

## 黑米皮提取物的抗氧化与降血脂作用及其成分分析

张名位<sup>1</sup>, 张瑞芬<sup>1</sup>, 郭宝江<sup>2</sup>, 池建伟<sup>1</sup>, 魏振承<sup>1</sup>, 徐志宏<sup>1</sup>, 张雁<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>广东省农业科学院生物技术研究所农业部功能食品重点开放实验室, 广州 510610; <sup>2</sup>华南师范大学生命科学学院, 广州 510630)

**摘要:**【目的】研究黑米皮提取物对高脂血症大鼠血脂代谢和氧化应激状态的影响及其作用机理。【方法】以成年雄性 SD 大鼠 (60 只) 为研究对象, 按血脂水平随机分成对照组、模型组、和 5%, 10%, 20% 黑米皮提取物组 (5%, 10%, 20% 黑米皮提取物 1ml/100g bw)。饲养 8 周后, 测定不同剂量的黑米提取物对高脂饲料诱导的大鼠血脂水平、血清和肝脏中总抗氧化能力、抗氧化酶活性及脂质过氧化产物丙二醛含量的影响。同时还分析了提取物中花色苷和脂肪酸的组成与含量。【结果】摄入黑米皮提取物后高脂血症大鼠血脂水平和动脉粥样硬化指数均较高脂模型组显著降低 ( $P < 0.05$ ), 血清氧化低密度脂蛋白抗体滴度显著下降 ( $P < 0.05$ ), 脂质过氧化产物丙二醛的生成量也相应地减少 ( $P < 0.05$ ); 而血清和肝脏中抗氧化酶活性显著性增强 ( $P < 0.05$ )。对黑米皮提取物的组成成分进行分析发现: 花色苷类化合物占 43.43%, 15.7% 为不饱和脂肪酸, 其中主要是油酸和亚油酸。【结论】黑米皮提取物具有抗氧化、降血脂等生物活性, 所含的花色苷类化合物和不饱和脂肪酸可能是其发挥作用的主要物质基础。

**关键词:** 黑米皮提取物; 降血脂; 抗氧化; 花色苷; 脂肪酸

## Hypolipidemic and Antioxidative Effects of Black Rice Pericarp Extract Accompanied by Its Components Analysis

ZHANG Ming-wei<sup>1</sup>, ZHANG Rui-fen<sup>1</sup>, GUO Bao-jiang<sup>2</sup>, CHI Jian-wei<sup>1</sup>, WEI Zhen-cheng<sup>1</sup>,  
XU Zhi-hong<sup>1</sup>, ZHANG Yan<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Key Laboratory of Functional Food, Ministry of Agriculture, Bio-Tech. Research Institute Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510610; <sup>2</sup>College of Life Science, Huanan Normal University, Guangzhou 510630)

**Abstract:** 【Objective】The hypolipidemic and antioxidative effects of black rice pericarp extracts were evaluated. 【Method】Male adult SD rats (60) were divided into five groups and were fed with normal rodent diet or a high-cholesterol diet. Black rice pericarp extracts (5%, 10%, 20% of BRPE 1.0ml/100g bw) were given daily to rats fed with high-cholesterol diet. Serum lipid profile, total activity of antioxidative enzyme and content of malondialdehyde in serum and liver were determined at the end of 8 weeks. 【Result】Feeding black rice pericarp extracts to rats significantly reduced the levels of serum lipids and titer of antibody to oxidized low density lipoprotein ( $P < 0.05$ ). In rats fed with black rice pericarp extracts, serum and liver malondialdehyde amount decreased while total antioxidation capacity and the activity of antioxidative enzyme increased. Component analysis of the extracts revealed 43.43% of anthocyanins and 15.7% of nonsaturated fatty acids in it, mostly oleic acid and linoleic acid in nonsaturated fatty acids. 【Conclusion】Black rice pericarp extracts showed antioxidative and hypolipidemic effects, which might result from the anthocyanins and unsaturated fatty acid in it.

