杂粮醋粕对金黄地鼠胆固醇代谢的影响

鞠志远，佟立涛，王丽丽，丁岚，钟葵，刘丽娅，周闲容，周素梅

（中国农业科学院农产品加工研究所，农业部农产品加工综合性重点实验室，北京 100193）

摘要：为研究一种杂粮醋粕对饲喂高胆固醇饲料金黄地鼠胆固醇代谢的影响，将 30 只雄性金黄地鼠按照平均血脂水平和平均体重分为 3 组，即高胆固醇对照组、杂粮醋粕组和杂粮醋粕浸提物组。饲喂第 0、10、20 和 30 d 时分别测定地鼠血清总胆固醇（TC）、低密度脂蛋白胆固醇（LDL-C）、高密度脂蛋白胆固醇（HDL-C）和三酰甘油（TG）水平；30 d 后测定地鼠肝脏 TC、胆固醇酯（CE）、游离胆固醇（FC）、TG 和粪便 TC、总胆汁酸（TBA）、脂肪和短链脂肪酸（SCFA）水平。杂粮醋粕组和杂粮醋粕浸提物组与高胆固醇对照组相比，血清 TC 水平分别下降 22%和 15%，血清 LDL-C 水平分别下降 35%和 21%，肝脏 TG 水平分别下降 15%和 14%，粪便中 TBA 水平分别上升 23%和 16%，粪便中 SCFA 总量水平分别上升 30%和 9%，且差异均达显著水平（p<0.05）。以上结果表明摄入杂粮醋粕主要通过促进胆汁酸的排泄和增加短链脂肪酸的产生来降低血清 TC 和 LDL-C 水平和肝脏 TC 和 TG 水平。

关键词：杂粮醋粕；胆固醇代谢；胆汁酸；短链脂肪酸 ；膳食纤维

文章篇号：1673-9078(2016)12-26-31 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.12.005

Effects of Coarse Cereal Vinegar Residue on Cholesterol Metabolism of Golden Hamsters

JU Zhi-yuan, TONG Li-tao, WANG Li-li, DING Lan, ZHONG Kui, LIU Li-ya, ZHOU Xian-rong, ZHOU Su-mei

(Institute of Agro-Products Processing Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences; Key Laboratory of Agro-Products Processing, Ministry of Agriculture, Beijing 100193, China)

Abstract: To investigate the effects of coarse cereal vinegar residue on lipid metabolism in hamsters fed with a high-cholesterol diet, 30 hamsters were divided into three groups of 10, each with similar lipid levels and mean body weight: a high-fat group, a coarse cereal vinegar residue group, and a coarse cereal vinegar residue extract group. The concentrations of plasma total cholesterol (TC), LDL-cholesterol (LDL-C), HDL-cholesterol (HDL-C), and triglycerides (TG) were measured at 0, 10, 20, and 30 d. The contents of TC, cholesterol ester (CE), free cholesterol (FC), and TG in liver, and the contents of TC, total bile acid (TBA), lipids, and short chain fatty acids (SCFA) in feces were measured at the end of the experiment. Compared with the high cholesterol control group, coarse cereal vinegar residue and extract of coarse cereal vinegar residue significantly reduced serum TC by 22% and 15%, serum LDL-C by 35% and 21%, and liver TC by 15% and 14%, respectively, and increased the fecal TBA excretion by 23% and 16% and total fecal SCFA excretion by 30% and 9%, respectively (p<0.05). Coarse cereal vinegar residue may reduce TC and LDL-C levels in serum and TC and TG levels in liver by promoting increased excretion of fecal bile acids and SCFAs.

