

低血糖指数挂面的降糖益脂功能评价

田宝明^{1,2}, 张磊³, 刘庆庆¹, 刘雄¹

(1. 西南大学食品科学学院, 重庆 400715) (2. 信阳农林学院食品学院, 河南信阳 464000)

(3. 重庆师范大学生命科学学院, 重庆 401331)

摘要: 评价长期饲喂低血糖指数(GI)挂面对链脲佐菌素(STZ)诱导的糖尿病大鼠糖脂代谢的改善作用。选用32只成年SD雄性大鼠,按血糖值随机分成4组,每组8只,分别为普通挂面正常组和糖尿病组、低GI挂面正常组和糖尿病组,饲喂4周解剖测定糖脂指标。结果表明:低GI挂面膳食纤维高达16.04%。低GI挂面能增加糖尿病大鼠的体重、血清胰岛素、肝糖原和肌糖原;减少采食量和血清糖化蛋白,使空腹血糖和脏器指数下降,改善糖耐量异常。而且低GI挂面还能降低糖尿病大鼠血清中的总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C),增加血清中的高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C),使肝脏中总脂肪和脂肪浓度显著下降。正常大鼠两组间糖脂的各项指标无差别,说明低GI挂面对正常大鼠无影响,而对糖尿病大鼠的高血糖症状和脂代谢紊乱有改善作用,在预防治疗糖尿病方面具有重要意义。

关键词: 血糖指数; 挂面; 糖尿病; 血糖; 血脂

文章编号: 1673-9078(2016)1-29-36

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.1.005

Evaluation of Hypoglycemic and Hypolipidemic Effects of Fine Dried Noodles with a Low Glycemic Index

TIAN Bao-ming^{1,2}, ZHANG Lei³, LIU Qing-qing¹, LIU Xiong¹

(1.College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China)

(2.School of Food Science, XinYang College of Agriculture and Forestry, Xinyang 464000, China)

(3.College of Life Sciences, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China)

Abstract: The effects of fine dried noodles with a low glycemic index (GI) on glucolipid metabolism of streptozotocin (STZ)-induced diabetic rats were investigated. Based on the blood glucose level, thirty-two adult male Sprague-Dawley (SD) rats were randomly divided into four groups: ordinary dried noodle control group, ordinary dried noodle diabetic group, low GI dried noodle control group, and low GI dried noodle diabetic group. After a four-week feeding, the blood glucose and lipid indexes were determined. The results showed that the dietary fiber content in low GI noodles was relatively high, up to 16.04%. The low GI noodles increased body weight and the levels of serum insulin, hepatic glycogen, and muscle glycogen in diabetic rats. The low GI noodles also reduced food intake and glycosylated serum protein (GSP) levels, decreased fasting blood-glucose (FBG), decreased the relative weights of various organs, and improved impaired glucose tolerance. Additionally, low GI dried noodles reduced the levels of total cholesterol (TC), triglycerides (TG), and low-density lipoprotein cholesterol (LDL-C) in serum while increasing the serum high-density lipoprotein cholesterol (HDL-C) level in diabetic rats. As a result, the liver total lipid and lipid concentrations were significantly decreased. The blood glucose and lipid indices of the two control groups were similar, indicating that the low GI dried noodles did not affect normal rats. This study demonstrates that low GI dried noodles have some beneficial effects in improving hyperglycemia and lipid metabolism disorders in diabetic rats, which is of importance for the prevention and treatment of diabetes.

Key words: glycemic index; fine dried noodles; diabetes; blood glucose; blood lipid

糖尿病是一种由遗传因素和多种环境因素导致的

收稿日期: 2015-04-17

基金项目: 重庆师范大学基金项目资助(14XLB004)

作者简介: 田宝明(1987-),男,硕士研究生,研究方向为食品化学与营养学

通讯作者: 刘雄(1970-),男,博士,教授,研究方向为碳水化合物功能与利用,食品营养学

慢性全身代谢性疾病^[1],并以长期高血糖伴随碳水化合物、脂肪和蛋白质代谢紊乱为特征。临床上以高血糖为主要特点,出现多尿、多饮、多食、消瘦等典型症状。血糖一旦控制不好会引发多种并发症,如导致肾、眼、足等部位的衰竭病变,且无法治愈。国际糖尿病联盟报告指出:全球糖尿病患者人数高达3.82亿,各种类型的糖尿病患病率均在上升,糖尿病已成为继肿

瘤、心脑血管疾病之后威胁人类健康和生命安全的第三位重大慢性疾病。因此,防治糖尿病刻不容缓。目前市场上治疗糖尿病以胰岛素和合成降糖药物为主,然而,长期注射胰岛素会产生胰岛素抵抗,造成食欲减退、脑萎缩和脂肪肝等症状;合成药物虽降糖效果明显,但会产生严重的肝、肾损伤等不良反应及毒副作用。大量研究表明,通过合理膳食能够有效调节血糖,预防由于糖尿病导致的高脂血症疾病的发生^[2,3]。

