

研究报告

辣木多糖提取物对大鼠非酒精性脂肪性肝病保护效果

罗雪婷^{1,2},王庆³,张菊梅^{1,2},郭伟鹏^{1,2},胡丹丹^{1,2},丘明泉^{1,2}

(1.广东省微生物研究所 华南应用微生物国家重点实验室 广东省菌种保藏与应用重点实验室 广东省微生物应用新技术公共实验室,广东 广州 510070; 2.广东省科学院,广东 广州 510070; 3.中山大学,广东 广州 510275)

摘要:目的 通过建立非酒精性脂肪性肝病 (NAFLD) 评价模型,研究辣木多糖提取物预防 NAFLD 的功效及其作用机制。方法 50 只雄性大鼠随机分为阴性对照组、模型对照组以及低、中、高剂量组。各剂量组予以辣木多糖提取物水溶液灌胃 (10 ml/kg BW),阴性对照组和模型对照组以同等体积纯水灌胃,每日一次,直至第 90 天。试验结束后,检测血清中总胆固醇 (TC)、甘油三酯 (TG)、低密度脂蛋白 (LDL)、高密度脂蛋白 (HDL)、丙氨酸氨基转移酶 (ALT)、天冬氨酸氨基转移酶 (AST)、超氧化物歧化酶 (SOD)、丙二醛 (MDA)、白细胞介素 6 (IL-6)、白细胞介素 1 (IL-1)、坏死因子- α (TNF- α)。对所有的肝组织进行组织病理学检查。结果 各剂量组与模型对照组体质量比较,差异均有统计学意义 ($P < 0.05$)。不同剂量组大鼠血清中抗氧化、抗炎指标含量与模型对照组比较,差异均有统计学意义 ($P < 0.05$),且随着剂量的增加,其各指标含量趋向于阴性对照组的含量,血脂指标高剂量组大鼠 LDL 含量与模型对照组比较差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。病理镜下发现,各剂量组肝细胞虽有一定程度损伤,但病变种类较模型对照组少,且程度轻,有不同程度的改善。肝细胞脂肪变性程度随着剂量的升高而减轻。结论 本研究结果表明,辣木多糖提取物可改善 NAFLD 的脂质代谢紊乱、降低大鼠血脂水平、对抗氧自由基的攻击、改善炎症反应,保护肝脏。这种保护作用可能是通过抗氧化、抗炎途径而实现的。

关键词:非酒精性脂肪性肝病;辣木多糖提取物;高脂

中图分类号:R155 文献标识码:A 文章编号:1004-8456(2019)06-0517-05

DOI:10.13590/j.cjfh.2019.06.003

Protective effect and mechanism research of *Moringa* spp. polysaccharide extract on nonalcoholic fatty liver disease in rats

LUO Xueting^{1,2}, WANG Qing³, ZHANG Jumei^{1,2}, GUO Weipeng^{1,2}, HU Dandan^{1,2}, QIU Mingquan^{1,2}

(1. Guangdong Institute of Microbiology, State Key Laboratory of Applied Microbiology Southern China, Guangdong Provincial Key Laboratory of Microbial Culture Collection and Application, Guangdong Open Laboratory of Applied Microbiology, GDAS' Project of Science and Technology Development, Guangdong Guangzhou 510070, China; 2. Guangdong Academy of Sciences, Guangdong Guangzhou 510070, China; 3. SUN YAT-SEN University, Guangdong Guangzhou 510275, China)

Abstract: Objective This study was conducted to investigate the effects and mechanism of *Moringa* spp. polysaccharide extract on the occurrence and development of nonalcoholic fatty liver disease (NAFLD). **Methods** Fifty male rats were randomly divided into five groups (10 in each group): negative control group, model control group, low, medium and high dose group. From week 1, the negative control group and the model control group were given 10 ml/kg BW pure water by gavage once a day; each intervention group was given 10 ml/kg BW aqueous solution of *Moringa* spp. polysaccharide extract by gavage once a day until the 90th day. Blood samples were taken from the abdominal aorta and liver tissues after sacrifice. The total cholesterol (TC), triglyceride (TG), low-density lipoprotein (LDL), high-density lipoprotein (HDL), alanine aminotransferase (ALT), aspartate aminotransferase (ASL), superoxide dismutase (SOD) and malondialdehyde (MDA) of the serum were tested with the automatic biochemical analyzer. Serum interleukin 6 (IL-6), interleukin 1 (IL-1) and necrosis factor- α (TNF- α) were determined. Paraffin sections of liver tissue samples were stained

