红花籽亚麻籽复合油对小鼠血糖的干预作用

赵圆圆，杨梦娟，李心爽，杨晓君

（新疆农业大学食品科学与药学学院，新疆乌鲁木齐 830052）

摘要：本文探讨了红花籽亚麻籽复合油对糖尿病小鼠血糖的干预作用。使用链脲佐菌素（STZ）建立小鼠糖尿病模型，对建模成功的小鼠进行随机分组（分别为高血糖对照组、红花籽油组、亚麻籽油组、亚麻籽油提取物组、红花籽亚麻籽复合油组。每组 12 只，雌雄各半）。试验小鼠按分组灌胃给予受试物，持续 14 d。末次给药 30 min 后，为小鼠灌胃给予 2 g/kg 葡萄糖，分别于 10、30、60、90、120 min 处检测小鼠血糖，得出小鼠血糖曲线下面积（AUC）相对值、胰岛 β 细胞功能（HOMA-β）和胰岛抵抗指数（HOMA-IR）。结果表明：红花籽亚麻籽复合油组小鼠餐后 30 min 血糖浓度（15.73 mmol/L）与高血糖对照组（17.38 mmol/L）相比，具有显著性差异(p<0.05)，GI、HOMA-β、HOMA-IR 均具有一定差异，但无统计学意义（p>0.05）。因此，红花籽亚麻籽复合油可降低糖尿病小鼠的 AUC，提高其胰岛素的分泌及靶细胞对胰岛素的敏感性。

关键词：红花籽亚麻籽复合油；血糖；胰岛素抵抗；酶联免疫吸附；气相色谱-质谱

文章篇号：1673-9078(2018)09-57-63 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2018.9.010

Effect of Mixture of Safflower and Flaxseed Oil on Blood Glucose in Diabetic Mice

ZHAO Yuan-yuan, YANG Meng-juan, LI Xin-shuang, YANG Xiao-jun

(College of Food Science and Pharmacy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: The investigate the intervention of mixture of safflower and flaxseed oil on blood glucose in diabetic mice was investigated. A mouse model of diabetes was established using streptozotocin (STZ), and the mice were randomly divided into five groups (high blood glucose control group, safflower oil group, linseed oil group, linseed oil extract group, mixture of safflower and flaxseed oil group, 12 in each group, half male and half female). The mice were given the test samples in groups for 14 days. After 30 min of the last administration, mice were given 2 g/kg of glucose by gavage, the blood glucose was measured at 10 min, 30 min, 60 min, 90 min, and 120 min, respectively, and the relative value of area under blood glucose curve (AUC) in mice, pancreatic β-cell function (HOMA-β) and islet resistance index (HOMA-IR) were obtained. The results showed: There was a significant difference (p<0.05) in blood glucose concentration 30 min after meal in mice of mixture of safflower and flaxseed oil group (15.73 mmol/L) and high blood glucose control group (17.38 mmol/L). Therefore, compound oil of safflower seed and flaxseed could reduce AUC and increase insulin secretion and sensitivity of target cells to insulin in diabetic mice.

Key words: mixture of safflower and flaxseed oil; blood glucose; insulin resistance; ELISA; GC-MS

糖尿病是一种慢性的、终身的、代谢紊乱性疾病，其发生与发展的过程中有两个重要的生理学特征，胰岛 β 细胞功能缺陷与胰岛素抵抗（IR）[1]。胰岛素抵抗是指胰岛素介导的葡萄糖吸收与代谢能力的下降，包括靶细胞对胰岛素反应性下降、敏感性降低与机体代偿性的分泌过多胰岛素。胰岛素抵抗，糖尿病患者体内胰岛素为发挥正常的降血糖功能，胰岛 β 细胞分泌功能增加，血液中的胰岛素增多，这使得糖尿病患者血液中不但血糖升高，胰岛素水平也明显高于正常[2]。糖尿病一直被人们认为是“沉默的杀手”，患有糖尿病的患者由于长期高血糖，将引发多种疾病，例如：心血管并发症、糖尿病视网膜病变、脑血管病变等[3]。

亚油酸、α-亚麻酸为人体必需氨基酸，人体自身不能合成，需从日常饮食中获取[4]。亚油酸为十八碳二烯酸，是一种 ω-6 系列多不饱和脂肪酸[5,6]，被人们称为“血管清道夫”。亚油酸，可防止人体血清胆固醇在血管壁的沉积[7-9]。衣丹等[10]人应用 MTT 比色法测定共轭亚油酸对血管内皮细胞存活率的影响，用绿色荧光蛋白标记的膜联蛋白/碘化丙啶双染色法检测细胞凋亡和死亡，发现共轭亚油酸 2 μmol/L 处理细胞 72 h，细胞存活率为 126.3%；在浓度小于 5 μmol/L 时呈

