

DOI:10.13652/j.issn.1003-5788.2020.12.031

复合营养粉对2型糖尿病大鼠的辅助降血糖试验

Auxiliary hypoglycemic effects of compound nutritional powder on the type 2 diabetic rats

生庆海¹ 赵伟¹ 贾艳菊¹ 戴智勇² 何英²

SHENG Qing-hai¹ ZHAO Wei¹ JIA Yan-ju¹ DAI Zhi-yong² HE Ying²

刘晶¹ 徐丽³ 龙金利¹ 王郡⁴ 李增宁⁴

LIU Jing¹ XU Li³ LONG Jin-li¹ WANG Jun⁴ LI Zeng-ning⁴

(1. 河北经贸大学生物科学与工程学院, 河北 石家庄 050061;

2. 澳优乳业[中国]有限公司, 湖南 长沙 410200;

3. 谱尼测试集团深圳有限公司, 广东 深圳 518054; 4. 河北医大第一医院, 河北 石家庄 050031)

(1. College of Bioscience and Bioengineering, Hebei University of Economics and Business, Shijiazhuang, Hebei 050061, China; 2. Ausnutria Dairy (China) Co., Ltd., Changsha, Hunan 410200, China; 3. Shenzhen Pony Testing International Group, Shenzhen, Guangdong 518054, China; 4. The First Hospital of Hebei Medical University, Shijiazhuang, Hebei 050031, China)

摘要:为评估以全脂乳粉、赤藓糖醇、杏仁粉、抗性糊精、聚葡萄糖、菊粉、罗汉果甜苷等为原料制成的复合营养粉对糖尿病大鼠的辅助降血糖功能,建立了胰岛素抵抗糖/脂代谢紊乱大鼠模型,并分别评估了复合营养粉对正常大鼠和胰岛素抵抗糖/脂代谢紊乱模型大鼠的影响。结果表明:复合营养粉对正常大鼠血糖无明显影响;对胰岛素抵抗糖/脂代谢紊乱模型大鼠的糖耐量指标为阳性、降血脂指标为阴性,胰岛素抵抗性未见明显变化。复合营养粉对糖尿病大鼠的辅助降血糖功能为阳性。

关键词:降血糖;复合营养粉;糖尿病大鼠;降血糖功能

Abstract: To evaluate the auxiliary blood glucose-lowering function of compound nutritional powder made from whole milk powder, erythritol, almond powder, resistant dextrin, polydextrose, inulin, mogrosin, etc., on diabetic rats. Establish a rat model of insulin resistance glucose/lipid metabolism disorder, and evaluate the effects of compound nutritional powder on normal rats and insulin resistance glucose/lipid metabolism disorder

基金项目:河北省重点研发计划项目(编号:20327105D);石家庄市科技局研究与发展计划项目(编号:201170032A);湖南省营养健康品工程技术研究中心项目(编号:2019TP2066);中国营养学会—飞鹤体质营养与健康研究基金(编号:CNS-Feihe2019A32);河北经贸大学科研基金项目(编号:2016KYZ06)

作者简介:生庆海(1970—),男,河北经贸大学教授,博士。

E-mail:1951037151@qq.com

收稿日期:2020-07-09

der model rats. The compound nutritional powder had no significant effect on the blood sugar of normal rats; the glucose tolerance index of insulin resistance glucose/lipid metabolism disorder model rats was positive, the blood lipid index was negative, and there was no significant change in insulin resistance. The compound nutritional powder has a positive effect on the auxiliary hypoglycemic function of diabetic rats.

Keywords: hypoglycemic; compound nutritional powder; diabetes rats; hypoglycemic function

现代不良的饮食和生活习惯导致了越来越多的代谢疾病,糖尿病便是其中之一。2型糖尿病(T2DM)占糖尿病患者人数的约90%以上^[1],其主要由于胰岛素分泌相对不足和/或胰岛素抵抗引起^[2]。当糖尿病患者持续糖代谢异常时,通常会引引起脂代谢、蛋白代谢异常,带来一系列并发症。有研究^[3]显示,70%以上的糖尿病患者伴随着不同程度的并发症。因此,采取有效措施控制血糖、预防并发症产生、延缓并发症发展,是糖尿病患者干预的关键。

