

复合燕麦高纤维杂粮粉对高脂饮食诱导的小鼠肥胖的干预作用

霍 瑞, 张美莉*, 张亚琨

(内蒙古农业大学食品科学与工程学院 呼和浩特 010018)

摘要 以燕麦-玉米-魔芋挤压膨化混粉、燕麦麸皮微粉、脱脂乳粉、葛根全粉、南瓜粉为基础原料,制备一种高膳食纤维粉,探究其对高脂饮食小鼠的肥胖干预效果。小鼠适应性喂养 7 d 后分为空白组、高脂饮食组、实验组、阳性组,灌胃 8 周后观察并测定小鼠体质量、血糖、脂代谢水平并做组织切片。结果表明,与高脂饮食组相比,高纤维饮食干预能显著降低小鼠的体质量、腹部脂肪质量和空腹血糖值($P<0.05$);吸附血液和肝脏中的胆固醇,肝脏胆固醇和甘油三酯含量相比高脂饮食组分别降低 45.63%和 41.98%;减少高脂饮食引起的肝脏损伤,显著提升血清中高密度脂蛋白含量($P<0.05$),降低低密度脂蛋白、谷草转氨酶和谷丙转氨酶含量。该膳食纤维粉可以减轻小鼠体质量,改善脂代谢和肥胖引起的肝脏损伤。

关键词 杂粮; 膳食纤维; 肥胖; 脂代谢

文章编号 1009-7848(2023)05-0105-08 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2023.05.012

代餐粉是一种冲调性产品,由一种或多种原辅料按照不同比例及工艺调配而成,是饮食疗法的主要产品形式,用于改善人体健康^[1]。市售的代餐粉有杂粮代餐粉、高蛋白代餐粉、果蔬代餐粉和膳食纤维代餐粉等。近年来,杂粮结合高膳食纤维代餐粉因低热量、营养全面和具有改善肥胖的作用成为研究热点,其中以燕麦为主要原料的代餐粉因有降血糖和血脂作用、良好的溶解性和健康减肥的特点而被熟知^[2-3],具有良好的应用前景。

团队前期的研究成果显示,燕麦、玉米和魔芋粉经挤压膨化处理后慢消化淀粉和抗性淀粉含量增加,淀粉消化速率降低,并且魔芋粉含有大量葡甘露聚糖,具有多种生物活性^[4]。燕麦麸粉含有 β -葡聚糖,能降低血液中胆固醇含量和调节人体血糖水平^[5],在产品中也可以替代食品添加剂起到增稠剂和稳定剂的效果。有研究证明,燕麦麸粉经超微粉碎后水溶性、吸水性和可溶性膳食纤维溶出率均提高^[6]。南瓜粉中有丰富的微量元素和果胶,具有调节胰岛素和预防糖尿病的明显效果;南瓜中的钴在代谢中具有重要作用,可以扩张血管,降低血压;南瓜果胶有很好的吸附性,可延缓肠道对糖和脂质的吸收,达到降糖、减脂的目的^[7]。葛根中富含对人体有益的葛根素和黄酮类物质,而葛根

全粉是近年来加工的新产品,与葛根淀粉相比,葛根全粉充分保留了葛根中的各种有效成分,而且加工技术简单、原料利用率高、产品成本较低^[8]。将上述原料混合制备的代餐粉在色泽、口感和溶液稳定性方面均符合消费者需求,且功能性成分较多,饱腹感较强,符合健康减肥的理念。本文就高膳食纤维代餐粉对高脂饮食小鼠肥胖的干预作用进行研究,为复配谷物的开发和利用提供依据。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

低脂饲料(脂肪提供 10%能量)、高脂饲料(脂肪提供 60%能量)购于斯贝福(北京)生物技术有限公司;代餐粉溶液(2.65 g/kg);奥利司他胶囊(60 mg/kg),中山万汉制药有限公司。

燕麦麸粉,内蒙古西贝汇通农业科技有限公司;燕麦粉,内蒙古伊泰生态农业有限公司;马齿型玉米,内蒙古农业大学玉米研究中心;J08 魔芋粉,湖北强森魔芋科技有限公司;脱脂乳粉,新西兰恒天然集团;南瓜粉,兴化市绿帅食品有限公司;葛根全粉,平乐县乐瑶食品有限公司;二氧化硅,山东云之然生物科技有限公司。

总胆固醇(Total cholesterol, TC)测定试剂盒、甘油三酯(Triglycerides, TG)测定试剂盒、低密度脂蛋白胆固醇(LDL cholesterol, LDL-C)测定试剂盒、高密度脂蛋白胆固醇(HDL cholesterol,

收稿日期: 2022-05-09

基金项目: 内蒙古自治区科技重大专项(2021ZD0002)

