

牦牛酥油及其磷脂对 C57BL/6J 小鼠脂代谢的影响

罗毅皓, 雷有娟, 孙万成

(青海大学 农牧学院, 西宁 810016)

摘要:将 SPF 级 C57BL/6J 小鼠随机分为 5 组, 即对照组、黄酥油组、白酥油组、黄酥油磷脂组和白酥油磷脂组, 用牦牛酥油和牦牛酥油磷脂饲喂小鼠。饲喂 1 个月和 5 个月分别测定小鼠血清总胆固醇 (TC)、甘油三酯 (TG)、高密度脂蛋白胆固醇 (HDL-C)、低密度脂蛋白胆固醇 (LDL-C) 水平和血糖浓度, 并进行肝脏和腹腔脂肪病理观察及脂肪组织脂肪酸组成分析。结果表明: 长期饲喂牦牛酥油会使小鼠体重增加, 而饲喂牦牛酥油磷脂小鼠体重增加较少。随着饲喂时间的延长各试验组均可提升小鼠血清 HDL-C 水平, 小鼠血清 TC、TG、LDL-C 水平和血糖浓度由高到低依次为酥油组、磷脂组、对照组。饲喂 1 个月后各组小鼠肝脏和腹腔脂肪结构正常完整, 未见明显组织病变, 而饲喂 5 个月后, 与对照组相比, 黄酥油组、白酥油组、黄酥油磷脂组、白酥油磷脂组可见不同程度的炎症细胞浸润和脂质沉积。与饲喂 1 个月相比, 饲喂 5 个月牦牛酥油磷脂可使小鼠脂肪组织中不饱和脂肪酸含量升高。与对照组相比, 饲喂牦牛酥油和牦牛酥油磷脂可极显著提高小鼠脂肪组织中支链脂肪酸含量。

关键词:牦牛酥油; 牦牛酥油磷脂; 脂肪酸; 血脂; 血糖

中图分类号: TS201.4; TS225.2 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2021)01-0076-09

Effect of yak butter and yak butter phospholipids on lipid metabolism in C57BL/6J mice

LUO Yihao, LEI Youjuan, SUN Wancheng

(College of Agriculture and Animal Husbandry, Qinghai University, Xining 810016, China)

Abstract: The SPF C57BL/6J mice were randomly divided into five groups: control group, yellow butter group, white butter group, yellow butter phospholipid group and white butter phospholipid group. Yak butter and yak butter phospholipids were fed to mice. After one month and five months of feeding, serum total cholesterol (TC), triglycerides (TG), high-density lipoprotein cholesterol (HDL-C), low-density lipoprotein cholesterol (LDL-C) and blood sugar levels were measured, and liver pathological observations and adipose fatty acid composition were analyzed. The results showed that long-term feeding of yak butter could increase the weight of mice, while mice fed with yak butter phospholipid gained less weight. With the prolonging of feeding time in each experimental group, serum HDL-C levels in mice improved. The serum TC, TG, LDL-C and blood sugar levels in mice of butter group were the highest, followed by phospholipid group and control group. After one month of feeding, the liver and abdominal fat structure of each group of mice was normal and complete, no obvious tissue lesions were observed. After five months of feeding, compared with the control group, different degrees of inflammatory cell immersion and lipid deposition were observed in yellow butter group, white butter group, yellow butter phospholipid group and white butter phospholipid group. Compared with feeding for one month, after five months of feeding, yak butter phospholipids could increase the unsaturated fatty acids

content in adipose tissue of mice. Compared with control group, yak butter and yak butter phospholipids could increase the branched chain fatty acids content in adipose tissue of mice.

Key words: yak butter; yak butter phospholipids; fatty acid; blood lipid; blood sugar

收稿日期: 2020-02-03; 修回日期: 2020-07-21

基金项目: 青海省科技厅项目 (2018-ZJ-728)

作者简介: 罗毅皓 (1976), 女, 副教授, 研究方向为功能食品 (E-mail) 291649347@qq.com。

夏季或秋季从牦牛乳中提炼的牦牛酥油呈鲜黄色,冬季提炼的牦牛酥油则呈奶白色。牦牛酥油主要成分为脂肪、水分和少量蛋白质,并且含有丰富的微量元素^[1-2]。牦牛酥油不饱和脂肪酸含量较高,且相比于其他牛乳脂肪,牦牛酥油含有较高含量的功能性脂肪酸^[3-5]。现已有许多研究证明,不饱和脂肪酸尤其是多不饱和脂肪酸具有多种生物学功能,如共轭亚油酸(CLA)具有抗肿瘤、降低胆固醇、抗动脉粥样硬化形成、免疫调节等作用^[6-7]; α -亚麻酸(ALA)具有降低胆固醇含量、保护视力、抑制衰老、降血脂的功能^[8];花生四烯酸(AA)有助于婴幼儿的生长发育、降血脂、降血压和降胆固醇^[9];EPA和DHA具有预防心血管疾病,抗炎、抗过敏,健脑明目等作用^[10]。牦牛酥油中的支链脂肪酸具有抗癌作用^[11-12]。

磷脂不仅具有较高的营养价值,还具有调节代谢、改善记忆、预防血管疾病和动脉硬化、延缓衰老等功能^[13-16]。王颖等^[17]研究海参磷脂对阿尔茨海默病模型大鼠认知功能的影响,发现海参磷脂能够改善阿尔茨海默病大鼠的认知功能。赵雪等^[18]研究多烯磷脂酰胆碱对异氟烷所致轻微肝损害的保护作用,发现多烯磷脂酰胆碱治疗异氟烷所致轻微肝损害,能明显改善肝功能指标。

关于牦牛酥油磷脂对小鼠脂代谢的研究未见报道。本文使用牦牛酥油提取的磷脂饲喂小鼠,分析了在小鼠的饲料中添加不同比例牦牛酥油和牦牛酥油磷脂对小鼠体重、脂肪沉积和血脂指标的影响,以期牦牛酥油产品的合理利用和相关功能食品的开发提供科学依据。

表1 小鼠分组情况

组别	饲料	酥油添加量/%	酥油磷脂添加量/%
对照组	基础饲料	0	0
黄酥油组	基础饲料 + 黄色牦牛酥油	10	0
白酥油组	基础饲料 + 白色牦牛酥油	10	0
黄磷脂组	基础饲料 + 黄色牦牛酥油磷脂	0	4
白磷脂组	基础饲料 + 白色牦牛酥油磷脂	0	4

小鼠自由摄食饲料和饮水,饲料每日更换并测定摄食量,试验小鼠每周称一次体重,并做好记录。喂食1个月和5个月,试验结束时,各组小鼠取4只禁食16h后,将小鼠眼球取血,分离血清。小鼠眼球取血后颈椎脱臼处死,剖开腹腔,取出所需组织,一部分液氮速冻后在-80℃下保存备用,另一部分以10%中性甲醛固定后,用于HE和油红染色。

