

杂粮功能醋粉体内降血脂、辅助降血糖和抗氧化作用

陈树俊, 张君梅, 李佳益, 郑 婕, 邢慧雅, 吴梦月

(山西大学生命科学学院, 山西 太原 030006)

摘 要: 通过喂食高脂饲料建立高脂血症小鼠模型, 研究杂粮功能醋粉成分及其降血脂、降血糖和抗氧化作用。结果表明: 杂粮功能醋粉能显著降低高脂血症小鼠体内血清中总胆固醇、甘油三酯、低密度脂蛋白胆固醇浓度 ($P < 0.05$), 极显著提高小鼠体内血清中高密度脂蛋白胆固醇浓度 ($P < 0.01$), 显著降低小鼠肝脏中丙二醛含量, 提高超氧化物歧化酶、过氧化氢酶及谷胱甘肽过氧化物酶活力 ($P < 0.05$), 并具有一定降血糖作用。说明各剂量组杂粮功能醋粉可有效调节血脂血糖水平, 提高抗氧化作用, 且杂粮功能醋粉高剂量组效果明显优于其他组。

关键词: 杂粮功能醋粉; 降血脂作用; 降血糖作用; 抗氧化作用

In Vivo Hypolipidemic, Hypoglycemic and Antioxidant Properties of Functional Vinegar Powder Made from Minor Grains

CHEN Shujun, ZHANG Junmei, LI Jiayi, ZHENG Jie, XING Huiya, WU Mengyue

(School of Life Science, Shanxi University, Taiyuan 030006, China)

Abstract: The chemical composition of a functional vinegar powder made from minor grains was evaluated. Meanwhile, a mouse model of hyperlipidemia was established by feeding a high-fat diet and used to explore the hypolipidemic, hypoglycemic and antioxidant effects of the vinegar powder. The results showed that the functional vinegar powder could significantly reduce the contents of total cholesterol, triglyceride and low density lipoprotein-cholesterol in the serum of hyperlipidemia mice ($P < 0.05$), increase the serum level of high density lipoprotein-cholesterol ($P < 0.01$), reduce the malondialdehyde content in the liver, and increase superoxide dismutase, catalase and glutathione peroxidase activity ($P < 0.05$) and it had a certain hypoglycemic effect, suggesting that vinegar powder can effectively regulate blood lipid and blood glucose levels and increase antioxidant function in a dose-dependent manner.

Keywords: functional vinegar powder made from minor grains; hypolipidemic effect; hypoglycemic effect; antioxidant function

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180610-123

中图分类号: TS201.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2019) 13-0155-06

引文格式:

陈树俊, 张君梅, 李佳益, 等. 杂粮功能醋粉体内降血脂、辅助降血糖和抗氧化作用[J]. 食品科学, 2019, 40(13): 155-160. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180610-123. <http://www.spkx.net.cn>

CHEN Shujun, ZHANG Junmei, LI Jiayi, et al. *In vivo* hypolipidemic, hypoglycemic and antioxidant properties of functional vinegar powder made from minor grains[J]. Food Science, 2019, 40(13): 155-160. (in Chinese with English abstract)

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180610-123. <http://www.spkx.net.cn>

高脂血症是由代谢紊乱引起的一种多发、常见性疾病^[1]。近年来, 随着人们饮食结构和生活方式的改变, 高脂血症患病率显著增加, 且由此引发的心脑血管疾病已经严重危害到人类健康^[2]。高血糖作为一种慢性代谢类疾病与高脂血症往往相伴发生而非独立存在, 故高脂血症也是诱发糖尿病形成的危险因素^[3]。目前, 常用降血脂药物

不仅价格昂贵, 且对人体存在潜在威胁^[4], 如何安全高效地通过饮食疗法达到调节人体脂代谢水平已成为大众关注的焦点^[5-6]。

食醋作为一种酸性调味品一直深受大家喜爱, 其中山西老陈醋富含多酚、多肽等成分, 具有抗菌、缓解疲劳、促进消化吸收、调节血糖血脂、抗氧化等多重

收稿日期: 2018-06-10

基金项目: 山西省重点研发计划项目 (201603D221033-1)

第一作者简介: 陈树俊 (1964—) (ORCID: 0000-0002-2932-8785), 男, 教授, 学士, 研究方向为食品新工艺与功能食品。

E-mail: chenshujun515@163.com

功效^[7]。山西老陈醋是熏醋醅经过淋醋陈酿而来,醋沉淀物不可食用且很难利用,会造成营养成分的损失,而且醋中水分含量较高,给运输携带造成困难;因此,醋粉应运而生。目前的研究大多集中在液体醋通过喷雾干燥等方式制成醋粉并研究其功能特性^[8],在醋酿造过程中直接制粉的研究鲜见报道。