通过改变营养状况或摄食量来改善糖尿病患者的健康状况或治疗疾病是一项十分重要的措施^[4],研究^[5]显示,经过3~6个月的营养干预,T2DM患者的糖化血红蛋白下降效果可能相当于或大于现有的临床药物治疗,且持续性的营养干预有助于维持血糖水平改善。将天然安全的降糖物质进行合理复配,并制成营养粉形式进行

干预,是解决糖尿病患者血糖控制的良好途径之一。赤藓糖醇是一种多元醇类甜味剂,具有低热值的特点。人体由于缺乏代谢赤藓糖醇的酶,导致进入血液中的赤藓糖醇不能被消化分解,大部分由尿液排出。其代谢途径很少依赖胰岛素或与胰岛素无关,因此对糖代谢几乎没有影响^[6]。杏仁是一种营养密集型食品,含有丰富的蛋白质、膳食纤维、单不饱和脂肪酸、维生素 E 和矿物质^[7],近年来多项研究^[8-10]表明,其有利于血糖控制,对血脂代谢亦具有积极意义。膳食纤维是人体必需的营养素之一,是维持人体组织细胞对胰岛素敏感性的重要因素^[11],日常膳食纤维摄入不足会导致糖尿病发病风险升高^[12]。此外,研究^[13]表明,增加膳食纤维有助于降低糖尿病患者的空腹血糖和糖化血红蛋白水平。罗汉果甜苷是一种天然高倍甜味剂,小鼠试验^[14-15]表明,其具有降血糖、降血脂和抗氧化功效。

研究拟以全脂乳粉为基底,并添加赤藓糖醇、杏仁粉、抗性糊精、聚葡萄糖、菊粉、罗汉果甜苷等制成营养粉,并评估营养粉对试验动物的辅助降血糖功能,旨在为该营养粉的应用提供临床依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

健康雄性 SD 大鼠:SPF 级,湖南斯莱克景达实验动物有限公司;

复合营养粉:配料为全脂乳粉、赤藓糖醇、杏仁粉、抗性糊精、聚葡萄糖、菊粉、麦芽糊精、罗汉果甜苷、甜菊糖,人体推荐使用量为 25~75 g/d,丰宁水星乳品有限责任公司;

二甲双胍片:薄膜衣片(0.25 g/片),临床拟用量为 0.75 g/d,中美上海施贵宝制药有限公司;

大鼠胰岛素酶联免疫分析试剂盒:江苏酶免实业有限公司;

地塞米松磷酸钠注射液:三明三药兽药有限公司;

葡萄糖:国药集团化学试剂有限公司;

0.9%氯化钠注射液:湖南康源制药有限公司。

1.1.2 主要仪器设备

电子天平:PL2002 型,梅特勒—托利多仪器(上海)有限公司;

电子天平:ME1002E 型,梅特勒—托利多仪器(上海)有限公司;

大小动物多功能麻醉机:ZS-MV-I 型,湖南省凯达实业发展有限公司;

台式低速离心机:TD4 型,湖南省凯达实业发展有限公司;

自动生化分析仪:LABOSPECT003 型,日本日立仪器有限公司。

1.2 方法

1.2.1 正常大鼠试验 选用雄性 SD 大鼠 20 只,按体重随机分为 2 组,即阴性对照组和复合营养粉组,每组 10 只。复合营养粉组灌胃剂量为 6.70 g/kg(相当于人体推荐食用量的 10 倍),灌胃前配制成适宜浓度样液以便灌胃;阴性对照组给予等体积纯水灌胃。每日一次,连续 30 d。给样期间每周称重一次,并根据体重调整灌胃量。