第一作者: 霍瑞,男,硕士生

通信作者: 张美莉 E-mail: zhangmeili22@sina.com

HDL-C)测定试剂盒、谷丙转氨酶(Alanine aminotransferase, ALT)测定试剂盒、谷草转氨酶(Glutamic oxaloacetic transaminase, AST)测定试剂盒、总胆汁酸(Total bile acid, TBA)测定试剂盒,南京建成生物工程研究所。

1.2 仪器与设备

S32 试验型双螺杆挤出机,山东济南赛信有限公司;PLS 新型超微粉碎机,济南普莱申机械设备有限公司;G8023CTL-K3 微波炉,格兰仕微波炉电器有限公司;Chemray 800 全自动生化分析仪,深圳雷杜生命科技;KZ-II 高速组织研磨仪,Servicebio 公司;多功能微孔板检测仪,美国伯腾

仪器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 代餐粉的制备 燕麦-玉米-魔芋挤压膨化粉制备工艺如下:将燕麦粉和玉米粉分别过 60 目筛,配比混匀后加入适量魔芋粉再混匀。向混合粉中加入适量水充分混合后置入双螺杆挤压膨化机进料口,条件设置为:挤出温度 180 °C,进料速度 15 Hz,螺杆转速 16 Hz。燕麦麸皮微粉制备工艺如下:称取 200 g 燕麦麸粗粉用超微粉碎机进行粉碎,之后微波炉熟化,微波频率 800 W,时间 100 s。将上述两种物料与脱脂乳粉、葛根粉、南瓜粉按配比混匀,制得代餐粉。

表 1 代餐粉的营养成分表

Table 1 Nutritional composition of meal replacement powder

总淀粉含量/%	总膳食纤维含量/%	可溶性膳食纤维含量/%	不溶性膳食纤维含量/%	蛋白质含量/%	脂肪含量/%
47.33 ± 5.10	19.31 ± 1.34	7.90 ± 0.65	11.42 ± 0.98	15.93 ± 1.05	6.56 ± 0.84

1.3.2 动物饲养条件及分组 SPF 级 6 周龄健康雄性 C57BL/6J 小鼠 50 只,体质量(20±2)g,购自内蒙古医科大学动物实验中心。预饲 1 周后将小鼠按照随机分组方法分成 4 组:空白组、实验组和阳性组每组 10 只,阴性组每组 20 只。空白组(C 组,灌胃生理盐水+低脂饲料)、实验组(D 组,灌胃代餐粉溶液+高脂饲料)、阴性组(P 组,灌胃生理盐水+高脂饲料)、阳性组(Y 组,灌胃奥利司他溶液+高脂饲料),灌胃剂量 0.2 mL/只。实验周期为 9 周,小鼠同室分笼饲养,每笼 3~4 只,自由饮水采食,昼夜交替 12 h,温度控制在(23 ± 2)°C,湿度 60%。

1.3.3 小鼠体质量、腹部脂肪质量和脏器系数的测定 实验期间,每周测定小鼠体质量。解剖小鼠时取出腹部脂肪并称重,同时摘取肾脏、脾脏、心脏,用生理盐水洗涤,滤纸吸干,立即称量,记录每只小鼠的各脏器质量,计算各脏器与体质量的比值,记为脏器系数。

1.3.4 血糖和血清生化指标的测定 小鼠在禁食 12 h 后将其麻醉,血液样本由眼眶采血,按照血糖仪说明书测定血糖浓度。真空促凝采血管收集血液,全血 4 °C 静置 2 h 后在 4 °C、2 000 r/min 条件下离心 15 min 得到血清^[9],立即保存于-80 °C 待

测,TC、TG、HDL-C、LDL-C、AST、ALT 和 TBA 指标均在全自动生化仪上自动检测。

1.3.5 肝脏质量、肝脏系数和肝脏脂质的测定 解剖小鼠时取出肝脏,用生理盐水洗涤,滤纸吸干后立即称量,放于-80 °C 冰箱低温储存。按如下公式计算肝脏系数:

$$\text{肝脏系数}(\%) = (\text{肝湿质量} / \text{小鼠体质量}) \times 100$$

肝脏组织从-80 °C 冰箱取出,解冻后以 1:10 (m/V) 的比例制备肝脏/生理盐水匀浆液,3 500 r/min 离心 10 min 取上清液,肝脏 TC 和 TG 含量测定采用相应试剂盒进行检测。

1.3.6 粪便脂质的测定 采集第 8 周小鼠粪便总量,以 1:10 (m/V) 的比例制备粪便/生理盐水匀浆液,6 000 r/min 离心 10 min 取上清液,粪便 T-CHO 和 TG 含量采用相应试剂盒进行检测。

1.3.7 组织切片的制备 摘取的脏器组织用 4% 多聚甲醛溶液固定,用石蜡将组织标本包埋后进行切片。将石蜡切片用二甲苯脱蜡,用不同浓度梯度的乙醇脱水,然后进行苏木精-伊红(Hematoxylin-eosin, HE)染色,在显微镜下观察、拍照。