低血糖指数膳食是近年来糖尿病、肥胖等慢性病营养防治研究的一个新热点,低血糖指数(GI)食品和非传染性慢性疾病之间有着紧密的关系。Farvid等研究发现,高GI膳食会增加糖尿病的死亡危险度^[4]和II型糖尿病的风险^[5];GI值和心脑血管疾病也有关系,高GI膳食的高摄入会增加缺血性和出血性两种中风的发生风险^[6];此外GI值和冠心病的发生也显著相关^[7]。低GI食品还能抑制餐后血糖升高,降低血清胆固醇和甘油三酯,从而可以预防糖尿病。Botero等^[8]发现,低GI膳食能通过降低糖尿病患者的总胆固醇、甘油三酯等血脂指标或提高机体的总抗氧化能力来延缓糖尿病等相关代谢疾病的恶化。Burani等^[9]发现,低GI膳食对II型糖尿病的发生起到保护作用,长期低GI饮食,可以降低糖尿病和心脏病的发病率。Barclay等^[10]研究也证明,长期摄入低GI食物会降低II型糖尿病、冠心病、乳腺癌等慢性疾病发生的风险。通过摄入低GI膳食,还能达到预防肥胖的目的^[11]。国内外研究的低GI食品有饼干、面包等,而研究低GI中国传统主食的研究鲜有报道。挂面作为中国的传统主食,开发和研究低GI挂面对糖尿病糖脂代谢的影响很有必要,对提高患者的生存质量及糖尿病的防治具有很重要的现实意义。

1 材料与方法

1.1 材料

挂面:低血糖指数挂面(GI值为48.8,含魔芋精粉6%、微晶纤维素9%、高直链玉米淀粉9%、谷朊粉6%)和普通挂面实验室自制。制备的挂面放在锅中,进行蒸煮,达到最佳蒸煮时间,捞出煮熟的面条沥干水,放干燥箱中烘干,控制温度60℃,烘干到含水量14%以下,作为饲喂大鼠的原料。

SD大鼠,实验动物许可证号:SCXK(渝)20120008,重庆滕鑫比尔实验动物销售有限公司;脲佐菌素(streptozotocin,STZ),美国sigma-aldrich公司;大鼠胰岛素ELISA试剂盒、肝糖原测定试剂盒、肌糖原测定试剂盒,南京建成科技有限公司;葡萄糖测定

试剂盒、糖化血清蛋白试盒、血清总胆固醇(TC)测定试剂盒、血清甘油三酯(TG)测定试剂盒、血清高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)测定试剂盒、血清高密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)测定试剂盒,四川迈克生物科技股份有限公司;其余均为实验室常用化学试剂,市售分析纯。

1.2 主要仪器设备

安稳血糖仪、血糖试纸,长沙三诺生物传感股份有限公司;7020型全自动生化分析仪,株式会社日立制作所;Imark酶标仪,美国BIO-RAD;FSH-2可调高速匀浆机,江苏省环宇科学仪器厂;SHB-III循环水式多用真空泵,郑州长城科工贸有限公司;台式离心机5810型,德国Eppendorf公司;SIGMA冷冻离心机,德国SIGMA公司;DHG-9240A电热恒温鼓风干燥箱,上海一恒科学仪器有限公司;ALPAAI-4LSC真空冷冻干燥机,德国Christ公司;DF8517超低温冰箱,韩国ilshin公司;PHS-3C精密酸度计,上海大普仪器有限公司;ARI14紫外分光光度计,上海爱朗仪器有限公司;其它均为实验室常用玻璃器皿。

1.3 方法

1.3.1 挂面基本营养成分分析

水分:按GB/T 5009.3-2003方法进行测定;蛋白质:按GB/T 5009.5-2010方法进行测定;总糖、还原糖:用蒽酮比色法进行测定;脂肪:按GB/T 5009.6-2003方法进行测定;灰分:按GB/T 5009.4-2010方法进行测定;粗纤维:按GB/T 5009.10-2003方法进行测定。

1.3.2 动物分组与饲养

本实验已获得西南大学实验动物保护协会的许可,大鼠按照西南大学实验动物保护和和使用规则饲养。室温(25±2)℃,相对湿度55%~65%,12h明暗轮换(9:00~21:00),换气良好,笼具卫生、无毒。将32只体重150~200g,清洁级SD大鼠,适应一周左右使大鼠体重为220~250g。

大鼠按血糖值随机分成4组,每组8只,分别为:饲喂普通挂面正常组、饲喂普通挂面糖尿病组、饲喂低GI挂面正常组以及饲喂低GI挂面糖尿病组。饲养期间,所有大鼠自由摄食和饮水,每天记录采食量(食盒中每日挂面添加量减去剩余量),每隔三天称量大鼠体重。

1.3.3 STZ诱导糖尿病大鼠模型的建立

将32只大鼠随机取出16只作为正常对照组,其余大鼠禁食不禁水12h后,按60mg/kg的剂量,一次性腹腔注射1%链脲佐菌素(STZ),STZ现用现配,

溶解在 0.1 M 柠檬酸缓冲液(pH 4.5)中,用前于冰中低温避光贮存。正常对照组注射相同剂量的柠檬酸盐缓冲液。72 h 后禁食 12 h,一周后通过剪尾采血测血糖,以血糖大于 11.1 mmol/L 为 I 型糖尿病大鼠模型。

1.3.4 试样的采集

1.3.4.1 血清样的采集

饲养期最后一天断粮 12 h, 18:00~22:00 将大鼠断头取血,血液收集在有抗凝剂的采血管中,在 4000 r/min, 4 °C 条件下离心 15 min,将分离出的血清液分装在 1.5 mL 离心管中放在在 -80 °C 冰箱里待检测。

1.3.4.2 肝脏的采集

取血完毕后解剖大鼠,取肝脏,冰冷生理盐水清洗肝脏表面后用吸水纸擦干称总重量并记录数据;取 1 g(精确到 0.01 g)肝脏,用铝箔纸包好装入样品袋,放入 -20 °C 冰箱保存,用于肝脂的检测。