收稿日期:2019-10-09

基金项目:广东省教育部产学研结合项目(2013B091100012);广东省科学院 2017 年实施创新驱动发展能力建设专项资金项目(2017GDASCX-0201)

作者简介:罗雪婷 女 主治医师 研究方向为预防医学 E-mail:miya_cuit@hotmail.com

with hematoxylin eosin. **Results** At the end of the experiment, there were statistically significant differences in body weight between the intervention group and the model control group ($P < 0.05$). With the increase of dose, the serum index content (lipids, antioxidants, anti-inflammatory) in the intervention group was significantly different from that in the model control group ($P < 0.05$), and tended to be the same as that in the negative control group. There also were statistically significant differences in LDL content between the high-dose group and the model control group ($P < 0.05$). Microscopically, the model control group shown a variety of intrahepatic lesions, with deep lesions, severe hepatocyte steatosis. Although the hepatocytes in each intervention group were damaged to a certain degree, the types of lesion was less and less severe than that in the model control group. **Conclusion** The result of this study showed that *Moringa* spp. polysaccharide extract could significantly improve the lipid metabolism disorder in NAFLD, reduce the blood lipid level in rats, fight against the attack of oxygen free radicals, improve the inflammatory response and protect the liver. This protective effect may be achieved through antioxidant and anti-inflammatory pathways.

Key words: Nonalcoholic fatty liver disease; *Moringa* spp. polysaccharide extract; high-fat

非酒精性脂肪性肝病 (nonalcoholic fatty liver disease, NAFLD) 发病机制复杂, 目前还不清楚, 可能与多种因素作用相关^[1]。同时由于目前还没有特异性治疗药物, 导致该病在我国人群中的发病率与患病率逐年增加^[2-4], 已成为急需解决的一个健康难题。

辣木树原产于印度, 2012年作为新资源食品引进我国, 成为我国多个研究领域关注的热点^[5]。辣木多糖是辣木中重要的有效成分之一, 具有抗菌、抗肿瘤、降血脂^[6-8]等生物活性, 并且具备毒性低、来源广、制备简单等优点, 故其可作为一种理想的天然药物和功能性食品进行开发利用。目前对于有关辣木以及辣木多糖在国内的功能性研究还比较局限, 鲜有其在 NAFLD 干预和治疗方面的研究报道。

本研究建立在 NAFLD 肝损伤“二次打击”学说^[9-10]基础上, 通过连续 90 d^[11]对 SD 大鼠进行高脂膳食诱导, 结合经口灌胃辣木多糖提取物进行干预, 从抗脂质代谢紊乱、抗氧化应激、抑制炎症反应、胰岛素抵抗这四大肝损伤发生机制, 评价辣木多糖提取物对 SD 大鼠在 NAFLD 发生发展中的保护功效。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 受试物

辣木多糖提取物由西安艾诺医药科技有限责任公司提供, 主要原料为辣木叶, 粉末主要含 29.8% 总多糖。

1.1.2 实验动物及饲养条件

SD 雄性大鼠 50 只, 体质量为 180~220 g, 购自济南朋悦实验动物繁育有限公司 [生产许可证号: SYXK(鲁)2014-0007]。饲养于无特定病原体动物 (SPF) 级动物房 [合格证号: SYXK(粤)2016-0156]。饲养温度: 20~26 °C, 湿度: 40%~70%, 12 h 交替

光照。

1.1.3 主要仪器与试剂

S-480 全自动生化分析仪 (深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司), 酶标仪 (瑞士 Tecan), 离心机, 全自动轮转式石蜡切片机、全自动脱水机、全自动染色机、包埋机均购自美国 Thermo scientific, 万分之一分析天平, 生物显微镜。

