

# 燕麦 - 葡聚糖对高脂血症大鼠空腹和餐后脂代谢的影响

申瑞玲<sup>1,2</sup>, 王志瑞<sup>1,\*</sup>, 董吉林<sup>2</sup>, 李宏全<sup>1</sup>, 李文全<sup>1</sup>

(1.山西农业大学动物科技学院, 山西 太谷 030801; 2.郑州轻工业学院食品与生物工程学院, 河南 郑州 450002)

**摘要:**研究了燕麦 $\beta$ -葡聚糖对高脂血症大鼠空腹和餐后脂代谢的影响。58只雄性SD大鼠随机分为基础组( $n=10$ )和模型组( $n=40$ ),分别饲喂基础饲料和高脂饲料,饲养3w后,将造模成功的高血脂症大鼠随机分为高脂对照组、添加燕麦 $\beta$ -葡聚糖低剂量组、中剂量组和高剂量组,每组10只,分别饲喂含0、6、12、24g $\beta$ -葡聚糖/kg的高脂饲料6w。于实验期末,分别测定大鼠空腹(禁食12h)和餐后(禁食16h后再强饲5g饲料后2h)血浆TC、TG、LDL-C、HDL-C、ApoAI和ApoB的含量以及肝脏脂质变化。结果表明:不同剂量 $\beta$ -葡聚糖都极显著降低空腹血浆TC、LDL-C和ApoB水平,而对HDL-C、TG和ApoAI无显著影响; $\beta$ -葡聚糖可以改善餐后血脂分布,降低肝脏脂质含量,不同剂量之间具有一定的差异性。

**关键词:**燕麦 $\beta$ -葡聚糖;大鼠;空腹和餐后;脂代谢

## Effects of Oat $\beta$ -Glucan on Limosis and Postprandial Lipid Metabolism of Hyperlipidemic Rats

SHEN Rui-ling<sup>1,2</sup>, WANG Zhi-rui<sup>1,\*</sup>, DONG Ji-lin<sup>2</sup>, LI Hong-quan<sup>1</sup>, LI Wen-quan<sup>1</sup>

(1.College of Animal Science and Technology, Shanxi Agricultural University, TaiGu 030801, China;

2.School of Food and Biological Engineering, Zhengzhou Institute of Light Industry, Zhengzhou 450002,China)

**Abstract:** Fifty-eight male SD rats were randomly divided into two groups, the control group ( $n=10$ ) fed with basal diets and the model group ( $n=48$ ) fed with high-fat diets for 3 weeks. Then hyperlipidemia rats were divided into 4 treatments ( $n=10$ ), high lipid control treatment, low-dose, medium-dose and high-dose oat  $\beta$ -glucan treatments, which were fed high-fat diets plus different contents of oat  $\beta$ -glucan (0, 6, 12 and 24 g  $\beta$ -glucan/kg, respectively) for 6 weeks. The levels of TC, TG, LDL-C, HDL-C, ApoAI and ApoB in plasma were measured at the states of limosis (Rats were fasted for 12 h) and postprandial 2 h (Rats were fasted for 16 h and then fed 5 g diet), respectively. Hepatic lipids were also measured at the end of experiments. The results showed that compared with high lipid control group, the contents of TC, LDL-C and ApoB in plasma are significantly decreased in three oat  $\beta$ -glucan groups of hypolipidemic rats at the state of limosis. Three doses of  $\beta$ -glucan also can significantly improve postprandial plasma lipid distribution and reduce hepatic cholesterol and triglyceride concentrations. Furthermore, the difference among three doses of oat  $\beta$ -glucan was observed in this experiment.

**Key words:** oat  $\beta$ -glucan; rats; limosis and postprandial lipid metabolism

中图分类号: R151

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2009)01-0258-03

动脉粥样硬化(AS)是心血管疾病的主要原因,高血脂是AS发生的重要因素,因此降低血脂已成为预防和控制心血管疾病的重要手段。目前所采用的血脂参数都是空腹状态下测定的结果,而人体大部分时间则是处于餐后(食物消化及其后6~8h内)状态,因此,空腹状态结合餐后血脂参数的测定更能准确地反映血脂的代谢状

态。目前对于具有高血脂倾向的人群,往往趋向于通过营养途径来调节脂代谢。已经发现膳食纤维、黄酮类、多不饱和脂肪酸、皂甙等多种生物活性物质具有调节血脂作用。膳食纤维,特别是水溶性膳食纤维在降血脂方面备受青睐。水溶性膳食纤维可增加小肠内容物的黏度,阻碍胆固醇向肠壁黏膜细胞的扩散以及胆

