

复合降脂减肥固体饮料对大鼠营养性肥胖和高脂血症预防作用研究

程江华^{1,2}, 王苗苗^{1,2}, 王灼琛¹, 谢宁宁¹, 黄晶晶¹, 张继刚², 闫晓明¹, 丁之恩²

(1. 安徽省农业科学院农产品加工研究所, 安徽合肥 230031)(2. 安徽农业大学茶与食品学院, 安徽合肥 230036)

摘要: 本文研究了降脂减肥固体饮料对大鼠营养性肥胖和高脂血症的预防作用。建立 SD 雄性大鼠肥胖模型后, 随机分为 6 组, 即基础对照组、高脂模型组、固体饮料高、中和低剂量组(固体饮料占摄入饲料的 50%、30%和 10%)和阳性药物辛伐他汀组 10 mg/(kg·d), 喂养 4 周后, 麻醉, 腹腔动脉取血, 测定血清中 TG、LDL-C、HDL-C、AST 和 ALT, 取体脂称重, 取肝脏病理切片。与基础对照组相比, 模型组大鼠体重、脂肪系数、肝脏、Lee's 指数和肝指数等明显增加, 差异显著 ($p < 0.01$), 食物利用率显著降低, 血清 TG、LDL-C、ALT 和 AST 均下降, HDL-C 上升; 与模型组比较, 高中低固体饮料 3 个剂量组的体重、脂肪系数和肝脏重量等均降低, 血清 TG、LDL-C、ALT 和 AST 随剂量增加而下降, HDL-C 上升, 高剂量组效果显著 ($p < 0.01$)。固体饮料能够显著抑制大鼠的体重, 预防高脂血症, 效果明显, 同时能够减少相关疾病的发生。

关键词: 固体饮料; 高脂膳食; 高脂血症; 光镜结构

文章编号: 1673-9078(2016)12-6-12

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.12.002

Preventive Effect of Solid Beverage on Nutritional Obesity and Hyperlipidemia in Rat Fed with High-fat Diet

CHENG Jiang-hua^{1,2}, WANG Miao-miao^{1,2}, WANG Zhuo-chen¹, XIE Ning-ning¹, HUANG Jing-jing¹, ZHANG Ji-gang², YAN Xiao-ming¹, DING Zhi-en²

(1. Institute of Agro-Products Processing Science and Technology Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei 230031, China) (2. Tea and Food Science College of Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China)

Abstract: Rats were fed with a high-fat diet and the preventive effect of solid beverage on nutritional obesity and hyperlipidemia was determined. After establishing an obesity model in sprague dawley male rats, the rats were randomly divided into six groups: high-, medium-, and low-dose (solid beverage feed accounted for 50%, 30%, 10% of total intake), basic, model, and positive group (simvastatin, 10 mg/(kg·d)). After four weeks of feeding, blood samples were withdrawn from the abdominal artery under anesthesia, and the following parameters were assessed in serum: triglycerides (TG), low-density lipoprotein cholesterol (LDL-C), high-density lipoprotein cholesterol (HDL-C), aspartate aminotransferase (AST), and alanine aminotransferase (ALT) in the serum. Additionally, body fat weight was measured, and liver biopsy was also performed. The results showed that the model group showed significant ($p < 0.01$) changes in weight, fat coefficient, liver, Lee's index, and liver index, which were higher than those found in the base control group, in addition to significantly lower food utilization, decreased serum TG, LDL-C, ALT, AST, and increased HDL-C compared with that in the model group. All groups fed with the solid beverage showed decreased serum TG, LDL-C, ALT, AST, and increased HDL-C, with significant ($p < 0.01$) difference noted for the high-dose group. Thus, solid beverage can significantly inhibit body weight, reduce hyperlipidemia, protect the liver, and exert a preventive effect against obesity-related disease.

Key words: solid beverage; high-fat diet; hyperlipidemia; light microscope structure

收稿日期: 2016-01-01

基金项目: 农业部公益性行业专项 (201303069, 201403063); 院科技创新团队 (14C1207)

作者简介: 程江华 (1982-), 男, 博士, 助理研究员, 研究方向: 功能食品营养与农产品质量安全

通讯作者: 丁之恩 (1956-), 男, 教授, 博导, 研究方向: 农产品贮藏与加工

高脂膳食已经被认定为是引起肥胖的主要原因之一, 并且能明显引起多种并发症, 如高脂血症、糖尿病、脂肪肝和心血管疾病等^[1]。而我国近年来, 随着人类生活水平改善和提高, 高脂血症发生率大幅度提高, 是严重危害我国公民身体健康隐患之一。临床研究证实, 膳食干预可以有效地降低高脂血症发病的风险及其所带来的危害, 并可以避免因长期服用降脂药