血脂四项试剂盒、丙氨酸氨基转移酶 (ALT) 试剂盒和天冬氨酸氨基转移酶 (AST) 试剂盒均购自深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司, 血清超氧化物歧化酶 (SOD) 活性试剂盒、丙二醛 (MDA) 试剂盒均购自南京建成生物工程研究所, 病理苏木素-伊红 (HE) 染色剂套装 (南昌雨露实验器材有限公司)。其他血清指标均委托广州倚云医学科技有限公司进行检测。

普通维持饲料和模型饲料均由广东省医学实验动物中心提供。模型饲料采用高脂肪饲料配方^[12]: 在普通维持饲料中添加 1.2% 胆固醇、0.2% 胆酸钠、3%~5% 猪油以及适量的酪蛋白、磷酸氢钙、石粉等, 符合国家标准。

1.2 方法

1.2.1 大鼠分组

本试验经过单位伦理委员会审查、讨论及批准后开展。50 只雄性大鼠, 适应 1 周, 给予普通维持饲料, 自由饮水。以体质量大小排序后按随机数字表法进行分组, 分为阴性对照组 (10 只) 和模型组 (40 只)。阴性对照组给予普通维持饲料, 模型组给予高脂肪饲料。2 周后全部大鼠不禁食采血, 尽快分离血清, 测定血清中总胆固醇 (TC)、甘油三酯 (TG)、低密度脂蛋白 (LDL)、高密度脂蛋白 (HDL) 水平。模型组与阴性对照组比较, 若血清 TC 或 LDL 升高, 且差异有统计学意义, 同时 TG 差异无统计学意义, 则判定模型成立。

判定模型成立后, 根据 TC 水平将模型组随机

分为4组,即模型对照组和3个剂量组(每组各10只),各剂量组与模型对照组比较,TC、TG、LDL、HDL差异均无统计学意义^[11]。

1.2.2 给样方法

辣木多糖提取物每日成人(60 kg)推荐摄入量为9 g,本试验低、中、高剂量组分别设计为人体推荐摄入量的5、10、30倍,即750、1 500和4 500 mg/kg BW。在整个试验周期中,各剂量组每天用不同浓度的辣木多糖提取物水溶液灌胃,连续给予90 d,灌胃量为10 ml/kg BW,阴性对照组和模型对照组每天用等量纯水灌胃。

1.2.3 标本采集

90 d干预后,所有大鼠禁食12 h后称量体质量,腹腔注射戊巴比妥钠(剂量为35 mg/kg BW)10 ml/kg BW进行麻醉后,腹主动脉取血。血样采集后尽快分离,2 919×g离心10 min,取血清用于血脂、抗氧化及抗炎指标检测。

1.2.4 肝组织病理学检查

大体解剖观察后,摘取所有大鼠肝脏,称其湿重后,用10%中性甲醛溶液固定肝脏,进行HE染色制片,光镜下观察组织病理学变化,采用图像分析系统采集图像。

1.3 统计学分析

采用SPSS 19.0软件进行所有数据的统计学分析。计量资料数据以均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示。多组计量资料之间比较,若各组均服从正态分布采用方差分析,若不服从正态分布采用非参数检验(Kruskal-Wallis H 检验);多样本比较采用单因素方差分析(F 检验),以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果与分析

2.1 一般情况观察

阴性对照组大鼠未见任何异常,模型对照组大鼠摄食量从第6周开始随着时间增加而逐渐减少,见图1。各剂量组大鼠反应行为未见异常,随着时间增加,其摄食量与模型对照组大鼠比较未见异常,差异无统计学意义($P>0.05$)。试验前期(1~8周)体质量增长幅度在各剂量组间有降低的趋势,在试验后期(9~12周)各剂量组大鼠体质量与模型对照组比较差异有统计学意义($P<0.05$),见图2。

2.2 解剖肝组织形态学特征与重量比较

阴性对照组大鼠肝组织表面暗红、质韧、圆润,模型对照组大鼠肝组织表面有明显的黄色颗粒状或黄色片状斑块,黄中泛白。中、高剂量组与模型对照组比较,肉眼观有一定差异,其中高剂量组大鼠肝脏表面粗糙感不明显,更接近于阴性对照组,

