

玉米、荞麦复配粉对高脂血症大鼠的降血脂作用

刘殊凡, 迟晓星, 王鹤霖, 代安娜, 李萌, 张东杰

Hypolipidemic Effect of Maize and Buckwheat Complex Powder in Hyperlipidemic Rats

LIU Shufan, CHI Xiaoxing, WANG Helin, DAI Anna, LI Meng, and ZHANG Dongjie

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023110173>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

玉米阿魏酸对高脂血症大鼠脂代谢和肝损伤的影响

Effect of Corn Ferulic Acid on Lipid Metabolism and Liver Injury in Hyperlipidemia Rats

食品工业科技. 2023, 44(16): 8-14 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023020270>

复合沙棘原液对高脂血症大鼠的降脂作用

Lipid-lowering Effect of Compound Seabuckthorn Concentrate on Hyperlipidemic Rats

食品工业科技. 2023, 44(7): 352-358 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022050091>

南瓜膳食纤维对高脂血症大鼠的降血脂作用

Effect of Pumpkin Dietary Fiber on Blood Lipid on Hyperlipidemic Rats

食品工业科技. 2021, 42(1): 322-327,333 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020020323>

欧李发酵液对高脂血症SD大鼠血脂的调控及对肝脏的保护作用

Effects of *Cerasus humilis* Fermentation Juice: Regulating Serum Lipids and Protecting Liver in Hyperlipidemia SD Rats

食品工业科技. 2021, 42(5): 311-316 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020050195>

茶籽皂苷调节高脂血症大鼠血脂的功效研究

Study on the Effect of Tea Seed Saponin on Regulating Blood Lipid in Hyperlipidemia Rats

食品工业科技. 2020, 41(7): 278-283 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.07.046>

五味子、黄芪混合多糖对大鼠高脂血症的降脂作用

Lipid-lowering Effect of Polysaccharides from Mixed of *Schisandra chinensis* and *Astragalus membranaceus* on Hyperlipidemia in Wistar Rats

食品工业科技. 2020, 41(16): 314-317,325 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.16.050>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

刘殊凡, 迟晓星, 王鹤霖, 等. 玉米、荞麦复配粉对高脂血症大鼠的降血脂作用 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(19): 337–345. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023110173

LIU Shufan, CHI Xiaoxing, WANG Helin, et al. Hypolipidemic Effect of Maize and Buckwheat Complex Powder in Hyperlipidemic Rats[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(19): 337–345. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023110173

· 营养与保健 ·

玉米、荞麦复配粉对高脂血症大鼠的降血脂作用

刘殊凡¹, 迟晓星^{1,2,*}, 王鹤霖¹, 代安娜¹, 李萌¹, 张东杰^{1,2,*}

(1. 黑龙江八一农垦大学食品学院, 黑龙江大庆 163319;

2. 黑龙江八一农垦大学国家杂粮工程技术研究中心, 黑龙江大庆 163319)

摘要: 为研究玉米荞麦复配粉对高脂血症大鼠脂质代谢的调节作用, 将 60 只大鼠随机分为空白对照组、高脂模型组、阳性组、玉米组、荞麦组、玉米荞麦复配粉组, 干预 4 周, 称量大鼠体重、脏器重, 测定脂质水平、肝损伤水平及抗氧化水平, 并进行肝脏病理组织学检查。结果表明: 与高脂模型组相比, 玉米荞麦复配粉组能够显著降低血清总胆固醇 (Total cholesterol, TC) (1.8 mmol/L)、甘油三酯 (Triglyceride, TG) (1.38 mmol/L)、低密度脂蛋白胆固醇 (Low density lipoprotein cholesterol, LDL-C) (0.62 mmol/L) 的含量, 回调高密度脂蛋白胆固醇 (High-density lipoprotein cholesterol, HDL-C) (1.27 mmol/L) 的含量 ($P < 0.05$) ; 玉米、荞麦、玉米荞麦复配粉各组的丙氨酸转氨酶 (Alanine transaminase, ALT)、天冬氨酸转氨酶 (Aspartate aminotransferase, AST) 活力有不同程度降低, 其中玉米荞麦复配粉组活力降低效果显著。同时, 玉米荞麦复配粉上调了血清中总超氧化物歧化酶 (Total superoxide dismutase, SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶 (Glutathione peroxidase, GSH-Px) 的酶活力, 下调了血清中丙二醛 (Malondialdehyde, MDA)、胆固醇酯 (Cholesteryl ester, CHE) 的含量, 肝脏中亦出现此趋势。肝脏 HE 染色表明, 玉米、荞麦、玉米荞麦复配粉组肝细胞的分布较整齐, 大泡性脂滴减少, 其中, 玉米荞麦复配粉组的改善效果最为显著。由此可见, 玉米荞麦复配粉能显著调节高血脂饮食大鼠脂代谢水平, 提高肝脏抗氧化能力, 修复肝损伤。

关键词: 玉米荞麦复配粉, 脂质代谢, 肝损伤, 高脂血症, 抗氧化

中图分类号: TS210.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2024)19-0337-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023110173

本文网刊:



Hypolipidemic Effect of Maize and Buckwheat Complex Powder in Hyperlipidemic Rats

LIU Shufan¹, CHI Xiaoxing^{1,2,*}, WANG Helin¹, DAI Anna¹, LI Meng¹, ZHANG Dongjie^{1,2,*}

(1. Food College, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China;

2. Coarse Cereals Engineering Research Center, Key Laboratory of Agro-Products Processing and Quality Safety of Heilongjiang Province, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China)

Abstract: To explore the effect of corn and buckwheat complex on the regulation of lipid metabolism in hyperlipidemic rats, 60 rats were randomly divided into blank control group, hyperlipidemic model group, positive group, corn group, buckwheat group, and corn-buckwheat complex powder group. The intervention was carried out for 4 weeks. The rats and their organs were weighed. Lipid levels, liver injury levels and antioxidant levels were measured, and histologic

收稿日期: 2023-11-20

基金项目: 黑龙江省自然科学基金项目 (LH2021H055)。

作者简介: 刘殊凡 (1998-), 男, 硕士, 研究方向: 食品营养与安全, E-mail: 1825338027@qq.com。

* 通信作者: 迟晓星 (1976-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 食品营养与安全, E-mail: chixiaoxing@sina.com。

张东杰 (1966-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品安全, E-mail: byndzdj@126.com。

examination of liver pathology was performed. The results showed that compared to model group, corn-buckwheat complex powder was able to lower the levels of TC (1.8 mmol/L), TG (1.38 mmol/L), LDL-C (0.62 mmol/L), and regress the levels of HDL-C (1.27 mmol/L) significantly ($P<0.05$). In addition, the ALT and AST activity in these groups had experienced varying degrees of reduction, with the corn-buckwheat complex powder group decreased significantly. Concurrently, the serum of the corn-buckwheat complex powder groups exhibited increased activities of the total SOD and GSH-Px, while the serum levels of MDA and CHE were decreased, a pattern that was also observed in the liver. The results of HE staining indicated that the liver hepatocytes in the corn, buckwheat, and corn-buckwheat complex powder groups were more evenly distributed and had less big vesicular lipid droplets. The corn-buckwheat complex powder group showed the greatest improvement. The research indicated that corn-buckwheat complex powder can significantly regulate the level of lipid metabolism in rats on a high blood lipid diet, and improve the antioxidant capacity of the liver and repair liver damage.