Key words: coarse cereal vinegar residue; cholesterol metabolism; bile acids; short chain fatty acids; dietary fiber

杂粮醋粕是以麦麸、米糠、高粱、荞米、谷子、小米、薯类和大曲等为原料经发酵酿醋的副产物。目前我国食醋年产量为 300 万 t 以上，并呈逐年递增趋势，全国食醋行业发展势头强劲。按照生产 1 kg 醋产生 0.8 kg 醋粕[1]计算，每年我国食醋生产企业的醋粕产量为 250 万 t 左右，其中很大一部分为杂粮醋粕。然而大量的资源并没有被合理利用，绝大多数杂粮醋粕被当作垃圾扔掉，只有少部分用作饲料。经研究，醋粕中含有大量膳食纤维、一部分油脂和少量醋酸，膳食纤维能够在肠胃中停留较长时间，可溶性膳食纤维是可以通过增加消化道中食糜的黏性，阻碍机体对脂质的吸收以及促进胆汁酸的排泄从而发挥降血脂作用[2,3]。但是杂粮醋粕对于脂质代谢的调节功效仍有待于进一步研究。

为确定杂粮醋粕的降脂功效以及阐明其降脂机理，本研究在动物模型中进行功效实验。有研究证明，

收稿日期：2015-12-01

基金项目：教育部留学回国基金项目（教外司留[2013]1972 号）

作者简介：鞠志远（1992-），男，硕士，主要从事研究方向粮油深加工与功能食品

通讯作者：周素梅（1971-），女，博士，研究员，博士生导师，主要从事研究方向粮油深加工与功能食品

金黄地鼠血脂方面比 SD 大鼠与人类更相似，且其高胆固醇血症动物模型是可重复和可靠的[4]。我们给 3 组金黄地鼠（每组 10 只）饲喂高胆固醇饲料来造阳性模型，研究饲喂杂粮醋粕对金黄地鼠血脂水平的影响及其机理，为杂粮醋粕的功能化利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

1.1.1 杂粮醋粕

杂粮醋粕：高粱及荞麦等杂粮经过工业发酵后剩余的固形物经淋洗与烘干得到的产物。

杂粮醋粕浸提物：85 ℃热水重复浸提三次，85 ℃减压浓缩与烘干后得到的产物。

1.1.2 实验动物

雄性 4 周龄金黄地鼠 30 只，平均体重 103±2 g，购买于北京维通利华实验动物科技有限责任公司。地鼠高胆固醇饲料在 AIN-93 标准饲料的基础上制定配方，委托北京阜康生物科技股份有限公司制备。

1.1.3 其他材料与试剂

总胆固醇酶法测定试剂盒，游离胆固醇酶法测定试剂盒，甘油三酯酶法测定试剂盒：北京普利莱基因技术有限公司；胆汁酸酶联免疫分析试剂盒：南京森贝伽生物科技有限公司；羧甲基纤维素钠（化学纯）、氢氧化钠（分析纯）、浓盐酸（分析纯）与乙醚（分析纯）：北京化学试剂厂。

1.2 仪器与设备

YP3002N 天平：上海精密科学仪器与限公司；THZ-82A 水浴恒温振荡器：金坛市荣华仪器制造有限公司；DHG-9240A 电热恒温鼓风干燥箱：上海精宏实验设备有限公司；7060 全自动生化分析仪：日本 Hitachi 公司；TU-1900 双光束紫外可见分光光度计：北京普析通用仪器有限公司；UB-7 pH 计，美国丹佛仪器公司；Chameleon V 酶标仪，芬兰 Hidex 公司；LXJ-∏B 大容量离心机，上海安亭科学仪器厂；LGJ-25C 型冷冻干燥机，北京四环科学仪器厂有限公司；1200 高效液相色谱仪，美国 Agilent 公司；Kieltec Analysister 全自动凯氏定氮仪：FOSS 仪器有限公司；Kieltec Analysister 粗脂肪测定仪：FOSS 仪器有限公司；Fibertec2010 全自动纤维分析系统：FOSS 仪器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 样品基本组成分析