1.3.4.3 心脏、胰腺、脾脏、肾脏的采集

肝脏采集完后,完整摘取心脏、胰腺、脾脏、肾脏,用冰冷的生理盐水冲洗干净,擦干称量并记录心脏、脾脏、肾脏总重量。

1.3.5 血糖代谢指标的测定及方法

1.3.5.1 空腹血糖的测定

实验周期 4 周,饲喂两种挂面,大鼠禁食不禁水 12 h,用血糖仪每周测定一次尾静脉血糖,并参照试剂盒说明书方法用生化分析仪测定处死时血糖。

1.3.5.2 口服糖耐量的测定

末次给药后,禁食不禁水 12 h,灌胃葡萄糖溶液 2.5 g/kg。灌胃后 0、0.5、1 和 2 h 分别测定血糖含量,并按公式计算曲线下面积(area under the curve, AUC)。

$$AUC[mmol/h \cdot L] = 0.5A + B + C + 0.5D$$

注: A、B、C、D 分别为 0、0.5、1、2 h 的血糖值。

1.3.5.3 血清糖化蛋白(GSP)测定

饲喂 28 d 后大鼠禁食不禁水 10 h,经乙醚麻醉,由腹主动脉取血,分离血清。按试剂盒说明书测糖化血清蛋白含量。

1.3.5.4 胰岛素(INS)测定

饲喂 28 d 后,大鼠禁食不禁水 10 h,经乙醚麻醉,由腹主动脉取血,分离血清。参照试剂盒说明书测血清胰岛素含量。

1.3.5.5 脏器指数的测定

分别称量大鼠各脏器的质量和大鼠的重量,按下面的公式计算脏器指数。

$$\text{脏器指数}(\%) = \frac{\text{脏器的质量}}{\text{大鼠的质量}} \times 100$$

1.3.5.6 肝糖原和肌糖原的测定

采用南京建成生物研究所生产的试剂盒进行测定。

1.3.6 血脂代谢指标的测定

1.3.6.1 血脂测定

将收集的血清按试剂盒的要求,用全自动生化分析仪测定 TC、TG、HDL-C、LDL-C。

1.3.6.2 肝脂测定

肝脏中总脂质含量用 Folch 等^[12]的方法抽提出脂肪,同时用试剂盒测定此抽提液中总胆固醇和甘油三酯含量,用重量差法得出总脂肪含量。

1.4 数据分析

试验数据经 Excel 初步统计后用 SPSS17.0 进行显著性分析。所有结果数据均以 $\bar{x} \pm s$ 表示,组间比较采用 t 检验, $p < 0.05$ 具有统计学意义。

2 结果与分析

2.1 挂面基本营养成分分析

表 1 挂面基本化学成分的含量

Table 1 Basic chemical components of fine dried noodles

挂面	总糖/%	还原糖%	蛋白质/%	脂肪%	灰分/%	水分/%	膳食纤维含/%
普通	70.76±0.47	13.21±0.31	12.28±0.24	0.83±0.16	0.84±0.04	13.34±0.45	0.91±0.04
低GI	71.80±0.35	10.75±0.25	13.65±0.11	0.65±0.04	1.07±0.05	13.23±0.19	16.04%±0.47

表 2 低 GI 挂面对糖尿病大鼠体重和采食量的影响

Table 2 Effect of low GI dried noodles on body weight and food intake of STZ-induced diabetic rats

体重	普通挂面		低GI挂面	
	正常组	糖尿病组	正常组	糖尿病组
初体重/g	256.50±9.70 ^{aa}	222.25±17.19	251.25±13.56	221.88±12.84 ^{dd}
终体重/g	311.50±24.08 ^{aa}	213.00±42.04	318.25±15.58	228.75±53.23 ^{dd}
采食量/g	28.63±3.71 ^{aa}	61.63±6.80 ^{bb}	26.28±2.02	49.25±1.04 ^{dd}
体重变化	55.00±21.79 ^{aa}	-9.25±1.39 ^b	67.00±11.92	6.87±0.97 ^{dd}

注: a 表示喂食普通挂面的正常组和糖尿病组间比较具有显著性差异 $p < 0.05$, b 表示糖尿病中喂食普通挂面组与低 GI 挂面组间比较具有显著性差异 $p < 0.05$, d 表示喂食低 GI 挂面的正常组和糖尿病组间比较具有显著性差异 $p < 0.05$, 其中两个相同字母表示两组间比较具有极显著性差异 $p < 0.01$ 。

从表 1 可以看出, 低 GI 挂面与正常挂面相比, 总糖、蛋白质和膳食纤维含量较高, 而还原糖、脂肪含量较低, 说明低 GI 挂面是一种高膳食纤维食品, 膳食纤维高达 16.04%。