Key words: corn-buckwheat complex powder; lipid metabolism; liver injury; hyperlipidemia; antioxidant

随着社会经济的发展,肥胖、糖尿病、脂肪肝、高血脂等糖脂代谢性疾病的患病率在全球呈现快速上升趋势,严重威胁着人们的健康^[1]。全球约3.63亿成人(20~79岁)患高脂血症,约有390万人(20~79岁)死于高脂血症或其并发症,约占全球死亡人数的9.3%^[2],并且,高脂血症患者及死亡患者的年龄有年轻化趋势。血脂异常是指甘油三酯(TG)、血清总胆固醇(TC)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)、高密度脂蛋白胆固醇等任意一项指标发生异常变化^[3],改变了血管内皮功能,损害其促纤溶和抗血栓调节特性,以及诱发产生动脉粥样硬化的过程^[4]。TC、TG、LDL-C等指标升高均会影响甚至导致动脉粥样硬化性心血管疾病的发生,且血脂异常是导致产生动脉粥样硬化的主要因素^[5]。目前,临幊上常用的一些降脂药物为他汀类和贝特类,但此类药物会引起恶心、腹泻、肝毒性等不良反应^[6]。因此,通过其他有效途径来有效治疗预防血脂异常疾病至关重要。

我国食疗历史悠久,尤其是多种食材搭配后,其药用价值可以得到充分发挥,从而达到调理身体机能状态的目的。玉米在中国种植范围广、产量高,在畜牧业、养殖业、食品等行业中发挥巨大作用,进而有着“食物黄金”美名^[7]。此外,玉米具有多种生物活性物质,研究表明玉米皮粗提物,可促进体内胆固醇和脂肪酸的分解,降低血脂水平^[8]。荞麦中含有丰富的膳食纤维和黄酮类化合物,具有降血脂功能的基础条件优势^[9~10]。合理的主粮杂粮粉搭配,可以达到营养互补、提高营养价值、调节机体功能等目的^[11]。虽然荞麦和玉米在降血脂、降血压、调理肠道方面均有报道,但荞麦和玉米复配后,其生物活性是否发生改变,降血脂的效果以及调节血脂的最佳复配比例,目前尚无相关研究报道。因此,本研究以荞麦和玉米进行复配干预高脂血症大鼠,通过测定血脂指标和抗氧化指标,对肝脏进行病理性组织检查,来探究复配粉对高脂血症大鼠的降血脂效果,并确定最佳复配比,可为玉米荞麦复配粉的生产、产品研发及在食品相关领域的应用提供现实的理论基础,有利于提高杂粮产品的附加值。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

SPF 雄性 Sprague Dawley (SD) 大鼠 110 只, 体重 180 ± 20 g, 生产许可证号: SCXK(吉)2020-0002, 长春市亿斯实验动物技术有限责任公司, 本实验中动物实验部分遵循黑龙江八一农垦大学动物伦理委员会原则; 普通饲料 协同医药生物工程有限责任公司; 总超氧化物歧化酶(SOD)、丙二醛(MDA)、甘油三酯(TG)、血清总胆固醇(TC)、天冬氨酸转氨酶(AST)、丙氨酸转氨酶(ALT)、低密度脂蛋白(LDL-C)、高密度脂蛋白(HDL-C)试剂盒、CHE(胆固醇酯)、GSH-Px(谷胱甘肽过氧化物酶)试剂盒 南京建成生物工程研究所。

SPECTROstar Nano 全波长酶标仪 BMGLAB-TECH 公司; DHP-9012 电热恒温培养箱 海森信公司; HH.S11-2 水浴锅 上海博讯医疗生物有限公司; KH23A 高速离心机 Eppendorf 公司; UV-7504PC 紫外可见分光光度计 北京普析通用仪器有限责任公司; XSP-02 光学显微镜 日本奥林巴斯公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品制备 选用颗粒饱满的玉米和荞麦, 清洗干净, 用纯净水在室温下浸泡 60 min, 放在鼓风干燥箱烘干, 采用超微粉碎机进行超微粉碎处理, 过 80 目筛。将荞麦粉和玉米粉按比例复配成玉米荞麦复配粉, 保存备用。

1.2.2 实验动物高脂模型 饲养室为黑龙江八一农垦大学生物技术中心动物饲养室, 室内温度 20~25 °C, 湿度为 55%~65%, 12 h 明暗循环。将雄性 SD 大鼠适应性喂养 1 周, 1 周后将 50 只大鼠随机分为高脂模型组(40 只)与空白对照组(CG 组, 10 只)。高脂模型组喂养高脂饲料(85% 基础饲料, 0.2% 丙基硫氧嘧啶, 7.5% 猪油, 5% 蛋白粉, 2% 胆固醇, 0.3% 去氧胆酸钠); CG 组喂养正常饲料, 饲养期间各组大鼠全部自由饮水并且每日观察体重变化、饮水进食量以及精神状况等。连续喂养 4 周, 高脂模型组大鼠尾静脉取血测血清总胆固醇 TC 水平。成功制备高血脂症模型的标准为: TC>5.20 mmol/L; TG>1.7 mmol/L; LDL-C>3.4 mmol/L;

HDL-C≤1.0 mmol/L, 上述其中有一项符合即高血脂症造模成功^[10]。

1.2.3 玉米荞麦复配比例的筛选 取 10 只空白对照组大鼠和 40 只高脂模型大鼠, 其中 10 只为高脂模型组(MG)饲喂高脂饲料, 剩余 30 只在张志伟^[12]对玉米粉营养复配研究的基础上, 分别将玉米粉与荞麦粉按 2:1、2.5:1 和 3:1 比例混合添加至鼠粮中(玉米荞麦复配鼠粮的制备: 65% 基础饲料, 0.2% 丙基硫氧嘧啶, 7.5% 猪油, 5% 蛋白粉, 2% 胆固醇, 0.3% 去氧胆酸钠, 20% 玉米荞麦复配粉), 记为 YQGA、YQGB 以及 YQGC 三组, 干预 4 周后, 分别测定 TC、TG、LDL-C 及 HDL-C 水平。玉米、荞麦添加量参考中国营养膳食指南中正常人每天摄入谷物量^[13], 按体重比例与大鼠进行换算, 最终大鼠每日摄入量为 22.49 mg/kg。

