

苏尼特羊尾油对自发性高血压大鼠机能代谢的影响

包音都古荣·金花^{1,2,3}, 迟源^{1,2}, 武燕燕^{1,2}, 李雅雯^{1,2}, 呼格吉勒图³, 侯荣伦³, 周欢敏²

(1. 内蒙古农业大学食品科学与工程学院, 呼和浩特 010010; 2. 内蒙古生物制造重点实验室, 呼和浩特 010010; 3. 内蒙古贺斯格农牧业科技有限公司, 内蒙古锡林郭勒盟 026321)

摘要:旨在为羊尾油对动物健康效应的研究提供基础数据, 创建了自发性高血压大鼠(SHR)模型, 将8周龄SHR分为试验组苏尼特羊尾油组(Y组)、阴性对照大豆油组(D组)、阳性对照菜籽油组(C组)和芥花油组(J组), 并分别饲喂添加10%相应油脂的饲料, 记录日摄食量, 每周测量血压, 饲喂14周后解剖采血, 摘取肝脏, 检测血清血脂水平、肝脏功能指标和肝脏病理学特征。结果表明:第14周时, Y组雌、雄SHR日摄食量显著高于对照组($p < 0.05$), 血压显著低于对照组($p < 0.05$); Y组SHR血清中总胆固醇、甘油三酯和低密度脂蛋白胆固醇含量以及谷丙转氨酶、谷草转氨酶、 γ -谷氨酰转移酶和乳酸脱氢酶活性显著低于对照组($p < 0.05$), 而高密度脂蛋白胆固醇含量显著高于对照组($p < 0.05$); C组和J组SHR肝脏病变严重, Y组SHR肝脏组织未出现病变。综上, 与对照组植物油相比, 苏尼特羊尾油具有缓和SHR血压升高、有效改善血脂和肝脏机能作用, 是具有良好健康效应的动物性油脂。

关键词:苏尼特羊尾油; 自发性高血压大鼠; 血压; 血脂; 肝脏机能

中图分类号: TS225.2; TS201.4 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2024)06-0091-07

Effect of sunite sheep tail fat on functional metabolism in spontaneously hypertensive rats

BAO YIN DU GU RONG · Jinhua^{1,2,3}, CHI Yuan^{1,2}, WU Yanyan^{1,2},
LI Yawen^{1,2}, HUGE Jiletu³, HOU Ronglun³, ZHOU Huanmin²

(1. College of Food Science and Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010010, China; 2. Inner Mongolia Key Laboratory of Biofabrication, Hohhot 010010, China; 3. Inner Mongolia Hesige Agriculture and Animal Husbandry Co., Ltd., Xilin Gol League 026321, Inner Mongolia, China)

Abstract: To provide basic data for investigating the effects of sheep tail fat on animal health, a spontaneously hypertensive rat (SHR) model was developed. SHRs with eight weeks of age were allocated into four groups: the experimental group with sunite sheep tail fat (Y group), a negative control group with soybean oil (D group), and two positive control groups with rapeseed oil (C group) and mustard oil (J group), respectively. These groups were provided with diets incorporating 10% of the

respective oils. Feed intake was monitored daily, and blood pressure was measured weekly. After a 14-week feeding period, the SHRs were euthanized for collection of blood and liver to assess serum lipid profiles, liver function markers and pathological features. The results showed that the daily feed intake of female and male SHRs at week 14 in the Y groups was significantly higher than that of the control group ($p < 0.05$), while the blood pressure was lower than that of the control group ($p < 0.05$). The total cholesterol,

收稿日期: 2024-01-23; 修回日期: 2024-03-29

基金项目: 内蒙古自治区自然科学基金项目(2023MS03034); 内蒙古自治区科技计划项目(2023YFDZ0050); 内蒙古自治区科技计划项目(2021GG0348); 草原英才项目(内组通字[2021]333号, 内人才发[2023]3号)

作者简介: 包音都古荣·金花(1965), 女(蒙古族), 副教授, 硕士生导师, 博士, 主要从事食品分子机能学、功能性健康食品开发、人体生理营养学、脂质生理营养学等方面的研究工作(E-mail) huajin25@hotmail.com; 迟源(1996), 男, 在读硕士, 研究方向为脂质营养(E-mail) 827310550@qq.com。包音都古荣·金花与迟源为共同第一作者。

triglycerides, and low-density lipoprotein cholesterol levels, along with markers of liver function such as ALT, AST, γ -glutamyl transferase and lactate dehydrogenase were significantly reduced in the Y group compared with control groups ($p < 0.05$). Conversely, high-density lipoprotein cholesterol levels were significantly elevated ($p < 0.05$). Notably, liver tissues from the Y group did not show pathological alterations, in contrast to the significant hepatic lesions observed in the C and J groups. In conclusion, sunite sheep tail fat demonstrates a capacity to moderate blood pressure elevation and enhance blood lipid and liver functions in SHR, positioning it as an animal fat with potential health benefits.

