

## 黑小麦粉对高脂血症大鼠脂代谢的影响

兰素缺<sup>1</sup>, 孟雅宁<sup>2</sup>, 李光威<sup>1</sup>, 王 绵<sup>3</sup>, 张业伦<sup>1\*</sup>, 李杏普<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>河北省农林科学院粮油作物研究所 河北省作物遗传育种实验室

农业农村部作物基因资源与种质创制河北科学观测实验站 石家庄 050035

<sup>2</sup>河北省农林科学院经济作物研究所 石家庄 050051

<sup>3</sup>河北医科大学第二医院 石家庄 050000)

**摘要** 目的:探讨黑小麦粉对高脂血症大鼠血脂的调节作用及肝肾功能的影响,为高脂血症的合理饮食奠定基础。方法:50只大鼠按体重随机被分为5组,每组10只。对正常对照组大鼠饲喂标准饲料,其余4组大鼠饲喂高脂饲料诱导血脂异常。高脂血症大鼠分为模型对照组、黑小麦高剂量组、中剂量组和低剂量组。连续饲养6周,检测大鼠血脂、体重等,观察肝脏、肾脏病理切片。结果:1)黑小麦不同剂量组大鼠体重增加均显著低于正常对照组,并且高剂量组显著低于模型对照组。2)黑小麦各组大鼠的血脂水平显著降低,且TC和LDL低于模型对照;不同剂量组间血脂水平无明显差异。3)病理检测表明,与模型对照相比,黑小麦各组肝细胞脂肪变性程度较低,肾组织病变减轻。结论:黑小麦粉能减轻大鼠体重,改善大鼠脂代谢紊乱,减轻高脂血症对肝脏、肾脏损伤。

**关键词** 黑小麦; 高脂血症; 脂代谢; 体重

文章编号 1009-7848(2022)06-0161-07 DOI: 10.16429/j.1009-7848.2022.06.017

高脂血症是冠心病、动脉粥样硬化等心脑血管疾病发病的潜在危险因素<sup>[1-5]</sup>,严重的危害人体健康。目前,高脂血症患者通过药物治疗效果显著,然而长期服用药物副作用较大<sup>[6]</sup>。高脂血症是一种与饮食息息相关的疾病<sup>[7]</sup>,不节制的摄入过多动物脂肪,导致机体代谢的紊乱和血脂的不平衡。大量研究表明<sup>[8-11]</sup>,高脂血症患者通过调整饮食和改善生活方式,来改善机体脂代谢的紊乱,达到比较理想的血脂调节效果。通过食用有降脂作用的食物来预防高脂血症引起的慢性病,已成为食品营养科学研究领域的热点。

黑小麦具有丰富的营养价值<sup>[12-15]</sup>。黑小麦含有人体必需的多种矿物质和微量元素、丰富的氨基酸、蛋白质、天然黑色素。国内外学者开展黑小麦和黑麦产品对血脂的影响研究,如刘厚福<sup>[16]</sup>研究指出,两种加工工艺的全黑小麦粉均能显著降低

高脂血症大鼠血清TC、TG水平及血清LDL水平,使血清HDL水平升高,全黑小麦粉能够改善大鼠脂代谢紊乱。Lundin等<sup>[17]</sup>对黑麦面包的研究表明,黑麦面包能够显著降低患者的血浆胆固醇、总胆固醇和甘油三酯含量。Katri等<sup>[18]</sup>研究表明,全黑麦面包能有效降低男性血清总胆固醇和低密度脂蛋白胆固醇浓度。本课题组研究<sup>[19]</sup>得出,黑小麦新品种冀紫439面粉能够降低糖尿病患者餐后血糖,不同黑小麦粉对糖尿病患者的餐后血糖效果不同。那么,黑小麦品种是否有降脂作用?不同剂量降脂水平是否有差异?针对这些问题,课题组进行相关研究,探讨不同剂量黑小麦粉对大鼠体重及对大鼠脂代谢指标的影响,为预防高脂膳食所致疾病,开发黑小麦降血脂产品提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

1.1.1 实验动物 SD大鼠50只,雄性,SPF级,体重180~210g,辽宁长生生物技术股份有限公司提供,许可证号:SCXK(辽)2015-0001。

1.1.2 受试样品 胆固醇、胆酸钠,河南一品食化有限公司;蛋黄粉,北京市开元饲料有限责任公司;猪油,临沂新程金锣肉制品集团有限公司;黑

收稿日期:2021-06-24

基金项目:国家重点研发计划项目(2021YFD1200601);河北省重点研发项目(19226361D);河北省现代农业产业技术体系小麦创新团队项目(21326318D)

