

摘要

本研究探讨了日粮中添加不同水平亚麻籽对羔羊生产性能、肉质、血液生化指标及背腰最长肌脂肪酸组成的影响。

选取 2 月龄健康萨福克♂×小尾寒羊♀F1 代 32 只随机分为 4 组, 每组 8 只。日粮为试验处理, 分别为含 0% (对照组)、5%、10% 和 15% 亚麻籽 (干物质基础) 的日粮, 各组蛋白及能量水平相同。

试验结果表明: 含有 5% 和 10% 亚麻籽的日粮提高了羔羊日增重, 与对照组相比, 5% 组提高了 22.5% ($P<0.05$), 添加量为 10% 时效果最好, 比对照组提高了 31.4% ($P<0.01$); 不同水平的亚麻籽添加量对采食量影响不显著 ($P>0.05$); 添加一定量的亚麻籽可以降低料重比, 其中与对照组相比, 5% 组下降了 14.50% ($P<0.05$), 10% 组下降了 26.83% ($P<0.01$); 15% 组没有显著提高羔羊各项生产性能 ($P>0.05$)。

试验各组腿大肌蛋白质含量在 19.83%~21.21% 之间 ($P>0.05$); 粗脂肪含量随着亚麻籽添加水平提高而增加, 其中 5%、10% 和 15% 组分别比对照组的提高了 36.34% ($P<0.05$)、85.15% ($P<0.01$) 和 122.02% ($P<0.01$); 肉样水分含量随着亚麻籽添加水平的提高而减少, 亚麻籽各组分别比对照组减少了 5.69% ($P<0.05$)、9.72% ($P<0.01$) 和 11.62% ($P<0.01$); 肉样灰分含量亦随着亚麻籽添加水平的提高而减少, 10% 组最低, 比对照组低 0.32% ($P<0.01$)。

日粮中添加亚麻籽增加了羔羊的胴体重、屠宰率和眼肌面积。在 10% 左右时达到最大值, 分别比对照组提高了 21.16% ($P<0.05$)、7.44% ($P<0.05$) 和 20.49% ($P<0.05$); 添加亚麻籽对羔羊胴体第 12 和第 13 肋骨间离背线 11cm 处脂肪厚度值 (GR) 无显著影响 ($P>0.05$)。

亚麻籽的添加对血清中总胆固醇、甘油三酯和游离脂肪酸的影响较小 ($P>0.05$); 血清脂肪酶活力随着亚麻籽添加量的升高而降低, 与对照组相比, 10% 组脂肪酶活力降低了 40.55% ($P<0.05$), 15% 组降低了 50.76% ($P<0.01$)。

亚麻籽的添加显著的提高了羔羊肉熟肉率和肌内脂肪含量, 5% 组、10% 组和 15% 组的熟肉率分别比对照组提高了 7.59% ($P<0.05$)、9.61% ($P<0.05$) 和 10.79% ($P<0.05$); 肌内脂肪含量分别提高了 45.66% ($P<0.05$)、101.29% ($P<0.05$) 和 147.91% ($P<0.05$); 亚麻籽的添加对 45min 和 24h 时肌肉 pH, 宰后第 1d、3d、5d 背腰最长肌的肉色亮度 (L^*)、红值 (a^*) 和蓝值 (b^*), 第 1d 至第 3d 的滴水损失影响均不显著 ($P>0.05$); 第 5d 对照组失水率最低, 低于 15% 组 13.29% ($P<0.05$); 随着亚麻籽添加水平的提高, 硫代巴比妥酸 (TBARS) 值在宰后第 1d 时有升高的趋势 ($P>0.05$); 第 3d 时, 5%、10% 和 15% 组比对照组提高了 45.45%、54.55% 和 63.64% ($P<0.05$); 第 6d 时, 5%、10% 和 15% 组比对照组提高了 44.78% ($P<0.05$)、47.76% ($P<0.05$) 和 74.63% ($P<0.01$)。随着亚麻籽添加量的增加, 肌小节片断化指数 (MFI) 在宰后第 1d、3d、5d 的数值均增加, 宰后第 1d, 5% 组和 10% 组高于对照组 31.06% 和 42.27% ($P<0.05$), 15% 组高于对照组 61.29% ($P<0.01$); 宰后第 3d, 与对照组 MFI 数值相比, 10% 组高于对照组 21.39% ($P<0.05$), 15% 组高于对照组 33.77% ($P<0.01$); 第 5d 15% 组高于对照组 24.38%, 差异极显著 ($P<0.01$)。

羔羊背腰最长肌中总脂肪酸的含量随亚麻籽添加水平的提高有所提高, 但是各组之间差异不显著 ($P>0.05$); 随着亚麻籽添加量的增加, 棕榈酸、棕榈油酸、十七碳酸、十七碳一烯酸和硬脂酸的含量下降, 各亚麻籽组与对照组相比差异极显著 ($P<0.01$); 随着亚麻籽添加量的增加,

油酸、亚油酸、共轭亚油酸 (CLA)、亚麻酸的含量增加,与对照组相比,添加 5%、10%和 15% 的亚麻籽亚油酸含量分别提高了 31.82% ($P<0.01$)、54.70% ($P<0.01$) 和 58.33% ($P<0.01$), CLA 含量分别提高了 68.00% ($P<0.01$)、132.00% ($P<0.01$) 和 140.00% ($P<0.01$), 亚麻酸含量分别提高了 250.94% ($P<0.01$)、339.62% ($P<0.01$) 和 360.38% ($P<0.01$); 本试验各组均未监测到 EPA 和 DHA。随着亚麻籽添加量的上升, SFA 的含量呈线性下降,与对照组相比,添加 5%、10%和 15% 的亚麻籽背腰最长肌中饱和脂肪酸的含量降低了 8.59% ($P<0.01$)、17.48% ($P<0.01$) 和 18.12% ($P<0.01$); MUFA 和 PUFA 的含量随着亚麻籽添加量的增加而增加,添加 5%、10%和 15% 的亚麻籽背腰最长肌中 PUFA 含量分别提高了 46.19% ($P<0.01$)、72.90% ($P<0.01$) 和 77.44% ($P<0.01$), n-3 PUFA 含量分别提高了 250.94% ($P<0.01$)、339.62% ($P<0.01$) 和 360.38% ($P<0.01$); 与对照组相比,添加 5%、10%和 15% 的亚麻籽羔羊背腰最长肌中 PUFA:SFA 分别提高了 59.97% ($P<0.01$)、109.53% ($P<0.01$) 和 116.84% ($P<0.01$), n-3:n-6 分别提高了 170.81% ($P<0.01$)、190.49% ($P<0.01$) 和 197.49% ($P<0.01$)。

综上所述,在日粮中添加 5%~10% 的亚麻籽(干物质基础),可以有效的改善羔羊的生产性能,提高羔羊日增重和屠宰率,减小生产中的料重比;改善了羔羊肉品质。日粮中添加 5%~10% 的亚麻籽对羔羊肌肉蛋白含量无影响,提高了肌肉中脂肪的含量,降低了水分的含量;日粮中添加亚麻籽提高了肌内脂的含量和肌肉的嫩度,但是根据滴水损失和 TBARS 值的数据可以看出,饲喂亚麻籽会在羔羊肌肉脂质氧化方面产生一定的负效应,降低了羔羊宰后肌肉脂质和肉色的稳定性,缩短了货架期,可能对肉的风味产生了一定的负面影响;日粮中添加亚麻籽优化了羔羊肌肉的脂肪酸组成,增加 PUFA 特别是 n-3PUFA 和 CLA 的含量,提高 PUFA:SFA 和 n-3:n-6 的比例。

关键词: 亚麻籽; 羔羊; 生产性能; 肌肉品质; 血液生化指标; 背腰最长肌; 脂肪酸组成

Effect of feeding different linseed levels on performance, blood biochemical parameters and meat quality of lambs

Author: Wu Yanan

Advisor: Professor Li Jianguo

Major: Animal Nutrition and Feed Science

Abstracts

To study the effects of feeding different levels of linseed on performance, meat quality, blood biochemical parameters, thirty-two F1 lambs (two months old) of Suffolk × Small-Tailed Han Sheep were allocated into four groups with eight replicates in each group. Lambs were fed the diet with 0% (control group), 5%, 10% or 15% linseed (DM basis). All the diets were designed to contain similar contents of crude protein and digestible energy.

The results showed that: 1). Proper level of linseed supplement could increase the daily weight gain of lambs and decrease the ratio of feed to weight gain, but high level had no significant effect on the items. Feeding linseed had no effect on dry matter intake (DMI) ($P>0.05$). The diet with 5% and 10% linseed increased the daily weight gain of lambs by 22.5% and 31.4%, compared with the control group. The ratio of feed to gain of diet with 5% and 10% linseed were decreased by 14.50% ($P<0.05$) and 26.83% ($P<0.01$), respectively. 2) Linseed supplement did not affect crude protein content in the leg muscle, but increased the fat content and decreased the water content ($P>0.05$). Compared with the control group(0%), the crude fat content was increased by 36.34% ($P<0.05$), 85.15% ($P<0.01$) and 122.02% ($P<0.01$); and the water contents were decreased by 5.69% ($P<0.05$), 9.72% ($P<0.01$) and 11.62% ($P<0.01$) respectively in the leg muscle of lambs fed diet with 5%, 10% or 15% linseed. 3) Diet containing linseed increased the carcass weight, slaughter rate and rib-eye area, especially for diet containing 10% linseed ($P<0.05$). Compared with 0% group, the carcass weight, slaughter rate and rib-eye area of lambs fed diet with 10% linseed were increased by 21.16%, 7.44% and 20.49% respectively. There was no significant differences of GR among groups ($P>0.05$). 4) The contents of total cholesterol, triglyceride and non-esterified fatty acid (NEFA) were similar among groups ($P>0.05$). feeding linseed decreased the lipase activity of blood, especially for diets with 15% linseed ($P<0.01$). Blood lipase activity of lambs were increased by 40.55% ($P<0.05$) and 50.76% ($P<0.01$) fed diet with 10% or 15% linseed, comparing with the control group. 5) Responses of pH values at 45min and 24h at 4°C storage ($P>0.05$) and meat color at d 1, d 3 and d 5 were not affected by diets. The cooking loss was decreased by 10.79% in group fed with diet containing 15% linseed ($P<0.05$) comparing with the control group. Fat content in meat were affected by diet ($P<0.01$). Compared with 0% group, the fat content in meat of lambs fed diets with 5%, 10% and 15% linseed were increased by

45.66%, 101.29% and 147.91% respectively. There were no significant differences of drip loss among groups from day1 to day3. In the 5th day, drip loss was the lowest in the control group ($P<0.05$). Compared with 0% group, drip loss fed diet containing 15% linseed was increased by 13.29%. In the 1st day, there was no significant difference in TBARS value among groups. In the 3rd day, TBARS value in the control group was significant lower than that fed diet containing 5%, 10% or 15% linseed ($P<0.05$). Compared with 0% group, TBARS value of muscle were increased 45.45%, 54.55% and 63.64%, with diet containing 5%, 10% and 15% linseed, separately. In the 6th day, TBARS value was increased by 74.63% in group with diet containing 15% linseed. From day1 to day5 during storage, Increasing linseed level in diet improved the amounts of MFI. At 1st day during storage, the amount of MFI in groups fed diets containing 5% and 10% linseed were separately increased 31.06% and 42.27% than that of the control group ($P<0.05$) and was increased 61.29% ($P<0.01$) in the group fed diet containing 15% linseed. The amounts of MFI were increased 21.39($P<0.05$) and 33.77%($P<0.01$) separately in the groups fed diet containing 10% and 15% linseed at d 3 during storage. And the amount of MFI was increased 24.38% in group fed diet containing 15% linseed at d 5 during storage ($P<0.01$).

6) Total fat acid content (TFA) had the tend to increase with increasing linseed intake ($P>0.05$). Feeding linseed decrease SFA contents($P<0.01$) and increased PUFA contents ($P<0.01$), especially n-3 PUFA that mainly as C18:3n-3 and CLA ($P<0.01$) in the *longissimus* muscle. Compared with the control group, CLA and C18:3n-3 of milk fat in the groups fed diet containing 5%, 10% and 15% linseed were increased 68.00%, 132.00%, 140.00% ($P<0.01$) and 250.94%, 339.62%, 360.38% ($P<0.01$) respectively. The rate of PUFA:SFA and n-3PUFA:n-6PUFA in groups fed diet containing 10% and 15% linseed were significantly increased by 125.22% and 133.07% ($P<0.01$) and increased by 170.81% and 190.49% ($P<0.01$) respectively. EPA and DHA were not detected in the muscle.

Above all, feeding diet containing 5% to 10% linseed could improve the performance, the ADG and slaughter rate, and decrease the ratio of Feed: Gain. Linseed could significant modify meat quality of lamb. The diet containing 5% to 15% linseed had no effect on the protein content of muscle and the meat color, but could increase fat content and improve the muscle tenderness. Linseed improved the fat acid profile especially increased the amounts of n-3PUFA and CLA, the ratio of PUFA: SFA and the ratio of n-6PUFA : n-3PUFA. But adding linseed in the diet of lambs showed some negative effects on muscle lipid oxidation.

Key words: linseed; lamb; performance; meat quality; blood biochemical parameters; longissimus muscle; fatty acids profile

目 录

└─┬─┐ 文摘

└─┬─┐ 英文文摘

└─┬─┐ 声明

└─┬─┐ 1 引言

└─┬─┐ └─┬─┐ 1.1 亚麻籽的生物学特性

└─┬─┐ └─┬─┐ 1.2 亚麻籽的营养价值

└─┬─┐ └─┬─┐ └─┬─┐ 1.2.1 亚麻籽的能量含量

└─┬─┐ └─┬─┐ └─┬─┐ 1.2.2 脂肪酸组成

└─┬─┐ └─┬─┐ └─┬─┐ 1.2.3 维生素和矿物质成分

└─┬─┐ └─┬─┐ └─┬─┐ 1.2.4 亚麻籽的毒性

└─┬─┐ └─┬─┐ 1.3 国内外亚麻籽对动物生产性能及畜产品影响的研究进展

└─┬─┐ └─┬─┐ └─┬─┐ 1.3.1 亚麻籽对产乳及乳品质的影响

└─┬─┐ └─┬─┐ └─┬─┐ 1.3.2 亚麻籽对产肉及肉品质的影响

└─┬─┐ 2 材料与方法

└─┬─┐ └─┬─┐ 2.1 试验动物

└─┬─┐ └─┬─┐ 2.2 试验设计

└─┬─┐ └─┬─┐ 2.3 日粮组成及营养水平

└─┬─┐ └─┬─┐ 2.4 试验材料

└─┬─┐ └─┬─┐ 2.5 试验方法及测试指标

└─┬─┐ └─┬─┐ └─┬─┐ 2.5.1 饲养试验

└─┬─┐ └─┬─┐ └─┬─┐ 2.5.2 肉常规营养成分测定

└─┬─┐ └─┬─┐ └─┬─┐ 2.5.3 血液生化指标的测定

└─┬─┐ └─┬─┐ └─┬─┐ 2.5.4 屠宰试验

└─┬─┐ └─┬─┐ └─┬─┐ 2.5.5 脂肪酸组成及含量

└─┬─┐ └─┬─┐ 2.6 数据分析

└─┬─┐ 3 试验结果

└─┬─┐ └─┬─┐ 3.1 不同亚麻籽水平对羔羊生产性能的影响

└─┬─┐ └─┬─┐ 3.2 不同亚麻籽水平对羔羊肉样常规成分的影响

└─┬─┐ └─┬─┐ 3.3 不同亚麻籽水平对羔羊产肉能力的影响

└─┬─┐ └─┬─┐ 3.4 不同亚麻籽水平对羔羊血清脂质相关指标的影响

└─┬─┐ └─┬─┐ 3.5 不同亚麻籽水平对羔羊肉品质的影响

└─┬─┐ └─┬─┐ 3.6 不同亚麻籽水平对羔羊背腰最长肌脂肪酸组成的影响

└─┬─┐ 4 分析讨论

└─┬─┐ └─┬─┐ 4.1 不同亚麻籽水平对羔羊生产性能的影响

└─┬─┐ └─┬─┐ └─┬─┐ 4.1.1 不同亚麻籽水平对羔羊日增重的影响

└─┬─┐ └─┬─┐ └─┬─┐ 4.1.2 不同亚麻籽水平对羔羊干物质采食量的影响

└─┬─┐ └─┬─┐ └─┬─┐ 4.1.3 不同亚麻籽水平对羔羊料重比的影响

└─┬─┐ └─┬─┐ 4.2 不同亚麻籽水平对羔羊肉样常规成分的影响

└─┬─┐ └─┬─┐ 4.3 不同亚麻籽水平对羔羊产肉能力的影响

└─┬─┐ └─┬─┐ 4.4 不同亚麻籽水平对羔羊血清脂质相关指标的影响

└─┬─┐ └─┬─┐ 4.5 不同亚麻籽水平对羔羊肉品质的影响

└─┬─┐ └─┬─┐ 4.6 不同亚麻籽水平对羔羊背腰最长肌脂肪酸的影响

- 结论
- 有待解决的问题
- 参考文献
- 附录
- 迄今为止发表论文如下：
- 作者简介
- 致谢

独创性声明

本人声明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得 河北农业大学 或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示谢意。

学位论文作者签名：武雅楠 签字日期：2007 年 6 月 10 日

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解 河北农业大学 有关保留、使用学位论文的规定，有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅。本人授权 河北农业大学 可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文。

保密的学位论文在解密后适用本授权书)

学位论文作者签名：武雅楠

导师签名：李世国

签字日期：2007 年 6 月 10 日

签字日期：2007 年 6 月 10 日

学位论文作者毕业后去向：石家庄市园林局

工作单位：石家庄市园林局

通讯地址：石家庄市园林局

电话：13503115475

邮编：050000

1 引言

随着社会的发展,人民生活水平的提高,人们的食品结构发生了根本性的变化,动物性食品在人们膳食中的比例越来越大,肉类以其良好的适口性、氨基酸平衡、高品质蛋白质、矿物质和微量元素、血铁以及维生素的良好来源等方面在人类食品中占有很大优势,是人类重要的营养来源。绵羊肉蛋白含量 12.6%~15.2%,高于猪肉;脂肪含量 6.6%~13.1%,低于猪肉。山羊肉蛋白含量 20.65%,脂肪含量 4.3%,是高蛋白,低脂肪的健康食品^[1]。特别是山羊肉中胆固醇含量(每 100g 脂肪含胆固醇 29mg)在各类肉中最低^[2],更符合人们对健康饮食的需求。

羔羊肉在我国消费潜力巨大,它以膻味轻、精肉多、脂肪少、鲜嫩多汁、易于消化等特点深受消费者青睐^[3]。这使人们对羔羊肉的营养品质要求也越来越高。羔羊产肉力及肉质受品种、性别、年龄、饲粮类型、营养水平、饲喂方式等多种因素的影响。饲粮中精料与粗料的比例及饲粮营养成分的浓度,对舍饲育羔羊产肉力和肉品质起着决定作用。

现在,人们的消费观念已逐渐转移到食品的营养品质上来,食品的高质安全已成为目前这一领域研究的热门话题。利用畜产品来改善人们的饮食健康已经成为动物科学研究中一个很重要的领域。目前很多研究把焦点都放在如何通过动物日粮中添加某种植物油来改善畜产品的营养价值(Bas and Morand-Fehr, 2000)^[4]。

1.1 亚麻籽的生物学特性

亚麻俗称胡麻,在我国已有几百年的栽培历史,是华北和西北地区重要的油料作物和纤维作物之一。传统上亚麻籽被压榨成亚麻油应用于工业,榨油后的副产物亚麻饼常在农家日粮中作为蛋白质补充料使用,在养殖业中多用来饲喂反刍家畜。