收稿日期：2018-06-06

基金项目：新疆维吾尔自治区自然科学基金项目（2017D01A41）

作者简介：赵圆圆（1995-），女，在读研究生，研究方向：食品营养与安全

通讯作者：杨晓君（1971-），女，博士，副教授，主要从事新疆特色天然产物研究开发

剂量和时间性依赖。共轭亚油酸能部分阻断软脂酸(PA)和硬脂酸(SA)诱导的血管内皮细胞死亡。*α*-亚麻酸为十八碳三烯酸，是一种 ω-3 系列多不饱和脂肪酸，可降血糖、抗衰老、降血脂，对心血管疾病也有良好的预防作用[11,12]。ω-3 和 ω-6 系列多不饱和脂肪酸与人体健康密切相关，具有重要的生理学意义。多数情况下，ω-3 和 ω-6 系列多不饱和脂肪酸在功能上相互协调、相互制约、共同调节着生物体的生命活动[13]。

日常生活中，ω-6 系列的多不饱和脂肪酸主要来源于谷物及植物油中，其中红花籽油中亚油酸含量最高，77%左右[14]。ω-3 系列的多不饱和脂肪酸多存在于植物油、高脂鱼类和海洋哺乳动物中。日常使用的植物油以亚麻籽油中所含亚麻酸的比例最高，57%左右[15]。本试验所用的复合油为红花籽亚麻籽复合油，由红花籽油与亚麻籽油提取物科学配伍制成。经前期试验表明[16,17]，当红花籽亚麻籽复合油中亚油酸与亚麻酸比例为 1:1~2 时，红花籽亚麻籽复合油具有良好的降血脂功能，高血脂与糖尿病对人体的危害互为因果，因此，本试验在明确红花籽亚麻籽复合油具有良好的降血脂功能的基础上，进行红花籽亚麻籽复合油对糖尿病模型小鼠血糖的影响研究。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

1.1.1 试验动物

清洁级昆明种小鼠 72 只，雌雄各半，体重(18~22 g)，购买于新疆医科大学实验动物中心（动物生产许可证号：SCXK[新]2016-0003）。观察一周无异常反应后进行试验，饲料为灭菌全价柱状饲料，由新疆医科大学实验动物中心提供。

1.1.2 试验试剂

柠檬酸、柠檬酸钠、葡萄糖，分析纯，天津永晟精细化工有限公司；羧甲基纤维素钠、分析纯，天津市精细化工研究所；吐温-20，天津市福晨化学试剂厂；链脲佐菌素、生物技术级，上海麦克林生化科技有限公司；红花籽油，新疆红花缘科技有限公司(20170908，明亮的浅黄色油脂，具有稳定的香味)；亚麻籽油，新疆红果实生物制品有限公司（20170720，明亮的黄色油脂)；去离子水、亚麻籽油提取物，实验室自制。

1.2 仪器与设备

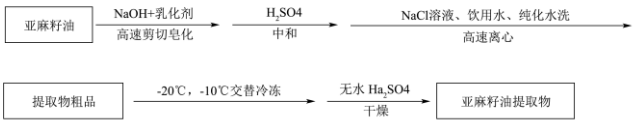
PHS-3C 型 pH 计，上海雷磁仪器厂；电子分析天平（METTLER TOLEDO，PL303，d=0.001 g)；血糖仪及血糖试纸（三诺 GA-3 型)；Neofuge 13R 台式高速冷冻离心机，力康生物科技有限控股公司；小鼠胰岛素（INS）酶联免疫吸附测定试剂盒，武汉伊莱瑞特生物科技股份有限公司；X-Mark 酶标仪，伯乐生命医学产品上海有限公司；电热恒温培养箱，上海冠戈实业有限公司（DNP-9052A 型)。

1.3 方法

1.3.1 GC-MS 法检测分析亚麻籽油提取物组分

1.3.1.1 亚麻籽油提取物的制备

在前期研究已确定的皂化中和纯化一体化制备亚麻籽油提取物工艺[18]基础上，改进皂化工艺，采用高速剪切皂化-冷冻分离法制备亚麻籽油提取物，工艺流程图如下：



1.3.1.2 甲酯化处理

参照国标《GB/T 17376-2008 动植物油脂脂肪酸甲酯制备》，选取三氟化硼法对亚麻籽油提取物进行处理。

1.3.1.3 GC-MS 法检测分析[19]

GC 检测条件：色谱柱：HP-5 MS（30 m×0.25 mm×0.25 μm）毛细管柱；进样量：0.2 μL；分流比：100:1；升温程序：起始温度为 50 ℃，以 10 ℃/min 升温至 210 ℃，然后以 3 ℃/min 升温到 240 ℃，再以 10 ℃/min 升到 300 ℃/min 保持 5 min。运行时间：37 min。