以苦荞面为原料,黑豆皮、燕麦麸皮为辅料,按照山西老陈醋传统工艺进行酿造,熏醋阶段后直接将熏醋醅进行冷冻干燥制粉^[9],因原辅料均可食用,最大限度保留了营养成分,减少沉淀浪费^[10],且苦荞、黑豆皮和燕麦麸皮中含有丰富的多酚、黄酮、花青素和 β -葡聚糖等成分,赋予了杂粮醋粉新的功效;因此,本实验建立高脂血症模型小鼠,研究杂粮功能醋粉体内降血脂、降血糖和抗氧化功效,为杂粮功能醋粉的开发利用提供依据。此外,杂粮功能醋粉将山西省特色小杂粮与山西老陈醋传统酿造工艺进行有机结合,使小杂粮副产品经济附加值得以提升,在继承山西老陈醋传统酿造工艺的同时又为醋粉未来市场化发展提供创新点。

1 材料与方法

1.1 动物、材料与试剂

SPF级ICR雄性小鼠70只,4周龄,体质量(20±2)g,购自山西医科大学动物实验中心,动物生产许可证号:SCXK(晋)2015-0001。

山西老陈醋醋醅由山西紫林醋业股份有限公司提供,经真空冷冻干燥后进行粉碎制得山西老陈醋醋粉。

安妥血糖试条、一次性使用采血针 三诺生物传感股份有限公司;血清总胆固醇(total cholesterol, TC)、甘油三酯(triglyceride, TG)、高密度脂蛋白胆固醇(high density lipoprotein-cholesterol, HDL-C)、低密度脂蛋白胆固醇(low density lipoprotein-cholesterol, LDL-C)、超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)、过氧化氢酶(catalase, CAT)、丙二醛(malondialdehyde, MDA)、谷胱甘肽过氧化物酶(glutathione peroxidase, GSH-Px)试剂盒南京建成生物工程研究所;辛伐他汀、盐酸川芎嗪标准品、 β -葡聚糖标准品 北京索莱宝科技有限公司;没食子酸、芦丁等其他试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

JA1203N精密电子天平 上海良平仪器仪表有限公司;TFDS25真空冷冻干燥成套设备 烟台中孚冷链设备有限公司;电子秤 东莞市南城长协电子制品厂;UV-2008AH紫外-可见分光光度计 尤尼柯(上海)仪器有限公司;Synergy H1多功能酶标仪 美国伯

腾仪器有限公司;高效液相色谱仪(紫外检测器)美国Waters公司;KDC-140HR高速冷冻离心机 安徽中科中佳科学仪器有限公司;安妥血糖仪 三诺生物传感股份有限公司。

1.3 方法

1.3.1 杂粮功能醋粉的制备流程

苦荞面→润料蒸煮→液化糖化→酒精发酵→醋酸发酵→熏醋→真空冷冻干燥→粉碎→醋粉成品

快曲 大曲 黑豆皮、燕麦麸皮
↓ ↓ ↓

1.3.2 杂粮功能醋粉及山西老陈醋醋粉成分测定

1.3.2.1 基本成分测定

蛋白质含量参照GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》中的凯氏定氮法进行测定;淀粉含量参照GB 5009.9—2016《食品安全国家标准 食品中淀粉的测定》中的酸水解法进行测定;还原糖含量参照GB 5009.7—2016《食品安全国家标准 食品中还原糖的测定》中的直接滴定法进行测定;脂肪含量参照GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》中的索氏抽提法进行测定;总酸含量参照GB/T 12456—2008《食品中总酸的测定》中的酸碱滴定法进行测定。

1.3.2.2 杂粮功能醋粉中总多酚含量的测定

以体积分数50%乙醇溶液为提取剂,料液比1:25,在40℃下,超声辅助水浴15 min,提取醋粉中的总多酚,并参照文献[11]的方法,以无水没食子酸作为标准品,在765 nm波长处用紫外-可见分光光度计测定吸光度。

1.3.2.3 杂粮功能醋粉中总黄酮含量的测定

以体积分数40%乙醇溶液为提取剂,料液比1:35,50℃提取50 min,超声波一次提取醋粉中的总黄酮,参照文献[12]的方法,以芦丁作为标准品,在510 nm波长处用紫外-可见分光光度计测定吸光度。

1.3.2.4 杂粮功能醋粉中花青素含量的测定

称取杂粮功能醋粉2 g,料液比1:15,用酸性乙醇溶液50℃恒温水浴浸提3次,至醋粉浸提液为无色,抽滤后将浸提液定容至100 mL,从中量取两份2 mL浸提液,分别用pH 1.0、pH 4.5的缓冲溶液定容至10 mL,稳定100 min后,在530 nm波长处用紫外-可见分光光度计测定吸光度^[13]。