**Key words:** Black rice pericarp extract; Hypolipidemic; Antioxidation; Anthocyanin; Fatty acid

收稿日期: 2005-08-26; 接受日期: 2006-04-21

基金项目: 国家自然科学基金 (39870537) 和广东省自然科学基金 (990519) 项目

作者简介: 张名位 (1966-), 男, 湖北荆州人, 博士, 研究员, 博士生导师, 研究方向为植物活性物质。Tel: 020-87237412; E-mail: mwzhh@163.net

## 0 引言

【本研究的重要意义】黑米是中国优异的稻种资源, 其种皮因富含花色苷类物质而呈黑色。长期以来, 黑米的保健作用多停留在传统中医推论上, 缺乏科学依据<sup>[1-2]</sup>。评价黑米皮提取物的抗氧化与降血脂作用并分析其成分, 对揭示黑米保健作用的物质基础和作用机制具有重要意义。【前人研究进展】Xia 等<sup>[3]</sup>和 Ling 等<sup>[4-5]</sup>通过动物实验研究发现膳食黑米和黑米皮可以降低实验动物的血脂水平、抑制动脉粥样硬化的发生、发展, 并推测该作用与其种皮中花色苷类物质有关。另外黑米种皮提取物的清除自由基抗氧化作用在一些体外化学模拟实验中已得到证实<sup>[6-9]</sup>。【本研究的切入点】目前关于黑米在机体内的生理活性研究还很少, 其主要活性成分也不很清楚, 为此, 本研究以黑米提取物为材料, 观察其对高脂血症大鼠体内血脂和氧化应激状态的影响, 并分析其花色苷和脂肪酸的组成和含量。【拟解决的关键问题】本研究旨在评价黑米皮提取物的生物体内抗氧化与降血脂作用, 明确其主要成分, 揭示其可能的作用机理。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

1.1.1 试剂及仪器 试剂: 总抗氧化能力 (TAC)、谷胱甘肽过氧化物酶 (GSH-Px) 活力、丙二醛 (MDA) 含量、超氧化物歧化酶 (SOD) 活性测定试剂盒均由南京建成生物工程研究所提供; 总胆固醇 (TC)、甘油三酯 (TG) 测定试剂盒由北京中生生物工程高技术公司提供; 低密度脂蛋白胆固醇 (LDL-C) 和高密度脂蛋白胆固醇 (HDL-C) 测定试剂盒由温州东区生物工程公司提供。分析所用的其它化学试剂均为国产分析纯。

抗氧化低密度脂蛋白 (ox-LDL) 抗体测定试剂: 新鲜健康人血浆购自中山大学第一附属医院血液科; Lowry 法蛋白测定试剂盒为 Sigma 公司产品, 酶标板 Polystyrene Plate 为 Nunc Maxisorp 产品; Protein Detectro™ ELISA Kit 为 Kirkegard Perry Labs 产品。

仪器: 日立 7060 全自动生化分析仪, 日本日立公司; 紫外-可见扫描分光光度计, 上海 Unico 公司; 516MC 型双波长酶标仪, 上海第三分析仪器厂; Shimazu QP-5000 气质联用仪, 日本岛津。

1.1.2 黑米皮提取物的制备 黑米品种为吉林省农科院水稻所培育的“龙锦 1 号”, 由广东省农业科学

院生物技术研究所提供。以新鲜的“龙锦 1 号”黑米皮为材料 (40 目), 用 60%乙醇做溶剂, 50℃下浸提、减压浓缩, 得到深红色糖浆状黑米皮提取物 (black rice pericarp extract, BRPE)。

将 BRPE 用蒸馏水溶解, 分别配成 5%、10%和 20%的溶液, 用作低、中、高 3 个 BRPE 试验组灌胃材料, 4℃下保存, 配制后 2 周内使用。

1.1.3 实验动物与分组 清洁级雄性 SD 大鼠 60 只 (合格证号: 粤检证字 2003A008 号), 体重 160±20 g, 由广州中医药大学实验动物中心提供。动物用普通饲料喂养 1 周以适应环境, 后眼眶静脉丛采血, 根据血清总胆固醇水平随机分成 5 组: 对照组、模型组和低、中、高剂量 BRPE 3 个实验组, 每组 12 只, 分别按实验设计饲以不同的饲料, 开始进入实验期。