1.4 数据处理与分析

所有试验重复 3 次,结果计算表示为平均值±标准差。采用 SPSS 25.0 进行 Duncan 多重比较分

析。采用 GraphPad Prism 8.4.0、Microsoft Excel 2019 和 Origin2018 软件绘制图表。

2 结果与分析

2.1 高纤维代餐粉对小鼠体质量、腹部脂肪质量和脏器系数的影响

体质量和腹部脂肪质量可以直观体现减肥效果。饲养 8 周后,小鼠体质量和解剖时腹部脂肪质量由于个体差异表现出一定区别,然而,由图 1 可

知,去除异常值后,P 组体质量显著高于其它 3 组 ($P<0.05$),腹部脂肪质量显著高于 C 组和 D 组 ($P<0.05$),说明实验组小鼠与阳性组小鼠减肥效果明显,体质量和腹部脂肪质量接近空白组正常值,这是因为配方中含有大量 β -葡聚糖和魔芋葡甘露聚糖,不仅可以降低淀粉消化率,还可以吸附胆固醇等物质,减少脂质的吸收,在食用后具有更长时间的饱腹感^[10],摄入能量减少,体质量下降。

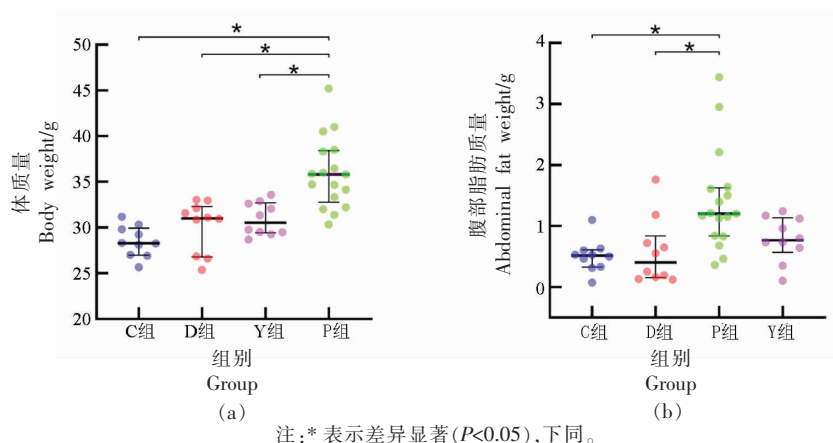


图 1 代餐粉对小鼠体质量(a)和腹部脂肪质量(b)的影响

Fig.1 The effect of meal replacement powder on mouse body weight (a) and abdominal fat weight (b)

脏器系数可以反映出器官的发育是否正常。由表 2 可知,4 组小鼠的肾脏和心脏指数均无显著性差异 ($P>0.05$);Y 组的脾脏指数显著高于其它 3 组 ($P<0.05$),其它 3 组均无差异,说明 Y 组的脾脏发育异常。脾脏是最大的淋巴器官,长期灌喂奥利司他溶液可造成小鼠免疫功能紊乱,且在饲养期间,阳性组小鼠皮毛暗淡,应激反应较强烈。

2.2 高纤维代餐粉对小鼠空腹血糖值的影响

如图 2 所示,小鼠的血糖水平 Y 组>P 组>D 组>C 组,D 组血糖值接近空白组正常值且无显著

性差异 ($P>0.05$),其它组与 D 组和 C 组均有显著性差异。D 组血糖水平接近正常值的原因是配方中的多糖吸水形成胶体阻止了葡萄糖的吸收,以及产品中 β -葡聚糖、葛根素、黄酮和钴等功能性成分的综合作用干预了高脂饮食造成的肥胖,达到降糖降脂的效果。P 组小鼠由于不加干预,导致血糖值较高。Y 组小鼠的血糖值仍显著高于 P 组 ($P<0.05$),相关研究表明,奥利司他胶囊对血糖值影响不显著^[11],这里的实验结果可能是 Y 组小鼠长期食用奥利司他对机体损伤较大,以及采血时

表 2 代餐粉对脏器系数的影响

Table 2 The influence of meal replacement powder on organ index

器官	脏器系数/%			
	C 组	D 组	P 组	Y 组
肾脏	1.18 ± 0.13 ^a	1.21 ± 0.13 ^a	1.24 ± 0.14 ^a	1.22 ± 0.09 ^a
心脏	0.83 ± 0.15 ^a	0.76 ± 0.25 ^a	0.7 ± 0.17 ^a	0.73 ± 0.11 ^a
脾脏	0.32 ± 0.10 ^b	0.34 ± 0.18 ^b	0.38 ± 0.24 ^b	1.19 ± 0.38 ^a

