

魏宗友, 王伟, 周丽雅, 等. 饲料中添加膨化亚麻籽和微藻对湖羊血清抗氧化指标和肌肉脂肪酸含量的影响 [J]. 畜牧与兽医, 2024, 56 (4): 24-28.

WEI Z Y, WANG W, ZHOU L Y, et al. Comparison of the effects of dietary extruded flaxseed and microalgae supplementation on serum antioxidant indices and fatty acid composition of Hu sheep [J]. Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2024, 56 (4): 24-28.

饲料中添加膨化亚麻籽和微藻对湖羊血清抗氧化指标和肌肉脂肪酸含量的影响

魏宗友¹, 王伟², 周丽雅³, 徐哲¹, 张阳阳², 陈为红⁴

(1. 太仓市农业农村科技服务中心, 江苏 太仓 215400;

2. 太仓市畜牧兽医站, 江苏 太仓 215400;

3. 苏州健雄职业技术学院, 江苏 太仓 215400;

4. 太仓市东林生态养殖专业合作社/江苏省企业研究生工作站, 江苏 太仓 215400)

摘要: 旨在了解饲料中添加膨化亚麻籽和微藻对湖羊血清抗氧化指标和肌肉脂肪酸含量的影响。选择体重相近的健康4月龄湖羊45只, 随机分为3组, 每组3个重复, 每个重复5只。对照组采用玉米-豆粕型基础饲料, 试验A组采用基础饲料+10%膨化亚麻籽, 试验B组采用基础饲料+5%膨化亚麻籽+5%微藻粉, 试验期为2个月。结果: 试验A组谷胱甘肽过氧化物酶活性较对照组显著下调28% ($P<0.05$); 与对照组相比, 试验A组和B组显著降低超氧化物歧化酶活性 ($P<0.05$), 显著增加过氧化氢和丙二醛含量 ($P<0.05$), 显著提高湖羊背最长肌中n-3多不饱和脂肪酸含量 ($P<0.05$), 显著降低n-6/n-3多不饱和脂肪酸比值 ($P<0.05$)。本试验结果表明, 添加亚麻籽和微藻粉各5%对羊肉品质影响效果最优。

关键词: 湖羊; 膨化亚麻籽; 微藻; 抗氧化; 脂肪酸

中图分类号: S816.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-5130(2024)04-0024-05

Comparison of the effects of dietary extruded flaxseed and microalgae supplementation on serum antioxidant indices and fatty acid composition of Hu sheep

WEI Zongyou¹, WANG Wei², ZHOU Liya³, XU Zhe¹, ZHANG Yangyang², CHEN Weihong⁴

(1. Taicang Agricultural and Rural Science & Technology Service Center, Taicang 215400, China;

2. Taicang Animal Husbandry and Veterinary Station, Taicang 215400, China;

3. Suzhou Chien-Shiung Institute of Technology, Taicang 215400, China;

4. Taicang Donglin Ecological Breeding Professional Cooperative/Jiangsu Enterprise Graduate Workstation, Taicang 215400, China)

Abstract: This experiment was to compare the effects of dietary extruded flaxseed and microalgae supplementation on serum antioxidant indices and fatty acid composition of Hu sheep in order to provide reference for raising the production level of this sheep breed in China. Forty-five healthy Hu sheep aged 4 months with similar body weight were selected and randomly divided into 3 groups with 3 replicates per group, and 5 sheep in each replicate. The sheep of the control group were fed with corn-soybean meal basal diet, and those of the two test groups were fed with basal diet supplemented with 10% flaxseed (Group A) and 5% flaxseed +5% microalgae (Group B), respectively. The experiment lasted for 2 months. The results showed as follows: Compared with the control group, the glutathione peroxidase activity in Group A decreased significantly by 28% ($P<0.05$). In Groups A and B, the activity of superoxide dismutase reduced significantly, the contents of hydrogen peroxide and malondialdehyde increased ($P<0.05$), the content of n-3 polyunsaturated fatty acids in the longissimus dorsi muscle