亚麻籽中含有各种脂肪酸,特别是多不饱和脂肪酸(PUFA)含量较高,其中亚油酸和亚麻酸,可降低血液胆固醇和血脂,预防心血管疾病^[5-9];另外 PUFA 在清除人体过氧化物,增强免疫力,预防糖尿病以及减少发病率等方面有着十分重要的意义(Connors, 2000; 李璇等, 1998)^[10, 11]。

Connors (2000)指出,亚麻籽中有很多营养物质对于人类的健康具有潜在利益^[10]。亚麻籽中包含大约 20%的 α -亚麻酸(ALA),ALA是一种必须脂肪酸,是合成二十碳五烯酸(EPA)的前体物质。EPA不但是合成各种类花生酸(在免疫反应中起着重要作用)的前体物质,还可以进一步合成二十二碳四烯酸(DHA),DHA是维持细胞膜结构完整性及大脑和眼部健康所必需的n-3脂肪酸(Connors, 2000)^[10]。亚麻籽还是木质素前体的主要来源,可由瘤胃微生物转化为哺乳动物的植物性雌激素。植物性雌激素被认为在替代荷尔蒙及癌症的预防上有潜在的功效(Harris and Haggerty, 1993)^[12]。另外,亚麻籽还含有合成共轭亚油酸(CLA)的多种前体物质。共轭亚油酸(CLA)是一组具有天然活性的、含有共轭双键、位置和空间构型不同的十八碳二烯酸同分异构体的混合物,其生理功能强大,在降低癌症发生率、抗糖尿病、抑制脂肪沉积、防止动脉硬化、降低胆固醇、改善骨组织代谢并提高骨质钙化、促进生长等方面均有着重要作用(Banni等, 2003; Grinari 和 Bauman, 1999)^[13, 14]。CLA还可以起到改善反刍动物的营养物质分配和脂肪代谢并减少体脂沉积等作用。

亚麻籽因富含亚麻酸、油酸、亚油酸等生理活性物质,近年来国内外许多研究者已经将其用于动物饲料中来提高畜产品的营养价值,尤其是增加畜产品中 PUFA 的含量。

1.2 亚麻籽的营养价值

亚麻籽中富含亚麻油、蛋白质、木质素、可溶性纤维、矿物质及维生素等营养成分^[15-17],但也含有一些抗营养因子。过去,人们往往把亚麻油作为工业油,而把提油后富含蛋白质等营养成分的部分作为饲料,绝大部分作为肥料或废料。

1.2.1 亚麻籽的能量含量

亚麻籽是优良的植物蛋白饲料,但是会因品种、产地、榨油方法及工艺不同而有所改变(Daun 等, 2003),其粗蛋白含量差异很大^[18]。一般来说,亚麻籽包含 41% 的油质, 20% 蛋白和 28% 纤维,其中蛋白含量范围从 18.8% 到 24.4% 不等(Daun 和 Prybylski, 2000),可消化能在 10.45~12.54 MJ/kg 左右^[19]。

表 1. 不同植物油籽养分含量(干物质基础)
Table 1. Nutrient content of selected oilseeds (DM basis)

	亚麻 ^a	大豆 ^a	向日葵 ^{ac}	棉籽 ^b
干物质 DM (%)	94	90	94	91
维持净能 NEm(Mcal/kg)	2.82	2.11	3.12	2.38
增重净能 NEg(Mcal/kg)	1.96	1.47	2.40	1.67
粗蛋白 CP (%)	22.8	41.7	17.9	23.0
脂肪 Lipid (%) ^d	35.0	18.8	41.0	17.5
酸性洗涤纤维 ADF (%)	8	10.0	39.0	40.0
钙 Ca(%)	0.26	0.27	0.18	0.16
磷 P(%)	0.56	0.63	0.56	0.62

a 选自 Alternative Feeds for Ruminants, Lardy and Anderson, 1999 (except lipid)^[20].

b NRC, 1996^[21].

c 摘自向日葵

d 油质百分比选自 McDonald, 1994 (除大豆和棉籽, 选自 NRC, 1996)^[22]

亚麻籽中必需氨基酸的成分相当理想,其粗蛋白含量类似于谷物中的含量。与其它油籽比较,能量成分在大豆和葵花籽之间,粗蛋白含量与葵花籽和棉籽相近(表 1),而在氨基酸组成上与大豆类似(表 2)。亚麻籽中不可消化的部分仍然含有相当大量的能量。亚麻籽中能量利用率较低的原因可能是亚麻籽的体积较小而种皮较厚、种子中存在胶质或是存在生肌葡萄糖苷的缘故。

表 2. 不同植物油籽氨基酸组成 (g/100g 蛋白质)
Table 2. Amino acid composition of select oilseeds

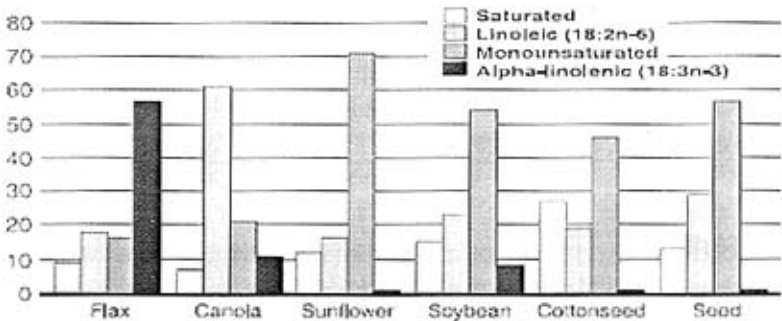
	亚麻 ^a	大豆 ^b	向日葵 ^b
精氨酸	9.2	7.32	8.18
胱氨酸	1.1	1.50	1.77
组氨酸	2.2	2.77	2.60
异亮氨酸	4.0	4.56	4.09
亮氨酸	5.8	7.81	6.41
赖氨酸	4.0	6.29	3.56
蛋氨酸	1.5	1.44	2.29
苯丙氨酸	4.6	5.26	4.62
苏氨酸	3.6	3.96	3.72
色氨酸	1.8	1.26	1.19
缬氨酸	4.6	4.64	4.95

a 选自 Oomah 和 Mazza, 1993^[23]

b 选自 NRC, 2001^[24]

1.2.2 脂肪酸组成

亚麻籽是 α -亚麻酸 (ALA) 的丰富来源, 与大豆、棉籽、玉米和葵花籽相反, 它的 n-3 PUFA 含量很高而 n-6 多不饱和亚油酸含量较低, 亚麻籽中 n-3 脂肪酸含量占 PUFA 的含 55% 以上, 4 倍于大豆中的含量。另外, 亚麻籽 SFA 的含量要低于大豆、棉籽和玉米 (图 1)。邹月利等 (2005) 分析确定, 亚麻籽中脂肪酸成分为亚油酸 (3.86%)、油酸 (9.58%)、亚麻酸 (19.34%)^[25]。



选自 Flax Council of Canada, 1997^[26] 和 Nutrient Requirements of Swine, 10th revised^[27]

图 1. 不同油籽脂肪酸组成
Figure 1. Fatty acid composition of flax and oather common oilseeds

1.2.3 维生素和矿物质成分

表 3 列出了亚麻籽粉、豆粉和葵花籽粉的维生素成分含量。

表 3. 亚麻籽粉、大豆粉和葵花籽粉中维生素成分含量 (mg/kg)^a
Table 3. Vitamin content of linseed meal, soybean meal and sunflower meal, mg/kg as fed

	亚麻	大豆	向日葵
生物素	0.41	0.26	1.45
胆碱	1512	2731	3150
叶酸	1.30	1.37	1.14
烟酸	33	22	220
泛酸	14.7	15.0	24.0
核黄素	2.9	3.1	3.6
硫胺	7.5	3.2	3.5
维生素 B6	6.0	6.4	NG
维生素 E	2.0	2.3	9.1
β -胡萝卜素	0.2	0.2	0.0

a 选自 Nutrient Requirements of Swine (NRC, 1998)^[27].
NG = Not Given

亚麻籽在矿物质成分中与棉籽类似，但是亚麻籽中钾含量非常低，而镁含量则高于大豆和棉籽（表 4）；另外，亚麻籽中铜、锰、铁、锌、钼的含量与鱼粉没有明显差异，而硒含量显著低于鱼粉。

表 4. 不同油籽矿物质成分含量（干物质基础）
Table 4. Mineral content of selected oilseeds (DM basis)

	亚麻 ^a	棉籽 ^b	大豆 ^b
钙, %	0.24	0.16	0.27
镁, %	0.43	0.35	0.27
磷, %	0.62	0.62	0.65
钾, %	0.83	1.22	2.01
铜, mg/kg	10	10	20
铁, mg/kg	50	160	180
锰, mg/kg	30	10	40
钠, mg/kg	270	300	400
锌, mg/kg	40	40	60

a 选自 Flax Council of Canada, 1997^[28]
b NRC, 1996^[28]

1.2.4 亚麻籽的毒性

亚麻籽及其饼粕中含有生氰糖苷和抗维生素 B6 等抗营养成分。生氰糖苷的毒性是由于 β -糖苷酶的作用而释放呼吸抑制剂氰化氢 (HCN) 的结果。氢氰酸含量的高低受品种、种子成熟程度、种子含油量及榨油方法等因素的影响较大。油用亚麻籽、完全成熟的种子、浸提热榨的亚麻饼含氢氰酸较低。饲喂过多或长期饲喂亚麻籽及饼粕可能会影响反刍动物生长性能。人们做了许多的尝试去除亚麻籽粉中的生氰化合物。常用的亚麻籽去毒方法有水煮法、温热处理法、酸处理-湿热处理法和干热处理法^[29]。VB6 拮抗因子的毒性可通过添加维生素 B6 得到抑制。

1.3 国内外亚麻籽对动物生产性能及畜产品影响的研究进展

亚麻籽中蛋白质和能量的含量都较高，并且在与其它原料合用时还能显著提高动物饲料的总体养分含量。但是，迄今为止，亚麻籽在饲料中的应用主要并非受其养分含量的推动，而是由于其油脂中脂肪酸成分的推动。

亚麻籽含油量较高(35%; McDonald, 1994)^[30], 是家畜日粮中很好的脂肪来源。传统上脂肪在家畜日粮中被用来增加能量浓度、减少污染、降低饲料成本并提高质粒化质量等(Byers 和 Schelling, 1988)。由于脂肪会阻碍瘤胃发酵作用, 反刍动物日粮中脂肪浓度应控制在 5% 左右(Byers 和 Schelling, 1988)^[31], 因此, 日粮中添加亚麻籽应控制在干物质基础量的 12%~14%。另外, 由于亚麻籽较高的蛋白质含量, 在作为蛋白质来源的同时, 应考虑添加到日粮中亚麻脂肪成分对蛋白数量的影响。

1.3.1 亚麻籽对产乳及乳品质的影响

Ward 等(2002)报道在泌乳奶牛日粮中添加了 8% 的亚麻籽对于奶产量没有影响^[32]; Kennelly 和 Khorasani(1992)通过添加 0%、5%、10% 和 15% 的亚麻籽证明亚麻籽对于奶牛的采食量和产奶量没有影响^[33]。

已有很多研究均表明, 随着日粮中亚麻籽含量的提高, 乳中 ALA 的含量显著上升(Ward 等, 2002; Goodridge 等, 2001; Petit 等, 2001)^[32, 34, 35]; Kennelly 和 Khorasani(1992)证明使用亚麻籽后奶中的不饱和脂肪酸含量提高, 然而 C18:1 含量的增加大于 C18:3 含量的增加; 短链 SFA 的含量有显著的下降, 这在一定程度上可能是由于瘤胃中乙酸和丁酸的产量降低的缘故, 因为日粮中的油对酸的产生具有抑制作用; 试验同时表明, 随着亚麻籽添加量的提高, 乳中的蛋白含量呈下降趋势, 这与 Ward 等(2002)报道相一致^[33, 34]。

有研究表明, 通过饲喂包含 50% 草料和 50% 精料且富含亚油酸的脂肪、油质和油籽的全混合日粮, 对增加奶牛乳脂 CLA 浓度非常有效(Whitlock 等, 2003; Ward 等, 2003; Dhiman 等, 2000)^[36-38]; 而饲喂富含亚麻酸的亚麻籽或油酸的油菜籽等同样可以达到提高乳脂中 CLA 的目的(Dhiman 等, 2000; Whitlock 等, 2002; Loo 等, 2002a)^[38-40]。

另外, 增加反刍动物对 PUFA 的吸收有益于提高牛奶的天然品质(Chilliard 等, 2000)^[41], 调节组织合成中 20 碳烯-11 酸和前列腺素等的代谢活力。

给反刍动物饲喂亚麻籽的问题在于脂肪酸的生物氢化作用。亚麻籽的加工程度愈高, 则脂肪酸氢化作用的程度就愈高。脂肪酸氢化会导致奶中亚麻酸的沉积率降低而油酸的沉积率增高。某些氢化脂肪酸呈“反转”状态, 无论其在奶中的浓度有多低, 哪怕还不到总脂肪含量的 1%, 也是有害于人体健康的。在奶牛日粮中有效应用亚麻籽的唯一途径是要保护其中的油不受瘤胃中微生物作用的影响, 从而使奶中能够沉积较多的 n-3 脂肪酸而排除氢化作用。

饲喂亚麻籽的奶牛所产的乳, 其化学性质不同于常规乳。这种乳比较容易氧化, 因而一般来说必须用抗氧化剂比如维生素 E 对其加以稳定。奶牛从饲料中吸收并转移到乳中的生育酚量非常低, 仅 5%, 以至于在奶牛日粮中添加维生素可能并不合算。由这种乳制取的奶油也会因为其中含有较高水平的长链 PUFA 而比较软。品味小组对常规乳和采食亚麻籽的奶牛所产的乳进行品味, 其结果并无不同。

1.3.2 亚麻籽对产肉及肉品质的影响

很多研究证明, 日粮中添加亚麻籽对于畜禽肉的生产性能及肉品质有着积极作用。

有研究表明, 饲喂亚麻籽可提高白肉和瘦肉中的 n-3 脂肪酸水平以及亚油酸的水平, 而脂肪

中油酸的比例降低。Ajuyah 等(1991)通过肉鸡试验证明添加亚麻籽可以降低肉鸡胴体脂肪,同时提高肉鸡体重^[42]。Ajuyah 等(1993)进一步证明添加亚麻籽可以提高鸡肉中 PUFA 特别是 ALA 的水平^[43]。

Romans 等(1995a, 1995b)报道,饲料中添加亚麻籽对于提高阉猪的日增重(ADG)、活体重以及瘦肉率影响不显著^[44, 45]。Kouba 等(2003)研究证明,日粮中添加 6% 的亚麻籽对于生长猪的 ADG 和胴体组成没有影响;但是显著提高了肥猪肌肉中 ALA 和 EPA 的含量^[46]。Enser 等(2000)研究报道,在日粮中添加亚麻籽,增加了肌肉中 PUFA 的浓度,其中 C18:3 增加了 56%, EPA 增加了 100%, DHA 增加了 35%^[47]。

在日粮中添加富含 n-3PUFA 的饲料是提高反刍动物肌肉中 PUFA 含量的一个重要方法,很多研究证明在肉牛日粮中添加亚麻籽可以有效增加皮下脂肪和肌肉中 PUFA n-3 的含量(Choi 等, 2000; Lorenz 等, 2002; Scollan 等, 2001)^[48-50]。可以看出,日粮中 PUFA 的组成对于畜产品肌肉中 PUFA 的组成有很大的关系。Scollan 等(2001a)报道,饲喂富含 C18:3 的亚麻籽不但可以提高肌肉中 C18:3 n-3PUFA 的含量,同时也提高了 EPA 的含量,有效地改善了 PUFA n-3:n-6 的比例,但是对于改善 P:S 作用不明显^[51]。饲喂亚麻籽可以提高肉牛肌肉中亚油酸的浓度并显著增加 EPA 的含量,其原因可能是因为饲料中富含合成 EPA 的前体 α -亚麻酸。

Cooper 等(2004)试验证明,饲喂未经保护的富含 α -亚麻酸的油料作物对于提高绵羊肌肉内 PUFA 的含量效果不明显;但是在饲料中添加保护过的亚麻籽和海藻的混合饲料,对于提高绵羊肌肉内 PUFA 水平以及 EPA 和 DHA 的含量有着显著的作用^[52]。根据现在在肉牛试验中已取得成果来看,现在最大的一个问题是植物油的利用率,应当通过对饲料中 PUFA 进行必要的保护,以防止它们在瘤胃中被过多的生物氢化作用所降解。最简单而又经济的一种方式就是饲喂整粒油籽(Oprzadek. J 和 Oprzadek. A, 2003)^[53]。

肌肉脂质的脂肪酸组成对肉的风味有很大影响,因为脂质降解的产物比如醛等,在蒸炒过程中会参与肉风味的形成。饲喂鱼油而获得含有较高长链 C-20 和 C-22 PUFA 水平的肉在风味中会产生一些不良气味。但是,在日粮中添加亚麻籽,对于肉产品却无不良影响,无论是肉的颜色还是口感都非常好,同时还能获得较高浓度的 α -亚麻酸和中等水平的 C-20 和 C-22 PUFA。

可以看出,亚麻籽作为 PUFA 的一个很好来源对于畜禽的生产性能、畜产品的营养价值特别是对于肌肉中 PUFA 的组成有很大的关系。

本试验通过向日粮中添加不同水平亚麻籽重点研究:不同亚麻籽水平对羔羊生产性能的影响;不同亚麻籽水平对羔羊肉样常规成分的影响;不同亚麻籽水平对羔羊产肉能力的影响;不同亚麻籽水平对羔羊血清脂质相关指标的影响;不同亚麻籽水平对羔羊肉品质的影响;不同亚麻籽水平对羔羊背腰最长肌脂肪酸组成的影响。希望通过本试验的研究能够为提高羔羊生产性能,改善羊肉品质提供依据。

2 材料与方法

2.1 试验动物

于2006年3月20日至6月5日在唐县富华农牧业发展有限公司下属的羊场进行试验。选用试验所在羊场发育正常、体况良好、健康无病的萨福克♂×小尾寒羊♀的F1代32只（2月龄±7d），随机分成4组，每组8只。

2.2 试验设计

试验采用单因素完全随机区组设计，日粮为试验因素，日粮中亚麻籽的添加水平分别为0%（对照组）、5%、10%和15%（占日粮干物质（DM）百分含量），试验设计见表5。预试期10d，试验期为60d。

表5 试验设计方案

Table 5. Design of the experiment

处理组	I	II	III	IV
添加量（DM %）	0	5	10	15

2.3 日粮组成及营养水平

根据实地情况、能量及蛋白的平衡等因素组配补添料。试验所用的饲料为基础日粮+不同水平处理后的亚麻籽。将饲料原料的干物质、粗蛋白质、粗脂肪、粗灰分、Ca和P测出后，参照NRC（1985）^[54]羔羊育肥营养需要量设计试验饲粮配方。日粮精粗比为60:40，粗料为玉米秸青贮粉碎饲喂，维生素微量元素预混合饲料供给量（占精料基础）为1%，各组日粮的原料组成及营养水平见表6。

表 6 试验日粮组成和营养水平（干物质基础）
Table 6. Composition and nutrient levels of diets (DM basis)

原料 (%)	I (0%)	II (5%)	III(10%)	IV(15%)
青贮	40.0	40.0	40.0	40.0
玉米	33.0	32.0	30.9	29.8
豆粕	17.2	14.0	10.8	7.6
麸皮	7.4	6.6	5.9	5.2
亚麻籽	0.0	5.0	10.0	15.0
磷酸氢钙	0.3	0.3	0.3	0.3
石粉	0.6	0.6	0.6	0.6
食盐	0.9	0.9	0.9	0.9
预混料 ¹	0.6	0.6	0.6	0.6
合计	100.0	100.0	100.0	100.0
营 消化能 (KJ/kg)	14. 31	14. 41	14. 50	14. 60
养 粗蛋白 (%)	16. 70	16. 70	16. 70	16. 70
水 钙 (%)	5. 41	5. 40	5. 39	5. 38
平 磷 (%)	2. 50	2. 49	2. 47	2. 46

