

摘 要

16 只体重相近(34.06 ± 1.68) kg 的杂交公羔羊按单因素随机设计原理被分成 4 组, 每组 4 只, 分别饲喂添加了 0%、5%、10%、15% 亚麻籽的日粮进行消化代谢试验和饲养试验, 研究不同水平的亚麻籽对羔羊消化代谢、生长性能、屠宰性能和肌肉脂肪酸组成的影响。结果表明: ①随着亚麻籽添加水平的提高, 干物质的采食量及其表观消化率有下降的趋势, 氮的表观消化率各组间差异显著 ($P < 0.05$), 呈现逐渐递减的现象; 有机物的表观消化率变化幅度不大, 0%、5%、10% 亚麻籽组间差异不显著 ($P > 0.05$), 只有 15% 亚麻籽组与其它组比较差异显著 ($P < 0.05$); 粗脂肪的表观消化率呈上升趋势, 10% 亚麻籽组最高, 与对照组比较差异显著 ($P < 0.05$); 纤维类物质 NDF 和 ADF 的表观消化率表现大幅度的下降, 各组间差异显著 ($P < 0.05$)。②在 60 天的试验期内, 随着亚麻籽添加水平的提高, 净增重、平均日增重、饲料报酬三个指标有降低的趋势。15% 亚麻籽组与其它组相比差异显著 ($P < 0.05$)。③试验各组的屠宰率和眼肌面积比对照组的高, 其中 5% 亚麻籽组的最高, 屠宰率为 46.86%。眼肌面积为 20.44 cm^2 , ④肌肉和脂肪组织中 c9, t11-CLA 的含量各试验组比对照组都要高, 其中 15% 亚麻籽组最高, 依次是 10% 亚麻籽组和 5% 亚麻籽组, 与对照组比较差异显著 ($P < 0.05$); 肌肉中亚麻酸 (C18:3) 的含量与亚麻籽的添加水平呈正相关, 15% 亚麻籽组最高; 二十碳五烯酸 (C20:5n-3, EPA) 和二十二碳六烯酸 (C22:6n-3, DHA) 为 10% 亚麻籽组最高, 与对照组比较差异显著 ($P < 0.05$)。

关键词: 亚麻籽, 肉羊, 表观消化率, 生长性能, 脂肪酸组成

Abstract

16 Dorset-crossbred lambs, with an initial live weight of 34.06 ± 1.68 kg, were randomly allotted to feed one of four concentrate diets containing 0%, 5%, 10%, or 15% flaxseed. Effects of supplementing different flaxseed levels on nutrients metabolism, productive performance, carcass traits and fatty acids composition in muscle were studied by metabolism experiment and feeding experiment. Results showed that: ① With increasing of flaxseed levels, DMI and apparent digestibility of DM decreased but apparent digestibility of DM did not differ ($P > 0.05$) among each groups. Apparent digestibility of N decreased and differ ($P < 0.05$). Apparent digestibility of OM did not differ ($P > 0.05$) among 0%、5%、10% flaxseed groups, but there is difference ($P < 0.05$) between 15% flaxseed group and other groups. Apparent digestibility of EE increased and 10% flaxseed group's is the highest (73.45%) than other groups. There is significant effect ($P < 0.05$) compared with control group. Apparent digestibility of NDF and ADF decreased markedly and there is significant effect ($P < 0.05$). ② During 60 days feeding experiment, weight gains, average daily gains, feed efficiency decreased with increasing of flaxseed levels. There is difference ($P < 0.05$) between 15% flaxseed group and other groups. ③ Slaughter rate and loin muscle area increased with increasing of flaxseed levels. 5% flaxseed has the highest slaughter rate (46.86%) and loin muscle area (20.44 cm^2). ④ Content of CLA of treatment groups is higher to control group in muscle and fat. difference is significant ($P < 0.05$). Content of CLA of 15% flaxseed group is the highest. As flaxseed increased, Content of C18:3 of muscle increased ($P < 0.05$). 15% flaxseed group is the highest. Content of EPA and DHA of 10% flaxseed group is the highest and differ to control group ($P < 0.05$).

Key words: Flaxseed, Lamb, Apparent Digestibility, Growth Performance, Fatty Acids Composition

缩写词表 (Abbreviations)

缩写名	英文全名	中文名
DE	Digestive Energy	消化能
DM	Dry Matter	干物质
CP	Crude Protein	粗蛋白
CF	Crude Fiber	粗纤维
ADF	Acid Detergent Fiber	酸性洗涤纤维
NDF	Neutral Detergent Fiber	中性洗涤纤维
IMF	Intramuscular Fat	肌肉脂肪
FA	Fatty Acid	脂肪酸
EFA	Essential Fatty Acid	必需脂肪酸
DHA	Docosahexaenoic Acid	二十二碳六烯酸
EPA	Eicosapentaenoic Acid	二十碳五烯酸
CLA	Conjugated Linoleic Acid	共轭亚油酸
TFA	Total Fatty Acid	总脂肪酸
SFA	Saturated Fatty Acid	饱和脂肪酸
USFA	Unsaturated Fatty Acid	不饱和脂肪酸
MUFA	Mono-saturated Fatty Acid	单不饱和脂肪酸
PUFA	Polyunsaturated Fatty Acid	多不饱和脂肪酸
DMI	Dry matter intake	干物质采食量
OM	Organic matter	有机物

独创性声明

本人声明所呈交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，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，也不包含为获得中国农业大学或其它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了谢意。

研究生签名：褚俊文

时间：2006年11月20日

关于论文使用授权的说明

本人完全了解中国农业大学有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权保留送交论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文。同意中国农业大学可以用不同方式在不同媒体上发表、传播学位论文的全部或部分内容。

(保密的学位论文在解密后应遵守此协议)

研究生签名：褚俊文

时间：2006年11月20日

导师签名：高俊才

时间：2006年11月20日

第一章 绪 论

1.1 引言

随着社会的进步和人们生活水平的提高,越来越多的人认识到食品很可能是预防疾病和某些疾病发展的重要因素,因此,对人类健康有益的功能性食品越来越引起人们的关注。在死亡原因中占前三位的癌、心疾患和脑血管障碍疾病,与脂质代谢异常都具有不可分割的关系,于是调节脂质代谢作用的功能食品因子的开发在整个功能食品中占有相当重要的位置。

众所周知,羊肉是一种营养丰富、具有一定的食疗功效的低胆固醇食品,如果能通过营养的手段来改善羊肉的脂肪酸组成,使其脂肪酸组成朝着有益于人类健康的方向发展,使人们能在品尝羊肉美味的同时,也能对身体的保健起到积极的影响,这将是两全其美之事。

经研究, $n-3$ 多不饱和脂肪酸($n-3PUFA_s$)和共轭亚油酸(CLA)这两种脂肪酸对人体健康有积极的影响。 $n-3$ 多不饱和脂肪包括 α -亚麻酸($C_{18:3n-3}$, ALA)、二十碳五烯酸($C_{20:5n-3}$, EPA)和二十二碳六烯酸($C_{22:6n-3}$, DHA),其中 α -亚麻酸资源丰富,是一种必需脂肪酸,具有独立的生物活性,在生物体内去饱和酶和碳链延长酶的作用下,部分可转化为EPA和DHA,EPA具有降低血脂和改善血小板凝固作用,可预防脑血栓和心肌梗塞等疾病,DHA则具有促进神经系统发育、提高记忆力和视网膜反射能力、预防老年痴呆症、预防癌症和抗过敏症等功效。脂肪代谢临床研究证明, α -亚麻酸具有降血脂、防治心血管疾病、抗炎抗癌、增强智力、改善记忆力等生理、药理功能。

共轭亚油酸(特别是其中的 $C_{9,t11}$ -CLA)的积极的营养效应,如抗癌、抗动脉粥样硬化、强化免疫、改善肉品质等方面已在动物试验中得到证实。CLA的天然来源是反刍动物产品(肉、奶),反刍动物可以通过两条途径在体内生物合成CLA:一是瘤胃微生物的生物氢化,瘤胃微生物在对亚油酸进行生物加氢过程中发生异构化生成CLA;二是内源合成,主要是反-11-十八烯酸($t-11C_{18:1}$)在组织中的 Δ^9 -去饱和酶的去饱和作用下形成,而有报道称内源合成的底物反-11-十八烯酸主要是亚麻酸生物加氢的中间体。

这样,我们就发现 $n-3$ 多不饱和脂肪酸和共轭亚油酸都不可避免地亚麻酸发生着联系,而亚麻酸含量最多的植物之一就是亚麻籽。

亚麻籽为亚麻(也称胡麻)所结之籽,亚麻籽含油率36~45%,其饱和脂肪酸占9%~11%,不饱和脂肪酸达80%以上,油酸13%~29%,亚油酸15%~30%,亚麻酸40%~60%,其中 α -亚麻酸含量高达51%~56.5%,亚麻籽是一种富含 α -亚麻酸的特种油料作物。利用亚麻籽作为饲料原料的研究已有人做过有益的尝试,这些研究主要集中在蛋鸡、肉鸡及奶牛上。

本研究的目的在于确定添加不同水平的亚麻籽对肉羊消化代谢、生长性能、屠宰性能及肉中脂肪酸组成(特别关注 $n-3$ 多不饱和脂肪酸和共轭亚油酸)的影响程度,为利用亚麻籽生产富集 $n-3$ 多不饱和脂肪酸和共轭亚油酸的功能性羊肉提供必要的参数。

1.2 文献综述

1.2.1 亚麻籽概述

1.2.1.1 我国亚麻籽资源状况

亚麻籽为亚麻(也称胡麻)所结之籽, 亚麻为一年生或多年生草本植物, 大致可分为三类: 油用亚麻、纤维用亚麻、油纤两用亚麻。油用亚麻主要产于印度、加拿大、美国、中国、阿根廷, 是世界十大油料作物之一, 其产量占第七位。我国的种植面积居世界第四位, 约在 1000 万亩以上, 产量居世界第六位, 主要分布在华北、西北和东北地区。东北地区以纤维用亚麻为主, 华北及西北地区则以油用亚麻为主。亚麻现在是我国的主要经济作物之一, 也是我国华北、西北高寒地区种植的主要油料作物之一。油用亚麻种植在高寒地区, 种植习惯是广种薄收, 少施化肥不用农药, 远离工业污染, 是典型的绿色产品资源。

亚麻籽是一种富含 α -亚麻酸的特种油料作物, 其主要成分对人体有着独特的生理、病理功能, 近年来已成为人体营养学研究的热点。远在古代, 我国中医药学史上就有以亚麻籽入药的记载。而长期以来, 我国的油用亚麻籽主要在产地用来榨油, 一部分用作食用油自我消化, 大部分作为工业用油, 制油后饼粕作为饲料出售, 造成资源不合理利用及浪费, 其潜在的食用价值远没有被开发利用。

亚麻籽呈扁平卵形、表面亮泽、长 4~7 mm、宽 2~2.7 mm、厚 1.5 mm、千粒重为 3.5~11 g。亚麻籽由表皮、外壳、内壳、和子叶组成, 表皮厚 0.1~0.2 mm, 主要是淀粉等糖类复杂化合物, 成熟后这些物质变硬而失去淀粉的性质。子叶占种子重量的一半略多, 含大多数的油和蛋白质。油存在细胞内, 蛋白主要存在于糊粉粒中, 其余作为细胞本身结构而存在, 壳与仁分离很困难。

1.2.1.2 亚麻籽的组成及功能

亚麻籽含有较高的脂肪、蛋白质, 并且含有较高的食用纤维、丰富的矿物质和多种维生素等。研究表明亚麻籽还含有许多生物活性物质, 包括 27 种抗癌化学物质, 其中有纤维素、植物胶、亚麻木酚素等。亚麻籽干物质中油脂的质量分数为 35%~45%, 亚麻籽油中含有丰富的不饱和脂肪酸, 因其碘价高, 容易吸收空气中的氧气而迅速干燥, 是一种很好的干性油, 工业价值很高, 目前已被广泛用于环保油漆、油墨和印刷等行业。亚麻籽制油后饼粕富含多种氨基酸, 是动物饲料中不可缺少的蛋白质原料。

(1) α -亚麻酸

亚麻籽含油率 36~45%, 其饱和脂肪酸占 9%~11%, 不饱和脂肪酸达 80%以上, 油酸 13%~29%, 亚油酸 15%~30%, 亚麻酸 40%~60%, 其中 α -亚麻酸含量高达 51%~56.5%, 亚麻籽是一种富含 α -亚麻酸的特种油料作物。 α -亚麻酸最重要的生理功能在于它是 n-3 系列脂肪酸的母体, 在体内代谢可生成二十碳五烯酸(C20:5n-3, 俗称 EPA)和二十二碳六烯酸(C22:6n-3, 俗称 DHA)。而 EPA 具有降低血脂和改善血小板凝固作用, 可预防脑血栓和心肌梗塞等疾病, DHA 则具有促进神经系统发育、提高记忆力和视网膜反射能力、预防老年痴呆症、预防癌症和抗过敏症等功效。脂肪代谢临床研究证明, α -亚麻酸具有降血脂、防治心血管疾病、抗炎抗癌、增强智力、改善记忆力等生理、药理功能。

(2) 亚麻胶

亚麻胶也称富兰克胶(Flaxseedgum),是一种多糖,为纯天然无污染植物胶,其主要成分为多糖物质(占总质量的80%)和蛋白质(占总质量的9%),在多糖中主要为D-木糖、L-鼠李糖、D-半乳糖等。20世纪90年代初,国外一些经济发达国家开始广泛研究和开发,并应用于食品、医药、日用化工和轻纺等行业。亚麻胶主要有增稠、增塑和乳化功能。在食品行业,亚麻胶作为一种食用纤维极具营养价值,可用于高中档雪糕、冰淇淋、原汁饮料、搅拌型酸奶、软糖、香肠、方便面、挂面以及涂层食品,是国家绿色食品发展中心认定的绿色食品专用添加剂,可与卡拉胶、果胶、琼脂、阿拉伯胶、海藻酸钠、瓜尔豆胶等同样用作乳化剂、增稠剂和稳定剂;在医药行业,可用作脂溶性药物的优良乳化剂、中西药片赋型粘合剂,功能上表现为具有减少糖尿病和冠心病危险的作用,能防止结肠和直肠癌的产生,减少肥胖症;在日用化工行业,因其具有粘性大、增稠、乳化效果好,营养成分高,对有毒金属有吸附作用等特点,并具有护肤、美容和保健功效,可作为发乳、洗发香波和浴液等产品的原料。

(3) 亚麻籽蛋白质

亚麻籽中蛋白质占总质量的23%左右,亚麻籽蛋白质是具有高支链氨基酸(缬氨酸、亮氨酸、异亮氨酸)和低芳香族氨基酸的蛋白质,这为特殊需要的病人提供了能产生特殊生理功能的食品,如患有癌症、烧伤、外伤和肝炎等营养不良的病人。赖氨酸/精氨酸比率是血液胆固醇和动脉粥样硬化的影响因子。对亚麻籽蛋白来说这种比率是低的,因而影响极小。而大豆蛋白的比率为0.8,是较高的。亚麻籽也是一种极好的赖氨酸、谷氨酰胺和组氨酸的来源,已知这三种氨基酸对人体的免疫功能具有很强的效果。亚麻籽蛋白的半胱氨酸和蛋氨酸含量能提高人体抗氧化的水平,在细胞分裂过程中潜在地稳定DNA,并减少结肠癌形成的危险。

亚麻籽蛋白也影响血液葡萄糖量。因为它与植物胶相结合,能刺激胰岛素的分泌,从而产生减少血糖过多的响应。亚麻籽蛋白质与可溶性多糖相结合,能起到明显减少结肠中鲁米那氮的作用,从而防止促进肿瘤产生的氮的影响。临床上已有资料报道,亚麻籽蛋白质对人体的免疫功能具有增强的效果,用于患有癌症、烧伤、外伤和肝炎等营养不良的病人。

(4) 木酚素

木酚素(Lignan)是植物雌激素的一种,分子结构与内源性固醇性激素相似。在许多谷物中发现木酚素,但亚麻籽中含量最高。亚麻籽粉和碾碎的亚麻籽分别含有约53000 $\mu\text{g}/100\text{g}$ 和67000 $\mu\text{g}/100\text{g}$,而其他谷物平均含量约为360 $\mu\text{g}/100\text{g}$ 。亚麻籽中木酚素要比其他66种食品高800倍。临床研究表明,木酚素是公认的抗癌物质,具有抗癌、抗真菌和抗滤过性病原体的功能,最显著的作用是预防乳腺癌、前列腺癌。

