

柚皮膳食纤维对高脂日粮大鼠血脂调节的影响

王 强, 赵 欣*

(重庆第二师范学院生物与化学工程系, 食品安全与营养研究所, 重庆 400067)

摘 要: 研究柚皮膳食纤维(CDF)不同处理方式对高脂日粮大鼠抑制体质量和调节血脂等功能的影响。以SD大鼠为实验动物, 随机分组并根据膳食纤维处理方法及剂量分为空白对照组(BCK)、高脂对照组(CK)、高脂饲料+超微粉碎0.2g/d组、高脂饲料+超微粉碎0.04g/d组、高脂饲料+挤压膨化超微粉碎0.2g/d组、高脂饲料+挤压膨化超微粉碎0.04g/d组, 分别测定大鼠体质量、总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)、高密度脂蛋白(HDL-C)、低密度脂蛋白(LDL-C)及动脉硬化指数(AI), 并观察CDF对大鼠血脂水平的影响效果。结果表明: 经挤压膨化后的超微粉碎组能显著降低大鼠血清中TC含量及AI值($P<0.05$), 但对大鼠的体质量、体脂百分率、LDL-C无明显影响($P>0.05$)。经超微粉碎的高剂量柚皮膳食纤维具有良好的润肠通便和调节血脂作用。

关键词: 柚皮; 膳食纤维; 血脂; 调节

Regulatory Effect of Dietary Fiber from *Citrus maxima* Peel on Blood Lipids in Rats

WANG Qiang, ZHAO Xin*

(Institute of Food Safety and Nutrition, Department of Biological and Chemical Engineering,
Chongqing University of Education, Chongqing 400067, China)

Abstract: The aim of this study was to observe the regulatory effect of dietary fiber from *Citrus maxima* peel on body weight and blood lipids in rats. SD rats were randomly divided into five groups including blank control (BCK), high fat control (CK), high fat diet + 0.2 g/d of superfine dietary fiber powder (C1), high fat diet + 0.04 g/d of superfine dietary fiber powder (C2), high fat diet + 0.2 g/d of superfine powder of extruded dietary fiber (C3), and high fat diet + 0.04 g/d of superfine powder of extruded dietary fiber (C4). Several blood indexes such as TC, TG, HDL-C, LDL-C and AI were detected and changes in blood lipids after 50 days of administration were observed. Compared with the CK group, the C4 groups showed a significant reduction in serum TC level and AI ($P<0.05$), though no significant differences in body weight, body fat content or serum LDL-C level were observed ($P>0.05$). In conclusion, dietary fiber from *Citrus maxima* peel has laxative effects and can regulate blood lipids in mice.

Key words: *Citrus maxima*; dietary fiber; blood lipid; regulation

中图分类号: TS214.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2013)15-0277-04

doi:10.7506/spkx1002-6630-201315057

柚子(*Citrus maxima*), 圆头柑橘属植物果实, 营养价值较高, 具有健胃、润肺、补血、清肠、利便等功效, 可促进伤口愈合, 对败血病等有良好的辅助疗效。现代药理学认为^[1-3], 柚皮富含枳实、维生素、矿物质、糖类及挥发油等, 特别是柚皮中含有生理活性物质皮甙, 可有效降低血液的黏滞度, 减少血栓的形成, 故而对脑血管疾病(如脑血栓、中风等)有较好的预防作用。

高脂血症是心脑血管疾病的重要病理基础, 是心脑血管疾病如动脉粥样硬化、脑中风等发病的主要危险因素之一^[4], 临床上表现为高胆固醇血症、高甘油三酯血

症或两者兼有的混合型高脂血症。因此, 预防高脂血症的发生, 对减少心脑血管疾病的发病率具有重要意义。有研究证实^[5-6], 柚皮膳食纤维(*Citrus maxima* dietary fiber, CDF)中水溶性膳食纤维具有调节血糖, 防止便秘、预防结肠癌等多种生物活性功能。目前, 国内外对膳食纤维生理功能的研究主要集中在其对糖尿病、冠心病、抗氧化及调节神经等方面^[7-11], 鲜见有关其对控制体质量和调节血脂的研究报道。本研究基于挤压膨化^[12-13]和超微粉碎^[14-16]等技术可对膳食纤维结构、颗粒比、比表面积、水化作用(持水性、膨胀性)等性质进行改良的