Key words: sunite sheep tail fat; spontaneously hypertensive rats; blood pressure; blood lipid; liver function

羊尾油是羊在恶劣生存环境和食物短缺期间积累的关键营养储备,具有很高的营养价值。羊尾油不仅可供食用,且具有促进机体健康、预防疾病等多种功效。根据传统蒙古族医药学文献记载,羊尾油具有补虚润燥、温补祛邪、强肾助阳等多种功效^[1]。目前,有关羊尾油的报道均以脂肪酸组成特性研究为主^[2],而羊尾油对生理健康作用的研究报道为数不多。敖力格日玛等^[3]研究指出,苏尼特羊尾油中富含油酸(C18:1c9)和 $n-3$ 多不饱和脂肪酸($n-3$ PUFA),具有 $n-3$ PUFA 营养特性,而 $n-6$ PUFA 含量相对较低。王柏辉等^[4]研究表明,苏尼特羊不同脂肪组织(皮下脂肪、尾部脂肪、肾脏脂肪)中脂肪酸组成均以棕榈酸、硬脂酸和油酸为主。Cimen 等^[5]研究发现,羊尾油能改善由福尔马林引起的软骨组织病理学紊乱,可以与其他药物配合使用,用于软骨组织损伤的防治。侯佳乐等^[6]报道了由羊尾油与亚麻籽油作为原料经酶法酯交换制备的结构脂,与其原料羊尾油相似,对自发性高血压大鼠(SHR)具有靶向提高睾酮分泌的作用。

SHR 是目前国际上公认的最接近人类原发性高血压的动物模型^[7-8],已被广泛应用于原发性高血压及抗高血压药物筛选的基础研究。目前已有利用脑卒中自发性高血压大鼠(SHRSP)研究菜籽油对其寿命和生理机能影响的报道^[9],但利用 SHR 的研究报道不多。因此,本研究参照 SHRSP 的研究报道^[9-10],设计以苏尼特羊尾油为试验组、加拿大产菜籽油(预试验发现加拿大菜籽油会提高血脂水平)和芥花油为阳性对照组、大豆油为阴性对照组饲喂 SHR,测定分析不同动植物油脂对 SHR 血压、血脂和肝脏机能的影响,旨在阐明苏尼特羊尾油对高血压模型动物机能代谢的有益作用,以期为羊尾油对动物健康效应的研究提供重要的科学数据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

羊尾油,自制,以内蒙古苏尼特左旗草原自然放

牧饲养成年苏尼特羊屠宰后的羊尾为原料,利用专利技术(专利号 201810079798.1,专利名称“微波制取高品质动物油脂的方法”)制备, -20°C 储存;大豆油(福临门),一级,浸出工艺生产,中粮集团有限公司;菜籽油(加拿大进口),压榨工艺生产,邦吉公司;芥花油(苍茫谣),一级,压榨工艺生产,呼伦贝尔农垦集团有限公司。

甘油三酯(TG)、总胆固醇(TC)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)、谷草转氨酶(ALT)、谷丙转氨酶(AST)、 γ -谷氨酰转氨酶(γ -GT)、乳酸脱氢酶(LDH)检测试剂盒,南京建成生物工程研究所;繁殖期专用饲料、SHR[雌鼠 6 只,雄鼠 2 只,7 周龄,体质量雄鼠 120~200 g,雌鼠 100~150 g,许可证号 SYXK(蒙)2020-0002],北京维通利华实验动物技术有限公司;37 种脂肪酸甲酯混标,上海安谱实验科技股份有限公司。

SoftronTM 智能无创血压计,北京软隆科技有限责任公司;气相色谱仪,美国 Agilent 公司;电子天平,北京赛多利斯仪器系统有限公司;SIGMA3-18K 离心机,德国 Sartorius 公司;FlexStation 3 多功能酶标仪,美国 Molecular Devices 公司。

1.2 试验方法

1.2.1 SHR 模型的创建

购置的 SHR 分两笼进行交配繁殖,繁殖期间饲喂专用饲料和纯净水,饲养环境不得传入任何气味、任何噪声等,饲养室温度(23 ± 3) $^{\circ}\text{C}$ 、湿度(50 ± 3)%,12 h 明暗交替循环,自由进食和饮水。幼鼠 21 d 后断乳,雌雄分笼继续饲养。自繁模型鼠成长至 7 周龄时测量血压,当收缩压(SBP)达到与购置同周龄 SHR 相同程度的 170 mmHg 时,则确定其可作为模型鼠使用。

1.2.2 SHR 分组及饲养

选取 7 周龄 32 只上述自繁 SHR,适应性喂养 1 周,8 周龄时参照文献[7-9]的方法,随机分为试验组(苏尼特羊尾油组,Y 组)、阴性对照组(大豆油组,

