

## 复合全谷豆粗杂粮对脂代谢紊乱 大鼠体内外抗氧化作用的影响



周思宇 翟成凯<sup>1</sup> 姜明霞 章海风 张红  
韩淑芬 刘文 刘洋

东南大学公共卫生学院营养与食品卫生系, 南京 210009

**摘要:**目的 阐明复合全谷豆粗杂粮的体外抗氧化能力,及其对大鼠脂代谢紊乱和氧化应激水平的影响。方法 制备复合全谷豆粗杂粮和大米、面粉、黑米提取物,用化学比色法测定其总抗氧化能力、羟自由基和超氧阴离子的抑制率。44只SPF级大鼠随机分为阴性对照组、高脂模型组、米面组和复合全谷豆粗杂粮组,分别给予相应饲料,连续喂养8周,实验前后测定各组大鼠体重、血清总胆固醇(TC)、总甘油三酯(TG)、血清高密度脂蛋白胆固醇(HDL-c),以及大鼠血清和肝脏的丙二醛(MDA)、总抗氧化能力(T-AOC)、超氧化物歧化酶(SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)水平。结果 复合全谷豆粗杂粮的体外总抗氧化、清除羟自由基和清除超氧阴离子自由基的能力均显著高于大米和面粉。与高脂模型组和米面组相比,复合全谷豆粗杂粮组血清TC、TG显著下降,HDL-c显著上升,血清和肝脏MDA显著下降,T-AOC、SOD、GSH-Px显著上升;与阴性对照组相比未见显著差异。结论 复合全谷豆粗杂粮具有良好抗氧化损伤作用,该作用是其改善脂代谢紊乱的重要功能机制之一。

**关键词:** 复合全谷豆粗杂粮 抗氧化作用 脂代谢紊乱 氧化应激  
中图分类号: Q591.5 TS218 文献标识码: A

## Effect of compound whole grain-soybean on oxidative stress

ZHOU Siyu, ZHAI Chengkai, JIANG Mingxia, ZHANG Haifeng,  
ZHANG Hong, HAN Shufen, LIU Wen, LIU Yang

School of Public Health, Southeast University, Nanjing 210009, China

**Abstract: Objective** To observe the *in vitro* oxidation resistance of compound whole grain and the effect on improving the disorder of lipid metabolism and the oxidative stress in rats. **Methods** Make extracting of compound whole grain, rice, flour and black rice, method use chemical colorimetry to detect total antioxidant capacity, hydroxyl radical ( $\cdot\text{OH}$ ) and superoxide anion ( $\text{O}_2^{\cdot-}$ ). Forty-four male SD rats were divided into four groups in random: negative control group, model control group, white rice-flour group and compound whole grain. All 4 groups were fed for 8 weeks with different experimental diets. Weight, total cholesterol (TC), triglyceride (TG), high density lipoprotein cholesterol (HDL-C) were detected in serum. Malondialdehyde (MDA), total antioxidant

基金项目: 国家自然科学基金项目(No. 30872118, 81072287); 江苏省社会发展计划项目(No. BS2006047); 江苏省卫生厅重大科研项目(No. K200606)

作者简介: 周思宇,女,硕士研究生, E-mail: zhousiyu5370053@126.com

<sup>1</sup> 通讯作者: 翟成凯,男,教授, E-mail: zck@seu.edu.cn

capacity( T-AOC) , super oxygen dehydrogenases ( SOD) , glutathione peroxidase ( GSH-Px) were detected in serum and liver. **Results** The T-AOC , the ability of body cleaning hydroxyl radical and superoxide anion were enhanced , quite with the black rice. In all 3 treatment groups , compound whole grain group had higher HDL-C , T-AOC , SOD , GSH-Px , while TC , TG , MDA were lower. Compared with negative control groups , there is no significant difference. **Conclusion** Compound whole grain can have good effect on oxidative stress. This effect is the important mechanism of lipid metabolism disorders.

