糖的降血糖功效评价[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(4): 161-164

YU Shu-chi, CHEN Wen, HANG Yu-yu, et al. An evaluation on the hypoglycemic efficacy of polysaccharide from Hainan kuding tea [J]. Food Research and Development, 2017, 38(4):

- 161-164
- [7] 张瑜,罗昱,刘芳舒,等.不同脱苦涩处理刺梨果汁风味品质分析[J].食品科学,2016,37(4):115-119
ZHANG Yu, LUO Yu, LIU Fang-shu, et al. Flavor quality of *Rosa roxburghii* juice with different treatments for the removal of bitter and astringent tastes [J]. Food Science, 2016, 37(4): 115-119
- [8] Wang H, Li Y, Ren Z, et al. Optimization of the microwave-assisted enzymatic extraction of *Rosa roxburghii* trant polysaccharides using response surface methodology and its antioxidant and α -D-glucosidase inhibitory activity [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 112: 473-482
- [9] Chen G, Kan J. Characterization of a novel polysaccharide isolated from *Rosa roxburghii* Tratt fruit and assessment of its antioxidant *in vitro* and *in vivo* [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 107: 166-174
- [10] 谢勇,张榕,施伽,等.刺梨凝固型酸奶的发酵工艺研究[J].中国酿造,2017,36(10):181-185
XIE Yong, ZHANG Rong, SHI Jia, et al. Optimization of the fermentation process of *Rosa roxburghii* set yogurt [J]. China Brewing, 2017, 36(10): 181-185
- [11] 林冰,孙悦,何怡,等.刺梨酵素的制备及活性测定[J].中国食品添加剂,2018,10:109-114
LIN Bing, SUN Yue, HE Yi, et al. Preparation and determination of preliminary bioactivity of *Rosa roxburghii* trant enzyme [J]. China Food Additives, 2018, 10: 109-114
- [12] Xu P, Cai X, Zhang W, et al. Flavonoids of *Rosa roxburghii* trant exhibit radioprotection and anti-apoptosis properties via the Bcl-2 (Ca^{2+})/Caspase-3/PARP-1 pathway [J]. Apoptosis, 2016, 21(10): 1125-1143
- [13] Xu P, Liu X, Xiong X, et al. Flavonoids of *Rosa roxburghii* trant exhibit anti - apoptosis properties by regulating PARP - 1/AIF [J]. Journal of cellular biochemistry, 2017, 118(11): 3943-3952
- [14] Wang L, Zhang B, Xiao J, et al. Physicochemical, functional, and biological properties of water-soluble polysaccharides from *Rosa roxburghii* Tratt fruit [J]. Food chemistry, 2018, 249: 127-135
- [15] 孙悦,林冰.刺梨中维生素 C 的闪式提取工艺研究[J].中国食品添加剂,2018,9:129-133
SUN Yue, LIN Bing. Study on smashing tissue extraction of vitamin C from *Rosa roxburghii* Tratt [J]. China Food Additives, 2018, 9: 129-133
- [16] 张晓玲,瞿伟菁,孙斌,等.刺梨黄酮对实验性糖尿病的预防作用[J].营养学报,2004,6:474-476
ZHANG Xiao-ling, QU Wei-jing, SUN Bin, et al. The preventive effect of flavonoid of *Rosa roxburghii* Tratt on diabetic mice [J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2004, 6: 474-476
- [17] 简崇东.刺梨药理作用的研究进展[J].中国医药指南,2011, 9(29):38-40
JIAN Chong-dong. Research progress on the pharmacological effects of *Rosa roxburghii* [J]. Guide of China Medicine, 2011, 9(29): 38-40
- [18] Begorre M A, Dib A, Habchi K, et al. Microvascular vasodilator properties of the angiotensin II type 2 receptor in a mouse model of type 1 diabetes [J]. Scientific reports, 2017, 7: 45625
- [19] 史得君,严欢,崔清美,等.人参茎叶提取物对 I 型糖尿病小鼠模型的影响[J].食品与机械,2017,33(7):165-169
SHI De-jun, YAN Huan, CUI Qing-mei, et al. Effects of extracts of ginseng stems and leaves on type I diabetic mice model [J]. Food and Machinery, 2017, 33(7): 165-169
- [20] 吴黄坦,吴晓露,陈煜沛,等.经培养基优化所得牛樟芝及其功能饮料的护肝和降血糖作用[J].现代食品科技,2018, 34(6):24-31,121
WU Hong-tan, WU Xiao-lu, CHEN Yu-pei, et al. Hepatoprotective and hypoglycemic effects of *Antrodia camphorata* obtained by medium optimization and its functional beverage [J]. Modern Food Science and Technology, 2018, 34(6): 24-31, 121
- [21] 张世奇.辣椒素对 I 型糖尿病大鼠糖代谢的影响及其降糖机制的研究[D].重庆:西南大学,2017
ZHANG Shi-qi. The effects and mechanism of capsaicin on glycometabolism and hypoglycemic action in type 1 diabetic rats [D]. Chongqing: Southwest University, 2017
- [22] 黄颂,刘仲华,黄建安,等.茯茶水提取物对 II 型糖尿病小鼠糖代谢紊乱的干预作用[J].茶叶科学,2016,36(3):250-260
HUANG Song, LIU Zhong-hua, HUANG Jian-an, et al. Intervention effects of fuzhuan brick tea water extract on glucose metabolism disorder in a mouse model of type II diabetes mellitus [J]. Journal of Tea Science, 2016, 36(3): 250-260
- [23] 李凤华,王寅,卢艳敏,等.石榴籽提取物对糖尿病小鼠降糖作用的研究[J].中国果菜,2014,34(12):48-51
LI Feng-hua, WNAG Yin, LU Yan-min, et al. Antidiabetic activity of pomegranate seed extract on diabetic mice [J]. Chinese Fruit, 2014, 34(12): 48-51
- [24] 周艺.刺梨茶对实验小鼠降血糖、血脂及抗氧化作用研究[D].贵州:贵州大学,2017