D组)和两个阳性对照组(菜籽油组,C组;芥花油组,J组),每组8只(雌鼠3只,雄鼠5只)。饲养条件同1.2.1,期间自由进食和饮水,饲料为颗粒状固体[真空包装,低温储存,由小黍有泰(北京)生物科技有限公司生产],其组成如下:玉米36%,麸皮23.1%,豆饼26.4%,食盐、骨粉、赖氨酸、混合维生素和混合微量元素各0.9%以及10%相应组别的油脂。饲养过程中在饲养室内定期移动鼠笼,以保证各组间的饲养条件处于平等状态。每日定时称量饲料质量以计算日摄食量。当有1只SHR死亡时,则停止试验。

1.2.3 大鼠解剖以及血液、肝脏样品采集

按1.2.2方法,当有1只SHR出现死亡时,立即将所有SHR通过腹腔注射戊巴比妥钠,在麻醉下进行解剖,腹主动脉采血,于4℃、3 000 r/min离心10 min收集血清分装,置于液氮冷冻后转至-80℃冰箱保存。同时,摘取肝脏组织,取部分浸泡于10%福尔马林溶液中以备组织切片使用。

1.2.4 检测方法

1.2.4.1 油脂脂肪酸组成测定

取2 mL油脂,加入30 mL氯仿-甲醇溶液(体积比2:1)混匀。取2 mL上层浸提液于水解管中,并与3 mL氢氧化钠-甲醇溶液(质量浓度2 g/100 mL)混匀,置于95℃水浴锅加热30 min,取出待降至室温后加入4 mL 14%三氟化硼-甲醇溶液混匀,再次置于95℃水浴锅中加热5 min,取出放至室温后加入2 mL色谱级正己烷,混匀静置5 min,于1 000 r/min离心10 min,取上层有机相,经0.22 μm滤膜过滤后装入棕色进样瓶中,待气相色谱分析。

气相色谱分析条件:Supelco SPTM-2560毛细管色谱柱(100 mm×0.25 mm×0.2 μm);进样口温度260℃;进样量2.0 μL;恒定柱流速1.2 mL/min;分流比50:1。

以脂肪酸保留时间定性,以峰面积归一化法定量。

1.2.4.2 SHR指标测定

(1) 血压

采用血压计每周为SHR测量一次血压。测量前利用体温加热桶提高SHR体温,待应激反应消除后,将传感器套入其尾部测量血压。

(2) 血液生化指标

TG、TC、HDL-C、LDL-C、ALT、AST、γ-GT、LDH均参考试剂盒说明书进行测定。

(3) 肝脏组织病理特征

浸泡于10%福尔马林溶液中的肝脏组织,经修块、洗涤、脱水、浸蜡、包埋、切片(5 μm)、展片、捞片、烘干、脱蜡、苏木素-伊红染色等一系列步骤后置于光学显微镜下观察病理特征。

1.2.5 数据分析

试验数据采用SPSS 26.0软件进行正态检验,若正态分布则进行ANOVA方差分析及Tukey事后检验,若非正态分布则进行非参数检验。检验水准 $\alpha=0.05$, $p<0.05$ 为显著性差异,检验数据结果以“平均值±标准差”表示。