收稿日期: 2008-01-04

基金项目: 山西省科技机关计划项目(051072); 国家自然科学基金项目(20776135)

作者简介: 申瑞玲(1967-),女,教授,博士,主要从事食品营养研究。E-mail: shenruiling2002@yahoo.com.cn

\*通讯作者: 王志瑞(1959-),男,教授,博士,主要从事动物营养与代谢调控研究。E-mail: zhiruiwang@mail.nih.gov

汁与胆固醇的乳化作用,能够干扰了膳食胆固醇的吸收;也能有效地抑制胆汁酸在肠道内的重吸收,促进粪便胆汁酸的排泄,阻断胆汁酸肝肠循环,因而促使更多的肝脏胆固醇向胆汁酸转化,起到降脂效果<sup>[1]</sup>;膳食纤维还可以影响餐后血脂,糖尿病患者高纤维膳食餐后TG水平的高峰推迟,峰值降低,整个曲线下面积(24h总量)减少<sup>[2]</sup>。燕麦 $\beta$ -葡聚糖是一种重要的水溶性膳食纤维,许多研究报道其具有降低血脂功<sup>[3-4]</sup>。但 $\beta$ -葡聚糖本身的分子特性以及给予的方式对血脂的影响不同,且其确切的降脂机理还不十分清楚。本研究考察了燕麦 $\beta$ -葡聚糖对高脂血症大鼠空腹和餐后血脂以及肝脂质的影响,为 $\beta$ -葡聚糖功能性食品的开发提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

实验动物SD大鼠(雄性,210±20g)和基础饲料,由河南医科大学实验动物中心提供。

燕麦 $\beta$ -葡聚糖由本实验室自制:燕麦麸→过40目筛→热水提取(料液比1:20,温度80℃,pH9,提取时间2h)→离心,留上清液→酶法去淀粉→等电点沉淀法去蛋白→离心去沉淀→上清液减压浓缩→加入60%乙醇,静置4℃过夜→离心留沉淀→20%硫酸铵纯化→离心分离→沉淀复溶→透析→燕麦 $\beta$ -葡聚糖( $\beta$ -葡聚糖的含量为86%,相对分子质量为 $2.62 \times 10^6$ )。

血清总胆固醇(TC)、总甘油三酯(TG)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)、载脂蛋白(ApoAI和ApoB)测试试剂盒 中生北控生物科技股份有限公司;胆固醇、猪胆盐 郑州利伟生物技术有限公司;其他试剂为分析纯。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 大鼠实验性高胆固醇血症模型的建立和实验动物分组

58只大鼠适应性饲养一周后随机分成基础(n=10)和模型组(n=40),基础组饲喂基础饲料,模型组饲喂高脂饲料(胆固醇2%、胆酸钠0.5%、猪油10%、0.2%丙基硫氧嘧啶、87.3%基础饲料),3w末尾静脉取血测定血浆TC和TG,以模型组血浆TC显著高于基础组为造模成功的标准。将造模成功的大鼠随机分为4组,每组10只,分别为高脂对照组、燕麦 $\beta$ -葡聚糖低剂量组、中剂量组和高剂量组,分别添加饲喂含燕麦 $\beta$ -葡聚糖的0、6、12和24g/kg的高脂饲料,连续饲喂6w。实验期间各组大鼠自由采食和饮水。

#### 1.2.2 血脂测定方法

于实验的第6w末,禁食12h后大鼠尾静脉采血;各组大鼠禁食16h后,强饲5g饲料,2h后采血,分离血浆,分别按照试剂盒说明书测定大鼠空腹和餐后血浆TC、TG、LDL-C、HDL-C、ApoAI和ApoB的含量。

### 1.2.3 肝脂质测定

乙醚麻醉处死动物后,立即取肝脏称重,计算肝脏系数(肝脏系数(%)=肝脏重量/体重×100);将部分肝组织置于预冷的异丙醇中,冰浴匀浆为10%的匀浆液,4℃静置抽提48h后3000r/min离心15min,取上清液用酶法测定TC和TG。

### 1.3 统计分析

采用SAS8.1软件包t检验和单因素方差分析统计,组间比较采用q检验法。

## 2 结果与分析

### 2.1 燕麦 $\beta$ -葡聚糖对高脂血症大鼠空腹和餐后血脂的影响

表1 燕麦 $\beta$ -葡聚糖对高脂血症大鼠空腹和餐后血脂的影响( $\bar{x} \pm s$ )  
Table 1 Effects of oat  $\beta$ -glucan on limosis and postprandial lipids in hyperlipidemic rats ( $\bar{x} \pm s$ )