- ZHOU Yi. The study on the hypoglycemic and hypolipidemic and antioxidant activity effect from the tea of *Rosa roxburghii* Tratt [D]. Guizhou: Guizhou University, 2017
- [25] 贾蕊,刘阳芷,刘玉强,等.齿叶白鹃梅叶对II型糖尿病大鼠模型降糖调脂作用的研究[J].中南药学,2018,16(5):602-605
- JIA Rui, LIU Yang-zhi, LIU Yu-qiang, et. al. Role of *Exochorda serratifolia* leaves in lowering blood glucose and cholesterol in type II diabetic rat models [J]. Central South Pharmacy, 2018, 16(5): 602-605
- [26] 彭晓蝶,秦樱瑞,黄先智,等.桑叶-苦瓜混合粉对糖尿病小鼠的降糖作用[J].现代食品科技,2017,33(4):31-37
- PENG Xiao-die, QIN Ying-rui, HUANG Xian-zhi, et al. Hypoglycemic effect of mulberry leaf-balsam pear mixed powder on diabetic mice [J]. Modern Food Science and Technology, 2017, 33(4): 31-37
- [27] 杨映霞,黄天敏,黄仁彬,等.杨桃果汁对糖尿病模型小鼠的降糖作用及其机制研究[J].广西医科大学学报,2019,36(1): 7-10
- YANG Ying-xia, HUANG Tian-min, HUANG Ren-bin, et.al. The effects and mechanisms of carambola fruit juice on blood glucose in diabetic mice [J]. Journal of Guangxi Medical University, 2019, 36(1): 7-10
- [28] 钟欢欢.参麦颗粒对2型糖尿病模型大鼠的降糖作用研究[D].辽宁:沈阳药科大学,2008
- ZHONG Huan-huan. Study on the hypoglycemic effect of Shenmai granule on type I diabetes model rats [D]. Liaoning: Shenyang Pharmaceutical University, 2008
- [29] 刘红芹,张晓旭,赵婷婷,等.葛根、桑叶、苦瓜、苦荞配方辅助治疗II型糖尿病[J].中国食品学报,2018,18(8): 33-41
- LIU Hong-qin, ZHANG Xiao-xu, ZHAO Ting-ting, et al. A diet formula with kudzu, mulberry leaves, bitter melon, bitter buckwheat assist treatment type II diabetes [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2018, 18(8):33-41
- [30] Skeldon A M, Morizot A, Douglas T, et al. Caspase-12, but not caspase-11, inhibits obesity and insulin resistance [J]. Journal of Immunology, 2016, 196(1): 437
- [31] 沈玖君.4种食源性植物配方对糖尿病小鼠的降糖效果及其作用机制的初探[D].重庆:西南大学,2018
- SHEN Jiu-jun. Preliminary discussion of hypoglycemic effect and its mechanism of four food-derived plant formulas in diabetic mice [D]. Chongqing: Southwest University, 2018
- [32] 赵磊,姜飞,王成涛,等.南瓜、山药、葛根和桑叶配方辅助降血糖作用的研究[J].中国食品学报,2018,18(7):46-56
- ZHAO Lei, JIANG Fei, WANG Cheng-tao, et.al. Studies on assistant hypoglycemic effect of a diet formula prepared with pumpkin, yam, kudzu root, and mulberry leaf [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2018, 18(7): 46-56

(上接第135页)

- [26] 郑志,周会喜,钟昔阳,等.复合改良剂对面团流变学特性影响[J].食品科学,2010,31(11):55-59
- ZHENG Zhi, ZHOU Hui-xi, ZHONG Xi-yang, et al. Effects of compound modifiers on rheological properties of dough [J]. Food Science, 2010, 31(11): 55-59
- [27] Han H M, Koh B K. Effect of phenolic acids on the rheological properties and proteins of hard wheat flour dough and bread [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2011, 91(13): 2495-2499
- [28] 张剑,张杰,樊荻,等.小麦粉粒度对面团特性及蛋白组分的影响[J].食品与发酵工业,2018,44(11):124-129,137
- ZHANG Jian, ZHANG Jie, FAN Di, et al. Effects of wheat flour particle size on dough characteristics and protein components [J]. Food and Fermentation Industry, 2018, 44(11): 124-129, 137
- [29] 李宁波,王晓曦,于磊,等.面团流变学特性及其在食品加工中的应用[J].食品科技,2008,33(8):35-38
- LI Ning-bo, WANG Xiao-xi, YU Lei, et al. Rheological properties of dough and its application in food processing [J]. Food Science and Technology, 2008, 33(8): 35-38
- [30] Akalin A S, Karagozlu C, Unal G. Rheological properties of reduced-fat and low-fat ice cream containing whey protein isolate and inulin [J]. European Food Research and Technology, 2008, 227(3): 889-895
- [31] 张海华,朱跃进,张士康,等.茶多酚对高筋粉面团流变特性的影响[J].食品科学,2016,37(13):42-46
- ZHANG Hai-hua, ZHU Yue-jin, ZHANG Shi-kang, et al. Effect of tea polyphenols on rheological properties of high-gluten powder dough [J]. Food Science, 2016, 37(13): 42-46