作者简介:兰素缺(1967—),女,学士,研究员

通信作者:张业伦 E-mail: zhang-ye-lun@126.com

小麦粉为冀紫 439 的面粉 (去除 15% 的麸皮), 该黑小麦品种为河北省农林科学院粮油作物研究所小麦资源课题组培育, 普通小麦粉从超市购买。试验所用饲料均由河北医科大学实验动物中心加工制作。正常对照组、模型对照组、高剂量组、中剂量组和低剂量组饲料配方见表 1。高脂饲料配方构成比: 基础饲料 78.8 g/100 g, 胆固醇 1 g/100 g, 胆酸钠 0.2 g/100 g, 猪油 10 g/100 g, 蛋黄粉 10 g/100 g。

1.1.3 试剂 高密度脂蛋白胆固醇试剂盒 (K075)、低密度脂蛋白胆固醇试剂盒 (K076), 长春汇力生物技术有限公司; 甘油三酯试剂盒 (AUZ3592)、总胆固醇试剂盒 (AUZ3625), 贝克曼库尔特实验系统有限公司。

## 1.2 动物模型的建立

将 50 只大鼠分笼饲养, 适应性饲养 7 d 后正式开始试验。在试验环境下, 10 只作为正常对照组继续喂养基础饲料, 其余 40 只大鼠均改为喂养高脂饲料, 继续喂养 4 周后, 正常对照组和高脂饲料组分别尾静脉采血, 取血后尽快分离血清, 检测其 TC、TG、HDL、LDL 含量, 结果表明, 高脂喂养组血清 TC、TG 和 LDL 明显高于对照组 ( $P < 0.05$ )。这表明脂代谢紊乱大鼠造模成功<sup>[20-21]</sup>。

## 1.3 试验设计

试验分 5 组, 每组均为 10 只大鼠。一组为正常对照组, 在整个试验过程一直用基础饲料饲养; 另外 4 组利用脂代谢紊乱的模型大鼠进行试验, 分为模型对照组和 3 个黑小麦组。模型对照组饲料含有 60% 的普通面粉; 3 个黑小麦组为高剂量、中剂量和低剂量, 饲料中分别为 60%、45% 和 30% 的黑小麦粉。连续饲养 6 周, 试验结束, 评价不同黑小麦剂量组与模型对照组和正常对照组脂代谢的差异。

## 1.4 检测项目

试验期间, 每周对所有试验鼠进行称重, 并在试验结束时称重。

连续饲养 6 周试验结束后, 将大鼠用 4% 水合氯醛 10 mL/kg 腹腔注射麻醉, 内眦静脉取血, 将静脉血室温静置 3 h, 置于 1 500 r/min 离心机中离心 10 min, 取上清液, 测定血清胆固醇 (TC)、甘油三酯 (TG)、高密度脂蛋白 (HDL)、低密度脂蛋白 (LDL)。

表 1 大鼠饲料成分构成 (g/100 g)

Table 1 Ingredient composition of the diets fed to rat (g/100 g)

组别	正常对	模型对			
	照组 (基础 饲料)	照组(普 通面粉 组)	高剂 量组	中剂 量组	低剂 量组
黑小麦粉			60	45	30
普通面粉	25	60			
小米面				15	15
玉米面	27				
黄豆面	21	13	13	13	13+15
麸皮	15	15	15	15	15
鱼粉	8	8	8	8	8
维生素等	4	4	4	4	4

解剖大鼠, 然后取出肝、肾组织, 置于冷生理盐水中洗去多余血液, 用滤纸吸干多余水分, 然后测定各脏器质量, 取出的脏器置于多聚甲醛溶液中固定, 脏器与溶液体积比例为 1:10, HE 染色病理切片。

## 1.5 统计学处理

数据采用 SPSS19.0 统计学软件分析。数据用  $\bar{x} \pm s$  表示, 两组间比较采用独立样本  $t$  检验,  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 不同剂量黑小麦粉对高脂症大鼠体重的影响

