

复方海带代餐粉的辅助降血脂作用

Auxiliary hypolipidemic effect of compound kelp meal substitute powder

张 李 聂诗明 陈运中 颜春潮

ZHANG Li NIE Shi-ming CHEN Yun-zhong YAN Chun-chao

(湖北中医药大学药学院, 湖北 武汉 430065)

(School of Pharmacy, Hubei University of Traditional Chinese Medicine, Wuhan, Hubei 430065, China)

摘要:目的:通过建立高脂血症大鼠模型对富含膳食纤维和不饱和脂肪酸的复方海带代餐粉进行辅助降血脂作用研究。方法:采用 SD 雄性大鼠,设空白对照组、模型对照组和复方海带粉高、中、低 3 个剂量组:6.58, 3.29, 1.65 g/kg (分别相当于人体推荐量的 10, 5, 2.5 倍),空白对照组饲喂基础饲料,其他组饲喂高脂饲料,3 个剂量组灌胃给予相应浓度的复方海带粉混悬液,4 周后,测定血清总胆固醇(Total cholesterol, TC)、甘油三酯(Triglyceride, TG)、低密度脂蛋白胆固醇(Low density lipoprotein, LDL-C)和高密度脂蛋白胆固醇(High density lipoprotein, HDL-C)水平,并计算动脉粥样硬化指数(Atherosclerosis index, AI)。结果:3 组剂量的复方海带粉均能降低大鼠血清 TC (低剂量组 $P < 0.05$, 中、高剂量组 $P < 0.01$)、TG ($P < 0.05$)和 LDL-C 水平(低剂量组 $P < 0.05$, 中、高剂量组 $P < 0.01$),提高 HDL-C 水平(中、高剂量组 $P < 0.01$),且存在一定的剂量依赖关系;同时,还能有效抑制高脂大鼠动脉粥样硬化指数的升高($P < 0.01$)。结论:复方海带代餐粉具有较好的辅助降血脂及抗动脉粥样硬化作用。

关键词: 复方海带代餐粉;辅助降血脂;大鼠;高脂血症

Abstract: **Objective:** The hyperlipidemia rat model was established to study the hypolipidemic effect of compound kelp meal substitute powder rich in dietary fiber and unsaturated fatty acids. **Methods:** Male SD rats were divided into blank control group, model control group and high, medium and low dose groups: 6.58, 3.29 and 1.65 g/kg (equivalent to 10, 5 and 2.5 times of the recommended dose of human body respectively). The blank control group was fed with basic diet, and the other groups were fed with high-fat diet, and the three dose groups were given

the corresponding concentration of compound kelp powder suspension by gavage. After four weeks of continuous intragastric administration, the serum levels of total cholesterol (TC), triglyceride (TG), low density lipoprotein cholesterol (LDL-C) and high-density lipoprotein cholesterol (HDL-C) were measured, and the atherosclerosis index (AI) was calculated. **Results:** The three doses of compound kelp powder could reduce serum TC (low dose group $P < 0.05$, medium and high dose group $P < 0.01$), TG ($P < 0.05$) and LDL-C level (low dose group $P < 0.05$, medium and high dose group $P < 0.01$), and increase HDL-C level (medium and high dose group $P < 0.01$) showing dose-dependent. Moreover, it could effectively inhibit the increase of atherosclerotic index in hyperlipidemic rats ($P < 0.01$). **Conclusions:** Compound kelp meal substitute powder had a good effect on reducing blood lipid and anti-atherosclerosis.