注:同一行不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

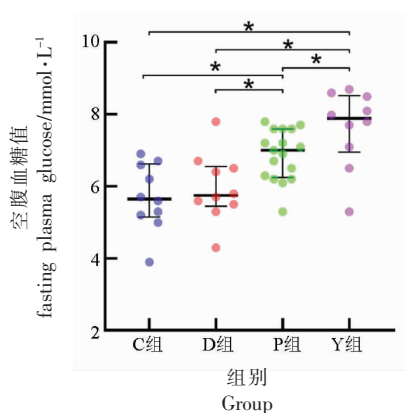


图2 代餐粉对小鼠空腹血糖值的影响

Fig.2 The effect of meal replacement powder on fasting blood glucose in mice

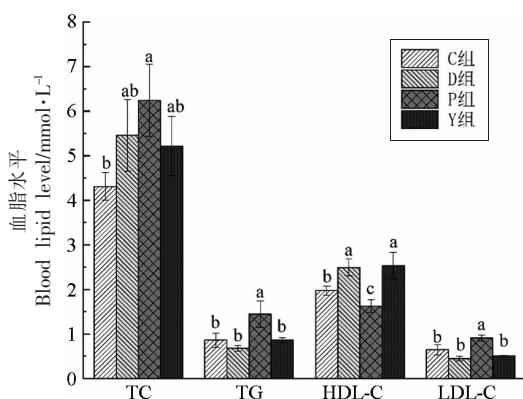
应激反应强烈造成血糖值异常。

2.3 高纤维代餐粉对小鼠血清生化指标的影响

血清脂质含量可以反映出脂质在体内的代谢情况。如图3所示,P组的TC含量高于其它3组,TG含量显著高于其它3组($P < 0.05$),C组、D组和Y组的TC、TG含量均无显著差异($P > 0.05$),说明实验组和阳性组能降低血液中胆固醇和甘油三酯含量,使二者含量接近正常值。原料中含有大量益生元类物质,其中的 β -葡聚糖和魔芋葡甘露聚糖具有显著改善血脂的作用^[12-13]。

高密度脂蛋白(HDL-C)和低密度脂蛋白(LDL-C)可以反映胆固醇的代谢情况^[14]。如图3所示,P组的HDL-C显著低于其它组($P < 0.05$),LDL-C显著高于其它组($P < 0.05$),而C组的HDL-C显著低于D组和Y组($P < 0.05$),说明本研究代餐粉和奥利司他可以提高小鼠高密度脂蛋白,降低低密度脂蛋白,这与产品中的膳食纤维含量有关,相关研究表明膳食纤维能够显著降低LDL-C含量,并对HDL-C有一定提升作用^[15],LDL-C通过胞吞作用将胆固醇转运至外周组织溶酶体中降解或将其返回肝脏,在酶的作用下转化为胆汁酸;HDL-C在肝脏和小肠中合成,可摄取外周细胞的胆固醇,并将游离胆固醇酯化生成胆固醇酯,从而降低血浆中游离胆固醇的比例^[16-17]。因此,降低LDL-C含量和提高HDL-C含量有利于清除血液中的胆固醇。

血液中的AST和ALT含量可以显示肝脏是



注:不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$),下同。

图3 代餐粉对小鼠血脂的影响

Fig.3 The effect of meal replacement powder on blood lipids in mice

否受损^[18]。当肝细胞受损时,这些酶会进入血液,造成血液中的AST和ALT升高^[19]。如表3所示,Y组和P组的两种酶含量虽较高,但所有组均无显著差异($P > 0.05$),酶含量较高的原因是长期不干预的高脂饮食和长期食用奥利司他造成肝脏损伤^[20],D组小鼠HDL-C含量的升高促进了肝脏胆固醇的分解,降低高脂引起的肝脏损伤,这与上述代餐粉对小鼠血脂的影响结论一致。

表3 代餐粉对小鼠血清酶活性的影响

Table 3 The effect of meal replacement powder on mouse serum enzyme activity

组别	ALT/U · L ⁻¹	AST/U · L ⁻¹
C组	45.78 ± 12.46 ^a	170.99 ± 34.9 ^a
D组	49.8 ± 12.28 ^a	179.13 ± 8.67 ^a
P组	49.78 ± 7.21 ^a	207.03 ± 25.17 ^a
Y组	63.88 ± 12.24 ^a	194.56 ± 16.1 ^a

注:同一列不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

2.4 高纤维代餐粉对小鼠肝脏指标的影响

如表4所示,D组的肝质量和肝脏系数与C组和Y组无显著差异,与P组有显著性差异,结合ALT和AST的分析可知,实验组小鼠肝脏损伤较小且接近空白组小鼠正常值。

高脂饮食对肝脏影响较大,容易导致脂肪肝^[21-22]。由肝脏TC、TG数据可知,D组小鼠胆固醇和甘油三酯与P组有显著性差异($P < 0.05$),说明代餐粉可以干预高脂饮食,降低TC、TG含量。