### 1.2 动物饲养及处理

动物饲养在广州中医药大学清洁级动物实验房完成 (环境设施合格证号: 粤检证字 20037017 号)。将各组大鼠按组别分笼饲养, 除对照组饲以基础饲料, 其它 4 组均饲以高脂饲料 (含 85%基础饲料、10%蛋黄粉、5%猪油、0.5%胆酸钠)。实验期间对照组和模型组每天灌胃给予生理盐水 1ml/100g 体重, 5%, 10%和 20%BRPE 组分别给予 5%, 10%和 20%的 BRPE 1ml/100g 体重, 自由摄食饮水, 每 3 天记录 1 次进食量, 每周称量一次体重。实验周期 8 周, 实验结束后, 禁食 8 h, 摘除眼球采血分离血清, 分装, -20℃保存备用。颈椎脱臼法处死动物, 分离肝脏-20℃保存备用。

### 1.3 检测指标及方法

1.3.1 血脂水平测定 TC、HDL-C 和 TG 采用 CHOD-PAP 酶法。LDL-C 采用直接法, 7060 全自动生化分析仪测定。

1.3.2 血浆 LDL 的分离、提纯和氧化 采用密度梯度离心法分离血浆低密度脂蛋白。Lowry's 法检测 LDL 蛋白含量。采用 Cu<sup>2+</sup>氧化法对低密度脂蛋白进行氧化修饰<sup>[10]</sup>。LDL 纯度和氧化程度用琼脂糖凝胶电泳法鉴定, 以相对迁移率 (relative electrophoretic mobility, REM) 来反映 LDL 的修饰程度。电泳结果显示 ox-LDL 的 REM 为 1.4。

1.3.3 大鼠血清中抗 ox-LDL 抗体滴度测定 根据试剂盒 Protein Detectro™ ELISA Kit 说明书。用 1×包被液将制备的 ox-LDL 和天然 LDL 的浓度稀释至 10<sub>μ</sub>g protein·ml<sup>-1</sup>, 然后在酶标板中 4℃下孵育过夜。用洗液洗 3 次, 然后加入用 100 μl 1×BSA Diluent/Blocking Solution 按 1 : 500 稀释的二抗溶液, 室温下孵育 1 h。

充分洗涤后,加入 100  $\mu\text{l}$  底物溶液,反应 30 min 后,加入 100  $\mu\text{l}$  反应终止液终止反应,在酶标仪 405 nm 下读数。血清中抗 ox-LDL 抗体滴度用 ox-LDL 的吸光度值减去 LDL 的吸光度值来表示<sup>[11]</sup>。

**1.3.4 肝组织匀浆液的制备与蛋白质含量测定** 取肝组织在冷的生理盐水中漂洗,除去血液,滤纸拭干,称重,用灭菌生理盐水做匀浆介质,4 $^{\circ}\text{C}$ 下制得 10% 肝匀浆 (w : v), 3 000g 4 $^{\circ}\text{C}$ 离心 15 min,取上清液分装,-20 $^{\circ}\text{C}$ 保存备用,Bradford 法测定蛋白质含量。

**1.3.5 血清和肝脏总抗氧化能力 (TAC)、SOD、GSH-Px 活性及 MDA 含量测定** TAC、SOD、GSH-Px 酶活性及 MDA 含量均按照试剂盒说明书,用分光光度法测定。

**1.3.6 提取物中花色苷含量测定** 以自主分离纯化且经鉴定达到色谱纯标准的矢车菊素-3-葡萄糖苷、矢车菊素-3,5-二葡萄糖苷、天竺葵素-3,5-二葡萄糖苷和锦葵素 4 种花色苷为标准品<sup>[9]</sup>,用 HPLC 法测定。

表 1 黑米皮提取物对大鼠血脂水平的影响

Table 1 Effects of BRPE on serum lipid levels in rats ( $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ ,  $\bar{x}\pm s$ ,  $n=12$ )

组别 Group	TG	TC	HDL-C	LDL-C
对照组 CG	0.75 $\pm$ 0.11b	1.43 $\pm$ 0.060a	0.56 $\pm$ 0.048b	0.22 $\pm$ 0.043a
模型组 MG	1.33 $\pm$ 0.15c	2.10 $\pm$ 0.14c	0.48 $\pm$ 0.046a	0.37 $\pm$ 0.044cd
5%BRPE	0.76 $\pm$ 0.06b	1.67 $\pm$ 0.17b	0.54 $\pm$ 0.032b	0.38 $\pm$ 0.042d
10%BRPE	0.68 $\pm$ 0.09ab	1.62 $\pm$ 0.070b	0.55 $\pm$ 0.036b	0.34 $\pm$ 0.031bc
20%BRPE	0.62 $\pm$ 0.08a	1.48 $\pm$ 0.090a	0.60 $\pm$ 0.062c	0.32 $\pm$ 0.029b