1.2.1.3 亚麻籽的营养成分

亚麻籽的营养成分含量决定了它在饲料中的应用价值。从表1-1可以得知,亚麻籽由于高含量的脂肪所以能值很高,蛋白含量也较高,亚麻籽的必需氨基酸组成比较合理,占粗蛋白的百分比与谷物相似,也含有多种维生素和矿物质。亚麻籽与其它油类籽实的主要区别在于它含有高水平的亚麻三烯酸。

表 1-1 亚麻籽营养成分含量
Table.1-1 Nutrient Ingredient of flaxseed

营养物	含量	营养物	含量
干物质 (%)	95.0	锰 (mg/kg)	70.0
热能 (MJ/Kg)	18.8	维生素 A (IU/Kg)	188
粗蛋白质 (%)	21.0	维生素 E (IU/Kg)	6.0
粗脂肪 (%)	45.0	维生素 B ₁ (mg/kg)	6.0
粗纤维 (%)	6.5	维生素 B ₂ (mg/kg)	3.0
粗灰分 (%)	4.5	维生素 B ₆ (mg/kg)	8.0
钙 (%)	0.25	维生素 B ₁₂ (mg/kg)	5.0
磷 (%)	0.65	尼克酸 (mg/kg)	44.0
钾 (%)	0.75	赖氨酸 (%)	1.0
镁 (%)	0.35	蛋氨酸 (%)	0.4
铁 (mg/kg)	100	蛋+胱 (%)	0.8
铜 (mg/kg)	7.0	苏氨酸 (%)	1.0
锌 (mg/kg)	20.0	色氨酸 (%)	0.4

1.2.1.4 亚麻籽在畜禽饲料中的应用

当前,把亚麻籽作为畜禽的饲料原料主要集中在肉鸡、蛋鸡上,在饲料中添加亚麻籽来生产富集 n-3 多不饱和脂肪酸的鸡肉、蛋;另外,添加亚麻籽还有利于畜禽的健康,提高繁殖和生产性能。

(1) 生产富集 n-3 多不饱和脂肪酸的鸡肉、鸡蛋

在蛋鸡日粮中加入亚麻籽可以改变蛋黄中脂肪酸的组成,增加蛋黄中 n-3 多不饱和脂肪酸的含量,这种 n-3 多不饱和脂肪酸强化蛋为人们获取 n-3 多不饱和脂肪酸提供了一条方便的且不改变传统食物结构的途径。

产蛋鸡采食含 n-3 PUFA 水平高的日粮会生产高 n-3 PUFA 鸡蛋。Sim 用加拿大广泛生长的亚麻籽为原料生产富含 n-3 脂肪酸的鸡蛋,一枚蛋可提供 300 mg n-3 脂肪酸(相当于 100g 鱼油所提供的 n-3 脂肪酸量)。Hayasawa 等(1994)发现日粮中添加亚麻籽,蛋黄中可有效结合 γ -亚麻酸,同时蛋黄中 DHA 含量明显增加。李素芬等(1998)报道,日粮中添加 1%和 3%亚麻油后,蛋中的脂肪酸组成与日粮中脂肪酸组成高度相关。添加 3%亚麻油组蛋黄中 n-3 PUFA 含量明显高于对照组,日粮中虽不含 EPA 和 DHA,但对照组和 3%亚麻油组蛋黄中都可检测出 EPA 和 DHA,说明家禽具有转化 α -亚麻酸为 EPA 和 DHA 的能力。

生产 n-3 多不饱和脂肪酸强化蛋的饲料里亚麻籽的适宜用量一般在 10%~20%之间,多为粉碎使用。为了防止脂肪酸氧化,提高鸡蛋品质,通常同时加抗氧化剂,使用较多的是天然抗氧化剂维生素 E,既起到抗氧化作用,又可强化鸡蛋维生素 E 的营养。此时维生素 E 在日粮中的用量一般为 100mg/kg~200mg/kg。这种加抗氧化剂和亚麻籽的蛋鸡饲料喂蛋鸡 4 周后就可产 n-3 多不饱和脂肪酸含量稳定的鸡蛋,之后如果亚麻籽撤离一周,蛋黄中 ALA 就会下降 20%。

Schcidler(1996)报道随亚麻籽添加水平的提高,蛋中亚麻酸水平呈线性增长,亚麻籽的添加

量可增加到 15%。10%~15%的亚麻籽添加后的蛋中含 n-3 脂肪酸 4%~7%。Linde(1990)分别给鸡饲喂碾碎的亚麻籽,发现所有处理组鸡蛋的 n-3 脂肪酸系列和 n-6 脂肪酸系列都增加了,在 20%时最有效,增加的亚麻酸为 10%组的 2 倍。

吴灵英,房桂兵(2004)在 60 周龄蛋鸡日粮中分别添加 15%的粉碎和整粒亚麻籽,结果表明,二者在产蛋率、干物质的代谢率、蛋黄中 n-3 多不饱和脂肪酸的含量差异不显著。

在肉鸡日粮中加全脂亚麻籽也会引起肌肉中脂肪酸的组成的改变,改变效果与用亚麻籽喂蛋鸡相似。已证实,在日粮中添加亚麻籽可提高肉中的 n-3 脂肪酸含量。这方面的大多数研究是用家禽做的。表 1-2 为 Alberta 大学的饲喂亚麻籽对肉仔鸡肉组成影响的试验结果。这个试验的结果表明,白肉和深色肉中 n-3 脂肪酸和亚麻三烯酸的水平均提高,相应油酸的比例下降,下降比例与前面两种脂肪酸增加的比例相吻合。饲喂亚麻籽改变肉仔鸡肉中脂肪酸组成模式与饲喂亚麻籽改变蛋黄中脂肪酸组成模式相类似。

表 1-2 亚麻籽添加水平对肉仔鸡肉中脂肪酸组成的影响
Table.1-2 Effects of supplying flaxseed in broiler dietary on fatty acids composition of muscle

指标	亚麻籽的添加水平 (%)		
	0	10	20
白肉脂肪的脂肪酸组成			
C16:0	18.1	18.0	19.1
C18:0	12.5	11.1	12.4
C18:1	33.5	28.9	19.0
C18:2	18.4	20.6	23.8
C18:3	1.2	4.1	7.0
C20:5	0.8	2.1	3.6
C22:6	2.0	3.1	4.7
深色肉脂肪的脂肪酸组成			
C16:0	18.4	15.0	13.4
C18:0	10.9	11.0	14.4
C18:1	37.4	28.6	21.1
C18:2	18.5	22.1	26.9
C18:3	1.2	6.9	10.3
C20:5	0.5	1.3	2.2
C22:6	1.5	2.7	2.9

注:此表引自(邝贤斌,1997)

(2) 亚麻籽的降血脂作用

除了以上的研究,亚麻籽的降血脂作用也有报道。卜凤泉等(2005)在鸡饲料中添加低、中、高剂量的亚麻籽,观察其对鸡血清总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)的影响,结果表明:添加低、中、高剂量亚麻籽组鸡血清中 TC 均显著低于常规饲料组;高剂量组鸡血中的 TG 显著低于常规饲料组。因此,富含 n-3 多不饱和脂肪酸(n-3PUFAs)的亚麻籽具有良好的降低血脂的作用。

亚麻籽能显著降低血清中 TC、TG 的原因,主要与其富含 ALA 有关。有人给 54 例患高血脂

病人服用 ALA 胶丸 84 d, 患者血浆中 TG 显著降低($P<0.05$), TC 变化不明显。徐章华报道给大鼠饲以富含 ALA 的苏籽油, 大鼠血清中总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)均显著低于猪油组($P<0.05$), TG 值还低于基础饲料组($P<0.05$)。

ALA 能显著降低大鼠血清中 TC 的机理, 主要是 ALA 能够抑制胆固醇合成的主要限速酶 HMGCOA 还原酶的活性, 从而减少体内胆固醇的合成, 并且能刺激胆固醇代谢为胆酸和中性固醇, 后者由粪便排出以增加固醇排泄。ALA 能显著降低大鼠血清中 TG 的原因, 可能是由于 ALA 对脂肪酸、甘三脂合成酶的抑制作用和加速氧化。

此外, 亚麻籽中可能存在能降血脂的非脂成分, 如所含膳食纤维、植物胶、木酚素、矿物质、维生素等许多生物活性物质, 它们都可能会对脂代谢产生影响。

(3) 生产富集多不饱和脂肪酸的牛奶

目前, 亚麻籽在反刍动物饲料中的应用不是很多, 主要集中在奶牛上, 其目的是为了生产富集多不饱和脂肪酸的牛奶。加拿大的若干学者研究了亚麻籽在奶牛日粮中的应用, 试图以此影响牛奶的成分。Kennellv 和 Khorasani(1992)证明使用了亚麻籽后奶中的不饱和脂肪酸含量增加, 但 C18:1 含量的增加大于 C18:3 含量的增加。孙涛等(2006)在奶牛的精料中添加 15%的亚麻籽来改变乳脂脂肪酸的组成, 结果显示, 乳脂中共轭亚油酸(CLA)的含量达到 10.18mg/g 总脂肪酸, 比对照组提高 3.1 mg/g 总脂肪酸, 且提高了 n-3/n-6 的值。给反刍家畜饲喂亚麻籽的问题在于脂肪酸的生物氢化作用, 脂肪酸氢化会导致奶中亚油酸沉积降低而油酸沉积增高, 这是不利于人体健康的。看来, 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, 必须先在这方面取得成功才能使给奶牛饲喂亚麻籽的做法成为商业现实。

饲喂亚麻籽的奶牛所产的奶, 其化学性质不同于常规奶。这种奶比较容易被氧化, 因而一般来说必须用氧化剂(通常是维生素 E)对其加以稳定。从奶牛转移到奶中的生育酚量非常低, 仅为 5%, 以至于在奶牛日粮中添加维生素 E 可能并不合算。此外, 亚麻籽改良奶商业开发的另一个障碍是, 对这种奶需要配有专门的贮存和处理系统。

(4) 改善动物健康状况

饲喂亚麻籽还可改善动物的健康状况。据认为, 给种鸡或母猪饲喂亚麻可增高幼鸡和仔猪体内不饱和脂肪酸的水平。Cheronian 和 Sim 1991 年在种母鸡日粮中加 8%和 16%的磨碎亚麻籽并补充维生素 B₆, 结果所产鸡蛋和由鸡蛋孵出的胚胎和小鸡的脑组织中的 n-3 高不饱和脂肪酸都有增加。研究者建议在种母鸡饲料中使用 5%以上的亚麻籽, 使得新生仔鸡能从母体获得较多的 n-3 多不饱和脂肪酸, 从而健康和存活率会提高。

现已发现, 肉鸡饲喂亚麻籽后, 可减轻柔嫩艾美球虫所致的盲肠病变。P.C.Alle 等(1998)试验结果显示日粮中 15%的粉碎亚麻籽明显减轻柔嫩艾美球虫感染的病灶, 但对巨型艾美球虫感染没有影响; 并发现 5%亚麻籽日粮能维持用 500 或 5000 个卵囊感染的雏鸡的体增重。

高海拔和低压缺氧会诱发肉仔鸡红细胞增多症和肺动脉高血压(PH), 引起右心衰竭, 2~3 周后产生腹水(Julian, 1993), 最后导致右心室肥大(RVH)。J.M.Bond(1996)的试验表明, 用亚麻油作为肉鸡日粮脂源可降低肺动脉高血压和腹水症发生率。

1.2.2 n-3 多不饱和脂肪酸研究进展

1.2.2.1 n-3 多不饱和脂肪酸的概念

n-3 多不饱和脂肪酸 (n-3PUFAs) 是指从甲基端起第一个双键位于第三和第四碳原子之间的含有两个或两个以上双键的脂肪酸, 包括 α -亚麻酸 (C18:3n-3, ALA)、二十碳五烯酸 (C20:5n-3, EPA) 和二十二碳六烯酸 (C22:6n-3, DHA), ALA 资源丰富, 是一种必需脂肪酸, 具有独立的生物活性, 在生物体内去饱和酶和碳链延长酶的作用下, 部分可转化为 EPA 和 DHA。n-3 型多不饱和脂肪酸特别引人关注, 不仅因为它们生物细胞膜的重要组分, 而且在生物体内有着十分重要的生理功能和保健作用。n-3 型多不饱和脂肪酸中备受关注的是 DHA 和 EPA。

1.2.2.2 n-3 多不饱和脂肪酸的功能

1978 年 Dyerberg 在流行病学调查中发现, 爱斯基摩人不仅冠心病、心肌梗死的发病率很低, 而且类风湿关节炎、红斑狼疮等自身免疫性疾病也明显低于白人。分析认为这与爱斯基摩人大量食用北冰洋的海鱼、海兽(海狗、海豹)有关。海鱼, 尤其是鱼油中富含二十碳五烯酸(EPA)和二十二碳六烯酸(DHA), 二者同属 n-3 多不饱和脂肪酸, 是维持人体生长、发育和正常生理功能的必需脂肪酸。

n-3PUFAs 引起了人们的兴趣, 有关 n-3PUFAs 在调节血脂、防止心血管疾病方面的作用已被大量动物试验及临床试验所证实。近 10 多年来, 科学家们对鱼油的 EPA 和 DHA 的生理、生化作用进行了广泛深入的研究, 发现它们具有促进前列环素及抑制血栓素形成的作用, 从而可能起到保护血管内皮细胞, 抑制血小板聚集, 防止动脉粥样斑块及血管内血栓的形成。n-3PUFA 还对机体免疫机能和脑正常发育产生有利影响, 具有保健作用。所以儿童和老人更应注意 n-3PUFA 的营养(Noble 和 Cocchi, 1989;Innis, 1991)。

(1) 预防和治疗心血管疾病

大量试验及临床证据表明, 每天摄入 1~4g PUFAs (特别是 DHA 和 EPA), 可以有效预防和治疗心血管疾病。Nestel 等人指出: EPA 和 DHA 增强了系列性动脉顺应性(systemic arterial compliance, SAC)并降低了脉搏压和全身血管阻力, 而这将降低心血管疾病的发病率; 另外, 补充 EPA 和 DHA 可调节血液中三酸甘油酯、HDL-胆固醇、脂质过氧化和抗氧化酶, 而这些也有助于降低心血管疾病的发病机率。

(2) 降血脂、预防及治疗动脉硬化

动脉粥样硬化是老年人和中年人的常见病和多发病, 高血脂是致病的重要因素。DHA 和 EPA 具有明显的降血脂效应, 主要表现在降低血清甘油三酯, 总胆固醇、低密度脂蛋白、极低密度脂蛋白和升高血清密度的作用。一般认为, DHA 和 EPA 降血脂的机理是增加胆固醇的排泄, 抑制内源性胆固醇合成, 改变脂蛋白中脂肪酸的组成, 从而增加其流动性, 减少极低密度脂蛋白中甘油三酯及载脂蛋白 B 的合成, 抑制人单核细胞产生血小板活性因子。

(3) 健脑益智, 延缓衰老

DHA 是人脑的重要组成部分之一, 约占脑细胞脂肪酸的 10%, 在神经原表层高度富集。DHA 在胎儿大脑形成及心血管系统的生成中起着重要作用。与其它脂肪酸不同的是: DHA 优先由母体转移至胎儿的全身循环中, 并有临床证据表明, 血浆中含有较多 DHA 的孕妇生出的胎儿的中

枢神经系统成熟的较快。这种 DHA 选择性的转移可能是由一种特殊的载体蛋白来调节的。胎儿的大脑及肝脏有能力把亚麻酸转化为 DHA, 另外经由肠胃通道转移 DHA 到胎儿的其它器官也是一种 DHA 的转移途径。

DHA 对维持脑的功能、延缓脑的衰老也起重要作用。如果缺乏 DHA, 已形成的脑的突起会逐渐萎缩, 脑细胞间的信息传递能力就会下降, 同时还会使感官功能衰退。日本研究证实, DHA 在一定程度上可以提高脑的柔软性, 抑制脑的老化, 有益健脑。DHA 能改善心脑血管功能和大脑供能状况, 使大脑的自我营养体系得到完善, 因而对因年龄等萎缩死亡的脑细胞起明显的修复作用。所以, 给大脑补充 DHA 在一定程度上能达到预防、治疗老年性痴呆的目的。

