

徐艳丽, 朱明睿, 孙佳宁, 等. 阿勒泰脂臀羊臀脂分提产物对小鼠肝脏脂质水平及氧化应激的影响 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(1): 351–358. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.20210016

XU Yanli, ZHU Mingrui, SUN Jianing, et al. Effects of Altay Sheep Buttocks Fat Extract on Liver Lipid and Oxidative Stress in Mice[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(1): 351–358. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.20210016

· 营养与保健 ·

阿勒泰脂臀羊臀脂分提产物对小鼠肝脏脂质水平及氧化应激的影响

徐艳丽, 朱明睿, 孙佳宁, 张 莉, 马玉洁, 王子荣*
(新疆农业大学食品科学与药学院, 新疆乌鲁木齐 830052)

摘要:为探讨阿勒泰脂臀羊臀脂及其分提产物对小鼠肝脏脂质水平和氧化应激的影响, 将 84 只昆明小鼠随机分为 20 d 和 40 d 两个批次, 每批 7 组 ($n=6$): 空白组 (基础饲料喂养)、菜籽油组、原脂组、2 °C 固脂、12 °C 固脂、22 °C 固脂、32 °C 固脂组, 实验油脂组以基础饲料喂养+0.15 mL/10 g 的油脂灌服小鼠, 测定小鼠肝脏指数, 进行肝脏组织病理学观察, 按照试剂盒说明书测定肝脏脂质水平及氧化应激指标。结果表明: 阿勒泰脂臀羊臀脂及其分提产物对小鼠肝脏指数无显著影响 ($P>0.05$), 肝脏组织无病理性变化; 与菜籽油相比, 分提产物可有效降低小鼠肝脏脂质水平, 其中 2 °C 固脂效果更显著 ($P<0.05$)。40 d 时, 菜籽油组丙二醛 (Malondialdehyde, MDA) 含量显著高于各组 ($P<0.05$); 32 °C 固脂超氧化物歧化酶 (Superoxide dismutase, SOD)、过氧化氢酶 (Catalase, CAT)、谷胱甘肽过氧化物酶 (Glutathione peroxidase, GSH-Px) 活性及总抗氧化能力 (Total antioxidation, T-AOC) 均显著升高 ($P<0.05$), 而 MDA 含量显著下降 ($P<0.05$)。随着摄入时间的增长, 菜籽油组肝指数显著升高 8.21%, 原脂组总胆固醇 (Total cholesterol, TC) 水平显著下降, 高密度脂蛋白胆固醇 (High density lipoprotein cholesterol, HDL-C) 水平显著上升, 32 °C 固脂组 MDA 含量显著降低, SOD 活性显著升高 30.85%。阿勒泰脂臀羊臀脂的不同分提产物对小鼠肝脏脂质水平、氧化应激产生不同的影响。相比菜籽油, 未分提的原脂更有益于人体健康, 羊臀脂分提产物中 2 °C 固脂可有效控制小鼠肝脏脂质上升, 32 °C 固脂提升抗氧化酶活性、减少氧化损伤的效果更优。

关键词:阿勒泰脂臀羊臀脂分提产物, 羊臀原脂, 菜籽油, 肝脏脂质, 氧化应激

中图分类号: TS225.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)01-0351-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.20210016

本文网刊:



Effects of Altay Sheep Buttocks Fat Extract on Liver Lipid and Oxidative Stress in Mice

XU Yanli, ZHU Mingrui, SUN Jianing, ZHANG Li, MA Yujie, WANG Zirong*

(College of Food Science and Pharmacy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: To investigate the effects of Altay lipid and its extract on liver lipid level and oxidative stress in mice, 84 Kunming mice were randomly divided into two batches of 20 days and 40 days, 7 groups each ($n=6$): blank group (basic feed feeding), rapeseed oil group, Altay sheep buttocks oil group, 2 °C solid oil group, 12 °C solid oil group, 22 °C solid oil group, 32 °C solid oil group, experimental oil group fed 0.15 mL/10 g of basic feed to mice, the liver index of mice was measured, pathology were observed, liver lipid level and oxidative stress index were determined according to the kit specification. The results showed that there was no significant effect on liver index of mice with Altay sheep buttocks fat and its extract ($P>0.05$), no pathological changes in liver tissue, compared with rapeseed oil, the Altay sheep buttocks fat extracts could effectively reduce the liver lipid level of mice, and the effect of 2 °C solid oil group was more significant

收稿日期: 2020-10-12

基金项目: 新疆维吾尔自治区自然科学基金项目 (2019D01A38)。

作者简介: 徐艳丽 (1994-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品营养与安全, E-mail: 1519482903@qq.com。

* 通信作者: 王子荣 (1963-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品营养与安全, E-mail: wangzirong212@126.com。

($P<0.05$)。At 40 days, the MDA content of the rapeseed oil group was significantly higher than that of the other groups ($P<0.05$); Compared with the blank group, 32 °C solid fat group SOD, CAT, GSH-Px enzyme activities and T-AOC were significantly increased ($P<0.05$), while the MDA content was significantly decreased ($P<0.05$). With the increase of intake time, liver index of rapeseed oil group increased by 8.21% significantly, the TC level of the Altay sheep buttocks oil group decreased significantly, and the HDL-C level increased significantly, the MDA content of 32 °C solid fat group decreased significantly and the SOD activity increased 30.85% significantly. Different Altay sheep buttocks fat extracts has different effects on the liver lipid levels and oxidative stress in mice. Compared with rapeseed oil, Altay sheep buttocks oil is more beneficial to human health. The 2 °C solid oil in the Altay sheep buttocks fat extracts can effectively control the increase of liver lipids in mouse, and the 32 °C solid oil enhances antioxidant enzyme activity and reduces oxidation damage effect is better.

