

黑木耳酸性多糖对高血脂症小鼠的降血脂作用

于美汇¹, 赵鑫¹, 尹红力², 刘冉³, 王振宇^{4,*}

(1.东北林业大学林学院, 黑龙江 哈尔滨 150040; 2.中国农业科学院农产品加工研究所主食加工技术研究院, 黑龙江 哈尔滨 151900; 3.聊城大学农学院, 山东 聊城 252000; 4.哈尔滨工业大学化工与化学学院, 黑龙江 哈尔滨 150090)

摘要:目的: 初步探究黑木耳酸性多糖对高血脂症小鼠的降血脂作用。方法: 采用不同剂量的黑木耳酸性多糖对高脂模型小鼠进行灌胃, 研究黑木耳酸性多糖对高脂模型小鼠血脂四项及相关酶类的影响。结果: 与高脂模型组相比, 黑木耳酸性多糖组小鼠体质量明显降低, 肝脏指数和动脉粥样硬化指数 (atherosclerosis index, AI) 也明显降低; 小鼠血清总胆固醇 (total cholesterol, TC)、甘油三酯 (triglyceride, TG) 水平均明显降低, HDL-C水平则显著或极显著升高 ($P<0.05$ 或 $P<0.01$); 黑木耳酸性多糖中、高剂量组小鼠的总超氧化物歧化酶 (total superoxide dismutase, T-SOD) 和谷胱甘肽过氧化物酶 (glutathione peroxidase, GSH-Px) 活力均极显著高于高脂模型组 ($P<0.01$)。结论: 黑木耳酸性多糖可以明显降低高血脂症小鼠血脂水平, 改善其因摄入过多脂质而导致肝脏脂肪堆积及动脉粥样硬化程度, 并对高血脂症引起的脂质过氧化损伤具有防护作用。

关键词: 黑木耳酸性多糖; 血脂; 降血脂功能

Hypolipemic Effect of Acidic Polysaccharides from *Auricularia auricula* on Hyperlipidemia Mice

YU Meihui¹, ZHAO Xin¹, YIN Hongli², LIU Ran³, WANG Zhenyu^{4,*}

(1. School of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China; 2. Institute of Staple Food Processing Technology, Institute of Food Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Harbin 151900, China; 3. College of Agriculture, Liaocheng University, Liaocheng 252000, China; 4. School of Chemistry and Chemical Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

Abstract: Objective: To explore the lipid-lowering effect of acidic polysaccharides from *Auricularia auricula* in hyperlipidemia mice. Methods: Acidic polysaccharides from *Auricularia* at different doses were intragastrically given to hyperlipidemic model mice to explore their effects on blood lipids and related enzymes. Results: Compared with the model group, the body weight of the treated mice decreased obviously, liver index and atherosclerosis index (AI) as well as serum TC and TG levels similarly declined obviously, whereas HDL-C levels increased significantly ($P < 0.01$ or 0.05). Moreover, total superoxide dismutase (T-SOD) and glutathione peroxidase (GSH-Px) activities in the middle and high dose treatment groups were significantly higher than those in the model group ($P < 0.01$). Conclusion: Acidic polysaccharides from *Auricularia auricula* can significantly reduce blood lipid levels, fat accumulation in liver and artery atherosclerosis caused by excessive lipid intake in hyperlipidemia mice and protect against lipid peroxidation damage caused by hyperlipidemia.

Key words: acidic polysaccharides from *Auricularia auricula*; blood fat; hypolipemic effect

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201615039

中图分类号: TS201.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2016) 15-0232-05

引文格式:

于美汇, 赵鑫, 尹红力, 等. 黑木耳酸性多糖对高血脂症小鼠的降血脂作用[J]. 食品科学, 2016, 37(15): 232-236.