表 4 代餐粉对小鼠肝脏脂质的影响

Table 4 The effect of meal replacement powder on liver lipids in mice

组别	肝质量/g	肝脏系数/%	TC/ $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$	TG/ $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$
C 组	0.98 ± 0.11^b	34.37 ± 2.93^b	8.04 ± 0.84^c	27.96 ± 3.64^d
D 组	1.01 ± 0.13^b	33.27 ± 3.57^b	14.20 ± 2.45^b	73.31 ± 6.73^b
P 组	1.30 ± 0.15^a	38.00 ± 5.30^a	26.12 ± 2.22^a	126.35 ± 9.36^a
Y 组	1.02 ± 0.11^b	33.29 ± 2.86^b	4.10 ± 0.4^d	60.74 ± 4.83^c

2.5 高纤维代餐粉对小鼠胆汁酸的影响

胆汁酸是肝脏胆固醇代谢的产物,在调控膳食脂肪体内循环过程中发挥重要作用^[23]。如图 4 所示,D 组小鼠的胆汁酸含量虽低于 P 组,接近 C 组,但均无显著性差异,说明代餐粉虽可改善小鼠胆汁酸水平,但作用不明显。研究发现,非酒精性脂肪肝患者血清中的胆汁酸水平显著高于常人,且与疾病进程呈正相关关系^[24-25],然而,胆汁酸含量过低会减弱抗炎作用^[26]。代餐粉可降低高脂饮食引起的胆汁酸含量异常,使其水平接近正常小鼠。

2.6 高纤维代餐粉对小鼠粪便脂质的影响

如表 5 所示,阳性组的粪便 TC、TG 含量明显高于其它 3 组,而其它 3 组之间均无显著性差异 ($P>0.05$)。D 组与 C 组和 P 组无显著性差异的原因是粪便中 TC 和 TG 含量较少,因此测得数据无明显差异。实验期间,空白组小鼠粪便形状小、干燥、呈现黑色;实验组小鼠粪便量形状较大、湿润、呈现黑绿色;阴性组小鼠粪便形状较大且呈现深绿色;阳性组小鼠粪便形状小、量多、呈现黑绿色,研究表明,高黏度食物更有利于胆固醇和胆汁酸随粪便排出,代餐粉中含有大量具有高黏性的水溶性膳食纤维,具有吸水 and 吸附胆固醇的特点,因此粪便颜色较深且湿润。阳性组 TC 和 TG 含量显著高于其它 3 组,这是因为奥利司他可以有效阻止脂质的吸收并促使其随粪便排出体外,且具有致腹泻的副作用,因此粪便量大且颜色较深。

2.7 小鼠肝脏组织、脂肪细胞和小肠细胞的切片分析结果

2.7.1 肝脏细胞的形态观察

肝脏 HE 染色结果如图 5 所示,从图中可以看出,C 组小鼠肝组织完好且分布有序;D 组小鼠肝组织及细胞核完整,细胞之间空隙较小且排列整齐;P 组和 Y 组小鼠的肝组织不完整且无规律。在采取小鼠肝脏时,可肉

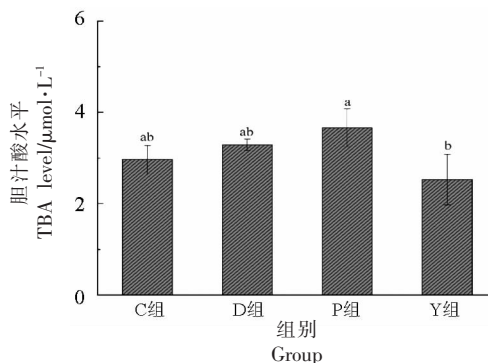


图 4 代餐粉对小鼠胆汁酸的影响

Fig.4 The effect of meal replacement powder on mouse bile acid

表 5 代餐粉对小鼠粪便脂质的影响

Table 5 The effect of meal replacement powder on mouse fecal lipids

组别	TC/ $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$	TG/ $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$
C 组	0.67 ± 0.36^b	0.03 ± 0.01^b
D 组	1.16 ± 0.506^b	1.12 ± 0.03^b
P 组	$1.33 \pm 0.19^{\text{ab}}$	1.18 ± 0.24^b
Y 组	2.03 ± 0.12^a	6.65 ± 0.45^a

眼发现 P 组部分肝脏中有白色小点,Y 组部分肝脏有异常凸起,且两组肝脏颜色较暗、弹性较差、易碎,结合肝脏组织切片可证实 P 组和 Y 组小鼠部分患有脂肪肝,而 D 组小鼠饲喂高纤维代餐粉可降低肝脏组织变性,接近正常肝组织形态。