1.2.2 血脂、胆固醇及血糖指标测定

喂食1个月和5个月,分别取各组小鼠进行眼

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 试验动物

SPF级C57BL/6J小鼠,由中国农业科学院兰州兽医研究所提供,许可证号为SCXK(甘)2015-0001。

1.1.2 原料与试剂

牦牛酥油(黄酥油、白酥油),购自青海省祁连县野牛沟牧民家;牦牛酥油磷脂(黄磷脂、白磷脂),本实验室自制;饲料,北京科澳协力饲料有限公司提供;总胆固醇试剂盒、甘油三酯试剂盒、高密度脂蛋白胆固醇试剂盒、低密度脂蛋白胆固醇试剂盒和血糖检测试剂盒,购自南京建成生物工程研究所;4%组织固定液,Servicebio;0.9% NaCl注射液,购自西安京西双鹤药业有限公司;15%三氟化硼甲醇,购自成都艾科达化学试剂有限公司。

1.1.3 仪器与设备

ASP200S全自动真空脱水机、EG1150H组织包埋机、RM2245转轮式切片机、HI1210摊片机、HI1210烤片机、AutoStainerXL(ST5010)自动载玻片染色机,德国Leica;BX54光学显微镜、DP27成像系统,日本Olympus;Trace DSQ气相色谱质谱联用仪,赛默飞世尔科技公司;M μ Ltiskan FC酶标仪,美国Thermo公司。

1.2 实验方法

1.2.1 小鼠分组及饲喂

4周龄SPF级C57BL/6J小鼠40只,均为雄性,适应喂养7d后随机分为5组,每组8只,小鼠分组情况见表1。

球取血,采用试剂盒测定小鼠血清总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)和血糖浓度。每项指标均平行测定9次,取平均值。

1.2.3 小鼠肝脏和腹腔脂肪组织病理观察

小鼠肝脏和腹腔脂肪组织经10%福尔马林固定后,小鼠肝脏进行常规HE染色和油红染色,腹腔脂肪组织进行常规HE染色,光镜下观察组织病理学改变,并拍照。

HE 染色:组织经 10% 福尔马林固定后,进行脱钙、取材,逐级酒精脱水、透明、浸蜡、包埋、切片,常规 HE 染色,光镜下观察组织病理学改变。

油红染色:将冰冻切片复温干燥,在固定液中固定 15 min,自来水冲洗,晾干。之后将切片用油红染液浸染 8~10 min(加盖避光),蒸馏水洗,75% 酒精稍分化,再蒸馏水洗。之后将切片用苏木素染液染 3~5 min,自来水洗,分化液分化,再自来水洗,返蓝液返蓝,流水冲洗,最后用甘油明胶封片剂封片,显微镜镜检,观察组织病理学改变。

1.2.4 脂肪组织脂肪酸组成分析

1.2.4.1 样品甲酯化

取 0.5 g 小鼠肩甲脂肪组织,粉碎后置于具塞试管中,加入 9 mL 氯仿-甲醇混合液(体积比 2:1),盖住瓶口,于 65 °C 恒温振荡 1.5 h。取出冷却后,加入 2.25 mL 饱和食盐水,继续振荡 30 min,取出离心过滤,4 200 r/min 离心 10 min,取氯仿层于另一干净试管中,氮气吹干。取干燥后的脂肪酸加入质量分数为 15% 的 BF_3 1 mL,封住试管口,90 °C

水浴 2 h;取出冷却后,加 2 mL 正己烷,移入离心管中,振摇均匀,3 500 r/min 离心 2 min,取正己烷层于另一干净离心管中,加入 1 g 无水硫酸钠除湿,振摇,3 500 r/min 离心 2 min,取正己烷层于另一干净试管中,氮气吹干,待 GC-MS 分析。

1.2.4.2 GC-MS 分析

DB-5MS 色谱柱(60 m × 0.25 mm × 0.25 μm)。程序升温条件:初始温度 60 °C,保持 1 min;以 10 °C/min 升温至 180 °C,以 4 °C/min 升温至 280 °C,保持 10 min;以 20 °C/min 升温至 300 °C,保持 2 min。载气为高纯 He(99.999%),进样口温度 280 °C,进样量 1.0 mL/min,传输线温度 285 °C。离子源温度 250 °C;溶剂延迟时间 7 min;质量扫描范围 40~550 u。

1.2.5 数据处理

使用 SPSS16.0 软件进行统计学分析。

2 结果与分析

2.1 牦牛酥油和牦牛酥油磷脂对小鼠体重的影响(见表 2)

表 2 牦牛酥油和牦牛酥油磷脂对小鼠体重的影响($\bar{x} \pm s, n = 5$)

组别	初始	1 个月	2 个月	3 个月	4 个月	5 个月
对照组	15.00 ± 2.02 ^a	23.95 ± 1.94 ^e	24.65 ± 0.79 ^e	25.40 ± 1.00 ^e	25.80 ± 2.00 ^e	25.85 ± 1.30 ^e
黄酥油组	14.86 ± 2.50 ^a	25.16 ± 0.88 ^a	26.79 ± 1.24 ^a	28.97 ± 1.70 ^a	29.37 ± 0.10 ^a	29.63 ± 0.90 ^a
白酥油组	14.67 ± 1.70 ^a	24.86 ± 1.45 ^b	26.32 ± 1.03 ^b	28.15 ± 1.00 ^b	29.20 ± 0.90 ^b	29.40 ± 1.90 ^b
黄磷脂组	15.03 ± 1.37 ^a	24.79 ± 2.00 ^e	24.88 ± 1.45 ^e	26.24 ± 1.10 ^e	26.75 ± 2.60 ^e	26.80 ± 1.20 ^e
白磷脂组	14.97 ± 2.65 ^a	24.05 ± 1.95 ^d	24.71 ± 1.57 ^d	26.03 ± 1.00 ^d	26.53 ± 1.20 ^d	26.62 ± 1.50 ^d

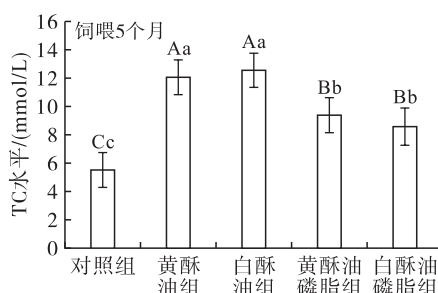
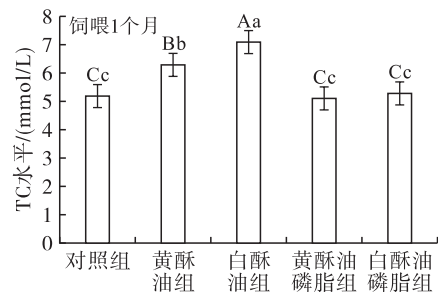
注:同列不同小写字母表示差异显著($p < 0.05$)。

由表 2 可知,随着加入牦牛酥油与牦牛酥油磷脂饲料干预试验的进行,小鼠体重均有增加,饲喂 1 个月以后,各组小鼠体重均显著高于对照组。白酥油组和黄酥油组体重显著高于对照组、白酥油磷脂组和黄酥油磷脂组。继续饲喂,白酥油组和黄酥油组体重持续增加明显,而对照组、白酥油磷脂组和黄酥油磷脂组体重有所增加但增加不明显。