利用添加了不同剂量的黑小麦粉和普通小麦粉的饲料为受试物对脂代谢紊乱的大鼠进行饮食干预, 试验期间, 大鼠生长良好, 正常对照组及各试验组大鼠体重均稳定增长, 正常对照组的大鼠体重增加的最快, 增重比最高, 模型对照组次之, 黑小麦低剂量组的大鼠体重增加得最慢。成模初始、膳食干预第 3 周和第 6 周大鼠的体重和增重比进行比较得出 (见表 2): 在第 3 周和第 6 周, 模型对照组和 3 个黑小麦剂量组的大鼠体重增重比明显低于正常对照组 ( $P < 0.05$ ); 并且在第 3 周所有黑小麦剂量组的大鼠体重增重比均显著低于模型对照组 ( $P < 0.05$ ), 第 6 周高剂量组和低剂量组

显著低于模型对照 ( $P < 0.05$ ); 各级剂量差异不显著 ( $P > 0.05$ )。由此表明黑小麦粉具有一定的控制高脂血症大鼠体重的作用。

表2 膳食干预不同时期各组大鼠体重增重比

Table 2 Weight-gain-ratio of rats in each group at different periods of dietary intervention

分组		体重/g			增重比	
		体重1	体重2	体重3	增重比(2vs1)	增重比(3vs1)
黑小麦高剂量组	A	379.87 ± 15.88	458.96 ± 23.5	513.28 ± 28.8	20.81%***#	35.09%***#
黑小麦中剂量组	B	374.64 ± 29.16	446.37 ± 37.28	509.44 ± 46.07	19.23%***#	36.04%**
黑小麦低剂量组	C	367.74 ± 21.05	446.07 ± 28.19	494.27 ± 25.90	21.27%***#	34.47%***#
模型对照组	DC	368.7 ± 23.52	466.99 ± 27.44	511.71 ± 34.51	26.77%**	41.03%**
正常对照	NC	338.38 ± 11.60	449.62 ± 9.80	518.37 ± 11.02	33.00%	53.32%

注: 体重1: 成模后初始体重; 体重2: 膳食干预后第3周末体重; 体重3: 膳食干预后第6周末体重; \* 和 # 分别表示与正常对照和模型对照相比的显著性; \*, # 表示显著; \*\*, ## 表示极显著。

## 2.2 不同剂量黑小麦粉对高脂血症大鼠血脂的影响

膳食干预6周后试验结束, 测定血清TC、TG、HDL、LDL含量, 结果见表3。与膳食干预前相比, 模型对照组、黑小麦高剂量组、中剂量组和低剂量组大鼠血清TC、TG、HDL、LDL均显著降低 ( $P <$

0.05); 模型对照组、黑小麦各剂量组的大鼠血清TC、TG、HDL、LDL接近于正常鼠。与模型对照相比, 黑小麦不同剂量组血清TC和LDL水平均呈下降趋势, 只有低剂量组TC值与模型对照差异显著 ( $P < 0.05$ ), 其它均无显著差异 ( $P > 0.05$ )。

表3 不同组别各大鼠血清TC、TG、HDL、LDL

Table 3 The serum levels of TC, TG, HDL, LDL in different groups

时间	分组	TG/mm $\cdot$ L $^{-1}$	TC/mm $\cdot$ L $^{-1}$	HDL/mm $\cdot$ L $^{-1}$	LDL/mm $\cdot$ L $^{-1}$
膳食干预前	模型鼠	1.16 ± 0.40	3.09 ± 0.43	0.92 ± 0.16	2.13 ± 0.30
膳食干预6周后	黑小麦高剂量组	0.66 ± 0.25	2.14 ± 0.34	0.45 ± 0.06	1.40 ± 0.30
	黑小麦中剂量组	0.85 ± 0.42	2.07 ± 0.29	0.42 ± 0.05	1.37 ± 0.42
	黑小麦低剂量组	0.76 ± 0.25	1.95 ± 0.36*	0.42 ± 0.08	1.19 ± 0.38
	模型对照组	0.69 ± 0.31	2.33 ± 0.44	0.57 ± 0.13	1.44 ± 0.35
饲养6周后	正常对照组	0.71 ± 0.12	2.07 ± 0.26	0.43 ± 0.15	1.35 ± 0.42

注: \* 表示与模型对照比较的显著性 ( $P < 0.05$ )。

## 2.3 黑小麦粉对高脂血症大鼠肝脏的影响

试验结束后, 对大鼠肝脏的病理组织进行分析得出: 与正常对照(见图1e、1j)相比, 模型对照组(见图1d、1i)肝小叶结构不清晰, 肝细胞索排列紊乱, 条索状消失, 几乎所有肝细胞均可见脂肪变性, 肝组织内可见大量大小不一的大面积脂肪空泡, 肝细胞大小不等, 部分细胞核被挤压移位。