¹ 预混料: 磷 20mg/kg、铁 2000mg/kg、铜 400mg/kg、锰 50mg/kg、锌 1000mg/kg、硒 6mg/kg、钴 6mg/kg、VA130000IU、VE2000IU
Premix content: I 20mg/kg, Fe 2000mg/kg, Cu 400mg/kg, Mn 50mg/kg, Zn 1000mg/kg, Se 6mg/kg, Co 6mg/kg, VA130000IU, VE2000IU

2.4 试验材料

亚麻籽采购于河北省张家口良友油脂食品有限公司, 是坝上地区所产优质亚麻籽。购得原料经过 80℃ 高温焙炒去毒处理。

2.5 试验方法及测试指标

2.5.1 饲养试验

2.5.1.1 试羊的饲养管理

试验开始前, 用 3%NaOH 溶液消毒羊舍。对试验羊编号称重, 注射羊痘疫苗、羊三联四防苗、口蹄疫疫苗, 皮下注射伊维菌素 (10ml/只) 并灌服丙硫苯咪唑驱除羔羊体内外寄生虫。逐步减少放牧时间, 试喂基础饲料并逐渐增加至饲喂量, 预饲期正式开始, 继续饲喂基础料。预试期结束后连续两天早晨空腹称重并分组 ($P>0.05$)。正式期内, 羔羊自由饮水和运动, 每天早、中、晚 3 次饲喂, 早、晚 2 次精料和粗料混合饲喂, 中午喂粗料。每两周一次, 定期用过氧乙酸喷洒羊舍走道、食槽、水槽及羊栏。每天清理水槽, 打扫羊舍。

2.5.1.2 生产性能测定

体重以预试期末体重为始重, 以后每隔 20d 为一阶段, 连续 2d 于晨饲前空腹称重, 结束试验时, 连续两天称重。各试验阶段末期 5d, 每天记录每组的投料量和剩料量。

2.5.2 肉常规营养成分测定

2.5.2.1 水分 GB5009.3-85 直接干燥法测定

2.5.2.2 粗蛋白 GB5009.5-85 凯氏定氮法测定

2.5.2.3 粗脂肪 GB5009.6-85 索氏脂肪抽提法测定

2.5.2.4 灰分 GB5009.4-85 灼烧重量法测定

2.5.3 血液生化指标的测定:

2.5.3.1 血样的采集

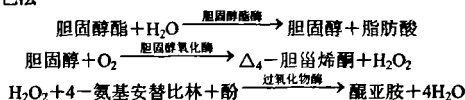
饲养试验结束前一天,清晨空腹于颈静脉穿刺采血 20ml,收集于塑料离心试管(事先用无离子水处理),并在试管架上倾斜静置 30min 凝血,将凝血管置于离心机中,3500r/min 离心 15min 分离血清,用尖嘴吸管吸取上层血清将其转移到 1.5ml 的 Ependorf 管中,放入-20℃冰箱中保存,用于血液指标的测定。分析指标包括总胆固醇含量、甘油三酯含量、游离脂肪酸含量、脂肪酶活力。

2.5.3.2 血液指标的测定与方法:

①总胆固醇含量的测定:

采用保定长城临床试剂公司血清总胆固醇测定试剂盒

测定原理:酶比色法



亚醌胺在波长 500nm 处产生的颜色强度与总胆固醇的含量成正比,通过与同样处理的标准比较,即可计算出血清中总胆固醇的含量。

步骤:依试剂盒说明书操作

计算公式:

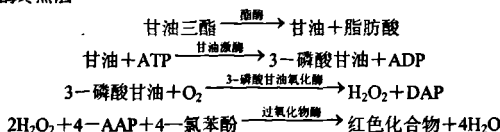
$$\text{胆固醇浓度 (mg/100ml)} = \frac{\text{样本管吸光度}}{\text{标准管吸光度}} \times 200$$

测定仪器:SP-2102UV (756) 型紫外可见分光光度计(上海光谱仪器有限公司生产),电热恒温水浴锅。

②甘油三酯含量的测定

采用保定长城临床试剂公司血清总胆固醇测定试剂盒

测定原理:酶终点法



红色化合物在波长 500nm 处有最大吸收,其产生的颜色强度与血清中甘油三酯的含量成正

比，通过与同样处理的标准比较计算出标本中甘油三酯的含量。

步骤：依试剂盒说明书操作

计算公式：

$$\text{甘油三酯浓度 (ng/100ml)} = \frac{\text{样本管吸光度}}{\text{标准管吸光度}} \times 200$$

测定仪器：SP-2102UV（756）型紫外可见分光光度计（上海光谱仪器有限公司生产），电热恒温水浴锅。

③游离脂肪酸含量的测定

采用南京建成公司游离脂肪酸测试盒

测定原理：游离脂肪酸能与铜离子结合形成脂肪酸的铜盐而溶于氯仿中，其含量与游离脂肪酸含量成正比。用铜试剂测定其中铜离子的含量，即可推算出游离脂肪酸的含量。

步骤：依试剂盒说明书操作

计算公式：

$$\text{血清游离脂肪酸含量 (}\mu\text{mol/L)} = \frac{\text{测定管吸光度} - \text{空白管吸光度}}{\text{标准管吸光度} - \text{空白管吸光度}} \times 1000$$

测定仪器：SP-2102UV（756）型紫外可见分光光度计（上海光谱仪器有限公司生产），电热恒温水浴锅，离心机，硬膜外麻醉针。

④脂肪酶活力的测定

采用南京建成公司脂肪酶测试盒

测定原理：甘油三酯和水制成的乳剂，因其胶束对入射光的吸收及散射而具有乳浊性状。胶束中的甘油三酯脂肪酶（Lipase: LPS）作用下发生水解，使胶束分裂，散射光或浊度因而减低。减低的速率与脂肪酶活力有关。

步骤：依试剂盒说明书操作

计算公式：

$$\text{血清 LPS 活力 (U/L)} = \frac{\text{测定管吸光度 A1} - \text{测定管吸光度 A2}}{\text{标准管吸光度 A3}} \times 3632$$

2.5.4 屠宰试验

2.5.4.1 试样的采集与制备

试验结束时，从各组分别选期末活重接近组平均值的 2 只羔羊，禁食 24h、禁水 2h 后，在上午内屠宰完毕。羔羊屠宰过程中，记录 pH、眼肌面积、GR 值，取背腰最长肌和腿大肌立刻送到实验室贮存 2℃冰箱中熟化保存。

2.5.4.2 产肉力指标的测定与方法

①宰前活重：羔羊空腹 24h 后临宰前的体重。

②胴体重：屠宰放血后，剥去毛皮、去头、去内脏及前肢膝关节和后肢趾关节以下部分后，整个躯体（包括肾脏及其周围脂肪）静置 30min 的重量。

③屠宰率：胴体重与羊屠宰前活重之比，用百分率表示。

④眼肌面积：测量倒数第1与第2肋骨之间脊椎上眼肌（背最长肌）的横切面积，因为它与产肉量呈高度正相关。一般用硫酸绘图纸描绘出眼肌横切面的轮廓。

可用下面公式估计：眼肌面积(cm^2)=眼肌高度×眼肌宽度×0.7

⑤GR 值：在第12与第13肋骨之间，距背脊中线11cm处的组织厚度，作为代表胴体脂肪含量的标志。

2.5.4.3 肉质指标的测定与方法

①熟肉率：用腰大肌代表样本，取一侧腰大肌中段约100g，于宰杀后12h内进行测定。剥离肌外膜所附着的脂肪后，用感量0.0001g的天平称重(W1)，将样品置于铝锅的蒸屉上用沸水在2000W的电炉上蒸煮45min，取出后冷却30~45min或调挂于室内无风阴凉处30min后，称重(W2)。

计算公式：熟肉率= $W2 \div W1 \times 100\%$

②肌内脂：取眼肌中段最后肋与第一、二腰椎间核心部分。将宰后新鲜肉样剁成碎末，称取10克左右置于冷冻真空干燥机中脱水至恒重，装袋保存备用。称取冷冻干燥后的肉样按照索氏抽提法(GB5009.6-85)测定干样的脂肪含量，即将肉样进行乙醚浸泡过夜，80℃抽提6~8h，回收物烘2h后称量。

③pH：分别测量肌肉45min、24h的肌肉pH。使用pH计测定。

④肉色：采用TC-P II G全自动色差计测定胸肌和腿肌的L*（亮度）、a（红值）和b（蓝值）。以标准白板作为标准，测肉板放射法，同一肉样至少测两点，求平均值。其中：

L*：表示亮度，L*=100为白，L*=0为暗。L*值越大，色泽越白。

a：a>0表示红色程度，a<0表示绿色程度。

b：b>0表示黄色程度，b<0表示蓝色程度。

⑤滴水损失：于屠宰当天，准确称取100g左右羊肉(W1)，吊挂在塑料袋中在2℃冰箱内进行熟化，于熟化的不同时间分别称取样品重量(W2)，计算羊肉的滴水损失。

计算公式：滴水损失= $(W1-W2)/W1 \times 100\%$

⑥硫代巴比妥酸反应物质(TBARS)的测定：

采用南京建成公司丙二醛(MDA)测试盒。

纵向切割羊肉，制成厚1.5cm、面积为 $5 \times 5\text{cm}^2$ 的样品，然后将这些样品吊挂在塑料袋中，置于2℃冰箱中熟化，尽量不要让羊肉样品与塑料袋壁接触，于熟化24h后使用MDA试剂盒测定TBARS值。

MDA试剂盒测定原理：过氧化脂质降解产物中的MDA可与硫代巴比妥酸(TBA)缩合，形成红色产物，在532nm处有最大吸收峰。因底物为TBA所以此法称TBA法。

步骤：依试剂盒说明书操作

测定所需仪器设备：SP-2102UV(756)型紫外可见分光光度计（上海光谱仪器有限公司生产），电热恒温水浴锅，离心机，微量移液器。

计算公式：肉样中MDA含量($\text{nmol}/\text{mgProt}$)=(测定管吸光度-测定空白管吸光度)/(标准管吸光度-标准空白管吸光度)×标准品浓度($10\text{nmol}/\text{mL}$)÷蛋白含量(mgProt/mL)。

⑦肌原纤维片断化指数(MFI)：测定方法根据Culler, Parrish, Smith and Cross (1978)的方法^[55]，按照Hopkins et al (2000)的方法进行测定^[56]。

匀质:将处于冷冻状态的肉样置冰箱冷藏一夜使其解冻,打开塑料包装,放置小烧杯中,用手术剪将肉剪碎后,加冷的 MFI 提取液[0.1MKCl, 1mMNaN₃, 20mMK₃PO₄ (7mMKH₂PO₄, 18mMK₂HPO₄), 1mM MgCl₂, 1mM EGTA, pH7.0, 0~4℃存放]40ml, 倒入食品加工机中 0~4℃ 16000rpm 匀质 30s。

冷冻离心:将匀质液倒入离心管中,放入冷冻离心机中 10000rpm 冷冻离心 15min(0℃~4℃),上清液倒入小烧杯中;沉淀物再加 40ml 冷的 MFI 提取液(0℃~4℃),缓慢搅匀后再次冷冻离心(10000rpm, 15min),弃掉上清液。

过滤:冷冻离心后的最终沉淀物加 15ml 冷的 MFI 提取液,充分搅匀,20 目金属过滤网过滤至小烧杯中,除去结缔组织以及大的肉块。

注:以上各步操作都在冷库中进行。

肌原纤维提取液蛋白浓度测定:取 0.25ml 肌原纤维提取液加入玻璃试管中,再加 0.75ml MFI 提取液,加缩二脲试剂 3ml 搅匀,黑暗处放置 30min,然后用紫外可见分光光度计 540nm 测吸光度。30min 内测量牛血清白蛋白(bovine serum albumin, BSA)各浓度溶液的吸光度,以它为标准作蛋白浓度(Y)与 540nm 吸光度(X)之间的回归方程,将测得的提取液吸光度值代入回归方程,计算出肌纤维提取液的蛋白浓度。然后用 MFI 提取液调节肌原纤维提取液的蛋白浓度为 0.5mg/ml,配置 10ml 0.5mg/ml 蛋白浓度的提取液用于吸光度的测量,计算 MFI。注意每个样的蛋白浓度重复测量两次,利用两次测量结果的平均值调节肌原纤维蛋白浓度。

吸光度的测定:取 0.5mg/ml 的提取液 1ml 放入玻璃试管中,再加 3ml MFI 提取液充分搅匀后,立即在 751 紫外可见分光光度计 540nm 下测吸光度值(A),利用公式 $MFI=A \times 200$ 计算出 MFI 值。注意每个样重复测量吸光度两次。

2.5.5 脂肪酸组成及含量

采用气相色谱法测定背腰最长肌中脂肪酸的组成和含量,方法依据 GB/T 9695.2-1988。

2.5.5.1 肉样脂肪酸分析前处理:

脂肪酸甲酯化:

①取 3g 组织加入氯仿:甲醇(2:1)的混合溶液 15ml,再加入 3ml 生理盐水,匀浆。

②离心(2000rpm, 5min),提出氯仿层,旋转蒸发,除去氯仿。加入 1mol/L KOH-乙醇溶液 15ml,水浴加热回流 1h,皂化后再次旋转蒸发,去除乙醇,生成的肥皂溶于 20ml 水中。加入乙醚 20ml,用分液漏斗提取不皂化物 2 次。

③在水层中加入稀盐酸,调整 pH 为 2.0,使脂肪酸从肥皂中游离。用 20ml 石油醚提取脂肪酸 2 次。然后用无水硫酸钠干燥,保存。使用前旋转蒸发去除石油醚。

④取上述脂肪酸混合物放入 100ml 烧瓶中,加入 30ml 的 4%HCl-甲醇,60℃水浴 30~60min,反应至冷后,加入 15ml 正己烷和 5ml 水,混匀,离心,水洗至中性,将正己烷抽出,无水硫酸钠干燥,并通氮气。去除适量的溶剂,浓缩到用 GC 测定时能得到较高的灵敏度为止。密封冷冻保存,留待进行气相色谱分析。

2.5.5.2 气相色谱分析条件及测定

气相色谱分析条件:岛津 GC-2010 气相色谱仪;色谱柱:CBP 石英毛细管柱,50m×0.25

mm×0.25 μm; 检测器为 FID; 进样口温度 250℃; 检测器温度 250℃;

色谱柱升温程序: 120℃保留 5min, 以 3℃/min 升至 200℃, 保留 130min; 载气为 N₂, 流速为 30ml/min。

2.6 数据分析

数据采用 SPSS11.5 统计软件进行单因素方差分析, 差异显著者采用 LSD 法进行多重比较, 试验数据用平均值±标准差表示。

3 试验结果

3.1 不同亚麻籽水平对羔羊生产性能的影响

从表 7 看出, 试验中所选用的羔羊在预试期的始重、末重(正试期始重)及此期的日增重差异均不显著 ($P>0.05$), 说明各组羔羊同质性较好。正试期内, 日粮中不同亚麻籽水平对羔羊干物质采食量影响不显著 ($P>0.05$), 添加量在 5% 左右时, 与对照组相比采食量有上升的趋势 ($P>0.05$), 增加了 54.63g/d。添加量在 10% 时, 采食量低于对照组 ($P>0.05$), 减少了 43.74g/d, 添加 15% 组干物质采食量水平最低。日粮中添加不同水平的亚麻籽, 添加量在 5% 和 10% 时提高了羔羊试验期的日增重, 与对照组相比, 5% 组提高了 22.47%, 差异显著 ($P<0.05$), 添加量为 10% 时效果最好, 比对照组提高了 31.41%, 差异极显著 ($P<0.01$); 添加一定量的亚麻籽可以降低料重比, 与对照组相比, 5% 组下降了 14.50% ($P<0.05$), 10% 组下降了 26.83% ($P<0.01$); 15% 组没有显著提高羔羊各项生产性能 ($P>0.05$)。可见亚麻籽添加量在 5%~10% 时效果最好, 本实验 10% 亚麻籽组的日增重和料重比均为最佳, 分别为 251.04g 和 4.39。

表 7 不同亚麻籽水平对羔羊生产性能的影响
Table 7 Effects of feeding different levels of linseed on performance of lambs

组别	预试期		正试期			干物质采食量 (g/d)	料重比
	始重 (kg)	日增重 (g)	始重 (kg)	末重 (kg)	日增重 (g)		
I (0%)	16.28±	187.5±	17.59±	29.18±	191.04±	1145.32±88.32	6.00±
	1.28	16.09	1.24	2.69 ^b	25.54 ^{ab}		0.46 ^A
II (5%)	16.26±	194.64±	17.63±	31.66±	233.96±	1199.95±83.08	5.13±
	1.07	22.83	1.14	2.88 ^{ab}	32.10 ^a		0.36 ^{BCa}
III (10%)	16.31±	194.64±	17.67±	32.73±	251.04±	1101.58±	4.39±
	0.96	45.13	1.36	3.38 ^a	41.60 ^{ab}		0.58 ^{Cb}
IV (15%)	16.40±	196.43±	17.66±	29.34±	192.71±	1096.90±61.43	5.69±
	1.33	33.93	1.17	2.68 ^b	27.96 ^{ab}		0.32 ^{AB}

注: 同列前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 ($P<0.05$), 无标表示差异不显著 ($P>0.05$)

Different letters in the same column indicate significant differences: uppercase letters $P<0.01$; lower case letters $P<0.05$; none $P>0.05$

3.2 不同亚麻籽水平对羔羊肉样常规成分的影响

各组肉羊常规成分测定结果见表 8。从表 8 可以看出,日粮中添加不同水平亚麻籽,各试验组腿大肌肉样蛋白质含量在 19.83%~21.21%之间且各组差异不显著 ($P>0.05$);肉样粗脂肪随着亚麻籽添加水平提高而增加,粗脂肪含量以 15%组最高,含量达到 16.24~17.24%,与对照组相比,5%、10%和 15%组分别提高了 36.34%、85.15%和 122.02%,其中 10%和 15%组与 0%相比差异极显著 ($P<0.01$);肉样水分含量随着亚麻籽添加水平的提高而减少,对照组水分含量最高,含量达到 69.78~70.48%,亚麻籽各组分别比对照组减少了 5.59%、9.72%和 11.62%,其中 10%和 15%组与对照组相比差异极显著 ($P<0.01$);肉样灰分含量亦随着亚麻籽添加水平的提高而减少,10%组最低,低于对照组 23.19% ($P<0.01$)。

表 8 不同亚麻籽水平对羔羊肉样常规成分的影响
Table 8. Effects of feeding different levels of linseed on muscle contents of lambs

组别	水分 (%)	粗蛋白 (%)	粗脂肪 (%)	灰分 (%)
I (0%)	70.13 ± 0.35 ^{Aa}	19.83 ± 0.88	7.54 ± 0.56 ^{Bd}	1.38 ± 0.01 ^{Aa}
II (5%)	66.21 ± 1.00 ^{ACb}	21.21 ± 1.62	10.28 ± 0.51 ^{Bc}	1.26 ± 0.05 ^{ab}
III (10%)	63.31 ± 0.50 ^{BCc}	20.71 ± 0.66	13.96 ± 1.23 ^{Ab}	1.06 ± 0.06 ^{Bc}
IV (15%)	61.98 ± 1.37 ^{Bc}	19.21 ± 0.96	16.74 ± 0.50 ^{Aa}	1.12 ± 0.08 ^{bc}

注: 同列肩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 ($P<0.05$), 无肩标表示差异不显著 ($P>0.05$)
Different letters in the same column indicate significant differences: uppercase letters $P<0.01$; lower case letters $P<0.05$; none $P>0.05$

由此表明,亚麻籽添加量的不同水平对肌肉组织中粗蛋白含量的影响不大,但从表 8 可以看到,添加亚麻籽(干物质含量)在 5%~10%时有提高肌肉中粗蛋白含量的趋势;由于亚麻籽属于油料作物,油脂和能量含量均较高,随着添加量的增加提高了肌肉中粗脂肪的含量,从而相应减少了肌肉中水分的含量。