MS 检测条件：电离方式：EI；电离能量：70 eV；离子源发生器温度：230 ℃；质量扫描范围：30~700 u；溶剂延迟：3 min。

1.3.2 试验准备

1.3.2.1 链脲佐菌素溶液（STZ）的配制[20]

称取柠檬酸 2.10 g，柠檬酸钠 2.90 g，将二者分别置于 200 mL 烧杯中，加入 100 mL 去离子水溶解，配制成溶液。将柠檬酸与柠檬酸钠溶液按照 1:1.32 的比例混合均匀。测 pH 值，将溶液配制成 pH=4.4 的柠檬酸缓冲溶液。称取 0.1 g 链脲佐菌素粉末置于 10 mL 棕色容量瓶中，用柠檬酸缓冲溶液定容，配制浓度为 1%的链脲佐菌素溶液备用。

1.3.2.2 不同受试物灌胃试样的制备[21]

试验前期证明，为满足红花籽亚麻籽复合油中亚油酸与亚麻酸的比例为 1:1~2，红花籽亚麻籽复合油中红花籽油与亚麻籽油提取物的比例为 3:2。按照中

国营养学会推荐食用油的摄入量，设人体食用油量为25 g/60 kg d，依照公式：B 种动物的剂量(mg/kg)=W(换算系数)×A 种动物的剂量(mg/kg)，得出小鼠的食用油量为 0.038 g/10 gd。称取红花籽油 1.520 g，亚麻籽油提取物 2.280 g 混合，加入 0.2 mL 吐温-20，2%羧甲基纤维素钠溶液，定容至 10 mL 搅拌均匀，灌胃给予小鼠。红花籽油、亚麻籽油与亚麻籽油提取物均直接称取 3.800 g 受试物，加入 2%羧甲基纤维素钠溶液定容至 10 mL 搅拌均匀，灌胃给予小鼠。正常组和高血糖对照组灌饲同体积 2%羧甲基纤维素钠溶液。

1.3.3 糖尿病小鼠模型的建立

选用昆明种小鼠 72 只，雌雄各半，适应性喂养 7 d，随机分为正常组与模型组，共 6 组，每组 12 只，雌雄各半，其中模型组随机分组为高血糖对照组、红花籽油组、亚麻籽油组、亚麻籽油提取物组、红花籽亚麻籽复合油组。正常组小鼠正常饲养，模型组小鼠禁食不禁水，12 h 后一次性腹腔注射 1%链脲佐菌素溶液 150 mg/kg，并于 72 h 后测定模型组小鼠空腹血糖值，小鼠空腹血糖值高于 11.1 mmol/L 即为造模成功。建模未成功小鼠腹腔补注射 1%链脲佐菌素溶液 60 mg/kg，于 72 h 后测量小鼠空腹血糖值，挑选出建模成功小鼠。将模型组小鼠分别灌胃给予 0.1 mL/10 gd 2%羧甲基纤维素钠、红花籽油、亚麻籽油、亚麻籽油提取物、红花籽亚麻籽复合油制备而成的混悬剂。空白组灌胃给予同体积 2%羧甲基纤维素钠。连续灌胃 14 d。

1.4 受试物对糖尿病小鼠餐后血糖的影响

动物试验第一天，各组小鼠禁食不禁水 12 h，尾静脉取血，使用血糖试纸与血糖仪检测各组小鼠空腹血糖浓度。依照分组对小鼠连续灌胃 14 d。第一次灌胃给药与末次灌胃给药前，小鼠禁食不禁水 12 h，其余时间小鼠自由采食。小鼠末次灌胃给药 30 min 后，各组小鼠灌胃给予葡萄糖 2.0 g/kg。分别于 10、30、60、90、120 min 处小鼠尾静脉取血，测定血糖浓度[22]。使用式 1 求出各组小鼠 AUC 相对值。

1.5 受试物对糖尿病小鼠体重的影响

1.6 不同受试物对糖尿病小鼠餐后胰岛素水平的影响试验

小鼠末次给药 30 min 后，灌胃给予葡萄糖 2.0 g/kg。1 h 后，眼眶取血，置于 2 mL 离心管中，冷冻离心机离心制备血清。使用小鼠胰岛素（INS）酶联免疫吸附测定试剂盒测定小鼠胰岛素水平，分别代入式 2、式 3 求出小鼠胰岛素抵抗指数，胰岛 β 细胞功能[23]。公式见（2）、（3）。