物对人体健康所产生的危害^[2]。我国传统的中药和药食同源理论背景下,已经形成了一些传统具有降脂减肥的食方,以杂粮、药食同源原料为主的复合型配方具有较好的降低体重和肥胖型作用^[3,4]。现代营养学研究表明,天然植物中有如生物碱、多酚、黄酮类和多糖等具有降低血脂功效^[5]。因此,从杂粮和药食同源原料中开发具有安全性高、疗效确切和作用稳定,降低药物减肥的效果差、副作用大及对健康有隐患的膳食类产品^[6],具有重要意义,也是目前研究热点之一。

本文具体研究此复合配方对高营养性肥胖大鼠的体重和血脂等具体影响,从而验证其效果。本文中的降脂减肥固体饮料配方是以荷叶、山楂、陈皮、小米、玉米和薏米按照一定的比例复配,通过挤压膨化后制成固体饮料,具体配方已经获得国家授权发明专利^[7]。其中主要活性物质是黄酮和生物碱类物质,根据文献可知生物碱和黄酮类物质具有降低血脂^[8,9],减轻体重的功效,但是具体作用效果和机理需要进一步研究^[10]。本实验通过构建营养型肥胖大鼠,喂养固体饮料,来观察大鼠的体重、血清总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)、谷丙转氨酶(ALT)、谷草转氨酶(AST)和肝脏的切片等的变化,主要探讨复合型降脂减肥固体饮料对营养性大鼠的体重增加量及进食量的干预情况及对大鼠血液中脂代谢指标和组织的影响。为从分子生物学和临床效果角度进一步研究降脂固体饮料预防高血脂症的机制奠定基础,同时为预防和治疗高营养膳食所导致的疾病开发一些新的产品和治疗方式,也为继承和发扬传统中药和药食同源理论提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 原料与设备

1.1.1 降脂减肥固体饮料配方及产品加工方法

原料:荷叶、山楂、陈皮、小米、玉米和薏米(干燥),由安徽亳州广印堂中药股份有限公司提供。

降脂减肥固体饮料工艺流程:将荷叶、陈皮、山楂、小米、玉米和薏米分别挑选并清洗干净,晾干,分别粉碎过60目筛,然后分别称取荷叶粉、山楂粉、陈皮粉、小米粉、玉米粉和薏米粉按照一定比例进行混合,调节水分含量为15%,然后设置螺杆转速150 r/min、温度为150℃进行挤压膨化,与于文滔固体饮料挤压膨化参数相同^[14],粉碎,过80目筛制成成品,低温保存,备用。

1.1.2 试剂

辛伐他汀片:贵州天安药业股份有限公司;胆固醇、(猪)胆酸钠和猪油等:北京鼎国生物技术公司;甘油三酯(TG)、高密度脂蛋白(HDL-C)、低密度蛋白(LDL-C)测试盒、谷丙转氨酶(ALT)和谷草转氨酶(AST)等试剂,购自上海复兴生物科技有限公司。其它试剂均为国产分析纯。

1.1.3 仪器和设备

Olympus AU 5400 生化分析仪;启天 M 5614 紫外分光光度计:上海谱元仪器有限公司;冷冻离心机(BR-4),法国 JOUAN 公司;FW 100 高速万能粉碎机:天津市泰斯特仪器有限公司;HH 数显恒温水浴锅:江苏金坛市金城国胜实验仪器厂;电子天平 JAI103N0043,上海洪纪仪器设备有限公司;LD5-2A 高速离心机:北京医用离心机厂;DSE32 双螺旋挤压膨化机:济南盛润机械有限公司。

1.2 方法

1.2.1 高脂血症实验大鼠模型的建立及分组

健康雄性 SD 大鼠(80~120 g)60 只,由安徽医科大学动物实验中心提供,许可证号为 SCXK(皖)2011-002。实验前将 60 只大鼠在实验环境下给予基础饲料常规饲养 7 d,适应环境后,随机分为普通对照组 6 只,喂普通基础饲料,其他 54 只喂高脂模型饲料组,建立高血脂症模型。

造模成功后,剔除建模不成功的老鼠,按体质量将高脂模型组随机分成 5 组,每组各 6 只,即高脂模型组,继续喂高脂模型饲料;降脂减肥固体饮料样品高、中和低剂量组,分别喂相应组别的固体饮料和高脂饲料复配的饲料,辛伐他汀阳性对照组,喂高脂模型饲料。

实验期间自由饮水和取食,实验周期是 4 周,实验期间隔天称一次体重,并记录每组动物的给食量和剩食量。各模型组饲料配方如下:

基础对照组饲料配方:参照实验动物小鼠大鼠配合饲料 GB 14924.3-2001 配制大鼠生长繁殖饲料,由安徽医科大学动物实验中心提供。

高脂模型组(高脂饲料):基础饲料 67%、胆固醇 2%、胆酸钠 1%、猪油 20%和蔗糖 10%。

低剂量样品组:高脂饲料 90%,固体饮料 10%。

中剂量样品组:高脂饲料 70%,固体饮料 30%。

高剂量样品组:高脂饲料 50%,固体饮料 50%。

阳性对照辛伐他汀组:高脂饲料 100%,辛伐他汀 10 mg/(kg·d)的量进行灌胃。

为防止油脂被空气氧化,每周做一次饲料。

1.2.2 相关检测方法和数据计算方法

1.2.2.1 肥胖度测定

实验前称量基础体重,每周称量一次,喂养 40 d 后称量体重与空白组大鼠体重比较计算肥胖度。根据人类肥胖和超重的相关标准,当肥胖度大于 10%时就可以视为超重,而当肥胖度大于 20%时则视为肥胖,同时认为成功地建立了肥胖模型。其中肥胖度的计算公式如下:

$$\text{肥胖度}(\%) = (\text{实验组实际体重} - \text{基础对照组平均体重}) / \text{基础对照组平均体重} \times 100\%$$

1.2.2.2 食物利用率的测定

大鼠的食物利用率按照公式计算:

$$\text{食物利用率} = \text{体重增加量} / \text{摄食量} \times 100\%$$

1.2.2.3 Lee's 指数的测定

记录大鼠处死前的体重,测定大鼠解剖前鼻尖到肛门的长度,按照公式计算 Lee's 指数:

$$\text{Lee's index} = \text{体重}(\text{g})^{1/3} \times 103 / \text{体长}(\text{cm})$$

1.2.2.4 肝指数的测定

大鼠解剖时,取出全部肝脏组织,生理盐水清洗后称重,并计算肝指数。

$$\text{肝指数} = \text{肝湿重} / \text{体重} \times 100\%$$

1.2.2.5 睾丸脂肪系数、脾脂肪系数的测定

大鼠解剖时,剥出睾丸脂肪组织、脾周围脂肪组织,用万分之一天平称湿重;按下式计算睾丸脂肪系数和脾脂肪系数:

$$\text{睾丸脂肪系数} / 100\% = (\text{睾丸脂肪质量} / \text{大鼠体重}) \times 100\%$$

$$\text{脾脂肪系数} / 100\% = (\text{脾脂肪质量} / \text{大鼠体重}) \times 100\%$$

固体饮料总黄酮、总生物碱含量均采用分光光度法,分别以芦丁和荷叶碱为标准品。

1.2.3 血液生化指标的测定

实验 4 周,末次喂养后禁食 12 h,不禁水,以 10% 乌拉坦 7 mL/kg 腹腔注射对大鼠进行麻醉,称重,腹腔动脉取血,离心,室温静置 30 min 后,低温离心 3000 r/min、15 min,分离血清,取血清置于 -20 °C 冰箱待检。

迅速取出肝脏、脾脏和附睾等组织,剥离脂肪,称其质量,取肝脏组织,一部分立即浸泡在新鲜配置的 4% 中性甲醛固定液中固定,进行 H.E. 切片处理。

用生化仪分别测定甘油三酯 (TG)、高密度脂蛋白胆固醇 (HDL-C)、低密度脂蛋白胆固醇 (LDL-C)、谷丙转氨酶 (ALT) 及谷草转氨酶 (AST) 等指标。

1.2.4 肝脏组织病理检查

具体包括组织固定,脱水、透明、进蜡和包埋等常规处理。

1.3 数据统计与方法

各组实验数据均以数加减标准差 $X \pm S$ 来表示,数据结果采用 spass 17.0 统计软件和 Microsoft Excel 进行分析,进行成组设计 t 检验。 $p < 0.05$ 表示有显著差异, $p < 0.01$ 表示有非常显著差异。

2 结果与讨论

2.1 复合降脂减肥固体饮料指标

按照 1.1.1 的方法生产的降脂减肥固体饮料,具有明亮的浅黄绿色色泽,香味柔和,稳定性,口感细腻,有轻微的苦涩味,具体理化指标如表 1,品质接近于文滔等研究的挤压膨化固体饮料^[14]。成品中总黄酮含量和总生物碱含量如表 1,固体饮料成品中总黄酮含生物碱含量分别为 9.36 mg/g 和 2.01 mg/g。

表 1 固体饮料的理化指标和总黄酮、总生物碱含量

Table 1 Physicochemical indicators and total content of flavonoids and alkaloids in solid beverage

项目	指标
色泽	$L^* = 50.52, b^* = 1.45, a^* = 25.16$
水分含量	3.19%
溶解度	12.24%
吸水性	9.82%
粘度	102.5 mPa·s
总黄酮含量	9.36 ± 0.25 mg/g
总生物碱含量	2.01 ± 0.06 mg/g