1.2.4 降血脂实验动物分组 确定好玉米荞麦复配比例后, 购买 60 只 SD 大鼠, 将雄性 SD 大鼠适应性喂养 1 周, 1 周后将 60 只大鼠随机分为高脂模型组(50 只)与空白对照组(CG 组, 10 只), 其中 50 只 SD 大鼠采用 1.2.2 的方法进行建模, 将 50 只高血脂模型大鼠随机分为模型组(MG), 阳性组(PG), 玉米组(YG)(玉米鼠粮的制备: 65% 基础饲料, 0.2% 丙基硫氧嘧啶, 7.5% 猪油, 5% 蛋白粉, 2% 胆固醇, 0.3% 去氧胆酸钠, 20% 玉米粉), 荞麦组(QG)(荞麦鼠粮的制备: 65% 基础饲料, 0.2% 丙基硫氧嘧啶, 7.5% 猪油, 5% 蛋白粉, 2% 胆固醇, 0.3% 去氧胆酸钠, 20% 荞麦粉), 复配组(YQG)(玉米荞麦复配鼠粮的制备: 65% 基础饲料, 0.2% 丙基硫氧嘧啶, 7.5% 猪油, 5% 蛋白粉, 2% 胆固醇, 0.3% 去氧胆酸钠, 20% 玉米荞麦复配粉(玉米和荞麦比例为 2.5:1))。每日喂食 1 次, 记录进食量, 干预 4 周, 阳性对照组给予含有辛伐他汀 0.6 g/kg/d 鼠粮, 添加剂量参考欧阳泽智^[14]对红曲霉荞麦的固态发酵及其产物降血脂作用的研究的方法。CG 组 10 只大鼠喂养正常饲料, 其他组继续喂养高脂饲料^[15]。

实验期间每日观察实验动物的精神状态、活动情况、饮食饮水变化及毛发体态变化等, 并在每周的固定时间用电子天平测定大鼠体重直至实验周期结束。实验的最后一天禁食不禁水 12 h 后, 采用乙醚麻醉, 取血解剖, 进行后续指标测定。保留完整的脏

器组织, 将其表面脂肪等杂质仔细剥离后进行称重, 各个脏器指数均按照公式(1)进行计算。以及使用 Lee's 指数评价成年大鼠肥胖程度, 测量大鼠的体重(m, g)和体长(鼻尖至肛门, L, cm), 按照公式(2)进行计算。

$$\text{脏器指数}(\%) = \frac{m_1}{m} \times 100 \quad \text{式 (1)}$$

式中: m_1 -新鲜脏器质量(g); m -大鼠体质量(g)。

$$\text{Lee's 指数} = \frac{\sqrt{m} \times 100}{L} \quad \text{式 (2)}$$

1.2.5 血清样本检测 待实验干预结束, 大鼠禁食 16 h 后进行腹主动脉采血。测定血脂指标的血样于 3500 r/min、4 °C 离心 10 min, 分离血清于-20 °C 保存备用。检测血清中 TG、TC、LDL-C、HDL-C、AST、ALT、MDA、SOD、CHE、GSH-Px 的浓度。

1.2.6 肝脏样本检测 将解剖后的大鼠肝脏完整摘取, 生理盐水清洗三次, 滤纸吸干, 称重。将 PBS 缓冲液按照 9:1 质量体积比加到适量肝组织中, 使用组织研磨机进行研磨, 制备成 10% 肝组织匀浆液, 3500 r/min 离心 10 min, -20 °C 保存上清液, 用于肝脏指标测定。

1.2.7 肝脏组织病理切片 大鼠解剖后, 将部分肝脏放置 10% 福尔马林固定液中进行常规固定, 制作苏木素-伊红(HE)染色切片, 使用光学显微镜观察并收集照片。

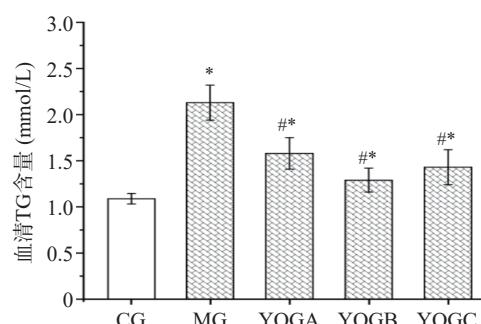
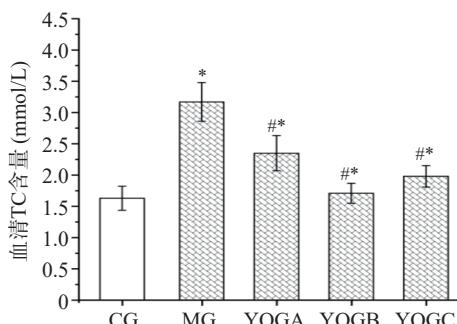
1.3 数据处理

数据采用 SPSS 28.0 进行单因素方差分析, 采用最小显著差数法进行多重比较, 数据以平均值±标准差($\bar{x} \pm s$)表示, $P < 0.05$ 为显著性差异, $P < 0.01$ 为极显著性差异。

2 结果与分析

2.1 玉米荞麦复配粉最适比例

将玉米粉与荞麦粉分别以 2:1、2.5:1 和 3:1 的比例混合测定高脂模型组和干预组血清中 TC、TG、LDL-C 及 HDL-C 指标水平, 结果如图 1 所示。与 CG 组相比, 其余四组的 TC、TG 和 LDL-C 均升高, 存在显著性差异($P < 0.05$), 表明高血脂症模型建立成功。另外, 与 MG 组相比, 不同复配比例干预组均不同程度降低了 TC、TG 和 LDL-C 含量, 升高了



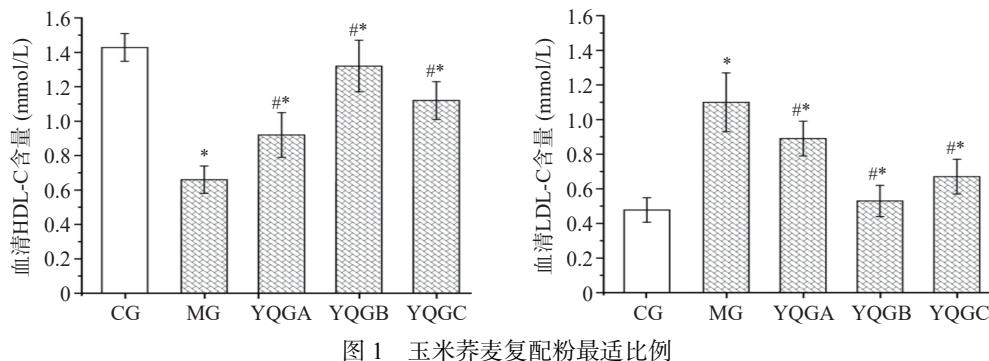


图1 玉米荞麦复配粉最适比例

Fig.1 Optimum mixing ratio of corn-buckwheat complex powder

注:与空白对照组相比, *代表差异显著 $P<0.05$, **表示差异极显著 $P<0.01$;与高脂模型组相比, #表示差异显著 $P<0.05$;##表示差异极显著 $P<0.01$;图2~图5、表1~表2同。