1.3.2.5 杂粮功能醋粉中 β -葡聚糖含量的测定

以水为提取剂按体积比1:15,调节pH值为10.0,在70℃恒温水浴条件下提取60 min,提取2次,4 000 r/min离心20 min,收集上清液,定容至50 mL容量瓶中,参照文献[14]的方法,以 β -葡聚糖为标准品,在550 nm波长处用紫外-可见分光光度计测定吸光度。

1.3.2.6 杂粮功能醋粉中川芎嗪含量的测定

杂粮功能醋粉中川芎嗪含量的测定采用高效液相色谱法^[15], 参照GB/T 19777—2013《地理标志产品 山西老陈醋》中川芎嗪检测方法并略作修改, 色谱柱为Venusil ASB C₁₈ (150 mm×4.6 mm, 5 μm), 流动相为0.2 mmol/L NH₄H₂PO₄-甲醇溶液(体积比1:1), 柱温20℃, 流速0.8 mL/min, 紫外检测器在279 nm波长处检测, 进样量为10 μL。

1.3.3 实验动物饲喂及高血脂模型的建立

雄性ICR小鼠70只, 使用无毒塑料鼠笼饲养, 鼠房消毒, 保持干净整洁, 室内温度(21±1)℃, 室内相对湿度(60±10)%, 饲喂基础饲料, 适应性喂养1周后记录体重, 剔除体重异常小鼠。其余小鼠随机分为2组: 空白对照组($n=10$), 饲喂基础饲料; 高血脂模型组, 饲喂高脂饲料(含15%(质量分数, 下同)猪油、20%蔗糖、1.2%胆固醇、0.2%胆酸钠、63.6%基础饲料), 期间小鼠自由摄食与饮水。

15 d后测定各组小鼠血清TC、TG、HDL-C和LDL-C浓度。剔除异常鼠后, 将高血脂模型组小鼠随机分为高血脂模型组、阳性对照组、山西老陈醋醋粉组以及杂粮功能醋粉高、中、低剂量组, 每组10只。

1.3.4 小鼠分组及给药灌胃

高血脂模型建成后对受试小鼠进行灌胃处理, 其中阳性对照组辛伐他汀的剂量为人体推荐量的20倍^[16], 杂粮功能醋粉的低、中、高剂量组分别为人体推荐量的5、10、20倍^[17], 山西老陈醋醋粉剂量与杂粮功能醋粉中剂量组相同, 具体处理方法见表1。

表1 实验小鼠分组及设计方案($n=10$)

Table 1 Animal grouping and experimental design scheme ($n=10$)

组别	饲料及灌胃量
空白对照组	基础饲料+0.6 mL生理盐水
高血脂模型组	高脂饲料+0.6 mL生理盐水
阳性对照组	高脂饲料+3.33 mg/(kg·d m_b) 辛伐他汀
山西老陈醋醋粉组	高脂饲料+2.7 g/(kg·d m_b) 老陈醋粉
杂粮功能醋粉高剂量组	高脂饲料+5.4 g/(kg·d m_b) 杂粮功能醋粉
杂粮功能醋粉中剂量组	高脂饲料+2.7 g/(kg·d m_b) 杂粮功能醋粉
杂粮功能醋粉低剂量组	高脂饲料+1.35 g/(kg·d m_b) 杂粮功能醋粉

1.3.5 受试小鼠指标测定

在整个实验周期, 小鼠自由摄食, 分别记录每日每组小鼠饲喂量与剩余量的差值作为小鼠每日摄食量, 分阶段取平均值计算小鼠摄食量。分别在适应性喂养结束、造模结束、开始给药灌胃后每7 d称一次小鼠体质量并记录; 高血脂模型建成后, 每7 d(需提前禁食12 h)用一次性采血针从小鼠尾静脉取血, 用血糖仪测定空腹血糖浓度; 在实验第30天末次给药后, 禁食12 h, 小鼠摘

除眼球取全血, 全血静置1 h后, 用低温冷冻离心机离心分离血清, 用于血脂TC、TG、HDL-C和LDL-C浓度的测定; 取血后颈椎脱臼法处死小鼠, 取肝脏置于-20℃保存, 用于测定MDA含量及CAT、SOD、GSH-Px活力。

1.4 数据分析与处理

各组数据均以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 采用SPSS统计软件进行分析处理, 单因素方差分析判断各实验组间差异显著性, $P<0.05$ 表示差异显著, $P<0.01$ 表示差异极显著。相关性分析采用Pearson's法。