**Key words:** compound whole grain-soybean , function of antioxidant , lipid metabolism disorders , oxidative stress

以往的研究结果表明 ,复合全谷豆粗杂粮能够显著改善 SD 大鼠的脂代谢紊乱 ,有效地改善社区中老年人血脂异常 ,显著降低脂代谢人群胆固醇 ( TC) 、甘油三酯 ( TG) 、低密度脂蛋白胆固醇 ( LDL-c) 水平 ,增加高密度脂蛋白胆固醇 ( HDL-c) ,改善氧化应激状态<sup>[1-4]</sup>。本文通过测定复合全谷豆粗杂粮的体外总抗氧化能力、及清除羟自由基及超氧阴离子能力,观察其对脂代谢紊乱大鼠丙二醛 ( MDA) 、总抗氧化能力 ( T-AOC) 、超氧化物歧化酶 ( SOD) 、谷胱甘肽过氧化物酶 ( GSH-Px) 及 TG、TC、HDL-c 和 LDL-c 水平的影响 ,探讨复合全谷豆粗杂粮改善脂代谢紊乱的可能机制。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

**1.1.1 受试样品** 复合全谷豆粗杂粮 ,系选用全谷物小麦、玉米、高粱、小米和全黄豆为原料 ,按预试验获得比例混合 ,粉碎过 60 目筛 ,保留全部的谷皮、糊粉层、种胚和胚乳 ,以及黄豆的种皮、胚芽、胚轴和子叶 ,含有较高的蛋白质、膳食纤维、矿物质和维生素 ,类黄酮以及皂苷等<sup>[5]</sup>。对照样品为市售大米、面粉 ( 标准粉) 和黑米。

**1.1.2 主要试剂与仪器** 总抗氧化能力、羟自由基、抑制/产生超氧阴离子、总胆固醇、甘油三酯、高密度脂蛋白胆固醇、丙二醛、超氧化物歧化酶、谷胱甘肽过氧化物酶活力等试剂盒 ( 南京建成生物工程研究所) ;索式提取器 ( 北京天为时代科技有限公司) ;722 型分光光度计 ( 上海精密科学仪器有限公司) ;RE52CS 旋转蒸发器 ( 天津瑞森特仪器仪表厂) 。

**1.1.3 实验动物** SPF 级近交系雄性 SD 大鼠 44 只 ,体重 80 ~ 100 g ,购自中国科学院上海实验动物中心 ,动物生产许可证号: SCXK( 沪) 2003 - 0005 ,试验动物质量合格证号: 0054886 ,动物实验室许可证: SYXK( 苏) 2008 - 0003 ,动物在 SPF 实验室单笼饲养 ,自由摄食饮水 ,室温控制在 19 ~

29℃ 相对湿度 50% ~ 70% ,通风干燥、安静、12h 光照周期。

**1.1.4 饲料配方** 采用完全配方饲料。其中阴性对照组饲料参照美国营养学会推荐的 AIN-93M 实验动物合成饲料配方配制而成 ,在此基础上适当调整蛋白质和蔗糖的比例 ,增加饱和脂肪酸含量 ,制成高脂模型组饲料<sup>[4]</sup> ;同时用粳米粉、面粉和复合全谷豆粗杂粮粉代替高脂饲料中蔗糖和淀粉部分 ,配制成米面组饲料和复合全谷豆粗杂粮组饲料。各组饲料的蛋白质功能比基本一致 ,具体配方见表 1。

表 1 四组实验动物饲料配方的构成<sup>(1)</sup>

Table 1 Dietary components of the four groups

成分	g/100g			
	阴性对照组	复合全谷豆粗杂粮组	米面组	高脂模型组
酪蛋白	23	21.5	21.5	21.5
玉米淀粉	29.5	0	0	25.8
蔗糖	31.0	0	0	26.5
纤维素	5	5	5	5
豆油	7	0	0	0
猪油	0	10.0	10.0	10.0
蛋黄粉	0	5.0	5.0	5.0
胆固醇	0	1.5	1.5	1.5
胆盐	0	0.2	0.2	0.2
混合矿物质	3.0	3.0	3.0	3.0
混合维生素	1.0	1.0	1.0	1.0
DL-蛋氨酸	0.3	0.3	0.3	0.3
氯化胆碱	0.2	0.2	0.2	0.2
粳米	0	0	26.15	0
面粉 ( 标准粉)	0	0	26.15	0
复合全谷豆粗杂粮	0	52.3	0	0
供能 ( kcal)	1590	1630	1620	1680
总碳水化合物	61.1	43.6	44.8	53.7
总脂肪	7.03	11.9	13.36	12.28
总胆固醇	0	1.75	1.75	1.75
总蛋白质	23.35	27.6	28.02	23.39
总膳食纤维	5.03	5.8	5.6	5.03
碳水化合物供能比 (%)	58.0	47.1	46.3	48.4
脂肪供能比 (%)	16.2	30.0	30.1	28.7
蛋白质供能比 (%)	25.8	22.8	22.7	22.9