HDL-C含量, YQGB组与MG、YQGA和YQGC组相比具有显著优势($P<0.05$),能显著降低TC、TG和LDL-C含量,基本恢复至CG组水平。因此确定2.5:1是玉米荞麦复配粉降血脂的最适比例,用于后续实验。

2.2 玉米荞麦复配粉对高脂血症大鼠体质量及摄食量的影响

各组大鼠的体质量和摄食量变化如表1所示,与CG组相比, MG组的摄食量及体质量均表现出大幅度增加,说明大鼠体质量的增加与高血脂饮食相关。与MG组相比, QG组与YQG组在最终体质量(503.6 g和489.5 g)、体质量增加量(315.6 g和301.0 g)及Lee's指数(3.06和3.02)均有显著性差异($P<0.05$),其中YQG组效果极显著($P<0.01$),表明玉米荞麦复配后可以更有效地抑制高血脂症大鼠体质量的增加。

2.3 玉米荞麦复配粉对高脂血症大鼠脏器的影响

各组大鼠的脏器指数变化如表2所示,与MG

组相比,其它各实验组大鼠心脏指数、脾脏指数、肾脏指数无显著性差异($P>0.05$);而肝脏指数呈现出显著差异($P<0.05$),说明高血脂饮食能增加大鼠肝脏质量,对肝脏产生影响。添加了玉米荞麦复配粉之后,与高脂模型组相比,高脂大鼠的肝脏指数极显著下降,效果最为显著($P<0.01$),表明玉米荞麦复配粉能够有效抑制高血脂症大鼠肝脏指数的变化。

2.4 玉米荞麦复配粉对高脂血症大鼠血清脂质指标的影响

将玉米荞麦复配粉应用于干预高脂血症大鼠4周后,测定空白组、高脂模型组、阳性组和干预组血清中TC、TG、LDL-C及HDL-C指标水平。不同组大鼠的血清中TC、TG、LDL-C及HDL-C指标水平如图2所示。由图2可知,与CG组相比,干预前TC、TG、LDL-C组大鼠血清脂质指标均较高,HDL-C组大鼠血清脂质指标均较低,说明高血脂症大鼠造模成功。与MG组相比,PG、YG、QG和YQG组大鼠经干预后,TC、TG、LDL-C组大鼠血清脂质指

表1 各组大鼠体质量、摄食量的变化(n=10)

Table 1 Changes in body mass and food intake of rats in each group (n=10)

组别	初始体质量(g)	最终体质量(g)	体质量增加量(g)	Lee's指数	平均每日摄食量(g/d)
空白(CG)	188.4±17.8	458.5±41.6	270.1±23.8	2.85±0.08	50.35±1.34
高脂模型(MG)	186.5±22.4	593.6±48.3**	407.1±25.9**	3.16±0.15	57.08±2.86
阳性(PG)	187.2±18.9	490.6±49.1##	303.4±30.2##	2.98±0.11##	58.71±1.65
玉米组(YG)	188.2±19.1	541.8±42.6	353.6±23.5	3.12±0.11	56.69±3.12
荞麦组(QG)	188.0±14.1	503.6±47.9#	315.6±33.8#	3.06±0.12##	57.82±1.97
复配组(YQG)	188.5±16.6	489.5±56.5##	301.0±39.9##	3.02±0.10##	58.94±1.91

表2 各组大鼠脏器指数的变化(n=10)

Table 2 Changes in organ index of rats in each group (n=10)

组别	心脏指数	脾脏指数	肾脏指数	肝脏指数
空白(CG)	0.27±0.02	0.15±0.02	0.58±0.05	2.87±0.40
高脂模型(MG)	0.22±0.01	0.13±0.03	0.54±0.06	3.32±0.38**
阳性(PG)	0.28±0.02	0.14±0.02	0.60±0.05	2.98±0.23##
玉米组(YG)	0.23±0.02	0.14±0.01	0.56±0.07	3.18±0.28
荞麦组(QG)	0.26±0.03	0.14±0.02	0.56±0.06	3.06±0.36#
复配组(YQG)	0.26±0.01	0.15±0.02	0.58±0.08	3.03±0.31##

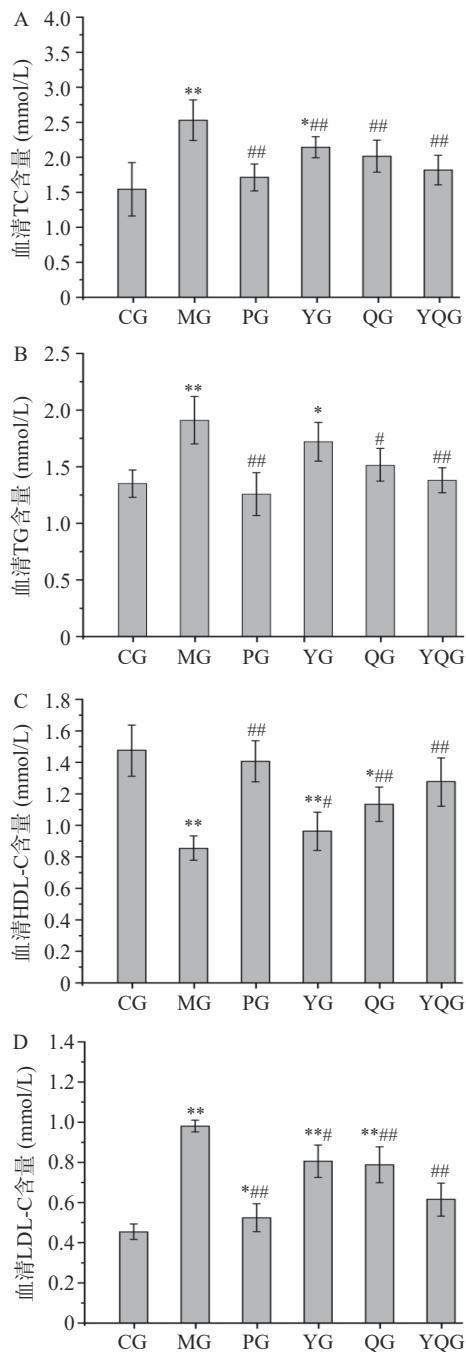


图 2 玉米荞麦复配粉对高脂血症大鼠血清 TC、TG、HDL-C、LDL-C 浓度的影响

Fig.2 Effect of corn-buckwheat complex powder on serum TC, TG, HDL-C and LDL-C concentrations in hyperlipidemic rats