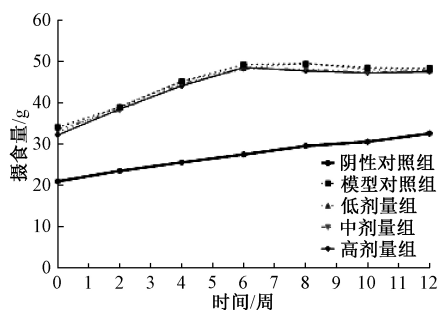


图1 各组大鼠摄食量变化情况

Figure 1 Change of food intake in SD rats

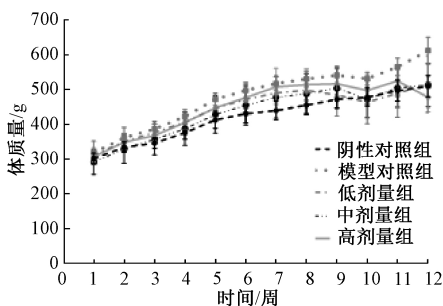
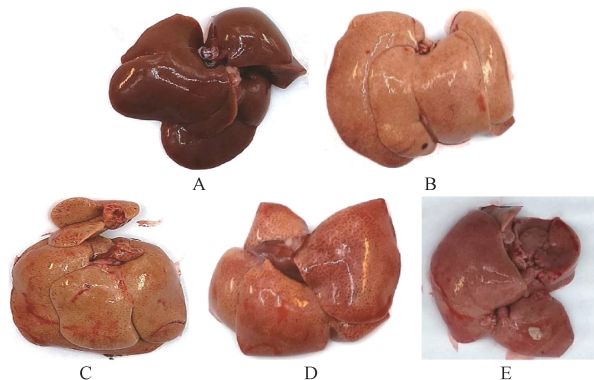


图2 各组大鼠体质量变化情况

Figure 2 Weight changes of SD rats in each week

见图3。对大鼠肝脏进行称重发现,与阴性对照组比较,模型对照组大鼠肝组织重量明显增大,差异有统计学意义($P<0.05$)。各剂量组与模型对照组比较,大鼠肝组织重量均明显减小,差异有统计学意义($P<0.05$),见图4。



注:A~E分别为阴性对照组、模型对照组、低剂量组、中剂量组和高剂量组大鼠肝组织

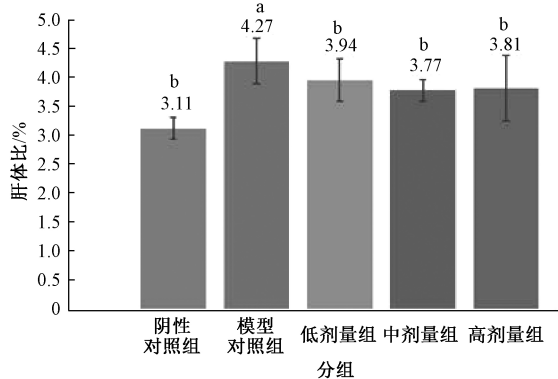
图3 各组大鼠肝组织解剖外观

Figure 3 Anatomical appearance of liver tissue in SD rats

2.3 血清生化分析结果

2.3.1 体内血脂代谢检测结果

模型对照组大鼠血清中TC、TG、LDL含量均高于阴性对照组,HDL含量低于阴性对照组,差异均有统计学意义($P<0.05$);高剂量组大鼠LDL含量与模型对照组比较差异有统计学意义($P<0.05$),见表1。



注: a 表示与阴性对照组比较 $P < 0.05$, b 表示与模型对照组比较 $P < 0.05$

图 4 辣木多糖提取物对各组大鼠肝脏脏体比的影响

Figure 4 Effects of *Moringa* spp. polysaccharide extract on liver viscera ratio of rats in each group

表 1 各组大鼠血清中 TC、TG、LDL、HDL 含量比较 ($\bar{x} \pm s, n = 10, \text{mmol/L}$)

Table 1 Comparison of TC, TG, LDL and HDL contents in serum of each group of rats

分组	TG	TC	LDL	HDL
阴性对照组	1.76±1.16 ^b	1.89±0.70 ^b	0.28±0.08 ^b	0.95±0.31 ^b
模型对照组	3.94±1.69 ^a	4.76±0.95 ^a	2.83±1.19 ^a	0.44±0.21 ^a
低剂量组	3.02±1.41 ^a	3.87±0.89 ^a	1.17±0.70	0.69±0.16
中剂量组	2.60±1.04 ^b	3.29±1.38 ^{ab}	1.01±0.53	0.94±0.12 ^b
高剂量组	1.97±0.67 ^b	2.62±1.29 ^b	0.74±0.47 ^b	1.29±1.17 ^b