给样前及末次给样后测定空腹血糖值(禁食不禁水 4 h)。若复合营养粉组与阴性对照组相比空腹血糖差异无统计学意义,则判定对正常大鼠血糖无影响。

1.2.2 胰岛素抵抗糖/脂代谢紊乱模型大鼠试验 选用雄性 SD 大鼠 60 只,按体重、空腹血糖(禁食不禁水 4 h)及给样后 0.5 h 血糖值随机分为 6 组,即阴性对照组、模型对照组、复合营养粉低剂量组、复合营养粉中剂量组、复合营养粉高剂量组和阳性对照组,每组 10 只。对低、中、高剂量组分别给予复合营养粉灌胃,剂量为 1.68, 3.35, 6.70 g/kg(分别相当于人体推荐食用量 2.5, 5.0, 10.0 倍);阴性对照组和模型对照组给予等体积纯水灌胃;阳性对照组给予二甲双胍灌胃,剂量为 0.11 g/kg。每日一次,连续给样 35 d。给样期间每周称重一次,并根据体重调整灌胃量。

从给样起,各组维持普通饲料喂养 1 周。1 周后,除阴性对照组维持普通饲料外,其他各组均更换为高能饲料喂养 2 周。2 周后,除阴性对照组外,其他组在饲喂高能饲料的基础上按 0.8 mg/kg 腹腔注射地塞米松,每日 1 次,连续 10 d。试验结束,各组动物禁食不禁水 4 h,眼眶采血测定空腹血糖、血清胰岛素,之后按 2.5 g/kg 灌胃给予葡萄糖后眼眶采血测定 0.5, 2.0 h 血糖值,并按式(1)、(2)计算血糖曲线下面积和胰岛素抵抗指数;异氟烷麻醉大鼠,腹主动脉采血检测血清低密度脂蛋白、高密度脂蛋白、胆固醇和甘油三酯。

$$W = (G_{0.0} + G_{0.5}) \times 0.5 \times 0.5 + (G_{2.0} + G_{0.5}) \times 1.5 \times 0.5, \quad (1)$$

式中:

W——血糖曲线下面积,mmol·h/L;

$G_{0.0}$ ——0.0 h 血糖值,mmol/L;

$G_{0.5}$ ——0.5 h 血糖值,mmol/L。

$G_{2.0}$ ——2.0 h 血糖值,mmol/L。

$$f = G \times I / 22.5, \quad (2)$$

式中:

f——胰岛素抵抗指数;

I——胰岛素值,mU/L;

G——血糖值,mmol/L。

模型对照组与阴性对照组相比,胰岛素抵抗指数无明显下降,且动物糖/脂代谢紊乱成立,则判定胰岛素抵抗糖/脂代谢紊乱模型成功。模型成立前提下,复合营养

粉剂量组与模型对照组相比,空腹血糖下降有统计学意义,则判定复合营养粉空腹血糖指标结果为阳性;模型成立前提下,复合营养粉剂量组与模型对照组相比,在葡萄糖后0.5,2.0 h任一时间点血糖下降有统计学意义,或0.0,0.5,2.0 h血糖曲线下面积降低有统计学意义,则判定复合营养粉糖耐量指标结果为阳性;模型成立前提下,复合营养粉剂量组与模型对照组相比,血清胆固醇或甘油三酯下降有统计学意义,则判定复合营养粉降血脂指标为阳性。

1.2.3 结果判定指标 对糖/脂代谢紊乱模型大鼠,空腹血糖和糖耐量二项指标中有一项指标阳性,且血脂(总胆固醇、甘油三酯)无明显升高,对正常大鼠空腹血糖无影响,则判定复合营养粉辅助降血糖功能动物试验结果为阳性。

1.2.4 数据处理 采用SPSS进行统计分析,统计学意义的水平设定为 $P < 0.05$ 。计量资料采用均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,用Leven's test方法检验正态性和方差齐性,如果符合正态性和方差齐性($P > 0.05$),用单因素方差分析(ANOVA)和post Hoc LSD进行组间统计分析;对不符合正态性和方差齐性($P < 0.05$)的数据进行适当的变量转换,待满足正态或方差齐性要求后,用转换后的数据进行统计;若变量转换后仍未达到正态或方差齐性要求,采用秩和检验进行统计。评价时考虑统计学差异和生物学意义。

2 结果与分析

2.1 复合营养粉对正常大鼠的影响

复合营养粉对正常SD大鼠空腹血糖的影响如表1所示,与阴性对照组相比,复合营养粉组大鼠空腹血糖值无统计学差异($P > 0.05$),提示复合营养粉对正常大鼠血糖无明显影响。