2 结果与分析

2.1 油脂脂肪酸组成

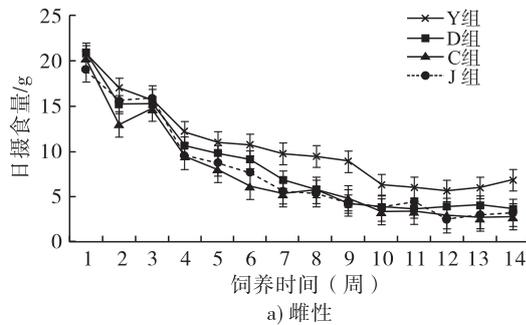
表1为4种油脂主要脂肪酸组成和含量。

表1 4种油脂主要脂肪酸组成及含量

脂肪酸	羊尾油	大豆油	菜籽油	芥花油	%
肉豆蔻酸(C14:0)	2.97±0.10 ^a	0.10±0.14 ^b	0.18±0.28 ^b	0.04±0.02 ^b	
棕榈酸(C16:0)	34.35±0.87 ^a	16.87±0.09 ^b	6.10±0.17 ^c	5.13±0.30 ^c	
十七烷酸(C17:0)	1.45±0.30 ^a	0.32±0.26 ^a	0.62±0.21 ^a	0.02±0.12 ^a	
硬脂酸(C18:0)	7.36±0.11 ^a	0.13±0.11 ^b	3.46±0.20 ^b	0.62±0.08 ^b	
花生酸(C20:0)	0.02±0.02 ^a	0.04±0.07 ^a	0.06±0.20 ^a	0.01±0.02 ^a	
棕榈油酸(C16:1)	6.18±0.22 ^a	0.39±0.15 ^b	1.06±0.05 ^b	0.16±0.10 ^b	
十七碳-10-烯酸(C17:1)	2.38±0.28 ^a	0.11±0.06 ^a	0.50±0.18 ^a	0.05±0.22 ^a	
油酸(C18:1)	35.06±0.53 ^b	21.21±0.24 ^b	59.02±1.30 ^a	67.81±1.07 ^a	
二十碳-11-烯酸(C20:1)	0.01±0.23 ^b	0.64±0.22 ^a	1.84±0.21 ^a	2.79±0.14 ^a	
亚油酸(C18:2)	5.71±0.27 ^b	52.75±0.28 ^a	18.53±0.27 ^b	16.53±0.29 ^b	
α-亚麻酸(C18:3)	2.33±0.01 ^a	7.00±0.09 ^a	6.18±0.02 ^a	5.72±0.07 ^a	
SFA	46.15 ^a	17.46 ^b	10.42 ^b	5.82 ^b	
MUFA	43.63 ^c	22.35 ^d	62.42 ^b	70.81 ^a	
PUFA	8.04 ^c	59.75 ^a	24.71 ^b	22.25 ^b	
n-6/n-3	2.45 ^b	7.53 ^a	3.00 ^b	2.89 ^b	

注:同行不同字母表示存在显著性差异($p<0.05$);SFA.饱和脂肪酸;MUFA.单不饱和脂肪酸

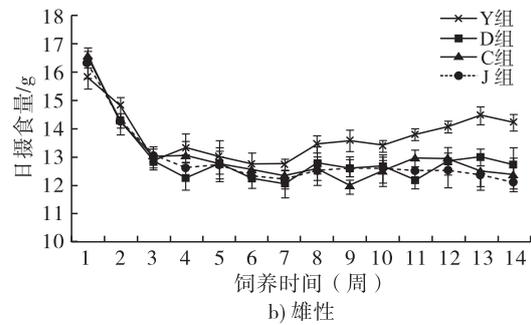
由表 1 可见:羊尾油富含油酸、棕榈酸,且饱和脂肪酸在 4 种油脂中含量最高;大豆油富含亚油酸、油酸和棕榈酸;而芥花油和菜籽油富含油酸和亚油酸;4 种油脂中羊尾油、芥花油和菜籽油的 $n-6/n-3$ 比例没有显著性差异,均在 WHO 要求的(2~4):1 适合健康比例之内。研究表明,适量的棕榈酸和硬脂酸可以提高 HDL-C,降低血清中的胆固醇水平,从而有效减少动脉粥样硬化^[11]。油酸具有保护血管避免动脉粥样硬化的作用^[12]。 $n-6$ 和 $n-3$



PUFA 在生物体内发挥着重要作用,这两族 PUFA 在功能上相互协调制约,共同调节生物体的生命活动。适宜的 $n-6/n-3$ 比例可以改善高脂饲料所导致的脂代谢紊乱状态,具有降低血液黏稠度、改善血液微循环、降血脂的作用^[13]。由于羊尾油中含有较高比例的棕榈酸、硬脂酸和油酸,以及适宜比例的 $n-6/n-3$,因此羊尾油具有一定健康食用油脂潜力。

2.2 SHR 摄食量

各组 SHR 饲养 14 周的日摄食量如图 1 所示。



注:图中为各周平均日摄食量

图 1 SHR 饲养 14 周的日摄食量

由图 1a 可知:第 1 周,J 组雌性 SHR 日摄食量显著低于其他 3 组($p < 0.05$),其他 3 组 SHR 间日摄食量无显著性差异($p > 0.05$);第 2 周,Y 组 SHR 日摄食量显著高于其他 3 组($p < 0.05$);第 3 周,各组 SHR 日摄食量无显著性差异($p > 0.05$);从第 4 周开始,Y 组 SHR 日摄食量是最高的,且第 7~14 周 Y 组 SHR 日摄食量显著高于其他 3 组($p < 0.05$),其余组 SHR 日摄食量均无显著性差异($p > 0.05$)。

由图 1b 可知:第 1 周,Y 组雄性 SHR 日摄食量显著低于其他 3 组($p < 0.05$),其他 3 组 SHR 间日摄食量无显著性差异($p > 0.05$);第 2~3 周,各组 SHR 日摄食量无显著性差异($p > 0.05$);第 4 周,各

组 SHR 日摄食量均差异显著($p < 0.05$);第 5~7 周,各组 SHR 日摄食量无显著性差异($p > 0.05$);第 8~14 周,Y 组 SHR 日摄食量均显著高于其他 3 组($p < 0.05$);C 组 SHR 日摄食量在第 9 周显著低于 D 组和 J 组($p < 0.05$),而在第 13~14 周时 D 组 SHR 日摄食量则显著高于 C 组和 J 组($p < 0.05$)。