2.2 牦牛酥油和牦牛酥油磷脂对小鼠血脂水平的影响

2.2.1 牦牛酥油和牦牛酥油磷脂对小鼠血清 TC 水平的影响(见图 1)

从图 1 可以看出,饲喂 1 个月后,黄酥油组和白酥油组 TC 水平极显著高于对照组和磷脂组($p < 0.01$),对照组与磷脂组差异不显著。饲喂 5 个月后,对照组、酥油组和磷脂组差异极显著($p < 0.01$),酥油组 TC 水平极显著高于对照组和磷脂组,磷脂组 TC 水平极显著高于对照组($p < 0.01$),黄酥油组与白酥油组之间、黄酥油磷脂组与白酥油磷脂组之间差异不显著($p > 0.05$)。



注:不同小写字母表示差异显著($p < 0.05$),不同大写字母表示差异极显著($p < 0.01$)。下同。

图 1 牦牛酥油和牦牛酥油磷脂对小鼠血清 TC 水平的影响($\bar{x} \pm s, n = 9$)

2.2.2 牦牛酥油和牦牛酥油磷脂对小鼠血清 TG 水平的影响(见图2)

从图2可以看出,饲喂1个月后,白酥油组 TG 水平极显著高于其他各组($p < 0.01$),而其他各组之间 TG 水平差异不显著($p > 0.05$)。饲喂5个月后,酥油组 TG 水平有所升高,而磷脂组有所下降;白酥油组 TG 水平显著高于其他各组($p < 0.05$)。

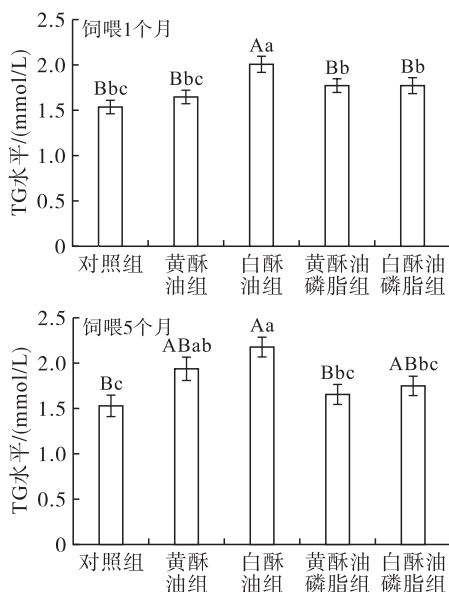


图2 牦牛酥油和牦牛酥油磷脂对小鼠血清 TG 水平的影响($\bar{x} \pm s, n=9$)

2.2.3 牦牛酥油和牦牛酥油磷脂对小鼠血清 HDL-C 水平的影响(见图3)

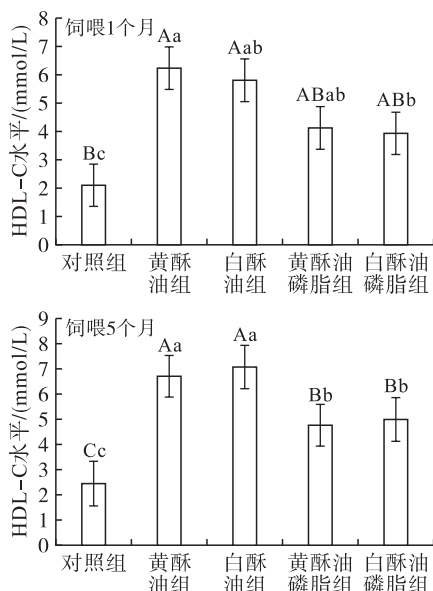


图3 牦牛酥油和牦牛酥油磷脂对小鼠血清 HDL-C 水平的影响($\bar{x} \pm s, n=9$)

从图3可以看出,饲喂1个月后,黄酥油组 HDL-C 水平显著高于磷脂组和对照组($p < 0.05$),磷脂组 HDL-C 水平显著高于对照组($p < 0.05$)。饲喂5个月后,HDL-C 水平均升高,酥油组 HDL-C 水平

极显著高于磷脂组和对照组($p < 0.01$),磷脂组 HDL-C 水平极显著高于对照组($p < 0.01$)。黄酥油组与白酥油组之间、黄酥油磷脂组与白酥油磷脂组之间差异不显著($p > 0.05$)。

2.2.4 牦牛酥油和牦牛酥油磷脂对小鼠血清 LDL-C 水平的影响(见图4)

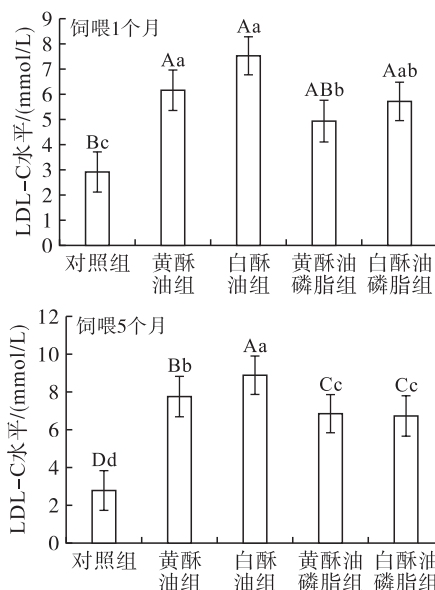


图4 牦牛酥油和牦牛酥油磷脂对小鼠血清 LDL-C 水平的影响($\bar{x} \pm s, n=9$)

从图4可以看出,饲喂1个月后,酥油组和磷脂组 LDL-C 水平显著高于对照组($p < 0.05$)。饲喂5个月后,除对照组外其他各组 LDL-C 水平均有所升高,白酥油组 LDL-C 水平极显著高于黄酥油组和磷脂组($p < 0.01$),磷脂组极显著高于对照组($p < 0.01$)。

2.3 牦牛酥油和牦牛酥油磷脂对小鼠血糖的影响(见图5)

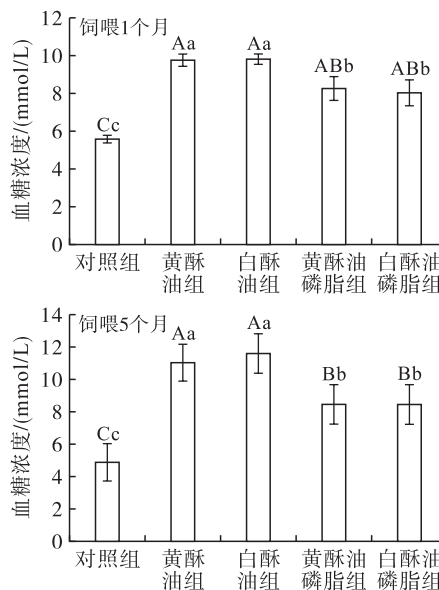
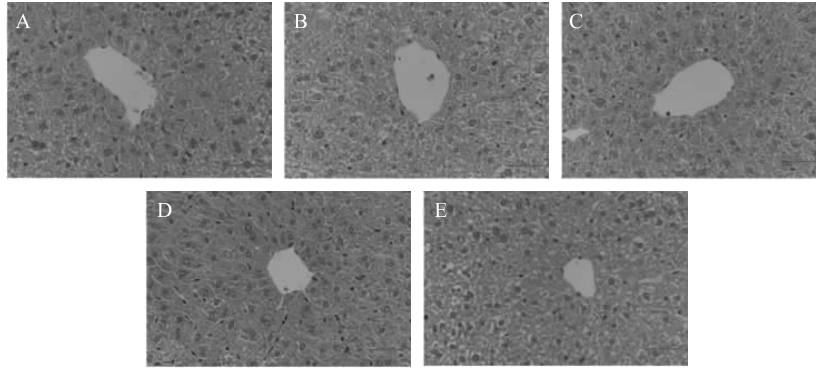