(4) 抗癌作用

EPA 和 DHA 有抑制乳腺癌、胃癌、膀胱癌及子宫癌等作用, 能明显抑制肿瘤的发生, 成长和转移速度。Chapkin 等人通过试验证明, EPA 和 DHA 对结肠癌有治疗作用。其中有一部分原因是增加了细胞程序性死亡。线粒体是细胞程序性死亡的主要执行者, EPA 和 DHA 结合人结肠的线粒体膜, 由于其高度不饱和, 将增加对由氧化磷酸化作用产生的活性氧造成的损伤的敏感性, 而这反过来将调节线粒体的功能, 增加细胞程序性死亡。另外, 大量临床试验证据表明, n-6 长链不饱和脂肪酸促进癌细胞的发展, 而 n-3 长链不饱和脂肪酸对癌症有抑制效果, n-6 与 n-3 长链不饱和脂肪酸的比率在控制癌细胞的发展中是一个重要的指标。因此, 以 EPA 和 DHA 为代表的 n-3 长链不饱和脂肪酸在癌症的预防及治疗工作中具有重要的意义。

(5) 抗炎、抑制过敏

爱斯基摩人患喘息性气管炎、风湿性关节炎、红斑狼疮等以自身免疫异常为原因的慢性炎症性疾病的发病率明显低于当地的白种人。大量从海鱼、海兽中摄取 EPA、DHA 无疑是一个重要的原因。同时试验发现, 饲喂 EPA 的动物, 其试验性炎症的水肿程度降低。其机制包括: n-3 多不饱和脂肪酸(EPA、DHA)能置换细胞膜磷脂中的花生四烯酸, 减轻炎症反应; n-3 多不饱和脂肪酸也可通过改变细胞膜磷脂脂肪酸构成来影响细胞膜流动性, 膜上相关信号分子、酶、受体的功能, 从而改变信号传导过程。此外, 通过影响酶或细胞因子的基因表达、抑制促炎症因子产生、调节黏附分子表达来调节免疫功能, 这种机制可不依赖类二十烷酸物质的产生。

(6) 促进视网膜的形成

DHA 在人的视网膜中含量丰富。在婴儿食物中加入一定量 DHA 有助于婴儿眼睛的机能发育。试验证明, 食物中加入 DHA 的婴儿视觉与机动能力的成熟要早一些。研究证实: DHA 是人脑的主要组成物质之一, 约占人脑脂肪的 10%左右。主要以磷脂的形式存在于中枢神经系统细胞如大脑突触体细胞和视网膜细胞如视网膜光感受器细胞的膜磷脂酰乙醇胺中。动物试验则从反面证实, 若神经系统和视网膜中 DHA 积累不足, 可以导致视网膜电流图波形改变及视觉灵敏度下降。

概括而言, DHA 俗称“脑黄金”, 是脑神经和视神经发育不可缺少的物质, 可以促进智力开发和提高智商, 并可降低老年性痴呆的发病率。EPA 俗称“血管清道夫”, 它可以制造某种前列腺素, 这种前列腺素能使血管壁软化并抑制血小板在血管内凝聚, 进而大大减少血栓形成和血管硬化。因此, 近年来, 世界各国对它们都进行了广泛的研究, 并制成了各种形式的食品。如在日本, 其产品形式主要有胶丸、粉末状微胶囊、鱼丸、添加到罐头食品中、用以配制点心、添加 DHA 与 EPA 的乳酸菌饮料、医药用品(如改善老年痴呆症、预防高血压, 以及防过敏的肥皂等)。在我国也有许多药厂生产这种鱼油制剂。但 DHA 和 EPA 是多不饱和脂肪酸, 在加工过程中很容易氧化。

氧化后,不仅对人体健康无益,反而有害。因此,天然的 DHA 和 EPA 富集产品很有研究和开发前景。

在关注 DHA 和 EPA 对人和动物积极作用的同时,它们的消极作用也不容忽视,EPA、DHA 对维持人体的健康有重要意义,但并不是摄入越多越好。EPA 和 DHA 分别含有五个和六个双键,是高度不饱和脂肪酸,易受体内活性自由基攻击而引发过氧化链式反应,即脂质过氧化作用。其不饱和程度越高,脂质过氧化作用就越强,对细胞膜的损伤也越大。而免疫细胞的功能高度依赖于正常的膜结构和功能。因此,脂质过氧化作用对免疫细胞膜结构和功能的损害将对免疫功能造成不利影响。另外,过氧化物能破坏人体中的 DHA 而引起癌变,而氧化产物尤其是丙二醛能使蛋白质交链而使肌肉失去弹性,黑色素增多,出现老人斑。这是人体老化的重要因素。脂类氧化物还能使心血管粥样化损坏血管内壁使之变脆,易导致高血压和脑溢血。

1.2.2.3 富含 n-3 多不饱和脂肪酸产品的研究

目前,DHA 和 EPA 的开发应用已受到世界各国的关注与重视,尤其是在保健品和医药方面的应用开发已十分引人注目。研究和开发高浓度的 DHA 和 EPA 产品具有广阔的应用前景和巨大的经济价值。

富含 n-3 多不饱和脂肪酸的物质也很多:植物中的亚麻籽及其产品中,深海鱼油中富含 DHA 和 EPA,利用某些真菌和藻类生产的富含 DHA 和 EPA 的产品,富含 n-3 多不饱和脂肪酸的鸡蛋、鸡肉及牛奶。这些产品的开发为人类膳食补充 n-3 多不饱和脂肪酸提供了途径,且这些产品各具特点。

(1) 亚麻籽及其产品

- ◇ 亚麻籽全籽肉食品:亚麻籽本身就具有很好的脂肪酸配比,又含有多种维生素、微量元素、活性物质和优质的蛋白质,是一多种营养组合物。采用现代化生产工艺,将亚麻籽制成口感细腻、风味各异的酱类、乳化液等食品,同样可以满足人们的食用需要。
- ◇ 营养食用油:采用油脂精炼加工工艺,通过脱毒、脱胶、脱色、脱臭、分离、调味等精制手段,去除亚麻籽油中有害成分,制成精炼油、调味油,也可根据不同种类的油脂按脂肪酸组成进行合理的调配,生产能满足人体均衡摄取脂肪酸的营养食用油。
- ◇ 新型保健食品:用亚麻籽提取的亚麻油可作保健食品。采用胶囊技术制成富含亚麻酸的软胶囊、口服液等剂型,具有剂量准确、携带方便和便于服用等特点,能补充人体营养,增强体质,提高对疾病的抵抗力。
- ◇ 强化食品:将亚麻籽提取物合理添加在婴儿奶粉、罐头、饮料、冷冻食品、面点和豆浆等各种食品中,起强化营养的作用。为了扩大应用范围,利用包埋技术,使油脂粉末化,均匀地与主料混合;应用界面活性剂、高压分散技术,制成乳剂,添加在饮料中不会影响感观质量。

亚麻籽及其系列产品开发来源方便、无污染、食用安全、价格相对低廉,具有广泛的食用价值和经济价值。生产不同品种、不同档次的亚麻籽功能性食品,市场巨大,前景广阔,必将会给 21 世纪的人类健康做出新贡献。

(2) 深海鱼油产品

目前商业上 DHA 和 EPA 的主要来源是海洋鱼类, 富含 n -3PUFAs 的鱼油作为功能食品受到人们喜欢, 鱼油中二者的含量在 4%~40%之间, 含量不稳定, 随鱼的品种、季节、地理位置的不同而变化。但鱼油具有易于氧化、稳定性差、有难闻的鱼腥味、资源有限、纯化工艺复杂、成本高、易氧化等缺点。而且, 鱼油的年产量很难满足市场需求, 使得疗效和应用都受到一定的限制, 所以人们把目光转向了其他途径。而且, 利用鱼油进行 EPA 和 DHA 的开发利用需要解决两个关键问题: EPA 和 DHA 产品的抗氧化问题和来源问题。

抗氧化问题由于鱼油稳定性差, 较普遍的方法是制成鱼油多烯脂肪酸甲酯或乙酯, 利用微胶囊技术将鱼油包住并添加到奶油等食品中, 其 DHA 含量多在 25%~35%以内。或充氮保存。翁新楚等认为最为方便、经济、行之有效的方法是使用高效抗氧化剂。它们的特点是加入量很小, 一般为万分之二到万分之五之间, 并且进入人体后进一步阻止 EPA 和 DHA 的自动氧化作用, 有益人体健康。

另一个问题是来源问题, 天然 EPA 和 DHA 主要在硅藻等浮游生物及红藻、褐藻等藻类中生物合成, 并通过食物链被摄取、移动, 蓄积于鱼类、甲壳类和海产动物中。目前, EPA、DHA 的主要来源是海产鱼油。鱼油中二者的含量并不稳定, 受鱼的品种、季节及产地的影响。

(3) 微生物合成产品

利用生物工程方法培养微生物制取 DHA 和 EPA 具有无鱼腥味、DHA 和 EPA 含量高、脂肪酸组成简单、容易纯化等优点, 因此被国内外广泛研究, 具有巨大的经济价值及利用价值。目前, 通过微生物合成途径获取 DHA 和 EPA 的研究已有诸多报道, 现已揭示能够产生 DHA 和 EPA 的微生物有 3 纲 4 目 22 种。与其它微生物相比, 海洋藻类是最为理想的 DHA 和 EPA 来源, 培养藻类生产 DHA 和 EPA 的产率比利用真菌和细菌培养高出 1~2 个数量级。与真菌相比, 藻类 DHA 和 EPA 的含量占总脂肪酸含量与细胞中脂肪的含量成正比, 而且某些藻类可以达到很高的细胞培养浓度; 细菌生产 DHA 和 EPA 的温度较低, 一般高于 20℃其生长速度及 PUFA 的产量就会下降, 而藻类具有较宽的生长适应范围, 具有更广阔的生产应用价值。

环境因子对于微生物无论是生长还是生化组成上都起着十分重要的作用, 而且各种微生物对环境因子的要求也各不相同。因此, 有必要对环境因子的影响进行研究, 以期寻求最佳的培养条件, 提高生物量及生长速率, 从而获得较高的终产量。

(4) 鸡蛋、鸡肉及牛奶

前面已经叙述了在蛋鸡、肉鸡及奶牛饲料中添加亚麻籽来提高这些产品中 n -3 多不饱和脂肪酸的含量, 该方面的研究有的已经取得了可喜的成果, 在此不再详述。

1.2.3 共轭亚油酸研究进展

1.2.3.1 共轭亚油酸概述

共轭亚油酸(Conjugated Linoleic Acid), 缩写为 CLA。由于早期发现它存在于反刍动物的瘤胃中, 故又名瘤胃酸(Rumen acid), 是亚油酸(18:2 n -6)的一组异构物, 其结构中的两个双键被共轭连接, 而不是亚油酸的两个双键被亚甲基阻断的典型构型。CLA 所具有的功能性食品作用是 20 多年前 Pariza 和他的同事首次发现的发现, 当时发现牛肉中含有某种抗癌成分, 是由一系列亚油酸的共轭双烯酸异构体组成。而后发现日粮 CLA 能降低动物模型乳腺癌、前胃癌、结肠癌、皮

肤癌的发生率。最近, 试验动物模型中 CLA 的积极营养作用范围已扩大到降低体脂沉积、改变营养物质分配、抗糖尿病、防止动脉硬化、提高骨质矿化、调节免疫系统等方面。

近年来, 共轭亚油酸在动物营养中的作用受到较大的关注, 并逐渐成为动物营养研究的崭新领域和热点。动物共轭亚油酸的营养研究对于改善动物产品质量具有特别重要的意义, 人们利用分子生物学技术对亚油酸的营养代谢规律从分子水平加以分析和阐明。对动物共轭亚油酸营养代谢的深入研究和探讨将对动物生产发挥积极的影响。

(1) 共轭亚油酸的结构

共轭亚油酸(CLA)即共轭十八碳二烯酸, 是亚油酸的一组构象和位置异构体, 这些异构体的共同特征为 2 个双键直接通过 1 个碳-碳单键连接, 没有被亚甲基隔开。CLA 的双键在碳链上有多种位置排列方式, 包括 8-10, 9-11, 10-12 和 11-13 等, 每种位置上又存在 cis-cis, cis-trans, trans-cis 和 trans-trans 4 种构象异构体, 因此 CLA 的种类十分丰富。在人类和动物中, 最主要的 CLA 异构体为 cis-9, trans-11 十八碳二烯酸(Parodi, 1977;Chin 等, 1992), 被命名为瘤胃酸(Kramer 等, 1998)。

(2) 共轭亚油酸的来源

天然来源 许多食物中含有 CLA, 不过其含量都很低(Chin 等, 1992)。反刍动物来源的食品是最主要的 CLA 天然来源, 并且主要是具有生物活性的 cis-9, trans-11 异构体(Parodi, 1977)。Frische 等(1998)测定了牛乳和牛乳制品脂肪酸的 CLA 含量在 4~17mg/g 之间; 羊肉脂肪酸的 CLA 含量为 12mg/g, 明显比其它肉类的含量高; 鱼类脂肪酸的 CLA 含量在 0.01%~0.09%之间, 而在植物油脂和人造黄油中没有检测到 CLA。反刍动物脂肪富含 CLA 的根源在于亚油酸和亚麻酸在瘤胃受到微生物作用发生氢化反应, 产生 CLA 异构体和 trans-11 油酸等中间产物, trans-11 油酸可在体内去饱和酶的作用下生成 cis-9, trans-11CLA。Riel(1963)总结许多研究结果发现牛乳脂肪酸的 CLA 含量在 2.4~28.1mg/g 之间, Chouinard 等(1999b)通过真胃灌注 CLA 曾使乳脂 CLA 含量达到 63.6mg/g, 不过普通牛乳脂肪酸的 CLA 含量在 3-6mg/g 之间(Kelly 等, 1998)。

人工合成 以亚油酸或富含亚油酸的植物油为底物, 通过碱催化的异构化反应可合成 CLA。最初人工合成的 CLA 是多种异构体的混合物, 主要含有 cis-trans, trans-cis 异构体和少量的 cis-cis, trans-trans 异构体。最新改进的合成工艺可使 CLA 更加纯化, cis-9, trans-11 和 trans-10, cis-12 异构体的含量超过 50%, 非 CLA 成分低于 1%。但目前, 人工合成 CLA 仍然是多种异构体的混合物, 大量分离纯化得到单个异构体的技术难题尚未解决。

(3) CLA 的生物合成

瘤胃微生物的生物氢化 早期研究发现, 共轭亚油酸是日粮中不饱和脂肪酸(PUFA), 在反刍动物瘤胃中经微生物不完全氢化而产生, 也即 CLA 是日粮中 PUFA 生物氢化的中间体。Kepler 等(1967)发现瘤胃微生物(主要是厌氧的溶纤维丁酸弧菌)可利用多不饱和脂肪酸产生 CLA。丁酸弧菌分泌的异构酶首先将亚油酸转化为 c9,t11-CLA, 其中一部分被动物吸收进入各组织, 大部分 CLA 经过生物加氢过程, 先变成反-11-十八烯酸, 进一步氢化变成硬脂酸。但在特定条件下, 如日粮中亚油酸浓度较高时, 抑制了 11-十八烯酸经生物加氢变成硬脂酸的过程(Nobel 等, 1974), 从而造成 11-十八烯酸的积累, CLA 合成增多。所以, 在日粮中添加富含 CLA 或亚油酸的油脂类饲料, 可以增加合成 CLA 的底物量, 从而提高 CLA 的含量。

共轭亚油酸的内源合成 早期人们在草原放牧奶牛的乳脂中发现了大量的 CLA, 新鲜牧草的

主要脂肪酸是亚麻酸(18:3, $n-3$),CLA并非亚麻酸生物加氢的中间体,但11-十八烯酸是亚麻酸生物加氢的中间体,很显然CLA是经11-十八烯酸内源合成的。内源合成主要是11-十八烯酸在组织中的 Δ^9 -去饱和酶的去饱和作用下形成。Grinari等(2000)研究发现,CLA可通过体内的 Δ^9 -脱氢酶而由内源途径产生,即由反-11-十八烯酸转化而来,通过奶牛的真胃瘘管灌注反-11-十八烯酸,结果使奶牛的CLA提高了31%。Kay等(2002)给奶牛皱胃灌注苹果酸(Δ^9 -去饱和酶的抑制剂),乳脂中的CLA降低71%,表明乳脂中的大部分CLA系内源合成。此外,瘤胃中的一些厌氧菌含有 Δ^9 -脱氢酶,能够将反-11-十八烯酸通过 Δ^9 脱氢转化为c-9, t-11-CLA。而对于CLA的异构体而言, t-10, c-12-CLA被认为是瘤胃发酵的结果,尚无存在 Δ -10脱饱和酶的报道(Baugmard等, 2000)。c-9, t-11-CLA是在乳腺中内源合成的,添加CLA对其无影响,而 t-10, c-12-CLA是由日粮添加CLA合成的(Loor等, 2003)。