注: ( 1) 各组饲料能量差异不超过四组平均值的 10%

## 1.2 实验方法

1.2.1 制备复合全谷豆粗杂粮和黑米、大米、面粉的提取物 分别称取 10g 复合全谷豆粗杂粮和黑米、大米、面粉 采用索式提取法分别制取相应提取物,用 60% 乙醇溶解配制成不同浓度试样液备用。

1.2.2 动物分组 受试大鼠适应性喂养一周后按体重随机分为阴性对照组、复合全谷豆粗杂粮组、米面组和高脂模型组,每组 11 只,分别给予相应饲料连续喂养 8 周。实验开始时适应性喂养 2 周,之后 6 周每只大鼠给予相同喂养量,单笼喂养。饲料按配方配制。每周称量大鼠体重及饲料消耗量。动物禁食不禁水 12h,股动脉取血处死,3 000r/min 离心 10min 分离血清,-20℃ 冰箱保存,肝脏组织贮存于 -80℃ 冰箱备用。

### 1.3 检测指标及方法

羟自由基、超氧阴离子的抑制率的测定:采用化学比色法,根据试剂盒操作;总抗氧化能力测定:采用铁还原法,测定原理:抗氧化物质可以使  $Fe^{3+}$  还原成  $Fe^{2+}$ ,后者可与菲啉类物质形成稳固

的络合物,通过比色可测出其抗氧化能力的大小;SOD 测定:黄嘌呤氧化酶法;GSH-Px 测定:化学比色法;TC 测定:Enzymatic-trinder 法;TG 测定:甘油磷酸氧化酶法;HDL-c 测定:胆固醇氧化酶法;LDL-c:用 Friede wald 公式计算;MDA 测定:硫代巴比妥酸法(TBA 法)。

### 1.4 数据处理

采用 SPSS 18.0 统计软件分析数据,数据以  $\bar{x} \pm s$  表示,采用 One-Way ANOVA 进行显著性检验,组间比较采用 DUNNET-t 检验, $P < 0.05$  为差异有显著性。

## 2 结果

### 2.1 复合全谷豆粗杂粮提取物的体外总抗氧化能力

由表 2 可见,复合全谷豆粗杂粮和黑米总抗氧化能力最强,二者差异无显著性( $P > 0.05$ ),大米和面粉总抗氧化能力较弱;同时,各受试提取物的抗氧化能力与粗提物的浓度成正比。

表 2 四种受试提取物体外总抗氧化能力比较

Table 2 Compare the T-AOC of four extracts ( $n = 5 \bar{x} \pm s$ )

$\times 10^3 U/g$

提取物浓度 (mg/ml)	大米	面粉	黑米	复合全谷豆粗杂粮
5	1.68 ± 0.59	1.42 ± 0.40	59.46 ± 7.41 <sup>(1,2)</sup>	68.28 ± 10.94 <sup>(1,2)</sup>
10	1.97 ± 0.62	1.78 ± 0.26	116.47 ± 8.28 <sup>(1,2)</sup>	113.46 ± 8.37 <sup>(1,2)</sup>

注:(1)与大米比较  $P < 0.05$ ; (2)与面粉比较  $P < 0.05$

### 2.2 复合全谷豆粗杂粮提取物对羟自由基的清除作用

由表 3 可见,复合全谷豆粗杂粮和黑米提取物对羟自由基有较高的清除能力,随着提取物浓度的升高,对羟自由基的清除能力逐渐增强,在 1.0 ~ 3.0mg/ml 浓度范围内,复合全谷豆粗杂粮和黑米提取物对羟自由基的清除率为 24.90% ~ 59.70%,而大米和面粉清除羟自由基能力很低。