收稿日期: 2023-07-03; 修回日期: 2024-01-22

基金项目: 江苏现代农业产业技术体系建设专项 (JATS [2021] 141, JATS [2022] 145); 基于三螺旋理论的职业教育助推乡村振兴路径和机制研究项目 (B/2021/03/25)

第一作者: 魏宗友, 男, 博士, 产业教授, 正高级畜牧兽医师, 主要从事畜牧兽医技术与推广方面的研究, E-mail: 34102964@qq.com。

of Hu sheep increased, too ($P < 0.05$), but the ratio of $n-6/n-3$ ($P < 0.05$) decreased significantly. In conclusion, the supplementation of extruded flaxseed and microalgae in the diet significantly affected the antioxidant performance of Hu sheep serum and improved muscle $n-3$ PUFA content and reduced the ratio of $n-6/n-3$ PUFA. It is suggested that the mixed addition effect of flaxseed and microalgae in actual production is better, at the respective ratio of about 5%.

Keywords: Hu sheep; extruded flaxseed; microalgae; antioxidant; fatty acids

功能性脂肪酸是指对人体具备特殊营养价值或作用的多不饱和脂肪酸 (PUFA), 如 $n-3$ 系 PUFA。PUFA 可对诸多关键性的生理活性具有调控作用, 包括预防心血管疾病、调控机体脂质代谢、促进生长发育等^[1]。 $n-3$ 系列的 PUFA 和人类健康具有密切联系, 对多种慢性病具有防治作用, 包括心脑血管疾病、糖尿病、肥胖等^[2]。此系列的 PUFA 以 α -亚麻酸 (C18: 3 $n-3$, ALA), 二十碳五烯酸 (C20: 5 $n-3$, EPA) 和二十二碳六烯酸 (C22: 6 $n-3$, DHA) 为主。1994 年, 美国卫生部提出, 多食鱼肉制品尤其是 $n-3$ PUFA 含量高的鱼油能够改善必需脂肪酸的平衡。改善肉品的脂肪酸 (FA) 平衡有助于人类的营养保健。亚麻籽又称胡麻籽, 富含油脂、蛋白质和氨基酸等营养成分, 同时含有木酚素、黄酮和植物甾醇类等抗氧化物质^[3]。此类油料籽实的 ALA 含量极高。利用亚麻籽作为饲料原料生产富含 $n-3$ PUFA 的肉品已有很多报道, 但试验动物主要以鸡、牛^[4] 和山羊^[5-7] 为主。Hemant 等^[8] 研究发现, 亚麻籽所含 $n-3$ 系 PUFA (ALA、EPA 与 DHA 等) 可削弱动物机体肝脏与心脏的炎症。近几年, 动物营养研究开始涉足海洋资源。微藻是一种分布广泛且营养物质含量高、光合能力强的自养植物, 富含大量的细胞色素, 其中包括 β -胡萝卜素、叶黄素、虾青素等。微藻能合成多种拥有特殊生物活性的化合物, 还能提高动物的生长性能、增强机体免疫机能、改善畜产品品质、解决畜牧业的环境污染问题, 同时还可减轻食品与饲料以及燃料工业之间的竞争^[9], 在医药、畜禽饲料、食品与保健食品等方面广泛应用。陈秀丽等^[10] 研究发现, 饲料中添加裂殖壶菌粉能够增加蛋中 $n-3$ PUFA 和 DHA 含量, 降低 $n-6/n-3$ PUFA 比值。吴永保等^[11] 报道, 饲料中添加微藻和亚麻籽均可提高蛋黄中 $n-3$ PUFA 含量, 降低 $n-6$ PUFA 含量, 并降低 $n-6/n-3$ PUFA 比值, 可生产 $n-3$ PUFA 鸡蛋。但关于在饲料中添加膨化亚麻籽和微藻对湖羊血液抗氧化指标和肌肉脂肪酸组成的影响还未见报道, 本试验为此开展研究, 为采用调整饲料的方法生产富含 $n-3$ PUFA 的功能性羊肉提供理论依据。