综上,第 14 周时,Y 组雌、雄性 SHR 日摄食量显著高于对照组($p < 0.05$)。

2.3 SHR 血压变化

各组 SHR 在饲养 14 周期间的血压变化如表 2 所示。

表 2 SHR 饲养 14 周的血压(SBP)

kPa

组别	雌性					雄性				
	1 周	4 周	7 周	10 周	14 周	1 周	4 周	7 周	10 周	14 周
Y 组	20.35	22.88	22.21 ^b	22.74 ^c	23.14 ^d	22.74	25.80 ^a	25.00	25.00 ^c	24.87 ^b
D 组	20.75	23.14	23.54 ^a	23.81 ^b	24.21 ^c	23.01	24.74 ^b	25.27	25.40 ^{bc}	25.80 ^a
C 组	19.55	23.41	23.54 ^a	25.40 ^a	26.47 ^a	22.34	25.14 ^{ab}	25.40	26.60 ^a	26.33 ^a
J 组	20.35	23.41	23.54 ^a	25.94 ^a	25.67 ^b	22.74	25.15 ^b	24.87	26.20 ^{ab}	26.20 ^a

注:同列不标注字母表示无显著性差异($p > 0.05$);同列不同字母表示具有显著性差异($p < 0.05$)。下同

由表 2 可见:对于雌性 SHR,从第 7 周开始至第 14 周,Y 组血压显著低于 3 个对照组($p < 0.05$),除第 7 周外,D 组血压也显著低于 C 组和 J 组的($p < 0.05$);对于雄性 SHR,第 1 周时各组间的血压无显著性差异($p > 0.05$),第 4 周时由于 Y 组出现

强烈的应激反应,所以其血压显著高于 D 组和 J 组的($p < 0.05$),而 3 个对照组之间均无显著性差异($p > 0.05$),第 10 周时 Y 组血压显著低于 C 组和 J 组的($p < 0.05$),而 C 组和 J 组之间不存在显著性差异($p > 0.05$),第 14 周时 Y 组血压显著低于各对照组

的($p < 0.05$),但3个对照组之间无显著性差异($p > 0.05$)。本研究结果表明,随着饲养周数的增加,Y组SHR血压升高程度趋于缓和,血压升高变缓程度有性别差异,雌性SHR的缓和程度早于雄性,雌性SHR血压从第7周开始与各对照组(除D组)间出现显著性差异,而雄性SHR从第10周开始显示与各对照组间有显著性差异。直至解剖为止,Y组SHR血压显示为最低值。因此,与试验植物油相比,羊尾油有一定的缓解血压升高的能力,且对雌性SHR效果更佳,雄性SHR需要长时间摄入才能出现效果。

2.4 SHR血脂水平

心血管疾病与油脂的摄入有着密切的关系,过去几十年以来,传统观念认为摄入SFA会导致血脂升高,肝脏和脂肪组织代谢紊乱,而PUFA具有降血

脂、降胆固醇的功效^[14-19]。但Astrup等^[20]研究显示,减少SFA的摄入对心血管疾病和总死亡率无有益作用,但对减少中风有益。一项发表在柳叶刀的前瞻性队列研究^[21]调查了五大洲18个国家共13万多人(35~70岁),研究了这些人的脂肪摄入量、碳水化合物摄入量与其心血管疾病以及死亡率之间的关联性,经Meta分析显示,高碳水化合物摄入量与较高的总死亡率风险增加相关,吃多少脂肪、吃什么类型的脂肪与心血管疾病、心肌梗死,或者是心血管疾病的死亡率之间无显著相关性,但是SFA与中风之间存在负相关。因此,优质动物性脂肪对健康的影响已受到学者们的关注。本研究中各组SHR血清中血脂水平如表3所示。

表3 各组SHR的血脂水平

组别	雌性				雄性			
	TC	TG	HDL-C	LDL-C	TC	TG	HDL-C	LDL-C
Y组	2.79 ± 0.08 ^a	0.82 ± 0.01 ^a	4.06 ± 0.37 ^c	0.57 ± 0.10 ^a	2.70 ± 0.20 ^a	0.84 ± 0.12 ^a	3.44 ± 0.10 ^c	1.30 ± 0.22 ^a
D组	3.25 ± 0.10 ^b	1.14 ± 0.06 ^b	1.90 ± 0.15 ^b	0.70 ± 0.07 ^b	3.32 ± 0.32 ^b	1.18 ± 0.15 ^b	2.82 ± 0.12 ^b	1.90 ± 0.16 ^b
C组	4.21 ± 0.06 ^c	1.43 ± 0.01 ^c	1.21 ± 0.44 ^a	1.40 ± 0.14 ^c	3.86 ± 0.17 ^c	1.48 ± 0.07 ^c	2.25 ± 0.11 ^a	2.62 ± 0.16 ^c
J组	4.16 ± 0.09 ^c	1.42 ± 0.20 ^c	1.45 ± 0.45 ^a	1.12 ± 0.09 ^c	3.80 ± 0.14 ^c	1.42 ± 0.19 ^c	2.26 ± 0.34 ^a	2.34 ± 0.08 ^c