Key words: Altay sheep buttocks fat extract; sheep buttocks fat; rapeseed oil; liver lipids; oxidative stress

阿勒泰脂臀羊主要产区集中在新疆北部的阿勒泰地区福海县、富蕴县、清河县等地, 2012 年被评为“地理标志产品”^[1]。阿勒泰脂臀羊尾部呈方圆形, 尾臀合一且硕大, 因此也被为“大尾羊”。阿勒泰脂臀羊臀脂主要为饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸、多不饱和脂肪酸^[2]。何鑫等^[3]研究发现阿勒泰脂臀羊臀脂中含 18 种脂肪酸成分, 包括不饱和脂肪酸 8 种, 共占比 49.30%, 主要成分油酸(37.40%), 还有少量的亚油酸(2.23%), 单不饱和脂肪酸含量为 4.70%, 以亚油酸(2.23%)、亚麻酸(0.91%)及共轭亚油酸(1.56%)为主; 饱和脂肪酸 10 种, 占比 50.70%, 主要为棕榈酸(20.39%)、硬脂酸(19.37%)、肉豆蔻酸(4.57%)。较高含量油酸的摄入, 能够软化血管、促进机体新陈代谢有利于健康^[4]。亚油酸作为人体必需脂肪酸对人体心血管疾病具有较好的预防作用^[5]。棕榈酸具有降血脂、抗动脉粥样硬化、抗血小板聚集以及抗血栓形成等作用^[6]。

目前对于阿勒泰羊臀脂的研究多见于提取精炼、脂肪酸组成、贮藏及综合加工利用等方面^[7-15], 而对于阿勒泰羊臀脂及其分提产物的营养健康性研究却鲜有报道。故本研究以阿勒泰脂臀羊臀脂及其分提产物为实验材料, 探讨脂臀羊臀脂及其不同分提产物的摄入对小鼠肝脏脂质水平和氧化应激的影响, 初步探索阿勒泰脂臀羊臀脂及其分提产物对机体食用健康性可能产生的影响, 为分提油脂的健康合理的运用提供理论依据, 同时也为脂臀羊臀脂资源的开发和利用奠定生理学基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

阿勒泰脂臀羊臀脂 购自新疆乌鲁木齐华凌市场; 福临门非转基因纯香菜籽油 市售; 阿勒泰脂臀羊原脂、阿勒泰脂臀羊臀脂分提产物 自制; SPF 级 4 周龄雄性昆明种(Kunming, KM)小鼠 平均体重(18±3)g, 购于新疆医科大学动物实验中心, 实验动物通过新疆农业大学实验动物福利委员会批准, 批准编号: 2019019; 低密度脂蛋白胆固醇(Low density lipoprotein cholesterol, LDL-C)、甘油三酯(Triglyceride, TG)、TG、HDL-C、SOD、MDA、T-AOC、GSH-Px、CAT、蛋白定量测定试剂盒 南京

建成生物科技有限公司。

DZF-6050LC 真空干燥箱 上海齐欣科学仪器有限公司; DL-3010 低温冷却液循环泵 上海市百典仪器厂; HS-S 型组织切片机 沈阳恒松科技有限公司; HRS-22D 高清恒染染色机 武汉汉谷医疗科技有限公司; Xmark 酶标仪 伯乐生命医学产品(上海)有限公司; T6 新世纪紫外分光光度计 北京普析通用仪器有限责任公司。

1.2 实验方法

1.2.1 原脂及臀脂分提产物的制备 原脂的制备采用何鑫^[3]的真空加热抽提法, 置于真空干燥箱 70 °C、5 h 粗提得到原脂(未分提的阿勒泰脂臀羊臀脂油), 密封-20 °C 冻藏备用。

阿勒泰脂臀羊臀脂分提产物的制备: 改进李涛^[6]的溶剂法, 以丙酮: 原脂按 2: 1 的比例置于冷却液循环泵中, 设置温度 32 °C、恒温 16 h, 待其充分结晶真空后抽提得到 32 °C 固脂; 迅速将剩余液脂置于 22 °C 冷却液循环泵中恒温 16 h 使其充分结晶后真空抽提得到 22 °C 固脂; 12 °C、2 °C 固脂分提操作同 22 °C 固脂。得到的 32、22、12、2 °C 固脂减压挥发残余丙酮, 密封-20 °C 冻藏备用。

1.2.2 小鼠灌胃剂量的设定 中国营养学会的统计结果显示, 我国居民烹调油脂有 5%~10% 的居民高达 95 g^[17]。本研究采用魏伟^[18]的方法以居民烹调油最高摄入量 95 g 折算为 0.15 mL/10 g 的灌胃剂量灌服小鼠。

1.2.3 动物实验分组 84 只雄性 KM 小鼠基础饲料适应性饲喂 1 周, 按空腹体重随机分为灌胃 20 d 和灌胃 40 d 两个批次, 每批 7 组($n=6$), 分别设为空白组、菜籽油组、原脂组、2 °C 固脂、12 °C 固脂、22 °C 固脂、32 °C 固脂组, 自由采食饮水, 单笼喂养。每日称重灌胃 1 次, 环境温度维持在(22±2) °C, 相对湿度 50%~60%, 每日 12 h 昼夜交替。

1.2.4 实验油脂灌胃方法 菜籽油常温下为液态, 按照剂量直接灌服小鼠。原脂、32、22、12、2 °C 固脂在室温下呈固态, 参照 GB/T 12766-2008 中方法对原脂、32、22、12、2 °C 固脂熔点进行了测定, 熔点分别为(39.46±0.75) °C、(47.83±0.53) °C、(41.13±0.69) °C、(39.50±0.62) °C、(25.30±0.65) °C。灌胃前

依次根据熔点温度恒温水浴加热(1~2 min)至液态。12、22 ℃ 固脂熔化至液态后直接灌服小鼠, 原脂、32、22 ℃ 固脂熔化后冷却至小鼠体温(38.0±1.0) ℃ 后灌服小鼠(此时原脂、32、22 ℃ 固脂依旧为液态), 空白组以基础饲料喂养, 实验油脂组以基础饲料喂养+0.15 mL/10 g 的油脂灌服小鼠。

1.2.5 样品采集及处理 分别在 20、40 d 结束后对小鼠禁食不禁水 12 h, 称重, 乙醚麻醉后断颈处死解剖, 剪取肝脏组织, 生理盐水清洗表面血液, 用滤纸拭干用于后续各项指标测定。

1.2.6 肝指数的测定 小鼠肝脏冲洗滤纸拭干后称重, 记录肝脏湿重, 用于计算肝指数。

$$\text{肝指数}(\%) = \frac{\text{肝脏湿重}(\text{g})}{\text{末体重}(\text{g})} \times 100$$