表 1 杂粮醋粕组成

Table 1 Composition of coarse cereal vinegar residue

	水分/%	干基组分/100%				
		粗蛋白质/%	脂肪/%	粗纤维/%	灰分/%	无氮浸出物/%
杂粮醋粕	8.45±0.14	11.71±0.47	13.62±0.35	33.94±1.42	9.82±0.68	30.91±1.33
杂粮醋粕浸提物	6.83±0.10	7.33±0.27	5.65±0.32	7.12±0.74	10.47±0.51	69.43±2.67

注：平均值±SE。

称取适量杂粮醋粕，采用 105 ℃常压干燥法测定（GB/T 6435-2006）水分含量；采用凯氏定氮法（GB/T 6432-1994）测定蛋白质含量(N×5.83)；脂肪含量采用索氏抽提法测定（GB/T 6433-2006）；粗灰分采用 550 ℃灼烧法测定（GB/T 6438-2007）；粗纤维含量采用酸碱消煮法测定（GB/T 6434-2006）；无氮浸出物含量=100%-(灰分+粗蛋白质+粗脂肪+粗纤维)%。表 1 杂粮醋粕组成。

1.3.2 动物实验

金黄地鼠，预饲养 1 周，眼底静脉丛取血后，测定血清 TC、TG、HDL-C 和 LDL-C 水平。根据平均体重和血清总胆固醇水平，分为 3 组，每组 10 只，分别为高胆固醇对照组，杂粮醋粕组和杂粮醋粕浸提物组。

本次试验在美国营养学会推荐标准（AIN-93G）的基础上制备高胆固醇饲料，饲料配方见表 2。依据《中国居民膳食指南》对杂粮产品的有效推荐用量每天 100 g[5]，实验动物的样品摄入量折合约为 1 g/kg 体重/天。鉴于杂粮中主要成分淀粉、蛋白等成分已经显著降低，而膳食纤维等功能性组分得到富集。因此，灌胃 100 mg/kg 体重/天杂粮醋粕及其提取物以验证其低剂量有效性。

试验期间，在保证各组地鼠饲料充足的基础上，通过调整各组饲料投放量，严格控制各组进食量保持一致，各组地鼠自由饮水。每 2 d 称重一次。屠杀前 3 d 收集地鼠粪便，冷冻干燥后待测。饲喂地鼠第 10、20 和 30 d 时，分别在眼底静脉丛取血，利用全自动生化分析仪测定血清 TC、TG、HDL-C 和 LDL-C 水平。喂养 30 d 后禁食 16 h，大动脉取血处死。摘取肝脏和肾周、肠系以及睾周脂肪，-20 ℃保存。分别

按照各试剂盒说明书，测定各组地鼠肝脏 TC、TG 和 FC 水平。索氏抽提法测定粪便总脂质含量，利用离子色谱法测定粪便中短链脂肪酸含量。

表 2 饲料组成

Table2 Diet composition

组成成分	含量/（g/kg diet）
酪蛋白	200
玉米淀粉	397
大豆油	70
纤维素	50
蔗糖	38.5
L-胱氨酸	3
麦芽糊精	132
t-丁基氢醌	0.014
矿物质	35
维生素	10
胆碱酒石酸盐	2.5
胆固醇	10
猪油	50
胆盐	2
燕麦粉	0
总重量	1000

1.4 数据处理

运用 Excel 计算不同指标的平均值和标准偏差，运用 SPSS 分析软件，采用 Tukey-Kramer 的多重比较事后检验方法对数据进行分析。

2 结果与分析

2.1 不同纯度的杂粮醋粕对金黄地鼠生长参数的影响

本实验测定了不同纯度的杂粮醋粕对于地鼠生长参数的影响。如表 3 和表 4 所示：各组地鼠初体重、终体重、体重增值、摄食量、肝脏重量和脂肪重量组间没有显著性差异。

表 3 不同样品对地鼠生长参数的影响

Table 3 Effects of different samples on growth parameters in hamsters

	初体重 /g	终体重 /g	体重增值 /g	食物摄入量 /(g/d)
杂粮醋粕浸出物	102.7±2.1	136.7±2.7	34.0±2.0	61.8±2.3
杂粮醋粕	103.8±1.8	143.5±3.0	39.7±2.1	64.6±2.7
高胆固醇对照	106.4±2.3	142.7±4.5	36.4±2.6	64.6±3.4