图5 牦牛酥油和牦牛酥油磷脂对小鼠血糖浓度的影响($\bar{x} \pm s, n=9$)

从图5可以看出:饲喂1个月后,酥油组和磷脂组血糖浓度极显著高于对照组($p < 0.01$),饲喂5个月后,除对照组以外其他各组血糖浓度均升高,并且酥油组血糖浓度极显著高于磷脂组和对照组

($p < 0.01$),磷脂组极显著高于对照组($p < 0.01$)。

2.4 牦牛酥油及牦牛酥油磷脂对小鼠组织 HE 染色和油红染色的影响(见图6~图11)



注:A为对照组,B为黄酥油组,C为白酥油组,D为黄酥油磷脂组,E为白酥油磷脂组。下同。

图6 饲喂1个月小鼠肝脏组织 HE 染色

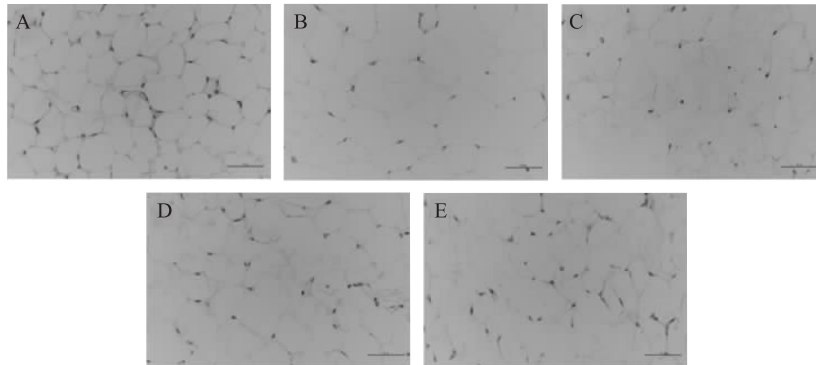


图7 饲喂1个月小鼠腹腔脂肪组织 HE 染色

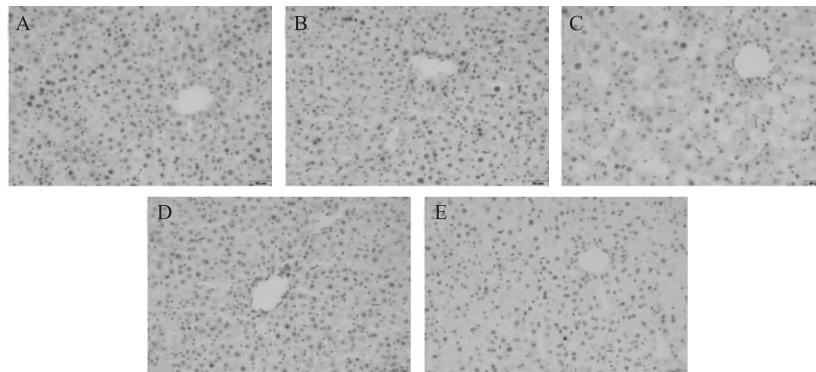


图8 饲喂1个月小鼠肝脏组织油红染色

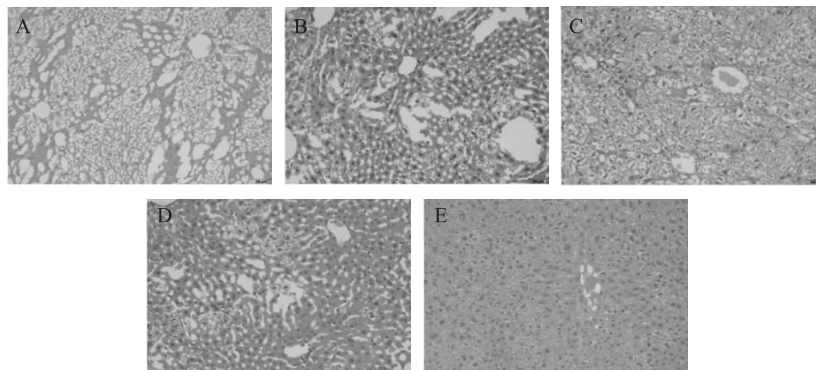


图9 饲喂5个月小鼠肝脏组织 HE 染色

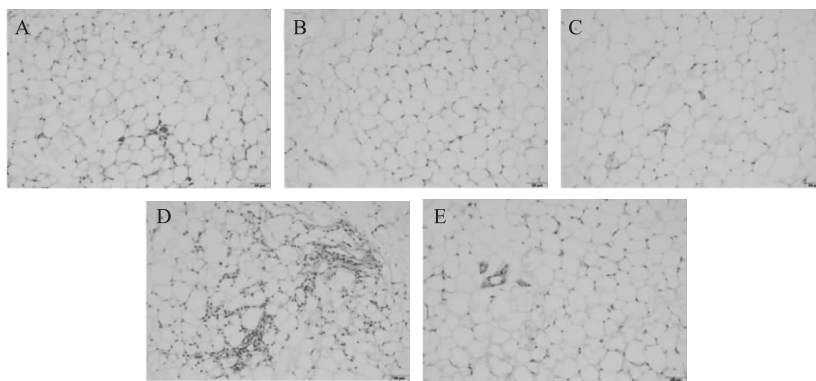


图10 饲喂5个月小鼠腹腔脂肪组织HE染色

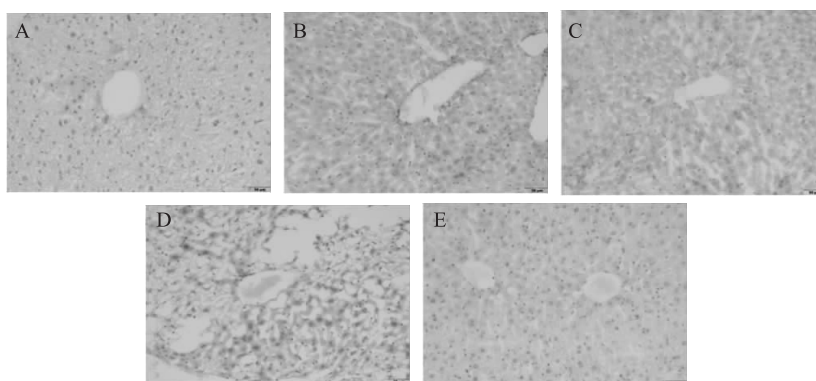


图11 饲喂5个月小鼠肝脏组织油红染色

从图6、图7可以看出:饲喂1个月,对照组、黄酥油组、白酥油组、黄酥油磷脂组、白酥油磷脂组小鼠肝脏组织结构正常完整,肝细胞沿中央静脉呈放射状排列;腹腔脂肪组织结构完整,脂肪细胞排列紧密,大体呈圆形,大小均一,均未见变性、坏死,间质未见炎性细胞浸润、纤维化等明显病理变化。从图8可以看出,各组小鼠肝脏组织结构基本正常,肝细胞沿中央静脉呈放射状排列,胞内见轻微脂质沉积,细胞内见少量呈橘红色的脂滴。