收稿日期: 2012-06-12

基金项目: 重庆市自然科学基金项目(CSTC2012jjA80002); 重庆高校创新团队建设计划资助项目(KJTD201325)

作者简介: 王强(1982—), 男, 讲师, 硕士, 研究方向为膳食纤维生理生化及油脂氧化控制。E-mail: wangqiang8203@163.com

*通信作者: 赵欣(1981—), 男, 教授, 博士, 研究方向为功能性食品。E-mail: gogo1443@sina.com

相关研究,采用不同工艺提取的柚皮膳食纤维作为研究材料,通过大鼠高脂日粮饲喂的动物实验,研究不同处理条件下柚皮膳食纤维对大鼠体质量、动脉硬化指数及血脂的调节效果。

1 材料与方法

1.1 材料、动物与试剂

柚皮:选取无霉变的新鲜柚皮,经水洗、灭酶后,放置在冷冻干燥箱中干燥至质量恒定,待用。

选健康SPF级SD大鼠48只,雌雄各半,体质量(175±15)g。实验前所有实验动物均适应性喂养7d。

总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)、低密度脂蛋白(LDL-C)测定试剂盒 南京建成生物工程研究所;其他试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

SQW-6DI低温超微粉碎机 山东三清不锈钢设备有限公司;SYSLG-30IV实验双螺杆膨化机 济南塞百诺科技开发有限公司;7020型全自动生化分析仪 日本日立公司;H-1850R高速台式冷冻离心机 上海久世环保科技有限公司。

1.3 方法

1.3.1 CDF的制备

将柚皮粉碎至粒度为100目的粉末,经低温超微粉碎机在-8℃条件下进行超微粉碎10min,所得样品经激光粒度测定仪测定目数为280目,根据姜海伟等^[17]方法制得超微粉碎膳食纤维大鼠日粮。取100目的柚皮原料由双螺杆膨化机进行挤压膨化(各温度段为50℃→70℃→120℃→150℃),干燥后进行超微粉碎,相同方法^[17]制成挤压膨化超微粉碎膳食纤维大鼠日粮。

1.3.2 高脂日粮配方

高脂日粮组成:8%猪油+2%胆固醇+0.2%胆盐+89.8%基础料。

1.3.3 实验分组^[18]

将供试大鼠随机分为6组,每组8只,以基础饲料适应性喂养7d后,剪尾采血,测定血清TC。根据TC水平和体质量随机分为空白对照组(BCK)、高脂对照组(CK)、C1实验组(高脂饲料+超微粉碎CDF 0.2g/d)、C2实验组(高脂饲料+超微粉碎CDF 0.04g/d)、C3实验组(高脂饲料+挤压膨化超微粉碎CDF 0.2g/d)、C4实验组(高脂饲料+挤压膨化超微粉碎CDF 0.04g/d)。BCK组饲喂基础饲料,实验组采用基础饲料和高脂饲料自由采食的方式。C1、C3每天灌胃0.1g/mL膳食纤维悬浊液2mL, C2、C4每天灌胃0.02g/mL膳食纤维悬浊液2mL(上述膳食纤维悬浊液均由0.2%海藻酸钠溶液配置而成),BCK与CK每天灌胃0.2%海藻酸钠溶液2mL。连续灌胃50d(以CK

组造模成功为标准),每10d测定1次实验动物体质量,每12d取血1次(眼球采血制备血清),测定血脂4项指标,在第50天时采用眼球摘取法取血后解剖老鼠,取生殖器周围脂肪称质量,血液放置2.5h后用高速冷冻机在3000r/min条件下离心15min,保存于-20℃条件下备用。