由表3可知:与对照组比较,无论雌雄,Y组SHR血清中TC、TG、LDL-C含量均显著降低($p < 0.05$),而HDL-C含量则显著提高($p < 0.05$);C组和J组SHR血清中TC、TG、LDL-C含量均显著高于D组的($p < 0.05$),HDL-C含量则显著低于D组的($p < 0.05$);而C组和J组SHR之间的血脂水平无显著性差异($p > 0.05$)。本研究结果显示,与对照组相比,羊尾油能够显著提高HDL-C,显著改善血脂水平,从而可降低因高血脂引起的动脉粥样硬化,有效促进心血管健康,降低心血管疾病的发病率。

2.5 SHR大鼠肝脏机能

2.5.1 功能指标

ALT和AST是最重要的两种转氨酶。ALT是检验肝功能的一个重要指标,能反映患者肝细胞受损情

况,当肝细胞或某些组织出现坏死与损伤的情况时都会引发血清中ALT水平升高,即便是轻微损伤,患者的ALT检测值也比健康者高。AST主要分布在肝细胞线粒体中,可以催化谷氨酸与草酰乙酸之间的转氨作用,若肝脏受损或是严重坏死,可导致血清AST升高,对于不同肝脏疾病患者来说,其AST升高的幅度不同^[22]。ALT和AST偏高反映肝硬化、肝癌、肝炎、心脏疾病、心肌炎等疾病的发生^[23]。血清 γ -GT主要来自肝胆系统,对肝胆病变有重要诊断意义, γ -GT活性升高反映肝胆系统受损害情况^[24]。LDH广泛存在于动物组织内,在肝脏中活性最高,能够催化糖酵解最后一步反应,其活性偏高可以指示心肌损伤、肝炎、恶性病变等疾病的发生^[25]。本研究中各组SHR肝脏功能指标如表4所示。

表4 各组SHR的肝脏功能指标

组别	雌性				雄性			
	AST	ALT	γ -GT	LDH	AST	ALT	γ -GT	LDH
Y组	1 139.75 ^a	440.29 ^a	10.39 ^a	2 362.57 ^a	683.85 ^a	208.16 ^a	13.91 ^a	2 147.37 ^a
D组	1 497.83 ^b	692.49 ^b	19.15 ^b	3 446.39 ^b	1 004.04 ^b	523.34 ^b	18.65 ^b	3 413.87 ^b
C组	1 851.74 ^c	842.27 ^c	24.42 ^c	4 842.11 ^c	1 626.02 ^c	760.76 ^c	22.14 ^c	4 552.05 ^c
J组	1 816.91 ^c	808.13 ^c	22.71 ^c	4 799.22 ^c	1 372.71 ^c	689.70 ^c	21.86 ^c	4 369.59 ^c

由表4可知:对于雌性 SHR, Y 组血清中 ALT、AST、 γ -GT 和 LDH 活性均显著低于其他 3 组 ($p < 0.05$), C 组和 J 组血清中 ALT、AST、 γ -GT 和 LDH 的活性均显著高于 D 组的 ($p < 0.05$), 而 C 组和 J 组间差异不显著 ($p > 0.05$); 对于雄性 SHR, 各组血清中 ALT、AST、 γ -GT 和 LDH 活性差异大小与雌性 SHR 一致。

2.5.2 肝脏组织病理学特征

雌、雄 SHR 肝脏组织病理学特征分别如图 2 和图 3 所示。

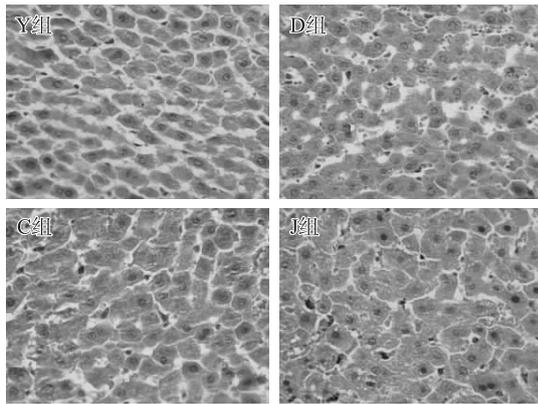


图 2 各组雌性 SHR 肝脏组织病理学特征 (40 ×)

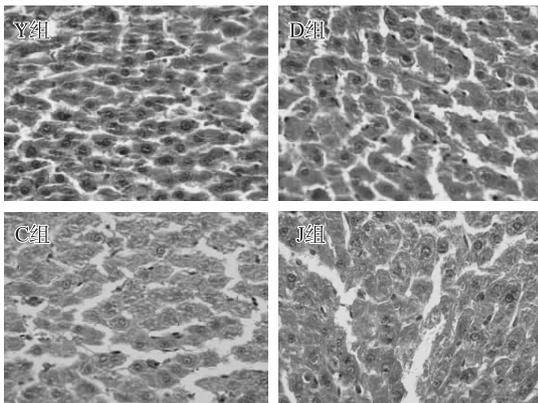


图 3 各组雄性 SHR 肝脏组织病理学特征 (40 ×)