CG=Control group, MG=Model group

数字后的字母不同表示相互之间的差异达到显著水平 ( $P<0.05$ ),下同

Values in the column without a common superscript letter are significantly different,  $P<0.05$ . The same as below

## 2.2 黑米皮提取物对高脂血症大鼠动脉粥样硬化指数的影响

动脉粥样硬化指数 (atherosclerotic index, AI) 是综合血脂的几项指标来反应机体发生动脉粥样硬化 (atherosclerosis, AS) 危险性的一个参数, AI 值升高提示机体发生 AS 的可能性增加。从表 2 可以看出 3 个剂量组的 AI<sub>1</sub> 和 AI<sub>2</sub> 值均显著性低于模型组 ( $P<0.05$ ), 且 3 组间呈剂量-效应关系。

## 2.3 黑米皮提取物对高脂血症大鼠的抗氧化作用

**2.3.1 总抗氧化能力** 形成高脂血症的同时,模型组大鼠血清和肝脏的 TAC 均低于对照组。摄入 BRPE 使大鼠体内 TAC 增强,其中,低剂量的 BRPE 有增加肝脏 TAC 的趋势,差异未达显著性水平 ( $P>0.05$ ), 但该组动物血清的 TAC 已较模型对照组明显增强 ( $P<0.05$ )。10%和 20%的 BRPE 明显增强了血清和肝脏的

1.3.7 提取物中脂肪酸含量测定 脂肪酸含量用气相色谱-质谱 (GC-MS) 联用法分析。

## 1.4 数据处理和统计分析

采用 SPSS 10.0 软件包进行统计分析。多组均数进行方差齐性检验 (Homogeneity of variances), 方差不齐时,经变量交换达到齐性后作单因素方差分析 (one-way ANOVA); 各组间的两两比较采用 LSD 法。

## 2 结果与分析

### 2.1 黑米皮提取物对高脂血症大鼠血脂的影响

表 1 列出了各组大鼠的血脂水平,从表中可以看出,与模型组相比,3 个 BRPE 组血清 TC、TG 水平显著性降低, ( $P<0.05$ ), 20%BRPE 组接近甚至低于对照组水平,3 个剂量组之间呈现一定的剂量-效应关系。3 个 BRPE 组 HDL-C 含量均较模型组显著性升高 ( $P<0.05$ )。10%和 20%的 BRPE 还能够降低 LDL-C 水平 ( $P<0.05$ ), 5%BRPE 作用不显著 ( $P>0.05$ )。

TAC, 其中 20%BRPE 组血清 TAC 水平比对照组还要高 ( $P<0.05$ )。

**2.3.2 抗氧化酶活性及脂质过氧化产物含量** 长期摄入高脂饲料使得大鼠血脂水平升高的同时,体内 GSH-Px 和 SOD 活性降低,脂质过氧化产物 MDA 含量则显著性增高 ( $P<0.05$ )。摄入 BRPE 有增强抗氧

表 2 黑米皮提取物对大鼠动脉粥样硬化指数的影响 ( $\bar{x}\pm s$ ,  $n=12$ )

Table 2 Effects of BRPE on atherosclerotic index in rats

组别 Group	AI <sub>1</sub>	AI <sub>2</sub>
对照组 CG	1.57 $\pm$ 0.30a	0.39 $\pm$ 0.076a
模型组 MG	3.44 $\pm$ 0.58c	0.79 $\pm$ 0.10e
5%BRPE	2.08 $\pm$ 0.36b	0.703 $\pm$ 0.082d
10%BRPE	1.98 $\pm$ 0.25b	0.63 $\pm$ 0.081c
20%BRPE	1.47 $\pm$ 0.27a	0.54 $\pm$ 0.064b

AI<sub>1</sub> = (TC-HDL-C) / HDL-C, AI<sub>2</sub> = LDL-C / HDL-C

表 3 黑米皮提取物对大鼠血清和肝脏总抗氧化能力的影响 ( $\bar{x}\pm s, n=12$ )