Keywords: compound kelp meal substitute powder; auxiliary hypolipidemia; rats; hyperlipidemia

临床上常用的他汀类、烟酸类等降脂类药物,虽疗效较好,但长期服用会产生头痛失眠、恶心乏力、横纹肌溶解、肝功能受损等毒副作用^[1-2]。一些具有降血脂功效的天然食品及其活性成分,因安全、毒副作用小,逐渐成为防治高脂血症领域的研讨热点^[3]。

膳食纤维和 α -亚麻酸是生物相容性良好、几乎无毒副作用的天然降血脂活性成分,两者均能有效降低血清胆固醇水平、调节血脂血糖代谢、减少动脉粥样硬化^[4-5]。海带和琼脂富含褐藻胶、纤维素和半纤维素等成分,是机体补充膳食纤维的优质食源^[6];亚麻籽油富含亚麻酸、油酸、亚油酸等不饱和脂肪酸,其中 α -亚麻酸含量高达 40%~60%,被誉为“血管清道夫”和“液体脑黄金”^[7-8]。目前,国内外以海带、亚麻籽油为复合原料制备降脂保健食品的研究罕见报道。

研究拟从中医的“食疗”理念出发,以脱腥海带粉、琼脂粉、冷榨亚麻籽油、胖大海粉为主原料,辅以其他天然食物组成复合配方,采用有效成分保留率高且经济的加

基金项目:湖北省中央引导地方科技发展专项“湖北省中药保健食品工程技术研究中心建设”项目(编号:2019ZYYDO69)

作者简介:张李,女,湖北中医药大学在读硕士研究生。

通信作者:颜春潮(1978—),男,湖北中医药大学讲师,在读博士研究生。E-mail:2209416435@qq.com

收稿日期:2021-05-25

工工艺制成超微粉,并对复方海带代餐粉的降血脂作用进行探讨,以期该产品保健功能的深入研究和绿色功能性食品的开发提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 主要材料

50 只健康成年 SD 雄性大鼠:SPF 级,体重 150~200 g,武汉子星生物科技有限公司;

高脂饲料(78.8%基础饲料、1%胆固醇、10%蛋黄粉、10%猪油、0.2%胆盐)、基础饲料:武汉春之花实验动物饲料有限公司;

干海带:温岭市海汇食品有限公司;
冷榨亚麻籽油:内蒙古兴源植物油有限责任公司;
琼脂粉:福建省石狮市高新琼脂食品有限公司;
生姜:市售;
胖大海、陈皮、茉莉花茶:杭州艺福堂茶业有限公司。

1.1.2 主要仪器设备

超微粉碎振动磨:WFM-50 型,江苏宏达粉体设备有限公司;

高速多功能粉碎机: CX-100 型,上海缘沃工贸有限公司;

GENESPEED 离心机: 1580R 型, Gene Company Limited 基因有限公司;

全自动生化分析仪: AU5800 型,美国贝克曼库尔特有限公司;

数显恒温水浴锅: HH-6 型,常州国华电器有限公司;
电热鼓风干燥箱: GZX-9146MBE 型,上海博讯实业有限公司医疗设备厂。

1.2 方法

1.2.1 复方海带代餐粉的制备

(1) 复方海带代餐粉配方:脱腥海带粉 12 g、琼脂粉 9 g、冷榨亚麻籽油 3 g、胖大海粉 1 g、山楂粉 0.5 g、红枣粉 3 g、木糖醇 11 g。人体推荐量为 39.5 g/60(kg·d)。

(2) 复方海带代餐粉的配制:将干海带在常温下用清水浸泡 1.5 h 后,洗去表面泥沙等杂质并去除根部及发黄部分,沥干后切成均匀丝状;然后将海带放入提前煎煮并

过滤后的质量分数为 2%生姜液+3%陈皮液的复合脱腥液中,80℃水浴下浸泡脱腥 40 min,漂洗沥水后放入质量分数为 1%的茉莉花茶液中煮沸 1 h,进行二次脱腥和熟化;脱腥结束后,将海带用清水冲洗 2~3 遍,去除残留脱腥液,沥干后置于托盘上放入烘箱中于(60±5)℃下干燥;将干燥后的海带粉碎过 5 号筛,制得脱腥海带粉。将脱腥海带粉、琼脂粉和胖大海粉等按配方比例混合均匀,进行超微粉碎,干燥,再加入一定量的冷榨亚麻籽油,即得到复方海带代餐粉。复方海带代餐粉的主要成分含量如表 1 所示。