1 材料与与方法

1.1 试验材料

膨化亚麻籽购自武汉山川生物科技有限公司; 微

藻采用裂殖壶藻粉, 发酵工艺, 购自挪亚圣诺太仓生物科技有限公司。

谷胱甘肽过氧化物酶 (GSH-Px) 检测试剂盒 (批号: 20221108), 超氧化物歧化酶 (SOD) 检测试剂盒 (批号: 20221106), 丙二醛 (MDA) 检测试剂盒 (批号: 20221108), 过氧化氢 (H_2O_2) 检测试剂盒 (批号: 20221108) 均购自南京建成生物工程研究所。

1.2 试验设计与日粮

试验在江苏现代肉羊产业技术体系太仓推广示范基地东林生态养殖专业合作社进行。选择 4 月龄健康湖羊 45 只, 体重 (18.60 ± 0.62) kg, 随机分为 3 组, 每组 3 个重复, 每个重复 5 只。对照组饲喂玉米-豆粕型基础日粮; 试验 A 组饲喂玉米-豆粕型基础日粮+10%膨化亚麻籽; 试验 B 组饲喂玉米-豆粕型基础日粮+5%膨化亚麻籽+5%微藻粉。基础日粮由精料补充料和粗饲料组成, 膨化亚麻籽和藻粉在精料补充料中添加。基础日粮配方和营养水平见表 1。

表 1 基础日粮组成及营养水平 (风干基础)

原料	含量/%	营养指标 ²⁾	水平
稻秸青贮	16.00	粗蛋白/%	11.74
花生秧	38.00	代谢能/(MJ·kg ⁻¹)	9.24
玉米	34.00	干物质/%	79.40
豆粕	9.00	中性洗涤纤维/%	31.69
小麦麸皮	1.50	酸性洗涤纤维/%	22.93
食盐	0.50	钙/%	0.86
预混料 ¹⁾	1.00	总磷/%	0.27

注: ¹⁾ 每 kg 预混料中含: VA 70 kU, VD₃ 15 kU, VE 130 U, VB₃ 190 mg, 铁 800 mg, 铜 50 mg, 锰 50 mg, 锌 1.5 g, 碘 1.5 mg, 硒 6.0 mg, 钴 0.30 mg; ²⁾ 代谢能为计算值, 其余为实测值。

每日定量饲喂基础日粮, 粗饲料自由采食, 自由饮水, 每日清理食槽, 打扫羊舍, 保持羊舍清洁卫生, 通风状况良好。常规饲养管理和免疫。

1.3 样品采集

样品采集前 1 d, 对试验羊进行半天禁食处理, 第 2 天早上空腹颈静脉采血 5 mL, 置于含有无抗凝剂成分的一次性真空采血管内。经过 120 min, 血液自然凝固, 3 000 r/min 离心 15 min, 吸取上层血清, 存放于 -20 °C 冰箱中待用。

待试验结束, 各组随机选取 6 只湖羊进行屠宰试验。立即对左侧胴体背最长肌取样, 通过磷酸盐缓冲液于 4 ℃ 下充分漂洗处理, 装袋, 编号, 液氮速冻, 于 -20 ℃ 冰箱冻存, 用以检测肌肉中脂肪酸的含量。

1.4 测定指标与方法

1.4.1 抗氧化指标

测定血清中 GSH-Px、SOD、MDA、H₂O₂ 含量, 相关操作参考试剂盒说明书, 检测机构为南京迈博昊成公司。

1.4.2 肌肉脂肪酸含量

委托有资质第三方公司浙江国正检测技术有限公司进行测定, 根据 GB 5009.124—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》, 在背最长肌样品解冻后, 提取肌肉脂肪酸, 经由气相色谱仪 (GC-2014C 型, 岛津) 测定肌肉内 24 类 FA 含量。

1.5 数据统计与分析

由 Excel 2013 完成数据库的构建, 数据统计由

SPSS 24.0 完成, 显著性分析所用方法为 One-way ANOVA (单因素方差分析), LSD 法开展组间多重对比, 试验数据以“平均数±标准误”表示, $P < 0.05$ 为差异显著。