1.2.7 肝脏组织病理学观察 取小鼠肝左叶于 5% 中性甲醛溶液中固定 24 h, 梯度脱水, 浸蜡包埋, 采用苏木精伊红染色法染色, 置数码显微镜下进行病理学观察。

1.2.8 肝脏组织脂质含量及氧化应激指标测定 称取 0.2 g 肝组织, 1:9 加入预冷生理盐水, 冰水浴匀浆制备 10% 的肝组织匀浆, 4 ℃、3000 r/min 离心 10 min, 吸取上清液, 置于 4 ℃ 冰箱保存, 以待后续各项肝脏指标的检测。依据试剂盒标注的方法测定肝脏 TC、TG、HDL-C、LDL-C、MDA、总蛋白含量以及 SOD、T-AOC、GSH-Px、CAT 活力。

1.3 数据处理

实验数据均以均值±标准差表示。采用 SPSS 19.0 统计软件包进行数据处理, 相同时间多组间比较采用 One way ANOVA 检验, 同组不同时间上差异对比采用配对样本 T 检验, 以 $P < 0.05$ 为有统计学差异。

2 结果与分析

2.1 阿勒泰脂臀羊臀脂分提产物对小鼠肝指数的影响

肝指数是一项能够大体地初步判断肝脏病变程度的常用指标。如表 1 所示, 肝指数在 20 d 和

40 d 时各组间均无显著性差异。随着摄入时间的增长, 菜籽油组肝指数显著升高 8.21%。本实验结果与雷红等^[19] 研究发现菜籽油使小鼠肝指数升高的结果一致。

表 1 阿勒泰脂臀羊臀脂分提产物对小鼠肝指数的影响(%)
Table 1 Effects of Altay sheep buttocks fat extract on liver index of mice (%)

组别	20 d	40 d
空白组	3.50±0.21 ^{AA}	3.73±0.51 ^{AA}
菜籽油组	3.41±0.27 ^{AB}	3.69±0.15 ^{AA}
原脂组	3.60±0.25 ^{AA}	3.74±0.11 ^{AA}
2 ℃固脂组	3.71±0.39 ^{AA}	3.93±0.21 ^{AA}
12 ℃固脂组	3.70±0.21 ^{AA}	3.61±0.48 ^{AA}
22 ℃固脂组	3.61±0.05 ^{AA}	3.57±0.27 ^{AA}
32 ℃固脂组	3.59±0.20 ^{AA}	3.74±0.11 ^{AA}

注: 同列不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$); 同行不同大写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

2.2 阿勒泰脂臀羊臀脂分提产物对小鼠肝脏组织显微病理学的影响

对 20 d 和 40 d 小鼠肝脏组织解剖学观察发现, 各组小鼠肝脏均色泽红润, 大小正常, 外形齐整, 分叶清晰, 肝叶边缘锐利, 未见明显肿大、淤血、脂肪颗粒聚集等实质性损伤或病变。从图 1 和图 2 中可以看出, 小鼠肝脏切片中, 肝小叶位置、肝细胞索、门管区均可明显区分, 肝细胞形态正常, 细胞间隙适中, 无明显脂肪组织的浸润, 肝细胞无坏死, 均未造成小鼠肝脏器质性病变。说明高膳食的菜籽油与原脂及其分提产物均不会造成小鼠肝脏组织器质性病变。孙宗扬等^[20] 以牛羊油脂 0.2 mL/10 g 的剂量灌胃小鼠研究发现牛羊油脂不影响小鼠肝脏正常结构, 这与本实验中原脂组小鼠肝脏病理解剖学观察结果相近。

2.3 阿勒泰脂臀羊臀脂分提产物对小鼠肝脏脂质水平的影响

肝脏是脂类代谢主要器官^[21], 在脂类合成的消化和吸收、合成、分解与运输中均具有重要作用。人体的 TC 主要是由肝脏合成, 检测肝细胞中的 TC 含

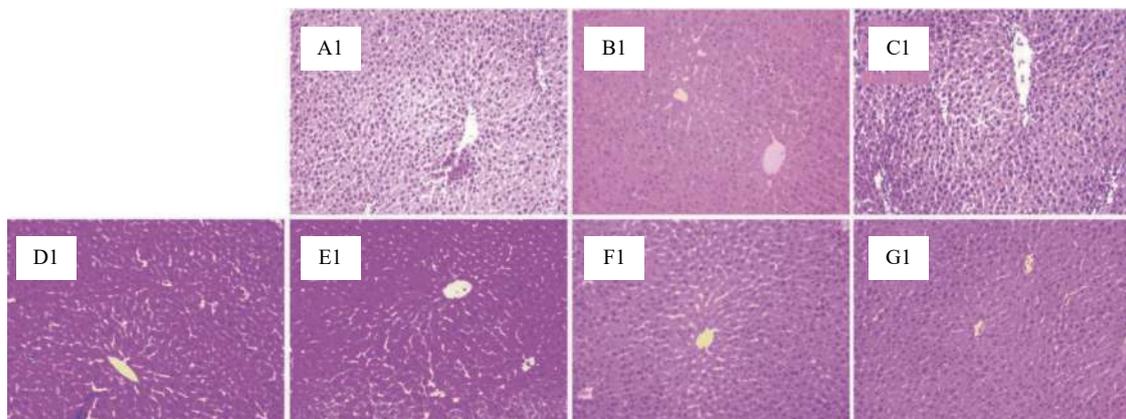


图 1 阿勒泰脂臀羊臀脂分提产物对 20 d 小鼠肝脏组织病理学观察(200×)

Fig.1 Histopathological observation of 20 d mice liver by the Altay sheep buttocks fat extract(200×)