2.2 低 GI 挂面对糖尿病大鼠体重和采食量的影响

到试验结束时, 共有 31 只大鼠存活, 饲喂到 3 周时, 普通挂面糖尿病组有 1 只大鼠可能因血糖过高死亡, 解剖发现肾脏和肝脏有增大症状, 其它脏器正常。无论是喂食普通挂面还是低 GI 挂面的正常组的大鼠与糖尿病组大鼠相比, 毛发比较有光泽, 体重增加, 行动敏捷, 精神状态比较好, 两组正常大鼠间没有差异。而喂食普通挂面的糖尿病组大鼠血糖值明显升高, 且出现多饮, 多尿, 多食, 消瘦等糖尿病典型的“三多一少”的表现, 毛发无光泽, 精神萎靡不振, 行动迟缓, 体重减轻; 喂食低 GI 挂面糖尿病组大鼠也出现了“三多一少”的症状, 但相对普通挂面糖尿病组, 其精神状态相对好一些, 行动一般, 毛发无明显的晦暗, 这说明造模成功。“三多一少”作为糖尿病的典型症状之一, 体重减少和采食量增加会伴随整个糖尿病始终。表 2 显示了喂食低 GI 挂面和普通挂面对糖尿病大鼠体重和采食量的影响, 从初体重可以看出, 饲养初期正常大鼠体重在 250 g 左右, 由于 STZ 诱导的作用糖尿病组大鼠在 220 g 左右, 两个正常组体重和两个糖尿病组大鼠体重无差异; 饲喂低 GI 挂面和普通挂面的糖尿病大鼠和正常大鼠相比, 初体重和终体重极显著下降 ($P < 0.01$), 采食量极显著增加 ($P < 0.01$), 且体重显著下降; 对糖尿病大鼠来说, 饲喂低 GI 挂面大鼠的终体重比饲喂普通挂面终体重增加 15.75 g, 采食量极显著降低 ($P < 0.01$) 20%; 两组正常大鼠相比, 饲喂低 GI 挂面组大鼠比饲喂普通挂面大鼠的终体重增加了 6.75 g, 采食量下降, 体重增量增加, 但均未达到显著性。

2.3 低 GI 挂面对糖尿病大鼠空腹血糖 (FBG) 的影响

图 1 显示了喂食低 GI 挂面和普通挂面对糖尿病大鼠空腹血糖 (FBG) 的影响, 从图中可以看出, 饲喂普通挂面和低 GI 挂面的正常大鼠血糖正常; 经注射

STZ 后大鼠空腹血糖明显高于正常大鼠 ($P < 0.05$), 说明造模成功, 且在整个实验期内糖尿病大鼠空腹血糖一直处于较高水平。糖尿病大鼠 0 周时空腹血糖值相差很小, 继续饲喂正常挂面, 四周后血糖显著的增加了 25.3% ($P < 0.05$), 而饲喂低 GI 挂面与开始相比血糖下降了 5.5%。正常大鼠饲喂低 GI 挂面和正常挂面对空腹血糖无影响, 说明长期食用低 GI 挂面有助于糖尿病大鼠血糖的改善。

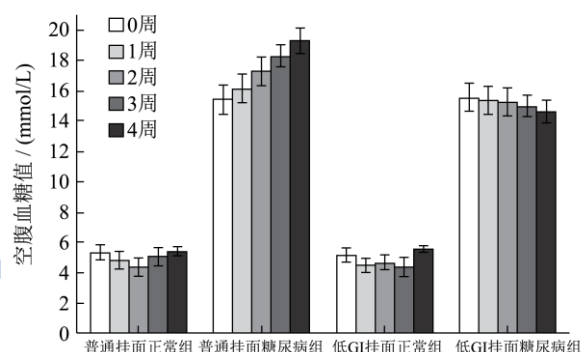


图 1 普通挂面对糖尿病大鼠空腹血糖的影响

Fig.1 Effect of ordinary noodles on FBG of STZ-induced diabetic rats

2.4 低 GI 挂面对糖尿病大鼠口服糖耐量 (OGTT) 的影响

图 2 显示低 GI 挂面和普通挂面对糖尿病大鼠口服糖耐量 (OGTT) 的影响, 由图可知, 两组正常大鼠的糖耐量正常, 灌胃葡萄糖后, 其血糖值在 0.5 h 达到最高水平, 随后逐渐下降, 2 h 后下降到正常水平。饲喂普通挂面的糖尿病大鼠血糖在 0.5 h 达到最高水平, 其后一直维持在较高水平, 而饲喂低 GI 挂面的糖尿病大鼠, 血糖浓度在 0.5 h 达到最高水平, 之后逐渐下降, 但未能恢复到正常水平, 说明低 GI 挂面能改善糖尿病大鼠的糖耐量。饲喂普通挂面的两组大鼠, 糖尿病大鼠比正常大鼠的血糖曲线下面积 (AUC) 增加了 1.63 倍; 饲喂低 GI 挂面的两组大鼠, 糖尿病大鼠比正常大鼠的 AUC 增加了 0.83 倍。对糖尿病大鼠来说, 饲喂低 GI 挂面, AUC 下降了 20.5%; 对于正常大鼠, 饲喂低 GI 挂面大鼠的 AUC 比饲喂普通挂面大鼠的 AUC 相比略有提高。