2.7.2 脂肪细胞的形态观察

肥胖症的重要组织学特征是细胞形态变大。由图 6 可知,C 组正常小鼠脂肪细胞体积较小,D 组脂肪细胞体积接近正常组,P 组脂肪细胞肥大且紧凑,说明高纤维饮食干预使实验组小鼠脂肪细胞体积减小,具有一定的减肥效果,这主要是因为配方中含有较多生物活性成分(膳食纤维、黄酮类和多酚类物质等)。研究发现,多酚类物质进入体内会增加环腺苷酸含

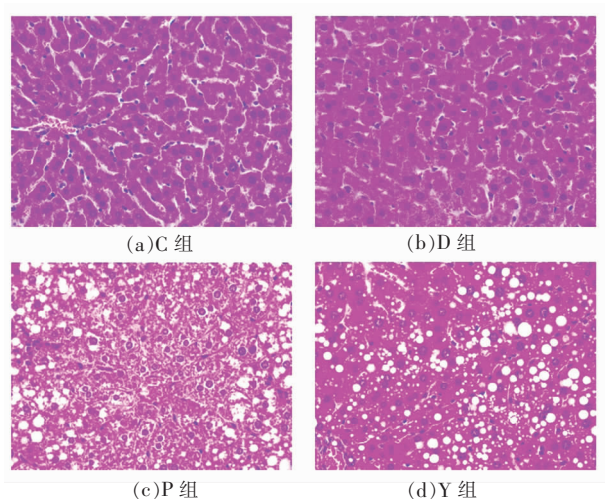


图5 小鼠肝脏组织形态观察($\times 200$)

Fig.5 Observation of mouse liver tissue morphology ($\times 200$)

量从而刺激脂肪细胞的分解和转化,使脂肪形成记忆,并自觉地抑制多余脂肪的积聚^[27]。

2.7.3 小肠细胞的形态观察 小肠 HE 染色结果如图 7 所示,从图中可以看出 C 组小鼠小肠绒毛长度较长且排列紧密;D 组和 Y 组小鼠小肠绒毛较长但排列较为松散;P 组小鼠小肠绒毛较短,说明高脂饮食可造成小肠的屏障功能被破坏^[28],在高纤维饮食的干预下小肠组织形态得到改善。

3 结论

本研究制备的高纤维杂粮代餐粉对高脂饮食小鼠的肥胖干预效果较好,可以产生积极的预防和缓解作用。配方中含有大量膳食纤维和多种生物活性成分,具有长时饱腹感,可减少能量摄入,显著降低小鼠体质量和空腹血糖值;可以抑制多余脂肪的累积,降低腹部脂肪的质量;还可以吸附胆固醇并调节血脂代谢,降低小鼠血液和肝脏中的 TC、TG 含量,显著提升血液中 HDL-C 含量,降低 LDL-C、ALT 和 AST 含量;减少高脂饮食引起的肝脏损伤,改善肝脏脂肪变性程度;改善脂肪细胞肥大以及保持小肠绒毛完整性。综上,本实验高纤维杂粮代餐粉可作为功能性食品改善高脂饮食带来的损伤。

参 考 文 献

[1] DANIEL K, KOOKHAN S, SCHAFFNER D, et al.

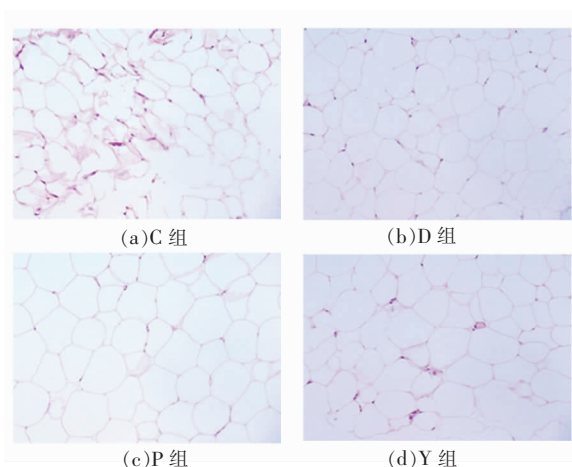


图6 小鼠脂肪细胞形态观察($\times 20$)

Fig.6 Observation of mouse adipocyte morphology($\times 20$)

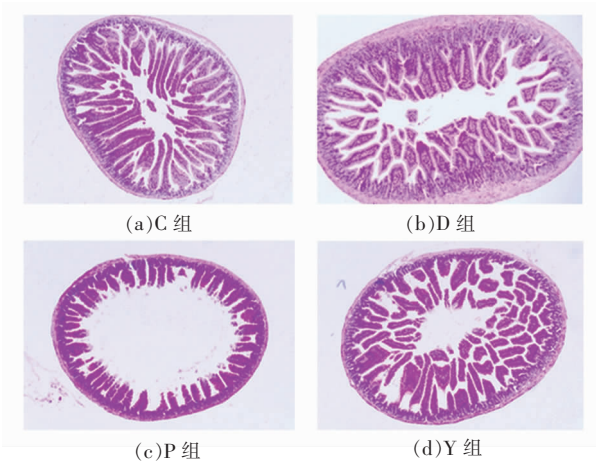


图7 小鼠小肠细胞形态观察($\times 100$)

Fig.7 Morphological observation of mouse small intestinal epithelial cells ($\times 100$)

A meal replacement regimen improves blood glucose levels in prediabetic healthy individuals with impaired fasting glucose [J]. *Nutrition*, 2014, 30 (11/12): 1306-1309.