3.3 不同亚麻籽水平对羔羊产肉能力的影响

对于羔羊产肉能力,当亚麻籽添加量在 5%~10%时,增加了羔羊的胴体重、屠宰率和眼肌面积,在 10%左右时达到最大值,分别比对照组提高了 21.16%、7.44%和 20.49%,与对照组比较差异均显著 ($P<0.05$);

各试验组羔羊产肉能力见表 9。本试验结果表明,经过 10 周的饲喂,日粮中含有不同水平的亚麻籽对羔羊的宰前活重产生显著影响,其中 5%组和 10%组胴体重分别达到 14.78kg 和 15.63kg,高于对照组 14.57%和 21.16% ($P<0.05$);宰前活重和屠宰率均为对照组最低,10%组屠宰率最高,达到 48.37%,高于对照组 7.44% ($P<0.05$);眼肌面积 5%组和 10%组分别为 15.40cm^2 和 15.70cm^2 ,高于对照组 18.19%和 20.49% ($P<0.05$),IV 组与其它各组之间差异不显著 ($P>0.05$);添加不同水平的亚麻籽对于羔羊胴体第 11 和第 12 肋骨间离背线 11cm 处的脂肪的厚度值 (GR) 影响不显著 ($P>0.05$),数值范围在 11mm~15mm 之内,均属于中等膘肥。

综上,当亚麻籽添加量在 5%~10%时提高了羔羊的产肉能力;对比各组羔羊可以看出,各组 GR 值虽然差异不显著,但随着亚麻籽添加量的提高而提高,这与 GR 值可以反应胴体脂肪含量相吻合。

表 9 不同亚麻籽水平对羔羊产肉能力得影响
Table 9. Effects of feeding different levels of linseed on carcass characteristics of lambs

组别	宰前活重 (kg)	胴体重 (kg)	屠宰率 (%)	眼肌面积 (cm^2)	GR 值 (mm)
I (0%)	28.65 ± 0.35^b	12.90 ± 0.42^c	45.02 ± 0.93^b	13.03 ± 0.95^b	12.85 ± 0.53
II (5%)	31.80 ± 1.98^{ab}	14.78 ± 0.46^{ab}	46.51 ± 1.45^{ab}	15.40 ± 0.68^a	13.56 ± 0.12
III (10%)	32.3 ± 0.85^a	15.63 ± 0.46^a	48.37 ± 0.15^a	15.70 ± 0.32^a	14.12 ± 0.80
IV (15%)	28.75 ± 1.34^{ab}	13.20 ± 1.06^{bc}	45.87 ± 1.55^{ab}	13.98 ± 0.57^{ab}	14.23 ± 0.69

注:同列肩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 ($P<0.05$),无肩标表示差异不显著 ($P>0.05$)
Different letters in the same column indicate significant differences: uppercase letters $P<0.01$; lower case letters $P<0.05$; none $P>0.05$

3.4 不同亚麻籽水平对羔羊血清脂质相关指标的影响

各试验组羔羊血清指标见表 10。可以看出,日粮中添加不同水平的亚麻籽,对血清中总胆固醇、甘油三酯和游离脂肪酸的影响不大,与对照组相比差异不显著 ($P>0.05$);血清中脂肪酶活力随着亚麻籽添加量的升高而降低,与对照组相比,10%组脂肪酶活力降低了 40.55% ($P<0.05$),15%组降低了 50.76% ($P<0.01$)。

可见,日粮中添加亚麻籽对于各组间总胆固醇、甘油三酯和游离脂肪酸的影响很小 ($P>0.05$);但是显著影响了脂肪酶活力,它随着亚麻籽添加水平的上升而下降,这与亚麻籽的营养成分尤其是脂肪酸组成有一定关系。

表 10 不同亚麻籽水平对羔羊血清中总胆固醇、甘油三酯、游离脂肪酸的含量以及脂肪酶的活力的影响
Table 10. Effects of feeding different levels of linseed on total cholesterol, triglyceride non-esterified fatty acid and blood lipase activity of lambs

组别	总胆固醇 (mg/dL)	甘油三酯 (mg/dL)	游离脂肪酸 (μ mol/L)	脂肪酶活力 (U/L)
I (0%)	38.99 $\pm$ 2.68	36.85 $\pm$ 5.41	88.97 $\pm$ 9.81	272.69 $\pm$ 57.85 ^{Ab}
II (5%)	39.79 $\pm$ 2.70	38.44 $\pm$ 6.56	93.08 $\pm$ 7.47	184.99 $\pm$ 46.54 ^{ab}
III (10%)	41.42 $\pm$ 4.44	40.44 $\pm$ 5.17	99.10 $\pm$ 7.86	162.12 $\pm$ 57.42 ^a
IV (15%)	41.82 $\pm$ 5.79	42.40 $\pm$ 2.39	100.42 $\pm$ 8.01	134.26 $\pm$ 30.18 ^{Ba}

注: 同列肩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 ($P<0.05$), 无肩标表示差异不显著 ($P>0.05$)
Different letters in the same column indicate significant differences: uppercase letters $P<0.01$; lower case letters $P<0.05$; none $P>0.05$

3.5 不同亚麻籽水平对羔羊肉品质的影响

从表 11 可以看出, 添加不同水平亚麻籽对羔羊肉熟肉率有一定影响, 15%组熟肉率最高达到 59.15%, 10%组次之 58.52%, 对照组最低, 与对照组相比, 5%组、10%和 15%组熟肉率分别提高了 7.59%、9.61%和 10.79%, 差异均显著 ($P<0.05$); 肌内脂各组之间均呈现极显著的差异性 ($P<0.01$), 与对照组相比, 5%组、10%和 15%组分别提高了 45.66%、101.29%和 147.91%; 添加不同水平的亚麻籽对 45min 和 24h 时肌肉 pH 差异不显著 ($P>0.05$), 各组 pH 在 45min 和 24h 时数值均在正常范围内, 随着亚麻籽添加量的增加, pH 呈下降的趋势。

从表 12 可以看出, 在宰后第 1d、3d、5d 背腰最长肌的肉色亮度 L^* 、红值 a^* 和蓝值 b^* 的影响均不显著 ($P>0.05$)。

从表 13 可以看出, 添加不同水平亚麻籽后, 肌小节片断化指数 (MFI) 在宰后第 1d、3d、5d 的数值均随着亚麻籽添加量的增加而增加, 宰后第 1d, 5%组和 10%组高于对照组 31.06%和 42.27% ($P<0.05$), 15%组高于对照组 61.29% ($P<0.01$); 宰后第 3d, 与对照组 MFI 数值相比, 10%组高于对照组 21.39% ($P<0.05$), 15%组高于对照组 33.77% ($P<0.01$); 第 5d 15%组高于对照组 24.38%, 差异极显著 ($P<0.01$)。滴水损失第 1d 至第 3d 各组差异不显著 ($P>0.05$); 第 5d 对照组失水率最低, 15%组比对照组高 13.29% ($P<0.05$); 硫代巴比妥酸 (TBARS) 值在宰后第 1d 时各组差异均不显著 ($P>0.05$), 但随着亚麻籽添加水平的增高有上升的趋势; 第 3d 对照组 TBARS 值比其它各组分别低了 45.45%、54.55%和 63.64% ($P<0.05$); 第 6d 对照组 TBARS 值低于 15%组 74.63% ($P<0.01$), 低于 5%组和 10%组分别为 44.78%和 47.76%, 差异显著 ($P<0.05$)。

表 11 不同亚麻籽水平对羔羊肌肉熟肉率、肌内脂以及 pH 的影响
Table 11. Effects of feeding different levels of linseed on cooking loss, fat content in meat and pH of lambs

组别	熟肉率 (%)	肌内脂 (%)	pH	
			45min	24h
I (0%)	53.39±1.91 ^{Bb}	6.22±0.39 ^D	6.47±0.06	5.67±0.08
II (5%)	57.44±1.09 ^a	9.06±0.12 ^C	6.35±0.11	5.65±0.06
III (10%)	58.52±0.89 ^a	12.52±1.17 ^B	6.30±0.06	5.59±0.06
IV (15%)	59.15±1.68 ^{Aa}	15.42±0.67 ^A	6.28±0.10	5.56±0.04

注: 同列肩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 ($P<0.05$), 无肩标表示差异不显著 ($P>0.05$)
Different letters in the same column indicate significant differences: uppercase letters $P<0.01$; lower case letters $P<0.05$; none $P>0.05$

表 12 各试验组羔羊肌肉不同熟化时间的肉色
Table 12. Effects of feeding different levels of linseed on meat color of lambs

组别		肉色			
		屠宰当天	宰后 1d	宰后 3d	宰后 5d
I (0%)	L*	49.94±1.87	48.42±1.59	46.26±0.88	44.96±0.12
	a*	19.87±0.29	15.92±0.87	14.55±0.60	12.20±0.51
	b*	8.24±1.29	7.73±1.53	7.29±1.33	7.11±0.76
II (5%)	L*	49.17±0.50	47.92±1.17	46.91±1.51	45.71±1.85
	a*	21.79±1.48	17.60±2.18	16.04±1.17	13.85±1.10
	b*	9.77±0.84	8.69±1.14	8.21±1.00	7.13±1.26
III (10%)	L*	47.51±0.75	46.20±0.68	46.03±0.17	45.40±0.11
	a*	22.08±1.27	19.66±1.85	16.89±0.91	13.88±0.13
	b*	10.09±0.82	9.38±0.86	8.93±0.79	8.51±0.77
IV (15%)	L*	47.03±0.79	45.89±1.05	45.97±0.52	45.15±0.02
	a*	22.35±0.38	20.35±1.73	15.54±0.64	13.43±0.06
	b*	10.78±1.35	9.33±0.98	8.75±1.29	7.72±1.68

注：同列肩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)，无肩标表示差异不显著 (P>0.05)

Different letters in the same column indicate significant differences: uppercase letters P<0.01; lower case letters P<0.05; none P>0.05

表 13 各试验组羔羊肌肉不同熟化时间的滴水损失、TBARS 以及 MFI
Table 13. Effects of feeding different levels of linseed on drip loss, TBARS and MFI of lambs

组别	滴水损失 (%)			TBARS (nmol/ingprot)			MFI		
	Day1	Day3	Day5	Day1	Day3	Day6	Day1	Day3	Day5
I (0%)	0.74±0.06	1.86±0.08	4.29±0.06 ^b	0.23±0.03	0.33±0.04 ^b	0.67±0.06 ^{Bb}	24.98±2.35 ^{Bc}	36.93±2.38 ^{Bb}	42.82±2.53 ^{Bb}
II (5%)	0.72±0.05	1.83±0.07	4.55±0.19 ^{ab}	0.26±0.03	0.48±0.04 ^a	0.97±0.12 ^a	32.74±3.45 ^b	43.75±3.08 ^{ab}	47.52±2.31 ^b
III (10%)	0.66±0.03	1.83±0.05	4.68±0.16 ^{ab}	0.27±0.05	0.51±0.06 ^a	0.99±0.03 ^a	35.54±2.53 ^{ab}	44.83±2.35 ^a	48.07±1.56 ^{ab}
IV (15%)	0.65±0.02	1.86±0.04	4.86±0.16 ^a	0.28±0.02	0.54±0.06 ^a	1.17±0.10 ^{Aa}	40.29±1.88 ^{Aa}	49.40±1.90 ^{Aa}	53.26±1.37 ^{Aa}

注：同列肩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)，无肩标表示差异不显著 (P>0.05)

Different letters in the same column indicate significant differences: uppercase letters P<0.01; lower case letters P<0.05; none P>0.05

3.6 不同亚麻籽水平对羔羊背腰最长肌脂肪酸组成的影响

日粮添加不同水平亚麻籽对羔羊背腰最长肌脂肪酸组成的影响见表 14 和表 15。

从表 14 可以看出,日粮中添加亚麻籽对于羔羊背腰最长肌的脂肪酸含量及组成有很大影响。总脂肪酸的含量随亚麻籽添加量的提高有所提高,但是各组之间差异不显著 ($P>0.05$)。随着亚麻籽添加量的增加,棕榈酸、棕榈油酸、十七碳酸、十七碳一烯酸和硬脂酸的含量下降,各亚麻籽组与对照组相比差异极显著 ($P<0.01$);随着亚麻籽添加量的增加,油酸、亚油酸、共轭亚油酸 (CLA)、亚麻酸的含量上升,其中,与对照组相比,添加 5%、10%和 15%的亚麻籽亚油酸含量分别提高了 31.82% ($P<0.01$)、54.70% ($P<0.01$) 和 58.33% ($P<0.01$), CLA 含量分别提高了 68.00% ($P<0.01$)、132.00% ($P<0.01$) 和 140.00% ($P<0.01$), 亚麻酸含量分别提高了 250.94% ($P<0.01$)、339.62% ($P<0.01$) 和 360.38% ($P<0.01$);花生四烯酸含量分别提高了 5.56% ($P<0.01$)、11.11% ($P<0.01$) 和 11.11% ($P<0.01$)。本试验各组均未监测到 EPA 和 DHA。

表 14 不同亚麻籽水平对羔羊背腰最长肌各种脂肪酸组成的影响 (占总脂肪酸 TFA 百分比)
Table 14. Effects of feeding different levels of linseed on composition of longissimus fatty acids of lambs

脂肪酸 FA 组成	I (0%)	II (5%)	III (10%)	IV (15%)	SEM
豆蔻酸 14:0	2.91 ^B	2.99 ^{Ab}	3.04 ^{Aa}	3.02 ^{Ab}	0.02
十五碳酸 15:0	0.49 ^a	0.49 ^a	0.48 ^b	0.48 ^a	0.01
棕榈酸 16:0	26.77 ^A	23.95 ^B	21.74 ^D	22.07 ^C	0.76
棕榈油酸 16:1	3.61 ^A	2.91 ^B	2.58 ^C	2.54 ^C	0.16
十七碳酸 17:0	2.91 ^A	2.32 ^B	1.91 ^C	1.87 ^C	0.16
十七碳一烯酸 17:1	1.79 ^A	1.21 ^B	0.69 ^C	0.63 ^D	0.18
硬脂酸 18:0	17.54 ^A	16.52 ^B	14.61 ^C	14.01 ^D	0.54
油酸 18:1	35.49 ^C	37.66 ^B	40.96 ^A	41.13 ^A	0.89
亚油酸 18:2n-6	6.60 ^D	8.70 ^C	10.21 ^B	10.45 ^A	0.58
共轭亚油酸	0.25 ^C	0.42 ^B	0.58 ^A	0.60 ^A	0.05
亚麻酸 18:3n-3	0.53 ^D	1.86 ^C	2.33 ^B	2.44 ^A	0.29
花生四烯酸 20:4n-6	0.36 ^B	0.38 ^{ABb}	0.40 ^{Aa}	0.40 ^{Aa}	0.07
总脂肪酸 TFA (mg/100g 肉样)	2710.15	2868.60	2921.86	2915.36	112.95

注: 同行肩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 ($P<0.05$), 无肩标表示差异不显著 ($P>0.05$)

Different letters in the same column indicate significant differences: uppercase letters $P<0.01$; lower case letters $P<0.05$; none $P>0.05$

从表 15 可以看到,随着亚麻籽添加量的上升, SFA 的含量下降,与对照组相比,添加 5%、10%和 15%的亚麻籽背腰最长肌中饱和脂肪酸的含量降低了 8.59% ($P<0.01$)、17.48% ($P<0.01$) 和 18.12% ($P<0.01$); MUFA 和 PUFA 的含量随着亚麻籽添加量的增加而增加,其中,添加 5%、10%和 15%的亚麻籽背腰最长肌中 PUFA 含量分别提高了 46.19% ($P<0.01$)、72.90% ($P<0.01$) 和 77.44% ($P<0.01$), n-3 PUFA 含量分别提高了 250.94% ($P<0.01$)、339.62% ($P<0.01$) 和 360.38% ($P<0.01$); PUFA 与 SFA 比值以及 PUFA 中 n-3 与 n-6 比值均随着亚麻籽添加量的增加而增加,与对照组相比,添加 5%、10%和 15%的亚麻籽 PUFA:SFA 分别提高了 59.97% ($P<0.01$)、109.53%

($P<0.01$) 和 116.84% ($P<0.01$), $n-3:n-6$ 分别提高了 170.81% ($P<0.01$)、190.49% ($P<0.01$) 和 197.49% ($P<0.01$)。

表 15 不同亚麻籽水平对羔羊背最长肌中各种脂肪酸含量的影响
Table 15. Effects of feeding different levels of linseed on contents of longissimus fatty acids of lambs

脂肪酸类型	I (0%)	II (5%)	III (10%)	IV (15%)	SEM
饱和脂肪酸 SFA ¹	50.62 ^A	46.27 ^B	41.77 ^C	41.45 ^C	1.42
单不饱和脂肪酸 MUFA ²	40.90 ^C	41.78 ^B	44.23 ^A	44.30 ^A	0.57
多不饱和脂肪酸 PUFA ³	7.49 ^D	10.95 ^C	12.95 ^B	13.29 ^A	0.87
n-6 PUFA ⁴	6.96 ^C	9.09 ^B	10.61 ^{Ab}	10.85 ^{Aa}	0.59
n-3 PUFA ⁵	0.53 ^D	1.86 ^C	2.33 ^B	2.44 ^A	0.29
PUFA:SFA	0.1479 ^D	0.2366 ^C	0.3099 ^B	0.3207 ^A	2.61
PUFA n-3:n-6	0.0757 ^A	0.2050 ^B	0.2199 ^{Ca}	0.2252 ^{Cb}	2.32

1 SFA = C14:0 + C15:0 + C16:0 + C17:0 + C18:0

2 MUFA = C16:1 + C17:1 + C18:1

3 PUFA = C18:2 + C18:3 + C20:4

4 n-6PUFA = C18:2 + C20:4

5 n-3PUFA = C18:3

注: 同行肩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 ($P<0.05$), 无肩标表示差异不显著 ($P>0.05$)。

Different letters in the same column indicate significant differences: uppercase letters $P<0.01$; lower case letters $P<0.05$; none $P>0.05$

综上, 在日粮中添加亚麻籽可以优化羔羊背最长肌脂肪酸组成, 提高肌肉中 PUFA 的含量, 降低 SFA 的水平, 提高 PUFA 与 SFA 的比例以及 PUFA 中 $n-3$ 与 $n-6$ 的比例, 其中亚麻籽添加量在 15% 时效果最好。

4 分析讨论

4.1 不同亚麻籽水平对羔羊生产性能的影响

4.1.1 不同亚麻籽水平对羔羊日增重的影响

添加亚麻籽对反刍动物胴体净肉率和产量的影响结果报道不一致,但均表明 PUFA 含量较高的日粮可以提高家畜的 ADG。Drouillard (2004) 在肉用阉牛日粮中分别添加 0%、5%、10% 和 15% 的亚麻籽,5% 和 10% 试验组显著提高了胴体重^[57],这些结果与 Maddock (2004) 报道的日粮干物质基础上添加 8% 的亚麻籽结果相吻合^[58],但另一个试验中,在荷兰斯坦牛日粮中添加 5% 的亚麻籽对于胴体增重无影响。Drouillard 等 (2002) 在断奶小牛日粮中添加不同等级的亚麻籽 (0%、5%、10%、15% 和 20%) 36 到 40d 后,发现添加 10% 的亚麻籽组日增重效果最好^[59]。另外, Drouillard 等 (2004) 在荷兰斯坦牛日粮中分别添加 0% 和 5% 的亚麻籽,发现添加组明显提高了日增重百分比^[57]。Ponnampalam 等 (2002) 研究表明饲喂高 PUFA 含量日粮可以极显著 ($P<0.01$) 增加羔羊胴体重^[60]。Kott 等 (2003) 指出,羔羊日粮中增加红花籽的浓度会在一定程度上提高 ADG^[61]。Boles 等 (2005) 报道,在羔羊日粮中添加 3%~6% 的红花籽不会对羔羊生长性能造成不良影响^[62]。本试验当亚麻籽添加量 (干物质水平) 在 5%~10% 时,提高了羔羊试验期的末重和日增重,且在亚麻籽添加量为 10% 时效果最好,但是亚麻籽添加量达到 15% 时,羔羊的末重和日增重与对照组相比没有得到提高。在富含 n-3 脂肪酸的羔羊体内,来自于肌肉磷脂的脂质沉积中介产物 (例如磷酸肌醇、前列腺素、甘油二酯),可以调控骨骼肌中肌小节蛋白的合成和增长,从而提高了肌肉的增长;日粮中不同类型的 FA 会改变羔羊胴体中能量的分配而且可能会增强小肠对蛋白和碳水化合物的消化 (Ponnampalam 等, 2003)^[63]。另外,在日粮中添加亚麻籽可以降低脂蛋白脂肪酶 (LPL) 和糖原的基因表达,对于这两种蛋白质的改变能够影响肌肉组织利用脂肪酸和葡萄糖的能力,最终起到影响胴体增重质量的作用 (Waylan 等, 2004)^[64]。