2.2 复合营养粉对胰岛素抵抗糖/脂代谢紊乱模型大鼠的影响

2.2.1 胰岛素抵抗糖/脂代谢紊乱模型大鼠建模结果

如表2所示,与阴性对照组相比,模型对照组大鼠的空腹血糖值、0.5 h血糖值和血糖曲线下面积均显著升高($P < 0.01$),提示该试验模型糖代谢紊乱;与阴性对照组相比,模型对照组大鼠的甘油三酯、总胆固醇、低密度脂蛋白均升高且具有显著差异($P < 0.01$),提示该试验模型

脂代谢紊乱;与阴性对照组相比,模型对照组大鼠的胰岛素抵抗指数显著上升($P < 0.05$),提示该试验模型出现胰岛素抵抗。综上,判定胰岛素抵抗糖/脂代谢紊乱模型大鼠建模成功。地塞米松是一种糖皮质激素的长效类似物,可诱导3T3-L1脂肪细胞产生胰岛素抵抗,动物试验中常用于建立2型糖尿病模型^[16]。试验采用高脂饮食与地塞米松共同诱导SD大鼠,形成胰岛素抵抗糖/脂代谢紊乱模型。

2.2.2 对胰岛素抵抗糖/脂代谢紊乱模型大鼠空腹血糖和糖耐量的影响 复合营养粉对胰岛素抵抗糖/脂代谢紊乱模型大鼠空腹血糖和糖耐量的影响结果见表3。与模型对照组相比,复合营养粉高剂量组0.5 h血糖值($P < 0.05$)和血糖曲线下面积($P < 0.01$)均显著降低;阳性对照组2.0 h血糖值($P < 0.05$)和血糖曲线下面积($P < 0.05$)也显著降低。试验结果提示,复合营养粉糖耐量指标为阳性。

复合营养粉以全脂乳粉为基底,并将赤藓糖醇、杏仁粉、抗性糊精、聚葡萄糖、菊粉以及罗汉果甜苷等复配使用。赤藓糖醇作为一种低热值甜味剂,对人体糖代谢过程几乎无影响,因此对糖尿病人具有良好的适用性。据报道^[17],受试者分别按1.5 mL/kg体重经口摄入质量分数为20%的赤藓糖醇和葡萄糖溶液,结果表明赤藓糖醇对人体血糖值和胰岛素分泌无影响,而葡萄糖使血糖和胰岛素分泌增加。一项长期随机临床试验^[18]显示,将含有杏仁的高蛋白质和单不饱和脂肪膳食(供能比为:蛋白质25%、脂肪40%、单不饱和脂肪22%)与2型糖尿病病人推荐使用的AHA膳食(供能比为:蛋白质15%、脂肪30%、单不饱和脂肪15%)进行比较,发现两种膳食均有利于受试者减轻体重、改善血糖控制。抗性糊精、聚葡萄糖和菊粉均属于水溶性膳食纤维,其进入人体后吸水膨胀,延缓胃排空,从而使食物不能集中进入肠道,避免血

表1 复合营养粉对正常SD大鼠空腹血糖值的影响

Table 1 The effect of compound nutritional powder on fasting blood glucose in normal SD rats ($n = 20$)

组别	剂量/(g·kg ⁻¹)	空腹血糖值/(mmol·L ⁻¹)
阴性对照组	—	5.71±0.50
复合营养粉组	6.70	6.05±0.43

表2 胰岛素抵抗糖/脂代谢紊乱模型大鼠建模结果[†]

Table 2 Modeling results of insulin resistance glucose/lipid metabolism disorder model rats ($n = 20$)

组别	血糖值/(mmol·L ⁻¹)			血糖曲线下面积/(mmol·h·L ⁻¹)	甘油三酯/(mmol·L ⁻¹)	总胆固醇/(mmol·L ⁻¹)	低密度脂蛋白/(mmol·L ⁻¹)	胰岛素抵抗指数
	0.0 h	0.5 h	2.0 h					
阴性对照组	6.24±0.61	6.50±0.72	6.28±0.42	12.77±0.81	1.04±0.54	2.05±0.32	0.53±0.14	7.819±0.981
模型对照组	7.96±1.51 ⁺⁺	17.59±6.50 ⁺⁺	8.71±4.23	25.84±7.96 ⁺⁺	1.60±0.77 ⁺⁺	3.34±0.75 ⁺⁺	1.15±0.45 ⁺⁺	10.077±2.653 ⁺