1.2.2 动物分组与剂量设定 在饲养温度为(25±1)℃,相对湿度为(55±5)%下,以基础饲料适应性喂养大鼠 7 d 后,用断尾取血法采集血样(让大鼠自然运动使毛细血管充血,用固定器固定住大鼠,以酒精棉球擦拭尾部消毒并使血管充分扩张,剪断鼠尾末端 3~5 mm,采集血液约 2 mL 于抗凝管中,采血过程中从大鼠尾根到尾尖轻轻按摩以增加血量),测定血清总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)和高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)含量。

将 50 只大鼠随机分为 5 组,每组 10 只,分别为空白对照组、模型对照组、复方海带粉低剂量组[1.65 g/(kg·d),人体推荐量的 2.5 倍]、复方海带粉中剂量组[3.29 g/(kg·d),人体推荐量的 5 倍]和复方海带粉高剂量组[6.58 g/(kg·d),人体推荐量的 10 倍]。

1.2.3 脂代谢紊乱模型的建立 分组后空白对照组继续饲喂基础饲料,其他组均饲喂高脂饲料,3 个剂量组每日灌胃对应剂量的复方海带代餐粉混悬液(2 mL/100 g·BW),空白组、模型组灌胃等体积的蒸馏水。连续灌胃 4 周,期间所有大鼠自由进食、饮水,每周固定时间测定体重一次,并观察记录大鼠的行为活动变化是否异常。末次灌胃后,禁食不禁水 12 h,大鼠腹腔注射 10%水合氯醛(0.30 mL/100 g·BW),待其完全麻醉后剖解,于腹主动脉取血(约 2 mL)后处死,血样离心 15 min(4℃、3 000 r/min),取上层血清,4℃贮存并及时测定大鼠血清 TC、TG、LDL-C、HDL-C 值。比较造模前后大鼠血清 4 项指标,若造模后 TC、TG 和 LDL-C 值升

表 1 复方海带代餐粉的主要成分

Table 1 Main components of compound kelp meal substitute powder

指标	含量/(10 ⁻² g·g ⁻¹)	测定方法
水分	1.24	GB 5009.3—2016(减压干燥法)
灰分	13.8	GB 5009.4—2016
蛋白质	5.27	GB 5009.5—2016(凯氏定氮法)
总膳食纤维(不溶性膳食纤维、可溶性膳食纤维)	28.46(22.62,5.30)	GB 5009.88—2014(酶重量法)
不饱和脂肪酸(α-亚麻酸、亚油酸、油酸)	3.65,1.71,1.53	GB 5009.168—2016(气相色谱法)

高, HDL-C 值降低, 差异具有统计学意义 ($P < 0.05$), 则判定建模成功。并按式(1)计算动脉粥样硬化指数(AI)。

$$a_i = \frac{t_c - h_{dlc}}{h_{dlc}}, \quad (1)$$

式中:

a_i ——动脉粥样硬化指数(AI);

t_c ——血清总胆固醇(TC), mmol/L;

h_{dlc} ——高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C), mmol/L。

1.3 数据处理

数据用 Excel 处理后以均值±标准差($n=10$)表示。用统计软件 Graphpad Prism 8 作统计学分析, 服从正态分布的数据, 组间比较采用单因素方差分析; 不服从正态分布的用秩和检验, 组间比较用 LSD 法。

2 结果与分析

2.1 高脂血症动物模型的建立

由表 2 可知, 建模前各组大鼠血清 TC、TG、LDL-C、HDL-C 含量无显著性差异 ($P > 0.05$); 建模后(见表 3), 相较于空白对照组, 模型组大鼠血清 TC、TG 和 LDL-C 含量极显著增高 ($P < 0.01$), 分别为 26.64%, 47.83%, 41.67%, HDL-C 含量极显著降低 ($P < 0.01$), 为 43.93%。此种差异可能是模型组大鼠长期摄食脂肪含量较高的饲料, 造成机体能量过剩, 胆固醇转运受阻以及甘油三酯异常增高, 导致体内脂质异常堆积, 从而引起血脂紊乱, 这也进一步肯定了试验高脂饲料配方, 同时表明喂食高脂