内源合成的重要底物是11-十八烯酸,而该物质是亚麻油酸生物加氢的中间体,且 Δ^9 -去饱和酶在CLA的内源合成中起到了举足轻重的作用。可以设想在日粮中添加富含亚麻油酸的饲料或是增加组织中 Δ^9 -去饱和酶的合成量也是提高组织中CLA含量的有效途径。对于生长的反刍动物,在脂肪组织中含有更多的 Δ^9 -去饱和酶且活性也高,而对于泌乳的反刍动物却是乳腺组织具有这样的特点。

1.2.3.2 共轭亚油酸的营养效应

CLA的生物学功能是当前的研究热点,目前尚未对CLA的功能形成完整的知识体系,但已知的功能涉及范围很广,包括抗癌、降低血液和肝脏胆固醇、强化免疫、促生长、改善肉品质、抑制脂肪沉积等。

(1) 抗癌作用

抗癌作用是CLA最引人注目的功能。Pariza等(1985)发现生的和煎牛肉粉末中含有抑制突变的成分,具有抗癌变特征。Ha等(1987)经纯化鉴定确认此成分为4种CLA异构体。此后的动物模型中针对表皮癌(Ha等, 1987)、乳腺癌(Ip等, 1991, 1994)所做的研究显示,CLA对这几种癌细胞的化学诱导生成有抑制作用,且可抑制癌变发生后的发展。体外法研究(Shultz等, 1992; Schonberg等, 1995)结果显示,生理浓度的CLA就可抑制一些人癌细胞系的分化。Ip等(1991, 1994)用老鼠进行的研究结果表明,防止癌变发生的日粮CLA最低浓度为0.1%,在0.1%~1%的日粮浓度之间,CLA的抗癌作用随CLA剂量增加逐渐增强,日粮CLA浓度超过1%后,其抗癌作用不再提高。Hubbard等(2000)的研究结果显示,处于此浓度范围的日粮CLA使老鼠肿瘤的潜伏期延长,转移减少。Ip等(1999)专门研究了富含CLA的天然黄油对乳腺癌的作用效果,结果显示天然黄油与合成CLA的效果相近,使乳腺肿瘤减少了53%,这表明进食以cis-9, trans-11异构体为主的反刍动物乳脂和体脂CLA可发挥同样的抗癌效果。CLA的存在形式对其作用效果没有影响,游离CLA和三酰甘油中CLA的抗癌效果一样(Ip等, 1995)。

Thompson等(1997)进一步就日粮CLA对乳腺形态学的研究发现,日粮CLA使乳腺导管小叶树的密度降低20%。因此,日粮CLA在降低乳腺癌中发挥着重要作用。Liew等(1995)研究了CLA对IQ(2-氨基-3-甲基咪唑啉)诱发的大鼠结肠癌的影响,结果表明CLA能显著地降低IQ导致的结肠隐窝病灶。Belury等(1996)研究了CLA对由佛波醇酯(phorbol ester)诱发的小鼠皮肤癌的影响,发现饲喂日粮中分别添加5、10和15 g/kg CLA使肿瘤发病率由对照组的6.71%分别降低到

5.92%、4.83%和4.67%。Schonberg和Krokan(1995)报道,CLA对肺腺肿瘤细胞A-427的繁殖具有剂量相关的抑制作用。许多离体试验表明,CLA还对许多人类的癌细胞的生长具有抑制作用(Cunningham等,1997)。

关于CLA的抗癌机理目前还没有得到一致认可,不同学者有不同的看法。

(2) 降低血液和肝脏胆固醇

在采食致动脉粥样硬化日粮的兔子(Lee等,1994)和鼠类(Nicolosi等,1997;Wilson等,2000)中进行的研究结果显示,日粮添加CLA降低了血浆低密度脂蛋白(VLDL)的浓度,抑制动脉粥样硬化的发动。Gavino等(2000)报道,日粮添加CLA降低了老鼠血浆总胆固醇和低密度胆固醇的含量,Stangl等(2000)也报道,采食添加3%CLA的日粮使老鼠肝脏胆固醇浓度下降41%,血清低密度胆固醇也显著减少了。Yang等(2000)研究结果表明,CLA抑制肠酰基辅酶A胆固醇酰基转移酶的活性,这种酶可能与胆固醇的吸收有关。

(3) 抗氧化与改善肉品质

关于CLA抗氧化作用的报道不一致。Ha等(1990)报道CLA可有效防止不饱和脂肪酸形成过氧化物。从CLA的结构看不出具有抗氧化活性,Ha等推测是CLA的一种氧化产物发挥抗氧化的作用,VandenBerg等(1995)和Banni等(1998)认为CLA只具有轻微地防止亚油酸氧化的作用。这是由于CLA对氧化更敏感,与亚油酸形成竞争造成的。另一些研究结果(Schonberg等,1995;Chen等,1997)却表明,CLA可以是一种氧化促进剂。一些研究考察了日粮添加CLA对肉品质的影响。Park等(2000)的研究结果显示日粮添加CLA可有效抑制猪肉冷冻贮存期间肌球蛋白的氧化,但对肉色没有影响。Du等(2000)报道CLA抑制鸡肉贮存期间的氧化,增加了肉色稳定性。不过,CLA的抗氧化作用不一定是通过其本身作为抗氧化剂实现的。Livirsay等(2000)报道,日粮添加CLA后,通过降低不饱和脂肪酸含量是提高了鼠肝微粒体的氧化稳定性,其它一些研究结果(Du等,2000;Bee等,2000)也表明,添加CLA使体脂中多不饱和脂肪酸的含量下降。

(4) 强化免疫

CLA参与免疫系统调节,强化促有丝分裂剂诱导的淋巴细胞胚细胞样转变、淋巴细胞毒力和巨噬细胞杀伤力(Michal等,1992;Chew等,1997;Wong等,1997)。Sugano等(1998)和Yamasaki等(2000)的研究结果显示日粮CLA以剂量依赖的方式促进脾脏和血清免疫球蛋白IgG、IgM和IgA增加。在禽、大鼠和小鼠中,CLA可降低免疫刺激后骨骼肌的异化,同时又没有使免疫应答效应减弱(Cook等,1993;Miller等,1994)。Hayek等(1999)的研究结果显示1%的CLA使青年老鼠脾脏细胞的增生速度加快。

CLA作为一种具有调节免疫功能的天然物质,应当可以代替部分抗生素用作生长促进剂。但是由于CLA对调节畜禽免疫的机制还不完全清楚,因此尚需就CLA对畜禽生理功能、生产性能的影响进行更加深入、系统的研究,为CLA在畜牧生产中应用奠定理论基础。

(5) 抑制脂肪沉积

猪(Dugan等,1997)和老鼠(Park等,1997)日粮添加CLA,结果表明CLA能够抑制脂肪沉积,提高瘦肉率,这是由于抑制了脂肪组织的脂合成和强化脂分解造成的(Park等,1997;Yamasaki等,2000)。West等(1998)通过给老鼠饲喂高脂和低脂CLA补充日粮发现,CLA通过降低采食量、提高代谢率和降低夜间呼吸熵使体脂减少。Simon等(2000)给肉鸡饲喂含1.8%CLA(cis-9, trans-11与trans-10, cis-12的比例为1:1)的日粮使肝脏和胸部脂肪含量显著下降,蛋白质含量增加,大腿

肌肉含量增加。Ostrowska 等(1999)发现日粮 CLA 含量在 0%~1%之间变化时,猪的脂肪沉积呈线性下降,最长达 31%,日粮 CLA 含量为 0.5%时瘦肉沉积增加最多,达 25%。Zambelli 等(2000)在女性人群中研究 CLA 的减肥效果,没有观察到 CLA 对脂肪沉积、脂肪比例、能量消耗和体组成的作用。Chouinard 等(1999)和 Kraft 等(1999)报道,真胃灌注 CLA 使乳脂产量大幅度下降,下降幅度为 40%~50%。这些研究使用的 CLA 为几种异构体的混合物。

1.2.3.3 反刍动物产品中共轭亚油酸含量的营养调控

影响反刍动物体内 CLA 产量的因素很多,凡能影响瘤胃脂肪生物氢化的因素都可以影响 CLA 的产量,这些因素主要包括季节、品种、营养、瘤胃微生物和内环境等,其中营养是最主要的调控因素。不少学者从营养调控的角度在如何提高反刍动物产品中 CLA 含量方面作了一些研究,分述如下。

(1) 牛、羊乳方面

畜牧工作者在增加乳脂中 CLA 含量方面作了很多工作,通过适当的饲养可增加乳脂 CLA 含量 5~10 倍,奶牛通过 11-十八烯酸内源合成的 CLA 提供了乳汁中 2/3~3/4 的 CLA。Dhiman 等研究发现,如果牛在一年中的放牧时间达到 1/2~2/3 或更多,则牛奶中的 CLA 含量分别达到每克脂肪 8.4mg 和 22.7mg,而完全以青贮饲料饲喂的牛,其乳中的 CLA 含量明显下降。

高含量脂肪饲料(亚油酸和亚麻油酸)能显著提高牛乳 CLA 含量(Dhiman 等, 2000)。因此,通过添加含高不饱和脂肪酸的饲料,尤其是含亚油酸高的油脂类饲料,可提高乳脂中的 CLA 的浓度。Chpuinard(2001)在奶牛日粮中添加 200~400 ml 鱼油,乳中 CLA 提高 3 倍;Abu-Ghazaleh(2002)报道,在日粮中添加 0.5%鱼油,乳中 CLA 提高 0.4 倍;添加 2.5%豆油,乳中 CLA 提高 1.4 倍;而添加 0.5%鱼油加 2.0%豆油,乳中 CLA 提高 3.2 倍。Mir 等给牛补饲鱼粉可以明显提高牛乳之中的 CLA 含量。另外,添加海藻也可提高 CLA 含量。Offer 等(2001)向奶牛日粮中添加 0.6 kg/d 海藻,每 100 g 乳中 CLA 含量可达到 0.97 g(对照组为 0.54 g)。A.A.AbuGhazaleh (2002) 等报道,在泌乳奶牛日粮中分别添加 2% (占干物质)的鲑鱼鱼油、膨化大豆及这两种原料的混合物(各占 1%)来研究对牛奶和瘤胃食糜脂肪酸的组成的影响。结果显示,添加这些脂肪后奶牛的泌乳量、乳脂肪和乳蛋白的百分含量基本不受影响,但干物质的采食量会下降,牛奶中 CLA 和反式油酸的含量会增加,添加不同油脂之间没有显著差异,同样的趋势也反应在瘤胃食糜上,瘤胃内 CLA 和反式油酸的含量比乳中的更高,这说明了添加油脂增加了乳中 CLA 浓度的原因主要是增加了反式油酸的产量,这也暗示着 Δ^9 -去饱和酶是影响乳中 CLA 浓度的重要因素。

Z.Mir 等(1999)向奶山羊日粮中添加 0%、2%、4%和 6%四个水平的 canola oil,结果显示,随着添加水平的增加乳脂率也呈线性增加趋势,但添加 canola oil 不会增加乳的产量和乳蛋白比率;乳脂中 CLA 含量随着 canola oil 添加量的增加也在增加,由对照组的 10.35mg/g 脂肪分别增加到 19.42 mg/g (2% canola oil 组)和 32.05 mg/g (4% canola oil 组)。

另外日粮中铜含量也影响瘤胃微生物加氢过程和牛奶 CLA 含量,低铜日粮有助于提高牛奶 CLA 含量,日粮中添加铜(40mg/kg)则降低了乳脂中 CLA 含量(Morales 等, 2000)。影响 CLA 的另一关键因素是日粮纤维水平(Precht 等, 2002)。日粮纤维水平对维持正常的瘤胃发酵环境,维持产奶量和乳脂率及高水平的 11-十八烯酸是重要的,日粮纤维不足会导致瘤胃 PH 值降低,从而影响反-10 脂肪酸的产生比例,潜在抑制反-十八烯酸完全氢化为硬脂酸,从而影响 CLA 的合

成。

采食量的改变对乳脂 CLA 含量的影响报道不一,有的研究报告说限饲 30%提高乳脂 CLA 含量,而另一个研究中则降低。究其原理是因为采食量的改变会影响底物供应、改变瘤胃内环境,这两个因素会改变瘤胃生物加氢路径。此外,限饲还会动员体脂储存,增加 CLA 与 t-11 十八碳单烯酸供应,从而增加内源合成 CLA 的底物浓度。

脂肪的组成成分、添加形式、添加量也会影响奶牛的瘤胃氢化。植物油或油料籽实中含有更多的不饱和脂肪酸,红花籽、葵花籽及其油制品中含有更多的亚油酸,而亚麻籽中的亚麻油酸含量却很高,它们对瘤胃脂肪的氢化影响是不同的。此外,离子载体可以调节瘤胃的 PH 值和瘤胃微生物的生长,Fellner (1997) 在其研究中灌注亚油酸的同时添加离子载体,CLA 在总脂肪酸比例中提高 2~3 倍。

(2) 牛、羊肉方面

在该方面的研究主要集中在添加富含亚油酸、亚麻油酸、共轭亚油酸的脂肪之后对脂肪酸组成的影响情况,因为脂肪酸的组成不仅对肉质的风味和膻味影响很大,而且对肉的营养价值也有很大的影响,越来越多的研究证明,各种癌症特别是冠心病的发病率增高与摄入的脂肪酸组成高度相关,牛羊肉脂肪酸中的 CLA 含量也成为研究的热点。

Z. Mir 等(2000)分别用 CLA 前体物 (0.38 g/d) 和红花油 (占日粮干物质 6%) 添加到饲料中饲喂将要断乳的羔羊和断乳羔羊,结果发现,添加红花油不仅增加了皮下脂肪的含量,而且组织中的 CLA 增加了 200%,而补充 CLA 前体物却降低了组织中的脂肪含量,但对组织中的 CLA 含量没有影响。R.W.Kott 等 (2003) 在陶公羊的全价日粮中添加 15% 的红花籽 (富含亚油酸),饲喂 48 天后肌肉组织中的 CLA 含量由对照组的 4.05 mg/g 增加到 8.97 mg/g。

M.H.Gillis 等 (2004) 在育肥小母牛日粮中分别添加 4% 的玉米油和 2% 的瘤胃保护性共轭亚油酸 (RPCLA) 进行两阶段饲养 (32 天和 60 天),结果显示,添加 RPCLA 可明显提高脂肪组织中 CLA 的含量,饲喂 32 天后对照组脂肪组织中反-11 十八烯酸的含量比试验组低,但差异不显著;饲喂 60 天后,试验组组织中油酸和单不饱和脂肪酸的浓度要比对照组低,说明了添加 RPCLA 和玉米油降低了脂肪组织中 Δ^9 -去饱和酶的活性,从而阻止了 18 碳单烯酸向 CLA 的转变; cis-9, trans-11 CLA 的浓度要比饲喂 32 天后的高,但差异不显著;添加玉米油主要是增加了 C18:2 脂肪酸的浓度,而添加 RPCLA 则是增加了组织中总的 CLA 的浓度。

K.E.Griswold 等(2003) 在两种不同的精粗比 (80:20 和 60:40) 的肉牛日粮中添加三个水平的大豆油 (0%、4%、8%), 研究发现, 这些不同的处理对肉牛生产的影响不显著, 随着大豆油添加水平的增加, 牛肉的大理石花纹和胴体质量评分以及组织中 CLA 的含量有下降的趋势, 但肌肉中的 C18:2 和 C18:3 含量却呈线性的增加。出现这种结果的原因可能是 PUFA 限制了 CLA 的产量及反式脂肪酸抑制了去饱和酶的活性及其表达, 这样又反馈地抑制了组织中 CLA 的形成。M.R.Garcia 等(2003)在小母牛日粮中添加整粒葵花籽, 屠宰后发现, 亚油酸和 cis-9,trans-11CLA 的含量与对照组相比差异显著, 但胴体脂肪总量和干物质的百分比没有差异。