标均降低, HDL-C 血清脂质指标均升高, 其中 YQG 组极显著降低 TC(1.80 ± 0.21 mmol/L)、TG(1.38 ± 0.11 mmol/L)、LDL-C(0.62 ± 0.08 mmol/L)含量($P<0.01$), PG 组极显著降低 TC(1.72 ± 0.19 mmol/L)、LDL-C(0.52 ± 0.07 mmol/L)含量($P<0.01$), YQG 和 PG 组极显著提高 HDL-C 含量(1.27 ± 0.15 mmol/L, 1.40 ± 0.13 mmol/L)($P<0.01$)。

2.5 玉米荞麦复配粉对高脂血症大鼠血清中 ALT、AST 的影响

天门冬氨酸氨基转移酶(ALT)通常与丙氨酸氨

基转移酶(ALT)一起用于检测肝脏损伤和肝脏感染^[16]。如图 3 所示, 与 CG 组相比, MG 组 ALT(22.41 ± 2.13 U/L)、AST(25.58 ± 1.45 U/L)活力显著增加, 差异极显著($P<0.01$), 说明高血脂饮食造成了肝损伤。通过玉米、荞麦、玉米荞麦复配粉干预治疗后, 与 MG 组相比, YG、QG、YQG 三组大鼠血清中 ALT、AST 的活性均表现出显著下降, 其中 YQG 组(17.51 ± 0.21 、 17.05 ± 1.28 U/L)下降趋势极显著($P<0.01$)。另外, YQG 组与 PG 组无显著性差异($P>0.05$), 说明 YQG 治疗后, 发挥了与阳性对照药物相似的作用, 对大鼠的肝损伤有一定程度的修复。

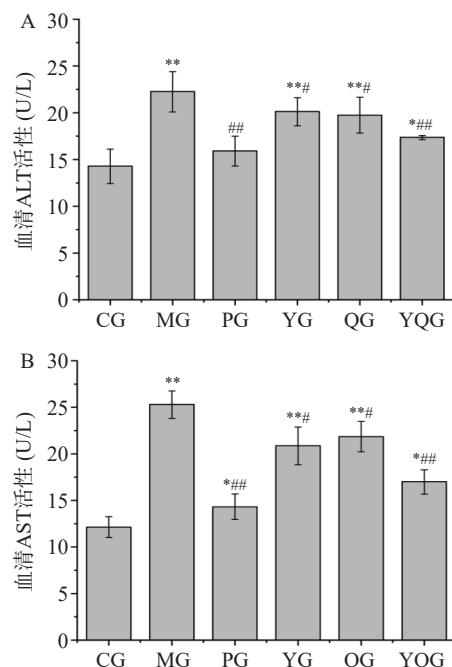


图 3 玉米荞麦复配粉对高脂血症饮食大鼠血清 ALT、AST 活性的影响

Fig.3 Effect of corn buckwheat complex powder on serum ALT and AST activities in hyperlipidemic diet rats

2.6 玉米荞麦复配粉对高脂血症大鼠血清 SOD、MDA、GSH-Px、CHE 的影响

高血脂饮食可以导致机体内脂质代谢紊乱, 通过 MDA(丙二醛)、CHE(胆固醇酯)、SOD(超氧化物歧化酶)、GSH-Px(谷胱甘肽过氧化物酶)检测, 可以反映脂质氧化损伤的程度^[17]。如图 4 所示, 与 CG 组(208.28 ± 18.32 U/mL, 251.47 ± 34.12 U/mL)相比, MG 组 SOD(140.21 ± 16.59 U/mL)、GSH-Px(201.28 ± 28.9 U/mL)酶活性显著降低($P<0.01$, $P<0.05$), MDA(6.41 ± 0.245 mmol/mL)、CHE(202.38 ± 12.69 U/mL)水平显著升高($P<0.01$), 说明高脂饮食对于大鼠血清脂质代谢指标产生了影响。给予荞麦、玉米和荞麦玉米复配物干预后, 与 MG 组相比, 显著提高了 SOD、GSH-Px 酶活; 降低了 MDA、CHE 水平。其中, YQG 组效果显著($P<0.05$), 另外, YQG 组与 PG 组相比无较大差异, 表明 YQG 能够缓解高血脂饮食大鼠脂质过氧化的情况。

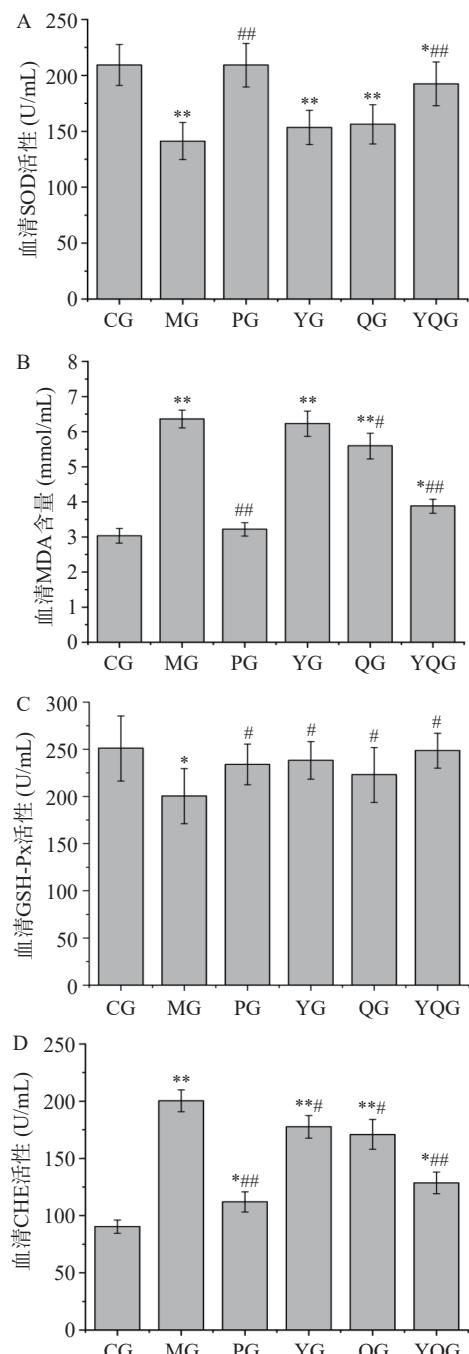


图4 玉米荞麦复配粉对高脂血症饮食大鼠血清 SOD、MDA、GSH-Px、CHE 水平的影响

Fig.4 Effect of corn buckwheat complex powder on serum SOD, MDA, GSH-Px, CHE levels in hyperlipidemic rats

