

# 沙棘粉对大鼠肝脏脂质代谢及氧化应激的影响

杜鹃, 郝艳丽, 宋春梅

(吉林医药学院公共卫生学院, 吉林吉林 132013)

**摘要:** 本文研究了沙棘粉对高脂膳食大鼠肝脏脂质代谢及氧化应激的影响。将 50 只成年雄性 Wistar 大鼠按体重随机分为对照组、高脂模型组、沙棘低剂量、中剂量和高剂量组 5 个组。对照组给予基础饲料, 其余各组给予高脂饲料饲养, 同时每日分别用 0.5 mg/g bw、2.5 mg/g bw 和 5 mg/g bw 的沙棘粉匀浆液灌胃大鼠。4 W 后处死动物, 采集肝脏, 分别测定肝脏脂质含量、脂代谢相关酶活性和氧化应激水平。结果表明, 与高脂模型组比较, 一定剂量的沙棘粉可降低肝脏总胆固醇 (TC) 和甘油三脂 (TG) 水平, 提高高密度脂蛋白 (HDL-C) 水平; 使肝脏组织肝脂酶 (HL) 和脂蛋白脂酶 (LPL) 活性增强; 还原型谷胱甘肽 (GSH) 含量和总超氧化物歧化酶 (T-SOD) 活力提高, 丙二醛 (MDA) 含量下降。说明沙棘粉可降低高脂膳食大鼠肝脏脂质水平, 提高肝脏脂代谢酶活性, 增强抗氧化能力, 减缓肝细胞的脂质过氧化。

**关键词:** 沙棘粉; 肝脏; 脂质代谢; 肝脂酶; 氧化应激

文章编号: 1673-9078(2017)9-8-12

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.9.002

## Effect of Sea Buckthorn Powder on Hepatic Lipid Metabolism and Oxidative Stress in Rats

DU Juan, XI Yan-li, SONG Chun-mei

(Department of Public and Health, Jilin Medical College, Jilin 132013, China)

**Abstract:** The effects of sea buckthorn powder on the hepatic lipid metabolism and oxidative stress in rats were studied in this paper. Fifty male Wistar rats were randomly divided into five groups: the control group; the high fat/cholesterol diet group; and sea buckthorn powder low-, medium-, and high-dose groups. The control group was fed with basal diet, and other groups were fed with high fat/cholesterol diet during the experiment. The rats in both control and high fat/cholesterol diet groups were given distilled water, and those in low-, medium-, and high-dose treated groups were given sea buckthorn powder at doses of 0.5 mg/g·body weight (bw), 2.5 mg/g·bw, and 5 mg/g·bw, respectively. The animals were sacrificed after four weeks, and livers were collected to measure the liver lipid content, lipid metabolism-related enzyme activity, and oxidative stress level. The results indicated that compared with the high fat/cholesterol diet group, sea buckthorn powder reduced the levels of hepatic total cholesterol (TC), total triglyceride (TG), and malondialdehyde (MDA), and increase the levels of high density lipoprotein-cholesterol (HDL-C) and glutathione (GSH) and the activities of hepatic lipase (HL), lipoprotein lipase (LPL), and total superoxide dismutase (T-SOD). These results demonstrated that sea buckthorn powder could reduce the liver lipid levels, improve lipid metabolism enzyme activities in the liver, increase antioxidant capacity, and slow down lipid peroxidation in hepatocytes of high-fat diet-fed rats.

**Key words:** sea buckthorn powder; liver; lipid metabolism; hepatic lipase; oxidative stress

近年来, 在包括我国在内的部分发展中国家, 脂肪在人们膳食结构中所占的比例明显提高, 由此带来多种不良后果。众所周知, 长期高脂膳食可引起肥胖及血脂水平异常, 出现高脂血症、冠心病以及糖尿病等多种并发症<sup>[1]</sup>。除此以外, 高脂膳食还可导致肝脏脂代谢紊乱, 脂肪在肝脏过度堆积, 出现以肝脏实质细胞的脂肪蓄积及脂肪变性为特征的疾病, 即非酒精

收稿日期: 2017-03-12

基金项目: 吉林省科技发展计划项目 (20170623093-10TG)