注: ^a 表示与阴性对照组比较 $P < 0.05$; ^b 表示与模型对照组比较 $P < 0.05$

2.3.2 肝功能检测结果

模型对照组大鼠血清中的 ALT、AST 均高于阴性对照组, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 高剂量组大鼠血清中 ALT、AST 含量与模型对照组比较, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 见表 2。

表 2 各组大鼠血清中 ALT、AST 含量比较 ($\bar{x} \pm s, n = 10, \text{U/L}$)

Table 2 Comparison of ALT and AST contents in serum of rats in each group

分组	ALT	AST
阴性对照组	38.70±13.80 ^b	76.30±24.34 ^b
模型对照组	61.43±14.74 ^a	104.17±30.76 ^a
低剂量组	49.87±15.19	92.43±28.85
中剂量组	49.76±15.98	77.26±19.83
高剂量组	44.36±10.94 ^b	69.68±18.44 ^b

注: ^a 表示与阴性对照组比较 $P < 0.05$; ^b 表示与模型对照组比较 $P < 0.05$

2.3.3 体内抗氧化应激指标检测结果

各剂量组大鼠血清中 SOD 活力高于模型对照组、MDA 含量低于模型对照组, 差异均有统计学意义 ($P < 0.05$), 见表 3。

2.3.4 体内抗炎指标检测结果

模型对照组大鼠血清中白细胞介素 1 (IL-1)、白细胞介素 6 (IL-6)、坏死因子- α (TNF- α) 含量均高于阴性对照组, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。各剂量组大鼠 3 项指标含量均低于模型对照组, 差异有

表 3 各组大鼠血清中 SOD 活力与 MDA 含量比较 ($\bar{x} \pm s, n = 10$)

Table 3 Comparison of SOD activity and MDA content in serum of rats in each group

分组	SOD/(U/ml)	MDA/(nmol/ml)
阴性对照组	4.69±0.48 ^b	2.51±0.64 ^b
模型对照组	1.30±0.35 ^a	7.87±0.68 ^a
低剂量组	2.48±0.39 ^{ab}	6.49±0.82 ^{ab}
中剂量组	3.00±0.26 ^{ab}	5.17±0.80 ^{ab}
高剂量组	3.75±0.51 ^{ab}	3.37±0.81 ^{ab}

注: ^a 表示与阴性对照组比较 $P < 0.05$; ^b 表示与模型对照组比较 $P < 0.05$

统计学意义 ($P < 0.05$), 随着剂量的升高逐渐与阴性对照组接近, 见表 4。

表 4 各组大鼠血清中炎症指标比较 ($\bar{x} \pm s, n = 10, \text{pg/ml}$)

Table 4 Comparison of serum inflammatory indicators in each group of rats

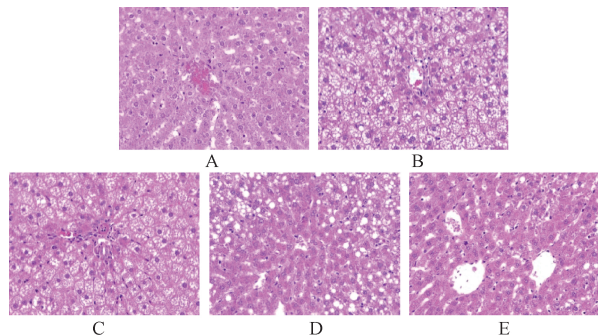
分组	IL-1	IL-6	TNF- α
阴性对照组	72.39±14.88 ^b	34.21±13.43 ^b	222.17±31.97 ^b
模型对照组	219.83±42.51 ^{ab}	141.50±16.05 ^{ab}	437.29±50.34 ^{ab}
低剂量组	191.26±15.63 ^{ab}	110.55±13.71 ^{ab}	357.79±35.42 ^{ab}
中剂量组	153.33±20.92 ^{ab}	82.94±7.40 ^{ab}	344.61±25.87 ^{ab}
高剂量组	103.67±21.14 ^{ab}	61.94±12.99 ^{ab}	275.41±28.55 ^{ab}