2.7 玉米荞麦复配粉对高脂血症大鼠肝脏中 SOD、MDA 的影响

玉米荞麦复配物对高脂血症大鼠肝脏中 SOD、MDA 影响如图 5 所示, 与 CG 组相比, MG 组大鼠肝脏 SOD 酶活显著降低、MDA 含量显著升高 ($P<0.01$), 说明肝脏抗氧化能力有较大受损。与 MG 组相比, YG、QG、YQG 三组 SOD 酶活均升高, MDA 含量均降低。其中, YQG 组表现出极显著效果 ($P<0.01$), 另外, YQG 组与 PG 组相比无较大差异, 这表明 YQG 可以在体内发挥良好的抗氧化活性。

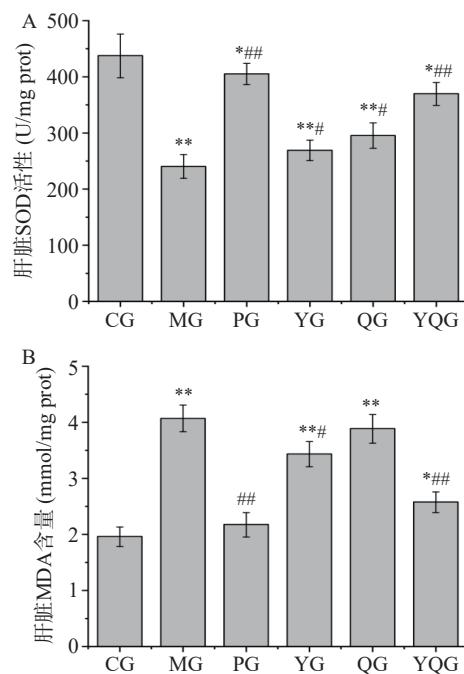


图5 玉米荞麦复配粉对高脂血症饮食大鼠肝脏 SOD、MDA 水平的影响

Fig.5 Effect of corn buckwheat complex powder on liver SOD and MDA levels in hyperlipidemic diet rats

2.8 玉米荞麦复配粉对高脂血症大鼠肝组织病理学变化的影响

根据图 6 可知, 空白组大鼠的肝细胞结构完整,

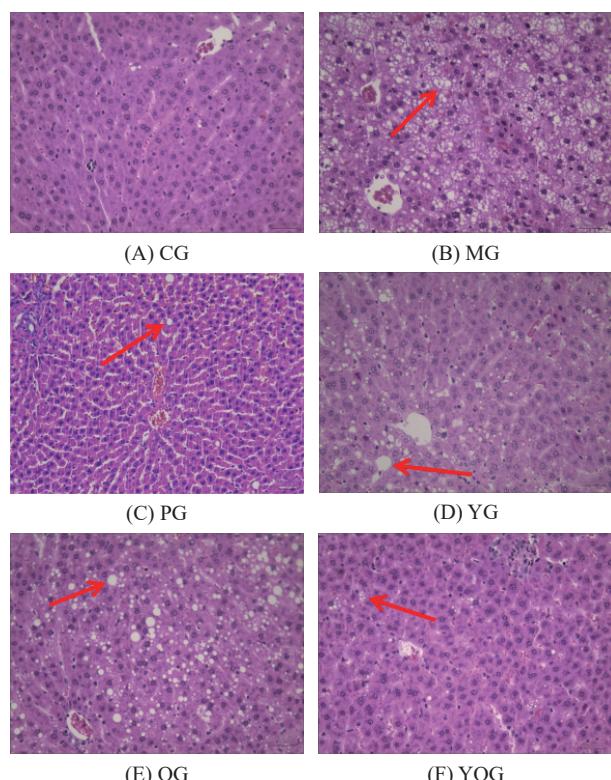


图6 玉米荞麦复配粉对高脂血症饮食大鼠肝组织病理学变化的影响

Fig.6 Effect of corn buckwheat complex powder on pathological changes of liver tissue in rats fed with hyperlipidemia diet

无脂肪空泡的形成; 模型组大鼠的肝细胞分布紊乱, 胞内可见大量脂肪空泡, 表明高脂血症模型大鼠的脂肪肝形成。与模型组比较, 玉米组、荞麦组、玉米荞麦复配粉组大鼠的肝脏组织病理学变化均有不同程度减轻, 肝细胞的分布较整齐, 大泡性脂滴减少, 其中, 玉米荞麦复配剂组的改善最明显。结果提示, 使用玉米荞麦复配粉喂养可以有效地改善高脂血症大鼠的肝脏脂肪病变情况。

3 讨论

近年来, 我国高血压、高脂血症发病率逐年上升, 已成为危害我国居民身体健康最主要的疾病, 高血脂症可以增加其他血管冠心病(CHD)和动脉粥样硬化性疾病(ASHD)的风险, 严重影响患者的生活质量和身心健康^[18]。目前, 对高脂血症的防治大多以西药为主, 但是长期服用对身体副作用大^[19-20]。玉米具有多种特殊的生物活性, 如具有调节血糖和血脂代谢的作用; 荞麦中膳食纤维和黄酮类化合物等成分可以发挥降血脂功能。因此, 本研究以玉米荞麦复配联合降脂作用为基础, 旨在探讨玉米荞麦复配粉对高血脂饮食大鼠血脂的调节作用及对肝脏损伤的修复能力。

目前, 评估高血脂症的关键指标包括 TG、TC、HDL 和 LDL, TG 是人体各种脂肪组织中的主要成分, 如果在体内含量过高, 过剩的甘油三酯会被贮存在器官及皮下, 极易造成肥胖。此外, TG 易贮存沉积在血管上, 造成动脉硬化, 从而引起心梗、脑梗等心脑血管病, 还会造成胰腺等器官组织的急性炎症, 进而危及生命。TC 在人体内的主要作用是合成细胞浆膜、类固醇激素和胆汁酸, 其含量高于正常值是诱发动脉粥样硬化发生的危险因素。HDL 可以把血液中的脂肪运送到肝脏贮存以及分解代谢, 进而起到预防心脑血管病发生及动脉粥样硬化的作用。LDL 是将血液中的脂肪运送到血管内皮中的一种运输工具, 其体内含量越高, 被运送到血管内皮中的脂肪就越多, 血管就会变得越厚、弹性越差, 这是引起动脉粥样硬化和斑块形成最危险的因素^[21]。临床中, 大多以 HDL-C 降低, TG、TC 和 LDL-C 升高作为高脂血症评判的标准^[22]。本研究以大鼠为研究对象, 实验干预 4 周, 构建高脂大鼠模型, 其中 PG 组、MG 组、YG 组、QG 组、YQG 组的 LDL-C、TG、TC 的水平显著高于 CG 组, 而 HDL-C 含量显著低于 CG 组, 研究结果与谢琳琳等^[23]研究荞麦槲皮素对高脂饮食大鼠的降脂作用具有相似性; 与王丹等^[24]对高血脂模型大鼠饲喂含 8% 荞麦粉的高脂模型饲料, 其血清 TC 和 TG 水平显著降低($P<0.05$), HDL-C 水平显著升高($P<0.05$), 结果具有相似性。经喂食杂粮玉米、荞麦及玉米荞麦复配粉 4 周后, 发现高脂饮食大鼠血清中 TG、TC 和 LDL-C 含量均表现出不同程度降低, HDL-C 的含量表现出显著上升趋势, 表明 YG、QG、YQG 均能改善肝脏脂质沉积, 具有调节脂质代谢的作用, 且 YQG 改善血脂的效果最好, 具有