1.7 统计分析方法

本实验结果采用 $\bar{X}\pm SD$ 表示，使用 SPSS 19.0 版统计软件中的独立样本 t 检验进行统计学分析，比较组间差异，$p<0.05$ 为具有显著性差异，$p<0.01$ 为具有极显著差异，有统计学意义。小鼠餐后血糖应答曲线下面积使用统计矩法计算。

2 结果与分析

2.1 亚麻籽油提取物 GC-MS 分析结果

按照 1.3.1.2 所确立方法甲酯化处理后，以 1.3.1.3 所确定的 GC-MS 检测条件进行脂肪酸组分检测，检测结果的交叉对比检索库、置信度取舍、化学积分工作站等同亚麻籽油提取物的总离子图见图 1，亚麻籽油提取物中所含各脂肪酸组分的各物质保留时间、峰面积、脂肪酸含量、匹配度等情况见表 1。

由表 1 可知，亚麻籽油提取物中 α-亚麻酸含量最高为 60.07%，其次是亚油酸，含量为 17.91%。不饱和脂肪酸含量为 78.92%。

2.2 不同受试物对小鼠餐后血糖的影响

依照分组，连续 14 d 对小鼠进行灌胃后，测量小鼠的血糖，并通过式 1 得出 AUC 相对值。数据结果见表 2。由表 2 可知，正常组小鼠与高血糖对照组小鼠，二者在进食葡萄糖 2 h 内 AUC 具有极显著性差异（$p<0.01$）。红花籽油、亚麻籽油、红花籽亚麻籽复合取物对小鼠进食葡萄糖后的血糖生成无抑制作用，AUC 相对值高于高血糖对照组小鼠。

$$AUC\text{相对值}=\frac{\text{不同受试物组小鼠}2h\text{血糖应答曲线下面积}}{\text{高血糖对照组小鼠餐后}2h\text{血糖应答曲线下面积}}\times 100\% \quad (1)$$

胰岛素抵抗指数(*HOMA-IR*)=[胰岛素(*FINS*)-空腹血糖(*FBG*)]/22.5 （2）

胰岛 β 细胞功能(*HOMA-β*)=20×胰岛素(*FINS*)/[空腹血糖(*FBG*)-3.5] （3）

表 1 亚麻籽油提取物的 GC-MS 检测结果

Table 1 GC-MS test results of Flaxseed Oil Extract

检出物质	保留时间/min	峰面积	百分含量/%	置信度/%
棕榈酸	16.896	99843725	8.59	98
顺式亚油酸	19.052	208064376	17.91	99
α-亚麻酸	19.181	698000887	60.07	99
硬脂酸	19.460	63626391	5.48	99
9Z,12E-十八碳二烯酸	19.328	6016965	0.52	98
10E,12Z-十八碳二烯酸	20.372	4928215	0.42	96

表 2 不同受试物对进食葡萄糖后血糖生成的影响

Table 2 Effect of different test substances on blood glucose production after glucose intake ($\bar{X}$±SD)

组别	样本数/n	餐后血糖值/(mmol/L)			
		0 h	0.17 h	0.5 h	1 h
正常组	10	5.92±1.54**	5.33±1.25**	5.46±1.30**	5.34±2.15**
高血糖对照组	6	19.55±4.93	18.40±2.85	17.38±3.02	17.38±3.02
红花籽油组	5	17.64±2.78	19.72±3.73	16.22±2.03	13.50±4.48
亚麻籽油组	7	17.93±5.85	15.26±6.64	15.96±4.26	13.5±4.21
亚麻籽油提取物组	9	17.09±3.78	19.36±3.02	19.01±3.02	14.03±1.80
红花籽亚麻籽复合油组	9	16.67±3.93	14.01±3.03	15.73±4.40*	14.60±2.75

组别	样本数/n	餐后血糖值/(mmol/L)		血糖应答曲线下面积	AUC 相对值
		1.5 h	2 h	/(h mmol/L)	/(100%)
正常组	10	4.47±1.09**	4.08±1.02**	9.97±2.22**	-
高血糖对照组	6	12.70±4.99	12.22±5.44	29.93±6.83	100
红花籽油组	5	11.76±5.31	12.36±6.52	28.88±5.66	98
亚麻籽油组	7	13.63±4.44	12.89±6.93	28.62±8.60	96
亚麻籽油提取物组	9	13.19±1.53	12.31±2.04	30.87±3.12	103
红花籽亚麻籽复合油组	9	14.07±2.14	12.48±3.60	28.90±3.92	97

