

全麦粉对高脂喂养小鼠糖脂水平和抗氧化能力的影响

修雪燕, 迪娜·木合亚提, 赵玉洁, 韩加

新疆医科大学公共卫生学院, 新疆 乌鲁木齐 830011

摘要: **目的** 探究全麦粉对高脂喂养小鼠血糖、血脂水平及抗氧化能力的影响。**方法** 32只3~4周龄雄性C57BL/6J小鼠随机分为4组, 每组8只, 正常对照组采用普通饲料喂养, 高脂饮食组采用高脂饲料喂养, 全麦粉组采用高脂饲料和全麦粉混合喂养, 精麦粉组采用高脂饲料和精麦粉混合喂养。每周测量并记录小鼠体重和摄食量。9周后剪尾取血测定空腹血糖 (FBG), 眼球取血测定总胆固醇 (TC)、三酰甘油 (TG)、低密度脂蛋白胆固醇 (LDL-C)、高密度脂蛋白胆固醇 (HDL-C)、超氧化物歧化酶 (SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶 (GSH-Px) 和丙二醛 (MDA) 水平; 处死后取脂肪组织称重。比较各组小鼠体重、总摄食量、Lee指数、脂肪指数、血糖、血脂和抗氧化指标。**结果** 与正常对照组比较, 高脂饮食组、全麦粉组和精麦粉组小鼠体重、总摄食量、Lee指数、脂肪指数和FBG升高, 血清GSH-Px水平降低; 高脂饮食组小鼠血清TC、TG、LDL-C和MDA水平升高 (均 $P<0.05$)。与高脂饮食组比较, 全麦粉组小鼠Lee指数和脂肪指数降低, 但差异无统计学意义 (均 $P>0.05$); 全麦粉组和精麦粉组小鼠血清TC、TG、LDL-C和MDA水平降低, 血清GSH-Px水平升高 (均 $P<0.05$)。**结论** 全麦粉可有效改善高脂喂养小鼠的血脂水平, 提高抗氧化能力, 但在本实验周期内全麦粉和精麦粉对小鼠的影响未表现出明显差异。

关键词: 全麦粉; 血糖; 血脂; 抗氧化

中图分类号: R589.2

文献标识码: A

文章编号: 2096-5087 (2024) 04-0365-04

Effects of whole wheat flour on glycolipid level and antioxidant capacity of high-fat fed mice

XIU Xueyan, Dina Muheyati, ZHAO Yujie, HAN Jia

School of Public Health, Xinjiang Medical University, Urumqi, Xinjiang 830011, China

Abstract: Objective To explore the effects of whole wheat flour on blood glucose and lipid levels and antioxidant capacity of high-fat fed mice. **Methods** Thirty-two male C57BL/6J mice at ages of 3 to 4 weeks were randomly divided into 4 groups with 8 mice in each group. The normal control group was fed with ordinary diet, the high-fat diet group was fed with high-fat diet, the whole wheat flour group was fed with high-fat diet and whole wheat flour, and the refined wheat flour group was fed with high-fat diet and refined wheat flour. Nine weeks later, blood was collected from the tail for measurement of fasting blood glucose (FBG), and blood was also collected from the eyeball to determine the levels of total cholesterol (TC), triglyceride (TG), low density lipoprotein cholesterol (LDL-C), high density lipoprotein cholesterol (HDL-C), superoxide dismutase (SOD), glutathione peroxidase (GSH-Px) and malondialdehyde (MDA). Adipose tissue was taken and weighed after death. Body weight, total food intake, Lee's index, adipose index, blood glucose, blood lipids, and antioxidant indicators were compared among the four groups of mice. **Results** Compared with the normal control group, the mice in the high-fat diet group, whole wheat flour group, and refined wheat flour group exhibited increased body weight, total food intake, Lee's index, and adipose index, as well as decreased GSH-Px levels; the high-fat diet group had elevated levels of TC, TG, LDL-C and MDA (all $P<0.05$). When compared to the high-fat diet group, the whole wheat flour group showed lower Lee's index and adipose index, but the difference was not statistically significant (both $P>0.05$). Both the whole wheat flour group and the refined wheat flour group had reduced levels

DOI: 10.19485/j.cnki.issn2096-5087.2024.04.021

基金项目: 国家自然科学基金项目 (82160611)

作者简介: 修雪燕, 硕士研究生在读, 公共卫生与预防医学专业

通信作者: 韩加, E-mail: yuerel.bat@163.com

of TC, TG, LDL-C, and MDA, as well as increased GSH-Px levels (all $P < 0.05$). **Conclusions** Whole wheat flour can effectively reduce the body weight of high-fat feeding mice, improve blood lipid levels, and enhance antioxidant capacity. However, there was no significant difference in the effects of whole wheat flour and refined wheat flour on mice during the experimental period.