2 结果与分析

2.1 杂粮功能醋粉及山西老陈醋醋粉成分分析

表2 醋粉成分分析
Table 2 Composition analysis of the vinegar powder

成分	杂粮功能醋粉	山西老陈醋醋粉	成分	杂粮功能醋粉	山西老陈醋醋粉
蛋白质含量/(mg/g)	243.91	175.22	总多酚含量/(mg/g)	11.15	8.04
淀粉含量/(mg/g)	1.96	3.65	总黄酮含量/(mg/g)	1.17	0.94
还原糖含量/(mg/g)	82.69	22.33	花青素含量/(mg/g)	1.20	0.43
脂肪含量/(mg/g)	7.05	6.15	β -葡聚糖含量/(mg/g)	2.32	1.12
总酸含量/(mg/g)	87.99	91.77	川芎嗪含量/(mg/g)	0.62	0.27

由表2可知, 杂粮功能醋粉以苦荞、黑豆皮和燕麦麸皮为原辅料制作而成, 相较于以高粱、小麦麸皮和谷糠为原辅料的山西老陈醋醋粉^[18], 其蛋白质含量更为丰富。在微生物的分解作用下, 杂粮醋粉中淀粉含量较少, 还原糖含量远高于山西老陈醋醋粉, 说明杂粮醋粉原料中淀粉、纤维素等大分子物质得到了更好的利用, 就脂肪和总酸含量而言, 两者差异不明显。对于总多酚、总黄酮、花青素、 β -葡聚糖和川芎嗪, 杂粮功能醋粉中含量均高于山西老陈醋醋粉, 其中, 多酚黄酮类物质具有降血压、降血脂^[19]、降低血清胆固醇和抗氧化等多种生理功能已被人们所熟知^[20]。花青素是黑豆皮中的功效成分, 作为天然多酚类化合物, 属小分子、水溶性物质^[21], 易被人体快速吸收, 具有很强的自由基猝灭能力, 可以延缓衰老, 还可以降低糖尿病的发病危险及并发症的产生^[22]及降低低密度脂蛋白的氧化。燕麦麸皮中可溶性膳食纤维 β -葡聚糖含量丰富, Bae等^[23]通过酶解燕麦制得的 β -葡聚糖酶解产物吸附胆酸盐能力较强, 经动物实验证明, β -葡聚糖酶解产物可以降低血清TC含量, 从而达到降血脂目的。川芎嗪作为山西老陈醋中的特征成分, 被广泛用作心脑血管疾病治疗中一种新的钙通道氧化剂^[24]。Zheng Hong等^[25]发现, 川芎嗪能抗辐射、抗氧化、抑制DNA损伤和细胞凋亡等作用。除此之外, 川芎嗪还具有防止血栓、调节脂代谢等功效。

2.2 杂粮功能醋粉对受试小鼠摄食量的影响

表3 不同阶段小鼠平均摄食量

组别	平均摄食量/(g/d)						
	适应性阶段	建模第1周	建模第2周	灌胃第1周	灌胃第2周	灌胃第3周	灌胃第4周
空白对照组	4.62±0.47	4.76±0.54	5.17±0.09	4.74±0.15	4.65±0.13	4.46±0.12	4.39±0.35
高脂模型组	4.82±0.40	4.55±0.39	5.32±0.39	4.76±0.37	4.88±0.22	4.54±0.41	4.62±0.94
阳性对照组	4.57±0.41	4.96±0.54	5.17±0.90	4.45±0.41	4.69±0.35	4.32±0.29	4.10±0.43
山西老陈醋醋粉组	4.63±0.53	5.01±0.51	5.32±0.42	4.71±0.23	4.70±0.45	4.49±0.21	4.23±0.42
杂粮功能醋粉高剂量组	4.79±1.04	5.12±0.63	5.38±0.60	4.48±0.27	4.67±0.32	4.50±0.22	4.23±0.77
杂粮功能醋粉中剂量组	4.62±0.72	5.07±0.64	5.09±0.53	4.57±0.15	4.68±0.29	4.51±0.05	3.94±0.56
杂粮功能醋粉低剂量组	4.71±0.53	5.19±0.73	5.25±0.64	4.79±0.15	4.59±0.32	4.52±0.15	4.14±0.43

由表3可知,在整个实验周期中,小鼠摄食量稍有波动,整体趋于平稳,维持在4~5g。在同一期间,各组摄食量均无显著性差异,由此可以排除实验过程中由于摄食量增加或减少而引起的包括体质量、血糖及血脂浓度等变化。

2.3 杂粮功能醋粉对受试小鼠体质量的影响

表4 杂粮功能醋粉对受试小鼠体质量的影响

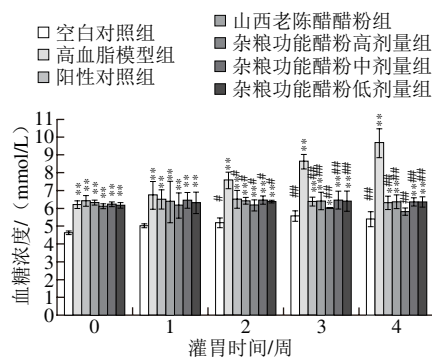
Table 4 Effect of the vinegar powder on body mass of mice