注：平均值±SE。

表 4 不同样品对地鼠肝脏及脂肪重量的影响

Table 4 Effects of different samples on liver weight and fat weight in hamsters

	肝脏	肾周脂肪	肠系脂肪	睾周脂肪
杂粮醋粕浸出物/g	5.49±0.15	2.32±0.14	1.96±0.22	3.28±0.16
杂粮醋粕/g	5.67±0.25	2.39±0.11	2.01±0.16	3.27±0.17
高胆固醇对照/g	5.76±0.66	2.40±0.37	1.99±0.46	3.30±0.39

注：平均值±SE。

2.2 不同纯度的杂粮醋粕对地鼠血清脂质水平的影响

本实验考察了饲喂不同纯度的杂粮醋粕第 0、10、20 和 30 d 对地鼠血清脂质水平的影响，实验结果见图 1、2、3 和 4。

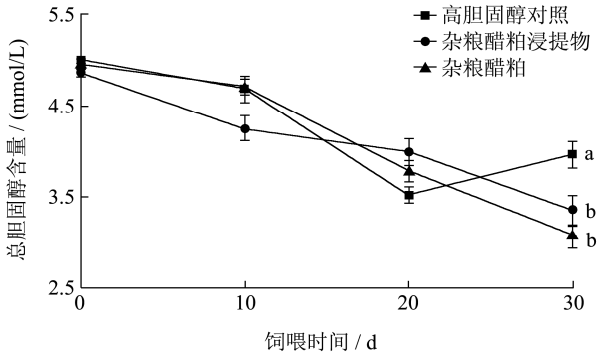


图 1 第 0 d、10 d、20 d 和 30 d 不同组间地鼠血清总胆固醇水平变化趋势

Fig.1 Changes in serum total cholesterol concentration in hamsters on days 1, 10, 20, and 30 in different groups

注：不同字母表示组间有显著性差异（p<0.05）。

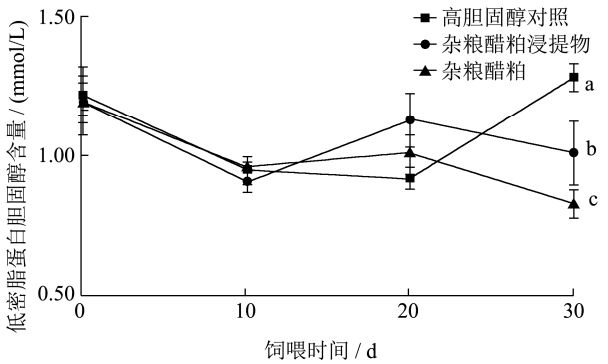


图 2 第 0 d、10 d、20 d 和 30 d 不同组间地鼠血清低密度脂蛋白胆固醇水平变化趋势

Fig.2 Changes in serum LDL-cholesterol concentration in hamsters on days 1, 10, 20, and 30 in different groups

注：不同字母表示组间有显著性差异（p<0.05）。

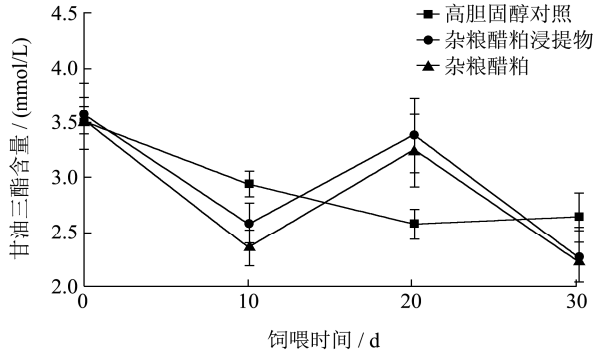


图 3 第 0 d、10 d、20 d 和 30 d 不同组间地鼠血清甘油三酯水平变化趋势

Fig.3 Changes in serum triglyceride concentration in hamsters on days 1, 10, 20, and 30 in different groups