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201615039. <http://www.spkx.net.cn>

YU Meihui, ZHAO Xin, YIN Hongli, et al. Hypolipemic effect of acidic polysaccharides from *Auricularia auricula* on hyperlipidemia mice[J]. Food Science, 2016, 37(15): 232-236. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201615039. <http://www.spkx.net.cn>

收稿日期: 2015-10-14

基金项目: 黑龙江省应用技术与开发计划项目 (GA13B202); 中央高校基本科研业务费专项资金项目 (DL11BA18)

作者简介: 于美汇 (1990—), 女, 硕士研究生, 研究方向为新资源功能食品开发。E-mail: 314221479@qq.com

*通信作者: 王振宇 (1957—), 男, 教授, 博士, 研究方向为新资源功能食品开发。E-mail: wzy219001@163.com

近年来,心脑血管疾病已成为危害人类健康最严重的疾病之一。据流行病学报告,在我国每小时约300人死于心脑血管疾病,而且发病率呈逐年上升的趋势,并且该病症的发病人群趋于年轻化^[1]。高脂血症、动脉粥样硬化等心脑血管疾病与生活方式和饮食习惯有关,我国中医学自古以来就有“药食同源”的观点,因此,越来越多的人认识到“治病不如防病”,很多具有降血脂功效的食物引起了人们的广泛关注,而研究表明植物多糖因具有降血脂、抗氧化等生物学活性,因此成为了当下研究的热点^[2-3]。

黑木耳(*Auricularia auricular*)是生长在朽木上的一种腐生菌,其子实体为食用部分,是我国非常广泛食用的一种山珍^[4]。研究表明黑木耳多糖具有抗氧化、降血压、抗氧化、抗炎、降血糖、抗凝血、降血脂等^[5-9]功效。周国华等^[10]探讨黑木耳多糖对高脂模型小鼠甘油三酯、总胆固醇、高密度脂蛋白和低密度脂蛋白水平的影响,结果表明,黑木耳多糖具有显著的降血脂作用,且给药量为100 mg/kg时,其降血脂效果最显著。谢意珍等^[11]在研究木耳降脂作用时,也发现黑木耳多糖可显著降低实验大鼠总胆固醇和低密度脂蛋白水平。但此前的研究主要集中在水提、酶法提取得到的多糖上,而对于碱提的酸性多糖在降血脂方面的研究却鲜有报道;且研究表明酸性多糖在降血糖^[12]、免疫活性^[13]、抗氧化^[14]等方面表现出较高的活性,因此本研究选择黑木耳作为研究对象,对黑木耳多糖进行碱提醇沉,研究其体内降血脂活性,测定小鼠血清总胆固醇(total cholesterol, TC)、甘油三酯(triglyceride, TG)、高密度脂蛋白胆固醇(high density lipoprotein cholesterol, HDL-C)、低密度脂蛋白胆固醇(low density lipoprotein cholesterol, LDL-C)含量、计算动脉粥样硬化指数,以及测定还原脂质过氧化损伤的主要酶——总超氧化物歧化酶(total superoxide dismutase, T-SOD)和谷胱甘肽过氧化物酶(glutathione peroxidase, GSH-Px)的活力,对碱提黑木耳酸性多糖的降血脂功能进行体内验证,并对其降血脂途径进行分析。为研制降血脂功能性食品与黑木耳多糖的开发利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料、动物与试剂

黑木耳 市售。

SPF级昆明种雄性小鼠60只,体质量(20±2)g,购自黑龙江中医药大学;基础饲料为粉状灭菌鼠饲料,高脂饲料含(以下均为质量分数)猪油10%、蛋黄胆固醇猪胆碱10%、胆固醇1%、猪胆碱0.2%、基础饲料78.8%。

辛伐他汀 哈药集团三精明水药业有限公司;生理盐水 哈尔滨三联药业股份有限公司;冰乙酸(分析纯) 天津市东丽区天大化学试剂厂;TC测定试剂盒、TG测定试剂盒、HDL-C测定试剂盒、LDL-C测定试剂盒、蛋白质测定试剂盒、GSH-Px测试盒、T-SOD测试盒 南京建成生物工程研究所。