2.2 普通饲料和高脂饲料喂养的大鼠体重的影响

表 2 普通饲料和高脂饲料喂养的大鼠的体重

Table 2 Weight of rats fed normal and high-fat diets

组别	实验前体重/g	实验后体重/g	体重增加量/g
基础对照组	155.06 ± 5.89	284.59 ± 15.27	129.53
高脂模型组	153.46 ± 5.12	351.37 ± 18.42**	197.91

注:与对照组比较,* $p < 0.05$,** $p < 0.01$ 。

由表 2 可见,实验前两组大鼠体重、比较差异均无统计学意义(均 $p > 0.05$)。40 d 实验结束后高脂模型组大鼠体重大于对照组($p < 0.05$ 或 0.01),平均体重较对照组增加 20%,说明肥胖模型建立成功^[11]。

2.3 固体饮料对大鼠体重、摄食量和食物利用率的影

表3 固体饮料对大鼠体重的影响 (均数±标准差)

Table 3 Effect of solid beverage on weight of rat (mean value ± standard deviation)

组别	动物数/只	体重/g					体重增加
		初重	第一周	第二周	第三周	末重	
基础对照组	6	284.59±15.27	291.04±15.92	299.61±19.51	308.61±21.35	319.43±22.18	34.84
模型组	6	350.21±17.31 ^{###}	369.21±11.35 ^{###}	384.95±16.34 ^{##}	403.51±19.72 ^{###}	416.57±21.51 ^{###}	66.36 ^{###}
高剂量组	6	351.42±18.23	363.03±13.41 ^{**}	369.19±15.39 ^{**}	373.74±18.65 ^{**}	378.32±11.27 ^{**}	26.90 ^{**}
中剂量组	6	351.97±21.52	368.44±9.12	382.05±13.46 [*]	389.43±16.29 [*]	395.99±9.89 [*]	44.02 ^{**}
低剂量组	6	350.05±16.59	364.51±12.96	379.41±18.27	401.83±19.21	409.62±11.45	59.57
辛伐他汀组	6	351.18±19.86	359.72±14.19 ^{**}	362.03±16.49 ^{**}	368.42±18.61 ^{**}	371.89±8.83 ^{**}	20.71 ^{**}

注: 与对照组比较: ^{###} $p<0.01$, [#] $p<0.05$; 与模型组比较: ^{**} $p<0.01$, ^{*} $p<0.05$ 。

由表3 数据显示, 在建立的肥胖模型基础上, 4周实验后, 模型组的体重增加了66.36g, 高和中固体饮料组分别增加了26.90g和44.02g, 均低于模型组, 具有显著意义($p<0.01$), 说明降脂减肥固体饮料在降

低大鼠体重上均有一定效果。阳性辛伐他汀组降低了20.71g, 其中高剂量组和阳性对照组低于空白对照组的34.84g, 说明高剂量高脂饲料在一定程度上与阳性对照组效果相同, 能有效控制大鼠的体重。

表4 固体饮料对大鼠摄食量的影响 (均数±标准差)

Table 4 Effect of solid beverage on food ration of rat (mean value ± standard deviation)

组别	动物数/只	摄食量/g				食物利用率/%
		第一周(d)	第二周(d)	第三周(d)	第四周(d)	
基础对照组	6	19.11±0.49	19.90±1.35	22.12±1.09	23.84±1.04	5.80
高脂模型组	6	18.26±1.15 ^{##}	18.87±1.07 [#]	21.32±0.86 ^{##3}	21.73±0.51 ^{##}	10.85 ^{###}
样品高剂量组	6	20.96±0.78 [*]	21.60±0.52 ^{**}	22.32±1.03	24.18±0.77	4.07 ^{**}
样品中剂量组	6	19.54±1.13 ^{**}	19.57±0.92	20.73±0.65 [*]	24.35±0.61	6.98 ^{**}
样品低剂量组	6	18.49±0.76 ^{**}	19.63±0.17	21.56±1.15	24.09±0.74	8.38 [*]
辛伐他汀组	6	17.18±0.54 ^{**}	18.04±0.88	20.74±0.42 [*]	19.65±0.53 ^{**}	3.75 ^{**}

注: 与对照组比较: ^{###} $p<0.01$, [#] $p<0.05$; 与模型组比较: ^{**} $p<0.01$, ^{*} $p<0.05$ 。