4.1.2 不同亚麻籽水平对羔羊干物质采食量的影响

目前对于日粮中添加油料作物对动物 DMI 的影响尚无定论。Drouillard 等 (2004) 试验表明,在肉用阉公牛日粮中分别添加 0%、5%、10% 和 15% 的亚麻籽,肉牛干物质摄入量随着亚麻籽水平的提高呈线性降低^[57]。Rizzi 等 (2002) 报道,增加日粮中豆粕和葵花籽的浓度可以提高羔羊的 DMI 水平^[65]。Kott 等 (2003) 指出,日粮中增加红花籽的浓度对于羔羊 DMI 没有影响^[61]。Cooper 等 (2004) 指出,油料日粮不会影响动物的摄食量和生长性能^[52]。Demirel (2000) 在绵羊日粮中添加亚麻籽和鱼油以及 Scollan 等 (2001) 在生长牛日粮中添加亚麻籽和鱼油得出相类似的结果^[66, 50]。但是 Wachira 等 (2002) 研究报道指出,在羔羊日粮中添加鱼油会使羔羊的摄食量和生产性能降低^[67],这可能与鱼油降低了瘤胃中微生物的生长和效率有关 (Wachira 等, 2000)^[68]。本试验不同水平亚麻籽组间采食量差异不显著 ($P>0.05$),亚麻籽中含有丰富的 PUFA,一定量 PUFA 的摄入可以提高干物质采食量和消化率,最终对日增重和料重比产生良好的效果,在适当的添加范围内,随着 PUFA 摄入的提高,采食量受到影响且有下降趋势,但不会影响羔羊的生产性能的提高。

4.1.3 不同亚麻籽水平对羔羊料重比的影响

Kott 等(2003)指出,日粮中增加红花籽的浓度会在一定程度上提高料重比^[61]。本试验表明在羔羊繁育阶段饲喂 5%~10%的亚麻籽可以很好的提高羔羊料重比,且在亚麻籽添加量为 10%左右时效果最好。15%组没有提高羔羊的料重比,这可能是由于亚麻籽摄入量增多,造成瘤胃内脂肪含量过多,改变了瘤胃内的生物环境,阻碍了瘤胃的发酵,影响了瘤胃内微生物的正常代谢活动,最终造成小肠对各个养分消化吸收力下降的原因,从而使羔羊整体生产性能下降。

综上,日粮中添加不同水平的亚麻籽对羔羊生产性能有很大影响。

4.2 不同亚麻籽水平对羔羊肉样常规成分的影响

肌肉组织中的重要化学成分包括脂肪、蛋白质和水分,他们之间的比例受日粮营养水平的影响很大。在低营养水平下,肉品中水分和蛋白质含量相对较高,脂肪较少;高营养水平则相反。这些养分的变化,尤其是脂肪和蛋白的含量变化,直接关联到肉品感官性状和营养特性。若营养状况良好,肌内脂肪的含量增加,而胶原质的含量降低,直接结果是肉品的嫩度提高,品质改善(Kemp 等, 1981)^[69]。细胞膜中的磷脂具有广泛的活性,它对于在细胞膜中蛋白的代谢和功能中起着重要的作用。日粮中长链 n-3 脂肪酸会优先沉积于肌肉磷脂结构中(Ponnampalam 等, 2001a)^[70]并改变羔羊血清脂蛋白的代谢和胴体脂肪的组成(Ponnampalam 等, 2001b)^[71]。日粮中碳水化合物和蛋白不是决定羔羊脂肪组织沉积以及羔羊胴体脂肪和瘦肉组织中 FA 沉积的主要因素。所以,肌肉中的脂肪含量在很大程度上影响着肉的品质,与肉的嫩度、多汁性有很大相关。

水分在畜体中的分布不十分均匀,其中肌肉中大约占 70%~80%。肌肉水分含量与肉的多汁性有密切的关系,但水分含量越高,表明干物质含量相对较低。吴伟等(2000)报道百日龄羊肉水分含量在 65.8%^[72];王志琴(2002)报道巴里坤羊肉水分含量在 72.57%左右^[73]。本试验肉样水分含量随着亚麻籽添加水平的提高而减少,范围值在 61.98%~70.13%之间,可见日粮中添加亚麻籽对于肌肉中水分含量影响较大。

肌肉中蛋白质含量在水分之后,据试验报道羊肉中的粗蛋白含量一般可达到 21%以上。本试验各组肉样蛋白质含量在 19.83%~21.21%之间且各组差异不显著,说明日粮中添加 5%~15%的亚麻籽对于羔羊肌肉中蛋白质水平没有不良影响。

试验组肉样脂肪随着亚麻籽添加水平提高而增加,可见日粮中添加亚麻籽提高了肉品中的脂肪含量;另外,可以看出肉品中脂肪含量与水分含量有一定的负相关效应。

4.3 不同亚麻籽水平对羔羊产肉能力的影响

育肥阶段羔羊的生长速度造成了羔羊宰前活重的差异,从而使得羔羊的胴体重存在显著差异。羔羊的屠宰率可随着活重的增加呈上升趋势,贾志海等的试验结果显示,宰前活重为 45kg 和 36kg 的羔羊,其屠宰率分别为 43.22%和 40.56%^[74];幼龄时动物内脏的重量占体重的比重过高,是影响其屠宰率的直接原因;眼肌面积是羔羊胴体发育程度的反应,胴体重越高,眼肌面积愈大。

本试验亚麻籽添加量在 5%~10%时,增加了羔羊的宰前活重、胴体重、屠宰率和眼肌面积,且在均在 10%左右时达到最大值,可以看出,日粮中适量亚麻籽的添加提高了羔羊的宰前活重,

从而提高了羔羊的胴体重和屠宰率,而通过对眼肌面积的测量,结果显示 5%和 10%眼肌面积大于对照组,也反映了这一趋势;15%组虽在数值上有所增加,但与对照组相比效果不明显,这可能是由于亚麻籽浓度过高,影响了羔羊的消化吸收,从而降低了产肉能力。

羔羊胴体第 12 和第 13 肋骨间离背线 11cm 处的脂肪的厚度值 (GR) 是代表胴体脂肪的标志 (Kempster 等, 1976; Beauchemin 等, 1995), 11~15mm 为中等膘分, 超过 15mm 为过肥^[75, 76]。Ponnampalam 等 (2002) 研究表明饲喂高 PUFA 含量日粮可以极显著增大 GR 值 ($P<0.01$), 增加了胴体脂肪的厚度^[60]。本试验各组之间 GR 值差异不显著 ($P>0.05$), 数值在 12.85cm~14.23cm 之间, 属于中等膘肥, 但随着亚麻籽添加量的提高有增加的趋势, 说明日粮中添加亚麻籽对于增大羔羊 GR 值效果虽不明显, 但在一定程度上也反映出了亚麻籽的添加可以增加羔羊胴体的脂肪水平。

4. 4 不同亚麻籽水平对羔羊血清脂质相关指标的影响

n-3 和 n-6 PUFA 是动物的必需脂肪酸, PUFA 除作为膜结构成分并具有代谢和信号传导作用外, 现已认识到对脂肪合成也有控制作用。研究表明日粮 PUFA 可以抑制许多脂肪合成有关酶的基因表达 (Voss, 1991)^[77]。

很多试验表明, PUFA 对于降低总胆固醇和甘油三酯的水平有明显的作用。n-3 PUFA 可提高周围组织胆固醇的合成进程, 而减少肝脏胆固醇的合成速度, 同时加速肝脏对胆固醇的清除与转化速度。脂肪组织动员后所产生的脂肪酸释入血液并形成游离脂肪酸 (NEFA), 然后被肝脏吸收。肝脏对 NEFA 的吸收量与血中 NEFA 的浓度成正比 (Bell, 1979)^[78]。但是在本试验中, 血清中的总胆固醇和甘油三酯含量随着亚麻籽添加量的增加而有上升的趋势, 与对照组比较差异不显著。由此可以推断出添加适量的亚麻籽不会显著提高体内总胆固醇、甘油三酯和游离脂肪酸的水平, 但是有增加血液中总胆固醇、甘油三酯和游离脂肪酸的趋势, 而亚麻籽对于肉中胆固醇和甘油三酯含量以及不同时期血液中相关指标的比较影响仍有待于研究。添加 10%和 15%的亚麻籽明显显著降低了脂肪酶活力, 说明日粮添加亚麻籽在调节肌肉膜磷脂结构中 n-3 PUFA 浓度的同时也显著改变了血清中胰岛素、脂质代谢物的浓度, 促进了脂肪的合成, 同时降低了脂肪酶的活力。

4. 5 不同亚麻籽水平对羔羊肉品质的影响

利用油料作物提高脂肪酸从而改善肉品质的研究进展较慢, 中间有很多技术性难题, 因为各种脂肪酸它们的熔点范围非常广泛, 而肉中脂肪酸成分的不同又对肌肉脂肪的硬度和嫩度有很大影响, 特别是皮下脂肪和肌间脂肪以及肌内脂。脂质是肌肉膜结构组成的一部分, 它参与肌肉纤维中甘油三酯的贮藏以及大理石花纹的形成。脂肪细胞中熔点较高的成分呈现白色且比熔点较低的成分白度要高, 所以脂肪酸也是影响肉色的因素之一。另外, 脂肪酸的不饱和度, 特别是含有易被氧化的多于两个双键的 PUFA, 也是严重影响货架期的因素之一, 肉中的 PUFA 会加快肉的酸败以及肉色下降。但是, 这些脂肪酸部分却又有利于肉的风味以及营 养价值。日粮中添加亚麻籽对于反刍动物肉品质的影响国内外报道很少, 但是很多试验已经证明, 日粮中添加油料作物以提高肌肉中 PUFA 的同时, 会对肉品质产生不同的影响。

熟肉率是测定肌肉在烹煮过程中保水情况的主要指标，熟肉率越高，肌肉在烹煮过程中的系水力就越高。亚麻籽组熟肉率均好于对照组，说明添加亚麻籽组能提高肌肉的保水性能。失水率越低，保水性能越强，肉质较肉嫩，肉质越好，可以看出，日粮中添加亚麻籽对于提高宰前羔羊肌肉系水力有着良好的作用。

肌肉脂肪和肉质呈正相关，影响肉的嫩度、风味和多汁性。当肌束和肌纤维间沉积一定脂肪时，肉的断面呈大理石状。这在主观品味评定中，富含适量肌肉脂肪对口感惬意度、多汁性、嫩度、滋味等都有良好的作用。肌纤维束中的脂肪组织即大理石花纹可以削弱肌肉组织结构，使我们咀嚼时更容易咬断肌肉。本试验通过添加亚麻籽，增加了肌肉脂肪的含量且与添加量呈正相关，不同水平之间差异均极显著，亚麻籽组大理石花纹纹理理想程度较对照组有着明显的改观。

羊肉 pH 是反映羊只宰杀后肌糖原酵解速度的主要指标，与肉的保水性、嫩度、组织状态及颜色以及肉的风味有关（李建军等，2001）^[79]。高 pH 的羊肉较正常 pH 的羊肉气味和风味强度要低，随着 pH 增大，理想的气味和风味特征减少。正常肉的 pH45 为 6.0-6.5，pH24 为 5.4-5.7。本试验组 pH45 和 pH24 均在正常范围内且各组差异不显著；但是亚麻籽组 pH 值较低于对照组，且随着亚麻籽添加量的提高而降低，说明添加亚麻籽对于改善肉的颜色、风味等有着一定的作用。

UFA 浓度的增加会使肌肉中脂质氧化速度加快，导致肉色的不稳定（Chan 等，1996；Faustman 等，1989）^[80, 81]。Yang 等（2002）指出，脂肪酸组成的改变会影响肌肉肉色的稳定性^[82]。提高肌肉中 PUFA 的含量可能会加速肉色从红向褐的转化，这可能是增加了氧化的作用。在动物日粮中添加鱼油，其肉样在货架期氧化性较高，且肉色下降很快。但是，在肉牛日粮中添加亚麻籽没有发现对货架期内肉色起到不良作用。有研究提出，在肉牛日粮中添加 3% 的鱼油，会使牛肉肉色迅速下降，脂质的氧化水平高于饲喂亚麻籽。Boles 等（2005）报道，羔羊日粮中添加红花籽在提高瘦肉组织中 PUFA 以及 CLA 浓度的同时不会对羔羊货架期、背腰最长肌肉色的稳定性造成不良影响^[83]。

本试验不同组之间在一周内 L*值、a*值和 b*差异不显著（ $P>0.05$ ），而且均处于下降趋势。屠宰当天，添加亚麻籽组肉色 a*值要好于对照组，随着成熟期的延长，各组肉样 a*均呈下降的趋势，表明红色素含量在逐渐下降；另外，亚麻籽组 a*值下降速度要高于对照组，特别是 10% 组和 15% 组，这可能是由于脂质氧化加速了肉色不稳定因素的形成，从而造成不良的影响。

滴水损失表示在不施加任何外力的条件下肌肉液体的损失量，是评定肉品保水性能的重要指标。胴体 pH、空间效应、加热、脂质氧化程度等都是影响肌肉系水力因素。本试验添加亚麻籽组在宰后第 1d 滴水损失小于对照组且随着亚麻籽添加量的升高失水率逐渐降低，这可能是由于亚麻籽组肌肉脂肪含量将高，具有较好的保水性能；但是在第 3d，四个试验组失水率基本持平，到第 5d，亚麻籽组失水率普遍高于 0% 且 15% 组滴水损失显著高于对照组（ $P<0.05$ ），这可能是由于随着成熟期时间的延长，肌肉磷脂膜发生脂质氧化，破坏了肌细胞的通透性，同时肌细胞膜完整性被破坏，肌浆液从肌细胞膜中流出而造成的。

Gray 等（1996）分析脂质氧化是肉类及肉制品品质降低的重要原因之一^[84]，由于细胞膜上脂质双分子中的磷脂部分含有不饱和脂肪酸，因而肉类特别易于发生脂质氧化反应。脂质氧化的程度与脂质不饱和程度有密切关系，而脂质氧化终产物的类型则由肉类中脂肪酸的组成决定。肉类食品中的 PUFA 自身氧化可产生为数众多的挥发性产物。由于醛类物质在脂肪氧化过程中迅速生成，且其风味阈值比碳水化合物、呋喃和醇类都低，因此醛类物质被认为是肉类正常风味损失

的主要原因。孙群(2002)年指出, TBA 试验自 1944 年由 Kohn 和 Liversedge 提出后即应用于食品和生物材料中脂类氧化的检测和定量, 其应用程度居所有测定方法之首^[85]。

Boles 等(2005)报道, 羔羊日粮中添加红花籽不会对羔羊货架期造成不良影响^[83]。但是 Pechova Pavla 通过对断奶羔羊饲喂 4% 的大豆油、亚麻籽油和鱼油相比较, 各组 TBARS 值随着天数的改变而呈上升趋势且各组间差异显著($P < 0.05$), Pechova 认为日粮中 PUFA 含量与 TBARS 值的升高有很大关系, PUFA 加速了肌肉中脂质的氧化。本试验结果与 Pechova Pavla 试验结果类似, 添加亚麻籽组在宰后第 1d TBARS 值与对照组差异不显著, 但是随着亚麻籽添加量的增加成上升趋势; 在成熟期的第 3d 亚麻籽组 TBARS 值均显著高于对照组, 而在第 6d 亚麻籽组极显著的高于对照组, 15% 组在各阶段 TBARS 值均为最高。可以看出, 日粮中添加亚麻籽虽然可以提高宰前肉品质, 但是肉中较高的脂肪特别是 PUFA 水平严重影响了羔羊宰后脂质和肉色的稳定性, 缩短了货架期, 可以推论对于肉的风味也有一定的负面影响。

肌小节片断化指数是指长度为 1~4 个肌节的肌原纤维 (F) 占有肌原纤维 (E) 的比例, 缩写为 MFI, $MFI = F \times 100 / E$, 已有试验证明 MFI 的变化是由于肌节中 I 带蛋白 titin (肌联蛋白) 的 nebulin (伴肌动蛋白) 的降解造成的。MFI 是评价 I 带破坏程度和肌纤维间断裂程度的很有用的指标。

2001 年 Hopkin 报道 MFI 宰后 9h~24h 增加了 38%, 1d~2d 只增加了 12.5%。Koochmaraie (1994) 指出, 宰后蛋白降解导致 Z 盘及其它蛋白片断化, 肉品嫩度提高^[86]。本试验 MFI 第 1d、3d、5d 的数值均随着亚麻籽添加量的增加而增加, 且 10% 组和 15% 组 MFI 值明显高于对照组。这说明日粮中添加亚麻籽可以有效的提高肌肉的嫩度, 这可能与肌肉中脂肪含量及组成有一定的关系。肌肉中脂肪组织与结缔组织呈交叉状态, 这种形态结构使结缔组织变得疏松, 减弱了结缔组织的物理强度, 从而使蛋白间的交互作用降低, 导致肉中自由离子强度升高, 可溶性肌纤维蛋白浓度增加, 同时提高了钙蛋白酶的活力, 增强其调节能力, 最终使嫩度得到改善。但是国外有不少研究表明, 饲喂高 PUFA 含量日粮在增加了胴体脂肪厚度的同时对于改善肌肉嫩度没有显著影响 ($P > 0.05$) (Ponnampalam 等, 2002)^[60]。目前, 关于添加亚麻籽究竟可否改善肌肉的嫩度国内外还没有定论, 仍处于探索阶段。

本试验研究表明, 日粮中添加亚麻籽对于宰前羔羊肌肉品质有良好的改善作用, 特别是对于肌肉的多汁性和嫩度有明显改善; 但是肌肉中较高的脂肪含量特别是脂肪酸不饱和度的增加, 使得肌肉更容易发生脂质氧化反应, 增加了高铁肌红蛋白形成的速率, 最终导致肉色下降, 使肌肉保水性降低, 缩短了货架期。肌肉中氧渗透性、脂质氧化和高铁肌红蛋白水平是紧密相联系的。脂肪过氧化程度取决于脂肪酸的不饱和度、抗氧化剂维生素 E (α -生育酚) 和氧化强化剂如游离铁的水平。所以, 我们有必要在使用亚麻籽作为饲料的同时考虑其带来的负面氧化等效应, 添加必要的抗氧化剂如维生素 E、反高铁肌红蛋白等, 来进一步改善宰后肌肉品质, 缓解肉品氧化反应的发生 (Barowicz, 2000)^[87]。

4.6 不同亚麻籽水平对羔羊背腰最长肌脂肪酸的影响

国外已有相关报道关于添加富含 PUFA 的日粮对家畜肌肉中脂肪酸的影响的报道, 虽然 PUFA 与 SFA 的比例仍处于较低水平, 但是脂肪和肌肉组织中 n-3PUFA 的含量是可以通过日粮