1.2.3.4 前景展望

随着有关研究的进一步深化, CLA 对人体健康积极影响的生理机制之谜会逐渐被揭开, 既然 CLA 对人体与动物的健康有许多积极影响, 在人类追求健康、渴望长寿的今天, CLA 无论作为

保健食品、功能食品，还是将来应用于临床，它的研究都具有重要的意义。可以相信：CLA 作为近一、二十年所发现的最重要的天然活性脂肪酸之一，必将为人类的幸福和健康带来更大的福音。

1.2.4 研究的内容、目的和意义

1.2.4.1 研究的内容

- ◆ 不同水平的亚麻籽对肉羊消化代谢的影响。
- ◆ 添加亚麻籽对肉羊生产性能和肌肉中脂肪酸组成的影响。

1.2.4.1 研究的目的和意义

在肉羊日粮中添加不同水平的亚麻籽，进行消化代谢试验和饲养试验，通过全收粪法测定干物质、粗蛋白质、粗脂肪、NDF、ADF 等营养物质的表观消化率，为利用亚麻籽作为肉羊的饲料提供基础数据；通过饲养试验和屠宰试验，分析测定亚麻籽对肉羊生产性能、屠宰性能的影响，并且提取肉样分析其脂肪酸组成，为利用亚麻籽生产富含 n-3 多不饱和脂肪酸和共轭亚油酸的功能性羊肉提供必要的参数。

第二章 试验研究

2.1 试验一 不同水平亚麻籽对肉羊消化代谢的影响

摘要: 16只4月龄左右、体重相近(34.06±1.68)kg的杂交公羔羊按单因素随机设计原理被分成4组,每组4只,饲喂添加了0%、5%、10%、15%亚麻籽的日粮进行消化代谢试验,研究不同水平的亚麻籽对绵羊消化代谢的影响。结果表明,不同水平的亚麻籽对饲料各种营养物质的消化代谢产生了不同的影响:随着亚麻籽添加水平的提高,干物质的采食量表现下降的趋势,但干物质的表观消化率各组间没有差异($P>0.05$);亚麻籽的含量与可消化氮和沉积氮呈现负相关趋势。氮的表观消化率各组间差异显著($P<0.05$),呈现逐渐递减的现象;有机物的表观消化率变化幅度不大,前三组差异不显著($P>0.05$),只有15%亚麻籽组与其它组比较差异显著;粗脂肪的表观消化率随着亚麻籽的添加量呈上升趋势,10%亚麻籽组最高,达到73.45%,与对照组比较差异显著($P<0.05$);纤维类物质NDF和ADF随着亚麻籽添加水平的提高而表现大幅度的下降,各组间差异显著($P<0.05$)。

关键词: 亚麻籽 肉羊 消化代谢 表观消化率

2.1.1 前言

反刍动物添加脂肪可提高能量浓度,改善能量平衡,从而改善产品的质量。但是对瘤胃的不利因素往往会影响到反刍动物产品生产的质量和水平,有效地防止脂肪的不利影响是关键。其它的保护技术虽然也可行,但成本相对较高,相比之下,添加油料籽实不失为一种好方法。胡麻籽实油脂含量高,蛋白质含量也高,最主要的是对人体有用的亚油酸或亚麻酸含量较高,而且其籽实具有天然的过瘤胃作用,并可调整n-3和n-6脂肪酸的比例,若将其用于反刍动物的产品品质改善,会有重要的实用价值。目前亚麻籽对绵羊消化代谢的影响尚无报道。

本试验研究了在肉羊日粮中添加不同水平的亚麻籽对消化代谢的影响,为进一步利用亚麻籽生产风味更好、营养价值更高的羊肉提供基础数据。

2.1.2 材料与方方法

2.1.2.1 试验动物与试验设计

选择体重相近(34.06±1.68)kg,健康无病的无角掏赛特(♂)×小尾寒羊(♀)杂交一代公羊16只。试验设计采用单因素分组设计,将试验动物随机分为4组,每组4只,全部单栏饲养。I组为对照组,饲喂不含亚麻籽的日粮;II、III、IV组为试验组,分别饲喂添加了5%、10%、15%亚麻籽(粉碎)的日粮。试验前健胃、驱虫,预试期14d,正试期7d。每天两次饲喂,先粗后精,自由饮水。每天的饲喂日程见表2-1。

表 2-1 每天的饲喂日程安排
Table.2-1 Feeding plan of everyday

时间	7:30	8:00	10:30	16:00	16:30	19:00
饲喂项目	苜蓿干草	青贮玉米	精料	苜蓿干草	青贮玉米	精料

2.1.2.2 试验日粮

按《中国养羊学》(农业出版社, 1993) 肥育羔羊的饲养标准配制日粮, 对照组日粮不含亚麻籽, 试验组日粮分别含有 5%、10%、15% 亚麻籽, 但四个组所含的养分浓度是大体相同的, 精粗比大约为 40:60。各组日粮组成及营养水平见表 2-2

表 2-2 试验日粮组成及营养水平 (风干基础)
Table.2-2 Ingredient composition and nutrient levels of diet (%)

项目	日粮组成及营 养水平	组别			
		I 组	II 组	III 组	IV 组
原料配比%	玉米	27.2	23	18.8	15.7
	豆粕	14.9	12.2	10.8	8.4
	亚麻籽	0	5	10	15
	食盐	0.5	0.5	0.5	0.5
	预混料	0.4	0.4	0.4	0.4
	苜蓿干草	21.5	22.5	24	25
	青贮玉米	35.5	35.5	35.5	35
营养水平%	DE (MJ/Kg)	12.74	12.62	12.77	12.84
	CP %	15.68	15.36	15.74	15.50
	EE %	3.41	5.31	7.20	9.17
	NDF %	39.13	39.59	41.57	43.26
	ADF %	22.93	23.48	27.18	27.84
	Ca %	0.28	0.31	0.33	0.34
	P %	0.23	0.25	0.29	0.30

注: 每 kg 微量元素预混料中含 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 5 g, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 30 g, $\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 20 g, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 20 g, KI 20 mg, Na_2SeO_3 40 mg, $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 50 mg.

2.1.2.3 消化代谢试验

- 经过预饲期后, 试验羊空腹称重, 带上集粪袋, 放入代谢笼, 连续 7 d 记录日采食量, 早 8:00 和晚 8:00 收集粪尿, 记录每天排粪量和排尿量。
- 样品采集与制备:
 粪样: 将每天收集的鲜粪样称重后按 10% 采样混合, 冷冻保存; 之后将收集的粪样解冻, 后于 65℃ 恒温烘箱中烘 48 h, 置于试验室回潮 48 h 后称重, 测得初水分并制成分析样本;
 尿样: 将每次收集的尿液量测得总容积后, 按排尿量的 10% 取样装入棕色瓶内, 并加入 5% 的浓盐酸以防止氨氮挥发, 4℃ 下保存备用。
- 样品的试验室测定: 分别测定日粮及粪、尿样的 DM、OM、CP、EE、ADF、NDF 百分含量 (方法按张丽英主编的《饲料分析及饲料质量检测技术》第二版), 计算这些营养物质的表观消化率。

营养物质的表观消化率 (%) = (饲料中营养物质含量 - 粪中营养物质含量) / 饲料中营养物质含量 × 100%

2.1.2.4 统计分析

所得数据采用 SAS 统计软件包 (SAS for Windows, Release 6.12) 中的单因素方差分析过程 (ANOVA), 均值的多重比较采用 Duncan 法进行。

2.1.3 结果与讨论

2.1.3.1 添加亚麻籽对氮的消化和利用率的影响

在本试验条件下, 在肉羊的日粮中添加不同水平的亚麻籽对氮的消化和代谢产生了不同的影响 (见表 2-3)。

表 2-3 添加亚麻籽对氮的消化和利用率的影响
Table.2-3 Effects of supplying flaxseed in sheep dietary on nitrogen retention and digestibility

项目 Item	I 组	II 组	III 组	IV 组
风干饲料采食量 (g/d)	1145.5±32.8 ^a	1127.0±31.5 ^{ab}	1078.8±51.3 ^{bc}	1025.5±17.1 ^c
干物质采食量(g/d)	1042.4±29.9 ^a	1030.1±28.8 ^{ab}	988.4±39.1 ^b	936.0±15.6 ^c
进食氮(g/d)	28.64±0.82 ^a	27.61±0.77 ^{ab}	27.31±1.08 ^b	25.44±0.42 ^c
粪氮(g/d)	6.45±0.18	6.40±0.17	6.49±0.25	6.25±0.11
尿氮(g/d)	6.76±0.20 ^a	6.55±0.19 ^a	6.52±0.25 ^a	6.12±0.10 ^b
可消化氮(g/d)	22.19±0.64 ^a	21.21±0.59 ^b	20.82±0.82 ^b	19.18±0.32 ^c
沉积氮(g/d)	15.42±0.44 ^a	14.66±0.41 ^b	14.30±0.57 ^b	13.03±0.22 ^c
氮的表观消化率(%)	77.48±0.27 ^a	76.83±0.24 ^b	76.22±0.25 ^c	75.44±0.19 ^d

注: 同行数据肩标不包含相同字母表示差异显著 (P < 0.05)。

Means across row with different superscripts are significantly different (P < 0.05).

随着亚麻籽添加水平的增高, 动物对风干饲料的采食量趋于降低, 其中, 对照组最高, 与 III 组、IV 组相比差异显著 (P < 0.05), 与 II 组相比差异不显著 (P > 0.05)。而添加了 15% 亚麻籽的 IV 组风干饲料的采食量最低, 其与 III 组比差异不显著 (P > 0.05); 对干物质的采食量和氮的进食量上, 试验出现了相同的结果: 即对照组与 5% 添加量的 II 组差异不显著 (P > 0.05), 与其它组比差异显著 (P < 0.05)。III 组与 IV 组比也表现差异显著 (P < 0.05), 最高组与最低组相比, 干物质的采食量和氮的进食量分别增加 106.4 g/d 和 3.2 g/d;

对粪氮的影响各组差异不显著 (P > 0.05); 对于尿氮, IV 组含量最低, 与其它组比差异显著 (P < 0.05); 可消化氮和沉积氮也出现了相同的结果: 即 I 组与其它组比差异显著 (P < 0.05), II 组、III 组相比差异不显著 (P > 0.05), 但与 IV 组相比差异显著 (P < 0.05); 氮的表观消化率各组差异显著 (P < 0.05), I 组最高, IV 组最低, 二者相差 2.04%。

该试验结果说明, 随着亚麻籽添加水平的增加, 动物对风干饲料和干物质的采食量趋于降低, 日粮中添加 5%、10%、15% 的亚麻籽, 由于亚麻籽含油量在 40% 左右, 这就相当于在日粮中添加

了2%、4%、6%的油脂，这表明添加油脂对采食量具有一定的抑制作用，其抑制程度与添加量有关。氮的表观消化率也随着亚麻籽添加量的增加而降低，且各组间表现差异显著 ($P < 0.05$)，虽然粪氮量各组间没有差异，但各组的进食氮有差异，从而造成氮的表观消化率各组间表现差异。

2.1.3.2 添加亚麻籽对肉羊营养物质进食量和全消化道表观消化率的影响

在肉羊的日粮中添加不同水平的亚麻籽对营养物质全消化道表观消化率的影响见表 2-4：可以看出，四个组干物质的表观消化率差异不显著 ($P > 0.05$)，其中III组最高，达到了 56.46%；但亚麻籽的添加水平对有机物的进食量和消化率产生的不同的影响，添加量最高的IV组与其它组比较差异显著 ($P < 0.05$)，另外三组有机物的消化率不受亚麻籽的添加水平的影响。

由于四个组的日粮所含的粗脂肪差异很大，造成了粗脂肪的摄入量各组间表现差异较大 ($P < 0.05$)，而且粗脂肪的消化率随着亚麻籽添加水平的提高有增加的趋势，III组、IV组与II组、I组相比差异显著 ($P < 0.05$)，II组与I组、III组与IV组之间也有差异 ($P < 0.05$)。Dorean 等(1994)认为脂肪酸的平均消化吸收率为 77.1%，消化率不受进食量的影响，小肠对保护及未保护脂肪的消化率无明显差异。wu 等(1991)研究认为脂肪酸的消化率随进食量的增加而提高，与本试验结果一致，而当添加脂肪到一定程度时，则消化率不再升高而出现了降低的趋势。

表 2-4 添加亚麻籽对肉羊采食量及营养物质表观消化率的影响

Table.2-4 Effects of supplying flaxseed in sheep dietary on feed intake and nutrient apparent digestibility

项目 Item	I 组	II 组	III 组	IV 组
营养物质进食量(g/d)				
干物质	1042.4±29.9 ^a	1030.1±28.8 ^{ab}	988.4±39.1 ^b	936.0±15.6 ^c
有机物	1087.4±31.2 ^a	1069.3±29.9 ^a	1026.5±40.6 ^b	968.0±16.1 ^c
粗脂肪	39.06±1.12 ^d	59.85±1.67 ^c	78.03±3.09 ^b	94.04±1.57 ^a
NDF	448.24±12.84	446.18±12.46	450.51±17.83	443.63±7.39
ADF	262.66±7.52 ^b	264.62±7.39 ^b	294.56±11.65 ^a	285.50±4.76 ^a
营养物质表观消化率(%)				
干物质	56.32±0.24	56.18±0.17	56.46±0.29	55.96±0.47
有机物	53.34±0.25 ^a	53.15±0.11 ^a	53.30±0.15 ^a	52.46±0.33 ^b
粗脂肪	69.44±0.24 ^c	71.23±0.18 ^b	73.45±0.26 ^a	73.17±0.23 ^a
NDF	57.47±0.30 ^a	50.74±0.41 ^b	48.33±0.28 ^c	45.24±0.21 ^d
ADF	49.28±0.28 ^a	41.35±0.23 ^b	40.26±0.30 ^c	37.49±0.27 ^d

注：同行数据肩标不包含相同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Means across row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

由表 2-4 可知，NDF 和 ADF 的消化率随着亚麻籽添加量的增加出现的急剧下降的趋势，分别由对照组的 57.47%和 49.28%下降到了 45.24%和 37.49%，各组间表现差异显著 ($P < 0.05$)。下降的原因可能是由于日粮中添加脂肪酸阻止了纤维素酶与作用底物的结合或由于脂肪酸直接抑制了降解纤维素细菌的活性，这与 Jenkins 的研究结果一致。另外，关于添加脂肪导致粗纤维消

化率下降的原因, Devendra 等(1974)提出了四条解释: (1)纤维素被脂肪包裹致使瘤胃微生物难以发生作用; (2)由于脂肪的毒性作用使瘤胃微生物区系发生改变; (3)细胞膜上脂肪酸的表面活性作用抑制了微生物的活动; (4)由于形成不溶性长链脂肪酸皂化物导致阳离子利用率下降。

2.1.4 小结

- (1) 肉羊日粮中添加不同水平的亚麻籽对其消化代谢产生了一定的影响。
- (2) 随着亚麻籽添加水平的提高, 干物质的采食量表现下降的趋势, 其中 I 组采食量最高, 与 III 组、IV 组相比差异显著 ($P < 0.05$)。但干物质的表观消化率各组间没有差异 ($P > 0.05$)。
- (3) 亚麻籽的含量对可消化氮和沉积氮也产生了影响, 呈现负相关趋势。氮的表观消化率各组间差异显著 ($P < 0.05$), 呈现逐渐递减的现象。
- (4) 有机物的表观消化率变化幅度不大, 前三组差异不显著 ($P > 0.05$), 只有添加 15% 亚麻籽的 IV 组与其它组比较差异显著。
- (5) 只有粗脂肪的表观消化率与亚麻籽的添加水平呈正相关, 且各组间表现显著。至于粗脂肪的消化率在亚麻籽添加水平达到多大时表现下降, 本试验没有探讨, 但总的趋势是当添加脂肪到一定限度时, 则消化率不再升高而会出现降低的趋势。
- (6) 纤维类物质 NDF 和 ADF 随着亚麻籽添加水平的增加而表现大幅度的下降, 各组间差异显著 ($P < 0.05$)。