由图 2 和图 3 可知:无论雌雄, Y 组 SHR 肝组织空泡较少,肝细胞排列整齐、体积无增大、细胞边界清晰;C 组和 J 组 SHR 肝脏可见肝组织空泡和肝细胞气球样变,突出表现为肝细胞排列紊乱、体积增大、细胞边界不清晰,胞质中充满空泡;与 C 组、J 组相比, D 组 SHR 肝细胞病变现象不明显。

本研究中肝脏功能指标和组织病理学特征结果表明, Y 组 SHR 未出现肝脏病变, 而 C 组和 J 组 SHR 肝脏出现严重病变。可见, 苏尼特羊尾油能够显著提高 SHR 肝脏机能, 对肝脏具有保护效果, 对 SHR 机能代谢有良好的调节作用, 而菜籽油与芥花油对 SHR 肝脏起到负面影响, 对机能代谢有负面作

用, 其机制有待进一步研究。

3 结论

在本研究中, 各对照组 SHR 血压和血脂升高, 而羊尾油组 SHR 血压升高得到缓解, 血脂和肝脏机能指标优于各对照组。因此, 苏尼特羊尾油可以有效改善 SHR 血脂和肝功能代谢, 能够调节高血压引起的脂质代谢紊乱和肝脏机能代谢下降, 是具有良好健康效应的动物性油脂。

参考文献:

- [1] 王铁男, 刘莉. 羊尾脂的研究及利用现状[J]. 草食家畜, 2021(3): 6-10.
- [2] 牧丹, 苏日娜, 白文明, 等. 苏尼特羊羊尾油的理化性质测定与分提后脂肪酸组成分析[J]. 中国油脂, 2023, 48(3): 25-27.
- [3] 敖力格日玛, 王亚红, 双金, 等. 年龄和育肥对苏尼特羊尾油脂肪酸组成的影响[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2015(5): 93-97.
- [4] 王柏辉, 王宇, 杜瑞, 等. 苏尼特羊脂肪组织中脂肪酸沉积机制的研究[J]. 食品工业科技, 2019, 40(7): 11-16.
- [5] CIMEN F K, KOCKARA N, TURKOGLU M, et al. Effect of sheep tail fat on the knee joint cartilage injury induced in rats with formalin[J]. Int J Clin Exp Med, 2017, 10(5): 7573-7581.
- [6] 侯佳乐, 包音都古荣·金花, 迟源, 等. 富含 sn-2 位上 α -亚麻酸的酶法酯交换二元油影响自发性高血压大鼠类固醇激素代谢的探索[J/OL]. 食品与发酵工业, 2023: 037881 [2024-01-23]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.037881>.
- [7] 施新猷. 现代医学实验动物学[M]. 北京: 人民军医出版社, 2000: 201.
- [8] LI R, ANDERSEN I, ALEKE J, et al. Reduced anti-contractile effect of perivascular adipose tissue on mesenteric small arteries from spontaneously hypertensive rats: Role of Kv7 channels[J]. Eur J Pharmacol, 2013, 698(1/2/3): 310-315.
- [9] NISHIKAWA M, OHARA N, NAITO Y, et al. Rapeseed (canola) oil aggravates metabolic syndrome-like conditions in male but not in female stroke-prone spontaneously hypertensive rats (SHRSP) [J]. Toxicol Rep, 2022, 9: 256-268.
- [10] NISHIKAWA M, OHARA N, NAITO Y, et al. Dietary rapeseed (canola) oil suppresses testosterone production and increases plasma aldosterone level in stroke-prone spontaneously hypertensive rats (SHRSP) [J]. Fund Toxicol Sci, 2022, 9(1): 7-16.
- [11] SUNDRAM K, HAYES K C, SIRU O H. Dietary palmitic acid results in lower serum cholesterol than does a lauric-myristic acid combination in normolipemic humans [J].