Table 3 Effects of BRPE on TAC in serum and liver of rats

组别 Group	血清 TAC TAC of serum ( $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ )	肝脏 TAC TAC of liver ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{pr}$ )
对照组 CG	7.23±0.84b	1.59±0.072bc
模型组 MG	5.48±0.64a	1.45±0.080a
5%BRPE	7.06±0.54b	1.46±0.096a
10%BRPE	7.56±0.84bc	1.60±0.096c
20%BRPE	7.95±0.68c	1.61±0.11c

表 4 黑米皮提取物对大鼠血清和肝脏抗氧化酶活性及丙二醛含量的影响 ( $\bar{x}\pm s, n=12$ )

Table 4 Effects of BRPE on activities of SOD and GSH-Px and MDA contents in serum and liver of rats

组别 Group	血清 Serum ( $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ )			肝脏 Liver ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{pr}$ )		
	SOD activity	GSH-Px activity	MDA contents	SOD activity	GSH-Px activity	MDA contents
对照组 CG	363.60±32.36ab	510.08±23.70b	6.27±0.55c	106.09±6.66b	90.92±4.46b	1.04±0.067c
模型组 MG	352.01±7.05a	473.01±24.79a	7.80±0.59e	96.51±4.58a	84.72±4.18a	1.21±0.053d
5%BRPE	381.04±19.68b	507.85±11.15b	6.90±0.88d	104.83±4.03b	90.28±3.88b	1.08±0.067c
10%BRPE	383.61±21.36bc	515.73±12.53b	5.93±0.60bc	111.46±7.02c	89.43±4.22ab	0.99±0.052b
20%BRPE	402.45±9.38c	518.00±15.40b	5.30±0.55a	116.68±7.79d	101.88±7.82c	0.86±0.033a

表 5 黑米皮提取物对大鼠血清抗 ox-LDL 抗体水平的影响 ( $\bar{x}\pm s, n=12$ )

Table 5 Effects of BRPE on serum ox-LDL antibody titer in rats

组别 Group	吸光度 OD 值 Optical density
对照组 CG	0.933±0.142a
模型组 MG	1.525±0.141e
5%BRPE	1.318±0.122d
10%BRPE	1.226±0.134c
20%BRPE	1.047±0.121b

化酶活性作用，并呈现一定的量效关系 ( $P<0.05$ )。相应地，3 个剂量组大鼠 MDA 含量显著低于模型对照组 ( $P<0.05$ )，表现明显的量效关系 (表 4)。

**2.3.3 抗 ox-LDL 抗体水平** ox-LDL 可以刺激机体产生抗体，其抗体水平可以从一定程度上反映 ox-LDL 的生成量。从表 5 可以看出：伴随 LDL-C 水平的升高，模型组抗 ox-LDL 抗体水平也明显高于对照组 ( $P<0.05$ )，摄入 BRPE 明显减少了抗 ox-LDL 抗体的生成 ( $P<0.05$ )，并呈现剂量依赖关系。

表 6 黑米皮提取物的花色苷含量

Table 6 Anthocyanin contents of BRPE

花色苷 Anthocyanin	含量 Content(g/100g)
矢车菊素-3-葡萄糖苷 Cyaniding-3-glucoside	22.60
矢车菊素-3,5-二葡萄糖苷 Cyaniding-3,5-diglucoside	10.23
天竺葵素-3,5-二葡萄糖苷 Pelargonidin-3,5-diglucoside	7.58
锦葵素 Malvidin	2.90
合计 Total	43.43

2.4 黑米皮提取物的成分分析

**2.4.1 花色苷含量** 从黑米皮提取物中检测到矢车菊素-3-葡萄糖苷、矢车菊素-3,5-二葡萄糖苷、天竺葵素-3,5-二葡萄糖苷和锦葵素 4 种花色苷，其中，矢车菊素-3-葡萄糖苷的含量最高，矢车菊素-3,5-二葡萄糖苷的含量其次，锦葵素的含量最低，具体如表 6，4 种花色苷的总含量为 43.43 g/100g。