由表4 可知, 模型组的摄食量低于空白对照组, 说明高脂饲料在一定程度上会抑制大鼠的摄食量, 但总食物利用率则明显提高, 为10.85%, 大鼠体重增加明显。而与模型相比较, 样品高中低剂量组大鼠摄食量均有增加, 具有显著意义($p<0.01$), 但是食物利用率明显低于模型组的10.85%, 具有显著意义($p<0.01$)。表明样品对大鼠的食欲有一定的调节作用, 虽然摄食量增加, 但是食物利用率却下降了, 表明固体饮料降低体重不是由于抑制大鼠食欲、减少食物的摄入而引起的。D Azzout-Marniche 等人研究结果表明在高脂饮食敏感大鼠对食物摄入量更敏感, 但是降低了能量消耗强度, 增加了体重和脂肪含量^[12]; 也可能与产品中的总黄酮、生物碱等促进脂质代谢, 涂长春^[8]和范婷婷^[10]等研究表明荷叶总生物碱能明显抑制肥胖大鼠的体重增长, 具有降脂减肥作用, 范婷婷研究表明总生物碱浓度在12.5~600 μg/mL 内均有效果; 或者固体饮料原料中具有一定的抗性淀粉成分, 促进了脂质代谢, 王丹等研究显示荞麦抗性淀粉具有

促进脂质代谢防止肥胖作用^[15]。固体饮料对抑制体重增长和降低肥胖具有明显效果, 但具体原因需要进一步研究。

2.4 固体饮料对大鼠脏器重量、脂肪系数和肝脏的影响

降脂减肥固体饮料对大鼠肝脏、肾脏、脾脏和睾丸等脏器重量和相关指数的影响如表5和表6。

由表5 结果显示: 固体饮料各组分对大鼠脏器的影响中, 对肝脏影响较大, 对其他的肾脏、脾脏和睾丸影响差异不显著。其中固体饮料高中低组的肝脏重量明显低于高脂模型组63.89g, 而且出高和中剂量组的固体饮料对大鼠肝脏重量与模型组相比, 差异显著($p<0.05$); 高和中剂量的固体饮料均可以在一定程度上控制大鼠肝脏重量增长, 并且呈现出一定的剂量效应, 即随着固体饮料含量的增加, 高剂量组的抑制效果与辛伐他汀组结近。

表 5 固体饮料对大鼠脏器重量的影响 (均数±标准差)

Table 5 Effect of solid beverage on weight of rat liver (mean value ± standard deviation)

组别	动物数/只	重量/g			
		肝脏/g	肾脏/g	脾脏/g	睾丸/g
基础对照组	6	39.26±3.74	9.62±0.69	3.66±0.27	7.17±0.63
高脂模型组	6	63.89±15.49 ^{###}	14.44±0.57 ^{###}	3.76±0.57	8.16±0.34
样品高剂量组	6	56.49±6.74 ^{**}	13.35±0.72	3.76±0.32	8.34±0.37
样品中剂量组	6	56.25±6.06 ^{**}	14.16±0.46	3.47±0.44	7.95±0.77
样品低剂量组	6	61.26±5.24	14.42±0.43	3.76±0.21	8.45±0.70
辛伐他汀组	6	57.98±5.84 ^{**}	13.02±0.21	3.55±0.57	7.71±0.82

注: 与对照组比较: ^{###} $p<0.01$, [#] $p<0.05$; 与模型组比较: ^{**} $p<0.01$, ^{*} $p<0.05$ 。

表 6 固体饮料对脂肪系数和肝指数的影响 (均数±标准差)

Table 6 Effect of solid beverage on aliphatic coefficient, liver index (mean value ± standard deviation)

组别	动物数/只	Lee's 指数	睾丸周脂肪系数/%	肾周脂肪系数/%	肝指数/%
基础对照组	6	283.50	1.65	0.26	12.29
高脂模型组	6	296.56 ^{###}	2.69 ^{###}	1.68 ^{###}	15.34 ^{###}
样品高剂量组	6	280.93 ^{**}	2.40 [*]	1.08 ^{**}	14.20
样品中剂量组	6	282.73 ^{**}	2.53	1.14 ^{**}	14.93
样品低剂量组	6	283.07 ^{**}	2.58	1.24 ^{**}	14.96
辛伐他汀组	6	282.02 ^{**}	2.36 [*]	1.16 ^{**}	14.59

注: 与对照组比较: ^{###} $p<0.01$, [#] $p<0.05$; 与模型组比较: ^{**} $p<0.01$, ^{*} $p<0.05$ 。

由表 6 结果可知, 与空白对照组相比, 高脂模型组的 Lee's 指数、睾丸周脂肪系数、肾周脂肪系数和肝指数都极显著差异性($p<0.01$), 并且明显高于实验样品组合阳性对照组。与高脂模型组比较, 样品高中低剂量组及辛伐他汀组的大鼠的 Lee's 指数和肾周脂肪系数均有极显著降低 ($p<0.01$); 高剂量组、辛伐他汀组睾丸周脂肪系数显著降低 ($p<0.05$); 大鼠的肝指数降低不显著($p>0.05$); 与丁倩等人建立饮食诱导肥胖大鼠模型中大鼠体重、Lee'指数和脂肪系数等数据类似^[11], 说明降脂减肥固体饮料可以降低大鼠的肝脏和脂肪重量, 其原因可能是降脂减肥固体饮料中的黄酮和生物碱, 促进脂质代谢, 防止脂肪沉积的作用。