1.3.4 大鼠生理指标检测

1.3.4.1 血脂4项指标

血脂4项中TC、TG及HDL-C均按照试剂盒操作说明进行测定,LDL-C按式(1)计算。

$$\text{LDL-C含量} = \text{TC含量} - \text{HDL-C含量} - \text{TG含量}/2.2 \quad (1)$$

1.3.4.2 其余指标

$$\text{体脂百分率}/\% = \frac{\text{脂质量}/\text{g}}{\text{体质量}/\text{g}} \times 100 \quad (2)$$

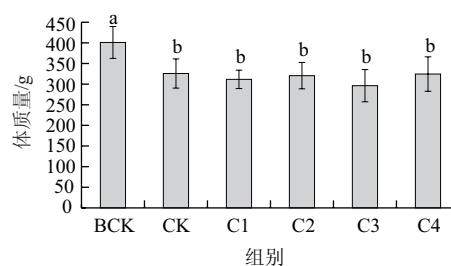
$$\text{动脉硬化指数(AI)} = \frac{\text{TC含量} - \text{HDL-D含量}}{\text{HDL-D含量}} \quad (3)$$

1.4 数据处理

采用SPSS 16.0统计软件分析数据,组间比较采用One Way ANOVA单因素方差分析,结果取 $\bar{x} \pm s(n=8)$, $P<0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 不同处理柚皮膳食纤维对大鼠体质量的影响



不同字母表示差异显著($P<0.05$)。下同。

图1 不同处理方式下柚皮膳食纤维对大鼠体质量的影响

Fig.1 Effect of dietary fibers from *Citrus maxima* peel with and without extrusion on body weight in rats

大鼠的体质量增长情况是反映其生长发育的重要指标^[19]。由图1可知,经过50d饲喂高脂饲料和柚皮膳食纤维的大鼠体质量变化不明显($P>0.05$),除C3实验组大鼠体质量略低外,其余实验组差距较小,但BCK组体质量明显高于实验各组($P<0.05$)。一般认为,摄入高脂饲料会导致营养型肥胖从而引起体质量升高。通过饲喂过程中大鼠体质量的变化不难看出,饲喂高脂饲料各组不但没有造成大鼠体质量的显著增加反而显著减少,究其原因,可能是高脂饲料的适口性变差,导致供试大鼠对高脂饲料的摄入量大大减少,造成其体质量反而低于BCK组,这与吕建敏等^[20]的研究基本一致。饲喂高脂饲料各组间体质量无

显著差异,说明在7周饲喂时间内,饲喂高脂饲料及灌胃不同处理的膳食纤维对大鼠体质量水平无显著影响。

2.2 不同处理膳食纤维对大鼠体脂百分率的影响

肥胖是脂质代谢紊乱和心血管疾病的危险因素,体脂率作为常用的判断肥胖程度的指标其与血脂异常的关系已被大量研究^[21-22]所证实,因此体脂率能更好地反映肥胖水平。第50天,BCK组体质量与其余各组有显著差异(图1),但各实验组间体脂并无明显差异($P>0.05$)(图2)。反映出高脂饲料+膳食纤维实验各组有效控制了大鼠体脂水平,没有随高脂饲料摄入的增加呈现升高的情况,体脂率基本保持在恒定范围。

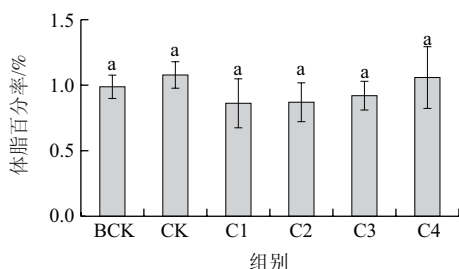


图2 不同处理膳食纤维对大鼠体脂百分率的影响

Fig.2 Effect of dietary fibers from *Citrus maxima* peel with and without extrusion on body fat content in rats