- [2] 张曼, 张美莉, 郭军. 中国燕麦加工现状及产业发展趋势[J]. *农产品加工(学刊)*, 2014(8): 49-51.
ZHANG M, ZHANG M L, GUO J. Oat processing status and development trend of the industry in China[J]. *Academic Periodical of Farm Products Processing*, 2014(8): 49-51.
- [3] MÄLKKI Y, VIRTANEN E. Gastrointestinal effects of oat bran and oat gum: A review[J]. *LWT- Food Science and Technology*, 2001, 34(6): 337-347.

- [4] 王元. 魔芋葡甘聚糖的结构及保健功能研究[J]. 现代食品, 2021, 27(7): 113-115.
WANG Y. Study on the structure and health function of konjac glucomannan[J]. Nutrition and Health, 2021, 27(7): 113-115.
- [5] ZHANG J, ZHANG M L, WANG C, et al. Effects of high hydrostatic pressure on microstructure, physicochemical properties and *in vitro* digestibility of oat starch/ β -lucan mixtures[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2021, 57(4): 1888-1901.
- [6] 申瑞玲, 程珊珊, 张勇. 微粉碎对燕麦麸皮营养成分及物理特性的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2008(3): 17-18.
SHEN R L, CHENG S S, ZHANG Y. Effect of grinding on nutrient components and physical characteristics of oat bran[J]. Cereal and Feed Industry, 2008(3): 17-18.
- [7] TORKOVA A A, LISITSKAYA K V, FILIMONOV I S, et al. Physicochemical and functional properties of *Cucurbita maxima* pumpkin pectin and commercial citrus and apple pectins: A comparative evaluation [J]. PLoS One, 2018, 13(9): e0204261.
- [8] 吴琼. 葛根全粉制备工艺及品质研究[D]. 重庆: 西南大学, 2017.
WU Q. Study on preparation technology and quality of pueraria powder[D]. Chongqing: Southwest University, 2017.
- [9] FOLCH J, LEES M, SLOANE S G. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues[J]. The Journal of Biological Chemistry, 1957, 226(1): 497-509.
- [10] JI L D, ZHU Y Y, MA Y L, et al. Oat products modulate the gut microbiota and produce anti-obesity effects in obese rats [J]. Journal of Functional Foods, 2016, 25: 408-420.
- [11] 薛畅, 赵月辉, 王慧, 等. 奥利司他对营养性肥胖小鼠糖脂代谢及代谢相关脂肪性肝病的影响[J]. 哈尔滨医科大学学报, 2020, 54(3): 236-242.
XUE C, ZHAO Y H, WANG H, et al. Effects of orlistat on glucose and lipid metabolism and metabolically associated fatty liver disease in nutritionally obese mice[J]. Journal of Harbin Medical University, 2020, 54(3): 236-242.
- [12] SHIMIZU C, KIHARA M, AOE S, et al. Effect of high β -glucan barley on serum cholesterol concentrations and visceral fat area in Japanese men—A randomized, double-blinded, placebo-controlled trial [J]. Plant Foods for Human Nutrition, 2008, 63(1): 21-25.
- [13] 谭燕, 刘曦, 袁芳. 魔芋葡甘聚糖的结构、性质及其在食品中的应用[J]. 中国调味品, 2019, 44(2): 174-180, 184.
TAN Y, LIU X, YUAN F. Structure, properties of Konjac glucomannan and its application in food industry[J]. China Condiment, 2019, 44(2): 174-180, 184.
- [14] HIRANO T. Pathophysiology of diabetic dyslipidemia [J]. Journal of Atherosclerosis and Thrombosis, 2018, 25(9): 771-782.
- [15] CICERO A, FOGACCI F, VERONESI M, et al. A randomized placebo-controlled clinical trial to evaluate the medium-term effects of oat fibers on human health: The beta-glucan effects on lipid profile, glycemia and intestinal health (BELT) study[J]. Nutrients, 2020, 12(3): 686.
- [16] 魏芬芬, 王文娟, 张波. 枸杞多糖缓解小鼠体力疲劳研究[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(6): 48-52.
WEI F F, WANG W J, ZHANG B. Study of *Lycium barbarum* polysaccharide relieving physical fatigue in mice[J]. Food Research and Development, 2020, 41(6): 48-52.
- [17] 李雍, 林峰, 秦勇, 等. 玉米肽对乙醇氧化损伤模型小鼠的抗氧化作用研究[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(15): 31-35.
LI Y, LIN F, QIN Y, et al. The effect of corn peptide on oxidative injury of mice induced by ethanol[J]. Food Research and Development, 2019, 40(15): 31-35.
- [18] HENAO M J, ELINAV E, JIN C, et al. Inflammation-mediated dysbiosis regulates progression of NAFLD and obesity[J]. Nature, 2013, 483: 179-185.
- [19] 邓可. 适用肥胖人群的配方粉制备及其减肥作用评估[D]. 无锡: 江南大学, 2018.
DENG K. Preparation of formula powder for obese people and evaluation of weight loss[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2018.
- [20] 李浩霞, 周中凯, 商文婷, 等. 魔芋葡甘低聚糖对肥胖大鼠高脂血症及肝损伤的调节作用[J]. 中国食品学报, 2020, 20(6): 81-87.
LI H X, ZHOU Z K, SHANG W T, et al. Modulation effects of konjac glucomannan oligosaccharides