作者简介: 杜鹃 (1978-), 女, 副教授, 硕士, 研究方向: 食品新资源开发

通讯作者: 宋春梅 (1964-), 女, 教授, 研究方向: 营养与慢性病

性脂肪肝 (non-alcoholic fatty liver disease, NAFLD)。NAFLD 在发达国家的成人患病率可达 20%~30%, 在发展中国家的患病率也在逐年增加。作为一种代谢综合症, NAFLD 在肝脏可进一步导致脂肪性肝炎、肝硬化甚至肝功能衰竭等<sup>[2]</sup>。因此探索 NAFLD 的形成机制, 寻求有效的防治药物或功能食品已经迫在眉睫。沙棘 (seabuckthorn) 也被称为“醋柳”或“酸刺”, 是一种胡颓子科的小乔木或灌木, 分布在我国 13 个省区, 资源非常丰富<sup>[3]</sup>。沙棘是药食同源的功能植物, 在我国古代曾被广泛应用于中药、藏药和蒙药。研究表明, 沙棘中富含多种营养成分及生物活性物质, 如矿物质、

维生素、多糖、不饱和脂肪酸、萜类和甾体类化合物、黄酮类化合物、有机酸及挥发性物质等, 对抗炎、抗辐射、烧伤、胃溃疡及口腔溃疡等都具有显著疗效, 并且对心血管疾病及肿瘤也有较好的预防作用<sup>[4-6]</sup>。本课题组前期研究结果显示, 沙棘鲜果具有降低高脂膳食大鼠血清脂质水平、预防脂质过氧化和缓解肝细胞超微结构损伤的作用<sup>[7]</sup>; 但因受产地、运输等条件的限制, 沙棘鲜果较难保存, 而沙棘干果虽在干燥过程中损失了部分营养素, 但保存了多数生物活性物质, 仍具有较强的功效, 其应用范围更广。

本实验在既往的工作基础上, 利用高脂膳食大鼠作为实验动物模型, 同时给予大鼠不同剂量的沙棘干粉匀浆液灌胃, 旨在通过对大鼠体重增量、肝体比和脂体比、肝脏脂质、脂肪酶及氧化应激指标的检测, 探讨沙棘对高脂膳食大鼠肝脏脂代谢的调节作用, 为开发沙棘保肝和降脂保健食品提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 主要仪器设备

SelectraXL 全自动生化分析仪(荷兰威图); 722 可见分光光度计(上海欣茂); C0036-HK 低温冷冻离心机(德国赫曼); EA-500A 高速中药粉碎机(长沙岳麓); YP601N 电子天平(上海精密); DY89-II 电动玻璃匀浆机(宁波新芝)。

### 1.2 试剂

TC、TG、LDL-C 和 HDL-C 试剂盒(山东 3V 生物); 脂代谢酶(HL、LPL)和抗氧化指标(GSH、T-SOD 和 MDA)检测试剂盒(南京建成); 医药级胆固醇(北京鼎国昌盛); 蛋黄粉(吉林金翼蛋品)。

### 1.3 实验材料

沙棘粉制备: 沙棘果干, 购自青海康普生物。蒸馏水清洗, 除杂, 60℃ 恒温干燥, 高速中药粉碎机粉碎, 过 40 目筛, 用蒸馏水分别制成浓度为 5%、25% 和 50% 的沙棘粉匀浆液备用。

基础饲料组成: 玉米粉 35%、面粉 25%、大豆粉 30% 和麸皮 10%, 添加多种维生素和矿物质。高脂饲料组成: 基础饲料 79%、胆固醇 1%、猪油 10% 和蛋黄粉 10%。

### 1.4 实验动物及分组

雄性 Wistar 大鼠 50 只, 体重 200~220 g, 由吉林

大学基础医学院实验动物中心提供, 许可证号: SCXK-(吉)2011-0002。将大鼠按体重随机分为五组, 每组 10 只: 即对照组, 高脂模型组, 沙棘粉低、中、高剂量组。实验期间, 对照组给予基础饲料喂养, 高脂模型和沙棘各剂量组给予高脂饲料喂养。对照组和高脂模型组每日灌胃 2 mL 生理盐水, 沙棘粉低、中和高剂量组分别灌胃 0.5 mg/g bw、2.5 mg/g bw 和 5 mg/g bw 的沙棘粉匀浆液。每 5 只大鼠一笼饲养, 自由饮水和进食, 环境温度 22℃~25℃, 湿度 55%~65%, 每日自然光照, 记录进食量, 连续饲养 4 W。