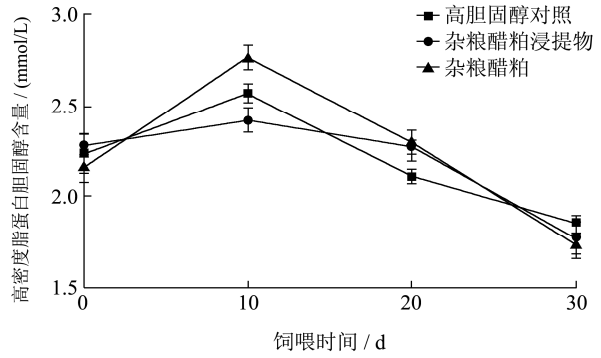


图 4 第 0 d、10 d、20 d 和 30 d 不同组间地鼠血清高密度脂蛋白胆固醇水平变化趋势

Fig.4 Changes in serum HDL-cholesterol concentration in hamsters on days 1, 10, 20, and 30 in different groups

实验第 0 d 时，各组间地鼠的血清 TC、LDL-C、TG 和 HDL-C 水平没有显著性差异。2 个实验组的地鼠在实验第 0 d、10 d、20 d 和 30 d 血清中 TC、LDL-C、TG 和 HDL-C 水平变化趋势保持一致。高胆固醇对照组血液中 TC 和 LDL-C 水平出现先降后增现象，这是由于饲喂初期地鼠对于高胆固醇饲料处于适应阶段，因而所有地鼠的摄食量均有下降从而导致指标下降。后期地鼠逐渐适应高胆固醇饲料后，随着摄食量的增加 TC 和 LDL-C 水平出现升高。实验第 30 d，杂粮醋粕和其浸提物都能够显著降低血清 TC 和 LDL-C 水平(p<0.05)，而对血清 TG 和 HDL-C 水平的作用效果并不显著。Braaten 等[6]研究证实，膳食纤维能有效降低饲喂高胆固醇饲料地鼠的血清 TC 和 LDL-C 水平，而不影响 TG 和 HDL-C 水平。Fushimi 等[7]研究证实，醋酸能有效降低饲喂高胆固醇饲料大鼠的血清 TC 和 TG 水平。Illman 等[8]报道麸皮能够降低血清中的胆固醇水平归功于膳食纤维以外，也可能与脂质有关。地鼠血清脂质分析结果表明摄入一定量的杂粮醋粕和其浸提物能够有效降低血清胆固醇水平，证明了杂粮醋粕中能有效降低血脂的成分存在于其热水浸提物中。

2.3 不同纯度杂粮醋粕对地鼠肝脏脂质水平的影响

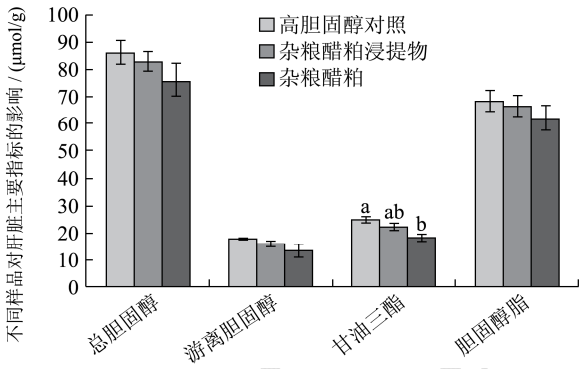


图 5 不同样品对地鼠肝脏总胆固醇、游离胆固醇、胆固醇酯以及甘油三酯水平的影响

Fig.5 Effects of different samples on total cholesterol, free cholesterol, triglyceride, and cholesterol esters in hamster liver