注: A1~G1 分别为 20 d 空白组、原脂组、菜籽油组、2、12、22、32 ℃ 固脂组。

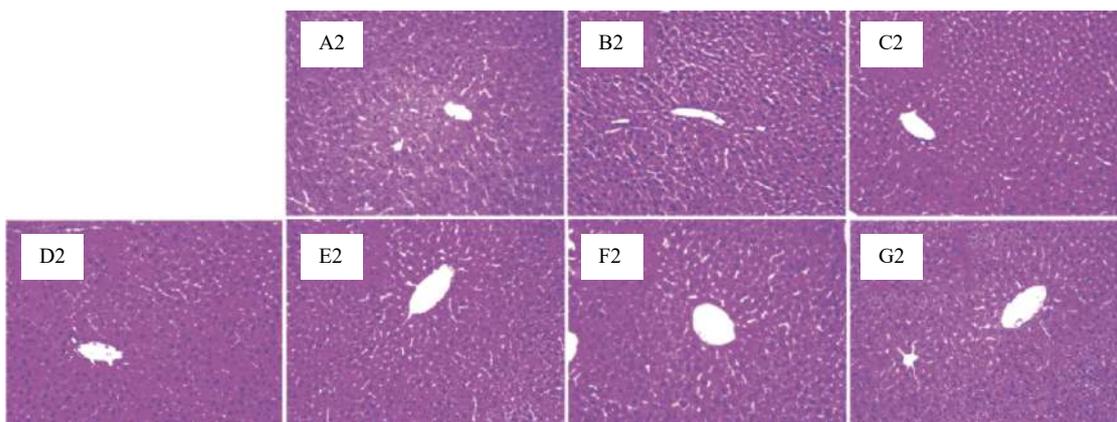


图2 阿勒泰脂臀羊臀脂分提产物对40 d小鼠肝脏组织病理学观察(200×)

Fig.2 Histopathological observation of 40 d mice liver by the Altay sheep buttocks fat extract(200×)

注: A2~G2 分别为40 d空白组、原脂组、菜籽油组、2、12、22、32 °C 固脂组。

量可一定程度上反映肝脏合成内源性 TC 的总量,并间接反映机体 TC 的代谢情况^[22]。储存在肝脏中的脂肪更多是 TG,大量摄入的外源脂肪会增加肝脏中脂肪酸的合成、氧化紊乱、脂质分解和输出减少,均可引起 TG 在肝脏内的贮积^[23]。肝脏中可将过量 TG 转变为脂滴,逐渐积聚并膨胀肝细胞,从而引起脂肪肝的发生^[24]。通过检测肝细胞中 TG 的含量,可以在一定程度上反映肝细胞脂肪病变的状态。临床上以肝脏中的 TC、TG、HDL-C、LDL-C 基础指标检测肝脏脂质水平。

20 d 肝脏脂质水平如表 2 所示,与空白组对比,菜籽油组、原脂组 TC、LDL-C、HDL-C 水平无显著差异($P>0.05$),而 TG 水平显著降低($P<0.05$),羊臀

脂分提产物 TC、TG 水平均显著低于空白组($P<0.05$),各组 TC 含量下降水平:12 °C 固脂组(31.31%)、2 °C 固脂组(20.20%)、22 °C 固脂组(12.12%)、32 °C 固脂组(10.10%),TG 含量下降顺序:12 °C 固脂组(72.50%)、22 °C 固脂组(63.75%)、2 °C 固脂组(59.75%)、32 °C 固脂组(45.25%)、菜籽油组(15.50%)、原脂组(8.00%)。与菜籽油和原脂相比,羊臀脂分提产物组小鼠肝脏 TC、TG 水平均显著降低($P<0.05$)。与原脂组相比,羊臀脂分提产物 HDL-C、LDL-C 含量无显著差异($P>0.05$)。以上实验结果显示短时间内高剂量摄入菜籽油、原脂、2、12 °C 固脂均不会引起小鼠肝脏脂质水平异常,且 12 °C 固脂较菜籽油和未分提的原脂更加有效促进小鼠肝

表 2 阿勒泰脂臀羊臀脂分提产物对小鼠肝脏脂质水平的影响

Table 2 Effects of Altay sheep buttocks fat extract on liver lipid level in mice

组别	灌胃时间(d)	TC(mmol/g port)	TG(mmol/g port)	HDL-C(mmol/g port)	LDL-C(mmol/g port)
空白组	20	0.99±0.04 ^a	4.00±0.30 ^a	0.28±0.05 ^{ab}	2.57±0.26 ^a
	40	0.91±0.06 ^A	4.11±0.13 ^A	0.26±0.06 ^{AB}	2.42±0.36 ^A
	<i>P</i>	0.54	0.54	0.45	0.45
菜籽油组	20	1.05±0.09 ^a	3.38±0.18 ^c	0.30±0.05 ^{ab}	2.34±0.22 ^a
	40	0.80±0.14 ^B	4.16±0.18 ^A	0.29±0.07 ^{AB}	2.49±0.23 ^A
	<i>P</i>	0.02	0.00	0.92	0.08
原脂组	20	1.03±0.01 ^a	3.68±0.20 ^b	0.24±0.03 ^b	2.64±0.45 ^a
	40	0.72±0.10 ^{BC}	3.44±0.47 ^B	0.34±0.06 ^A	2.50±0.16 ^A
	<i>P</i>	0.00	0.36	0.00	0.47
2 °C 固脂组	20	0.79±0.07 ^c	1.61±0.12 ^e	0.28±0.06 ^{ab}	2.37±0.70 ^a
	40	0.30±0.03 ^E	2.21±0.10 ^D	0.23±0.01 ^B	2.45±0.35 ^A
	<i>P</i>	0.00	0.00	0.09	0.80
12 °C 固脂组	20	0.68±0.07 ^d	1.10±0.07 ^f	0.28±0.05 ^{ab}	2.81±0.90 ^a
	40	0.53±0.04 ^D	2.40±0.11 ^D	0.25±0.04 ^{AB}	2.46±0.25 ^A
	<i>P</i>	0.00	0.00	0.34	0.33
22 °C 固脂组	20	0.87±0.07 ^b	1.45±0.05 ^e	0.25±0.06 ^b	2.33±0.46 ^a
	40	0.65±0.03 ^C	3.11±0.08 ^C	0.22±0.01 ^B	2.35±0.18 ^A
	<i>P</i>	0.00	0.00	0.37	0.94
32 °C 固脂组	20	0.89±0.05 ^b	2.19±0.24 ^d	0.24±0.05 ^b	2.09±0.81 ^a
	40	0.63±0.08 ^C	3.67±0.11 ^B	0.22±0.04 ^B	2.32±0.22 ^A
	<i>P</i>	0.00	0.00	0.52	0.49

注:小写字母表示20 d组间比较,同列对比相同小写字母表示差异不显著($P>0.05$),同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$);大写字母表示40 d组间比较,同列对比相同大写字母表示差异不显著($P>0.05$),同列不同大写字母表示差异显著($P<0.05$);*P*值表示不同灌胃时间同组间对比,同列对比,*P*值>0.05表示差异不显著;0.01 ≤ *P*值 ≤ 0.05表示差异显著;*P*值<0.01表示差异极显著;表3同。