Keywords: whole wheat flour; blood glucose; blood lipid; antioxidant

谷类食物是居民日常能量的主要来源,根据加工精度的不同,可分为精制谷物和全谷物。随着生活水平的提高,精制谷物已成为居民膳食的重要组成,但摄入过多的精制谷物会引起代谢紊乱、肥胖和2型糖尿病等疾病^[1]。全谷物是皮层、胚乳、胚芽的相对比例与完整颖果保持一致的谷物制品,是膳食纤维、抗氧化剂和植物化学物的重要来源^[2],相比精制谷物,全谷物营养更丰富^[3]。研究表明,全谷物食物可以降低血脂,降低血清葡萄糖水平,改善高胆固醇血症小鼠的脂质水平和抗氧化能力^[4-5]。本研究探究全麦粉对高脂饲料喂养小鼠的血糖、血脂及抗氧化的调节作用,为合理膳食和预防高血脂等相关疾病提供参考。

1 材料与方法

1.1 试剂与仪器

全麦粉和精麦粉购自新疆创新农产品开发集团有限公司。总胆固醇(TC)、三酰甘油(TG)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)、超氧化物歧化酶(SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)和丙二醛(MDA)试剂盒,均购自南京建成生物工程研究所。血糖仪和血糖试纸购自罗氏诊断产品(上海)有限公司;FA1004精密电子分析天平购自上海菁海仪器有限公司;TGL-16台式高速冷冻离心机购自湖南湘仪实验室仪器开发有限公司;SHA-CA水浴恒温振荡器购自北京市永光明医疗仪器有限公司;VM-96E涡旋振荡混合器购自韩国 Lab Companion 公司;Multiskan GO 型全波长酶标仪购自美国赛默飞世尔科技有限公司。

1.2 实验动物

32只3~4周龄雄性C57BL/6J小鼠,体重18~22g,由北京维通利华实验动物技术有限公司提供,实验动物使用许可证号:SCXK(京)2016-0006,动物合格证号:110011230100792068。饲养于SPF级屏障环境,温度20~24℃,相对湿度40%~70%,适应性喂养1周用于实验。动物饲料均购自北京科澳协力饲料有限公司,饲料生产许可证号:SCXK(京)2019-0003。本研究通过新疆医科大学实验动物伦理委员会审查,审批号:IACUC-20210309-09。

1.3 方法

1.3.1 动物分组及干预

32只小鼠按体重随机分为4组,每组8只。正常对照组采用普通饲料喂养;高脂饮食组采用高脂饲料喂养;全麦粉组采用高脂饲料和全麦粉混合喂养;精麦粉组采用高脂饲料和精麦粉混合喂养。普通饲料供能比为10%脂肪、20%蛋白质和70%碳水化合物;高脂喂养各组饲料供能比为45%脂肪、20%蛋白质和35%碳水化合物。实验期间小鼠自由饮食、饮水,定期更换鼠笼、饲料和水。

1.3.2 体重和摄食量测量

每周测量小鼠体重,每2d定时记录1次摄食量,每周测定各组小鼠的摄食量,并计算总摄食量。第9周末,禁食不禁水12h后,称体重,量体长(鼻尖至肛门距离),计算Lee指数。Lee指数=[体重(g)]^{1/3}÷体长(cm)×1000。

1.3.3 血糖、血脂及抗氧化指标测定

量完体长后,剪尾取血,采用血糖仪测定空腹血糖(FBG)。眼球取血置于EP管内,离心后取血清,-20℃保存。采用氧化酶法测定TC和TG,采用直接法测定LDL-C和HDL-C,采用WST-1法测定SOD,采用比色法测定GSH-Px,采用硫代巴比妥酸法测定MDA。严格按照试剂盒说明书要求操作。

1.3.4 脂肪指数计算

颈椎脱臼处死小鼠,解剖留取脂肪组织(皮下脂肪、肾周脂肪、睾周脂肪和肠系膜脂肪),0.9%生理盐水洗净后用吸水纸除去表面水滴,称重并记录,计算脂肪指数。脂肪指数(%)=(脂肪总质量÷体重)×100%。