饲料成功建立了高脂血症大鼠模型。

2.2 复方海带代餐粉对大鼠生长指标的影响

由表 4 可知, 高脂血症模型建立前, 各组大鼠体重相近, 无显著差异 ($P > 0.05$)。模型建立期间, 各组大鼠体重均呈增长走势, 无疾病、呕吐和异常死亡状况, 高脂模型组大鼠体重增长速率高, 比较于空白对照组体重增量差异极显著 ($P < 0.01$), 表明高脂饲料喂养能引起大鼠体重显著增加。复方海带粉灌胃 1~3 周后, 各剂量组大鼠体重增量相比空白对照组显著增加 ($P < 0.01, P < 0.05$), 比较于模型对照组体重增量相近 ($P > 0.05$), 说明短期内给予受试品不能改善喂食高脂饲料引起的大鼠体重突增; 灌胃 4 周后, 低、中、高剂量组大鼠体重增量相比模型对照组均减小, 分别为 2.34%, 6.77%, 14.29%, 其中高剂量组体重增量具有显著性差异 ($P < 0.05$), 且比较于空白对照组无显著性差异 ($P > 0.05$), 体重趋于正常增长。推断产生这一差异的原因是模型组大鼠长期摄食高脂饲料, 导致其体重增长速率快, 而 3 个剂量组大鼠虽饲喂高脂饲料, 但同时灌胃不同浓度的复方海带粉混悬液, 复方海带粉中含有丰富的膳食纤维, 膳食纤维体积大、比重小, 有较强黏性和吸水性, 进食后在胃中吸水膨胀, 使机体产生裹腹感, 有助于摄食量的减少; 同时, 膳食纤维可吸附多种营养成分, 阻碍其消化吸收, 对体重有一定的控制作用^[9-10]。因此, 随着干预时间的延长, 复方海带粉各剂量组大鼠的体重增量与模型组相比出现了不同程度的

表 2 试验前大鼠血清 4 项血脂水平

Table 2 Levels of four blood lipids in serum of rats before experiment

组别	动物数/只	TC / (mmol · L ⁻¹)	TG / (mmol · L ⁻¹)	LDL-C / (mmol · L ⁻¹)	HDL-C / (mmol · L ⁻¹)
空白对照组	10	1.64±0.31	0.94±0.40	0.34±0.05	0.99±0.25
模型对照组	10	1.70±0.22	1.13±0.44	0.33±0.05	1.04±0.13
低剂量组	10	1.61±0.08	1.17±0.31	0.35±0.06	0.96±0.08
中剂量组	10	1.57±0.18	0.98±0.40	0.35±0.07	0.97±0.13
高剂量组	10	1.67±0.27	0.90±0.45	0.34±0.06	1.01±0.16

表 3 试验后大鼠血清 4 项血脂水平[†]

Table 3 Levels of four blood lipids in serum of rats after experiment

组别	动物数/只	TC / (mmol · L ⁻¹)	TG / (mmol · L ⁻¹)	LDL-C / (mmol · L ⁻¹)	HDL-C / (mmol · L ⁻¹)
空白对照组	10	1.79±0.25	0.84±0.24	0.35±0.05	1.07±0.24
模型对照组	10	2.44±0.19 ^{##}	1.61±0.34 ^{##}	0.60±0.08 ^{##}	0.60±0.09 ^{##}
低剂量组	10	2.17±0.12 ^{*##}	1.22±0.31 [*]	0.52±0.06 ^{*##}	0.76±0.11 ^{##}
中剂量组	10	2.04±0.13 ^{**#}	1.20±0.36 [*]	0.46±0.06 ^{*##}	0.92±0.13 ^{**}
高剂量组	10	1.84±0.20 ^{**}	1.15±0.36 [*]	0.43±0.07 ^{**}	0.88±0.18 ^{**}

[†] “#”和“##”, 与空白对照组比差异显著 ($P < 0.05$) 和极显著 ($P < 0.01$); “*”和“**”, 与模型对照组比差异显著 ($P < 0.05$) 和极显著 ($P < 0.01$)。

表 4 复方海带代餐粉对大鼠体重的影响[†]

