

# 马铃薯抗性淀粉对高脂血症大鼠的降血糖血脂作用

尉迟邈<sup>1</sup>, 吴建美<sup>2</sup>, 高璐<sup>3</sup>, 刘登宇<sup>1</sup>, 曲琳<sup>1,2\*</sup>

(1. 内蒙古科技大学包头医学院, 内蒙古包头 014000) (2. 内蒙古综合疾病预防控制中心, 内蒙古呼和浩特 010000) (3. 内蒙古医科大学公共卫生学院, 内蒙古呼和浩特 010000)

**摘要:** 探究马铃薯抗性淀粉对高脂血症大鼠的降血糖血脂作用, 48 只大鼠, 按体重随机分成空白对照组和模型对照组, 高脂饲料饲喂 2 周后按总胆固醇 (TC) 水平随机分为 5 组: 高脂模型组, 阳性对照组, 马铃薯抗性淀粉高、中、低剂量组。干预 6 周, 测定各组大鼠的体质量、肝脏系数、血脂水平等指标, 并观察大鼠肝脏组织病理切片。结果发现, 与空白组比较, 高脂组体重增加 2.21%; 心脏、肝脏、肝脏系数、附睾周脂重均有所增加, 分别为 23.70%、85.84%、63.88%、23.74%; TC、TG、LDL-C 及血糖水平升高; 高脂模型建立成功。与高脂组比较, 实验组体重、肝脏重量、肝脏系数、附睾周脂重降低, 降低最大幅度分别为 2.50%、14.18%、9.18%、19.46%; TC、TG、LDL-C、AI 及血糖水平显著降低, 最大幅度分别为 29.84%、49.33%、59.21%、43.89%、11.33%, HDL-C 无显著差异。HE 染色结果显示, 与高脂组比较, 高、中剂量组大鼠肝脏脂肪变性程度明显改善。表明马铃薯抗性淀粉能降低血糖血脂水平, 对高脂血症的预防及治疗具有积极作用。

**关键词:** 马铃薯抗性淀粉; 降血糖血脂; 高脂血症

文章编号: 1673-9078(2022)03-8-14

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.3.0640

## Hypoglycemic and Lipid Lowering Effects of Potato Resistant Starch on Hyperlipidemia Rats

YUCHI Miao<sup>1</sup>, WU Jianmei<sup>2</sup>, GAO Lu<sup>3</sup>, LIU Dengyu<sup>1</sup>, QU Lin<sup>1,2\*</sup>

(1. Baotou Medical College, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014000, China)

(2. Inner Mongolia Comprehensive Center for Disease Control and Prevention, Hohhot 010000, China)

(3. Public Health College, Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010000, China)

**Abstract:** To explore the hypoglycemic and blood lipid-lowering effects of potato resistant starch on hyperlipidemia rats, 48 rats were randomly divided into a blank control group and a model control group according to their body weights. After 2 weeks of high-fat feeding, they were randomly divided into 5 groups according to the total cholesterol (TC) level: high-fat model group, positive control group, and potato resistant starch high-, medium-, and low-dose groups. After 6 weeks of intervention, the body weights, liver coefficients, blood lipid levels and other indicators of the rats in each group were measured, and the pathological tissue sections of their livers were examined. Results: Compared with the blank group, the body weight of the high-fat group increased by 2.21%, the heart weight, liver weight, liver coefficient, and periepididymal fat weight all increased by 23.70%, 85.84%, 63.88% and 23.74%, respectively; TC, TG, LDL-C and blood sugar levels increased; The high-fat model was successfully established. Compared with the high-fat group, the experimental group's body weight, liver weight, liver coefficient, and periepididymal fat weight decreased, with the largest reductions being 2.50%, 14.18%, 9.18%, and 19.46%, respectively; The levels of TC, TG, LDL-C, AI and blood sugar were significantly reduced, and the largest reductions were 29.84%, 49.33%, 59.21%, 43.89% and 11.33%, respectively, with no significant difference found in HDL-C. The results of HE staining experiments showed that

引文格式:

尉迟邈, 吴建美, 高璐, 等. 马铃薯抗性淀粉对高脂血症大鼠的降血糖血脂作用[J]. 现代食品科技, 2022, 38(3): 8-14

YUCHI Miao, WU Jianmei, GAO Lu, et al. Hypoglycemic and lipid lowering effects of potato resistant starch on hyperlipidemia rats [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(3): 8-14

收稿日期: 2021-06-19

基金项目: 内蒙古自治区自然科学基金项目 (2019BS08009); 内蒙古自治区科技计划项目 (2021GG0120)

作者简介: 尉迟邈 (1997-), 女, 在读硕士研究生, 研究方向: 公共卫生, E-mail: 2496295130@qq.com

通讯作者: 曲琳 (1971-), 女, 主任医师, 研究方向: 预防医学, E-mail: 645148666@qq.com

compared with the high-fat group, the degrees of liver steatosis in the rats of the high- and medium-dose groups were significantly improved. The results showed that potato resistant starch can lower the blood sugar and blood lipid levels, and makes a positive contribution to the prevention and treatment of hyperlipidemia.