1.4 统计分析

采用Excel 2010软件整理数据,采用SPSS 23.0软件统计分析。定量资料服从正态分布的采用均数±标准差($\bar{x} \pm s$)描述,组间比较采用单因素方差分析,进一步两两比较采用LSD法。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 各组小鼠体重、总摄食量、Lee指数和脂肪指数比较

实验前各组小鼠体重差异无统计学意义($P > 0.05$)。喂养9周后,与正常对照组比较,高脂饮食组、全麦粉组和精麦粉组小鼠体重、总摄食量、Lee指数和

脂肪指数升高(均 $P<0.05$)。与高脂饮食组比较,全麦粉组小鼠体重和总摄食量升高(均 $P<0.05$);全麦粉组

Lee指数和脂肪指数降低,但差异无统计学意义(均 $P>0.05$)。见表1。

表1 各组小鼠体重、总摄食量、Lee指数和脂肪指数比较($\bar{x}\pm s$)

Table 1 Comparison of body weight, total food intake, Lee's index and fat index of mice in each group ($\bar{x}\pm s$)

组别	体重/g		总摄食量/g	Lee指数	脂肪指数/%
	实验前	喂养9周			
正常对照组	21.16±0.61	27.71±0.54	179.18±4.73	3.05±0.09	3.04±0.48
高脂饮食组	21.23±0.70	31.43±1.10 ^①	200.79±5.88 ^①	3.26±0.06 ^①	7.93±1.66 ^①
全麦粉组	21.01±0.86	34.03±1.09 ^{①②}	211.42±0.62 ^{①②}	3.25±0.07 ^①	7.40±2.01 ^①
精麦粉组	21.30±0.64	32.15±1.62 ^①	202.37±4.66 ^①	3.32±0.07 ^①	7.44±1.59 ^①
F值	0.238	42.191	10.837	20.291	17.535
P值	0.869	<0.001	0.003	<0.001	<0.001

注: ①表示与正常对照组比较 $P<0.05$; ②表示与高脂饮食组比较 $P<0.05$ 。

2.2 各组小鼠血糖和血脂水平比较

与正常对照组比较,高脂饮食组、全麦粉组和精麦粉组小鼠FBG升高;高脂饮食组小鼠血清TC、TG和LDL-C水平升高(均 $P<0.05$)。与高脂饮食组比较,全麦粉组和精麦粉组小鼠血清TC、TG和LDL-C水平降低(均 $P<0.05$),且全麦粉组下降较多,但全麦粉组和精麦粉组差异无统计学意义($P>0.05$)。各组小鼠血清HDL-C水平差异无统计学意义(均 $P>0.05$)。见表2。

表2 各组小鼠血糖和血脂水平比较($\bar{x}\pm s$, mmol/L)

Table 2 Comparison of blood glucose and blood lipid levels of mice in each group ($\bar{x}\pm s$, mmol/L)

组别	FBG	TC	TG	LDL-C	HDL-C
正常对照组	5.25±0.48	3.64±0.49	0.58±0.05	0.76±0.17	2.64±0.50
高脂饮食组	6.90±0.19 ^①	4.41±0.55 ^①	0.93±0.09 ^①	0.94±0.08 ^①	2.15±0.20
全麦粉组	6.58±0.32 ^①	3.56±0.30 ^②	0.76±0.11 ^{①②}	0.70±0.09 ^②	2.54±0.41
精麦粉组	6.93±0.43 ^①	3.72±0.20 ^②	0.81±0.09 ^{①②}	0.75±0.12 ^②	2.35±0.18
F值	36.424	7.089	23.244	6.374	2.809
P值	<0.001	0.001	<0.001	0.002	0.058

注: ①表示与正常对照组比较 $P<0.05$; ②表示与高脂饮食组比较 $P<0.05$ 。

2.3 各组小鼠血清SOD、MDA和GSH-Px水平比较

与正常对照组比较,高脂饮食组小鼠血清MDA水平升高;高脂饮食组、全麦粉组和精麦粉组小鼠血清GSH-Px水平降低(均 $P<0.05$)。与高脂饮食组比较,全麦粉组和精麦粉组小鼠血清MDA水平降低,血清GSH-Px水平升高(均 $P<0.05$),但全麦粉组和精麦粉组差异无统计学意义($P>0.05$)。各组小鼠血清SOD水平差异无统计学意义(均 $P>0.05$)。见表3。