注：不同字母表示组间有显著性差异（p<0.05）。

为研究杂粮醋粕降低血清胆固醇的作用机理，分析了地鼠肝脏中的脂质水平，实验结果见图 5。饲喂高胆固醇饲料会导致脂质在肝脏中积累，饲喂 30 d 后，杂粮醋粕组地鼠肝脏 TG 水平较高胆固醇对照组显著降低，此外尽管 2 个实验组的肝脏 TC、FC 以及 CE 水平没有显著降低，但是各组在肝脏 TC、FC、TG 以及 CE 水平上的趋势相同，各项指标均值均为杂粮醋粕组<杂粮醋粕浸提物组<高胆固醇对照组。一些动物实验研究表明，醋酸对血清 TC 和 TG 水平的影响归因于醋酸通过激活一种脂肪酸和甾醇合成抑制剂 AMPK 而抑制肝脏中胆固醇的合成[9,10]。以上结果表明摄入杂粮醋粕可以减少脂质在肝脏中的积累。

2.4 不同纯度杂粮醋粕对地鼠粪便脂质、胆汁酸及短链脂肪酸水平的影响

为了进一步研究阐释杂粮醋粕降低血清胆固醇作用的机理，本实验测定了不同纯度杂粮醋粕对地鼠脂质排泄的影响，结果如表 5 和 6 所示。2 个实验组较高胆固醇对照组显著增加了总胆固醇和胆汁酸的排泄，且杂粮醋粕组的粪便总胆固醇和胆汁酸水平均高于杂粮醋粕浸提物组，但差异不显著；杂粮醋粕浸提物组显著降低了脂肪的排泄，杂粮醋粕组脂肪排泄量较高胆固醇对照组也有所降低但并不显著；2 个实验组的粪便中乙酸、丁酸和短链脂肪酸总量均显著提高，而丙酸的排泄量显著降低，杂粮醋粕组的乳酸排泄水

平也显著高于高胆固醇对照组。实验结果表明，摄入杂粮醋粕并不是通过增加排泄量和脂肪排泄来降低血脂。Tong 等[11]研究发现阿拉伯木聚糖通过抑制肠道-胆汁酸结合蛋白的表达来降低胆汁酸的重吸收，从而加速脂质的分解代谢。Adam 等[12]研究发现 SCFA 能显著降低降低血清胆固醇水平。刘松珍[13]等报道称乙酸是胆固醇合成最主要的底物，丙酸经肠吸收后主要由肝脏代谢用作能源，并且能够抑制胆固醇的合成，实验结果显示 2 个实验组的丙酸排泄量显著下降，可能因为肠道对其吸收作用增强。而据詹彦等[14]报道，SCFA 主要是在结肠内通过不同途径发酵未消化的碳水化合物产生。由此可以推测，杂粮醋粕可能通过膳食纤维抑制胆汁酸的重吸收以及促进短链脂肪酸的产生，从而降低血清脂质水平。

表 5 不同样品对地鼠粪便重量、总脂肪含量、总胆固醇和胆汁酸水平的影响

Table 5 Effects of different samples on fecal weight, total lipids, cholesterol, and bile acids in hamsters

	粪便重量/(g/d)	总脂肪/(mg/d)	总胆固醇/(mg/d)	胆汁酸/(mg/d)
杂粮醋粕浸出物/g	5.22±0.51	32.3±0.1^{b}	37.6±0.1^{b}	2.85±0.05^{b}
杂粮醋粕/g	5.86±0.37	38.1±1.1^{a}	43.5±0.5^{b}	3.02±0.22^{b}
高胆固醇对照/g	5.34±0.35	40.8±0.5^{a}	31.4±2.4^{a}	2.45±0.04^{a}