表 3 四种受试提取物对羟自由基清除作用的比较

Table 3 Compare the capacity of scavenging hydroxyl radical of four extracts ( $n = 5$ ) %

提取物浓度 (mg/ml)	大米	面粉	黑米	复合全谷豆粗杂粮
1.0	0.07	0.07	25.01 <sup>(1,2)</sup>	24.90 <sup>(1,2)</sup>
1.5	0.07	0.08	36.02 <sup>(1,2)</sup>	34.03 <sup>(1,2)</sup>
2.0	0.09	0.10	38.11 <sup>(1,2)</sup>	42.35 <sup>(1,2)</sup>
2.5	0.09	0.11	46.01 <sup>(1,2)</sup>	52.07 <sup>(1,2)</sup>
3.0	0.09	0.11	55.02 <sup>(1,2)</sup>	59.70 <sup>(1,2)</sup>

注:(1)与大米比较  $P < 0.05$ ; (2)与面粉比较  $P < 0.05$

### 2.3 复合全谷豆粗杂粮提取物对超氧阴离子的清除作用

由表 4 可见,随着提取物浓度的升高,复合全谷豆粗杂粮提取物对超氧阴离子自由基的清除能力逐渐增强,在 10 ~ 100 $\mu g/ml$  浓度范围内,复合全谷豆粗杂粮提取物对超氧阴离子自由基的清除率为 18.35% ~ 70.01%, $IC_{50}$  为 40.7 $\mu g/ml$  左右。黑米对超氧阴离子自由基也有较好的清除作用,但其清除率随浓度变化的幅度没有复合全谷豆粗杂粮明显。而大米和面粉未见明显清除超氧阴离子自由基作用。

表 4 四种受试提取物对超氧阴离子清除作用的比较

Table 4 Compare the capacity of scavenging superoxide anion of four extracts ( $n = 5$ ) %

提取物浓度 ( $\mu g/ml$ )	大米	面粉	黑米	复合全谷豆粗杂粮
10	0.07	0.07	42.11 <sup>(1,2)</sup>	18.35 <sup>(1,2)</sup>
25	0.08	0.10	48.33 <sup>(1,2)</sup>	34.12 <sup>(1,2)</sup>
50	0.09	0.11	59.21 <sup>(1,2)</sup>	55.23 <sup>(1,2)</sup>
75	0.10	0.11	55.02 <sup>(1,2)</sup>	60.08 <sup>(1,2)</sup>
100	0.10	0.11	62.01 <sup>(1,2)</sup>	70.01 <sup>(1,2)</sup>

注:(1)与大米比较  $P < 0.05$ ; (2)与面粉比较  $P < 0.05$

2.4 动物实验前后各组大鼠体重的变化 明显低于高脂模型组和米面组 ( $P < 0.05$ ) ,且与  
由表 5 可见 ,复合全谷豆粗杂粮组大鼠体重 阴性对照组比较差异无显著性 ( $P > 0.05$ ) 。

表 5 各组大鼠体重的比较

组别	0 周	2 周	4 周	6 周	8 周
阴性对照组	206.82 ± 10.19	299.65 ± 15.24	351.04 ± 22.86	396.52 ± 17.26	456.29 ± 30.28
高脂模型组	208.57 ± 12.13	317.64 ± 17.82	398.75 ± 17.79 <sup>(1,3)</sup>	452.48 ± 20.53 <sup>(1,3)</sup>	515.81 ± 23.18 <sup>(1,3)</sup>
米面组	210.10 ± 11.51	313.20 ± 15.68	388.94 ± 19.26 <sup>(2)</sup>	444.82 ± 26.37 <sup>(1,2)</sup>	511.67 ± 22.53 <sup>(1,2)</sup>
复合全谷豆粗杂粮组	209.87 ± 12.84	308.61 ± 16.43	367.16 ± 20.43 <sup>(2)</sup>	418.39 ± 19.48 <sup>(1,2)</sup>	463.29 ± 27.61 <sup>(2,3)</sup>