表3 各组小鼠血清SOD、MDA和GSH-Px水平比较($\bar{x}\pm s$)

Table 3 Comparison of serum SOD, MDA and GSH-Px levels of mice in each group ($\bar{x}\pm s$)

组别	SOD/ (U/mL)	MDA/ (nmol/mL)	GSH-Px/ (μ mol/L)
正常对照组	222.33±53.18	6.35±0.97	278.71±23.22
高脂饮食组	222.10±25.94	8.20±1.08 ^①	199.26±15.04 ^①
全麦粉组	235.66±19.10	6.80±1.26 ^②	257.53±14.39 ^{①②}
精麦粉组	223.15±27.45	6.81±0.74 ^②	233.33±17.53 ^{①②}
F值	0.300	4.871	29.091
P值	0.825	0.008	<0.001

注: ①表示与正常对照组比较 $P<0.05$; ②表示与高脂饮食组比较 $P<0.05$ 。

3 讨论

高脂饮食导致肥胖和代谢性疾病,而食用全谷物可以降低与不良生活方式有关疾病的发生风险^[4-5]。本研究发现全麦粉可以降低高脂饲料喂养小鼠的体重,降低血清TC、TG、LDL-C和MDA水平,升高GSH-Px水平,有效改善高脂喂养小鼠的血脂水平,提高抗氧化能力。

高脂饮食组小鼠体重、Lee指数和脂肪指数均高于正常对照组,提示高脂饲料喂养可增加小鼠肥胖程度。但全麦粉组小鼠体重高于高脂饮食组,与其他研究结果^[6]不一致,可能与全麦粉适口性好,摄入量较高有关,其具体原因有待进一步研究。夏雪娟等^[7]发现,摄入高剂量青稞全谷物后会显著增加大鼠体重,可能与不同谷物中的化学组成和含量存在差异,以及谷物中化合物之间的相互作用不同有关^[8]。

全谷物在降血糖方面的功效取决于多种因素,不同全谷物之间营养成分和生理特性存在差异,其降糖效果也不同^[3]。本研究发现,高脂饮食组、全麦粉组

和精麦粉组小鼠FBG水平高于正常对照组,全麦粉组和精麦粉组小鼠FBG水平与高脂饮食组差异无统计学意义,与MARVENTANO等^[9]研究结果不一致。这可能是因为完整麦粒和全麦面粉对血糖的影响不同,淀粉酶对完整麦粒淀粉的降解受到细胞壁阻碍,但研磨会破坏麦粒的物理结构,增加淀粉的消化率,升高血糖^[10]。

高脂饮食组、全麦粉组和精麦粉组小鼠血清TC、TG和LDL-C水平高于正常对照组,提示高脂饲料引起小鼠体内脂代谢紊乱。全麦粉组和精麦粉组小鼠血清TC、TG和LDL-C水平低于高脂饮食组,且全麦粉组下降较多,提示全麦粉和精麦粉均可降低小鼠血脂水平,全麦粉降血脂效果较好,与张伊等^[1]报道一致。全麦粉中不溶性膳食纤维可促使胆汁酸的排泄增加,可溶性膳食纤维在胃肠道中溶解,出现凝胶状,阻碍脂肪吸收^[11]。此外,可溶性纤维更容易被肠道菌群发酵产生短链脂肪酸,短链脂肪酸在大肠中被迅速吸收,可减少肝脏中TC的合成,从而降低血清TC和LDL-C水平^[12-14]。

MDA是动物体内脂质过氧化最终代谢产物,可以反映机体脂质过氧化速率和强度,是组织损伤的指示物,其含量越高说明机体氧化损伤越严重^[15]。全麦粉组和精麦粉组小鼠血清MDA水平低于高脂饮食组,提示全麦粉和精麦粉可以发挥抗氧化能力。全麦粉组和精麦粉组小鼠血清GSH-Px水平升高,且全麦粉组升高更多。可能是由于血清中GSH-Px水平与硒浓度有关^[16],全麦粉保留了小麦胚芽、糊粉层和麸皮,硒含量丰富^[17]。硒是GSH-Px酶系的组成成分,加快分解脂质过氧化物,阻断脂质过氧化反应,起到保护细胞免受氧化损伤的作用,具有清除氧自由基的功能^[18]。