注：*表示与高血糖对照组比较具有显著性差异，p<0.05，**表示与高血糖对照组比较具有极显著差异 p<0.01。

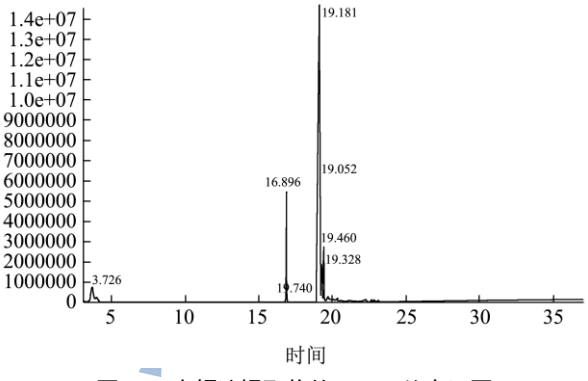


图 1 亚麻籽油提取物的 GC-MS 总离子图

Fig.1 total GC-MS ion diagram of flaxseed oil extract

2.3 不同受试物对小鼠体重的影响

由表 3 可知，造模第 1 d，模型组小鼠体重均低于正常组，造模第 1 d 与给药第 14 d 模型组体重增长无统计学差异（p>0.05）。

给药 14 d 后，模型组小鼠与正常组比较,体重均显著下降(p<0.05)。

而与高血糖对照组比较，红花籽油组、亚麻籽油组、亚麻籽油提取物组、红花籽亚麻籽复合油组小鼠体重均增长，说明能够缓解高血糖模型小鼠体重减轻的病症，但无统计学差异（p>0.05）。

2.4 不同受试物对小鼠餐后胰岛素的影响

依照小鼠胰岛素（INS）酶联免疫吸附测定试剂盒的测定方法，进行不同受试物小鼠血清中胰岛素含量的测定，以减去空白后的光密度（OD）值为横坐标，胰岛素浓度为纵坐标绘制标准曲线。所得标准曲线为：y=0.1358x+0.0505，r=0.9943，线性关系良好。根据所拟合的标准曲线可得出不同受试组小鼠进食葡萄糖后的胰岛素水平，并通过小鼠胰岛素浓度（FINS）和小鼠的空腹血糖浓度（FBG），按照式 2 得出胰岛素抵抗指数，式 3 得出小鼠胰岛 β 细胞功能，结果见表 4。

经数据分析，模型组小鼠胰岛 β 细胞分泌功能较

弱，胰岛抵抗指数大于 2.69，抵抗超标。正常组与高血糖对照组，二者存在显著性差异（p<0.05），正常组血液中胰岛素浓度低，对胰岛素的抵抗弱，胰岛 β 细胞分泌功能良好；亚麻籽油提取物组血清胰岛素水平与胰岛 β 细胞分泌功能和高血糖对照组相比存在显著性差异（p<0.05），亚麻籽油提取物组胰岛素抵抗指数较低，胰岛 β 细胞分泌功能弱；红花籽亚麻籽复合油组数据均未与高血糖对照组小鼠形成显著性差异（p>0.05），但该组小鼠胰岛 β 细胞分泌功能最高，对胰岛素的抵抗作用弱于红花籽油组、亚麻籽油组及高血糖对照组，对胰岛素的敏感性较高；高血糖对照组及红花籽油组胰岛 β 细胞分泌功能较高，血清中胰岛素浓度高于其它几组，但由于胰岛素抵抗指数也较高，机体对胰岛素的敏感度低，不能有效的促进与利用葡萄糖以降低小鼠血糖；亚麻籽油组胰岛 β 细胞分泌功能低，血清中胰岛素浓度低。证明单一的亚麻籽油及亚麻籽油提取物不能改善糖尿病小鼠胰岛 β 细胞的分泌功能，可提高机体对胰岛素的敏感性，但与正常组相比机体内胰岛素分泌过少，不能有效降低小鼠餐后血糖。

红花籽油可提高糖尿病小鼠胰岛 β 分泌功能，但对小鼠胰岛素抵抗无作用；红花籽亚麻籽复合油可提高糖尿病小鼠胰岛 β 细胞分泌功能，提高小鼠胰岛素分泌量，但与正常组相比仍较低，红花籽亚麻籽复合油可降低糖尿病小鼠对胰岛素的抵抗，提高机体对胰岛素的敏感性，降低小鼠餐后血糖。

表 3 不同受试物对小鼠体重的影响

Table 3 Effects of different subjects on weight of mice

组别	造模第 1 天/g	p(对比正常组)	给药第 14 天/g	p(对比正常组)
正常组	25.6±2.19	-	30.49±2.37	-
高血糖对照组	23.7±1.80	0.691	24.9±2.86*	0.044
红花籽油组	23.7±1.18	0.506	26.4±1.71*	0.041
亚麻籽油组	23.9±1.45	0.611	25.9±1.71*	0.005
亚麻籽油提取物组	23.6±1.84	0.483	26.7±2.10*	0.026
红花籽亚麻籽复合油组	23.8±2.11	0.680	26.8±2.06*	0.032