2 结果与分析

2.1 饲料中添加膨化亚麻籽和微藻对湖羊血清抗氧化指标的影响

由表 2 可以看出, 饲料中添加膨化亚麻籽和微藻显著影响湖羊血清内 GSH-Px、SOD、H₂O₂ 和 MDA 指标。与对照组相比, 试验 A 组 GSH-Px 活性显著下调 28% ($P < 0.05$), 试验 B 组下调 18% ($P > 0.05$); 试验 A 组和 B 组 SOD 活性分别显著下调了 19% 和 20% ($P < 0.05$); H₂O₂ 含量分别显著增加了 44% 和 21% ($P < 0.05$); MDA 含量分别显著增加 79% 和 45% ($P < 0.05$)。

表 2 饲料中添加膨化亚麻籽和微藻对湖羊血清抗氧化指标的影响

指标	对照组	试验 A 组	试验 B 组
GSH-Px/ (U · mL ⁻¹)	377.88±30.02 ^a	272.74±32.26 ^b	308.64±25.59 ^{ab}
SOD/ (U · mL ⁻¹)	193.65±7.79 ^a	156.92±7.02 ^b	154.83±6.54 ^b
H ₂ O ₂ / (mmol · L ⁻¹)	109.32±6.67 ^c	157.79±6.90 ^a	132.34±5.40 ^b
MDA/ (nmol · mL ⁻¹)	3.48±0.39 ^c	6.22±0.33 ^a	5.05±0.18 ^b

注: 无字母或字母相同表示差异不显著 ($P > 0.05$), 不同表示差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

2.2 饲料中添加膨化亚麻籽和微藻对湖羊肌肉脂肪酸组成的影响

由表 3 可以看出, 饲料中添加膨化亚麻籽和微藻对湖羊背最长肌中 n-3 PUFA 组成产生较大差异。与对照组相比, 试验 A 组和 B 组湖羊背最长肌中 n-3 PUFA 含量显著提高, 分别提高 1.14、3.33 倍 ($P < 0.05$), 显著降低 n-6/n-3 PUFA 比值, 分别降低

48% 和 82% ($P < 0.05$); 在 ALA 含量上, 试验 A 组和 B 组分别上调了 116% ($P < 0.05$) 和 21% ($P < 0.05$); 试验 B 组 EPA 和 DHA 显著提高, 分别提高了 3.91、30.57 倍 ($P < 0.05$)。同时, 添加膨化亚麻籽和微藻对肌肉中饱和脂肪酸 (棕榈酸、十七烷酸和硬脂酸) 产生不同程度影响。

表 3 饲料中添加膨化亚麻籽和微藻对湖羊肌肉脂肪酸组成的影响

%

脂肪酸组成	对照组	试验 A 组	试验 B 组
辛酸 (C8: 0)	0.03±0.01	0.03±0.01	0.04±0.01
癸酸 (C10: 0)	0.16±0.01	0.17±0.01	0.21±0.03
月桂酸 (C12: 0)	0.21±0.02	0.23±0.03	0.18±0.02
豆蔻酸 (C14: 0)	2.84±0.17	3.16±0.14	3.18±0.25
十五碳酸 (C15: 0)	0.45±0.04	0.43±0.03	0.39±0.03
棕榈酸 (C16: 0)	22.85±0.85 ^b	24.17±0.42 ^b	30.30±0.95 ^a
十七烷酸 (C17: 0)	1.25±0.05 ^a	1.08±0.05 ^b	1.28±0.03 ^a
硬脂酸 (C18: 0)	21.38±1.34 ^a	20.13±1.14 ^a	15.77±0.36 ^b
花生酸 (C20: 0)	0.18±0.01	0.14±0.01	0.18±0.01