**Key words:** potato resistant starch; lowering blood sugar and blood lipids; hyperlipidemia

高脂饮食会导致血脂升高,严重时会引起一系列糖脂代谢病,如高脂血症,长期食用高脂膳食引起体脂异常积累和肠道微生物群的不平衡<sup>[1,2]</sup>。高脂血症是由脂质沉积所引起的代谢性疾病,以血液中胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)的升高和高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)降低为主要特点,发病率高且并发症多。近几年来,高脂血症患者逐渐增多,高脂血症已经成为心脑血管系统疾病的重要危险因素。目前,在临床上常用的药物多为化学药,虽然疗效显著,但是其对肝脏和肾脏有一定的损害<sup>[3]</sup>,因此饮食调控成为一种趋势,通过饮食干预预防由高脂饮食引起的健康问题正成为研究的热点。

抗性淀粉(RS)是一类不被健康人体小肠所吸收的淀粉及其降解物的总称<sup>[4]</sup>,RS能量值为一般碳水化合物热量的10%,约为2 kcal/g,其作为低能量物质减少机体能量摄入对血糖水平的调节和脂质代谢具有促进作用,RS能改变肠道微生物群中生物体组成的益生菌,无法被上消化道的淀粉酶分解,在其进入大肠后可由微生物发酵,产生对健康有益的重要代谢产物-短链脂肪酸(SCFA),SCFA能抑制肝脏TG的合成并降低血糖含量。已有研究<sup>[5-7]</sup>报道SCFA的产生具有重大的生物学意义,其与预防胃肠疾病和由脂肪积累引起的代谢紊乱调节有关。

RS是预防或治疗高脂血症及其相关疾病的一种很有前途的食品,不会对人体产生危害,现已成为国内外食品界和医学界研究的热点。马铃薯作为内蒙古地区现有的优势资源,其中含有大量的RS,充分利用马铃薯制备马铃薯RS,通过测定相关数据,研究马铃薯RS对高脂血症的预防及治疗作用,为进一步研究高脂血症及相关疾病的治疗及预防提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

#### 1.1.1 实验动物和材料

SD大鼠(SPF级,雄性),体重在180~220 g之间,48只,实验动物许可证号为SCXK(浙)2019-0001。

马铃薯抗性淀粉,上海逸孚食品配料有限公司;维持饲料,北京斯贝福生物技术有限公司;高脂饲料,北京科奥协力饲料有限公司;TC、TG、HDL-C、LDL-C

试剂盒,南京建成生物工程研究所;胃蛋白酶、耐高温 $\alpha$ 淀粉酶,上海源叶生物科技有限公司;葡萄糖淀粉酶, Sigma-AloRiCH;苯酚,范德北京生物科技有限责任公司;辛伐他汀片,山东鲁杭医药集团赛特有限责任公司;50 mL离心管、1.5 mL离心管,Coming康宁;95%乙醇、无水乙醇、二甲苯、葡萄糖、浓硫酸、盐酸、氢氧化钾、氢氧化钠,天津市风船化学试剂科技有限公司;甲醛溶液,天津市科茂化学试剂有限公司;pH试纸;所有试剂均为分析纯。

#### 1.1.2 实验仪器

电子天平,赛多利斯-BS224S;恒温培养箱,Incubator BPH-9272;低速台式离心机,北京时代北利-DT5-3;酶标仪, BioTek;低温高速离心机, eppendorf-centrifuge5418R;水浴锅,姜堰市新康医疗器械有限公司;LEICA KD-BM包埋机、LEICA KD-BL冷冻台、LEICA KD-P摊片机、LEICA KD-H烘片机,浙江省金华市科迪仪器设备有限公司;LEICA RM2235切片机、LEICA ST5020染色机、LEICA CV5030盖片机、LEICA脱水机,徕卡显微系统,上海有限公司。

## 1.2 实验方法

### 1.2.1 马铃薯RS含量测定

按文献<sup>[8]</sup>中方法,取5 g马铃薯RS,加25 mL pH=1.5的盐酸-氯化钾缓冲液,再加胃蛋白酶溶液1 mL,在40℃下振荡1 h,调节pH=6.0,加1 mL耐高温 $\alpha$ -淀粉酶溶液,95℃振荡30 min。调节pH=4.0,加入葡萄糖淀粉酶溶液1 mL,70℃振荡1 h,水解可消化淀粉为葡萄糖,室温下冷却、离心、弃上清液,3次。加5 mol/L的氢氧化钾溶液5 mL,加热搅拌,加入5 mol/L的盐酸5 mL,再加葡萄糖淀粉酶溶液1 mL,60℃振荡1 h。室温下冷却,离心,上清液合并,100 mL定容。