2.5 低 GI 挂面对糖尿病大鼠血清糖化蛋白

(GSP) 和胰岛素 (Ins) 的影响

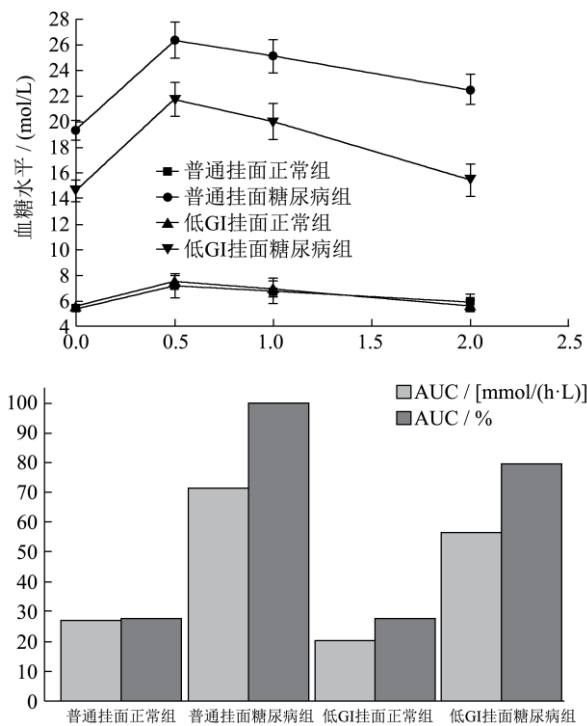


图2 低GI挂面对糖尿病大鼠糖耐量的影响

Fig.2 Effect of Low GI dried noodles on OGTT of STZ-induced diabetic rats

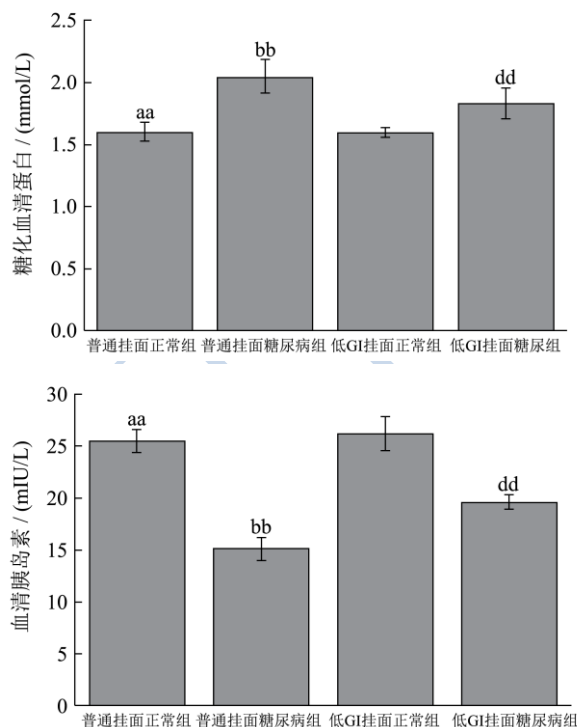


图3 低GI挂面对糖尿病大鼠糖化血清蛋白和血清胰岛素的影
响

Fig.3 Effect of low GI dried noodles on insulin level and GSP of
STZ-induced diabetic rats

注: a 表示喂食普通挂面的正常组和糖尿病组间比较具有显著性差异 $p < 0.05$, b 表示糖尿病中喂食普通挂面组与低GI挂面组间相比具有显著性差异 $p < 0.05$, d 表示喂食低GI挂面的正常组和糖尿病组间比较具有显著性差异 $p < 0.05$, 其中两个相同字母表示两组间比较具有极显著性差异 $p < 0.01$ 。

图3显示饲喂低GI挂面和普通挂面对糖尿病大鼠糖化血清蛋白和血清胰岛素的影响,可以看出饲喂普通挂面,糖尿病大鼠比正常大鼠的糖化血清蛋白极显著增加了27.5% ($P < 0.01$),血清胰岛素极显著降低了40.3% ($P < 0.01$);饲喂低GI挂面,糖尿病大鼠比正常大鼠糖化血清蛋白极显著增加了15.1% ($P < 0.01$),血清胰岛素极显著降低了24.9% ($P < 0.01$)。对糖尿病大鼠来说,饲喂低GI挂面,糖化血清蛋白极显著降低了10.3% ($P < 0.01$),血清胰岛素极显著增加了29.5% ($P < 0.01$);对于正常大鼠,饲喂低GI挂面和普通挂面相比,糖化血清蛋白没有影响,血清胰岛素略有提高,但没有达到显著性,说明低GI挂面能减少糖尿病大鼠的血糖糖化蛋白含量,增加体内胰岛素水平。

2.6 低GI挂面对糖尿病大鼠肝糖原和肌糖原的影响

表3 低GI挂面对糖尿病大鼠肝糖原和肌糖原的影响

Table 3 Effect of low GI dried noodles on hepatic glycogen and muscle glycogen of STZ-induced diabetic rats

糖原	普通挂面		低GI挂面	
	正常组	糖尿病组	正常组	糖尿病组
肝糖原	17.08 ± 0.93 ^{aa}	9.44 ± 1.20 ^{bb}	18.04 ± 1.17	14.18 ± 1.55 ^{dd}
肌糖原	3.64 ± 0.54 ^{aa}	1.85 ± 0.17 ^{bb}	4.13 ± 0.56 ^c	2.80 ± 0.50 ^{dd}

注: a 表示喂食普通挂面的正常组和糖尿病组间比较具有显著性差异 $p < 0.05$, b 表示糖尿病中喂食普通挂面组与低GI挂面组间相比具有显著性差异 $p < 0.05$, c 表示正常大鼠中喂食普通挂面组与低GI挂面组间相比具有显著性差异 $p < 0.05$, d 表示喂食低GI挂面的正常组和糖尿病组间比较具有显著性差异 $p < 0.05$, 其中两个相同字母表示两组间比较具有极显著性差异 $p < 0.01$ 。