1.2 仪器与设备

FJ-200高速万能粉碎机、YP2001N电子天平 天津泰斯特仪器公司;R-205B旋转蒸发仪 上海申胜仪器有限公司;TDL-5台式离心机 上海佑科仪器仪表有限公司;DHG-9240电热恒温鼓风干燥箱、DK-8D型电热恒温水槽 上海一恒科技有限公司;XW-80A漩涡混合器 江苏海门市其林贝尔仪器制造有限公司;洁净动物培养箱 东北林业大学植物药工程研究中心;MR-96A酶标仪 深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司;Bio-Tek全波长酶标仪 基因有限公司。

1.3 方法

1.3.1 黑木耳酸性多糖的提取

原料预处理:将黑木耳除杂、干燥、粉碎后,过40目筛,得到黑木耳干粉,采用石油醚进行脱脂,再用95%乙醇除去低聚糖,干燥待用。

准确称取一定质量的按上述方法处理的黑木耳干粉50g,加入0.1 mol/L NaOH溶液浸提,根据文献^[12]的提取条件进行优化,料液比1:80(m/V)、提取温度为室温、提取时间4h。提取液3 000 r/min离心10 min,除去残渣,残渣再用0.1 mol/L NaOH溶液提取(重复2次);合并上清液,将溶液pH值调为7.0后进行减压浓缩,3倍体积的70%乙醇醇析,反复将沉淀水溶醇析,烘干,得黑木耳粗酸性多糖18.96g,复溶,苯酚-硫酸法^[15]测定其多糖含量为854 mg/g,密封保存备用。

1.3.2 动物分组及处理

SPF级昆明种雄性小鼠60只,饲养于无毒塑料鼠盒中,每盒10只,喂饲基础饲料、蒸馏水,恒温(23±2)℃,适应性喂养1周后记录体质量并开始实验。将小鼠随机分为6组,每组10只:空白组、高脂模型组、阳性对照组以及黑木耳酸性多糖低、中、高剂量组(简称为低、中、高剂量组)。

每组小鼠喂养饲料及灌胃受试物剂量如下:空白组:基础饲料+蒸馏水;高脂模型组:高脂饲料+蒸馏水;阳性对照组:高脂饲料+辛伐他汀溶液(3.33 mg/(kg·d),以体质量计,下同);低剂量组:高脂饲料+黑木耳酸性多糖溶液(50 mg/(kg·d)),中剂量组:高脂饲料+黑木耳酸性多糖溶液(100 mg/(kg·d)),高剂量组:高脂饲料+黑木耳酸性多糖溶液(200 mg/(kg·d))。允许小鼠自由摄食和饮水,连续喂养60 d。其中,低、中、高剂量组灌胃提取液的剂量分别为人体推荐量的

10、20、30 倍，阳性对照灌胃辛伐他汀（3.33 mg/（kg•d））为人体常规用量的20 倍。

1.3.3 指标测定

实验周期为60 d，定期称量小鼠体质量，观察形态。末次给药后禁食，称量体质量并记录，眼球取血法取全血，静置30 min，离心分离血清，按照试剂盒说明书方法测定血清中TC、TG、HDL-C、LDL-C水平并计算动脉粥样硬化指数（atherosclerosis index，AI）。冰上取小鼠肝脏，以预冷的生理盐水冲洗后吸干水分，称质量记录并计算肝脏指数，-80℃冷冻备用。

AI= (TC浓度/（mmol/mL）-HDL-C浓度/（mmol/mL）) / HDL-C浓度/（mmol/mL） (1)

肝脏指数/（mg/g）= 肝脏质量/mg / 体质量/g (2)

1.4 数据统计分析

用Excel软件将数据处理后以 $\bar{x} \pm s$ 表示，采用SPSS 17.0 软件进行统计分析， $P < 0.05$ 或 $P < 0.01$ 表示具有统计学意义。

2 结果与分析

2.1 黑木耳酸性多糖对小鼠体质量的影响

表1 黑木耳酸性多糖对小鼠体质量的影响（ $\bar{x} \pm s, n=10$ ）
Table 1 Effect of acidic polysaccharides from Auricularia auricular on body weights of hyperlipidemic mice ($\bar{x} \pm s, n = 10$)