与模型对照相比, 黑小麦各剂量组脂肪变性的程度均较轻。黑小麦各剂量组之间, 以低剂量组(图1c、1h)最轻, 低剂量组肝小叶结构完整, 肝细胞索排列相对整齐, 可见极少量肝细胞脂肪变性,

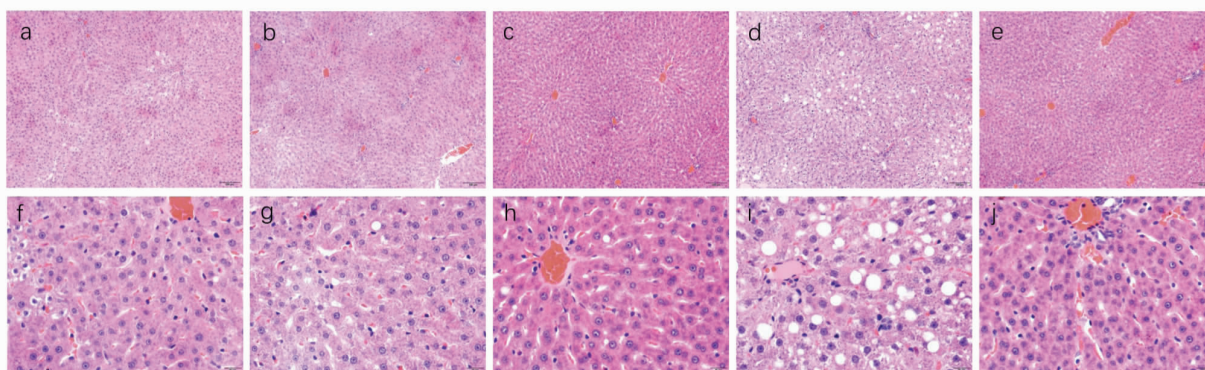
肝细胞大小均一, 胞核大而圆、居中央, 肝组织内可见零星几个脂肪空泡, 肝细胞大小相对整齐, 几乎未见细胞核被挤压移位现象。表明黑小麦粉具有改善大鼠肝脏脂代谢紊乱, 减轻肝脂肪变性的作用。

## 2.4 黑小麦粉对高脂血症大鼠肾脏的影响

试验结束后, 对大鼠肾脏的病理组织进行分析得出: 与正常对照组(图2e、2j)相比, 模型对照组(图2d、2i)肾组织结构疏松, 细胞排列紊乱, 肾小球、肾组织水肿明显, 肾小管上皮细胞形状不规则, 各细胞胞核位置紊乱, 近曲小管、远曲小管胞

质均匀萎缩,管腔内可见破碎、脱落的细胞,管腔间隙明显增宽,肾组织病变明显。与模型对照组相比,各剂量组肾组织病变均有不同程度的减轻,不同黑小麦组之间没有明显差异。均表现肾组织结

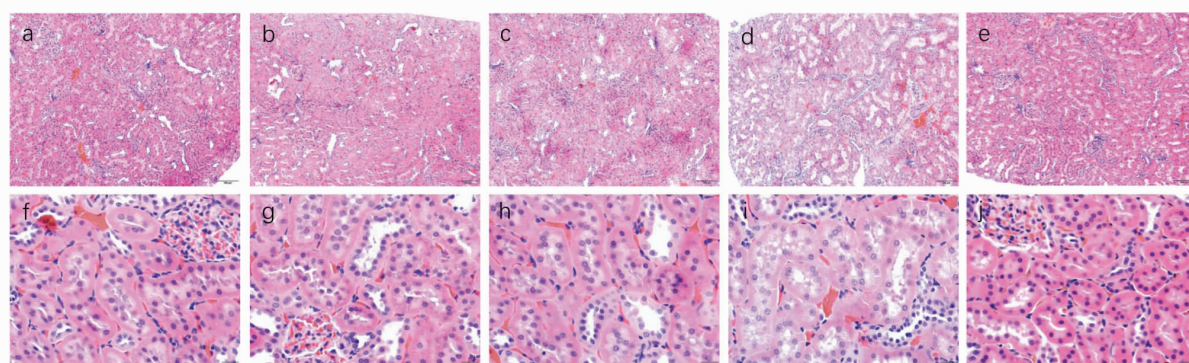
构均匀整齐,小管间质区结构较清楚,肾小管上皮细胞形状较规则,大小较一致,排列较整齐,细胞核居于细胞中央,管腔间隙正常。表明黑小麦粉可改善高脂血症大鼠肾脏病变,具有肾脏保护作用。