Table 4 Effect of compound kelp meal substitute powder on body weight of rats

分组	动物数/只	试验前体重/g	体重增量/g			
			第 1 周	第 2 周	第 3 周	第 4 周
空白对照组	10	228.3±16.45	15.70±3.90	31.40±4.34	50.90±8.37	67.70±4.78
模型对照组	10	227.1±15.67	35.60±6.26 ^{##}	55.10±4.83 ^{##}	72.10±4.74 ^{##}	81.20±13.20 ^{##}
低剂量组	10	228.0±13.98	32.60±5.10 ^{##}	52.60±4.39 ^{##}	69.70±6.42 ^{##}	79.30±6.25 [#]
中剂量组	10	229.5±13.02	32.00±9.03 ^{##}	51.80±11.34 ^{##}	66.00±8.82 ^{##}	75.70±6.87
高剂量组	10	226.9±17.54	32.00±4.45 ^{##}	50.40±6.26 ^{##}	64.00±7.01 [#]	69.60±9.73 [*]

[†] “#”和“##”，与空白对照组比差异显著($P<0.05$)和极显著($P<0.01$)；“*”和“**”，与模型对照组比差异显著($P<0.05$)和极显著($P<0.01$)。

减小。董吉林等^[11]研究表明,燕麦膳食纤维对生长发育期小鼠肥胖具有预防作用,主要以通便、减少采食、降低血脂、减少脂肪吸收等途径减轻小鼠体重。徐田辉等^[12]发现洋蓟膳食纤维可缓解动物因喂食高脂饲料而产生体重增长和脂质积累,对高脂饮食引起的肥胖具有一定预防作用。试验结果与上述学者的研究结果相符,由此可见,该复方海带代餐粉在一定程度上能减缓高脂饮食引起的机体体重增加,对预防肥胖具有积极作用。

2.3 复方海带代餐粉对大鼠血脂的影响

由表 3 可知,预防性连续灌胃受试样品 4 周后,与模型组相比,复方海带粉低、中、高 3 个剂量组大鼠血清 TC、TG、LDL-C 值均显著降低($P<0.05$, $P<0.01$),其中,中、高剂量组 HDL-C 值极显著升高($P<0.01$)。复方海带粉对 TG、LDL-C 值的降低作用呈明显的剂量依赖关系,以高剂量组 TC、LDL-C 值降低效果最明显,较模型组分别降低了 24.59%和 28.33%,中剂量组次之。同时,相比于空白对照组,高剂量组 TC、TG、LDL-C 和 HDL-C 值均无显著性差异($P>0.05$),血脂趋于正常水平。综合 TC、TG、LDL-C 和 HDL-C 4 项指标,复方海带代餐粉能降低高脂血症大鼠的血脂水平,且随着剂量的增加,降低效果更明显。这一结果可能与复方中的活性成分膳食纤维和 α -亚麻酸等发挥了降脂协同作用有关。膳食纤维含有许多亲水性基团,可吸附胆酸、胆固醇、多种营养成分及有毒物质,阻碍胆固醇的消化和吸收^[13-14];膳食纤维被微生物发酵后的凝胶样产物可抑制肝脏胆固醇合成,气体类产物能刺激肠黏膜,增强肠蠕动,加快脂质的排泄^[15-16]; α -亚麻酸在人体内可转化为二十二碳六烯酸(docosahexaenoic acid, DHA)和二十碳五烯酸(eicosapentaenoic acid, EPA), DHA 可抑制胆固醇合成的主要限速酶羟甲基戊二酰辅酶的活性,减少内源性胆固醇的合成^[17]; EPA 可抑制脂肪酸合成酶的表达和加强脂肪酸 β -氧化,刺激脂质代谢,起到降脂、排脂的作用^[18]。综上所述,该复方海带代餐粉具有良好的辅助降血脂作用,但其具体降脂机理还有待进一步探究。