组别		TC(mmol/L)	LDL-C(mmol/L)	HDL-C(mmol/L)	TG(mmol/L)
基础组	空腹	1.75 ± 0.19	0.37 ± 0.07	1.36 ± 0.13	0.37 ± 0.05
	餐后	1.84 ± 0.11	0.81 ± 0.15	0.98 ± 0.10	0.39 ± 0.11
高脂对照组	空腹	7.42 ± 1.02 <sup>Aa**</sup>	5.79 ± 0.93 <sup>Aa**</sup>	1.44 ± 0.16	0.34 ± 0.04
	餐后	7.21 ± 1.33 <sup>Aa**</sup>	3.41 ± 0.57 <sup>Aa**</sup>	1.04 ± 0.31 <sup>Aa</sup>	0.65 ± 0.21 <sup>Aa**</sup>
低剂量组	空腹	3.56 ± 0.41 <sup>Bb</sup>	1.97 ± 0.34 <sup>Bb</sup>	1.44 ± 0.14	0.34 ± 0.05
	餐后	3.68 ± 0.38 <sup>Bb</sup>	2.04 ± 0.57 <sup>Bb</sup>	1.16 ± 0.27 <sup>Aa</sup>	0.36 ± 0.14 <sup>Bb</sup>
中剂量组	空腹	3.30 ± 0.50 <sup>Bb</sup>	1.51 ± 0.26 <sup>Bb</sup>	1.47 ± 0.10	0.43 ± 0.10
	餐后	3.581 ± 0.83 <sup>Bb</sup>	1.35 ± 0.34 <sup>Bc</sup>	1.02 ± 0.22 <sup>Aa</sup>	0.41 ± 0.068 <sup>Bb</sup>
高剂量组	空腹	2.89 ± 0.36 <sup>Bb</sup>	1.45 ± 0.12 <sup>Bb</sup>	1.41 ± 0.15	0.41 ± 0.12
	餐后	3.88 ± 0.81 <sup>Bb</sup>	1.86 ± 0.20 <sup>Bc</sup>	1.31 ± 0.23 <sup>Ab</sup>	0.48 ± 0.079 <sup>Ab</sup>

注:\*.和基础组相比,  $p < 0.05$ ; \*\*.和基础组相比,  $p < 0.01$ ; 与高脂对照组比较, 同列不同大写字母者差异极显著( $p < 0.01$ ), 不同小写字母者差异显著( $p < 0.05$ )。下同。

由表1可见,给予大鼠三个不同剂量燕麦 $\beta$ -葡聚糖6w后,和高脂对照组相比,各剂量组空腹血浆TC和LDL-C水平都极显著地降低( $p < 0.01$ ),血浆HDL-C水平和TG含量无显著差异( $p > 0.05$ );不同 $\beta$ -葡聚糖剂量组相比对血脂的影响无显著差异( $p > 0.05$ ),但对于血浆TC/HDL-C和HDL-C/LDL-C的影响,高剂量和中剂量的作用优于低剂量。高脂餐后,高脂对照组的各项血脂指标都显著高于对照组;而 $\beta$ -葡聚糖各剂量组血浆TC、LDL-C和TG水平都比高脂对照组显著降低( $p < 0.01$ )。各剂量组相比,三个不同剂量组血浆TC、TG含量相比无显著差异( $p > 0.05$ ),甘油三酯的含量随剂量有上升趋势,但统计学上无显著差异。中剂量组血浆LDL-C水平显著低于低剂量组( $p < 0.05$ ),高剂量组血浆LDL-C和中剂量组、低剂量组相比无显著差异,但HDL-C升高( $p < 0.05$ )。

### 2.2 燕麦 $\beta$ -葡聚糖对高脂血症大鼠空腹和餐后载脂蛋白的影响

表2  $\beta$ -葡聚糖对高脂血症大鼠空腹和餐后载脂蛋白的影响( $\bar{x} \pm s$ )  
Table 2 Effects of  $\beta$ -glucan on limosis and postprandial apolipoproteins in hyperlipidemia rats ( $\bar{x} \pm s$ )