组别	平均体质量/g					
	建模前	建模后	灌胃1周末	灌胃2周末	灌胃3周末	灌胃4周末
空白对照组	29.77±0.97	33.03±1.08 ^B	35.06±0.72 ^B	35.91±1.07 ^B	37.09±0.63 ^B	37.82±0.89 ^B
高脂模型组	31.25±1.53	36.22±0.75 ^A	38.86±1.04 ^A	40.24±1.12 ^A	41.74±1.39 ^A	43.18±1.15 ^A
阳性对照组	30.53±1.18	36.77±0.96 ^A	38.24±0.81 ^A	38.73±0.76 ^A	39.21±1.34 ^{AB}	39.49±0.92 ^B
山西老陈醋醋粉组	29.72±0.61	36.39±0.90 ^A	38.51±0.56 ^A	38.92±1.37 ^A	39.53±1.52 ^{AB}	39.97±1.52 ^{AB}
杂粮功能醋粉高剂量组	29.62±0.88	36.28±1.18 ^A	37.68±1.31 ^A	38.25±1.04 ^{AB}	38.73±1.33 ^{AB}	39.27±0.72 ^B
杂粮功能醋粉中剂量组	29.35±0.58	36.64±0.64 ^A	38.37±1.07 ^A	38.65±1.41 ^A	38.87±1.46 ^{AB}	39.44±1.75 ^B
杂粮功能醋粉低剂量组	30.19±0.49	36.28±0.39 ^A	38.10±1.27 ^A	38.62±1.41 ^A	39.12±1.26 ^{AB}	39.68±1.46 ^C

注:与空白对照组比较,a.差异显著($P<0.05$),A.差异极显著($P<0.01$);与高脂模型组比较,b.差异显著($P<0.05$);B.差异极显著($P<0.01$),下同。

由表4可知,建模前各组小鼠体质量差异不显著($P>0.05$),高脂模型组从建模后到实验终期与空白对照组相比差异极显著($P<0.01$),由此可知,长期食用高脂饲料会造成小鼠体质量较为明显增长。灌胃第1周末,各组小鼠体质量差异不显著,在灌胃第2周末,除空白对照组外,其余组体质量增长量略低于高脂模型组,但与空白对照组相比差异极显著($P<0.01$),可以看出,在此期间,灌胃对小鼠体质量影响不明显。灌胃第3周末,除高脂模型组外,其余各组与空白对照组相比差异显著($P<0.05$),除山西老陈醋醋粉组外,其余各组与高脂模型组相比差异极显著($P<0.01$)。在灌胃第4周末,除杂粮功能醋粉低剂量组外,其余组与高脂模型组相比差异极显著($P<0.01$),且阳性对照组,杂粮功能醋粉高、中剂量组相较于空白对照组无显著性差异,说明阳性对照组和杂粮功能醋粉组随时间延长,虽不能降低小鼠体质量,但在一定程度上减缓了体质量增长,且阳性对照组,杂粮功能醋粉高、中剂量组的效果要优于山西老陈醋醋粉和杂粮功能醋粉低剂量组。

2.4 杂粮功能醋粉对受试小鼠血糖浓度的影响



与空白对照组比较,*差异显著($P<0.05$);**差异极显著($P<0.01$);与高脂模型组比较,#差异显著($P<0.05$);##差异极显著($P<0.01$)。

图1 杂粮功能醋粉对受试小鼠血糖浓度的影响

Fig. 1 Effect of the vinegar powder on blood glucose levels in mice

由图1可知,建模结束后,与空白对照组小鼠相比,其余各组空腹血糖浓度升高且差异极显著($P<0.01$),可见血脂异常引起了血糖浓度的升高,在灌胃第1周末,各组血糖浓度均呈现上升趋势,并无降血糖作用。从灌胃第2周末开始到第4周末,各组空腹血糖浓度与高脂模型组差异显著($P<0.05$ 或 $P<0.01$),表明杂粮功能醋粉具有一定的降血糖作用。杂粮功能醋粉高剂量组在第3周末与空白对照组比较差异显著,第4周末与空白对照组差异不显著($P>0.05$),其余各组从灌胃开始到实验结束与空白对照组相比均差异显著($P<0.05$)或极显著($P<0.01$),说明杂粮功能醋粉高剂量组的降血糖作用较好。