注: ^a 表示与阴性对照组比较 $P < 0.05$; ^b 表示与模型对照组比较 $P < 0.05$

2.3.5 病理学检查结果

本研究采用目前国际上最权威的计分方法, 根据肝组织的腺泡结构将脂肪变性的肝细胞进行百分比测算: 5%~33% 为轻度脂肪变性, 33%~66% 为中度脂肪变性, 大于 66% 为重度脂肪变性^[13-14]。

各组大鼠肝组织病理学检查结果发现, 阴性对照组大鼠肝组织未见任何异常, 模型对照组大鼠肝组织为重度脂肪变性并伴有肝细胞凋亡。低剂量组大鼠肝细胞部分区域呈重度空泡变性; 中剂量组大鼠肝组织呈中度脂肪变性, 但能见到有形态结构清晰完整的肝细胞与网状肝窦, 排列整齐; 高剂量组大鼠肝组织主要为形态结构清晰完整的肝细胞条索与网状肝窦, 肝细胞轻度空泡化, 未见有其他病变, 见图 5。



注: A~E 分别为阴性对照组、模型对照组、低剂量组、中剂量组和高剂量组大鼠肝组织 HE 染色结果 (200×)

图 5 各组大鼠肝组织 HE 染色结果

Figure 5 Results of HE staining in liver tissue of SD rats

3 讨论

NAFLD 在临床尤其是在评估心血管和肝脏疾病的高死亡率及高风险性关联上有重要意义^[15],也是一些致命性疾病的潜在风险,如肝衰竭、肝癌、心血管疾病等。含有多糖、酚类、 β -谷甾醇等多种天然成分的辣木能较好地抵抗氧化损伤,修复组织细胞^[16]。有研究^[17-18]发现,辣木多糖结构多是 β 构型的酸性呋喃多糖,属于酸性多糖,其抗氧化活性强于中性多糖,对羟自由基以及超氧阴离子均具有较强的清除作用,并随浓度的增加而逐渐增强^[19-20]。

本研究饲料配方的选择比较经典,多数可在8~10周稳定建立NAFLD模型,此次研究结果显示模型对照组大鼠出现了肝脏损伤,病理镜下观察肝细胞出现内脂肪空泡化、气球样变性、血管及胆管周炎症细胞浸润、巨噬细胞吞噬大量脂肪细胞形成的泡沫细胞,血液指标中出现IL-6、IL-1、TNF- α 增多的典型人类NAFLD表现^[21-22],可确定最终造模成功。

本研究显示,辣木多糖提取物具有提高机体抗氧化应激保护肝功能(使血清中SOD活力升高,MDA含量下降)、抗炎因子释放作用(降低血清中IL-1、TNF- α 、IL-6含量),并具有明显的剂量-反应关系和一定的调节血脂能力(降低血清中TC、TG、LDL,升高HDL)。

本研究发现,大鼠体质量指标控制比较缓慢,要在1个月以上才能见成效,其机制可能与辣木多糖的大分子量有关。大分子量的多糖在胃肠道中可以吸附、包裹、结合脂肪和胆固醇,使其不容易被胃肠道吸收,减慢食物的胃排空速度,从而控制食欲,同时多糖还有调节能量代谢、促进脂肪分解的功效,故可以有效减轻体重^[23],相关机制将在后续试验中进行研究。

综上,辣木多糖提取物在改善胰岛素抵抗、抑制脂质堆积、减少氧化应激、抑制炎症因子释放等方面有多个靶点的优势^[24],对NAFLD有良好的保护功效。

参考文献

[1] KLEIN S, ROMIJIN J A. Williams textbook of endocrinology [M]. Philadelphia: Saunders Elsevier, 2008; 1563-1587.

[2] 俞美玲, 赵湘, 黄李春. 专家解读《中国居民营养与慢性病状况报告(2015)》[J]. 健康博览, 2015(8): 4-10.

[3] 丁文清, 董虹宇, 米杰. 中国儿童青少年血脂异常流行现状 Meta 分析[J]. 中华流行病学杂志, 2015, 36(1): 71-77.

[4] 范建高. 中国非酒精性脂肪性肝病的流行病学[J]. 中国医师进修杂志, 2010, 33(1): 4-6.