[†] 模型对照组与阴性对照组相比,⁺ $P < 0.05$,⁺⁺ $P < 0.01$ 。

表 3 复合营养粉对胰岛素抵抗糖/脂代谢紊乱模型大鼠空腹血糖和糖耐量的影响[†]Table 3 The effect of compound nutritional powder on fasting blood glucose and glucose tolerance in insulin resistance glucose/lipid metabolism disorder model rats ($n=50$)

组别	剂量/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	血糖值/($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)			血糖曲线下面积/ ($\text{mmol} \cdot \text{h} \cdot \text{L}^{-1}$)
		0.0 h	0.5 h	2.0 h	
模型对照组	—	7.96±1.51	17.59±6.50	8.71±4.23	25.84±7.96
复合营养粉低剂量组	1.68	9.02±2.37	20.31±5.92	10.28±4.21	30.27±8.78
复合营养粉中剂量组	3.35	10.26±7.39	13.90±8.63	8.10±7.97	22.54±15.95
复合营养粉高剂量组	6.70	7.82±2.55	11.51±2.57*	5.70±2.31	17.74±3.65**
阳性对照组	0.11	7.24±1.02	12.36±5.23	5.55±0.79*	18.33±5.40*

[†] 各给样组与模型对照组相比, * $P<0.05$, ** $P<0.01$ 。

糖骤速升高^[19]。Meta 分析^[13]显示,膳食纤维组与安慰剂组相比能使空腹血糖水平平均下降 0.85 mmol/L,使 HbA1c 平均下降 0.26%,是糖尿病患者控制血糖的良好干预方式。一项研究罗汉果皂甙对小鼠血糖调节作用的试验^[20]显示,罗汉果皂甙可能是通过抑制 α -葡萄糖苷酶的活性来抑制葡萄糖转化,进而降低血糖含量。通过上述几种降糖物质协同使用最终表现为复合营养粉高剂量组 0.5 h 血糖值和血糖曲线下面积显著降低。

2.2.3 对胰岛素抵抗糖/脂代谢紊乱模型大鼠血脂的影响

复合营养粉对胰岛素抵抗糖/脂代谢紊乱模型大鼠血脂的影响结果如表 4 所示。与模型对照组相比,复合营养粉各剂量组甘油三酯、总胆固醇、低密度脂蛋白和高密度脂

蛋白均无统计学差异($P>0.05$);阳性对照组与之相似,在该 4 个指标上也未表现出与模型对照组的显著差异($P>0.05$)。试验结果提示复合营养粉降血脂指标为阴性。

杏仁粉中含有较多的单不饱和脂肪酸,除改善血糖外,其对血脂控制也具有积极意义。Kris-Etherton 等^[21]研究表明,高单不饱和脂肪酸饮食能够降低血浆胆固醇和甘油三酯浓度;Paniagua 等^[22]试验证实富含单不饱和脂肪酸的饮食可改善胰岛素抵抗患者的血脂反应。补充适量膳食纤维也被认为是干预血脂代谢的有效途径,研究人员^[23]认为,以糖尿病饮食为基础,适量增加膳食纤维的摄入量,可降低糖尿病患者血脂水平,尤其在甘油三酯上有显著作用。另有报道^[24],饮食治疗中加入适量膳食

表 4 复合营养粉对胰岛素抵抗糖/脂代谢紊乱模型大鼠血脂的影响

Table 4 The effect of compound nutritional powder on blood lipids in insulin resistance glucose/lipid metabolism disorder model rats ($n=50$)