硫酸-苯酚法<sup>[9]</sup>测定马铃薯RS中还原糖的含量(以葡萄糖计),马铃薯RS制得率计算公式如下:

$$\text{马铃薯RS制得率}(\%) = \text{还原糖含量}(\text{mg}) \times 0.9 \times 100\%$$

式中:

葡萄糖与脱水葡萄糖基之间的换算系数是0.9;

测得马铃薯RS纯度为16.1%。

### 1.2.2 动物分组与建模

48 只 SD 雄性大鼠 (SPF 级), 于清洁级屏障系统实验室, 适应性喂养 5 d, 5 d 后根据大鼠体质量分组, 随机性分成空白对照组 (8 只) 和模型对照组 (40 只), 每周定时称量体重。模型对照组给予高脂饲料, 喂养 2 周, 不禁食取尾血, 测定 TC、TG、HDL-C、LDL-C 水平。根据 TC 水平, 将模型对照组 40 只大鼠随机分成 5 组 (即高脂模型组、辛伐他汀阳性对照组、马铃薯 RS 高剂量组、马铃薯 RS 中剂量组、马铃薯 RS 低剂量组)。

### 1.2.3 实验动物给药

随机分组后, 高、中、低三个剂量组, 每天给予马铃薯 RS 溶液 (现用现配) 灌胃, 空白对照组和高脂模型组蒸馏水灌胃, 阳性对照组辛伐他汀溶液灌胃 (见表 1), 空白对照组饲喂维持饲料, 模型对照组、阳性对照组及高、中、低剂量组饲喂高脂饲料, 并每周称量一次体重。

表 1 实验动物灌胃药剂分配

Table 1 Distribution of gavage agents for experimental animals

组别	受试物	浓度	灌胃容量/mL
空白对照组	蒸馏水	\	2
高脂模型组	蒸馏水	\	2
阳性对照组	辛伐他汀	10 mg/kg	2
高剂量组	马铃薯抗性淀粉	4 g/kg	2
中剂量组	马铃薯抗性淀粉	2 g/kg	2
低剂量组	马铃薯抗性淀粉	1 g/kg	2

### 1.2.4 大鼠体重、脏器指数测定

末次给予马铃薯 RS 溶液灌胃后, 禁食不禁水, 第二天上午进行称重, 大鼠腹腔注射水合氯醛, 等大鼠麻醉后进行解剖, 取大鼠心脏、肝脏、脾脏、肾脏、附睾周围脂肪、胰腺等组织, 称重并记录。

### 1.2.5 血清 TC、TG、HDL-C、LDL-C 含量测定

六周实验结束, 不禁食采尾血, 按照试剂盒上操作方法, 使用酶标仪测定大鼠血清的胆固醇 (TC)、甘油三酯 (TG)、高密度脂蛋白胆固醇 (HDL-C) 及低密度脂蛋白胆固醇 (LDL-C) 水平。

### 1.2.6 肝脏组织病理切片检测

取肝脏组织, 生理盐水冲洗后吸水纸吸拭表面, 于 10% 中性甲醛溶液固定用以制作苏木素-伊红切片, 光镜下观察病理组织并采集图像。

### 1.2.7 统计学处理

采用 SPSS 22.0 统计软件对所得数据进行处理和分析, 实验数据以均数±标准差 ( $\bar{x}\pm s$ ) 形式表示。SD 大鼠高脂血症模型的建立是否成功采用两独立样本的 *t* 检验, 马铃薯 RS 的降脂效果, 采用单因素方差分析。  $p < 0.05$  为有统计学意义。

## 2 结果与分析

### 2.1 马铃薯 RS 对高脂血症大鼠体质量的影响

由表 2 可知, 实验初期, 大鼠的体重没有明显差异。实验结束后, 与空白组比较, 高脂模型组大鼠体重增加 2.21% ( $p > 0.05$ ); 马铃薯 RS 实验组与高脂模型组比较, 高、中、低剂量组体质量降低分别为 2.50%、1.47%、2.18%, 有下降趋势 ( $p > 0.05$ )。

实验结果表明, 马铃薯 RS 溶液灌胃后, 实验组大鼠体质量与高脂模型对照组比较有所下降, 这主要是由于 RS 几乎不含热量, 使热量的吸收有所降低, 能延长饱腹感, 进而控制体重, 使脂肪含量有效降低, 但实验结果并没有显著性差异, 与于淼等<sup>[10]</sup>的研究结果一致。