注:a~e, 10x, 比例尺=100 μm;f~j, 40x, 比例尺=20 μm;a,f:黑小麦高剂量组;b,g:黑小麦中剂量组;c,h:黑小麦低剂量组;d,i:模型对照组,模型鼠饲喂含 60%普通小麦粉饲料;e,j:正常对照组,饲喂标准饲料。

图 1 膳食干预 6 周后,大鼠肝脏病理切片

Fig.1 The liver of rats was examined with HE staining after six weeks of dietary intervention



注:a~e, 10x, 比例尺=100 μm;f~j, 40x, 比例尺=20 μm;a,f:黑小麦高剂量组;b,g:黑小麦中剂量组;c,h:黑小麦低剂量组;d,i:模型对照组,模型鼠饲喂含 60%普通小麦粉饲料;e,j:正常对照组,饲喂标准饲料。

图 2 膳食干预 6 周后,大鼠肾脏病理切片

Fig.2 The kidneys of rats were examined with HE staining after six weeks of dietary intervention

### 3 讨论

肥胖是高脂血症、心脑血管病等慢性疾病的主要危险因素,因此体重是一个重要的评估指标。在本研究中,从饲养第 3 周开始,每周大鼠体重与初始体重的增重比来看,普通面粉组(DC 组)和黑小麦剂量组(高剂量、中剂量和低剂量)每周的大鼠体重的增重比均明显低于正常对照组( $P < 0.05$ )。这与刘厚福<sup>[16]</sup>研究结果一致。第 6 周试验结束时,黑小麦高剂量组和低剂量组大鼠体重的增重比显著低于模型对照组(普通面粉组)。研究结果与刘厚福的结果略有不同,刘厚福的研究得

出黑小麦不同剂量组与模型对照组无差异。鉴于此,与刘厚福试验所用饲料的成分进行对比,该试验不同剂量组中黑小麦所占比例比刘厚福试验中高 10.9%~21.7%。这也进一步说明了黑小麦对高脂血症大鼠的体重有控制作用。另外,中剂量组大鼠体重增重比高于高剂量组,而低剂量组和高剂量组无差异。对剂量组饲料成分分析得出,低剂量组饲料的黑小麦的比例降低,但是添加了 15%的大豆粉,马立丽、褚斌杰和李晓军等研究表明<sup>[22-26]</sup>,大豆具有减肥降血脂作用,这也就解释了黑小麦低剂量组和高剂量组增重比无差异的原因。

本研究表明,经过饮食干预6周后,各剂量组大鼠的血脂水平明显降低,但与模型对照组没有明显差异。这与刘厚福的研究结果略有不同,刘厚福研究得出,膳食干预后,不同剂量组的血脂水平显著低于模型对照组。这可能是两者所用的面粉不同,刘厚福试验用面粉为全粉,而本研究所用面粉为去除15%麸皮的面粉。Wang等<sup>[27]</sup>认为小麦麸皮具有降脂作用。本研究所用黑小麦品种冀资439面粉Ca、Fe、Zn等矿质元素含量较高<sup>[28]</sup>。大量研究表明<sup>[29-32]</sup>,适当的补充锌、铜、钙、镁、硒,也可改善糖脂代谢紊乱。因此,这可能是黑小麦粉具有降脂作用的原因之一。

#### 4 结论

膳食干预后,3个黑小麦剂量组的增重比均低于模型对照组,并且高剂量组优于中剂量组,表明黑小麦粉具有一定的控制高脂血症大鼠体重的作用,且有一定的剂量效应;通过6周的饮食干预,不同黑小麦剂量组的高脂血症大鼠血清TG、TC、LDL水平明显降低,并且血清TC、LDL水平低于模型对照组;不同黑小麦剂量组的肝脏组织脂肪变性和肾损伤明显好于模型对照组。因此,黑小麦粉对控制高脂血症大鼠的体重和减轻大鼠肝脏脂肪病变、肾损伤的作用优于普通小麦。

(本研究由河北省农林科学院科技创新工程课题2019-2-5-2和2022KJCXZX-LYS-3资助完成)