**2.4.2 脂肪酸含量** 黑米皮提取物中脂肪酸的组成具有高不饱和特性，在所检测到的 14 种脂肪酸中，不饱和脂肪酸有 6 种，占脂肪酸总量的 87.66%，比例最大的脂肪酸为油酸和亚油酸 (表 7)。

表 7 黑米皮提取物的脂肪酸含量

Table 7 Fatty acid contents of BRPE

脂肪酸 Fat acid	含量 Content(g/100g)
月桂酸 C <sub>12:0</sub>	0.070
肉豆蔻酸 C <sub>14:0</sub>	0.053
棕榈酸 C <sub>16:0</sub>	1.120
棕榈油酸 C <sub>16:1</sub>	0.058
十六碳二烯酸 C <sub>16:2</sub>	0.060
硬脂酸 C <sub>18:0</sub>	0.290
油酸 C <sub>18:1</sub>	7.180
亚油酸 C <sub>18:2</sub>	7.010
花生酸 C <sub>20:0</sub>	0.150
二十碳烯酸 C <sub>20:1</sub>	0.120
二十碳五烯酸 C <sub>20:5</sub>	0.089
二十二碳酸 C <sub>22:0</sub>	0.140
二十四碳酸 C <sub>24:0</sub>	0.170
三十碳酸 C <sub>30:0</sub>	0.089
合计 Total	16.60

3 讨论

3.1 黑米皮提取物对生物体血脂代谢和抗氧化应激水平的影响

高脂血症是 AS 的独立危险因素。血脂特别是 LDL-C 水平增高与 AS 的发生直接相关, 而 HDL-C 因其促进胆固醇逆向转运及抗氧化活性而具有一定的抗 AS 作用<sup>[12]</sup>。因此 (TC-HDL) /HDL 的值可以从一定程度上反应机体发生 AS 的危险性<sup>[13]</sup>。本研究发现摄入黑米皮提取物可以降低高脂饲料喂养大鼠的血清 TC、TG、LDL-C 的含量, 同时增加 HDL-C 的含量, 从而改善血脂代谢, 降低 AS 的危险性, 并呈现明显的量效依赖关系。研究表明, 高脂血症是氧化应激的一个主要的诱导因素<sup>[14]</sup>, 而氧化应激产生的自由基又会进一步氧化修饰 LDL 形成 ox-LDL。后者通过引起内皮功能障碍; 促进单核细胞大量吞噬脂质形成泡沫细胞; 促进血管细胞合成和分泌大量的细胞因子和粘附分子, 发挥其强的致 AS 作用<sup>[15]</sup>。本研究中摄入黑米皮提取物的大鼠 ox-LDL 生成量明显减少, 从而减轻其对血管的损伤性作用。ox-LDL 生成减少的原因一方面可能是黑米皮提取物使大鼠体内的 LDL 含量减少, 另一方面可能是由于抗氧化酶活性增强, 清除了体内过量产生的活性氧自由基, 防止了 LDL 被氧化修饰。

### 3.2 黑米皮提取物降血脂与抗氧化作用的物质基础

通过本研究发现黑米皮提取物可以改善血脂代谢, 增强生物体抗氧化酶活性并减少脂质过氧化产物的形成, 具有抗氧化、降血脂的生物活性。此结果与 Xia 等<sup>[3]</sup>和 Ling 等<sup>[4,5]</sup>发现的黑米或黑米皮的作用是一致的。结果提示在本实验条件下的提取物中含有黑米或米皮中具有保健作用的主要活性成分。本研究用乙醇浸提所得的黑米皮浸提物中富含黑米色素及米糠油, 研究已证实花色苷类物质是黑米色素的主要成分<sup>[16, 17]</sup>。花色苷类化合物和米糠油因其活跃的生理功能而受到人们的广泛关注。因而本研究着重分析了黑米提取物中的花色苷和脂肪酸的组成及含量。结果表明提取物中含有 43.43% 的矢车菊素-3-葡萄糖苷等花色苷及 14.5% 的亚油酸等不饱和脂肪酸。

关于花色苷类化合物抗氧化活性的研究, 已有较多的报道。Kano<sup>[18]</sup>等已证明紫心甘薯中含有的花色苷在体内外均有抗氧化活性。孙玲<sup>[7]</sup>等和张名位<sup>[8]</sup>等通过体外化学模拟实验发现, 不同黑米品种的体外抗氧化能力与其种皮总花色苷含量呈极显著正相关关系 ( $P < 0.01$ ), 提示黑米或其提取物的抗氧化作用与花色苷类化合物关系密切。因此, 花色苷类化合物可能是黑米提取物发挥抗氧化作用的主要活性物质。