来充分提高的(Demirel, 2000; Wachira 等, 2002; Ponnampalam 等, 2001b)^[66, 67, 71]。

很多研究证明在肉牛日粮中添加亚麻籽可以有效增加皮下脂肪和肌肉中 PUFA n-3 的含量(Choi 等, 2000; Lorenz 等, 2002; Scollan 等, 2001)^[48-50]。可以看出, 日粮中 PUFA 的组成对于畜产品肌肉中 PUFA 的组成有很大的关系。

已有研究证明, 通过对反当动物(Kott 等, 2003)^[61]和单胃动物(Thiel-Cooper 等, 2001; Wiegand 等, 2002)^[88, 89]的日粮进行调控, 可以增加肌肉中 UFA 和 CLA 的水平, 从而生产对人们具有潜在利益的红肉。

Cooper 等(2004)年试验报道, 饲喂富含 PUFA 的日粮对于改变羔羊背最长肌脂肪酸总含量效果较明显($P<0.05$)^[52]。本试验研究表明, 添加亚麻籽对于提高羔羊背最长肌的含量效果不明显($P>0.05$), 但是有增加的趋势。

Kott 等(2003)研究报道, 在羔羊日粮中添加红花籽可以增加肌肉组织和脂肪中 UFA 以及 cis-9, trans-11 CLA 的含量^[61]。Madron 等(2002)指出, 在阉牛日粮中添加全脂大豆增加了肌肉中 CLA 的浓度并降低 SFA 的含量^[90]。Bolte 等(2002)通过试验证明, 日粮中添加含有高油酸和高亚油酸的红花籽可以增加羔羊肌肉和脂肪中 PUFA 和 CLA 的含量^[91]。Boles 等(2005)报道, 在羔羊日粮中添加红花籽可以提高瘦肉组织中 PUFA 以及 CLA (特别是 cis-9, trans-11 CLA) 的浓度^[62]。可以看出, 在反当动物日粮中增加含有 PUFA 和 CLA 饲料的浓度, 可以增加其肉中的 PUFA 和 CLA 的含量。有研究说明, 在公牛日粮中添加亚麻籽可以增加肌肉和皮下脂肪中 PUFA 特别是 C18:3 n-3 的浓度, 增加 n-3 与 n-6 的比例; 但是对于提高肌肉中 PUFA n-6 和 c9t11 CLA 的含量没有显著影响, 这与其它在肉中(Enser 等, 2000)和乳中(Dhiman 等, 2000)的研究结论相反^[38, 47], 其原因现在还没有定论, 可能与 C18:3 n-3 和 C18:2 n-6 影响了十二指肠中 $\Delta 9$ -脱氢酶的活性, 进而影响了 c9t11 CLA 的内源合成有关。本试验表明添加亚麻籽可以有效地提高肉中 CLA (主要是 c9t11) 的含量, 且与亚麻籽添加量呈正比关系。

很多研究证明在肉牛日粮中添加亚麻籽可以有效增加皮下脂肪和肌肉中 PUFA n-3 的含量(Choi 等, 2000)^[48]。Ponnampalam 等(2002)研究表明饲喂高 PUFA 含量日粮可以极显著($P<0.01$)增加背最长肌中中链 n-3 脂肪酸的含量^[60]; 另有研究指出, 在日粮中添加一定比例的亚麻籽和油菜籽, 改善了肉中脂肪酸组成, 提高 PUFA n-3 和 CLA 的含量。本试验表明添加亚麻籽可以有效地提高肉中 PUFA n-3 特别是亚麻酸的含量且随着亚麻籽添加水平的提高而上升。

饲喂绵羊含有较高 α -亚麻酸含量的饲料, 以改善肌肉中 n-3 PUFA 的浓度, 特别是增加长链 EPA (20:5n-3) 和 DHA (22:6n-3) 的含量(Wachira 等, 2002; Ponnampalam 等, 2001b)^[67, 71]。但是有试验证明, 从 n-3PUFA 合成 EPA 和 DHA 得效率相当低, 当 n-6PUFA/n-3PUFA 比值上升到 10:1 以上时, 转化效率相当低, 甚至趋于停止(Simopoulos, 2000)^[92]。本试验通过添加亚麻籽, 虽然在很大程度上提高了亚麻酸的含量, 但是在肉中并没有检测出含有 EPA 和 DHA, 这可能与其不稳定性有很大关系。

Cooper 等(2004)年试验报道, 饲喂亚麻籽组羔羊背最长肌 C18:2/C18:3 和 n-6:n-3 的比例显著降低($P<0.05$)^[52]。其它羔羊及肉牛日粮试验均表明, 添加油料作物可以有效地降低 P/S 和 n-6:n-3 的比例。本试验研究表明, 羔羊日粮中添加亚麻籽对于增加 PUFA:SFA 和 n-3:n-6 的比例有着显著的作用, 以 15%组效果最好。

反当动物日粮中的脂肪被微生物脂酶水解, 释放出的 UFA 即被某些微生物氢化, 而甘油则

迅速发酵，形成丙酸。许多试验证明，瘤胃中 30%~40% 脂酶活性与原虫有关，真菌在日粮脂肪水解中不起作用，而细菌在脂肪水解过程中作用最重要，瘤胃内脂肪的氢化主要是降低 UFA 的活性，日粮脂肪酸只有氢化后才能被细菌充分利用。瘤胃中不饱和脂肪酸（R-COOH）向酰胺（R-CONH₂）的转化会降低瘤胃微生物的氢化作用，这可能会增加过瘤胃不饱和脂肪酸的数量。但是酰胺只有在结合完整时才能抵抗氢化作用，因为完成氢化作用的特定微生物酶发生活性需要一个自由羧基的参与。UFA 对瘤胃微生物有毒性，氢化可以降低 UFA 的毒性。因此，氢化在保护微生物免遭 UFA 毒害方面起重要作用。

增加日粮中 PUFA n-3 的含量增加了畜产品中 PUFA n-3 的沉积，这些 PUFA 主要来源于 $\Delta 9$ -脱氢酶的内源脱氢作用（Choi 等，2000）^[48]。n-6 和 n-3 对于脱氢酶和延长酶的活性以及在细胞膜中的组成具有竞争作用。事实上，相关的酶对于 n-6 和 n-3 的代谢作用是相同的。细胞膜中的竞争作用同样体现在 C20:4 n-6 和 C20:5 n-3 之间。

结 论

1. 羔羊日粮中亚麻籽添加量在 5% 和 10% 时, 可以提高羔羊的生产性能和产肉能力, 改善了羔羊日增重、胴体重及料重比, 亚麻籽添加量在 15% 时与对照组相比效果不显著。
2. 羔羊日粮中添加 5%~15% 的亚麻籽, 对于羊肉蛋白含量无显著影响, 随着添加亚麻籽水平的提高, 肌肉中水分含量下降, 粗脂肪含量上升, 效果明显。
3. 羔羊日粮中添加亚麻籽, 随着添加量的增加, 血液中总胆固醇、甘油三酯和游离脂肪酸的含量依次上升, 但差异不显著; 脂肪酶活力随着亚麻籽添加量的增加而减小。
4. 羔羊日粮中添加 5%~10% 的亚麻籽改善了羔羊肉品质, 随着亚麻籽添加量的增加, 熟肉率、肌内脂和肌小节断化指数均显著提高, 从而改善了肌肉的嫩度; 添加亚麻籽对于肌肉肉色的影响不明显。
5. 羔羊日粮中添加亚麻籽降低了羔羊肌肉的抗氧化能力, 亚麻籽组在第 5d 时的滴水损失各组失水率均高于 0% 组, 在第 3d 和第 6d 时亚麻籽各组的 TBARS 值均高于 0% 组; 随着亚麻籽添加量的上升, 抗氧化能力负效果越明显。
6. 羔羊日粮中添加亚麻籽可以增加肌肉中 PUFA 特别是 CLA 和亚麻酸的含量, 提高值与添加量 (5%~15%) 成正比; 随着亚麻籽添加量的增加, 提高了 PUFA 和 SFA 和 PUFA 中 n-3 与 n-6 的比例。

有待解决的问题

1. 进一步研究饲喂亚麻籽对于肌肉磷脂以及皮下脂肪中脂肪酸的组成的影响;
2. 进一步研究饲喂亚麻籽对于各个不同时期羔羊血液中脂质相关指标的变化;
3. 进一步研究如何在饲喂亚麻籽后有效防止肌肉发生氧化。

参考文献

- [1] Maurice L. Eastridge. Research and reviews: beef and sheep [EB/OL]. <http://ohioline.osu.edu/sc170/>
- [2] 戴瑞彤, 杨龙江. 肉类质量的研究进展[J]. 肉类研究, 2000, 2, 11-13.
- [3] 杨博辉, 刘国财, 梁春年等. 世界羊肉贸易分析与我国羊肉生产贸易策略[J]. 中国草食动物, 2000, 20 (4): 29~30.
- [4] Bas. P., Morand-Fehr, P. Effect of nutritional factors on fatty acid composition of lamb fat deposit [J]. *Livestock Production Science* 64 (2000), 61-79.
- [5] Weber P C, Leaf A. Cardiovascular effect of n-3 fatty acids Atherosclerosis risk factor modification by n-3 fatty acids [J]. *World Rev Nutr Diet*, 1991, 66 : 218.
- [6] Jeffery N M, Sanderson P, Sherrington E J. The ratio of n-6 to n-3 polyunsaturated fatty acids in the rat diet alters serum lipid level and lymphocyte function [J]. *Lipid*, 1996, 31 (7) : 737~ 745.
- [7] Gallai V, Ssrchielli P, Trequatrini A. Cytokine secretion and eicosanoid production in the peripheral blood mononuclear cell of N S patients undergoing dietary supplementation with n-3polyunsaturated fatty acids [J]. *Journal of Neuro immunology*, 1993, 56 : 143~153.
- [8] Das U N. Beneficial effect of eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids in the management of systemic lupus erythematosus and its relationship to the cytokine network [J]. *Prostaglandins Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, 1994, 51 : 207~213.
- [9] Takahata K, Mmonobe K J, Taka M. The benefits and risks of n-3 polyunsaturated fatty acids [J]. *Bio sci. Biotechnol Biochem*, 1998, 62 (1) : 2079~ 2085.
- [10] Connors, W. E. Importance of n-3 fatty acids in health and disease [J]. *Am. J. Clin. Nutr.* 2000, 71: 171S-175S.
- [11] 李璇, 郑建仙. 脂肪与心血管病相互关系最新进展及对食品工业的指导意义[J]. 食品与发酵工业, 1998, 245 (1): 74~ 79.
- [12] Harris, R. K. and W. J. Haggerty. Assays for potentially anti-carcinogenic phytochemicals in flaxseed [J]. *Cereal Foods World* 1993, 38: 147-151.
- [13] Banni, S., C.S.D. Heys and K.W.J. Wahle. Conjugated linoleic acid as anticancer nutrients: Studies in vivo and cellular mechanisms[J]. In J. Sebedio, W.W. Christie and R. Adolf (ed) *Advances in Conjugated Linoleic Acid Research*, 2003, Vol. 2, pp: 267-281.
- [14] Grinari, J.M. and D.E. Bauman. Biosynthesis of conjugated linoleic acid and its incorporation into meat and milk in ruminants [J]. In M.P. Yurawecz, M.M. Mossoba, J.K.G. Kramer, M.W. Pariza and G.J. Nelson (ed) *Advances in Conjugated Linoleic Acid Research*. 1999, Vol. 1, pp: 180-200.
- [15] 张建华, 倪培德, 华欲飞. 亚麻籽中的生氰糖苷[J]. 中国油脂, 1998, 23 (5) : 58~60
- [16] 狄济乐. 亚麻籽作为一种功能食品来源的研究[J]. 中国油脂, 2002, 27 (4) : 55~57
- [17] Madhusudhan K T, Singh Narendra. Effect of detoxification treatment on the physicochemical properties of linseed proteins [J]. *Agri Food Chem*, 1985, 33 : 1219~1222
- [18] Daun, J. K., V. J. Barthet, T. L. Chornick, and S. Duguid. Structure, composition and variety

- development of flaxseed [J]. In: Flaxseed in Human Nutrition, 2nd ed, AOCS Press, Champaign, 2003, IL, pp. 1-40.
- [19] Daun, J. K. and R. Przybylski. Environmental effects on the composition of four Canadian flax cultivars [J]. Proc. 58th Flax Institute, 2000, March 23-25, Fargo, N.D. pp 80-91.
- [20] Lardy, G. P. and V. L. Anderson. Alternative feeds for ruminants. North Dakota State University Extension Service Bulletin AS-1182, 1999.
- [21] NRC[M]. Nutrient requirements of beef cattle 7th Rev. Ed. National Academy Press, Washington, D.C. 1996.
- [22] McDonald, B. E. Canola oil nutritional properties. Canola Council of Canada. Winnipeg, MB. 1994.
- [23] Oomah, B. D. and G. Mazza. Flaxseed proteins – A review [J]. Food Chem. 1993, 48: 109-114.
- [24] NRC[M]. Nutrient requirements of dairy cattle. 7th Rev. Ed. National Academy Press, Washington, D.C. 2001.
- [25] 邹月利, 赵李霞, 李冬梅. 亚麻籽中不饱和脂肪酸含量的测定[J]. 生命科学仪器, 2005, 3 (3): 42-43.
- [26] Flax Council of Canada [M]. 1997. Contractual analysis. In: Flax – A health and nutrition primer. D. H. Morris. Flax Council of Canada, Winnipeg, MB.
- [27] NRC[M]. Nutrient requirement of swine. 10th Rev. Ed. National Academy Press, Washington, D.C. 1998.
- [28] NRC[M]. Nutrient requirements of beef cattle 7th Rev. Ed. National Academy Press, Washington, D.C. 1996.
- [29] Wanasundara J P D, Amarowicz R, Kare M T. Removal of cyanogenic glycoside of flaxseed meal [J]. Food Chemistry, 1993, 15 January 263-266.
- [30] McDonald, B. E. Canola oil nutritional properties [M]. Canola Council of Canada. Winnipeg, MB. 1994.
- [31] Byers, F. M. and G. T. Schelling. Lipids in ruminant nutrition. In: The Ruminant Animal, D. C. Church, Waveland Press, Prospect Heights, IL. 1988, Pages 298-312
- [32] Ward, A. T., K. M. Wittenberg, and R. Przybylski. Bovine Milk Fatty Acid Profiles Produced by Feeding Diets Containing Solin, Flax and Canola [J]. J. Dairy Sci. 2002, 85: 1191-1196.
- [33] Kennelly, J. J. and G. R. Khorasani. Influence of flaxseed feeding on fatty acid composition of cows' milk [J]. Proc. 54th Flax Institute, Jan. 30-31, 1992, Fargo, N.D. pp 99-105.
- [34] Goodridge, J., J. R. Ingalls, and G. H. Crow. Transfer of omega-3 linolenic acid and linoleic acid to milk fat from flaxseed or linola protected with formaldehyde [J]. Can. J. Anim. Sci. 2001, 81: 525-532.
- [35] Petit, H. V., R. J. Dewhurst, J. G. Proulx, M. Khalid, W. Haresign, and H. Twagiramungu. Milk production, milk composition and reproductive function of dairy cows fed different fats [J]. Can. J. Anim. Sci. 2001, 81: 263-271.
- [36] LA Whitlock, DJ Schingoethe, AR Hippen, KF Kalscheur, and AA AbuGhazaleh. Milk Production

- and Composition from Cows Fed High Oil or Conventional Corn at Two Forage Concentrations [J]. *J Dairy Sci*, July 1, 2003, 86(7): 2428 - 2437.
- [37] Ward, A.T., K.M. Wittenberg, H.M. Froebe, R. Przybylski and L. Malcolmson. Fresh forage and solin supplementation on conjugated linoleic acid levels in plasma and milk [J]. *J. Dairy Sci.*, 2003, 86: 1742-1750.
- [38] Dhiman, T. R., L. D. Satter, M. W. Pariza, M. P. Galli, K. Albright, and M. X. Tolosa. Conjugated linoleic acid (CLA) content of milk from cows offered diets rich in linoleic and linolenic acid [J]. *J. Dairy Sci.* 2000, 83:1016-1027.
- [39] Whitlock, L., D. J. Schingoethe, A. R. Hippen, K. F. Kalscheur, R. J. Baer, N. Ramaswamy, and K. M. Kasperson. Fish oil and extruded soybeans fed in combination increase CLA in milk of dairy cows more than when fed separately [J]. *J. Dairy Sci.* 2002, 85:234-243.
- [40] Looor, J.J., J.H. Herbein and C.E. Polan. trans18:1 and 18:2 isomers in blood plasma and milk fat of grazing cows fed a grain supplement containing solvent-extracted or mechanically extracted soybean meal [J]. *J. Dairy Sci.* 2002a, 85: 1197-1207.
- [41] Chilliard, Y., A. Ferlay, R. M. Mansbridge, and M. Doreay. Ruminant milk fat plasticity: nutritional control of saturated, polyunsaturated, trans and conjugated fatty acids [J]. *Ann. Zootech.* 2000, 49:181-205.
- [42] Ajuyah, A. O., K. H. Lee, R. T. Hardin, and J. S. Sim. Changes in yield and in the fatty acid composition of whole carcass and selected meat portions of broiler chickens fed full-fat oilseeds [J]. *Poultry Sci.* 1991, 70: 2304-2314.
- [43] Ajuyah, A. O., D. U. Ahn, R. T. Hardin, and J. S. Sim. Dietary anti-oxidants and storage affect chemical characteristics of w-3 fatty acid-enriched broiler chicken meats [J]. *J. Food Sci.* 1993, 61: 43-46.
- [44] Romans, J. R., R. C. Johnson, D. M. Wulf, G. W. Libal, and W. J. Costello. Effects of ground flaxseed in swine diets on pig performance and on physical and sensory characteristics and omega-3 fatty acid content of pork: I. Dietary level of flaxseed [J]. *J. Anim. Sci.* 1995a, 73: 1982-1986.
- [45] Romans, J. R., D. M. Wulf, R. C. Johnson, G. W. Libal, and W. J. Costello. Effects of ground flaxseed in swine diets on pig performance and on physical and sensory characteristics and omega-3 fatty acid content of pork: II. Duration of 15 percent dietary flaxseed [J]. *J. Anim. Sci.* 1995b, 73: 1987-1999.
- [46] Kouba, M., M. Enser, F. M. Whittington, G. R. Nute, and J. D. Wood. Effect of a high-linolenic acid diet on lipogenic enzyme activities, fatty acid composition and meat quality in the growing pig [J]. *J. Anim Sci.* 2003, 81: 1967-1979.
- [47] Enser, M., R. I. Richardson, J. D. Wood, B. P. Gill, and P. R. Sheard. Feeding linseed to increase the n-3 PUFA of pork: Fatty acid composition of muscle, adipose tissue, liver and sausages [J]. *Meat Sci.* 2000, 55:201-212.
- [48] Choi. N. J., Enser, M., Wood, J. D., and Scollan, N. D. Effect of breed on the deposition in beef

- muscle and adipose tissue of dietary n-3 polyunsaturated fatty acids [J]. *Animal Science*, 2000, 71, 509-519.
- [49] Lorenz, S., Buettner, A., Ender, K., Nurnberg, G., Papstein, H. J., Schieberle, P., and Nurnberg, K. Influence of keeping system on the fatty acid composition in the longissimus muscle of bulls and odorants formed after pressure-cooking [J]. *European Food Research and Technology*, 2003, 214, 112-118.
- [50] Scollan, N. D., Dhanoa, M. S., Choi, N. J., Maeng, W. J., Enser, M., and Wood, J. D. Biohydrogenation and digestion of long chain fatty acids in steers fed on different sources of lipid [J]. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 2001, 136, 345-355.
- [51] Scollan, N. D., Choi, N. J., Kurt, E., Fisher, A. V., Enser, M., and Wood, J. D. Manipulating the fatty acid composition of muscle and adipose tissue in beef cattle [J]. *British Journal of Nutrition*, 2001a, 85, 115-124.
- [52] S. L. Cooper, L. A. Sinclair, R. G. Wilkinson, K. G. Hallett, M. Enser, and J. D. Wood. Manipulation of the n-3 polyunsaturated fatty acid content of muscle and adipose tissue in lambs [J]. *J. Anim. Sci.* 2004. 82:1461-1470
- [53] Oprzadek, J. and Oprzadek, A. Modyfikowanie składu kwasów tłuszczowych w tłuszczu mięsa przeżuwaczy [J]. *Medycyna Weterynaryjna* 2003, 59 6,492-495.
- [54] NRC. Nutrient Requirements of Sheep[M]. Sixth Revised Edition, 1985.
- [55] Culler.R.D. Relationship of myofibril fragmentation index to certain chemical, physical and sensory characteristics of bovine longissimus muscle [J]. *J. of Food Sci.*, 1978, 43, 1178-1180.
- [56] Hopkins, D.L., Littlefield, J.M., Thompson, J.M., A research note on factors affecting the determination of myofibrillar fragmentation [J]. *Meat Sci.*, 2000, 56, 19-22.
- [57] Drouillard, J. S., M. A. Seyfert, E. J. Good, E. R. Loe, B. Depenbusch, and R. Daubert. Flaxseed for finishing beef cattle: Effects on animal performance, carcass quality and meat composition [J]. *Proc. 60th Flax Institute*, 2004, March 17-19, Fargo, N.D. pp 108-117.
- [58] Maddock, T. D., M. L. Bauer, K. Koch, V. L. Anderson, R. J. Maddock, and G. P. Lardy. The effect of processing flax in beef feedlot rations on performance, carcass characteristics and trained sensory panel ratings [J]. *Proc. 60th Flax Institute*, 2004, March 17-19, Fargo, N.D. pp 118-123.
- [59] Drouillard, J. S., E. J. Good, C. M. Gordon, T. J. Kessen, M. J. Sulpizio, S. P. Montgomery, and J. J. Sindt. Flaxseed and flaxseed products for cattle: Effects on health, growth performance, carcass quality and sensory attributes [J]. *Proc. 59th Flax Institute*, 2002, March 21-23, Fargo, N.D. pp 72-87.
- [60] E.N. Ponnampalam, A.J. Sinclair, B.J. Hosking, and A.R. Egan. Effects of dietary lipid type on muscle fatty acid composition, carcass leanness, and meat toughness in lambs [J]. *J. Anim. Sci.* 2002, 80: 628-636.
- [61] Kott, R.Q., P.G. Hatfield, J.W. Bergman, C. R. Flynn, H. Van Wagoner, and J.A. Boles. Feedlot performance, carcass composition, and muscle and fat CLA concentrations of lambs fed diets supplemented with safflower seeds [J]. *Small Rumin. Res.* 2003, 49: 11-17.