2.2 试验二 添加亚麻籽对肉羊生产性能和肌肉中脂肪酸组成的影响

摘要: 16只4月龄左右、体重相近(34.06 ± 1.68) kg的杂交公羔羊按单因素随机设计原理被分成4组, 每组4只, 饲喂添加了0%、5%、10%、15%亚麻籽的日粮进行为期60d的饲养试验, 研究不同水平的亚麻籽对绵羊生长性能、胴体品质和肌肉脂肪酸组成的影响。试验结果表明: 随着亚麻籽添加水平的提高, 净增重、平均日增重、饲料报酬三个指标有降低的趋势, 5%、10%的亚麻籽水平与对照组比较差异不显著 ($P > 0.05$), 而15%亚麻籽组与其它组比较差异显著 ($P < 0.05$), 对照组平均日增重最高, 达到224.16 g/d; 试验组的屠宰率比对照组的要高, 5%、10%亚麻籽组与对照组比差异显著 ($P < 0.05$), 15%亚麻籽组与对照组比差异不显著 ($P > 0.05$), 5%亚麻籽组屠宰率最高, 为46.86%。眼肌面积的变化趋势与屠宰率相似, 5%亚麻籽组最高, 达到20.44 cm², 比对照组高2.64 cm², 试验组间差异不显著 ($P > 0.05$); c9, t11-CLA的含量各试验组比对照组都要高, 其中15%亚麻籽组最高, 其次是10%亚麻籽组和5%亚麻籽组, 与对照组比较差异显著 ($P < 0.05$)。腿部肌肉中c9, t11-CLA的含量达到3.02 mg/g TFA, 是对照组的282.24%; c10, t12-CLA含量与对照组比也有增高的趋势, 但差异不显著 ($P > 0.05$); 亚麻酸(C18:3)的含量与亚麻籽的添加水平呈正相关, 15%亚麻籽组最高, 大约是对照组的2倍左右; 二十碳五烯酸(C20:5n-3, EPA)为10%亚麻籽组最高, 与对照组比较差异显著 ($P < 0.05$), 其它组间差异不显著 ($P > 0.05$); 二十二碳六烯酸(C22:6n-3, DHA)为10%亚麻籽组最高, 腿部肌肉中含量为1.83 mg/g TFA, 为对照组的2倍左右, 且差异显著 ($P < 0.05$), 其它各组间差异不显著 ($P > 0.05$), 在背最长肌中含量各组间差异不显著 ($P > 0.05$)。

关键词: 亚麻籽 生长性能 脂肪酸组成 肉羊 胴体品质

2.2.1 前言

随着人们生活水平的提高和健康意识的增强, 功能性食品逐渐受到了重视, 其中食品的脂肪酸组成也备受关注, 脂肪酸中的多不饱和脂肪酸, 特别是n-3多不饱和脂肪酸和共轭亚油酸成了营养学家研究的热点, 而且这些脂肪酸对人体积极的作用正逐渐被揭示出来, 通过营养调控来提高动物源性食品中这些脂肪酸的含量意义重大。

本试验研究了通过在肉羊的饲料中添加不同水平的亚麻籽对肉羊的生长性能、屠宰性能及脂肪酸组成等指标的影响程度, 为利用亚麻籽生产富含n-3多不饱和脂肪酸和共轭亚油酸的羊肉提供参考数据。

2.2.2 材料与方法

2.2.2.1 试验动物与试验设计

同试验一, 只是试验期延长到60d。

2.2.2.2 试验日粮

同试验一。

2.2.2.3 测定指标

- ▶ **生长性能:** 试验开始的第一天早晨, 试验羊空腹 24 h 称重, 记录试验初始体重; 试验第 61 天早晨, 试验羊空腹 24 h 称重, 记录试验终末体重, 计算出净增重和平均日增重。记录试验期总的采食量, 计算饲料转化率。
- ▶ **屠宰性能:** 试验羊第 61 天早晨空腹 24 h 称重后进行屠宰, 计算如下指标:
 - **胴体重:** 屠宰放血后, 剥去毛皮, 除去头、内脏及前肢膝关节和后肢趾关节以下部分, 整个躯体 (包括肾脏及其周围脂肪) 的静置 30 min 后的重量。
 - **屠宰率:** 指胴体重与屠宰前活重 (宰前空腹 24 h) 之比, 用百分率表示。
屠宰率=胴体重 / 宰前活重 × 100%
 - **眼肌面积:** 测量倒数第一与第二胸椎间眼肌 (背最长肌) 的横切面积。用下面的公式估测: 眼肌面积 (cm²) = 眼肌高度 (cm) × 眼肌宽度 (cm) × 0.7
 - **GR 值:** 指在第十二与第十三肋骨之间, 距背脊中线 11 cm 处的组织厚度, 作为代表动物体脂肪含量的标志。
- ▶ **肌肉脂肪的测定:** 采集有代表性的腿部肌肉和背最长肌 150 g, 经冷冻干燥后, 用索氏浸提法测定干肉样中的脂肪含量。肌肉脂肪含量 (%) = 肌肉脂肪重/干样重×100%
- ▶ **肌肉和皮下脂肪脂肪酸组成:** 采集到的有代表性的样品经冷冻干燥后, 剪碎, 采用附录中的方法测定脂肪酸组成。

2.2.2.4 统计分析

所得数据采用 SAS 统计软件包 (SAS for Windows, Release 6.12) 中的单因素方差分析过程 (ANOVA), 均值的多重比较采用 Duncan 法进行。

2.2.3 结果与讨论

2.2.3.1 添加不同水平亚麻籽对肉羊生长性能的影响

添加不同水平的亚麻籽对肉羊生长性能的影响见表 2-5:

表 2-5 添加不同水平亚麻籽对肉羊生长性能的影响
Table.2-5 Effects of supplying flaxseed in sheep dietary on growth performance

项目 Item	I 组	II 组	III 组	IV 组
初始体重(kg)	34.28±1.88	33.80±1.98	34.53±1.20	33.65±2.14
终末体重(kg)	47.73±3.25 ^a	46.58±2.08 ^{ab}	47.25±1.43 ^{ab}	43.57±1.10 ^b
净增重(kg)	13.45±1.51 ^a	12.78±0.43 ^a	12.57±0.55 ^a	9.92±0.39 ^b
净增重/初始体重 (%)	39.18±2.78 ^a	37.90±2.52 ^a	36.42±1.58 ^a	29.55±1.64 ^b
平均日增重(g/d)	224.16±25.15 ^a	212.96±7.22 ^a	209.50±9.22 ^a	165.63±6.54 ^b
干物质平均采食量(g/d)	1297.2±37.2 ^a	1282.2±35.8 ^{ab}	1230.3±48.7 ^{ab}	1165.4±19.4 ^c
采食量/净增重	5.24±0.43 ^b	5.42±0.19 ^b	5.29±0.27 ^b	6.35±0.22 ^a

注: 同行数据肩标不包含相同字母表示差异显著 (P < 0.05)。

Means across row with different superscripts are significantly different (P < 0.05).

可以看出, 试验各组初始体重差异不明显, 试验终末体重出现了差异, 其中对照组最高, 达到 47.73 kg, IV组最低, 仅为 43.57 kg, 二者相差 4.16kg, 且差异显著 ($P < 0.05$), 其它三组差异不显著 ($P > 0.05$); 净增重的情況与终末体重情况相似, 最高的对照组与最低的IV组相差 3.53kg, 这主要是由于各组的干物质采食量不同, 而干物质的消化率没有差异造成的 (见试验一)。

试验期各组平均日增重前三组差异不显著 ($P > 0.05$), 与IV组比较差异显著 ($P < 0.05$), 最高日增重达到 224.16 g/d, 饲料报酬 (采食量/净增重) 情况与平均日增重情况形同, 各组的饲料报酬分别为 5.24:1、5.42:1、5.29:1、6.35:1, 最高的饲料报酬是 I 组, 比IV组高 1.11。试验情况说明了添加 5%、10%的亚麻籽根对照组相比, 对肉羊的生长性能没有影响, 而添加了 15%的亚麻籽由于影响了干物质的采食量从而影响到肉羊的生长性能。

2.2.3.2 添加不同水平亚麻籽对肉羊屠宰性能的影响

添加不同水平的亚麻籽对肉羊屠宰性能的影响见表 2-6: 试验各组胴体重差异不显著 ($P > 0.05$), 但由于宰前活重有差异, 从而造成了试验的屠宰率各组间出现了不同的差异水平, 试验组的屠宰率比对照组的高且差异显著 ($P < 0.05$), II组、III组、IV组的屠宰率分别是 46.86%、46.78%、46.05%, 试验组间差异不显著 ($P > 0.05$), 最高的屠宰率出现在添加 5%亚麻籽的II组, 随着亚麻籽添加水平的提高, 屠宰率有降低的趋势。

眼肌面积也是衡量产肉性能的一个指标, 其变化趋势与屠宰率相似, II组的最高, 达到 20.44 cm^2 , 比对照组高 2.64 cm^2 , 试验组间差异不显著 ($P > 0.05$), 试验组比对照组的高且差异显著 ($P < 0.05$); GR 值是体脂肪含量的标志, 各组间差异不显著, 但该指标与亚麻籽的添加水平有正相关的趋势, 说明添加亚麻籽可以影响动物的脂肪代谢, 增加动物体脂肪的含量。

表 2-6 添加不同水平亚麻籽对肉羊屠宰性能的影响
Table.2-6 Effects of supplying flaxseed in sheep dietary on carcass merit

项目 Item	I 组	II 组	III组	IV 组
胴体重(kg)	21.59±1.85	21.85±1.53	22.10±0.78	20.08±1.50
宰前活重(kg)	47.73±3.25 ^a	46.58±2.08 ^{ab}	47.25±1.43 ^{ab}	43.57±1.10 ^b
屠宰率(%)	45.19±0.87 ^b	46.86±1.26 ^a	46.78±0.41 ^a	46.05±0.92 ^{ab}
眼肌面积(cm^2)	17.80±1.81 ^b	20.44±1.29 ^a	19.43±0.93 ^{ab}	19.64±1.37 ^{ab}
GR 值(mm)	12.88±1.19	14.00±0.86	14.88±2.03	14.82±1.11

注: 同行数据肩标不包含相同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Means across row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

2.2.3.3 添加不同水平亚麻籽对肉羊肌内脂肪的影响

添加不同水平的亚麻籽对肉羊肌内脂肪的影响见表 2-7: 腿部肌肉肌内脂肪的百分比随着亚麻籽添加水平的提高呈现显著提高的趋势, 试验各组与对照组比较差异显著 ($P < 0.05$), 最高的II组肌内脂肪达到 7.52%, 大约是对照组的 2 倍, 且II组与III组、IV组比较也差异显著 ($P < 0.05$), III组与IV组差异不显著 ($P > 0.05$)。

背最长肌肌内脂肪的变化趋势在各试验组间与腿部肌肉的变化趋势相似, 所不同的是前者的肌内脂肪百分比是后者的二倍之多, 该现象一是说明了羊的背最长肌沉积脂肪的能力要比腿部肌

肉的强,另外也说明了亚麻籽对背最长肌肌内脂肪的沉积有很大的影响。最高的II组背最长肌肌内脂肪的百分比达到17.51%,远远高于其它组的水平。

肌内脂肪存在于肌肉内,主要位于肌外膜、肌束膜及肌内膜上,多数研究显示,肌内脂肪可提高肌肉的嫩度和风味,一方面是由于肌内脂肪在氧化时有溶解肌纤维束的作用,从而提高肌肉嫩度和多汁性,另一方面,由于肌内脂肪富含磷脂,磷脂通过Maillard反应而产生香味。

表 2-7 添加不同水平亚麻籽对肉羊肌内脂肪的影响
Table.2-7 Effects of supplying flaxseed in sheep dietary on Intramuscular Fat

肌内脂肪 IMF (%)	I 组	II 组	III 组	IV 组
腿部肌肉	4.03±0.64 ^c	7.52±0.63 ^a	6.17±0.74 ^b	6.59±0.76 ^{ab}
背最长肌	8.31±0.58 ^c	17.51±2.10 ^a	13.25±1.94 ^b	14.81±1.72 ^b

注:同行数据肩标不包含相同字母表示差异显著(P<0.05)。IMF为肌肉干物质中脂肪的百分比。
Means across row with different superscripts are significantly different (P < 0.05).

2.2.3.4 添加不同水平亚麻籽对组织中脂肪酸组成的影响

添加不同水平亚麻籽对不同组织中脂肪酸组成的影响见表 2-8:

表 2-8 添加不同水平亚麻籽对肉羊不同部位脂肪酸组成的影响
Table.2-8 Effects of supplying flaxseed in sheep dietary on fatty acids composition in muscle and subcutaneous fat (mg / g TFA)

项目 Item	I 组	II 组	III 组	IV 组
C14:0				
腿部肌肉	12.46±1.93 ^b	17.04±1.97 ^a	15.71±2.50 ^a	15.35±0.82 ^{ab}
背最长肌	19.42±1.88 ^a	14.90±3.81 ^b	14.03±0.96 ^b	19.80±3.50 ^a
皮下脂肪	31.30±1.22 ^a	22.72±1.79 ^b	23.40±1.46 ^b	22.84±0.63 ^b
C14:1				
腿部肌肉	0.38±0.02 ^c	1.73±0.27 ^a	1.21±0.06 ^b	1.10±0.07 ^b
背最长肌	1.85±0.27 ^a	0.36±0.09 ^c	1.31±0.12 ^b	0.61±0.27 ^c
皮下脂肪	0.81±0.15 ^b	1.03±0.15 ^b	0.83±0.33 ^b	3.50±0.24 ^a
C16:0				
腿部肌肉	219.87±30.19	224.45±7.40	216.01±17.58	219.08±7.29
背最长肌	229.57±21.36	221.31±22.82	221.00±4.33	229.81±17.28
皮下脂肪	261.57±29.93 ^a	216.98±17.14 ^b	228.34±8.87 ^b	214.26±15.50 ^b
C16:1				
腿部肌肉	13.94±2.79	11.58±1.38	12.33±3.28	11.98±1.70
背最长肌	14.36±0.13 ^a	10.91±1.34 ^b	10.76±1.68 ^b	11.70±1.10 ^b
皮下脂肪	18.37±2.48 ^a	19.45±2.13 ^a	16.35±4.63 ^{ab}	12.80±2.27 ^b

(续) 表 2-8

项目 Item	I 组	II 组	III 组	IV 组
C18:0				
腿部肌肉	182.51±12.80	205.50±33.23	198.43±26.49	204.20±8.53
背最长肌	204.89±13.32 ^b	234.41±21.36 ^a	207.39±19.60 ^{ab}	206.60±15.19 ^{ab}
皮下脂肪	228.52±40.53	240.77±34.19	227.87±56.46	270.00±30.43
C18:1				
腿部肌肉	422.35±8.01	435.62±23.94	413.80±11.45	439.28±24.95
背最长肌	399.20±27.91 ^b	438.27±25.17 ^a	454.93±17.05 ^a	446.32±25.30 ^a
皮下脂肪	435.09±67.71	440.08±25.49	451.92±52.26	423.45±13.69
C18:2				
腿部肌肉	74.08±22.84	56.57±5.51	72.20±15.99	54.96±10.85
背最长肌	70.34±10.32 ^a	39.04±8.50 ^b	48.48±5.63 ^b	34.65±11.01 ^b
皮下脂肪	25.69±4.98	30.22±10.28	26.80±1.47	28.88±1.94
C18:3				
腿部肌肉	7.24±1.69 ^b	8.46±0.31 ^b	13.41±2.14 ^a	13.49±1.45 ^a
背最长肌	6.72±0.62 ^b	7.56±1.56 ^b	12.25±2.48 ^a	11.46±1.04 ^a
皮下脂肪	4.53±0.93 ^c	7.32±1.45 ^b	9.42±1.86 ^{ab}	10.70±1.48 ^a
c9, t11-CLA				
腿部肌肉	1.07±0.23 ^b	2.85±0.54 ^a	2.89±0.19 ^a	3.02±1.02 ^a
背最长肌	1.79±0.22 ^b	2.76±0.57 ^b	3.41±0.45 ^{ab}	4.83±1.95 ^a
皮下脂肪	4.20±0.44 ^b	5.40±0.99 ^{ab}	5.60±1.45 ^{ab}	6.34±0.81 ^a
c10,t12-CLA				
腿部肌肉	0.56±0.05	0.56±0.07	0.73±0.19	0.54±0.12
背最长肌	0.41±0.40	0.45±0.06	0.48±0.09	0.49±0.08
皮下脂肪	0.44±0.06	0.48±0.10	0.51±0.07	0.47±0.12
C20:0				
腿部肌肉	1.91±0.40 ^a	1.46±0.27 ^b	1.45±0.13 ^b	1.57±0.17 ^{ab}
背最长肌	1.95±0.32 ^a	1.46±0.40 ^{ab}	1.23±0.16 ^b	1.60±0.51 ^{ab}
皮下脂肪	1.71±0.79	1.98±0.54	1.61±0.35	1.94±0.29
C20:1				
腿部肌肉	1.24±0.47 ^a	0.76±0.08 ^b	0.78±0.16 ^b	0.76±0.29 ^b
背最长肌	1.58±0.82 ^a	0.64±0.03 ^b	0.76±0.09 ^b	0.69±0.13 ^b
皮下脂肪	0.90±0.16	0.87±0.23	0.87±0.22	0.79±0.20