注：平均值±SE；不同字母表示组间有显著性差异（p<0.05）。

表 6 不同样品对地鼠粪便短链脂肪酸水平的影响

Table 6 Effects of different samples on fecal SCFAs in hamsters

样品/(μg/d)	乳酸	乙酸	丙酸	丁酸	总量
杂粮醋粕浸提物	294±6^{a}	2729±37^{b}	164±5^{b}	166±6^{b}	3353±54^{b}
杂粮醋粕	324±22^{b}	3198±12^{c}	163±3^{b}	262±22^{c}	3947±59^{c}
高胆固醇对照	295±1^{a}	2523±36^{a}	193±6^{a}	128±21^{a}	3139±64^{a}

注：平均值±SE；不同字母表示组间有显著性差异（p<0.05）。

2.5 地鼠血清脂质变化率与肝脏和粪便脂质变化率关系

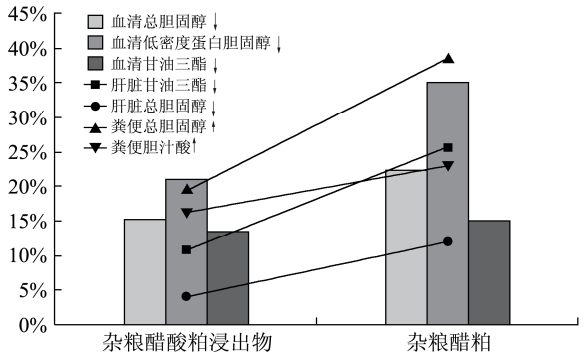


图 6 地鼠血清总胆固醇和低密度脂蛋白胆固醇变化率与肝脏甘油三酯、粪便总胆固醇及胆汁酸含量变化率之间关系

Fig6 Relationships between rates of serum total cholesterol, LDL-cholesterol, and liver triglyceride, fecal cholesterol, and bile acids in hamsters

注：变化率的计算，变化率=（高胆固醇对照组与样品组差值）/高胆固醇对照组×100%

在对血清、肝脏和粪便各项指标分析后我们发现，杂粮醋粕和杂粮醋粕浸提物均可降低血清胆固醇含量，但是其效果并不相同，因此，本实验分析了 2 个实验组血清脂质变化率与肝脏和粪便脂质变化率的关系，结果见图 6。杂粮醋粕组地鼠的血清 TC、LDL-C 和 TG 水平均大于杂粮醋粕浸出物组，两组的肝脏 TC 和 TG、粪便 TC 和 TBA 的变化率也有相同的趋势。摄入杂粮醋粕会抑制肝脏中胆固醇与甘油三酯的合成，促进肝脏中甘油三酯的分解、胆固醇转化为胆汁酸以及抑制回肠对胆汁酸的重吸收作用。地鼠肝脏中胆固醇和甘油三酯越少，粪便中脂质排出体外的越多，则其血清中胆固醇和甘油三酯降低程度越大。这些结果表明杂粮醋粕发挥功效的组分并非只是水溶性物质的部分，可能是各种物质综合作用的结果。

3 结论

3.1 与高胆固醇对照组相比：杂粮醋粕和杂粮醋粕的热水浸提物饲喂的地鼠血清总胆固醇水平分别下降 22%和 15%，低密度脂蛋白胆固醇水平分别下降 35%和 21%；肝脏总胆固醇水平分别下降 12%和 4%，甘油三酯水平分别下降 15%和 14%；粪便中总胆汁酸水平分别升高 23%和 16%，短链脂肪酸总量分别升高 30%和 9%。

3.2 摄入杂粮醋粕主要是通过促进粪便中胆汁酸的排泄以及增加短链脂肪酸来降低血清和肝脏中的胆固醇水平。

3.3 杂粮醋粕发挥功效的核心组分不仅限于水溶性成分，也受其他成分的影响。

参考文献

[1] 宋增廷,董晓芳,佟建明,等.醋糟的营养价值及其在饲料生产中的应用[C].第五届中国畜牧科技论坛论文集, 2011, 9(47):73-76
SONG Zeng-ting, DONG Xiao-fang, TONG Jian-ming, et al. Research advances in nutritional value and application of waste vinegar residue in feedstuff [C]. Proceedings of the Fifth China Animal Husbandry Science and Technology BBS, 2011, 9(47): 73-76