注：*表示与正常组比较具有显著性差异，p<0.05。

表 4 不同受试物对小鼠餐后胰岛素的影响

Table 4 Effects of different test substances on postprandial insulin in mice

组别	血清胰岛素/(ng/mL)	胰岛 β 细胞功能	胰岛素抵抗指数
正常组	0.19±0.13*	46.40±16.98*	1.25±0.92*
高血糖对照组	0.64±0.22	20.89±8.13	14.17±7.18
红花籽油组	0.71±0.13	23.21±5.49	14.66±2.74
亚麻籽油组	0.51±0.04	14.15±5.24	12.41±2.57
亚麻籽油提取物组	0.20±0.07*	7.61±4.30*	3.71±0.71
红花籽亚麻籽复合油组	0.59±0.18	25..34±16.70	10.48±2.47

注：*与高血糖对照组相比具有显著性差异，p<0.05。

3 讨论

本研究中，与正常组相比，模型组小鼠给药 14 d 后体重变轻，精神萎靡，毛竖无光泽，垫料潮湿等现象有明显改善。结果表明红花籽亚麻籽复合油可降低糖尿病小鼠对胰岛素的抵抗，提高机体对胰岛素的敏感性，对小鼠餐后血糖有抑制作用，但与高血糖对照组相比较无显著性差异（p>0.05），不具有统计学意义。红花籽油组、亚麻籽油组、亚麻籽油提取物组及红花籽亚麻籽复合油组小鼠胰岛 β 细胞分泌功能均低，造成该现象的原因可能是本试验灌胃时间为 14 d，较短，受试物可能未能完全发挥其作用。董振兴[24]等人研究牡丹籽油对糖尿病小鼠血糖及糖耐量的影响，将高血糖小鼠模型连续灌胃给药 30 d，检测小鼠血糖值，结果表明牡丹籽油各剂量组均显著降低糖尿病小鼠的血糖值，且呈现一定的剂量依赖性。糖耐量实验发现，牡丹籽油可降低正常小鼠的血糖水平；杜林娜[25]等人将诱导成功的糖尿病小鼠经格列苯脲和不同剂量的蝙蝠蛾拟青霉 Cs-4 提取物治疗 20 d 后，与模型组小鼠血糖相比，格列本脲、蝙蝠蛾拟青霉 Cs-4 提取物（1000 mg/kg 和 3000 mg/kg）组的小鼠空腹血糖均显著降低（p<0.05）；金情政[26]等人对糖尿病模型小鼠给予不同剂量的瓜蒌子油灌胃，连续给药 4 周，发现瓜蒌子油能显著升高模型小鼠的血清胰岛素含量，降低血清

TC、TG、NO 和 NOS 含量。有研究表明[27]，当空腹血糖升高，小鼠胰岛素抵抗增加，胰岛素敏感性降低，胰岛 β 细胞分泌功能增加，血清胰岛素水平上升。本试验提取物组小鼠，胰岛素抵抗增加，但血清胰岛素水平趋于正常组小鼠，造成该现象的原因可能为建模造成小鼠胰岛 β 细胞破坏分泌胰岛素能力低，该原因有待进一步试验探讨。

4 结论

红花籽亚麻籽复合油可降低糖尿病小鼠血糖，降低小鼠的 AUC，并且，此作用在餐后 30 min 效果显著（p<0.05）。红花籽亚麻籽复合油还可提高糖尿病小鼠胰岛 β 细胞分泌功能，降低胰岛素抵抗，提高机体对胰岛素的敏感性，使胰岛素促进与利用葡萄糖的效率增加，但作用无显著意义。后续将深入探讨红花籽亚麻籽复合油对 II 型糖尿病模型小鼠血糖干预作用的影响，检测其血液中的 PI3K 酶、AKT 酶的活性大小及肝脏中的 IRS-1 丝氨酸磷酸化水平，与相应的 AUC 相对值、胰岛素分泌指数、胰岛素抵抗指数，进行关联性分析，探讨红花籽亚麻籽复合油对 II 型糖尿病模型小鼠血糖的干预作用机制。

参考文献

[1] 许智越,方勇,吴良玉,等.健康体检人群中糖尿病患者对糖尿病知识认知状况调查[J].中国疗养医学,2018,27(1):108-109
XU Zhi-yue, FANG Yong, WU Liang-yu, et al. Interview on the knowledge of diabetes patients participating health check-up towards the disease [J]. Chinese Journal of Convalescent Medicine, 2018, 27(1): 108-109

[2] 王海鹏.我国诊断糖尿病疾病经济负担趋势预测研究[D].济南:山东大学,2013
WANG Hai-peng. Study on trend and projection of disease burden and economic burden for diagnosed diabetes in China [D]. Jinan: Shandong UNIversity, 2013