2.5 杂粮功能醋粉对受试小鼠血脂水平的影响

表5 杂粮功能醋粉对受试小鼠血脂水平的影响

Table 5 Effect of the vinegar powder on serum lipid levels in mice

组别	TC浓度/(mmol/L)		TG浓度/(mmol/L)		HDL-C浓度/(mmol/L)		LDL-C浓度/(mmol/L)	
	建模后	实验后	建模后	实验后	建模后	实验后	建模后	实验后
空白对照组	5.21±0.26	5.39±0.35 ^B	1.05±0.15	1.09±0.18 ^B	3.98±0.27	4.21±0.34 ^B	1.01±0.11	0.97±0.33 ^B
高脂模型组	6.43±0.29 ^A	6.99±0.13 ^{AC}	1.57±0.26 ^A	1.69±0.08 ^{AC}	2.34±0.29 ^A	2.67±0.71 ^{AC}	3.77±0.35 ^A	3.98±0.61 ^{AC}
阳性对照组	6.23±0.22 ^A	5.71±0.25 ^B	1.55±0.24 ^A	1.16±0.14 ^B	2.78±0.38 ^A	4.27±0.28 ^{AB}	3.13±0.36 ^A	1.18±0.14 ^B
山西老陈醋醋粉组	6.13±0.31 ^A	5.82±0.55 ^{AB}	1.52±0.36 ^A	1.43±0.18 ^{AB}	2.54±0.42 ^A	3.57±0.41 ^{ABC}	3.28±0.45 ^A	1.56±0.28 ^{AB}
杂粮功能醋粉高剂量组	6.16±0.22 ^A	5.41±0.30 ^B	1.45±0.09 ^A	1.19±0.07 ^B	2.67±0.35 ^A	4.22±0.28 ^B	3.19±0.52 ^A	1.36±0.14 ^B
杂粮功能醋粉中剂量组	6.27±0.45 ^A	6.06±0.24 ^{AB}	1.65±0.14 ^A	1.42±0.19 ^{AB}	2.49±0.27 ^A	4.16±0.29 ^B	3.44±0.35 ^A	1.62±0.32 ^{AB}
杂粮功能醋粉低剂量组	6.38±0.49 ^A	6.28±0.19 ^{ABC}	1.61±0.06 ^A	1.53±0.09 ^{AB}	2.35±0.43 ^A	4.10±0.27 ^B	3.71±0.27 ^A	1.87±0.32 ^{AB}

注:与阳性对照组比较,c.差异显著($P<0.05$);C.差异极显著($P<0.01$),下同。

由表5可知,建模结束后,与空白对照组比,其余各组小鼠血清TC、TG、LDL-C浓度均极显著升高($P<0.01$),HDL-C浓度极显著降低($P<0.01$)。由血脂代谢异常导致的高脂血症表现为TC、TG和低密度脂蛋白浓度过高或高密度脂蛋白浓度较低^[26],表明本次实验建模成功。阳性对照组,山西老陈醋醋粉组,杂粮功能醋粉高、中剂量

组TC、TG和LDL-C浓度相较于灌胃前都有一定程度降低,且与高血脂模型组比较差异极显著($P<0.01$),HDL-C浓度均上升,且与高血脂模型组比较差异极显著($P<0.01$),杂粮功能醋粉低剂量组TG浓度与高血脂模型组相比差异不显著,说明低剂量组降低TG浓度的效果不明显。与阳性对照组相比,杂粮功能醋粉低剂量组TC、TG浓度极显著高于阳性对照组($P<0.01$),LDL-C浓度显著低于阳性对照组($P<0.05$),杂粮功能醋粉中剂量组TG浓度显著高于阳性对照组($P<0.05$),山西老陈醋醋粉组HDL-C浓度极显著低于阳性对照组($P<0.01$),杂粮功能醋粉高剂量组TC、TG、LDL-C、HDL-C浓度均与阳性对照组差异不显著($P>0.05$)。综上可知,各组在一定程度上能调节小鼠血脂水平,杂粮功能醋粉低剂量组降血脂能力较弱,中剂量组与山西老陈醋醋粉组调节血脂能力相似,高剂量组对于血脂水平有较为明显的改善作用,且与阳性对照组无显著差异。