脏内脂质的分解代谢从而具有有效控制肝脏脂质水平的特点。

40 d 肝脏脂质水平如表 2 所示,与空白组相比,实验油脂组肝脏 HDL-C、LDL-C 水平无显著差异 ($P>0.05$), TC、TG 水平均显著降低 ($P<0.05$)。原脂组与菜籽油组相比, TG 水平显著降低 17.31% ($P<0.05$), TC 水平下降 10.00% 但差异不显著。羊臀脂分提产物组与原脂组相比,除 32 °C 固脂组无显著差异外其余各组 TG 水平均显著下降 ($P<0.05$), 分别为: 2 °C 固脂组 (35.75%)、12 °C 固脂组 (30.23%)、22 °C 固脂组 (9.59%); 2、12 °C 固脂组 TC 水平分别显著下降 58.33%、26.39% ($P<0.05$)。羊臀脂分提产物组与菜籽油组相比,羊臀脂分提产物组 TG、TC 水平均显著降低 ($P<0.05$)。羊臀脂分提产物组中,2 °C 固脂组 TC、TG 水平最低。以上实验结果说明长时间摄入高膳食的原脂及其分提产物可降低小鼠肝脏 TC、TG 水平,控制 HDL-C 水平降低;分提产物较菜籽油可有效降低小鼠肝脏脂质水平,其中 2 °C 固脂效果更显著,推测这与 2 °C 固脂含有较高的不饱和脂肪酸有关。长时间摄入高剂量的油脂对小鼠肝脏 TC 无显著影响,长时间摄入菜籽油会显著增高小鼠肝脏 TG 水平,而原脂相反。李萍^[25]研究发现菜籽油的芥酸含量对机体的健康也有一定的影响,高芥酸含量的菜籽油会使大鼠血液及肝脏 TG 水平显著上升,与本实验中菜籽油显著升高小鼠肝脏 TG 水平的结果一致。

同组不同灌胃时间结果如表 2 所示,空白组小鼠肝脏脂质水平前后无显著变化。随着实验油脂摄入时间的增长,实验油脂组 TC 含量显著降低 ($P<0.05$);原脂组小鼠 TC 水平显著下降 30.09% ($P<0.05$), HDL-C 水平显著升高 41.67%;说明摄入时间的长短对肝脏脂质水平影响程度存在显著影响,随着摄入时间的增长,使原脂组 TC 显著降低、HDL-C 水平显著升高。低 TC、高 HDL-C 有助于机体脂质代谢平衡^[26],相比较菜籽油本实验中的原脂更有益于人体健康,可长期食用。

2.4 阿勒泰脂臀羊臀脂分提产物对小鼠肝脏氧化应激的影响

氧化应激是发生在自由基传递与抗氧化系统之间的平衡^[27]。肝脏中过量的脂肪积累常伴随着抗氧化酶的下调而引起氧化应激^[28]。抗氧化酶是一组存在于细胞环境中的蛋白质,用以促进和调节体内抗氧化酶清除自由基^[29]。肝脏也有几种抗氧化酶,如 SOD、CAT、GSH-Px 等抵御氧化应激过程中产生的自由基从而使机体免受氧化损伤^[30-31]。SOD 是一种重要的抗氧化酶,可以及时修复细胞并阻断脂质过氧化过程,抵抗和阻止多种氧自由基引起的损伤^[32]。GSH-Px 可促进机体中过氧化氢的分解,维持细胞膜结构和功能完整性,保护细胞免受氧自由基的破坏^[33]。CAT 是一种存在于红细胞及某些组织细胞的

微粒体中的酶^[34],其功能是将过氧化氢转化为水和氧气^[35],使机体免受自由基损伤。研究发现,T-AOC 的强弱可以反映体内抗氧化剂之间的相互协作能力以及机体的健康状况^[36]。

20 d 饲养小鼠肝脏氧化应激结果如表 3 所示,与空白组相比,菜籽油组、原脂组的 CAT、GSH-Px 无显著变化,SOD 活性显著上升 27.79%、30.81% ($P<0.05$), T-AOC 显著增强 47.62%、52.38% ($P<0.05$),菜籽油组的 MDA 显著高于各实验组 ($P<0.05$);臀脂分提产物组 CAT、GSH-Px 活性显著下降 ($P<0.05$), 2、12、22 °C 固脂组的 SOD 活性无显著差异 ($P>0.05$), 32 °C 固脂组 T-AOC 显著增强 ($P<0.05$)。与菜籽油组对比,臀脂及其分提产物组 MDA 均显著降低 ($P<0.05$);臀脂分提产物组间 CAT 差异不显著 ($P>0.05$); 2 °C 固脂组与 12 °C 固脂组间 SOD 活性无显著差异 ($P>0.05$), 22 °C 固脂组的 GSH-Px 活性显著降低 ($P<0.05$), 32 °C 固脂组的 T-AOC 显著高于各组。说明短时间摄入原脂或分提产物均可减少小鼠体内 MDA 积累,虽然 CAT、GSH-Px 活力有所下降但肝脏中总抗氧化能力显著上调。

40 d 饲养小鼠肝脏氧化应激结果如表 3 所示,与空白组相比,菜籽油组 MDA 含量最高 (1.50±0.10), 12 °C 固脂组 MDA 含量最低;原脂组 GSH-Px、SOD 显著上升 14.57%、17.02% ($P<0.05$); 32 °C 固脂 SOD 显著上升 12.16% ($P<0.05$);与菜籽油组相比,2 °C 固脂组的 CAT、SOD 活性无显著差异 ($P>0.05$), 32 °C 固脂组的 GSH-Px、T-AOC、SOD 显著上升 ($P<0.05$), 2 °C 固脂的 GSH-Px 活性无显著差异 ($P>0.05$); 12 °C 固脂组 T-AOC 活性显著上升 ($P<0.05$)。与原脂组相比,2、32 °C 固脂组的 CAT 活性无显著差异 ($P>0.05$); 32 °C 固脂 GSH-Px 活性无显著差异 ($P>0.05$)。说明长时间摄入菜籽油有升高 MDA 含量降低 T-AOC 使机体内脂质过氧化程度升高的风险,由于 32 °C 固脂组 SOD、CAT、GSH-Px 活性及 T-AOC 水平较高,因此防止氧化损伤的作用更明显。