进一步开发利用的前景。

肝脏是人体内脂肪代谢的场所, 食物中的脂肪会在小肠内进行分解, 以甘油和脂肪酸的形式进行吸收, 在肝细胞内重新合成为甘油三酯及脂肪, 然后由载脂蛋白运出肝脏运送到皮下进行储存^[25-26]。ALT 和 AST 是衡量肝功能或者肝损伤的两个指标。ALT 与 AST 主要分布在肝细胞内, 一小部分存在于肌肉细胞内。如果肝脏受损或损坏, 肝细胞中的转氨酶便进入血液, 血液中 ALT 和 AST 水平升高, 提示肝脏疾病信号。实验分析表明, 相较于 MG 组, YG 组、QG 组、YQG 组的 AST、ALT 活力均表现出下降趋势。YQG 组相较于 YG 组和 QG 组, 其下降幅度最大, 肝脏切片结果表明 YQG 组肝细胞的分布较整齐, 大泡性脂滴减少, 表明 YQG 治疗后的肝损伤程度最小, 对肝脏具有一定的保护作用。研究结果与王柳等^[27]在研究熊胆救心丸对高脂血症大鼠脂代谢紊乱的调节作用及机制研究中的结论具有一致性, 表明玉米荞麦复配粉在缓解肝脏疾病方面具有一定研究价值。

机体在清除体内老化的细胞或者遭受严重的刺激时, 体内会产生超量的活性氧自由基、活性氮自由基等高活性分子, 一旦超出机体自身抗氧化调节能力, 氧化和抗氧化系统则会失衡, 导致体内组织的损伤^[28]。氧化应激产生的自由基可以直接或间接氧化或损伤 DNA、蛋白质和脂质, 生物体内, 自由基作用于脂质发生过氧化反应, 氧化终产物为 MDA, 具有细胞毒性。CHE 主要在肝脏形成, 占总胆固醇四分之三, 其变化与总胆固醇基本一致。SOD 是一种常见的抗氧化酶, 在清除体内的自由基、超氧自由基、保护细胞方面起重要作用。GSH-Px, 一种重要的过氧化物分解酶, 在机体内广泛存在, 主要的作用是避免氧化物对细胞膜的结构及功能的干扰和损害。实验分析表明, 相较于模型组, PG 组、YG 组、QG 组、YQG 组的 MDA、CHE 水平均有所下降; SOD 和 GSH-Px 水平均有所提高。提示 YG、QG、YQG 可以提高高脂血症大鼠血清和肝脏中的抗氧化活性, 修复肝脏损伤, 与李想等^[29]、刘美宏等^[30]在研究玉米须水煎剂及与米黄素对高脂血症小鼠血脂的影响研究中的结论具有一致性。

4 结论

本文探究了玉米荞麦复配物对高脂血症大鼠的影响, 通过前期实验确定了玉米与荞麦降血脂最佳复配比例为 2.5:1, 可有效调节高脂血症大鼠血脂异常, 降低血清甘油三酯、血清总胆固醇、低密度脂蛋白胆固醇含量, 回调高密度脂蛋白胆固醇、谷胱甘肽过氧化物酶、总超氧化物歧化酶水平, 差异有显著性($P<0.05$ 或 $P<0.01$)。并且玉米、荞麦、玉米荞麦复配粉的摄入提高了肝脏抗氧化能力的同时还可以修复肝损伤, 其中, 玉米荞麦复配粉降脂效果更好, 可以达到更好的保护肝脏的效果。总之, 玉米荞麦复配物