从图9、图10可以看出:饲喂5个月,对照组和白酥油磷脂组小鼠肝脏组织结构基本正常,肝细胞沿中央静脉呈放射状排列,存在少量圆形脂滴和炎细胞浸润现象,黄酥油组、白酥油组和黄酥油磷脂组小鼠肝细胞有明显空泡变性,在肝细胞内充满小而密集的脂滴,且部分有炎性细胞浸润;对照组小鼠腹腔脂肪组织结构完整,脂肪细胞排列紧密,大体呈圆形,大小均一,未见明显病理变化,黄酥油组、白酥油组和白酥油磷脂组见轻度灶性单个核细胞浸润,黄酥油磷脂组见中度灶性单个核细胞、中性粒细胞浸润。从图11可以看出,对照组和白酥油磷脂组小鼠肝脏组织结构基本正常,肝细胞沿中央静脉呈放射状排列,中央静脉周围少量肝细胞内见轻微脂质沉积,细胞内见少量呈橘红色的脂滴;黄酥油组、白酥油组和黄酥油磷脂组小鼠肝脏中

央静脉周围肝细胞内见轻度脂质沉积,细胞内见明显橘红色脂滴。

2.5 牦牛酥油和牦牛酥油磷脂对小鼠脂肪组织脂肪酸组成的影响(见表3、表4)

从表3可以看出:饲喂1个月后,5组小鼠脂肪组织中共检测出38种脂肪酸,其中支链脂肪酸(BCFA)4种,占脂肪酸总量的0.25%~3.91%,各试验组BCFA含量极显著高于对照组($p < 0.01$),并且酥油组极显著高于磷脂组($p < 0.01$);饱和脂肪酸(SFA)18种,占脂肪酸总量的36.26%~47.36%,白酥油组和白酥油磷脂组SFA含量均极显著低于黄酥油组和黄酥油磷脂组,白酥油组SFA含量极显著高于对照组($p < 0.01$),白酥油磷脂组SFA含量极显著低于对照组($p < 0.01$);不饱和脂肪酸(UFA)20种,共占脂肪酸总量的52.43%~63.74%,其中单不饱和脂肪酸(MUFA)9种,占脂肪酸总量的33.09%~44.32%,白酥油组和白酥油磷脂组MUFA含量均极显著高于黄酥油组、黄酥油磷脂组和对照组($p < 0.01$);多不饱和脂肪酸(PUFA)11种,占脂肪酸总量的17.44%~29.16%,各试验组PUFA含量均极显著低于对照组,并且磷脂组PUFA含量极显著高于酥油组($p < 0.01$)。各组不饱和脂肪酸主要为油酸、亚油酸、棕榈油酸、二十二碳六烯酸(DHA)、花生四烯酸和二十碳一烯酸。