续表3

脂肪酸组成	对照组	试验 A 组	试验 B 组
山嵛酸 (C22: 0)	0.07±0.01	0.08±0.01	0.13±0.01
二十三碳酸 (C23: 0)	0.05±0.01	0.06±0.01	0.14±0.02
二十四碳酸 (C24: 0)	0.04±0.01	0.04±0.01	0.04±0.01
棕榈油酸 (C16: 1)	1.53±0.09	1.69±0.06	1.55±0.09
油酸 (C18: 1n9c)	36.82±0.52	34.68±0.82	34.52±1.89
二十碳一烯酸 (C20: 1n9)	0.08±0.01	0.06±0.01	0.10±0.01
芥酸 (C22: 1)	0.35±0.09	0.45±0.06	0.45±0.15
二十碳二烯酸 (C20: 2)	0.05±0.01	0.07±0.01	0.13±0.01
ALA (C18: 3n3)	0.63±0.05 ^b	1.36±0.09 ^a	0.76±0.05 ^b
EPA (C20: 5n3)	0.11±0.03 ^b	0.25±0.05 ^b	0.54±0.07 ^a
DHA (C22: 6n3)	0.07±0.01 ^b	0.11±0.03 ^b	2.21±0.22 ^a
γ-亚麻酸 (C18: 3n6)	0.14±0.03	0.14±0.01	0.11±0.01
亚油酸 (C18: 2n6c)	8.23±1.16	8.85±0.70	6.15±0.44
二十碳三烯酸 (C20: 3n6)	0.12±0.02	0.13±0.03	0.16±0.02
花生四烯酸 (C20: 4n6)	2.14±0.64	2.40±0.62	1.49±0.25
饱和脂肪酸 SFA	49.50±2.31	49.72±1.51	51.83±1.11
单不饱和脂肪酸 MUFA	38.78±0.61	36.88±0.83	36.62±1.69
多不饱和脂肪酸 PUFA	11.48±1.90	13.32±3.67	11.54±2.38
n-3 PUFA	0.81±0.09 ^c	1.73±0.16 ^b	3.51±0.74 ^a
n-6 PUFA	10.63±0.1.81	11.52±1.33	7.90±0.69
n-6/n-3	12.84±1.15 ^a	6.62±0.66 ^b	2.27±0.10 ^c

注: n-6 PUFA 包括 C18: 2n6c, C18: 3n6, C20: 3n6 和 C20: 4n6; n-3 PUFA 包括 C18: 3n3, C20: 5n3 和 C22: 6n3。

3 讨论

3.1 饲料中添加膨化亚麻籽和微藻对湖羊血清抗氧化指标的影响

在代谢过程中,动物机体可生成大量超氧阴离子自由基 ($O_2^{\cdot-}$),此类物质具强氧化性,可伤及机体组织细胞。SOD 在机体保持氧化和抗氧化平衡方面发挥着关键作用,可以清除 $O_2^{\cdot-}$,以此对组织细胞施以保护,防止其受损。GSH-Px 是广泛分布于动物体内的一类在过氧化物分解中发挥关键作用的酶,可特异地催化还原型谷胱甘肽 (GSH) 对氢过氧化物的还原反应。一般可通过 MDA 含量了解动物机体内脂质氧化状况,由此间接了解细胞受损状况。 H_2O_2 是活性氧化代谢期间产生的一类物质,对于诸多氧化应急反应皆起到重要调节作用。武晓红^[12] 研究发现,与对照组相比,肉鸡屠宰前长时间且高水平添加亚麻油可显著增加肝脏、胸肌和腿肌中 MDA 含量,主效应分析表明,与 2% 亚麻油组相比,4% 亚麻油组显著增加胸肌、腿肌和肝脏中 MDA 含量。Li 等^[13] 在公羊上研究指出,添加亚麻油可以增加 PUFA 代谢基因表

达水平,有利于公羊繁殖,但 C18: 3n3 在组织内会被大量氧化,甚至引起氧化应激,可能会对睾丸产生有害影响,降低精液质量。陈芳等^[14] 向鹌鹑饲料内掺加 10% 亚麻籽饼,能够大幅上调血清内 MDA 含量。赵丹阳等^[15] 研究表明,相比于对照组,添加膨化亚麻籽显著降低北京油鸡肌肉中 SOD 的活性,同时显著提高血清中 MDA 的含量。本试验发现,与对照组相比,添加 10% 膨化亚麻籽组湖羊血清中 GSH-Px 和 SOD 活性显著降低, H_2O_2 和 MDA 含量显著增加;添加 5% 膨化亚麻籽+5% 微藻组中湖羊血清 GSH-Px 和 SOD 活性不同程度降低, H_2O_2 和 MDA 含量均显著增加,但是添加 5% 膨化亚麻籽+5% 微藻组较 10% 膨化亚麻籽组有所缓解,这与大多数亚麻籽对于 n-3 PUFA 的研究结果相一致。产生这一现象的原因可能是由于在动物饲料中添加膨化亚麻籽后,显示湖羊体内 n-3 PUFA 沉积量提升,自由基攻击其不饱和键的几率更高,由此使得脂质过氧化反应增强,甚至引起氧化应激,因而导致脂质氧化的 MDA 和 H_2O_2 含量增加,进而改变动物的生理功能。添加微藻后有助于体内 n-3 PUFA 的沉积,同时缓解湖羊体