组别		ApoAI(g/L)	ApoB(g/L)	ApoAI/ApoB
基础组	空腹	0.25 $\pm$ 0.042	0.19 $\pm$ 0.037	1.30 $\pm$ 0.098
	餐后	0.23 $\pm$ 0.048	0.35 $\pm$ 0.063	0.67 $\pm$ 0.23
高脂对照组	空腹	0.18 $\pm$ 0.033**	0.54 $\pm$ 0.077 <sup>Aa**</sup>	0.34 $\pm$ 0.046 <sup>Bb**</sup>
	餐后	0.21 $\pm$ 0.028	0.45 $\pm$ 0.110 <sup>Aa*</sup>	0.51 $\pm$ 0.18 <sup>Bc**</sup>
低剂量组	空腹	0.19 $\pm$ 0.025	0.41 $\pm$ 0.090 <sup>Bb</sup>	0.48 $\pm$ 0.14 <sup>ABa</sup>
	餐后	0.19 $\pm$ 0.039	0.42 $\pm$ 0.061 <sup>Aa</sup>	0.54 $\pm$ 0.10 <sup>Bc</sup>
中剂量组	空腹	0.21 $\pm$ 0.037	0.40 $\pm$ 0.014 <sup>Bb</sup>	0.51 $\pm$ 0.089 <sup>Aa</sup>
	餐后	0.21 $\pm$ 0.053	0.22 $\pm$ 0.059 <sup>Bb</sup>	0.96 $\pm$ 0.35 <sup>Ab</sup>
高剂量组	空腹	0.22 $\pm$ 0.030	0.40 $\pm$ 0.024 <sup>Bb</sup>	0.55 $\pm$ 0.085 <sup>Aa</sup>
	餐后	0.25 $\pm$ 0.040	0.20 $\pm$ 0.021 <sup>Bb</sup>	1.25 $\pm$ 0.23 <sup>Aa</sup>

由表2可知,空腹时,高脂对照组的血浆ApoAI和ApoAI/ApoB水平都比基础组极显著降低( $p < 0.01$ ),ApoB极显著升高( $p < 0.01$ )。和高脂对照组相比,三个不同剂量的 $\beta$ -葡聚糖组都极显著降低血浆ApoB( $p < 0.01$ ),而对血浆ApoAI无显著影响( $p > 0.05$ ),高剂量组和中剂量组的血浆ApoAI/ApoB极显著升高( $p < 0.01$ ),同时低剂量组的显著升高( $p < 0.05$ )。作用的剂量依赖性不强。餐后和高脂对照相比, $\beta$ -葡聚糖各剂量组对血浆ApoAI都无显著影响;中剂量组和高剂量组的血浆ApoB极显著降低( $p < 0.01$ ),低剂量组的血浆ApoB无显著变化;中剂量组和高剂量组的血浆ApoAI/ApoB极显著升高( $p < 0.01$ ),而低剂量组的无显著改变。各剂量组相比,高剂量组的血浆ApoB显著地低于低剂量组( $p < 0.05$ ),和中剂量组相比无显著差异;高剂量组和中剂量组的ApoAI/ApoB极显著高于低剂量组( $p < 0.01$ ),高剂量组的ApoAI/ApoB显著高于中剂量组( $p < 0.05$ )。

### 2.3 燕麦 $\beta$ -葡聚糖对高脂血症大鼠肝脂质的影响

表3  $\beta$ -葡聚糖对高脂血症大鼠肝脂质的影响( $\bar{x} \pm s$ )  
Table 3 Effects of  $\beta$ -glucan on hepatic lipid indexes in hyperlipidemic rats ( $\bar{x} \pm s$ )

组别	肝脏重量(g)	肝脏系数 (100g bw)	胆固醇 ( $\mu$ mol/g)	甘油三酯 ( $\mu$ mol/g)
基础组	9.01 $\pm$ 1.34	2.50 $\pm$ 0.49	7.28 $\pm$ 1.25	9.64 $\pm$ 1.24
高脂对照组	11.33 $\pm$ 1.26 <sup>a*</sup>	4.24 $\pm$ 0.59 <sup>a**</sup>	39.7 $\pm$ 3.98 <sup>Aa**</sup>	18.67 $\pm$ 1.69 <sup>Aa**</sup>
低剂量组	9.50 $\pm$ 1.44 <sup>b</sup>	3.26 $\pm$ 0.56 <sup>b</sup>	22.83 $\pm$ 3.49 <sup>Bb</sup>	16.93 $\pm$ 2.57 <sup>ABb</sup>
中剂量组	10.01 $\pm$ 0.86 <sup>ab</sup>	3.49 $\pm$ 0.57 <sup>b</sup>	23.88 $\pm$ 3.56 <sup>Bb</sup>	15.72 $\pm$ 1.81 <sup>Ab</sup>
高剂量组	9.65 $\pm$ 1.38 <sup>b</sup>	3.43 $\pm$ 0.73 <sup>b</sup>	21.45 $\pm$ 4.69 <sup>Bb</sup>	10.32 $\pm$ 1.93 <sup>Bc</sup>