本研究结果显示,全麦粉和精麦粉均能降低高脂喂养小鼠的血脂水平和提高抗氧化能力,全麦粉效果较好,但全麦粉和精麦粉比较差异无统计学意义。一方面可能是因为全麦粉和精麦粉均含有膳食纤维(主要是不溶性纤维)、矿物质(镁、钙、硒)和植物化学物质(阿魏酸)等可以降低血脂和抗氧化的物质,但精麦粉中含量较低^[19];另一方面可能与实验周期较短有关,今后应延长干预时间,进一步对相关指标进行分析。

参考文献

[1] 张伊, 向雪松, 高超, 等. 不同品种和加工精度谷物对大鼠血糖和血脂的影响 [J]. 卫生研究, 2020, 49 (3): 434-441.
[2] MUSA-VELOSO K, POON T, HARKNESS L S, et al. The effects of whole-grain compared with refined wheat, rice, and rye on the postprandial blood glucose response: a systematic review and me-

ta-analysis of randomized controlled trials [J]. Am J Clin Nutr, 2018, 108 (4): 759-774.
[3] 中国营养学会. 中国居民膳食指南(2022) [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2022.
[4] MALIN S K, KULLMAN E L, SCELSI A R, et al. A whole-grain diet reduces peripheral insulin resistance and improves glucose kinetics in obese adults: a randomized-controlled trial [J]. Metabolism, 2018, 82: 111-117.
[5] SCHLESSINGER S, NEUENSCHWANDER M, SCHWEDHELM C, et al. Food groups and risk of overweight, obesity, and weight gain: a systematic review and dose-response meta-analysis of prospective studies [J]. Adv Nutr, 2019, 10 (2): 205-218.
[6] 木海热姆·杰力力, 吕梅霞, 于亚鹭, 等. 全小麦粉对肥胖者的减肥效果评价 [J]. 职业与健康, 2020, 36 (17): 2338-2342.
[7] 夏雪娟. 青稞全谷粉对高脂膳食大鼠胆固醇肝肠代谢的影响机制研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2018.
[8] ENGLYST K N, ENGLYST H N. Carbohydrate bioavailability [J]. Br J Nutr, 2005, 94 (1): 1-11.
[9] MARVENTANO S, VETRANI C, VITALE M, et al. Whole grain intake and glycaemic control in healthy subjects: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials [J]. Nutrients, 2017, 9 (7): 1-18.
[10] BELOBRAJIC D P, BIRD A R. The potential role of phytochemicals in wholegrain cereals for the prevention of type-2 diabetes [J/OL]. Nutr J, 2013 [2024-02-29]. <https://doi.org/10.1186/1475-2891-12-62>.
[11] LI X F, SHI Y, WEI D Q, et al. Impact of a high dietary fiber cereal meal intervention on body weight, adipose distribution, and cardiovascular risk among individuals with type 2 diabetes [J/OL]. Front Endocrinol (Lausanne), 2023 [2024-02-29]. <https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1283626>.
[12] 张泽鹏, 郭展鹏, 倪钰玥, 等. 植物乳杆菌 JX025073.1 对小鼠血脂和肠道菌群的调节作用 [J]. 预防医学, 2021, 33 (9): 893-896.
[13] SOLIMAN G A. Dietary fiber, atherosclerosis, and cardiovascular disease [J]. Nutrients, 2019, 11 (5): 1-11.
[14] 刘美佟, 崔鲁炜, 李梓民, 等. 决明子、红曲、银杏叶和丹参复合物对大鼠血脂水平的影响 [J]. 预防医学, 2019, 31 (2): 132-135.
[15] YAO Y J, WANG H L, XU F R, et al. Insoluble-bound polyphenols of adlay seed ameliorate H₂O₂-induced oxidative stress in HepG2 cells via Nrf2 signalling [J]. Food Chem, 2020, 325: 1-9.
[16] 薛文韬, 严俊, 杨荣志, 等. 硒酸钠对小麦谷胱甘肽过氧化物酶活性的影响 [J]. 贵州农业科学, 2010, 38 (12): 89-91.
[17] 刘月, 丑建栋, 陈玥璋, 等. 小麦胚芽的营养功能成分及综合利用研究进展 [J]. 食品工业科技, 2022, 43 (12): 457-467.
[18] 孙长颖. 营养与食品卫生学 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2017.
[19] HARRIS K A, KRIS-ETHERTON P M. Effects of whole grains on coronary heart disease risk [J]. Curr Atheroscler Rep, 2010, 12 (6): 368-376.

收稿日期: 2023-11-06 修回日期: 2024-02-29 本文编辑: 徐亚慧