表3显示了饲喂低GI挂面和普通挂面对糖尿病大鼠肝糖原和肌糖原的影响。由图中可以看出,饲喂普通挂面,糖尿病大鼠比正常大鼠的肝糖原和肌糖原下降了44.7%和49.25%,均达到了极显著水平 ($p < 0.01$);饲喂低GI挂面,糖尿病大鼠与饲正常大鼠相比,肝糖原和肌糖原极显著下降了21.39% ($p < 0.01$)和32.2% ($p < 0.01$)。对糖尿病大鼠来说,饲喂低GI挂面,肝糖原和肌糖原极显著提高了33.42% ($p < 0.01$)和33.92% ($p < 0.01$);对于正常大鼠,饲喂低GI挂面和

普通挂面相比,肝糖原和肌糖原都有提高,但没达到显著性。实验表明低 GI 挂面能改善 STZ 诱导的糖尿病大鼠糖代谢,对抑制肝糖输出、增加肝糖含量起着极为重要的作用。

2.7 低 GI 挂面和普通挂面对糖尿病大鼠脏器指数的影响

表 4 低 GI 挂面对糖尿病大鼠脏器指数的影响

Table 4 Effect of low GI dried noodles on the relative weights of various organs of STZ-induced diabetic rats

脏器	普通挂面		低GI挂面	
	正常组	糖尿病组	正常组	糖尿病组
胰腺/%	0.215±0.020	0.230±0.028	0.208±0.033	0.217±0.020
肝脏/%	2.635±0.229 ^{aa}	3.511±0.329	2.701±0.185	3.389±0.160 ^{dd}
肾脏/%	0.667±0.058 ^{aa}	1.016±0.272	0.671±0.065	0.900±0.131 ^{dd}
脾脏/%	0.171±0.022	0.184±0.018	0.173±0.018	0.163±0.023
心脏/%	0.298±0.05	0.326±0.07	0.295±0.03	0.307±0.03

注: a 表示喂食普通挂面的正常组和糖尿病组间比较具有显著性差异 $p<0.05$, d 表示喂食低 GI 挂面的正常组和糖尿病组间比较具有显著性差异 $p<0.05$, 其中两个相同字母表示两组间比较具有极显著性差异 $p<0.01$ 。

表 4 显示了喂食低 GI 挂面和普通挂面对糖尿病大鼠脏器指数的影响。脏器指数可以衡量大鼠生长状况。由图中可以看出,不论饲喂低 GI 挂面还是普通挂面,糖尿病大鼠和正常大鼠相比,肝脏和肾脏指数极显著增加($p<0.01$),胰腺、脾脏、心脏指数都有增加的趋势,但没有达到显著性。对糖尿病大鼠来说,饲喂低 GI 挂面,各脏器指数均下降,但没有达到显著性,说明低 GI 挂面在一定程度上可以缓解糖尿病大鼠脏器的肿大;对于正常大鼠饲喂低 GI 挂面和普通挂面对脏器指数几乎无影响。

饲喂普通挂面,糖尿病大鼠的随机血糖(GLU)极显著增加了 1.17 倍($p<0.01$);饲喂低 GI 挂面,糖尿病大鼠 GLU 显著增加了 0.69 倍($p<0.01$)。与正常大鼠相比,两组糖尿病大鼠的 TC、TG 均提高了, HDL-C 均下降,但没有达到显著性,普通挂面组糖尿病大鼠 LDL-C 显著升高了 0.54 倍,低 GI 挂面组降低 0.41 倍但无显著性。说明 GLU 可以作用糖尿病病的参考标准,糖尿病患者血清 TC、TG、LDL-C、GLU 会增加, HDL-C 会下降。这是由于糖尿病是一种多病因的代谢疾病,在病发的过程中由于胰岛素分泌绝对或相对不足,机体激素敏感性脂肪酶活性增加,导致脂质代谢紊乱。

2.8 低 GI 挂面对糖尿病大鼠血脂的影响

表 5 低 GI 挂面对糖尿病大鼠血脂的影响

Table 5 Effect of low GI dried noodles on serum lipid of STZ-induced diabetic rats

血脂	普通挂面		低GI挂面	
	正常组	糖尿病组	正常组	糖尿病组
TC	1.54±0.11	1.91±0.08	1.34±0.10	1.80±0.03
TG	0.50±0.02	0.63±0.05	0.44b±0.03	0.50±0.04
HDL-C	0.294±0.04	0.289±0.06	0.300±0.03	0.291±0.09
LDL-C	0.115±0.06 ^d	0.183±0.05	0.094±0.03	0.133±0.04
GLU	8.74±0.41a ^a	18.96±0.49	8.81±0.80	14.92±0.77 ^d

注: a 表示喂食普通挂面的正常组和糖尿病组间比较具有显著性差异 $p<0.05$, d 表示喂食低 GI 挂面的正常组和糖尿病组间比较具有显著性差异 $p<0.05$ 。

表 5 显示了饲喂低 GI 挂面和普通挂面对糖尿病大鼠血脂的影响。由图中可以看出,与饲喂正常挂面相比,低 GI 挂面能减少正常大鼠和糖尿病大鼠血清中 TC、TG、LDL-C,增加 HDL-C,但均未达到显著性,说明低 GI 挂面对大鼠血脂的代谢有改善作用。