2.3 不同处理膳食纤维对大鼠血清TC及TG含量的影响

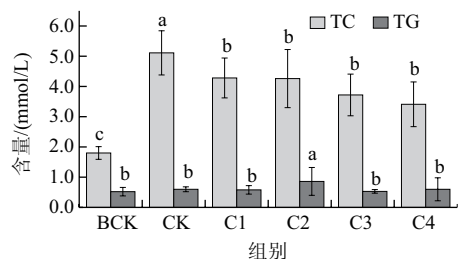


图3 不同处理膳食纤维对大鼠血清TC、TG含量的影响

Fig.3 Effect of dietary fibers from *Citrus maxima* peel with and without extrusion on serum TC and TG levels in rats

由图3可知,随着大鼠饲喂时间的延长,高脂饲料+膳食纤维实验各组血清胆固醇水平较BCK组显著增加($P<0.05$)。第50天,CK组的血清TC含量达到5.11mmol/L,是BCK组的3.25倍;C1组、C2组平均值为4.27mmol/L,C3组、C4组平均值为3.57mmol/L,分别是BCK组的2.65和2.21倍,较CK组大鼠血清TC含量分别下降了18.4%和31.7%,虽然C3组及C4组间差异不显著,但其明显低于CK组($P<0.05$),说明其调节大鼠体内血清TC水平效果最好。到第50天时,灌胃相同剂量的情况下,挤压膨化后超微粉碎C3组、C4组与原料直接超微粉碎C1组、C2组相比,大鼠血清TG水平分别降低了8.6%和30.2%,说明采用同等剂量灌胃,挤压膨化后超微粉碎和原料直接超微粉碎相,更为有效地降低供试大鼠的血

清TG水平,且灌胃高剂量两组(C1组、C3组)均低于灌胃低剂量两组(C2组、C4组)。综合分析得出,灌胃高剂量(0.2g/d)挤压膨化膳食纤维C3实验组大鼠体内血清TG水平最低,调节血清TG效果最好。

2.4 不同处理膳食纤维对大鼠血清HDL-C、LDL-C的影响

表1 不同处理膳食纤维对大鼠血清HDL-C、LDL-C的影响($\bar{x} \pm s, n=8$)

Table 1 Effect of dietary fibers from *Citrus maxima* peel with and without extrusion on serum HDL-C and LDL-C levels in rats ($\bar{x} \pm s, n=8$)

组别	BCK	CK	C1	C2	C3	C4
LDL-C含量/(mmol/L)	0.94±0.18 ^a	0.71±0.05 ^{ab}	0.66±0.19 ^b	0.59±0.18 ^b	0.77±0.22 ^{ab}	0.65±0.11 ^b
HDL-C含量/(mmol/L)	0.77±0.14 ^c	4.80±0.69 ^a	3.36±0.67 ^b	3.28±0.96 ^b	2.71±1.36 ^b	2.50±0.78 ^b

由表1可知,经过50d的动物实验,C3实验组LDL-C含量仍高于其他高脂饲料组(C1组、C2组和C4组),反映出膳食纤维浓度与LDL-C呈正相关关系。除与CK组间无显著性差异外,实验组与BCK对照均有显著性差异($P<0.05$)。证实膳食纤维实验组对高脂日粮大鼠血清LDL-C含量水平无显著影响,且明显低于BCK组水平($P<0.05$)。与此同时,高脂日粮大鼠血清HDL-C在50d后与LDL-C结果相反。CK组与C1、C2实验组无显著差别($P>0.05$),富含膳食纤维高脂实验组与BCK组有较大幅度升高($P<0.05$),且高脂饲料对大鼠血清HDL-C水平有显著影响。经挤压膨化后的超微粉碎C3组、C4组与CK组相比下降了39%和36%,其调节供试大鼠体内血清HDL-C效果尤为明显。

2.5 柚皮膳食纤维对大鼠AI的影响

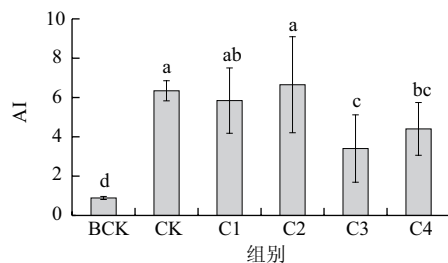


图4 不同处理方式柚皮膳食纤维对大鼠动脉硬化指数(AI)的影响

Fig.4 Effect of dietary fibers from *Citrus maxima* peel with and without extrusion on AI in rats