[3] 王红梅,闫雅更,董凤丽,等.糖尿病患者发生慢性并发症的危险因素分析[J].医学综述,2018,24(1):175-178
WANG Hong-mei, YAN Ya-geng, DONG Feng-Li, et al. Study on the Risk Factors of Diabetic Chronic Complications [J]. Medical Recapitulate, 2018, 24(1): 175-178

[4] Liu Miao, Li Yihe, Li Jiaqi, et al. Elevated serum total bilirubin levels are negatively associated with major diabetic complications among Chinese senile diabetic patients [J]. Journal of Diabetes and Its Complications, 2017, 31(1): 213-217

[5] Bocca C, Bozzo F, Cannito S, et al. CLA reduces breast cancer cell growth and invasion through ERα and PI3K/Akt pathways [J].Chemico-Biological Interactions, 2010, 183: 187-193

[6] PARRA P, SERRA F, PALOU A. Moderate doses of conjugated linoleic acid isomers mix contribute to lowering body fat content maintaining insulin sensitivity and a noninflammatory pattern in adipose tissue in mice [J]. Journal of Nutritional Biochemistry, 2010, 21: 107-115

[7] 蒋瑜,熊文珂,殷俊玲,等.膳食中 ω-3 和 ω-6 多不饱和脂肪酸摄入与心血管健康的研究进展[J].粮食与油脂,2016,29(11):1-5
JIANG Yu, XIONG Wen-ke, YIN Jun-ling, et al. Research progress on dietary intake of ω-3 and ω-6 polyunsaturated fatty acid balance and cardiovascular health [J]. Cereals & Oils, 2016, 29(11): 1-5

[8] 梁媛,赵馨怡,张靖伟,等.亚油酸和 α-亚麻酸对脂肪干细胞活力及成脂分化的影响[J].大连工业大学学报,2017,36(5):321-324
LIANG Yuan, ZHAO Xin-yi, ZHANG Jing-wei, et al. Effect of linoleic acid and alpha-linolenic acid on cell viability and adipogenic differentiation in adipose tissue-derived stromal cells [J]. Journal of Dalian Polytechnic University, 2017, 36(5): 321-324

[9] 李殿鑫,陈银基,周光宏,等.n-3 多不饱和脂肪酸分类、来源与疾病防治功能[J].中国食物与营养,2006,6:52-54
LI Dian-xin, CHEN Yin-ji, ZHOU Guang-hong, et al. N-3 polyunsaturated fatty acids classification, source and disease control function [J]. Food and Nutrition in China, 2006, 6: 52-54

[10] 衣丹,李光友,刘发义,等.共轭亚油酸对血管内皮细胞的保护作用[J].中国海洋药物,2009,28(1):17-19
YI Dan, LI Guang-you, LIU Fa-yi, et al. Protective effect of conjugated linoleic acid on vascular endothelial cells [J]. Chinese Journal of Marine Drugs, 2009, 28(1): 17-19

[11] Vedin I, Cederholm T, Freund-Levi Y, et al. Effects of DHA-Rich,n-3fatty acid supplementation on gene expression in blood mononuclear leukocytes: The OmegAD study [J].US Library of Medicine National Institutes of Health, 2012, 7(4): e35425

[12] HEINRICHS S C. Dietary ω-3 fatty acid supplementation for optimizing neuronal structure and function [J]. Molecular Nutrition & Food Research, 2010, 54(4): 447-456

[13] 张荣灿,王一兵,柯珂,等.海藻多不饱和脂肪酸的研究进展[J].食品研究与开发,2013,34(3):112-115

ZHANG Rong-can, WANG Yi-bing, KE Ke, et al. Research progress on seaweed polyunsaturated fatty acids [J]. Food Research and Development, 2013, 34(3): 112-115

[14] 岳崟,王丽梅,刘仁禄.多不饱和脂肪酸与学习记忆关系的研究进展[J].中国油脂,2015,40(4):38-41
YUE Yin, WANG Li-mei, LIU Ren-lu, et al. Progress in relationship between polyunsaturated fatty acids and learning and memory [J]. China Oils and Fats, 2015, 40(4): 38-41

[15] 刘锦涛.人体必须的脂肪酸、亚麻酸、亚油酸[N].中国食品报,2016,4:1-2
LIU Jin-tao. Essential fatty acids, linolenic acid and linoleic acid in human body [N]. China Food News, 2016, 4: 1-2

[16] 杨晓君,穆合塔尔,包晓玮,等.红花黄色素与双亚酸的抗血栓作用[J].食品科学,2013,34(3):264-266
YANG Xiao-jun, MU He-ta er, BAO Xiao-wei, et al. Antithrombotic effect of aafflor yellow and dual sub-acid [J]. Food Science, 2013, 34(3): 264-266