- [62] J.A. Boles, R.W. Kott, P.G. Hatfield, J.W. Bergman, and C.R. Flynn. Supplemental safflower oil affects the fatty acid profile, including conjugated linoleic acid of lamb [J]. *J. Anim. Sci.* 2005, 83: 2175-2181.
- [63] E.N. Ponnampalam, B.J. Hosking and A.R. Egan. Rate of carcass components gain, carcass characteristics, and muscle longissimus tenderness in lambs fed dietary protein sources with a low quality roughage diet [J]. *Meat Science.* 2003, 63: 143-149.
- [64] A. T. Waylan, J. D. Dunn, B. J. Johnson, J. P. Kayser, and E. K. Sissom Effect of flax supplementation and growth promotants on lipoprotein lipase and glycogenin messenger RNA concentrations in finishing cattle [J]. *J. Anim. Sci.* 2004, 82: 1868-1875.
- [65] Rizzi, L., M. Storkson, K.J. Albright, W. Liu, and M.W. Pariza. Evidence that the trans-10, cis-12 isomer of conjugated linoleic acid induces body composition of lambs fed diets containing extruded soybeans and sunflower seeds [J]. *Meat Sci.* 1999, 97: 103-114.
- [66] Demirel, G. Dietary Effects on Fatty Acid Composition of Sheep Meat. Ph. D. Diss. Bristol University, Bristol, U.K. 2000.
- [67] Wachira, A. M., L. A. Sinclair, R. G. Wilkinson, M. Enser, J. D. Wood, and A. V. Fisher. Effects of dietary fat source and breed on the carcass composition, n-3 polyunsaturated fatty acid and conjugated linoleic acid content of sheep meat and adipose tissue [J]. *Br. J. Nutr.* 2002, 88:697-709.
- [68] Wachira, A. M., L. A. Sinclair, R. G. Wilkinson, K. Hallett, M. Enser, and J. D. Wood. Rumenbiohydrogenation of n-3 polyunsaturated fatty acids and their effects on microbial efficiency and nutrient digestibility in sheep [J]. *J. Agric. Sci.* 2000, 135:419-42
- [69] Kemp, J.D., M. Mahyuddin, D.G. Ely, J.D. Fox and W.G. Moody. Effect of feeding system, slaughter weight and sex on organic properties, and fatty acid composition of lamb [J]. *J. Anim. Sci.* 1981, 51: 321-330.
- [70] Ponnampalam EN, Sinclair AJ, Egan AR, Blakeley SJ, Leury BJ. Effect of diets containing n-3 fatty acids on muscle long-chain n-3 fatty acid content in lambs fed low- and medium-quality roughage diets [J]. *J Anim Sci* 2001a, 79: 698 - 06.
- [71] Ponnampalam EN, Sinclair AJ, Egan AR, Blakeley SJ, Li D, Leury BJ. Effect of dietary modification of muscle longchain n-3 fatty acid on plasma insulin and lipid metabolites, carcass traits, and fat deposition in lambs [J]. *J Anim Sci.* 2001b, 79: 895 - 03.
- [72] 吴伟, 胡勇. 军白日龄羔羊肉质分析测定[J]. *中国草食动物*, 2000, 2(2): 32-33.
- [73] 王志琴, 张晓红, 托合耐等. 巴里坤羊肉营养成分分析[J]. *草食家畜*, 2002, 1: 48-49.
- [74] 贾志海, 蔡青和, 侯文娟. 河北坝上地区羔羊育肥及屠宰试验[J]. *草地学报*. 2000, 8 (4): 262-266.
- [75] Kempster, A. J., P. R. D. Avis, A. Cuthbertson, and G. Harrington. Prediction of the lean content of lamb carcasses of different breed types [J]. *J. Agric. Sci.* 1976, 86:23-34.
- [76] Beauchemin, K. A., L. A. McClelland, S. D. M. Jones, and G. C. Kozub. Effects of crude protein content, protein degradability and energy concentration of the diet on growth and carcass

- characteristics of market lambs fed high concentrate diets [J]. *Can. J. Anim. Sci.* 1995, 75:387-395.
- [77] Voss A,Reinhart M,Sankarappa S.The metabolism of 7,10,13,16,19-docosapentaenoic acid to 4,7,10,13,16,19-docosahexaenoic acid in rat liver is independent of a 4-desaturase [J]. *Biol Chem*,1991, 266(30):1995-2000.
- [78] Bell AW: Lipid metabolism in liver and selected tissues and in the whole body of ruminant animals [J]. *Prog Lipid Res* 1979, 18(3):117-164.
- [79] 李建军, 文杰, 陈继兰. 肉品香味研究进展[J]. *食品科技*, 2002, (6): 23~26.
- [80] Chan. W. K. N. M. Hkkarainen. Effect of dietary VitaminE supplementation on microbial load and sensory assessment in different beef cuts [J]. *Meat. Sci.*,1996, (42): 386.
- [81] Faustman, C., R. G. Csens. Improvement of pigment and lipid stability in Holstein steer fed by dietary supplement of VitaminE [J]. *J. Food. Sci.*, 1989, (54):858.
- [82] Yang, A., M. C. Lanari, M. Brewster, and R. K. Tume. Lipid stability and meat colour of beef from pasture- and grain-fed cattle with or without vitamin E supplement [J]. *Meat Sci.* 2002, 60:41-50.
- [83] J. A. Boles, R. W. Kott, P. G. Hatfield, J. W. Bergman, and C. R. Flynn Supplemental safflower oil affects the fatty acid profile, including conjugated linoleic acid, of lamb [J]. *J Anim Sci.* 2005, (83): 2175-2181.
- [84] Gray JI,GomaaE A, Buckley D J. Oxidative quality and shelf life of meats. *Meat Science.* 1996,43: S111-S121.
- [85] 孙群.肉制品脂类氧化: 硫代巴比妥酸试验测定醛类物质[J]. *食品科学*, 2002, (23), 8: 331-334
- [86] Koolmaria. Acceleration of postmortem tenderization process of ovine carcass through activation of Ca²⁺-dependent proteolysis [J]. *Journal of food science.* 1988, 53:1638-1641.
- [87] Barowicz, T. Oxygen free radicals, antioxidants and the quality of pork [J]. *Trzoda Chlewna*, 2000, 12, 53 - 55 (in Polish).
- [88] Thiel-Cooper R L, Parrish F C, Sparks J C. Conjugated linoleic acid changes swine performance and carcass composition [J]. *J Anim Sci*, 2001, 79(7): 1 821 ~1 828.
- [89] Wiegand. Feeding high levels of vitamin D3 does not improve tenderness of callipyge lamb loin chops [J]. *Journal of Animal Science.* 2001, 79,2086-2091.
- [90] M. S. Madron, D. G. Peterson, D. A. Dwyer, B. A. Corl, L. H. Baumgard, D. H. Beermann, and D. E. Bauman. Effect of extruded full-fat soybeans on conjugated linoleic acid content of intramuscular, intermuscular, and subcutaneous fat in beef steers [J]. *J Anim Sci.* 2002, 80: 1135-1143.
- [91] M. R. Bolte, B. W. Hess, W. J. Means, G. E. Moss, and D. C. Rule. Feeding lambs high-oleate or high-linoleate safflower seeds differentially influences carcass fatty acid composition [J]. *J Anim Sci.* 2002, 80: 609-616.
- [92] Simopoulos A P. Role of poultry products in enriching the human diet with n-3 polyunsaturated fatty acids [J]. *J. Poultry Science.* 2000, 79: 961-920.

迄今为止发表论文如下：

- [1] 武雅楠, 李建国, 曹玉凤, 韩醒, 钟荣珍. 硫在反刍动物营养中的作用及其需要量的研究[J]. 中国畜牧兽医, 2006, (32) 5: 16-19.
- [2] 武雅楠, 李建国. 亚麻籽在反刍动物中的应用[J]. 中国饲料, 2006, 16: 33-35.

CHINA FEED

中国饲料



ISSN 1004-3314

2006 16

总第324期

中国饲料工业协会主办 ● 全国优秀科技期刊 ● 中文核心期刊



江苏正昌粮机股份有限公司

JIANGSU ZHENGCHANG CEREAL AND FEED MACHINERY CO., LTD.

中国驰名商标

全国守合同重信用企业

江苏省农业机械行业协会

江苏省科技进步奖

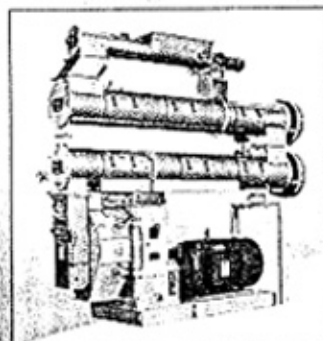
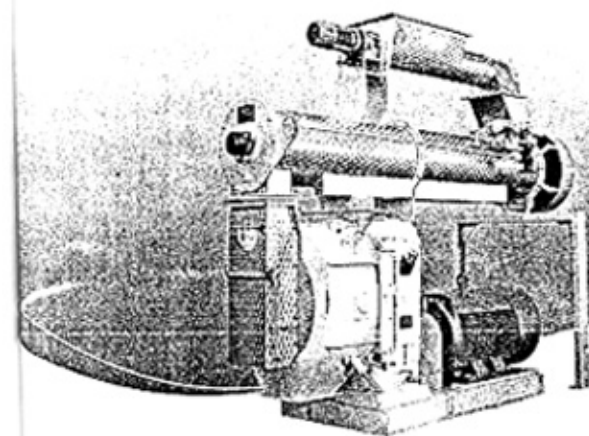
正昌制粒机为客户创造更高的价值

正昌系列SZLH508、SZLH420系列制粒机已全方位升级, 制粒效果更佳, 产量更高

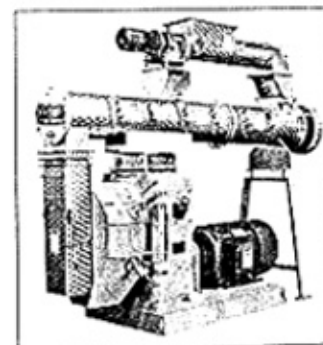
正昌SZLH420 高品质畜禽料颗粒机

随着饲料厂向中大型的发展, 如何选择能提高效率的设备, 生产高品质饲料是每位企业主关心的问题。我公司建议您选用效率高15%的SZLH420颗粒主机设备, 每年可节约一套设备的成本。(3万吨饲料可提高4500吨产量 × 节约加工费60元/吨 = 27万元)

可根据鸡、猪设计不同工艺, 料肉比提高0.06 (即1:1.85 ↑ 1:1.91)



SZLH508水产型颗粒机



正昌SZLH350 高品质小型畜禽料制粒机

功率110kW SZLH420用时产12吨(0.4.5)平均9kW=1吨饲料, 领导制粒新风貌
尊敬的广大正昌制粒机客户, 您可根据设备使用情况与我公司及时联系, 我们将竭诚为您正在使用中的正昌508制粒机作好全面升级工作。

电话: +86-519-7309988 7308899 传真: +86-519-7300000 地址: 江苏省溧阳市经济开发区正昌路20号 邮编: 213300
//www.zhengchang.com E-mail: webmaster@zhengchang.com



9 771004 331001

■ 本刊评论员: 实施“四大战略”, 促进“五大转变”

■ 张宝文副部长在全国饲料工作会议上的重要讲话

中国饲料



ZHONG GUO SI LIAO

半月刊

2006年第16期

(总第324期)

8月20日出版

(1990年创刊)

主 办 中国饲料工业协会

编 辑 中国饲料编辑部

出 版 中国饲料杂志社

地址:北京安外大街东后巷28号2号楼

邮政编码:100710

电话:64246642 传真:64246635

网址: <http://www.chinafeed.com.cn>

电子信箱: zgsl@chinafeed.com.cn

社 长 单 钟 副社长 吴晓东(常务) 郭玉玲

主 编 谢洪钧

副 主 编 吴晓东 田建华

责任编辑 赵丽华

中国标准刊号 ISSN 1004-3314
CN 11-2975/S

发行范围 国内外公开发行

国内发行 北京报刊发行局

邮发代号 82-554

国外发行 中国国际图书贸易总公司(北京399信箱)

国外代号 4528 SM

印 刷 北京通天印刷有限责任公司

广告许可证 京东工商广字0077号

每期定价 4.00元

目 次

实施“四大战略”,促进“五大转变”

——热烈祝贺全国饲料工作会议胜利召开

..... 本刊评论员(1)

开拓创新 扎实工作 努力把我国建设成为饲料业强国

..... 张宝文(2)

明确出发点 把握关键点 突出着力点 宗锦耀(9)

综述

猪肌纤维发育及其与肉质的关系.....

..... 刘居鹏 单安山 彭济昌(11)

粘杆菌素研究及其应用 周 艳 方 静 李英伦(15)

科学实验研究

日粮中肽和氨基酸比例对肉鸡生长性能和生理

生化指标的影响 李富伟 蔡辉益(18)

添加剂

白藜芦醇的生物学功能及其应用前景 王 燕(22)

合生素对肉仔鸡生长性能的影响.....

..... 宋青龙 潘宝海 张建东等(25)

维生素 K₃ 的合成 曹晓群(27)

动物营养

蛋白酶体及其与肉品质的关系.....

..... 陈旭东 唐茂妍 计 成等(29)

亚麻籽在反刍动物中的应用 武雅楠 李建国(33)

饲料加工机械与工艺

膨化对大豆抗营养因子的影响 徐奇友 许 红(36)

资源开发利用

沙葱在养羊生产中的应用前景.....

..... 赵春艳 敖长金 孙立武等(38)

亚麻籽在反刍动物中的应用

河北农业大学动物科技学院 武雅楠 李建国

[摘要] 亚麻籽是反刍动物营养物质的一个重要来源,含有丰富的蛋白质、能量及必需脂肪酸。饲喂亚麻籽日粮可以提高肌肉中 ω -3必需脂肪酸的水平,从而改善肉质,优化人们饮食结构。文章介绍了亚麻籽的营养价值,以及通过在日粮中添加亚麻籽,对反刍动物消化吸收和肌肉性能的影响。

[关键词] 亚麻籽;反刍动物

[中图分类号] S816.4

[文献标识码] A

[文章编号] 1004-3314(2006)16-0033-03

[Abstract] Linseed can serve as a useful source of nutrients for the ruminant. The contents of protein, energy and essential fatty acids were abundant in the linseed. Using linseed in ruminant diets could increase the level of ω -3 fatty acid of meat and improve the meat quality. The value of linseed in the ruminant nutrition and the effect of feeding linseed diets on digestion absorbability and meat performance of the ruminant were described in the article.