### 2.2 马铃薯 RS 对高脂血症大鼠饲料摄入量的影响

影响

每周对大鼠所摄入饲料进行称重统计, 结果如表 3 所示, 实验结束时, 除空白对照组外, 高脂模型组与辛伐他汀阳性对照组、马铃薯 RS 高、中、低剂量组比较, 大鼠摄入饲料较多, 各实验组大鼠摄食量与空白对照组大鼠相比, 高脂饲料摄入量少 ( $p < 0.01$ )。结果表明, 饲喂高脂饲料的大鼠摄入量少, 原因在于高脂饲料所含热量比普通维持饲料高, 饱腹感更强, 这与阴龙飞等<sup>[3]</sup>的研究结果一致。

表 2 马铃薯抗性淀粉对高脂血症大鼠体质量的影响

Table 2 Effects of potato resistant starch on body mass of hyperlipidemia rats (g,  $\bar{x}\pm s$ , n=8)

组别	n	0 week	2 week	4 week	6 week
空白对照组	8	384.40±17.80	418.40±22.10	486.60±29.70	533.20±32.10
高脂模型组	8	398.60±13.50	426.60±17.00	501.40±20.20	545.00±25.10
阳性对照组	8	381.10±13.00	414.20±16.50	489.00±17.60	533.80±22.10
高剂量组	8	387.00±20.50	414.40±11.40	497.40±28.80	531.40±23.10
中剂量组	8	390.00±19.70	417.40±25.30	491.30±26.30	537.00±27.10
低剂量组	8	392.20±22.70	418.20±25.80	485.40±40.50	533.10±45.60

表3 马铃薯抗性淀粉对高脂血症大鼠摄食量的影响

**Table 3 Effects of potato resistant starch on food intake in hyperlipidemia rats (g,  $\bar{x}\pm s$ , n=8)**

组别	n	0~2 week	2~4 week	4~6 week
空白对照组	8	203.60±19.10	200.00±26.40	223.10±17.50
高脂模型组	8	163.50±15.80	181.00±19.30	197.20±18.60**
阳性对照组	8	161.10±18.50	168.70±17.10	182.70±18.60**
高剂量组	8	159.20±17.00	159.00±13.60	176.60±11.30**
中剂量组	8	160.60±15.20	166.50±18.40	181.00±12.30**
低剂量组	8	166.50±18.40	172.30±17.30	182.00±19.40**

注: \*与空白对照组比较, 差异显著 ( $p<0.05$ ); \*\*与空白对照组比较, 差异极显著 ( $p<0.01$ ); ■与高脂模型组比较, 差异显著 ( $p<0.05$ ); ■■与高脂模型组比较, 差异极显著 ( $p<0.01$ ); 下同。

表4 马铃薯抗性淀粉对高脂血症大鼠脏器的影响

**Table 4 Effects of potato resistant starch on hyperlipidemia rats (g,  $\bar{x}\pm s$ , n=8)**

组别	n	心	肝	脾	肾	胰腺
空白对照组	8	1.35±0.09	14.19±2.02	0.80±0.06	3.24±0.39	1.57±0.55
高脂模型组	8	1.67±0.20**	26.37±1.66**	0.81±0.10	3.67±0.19*	1.01±0.46
阳性对照组	8	1.55±0.20*	23.43±2.58**	0.84±0.07	3.79±0.22*	0.88±0.11**
高剂量组	8	1.58±0.17*	22.63±2.39***	0.80±0.10	3.72±0.41*	0.78±0.18**
中剂量组	8	1.53±0.18	22.74±2.62***	0.74±0.06	3.66±0.45	0.86±0.12**
低剂量组	8	1.47±0.23	24.19±6.26**	0.84±0.13	3.48±0.58	0.80±0.24**

表5 马铃薯抗性淀粉对高脂血症大鼠肝脏及附睾周脂重的影响

**Table 5 Effects of potato resistant starch on organs of hyperlipidemia rats ( $\bar{x}\pm s$ , n=8)**

组别	n	肝重/g	附睾周脂重/g	肝脏系数/%	附睾周脂重/体重/%
空白对照组	8	14.19±2.02	5.94±1.18	2.99±0.26	1.17±0.19
高脂模型组	8	26.37±1.66**	7.35±1.48*	4.90±0.24**	1.39±0.28*
阳性对照组	8	23.43±2.58**	6.41±1.25	4.47±0.50**	1.21±0.19
高剂量组	8	22.63±2.39***	6.69±1.22	4.45±0.56**	1.29±0.21
中剂量组	8	22.74±2.62***	5.92±0.93*	4.50±0.48**	1.17±0.18
低剂量组	8	24.19±6.26**	6.79±1.14	4.88±0.96**	1.39±0.18