组别	剂量/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	甘油三酯/ ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)	总胆固醇/ ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)	低密度脂蛋白/ ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)	高密度脂蛋白/ ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)
模型对照组	—	1.60±0.77	3.34±0.75	1.15±0.45	1.84±0.47
复合营养粉低剂量组	1.68	1.41±0.34	3.53±0.64	1.07±0.22	2.10±0.51
复合营养粉中剂量组	3.35	1.57±0.42	3.34±0.62	1.04±0.23	1.93±0.49
复合营养粉高剂量组	6.70	1.65±0.54	3.55±1.00	1.27±0.43	1.95±0.60
阳性对照组	0.11	1.57±0.51	3.77±0.96	1.15±0.36	2.22±0.62

纤维可使 2 型糖尿病患者的三酰甘油和胆固醇明显下降。然而,试验复合营养粉未显示血脂指标阳性结果,可能是由于杏仁粉和/或膳食纤维在配方中添加量略有不足,未达到起效量。

2.2.4 复合营养粉对胰岛素抵抗糖/脂代谢紊乱模型大鼠胰岛素的影响 如表 5 所示,与模型对照组相比,复合营养粉各剂量组和阳性对照组的血清胰岛素值、胰岛素抵抗指数均无统计学差异($P>0.05$)。

Lustig^[25]认为,唯一与胰岛素敏感性有关的因素是膳食纤维,且只有不溶性膳食纤维能提高胰岛素敏感性。而试验复合营养粉的膳食纤维组成主要为可溶性膳食纤维,可能是导致胰岛素敏感性没有发生明显变化的原因。

表 5 复合营养粉对胰岛素抵抗糖/脂代谢紊乱模型大鼠胰岛素的影响

Table 5 The effect of compound nutritional powder on insulin in rats with insulin resistance and glucose/lipid metabolism disorder ($n=50$)

组别	剂量/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	血清胰岛素/ ($\text{mU} \cdot \text{L}^{-1}$)	胰岛素 抵抗指数
模型对照组	—	28.250±3.337	10.077±2.653
复合营养粉低剂量组	1.68	23.063±2.614	8.998±2.765
复合营养粉中剂量组	3.35	27.261±4.283	10.130±2.939
复合营养粉高剂量组	6.70	26.488±3.620	11.278±4.649
阳性对照组	0.11	28.030±7.761	8.292±1.605

3 结论

研究建立了高脂饮食与地塞米松共同诱导的胰岛素抵抗糖/脂代谢紊乱模型,复合营养粉对该模型糖尿病大鼠的辅助降血糖功能为阳性。研究使用的营养粉以全脂乳粉为基底,并添加赤藓糖醇、杏仁粉、抗性糊精、聚葡萄糖、菊粉、罗汉果甜苷等,相较于其他片剂、汤饮、颗粒等具有口感佳、味道好的优点,糖尿病患者在实际使用时更易依从,从而达到持久营养干预以维持血糖正常水平的效果。但试验同时存在降血脂指标为阴性、胰岛素敏感性未见明显改善的问题,这可能与配方配比有关,有待进一步研究。