注: (1) 与阴性对照组比较  $P < 0.05$ ; (2) 与高脂模型组比较  $P < 0.05$ ; (3) 与米面组比较  $P < 0.05$

2.5 复合全谷豆粗杂粮对大鼠血脂水平的影响 0.05) ,HDL-c 水平显著高于高脂模型组和米面  
由表 6 可见 ,复合全谷豆粗杂粮组 TC、TG、 组; 与阴性对照组比较 ,差异无显著性 ( $P >$   
LDL-c 水平显著低于高脂模型组和米面组 ( $P <$  0.05) 。

表 6 复合全谷豆粗杂粮对大鼠血脂水平的影响

组别	TC	TG	HDL-c	LDL-c
阴性对照组	2.95 ± 0.47	0.92 ± 0.26	1.42 ± 0.19	1.35 ± 0.40
米面组	3.93 ± 0.25 <sup>(1)</sup>	1.35 ± 0.17 <sup>(1)</sup>	0.86 ± 0.15 <sup>(1)</sup>	2.80 ± 0.30 <sup>(1)</sup>
高脂模型组	4.16 ± 0.38 <sup>(1)</sup>	1.42 ± 0.23 <sup>(1)</sup>	0.79 ± 0.12 <sup>(1)</sup>	3.09 ± 0.48 <sup>(1)</sup>
复合全谷豆粗杂粮组	3.21 ± 0.42 <sup>(2,3)</sup>	1.29 ± 0.27 <sup>(2,3)</sup>	1.28 ± 0.17 <sup>(1,2,3)</sup>	1.67 ± 0.35 <sup>(2,3)</sup>

注: (1) 与阴性对照组比较  $P < 0.05$ ; (2) 与高脂模型组比较  $P < 0.05$ ; (3) 与米面组比较  $P < 0.05$

2.6 复合全谷豆粗杂粮对大鼠血清、肝脏 MDA  
水平的影响

由表 7 可见 ,复合全谷豆粗杂粮组大鼠血清  
和肝脏的 MDA 比高脂模型组和米面组显著降低  
( $P < 0.05$ ) ;复合全谷豆粗杂粮组与阴性对照组  
比较 ,血清和肝脏 MDA 水平差异无显著性 ( $P >$   
0.05) 。

2.7 复合全谷豆粗杂粮对大鼠血清、肝脏 T-  
AOC、SOD、GSH-Px 水平的影响

由表 8 可见 ,复合全谷豆粗杂粮组大鼠血清  
和肝脏的 T-AOC、SOD、GSH-Px 水平显著高于高  
脂模型组和米面组 ( $P < 0.05$ ) ;复合全谷豆粗杂

表 7 各组大鼠血清、肝脏 MDA 水平的比较

Table 7 Compare the MDA of rats in serum and  
liver ( $n = 11 \bar{x} \pm s$ )

组别	血清 MDA (mmol/L)	肝脏 MDA (mmol/g)
阴性对照组	3.97 ± 0.67	1.26 ± 0.04
米面组	4.95 ± 0.52 <sup>(1,2)</sup>	2.84 ± 0.66 <sup>(1,2)</sup>
高脂模型组	7.43 ± 0.98 <sup>(1,3)</sup>	4.35 ± 0.70 <sup>(1,3)</sup>
复合全谷豆粗杂粮组	4.00 ± 0.11 <sup>(2,3)</sup>	1.38 ± 0.07 <sup>(2,3)</sup>

注: (1) 与阴性对照组比较  $P < 0.05$ ; (2) 与高脂模型组比较  $P < 0.05$ ; (3) 与米面组比较  $P < 0.05$

杂粮与阴性对照组比较 ,T-AOC、SOD、GSH-Px 水  
平差异无显著性 ( $P > 0.05$ ) 。

表 8 各组大鼠血清、肝脏 T-AOC、SOD、GSH-Px 水平的比较

Table 8 Compare the T-AOC、SOD、GSH-Px of rates groups ( $n = 11 \bar{x} \pm s$ )