黑米皮提取物中富含的不饱和脂肪酸油酸和亚油

酸均属 n-6 系不饱和脂肪酸, 医学营养学研究表明 n-3、n-6 系不饱和脂肪酸对降低血 TC、改善血脂代谢有重要作用。Allman-F<sup>[19]</sup>等发现膳食富含油酸的葵花籽油可以降低血 TC 和 LDL 水平。关于花色苷对血脂代谢的影响目前研究还比较少, Takanori<sup>[20]</sup>等将富含矢车菊素-3-葡萄糖苷的紫玉米色素加入到高脂饲料中喂养小鼠 12 周后, 发现与单独给予高脂饲料相比, 小鼠血清 TG 含量明显降低。Yamakoshi<sup>[21]</sup>等发现用花青素的前提物质原花青素喂养兔子可以降低兔血 LDL 水平, 减轻动脉粥样硬化斑块的形成。根据研究结果, 推测花色苷和不饱和脂肪酸可能是黑米提取物中发挥抗氧化、降血脂作用的主要活性物质。但由于本研究没有对提取物中的所有成分逐一进行分析鉴定, 因此, 不排除是其他物质发挥上述作用的可能。至于黑米皮中花色苷和不饱和脂肪酸在抗氧化、降血脂作用中的贡献大小和相互作用, 则需进一步分离到上述两类物质作深入研究。

## 4 结论

本研究结果表明给予不同剂量的黑米皮提取物可以降低高脂血症大鼠的血脂水平, 改善体内的氧化应激状态。分析黑米提取物的主要成分发现: 矢车菊素-3-葡萄糖苷等花色苷含量为 43.43%, 脂肪酸含量为 16.6%, 其中 87.66% 为不饱和脂肪酸。由此初步推断黑米皮中的花色苷和不饱和脂肪酸是其发挥抗氧化和降血脂作用的重要物质基础。

## References

- [1] 赵则胜, 赖来展, 郑金贵. 中国特种稻. 上海: 上海科学技术出版社, 1995: 34-36.
- [2] Zhao Z S, Lai L Z, Zheng J G. *Special Rice in China*. Shanghai: Shanghai Sciencetech Press, 1995: 34-36. (in Chinese)
- [3] 张名位. 特种稻米及其加工技术. 北京: 中国轻工业出版社, 2000, 34-89.
- [4] Zhang M W. *Specialty Rice and Its Processing*. Beijing: China Light Industry Press, 2000: 34-89. (in Chinese)
- [5] Xia M, Ling W H, Ma J, Kitts D D, Zawistowski J. Supplementation of diets with the black rice pigment fraction attenuates atherosclerotic plaque formation in apolipoprotein e deficient mice. *Journal of Nutrition*, 2003, 133: 744-751.
- [6] Wen H L, Cheng Q X, Ma J, Wang T. Red and black rice decrease atherosclerotic plaque formation and increase antioxidant status in rabbits. *Journal of Nutrition*, 2001, 131: 1421-1426.