[5] PALIZBAN A, BAKHSHAEI B, ASGHARI G. Quantitative analysis of the nutritional components in leaves and seeds of the *Persian moringaperegrina* (Forssk.) Fiori [J]. Pharmacognosy

Research, 2015, 7(3): 242-248.

[6] PRIYA V, ABIRAMASUNDARI P, GAYATHRI S, et al. Antibacterial activity of the leaves, bark, seed and flesh of *Moringa oleifera* [J]. International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research, 2011, 2(8): 2045-2049.

[7] 曹玉霖, 何镇廷, 朱彦锋. 辣木的抗肿瘤活性及作用机制研究进展[J]. 天然产物研究与开发, 2016, 28(11): 1845-1849.

[8] 孙朦, 王鸿飞, 王凯凯, 等. 辣木叶黄酮对小鼠血脂调节作用研究[J]. 核农学报, 2018, 32(8): 1597-1602.

[9] WILLIAMS C D, STENGE L J, ASIKE M I, et al. Prevalence of nonalcoholic fatty liver disease and nonalcoholic steatohepatitis among a largely middle-aged population utilizing ultrasound and liver biopsy: a prospective study [J]. Gastroenterology, 2011, 140(1): 124-131.

[10] POSTIC C, GIRARD J. The role of the lipogenic pathway in the development of hepatic steatosis [J]. Diabetes Metab, 2008, 34(6): 643-648.

[11] 陈剑明, 张声生, 郭前坤, 等. 芍药苷对非酒精性脂肪肝大鼠模型的疗效与保护机制研究[J]. 中华中医药杂志, 2013, 28(5): 1376-1381.

[12] 国家食品药品监督管理局. 辅助降血脂功能评价方法: 国食药监保化〔2012〕107号[Z]. 2012.

[13] BRUNT E M, JANNEY C G, DI BISCEGLIE A M, et al. Nonalcoholic steatohepatitis: a proposal for grading and staging the histological lesions [J]. Am J Gastroenterol, 1999, 94(9): 2467-2474.

[14] KLEINER D E, BRUNT E M, VAN NATTA M, et al. Design and validation of a histological scoring system for nonalcoholic fatty liver disease [J]. Hepatology, 2005, 41(6): 1313-1321.

[15] 中华医学会健康管理学分会, 中国营养学会, 中国医疗保健国际交流促进会生殖医学分会, 等. 超重或肥胖人群体重管理专家共识及团体标准[J]. 中华健康管理学杂志, 2018, 12(3): 200-207. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1674-0815.2018.03.003.

[16] 虎城真, 陶宁萍, 许长华. 基于食药价值的辣木籽研究进展[J]. 食品科学, 2018, 39(15): 302-309.

[17] 王瑞琴, 许文婷, 蔡晨晨, 等. 辣木多糖的研究进展[J]. 广西糖业, 2018(4): 28-30.

[18] 朱宝生, 陈军, 余远江, 等. 辣木有效成分及其开发利用研究进展[J]. 轻工科技, 2018, 34(7): 19-21.

[19] 陈松林, 吴志刚, 姜武, 等. 铁皮石斛3种酸性多糖的分离纯化及体外抗氧化活性[J]. 浙江农业科学, 2016, 57(6): 838-844.

[20] 董成国. 辣木籽水溶性多糖的分离纯化、结构表征及其抗氧化活性研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2016.

[21] CHMELAR J, CHUNG K J, CHAVAKIS T. The role of innate immune cells in obese adipose tissue inflammation and development of insulin resistance [J]. Thromb Haemost, 2013, 109(3): 399-406.

[22] CHATZIGEORGIOU A, KARALIS K P, BORNSTEIN S R, et al. Lymphocytes in obesity related adipose tissue inflammation [J]. Diabetologia, 2012, 55(10): 2583-2592.

[23] 陈健, 谭思荣, 黄建辉, 等. 减肥降脂活性成分的研究[J]. 现代生物医学进展, 2014, 14(2): 361-363.

[24] 孙丹, 管俊岭, 许玫, 等. 辣木的有效成分、保健功能和开发利用研究进展[J]. 热带农业科学, 2016, 36(3): 28-33.