### 1.5 方 法

实验结束后, 计算肝体指数(肝脏重量/体重×100%)和脂体指数(脂肪重量/体重×100%), 取肝脏组织, 制成 20% 匀浆, 根据指标检测需要分别取不同浓度测定肝脏总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)、低密度脂蛋白(LDL-C)、高密度脂蛋白(HDL-C)、肝脂酶(HL)、脂蛋白脂酶(LPL)、谷胱甘肽(GSH)、总超氧化物歧化酶(T-SOD)和丙二醛(MDA)水平。

### 1.6 数据处 理

实验结果采用 Excel 和 SPSS 16.5 统计软件进行处理, 多组间差异比较采用单因素方差分析, 两两比较采用 SNK-q 检验, 以  $p < 0.05$  为具有统计学意义, 实验数据均以  $\bar{x} \pm s$  表示。

## 2 结果与讨论

### 2.1 沙棘粉对高脂膳食大鼠体重的影响

表 1 沙棘粉对高脂膳食大鼠体重的影响

Table 1 Influence of sea buckthorn powder on the body weight in high-fat diet fed rats (n = 10)

组别	初始体重/g	终末体重/g	体重增量/g
对照组	210.09±12.53	291.71±19.92	81.92±6.84
高脂模型组	211.43±12.75	337.15±16.87*	125.91±10.85*
沙棘低剂量组	209.93±14.56	327.06±26.86*	117.43±8.31*
沙棘中剂量组	210.36±8.83	317.27±24.96*	107.21±8.12*#
沙棘高剂量组	211.97±13.39	327.42±27.67*	115.69±8.69*

注: \*与对照组比较,  $p < 0.05$ ; #与高脂模型组比较,  $p < 0.05$ 。

如表 1 所示, 实验前各组大鼠的体重无显著差异( $p > 0.05$ )。实验进行过程中, 随着喂饲时间延长, 各组大鼠体重较实验前均呈增加趋势。实验结束后, 高脂模型组和沙棘各剂量组大鼠末体重及体重增量较对照

组均显著增加 ( $p<0.05$ ), 其中以高脂模型组增加最为明显。灌胃沙棘后, 中剂量组体重增速下降并与高脂模型组呈现差异 ( $p<0.05$ ), 其原因可能是沙棘中含量较多的黄酮类物质具有降低脂肪积累, 促进脂代谢的作用。杨鑫<sup>[8]</sup>研究了沙棘籽黄酮对高脂饮食诱导的肥胖小鼠脂代谢调控作用, 发现沙棘籽黄酮可明显抑制肥胖小鼠体重增加。ROSEN 等<sup>[9]</sup>研究发现, 缓解肥胖和体重增加的两种途径为减少脂肪细胞数量或体积, 黄酮类化合物可通过减少白色脂肪组织的脂肪细胞体积, 从而缓解肥胖。但本实验中, 沙棘灌胃剂量对高脂膳食大鼠体重增量的影响未见规律。这可能与本实验所采用的样品为沙棘干粉, 未对其中活性成分进行提取, 导致所含黄酮类化合物剂量不足有关。

表 2 沙棘粉对高脂膳食大鼠肝质量、脂肪质量、肝体比和脂体比的影响

Table 2 Influence of sea buckthorn powder on the liver weight, fat weight, liver index, and fat index in high-fat diet fed rats (n = 10)

组别	肝脏质量/g	脂肪质量/g	肝体指数/%	脂体指数/%
对照组	8.32±0.57	4.67±1.11	2.92±0.20	1.42±0.36
高脂模型组	12.11±1.06*	9.05±1.85*	3.61±0.20*	2.68±0.49*
沙棘低剂量组	11.23±1.36*	6.59±1.56 <sup>#</sup>	3.40±0.25	2.21±0.82
沙棘中剂量组	11.07±1.17*	6.31±1.62 <sup>#</sup>	3.45±0.23	1.97±0.44
沙棘高剂量组	11.73±1.27*	6.54±2.07 <sup>#</sup>	3.26±0.20	1.97±0.59