组别	灌胃剂量/ (mg/（kg•d）)	体质量/g	
		实验前	实验后
空白组		21.86±0.95	32.92±1.59 ^B
高脂模型组		21.78±1.89	41.33±0.82 ^{Aa}
阳性对照组	3.33	21.72±2.01	34.06±1.09 ^B
低剂量组	50	21.92±0.92	38.50±2.92 ^{Ac}
中剂量组	100	21.84±1.24	36.49±2.15 ^{ab}
高剂量组	200	21.69±2.12	34.64±2.26 ^B

注：a. 与空白组比较，差异显著（ $P < 0.05$ ）；A. 与空白组比较，差异极显著（ $P < 0.01$ ）；b. 与高脂模型组比较，差异显著（ $P < 0.05$ ）；B. 与高脂模型组比较，差异极显著（ $P < 0.01$ ）；C. 与阳性对照组相比较，差异极显著（ $P < 0.01$ ）。下同。

由表1可知，实验前各组小鼠平均体质量组间无显著差异（ $P > 0.05$ ）；实验后，高脂模型组、低剂量组和中剂量组小鼠的体质量均显著或极显著高于空白组（ $P < 0.05$ 或 $P < 0.01$ ），空白组、阳性对照组和高剂量组小鼠的体质量均极显著低于高脂模型组（ $P < 0.01$ ），中剂量组小鼠的体质量显著低于高脂模型组（ $P < 0.05$ ），低剂量组小鼠的体质量极显著高于阳性对照组（ $P < 0.01$ ）。

实验前小鼠体质量无显著差异，而实验后高脂模型组小鼠体质量极显著高于空白组，说明高脂模型组的建立对小鼠体质量有显著影响。通过对黑木耳酸性多糖各

剂量组小鼠体质量的对比可以看出，低剂量组对小鼠体质量增长的缓解作用不大，中、高剂量组能够不同程度地减缓小鼠体质量的增长，小鼠体质量较高脂模型组分别降低了11.7%和16.2%，这说明黑木耳酸性多糖在降低小鼠体质量方面具有显著效果；高剂量组与阳性对照组小鼠体质量差异不大，表明高剂量组在减缓小鼠体质量增长方面与辛伐他汀的作用相近。

2.2 黑木耳酸性多糖对小鼠血清TG、TC、HDL-C、LDL-C水平的影响

表2 黑木耳酸性多糖对小鼠血清TC、TG、HDL-C、LDL-C水平的影响（ $\bar{x} \pm s, n=10$ ）
Table 2 Effect of acidic polysaccharides from Auricularia auricular on TC, TG, HDL-C and LDL-C levels in serum of hyperlipidemic mice ($\bar{x} \pm s, n = 10$)

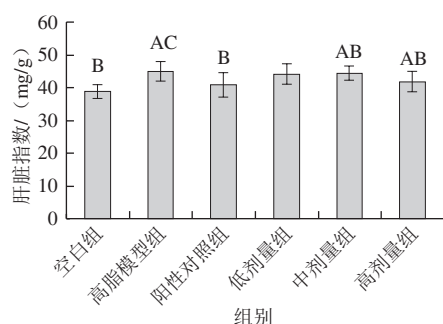
组别	灌胃剂量/ (mg/（kg•d）)	mmol/mL			
		TC含量	TG含量	HDL-C含量	LDL-C含量
空白组		6.65±0.71 ^b	1.54±0.30 ^b	4.42±0.82 ^b	1.48±0.67 ^{BC}
高脂模型组		8.75±0.66 ^A	1.84±0.19 ^A	2.64±0.54 ^A	1.95±0.69 ^{AC}
阳性对照组	3.33	6.14±0.65 ^B	1.59±0.21 ^b	4.56±0.25 ^b	1.72±0.16 ^{AbC}
低剂量组	50	7.38±0.78 ^A	1.77±0.19 ^A	4.63±0.25 ^b	2.06±0.48 ^{AC}
中剂量组	100	6.79±0.48 ^b	1.72±0.13 ^a	4.67±0.96 ^b	1.98±0.27 ^{AC}
高剂量组	200	6.42±0.39 ^B	1.65±0.14 ^b	5.01±0.69 ^{BC}	2.04±0.22 ^{AC}