同一油脂不同摄入时间对小鼠肝脏氧化应激的影响如表 3 所示,随着试验油脂摄入时间的增长,32 °C 固脂组、22 °C 固脂组、菜籽油组的 MDA 含量均显著降低 ($P<0.05$); 2 °C 固脂组的小鼠肝脏 CAT、GSH-Px 活力显著升高 47.29%、39.93% ($P<0.05$); 12 °C 固脂组、22 °C 固脂组的小鼠肝脏 CAT 活力显著升高 29.37%、26.67% ($P<0.05$); 32 °C 固脂组的小鼠肝脏 CAT、GSH-Px、SOD 活力显著上升 41.96%、25.61%、30.85% ($P<0.05$);原脂组的肝脏 GSH-Px 显著升高 6.97%;MDA 含量显著降低 43.44%,其余指标均无显著变化 ($P>0.05$)。从同一油脂不同摄入时间对小鼠肝脏氧化应激的影响分析可知,长时间摄入 22 °C 固脂组、32 °C 固脂组均会

表3 阿勒泰脂臀羊臀脂分提产物对小鼠肝脏氧化应激的影响

Table 3 Effects of Altay sheep buttocks fat extract on liver oxidative stress in mice

组别	灌胃时间(d)	MDA(nmol/mg prot)	SOD(U/mg prot)	CAT(U/mg prot)	GSH-Px(U/mg prot)	T-AOC(mmol/mg prot)
空白组	20	1.31±0.05 ^{cd}	144.16±2.83 ^c	57.44±7.20 ^a	427.55±68.54 ^{ab}	0.21±0.01 ^d
	40	1.34±0.13 ^B	144.60±3.38 ^C	49.62±4.06 ^D	432.22±32.27 ^{BC}	0.28±0.01 ^{BC}
	<i>P</i>	0.62	0.80	0.09	0.87	0.75
菜籽油	20	3.11±0.49 ^a	158.40±9.68 ^{ab}	57.06±11.56 ^a	392.12±42.61 ^a	0.31±0.06 ^c
	40	1.50±0.10 ^A	184.61±13.36 ^B	58.69±9.89 ^{AB}	402.84±54.69 ^C	0.17±0.03 ^D
	<i>P</i>	0.00	0.01	0.58	0.11	0.25
原脂组	20	2.21±0.14 ^c	162.14±12.74 ^a	55.64±11.98 ^a	462.94±85.54 ^{ab}	0.32±0.07 ^c
	40	1.25±0.14 ^{BC}	169.21±13.16 ^B	59.36±10.77 ^{AB}	495.19±76.44 ^A	0.28±0.05 ^{BC}
	<i>P</i>	0.00	0.13	0.83	0.04	0.01
2℃固脂组	20	1.17±0.09 ^{cd}	148.49±9.08 ^{bc}	34.37±2.74 ^b	310.20±55.71 ^{cd}	0.41±0.05 ^b
	40	1.26±0.11 ^{BC}	161.73±15.67 ^B	50.62±6.89 ^{AB}	434.07±36.89 ^{BC}	0.20±0.02 ^D
	<i>P</i>	0.31	0.15	0.00	0.01	0.00
12℃固脂组	20	1.12±0.06 ^e	149.07±3.93 ^{bc}	29.45±1.38 ^b	296.81±47.76 ^{cd}	0.37±0.03 ^{bc}
	40	1.18±0.05 ^C	141.94±4.79 ^C	38.10±1.96 ^C	212.61±17.21 ^D	0.31±0.05 ^{AB}
	<i>P</i>	0.17	0.07	0.00	0.01	0.07
22℃固脂组	20	1.36±0.03 ^b	145.62±7.18 ^c	31.38±1.82 ^b	260.30±34.45 ^d	0.35±0.02 ^{bc}
	40	1.25±0.08 ^{BC}	146.53±8.99 ^C	39.75±2.37 ^C	253.33±29.02 ^D	0.25±0.03 ^C
	<i>P</i>	0.03	0.85	0.00	0.59	0.00
32℃固脂组	20	1.43±0.13 ^d	123.95±8.64 ^d	35.51±3.86 ^b	373.30±85.63 ^{bc}	0.48±0.08 ^a
	40	1.28±0.08 ^{BC}	162.19±6.83 ^A	50.41±10.02 ^{AB}	468.91±66.13 ^{AB}	0.35±0.03 ^A
	<i>P</i>	0.01	0.00	0.01	0.00	0.02

使小鼠肝脏脂质过氧化物 MDA 含量下降, 12℃固脂组、2℃固脂组摄入时间的长短对 MDA 含量无显著影响; 32℃固脂组摄入时间的长短与清除氧自由基的 SOD 活力呈正相关, 其中 32℃固脂组摄入时间越长抗氧化酶 SOD、CAT、GSH-Px 活性越强。臀脂分提产物通过调节体内各种抗氧化酶类活性抑制自由基产生从而减少氧化损伤, 这种抗氧化效果在小鼠短时间摄入和较长时间摄入都有所表现。在本试验中长时间摄入菜籽油组的小鼠肝脏 GSH-Px 活性以及 T-AOC 均显著低于原脂组, 这与孙海燕^[37]的研究结果一致。

3 结论

本研究模拟我国部分人群油脂高摄入量, 以未分提的臀脂和植物油中的菜籽油为对照, 研究阿勒泰脂臀羊臀脂分提产物对高膳食油脂摄入的小鼠肝指数、肝组织病理变化、肝脏脂质代谢水平及氧化应激的影响。结合各项指标变化得出短时间内摄入菜籽油、原脂及其分提产物均不会引起小鼠肝脏脂质水平异常; 原脂组 TC 含量随着摄入时间的增长显著降低而 HDL-C 含量显著上升; 分提产物中 2℃固脂降低小鼠肝脏脂质水平效果更显著; 而长时间高剂量摄入菜籽油会使肝脏中 TG 含量上升、肝指数升高, 造成肝脏脂质代谢异常的风险, 不建议长期高剂量摄入菜籽油。羊臀脂分提产物通过调节体内各种抗氧化酶类活性抑制自由基产生从而减少氧化损伤, 这种抗氧化效果在小鼠短时间摄入和较长时间摄入都有所表现, 其中 32℃固脂摄入时间越长抗氧化酶 SOD、CAT、GSH-Px 活性越强, 防止氧化损伤效果越突出。