(续) 表 2-8

项目 Item	I 组	II 组	III 组	IV 组
C20:2				
腿部肌肉	6.77±1.29 ^a	3.50±0.59 ^b	5.97±0.51 ^a	3.82±0.90 ^b
背最长肌	7.08±1.41 ^a	2.53±0.65 ^{bc}	3.51±0.62 ^b	1.80±1.14 ^c
皮下脂肪	1.31±0.42	1.44±0.56	1.07±0.45	0.81±0.13
C20:3				
腿部肌肉	24.86±2.72	17.97±1.34	26.35±8.37	19.01±6.76
背最长肌	31.14±5.96 ^a	12.12±5.41 ^b	17.45±2.03 ^b	11.74±1.95 ^b
皮下脂肪	1.26±0.43 ^a	1.16±0.20 ^{ab}	0.99±0.26 ^{ab}	0.79±0.08 ^b
C20:5				
腿部肌肉	3.12±1.10 ^b	2.96±1.23 ^b	6.49±1.12 ^a	4.43±0.67 ^b
背最长肌	3.16±0.22 ^b	2.43±0.59 ^b	4.76±0.38 ^a	3.12±0.68 ^b
皮下脂肪	0.27±0.12 ^c	0.29±0.05 ^c	1.00±0.28 ^a	0.65±0.09 ^b
C22:0				
腿部肌肉	1.80±0.52 ^b	1.67±0.31 ^b	3.75±1.50 ^a	1.04±0.33 ^b
背最长肌	1.59±0.38 ^a	0.94±0.48 ^{bc}	1.52±0.49 ^{ab}	0.88±0.10 ^c
皮下脂肪	0.46±0.19	0.25±0.07 ^b	0.36±0.05 ^b	0.78±0.34 ^a
C22:5				
腿部肌肉	6.58±1.33	4.48±1.00	6.00±1.77	5.06±1.59
背最长肌	6.94±1.17 ^a	2.96±0.96 ^b	3.73±0.79 ^b	2.78±0.97 ^b
皮下脂肪	0.80±0.13	0.83±0.12	0.98±0.22	0.86±0.15
C22:6				
腿部肌肉	0.93±0.16 ^b	1.08±0.34 ^b	1.83±0.56 ^a	1.37±0.44 ^{ab}
背最长肌	2.03±0.70	2.25±0.72	2.97±0.60	1.98±0.71
皮下脂肪	0.86±0.20	1.02±0.32	0.78±0.24	1.12±0.35

注：同行数据肩标不包含相同字母表示差异显著 (P < 0.05)。

Means across row with different superscripts are significantly different (P < 0.05).

在腿部肌肉、背最长肌和皮下脂肪中，c9, t11-CLA 的含量 (mg/g TFA) 各试验组比对照组都要高，其中添加 15% 亚麻籽的 IV 组最高，其次是添加了 10% 亚麻籽的 III 组和 5% 亚麻籽的 II 组，它们与对照组比较差异显著 (P < 0.05)。皮下脂肪中 c9, t11-CLA 的含量最高，达到 6.34 mg/g TFA，是对照组的 150.95%，而提高幅度最高的是腿部肌肉，是对照组的 282.24%；c10,t12-CLA 在这三种组织中的含量与对照组比也有增高的趋势，但差异不显著 (P > 0.05)。

亚麻酸 (C18:3) 的含量与亚麻籽的添加水平呈正相关, 腿部肌肉和皮下脂肪中的含量IV组最高, 大约是对照组的 2 倍左右, 且与对照组比较差异显著 ($P < 0.05$), 其次为III组和II组。背最长肌中的含量是III组最高, 也为对照组的 2 倍左右, 其次是IV组和II组。

二十碳五烯酸 (C20:5n-3, EPA) 在腿部肌肉、背最长肌和皮下脂肪中的含量III组最高, 分别为对照组的 208.01%、150.63%和 370.37%, 且与对照组比较差异显著 ($P < 0.05$), 其它组间差异不显著 ($P > 0.05$)。

二十二碳六烯酸 (C22:6n-3, DHA) 在腿部肌肉中III组最高, 含量为 1.83 (mg/g TFA), 为对照组的 2 倍左右, 且差异显著 ($P < 0.05$), 其它各组间差异不显著 ($P > 0.05$); 在背最长肌中也是III组最高, 各组间差异不显著 ($P > 0.05$); 皮下脂肪中IV组最高, 各组间差异不显著 ($P > 0.05$)。

表 2-9 显示了各试验组总的饱和脂肪酸 (SFA)、单不饱和脂肪酸 (MUFA) 及多不饱和脂肪酸 (PUFA) 的含量。可以看出, SFA 的含量随着亚麻籽添加水平的增加而增加, 各组差异不显著 ($P > 0.05$); MUFA 在肌肉中的含量与亚麻籽的添加水平呈正相关, 其中在腿部肌肉中, 各组差异不显著 ($P > 0.05$), 背最长肌中III组含量最高, 与对照比较差异显著 ($P < 0.05$)。在皮下脂肪中也是III组含量最高, 各组差异不显著 ($P > 0.05$); PUFA 在背最长肌中的含量与亚麻籽的添加水平呈负相关, 对照组含量最高, 与试验各组比较差异显著 ($P < 0.05$)。在腿部肌肉中III组含量最高, 与对照比较差异不显著 ($P > 0.05$), II组和IV组比对照组低, 差异不显著 ($P > 0.05$)。皮下脂肪中各试验组比对照组都要高, 但差异不显著 ($P > 0.05$)。

表 2-9 组织中饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸的含量
Table.2-9 Contents of SFA, MUFA and PUFA in muscle

项目 Item	(mg / g TFA)			
	I 组	II 组	III 组	IV 组
饱和脂肪酸 SFA				
腿部肌肉	418.55±34.06	449.61±28.19	435.34±40.25	441.23±10.24
背最长肌	457.41±36.03	473.02±20.91	445.17±20.65	458.68±13.24
皮下脂肪	522.22±21.45	479.06±53.84	490.68±45.50	528.33.33±13.76
单不饱和脂肪酸 MUFA				
腿部肌肉	437.91±5.53	449.68±24.96	428.11±14.64	453.11±26.60
背最长肌	416.99±27.51 ^b	450.17±25.34 ^{ab}	467.75±18.78 ^a	459.31±26.44 ^a
皮下脂肪	455.17±70.07	461.43±27.32	469.97±57.14	440.54±16.11
多不饱和脂肪酸 PUFA				
腿部肌肉	125.22±26.70 ^{ab}	98.43±4.12 ^b	134.88±27.96 ^a	105.70±19.83 ^{ab}
背最长肌	130.20±19.73 ^a	72.10±16.04 ^c	97.02±8.86 ^b	72.85±12.74 ^c
皮下脂肪	39.37±6.36	48.17±9.62	47.15±2.48	50.62±2.89

注: 同行数据肩标不包含相同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Means across row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

2.2.4 小结

- (1) 随着亚麻籽添加水平的提高,净增重、平均日增重、饲料报酬三个指标有降低的趋势,对照组最高,分别为 13.45 kg、224.16 g/d、5.24:1。这主要是由于亚麻籽中的多不饱和脂肪酸影响到动物的代谢,进而影响到采食量及养分在组织中的沉积造成的。
- (2) 试验组的屠宰率比对照组的要高,5%亚麻籽组屠宰率最高,为 46.86%。眼肌面积的变化趋势与屠宰率相似,5%亚麻籽组最高,达到 20.44 cm²,比对照组高 2.64 cm²。
- (3) 亚麻籽的添加增加了肌肉中的脂肪含量,可能使肌肉的嫩度和风味提高。
- (4) 亚麻籽的添加改变了肌肉和皮下脂肪中的脂肪酸组成,c9,t11-CLA 的含量各试验组比对照组都要高,其中 15%亚麻籽组最高,其次是 10%亚麻籽组和 5%亚麻籽组。腿部肌肉中 c9,t11-CLA 的含量达到 3.02 mg/g TFA,是对照组的 282.24%;试验各组 c10,t12-CLA 含量与对照组比也有增高的趋势,但差异不显著 ($P>0.05$)。
- (5) 亚麻酸 (C18:3) 的含量与亚麻籽的添加水平呈正相关,15%亚麻籽组最高,大约是对照组的 2 倍左右;二十碳五烯酸 (C20:5n-3, EPA) 为 10%亚麻籽组最高,与对照组比较差异显著 ($P<0.05$),其它组间差异不显著 ($P>0.05$);二十二碳六烯酸 (C22:6n-3, DHA) 为 10%亚麻籽组最高,腿部肌肉中含量为 1.83 mg/g TFA,为对照组的 2 倍左右,且差异显著 ($P<0.05$),其它各组间差异不显著 ($P>0.05$),在背最长肌中含量各组间差异不显著 ($P>0.05$)。
- (6) 肌肉和皮下脂肪中总的饱和脂肪酸 (SFA)、单不饱和脂肪酸 (MUFA) 及多不饱和脂肪酸 (PUFA) 的含量也受到一些影响。SFA 和 MUFA 的含量随着亚麻籽添加水平的提高而增加,PUFA 在背最长肌中的含量与亚麻籽的添加水平呈负相关,对照组含量最高,在腿部肌肉中 10%亚麻籽组含量最高,皮下脂肪中各试验组比对照组都要高。
- (7) 亚麻籽具有较高的营养价值,但因其中含有毒性物质如生氰糖甙、胰蛋白酶抑制剂、抗维生素 B₆ 因子等。尤其是其中的生氰糖甙使亚麻籽的应用受到限制,因此要注意亚麻籽的添加量。此外,在应用含有亚麻籽饲料开发 PUFA 产品时,最易出现的一个问题是脂肪酸产品容易发生脂质氧化,通常同时添加抗氧化剂,使用较多的是天然抗氧化剂维生素 E。

第三章 结论及建议

3.1 本研究的主要结论

- (1) 饲料中添加亚麻籽影响了主要营养物质的采食量和表观消化率。干物质的采食量下降，DM、N、OM、ADF 和 NDF 的表观消化率也随之下降，粗脂肪的表观消化率升高。
- (2) 添加亚麻籽对生长性能和胴体品质产生了影响。随着亚麻籽添加水平的提高，净增重、平均日增重、饲料报酬三个指标有降低的趋势；试验各组的屠宰率和眼肌面积比对照组要高，其中 5% 亚麻籽组屠宰率最高。
- (3) 添加亚麻籽改变了肌肉和皮下脂肪中的脂肪酸组成：试验组的 c9, t11-CLA、c10,t12-CLA、亚麻酸 (C18:3)、二十碳五烯酸 (C20:5n-3, EPA) 和二十二碳六烯酸 (C22:6n-3, DHA) 的含量试验组比对照组都有不同程度的提高。
- (4) 虽然添加 15% 的亚麻籽有效的影响了组织中的脂肪酸组成，但是降低了净增重、平均日增重、饲料报酬，建议在绵羊日粮中添加 5~10% 的亚麻籽来生产富含 CLA 和 n-3PUFA 的羊肉比较适宜。

3.2 本研究的创新点

- (1) 研究了添加亚麻籽对肉羊消化代谢的影响。
- (2) 研究了添加亚麻籽对肌肉和皮下脂肪中 CLA 和 n-3PUFA 含量的影响。

3.3 有待于进一步研究的问题

- (1) 亚麻籽不同加工处理方式对绵羊生产性能和组织中脂肪酸组成的影响。
- (2) 亚麻籽对血液相关指标、相关酶指标的影响。
- (3) 亚麻籽和其它油料籽实的比较及互作对绵羊相关指标的影响。

参考文献

- AbuGhazaleh A.A.等著. 李树聪摘译 奶牛饲喂鱼油、膨化大豆或其混合物的油脂对牛奶和瘤胃食糜中脂肪酸组成的影响[J]. 中国畜牧兽医 2004(6): 22
- Palmquist 著, 武书庚 译. 奶牛瘤胃及内源和成共轭亚油酸[J]. Animal Science Abroad. 2002, 29 (1): 10~11
- 卜凤泉, 刘忠英等. 亚麻籽降鸡血脂作用的研究[J]. 食品科技.2005(4): 82~84
- 蔡青和, 贾志海, 侯文娟. 绵羊日粮中添加不同水平脂肪酸钙对养分消化的影响[J]. 中国农业大学学报. 2001, 6 (3): 113~118
- 陈海华. 亚麻籽的营养成分及开发利用[J]. 中国油脂.2004(6): 72~75
- 陈艳珍等. 共轭亚油酸对奶牛产奶量和乳脂律的影响[J]. 中国饲料. 2002, 12(18): 11~14
- 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(4): 55~57
- 嘎尔迪, 尹福泉, 刘瑞芳等. 共轭亚油酸(CLA)及其在奶牛营养中的研究进展[J]. 内蒙古农业大学学报. 2005, 26(2): 109~114
- 高爱武等. 反刍动物瘤胃内共轭亚油酸的形成及其在动物营养中的应用[J]. 内蒙古畜牧科技. 2003(6): 20~21
- 高军肖, 王加启. 调控瘤胃脂肪氢化提高乳中共轭亚油酸的研究进展[J]. 饲料博览. 2005, 17(1): 9~11
- 谷利伟等. 共轭亚油酸研究进展[J]. 粮油食品科技. 2001, 9 (2): 28~29
- 洪奇华,陈安国. 共轭亚油酸对猪胴体品质及作用机理的研究进展[J].中国畜牧杂志. 2004, 40(3): 44~47
- 候俊财等, 瘤胃内共轭亚油酸 (CLA) 的形成[J]. 中国乳品工业. 2002 (5) : 70~71
- 胡少昶译.亚麻籽在家禽和宠物日粮中的应用潜力[J].国外畜牧学——猪与禽,1997,(4): 10-13
- 焦小丽. 共轭亚油酸及其在动物营养中的应用研究进展[J]. 营养研究 2003(4): 14~16
- 金桩 译. 富集 DHA、EPA 的牛奶及牛肉的生产研究[J]. CHINA DAIRY. 45~48
- 李凤学, 赵广永. 脂肪及长链脂肪酸对瘤胃发酵的影响中国畜牧杂志[J]. 2002, 38 (5): 52~53
- 李俊英. 不同优质鸡品种与隐性白羽肉鸡杂交组合的屠体肌肉品质性状分析. 中国农业大学硕士学位论文. 2005
- 林淑英等. 共轭亚油酸在食品工业中的应用前景[J]. 中国油脂. 2003, 28 (11): 55~58
- 苏彩欣等. 食品中共轭亚油酸的组成与抗病保健机理[J]. 营养与保健. 2002 (3): 40~42
- 孙涛, 李建国, 赵晓静. 苜蓿及油料籽实对奶牛生产性能和乳脂脂肪酸组成的影响[J].动物营养学报. 2006, 18 (2): 93~98
- 唐传核等. 新型功能性脂肪酸——共轭亚油酸[J]. 四川粮油科技. 2001(2): 47~49
- 田宇, 王忠彦. DHA 和 EPA 的生理功能及研究进展[J]. 四川食品与发酵.2003, 39(118): 44~47