表3 饲喂1个月小鼠肩胛脂肪脂肪酸组成及相对含量

%

脂肪酸	对照组	黄酥油组	白酥油组	黄酥油磷脂组	白酥油磷脂组
C10:0	ND	0.16 ± 0.04 ^{Bb}	0.13 ± 0.01 ^{Cc}	0.31 ± 0.02 ^{Aa}	ND
C12:0	0.14 ± 0.05 ^{Dd}	0.62 ± 0.14 ^{Bb}	0.64 ± 0.07 ^{Aa}	ND	0.28 ± 0.01 ^{Cc}
C13:0	ND	ND	0.06 ± 0.01	ND	ND
<i>iso</i> - C14:0	ND	0.29 ± 0.04 ^{Aa}	0.22 ± 0.02 ^{Bb}	ND	ND
C14:1	ND	0.24 ± 0.03 ^{Ab}	0.27 ± 0.02 ^{Aa}	0.16 ± 0.01 ^{Bc}	ND
C14:0	2.59 ± 0.39 ^{De}	5.80 ± 0.56 ^{Aa}	4.82 ± 0.23 ^{Bb}	3.90 ± 0.43 ^{Cc}	3.67 ± 0.28 ^{Cd}
<i>iso</i> - C15:0	ND	1.07 ± 0.13 ^{Aa}	0.31 ± 0.04 ^{Cc}	0.42 ± 0.03 ^{Bb}	0.29 ± 0.01 ^{Cd}
C15:0	0.36 ± 0.05 ^{Dd}	1.44 ± 0.23 ^{Bb}	1.88 ± 0.43 ^{Aa}	1.04 ± 0.22 ^{Cc}	1.07 ± 0.79 ^{Cc}
C16:2	ND	ND	0.07 ± 0.01 ^{Aa}	0.08 ± 0.01 ^{Aa}	0.09 ± 0.01 ^{Aa}
C16:1	5.98 ± 1.89 ^{Cc}	4.49 ± 0.11 ^{Ec}	5.41 ± 0.45 ^{Dd}	7.17 ± 1.12 ^{Aa}	6.63 ± 0.76 ^{Bb}
C16:0	19.00 ± 1.22 ^{Bb}	17.08 ± 0.4 ^{Cc}	13.06 ± 0.56 ^{Ec}	20.04 ± 1.28 ^{Aa}	16.32 ± 0.87 ^{Dd}
<i>iso</i> - C17:0	0.25 ± 0.04 ^{Ec}	1.13 ± 0.14 ^{Bb}	1.58 ± 0.06 ^{Aa}	0.88 ± 0.03 ^{Cc}	0.81 ± 0.01 ^{Dd}
<i>anteiso</i> - C17:0	ND	1.33 ± 0.15 ^{Bb}	1.80 ± 0.07 ^{Aa}	0.70 ± 0.01 ^{Dd}	0.87 ± 0.01 ^{Cc}
C17:1	0.58 ± 0.12 ^{Ec}	1.02 ± 0.10 ^{Bb}	2.19 ± 0.11 ^{Aa}	0.93 ± 0.08 ^{Cc}	0.87 ± 0.06 ^{Dd}
C17:0	0.62 ± 0.12 ^{Ec}	1.58 ± 0.20 ^{Bb}	2.06 ± 0.13 ^{Aa}	1.14 ± 0.09 ^{Dd}	1.35 ± 0.12 ^{Cc}
C18:3	0.14 ± 0.03 ^{ABa}	ND	ND	0.16 ± 0.01 ^{Aa}	0.10 ± 0.01 ^{Bb}
C18:2	19.74 ± 2.81 ^{Aa}	12.57 ± 0.82 ^{Dd}	8.95 ± 0.78 ^{Ec}	15.91 ± 1.24 ^{Cc}	17.86 ± 0.97 ^{Bb}
C18:1	17.44 ± 2.97 ^{Cc}	19.59 ± 1.08 ^{Aa}	15.17 ± 1.01 ^{Ec}	16.09 ± 1.46 ^{Dd}	18.41 ± 0.86 ^{Bb}
<i>trans</i> - C18:1	5.24 ± 0.60 ^{Cc}	4.95 ± 0.20 ^{Dd}	13.06 ± 0.88 ^{Aa}	4.84 ± 0.40 ^{Dd}	6.51 ± 0.24 ^{Bb}
C18:0	12.75 ± 1.78 ^{Bb}	13.95 ± 1.47 ^{Aa}	8.20 ± 0.91 ^{Ec}	10.89 ± 0.67 ^{Cc}	10.54 ± 1.01 ^{Dd}
C19:2	ND	ND	ND	0.21 ± 0.01	ND
C19:1	ND	ND	2.55 ± 0.26 ^{Aa}	0.21 ± 0.02 ^{Cc}	0.26 ± 0.01 ^{Bb}
C19:0	0.20 ± 0.80 ^{Ec}	0.49 ± 0.12 ^{Bb}	0.64 ± 0.61 ^{Aa}	0.33 ± 0.07 ^{Dd}	0.40 ± 0.13 ^{Cc}
C20:4	2.48 ± 0.98 ^{Ec}	2.58 ± 0.31 ^{Dd}	3.37 ± 0.7 ^{Aa}	2.84 ± 0.66 ^{Bb}	2.65 ± 0.49 ^{Cc}
C20:5	0.35 ± 0.14	ND	ND	ND	ND
C20:3	1.07 ± 0.45 ^{Aa}	0.76 ± 0.38 ^{Bb}	0.80 ± 0.37 ^{ABb}	1.08 ± 0.67 ^{Aa}	0.85 ± 0.06 ^{ABb}
C20:2	1.26 ± 0.48 ^{Aa}	ND	ND	ND	1.12 ± 0.34 ^{Bb}
C20:1	3.87 ± 1.18 ^{Dd}	2.58 ± 0.62 ^{Ec}	4.38 ± 0.44 ^{Cc}	4.47 ± 0.24 ^{Bb}	5.17 ± 1.48 ^{Aa}
C20:0	0.96 ± 0.43 ^{Dd}	1.82 ± 0.05 ^{Bb}	1.90 ± 0.56 ^{Aa}	1.04 ± 0.09 ^{Cc}	ND
C21:0	ND	ND	0.21 ± 0.05	ND	ND
C22:6n3	2.53 ± 0.86 ^{Ec}	2.58 ± 0.23 ^{Dd}	3.20 ± 0.23 ^{Bb}	3.24 ± 1.70 ^{Aa}	2.27 ± 1.33 ^{Cc}
C22:4	0.68 ± 0.28 ^{Aa}	ND	0.29 ± 0.65 ^{Bb}	ND	ND
C22:5	0.90 ± 0.37 ^{Aa}	0.87 ± 0.21 ^{Bb}	0.77 ± 0.01 ^{Cc}	0.60 ± 0.03 ^{Dd}	0.57 ± 0.08 ^{Ec}
C22:1	0.54 ± 0.24 ^{Bb}	0.22 ± 0.05 ^{Cd}	1.11 ± 0.40 ^{Aa}	0.37 ± 0.12 ^{Cc}	0.38 ± 0.20 ^{Cc}
C22:0	0.32 ± 0.02 ^{Dd}	0.60 ± 0.15 ^{Aa}	0.39 ± 0.08 ^{Bb}	0.33 ± 0.01 ^{Dd}	0.36 ± 0.05 ^{Cc}
C23:0	ND	ND	0.18 ± 0.01 ^{Aa}	0.18 ± 0.01 ^{Aa}	0.10 ± 0.01 ^{Bb}
C24:1	ND	ND	0.18 ± 0.02 ^{Bb}	0.21 ± 0.04 ^{Aa}	ND
C24:0	ND	ND	0.17 ± 0.01 ^{Ab}	0.21 ± 0.03 ^{Aa}	0.19 ± 0.01 ^{Aab}
BCFA	0.25 ± 0.04 ^{Cc}	3.82 ± 0.46 ^{Aa}	3.91 ± 0.53 ^{Aa}	2.01 ± 0.99 ^{Bb}	1.97 ± 0.45 ^{Bb}
MUFA	33.65 ± 1.28 ^{Dd}	33.09 ± 0.13 ^{Ec}	44.32 ± 1.77 ^{Aa}	34.46 ± 1.34 ^{Cc}	38.23 ± 1.81 ^{Bb}
PUFA	29.16 ± 1.68 ^{Aa}	19.34 ± 1.19 ^{Dd}	17.44 ± 1.11 ^{Ec}	24.13 ± 1.90 ^{Cc}	25.51 ± 1.56 ^{Bb}
SFA	37.20 ± 1.59 ^{Dd}	47.36 ± 2.85 ^{Aa}	38.25 ± 1.66 ^{Cc}	41.41 ± 1.98 ^{Bb}	36.26 ± 1.88 ^{Ec}
UFA	62.80 ± 1.80 ^{Bb}	52.43 ± 1.30 ^{Ec}	61.75 ± 1.45 ^{Cc}	58.59 ± 1.78 ^{Dd}	63.74 ± 1.39 ^{Aa}

注:BCFA为支链脂肪酸,MUFA为单不饱和脂肪酸,PUFA为多不饱和脂肪酸,SFA为饱和脂肪酸,UFA为不饱和脂肪酸,ND表示未检测出,*iso* -表示支链,*anteiso* -表示反式支链,*trans* -表示反式;同行上角标不同大写字母表示差异极显著($p < 0.01$),不同小写字母表示差异显著($p < 0.05$)。下同。