- on hyperlipidemia and liver injury in obese rats[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2020, 20(6): 81-87.
- [21] HOYLBS L, FERNANDEZ J M, FEDERICI M, et al. Molecular phenomics and metagenomics of hepatic steatosis in non-diabetic obese women[J]. Nature Medicine, 2018, 24: 1070.
- [22] ABY E S, BENHAMMOU J N, TABIBIAN J H. My doctor told me I have fatty liver - What do I need to know?[J]. JAMA Internal Medicine, 2019, 179(9): 1308.
- [23] 张召英, 马春红. 胆汁酸在肝肠疾病中的免疫调节作用[J]. 山东大学学报(医学版), 2021, 59(9): 30-36.
- ZHANG Z Y, MA C H. Immunomodulatory effects of bile acid in hepatointestinal diseases[J]. Journal of Shandong University (Health Sciences), 2021, 59(9): 30-36.
- [24] XIE G X, WANG X N, LIU P, et al. Distinctly altered gut microbiota in the progression of liver disease[J]. Oncotarget, 2016, 7(15): 19355-19366.
- [25] XIE G X, WANG X N, HUANG F J, et al. Dys-regulated hepatic bile acids collaboratively promote liver carcinogenesis[J]. Int J of Cancer, 2016, 139(8): 1764-1775.
- [26] DUBOC H, RAJCA S, RAINTEAU D, et al. Connecting dysbiosis, bile-acid dysmetabolism and gut inflammation in inflammatory bowel diseases[J]. Gut, 2013, 62(4): 531-539.
- [27] 刘冬敏, 黄建安, 刘仲华, 等. 茶及其多酚类化合物调节肥胖及并存症的研究进展[J]. 基因组学与应用生物学, 2019, 38(12): 5603-5615.
- LIU D M, HUANG J A, LIU Z H, et al. Research progress of tea and tea polyphenol compounds on regulation of obesity and its comorbidities [J]. Genomics and Applied Biology, 2019, 38(12): 5603-5615.
- [28] 刘立萍, 李然, 姜楠, 等. 基于肠道菌群探讨苓桂术甘汤对瘦素缺陷代谢紊乱模型小鼠的骨保护作用[J]. 中国实验方剂学杂志, 2019, 25(20): 19-24.
- LIU L P, LI R, JIANG N, et al. Protective effect of Linggui Zhugan Tang on bone injury in ob/ob mice based on gut microbiota[J]. Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae, 2019, 25(20): 19-24.

Intervention Effect of Oat High-fiber Multi-grain Powder on Obesity Induced by High-fat Diet in Mice

Huo Rui, Zhang Meili*, Zhang Yakun

(College of Food Science and Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018)

Abstract Using oat-corn-konjac extruded powder, oat bran powder, skimmed milk powder, kudzu root powder, pumpkin powder as basic raw materials, prepared a high dietary fiber powder and explored the effect of obesity intervention on high-fat diet mice. Mice were adaptively fed for 7 days and were divided into blank group, high-fat diet group, experimental group, positive group. After 8 weeks of intragastric administration, the weight, blood glucose, lipid metabolism and tissue sections of the mice were observed and measured. The results showed that compared with the high-fat diet group, high fiber diet could significantly reduce the body weight, abdominal fat weight and fasting blood glucose value of mice ($P<0.05$); it could absorb cholesterol, cholesterol and triglyceride content in blood and liver. Compared with the high-fat diet group, liver cholesterol and triglyceride content was reduced by 45.63% and 41.98%, respectively. The meal replacement powder intervention also reduced liver damage caused by high-fat diet, significantly increased serum high-density lipoprotein ($P<0.05$), and reduced low-density lipoprotein, aspartate aminotransferase and alanine amino transferase content. The formula powder in this study can reduce the weight of mice and improve liver damage caused by fat metabolism and obesity.

Keywords miscellaneous grains; dietary fiber; obesity; lipid metabolism