表6 饲喂高脂饲料两周大鼠血脂指标

**Table 6 Blood lipid indexes of rats fed with high-fat diet for two weeks (mmol/L,  $\bar{x}\pm s$ )**

组别	n	TC	TG	LDL-C	HDL-C
空白对照组	8	1.82±0.24	1.38±0.12	1.22±0.90	2.32±0.40
模型对照组	40	3.04±0.43**	2.95±0.34**	2.28±0.40*	2.12±0.40

表7 马铃薯抗性淀粉对高脂血症大鼠血脂的影响

**Table 7 Effects of potato resistant starch on blood lipid in hyperlipidemia rats ( $\bar{x}\pm s$ , n=8)**

组别	n	TC/(mmol/L)	TG/(mmol/L)	LDL-C/(mmol/L)	HDL-C/(mmol/L)	AI
空白对照组	8	2.14±0.19	0.73±0.10	1.06±0.16	0.90±0.12	1.46±0.54
高脂模型组	8	3.72±0.43**	2.23±0.38**	1.52±0.10**	0.84±0.47	4.99±0.60**
阳性对照组	8	2.81±0.24***	1.54±0.34**	0.51±0.12***	0.62±0.22	3.00±0.84***
高剂量组	8	2.61±0.27**	1.13±0.16***	0.62±0.15***	0.62±0.15	2.80±0.66**
中剂量组	8	3.20±0.47**	1.57±0.20***	0.97±0.11**	0.85±0.12	3.04±0.62**
低剂量组	8	3.69±0.63**	2.12±0.64**	1.16±0.10**	0.92±0.19	3.18±1.11**

### 2.3 马铃薯 RS 对高脂血症大鼠脏器重量的影响

由表 4 可知,与空白对照组比较,高脂模型组心脏、肝脏重量分别增加 23.70%、85.84% ( $p<0.01$ ),肾脏重量增加 13.27% ( $p<0.05$ );胰腺重量,辛伐他汀阳性对照组和马铃薯 RS 各高、中、低剂量组胰腺重量分别降低 43.95%、50.32%、45.22%、49.04% ( $p<0.01$ ),与高脂模型组相比,各剂量组心脏、肾脏、脾脏重量无显著差异 ( $p>0.05$ ),马铃薯 RS 低剂量组肝脏重量下降 8.27%,高、中剂量组肝脏重量下降 14.18%、13.77% ( $p<0.05$ )。

实验表明,与空白对照组相比,高脂模型组心脏、肝脏、肾脏等器官重量增加,建模成功。与高脂模型组比较,肝重降低,表明马铃薯 RS 可以降低高脂血症大鼠肝脏重量,并且能预防控制肝脏脂肪含量的增加,这与 Rancon 等<sup>[11]</sup>、Deckere 等<sup>[12]</sup>、刘淑婷等<sup>[13]</sup>的研究结果一致。各组间脾脏质量无显著性差异,与马菲菲等<sup>[14]</sup>的研究一致,表明短时间内高脂饮食不会明显影响免疫系统。

### 2.4 马铃薯 RS 对高脂血症大鼠肝脏系数及附睾周脂重的影响

由表 5 可知,与空白对照组相比,高脂模型组肝脏系数均增加 63.88% ( $p<0.01$ )、附睾周脂重增加 23.74% ( $p<0.05$ )。与高脂模型组比较,马铃薯 RS 高、中、低剂量组肝脏系数分别下降 9.18%、8.16%、0.41% ( $p>0.05$ ),中剂量组附睾周脂重降低 19.46% ( $p<0.05$ )。

实验组肝脏系数和附睾周脂重降低,表明马铃薯 RS 抑制了由高脂饮食诱导的脂肪组织扩张。此结果与 Martine 等<sup>[15]</sup>Goda 等<sup>[16]</sup>的报告一致,有研究<sup>[17]</sup>表明,RS 是三个或三个以上单体单元的碳水化合物聚合物,由大量的直链淀粉分子经历老化重结晶过程形成稳定的双螺旋结构,难以在体内被酶解消化,所以 RS 食物消化和吸收缓慢,可以有效减轻脂肪质量。

### 2.5 马铃薯 RS 对高脂血症大鼠血脂的影响

饲喂两周高脂饲料后,对大鼠血清指标进行检测,结果如表 6,空白对照组与模型对照组比较,模型对照组 TC、TG 水平升高 ( $p<0.01$ ),LDL-C 水平升高 ( $p<0.05$ ),HDL-C 无显著差异 ( $p>0.05$ ),符合高脂血症特征,建模成功。