[Key words] linseed; ruminant

亚麻俗称胡麻。传统上亚麻籽被压榨成亚麻油应用于工业,榨油后的副产物亚麻饼常作为家畜日粮中蛋白质补充料。亚麻籽中含有各种脂肪酸,特别是多不饱和脂肪酸(PUFA)含量较高,其中亚油酸和亚麻酸,可降低血液胆固醇和血脂,预防心血管疾病。Connors(2000)指出,亚麻籽中的许多营养物质对人类的具有潜在影响。亚麻籽中包含大约20%的 α -亚麻酸(ALA),ALA是一种必需脂肪酸,是合成二十碳五烯酸(EPA)的前体物质。EPA不但是合成各种花生酸(在免疫反应中起重要作用)的前体物质,还可以进一步合成二十二碳六烯酸(DHA),DHA是维持细胞膜结构完整性及大脑和眼部健康所必需的n-3脂肪酸。亚麻籽还是木质素前体的主要来源,可由瘤胃微生物转化为哺乳动物的植物性雌激素。植物性雌激素在替代荷尔蒙方面具有潜在的功效(Harris和Haggerty,1993)。

1 亚麻籽的营养价值

亚麻籽中富含亚麻油、蛋白质、木质素、可溶性纤维、矿物质及维生素等营养成分,但也含有一些抗营养因子。

1.1 亚麻籽的能量和氨基酸组成 亚麻籽是优良的植物蛋白质饲料,但是因品种、产地、榨油方法及工艺不同其营养组成不同(Daun等,2003)。

一般来说,亚麻籽包含41%的油质、20%蛋白质和28%纤维,其中蛋白质含量为18.8%~24.4%,可消化能为10.45~12.54 MJ/kg(Daun和Przybylski,2000)。亚麻籽能量含量介于大豆和葵花籽之间,粗蛋白质含量与葵花籽和棉籽相近(表1),氨基酸组成与大豆类似(表2)。

1.2 脂肪酸组成 亚麻籽是ALA的丰富来源,与大豆、棉籽、玉米和葵花籽相反,其n-3 PUFA含量高而n-6多不饱和亚油酸含量较低。另外,亚麻籽短链脂肪酸的含量要低于大豆、棉籽和玉米(NRC,1998;Flax Council of Canad,1997)。

1.3 维生素和矿物质组成 表3列出了亚麻籽饼、豆饼和葵花籽饼的维生素含量(NRC,1998)。亚麻籽在矿物质成分中与大豆类似,但是亚麻籽中钾含量非常低,而镁含量则高于大豆和棉籽(表4);另外,亚麻籽中铜、锰、铁、锌、钼的含量与鱼粉无明显差异,而硒含量显著低于鱼粉。

1.4 亚麻籽的毒性 亚麻籽及其饼粕中含有生氰糖苷和抗维生素B₆等抗营养成分。生氰糖苷J是通过 β -糖苷酶的作用释放呼吸抑制剂氰化氢(HCN)而发挥毒性作用。氢氰酸含量受品种、种子成熟程度、种子含油量及榨油方法等因素的影响。油用亚麻籽、完全成熟的种子、浸提热榨的亚麻饼氢氰酸含量较低。饲喂过多或长期饲喂亚麻籽及

饼粕可能会影响反刍动物生长性能。

表1 不同油籽营养含量(干物质基础)

	亚麻 ^a	大豆 ^a	向日葵 ^a	棉籽 ^b
干物质(%)	94	90	94	91
总可消化养分(IDN)(%)	110	91	121	95
维持净能(NEm)(Mcal/kg)	2.82	2.11	3.12	2.38
生长净能(NEg)(Mcal/kg)	1.96	1.47	2.40	1.67
粗蛋白(CP)(%)	22.8	41.7	17.9	23.0
油脂(%) ^c	35.0	18.8	41.0	17.5
酸性洗涤纤维(ADF)(%)	8	10.0	39.0	40.0
钙(Ca)(%)	0.26	0.27	0.18	0.16
磷(P)(%)	0.56	0.63	0.56	0.62

注:1)资料来源于Lundy和Anderson(1999);2)资料来源于NRC(1996);3)^c为油向日葵。

表2 不同油籽氨基酸组成 g/100g 蛋白质

	亚麻 ^a	大豆 ^b	向日葵 ^b
精氨酸	9.2	7.32	8.18
胱氨酸	1.1	1.5	1.77
组氨酸	2.2	2.77	2.60
异亮氨酸	4.0	4.56	4.09
亮氨酸	5.8	7.81	6.41
赖氨酸	4.0	6.29	3.56
蛋氨酸	1.5	1.44	2.29
苯丙氨酸	4.6	5.26	4.62
苏氨酸	3.6	3.96	3.72
色氨酸	1.8	1.26	1.19
缬氨酸	4.6	4.64	4.95

注:^a资料来源于Omaha和Mazza(1993);^b资料来源于NRC(2001)。

2 亚麻籽对反刍动物消化吸收的影响

亚麻籽含油量较高,是家畜日粮中很好的脂肪来源。由于脂肪会阻碍瘤胃发酵,反刍动物日粮中脂肪浓度应控制在5%左右(Byers和Schelling,1988),因此,日粮中添加亚麻籽应控制在12%~14%。Drouillard等(2004)试验表明,在肉阉公牛日粮中分别添加0%、5%、10%和15%的亚麻籽,肉牛干物质摄入量呈线性减少。另外,由于亚麻籽的蛋白质含量较高,在作为蛋白质来源的同时,应考虑亚麻酸等脂肪成分对蛋白质数量的影响。

王洪荣等(1999)研究表明,饲喂亚麻饼日粮微生物氮流量最高,微生物氮占进入十二指肠非氮氮的比例最高(55.71%)。饲喂亚麻饼日粮下,减赖氨酸(Lys)和减精氨酸(Arg)组绵羊比全量灌注组的日增重、沉积氮、沉积氮/可消化氮显著降低。饲喂亚麻饼日粮生长绵羊的第一限制性氨基酸为Lys(相对限制程度为22%)、第二限制性氨基酸

为Arg(相对限制程度为13%)。不同氮源日粮对绵羊血浆游离氨基酸有显著影响,其中血粉日粮的血浆中Lys和苏氨酸(Thr)浓度比豆饼和亚麻饼日粮高;亚麻饼日粮绵羊血浆中的Arg和脯氨酸(Pro)比豆饼和血粉日粮高。

表3 亚麻籽粉、大豆粉

和葵花籽粉中维生素含量 mg/kg

	亚麻	大豆	向日葵
生物素	0.41	0.26	1.45
胆碱	1512	2731	3150
叶酸	1.30	1.37	1.14
烟酸	33	22	220
泛酸	14.7	15.0	24.0
核黄素	2.9	3.1	3.6
硫胺	7.5	3.2	3.5
维生素B ₆	6.0	6.4	NG
维生素E	2.0	2.3	9.1
β-胡萝卜素	0.2	0.2	0.0

注:1)资料来源于Flax Council of Canada(1997);²NRC(1996),下同。

表4 不同油籽矿物质含量

	亚麻 ^a	棉籽 ^b	大豆 ^b
钙(%)	0.24	0.16	0.27
镁(%)	0.43	0.35	0.27
磷(%)	0.62	0.62	0.65
钾(%)	0.83	1.22	2.01
铜(mg/kg)	10	10	20
铁(mg/kg)	50	160	180
锰(mg/kg)	30	10	40
钠(mg/kg)	270	300	400
锌(mg/kg)	40	40	60

3 亚麻籽对反刍动物胴体品质的影响

3.1 胴体质量 添加亚麻籽对肉牛胴体精肉率和产量的影响目前尚不清楚。Drouillard等(2004)在肉阉牛日粮中分别添加0%、5%、10%和15%的亚麻籽,5%和10%组显著提高了胴体重。这与Maddock等(2004)报道的结果相吻合。Drouillard等(2002)在断奶小牛日粮中添加不同水平的亚麻籽(0%、5%、10%、15%和20%)36~40 d后,发现添加10%的亚麻籽组日增重效果最好。Waylan等(2004)报道,在育成阉牛日粮中添加亚麻籽可以降低LPL和糖原的基因表达,从而影响了肌肉组织利用脂肪酸和葡萄糖的能力,最终起到影响胴体增重的作用。

3.2 肌肉组成 目前试验证实,在日粮中添加亚

麻籽对改变肌肉脂肪酸特别是 n-3 PUFA 具有积极的作用。与日粮中添加谷粒(34 g/kg 油脂)和大麦(39 g/kg 油脂)相比,添加亚麻籽显著提高了阉牛肌肉中 ALA 的含量(Maddock 等,2003)。Drouillard 等(2004)报道,与不含亚麻籽的对照组相比,阉牛日粮中添加 5 % 的亚麻籽显著提高了肌肉中 ALA 的含量。而在荷斯坦阉牛日粮中添加 5 % 的亚麻籽 109 ~ 157 d, 同样提高了肌肉和脂肪中 ALA 浓度。Maddock 等(2004)发现,在奶牛日粮中添加 8 % 的亚麻籽可以增加肌肉中磷脂和中性脂肪 ALA 的含量,并指出,饲喂 8 % 的亚麻籽可以显著提高磷脂长链 n-3 PUFA, 如 EPA、DPA 和 DHA 的含量。Drouillard 等(2004、2000)的报道也指出,添加 5 % 或更高水平的亚麻籽,可以提高肉牛肌肉中 EPA 和 DHA 的含量。

Collins(2004)在羔羊日粮中添加亚麻油增加了肌肉 PUFA 与短链脂肪酸(SFA)的比值($P < 0.001$),同时降低了肌肉脂肪中脂肪酸 n-6 与 n-3 的比例($P < 0.001$)。这表明,日粮中添加一定量的亚麻油,可以有效改善羔羊肌肉组织中脂肪酸的组成。Cooper 等(2004)研究表明,日粮中添加保护性亚麻籽可以改善羊羔肌肉中 PUFA 的含量,增加 EPA 和 DHA 的含量,增加中性脂肪及组织中 cis-9,trans-11 共轭亚油酸(CLA)的含量,优化 n-3 和 n-6 多不饱和脂肪酸的比例。

3.3 肉质 Maddock 等(2003)在阉牛日粮中添加 3 % 和 6 % 的亚麻籽,结果显示,试验组在第 12 肋骨脂肪厚度和眼肌面积上无显著不同。Maddock 等(2004)在小母牛日粮干物质基础上添加 8 % 的亚麻籽,结果表明,亚麻籽可以增加肌肉大理石花纹($P=0.14$)。

目前,亚麻籽对于肉制品风味的影响尚不清楚。Maddock 等(2004、2003)提出,饲喂亚麻籽的阉牛较饲喂基础谷粒日粮的阉牛牛排含汁量少且剪切力较小;而 Drouillard 等(2004)报道,二者在含汁量、嫩度及风味方面无显著不同。

4 小结

随着我国畜牧业由数量型向质量型转变,人们对肉品质量的重视程度越来越高。亚麻籽作为反刍动物的一个重要营养物质来源,含有丰富的蛋白质、能量及必需脂肪酸。饲喂亚麻籽日粮对提高肌肉中 n-3 必需脂肪酸等的水平,改善肉品质

起到了重要作用。

参考文献

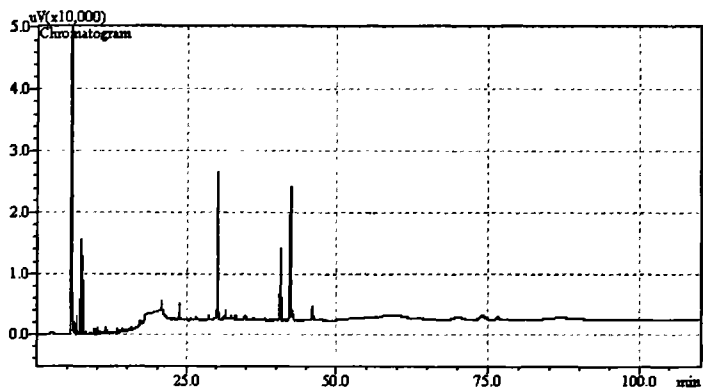
- [1] 李勇,李德发,邢建军,等.麦糠日粮营养补添对绵羊全消化道养分消化率的影响[J].饲料研究,2001,6:4~7.
- [2] 王洪荣,卢德勤,张海鹰,等.饲喂豆粕、亚麻饼和血粉氮源日粮的生长绵羊限制性氨基酸研究[J].动物营养学报,1999,(增刊):106~122.
- [3] Collins Dietary flaxseed improves the fatty acid composition of lamb tissues. [J].Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition,2004;13(Suppl).
- [4] Connors W E.Importance of n-3 fatty acids in health and disease [J].Am J Clin Nutr,2000,71:171~175.
- [5] Cooper S L,Sinclair L A,Wilkinson R G,et al.Manipulation of the n-3 polyunsaturated fatty acid content of muscle and adipose tissue in lambs[J].J Anim Sci,2004,82:1461~1470.
- [6] Daun J K,Przybylski R.Environmental effects on the composition of four Canadian flax cultivars[A].Proc 58th Flax Institute[C].Fargo,2000,3:23~25.
- [7] Daun J K,Barthelet V J,Chormick T L,et al.Structure,composition and variety development of flaxseed [A].Flaxseed in Human Nutrition,2nd ed[C].AOCS Press,Champaign,IL,2003.1~40.
- [8] Drouillard J S,Farran T B,Biasi D A,et al.Modulation of immune response in feeder cattle with flaxseed [A].Proc 58th Flax Institute[C].Fargo,N D,2000,3:53~62.
- [9] Drouillard J S,Good E J,Gordon C M,et al.Flaxseed and flaxseed products for cattle:Effects on health,growth performance,carcass quality and sensory attributes[A].Proc.59th Flax Institute[C].Fargo N D,2002,3:72~87.
- [10] Drouillard J S,Seyfert M A,Good E J,et al.Flaxseed for finishing beef cattle:Effects on animal performance,carcass quality and meat composition[A].Proc.60th Flax Institute[C].Fargo N D,2004,3:108~117.
- [11] Flax Council of Canada.Contractual analysis [A].D H Morris.Flax -A health and nutrition primer[C].Flax Council of Canada,Winnipeg,MB,1997.
- [12] Harris R K,Haggerty W J.Assays for potentially anti-carcinogenic phytochemicals in flaxseed[J].Cereal Foods World,1993,38:147~151.
- [13] Lardy G P,Anderson V L.Alternative feeds for ruminants [Z].North Dakota State University Extension Service Bulletin,1999.
- [14] Maddock T D,Anderson V L,Berg P T,et al.Influence of level of flaxseed addition and time fed flaxseed on carcass characteristics,sensory panel evaluation and fatty acid content of fresh beef [A].Proc 56th Reciprocal Meats Conference,Am Meat Sci.Assoc[C].Columbia,Mo,2003.
- [15] Maddock T D,Bauer M L,Koch K,et al.The effect of processing flax in beef feedlot rations on performance,carcass characteristics and trained sensory panel ratings[A].Proc.60th Flax Institute[C].Fargo,N D,2004,3:118~123.
- [16] NRC.Nutrient requirement of swine.10th Rev.Ed[M].National Academy Press,Washington,D.C.,1998.
- [17] NRC.Nutrient requirements of beef cattle 7th Rev.Ed [M].National Academy Press,Washington,D.C.,1996.
- [18] NRC.Nutrient requirements of dairy cattle.7th Rev.Ed [M].National Academy Press,Washington,D.C.,2001.
- [19] Oomah B D,Mazza G.Flaxseed proteins-A review [J].Food Chem,1993,48:109~114.
- [20] Waylan A T,Dunn J D,Johnson B J,et al.Sissom Effect of flax supplementation and growth promotants on lipoprotein lipase and glycogenin messenger RNA concentrations in finishing cattle[J].J Anim Sci,2004,82:1868~1875.

[通讯地址:河北省保定市,邮编:071001]

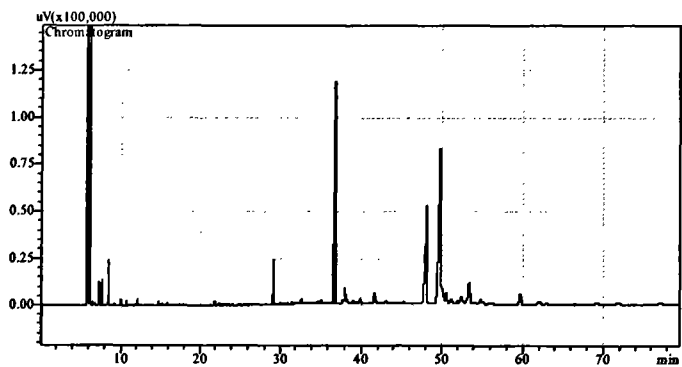
附 录

附录一：部分羔羊背腰最长肌脂肪酸组成测定图谱

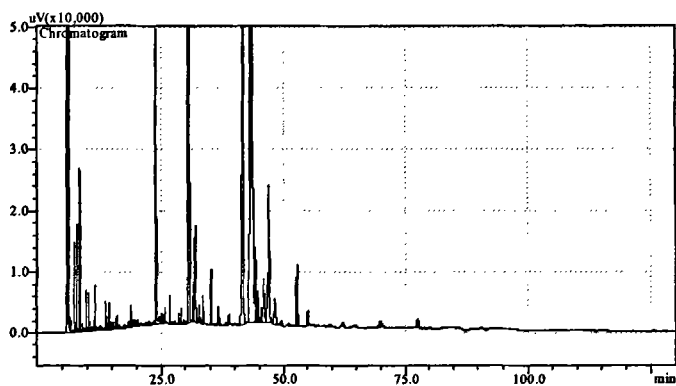
对照组：



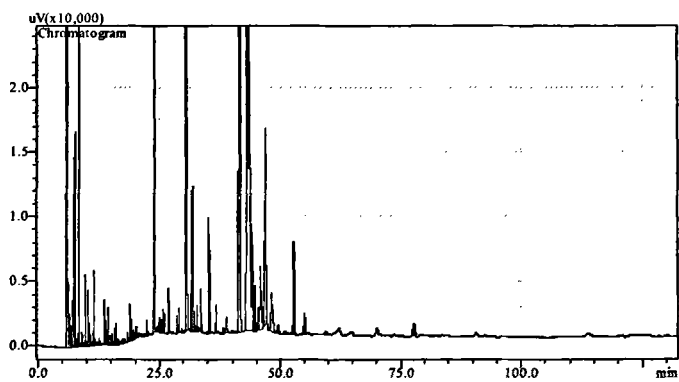
5%亚麻籽组



10%亚麻籽组



15%亚麻籽组



作者简介

姓 名：武雅楠

性 别：男

出生年月：1981.2.16

籍 贯：天津市和平区

民 族：汉族

政治面貌：中共预备党员

所学专业：动物营养与饲料科学

毕业院校：河北农业大学

最后学历：农学硕士

学习经历：

2004.09～：河北农业大学，动物营养与饲料科学

2000.09～2004.06：河北农业大学，动物科学专业，获农学学士学位

社会实践：

1.2001年—2003年，在河北农大学生艺术团担任电声乐队队长及舞蹈队成员，期间多次代表校艺术团参加河北省各高校组织的活动和文艺演出。

2.2002年—2003年，在动物科技学院担任文艺部副部长。

3.2004年3月—6月，参与完成超声波对羊肉嫩度影响的试验。

4.2004年9月，在河北保定青堡赵建寅奶牛场参与科研调查。

5.2005年6月，参与“优质肉羊规模化养殖关键技术及相关产品的中试与示范”课题的部分试验工作。

6.2005年—2006年，带02级专本科生，03级本科生“养牛学”实验。

7.2006年3月—7月，参与“主要畜禽无公害健康养殖关键技术研究”以及“反刍动物乳、肉品质质量营养调控关键技术研究”课题的试验工作，在河北省保定市唐县富华良种羊繁殖基地进行实习，并在此完成毕业论文的饲养试验部分工作。

8.2006年7月—8月，参与最新版《畜牧学概论》的编译工作。

9.2006年7月，参与协助保定三中创新活动中肉品质品质鉴定工作。

在硕士研究生三年的学习中，我时刻按照“宽专业、厚基础、强能力、高素质”标准去要求自己。学习上，我刻苦努力，顺利完成了学校开设的基础与专业课程并取得优异成绩，顺利通过国家英语六级考试。硕士期间独立完成了课题选择、试验设计和实施等工作，培养了自己的实际动手能力，提高了自己的科研水平。读研期间完成，《亚麻籽对羔羊生产性能、血液生化指标及肉品质的影响》。以第一作者发表学术论文2篇。

致 谢

本论文是在导师李建国教授的悉心指导下完成的。在整个试验过程中，导师不论是从选题、试验设计，还是在工作中都对我倾注了无私的关怀和热情的帮助，为试验的顺利进行提供了良好的环境和条件。在三年的研究生学习期间，无论在生活上还是学习方面，导师和师母曹玉凤研究员都给了我无微不至的关怀。他们是良师，师者之风令我肃然起敬；是诤友，给我的建议使我终身受益。在此谨向导师和师母致以崇高的敬意和表示衷心地感谢！导师渊博的知识、执着的敬业精神都是学生在今后工作和学习上的动力和楷模。

感谢河北省畜牧兽医研究所的李英研究员、河北农业大学谷子林研究员在论文修改过程中提出的宝贵意见；感谢天津科技大学王稳航老师、河北省畜牧兽医研究所刘荣昌老师、刘国艳老师、孙凤莉师姐、河北农业大学李兰会老师、李秋凤老师、曹素英老师、高艳霞老师在样品分析过程中的悉心指导和帮助。在试验和数据分析过程中，得到了保定市唐县富华农牧业发展有限公司总经理王宏伟、富华良种羊繁殖基地厂长王玉良给予的大力支持和帮助，在此一并表示感谢。

感谢师姐刘瑞娜、赵晓静，师兄孙涛、韩醒、吴志广，本实验室钟荣珍、李娜，师妹杨柯，师弟侯柄刚、张亚峰、陈涛、刘博等的关心和帮助，同级陈辉、王金梅、邱建永、韩立军、翟文栋等几年来在学习和生活上给予了我极大的关心与帮助，在感动之余向他（她）们表示由衷的感谢。

感谢我的父母和全体家庭成员，正是由于他们的全力支持和帮助，我才能全身心地投入到工作和学习之中，并且顺利完成了学业。

回顾过去，自己学业上每一点进步和收获都离不开师长、亲人和朋友地帮助，我要把他们的关心支持化作我不断进取的动力，努力的去拼搏奋斗，以自己的实际行动去回报社会！

武雅楠

二零零七年五月