羊臀脂分提产物作为改性动物油脂, 模拟人体长时间的高剂量摄入未对小鼠肝脏造成器质性损伤, 具有控制小鼠肝脏脂质的上升、改善小鼠肝脏抗氧化酶活性、减少氧化损伤的效果。研究结果与人们通常意识里认为动物油脂的摄入会引起脂质代谢紊乱等疾病的观念不一致, 启示动物油脂营养健康性的研究还需进一步的深入。

参考文献

- [1] 薛华山. 阿勒泰羊品种资源现状及发展思路[J]. 当代畜牧, 2016(5): 39. [XUE Huashan. Current situation and development thought of altay sheep variety resources[J]. Contemporary Livestock, 2016(5): 39.]
- [2] 刘丹, 何鑫, 李涛, 等. 不同品种脂臀羊尾脂品质的比较分析[J]. 现代食品科技, 2019, 35(4): 244-249. [LIU Da, HE Xin, LI Tao, et al. Comparative analysis of the quality of different varieties of fat buttocks[J]. Modern Food Science & Technology, 2019, 35(4): 244-249.]
- [3] 何鑫, 刘丹, 李涛, 等. 不同提取方法对羊尾油品质的影响[J]. 肉类研究, 2019, 33(2): 7-12. [HE Xin, LIU Dan, LI Tao, et al. Effects of different extraction methods on the quality of sheep tail lipids[J]. Meat Research, 2019, 33(2): 7-12.]
- [4] SAMSON F P, PATRICK A T, FABUNMI E, et al. Oleic acid, cholesterol, and linoleic acid as angiogenesis initiators[J]. ACS Omega, 2020, 5(31): 20575-20585.
- [5] NAYAK M, GIRI S S, PRADHAN A, et al. Effects of dietary α -linolenic acid/linoleic acid ratio on growth performance, tissue fatty acid profile, serum metabolites and $\Delta 6$ fad and elov1 5 gene expression in silver barb (puntius gonionotus)[J]. Journal of the ence of Food and Agriculture, 2020, 100(4): 1643-1652.
- [6] A M A V R, A J P, B W A M B, et al. Dietary stearic acid and

palmitic acid do not differently affect ABCA1-mediated cholesterol efflux capacity in healthy men and postmenopausal women: A randomized controlled trial[J]. *Clinical Nutrition*, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2020.08.016>.

[7] 杜禹岐. 阿勒泰大尾羊尾脂提取、精炼、改性及起酥油的制备[D]. 长春: 吉林农业大学, 2019. [DU Yuqi. Extraction, refining, modification and shortening preparation of Altay big tail sheep fat[D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2019.]

[8] 王豪, 何鑫, 刘丹, 等. 羊油粉末油脂的制备工艺[J]. *食品工业*, 2020, 41(8): 76-80. [WANG Hao, HE Xin, LIU Dan, et al. The preparation technology of tallow powder oil[J]. *The Food Industry*, 2020, 41(8): 76-80.]

[9] 侯成立, 周渝迪, 高远, 等. 羊尾脂精炼工艺优化研究[J]. *食品科技*, 2017, 42(5): 111-115. [HOU Chengli, ZHOU Yudi, GAO Yuan, et al. Optimization of refining process of sheep tail fat[J]. *Food Science and Technology*, 2017, 42(5): 111-115.]

[10] 蒙建菊. 阿勒泰大尾羊尾脂超显微结构及脂肪酸组成分析[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2017. [MENG Jinaju. Analysis of tail fat ultrastructure and fatty acid on altay sheep[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2017.]

[11] 李钰, 刘成江, 李应彪. 低温贮藏条件下阿勒泰羊尾的脂肪氧化[J]. *肉类研究*, 2017, 31(3): 18-22. [LI Yu, LIU Chengjiang, LI Yingbiao. Changes in lipid oxidation and fatty acids in altay sheep tail fat during low temperature storage[J]. *Meat Research*, 2017, 31(3): 18-22.]

[12] 李钰, 李应彪, 刘成江. 添加金属 Fe^{3+} 对阿勒泰羊尾脂氧化初期脂肪酸的变化影响[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(1): 129-134. [LI Yu, LI Yingbiao, LIU Chengjiang. Influence of Fe^{3+} in lipid oxidation and fatty acids in Altay sheep fat during initial autoxidation stage[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2017, 38(1): 129-134.]

[13] 李钰, 刘成江, 李应彪. 温度对阿勒泰羊尾脂氧化初期脂肪酸变化的影响[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(4): 311-316. [LI Yu, LIU Chengjiang, LI Yingbiao. Influence of different temperature in lipid oxidation and fatty acids in Altay sheep fat during initial autoxidation stage[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2017, 38(4): 311-316.]

[14] 李莉. 羊脂精炼及粉末技术的研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2010. [LI Li. Study on the technology caprine oil refining and powder[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2010.]

[15] 王俊丽, 马学军, 高婷, 等. 两种油脂对小鼠皮肤创伤修复作用研究[J]. *中国农学通报*, 2019, 35(2): 111-115. [WANG Junli, MA Xuejun, GAO Ting, et al. Effects of two kinds of lipids on wound healing of mice skin[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2019, 35(2): 111-115.]

[16] 李涛, 卢岩, 陈卫林, 等. 哈萨克羊不同部位脂肪溶剂法分提产物的性质分析[J]. *现代食品科技*, 2018, 34(4): 81-87. [LI Tao, LU Yan, CHEN Weilin, et al. Fractionated extractive property analysis of different parts of fat from hazake sheep by solvent extraction[J]. *Modern Food Science & Technology*, 2018, 34(4): 81-87.]

[17] 中国营养学会. 中国居民膳食指南(2016)[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2016: 118. [Chinese Nutrition Society. *Dietary*

guidelines for chinese residents(2016)[M]. Beijing: The People's Health Press, 2016: 118.]