#### 参 考 文 献

- [1] NAVAR-BOGGAN A M, PETERSON E D, SR D R, et al. Hyperlipidemia in early adulthood increases long-term risk of coronary heart disease[J]. *Circulation*, 2015, 131(1): 451-458.
- [2] YANG W Y, XIAO J Z, YANG Z J, et al. China national diabetes and metabolic disorders study investigators. serum lipids and lipoproteins in Chinese men and women[J]. *Circulation*, 2012, 125(18): 2212-2221.
- [3] AHMAD S, BEA Z H. Hypolipidemic and antioxidant activities of thymoquinone and limonene in atherogenic suspension fed rats[J]. *Food Chemistry*, 2013, 138(2/3): 1116-1124.
- [4] HONG Y, DENG C, ZHANG J, et al. Neuroprotective effect of granulocyte colony-stimulating factor in a focal cerebral ischemic rat model with hyperlipidemia[J]. *J Huazhong Univ Sci Technol Med Sci*, 2012, 32(6): 872-878.
- [5] 綦文涛, 王世霞, 李笑蕊, 等. 荞麦粉对高脂血症小鼠血脂和脂肪抗氧化功能的调节作用[J]. *中国食品学报*, 2018, 18(2): 65-70.
- QI W T, WANG S X, LI X R, et al. Regulation function of buckwheat on blood lipid and liver anti-oxidation of hyperlipemia mice[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2018, 18(2): 65-70.
- [6] 张茗, 任祝军, 赵丽芬, 等. 依折麦布联合小剂量普伐他汀治疗高胆固醇血症疗效观察[J]. *河北医药*, 2013, 35(15): 2301-2302.
- ZHANG M, REN Z J, ZHAO L F, et al. Effect of ezetimibe combined with low dose pravastatin on hypercholesterolemia[J]. *Hebei Medical Journal*, 2013, 35(15): 2301-2302.
- [7] 陈欢. 浅谈高脂血症的饮食预防和治疗[J]. *医学信息*, 2014, 27(10): 283-284.
- CHEN H. Talking about the prevention and treatment of hyperlipidemia diet[J]. *Journal of Medical Informatics*, 2014, 27(10): 283-284.
- [8] 郭远林, 李建军. 中国成人血脂异常防治指南(2016年修订版)亮点解读[J]. *中国医学前沿杂志*, 2017, 9(6): 12-14.
- GUO Y L, LI J J. Highlights of the guidelines for prevention and treatment of dyslipidemia in Chinese adults (Revised Edition 2016)[J]. *Chinese Journal of the Frontiers of Medical Science (Electronic Version)*, 2017, 9(6): 12-14.
- [9] GAO H T, CHENG W Z, XU Q, et al. Dietary restriction reduces blood lipids and ameliorates liver function of mice with hyperlipidemia[J]. *J Huazhong Univ Sci Technol (Med Sci)*, 2017, 37(1): 79-86.
- [10] ROSENTHAL R L. Effectiveness of altering serum cholesterol levels without drugs[J]. *Baylor University Medical Center Proceedings*, 2000, 13(4): 351-355.
- [11] JACOBSON T A, MAKI K C, ORRINGER C E, et al. National lipid association recommendations for patient-centered management of dyslipidemia: Part 2 [J]. *Journal of Clinical Lipidology*, 2015, 9(6): S1-112.