血清TG、TC含量是判定高血脂症的重要指标，由表2可知，黑木耳酸性多糖具有降低血清TC水平的作用，阳性对照组和中、高剂量组小鼠血清中的TC水平显著或极显著低于高脂模型组（ $P < 0.05$ 或 $P < 0.01$ ），且这3组间无统计学差异（ $P > 0.05$ ）。

近年来的研究表明，HDL-C是冠心病的负危险因素，其含量越低，则冠心病的发病率越高。由表2可知，与高脂模型组相比，其他各组小鼠血清中的HDL-C水平均显著或极显著升高（ $P < 0.05$ 或 $P < 0.01$ ），其中以高剂量组效果为极显著，且极显著高于阳性对照组，这说明黑木耳酸性多糖具有良好的升高HDL-C水平的作用，效果甚至优于辛伐他汀。与空白组相比，其他各组小鼠血清中的LDL-L含量均极显著升高（ $P < 0.01$ ）；与高脂模型组相比，阳性对照组小鼠血清中的LDL-L含量显著降低（ $P < 0.05$ ），而黑木耳酸性多糖各剂量组小鼠血清中的LDL-L含量与高脂模型组相比无显著差异（ $P > 0.05$ ）。

2.3 黑木耳酸性多糖对小鼠肝脏指数的影响

如图1所示，高脂模型组小鼠的肝脏指数极显著高于空白组，这表明小鼠经连续食用高脂饲料后，肝脏作为脂肪分解代谢的主要器官已受到严重损害；与高脂模型组相比，阳性对照组和中、高剂量组小鼠的肝脏指数均极显著降低，说明黑木耳酸性多糖对于减缓高血脂症小鼠的肝脏指数增长有一定作用，能够起到保护肝脏的作用，并随着黑木耳酸性多糖剂量的增加，缓解作用增强，呈现一定的剂量依赖关系。

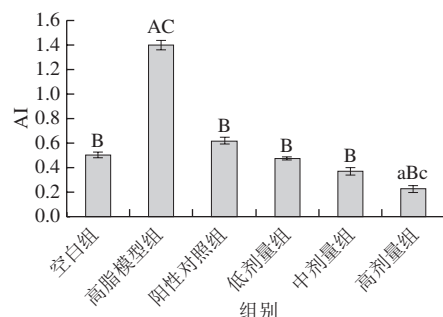


A. 与空白组比较, 差异极显著 ($P < 0.01$); B. 与高脂模型组比较, 差异极显著 ($P < 0.01$); C. 与阳性对照组相比较, 差异极显著 ($P < 0.01$)。下同。

图1 黑木耳酸性多糖对小鼠肝脏指数的影响 ($\bar{x} \pm s, n=10$)

Fig. 1 Effect of acidic polysaccharides from *Auricularia auricular* on liver indices of hyperlipidemic mice ($\bar{x} \pm s, n=10$)

2.4 黑木耳酸性多糖对小鼠AI的影响



a. 与空白组比较, 差异显著 ($P < 0.05$); c. 与阳性对照组相比较, 差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

图2 黑木耳酸性多糖对小鼠AI的影响 ($\bar{x} \pm s, n=10$)

Fig. 2 Effect of acidic polysaccharides from *Auricularia auricular* on serum AI of hyperlipidemic mice ($\bar{x} \pm s, n=10$)

动脉粥样硬化是一种严重危害人类健康的常见病, 是导致冠心病、血栓栓塞性和脑血管疾病的主要病理基础, 高血脂作为动脉粥样硬化的始动因素, 一直是相关研究的热点^[16]。而AI被认为是一个比单一的脂质指标能更好、更灵敏地反映动脉粥样硬化程度和冠心病危险性的指标。如图2所示, 高脂模型组小鼠的AI极显著高于空白组 ($P < 0.01$), 这说明高血脂症小鼠模型建立成功; 而黑木耳酸性多糖各剂量组小鼠的AI均极显著低于高脂模型组 ($P < 0.01$), 这与韩春然等^[17]的研究结果相同, 并且高剂量组的作用效果甚至优于阳性对照药物辛伐他汀 ($P < 0.05$), 与高脂模型组相比, 高剂量组小鼠的AI降低了48.8%。以上结果表明, 黑木耳酸性多糖对于缓解小鼠动脉粥样硬化效果明显。