注: \*与对照组比较,  $p<0.05$ ; #与高脂模型组比较,  $p<0.05$ 。

### 2.3 沙棘粉对高脂膳食大鼠肝脏脂质水平的影响

由表 3 结果显示, 与对照组比较, 高脂模型组肝脏 TC、TG 含量显著升高 ( $p<0.05$ ), HDL 含量显著降低 ( $p<0.05$ ), 说明造模可引起大鼠肝脏脂质代谢紊乱。在沙棘干预组中, 高剂量组 TC, 中、高剂量组 TG 水平明显低于高脂模型组, 高剂量组 HDL-C 水平明显高于高脂模型组, 差异具有统计学意义 ( $p<0.05$ )。有研究发现, 食用含有饱和脂肪较高的高脂膳食 (如本实验中给予动物的高脂饲料), 不仅可使血清 TC、TG 含量增加, 同时血清游离脂肪酸 (FFA) 含量也会随之增加。血清中增多的 FFA, 一方面可直接进入包

### 2.2 沙棘粉对高脂膳食大鼠肝质量、脂肪质量、肝体比和脂体比的影响

括肝脏在内的非脂肪的实质细胞, 引起肝脏组织中 TC、TG、LDL-C 和 HDL-C 的水平异常; 另一方面, FFA 具有较强的细胞毒性, 可引起生物膜损伤, 抗氧化能力下降, 导致肝细胞内线粒体膜和溶酶体膜的流动性及通透性改变, 肝细胞脂肪变性, 出现慢性细胞功能紊乱、炎症甚至细胞凋亡。

如表 2 所示, 与对照组比较, 高脂模型组肝脏质量、脂肪质量、肝体比和脂体比均显著地增加 ( $p<0.05$ )。与高脂模型组比较, 给予沙棘的各组大鼠脂肪质量显著降低 ( $p<0.05$ ), 说明沙棘粉可降低大鼠的脂肪重量, 促进脂肪代谢, 这与表 1 中沙棘对大鼠体重影响的结果一致。在实验过程中, 沙棘各剂量组大鼠肝质量、肝体比和脂体比始终低于高脂模型组, 有下降趋势, 但差异无显著性。

本实验中, 中、高剂量的沙棘干粉匀浆液可降低肝细胞 TC、TG 含量, 增加 HDL-C 含量, 减少肝细胞内脂质积累, 避免脂质过氧化, 防止肝脏脂肪变性。有研究显示, 沙棘中含量丰富的黄酮类化合物是其主要的生物活性物质, 黄酮可通过降低血清和肝脏 TG, 使肝脏脂肪变性程度和炎症明显减轻, 王振宇等报道了大果沙棘黄酮可有效的控制糖尿病小鼠血脂水平<sup>[10]</sup>; 焦岩等研究证实, 沙棘黄酮有降血脂和防止动脉

表 3 沙棘粉对高脂膳食大鼠肝脏脂质水平的影响

Table 3 Influence of sea buckthorn powder on the liver lipid level in high-fat diet fed rats (n = 10)

组别	TC/(mmol/L)	TG/(mmol/L)	LDL-C/(mmol/L)	HDL-C/(mmol/L)
对照组	1.82±0.25	0.97±0.14	1.07±0.23	0.45±0.07
高脂模型组	2.46±0.34*	1.55±0.23*	1.19±0.18	0.23±0.05*
沙棘低剂量组	2.31±0.51*	1.37±0.21*	1.21±0.31	0.29±0.07*
沙棘中剂量组	2.38±0.45*	1.06±0.18 <sup>#</sup>	1.15±0.26	0.28±0.09*
沙棘高剂量组	2.01±0.32 <sup>#</sup>	1.13±0.20 <sup>#</sup>	1.22±0.24	0.38±0.11 <sup>#</sup>