实验结束时,对大鼠血清指标进行检测,结果见表 7,与空白对照组比较,高脂模型组 TC、TG、LDL-C

水平升高 ( $p<0.01$ ),HDL-C 无显著差异 ( $p>0.05$ )。与高脂模型组比较,马铃薯 RS 高剂量组 TC 水平降低 29.84% ( $p<0.01$ ),中剂量组 TC 水平降低 13.98% ( $p<0.05$ );马铃薯 RS 高、中剂量组 TG 水平分别降低 49.33%、29.60% ( $p<0.01$ );马铃薯 RS 高、中、低剂量组 LDL-C 水平分别降低 59.21%、36.18%、23.68% ( $p<0.01$ );HDL-C 无显著差异 ( $p>0.05$ ),动脉粥样硬化程度(AI)与心血管疾病密切相关,与空白组比较,高脂模型组 AI 值升高 70.74% ( $p<0.01$ ),结果表明,高脂模型组大鼠已有动脉粥样硬化,与高脂模型组比较,马铃薯 RS 高、中剂量组 AI 值分别降低 43.89%、39.08% ( $p<0.05$ ),马铃薯 RS 低剂量组降低 36.27% ( $p>0.05$ ),表明马铃薯 RS 可有效降低动脉粥样硬化程度。

实验给予马铃薯 RS 灌胃后,高脂血症大鼠血清中 TC、TG、LDL-C 含量有效降低,使脂质代谢得到明显改善,有学者<sup>[18,19]</sup>通过实验研究 RS 调节血脂及改善肝脏脂肪沉积的机制,表明 RS 在小肠内不能被吸收,并且具有抗消化的特点,因此 RS 能利用微生物在结肠内进行发酵,产生大量的短链脂肪酸(SCFA),进而影响肝脏中脂质代谢,增加脂质的排泄,降低胆固醇的含量。实验结果证明,马铃薯 RS 可有效降低血脂,预防高脂血症。

### 2.6 马铃薯 RS 对高脂血症大鼠血糖的影响

由表 8 可知,马铃薯 RS 可降低血糖水平,实验前,饲喂两周高脂饲料,与空白对照组相比,其他各组血糖值水平升高 ( $p<0.01$ ),实验结束后,与高脂模型组相比,高、中、低剂量组血糖水平分别降低 8.41%、11.33%、11.17% ( $p<0.01$ )。

表 8 马铃薯抗性淀粉对高脂血症大鼠血糖的影响

Table 8 Effects of potato resistant starch on blood glucose in

hyperlipidemia rats (mmol/L,  $\bar{x}\pm s$ , n=8)

组别	n	实验前血糖值	实验后血糖值
空白对照组	8	5.46±0.27	5.46±0.42
高脂模型组	8	6.28±0.33**	6.18±0.30**
阳性对照组	8	6.29±0.33**	5.41±0.26**
高剂量组	8	6.15±0.24**	5.66±0.32**
中剂量组	8	6.04±0.40**	5.48±0.39**
低剂量组	8	6.05±0.49**	5.49±0.25**

实验结果表明给予马铃薯 RS 溶液灌胃后,实验组与高脂模型组比较,马铃薯 RS 可以有效降低高脂血症大鼠血糖水平,且有显著性差异。有研究<sup>[20,21]</sup>表明 RS 能有效减缓葡萄糖的输入,降低代谢速度、调节胰岛素水平,使高脂饮食诱导的高血糖现象得到抑

制,此次实验结果与上述研究一致。

## 2.7 大鼠肝脏组织切片

大鼠解剖时肉眼观察可见,低剂量组大鼠肝脏存在轻度或中度脂肪变性,肝脏体积增大,边缘钝圆;中剂量组肝脏体积较低剂量组减小,较空白对照组大,肝脏变脆;高剂量组肝脏体积与对照组比较无明显增大,无变性;高脂模型组肝脏肿大,重度脂肪变性,边缘钝圆。