的摄入可以有效抑制高脂血症大鼠脂质指标异常,有效保护肝脏组织,这一研究结果为玉米荞麦相关功能性产品研发提供了理论依据。

© The Author(s) 2024. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

参考文献

- [1] 王佳.“肠-肝-脑”轴介导的番茄红素改善糖脂代谢紊乱及认知障碍的作用机制研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2019. [WANG Jia. Study on the mechanism of lycopene mediated by "gut-liver-brain" axis to improve glucose lipid metabolism disorder and cognitive impairment[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2019.]
- [2] 刘燕红. 中国人群高脂血症遗传风险和环境因素调查[D]. 合肥: 安徽大学, 2017. [LIU Yanhong. Investigation on genetic risk and environmental factors of hyperlipidemia in Chinese population [D]. Hefei: Anhui University, 2017.]
- [3] DENG M, ZHANG S, DONG L, et al. Shatianyu (*Citrus grandis* L. Osbeck) flavonoids and dietary fiber in combination are more effective than individually in alleviating high-fat-diet-induced hyperlipidemia in mice by altering gut microbiota[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2022, 70(46): 14654–14664.
- [4] MCCRINDLE B W. Hyperlipidemia in children[J]. *Thrombosis Research*, 2006, 118(1): 49–58.
- [5] LI Y, GONG W, LIU J, et al. Angiopoietin-like protein 4 promotes hyperlipidemia-induced renal injury by down-regulating the expression of ACTN4[J]. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 2022, 595: 69–75.
- [6] 王鹏, 严妍, 于文君, 等. 他汀类药物不良反应的研究进展[J]. 中国医院药学杂志, 2016, 36(22): 2035–2039. [WANG Peng, YAN Yan, YU Wenjun, et al. Research progress of adverse reactions of statins[J]. Chinese Journal of Hospital Pharmacy, 2016, 36(22): 2035–2039.]
- [7] 侯连涛. 多重视角下小麦-玉米轮作体系碳排放研究[D]. 长春: 吉林大学, 2022. [HOU Liantao. Study on carbon emissions of wheat-maize rotation system from multiple perspectives[D]. Changchun: Jilin University, 2022.]
- [8] OKOKON J E, NYONG M E. Antidiabetic and hypolipidemic activities of Zea mays husk extract and fractions[J]. *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants*, 2018, 24(2): 134–150.
- [9] ALEKSANDRA M, ANA P, MOJCA S, et al. Buckwheat-enriched instant porridge improves lipid profile and reduces inflammation in participants with mild to moderate hypercholesterolemia[J]. *Journal of Functional Foods*, 2017, 36: 186–194.
- [10] 师腾. 甜荞麦粉的营养复配及其面团、馒头品质研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2020. [WEI Teng. Study on nutritional compounding of sweet buckwheat flour and quality of dough and steamed bread [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2020.]
- [11] 范骏仁, 高润霖, 赵水平, 等. 中国成人血脂异常防治指南(2016年修订版)[J]. 中华健康管理学杂志, 2017, 11(1): 7–28. [ZHU Junren, GAO Runlin, ZHAO Shuiping, et al. Chinese adult guidelines for the prevention and treatment of dyslipidemia (2016 revision)[J]. Chinese Journal of Health Management, 2017, 11(1): 7–28.]
- [12] 张志伟. 玉米粉的营养复配及其加工品质改良研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2020. [ZHANG Zhiwei. Study on nutritional compounding of corn flour and improvement of its processing quality [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2020.]
- [13] 杨晓光, 王晓黎. 中国居民膳食指南2022|准则一食物多样, 合理搭配[J]. 中国食物与营养, 2022, 28(8): 2. [YANG Xiaoguang, WANG Xiaoli. Dietary guidelines for Chinese residents 2022| Guideline 1 Variety of foods and reasonable mix[J]. Chinese Food and Nutrition, 2022, 28(8): 2.]
- [14] 欧阳泽智. 红曲霉荞麦的固态发酵及其产物降血脂作用的研究[D]. 延吉: 延边大学, 2012. [OUYANG Zezhi. Study on solid state fermentation of buckwheat from monascus and the effect of its product on lowering blood lipid [D]. Yanji: Yanbian University, 2012.]
- [15] DUAN R, GUAN X, HUANG K, et al. Flavonoids from whole-grain oat alleviated high-fat diet-induced hyperlipidemia via regulating bile acid metabolism and gut microbiota in mice[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2021, 69(27): 7629–7640.
- [16] SHU X, WANG J, ZHAO L, et al. Bifidobacterium lactis TY-S01 protects against alcoholic liver injury in mice by regulating intestinal barrier function and gut microbiota[J]. *Helixion*, 2023, 9(7): 17878.
- [17] LEE S H, TAKAJASHI K, HATAKAWA Y, et al. Lipid peroxidation-derived modification and its effect on the activity of glutathione peroxidase 1[J]. *Free Radical Biology and Medicine*, 2023, 208: 252–259.
- [18] YU J N, CUNNINGHAM J A, THOUIN S R, et al. Hyperlipidemia[J]. *Primary Care: Clinics in Office Practice*, 2000, 27(3): 541–587.
- [19] 王贵平. 他汀类药物治疗高脂血症的研究进展[J]. 中国城乡企业卫生, 2021, 36(8): 42–44. [WANG Guiping. Research progress of statins in the treatment of hyperlipidemia[J]. China Urban and Rural Enterprise Health, 2021, 36(8): 42–44.]
- [20] 罗海东, 李振中. 辛伐他汀联合非诺贝特对比单用辛伐他汀治疗高脂血症疗效与安全性的系统评价[J]. 中国药房, 2015, 26(12): 1658–1661. [LUO Haidong, LI Zhenzhong. A systematic evaluation of the efficacy and safety of simvastatin combined with fenofibrate in the treatment of hyperlipidemia[J]. *Chinese Pharmacy*, 2015, 26(12): 1658–1661.]
- [21] AGUILAR-SALINAS C A, GÓMEZ-DÍAZ R A, CORRAL P. New therapies for primary hyperlipidemia[J]. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 2022, 107(5): 1216–1224.
- [22] 尼格尔热依·亚迪卡尔, 彭祺菲, 岳明, 等. 野山杏果肉不溶性膳食纤维对高脂血症大鼠肠道菌群及短链脂肪酸的影响[J]. 食品科技, 2022, 47(1): 190–195, 202. [NIGREYI Y, PENG Zhenfei, YUE Ming, et al. Effects of insoluble dietary fiber in apricot pulp on intestinal flora and short-chain fatty acids in hyperlipidemia rats [J]. *Food Science and Technology*, 2022, 47(1): 190–195, 202.]
- [23] 谢琳琳, 迟晓星, 董佳萍, 等. 荞麦槲皮素对高脂饮食大鼠脂代谢及脂肪因子的调节作用[J]. 现代食品科技, 2023, 39(5): 1–7. [XIE Linlin, CHI Xiaoxing, DONG Jiaping, et al. Effects of buckwheat quercetin on lipid metabolism and adipokine regulation in high-fat diet rats[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2023, 39(5): 1–7.]
- [24] 王丹, 张岚, 冯小雨, 等. 荞麦对高脂膳食大鼠肝脏中脂代谢相关酶及血清中蛋白的影响[J]. 食品工业科技, 2016, 37(10):

- 351–355. [WANG Dan, ZHANG Lan, FENG Xiaoyu, et al. Effects of buckwheat on lipid metabolism related enzymes in liver and egg white in serum of rats with high fat diet [J]. *Food Industry Science and Technology*, 2016, 37(10): 351–355.]
- [25] ALVES-BEZERRA M, COHEN D E. Triglyceride metabolism in the liver [J]. *Comprehensive Physiology*, 2017, 8(1): 1–8.
- [26] CSAKI L S, REUE K. Lipins: Multifunctional lipid metabolism proteins [J]. *Annual Review of Nutrition*, 2010, 30: 257–272.
- [27] 王柳, 杜欧, 耿福能, 等. 熊胆救心丸对高脂血症大鼠脂代谢紊乱的调节作用及机制 [J]. *华西药学杂志*, 2023, 38(3): 264–268.]
- [28] 卜志勇, 胡良蛟, 李晨, 等. 骨髓间充质干细胞局部移植联合雌二醇肌注治疗脊髓损伤 [J]. *中国组织工程研究*, 2018, 22(1): 53–58. [BU Zhiyong, HU Liangjiao, LI Chen, et al. Local transplantation of bone marrow mesenchymal stem cells combined with estradiol intramusculature for the treatment of spinal cord injury [J]. *Chinese Journal of Tissue Engineering*, 2018, 22(1): 53–58.]
- [29] 李想, 董文婷, 张旭, 等. 玉米须对高脂血症大鼠肝组织保护作用研究 [J]. *中医药理与临床*, 2021, 37(4): 84–90. [LI Xiang, DONG Wenting, ZHANG Xu, et al. Study on the protective effect of corn whisk on liver tissue of hyperlipidemia rats [J]. *Pharmacology and Clinic of Chinese Medicine*, 2021, 37(4): 84–90.]
- [30] 刘美宏, 刘回民, 谢佳函. 玉米黄素调控肥胖小鼠肝脏脂质及能量代谢作用 [J]. *中国食品学报*, 2019, 19(12): 31–38. [LIU Meihong, LIU Huimin, XIE Jiahan. Zeaxanthin regulates lipid and energy metabolism in liver of obese mice [J]. *Acta Food Sinica*, 2019, 19(12): 31–38.]