注: \*与对照组比较,  $p<0.05$ ; #与高脂模型组比较,  $p<0.05$ 。



粥样动脉硬化的作用<sup>[11]</sup>。因此我们大胆推测,是沙棘黄酮发挥了降低肝脏脂质积聚的作用,并通过增加血清及肝脏 HDL-C 水平,加速 TC 转运,使其进入胆汁进行排泄,进而清空肝内胆固醇池,同时抑制脂肪酸合成及刺激脂肪酸  $\beta$ -氧化来发挥降血脂功效。

## 2.4 沙棘粉对高脂膳食大鼠肝脏脂代谢相关酶活性的影响

表 4 沙棘粉对高脂膳食大鼠肝脏脂代谢酶 HL 和 LPL 活性的影响

**T Table 4 Influence of sea buckthorn powder on the activities of HL and LPL in high-fat diet fed rats (n = 10)**

组别	HL 活性 (U/mg prot)	LPL 活性 (U/mg prot)
对照组	8.25±1.47	10.58±1.97
高脂模型组	10.06±2.01	9.96±2.06
沙棘低剂量组	13.19±2.34*#	11.65±1.87
沙棘中剂量组	13.75±1.58*#	11.27±2.45
沙棘高剂量组	13.34±2.12*#	13.34±2.68*#

注: \*与对照组比较,  $p < 0.05$ ; #与高脂模型组比较,  $p < 0.05$ 。

由表 4 结果显示,与高脂模型组比较,沙棘低、中、高剂量组的 HL 活性,高剂量组的 LPL 活性均明显升高,差异具有统计学意义 ( $p < 0.05$ )。但高脂模型组 HL 和 LPL 活性与对照组比较无显著性差异。LPL 主要在骨骼肌、心脏以及脂肪等肝外组织中合成,分泌后附着于这些组织器官周围的小毛细血管内皮细胞表面,主要负责水解乳糜微粒 (CM) 中的 TG 分子酯链,同时还可作为 LDL-C 和极低密度脂蛋白 (VLDL) 受体,参与肝细胞对 CM 和 VLDL 残粒的摄取和代谢。HL 是在肝实质细胞中合成的分泌型糖蛋白,可水解各种脂蛋白中的 TG 和磷脂,使脂蛋白的颗粒大小及密度发生改变,以利于吸收;同时还可作为配体而促进肝细胞摄取 HDL-C 中的 TC,从而影响血浆脂蛋白浓度<sup>[12]</sup>。LPL 和 HL 的氨基酸序列高度相似,作用机

制虽有差异,但也有较多的共同之处,本实验中,高剂量的沙棘粉匀浆液可增强肝脏组织中 LPL 和 HL 活性,并通过多靶点、多途径共同调节机体的肝脏脂质代谢异常,加速 TC、TG、LDL-C 和 VLDL 的代谢,促进其分解为 FFA,从而降低了肝脏 TC 和 TG 含量,这一点在本实验 2.3 中肝脏脂质测定结果中也得到了证实。

## 2.5 沙棘粉对高脂膳食大鼠肝脏抗氧化能力的影响

由表 5 结果显示,与对照组比较,高脂模型组肝脏 GSH 含量和 T-SOD 活力明显降低,MDA 含量明显升高,差异具有显著性 ( $p < 0.05$ )。与高脂模型组比较,高剂量组 GSH 含量,中、高剂量组 T-SOD 活力显著升高 ( $p < 0.05$ ),中、高剂量组 MDA 含量显著降低 ( $p < 0.05$ )。GSH 是由谷氨酸、半胱氨酸及甘氨酸结合而成的小分子三肽化合物,是机体重要的抗氧化剂和自由基清除剂。SOD 是机体重要的抗氧化酶,可对抗并阻断多种氧自由基对细胞造成的损伤,并能及时修复细胞,阻断脂质过氧化反应进程。MDA 是生物膜脂质过氧化最重要的产物之一,产生后可加速生物膜损伤,含量可间接反映膜系统受损的程度及细胞受自由基攻击的程度<sup>[13]</sup>。研究发现,当肝脏组织中脂质含量过高时,会导致脂质过氧化反应加剧,过氧化产物 MDA 增加,而 MDA 可通过两个功能基团分别与线粒体的膜蛋白和膜脂交联,形成希夫氏碱化合物,最终线粒体膜流动性下降,干扰了脂肪酸  $\beta$ -氧化,脂肪在肝内积聚,造成肝脏结构和功能损害<sup>[14]</sup>。MDA 还可与 LDL 结合形成复合物 (MDA-LDL),这种复合物可使细胞内 TC 堆积并转化成泡沫细胞,成为动脉硬化早期病变的元凶<sup>[15]</sup>。本实验中,高脂模型组肝脏 GSH 含量和 T-SOD 活力降低,MDA 含量升高,说明高脂膳食已造成大鼠肝脏氧化损伤,使用中、高剂量的沙棘粉灌胃大鼠后,GSH 含量和 T-SOD 活力升高,而 MDA 含量下降,