[17] 杨晓君,郭雪婷,王颖,等.复合红花油制剂降血脂作用初探[J].新疆农业科学,2012,49(5):868-872
YANG Xian-jun, GUO Xue-ting, WANG Ying, et al. Study on the action of blood fat reduction of co-safflower oil preparation [J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2012, 49(5): 868-872

[18] 吴桂荣.一种双亚高端植物油及其制备方法:中国, CN201210060311.8 [P]. 2012- 01- 18
WU Gui-rong. Double Asian high-end vegetable oil and preparation method thereof: China, CN201210060311.8 [P]. 2012-01-18

[19] 张玉君,杨晓君,赵圆圆,等.内聚能密度结合响应面法优化酿后葡萄皮渣中原花青素的提取工艺[J].西北药学杂志,2018,33(1):19-24
ZHANG Yu-jun, YANG Xiao-jun, ZHAO Yuan-yuan, et al. Cohesive energy density combined with response surface method to optimize the procyanidins extraction process of brewed grape skin residue [J]. Northwest Pharmaceutical Journal, 2018, 33(1): 19-24

[20] 韦立顺,许忠新,田河林,等.链脲佐菌素致小鼠糖尿病模型的建立与评价[J].中国实验诊断学,2013,17(5):806-808
WEI Li-shun, XU Zhong-xin, TIAN He-lin, et al. Evaluation and Establishment of Streptozotocin induced diabetic model in mouse [J]. Chinese Journal of Laboratory Diagnosis, 2013, 17(5): 806-808

[21] 闵筱辉,陈其奎,于涛,等.链脲佐菌素诱导建立长期稳定糖尿病小鼠模型的给药方案研究[J].中国医药导报,2013,10(4):7-10
MIN Xiao-hui, CHEN Qi-kui, YU Tao, et al. Optimal dosing regimen to establish long-term stable diabetic mice model induced by streptozotocin [J]. China Medical Herald, 2013, 10(4): 7-10

[22] 张伟云,洪珠凤,陈全成,等.油茶醇提物对 2 型糖尿病小鼠血糖的作用[J].海峡药学,2017,29(1):21-24
ZHANG Wei-yun, HONG Zhu-feng, CHEN Quan-cheng, et al. Effect of ethanol extract from Camellia oleifera Abel on blood glucose in type II diabetic mice [J]. Strait Pharmaceutical Journal, 2017, 29(1): 21-24

[23] 朱小花,蒋爱民,余铭,等.香蕉粉对II型糖尿病模型大鼠血糖及胰岛素抵抗的影响[J].现代食品科技,2016,32(03):7-11,29
ZHU Xiao-hua, JIANG Ai-min, YU Ming, et al. Research the improvement and mechanism on insulin resistance of raw banana powder in type II diabetic mellitus [J]. Modern Food Science and Technology, 2016, 32 (3): 7-11, 29

[24] 董振兴,彭代银,宣自华,等.牡丹籽油降血脂、降血糖作用的实验研究[J].安徽医药,2013,17(8):1286-1289
DONG Zhen-xing, PENG Dai-yin, XUAN Zi-hua, et al. Experimental study on hypolipidemic and hypoglycemic effects of peony seed oil [J]. Anhui Medical and Pharmaceutical Journal, 2013, 17(8): 1286-1289

[25] 杜林娜,李秀兰,魏东旭,等.蝙蝠蛾拟青霉 Cs-4 提取物对链脲佐菌素诱导 2 型糖尿病小鼠的降血糖作用及机制研究[J].食品工业科技:1-7
DU Lin-na, LI Xiu-lan, WEI Dong-xu, et al. Antidiabetic effect and its underlying mechanisms of Paccilomyces hepiali aqueous extract in streptozotocin induced type II diabetic mice [J]. Science and Technology of Food Industry: 1-7

[26] 金情政,李钦,赵吟.瓜蒌子油对糖尿病小鼠降血糖作用的研究[J].药学实践杂志,2015,33(4):324-327
JIN Qing-zheng, LI Qin, ZHAO Yin. Decreasing effect of semen trichosanthis oil on blood glucose on diabetic mice [J]. Journal of Pharmaceutical Practice, 2015, 33(4): 324-327

[27] 戚纪周,周利娟,邢光,等.Ⅱ型糖尿病空腹血糖与胰岛素抵抗的临床研究[J].疑难病杂志,2013,12(6):460-462
QI Ji-zhou, ZHOU Li-juan, XING Guang, et al. Clinical study of fasting blood glucose and insulin resistance in type Ⅱ diabetes [J]. Chinese Journal of Difficult and Complicated Cases, 2013, 12(6): 460-462