2.9 低 GI 挂面对糖尿病大鼠肝脂的影响

表 6 显示了饲喂低 GI 挂面和普通挂面对糖尿病大鼠肝脂的影响。从图中可以看出,糖尿病大鼠与正常大鼠相比总脂肪含量、肝脏内脂肪浓度、TC、TG 浓度均有所增加,普通挂面组 TG 增加达到了显著性($p>0.05$),脂肪浓度增加达到了极显著($p>0.05$);但肝脏中 TC、TG 总量减小,没有达到显著性,这可能与糖尿病大鼠的肝脏变小有关。饲喂低 GI 挂面的糖尿病大鼠,总脂肪含量极显著下降了 11.22% ($p>0.01$),肝脏中脂肪浓度、总脂肪含量、TC 和 TG 浓度均有所下降, TG 显著下降($p>0.05$)。饲喂低 GI 挂面的正常大鼠,肝脏中的总脂肪含量、脂肪浓度, TC、TG 浓度均有所减小。

3 结果与讨论

本文测定了低 GI 挂面的营养成分,通过长期饲喂低 GI 挂面对 STZ 诱导的糖尿病大鼠糖脂代谢的影响,评价低 GI 挂面的降糖益脂功能。结果表明:

(1) 低 GI 挂面是一种含有高膳食纤维的主食, 膳食纤维含量高达 16.04%, 膳食纤维的含量与挂面制

作过程中加入的微晶纤维素和魔芋精粉的量有关。膳食纤维有助慢性的预防和治疗, 适合高糖患者食用。

表 6 低 GI 挂面对糖尿病大鼠肝脂的影响

Table 6 Effect of low GI dried noodles on hepatic lipid of STZ-induced diabetic rats

肝脂	普通挂面		低GI挂面	
	正常组	糖尿病组	正常组	糖尿病组
脂肪/(mg/个肝脏)	278.20±39.68	315.23±44.31	255.29±30.83	279.83±61.41
脂肪/(mg/g)	34.28±5.29 ^{aa}	42.47±3.72 ^{bb}	30.68±2.90	35.40±5.30
TC/(μmol/g 肝脏)	3.25±0.40	3.69±0.71	3.17±0.73	3.30±0.55
TC/(μmol/个肝脏)	26.81±5.55	25.91±7.37	27.43±7.78	26.11±9.33
TG (μmol/g 肝脏)	6.88±0.99 ^a	8.57±0.67 ^b	6.78±0.70	7.04±0.77
TG (μmol/个肝脏)	57.18±13.38	52.95±11.36	58.32±6.16	55.44±8.74

注: a 表示喂食普通挂面的正常组和糖尿病组间比较具有显著性差异 $p < 0.05$, b 表示糖尿病中喂食普通挂面组与低 GI 挂面组间相比具有显著性差异 $p < 0.05$, 其中两个相同字母表示两组间比较具有极显著性差异 $p < 0.01$ 。

(2) 与正常大鼠相比, 糖尿病大鼠体重显著下降 ($p < 0.05$)、血清胰岛素、肝糖原、肌糖原极显著下降 ($p < 0.01$), 采食量、血清糖化蛋白、空腹血糖、脏器指数升高, 肝脏和肾脏指数极显著升高 ($p < 0.01$), 糖耐量异常, 说明造模成功。糖尿病的本质是体内血糖的生成与消耗之间失去了正常的动态平衡。糖尿病发生后, 胰岛素分泌不足或者细胞对胰岛素不敏感, 导致糖原合成减少, 分解加速。在酶的作用下, 大量葡萄糖-6-磷酸转化为葡萄糖, 糖原异生作用加强, 葡萄糖生成增多, 葡萄糖的利用减慢; 体内的糖酵解和三羧酸循环减弱, 在肌肉及脂肪组织中, 葡萄糖进入细胞膜的速度减慢, 以上作用的出现导致葡萄糖的生成增多, 消耗减少, 从而造成高血糖, 高血糖是糖尿病最主要的临床表现^[13]。糖原异生作用加强, 使糖耐量异常, 长期作用使脏器出现病变。对糖尿病大鼠, 低 GI 挂面能增加大鼠体重, 极显著增加大鼠血清胰岛素、肝糖原、肌糖原; 使采食量、血清糖化蛋白和四周空腹血糖显著下降 ($p < 0.05$)、脏器指数下降, 糖耐量异常得到改善下降。低 GI 挂面中的膳食纤维能增加外周细胞对胰岛素的敏感性, 改善胰岛素抵抗, 从而降低血糖水平^[14], 同时挂面含有的魔芋葡聚糖也能增加了肝糖原的含量。糖原减小时, 合成酶磷酸化激活糖原合成酶, 导致糖原生成, 但是糖尿病患者中缺乏这一活化作用^[15], 膳食纤维可增加糖原的合成, 使肝糖原含量上升, 激活糖原的合成过程也是膳食纤维能降血糖的一个方面^[16]; 但血糖各项指标与正常大鼠相差很少。

(3) 机体内脂代谢与糖代谢有着紧密的内在联系, 糖脂之间可以根据机体的需求状况互相转化^[17]。高血脂症是糖尿病的常见并发症, 胰岛素不仅有降血糖的作用, 还是机体脂肪和蛋白质代谢的主要调控激

素。胰岛素的生物调节作用发生障碍, 常伴有脂质代谢的紊乱, 出现脂质代谢异常, 使游离脂肪酸水平升高^[18], 体内甘油三酯和胆固醇合成增多, 低密度脂蛋白合成增加, 高密度脂蛋白合成减少。然而, 糖尿病的高血脂使血液中游离脂肪酸大量存在, 又可造成胰岛 β 细胞功能的衰竭, 产生胰岛素抵抗, 造成组织细胞摄取利用葡萄糖受到抑制, 形成糖尿病的恶性循环^[19]。因此, 血脂的调控对糖尿病的治疗具有重要作用。与正常大鼠相比, 糖尿病大鼠饲喂低 GI 挂面, 能降低大鼠血清中的 TC、TG、LDL-C, 增加血清中的 HDL-C, 减少肝脏中总脂肪和脂肪浓度, 但各项血脂的指标对正常大鼠的影响较小。