2.6 杂粮功能醋粉对受试小鼠抗氧化能力的影响

表6 杂粮功能醋粉对受试小鼠抗氧化能力的影响

Table 6 Effect of the vinegar powder on antioxidant function in mice

组别	MDA含量/ (nmol/mg)	SOD活力/ (U/mg)	CAT活力/ (U/mg)	GSH-Px活力/ (U/mg)
空白对照组	1.76±0.56 ^B	263.84±14.02 ^{BC}	28.11±1.31 ^{BC}	428.64±29.07 ^B
高血脂模型组	5.53±0.38 ^{AC}	123.86±7.44 ^{AC}	13.79±0.44 ^{AC}	263.09±24.44 ^{AC}
阳性对照组	2.03±0.25 ^B	231.40±38.51 ^{AB}	25.37±1.68 ^{AB}	417.47±53.75 ^B
山西老陈醋醋粉组	2.55±0.41 ^{AB}	175.68±15.11 ^{ABC}	20.51±0.42 ^{ABC}	327.12±24.32 ^{ABC}
杂粮功能醋粉高剂量组	2.26±0.40 ^B	237.33±20.36 ^{AB}	21.16±1.19 ^{ABC}	382.99±19.13 ^{ABC}
杂粮功能醋粉中剂量组	2.58±0.31 ^{ABC}	178.87±7.19 ^{ABC}	20.06±0.46 ^{ABC}	363.37±31.42 ^{ABC}
杂粮功能醋粉低剂量组	2.74±0.64 ^{ABC}	149.58±19.86 ^{ABC}	19.28±1.14 ^{ABC}	328.95±16.87 ^{ABC}

长期高脂饮食会使机体内生成的自由基含量明显增加,高脂血症与氧化应激息息相关^[27-28]。由表6可知,与空白对照组相比,高血脂模型组肝脏MDA含量极显著增加($P<0.01$),MDA作为脂质过氧化物,其含量反映了机体内脂质过氧化程度^[29],说明高脂饮食增强了机体内脂质过氧化程度;而SOD、CAT及GSH-Px活力都显著降低($P<0.01$),表明体内自由基清除能力、保护细胞结构和功能完整及免受有害物质损伤等能力明显降低^[30]。与高血脂模型组比较,各组MDA含量水平极显著降低($P<0.01$),SOD、CAT活力及GSH-Px活力显著($P<0.05$)或极显著增加($P<0.01$)。其中,杂粮功能醋粉高剂量组降低MDA含量及提高SOD活力的能力与阳性对照组无显著性差异,山西老陈醋醋粉组MDA降低水平与阳性对照组无明显差异。由以上分析可得,杂粮功能醋粉各剂量组都有一定的抗氧化能力,杂粮功能醋粉高剂量组降低MDA及提高SOD水平的能力要优于其他组。

3 结论

对杂粮功能醋粉和山西老陈醋醋粉进行成分比较,发现杂粮功能醋粉中基本成分蛋白质、还原糖及功能成分总多酚、总黄酮、花青素、 β -葡聚糖及川芎嗪含量均高于山西老陈醋醋粉。根据功能成分对杂粮功能醋粉进行降血脂、降血糖及抗氧化作用研究,结果表明,杂粮功能醋粉各剂量组均能降低高脂饮食小鼠血糖浓度及血清中TC、TG、LDL-C含量,有效提高血清中HDL-C含量,表明其具有有效调节血脂水平和一定的降血糖作用;杂粮功能醋粉各剂量组均能有效降低肝脏MDA含量,提高肝脏中SOD、CAT及GSH-Px活力,说明杂粮功能醋粉可通过抑制脂质过氧化物的形成来达到抗氧化作用。其中,杂粮功能醋粉高剂量组效果较好,优于山西老陈醋醋粉组。综上所述,杂粮功能醋粉具有调节血脂、血糖及抗氧化能力,应用前景广阔,有待进一步开发。

参考文献:

- [1] 文镜,张静,常平,等.功能红曲醋的制备及其降血脂功能的研究[J].食品科学,2007,28(9):510-513. DOI:10.3321/j.issn:1002-6630.2007.09.124.
- [2] REIMANN M, RUDIGER H, WEISS N, et al. Acute hyperlipidemia but not hyperhomocysteinemia impairs reflex regulation of the cardiovascular system[J]. Atherosclerosis, 2015, 18: 8-15.
- [3] 陈志蓉,王超,罗飞亚,等.对辅助降血糖、降血脂保健食品双功能评价模式的探讨[J].食品安全质量检测学报,2016,7(4):1456-1461.
- [4] 王东红.苦瓜蛋白降脂活性成分纯化及功效评价[D].烟台:烟台大学,2014:12-14.
- [5] EL-WASEIFA M A, ABD EI-DAYEM H H, HASHEM H A, et al. Hypolipidemic effect of fat spreads containing flaxseed oil[J]. Annals of Agricultural Sciences, 2014, 59: 17-24.
- [6] NTCHAPDA F, DJEDOUBOUMA A, TALLA E, et al. Hypolipidemic and anti-atherogenic effect of aqueous extract leaves of *Ficus glumosa* (Moraceae) in rats[J]. Experimental Gerontology, 2015, 62: 53-62.
- [7] 陈树俊,苏静,张海英,等.山西老陈醋功效成分的研究进展[J].农产品加工(创新版),2009(12):45-49. DOI:10.3969/j.issn.1671-9646.2009.12.015.
- [8] 张国华,孙瑜嵘,叶峥,等.山西老陈醋喷雾干燥工艺及品质研究[J].食品工业科技,2018,39(4):171-176;201. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2018.04.032.
- [9] 陈树俊,张君梅,石玥,等.响应面法优化杂粮醋粉真空冻干工艺[J].食品工业科技,2018,39(15):130-135. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2018.15.024.
- [10] 严蕊,王晓云.山西老陈醋传统酿造工艺写实记录[J].食品工程,2015(2):55-59. DOI:10.3969/j.issn.1673-6044.2015.02.017.
- [11] 陈树俊,赵瑞欢,康俊杰,等.山西老陈醋沉淀物的营养成分分析与评价[J].食品科学,2014,35(11):219-222. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201411044.
- [12] 彭晓光,杨林娥,李婷,等.山西老陈醋中总黄酮含量的测定[J].中国酿造,2012,31(8):151-153. DOI:10.3969/j.issn.0254-5071.2012.08.045.
- [13] 王少波,杜永峰,姚秉华. pH示差法测定黑豆皮中的花青素[J].化学分析计量,2008(1):46-47;49. DOI:10.3969/j.issn.1008-6145.2008.01.014.