[18] 魏伟, 吴希美, 李元建. 药理实验方法学(第4版)[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2010: 70-72. [WEI Wei, WU Ximei, LI Yuanjie. *Pharmacological experimental methodology*(Version 4)[M]. Beijing: The People's Health Press, 2010: 70-72.]

[19] 雷红, 蔡亮亮, 操丽丽, 等. 菜籽油中芥酸含量对小鼠食用安全性的影响[J]. *食品科学*, 2010, 31(19): 321-324. [LEI Hong, CAI Liangliang, CAO Lili, et al. Effect of erucic acid content in rapeseed oil on food intake safety in mice[J]. *Food Science*, 2010, 31(19): 321-324.]

[20] 孙宗扬, 靳红娟, 蒙建菊, 等. 牛羊油脂对小鼠脏器组织形态学及血液指标的影响[J]. *中国农学通报*, 2019, 35(2): 116-121. [SUN Zongyang, JIN Hongjuan, MENG Jianzhu, et al. Bovine and sheep grease: Effects on histomorphology and blood indexes in mice organs[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2019, 35(2): 116-121.]

[21] WEN J, HUANG Y, LU Y, et al. Associations of non-high-density lipoprotein cholesterol, triglycerides and the total cholesterol/HDL-c ratio with arterial stiffness independent of low-density lipoprotein cholesterol in a chinese population[J]. *Hypertension Research*, 2019, 42(8): 1223-1230.

[22] 王艳辉, 张洪友, 杨威, 等. 胆固醇在哺乳动物体内的代谢调节[J]. *现代畜牧兽医*, 2016, 45(11): 53-57. [WANG Yanhui, ZHANG Hongyu, YANG Wei, et al. Regulation of cholesterol metabolism in mammalian[J]. *Modern Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2016, 45(11): 53-57.]

[23] 林辰曦, 陈煜, 陈凌, 等. 积雪草苷对高脂血症金黄地鼠脂质调节及肝脏保护作用研究[J]. *中国中西医结合杂志*, 2019, 39(4): 475-479. [LIN Chenxi, CHEN Yu, CHEN Ling, et al. Study of asiaticoside on regulation and liver protection in hyperlipidemic golden hamsters[J]. *Chinese Journal of Integrated Traditional and Western Medicine*, 2019, 39(4): 475-479.]

[24] 魏苏宁, 苏雪莹, 徐国恒. 肝细胞甘油三酯代谢途径异常与脂肪肝[J]. *中国生物化学与分子生物学报*, 2016, 32(2): 123-132. [WEI Suning, SU Xueying, XU Heng. Anomaly of triglyceride metabolism in liver lead to nafld[J]. *Chinese Journal of Biochemistry and Molecular Biology*, 2016, 32(2): 123-132.]

[25] 李萍. 高芥酸菜籽油诱导肝脏脂肪病变大鼠动物模型的建立及形成机制[D]. 湘潭: 湖南科技大学, 2018. [LI Ping. Establishment and formation mechanism of a rat model of liver steatosis induced by high erucic rapeseed oil[D]. Xiangtan: Hunan University of Science and Technology, 2018.]

[26] KENGO M. Associations between the triglyceride to high-density lipoprotein cholesterol ratio and metabolic syndrome, insulin resistance, and lifestyle habits in healthy japanese[J]. *Metabolic Syndrome and Related Disorders*, 2020, 18(5): 260-266.

[27] LI X, SUN R, LIU R, et al. Natural products in licorice for the therapy of liver diseases: Progress and future opportunities[J]. *Pharmacol Res*, 2019, 144: 210-226.

[28] JADEJA R N, DEVKAR R V, SRINIVAS N. Oxidative stress in liver diseases: Pathogenesis, prevention, and therapeutics[J]. *Oxidative Medicine & Cellular Longevity*, 2017, 2017: 8341286.

- [29] MAURYA P K, DUA K. Role of oxidative stress in pathophysiology of diseases[M]. Springer, Singapore: 2020: 2–26.
- [30] JING M, HAN G, WAN J, et al. Catalase and superoxide dismutase response and the underlying molecular mechanism for naphthalene[J]. *Ence of The Total Environment*, 2020, 736: 139567.
- [31] SARAH Stephenie, YING Ping Chang, ASHOK Gnanasekaran, et al. An insight on superoxide dismutase (SOD) from plants for mammalian health enhancement[J]. *Journal of Functional Foods*, 2020, 68: 103917.
- [32] HAN L M, HUA W P, CAO X Y, et al. Genome-wide identification and expression analysis of the superoxide dismutase (SOD) gene family in *salvia miltiorrhiza*[J]. *Gene*, 2020, 742: 144603.
- [33] SARKAYA E, DOAN S. Glutathione peroxidase in health and diseases[M]. Intech Open, 2020: 1–5.
- [34] 王元春, 俞诗源, 王昱, 等. X射线辐射对仔鼠大脑枕叶皮层结构及大脑超氧化物歧化酶、过氧化氢酶活性及丙二醛含量的影响[J]. *解剖学报*, 2010, 41(5): 641–648. [WANG Yuanchun, YU Shiyuan, WANG Yu, et al. Effects of X-ray on structure of cerebral occipital lobe cortex and activities of superoxide dismutase, catalase and content of malonaldehyde in cerebrum of filial mice[J]. *Acta Anatomica Sinica*, 2010, 41(5): 641–648.]
- [35] BATINIC HABERLE I, TOVMASYAN A, SPASOJEVIC I. An educational overview of the chemistry, biochemistry and therapeutic aspects of Mn porphyrins-from superoxide dismutation to H₂O₂-driven pathways[J]. *Redox Biology*, 2015, 6: 656–656.
- [36] 宋丽霞, 敖长金, 蔺婷娟, 等. 沙葱多糖对肉羊抗氧化能力的影响[J]. *中国畜牧杂志*, 2012, 48(1): 56–58. [SONG Lixia, AO Changjin, LIN Tingjuan, et al. Effect of scallion polysaccharide on the antioxidant capacity of mutton sheep[J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2012, 48(1): 56–58.]
- [37] 孙海燕. 植物油和低氧对大鼠脂代谢和抗氧化的影响及作用机理[D]. 杭州: 杭州师范大学, 2012. [SUN Haiyan. Effects of vegetable oil and low oxygen on lipid metabolism and antioxidation in rats metabolism and antioxidant status of rats[D]. Hangzhou: Hangzhou Normal University, 2012.]