组别	血清 (kU/L)			肝脏 (U/g)		
	T-AOC	SOD	GSH-Px	T-AOC	SOD	GSH-Px
阴性对照组	8.91 ± 0.64	286.98 ± 10.41	351.23 ± 26.21	4.13 ± 0.15	94.13 ± 6.15	74.13 ± 8.15
米面组	5.01 ± 0.33 <sup>(1)</sup>	215.87 ± 19.02 <sup>(1)</sup>	256.79 ± 17.83 <sup>(1,2)</sup>	1.32 ± 0.08 <sup>(1)</sup>	81.35 ± 14.24 <sup>(1)</sup>	62.32 ± 6.08 <sup>(1,2)</sup>
高脂模型组	4.76 ± 0.87 <sup>(1)</sup>	197.14 ± 22.59 <sup>(1)</sup>	207.20 ± 23.72 <sup>(1,3)</sup>	1.12 ± 0.09 <sup>(1)</sup>	76.12 ± 17.09 <sup>(1)</sup>	51.12 ± 0.09 <sup>(1,3)</sup>
复合全谷豆粗杂粮组	8.87 ± 0.51 <sup>(2,3)</sup>	292.37 ± 16.27 <sup>(2,3)</sup>	349.52 ± 20.43 <sup>(2,3)</sup>	3.90 ± 0.10 <sup>(2,3)</sup>	99.20 ± 11.58 <sup>(2,3)</sup>	75.90 ± 9.67 <sup>(2,3)</sup>

注: (1) 与阴性对照组比较  $P < 0.05$ ; (2) 与高脂模型组比较  $P < 0.05$ ; (3) 与米面组比较  $P < 0.05$

### 3 讨论

#### 3.1 复合全谷豆粗杂粮的抗氧化作用

本研究表明 ,复合全谷豆粗杂粮的体外总抗  
氧化能力、清除羟自由基和超氧阴离子自由基的  
能力远大于大米和面粉 ,清除羟自由基的能力高

于黑米。提示复合全谷豆粗杂粮具有较好的抗氧  
化活性 ,可以有效清除自由基、维持体内氧化与抗  
氧化体系的平衡 ,从而抵抗细胞氧化损伤和细胞  
衰老<sup>[5-6]</sup>。以往研究发现复合全谷豆粗杂粮中富  
含膳食纤维、类黄酮和皂苷等抗氧化功能的植物

化学物<sup>[7]</sup>,并且蛋白质含量较高,能够改善高脂诱导大鼠脂代谢紊乱和胰岛素抵抗,对高血脂、高血糖、高血压有保健作用<sup>[1-4,7-8]</sup>,本结果提示复合全谷豆粗杂粮通过植物化学物及蛋白质等各种营养有效成分的综合作用,从而提高机体清除自由基的功能,是改善机体脂代谢紊乱和胰岛素抵抗的重要功能机制。

本实验表明,高脂饲料诱导正常大鼠脂代谢发生异常,而常用米面对高脂饲料诱导的脂代谢紊乱没有明显的预防和改善作用。复合全谷豆粗杂粮可以明显改善高脂饲料诱导的脂代谢紊乱,与以往的研究结果一致<sup>[1-4,7-8]</sup>。

高脂肪高胆固醇可以加速体内的脂质过氧化,破坏体内氧化平衡状态,产生氧化损伤,造成脂质过氧化产物 MDA 含量明显增加<sup>[9-10]</sup>,常用的米面食物对高脂引起的脂质过氧化没有明显的改善作用,复合全谷豆粗杂粮则可以减缓脂质过氧化程度,降低 MDA 含量,改善体内氧化应激程度。高脂饲料可以影响大鼠超氧阴离子自由基的生成和清除,使 SOD 消耗增加,体内 SOD 水平下降<sup>[11-13]</sup>;复合全谷豆粗杂粮可以抑制体内超氧阴离子自由基的生成,或者促进 SOD 的合成,从而维持体内 SOD 的较高水平;而米面对高脂引起的自由基生成过多没有明显的抑制作用。高脂饲料可以降低 GSH-Px 的水平,从而降低酶学系统的抗氧化作用<sup>[14]</sup>;复合全谷豆粗杂粮可以减少机体内 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 的含量,减轻 GSH-Px 的消耗,以维持体内正常的 GSH-Px 水平;而常用米面则没有明显的改善作用。提示复合全谷豆粗杂粮可通过保护体内抗氧化酶类活性,改善氧化应激状态、脂代谢紊乱和血脂水平。