表4 饲喂5个月后小鼠肩胛脂肪脂肪酸组成及相对含量

%

脂肪酸	对照组	黄酥油组	白酥油组	黄酥油磷脂组	白酥油磷脂组
C10:0	ND	ND	ND	0.05 ± 0.01	ND
C12:0	0.10 ± 0.01 ^{Dd}	0.52 ± 0.05 ^{Aa}	0.28 ± 0.03 ^{Bb}	0.23 ± 0.02 ^{Cc}	0.11 ± 0.01 ^{Dd}
C13:0	ND	ND	ND	0.13 ± 0.01	ND
C14:1	ND	0.12 ± 0.01 ^{Dd}	1.19 ± 0.78 ^{Bb}	0.87 ± 0.32 ^{Cc}	1.51 ± 0.35 ^{Aa}
C14:0	2.03 ± 0.44 ^{Ee}	5.06 ± 0.89 ^{Aa}	4.59 ± 0.66 ^{Bb}	3.59 ± 0.07 ^{Cc}	2.08 ± 0.60 ^{Dd}
iso - C15:0	ND	0.45 ± 0.08 ^{Bc}	2.08 ± 0.11 ^{Aa}	0.48 ± 0.14 ^{Bb}	ND
C15:0	0.45 ± 0.07 ^{Dd}	1.02 ± 0.22 ^{Bb}	1.30 ± 0.67 ^{Aa}	0.85 ± 0.32 ^{Cc}	0.40 ± 0.01 ^{Ee}
C16:2	0.07 ± 0.02 ^{Bb}	ND	ND	0.13 ± 0.02 ^{Aa}	0.09 ± 0.01 ^{ABb}
C16:1	5.23 ± 0.62 ^{Dd}	4.88 ± 0.05 ^{Ee}	6.99 ± 1.29 ^{Bb}	6.22 ± 0.78 ^{Cc}	7.49 ± 0.94 ^{Aa}
C16:0	20.79 ± 1.67 ^{Cc}	21.88 ± 0.95 ^{Aa}	19.90 ± 1.24 ^{Dd}	20.20 ± 2.44 ^{Bb}	18.14 ± 1.27 ^{Ee}
iso - C17:0	0.16 ± 0.01 ^{Cd}	ND	1.82 ± 0.06 ^{Aa}	0.19 ± 0.01 ^{Cc}	0.30 ± 0.01 ^{Bb}
anteiso - C17:0	ND	ND	2.00 ± 0.32 ^{Aa}	0.82 ± 0.09 ^{Bb}	0.22 ± 0.01 ^{Cc}
C17:1	0.25 ± 0.01 ^{Dd}	ND	2.55 ± 0.07 ^{Aa}	1.18 ± 0.14 ^{Bb}	0.64 ± 0.08 ^{Cc}
C17:0	0.40 ± 0.01 ^{De}	0.97 ± 0.65 ^{Bb}	1.63 ± 0.67 ^{Aa}	0.79 ± 0.06 ^{Cc}	0.42 ± 0.01 ^{Dd}
C18:3	0.12 ± 0.01 ^{Aa}	ND	ND	ND	0.12 ± 0.01 ^{Aa}
C18:2	24.54 ± 3.21 ^{Bb}	13.01 ± 1.49 ^{Ee}	13.89 ± 0.97 ^{Dd}	14.89 ± 1.39 ^{Cc}	25.29 ± 2.18 ^{Aa}
C18:1n6	22.42 ± 2.19 ^{Cc}	23.04 ± 1.77 ^{Bb}	16.58 ± 2.60 ^{Ee}	21.51 ± 1.98 ^{Dd}	24.49 ± 1.13 ^{Aa}
C18:1n9	6.05 ± 0.78 ^{Cc}	7.09 ± 0.55 ^{Aa}	7.04 ± 1.26 ^{Bb}	5.43 ± 1.08 ^{Dd}	4.49 ± 0.95 ^{Ee}
C18:0	8.12 ± 1.27 ^{Cc}	11.24 ± 1.98 ^{Aa}	8.69 ± 2.70 ^{Bb}	7.57 ± 1.56 ^{Dd}	5.62 ± 1.08 ^{Ee}
C19:2	0.24 ± 0.03 ^{Aa}	0.22 ± 0.04 ^{Aa}	ND	ND	ND
C19:1	0.25 ± 0.01 ^{Bb}	0.57 ± 0.06 ^{Aa}	ND	0.56 ± 0.27 ^{Aa}	ND
C19:0	0.10 ± 0.01 ^{Bb}	0.16 ± 0.01 ^{Aa}	ND	ND	0.12 ± 0.01 ^{ABb}
C20:4	2.04 ± 0.47 ^{Cc}	2.67 ± 0.67 ^{Aa}	1.26 ± 0.67 ^{Ee}	2.63 ± 0.78 ^{Bb}	1.30 ± 0.01 ^{Dd}
C20:5	ND	ND	ND	ND	0.08 ± 0.01
C20:3	0.41 ± 0.07 ^{Dd}	0.33 ± 0.01 ^{Ee}	0.51 ± 0.13 ^{Bb}	0.72 ± 0.15 ^{Aa}	0.44 ± 0.05 ^{Cc}
C20:2	0.36 ± 0.13 ^{Ab}	ND	0.31 ± 0.01 ^{Bc}	0.26 ± 0.01 ^{Cd}	0.38 ± 0.07 ^{Aa}
C20:1	2.54 ± 0.56 ^{Bb}	1.87 ± 0.72 ^{Cc}	1.45 ± 0.45 ^{Dd}	3.66 ± 1.10 ^{Aa}	2.55 ± 0.37 ^{Bb}
C20:0	0.50 ± 0.01 ^{Cc}	0.76 ± 0.45 ^{Aa}	0.53 ± 0.67 ^{Bb}	0.42 ± 0.06 ^{Dd}	0.39 ± 0.05 ^{Ee}
C22:6	1.76 ± 0.56 ^{Cc}	2.22 ± 0.54 ^{Aa}	1.73 ± 0.48 ^{Dd}	2.12 ± 0.75 ^{Bb}	1.42 ± 0.43 ^{Ee}
C22:4	0.27 ± 0.01 ^{Bc}	0.16 ± 0.01 ^{De}	0.29 ± 0.04 ^{Bb}	0.48 ± 0.18 ^{Aa}	0.23 ± 0.06 ^{Cd}
C22:5	0.31 ± 0.01 ^{Dd}	0.49 ± 0.06 ^{Cc}	0.93 ± 0.16 ^{Aa}	0.54 ± 0.08 ^{Bb}	0.30 ± 0.10 ^{Dd}
C22:1	ND	0.98 ± 0.38 ^{Cc}	0.48 ± 0.10 ^{Dd}	1.98 ± 0.76 ^{Aa}	1.07 ± 0.37 ^{Bb}
C22:0	0.19 ± 0.01 ^{Dd}	0.28 ± 0.08 ^{Cc}	0.93 ± 0.28 ^{Aa}	0.60 ± 0.10 ^{Bb}	0.15 ± 0.01 ^{Ee}
C23:0	ND	ND	0.49 ± 0.04 ^{Aa}	0.26 ± 0.01 ^{Bb}	0.06 ± 0.01 ^{Cc}
C24:1	ND	ND	0.15 ± 0.01 ^{Bb}	0.24 ± 0.04 ^{Aa}	ND
C24:0	0.27 ± 0.01 ^{Bc}	ND	0.42 ± 0.02 ^{Aa}	0.39 ± 0.02 ^{Ab}	0.10 ± 0.01 ^{Cd}
BCFA	0.16 ± 0.03 ^{Ee}	0.45 ± 0.11 ^{Dd}	5.91 ± 0.46 ^{Aa}	1.48 ± 0.07 ^{Bb}	0.52 ± 0.25 ^{Cc}
MUFA	36.75 ± 2.17 ^{Bbc}	38.56 ± 1.43 ^{Bb}	36.41 ± 1.09 ^{Bc}	41.65 ± 1.78 ^{Aa}	42.24 ± 2.67 ^{Aa}
PUFA	30.14 ± 1.18 ^{Aa}	19.10 ± 1.67 ^{Dd}	18.92 ± 1.48 ^{Ee}	21.76 ± 2.57 ^{Cc}	29.64 ± 2.18 ^{Bb}
SFA	33.11 ± 1.48 ^{Dd}	42.35 ± 1.07 ^{Bb}	44.67 ± 2.68 ^{Aa}	36.59 ± 2.44 ^{Cc}	28.11 ± 1.97 ^{Ee}
UFA	66.89 ± 1.69 ^{Bb}	57.65 ± 2.78 ^{Dd}	55.33 ± 1.63 ^{Ee}	63.41 ± 0.98 ^{Cc}	71.89 ± 1.76 ^{Aa}