2.4 复方海带代餐粉对高脂大鼠动脉粥样硬化指数(AI)的影响

由表 3、表 5 可知,空白对照组大鼠喂饲普通饲料,血脂 4 项指标正常,其 AI 值相对于其他组较低;而模型对照组大鼠因喂饲高脂饲料,血脂浓度异常,其 AI 值相比于空白对照组极显著升高($P<0.01$);预防性给予复方海带代餐粉 4 周后,各剂量组 AI 值相比模型对照组均极显著降低($P<0.01$),以高剂量组降低效果最为明显。表明复方海带代餐粉能有效抑制高脂饮食导致的动脉粥样硬化指数的升高,降低引发动脉粥样硬化的风险,具有一定的预防动脉粥样硬化的作用,且随着剂量的加大,作用效果越显著。

表 5 复方海带代餐粉对高脂大鼠动脉硬化指数的影响[†]

Table 5 Effect of compound kelp meal substitute powder on atherosclerosis index of hyperlipidemia rats

组别	动物数/只	AI
空白对照组	10	0.70±0.15
模型对照组	10	3.12±0.46 ^{##}
低剂量组	10	1.90±0.43 ^{***}
中剂量组	10	1.27±0.34 ^{***}
高剂量组	10	1.15±0.41 ^{***}

[†] “#”和“##”，与空白对照组比差异显著($P<0.05$)和极显著($P<0.01$)；“*”和“**”，与模型对照组比差异显著($P<0.05$)和极显著($P<0.01$)。

3 结论

通过预防性给予受试样品,考察不同剂量的复方海带代餐粉对高脂血症模型大鼠血脂的影响。结果显示,复方海带代餐粉各剂量组[6.58, 3.29, 1.65 g/(kg·d)]大鼠血清总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)和低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)含量较模型对照组均显著降低($P<0.05$, $P<0.01$),中、高剂量组高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)含量极显著升高($P<0.01$);各剂量组动脉粥样硬化指数(AI 值)较模型组均极显著降低($P<0.01$)。表明该代餐

粉具有较好的辅助降血脂、预防动脉粥样硬化的作用,且存在一定的剂量依赖关系。

复方海带代餐粉的降血脂作用与其配方中富含的膳食纤维和 α -亚麻酸等有重要的关联。两者结合,从抑制脂质生成和加快其代谢、排泄两方面共同作用,起到降脂、排脂的作用。该试验结果还显示复方海带代餐粉对高脂饮食引发的体重增加呈一定的抑制作用,也佐证了膳食纤维和亚麻籽油等协同作用下加快排泄,减少机体对营养成分的吸收。后期将对该产品生物活性及作用机理进行深入研究,以期对相关功能性食品的研发提供依据。