- [12] 刘玉平, 权书月, 李杏普, 等. 蓝、紫粒小麦蛋白质含量、氨基酸组成及其品质评价[J]. 华北农学报, 2002, z1: 103-107.  
LIU Y P, QUAN S Y, LI X P, et al. Protein content and acid composition and qualities of different blue or purple grain wheat[J]. *Acta Agriculturae Boreall-sinica*, 2002, z1: 103-107.
- [13] 李杏普, 兰素缺, 刘玉平. 蓝、紫粒小麦籽粒色素及其相关生理生化特性的研究[J]. 作物学报, 2003, 29(1): 157-158.  
LI X P, LAN S Q, LIU Y P. Studies on pigment and it's related physio-biochemical properties of blue or purple grain wheat [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2003, 29(1): 157-158.
- [14] 李杏普, 侯红军, 刘玉平, 等. 蓝、紫粒小麦的营养品质研究[J]. 华北农学报, 2002, 17(1): 21-24.  
LI X P, HOU H J, LIU Y P, et al. Studies of grain nutritional quality on wheat with blue or purple kernels[J]. *Acta Agriculturae Boreall-sinica*, 2002, 17(1): 21-24.
- [15] 胡秋辉, 陈历程, 吴莉莉, 等. 黑小麦营养成分分析及其深加工制品前景展望[J]. 食品科学, 2001, 22(12): 50-52.  
HU Q H, CHEN L C, WU L L, et al. Analysis study on rye nutritional components and prospect of Its deep processing products[J]. *Food Science*, 2001, 22(12): 50-52.
- [16] 刘厚福. 全黑小麦粉对脂代谢紊乱大鼠和高血糖小鼠的调节作用[D]. 济南: 山东大学, 2017.  
LIU H F. Regulatory function of rye whole wheat flour on lipid metabolism disorder rats and hyperglycemia mice[D]. Jinan: Shandong University, 2017.
- [17] LUNDIN E, ZHANG J, LAIRON D, et al. Effects of meal frequency and high-fibre rye-bread diet on glucose and lipid metabolism and ileal excretion of energy and sterols in ileostomy subjects[J]. *Eur J Clin Nutr*, 2004, 58(10): 1410-1419.
- [18] KATRI S. LEINONEN, KAISA S. POUTANEN, MYKKÄNEN HANNU M. Rye bread decreases serum total and LDL cholesterol in men with moderately elevated serum cholesterol[J]. *The Journal of Nutrition*, 2000, 130(2): 164-170.
- [19] LAN S Q, MENG Y N, LI X P, et al. Effect of consumption of micronutrient enriched wheat steamed bread on postprandial plasma glucose in healthy and type 2 diabetic subjects[J]. *Nutrition Journal*, 2013, 12: 64.
- [20] 国家食品药品监督管理局. 关于印发抗氧化功能评价方法等9个保健功能评价方法的通知: 国食药监保化[2012]107号[EB/OL]. (2012-04-23)[2021-02-24]. <http://law.foodmate.net/show-175630.html>.  
National Medical Products Administration. On the issuance of 9 health care function evaluation methods including antioxidant function evaluation method: China Food and Drug Administration [2012] 107[EB/OL]. (2012-04-23)[2021-02-24]. <http://law.foodmate.net/show-175630.html>.
- [21] GAO H T, CHENG W Z, XU Q, et al. Dietary restriction reduces blood lipids and ameliorates liver function of mice with hyperlipidemia[J]. *J Huazhong Univ Sci Technol [Med Sci]*, 2017, 37(1): 79-86.
- [22] 马立丽, 蒋卓勤, 李季芳. 大豆蛋白调节血脂的机理研究[J]. 大豆科学, 2009, 28(6): 1108-1111.  
MA L L, JIANG Z Q, LI J F. Mechanism of regulation of lipid metabolism by soy protein[J]. *Soybean Science*, 2009, 28(6): 1108-1111.
- [23] 王洋, 贾梦, 蔡莉, 等. 不同剂量大豆异黄酮降血脂作用比较[J]. 中国食物与营养, 2012, 18(8): 62-64.  
WANG Y, JIA M, CAI L, et al. Comparison of the effect of different dose of soy isflavones on blood lipid[J]. *Food and Nutrition in China*, 2012, 18(8): 62-64.
- [24] 褚斌杰, 祁高富, 梁运祥. 大豆肽减肥降血脂作用的研究[J]. 食品科技, 2011, 36(11): 65-68.  
CHU B J, QI G F, LIANG Y X. The effects of soybean peptide on reducing obesity and blood lipids in rat[J]. *Food Science and Technology*, 2011, 36(11): 65-68.
- [25] 李晓军, 马跃英, 王海霞, 等. 大豆卵磷脂降血脂功能的动物实验研究[J]. 中国微生态学杂志, 2015, 27(8): 878-880.  
LI X J, MA Y Y, WANG H X, et al. Regulatory effect of soybean lecithin on serum lipids in rats[J]. *Chinese Journal of Microecology*, 2015, 27(8): 878-880.
- [26] 李倩倩, 王艳, 罗旭, 等. 大豆低聚糖及其降血脂作用研究进展[J]. 核农学报, 2017, 31(9): 1788-1793.  
LI Q Q, WANG Y, LUO X, et al. Research progress of soybean oligosaccharides and their hypolipidemic activities[J]. *Journal of Nuclear Agriculture*