4 结论

低 GI 挂面一种高膳食纤维主食, 对糖尿病大鼠的高血糖症状和脂质代谢紊乱有改善作用, 对正常大鼠没影响。低 GI 挂面具有降糖益脂功效, 将使防治糖尿病变得轻松便捷。饮食治疗是治疗各种糖尿病的基础和一种必不可少的过程, 对糖尿病主食的开发提供了一定指导。

参考文献

- [1] Wunderlich F T, Luedde T, Singer S, et al. Hepatic NF-kappa B essential modulator deficiency prevents obesity-induced insulin resistance but synergizes with high -fat feeding in tumorigenesis [J]. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 2008, 105(4): 1297-1302
- [2] Mello V D, Laaksonen D E. Dietary fibers: current trends and health benefits in the metabolic syndrome and type 2 diabetes [J]. Arquivos Brasileiros de Endocrinologia & Metabologia, 2009, 53(5): 509-518

- [3] Kalkwarf H J, Bell R C, Khoury J C, et al. Dietary fiber intakes and insulin requirements pregnant women with type 1 diabetes [J]. *Journal of the American Dietetic Association*, 2001, 101(3): 305-310
- [4] Farvid M S, Homayouni F, Shokoohi M, et al. Glycemic index, glycemic load and their association with glycemic control among patients with type 2 diabetes [J]. *European Journal of Clinical Nutrition*, 2014, 68(4): 459-463
- [5] Goto M, Morita A, Goto A, et al. Dietary glycemic index and glycemic load in relation to HbA1c in Japanese obese adults: a cross-sectional analysis of the Saku Control Obesity Program [J]. *Nutr. Metab. (Lond)*, 2012, 9(1): 79
- [6] Sieri S, Brighenti F, Agnoli C, et al. Dietary glycemic load and glycemic index and risk of cerebrovascular disease in the EPICOR cohort [J]. *PloS One*, 2013, 8(5): e62625
- [7] Mirrahimi A, de Souza R J, Chiavaroli L, et al. Associations of glycemic index and load with coronary heart disease events: a systematic review and meta-analysis of prospective cohorts [J]. *Journal of the American Heart Association*, 2012, 1(5): e000752
- [8] Botero D, Ebbeling C B, Blumberg J B, et al. Acute effects of dietary glycemic index on antioxidant capacity in a nutrient-controlled feeding study [J]. *Obesity*, 2009, 17(9): 1664-1670
- [9] Burani J, Longo P J. Low-glycemic index carbohydrate rats an effective behavioral change for glycemic control and weight management in patients with type 1 and 2 diabetes [J]. *The Diabetes Educator*, 2006, 32(1): 78-88
- [10] Barclay A W, Petocz P, McMillan-Price J, et al. Glycemic index, glycemic load, and chronic disease risk-a meta-analysis of observational studies [J]. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 2008, 87(3): 627-637
- [11] Taylor J R N, Emmambux M N, Kruger J. Developments in modulating glycaemic response in starchy cereal foods [J]. *Starch - Starke*, 2015, 67(1-2): 79-89
- [12] XIONG L, HIROSHI O, TARO K, et al. The effect of high-amylose cornstarch on lipid metabolism in OVX rats is affected by fructose feeding [J]. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 2010, 21: 89-97
- [13] 张雪梅. 柠檬皮膳食纤维对实验性糖尿病小鼠糖脂代谢的影响[D]. 雅安: 四川农业大学, 2006
ZHANG Xue-mei. Effects of dietary fiber from citrus limonia osbeck on blood glucose and blood lipid in alloxan induced diabetic rats [D]. Ya an: Si chuan Agricultural University, 2006
- [14] Lustig R H. Diabetes and dietary fibre: directive or distraction [J]. *Clinical & Experiment Ophthalmology*, 2012, 40(3): 230-231
- [15] Grover J K, Vats V, Yadav S. Effect of feeding aqueous extract of *Pterocarpus marsupium* on glycogen content of tissues and the key enzymes of carbohydrate metabolism [J]. *Molecular and Cellular Biochemistry*, 2002, 241(1-2): 53-59
- [16] Maiti R, Jana D, Das U K, et al. Antidiabetic effect of aqueous extract of seed of *Tamarindus indica* in streptozotocin-induced diabetic rats [J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2004, 92(1): 85-91
- [17] 陆红佳, 刘金枝, 张晶, 等. 纳米甘薯渣纤维素对糖尿病大鼠血糖及血脂的影响[J]. 食品科学, 网络预发表版
LU Hong-jia, LIU Jin-zhi, ZHANG Jing, et al. Effects of cellulose nanocrystals from sweet potato residues on the levels of blood glucose and serum lipid in diabetic rats [J]. *Food Science*, Network pre-published version
- [18] Dhandapani S, Subramanian V R, Rajagopal S, et al. Hypolipidemic effect of *Cuminum cyminum* L. on alloxan-induced diabetic rats [J]. *Pharmacological Research*, 2002, 46(3): 251-255
- [19] Bergman R N, Ader M. Free fatty acids and pathogenesis of type 2 diabetes mellitus [J]. *Trends in Endocrinology & Metabolism*, 2000, 11(9): 351-356