- [5] Ling W H, Wang L L, Ma J. Supplementation of the black rice outer fraction to rabbits decreases atherosclerotic plaque formation and increases antioxidant status. *Journal of Nutrition*, 2002, 132 (1): 20-26.
- [6] 张名位, 郭宝江, 魏振承, 徐志宏, 张瑞芬. 黑米皮的营养与抗氧化评价及其加工处理的保质效果. *农业工程学报*, 2004, 20(6): 165-169.
- Zhang M W, Guo B J, Chi J W, Wei Z C, Xu Z H, Zhang R F. Nutrients and antioxidation of black rice pericarp and the preservation effects of processing techniques. *Transactions of the CSAE*, 2004, 20(6): 165-169. (in Chinese)
- [7] 孙玲, 张名位, 池建伟, 赖来展, 张孝祺. 黑米的抗氧化性及其与黄酮和种皮色素的关系. *营养学报*, 2000, 22: 246-249.
- Sun L, Zhang M W, Chi J W, Lai L Z, Zhang X Q. The antioxidation activity of black rice and its correlation with flavonoids and pigment. *Acta Nutrimenta Sinica*, 2000, 22: 246-249. (in Chinese)
- [8] 张名位, 郭宝江, 池建伟, 魏振承, 徐志宏, 张雁, 张瑞芬. 不同黑米品种的抗氧化作用与总黄酮和花色苷含量的关系. *中国农业科学*, 2005, 38: 1324-1331.
- Zhang M W, Guo B J, Chi J W, Wei Z C, Xu Z H, Zhang Y, Zhang R F. Antioxidations and their correlations with total flavonid and anthocyanin contents in different black rice varieties. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 38: 1324-1331. (in Chinese)
- [9] 张名位, 郭宝江, 张瑞芬, 池建伟, 魏振承, 徐志宏, 张雁. 黑米抗氧化活性成分的分纯化与结构鉴定. *中国农业科学*, 2006, 39: 153-160.
- Zhang M W, Guo B J, Zhang R F, Chi J W, Wei Z C, Xu Z H, Zhang Y. Separation, purification and identification of antioxidant compositions in black rice. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39: 153-160. (in Chinese)
- [10] Wang X, Greilberger J, Ledinski G, Kager G, Jurgens G. Binding and uptake of differently oxidized low density lipoprotein in mouse peritoneal macrophages and THP 1 macrophages: involvement of negative charges as well as oxidation specific epitopes. *Journal of Cellular Biochemistry*, 2001, 81: 557-569.
- [11] Shaish A, George J, Gilburd B, Keren P, Levkovitz H, Harats D. Dietary beta-carotene and alpha-tocopherol combination does not inhibit atherogenesis in an apoE deficient mouse model. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*, 1999, 19: 1470-1475.
- [12] Mendez A J, Oram J F. Limited proteolysis of high density lipoprotein abolishes its interaction with cell-surface binding sites that promote cholesterol efflux. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1997, 1346: 285-299.
- [13] Fukushima M, Ohashi T, Sekikawa M, Nakano M. Comparative hypocholesterolemic effects of five animal oils in cholesterol-fed rats. *Bioscience Biotechnology and Biochemistry*, 1999, 63 (1):202-205.
- [14] Yamaguchi Y, Matsuno S, Kagota S, Haginaka J, Kunitomo M. Fluvastatin reduces modification of low-density lipoprotein in hyperlipidemic rabbit loaded with oxidative stress. *European Journal of Pharmacology*, 2002, 436: 97-105.
- [15] Kaplan M, Aviram M. Oxidized low density lipoprotein: atherogenic and proinflammatory characteristics during macrophage foam cell formation. An inhibitory role for nutritional antioxidants and serum paraoxonase. *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, 1999, 37: 777-787.
- [16] 徐杰, 林正眉. 贵州黑糯米稻米种皮成分的分纯化与结构鉴定. *中国粮油学报*, 2003, 18(2): 9-13.
- Xu J, Lin Z M. Purification and structure identification of skin components in Guizhou black glutinous rice grains. *Journal of Chinese Cereals and Oils Association*, 2003, 18(2): 9-13. (in Chinese)
- [17] 钟丽玉. 黑米色素分子结构解析. *中国粮油学报*, 1996, 11(6): 26-35.
- Zhong L Y. Analysis of molecular structure of black rice pigment. *Journal of Chinese Cereals and Oils Association*, 1996, 11(6): 26-35. (in Chinese)
- [18] Kano M, Takayanagi T, Harada K, Makino K, Ishikawa F. Antioxidative activity of anthocyanins from purple sweet potato, Ipomoea batatas cultivar Ayamurasaki. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 2005, 69: 979-988.
- [19] Allman-Farinelli M A, Gomes K, Favaloro E J, Petocz P. A Diet Rich in High-Oleic-Acid Sunflower Oil Favorably Alters Low-Density Lipoprotein Cholesterol, Triglycerides, and Factor VII Coagulant Activity. *Journal of the American Dietetic Association*, 2005, 105: 1071-1079.
- [20] Tsuda T, Horio F, Uchida K, Aoki H, Osawa T. Dietary cyanidin 3-O-beta-D-glucoside-rich purple corn color prevents obesity and ameliorates hyperglycemia in mice. *Journal of Nutrition*, 2003, 133: 2125-2130.
- [21] Yamakoshi J, Kataoka S, Koga T, Ariga T. Proanthocyanidin-rich extract from grape seeds attenuates the development of aortic atherosclerosis in cholesterol-fed rabbits. *Atherosclerosis*, 1999, 142(1): 139-149.