- tural Sciences, 2017, 31(9): 1788–1793.
- [27] WANG J, CAO Y P, WANG C T, et al. Wheat bran xylooligosaccharides improve blood lipid metabolism and antioxidant status in rats fed a high-fat diet[J]. Carbohydrate Polymers, 2011, 86(3): 1192–1197.
- [28] 张业伦, 兰素缺, 孟雅宁, 等. 黑小麦品种冀紫439的营养品质[J]. 河北农业科学, 2020, 24(2): 67–70.  
ZHANG Y L, LAN S Q, MENG Y N, et al. Nutritional quality of purple wheat variety Jizi 439[J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2020, 24(2): 67–70.
- [29] 余飞苑, 刘浩宇, 刘锡仪. 高脂饮食对小鼠脂代谢和矿物元素代谢的影响[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2007, 11(8): 1502–1504.  
YU F Y, LIU H Y, LIU X Y. Effect of high-fat diet on lipid metabolism and mineral element metabolism in mice[J]. Journal of Clinical Rehabilitative Tissue Engineering Research, 2007, 11(8): 1502–1504.
- [30] 潘璠, 李思汉, 阎万华, 等. 铜、锌对大鼠血脂水平影响的研究[J]. 营养学报, 1996, 18(4): 427–433.  
PAN F, LI S H, YAN W H, et al. Effects of Copper and zinc on the levels of serum lipid in rats[J]. Acta Nutrimenta Sinica, 1996, 18(4): 427–433.
- [31] 王学生, 徐国卉, 于萍. 锌钙镁与血脂及载脂蛋白关系探讨[J]. 微量元素与健康研究, 1998, 15(31): 20–21.  
WANG X S, XU G H, YU P. Study on the relationship between zinc, calcium, magnesium and blood lipids and apolipoproteins[J]. Studies of Trace Elements and Health, 1998, 15(31): 20–21.
- [32] 周丽丽, 樊晶光, 李思汉, 等. 缺锌和补锌对大鼠血清锌铜及血脂水平影响的研究[J]. 营养学报, 1995, 17(3): 302–307.  
ZHOU L L, FAN J G, LI S H, et al. Effects of zinc deficiency and supplement on the levels of serum zinc, Copper and lipids in rats[J]. Acta Nutrimenta Sinica, 1995, 17(3): 302–307.

### Effects of Black Wheat Flour on Lipid Metabolism in Hyperlipidemia Rats

Lan Suque<sup>1</sup>, Meng Yaning<sup>2</sup>, Li Guangwei<sup>1</sup>, Wang Mian<sup>3</sup>, Zhang Yelun<sup>1\*</sup>, Li Xingpu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Cereal and Oil Crops, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences / Hebei Laboratory of Crop Genetics and Breeding / Hebei Research Station of Crop Gene Resource & Germplasm Enhancement, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shijiazhuang 050035

<sup>2</sup>Institute of Cash Crops, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050051

<sup>3</sup>The Second Hospital of Hebei Medical University, Shijiazhuang 050000

**Abstract** Objective: The purpose of the study was to explore the effects of black wheat flour on hypolipidemic action, liver and kidney function of rat with hyperlipidemia, so as to lay the foundation of a dietary therapy for hyperlipidemia. Methods: A total of 50 rats were randomly divided into five groups according to their body weight, 10 rats in each group. The normal control group rats were fed with a standard diet, whereas the other four groups of rats were fed with a high-fat diet to induce dyslipidemia. Hyperlipidemia rats were randomly divided into dyslipidemia control group (DC) and black wheat flour high dose group, middle dose group and low dose group. Rats were fed with corresponding food for 6 weeks, blood lipid levels and body weight of the rats were detected, and the pathological sections of the liver and kidney tissues were observed. Results: 1) The weight-gain-ratio of all dose groups rats were significantly lower than that of the control group rats, and it was significantly lower in black wheat high dose group when compared to the DC group. 2) Compared with before dietary intervention, the blood lipid levels of rats in the three dose groups were significantly reduced, and TC and LDL were lower than that of the DC group, all dose groups serum levels is no statistically difference. 3) The pathological examination showed that the hepatocyte steatosis was at lower level, and renal lesion was alleviated in black wheat all dose groups, compared to the DC. Conclusions: Black wheat flour can lighten the weight of hyperlipidemia rats, ameliorate the lipid metabolism disorder effectively, alleviate the liver and kidney injury caused by hyperlipidemia.

**Keywords** black wheat; hyperlipidemia; lipid metabolism; body weight