[2] 麦紫欣,关东华,林敏霞,等.膳食纤维降血脂作用及其机制的研究进展[J].广东微量元素科学,2011,18(1):11-16
MAI Zi-xin, GUAN Dong-hua, LIN Min-xia, et al. Progress in the role of dietary fiber on blood-fat [J]. Guangdong Trace Elements Science, 2011, 18(1): 11-16

[3] Brown L, Rosner B, Willett W W, et al. Cholesterol-lowering effects of dietary fiber: a meta-analysis [J]. American Journal of Clinical Nutrition, 1999, 69(1): 30-42

[4] 李大伟,张玲,夏作理.建立高脂血症模型的动物选择与常用造模方法分析及改进[J].中国临床康复,2006,10(48): 145-147
LI Da-wei, ZHANG Ling, XIA Zuo-li. Choice of hyperlipidemia model animals as well as analysis and improvement of common method of establishing models [J]. Chinese Journal of Clinical Rehabilitation, 2006, 10(48): 145-147

[5] 中国营养学会.中国居民膳食指南[J].四川劳动保障,2008,3: 32-32
Chinese Society of Nutrition. Chinese residents dietary guidelines [J]. Sichuan Province Labor and Social Security, 2008, 3: 32-32

[6] Braaten J T, Wood P J, Scott F W, et al. Oat β-glucan reduces blood cholesterol concentration hypercholesterolemic subjects [J] European Journal of Clinical Nutrition, 1994, 48(7): 465-474

[7] Fushimi T, Suruga K, Oshima Y, et al. Dietary acetic acid reduces serum cholesterol and triacylglycerols in rats fed a cholesterol-rich diet [J]. British Journal of Nutrition, 2006, 95(5): 916-924

[8] Illman R J, Topping D L, Dowling K, et a1. Effects of solvent extraction on the hypercholesterolemic action of oat bran in the rat [J]. British Journul of Nufrition, 1991, 65(3): 435-1143

[9] Berg A, König D, Deibert P, et al. Effect of an oat bran enriched diet on the atherogenic lipid profile in patients with an increased coronary heart disease risk. A controlled randomized lifestyle intervention study [J]. Annals of Nutrition and Metabolism, 2003, 47(6): 306-311

[10] Yamashita H, Fujisawa K, Ito E, et al. Improvement of obesity and glucose tolerance by acetate in type 2 diabetic otsuka long-evans tokushima fatty (OLETF) rats [J]. Bioscience Biotechnology and Biochemistry, 2007, 71(5): 1236-1243

[11] TONG Li-tao, ZHONG Kui, LIU Li-ya, et al. Effects of dietary wheat bran arabinoxylans on cholesterol metabolism of hypercholesterolemic hamsters [J]. Carbohydrate Polymers, 2014, 112(20): 1-5

[12] Adam A, Levrat-Verny M A, Lopez H W, et al. Whole wheat and triticale flours with differing viscosities stimulate cecal fermentations and lower plasma and hepatic lipids in rats [J]. Journal of Nutrition, 2001, 131(6): 1770-1776

[13] 刘松珍,张雁,张名位,等.肠道短链脂肪酸产生机制及生理功能的研究进展[J].广东农业科学,2013,11(11):99-103
LIU Song-zhen, ZHANG Yan, ZHANG Ming-wei, et al. Research progress on producing mechanism and physiological functions of intestinal short chain fatty acids [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2013, 11(11): 99-103

[14] 詹彦,支兴刚.短链脂肪酸的再认识[J].实用临床医学,2007, 1(1):134-135
ZHAN Yan, ZHI Xing-gang. Recognition of short chain fatty acids [J]. Practical Clinical Medicine, 2007, 1(1): 134-135