- Am J Clin Nutr, 1994, 59(4): 841 – 846.
- [12] MASSARO M, CATERINA R D. Vasculoprotective effects of oleic acid: Epidemiological background and direct vascular antiatherogenic properties [J]. Nutr Metab Cardiovasc Dis, 2002, 12(1): 42 – 51.
- [13] 赵银娇, 姚柳, 张栩, 等. *Omega* – 3 多不饱和脂肪酸代谢产物的动脉粥样硬化拮抗机制[J]. 中国动脉硬化杂志, 2020, 28(6): 461 – 467.
- [14] ASTRUP A, DYERBERG J, ELWOOD P, et al. The role of reducing intakes of saturated fat in the prevention of cardiovascular disease: Where does the evidence stand in 2010? [J]. Am J Clin Nutr, 2011, 93(4): 684 – 688.
- [15] ASTRUP A, TEICHOLZ N, MAGKOS F, et al. Dietary saturated fats and health: Are the U. S. guidelines evidence – based? [J/OL]. Nutrients, 2021, 13(10): 3305 [2024 – 01 – 23]. <https://doi.org/10.3390/nu13103305>.
- [16] NETTLETON J A, BROUWER I A, GELEIJNSE J M, et al. Saturated fat consumption and risk of coronary heart disease and ischemic stroke: A science update[J]. Ann Nutr Metab, 2017, 70(1): 26 – 33.
- [17] MARTÍNEZ – GONZÁLEZ M A, GEA A, RUIZ – CANELA M. The Mediterranean diet and cardiovascular health[J]. Circ Res, 2019, 124(5): 779 – 798.
- [18] SIRI – TARINO P W, SUN Q, HU F B, et al. Saturated fat, carbohydrate, and cardiovascular disease[J]. Am J Clin Nutr, 2010, 91(3): 502 – 509.
- [19] HO F K, GRAY S R, WELSH P, et al. Associations of fat and carbohydrate intake with cardiovascular disease and mortality: Prospective cohort study of UK Biobank participants[J/OL]. BMJ, 2020, 368: m688 [2024 – 01 – 23]. <https://doi.org/10.1136/bmj.m688>.
- [20] ASTRUP A, MAGKOS F, BIER D M. et al. Saturated fats and health: A reassessment and proposal for food – based recommendations: JACC state – of – the – art review[J]. J Am Coll Cardiol, 2020, 76(7): 844 – 857.
- [21] DEHGHAN M, MENTE A, ZHANG X H, et al. Associations of fats and carbohydrate intake with cardiovascular disease and mortality in 18 countries from five continents (PURE): A prospective cohort study[J]. Lancet, 2017, 390(10107): 2050 – 2062.
- [22] CLARK J M, BRANCATI F L, DIEHL A M. The prevalence and etiology of elevated aminotransferase levels in the United States[J]. Am J Gastroenterol, 2003, 98(5): 960 – 967.
- [23] HANLEY A J, WILLIAMS K, FESTA A, et al. Elevations in markers of liver injury and risk of type 2 diabetes: The insulin resistance atherosclerosis study [J]. Diabetes, 2004, 53(10): 2623 – 2632.
- [24] CLARK J M, DIEHL A M. Nonalcoholic fatty liver disease: An underrecognized cause of cryptogenic cirrhosis [J]. JAMA, 2003, 289(22): 3000 – 3004.
- [25] 艾春芳. 乳酸脱氢酶同工酶检测初探[J]. 医学信息: 下旬刊, 2011, 24(1): 494 – 495.

.....

(上接第 64 页)

- [14] 彭洁. 四川浓香型菜籽油的风味物质研究[D]. 成都: 西华大学, 2020.
- [15] AZADMARD – DAMIRCHI S, HABIBI – NODEH F, HESARI J, et al. Effect of pretreatment with microwaves on oxidative stability and nutraceuticals content of oil from rapeseed[J]. Food Chem, 2010, 121(4): 1211 – 1215.
- [16] HE J, WU X, YU Z. Microwave pretreatment of camellia (*Camellia oleifera* Abel.) seeds: Effect on oil flavor[J/OL]. Food Chem, 2021, 364: 130388 [2023 – 03 – 20]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130388>.
- [17] XIE C, LI W, GAO R, et al. Determination of glucosinolates in rapeseed meal and their degradation by myrosinase from rapeseed sprouts [J/OL]. Food Chem, 2022, 382: 132316 [2023 – 03 – 20]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132316>.
- [18] ZHOU Q, YANG M, HUANG F, et al. Effect of pretreatment with dehulling and microwaving on the flavor characteristics of cold – pressed rapeseed oil by GC – MS – PCA and electronic nose discrimination [J]. J Food Sci, 2013, 78(7): C961 – C970.
- [19] 天府菜油: 浓香菜籽油: T/SCAGS 0105. 1—2019 [S]. 成都: 四川省粮食行业协会, 2019.
- [20] JIA X, ZHOU Q, WANG J, et al. Identification of key aroma – active compounds in sesame oil from microwaved seeds using E – nose and HS – SPME – GC × GC – TOF/MS [J/OL]. J Food Biochem, 2019, 43(10): e12786 [2023 – 03 – 20]. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12786>.
- [21] 刘登勇, 周光宏, 徐幸莲. 确定食品关键风味化合物的一种新方法: “ROAV” 法[J]. 食品科学, 2008, 29(7): 370 – 374.
- [22] VAN GEMERT L. Compilations of odour threshold values in air, water and other media [M]. Zeist: Oilemans, Punter & Parthers BV, 2011.