参考文献

- [1] 中华医学会糖尿病学分会. 中国2型糖尿病防治指南(2013年版)[J]. 中华内分泌代谢杂志, 2014, 30(10): 893-942.
- [2] ALBERTI K G, ZIMMET P Z. Definition, diagnosis and classification of diabetes mellitus and its complications Part 1: Diagnosis and classification of diabetes mellitus provisional report of a WHO consultation[J]. Diabetic Medicine: A Journal of the British Diabetic Association, 1998, 15(7): 539-553.
- [3] 沈犁. 糖尿病患者的急性并发症及其预防[J]. 中华护理杂志, 2006, 41(10): 959-960.
- [4] 刘东波, 周佳丽, 李坚, 等. 营养干预在糖尿病治疗中的研究进展[J]. 食品与机械, 2019, 35(6): 1-11.
- [5] FRANZ M J, MACLEOD J, EVERT A, et al. Academy of nutrition and dietetics nutrition practice guideline for type 1 and type 2 diabetes in adults: Systematic review of evidence for medical nutrition therapy effectiveness and recommendations for integration into the nutrition care process [J]. Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics, 2017, 117(10): 1 659-1 679.
- [6] 刘建军, 赵祥颖, 田延军, 等. 低热值甜味剂赤藓糖醇的研究现状及应用[J]. 中国酿造, 2006(12): 1-3, 16.
- [7] 李科友, 史清华, 朱海兰, 等. 苦杏仁化学成分的研究[J]. 西北林学院学报, 2004, 19(2): 124-126.
- [8] VIGUILLIOUK E, KENDALL C W C, MEJIA S B, et al. Effect of tree nuts on glycemic control in diabetes: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled dietary trials[J]. PloS One, 2014, 9(7): e103376.
- [9] MUSA-VELOSO K, PAULIONIS L, POON T, et al. The effects of almond consumption on fasting blood lipid levels: A systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials [J]. Journal of Nutritional Science, 2016, 5 (e34): 1-15.
- [10] 刘雪峰, 李磊, 闫文亮, 等. 杏仁多肽的降血糖活性研究[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2010, 31(2): 204-208.
- [11] KLAUS R, KERSTIN R, SIBYLLE D, et al. Improvement of insulin resistance after diet with a whole-grain based dietary product: Results of a randomized, controlled cross-over study in obese subjects with elevated fasting blood glucose [J]. British Journal of Nutrition, 2007, 98(5): 929-936.
- [12] SALMERÓN J, MANSON J E, STAMPFER M J, et al. Dietary fiber, glycemic load, and risk of non-insulin-dependent diabetes mellitus in women [J]. The journal of the American Medical Association, 1997, 277(6): 472-477.
- [13] ROBERT E Post, ARCH G Mainous, DANA E King, et al. Dietary fiber for the treatment of type 2 diabetes mellitus: A meta-analysis [J]. Journal of the American Board of Family Medicine, 2012, 25(1): 16-23.
- [14] 张俐勤, 戚向阳, 陈维军, 等. 罗汉果皂苷提取物对糖尿病小鼠血糖、血脂及抗氧化作用的影响 [J]. 中国药理学通报, 2006, 22(2): 237-240.
- [15] SUZUKI Y A, MURATA Y, INUI H, et al. Triterpene glycosides of *Siraitia grosvenori* inhibit rat intestinal maltase and suppress the rise in blood glucose level after a single oral administration of maltose in rats [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53(8): 2 941-2 946.
- [16] 王丽静, 张尉, 刘小莺, 等. 地塞米松诱导3T3-L1脂肪细胞胰岛素抵抗模型的建立 [J]. 福建医科大学学报, 2007, 41(3): 282-284.
- [17] NODA K, NAKAYAMA K, OKU T. Serum glucose and insulin levels and erythritol balance after oral administration of erythritol in healthy subjects [J]. European Journal of Clinical Nutrition, 1994, 48(4): 286-292.
- [18] SCOTT L W, BALASUBRAMANYAM A, KIMBALL K T, et al. Long-term, randomized clinical trial of two diets in the metabolic syndrome and type 2 diabetes [J]. Diabetes Care, 2003, 26(8): 2 481-2 482.
- [19] 丁莉莉, 彭丽, 孔庆军. 膳食纤维与糖尿病的研究进展 [J]. 医学综述, 2014(7): 1 265-1 268.
- [20] 何伟平, 朱晓韵, 刘丽君, 等. 罗汉果低血糖指数(CI)食品及其药理研究 [J]. 轻工科技, 2011(7): 1-2, 5.
- [21] KRIS-ETHERTON P M, PEARSON T A, WAN Ying, et al. High-monounsaturated fatty acid diets lower both plasma cholesterol and triacylglycerol concentrations [J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 1999, 70(6): 1 009-1 015.
- [22] PANIAGUA J A, DE LA SACRISTANA A G, SÁNCHEZ E, et al. A MUFA-rich diet improves postprandial glucose, lipid and GLP-1 responses in insulin-resistant subjects [J]. Journal of the American College of Nutrition, 2007, 26(5): 434-444.
- [23] 金燕红. 膳食纤维对糖尿病患者血糖血脂的影响 [J]. 中国医师杂志, 2010, 12(12): 1 702-1 703.
- [24] 俞文. 膳食纤维对2型糖尿病治疗中的疗效观察 [J]. 医学信息旬刊, 2010, 23(12): 153.
- [25] LUSTIG R H. Diabetes and dietary fibre: Directive or distraction? [J]. Clinical & Experimental Ophthalmology, 2012, 40(3): 230-231.