2.5 黑木耳酸性多糖对小鼠肝脏中T-SOD、GSH-Px活力的影响

高血脂症及动脉粥样硬化的动物往往组织中的脂质过氧化物含量较高, T-SOD和GSH-Px是还原脂质过氧化

物的主要酶类。如图3、4所示, 黑木耳酸性多糖各剂量组均能显著升高以上两种酶的活力, 其中, 中、高剂量组小鼠肝脏的T-SOD、GSH-Px活力极显著高于高脂模型组 ($P < 0.01$), 这说明黑木耳酸性多糖对于由于高血脂症引起的T-SOD活力下降具有明显的缓解作用。其中对提高GSH-Px活力的作用随着黑木耳酸性多糖剂量的增加而增强, 与高脂模型组相比, 高剂量组可将小鼠肝脏的GSH-Px活力提高约70%; 而对于提高T-SOD活力的作用以中剂量组的效果最优, 与文献^[18]的报道一致。这表明黑木耳酸性多糖对于小鼠高血脂症引起的脂质过氧化损伤有明显的缓解作用。

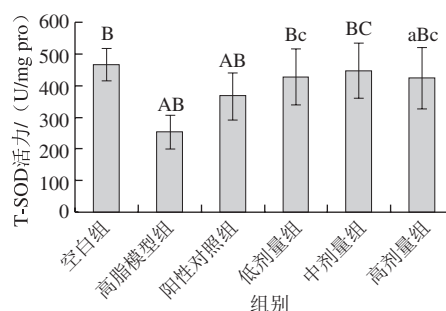
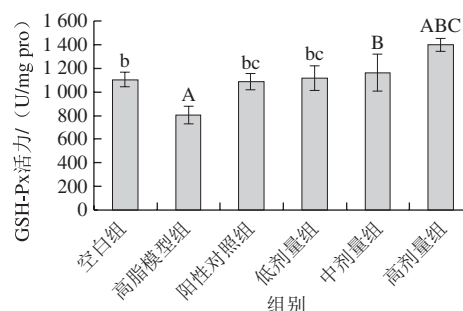


图3 黑木耳酸性多糖对小鼠肝脏中T-SOD活力的影响 ($\bar{x} \pm s, n=10$)

Fig. 3 Effect of acidic polysaccharides from *Auricularia auricular* on T-SOD activity in liver of hyperlipidemic mice ($\bar{x} \pm s, n=10$)



b. 与高脂模型组比较, 差异显著 ($P < 0.05$)。

图4 黑木耳酸性多糖对小鼠肝脏中GSH-Px活力的影响 ($\bar{x} \pm s, n=10$)

Fig. 4 Effect of acidic polysaccharides from *Auricularia auricular* on GSH-Px activity in liver of hyperlipidemic mice ($\bar{x} \pm s, n=10$)

3 讨论

高血脂症是血脂代谢异常所致, 其主要表现为血清中TC、TG和LDL-C水平过高或HDL-C水平过低^[19]。血清中TC、TG水平的异常增加与心血管疾病的发生成正相关。其中HDL-C可作为逆向转运TC的载体, 其水平增加可加快血液中TC的分解^[20]。黑木耳酸性多糖可升高HDL-C水平, 降低TC和TG含量, 其中高剂量组的作用效果最为明显, 这与周国华等^[10]的研究结果相符,

由此可推断黑木耳酸性多糖能降低高血脂症小鼠的血脂水平的原因可能是通过提高血清HDL-C含量, 将TC运回肝脏, 加快肝脏对脂类的降解, 从而降低血脂水平。

3-羟基-3-甲基戊二酰辅酶A (3-hydroxy-3-methyl glutaryl coenzyme A, HMG-CoA) 还原酶是体内合成胆固醇的关键限速酶^[21], HMG-CoA还原酶抑制剂的作用主要是降低TC合成, 这类抑制剂在降低TC水平的同时也可降低TG水平和升高HDL-C水平。从本实验结果来看, 黑木耳酸性多糖降血脂作用可能是通过抑制HMG-CoA还原酶的活性实现的。