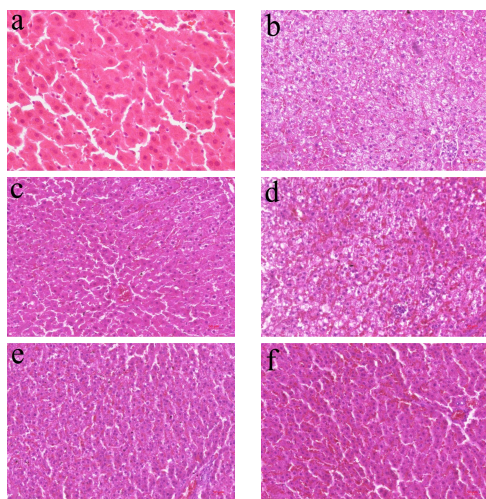


图1 大鼠肝组织形态变化

Fig.1 Morphological changes of rat liver tissue

注: a: 阴性对照组; b: 高脂模型组; c: 阳性对照组; d: 低剂量组; e: 中剂量组; f: 高剂量组。

由图1可知,光镜下观察空白对照组细胞整体形态结构完整,胞核清晰可见,肝细胞围绕中央静脉以放射状规整排列形成细胞索间,无明显边界分隔,肝窦清晰,胞浆丰富;高脂模型组肝脏组织肿大变性,损伤严重。肝细胞膨大肿胀,细胞核清晰可见但分布偏离,细胞浆质间充盈着大量形状大小各异的脂滴空泡,可观察到脂肪性病变,肝窦变窄;阳性对照组辛伐他汀组大鼠肝细胞结构相对清晰完整,肝细胞索排列整齐,仅存在极少量脂滴空泡;马铃薯RS各剂量组大鼠肝脏损伤程度显著减轻,中、高剂量组大鼠肝细胞肿胀程度改善明显,未出现明显细胞变性坏死现象,虽有少量脂滴空泡但肝细胞索排列清晰,而低剂量组大鼠可见清晰肝细胞索但排列紊乱,空泡数量减少,但仍存在较大脂滴空泡。

病理组织学检验结果表明,给予一定剂量的马铃薯RS可显著降低高脂血症大鼠肝脏脂肪的含量,减轻肝细胞的脂肪变性,使肝细胞保持正常的细胞形态,对脂肪肝有明显的改善作用,这与于淼等<sup>[10]</sup>研究一致。

## 3 结论

马铃薯RS具有良好的控制血糖,降低高脂血症大鼠血清TC、TG、LDL-C、AI水平,降低肝重及附睾周脂重的作用,有效改善脂肪变性程度,表明马铃薯RS可有效预防及治疗高脂血症。此次实验为进一步研究内蒙古地区高脂血症治疗及预防提供理论依据,为研究开发新的降脂功能因子及功能食品奠定理论基础。

## 参考文献

- [1] 李涛,宋洪波,安凤平等.紫山药抗性淀粉调节高脂血症金黄地鼠脂质代谢[J].中国食品学报,2021,21(3):95-101  
LI Tao, SONG Hongbo, AN Fengping, et al. Purple yam-resistant starch regulates lipid metabolism in hyperlipidemia golden hamsters [J]. Chinese Journal of Food Science, 2021, 21(3): 95-101
- [2] 李超,崔立红.高脂血症、高脂饮食与肠道菌群的关系[J].世界华人消化杂志,2013,21(14):1273-1277  
LI Chao, CUI Lihong. The relationship between hyperlipidemia, high-fat diet and intestinal flora [J]. World Chinese Journal of Digestion, 2013, 21(14): 1273-1277
- [3] 阴龙飞,常子晨,范颖颖等.盐地碱蓬膳食纤维对高脂血症大鼠的降血脂作用[J].现代食品科技,2020,36(12):7-12  
YIN Longfei, CHANG Zichen, FAN Yingying, et al. Effects of *Suaeda salsa* dietary fiber on blood lipids in rats with hyperlipidemia [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(12): 7-12
- [4] Englyst H N, Cummings J H. Digestion of polysaccharides of some cereal foods in the human small intestine [J]. Am J Clin Nutr, 1985, 42(5): 778-787
- [5] Xu J, Ma Z, Li X, et al. A more pronounced effect of type III resistant starch vs. type II resistant starch on ameliorating hyperlipidemia in high fat diet-fed mice is associated with its supramolecular structural characteristics [J]. Food Funct, 2020, 11(3): 1982-1995
- [6] H Zeng, C Huang, S Lin, et al. Lotus seed resistant starch regulates gut microbiota and increases short-chain fatty acids production and mineral absorption in mice [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2017, 65: 9217-9225
- [7] S A Zaman, S R Sarbini. The potential of resistant starch as a prebiotic [J]. Critical Reviews in Biotechnology, 2016, 36: 578-584
- [8] 章丽琳,叶陵,张喻.纤维素酶-压热法制备马铃薯抗性淀粉