如表3所示,高脂对照组大鼠肝脏重量、肝脏系数、肝胆固醇和甘油三酯含量都显著高于基础组,高脂饲料饲喂导致肝脏的胆固醇和甘油三酯的积累增加。和高脂对照组相比, $\beta$ -葡聚糖三个不同剂量组的肝系数显著降低( $p < 0.05$ );肝胆固醇、甘油三酯含量极显著降低( $p < 0.01$ );高剂量组的肝重显著降低( $p < 0.05$ );含量极显著降低( $p < 0.01$ );且组间具有差异性。

### 3 结论与讨论

血浆TC水平升高是动脉粥样硬化性疾病的强力危险因素,尤其同时伴有LDL-C升高或HDL-C下降时危险性更大。LDL内源性胆固醇转运的主要载体,HDL主要运输外周组织中胆固醇返回肝脏降解,且HDL能够与LDL竞争性争夺血管内皮细胞的受体,而起到抗动脉粥样硬化的作用<sup>[5]</sup>。载脂蛋白是血浆中胆固醇转运体的组成部分,ApoB是内源性胆固醇和甘油三酯的运输载体,ApoAI是高密度脂蛋白的重要组成部分;ApoAI/ApoB比值与动脉粥样硬化有密切关系,低ApoB、高ApoAI和ApoAI/ApoB可以降低心血管疾病的危险性。人体和动物实验研究表明,果胶、瓜儿胶和羧甲基纤维等可溶性膳食纤维能减少载脂蛋白的分泌和LDL受体的表达而降低血浆胆固醇水平<sup>[6]</sup>。近年来研究发现餐后血脂变化是致动脉粥样硬化的关键时期<sup>[7]</sup>。本实验结果表明,燕麦 $\beta$ -葡聚糖可以明显降低高脂血症大鼠空腹和餐后TC、TG、LDL-C和ApoB水平,且肝胆固醇和甘油三酯也显著下降,这说明 $\beta$ -葡聚糖减少了饲料脂质的吸收,使肝脏合成和转运脂质的能力下降。不同剂量的 $\beta$ -葡聚糖虽对ApoAI无显著影响,但可升高ApoAI/ApoB,表明 $\beta$ -葡聚糖可以降低VLDL极低密度脂蛋白的分泌,减少VLDL转变为LDL,而降低血浆LDL-C,同时相对增强了胆固醇的逆转运作用。近年来,燕麦 $\beta$ -葡聚糖降血脂的剂量一直是有争议的问题,FDA最终建议燕麦 $\beta$ -葡聚糖的降脂剂量是3g/d。本研究选取相当于人的4.5、9、13.5g/d三个剂量,实验结果显示,各剂量 $\beta$ -葡聚糖都有显著降血脂作用,但剂量依赖性不是很大,这可能是由于将 $\beta$ -葡聚糖拌在饲料里,添加量增加,大鼠采食量减少影响所致,但即使是低剂量组,也使大鼠空腹血浆TC下降52%,表明燕麦 $\beta$ -葡聚糖有抗动脉粥样硬化形成的作用。因此,建议对于高血脂人群服用4.5g/d燕麦 $\beta$ -葡聚糖。

### 参考文献:

- [1] GALLAHER D D, HASSEL C A, IEE K J. Relationships between viscosity of hydroxypropyl methylcellulose and plasma cholesterol in hamsters[J]. Nutrition, 1993, 123: 1732-1738.
- [2] 刘国荣.复合膳食纤维的制备及其对预防动脉粥样硬化的作用[D].青岛:青岛大学,2001.
- [3] BRAATEN J T, WOOD P J, SCOTT F W, et al. Oat beta-glucan reduces blood cholesterol concentration in hypercholesterolemic subjects[J]. Eur J Clin Nutr, 1994, 48(7): 465-474.
- [4] KERCKHOFFS D A J M, HORNSTRA G, MENSINK R P. Cholesterol lowering effect of  $\beta$ -glucan from oat bran in mildly hypercholesterolemic subjects may decrease when  $\beta$ -glucan is incorporated into bread and cookies[J]. American Journal of Clinical Nutrition, 2003, 78(8): 221-227.
- [5] 黄韵竹,田启红,邓淦.高脂血症患者血中低密度脂蛋白、载脂蛋白B含量相关变化[J].护士进修杂志,2003,18(2): 114-116.
- [6] SOLA R, GODAS G, RIBALAT J, et al. Effects of soluble fiber (*Plantago ovata* husk) on plasma lipids, lipoproteins, and apolipoproteins in men with ischemic heart disease[J]. American Journal of Clinical Nutrition, 2007, 85(4): 1157-1163.
- [7] 严光.餐后高甘油三酯血症[J].老年医学与保健,2006,12(1): 58-60.