表 7 固体饮料对高脂大鼠血清中甘油三酯、高密度脂蛋白胆固醇及低密度脂蛋白胆固醇的影响 (n=6 均数±标准差)

Table 7 Effect of solid beverage on serum TG, HDL-C, and LDL-C in hyperlipidemic rat (n=6, mean value ± standard deviation)

组别	TG/(mmol/L)	HDL-C/(mmol/L)	LDL-C/(mmol/L)
普通对照组	0.50±0.06	1.39±0.08	2.59±0.12
高脂模型组	0.68±0.13 [#]	1.31±0.16 [#]	2.93±0.19 [#]
样品高剂量组	0.59±0.05 [*]	1.37±0.02 [*]	2.65±0.10 [*]
样品中剂量组	0.62±0.11	1.33±0.08	2.85±0.10
样品低剂量组	0.63±0.11	1.32±0.07	2.88±0.12
辛伐他汀组	0.60±0.16 [*]	1.35±0.03 [*]	2.52±0.06 [*]

注: TG, 甘油三酯; HDL-C, 高密度脂蛋白胆固醇; LDL-C, 低密度脂蛋白胆固醇。与对照组比较, ^{###} $p<0.01$, [#] $p<0.05$; 与模型组比较, ^{**} $p<0.01$, ^{*} $p<0.05$ 。

2.5 固体饮料对大鼠血液生化指标的影响

血脂, 一般指总胆固醇 (TC)、甘油三酯 (TG)、高密度脂蛋白-胆固醇 (HDL-C) 和低密度脂蛋白-胆固醇 (LDL-C) 等重要的临床血脂测定指标^[2], TC 是血液中所有脂蛋白中含胆固醇总和, 是促成动脉硬化形成和发展的主要原因; 其中 TG 是诊断高甘油三脂血症、代谢性综合症以及心血管疾病的评价指标; LDL-C 会引起心肌梗死; 而 HDL-C 是对人体有益的脂蛋白, 是公认的抗动脉硬化因子。降脂减肥固体饮料对大鼠血脂的影响见表 7。

由表 7 数据显示,与空白对照组相比,模型组血清中 TG 和 LDL-C 有明显升高 ($p<0.05$); HDL-C 显著下降 ($p<0.05$),说明实验配制的高脂饲料有明显促进大鼠肥胖的作用,肥胖模型建立成功,并且高脂膳食可以导致血脂异常。与高脂模型组相比,降脂减肥固体饮料各实验组大鼠血清的 TG 和 LDL-C 随着剂量的增加逐渐降低,其中高剂量组具有统计学差异 ($p<0.05$);而 HDL-C 随着剂量的增加有增加的趋势,样品高剂量组与模型组相比有显著差异($p<0.05$),且与辛伐他汀组无显著差异,说明在高脂饲料中添加固体饮料降低 TG 和 LDL-C 水平,提高 HDL-C 的水平,调节大鼠血脂异常情况,改善大鼠体内与肥胖症相关的指标^[11],范婷婷等研究表明荷叶总生物碱与辛伐他汀阳性对照组均能改善血清中 TG、LDL-C 和 HDL-C 等脂质指标,与本实验结果类似^[10]。

表 8 固体饮料对血液生化指标的影响(均数±标准差)

Table 8 Effect of solid beverage on blood biochemical index (mean value ± standard deviation)

组别	动物数/只	ALT/(μL)	AST/(μL)
基础对照组	6	50.40±9.41	153.67±28.21
高脂模型组	6	80.83±19.88 ^{##}	204.67±13.35 ^{##}
样品高剂量组	6	71.80±10.38 [*]	176.33±53.89 [*]
样品中剂量组	6	74.67±23.31 [*]	188.60±30.61 [*]
样品低剂量组	6	79.50±24.72	199.60±25.33
辛伐他汀组	6	54.33±12.11 ^{**}	171.00±37.93 ^{**}

注: ALT, 谷丙转氨酶; AST, 谷草转氨酶。与对照组比较: ^{##} $p<0.01$, [#] $p<0.05$; 与模型组比较, ^{**} $p<0.01$, ^{*} $p<0.05$ 。

由表 8 可知,模型组的血清 AST 和 ALT 升高很明显。高剂量组和辛伐他汀对 ALT 和 AST 的降低达到显著水平 ($p<0.05$),高和中剂量组大鼠血清 ALT 水平下降明显($p<0.05$),低剂量组大鼠血清 ALT 水平下降不明显($p>0.05$),样品高剂量组和辛伐他汀组对 AST 的降低达到显著水平 ($p<0.05$)。