### 3.2 复合全谷豆粗杂粮改善氧化应激和脂代谢紊乱的机制探讨

长期高脂饮食可导致体内脂代谢紊乱,机体抗氧化能力下降,产生氧化应激<sup>[14]</sup>。氧化应激使体内或细胞内活性氧的产生与抗氧化之间失衡,从而导致组织的损伤。高脂诱导的脂质过氧化可产生大量自由基,攻击血浆游离脂肪酸中的不饱和脂肪酸,导致清除自由基能力减弱。过剩的自由基攻击生物膜系统中多不饱和脂肪酸、DNA、蛋白质和其他生物大分子,在不饱和键上不断产生快速的脂质过氧化作用,从而促进代谢性疾病的发生<sup>[15-18]</sup>。本实验结果说明复合全谷豆粗杂粮可以有效清除过量的自由基,维持氧化与抗氧化系统的平衡。

目前发现机体内存在两类抗氧化体系:一类是酶促抗氧化系统,包括超氧化物歧化酶(SOD)、

过氧化氢酶(CAT)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)等;另一类为非酶促系统,包括维生素 C、谷胱甘肽(GSH)、维生素 E、褪黑素(MLT)、 $\alpha$ -硫辛酸(LA)等,它们对清除自由基、保护细胞及机体起重要作用。本文选择测定 T-AOC 衡量机体总抗氧化能力,测定 MDA 反映脂质过氧化的程度,同时测定机体酶促抗氧化系统中 SOD 和 GSH-Px 的活力,间接反映了机体清除自由基能力的强弱<sup>[17]</sup>。实验结果说明,复合全谷豆粗杂粮可以通过酶促抗氧化系统产生功能作用,清除自由基,保护体内抗氧化酶类活性,提高机体总抗氧化能力,改善血脂异常,降低脂质过氧化程度,使自由基代谢紊乱情况得以纠正,从而维持机体氧化及抗氧化系统的动态平衡。

综上所述,复合全谷豆粗杂粮通过酶促抗氧化体系,产生抗氧化损伤的作用,是其改善脂代谢紊乱的重要功能机制之一。

### 参考文献

- 1 陈晗,翟成凯,陈学芬,等. 复配式粗杂粮改善脂代谢紊乱作用的实验研究[J]. 卫生研究,2007,36(3):314-316.
- 2 郭宝福,翟成凯,陈晗,等. 复配式粗杂粮的营养成分特征及其对人体血糖生成的影响[J]. 卫生研究,2006,35(4):450-452.
- 3 姜明霞,翟成凯,郭宝福. 社区持续性粗杂粮干预对慢性病的作用[J]. 现代预防医学,2007,34(5):906-908.
- 4 迟静,张群,翟成凯,等. 复合全谷豆粗杂粮对脂代谢异常人群氧化应激的作用[J]. 中华预防医学杂志,2012,46(2):143-147.
- 5 YU B P. Aging and oxidative stress: modulation by dietary restriction[J]. Free Radic Biol Med,1996,21(5):651-658.
- 6 MARITIM A C, SANDERS R A, WATKINS J B, et al. Diabetes, oxidative stress, and antioxidant: a review[J]. J Biochem Mol Toxic,2003,17(1):24-38.
- 7 谭琴,翟成凯,等. 复合全谷豆粗杂粮的活性成分及其对胆汁酸代谢的调控[J]. 卫生研究,2012,41(3):44-49.
- 8 曹佩,翟成凯,张红,等. 大豆蛋白对脂代谢紊乱大鼠脂代谢及炎症因子作用的研究[J]. 食品科技,2008,33(12):183-185.
- 9 SREEKUMAR R, UMIKRISHNAN J, FU A, et al. Impact of high-fat diet and antioxidant supplement on mitochondrial functions and gene transcripts, in rat muscle[J]. Am J physiol Endocrinol Metab,2002;282(5):1055-1061.