表 5 沙棘粉对高脂膳食大鼠肝脏抗氧化能力的影响

**Table 5 Influence of sea buckthorn powder on liver antioxidant function in high-fat diet fed rats (n = 10)**

组别	GSH/(mg/g prot)	T-SOD/(U/mg prot)	MDA/(nmol/mg prot)
对照组	2.39±0.19	328.97±21.03	2.76±0.52
高脂模型组	2.09±0.15*	296.43±12.40*	3.58±0.39*
沙棘低剂量组	2.20±0.12*	302.06±11.31*	3.19±0.40*
沙棘中剂量组	2.22±0.14*	312.72±9.99*#	3.11±0.37#
沙棘高剂量组	2.40±0.25#	315.76±23.72#	3.08±0.38#

注: \*与对照组比较,  $p < 0.05$ ; #与高脂模型组比较,  $p < 0.05$ 。

说明沙棘粉可有效提高实验动物体内部分抗氧化酶活性和非酶抗氧化物质含量,清除脂质过氧化产物,降低生物膜受损程度,具有改善肝脏脂质代谢水平,预防肝细胞脂肪变性及动脉硬化早期病变的作用。这与本课题组的前期研究结果一致,可能与沙棘中含量丰富的活性物质如黄酮类化合物、多糖、甾体类和萜类成分等有密切关系<sup>[4,5]</sup>。

### 3 结论

本实验研究了沙棘干粉对高脂饲料喂养大鼠体重增量、肝体比和脂体比、肝脏脂质代谢、脂代谢相关酶及抗氧化能力的影响。结果证明,沙棘实验组大鼠的各项指标与高脂模型组比较均有较显著的改善。沙棘粉可减少高脂膳食大鼠体重增速,降低大鼠体内脂肪质量,降低肝脏 TC、TG 浓度,升高 HDL-C 浓度,减少肝细胞内脂质积累,防止肝细胞脂肪变性,增强肝脏组织 HL 和 LPL 活性,加速 TC、TG、LDL-C 和 VLDL 的代谢,促进肝脏脂肪分解,提高 GSH 含量和 T-SOD 活力,降低 MDA 含量,清除脂质过氧化产物,降低生物膜受损程度,具有较好的调节肝脏脂质代谢作用,其发挥明显作用效果的剂量范围为:2.5 mg/g~5 mg/g。但其发挥调节肝脂代谢作用的功效成分及分子机制尚未明确,这可能与沙棘中含量较多的黄酮类化合物有关<sup>[16]</sup>。本实验选用的受试物为沙棘干粉,为明确沙棘活性成分对肝脏脂质代谢的调节机制,需选用黄酮单体及从分子水平作深入地研究。