由图4可知,第50天,与BCK组比较,高脂饲料各组大鼠动脉硬化指数均有显著提高($P<0.05$)。高脂饲料组间,原料直接超微粉碎组(C1组、C2组)与CK组相比,虽然AI有所降低,但降低值未达到显著水平($P>0.05$);原料挤压膨化后超微粉碎组(C3组、C4组)与CK组相比,平均降低38.5%,尤其是原料挤压膨化后超微粉碎高剂量C3组,降低了46.4%。说明挤压膨化后超微粉碎膳食纤维可以在一定程度上降低动脉硬化指数,其中尤其以原料挤压膨化后超微粉碎高剂量C3组降低效果最为明显,调节效果最好。

3 讨论

通过本研究不难发现, 实验组大鼠在采食高脂日粮和柚皮膳食纤维(CDF)后体质量均低于BCK组, 其原因可能与高脂日粮适口性变差有关。体脂率没有随高脂饲料摄入的增加而升高, 反映出膳食纤维日粮可有效控制大鼠体脂水平。

临床流行病学研究表明^[23-24], 血清TG和高TC是心血管疾病的诱发因子, 胆固醇的代谢途径主要是通过粪便, 而胆汁酸又是胆固醇的代谢产物。HDL-C将胆固醇从周围组织细胞转运到肝脏, 将过多的胆固醇代谢及排泄, 以维持血浆正常胆固醇水平。与BCK组相比, 膳食纤维高脂组对大鼠TG水平有显著影响($P<0.05$), 其调节供试大鼠体内血清HDL-C水平效果尤为明显。经挤压膨化后超微粉碎高、低剂量组(C3组、C4组)均能显著降低大鼠血清中TC、LDL-C含量及动脉硬化指数($P<0.05$), 对血脂调节的效果优于其他各组。

有研究表明^[25], 膳食纤维具有良好的吸附及包埋特性。本实验采用不同处理工艺对柚皮膳食纤维进行超微粉碎, 大幅降低了粒度直径, 破坏了细胞壁完整的结构, 并提高了柚皮膳食纤维的比表面积, 使得胆汁在小肠内更容易被膳食纤维包裹, 胆酸因此不能通过小肠肠壁被吸收再回到肝脏, 肝脏只能靠吸收血液中的胆固醇来补充消耗的胆酸, 从而有效调节了血液中HDL-C、TC、LDL-C和AI的水平, 该结论将为进一步研究柚皮膳食纤维其他生理功能活性提供依据。

参考文献:

- RAJADURAI M, PRINCE P S. Naringin ameliorates mitochondrial lipid peroxides, antioxidants and lipids in isoproterenol-induced myocardial infarction in Wistar rats[J]. *Phytother Res*, 2009, 23(3): 358-362.
- RAJADURAI M, PRINCE P S. Preventive effect of naringin on cardiac mitochondrial enzymes during isoproterenol-induced myocardial infarction in rats: a transmission electron microscopic study[J]. *J Biochem Mol Toxicol*, 2007, 21(6): 354-361.
- ZIELINSKA-PRZYJEMSKA M, IGNATOWICZ E. Citrus fruit flavonoids influence on neutrophil apoptosis and oxidative metabolism[J]. *Phytother Res*, 2008, 22(12): 1557-1562.
- KABAGAMBE E K, TSAI M Y, HOKINS P N. Erythrocyte fatty acid composition and the metabolic syndrome: a national heart lung and blood institut GOLDN study[J]. *Clin Chem*, 2008, 54(1): 154-162.
- JUNG U J, LEE M K, PARK Y B. Effect of citrus flavonoids on lipid metabolism and glucoseregulating enzyme mRNA levels in type-2 diabetic mice[J]. *Int J Biochem Cell Biol*, 2006, 6: 1455-1460.
- LIM H K, YOO E S, MOON J Y. Antioxidant activity of extracts from Dangyuja (*Citrus grandis* Osbeck) fruits produced in Jeju Island[J]. *J Food Sci Biotechnol*, 2006, 15: 312-316.
- 谌小立, 赵国华. 抗氧化膳食纤维研究进展[J]. *食品科学*, 2009, 30(5): 291-294.
- ADEGHATE E. Molecular and cellular basis of the aetiology and management of diabetic cardiomyopathy: a review[J]. *Molecular and Cellular Biochemistry*, 2004, 261(1): 152-157.
- HARDING A H, WAREHAM N J, BINGHAM S A. Plasma vitamin C, fruit and vegetable consumption, and the risk of new-onset type 2 diabetes mellitus: the European prospective investigation of cancer Norfolk prospective[J]. *Arch Intern Med*, 2008, 168: 1493-1499.
- 袁小平, 王静, 姚惠源. 小麦麸皮阿魏酰低聚糖对红细胞氧化性溶血抑制作用的研究[J]. *中国粮油学报*, 2005(1): 13-16.
- 陈江, 章荣华, 方越强, 等. 膳食纤维摄入与糖尿病、脑卒中和冠心病发病率的关联[J]. *营养学报*, 2010, 32(4): 331-335.
- 王岸娜, 朱海兰, 吴立根, 等. 膳食纤维的功能、改性及应用[J]. *河南工业大学学报: 自然科学版*, 2009, 30(2): 89-94.
- 李世敏. 功能食品加工技术[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2003.
- 肖安红, 邝艳梅, 孙秀发. 超微粉碎对大豆皮膳食纤维性质影响的研究[J]. *食品工业科技*, 2008, 210(10): 99-100.
- 吴茂玉, 葛邦国, 和法涛, 等. 苦瓜超微膳食纤维粉的研究[J]. *食品科技*, 2007, 185(3): 72-75.
- 李鹏飞, 王健, 任志远. 麦麸膳食纤维改性研究[J]. *粮油食品科技*, 2009, 92(6): 3-5.
- 娄海伟, 迟玉杰. 挤压豆渣中可溶性膳食纤维制备工艺的优化[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(6): 285-289.
- 郑刚, 胡娟, 吴洪斌, 等. 3种可溶性膳食纤维对大鼠血脂的影响[J]. *食品科学*, 2011, 32(3): 233-237.
- MAZDAI A, DODDER N G, ABERNATHY M P. Polybrominated diphenyl ethers in maternal and fetal blood samples[J]. *Environ Health Perspect*, 2003, 111: 1249-1252.
- 吕建敏, 应华忠, 徐孝平. 高脂血症动物模型研究进展[J]. *浙江中医学院学报*, 2005, 29(4): 87-89.
- MANACH C, MAZUR A, SCALBERT A. Polyphenols and prevention of cardiovascular diseases[J]. *Current Opinions in Lipidology*, 2005, 16(1): 77-84.
- JEONG S M, KIM S Y, KIM D R, et al. Effect of heat treatment on the antioxidant activity of extract from citrus peels[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2004, 52: 3389-3393.
- SEIGO B, MIDORI N, AKIKO Y, et al. Plasma LDL and HDL cholesterol and oxidized LDL concentrations are altered in normo- and hypercholesterolemic humans after intake of different levels of cocoa powder[J]. *J Nutr*, 2007, 137(6): 1436-1441.
- MURSU J, VOUTILAINEN S, NURMI T, et al. Dark chocolate consumption increases HDL cholesterol concentration and chocolate fatty acids may inhibit lipid peroxidation in healthy humans[J]. *Free Radic Biol Med*, 2004, 37: 1351-1359.
- WOOD P J. Evaluation of oat bran as a soluble fiber source: characterization of oat β -glucan and its effects on glycaemic response[J]. *Carbohydrate Polymer*, 1994, 25: 331-336.