- 工艺参数优化[J].中国酿造,2015,34(12):105-108
- ZHANG Lilin, YE Ling, ZHANG Yu. Optimization of the process parameters for preparing potato resistant starch by cellulase-autoclave method [J]. China Brewing, 2015, 34(12): 105-108
- [9] 蔡红梅,田子玉.苯酚-硫酸法测定草莓中总糖含量[J].吉林农业,2019,4:46
- CAI Hongmei, TIAN Ziyu. Determination of total sugar content in strawberry by phenol-sulfuric acid method [J]. Jilin Agriculture, 2019, 4: 46
- [10] 于淼,鄢应龙.甘薯抗性淀粉对高脂血症大鼠降脂利肝作用研究[J].食品科学,2012,33(1):244-247
- YU Miao, WU Yinglong. Study on the effect of sweet potato resistant starch on reducing blood fat and promoting liver in hyperlipidemia rats [J]. Food Science, 2012, 33(1): 244-247
- [11] Rancon F, Freychet P. Effect of feeding and fasting on the early steps of glucagons action in isolated rat liver cells [J]. Endocrinology, 1999, 98(3): 755-760
- [12] Deckere M, Pentieva K, Mckillop D, et al. Acute absorption of folic acid from a fortified low-fat spread [J]. European Journal of Clinical Nutrition, 2003, 57(10): 1235-1241
- [13] 刘淑婷,王颖,王志辉,等.紫花芸豆抗性淀粉对高脂血症大鼠肝脏及肠屏障损伤的修复作用[J].食品科学,2020,41(21): 106-112
- LIU Shuting, WANG Ying, WANG Zhihui, et al. Repair effect of purple kidney bean resistant starch on liver and intestinal barrier damage in hyperlipidemia rats [J]. Food Science, 2020, 41(21): 106-112
- [14] 马菲菲,杜艺玫,秦琳,等.长期高脂饮食诱导的肥胖小鼠肝脏免疫相关基因的mRNA变化[J].细胞与分子免疫学杂志, 2019,35(1):19-24
- MA Feifei, DU Yimei, QIN Lin, et al. The mRNA changes of liver immune-related genes in obese mice induced by a long-term high-fat diet [J]. Journal of Cellular and Molecular Immunology, 2019, 35(1): 19-24
- [15] Martine-puig D, Mourot J, Ferchaud-roucher V, et al. Consumption of resistant starch decreases lipogenesis in adipose tissues but not in muscular tissues of growing pigs [J]. Livestock Science, 2006, 99(2/3): 237-247
- [16] Goda T, Urakawa T, Watanabe M, et al. Effect of high-amylose starch on carbohydrate digestive capability and lipogenesis in epididymal adipose tissue and liver of rats [J]. Journal of Nutritional Biochemistry, 1994, 5(5): 256-260
- [17] Lockyer S, Nugent A P. Health effects of resistant starch [J]. Nutrition Bulletin, 2017, 42(1): 10-41
- [18] 葛红娟,宋春梅.荞麦对饮食性高脂血症大鼠血脂和血糖改善效果的观察[J].卫生研究,2016,45(6):1013-1015
- GE Hongjuan, SONG Chunmei. Observation of the effect of buckwheat on improving blood lipids and blood sugar in diet-induced hyperlipidemia rats [J]. Hygiene Research, 2016, 45(6): 1013-1015
- [19] 熊霜,肖美添,叶静.复合型海藻膳食纤维功能食品的降血脂作用[J].食品科学,2014,35(17):220-225
- XIONG Shuang, XIAO Meitian, YE Jing. The effect of compound algae dietary fiber functional food in lowering blood lipid [J]. Food Science, 2014, 35(17): 220-225
- [20] Robertson M D, Bickerton A S, Dennis A L, et al. Insulin-sensitizing effects of dietary resistant starch and effects on skeletal muscle and adipose tissue metabolism [J]. American Journal of Clinical Nutrition, 2005, 82(3): 559-567
- [21] Higgins J A, Jackman M R, Brown I L, et al. Resistant starch and exercise independently attenuate weight regain on a high fat diet in a rat model of obesity [J]. Nutr Metab (Lond), 2011, 8(1): 49

---

(上接第 175 页)

- [39] 马锦,牟韶雷,朱德泉,等.山核桃微波干燥动力学模型研究[J].食品工业科技,2015,36(5):108-112
- MA Jin, MI Shaolei, ZHU Dequan, et al. Study on the microwave drying characteristics and dynamic model of kernel of hickory (*Carya cathayensis* Sary) [J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(5): 108-112
- [40] Chong C H, Figiel A, Law C L, et al. Combined drying of apple cubes by using of heat pump, vacuum-microwave, and intermittent techniques [J]. Food and Bioprocess Technology, 2014, 7(4): 975-989
- [41] 胡冰洋,段振华,刘艳.微波条件对罗非鱼片渗透-微波联合干燥的影响[J].食品科技,2016,41(4):97-104
- HU Bingyang, DUAN Zhenhua, LIU Yan. Impacts of microwave conditions on osmotic dehydration combined with microwave drying of tilapia fillets [J]. Food Science and Technology, 2016, 41(4): 97-104