内脂质氧化,进而保护自身组织细胞免受损伤,防止其对生长性能产生负面影响。

3.2 饲料中添加膨化亚麻籽和微藻对湖羊肌肉脂肪酸组成的影响

湖羊在国家一级保护地方畜禽品种之列,属于稀有白色羔皮羊品种,其所具备的优良性能包括早熟、改良后产肉性能理想、四季发情每胎多羔、生长发育迅速、泌乳性能好等优点。羊肉内含几十种 FA,含油酸量最大,棕榈酸、硬脂酸、亚油酸、豆蔻酸、花生四烯酸、棕榈油酸和十七烷酸次之,上述 FA 含量皆在 1% 以上,其中多数为 PUFA。在含量 1% 以下的脂肪酸中, α -亚麻酸含量最高。日粮的脂肪酸组成直接影响其肌肉脂肪酸组成,李晨萱等^[16]研究表明,与添加大豆油相比,添加棕榈油、棉籽油或猪油显著增加肉鸡腿肌饱和脂肪酸含量,显著降低肉鸡胸肌和腿肌多不饱和脂肪酸含量。Wang 等^[17]研究发现,TMR 日粮缺乏 α -亚麻酸是引起其脂肪代谢和羊肉脂肪酸组成变化的主要原因之一。因此,通过补充富含 α -亚麻酸的亚麻油,对改善舍饲绒山羊羊肉脂肪酸组成具有重要的意义。但是,亚麻油的补充对瘤胃发酵、微生物区系、纤维降解和生产性能可能产生负面影响,这会降低其对动物产品脂肪酸组成的改善效果,并且在生产中的使用也受到了一定限制。

目前,各国及相关组织对 n-6/n-3 PUFA 比值的推荐值不尽相同,世界卫生组织(WHO)与联合国粮农组织(FAO)的推荐值为(5~10):1,加拿大推荐值为 6.25:1,中国营养学会推荐值为(4~6):1。Artemis^[18]研究发现,不同脂肪酸只有在适宜的 n-6/n-3 PUFA 范围内才能发挥有益机体健康的作用。魏永生等^[19]研究表明,当前,我国人民食用植物油主要有大豆油、花生油、菜籽油和玉米胚芽油,其在 FA 组成方面,n-6 PUFA 系列的亚油酸水平较高,可达脂肪酸总量的一半以上,从而导致 n-6/n-3 PUFA 比值严重超出中国营养学会推荐水平。羊肉作为膳食 FA 的一大来源,其 FA 构成的合理性极大有助于人类健康。本试验通过在湖羊饲料中添加膨化亚麻籽,将 n-6/n-3 PUFA 比值降至 WHO 与 FAO 的推荐范围;通过添加膨化亚麻籽+海藻粉组合方式,将 n-6/n-3 PUFA 比值降至远远低于中国营养学会推荐范围。

综上,饲料中适当添加亚麻籽与微藻,显著影响湖羊血清抗氧化活性,且可提高肌肉内 n-3 PUFA 水平,下调 n-6/n-3 PUFA 比例。建议生产实际中亚麻籽和微藻混合添加效果更优,各自比例 5% 为宜。

参考文献:

[1] 余文三. 多不饱和脂肪酸的研究概况 [J]. 国外医学: 卫生学

分册, 1998 (6): 359-362.