- [14] 张娟, 杜先锋, 饶砚琴. 刚果红法测定燕麦中 β -葡聚糖含量的研究[J]. 安徽农业大学学报, 2007(1): 23-26. DOI:10.3969/j.issn.1672-352X.2007.01.006.
- [15] 张少飞, 李婷, 彭晓光, 等. 高效液相色谱法测定山西老陈醋中的川芎嗪[J]. 食品工程, 2009(2): 43-45. DOI:10.3969/j.issn.1673-6044.2009.02.013.
- [16] 于美汇, 赵鑫, 尹红力, 等. 碱提醇沉黑木耳多糖体外和体内降血脂功能[J]. 食品科学, 2017, 38(1): 232-237. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201701039.
- [17] 陈继承. 醋粉中降血脂成分筛选及其对脂质代谢的调控[D]. 杭州: 浙江大学, 2011: 52-53.
- [18] 颜景宗, 谭学良. 山西老陈醋酿造工艺研究[J]. 中国调味品, 2009, 34(6): 69-72.
- [19] 蒋志国, 李斌. 菠萝蜜果皮多酚超声辅助提取工艺及降血糖活性研究[J]. 中国酿造, 2016, 35(10): 78-83.
- [20] 苏静. 山西老陈醋多酚类物质的提取及抗氧化活性研究[D]. 太原: 山西大学, 2010: 22-23.
- [21] 胡雅馨, 李京, 惠伯棣. 蓝莓果实中主要营养及花青素成分的研究[J]. 食品科学, 2006, 27(10): 600-603.
- [22] 张荣菲, 王绍云. 贵州黔东南蓝莓中花青素的提取与含量测定[J]. 中国食品添加剂, 2016(11): 190-194. DOI:10.3969/j.issn.1006-2513.2016.11.022.
- [23] BAE I Y, KIM S M, LEE S, et al. Effect of enzymatic hydrolysis on cholesterol-lowering activity of oat β -glucan[J]. New Biotechnology, 2010, 27(1): 85-88. DOI:10.1016/j.nbt.2009.11.003.
- [24] 冯斌, 陈树俊, 姜慧, 等. 山西老陈醋中川芎嗪生成趋势分析[J]. 农产品加工(创新版), 2011(9): 69-74. DOI:10.3969/j.issn.1671-9646(C).2011.09.006.
- [25] ZHENG Hong, WANG Siying, ZHUO Pingkun, et al. Effects of ligustrazine on DNA damage and apoptosis induced by irradiation[J]. Environmental Toxicology and Pharmacology, 2013, 36(3): 1197-1206.
- [26] 管娟月, 戴传超, 徐玉芬, 等. 富硒轮梗霉与奶醋对小鼠降血脂和抗氧化作用的影响[J]. 食品科学, 2009, 30(17): 319-323.
- [27] 刘兰涛, 杨小兰. 山西老陈醋醋泥冻干粉对高脂饮食小鼠的降血脂与抗氧化作用[J]. 食品科学, 2015, 36(9): 141-145. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201509026.
- [28] DOBRIAN A D, DAVIES M J, PREWITT R L, et al. Development of hypertension in a rat model of diet-induced obesity[J]. Hypertension, 2000, 35(4): 1009-1015.
- [29] 左光明, 谭斌, 王金华, 等. 苦荞蛋白对高脂血症小鼠降血脂及抗氧化功能研究[J]. 食品科学, 2010, 31(7): 247-250.
- [30] 罗磊, 张冰洁, 关宁宁, 等. 金银花叶黄酮对衰老模型小鼠的体内抗氧化作用[J]. 食品科学, 2017, 38(19): 171-176. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201719027.