患有高血脂症、动脉粥样硬化的动物或患者, 其血浆中的脂质过氧化物含量往往较高, 与TC、TG含量成正相关^[22]。SOD、GSH-Px是血清中还原脂质过氧化物的主要酶类, 可以清除体内的自由基, 降低脂质过氧化损伤^[23]。SOD和GSH-Px活力的高低反映了机体抗氧化能力的强弱^[24]。高胆固醇血症状态下, SOD和GSH-Px活力降低, 清除自由基能力减弱, 则脂质过氧化程度进一步增强。所以高胆固醇血症状态下, 机体内脂质水平升高, 抗氧化能力下降, 表现为严重的脂质过氧化及动脉粥样硬化发生的高危险性^[25]。本实验结果显示, 黑木耳酸性多糖能够显著提高肝脏中SOD、GSH-Px活力, 缓解高血脂症状态下的脂质过氧化损伤, 其中高剂量的黑木耳酸性多糖能够增强小鼠体内抗氧化能力, 同时降低小鼠的肝脏指数和动脉粥样硬化指数, 由此可以看出, 黑木耳酸性多糖能够减少脂质过氧化损伤, 起到抗动脉粥样硬化的作用。

综上所述, 本实验对黑木耳酸性多糖的降血脂功能进行了体内验证, 结果表明黑木耳酸性多糖可以明显降低高血脂症小鼠的血脂水平, 改善因摄入过多脂质而导致肝脏脂肪堆积及动脉粥样硬化程度, 并对高血脂症引起的脂质过氧化损伤具有防护作用, 具有一定的保护肝脏功能。但对于黑木耳酸性降血脂的作用机制目前尚不明确, 对于其功能与结构之间的关系还需要进一步研究。

参考文献:

- [1] 黄佳玮, 郭海英. 高脂血症临床治疗概况[J]. 实用中医药杂志, 2009, 25(1): 53-55. DOI:10.3969/j.issn.1004-2814.2009.01.051.
- [2] WANG Y, ZHU Y, RUAN K, et al. MDG-1, a polysaccharide from *Ophiopogon japonicus*, prevents high fat diet-induced obesity and increases energy expenditure in mice[J]. Carbohydrate Polymers, 2014, 114: 183-189. DOI:10.1016/j.carbpol.2014.08.013.
- [3] LIU J, WEN X Y, ZHANG X Q, et al. Extraction, characterization and *in vitro* antioxidant activity of polysaccharides from black soybean[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2015, 72: 1182-1190. DOI:10.1016/j.ijbiomac.2014.08.058.
- [4] 卞春, 王振宇, SHI J. 黑木耳多糖生物功能的研究进展[J]. 食品工业科技, 2015, 36(16): 390-394; 400. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2015.16.071.
- [5] JIE Y, SUN R, ZHAO Z, et al. *Auricularia polytricha*, polysaccharides induce cell cycle arrest and apoptosis in human lung cancer A549 cells[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2014, 68(7): 67-71. DOI:10.1016/j.ijbiomac.2014.04.018.
- [6] SHUANG Z, RONG C, YU L, et al. Extraction of a soluble polysaccharide from *Auricularia polytricha*, and evaluation of its anti-hypercholesterolemic effect in rats[J]. Carbohydrate Polymers, 2015, 122: 39-45. DOI:10.1016/j.carbpol.2014.12.041.
- [7] YANG L, ZHAO T, WEI H, et al. Carboxymethylation of polysaccharides from *Auricularia auricula*, and their antioxidant activities *in vitro*[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2011, 49(5): 1124-1130. DOI:10.1016/j.ijbiomac.2011.09.011.
- [8] 张文婷, 贾宁, 王琦. 黑木耳多糖抗炎镇痛实验研究[C]//中国菌物学会学术年会会议. 北京: 中国菌物学会, 2012: 1.
- [9] 王辰龙, 张子奇, 王曼, 等. 黑木耳多糖的提取分离及体外抗凝血作用研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(9): 238-241. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2013.09.009.
- [10] 周国华, 于国萍. 黑木耳多糖降血脂作用的研究[J]. 现代食品科技, 2005, 21(1): 46-48. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2005.01.013.
- [11] 谢意珍, 周静文. 木耳降血脂作用的研究[J]. 吉林中医药, 2006, 26(10): 59-60. DOI:10.13463/j.cnki.jlzyy.2006.10.045.
- [12] 尹红力, 赵鑫, 佟丽丽, 等. 黑木耳多糖体外和体内降血糖功能[J]. 食品科学, 2015, 36(21): 221-226. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201521041.
- [13] LI B, ZHANG X Y, WANG M Z. Characterization and antioxidant activities of acidic polysaccharides from *Gynostemma pentaphyllum* (Thunb.) Markino[J]. Carbohydrate Polymers, 2015, 127(20): 209-214. DOI:10.1016/j.carbpol.2015.03.069.
- [14] XIE G, SCHEPETKIN I A, QUINN M T. Immunomodulatory activity of acidic polysaccharides isolated from *Tanacetum vulgare* L.[J]. International Immunopharmacology, 2007, 7(13): 1639-1650. DOI:10.1016/j.intimp.2007.08.013.
- [15] 丁钢强, 于村, 张双凤, 等. 食品多糖含量不同测定方法的研究[J]. 实用预防医学, 2000, 7(5): 325-327. DOI:10.3969/j.issn.1006-3110.2000.05.003.
- [16] 王亚芳, 汪秋宽, 何云海, 等. 褐藻多糖硫酸酯与山楂提取物混合剂的降血脂作用[J]. 大连海洋大学学报, 2015(3): 309-313. DOI:10.16535/j.cnki.dlhyxb.2015.03.014.
- [17] 韩春然, 徐丽萍. 黑木耳多糖的提取、纯化及降血脂作用的研究[J]. 中国食品学报, 2007, 7(1): 54-58. DOI:10.16429/j.1009-7848.2007.01.010.
- [18] 周国华. 黑木耳多糖抗衰老及降血脂生物功效的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2005: 20-25. DOI:10.7666/d.y785375.
- [19] 罗宇东, 蒋林, 许梦寒, 等. 蓝参降脂方对高脂模型小鼠血脂水平的影响[J]. 中国当代医药, 2013, 20(18): 4-5. DOI:10.3969/j.issn.1674-4721.2013.18.002.
- [20] ZHAO L Y, HUANG W, YUAN Q X, et al. Hypolipidaemic effects and mechanisms of the main component of *Opuntia dillenii* Haw. polysaccharides in high-fat emulsion-induced hyperlipidaemic rats[J]. Food Chemistry, 2012, 134(2): 964-971. DOI:10.1016/j.foodchem.2012.03.001.
- [21] 殷伟伟, 张松. 食药真菌降血脂作用的研究及应用[J]. 菌物研究, 2006, 4(4): 82-86. DOI:10.13341/j.jfr.2006.04.017.
- [22] LUSIS A J. Atherosclerosis[J]. Nature, 2000, 407: 233-241. DOI:10.1038/35025203.
- [23] 胡文兵, 赵静, 陈婷婷, 等. 青钱柳多糖对高脂血症小鼠的降血脂作用及机制初探[J]. 现代食品科技, 2015, 31(11): 1-8. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.11.007.
- [24] MA J, QIAO Z, XIANG X. Optimisation of extraction procedure for black fungus polysaccharides and effect of the polysaccharides on blood lipid and myocardium antioxidant enzymes activities[J]. Carbohydrate Polymers, 2011, 84(3): 1061-1068. DOI:10.1016/j.carbpol.2010.12.068.
- [25] 张京芳, 张强, 陆刚, 等. 香椿叶提取物对高脂血症小鼠脂质代谢的调节作用及抗氧化功能的影响[J]. 中国食品学报, 2007, 7(4): 3-7. DOI:10.16429/j.1009-7848.2007.04.023.