- [2] 蒋汉明, 张凤珍, 翟静, 等. ω -3 多不饱和脂肪酸与人类健康 [J]. 预防医学论坛, 2005 (1): 65-69.
- [3] 郝京京, 史海寿, 谢拉准, 等. 亚麻籽与亚麻籽饼粕的营养价值及其在畜禽饲料中的应用 [J]. 动物营养学报, 2020, 32 (9): 4059-4069.
- [4] 许蕾蕾. 亚麻籽对育肥牛生长性能及肉品质的影响 [D]. 郑州: 河南农业大学, 2012.
- [5] 李晓亚. 亚麻籽饲料饲喂时间对羔羊生长育肥性能和肉品质的影响 [D]. 兰州: 兰州大学, 2017.
- [6] 双金, 黎明, 敖力格日玛, 等. 亚麻籽对肉羊血清脂蛋白和脂肪代谢相关生化指标的影响 [J]. 动物营养学报, 2014, 26 (4): 918-929.
- [7] 张秋旭, 张润厚, 史晓雪. 添加不同形式亚麻油对肉羊生产性能、肉品质、脂肪酸含量及脂代谢相关酶基因 mRNA 表达量的影响 [J]. 畜牧兽医学报, 2018, 49 (9): 1928-1939.
- [8] HEMANT P, SUNIL K P, LEIGH C W, et al. Effects of ALA, EPA and DHA in high-carbohydrate, high-fat diet induced metabolic syndrome in rats [J]. J Nutr Biochem, 2013, 24 (6): 1041-1052.
- [9] 韦良开, 李瑞, 陈凤鸣, 等. 微藻的营养特性及其在畜牧业中应用的研究进展 [J]. 动物营养学报, 2019, 31 (3): 1044-1052.
- [10] 陈秀丽, 岳洪源, 李连彬, 等. 裂殖壶菌粉对蛋鸡生产性能、蛋品质、血清生化指标和蛋黄二十二碳六烯酸含量的影响 [J]. 动物营养学报, 2014, 26 (3): 701-709.
- [11] 吴永保, 杨凌云, 闫海洁, 等. 饲料中添加微藻和亚麻籽提高鸡蛋黄中 ω -3 多不饱和脂肪酸含量对比研究 [J]. 动物营养学报, 2015, 27 (10): 3188-3197.
- [12] 武晓红. 亚麻油对肉仔鸡肉品质和脂肪代谢的影响及调控 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012.
- [13] LI W, TANG D F, LI F D, et al. Supplementation with dietary linseed oil during peri-puberty stimulates steroidogenesis and testis development in rams [J]. Theriogenology, 2017, 102: 10-15.
- [14] 陈芳, 万霞, 赵娜, 等. 日粮中添加菜籽饼和亚麻籽饼对鹌鹑产蛋性能对鹌鹑产蛋性能、血清生化指标、蛋品质及蛋黄脂肪酸组成的影响 [J]. 中国家禽, 2019, 41 (9): 38-43.
- [15] 赵丹阳, 李香月, 姚婷彤, 等. 膨化亚麻籽对北京油鸡生长性能、屠宰性能、血浆生化指标、抗氧化能力和肌肉 n-3 多不饱和脂肪酸沉积量的影响 [J]. 动物营养学报, 2022, 34 (1): 274-284.
- [16] 李晨萱, 李品, 郭时惠, 等. 不同油脂对黄羽肉鸡生产性能、肉品质及肌肉脂肪酸组成的影响 [J]. 南京农业大学学报, 2023, 46 (6): 1125-1133.
- [17] WANG X, WU T, YAN S, et al. Influence of pasture or total mixed ration on fatty acid composition and expression of lipogenic genes of longissimus thoracis and subcutaneous adipose tissues in Albas White Cashmere Goats [J]. Ital J Anim Sci, 2019, 18 (1): 111-123.
- [18] ARTEMIS S. An increase in the omega-6/omega-3 fatty acid ratio increases the risk for obesity [J]. Nutrients, 2016, 8 (3): 1-17.
- [19] 魏永生, 郑敏燕, 耿薇, 等. 常用动、植物食用油中脂肪酸组成的分析 [J]. 食品科学, 2012, 33 (16): 188-193.