从表4可以看出:饲喂5个月后,5组小鼠脂肪组织中共检测出36种脂肪酸,其中BCFA 3种,占脂肪酸总量的0.16%~5.91%,各试验组BCFA含量极显著高于对照组($p < 0.01$);SFA 16种,占脂肪

酸总量的28.11%~44.67%,磷脂组SFA含量极显著低于酥油组($p < 0.01$),酥油组和黄酥油磷脂组SFA含量极显著高于对照组($p < 0.01$);UFA 20种,共占脂肪酸总量的55.33%~71.89%,其中MUFA

9种,占脂肪酸总量的36.41%~42.24%,磷脂组MUFA含量极显著高于酥油组和对照组($p < 0.01$);PUFA 11种,占脂肪酸总量的18.92%~30.14%,各试验组PUFA含量极显著低于对照组($p < 0.01$),并且磷脂组PUFA含量极显著高于酥油组($p < 0.01$)。各组不饱和脂肪酸主要为油酸、亚油酸、棕榈油酸、二十二碳六烯酸(DHA)、花生四烯酸和二十碳一烯酸。与饲喂1个月的相比,饲喂5个月后对照组、黄酥油组、黄酥油磷脂组和白酥油磷脂组UFA含量升高,SFA含量下降;白酥油组UFA含量下降,SFA含量升高。这说明长期饲喂牦牛酥油磷脂可使小鼠脂肪组织中不饱和脂肪酸含量升高。

3 结论

饲料中添加10%牦牛酥油会导致小鼠肥胖,显著升高TC、TG、LDL-C、HDL-C水平和血糖浓度,饲料中添加4%牦牛酥油磷脂对TC、TG、LDL-C、HDL-C水平和血糖浓度的影响也有类似规律,但牦牛酥油磷脂的影响相对较小。饲喂1个月后对照组与磷脂组TC、TG水平差异不显著,饲喂5个月后磷脂组TG水平有所下降,磷脂组与对照组之间TG水平差异不显著,但磷脂组TC水平显著高于对照组。从以上结果看酥油的摄入量应该控制在合理的水平。与饲喂1个月相比,饲喂5个月牦牛酥油磷脂可使小鼠脂肪组织中不饱和脂肪酸含量升高。与对照组相比,饲喂牦牛酥油和牦牛酥油磷脂可显著提高小鼠脂肪组织中支链脂肪酸含量。各组不饱和脂肪酸主要为油酸、亚油酸、棕榈油酸、二十二碳六烯酸(DHA)、花生四烯酸和二十碳一烯酸。饲喂5个月后白酥油磷脂组不饱和脂肪酸含量达71.89%。从HE染色和油红染色病理切片结果看,饲喂1个月各组基本无明显病理变化,但饲喂5个月后黄酥油组、白酥油组、黄酥油磷脂组、白酥油磷脂组可见不同程度的炎细胞浸润和脂质沉积。

参考文献:

- [1] NEUPANEY D, KIM J, ISHIOROSHI M, et al. Study on some functional and compositional properties of yak butter lipid[J]. *Anim Sci J*, 2015, 74(5):391-397.
- [2] 雷有娟, 孙万成, 罗毅皓. 牦牛酥油磷脂提取工艺研究及脂肪酸成分分析[J]. *中国乳品工业*, 2019, 47(9): 18-23.
- [3] 周小玲, 刘书杰, 崔占洪. 牦牛酥油与普通奶油中脂肪酸组成与含量的比较[J]. *中国饲料*, 2008(23): 21-22.
- [4] 孙美青, 马莺, 程金菊. 牦牛酥油理化性质研究[J]. *中国乳品工业*, 2016, 44(3):9-11.
- [5] 张晶晶, 陶亮, 张亚丽, 等. 不同品种酥油理化特性及脂肪酸的研究[J]. *中国乳品工业*, 2015, 43(4): 13-15.
- [6] DILZER A, PARK Y. Implication of conjugated linoleic acid (CLA) in human health [J]. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 2012, 52(6):488-513.
- [7] 董小英, 宾艳芳, 唐胜球. 共轭亚油酸的免疫调节机理及对猪免疫力调节的研究进展[J]. *广东饲料*, 2018, 27(10):39-42.
- [8] 王洪光, 薄其秀, 王竹文. 亚麻酸改善高血压老年患者血管内皮细胞损伤的作用机制[J]. *中国免疫学杂志*, 2016, 32(11):1678-1681.
- [9] 杨朝霞, 张丽, 李朝阳. 花生四烯酸的营养保健功能[J]. *食品与药品*, 2005, 7(1):69-70.
- [10] COTTIN S C, SANDERS T A, HALI W L. The differential effects of EPA and DHA on cardiovascular risk factors[J]. *Proc Nutr Soc*, 2011, 70:215-231.
- [11] 袁锦莹, 孙万成, 罗毅皓, 等. 牦牛酥油支链脂肪酸对人乳腺癌细胞抑制的转录组学分析[J]. *食品科学*, 2019, 40(9):203-208.
- [12] ZHANG H P, XUE J G, WANG J, et al. A survey on chemical and microbiological composition of kurut, naturally fermented yak milk from Qinghai in China[J]. *Food Control*, 2008, 19(6):578-586.
- [13] 王维亚. 乌骨鸡磷脂的提取、成分分析及活性研究[D]. 南昌:南昌大学, 2007.
- [14] 许艳萍. 大黄鱼鱼卵磷脂制备、性质及降血脂功能研究[D]. 福州:福建农林大学, 2016.
- [15] 张丽. 鲑鱼脑的磷脂提取及活性研究[D]. 辽宁 大连:大连海洋大学, 2013.
- [16] QUE X C, HUNG M Y, YEANG C, et al. Oxidized phospholipids are proinflammatory and proatherogenic in hypercholesterolaemic mice[J]. *Nature*, 2018, 554(14): 301-304.
- [17] 王颖, 李忠辉. 海参磷脂对阿尔兹海默病模型大鼠认知功能的影响[J]. *中国临床研究*, 2019, 32(7): 915-918.
- [18] 赵雪, 高峰, 辛建丽. 多烯磷脂酰胆碱对异氟烷所致肝损害患者肝功能的影响[J]. *中国药业*, 2017, 26(11):50-52.