- 王菊花等. 反刍动物共轭亚油酸的合成及其影响因素[J]. 中国饲料. 2004, 14 (11): 12~14
- 王菊花等. 反刍动物共轭亚油酸的合成及其影响因素[J]. 中国饲料. 2004, 14 (11): 12~14
- 魏登邦 张宝琛. 动物体内共轭亚油酸产生机制及影响含量的因素[J]. 青海大学学报(自然科学版). 2002, 20(5): 38~40
- 魏宏阳等. 共轭亚油酸的结构与生物学功能[J]. 中国畜牧兽医. 2002, 29 (3): 14~16
- 魏莲. 共轭亚油酸的抗癌效果及机制[J]. 青海大学学报(自然科学版). 2003, 21(1): 13~15
- 伍喜林, 杨凤. 共轭亚油酸(CLA)对动物营养效应研究进展[J]. 动物营养学报. 2003, 15 (1): 7~10
- 谢欣梅. 亚麻籽在动物饲料中的应用潜力[J]. 内蒙古民族大学学报. 2005, 20(5): 530~532
- 严梅荣, 顾华孝. 共轭亚油酸合成方法的研究进展[J]. 中国油脂 2003 (7): 40~42
- 杨富民. 国内羊肉品质分析研究进展[J]. 甘肃科技. 2003(19)2: 33~34
- 杨富民等. 杂种羊肉品质测定. 甘肃科技[J]. 2004(6) 6: 161~163
- 杨龙江, 南庆贤. 共轭亚油酸的功能来源及其影响因素[J]. 肉类工业 2001, 21 (11): 43~47
- 易昌华, 贺建华, 戴求仲. 共轭亚油酸对畜禽营养生理作用的研究进展[J]. 湖南畜牧兽医. 2004, (1): 1~4
- 张春艳. DHA 和 EPA 的生理作用及开发利用研究进展[J]. 柳州师专学报. 2005, 20 (3): 118~121
- 张锦红, 葛长荣, 杨林楠等. 共轭亚油酸在动物营养中的应用前景[J]. 动物科学与动物医学. 2003, 20(12): 46~48
- 张利平等. 肉羊体脂肪酸与肉品质关系的研究[J]. 甘肃农业大学学报. 2000(35)4: 363~369
- 张嫚, 周光宏, 徐幸莲. 脂肪酸对肉类品质的影响[J]. 肉类工业. 2004, 24 (11): 12~14
- 张微. 内蒙古白绒山羊不同长绒时期(非产绒期和产绒期)铜的需要量研究. 中国农业大学博士学位论文. 2004
- 张云琦. 动物产品中共轭亚油酸及其生物学重要性[J]. 中国畜牧杂志. 2003, 39 (6): 48~50
- 赵国芬, 赵志恭, 敖长金等. 沙葱和油料籽实对绵羊消化代谢的影响[J]. 饲料工业 2006, 27 (3): 53~54
- 赵毅. 亚麻籽的功能性成分及其在食品工业中的应用价值[J]. 山西食品工业. 2005.(2): 31~33
- 郑灿龙. 羊肉的营养价值及其品质的影响因素[J]. 肉类研究. 2003(1): 47~48
- 郑灿龙. 羊肉的营养价值及其品质的影响因素[J]. 肉类研究. 2003, (1): 47~48
- 郑会超等. 反刍动物共轭亚油酸的生物合成及营养调控[J]. 饲料研究. 2004, 26 (5): 19~22
- Babu Uma S., Bunning Kelly V., Wiesenfeld Paddy, et al. Effect of Dietary Flaxseed on Fatty Acid Composition, Superoxide, Nitric Oxide Generation and Antilisterial Activity of Peritoneal Macrophages from Female Sprague-Dawley Rats[J]. Life Sciences. 1997, 60(8): 545~554
- Bhathena Sam J., Ali, Ali A., Mohamed, Ali L, et al. Differential effects of dietary flaxseed protein and soy protein on plasma triglyceride and uric acid levels in animal models[J]. Journal of Nutritional Biochemistry. 13(2002): 684~689

- Bolte M.R., Hess B.W.Means W.J. et al. Feeding lamb high-oleate or high-linoleate safflower seeds differentially influences carcass fatty acid composition [J]. *J.Anim.Sci.*2002, 80(3):609~616
- 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(5):1461~1470
- Daniel Z.C.T.R., Wynn R.J., Salter A.M. et al. Differing effects of forage and concentrate diets on the oleic acid and conjugated linoleic acid content of sheep tissues: The role of stearoyl-CoA desaturase [J]. *J.Anim.Sci.*2004, 82(3):747~758
- Duckett S.K., Andrae J.G., Owens F.N. Effect of high-oil corn or added corn oil on ruminal biohydrogenation of fatty acid and conjugated linoleic acid formation in beef steers fed finishing diets [J]. *J.Anim.Sci.* 2002, 80(12):3353~3360
- Felton E.E.D., Kerley M.S. Performance and carcass quality of steers fed different sources of dietary fat [J]. *J.Anim.Sci.*2004, 82(6):1794~1805
- Garcia M.R., Amstalden M., Morrisont C.D. et al. Age at puberty, total fat and conjugated linoleic acid content of carcass, and circulating metabolic hormones in beef heifers fed a diet high in linoleic acid beginning at four months of age [J]. *Journal of Animal Science.*2003, 81: 261~268
- Gibb D.J., Owens F.N., Mir P.S et al. Value of sunflower seed in finishing diets of feedlot cattle [J]. *J.Anim.Sci.*2004, 82(9):2679~2692
- Gillis M.H., Duckett S.K., Sackmann J.R.. Effects of supplemental rumen-protected conjugated linoleic acid or corn oil on fatty acid composition of adipose tissues in beef cattle [J]. *Journal of Animal Science* .2004, 82: 1419~1427
- Gillis M.H., Duckett S.K., Sackmann J.R. Effects of supplemental rumen-protected conjugated linoleic acid or corn oil on fatty acid composition of adipose tissues in beef cattle [J]. *J.Anim.Sci.*2004, 82(5):1419~1427
- Griswold K.E., Apgar G.A., Robinson R.A. et al . Effectiveness of short-term feeding strategies for conjugated linoleic acid content of beef [J]. *Journal of Animal Science.* 2003, 81: 1862~ 1871
- Griswold K.E., Apgar G.A., Robinson R.A. et al. Effectiveness of short-term feeding strategies for altering conjugated linoleic acid content of beef [J]. *J.Anim.Sci.*2003, 81(7):1862~1871
- Kott R.W., Hatfield P.G., Bergman J.W., et al. Feedlot performance, carcass composition, and muscle and fat CLA concentrations of lambs fed diets supplemented with safflower seeds [J]. *Small Ruminant Research.*2003, 49: 11~17
- Madrom M.S., D.G., Dwyer D.A. et al. 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(4):1135~1143
- Marks D.J., Nelson M.L., Busboom J.R. et al. Effects of supplemental fat on growth performance and

- quality of beef from steers fed barley-potato product finishing diets: II. Fatty acid composition of muscle and subcutaneous fat[J]. *J. Anim. Sci.* 2004, 82(12):3611~3616
- Martin S.A., Jenkins T.C. Factors affecting conjugated linoleic acid and trans-C18:1 fatty acid production by mixed ruminal bacteria [J]. *J. Anim. Sci.* 2002, 80(12):3347~3352
- Mir P.S., Mir Z., Kuber P.S. et al. Growth, carcass characteristics, muscle conjugated linoleic acid (CLA) content, and response to intravenous glucose challenge in high percentage Wagyu, Wagyu x Limousin, and Limousin steers fed sunflower oil-containing diets[J]. *J. Anim. Sci.* 2002, 80(11): 2996~3004
- Mir Z., Rushfeldt M.L., Mir P.S. et al. Effect of dietary supplementation with either conjugated linoleic acid (CLA) or linoleic acid rich oil on the CLA content of lamb tissues[J]. *Small Ruminant Research*. 2000, 36: 25~31
- Mir Z., Goonewardene L.A., Okine E. et al. Effect of feeding canola oil on constituents, conjugated linoleic acid (CLA) and long chain fatty acid in goats milk[J]. *Small Ruminant Research*. 1999, 33, 137~143
- Mustafa A.F., McKinnon, J.J., Christensen, D.A. 2002. Effects of micronization of flaxseed on nutrient disappearance in the gastrointestinal tract of steers[J]. *Animal Feed Science and Technology*. 95(2002):123~132
- Nelson M.L., Marks D.J., Busboom J.R. et al. Effects of supplemental fat on growth performance and quality of beef from steers fed barley-potato product finishing diets: I. Feedlot performance, carcass traits, appearance, water binding, retail storage, and palatability attributes [J]. *J. Anim. Sci.* 2004, 82(12):3600~3610
- Sackmann J.R., Duckett S.K., Gillis M.H. et al. Effects of forage and sunflower oil levels on ruminal biohydrogenation of fatty acid and conjugated linoleic acid formation in beef steers fed finishing diets [J]. *J. Anim. Sci.* 2003, 81(12):3174~3181
- Scholljegerdes E.J., Hess B.W., Moss G.E. et al. Influence of supplemental cracked high-linoleate or high-oleate safflower seeds on site and extent of digestion in beef cattle[J]. *J. Anim. Sci.* 2004, 82(12):3577~3588
- Visentainer Jesui V., Souza Nilson E. de, Makoto Makoto, et al. Influence of diets enriched with flaxseed oil on the α -linolenic, eicosapentaenoic and docosahexaenoic fatty acid in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. *Food Chemistry*. 90(2005):557~560
- Yvonne V. Yuan, Sharon E. Rickard, Lilian U. Thompson. Short-term Feeding of Flaxseed or Its Lignan Has Minor Influence on In vivo Hepatic Antioxidant Status in Young Rats[J]. *Nutrition Research*. 1999, 19(8):1233~1243
- Z. Mir, L.A. Goonewardene, E. Okine et al. Effect of feeding canola oil on constituents, conjugated linoleic acid (CLA) and long chain fatty acids in goats milk. *Small Ruminant Research*. 33

(1999)137~143

致谢

本课题是在导师富俊才副教授的全力指导和悉心关怀下完成的。从选题、设计、试验进展到成文，每一个环节都凝聚着导师的心血和智慧。导师渊博的知识、严谨的治学态度、求真务实的工作作风，让我在以后的工作和生活中将受益匪浅。师母梁老师也对我的学业给予了极大的关心和支持，在此谨向他们致以最崇高的敬意和最衷心的感谢！

感谢我的师弟李富贵、李坤、慕向东，师妹周艳、胡琼！他们对我的论文设计和实施给予了巨大的帮助，并提出了许多宝贵的意见和建议。同时也感谢同一个试验室的于玲玲博士对我的试验样品分析提供的指导。

动物营养试验室的候文娟老师和农业部饲料工业中心的王宗义老师对我的试验样品的分析提供了很大的帮助，在此一并感谢。

感谢北京市顺义区奥鑫牧业有限公司及全体员工为我的动物试验提供的一切帮助。

特别感谢我的同事也是我的好朋友任广跃、岳春旺！二位博士对我的论文设计与实施、试验操作、数据统计、论文的写作、修改、定稿等整个过程给予了细致入微的指导和建议，在生活上给了我很大的帮助和方便。

特别感谢深爱我的岳父母、父母、弟弟和妹妹对我攻读学位期间无微不至的关心、鼓励和支持。尤其感谢深爱我的妻子闫冬梅对我学业上的理解和支持，生活上的关心和照顾。感谢我可爱的儿子——我的未来和希望，家人的鼓励和支持永远是我前进的动力和源泉，没有他们默默无闻的付出，就没有我学业顺利完成的今天！

再次向所有关心、支持、帮助我的老师、同学、朋友和亲人们表示诚挚的谢意！

褚海义

2006年9月

于北京 中国农业大学

附录

羊肉脂肪酸组成的测定

1 仪器和主要试剂

气相色谱仪 (HP6890); 毛细管柱 (DB-23, Length 60 m, I.D 0.25 mm, Film 0.25 μm); 内标 (C17:0)。

2 测定步骤

2.1 脂肪酸提取

2.1.1 试剂

- (1) 氯仿-甲醇混合溶液 氯仿和甲醇体积比为 2:1, 甲醇为无水甲醇, 二者均为分析纯。
- (2) 0.04% MgCl_2 溶液 称取 0.4 g MgCl_2 溶于 1000ml 蒸馏水中。
- (3) 氯仿-甲醇-0.04% MgCl_2 溶液 氯仿、甲醇、0.04% MgCl_2 溶液的体积比为 3:48:47
- (4) C17:0 内标溶液 浓度 $2 \text{ mg}\cdot\text{ml}^{-1}$ 。称取 0.2g C17:0 溶于 100 ml 氯仿-甲醇溶液中。

2.1.2 提取步骤

- (1) 称取 0.1~0.2 g 经冷冻干燥且研碎的羊肉样品放入 25 ml 带有橡胶塞和螺旋盖的玻璃试管中。
- (2) 在试管中加入 8 ml 氯仿-甲醇溶液和 1 ml C17:0 内标溶液 (内标体积一定要准确), 在漩涡混合器上振荡 1~2 min, 盖上橡胶塞, 静置 2~3 h。
- (3) 过滤 用不含脂肪的滤纸进行过滤, 滤液过滤到另一试管中。具体操作: 将试管中的混合液沿玻璃棒缓缓倒入漏斗中, 用 4 ml 氯仿-甲醇溶液冲洗原试管并将洗液倒入漏斗中, 然后用 4 ml 氯仿-甲醇溶液冲洗滤纸, 最后用 2ml 氯仿-甲醇溶液冲洗滤纸。
- (4) 在滤液中加入 4 ml 0.04% MgCl_2 溶液, 用漩涡混合器振荡 2 min, 静置 1~1.5 h, 直至液体分层且上下层液体均澄清。(为保证分层彻底需充分混合)
- (5) 用长吸管吸取上清液弃掉, 操作时注意不要碰触底层 (氯仿层)。
- (6) 加入 5 ml 氯仿-甲醇-0.04% MgCl_2 溶液混合溶液, 用漩涡混合器振荡 2 min, 静置 1 h, 直至液体分层且上下层液体均澄清。
- (7) 用长吸管吸取上清液弃掉, 操作时注意不要碰触底层 (氯仿层)。
- (8) 氮气吹干氯仿 将试管放置 50°C 的水浴中, 用氮气吹干氯仿, 吹干后需立即用橡胶塞塞紧试管口, 防空气进入。

2.2 脂肪酸甲酯化

2.2.1 试剂

- (1) 甲醇钠饱和溶液 称取 2 g NaOH 加入到 100 ml 无水甲醇中, 加热使其溶解, 配制成饱和溶液。
- (2) 盐酸-甲醇溶液 将 10 ml 氯乙酰缓慢加入到 100 ml 无水甲醇中, 由于氯乙酰和甲醇反应剧烈, 放出大量热量, 加入氯乙酰的同时需用磁力搅拌器持续搅拌。此操作需在通风橱中进行。(该溶液应现用现配, 配制时间过长盐酸挥发过多, 会降低其浓度)。

(3) K_2CO_3 溶液 称取 30 g K_2CO_3 溶于 100 ml 蒸馏水中。

2.2.2 甲酯化步骤

(1) 在经氮气吹干的试管中加入 4 ml 甲醇钠溶液，充分混匀，在 50℃ 的水浴中放置 30 min 。

(2) 在试管中加入 4 ml 盐酸-甲醇溶液，充分混匀，在 80℃ 的水浴中放置 60 min。

(3) 将试管从水中取出，冷却。

(4) 在试管中加入 1 ml 蒸馏水和 1ml K_2CO_3 溶液，混匀。

(5) 在试管中加入 6 ml 正己烷，充分混匀，静置使其分层。

(6) 吸取 1 ml 上清液放入气相色谱样品瓶中，待上机测定。

上机测定

进样后温度于 180℃ 保持 15 min，然后以每分钟 4℃ 的速度升高至 220℃ 并保持 8 min。进样口温度为 250℃，火焰离子探测器温度为 250℃，样品分流比为 20:1。

作者简介

褚海义，男，1972年生，河北宣化人。

1994年毕业于河北农业技术师范学院，获农学学士学位。

1994.7~今 河北北方学院任教，主讲《饲料分析》、《畜牧学》课程，2000年被聘为讲师。

2004.9~今 中国农业大学在职攻读硕士学位，主攻反刍动物营养专业。

近期发表的论文：

- 1、褚海义，富俊才. 提高反刍动物产品中共轭亚油酸含量的研究进展. 河北北方学院学报（自然科学版），2006（1）；
- 2、褚海义，闫贵龙，岳春旺. 舍饲条件下断奶杂交羔羊高效育肥方法试验. 黑龙江畜牧兽医，2006（3）；
- 3、褚海义，岳春旺，闫贵龙. 不同氮肥施用量对青贮玉米喂羊效果的影响，河北北方学院学报（自然科学版），2005（4）。