2.6 光镜观察肝脏的微观结构

肝脏作为有机体最主要的代谢器官和肥胖相关代谢紊乱发生的主要组织,所以是研究脂质代谢最好的靶点^[13]。

基础对照组干细胞呈多边形,细胞核为圆形,核仁明显,单层细胞排列为肝板,以中央静脉为中心向四周呈放射性排列,肝血窦结构正常清晰可见(见图 1a)。

与基础对照组相比,模型组有明显大小不一的圆形的脂滴空泡,肝细胞排列紊乱,索状结构不清晰(见图 1b)。

降脂减肥固体饮料低剂量组,与模型组类似,细胞质内有大小不一的颗粒状脂滴空泡,肝细胞明显肿胀,肝细胞排列紊乱,索状结构不清晰,但肝细胞轮廓和细胞核仍保留,(见图 1c)。

降脂减肥固体饮料中剂量组,肝细胞明显肿胀,肝血窦变窄,肝细胞排列紊乱,索状结构不清晰,肝细胞质内较多颗粒状空泡,但大的脂滴空泡较少,但肝细胞轮廓和细胞核仍然有保留。(见图 1d)。

降脂减肥固体饮料高剂量组,与基础对照组类似,细胞质内有较少的颗粒状脂滴空泡,肝细胞有肿胀,肝血窦未见变窄,肝细胞排列较为有序,但肝细胞轮廓清晰,核仁明显。(见图 1e)。

阳性药物辛伐他汀组与基础对照组类似,细胞质内有较少的颗粒状脂滴空泡,肝血窦未见变窄,肝细胞排列较为有序,但肝细胞轮廓清晰,核仁明显。(见图 1f)。

由以上可以直观的得出,采用降脂减肥固体饮料干预高脂膳食,可以使得肝脏脂肪指标得到改善,高剂量组效果明显。

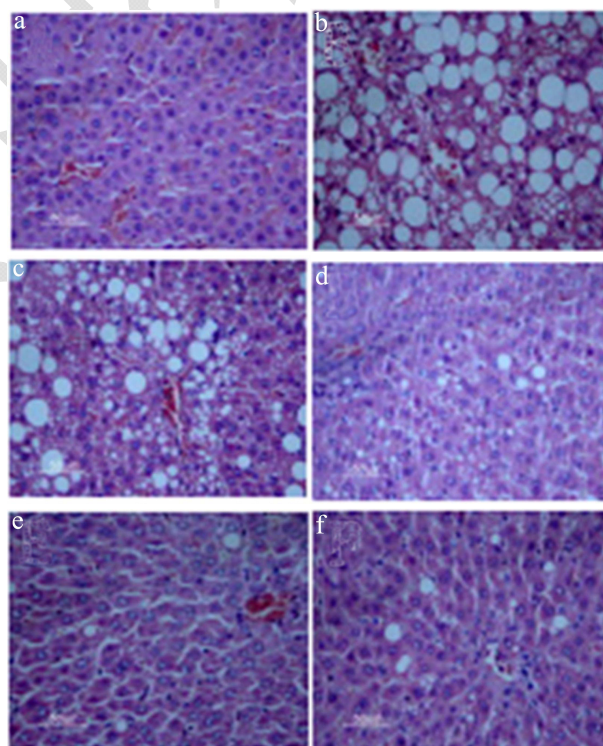


图 1 给药 4 周后各组分大鼠肝脏组织病理切片(200×)

Fig.1 Histopathological slices of liver tissue after four-week treatment (200×)

注: a, 基础对照组; b, 模型组; c, 低剂量组; d, 中剂量组; e, 高剂量组; f, 阳性辛伐他汀对照组。

3 结论

3.1 本实验通过研究复合降脂减肥固体饮料对肥胖

模型大鼠脂代谢的影响。结果表明,与基础对照组相比,模型组血清 TG 和 LDL-C 均显著升高,显示本实验肥胖模型建立成功;与模型组对比,固体饮料高中低剂量组大鼠体重、肝重、脂肪重和肝体指数等有所降低,其中高剂量最为明显,与阳性辛伐他汀组无差异;用高剂量固体饮料干预高营养膳食,可以降低血清中 TG 和 LDL-C,增加 HDL-C。肝组织光镜结果表明,模型组有明显的众多颗粒状脂肪粒空泡,干细胞排列紊乱,肝血窦变窄等现象,固体饮料高剂量组干细胞轮廓清晰,细胞排列有序,核仁明显,明显较少的颗粒状脂肪粒空泡,与阳性辛伐他汀组效果相当;高中低剂量组肝脏脂肪变性均减轻,高剂量组效果最为明显。

3.2 综上所述,本实验的复合降脂减肥固体饮料干预高脂营养膳食,具有降低血脂、改善肝脏脂代谢的调节血脂和护肝作用。但是也发现,虽然高中低剂量组大鼠摄食量均有增加,但是食物利用率随浓度增加却下降,表明复合降脂减肥固体饮料的摄入,大鼠体重增加不是由于抑制大鼠食欲或减少食物的摄入而引起的。其具体机理可能是黄酮类或生物碱类物质产生了作用^[8-10],还是由于降脂减肥固体饮料原料杂粮中或加工过程中产生的抗性淀粉^[15],降低了食物利用率,提高脂肪代谢率作用,减轻肥胖程度,需要进一步研究。