参考文献

- [1] 侯恒,戴学文,房志仲.抗高血脂药物的研究进展[J].天津药学,2016,28(4):59-64.
HOU Min, DAI Xue-wen, FANG Zhi-zhong. Research progress of anti hyperlipidemia drugs[J]. Tianjin Pharmacy, 2016, 28(4): 59-64.
- [2] WA Y, YIN B, GU R, et al. Effects of single probiotic and combined probiotic-fermented milk on lipid metabolism in hyperlipidemic rats[J]. Frontiers in Microbiology, 2019, 10: 1-312.
- [3] 陈健,谭思荣,黄建辉,等.减肥降脂活性成分的研究[J].现代生物医学进展,2014(2):361-363,376.
CHEN Jian, TAN Si-rong, HUANG Jian-hui, et al. Research on active ingredients for weight loss and lipid reduction[J]. Progress of Modern Biomedicine, 2014(2): 361-363, 376.
- [4] VIJAIMOHAN K, JAINU M, SABITHA K E, et al. Beneficial effects of alpha linolenic acid rich flaxseed oil on growth performance and hepatic cholesterol metabolism in high fat diet fed rats[J]. Life Sciences, 2006, 79(5): 448-454.
- [5] 张瑞,吕梅霞,吾布力卡司木·艾克拜尔,等.鹰嘴豆膳食纤维对高脂血症大鼠脂代谢的改善作用[J].现代食品科技,2018,34(10):15-21.
ZNANG Rui, LU Mei-xia, AIKEBAIER Wu-bulikasmo, et al. Effect of chickpea dietary fiber on lipid metabolism in hyperlipidemia rats[J]. Modern Food Technology, 2018, 34(10): 15-21.
- [6] GÓMEZ-ORDÓÑEZ E, JIMÉNEZ-ESCRIG A, RUPÉREZ P. Dietary fibre and physicochemical properties of several edible seaweeds from the northwestern Spanish coast [J]. Food Research International, 2010, 43(9): 2 289-2 294.
- [7] 李晓红,张博坤,刘阳.亚麻籽油超临界萃取及组成成分分析[J].食品安全导刊,2016(18):126-127.
LI Xiao-hong, ZHANG Bo-kun, LIU Yang. Supercritical extraction and component analysis of linseed oil[J]. Food Safety Guide, 2016(18): 126-127.
- [8] 律星光.亚麻籽油:食用油中的“液体黄金”[J].财经界,2014(28):54-55.
LU Xing-guang. Linseed oil: Liquid gold in edible oil[J]. Financial Circles, 2014(28): 54-55.
- [9] 周岚.膳食纤维[J].肿瘤代谢与营养电子杂志,2016,3(1):18-23.
- ZHOU Lan. Dietary fiber [J]. Electronic Journal of Tumor Metabolism and Nutrition, 2016, 3(1): 18-23.
- [10] 王言.膳食纤维减肥功效的原理研究[J].饮食科学,2019(6):193.
WANG Yan. Study on the principle of weight loss effect of dietary fiber[J]. Dietary Science, 2019(6): 193.
- [11] 董吉林,朱莹莹,李林,等.燕麦膳食纤维对食源性肥胖小鼠降脂减肥作用研究[J].中国粮油学报,2015,30(9):24-29.
DONG Ji-lin, ZHU Ying-ying, LI Lin, et al. Effect of oat dietary fiber on lipid-lowering and weight loss in foodborne obese mice[J]. Chinese Journal of Grain and Oil, 2015, 30(9): 24-29.
- [12] 徐田辉,朱仁威,黄亮,等.低温冷冻—超微粉碎洋蓍膳食纤维对肥胖小鼠减肥作用的研究[J].中国粮油学报,2021,36(4):96-102.
XU Tian-hui, ZHU Ren-wei, HUANG Liang, et al. Study on weight loss effect of low temperature freezing ultramicro comminuted artichoke dietary fiber on obese mice[J]. Chinese Journal of Grain and Oil, 2021, 36(4): 96-102.
- [13] 吕金顺,徐继明.马铃薯膳食纤维对胆固醇的吸附性能及动力学研究[J].食品科学,2006,27(6):55-58.
LU Jin-shun, XU Ji-ming. Study on adsorption properties and kinetics of potato dietary fiber for cholesterol[J]. Food Science, 2006, 27(6): 55-58.
- [14] 郭增旺,马萍,刁静静,等.超微型大豆皮水不溶性膳食纤维理化及吸附特性[J].食品科学,2018,39(5):106-112.
GUO Zeng-wang, MA Ping, DIAO Jing-jing, et al. Physicochemical and adsorption properties of Water-insoluble Dietary Fiber from ultra micro soybean peel[J]. Food Science, 2018, 39(5): 106-112.
- [15] MUNAKATA A, IWANE S, TODATE M, et al. Effects of dietary fiber on gastrointestinal transit time, fecal properties and fat absorption in rats[J]. The Tohoku Journal of Experimental Medicine, 1995, 176(4): 227-238.
- [16] HILLEMEIER C. An overview of the effects of dietary fiber on gastrointestinal transit[J]. Pediatrics, 1995, 96(5): 997-999.
- [17] CHEN J, JIANG Y, LIANG Y, et al. DPA n -3, DPA n -6 and DHA improve lipoprotein profiles and aortic function in hamsters fed a high cholesterol diet[J]. Atherosclerosis, 2012, 221(2): 397-404.
- [18] SU J, MA C, LIU C, et al. Hypolipidemic activity of peony seed oil rich in α -linolenic, is mediated through inhibition of lipogenesis and upregulation of fatty acid β -oxidation[J]. Journal of Food Science, 2016, 81(4): H1001-H1009.