### 参考文献

- [1] Preiss D, Sattar N. Non-alcoholic fatty liver disease: an overview of prevalence, diagnosis, pathogenesis and treatment considerations [J]. *Clinical Science*, 2008, 115(5): 141-150
- [2] Kou-Tai Yang, Chen Lin, Cheng-Wei Liu. Effects of chicken-liver hydrolysates on lipid metabolism in a high-fat diet [J]. *Food Chemistry*, 2014, 160(11): 148-156
- [3] Bal E M, Meda V, Naik S N, et al. Sea buckthorn berries: a potential source of valuable nutrients for nutraceuticals and cosmeceuticals [J]. *Food Research International*, 2011, 44(7): 1718-1727
- [4] Xu Y, Kaur M, Dhillon R S, et al. Health benefits of sea buckthorn for the prevention of cardiovascular diseases [J]. *Journal of Functional Foods*, 2011, 3(1): 2-12
- [5] Suryakumar G, Gupta A. Medicinal and therapeutic potential of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) [J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2011, 138(2): 268-278
- [6] Chen C, Xu X, Chen Y, et al. Identification, quantification and antioxidant activity of acylated flavonol glycosides from sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* ssp. *sinensis*) [J]. *Food Chemistry*, 2013, 141(3): 1573-1579
- [7] 宋春梅,杜鹃,葛红娟,等.沙棘果对高脂膳食大鼠肝脏保护作用研究[J].*食品研究与开发*,2015,36(7):26-28  
SONG Chun-mei, DU Juan, GE Hong-juan, et al. Hepatoprotective effects of sea buckthorn in high-fat diet rats [J]. *Food Research and Development*, 2015, 36(7): 26-28
- [8] 杨鑫.沙棘籽黄酮对机体脂代谢的调控及机理探究[D].上海:华东师范大学,2016  
YANG Xin. Effects of flavonoid from seed of *H. rhamnoides* L. on lipid metabolism and its mechanism [D]. Shanghai: East China Normal University, 2016
- [9] Rosen E D, Spiegel Man B M. What we talk about when we talk about fat [J]. *Cell*, 2014, 156(1-2): 20-44
- [10] 王振宇,刘瑜,周丽萍.大果沙棘黄酮对糖尿病小鼠血脂与抗氧化水平的影响[J].*食品科学*,2010,31(7):297-301  
WANG Zhen-yu, LIU Yu, ZHOU Li-ping. Hypolipidemic and antioxidant effects of flavonoids from *Hippophae rhamnoides* L. pomace in ICR mice with alloxan induced diabetes [J]. *Food Science*, 2010, 31(7): 297-301
- [11] 焦岩,王振宇.大果沙棘果渣黄酮降血脂与抗氧化作用[J].*营养学报*,2009,31(5):516-518  
JIAO Yan, WANG Zhen-yu. Hypolipidemic and anti-oxidative effect of sea buckthorn residue flavonoids [J]. *Acta. Nutrimenta Sinica*, 2009, 31(5): 516-518
- [12] 张红,韩淑芬,曹佩,等.菰米对高脂诱导脂代谢紊乱大鼠肝脏脂毒性的作用[J].*卫生研究*,2013,42(2):190-195  
ZHANG Hong, HAN Shu-fen, CAO Pei, et al. Effects of Chinese wild rice on lipid metabolism and lipotoxicity in rats fed with high fat/cholesterol diet [J]. *Journal of Hygiene Research*, 2013, 42(2): 190-195
- [13] Yotota T, Nagashima M, Ghazizadeh M, et al. Increased effect off fucoidan on lipoprotein lipase secretion in adipocytes [J]. *Life Sciences*, 2009, 84(14/15): 523-529
- [14] 黄静,廖爱美,潘文娟,等.家蚕蛹油对大鼠肝脏脂质代谢及相关酶活性的影响[J].*食品科学*,2011,32(5):273-276  
HUANG Jing, LIAO Ai-mei, PAN Wen-juan, et al. Effect of silkworm pupal oil on hepatic lipid metabolism and related lipase activity in rats [J]. *Food Science*, 2011, 32(5): 273-276
- [15] 焦岩,王振宇.蓝靛果花色苷对高脂膳食诱导肥胖大鼠脂代谢和抗氧化能力的影响[J].*食品科学*,2010,31(3):230-234  
JIAO Yan, WANG Zhen-yu. Effect of *Lonicera caerulea* anthocyanin on lipid metabolism and antioxidant function in

high fat diet-induced obese rats [J]. Food Science, 2010, 31(3): 230-234

[16] Zhuang X Y, Zhang W, Pang X F, et al. Combined effect of total flavonoids from seed residues of *Hippophae rhamnoides* L. and zinc on advanced glycation end products- induced endothelial cell dysfunction [J]. Food Chemistry, 2012, 133(3): 905-911