参考文献

- [1] K T Yang, C Lin, C W Liu, Y C Chen. Effects of chicken-liver hydrolysates on lipid metabolism in a high-fat diet [J]. Food Chemistry, 2014, 160(11): 148-156
- [2] Y Wen-ying, L Ju-ming, W Jian-ping, et al. Prevalence of diabetes among men and women in China [J]. New England Journal of Medicine, 2010, 362(25): 2425-2425
- [3] 张庆宏.药食同源与中药食品化[J].辽宁中医药大学学报,2009,11(7):54-55
ZHANG Qing-hong. Homology of medicine and food and china herb taken as food [J]. Journal of Liaoning University of Tmc, 2009, 11(7): 54-55
- [4] 周俭.中国传统营养学的起源和发展[J].营养学报,2008, 30(4):341-344
ZHOU Jian. The origin and development of traditional Chinese nutrition [J]. Acta Nutrition Sinica, 2008, 30(4): 341-344
- [5] M Natalizia, M R Mondello, M T Monforte, et al. Hypolipidemic effects of citrus bergamia risso et poiteau juice in rats fed a hypercholesterolemic diet [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55(26): 10671-10677
- [6] Y Yao, G Ren. Suppressive effect of extruded adzuki beans (*Vigna angularis*) on hyperglycemia after sucrose loading in rats [J]. Industrial Crops and Products, 2014, 52(1): 228-232
- [7] 程江华,杨松,李钦,等.一种降脂减肥食品及其制备工艺,ZL201110312307.1[P].2013-1-16
CHENG Jiang-hua, YANG song, LI Qin, et al. One kind of lipid-lowering diet food and its preparation process. ZL 201110312307.1 [P]. 2013-1-16
- [8] 涂长春,李小玉,杨军平,等.荷叶生物总碱对肥胖高脂血症大鼠减肥作用的实验研究[J].江西中医学院学报,2001, 13(3):120-121
TU Chang-chun, LI Xiao-yu, YANG Jun-ping, et al. Experimental study of lotus leaf alkaloids role in weight loss in obese rats with hyperlipidemia [J]. Journal of Jiangxi College of Tradition Chinese Medicine, 2001, 13(3): 120-121
- [9] Lee Kyung-Seok, Lee Ki-Young. Effect of lotus (*Nelumbo nucifera*) leaf extract on serum and liver lipid levels of rats fed a high fat diet [J]. Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition, 2011, 40(11): 1544-1547
- [10] 范婷婷,法鲁克,蒋益虹,等.荷叶总生物碱降脂减肥作用的体内外实验[J].浙江大学学报,2013,39(2):141-148
FAN Ting-ting, FA Lu-ke, JIANG Yi-hong, et al. Effect of total alkaloids from lotus leaves on body mass and lipid regulation *in vivo* and *in vitro* [J]. Journal of Zhejiang University, 2013, 39(2): 141-148
- [11] 丁婧,王辉,余诗灏,等.肥胖大鼠模型的建立及其脂代谢相关分子机制研究[J].中国实验动物学报,2012,20(5):20-24
DING Jing, WANG Hui, YU Shi-hao, et al. Establishment of a rat model of obesity and its lipid metabolism-related mechanisms [J]. Acta Laboratorium Animalis Scientia Sinica, 2012, 20(5): 20-24
- [12] D Azzout-Marniche, C Chaumontet, N A Nadkarni, et.al. Food intake and energy expenditure are increased in high-fat-sensitive but not in high-carbohydrate-sensitive obesity-prone rats [J]. American Journal of Physiology Regulatory Integrative & Comparative Physiology, 2014, 307(3): 299-309
- [13] W Li-li, M Xian-jun, Z Feng-qing. Raspberry ketone protects rats fed high-fat diets against nonalcoholic steatohepatitis [J]. Journal of Medicinal Food, 2012, 15(5): 495-503
- [14] 于文滔.杂粮固体饮料挤压工艺及其流变性质的研究[D].广州:华南理工大学硕士论文,2014
YU Wen-tao. The study on the extrusion processing and

- rheological properties of coarse grain solid beverage [D].
Guangzhou: South China University of Technology, Master
Degree Thesis, 2014
- [15] 王丹,葛洪娟,张笑,等.荞麦粉对高脂膳食大鼠脂代谢的影
响[J].现代食品科技.2015,31(6):23-28
- WANG Dan, GE Hong-juan, ZHANG Xiao, et.al. The effects
of buckwheat on high-fat diet rat lipid metabolish [J]
Modern Food Science & Technology, 2015, 31(6): 23-28

现代食品科技