(下转第9页)

变的作用。本研究的发现表明姜黄素在治疗糖尿病方面既可以改善糖尿病的糖脂代谢紊乱,也能够改善糖尿病对肝肾的损害。这可能与姜黄素的多靶点作用有关:姜黄素可激活能量开关 (AMPK),还能够抑制炎症因子的分泌,并减轻氧化应激。这些机制都可以明显改善糖尿病的并发症。因此,姜黄素作为一种药食两用的天然活性物质在药品开发和功能食品研制等方面都有广泛的应用前景。

综上所述,姜黄素可明显降低 T2DM 大鼠模型的血糖、血脂,并明显改善 T2DM 大鼠的肝脏与肾脏病变。

### 参考文献

- 1 YANG W, LU J, WENG J, et al. Prevalence of diabetes among men and women in China[J]. *N Engl J Med*, 2010, 362: 1090-101.
- 2 MAHESH T, BALASUBASHINI S M, MENON V P. Effect of photo irradiated curcumin treatment against oxidative stress in streptozolocin induced diabetes rats [J]. *Med Food*, 2005, 8: 251-255.
- 3 SURYANARAYANA P, SARASWAT M, MRUDULA T, et al. Curcumin and turmeric delay streptozolocin-induced diabetic cataract in rats[J]. *Invest Ophthalmol Visual Sci*, 2005, 46: 2092-2099.
- 4 KURODA M, MIMAKI Y, NISHIYAMA T, et al. Hypoglycemic effects of turmeric ( *Curcuma longa* L. rhizomes) on genetically diabetic KK-Ay mice[J]. *Biol Pharm Bull*, 2005, 28: 937-939.
- 5 SEO K I, CHOI M S, JUNG U J, et al. Effect of curcumin supplementation on blood glucose, plasma insulin, and glucose homeostasis related enzyme activities in diabetic db/db mice [J]. *Mol Nutr Food Res*, 2008, 52: 995-1004.
- 6 SEO K I, CHOI M S, JUNG U J, et al. Beneficial effects of curcumin on hyperlipidemia and insulin resistance in high-fat-fed hamsters [J]. *Metabolism*, 2008, 57: 1576-1583.
- 7 沃兴德,高承贤,洪行球,等.姜黄醇提取物对兔食饵性高脂血症的实验研究[J]. *浙江中医学院学报*, 1999, 23(1): 16-18.
- 8 沃兴德,洪行球,魏佳萍,等.姜黄醇提取物对高脂血症患者脂代谢及肝肾功能的影响[J]. *浙江中医学院学报*, 1999, 23: 20-22.
- 10 朱惠娟,孟繁岳,汪国志,等.葡多酚对大鼠脂代谢紊乱的干预作用[J]. *南京医科大学学报*, 2006, 26(12): 1179-1182.
- 11 RODRIGUEZ-PORL M, LEMAN A, BEST P J, et al. Hypercholesterolemia impairs myocardial perfusion and permeability: Role of oxidative stress and endogenous scavenging activity [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2001, 37: 806-815.
- 12 STOKES K Y, COOPER D, TAILOR A, et al. Hypercholesterolemia promotes inflammation and microvascular dysfunction: Role of nitric oxide and superoxide [J]. *Free Radic Biol Med*, 2002, 33(8): 1026-1036.
- 13 周春阳,冉利,张翔,等.硒和/或维生素 E 对高脂血症大鼠心、肝、肾及血清脂质过氧化的作用[J]. *中国临床康复*, 2004, 8(12): 2264-2265.
- 14 叶锦霞,梁日欣,王岚.氧化应激与心血管疾病的关系研究进展[J]. *中国实验方剂学杂志*, 2008, 14(10): 68-70.
- 15 凌智群,谢笔钧.莲房原花青素对氧自由基和脂质过氧化的作用[J]. *营养学报*, 2002, 24(2): 121-125.
- 16 DROGE W. Free radicals in the physiological control of cell function [J]. *Physiol Rev*, 2002, 82(1): 47-95.
- 17 RICE-EVANS C, BURDON R. Free radical-lipid interactions and their pathological consequences [J]. *Prog Lipid Res*, 1993, 32(1): 71-110.
- 18 VALKO M, LEIBFRITZ D, MONCOL, et al. Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease [J]. *Int J Biochem Cell Biol*, 2007, 39(1): 44-84.

收稿日期:2011-12-31

收稿日期:2012-08-26

(上接第 5 页)