

# 日粮中胡麻饼代替豆粕对绵羊生产性能、肉品质、脂肪酸含量及血液生化指标的影响

武晓东<sup>1</sup>, 赵俊星<sup>1</sup>, 刘文忠<sup>1</sup>, 金亚倩<sup>1</sup>, 任有蛇<sup>1</sup>, 张春香<sup>1</sup>, 张文佳<sup>2</sup>, 项斌伟<sup>2</sup>, 张建新<sup>1\*</sup>

(1. 山西农业大学动物科技学院, 太谷 030801; 2. 山西省右玉县畜牧局, 右玉 037200)

**摘要:** 旨在研究日粮中胡麻饼替换豆粕后对绵羊生产性能、肉品质、脂肪酸含量及血液生化指标的影响。选取 5 月龄, 体重(26±1) kg 的杜泊×小尾寒羊杂交公羊 24 只, 按照胡麻饼代替豆粕的比例(0, 1/3, 2/3, 1)随机分为 4 组: 对照组(CK 组)、试验 I、II、III 组。每组 6 只羊, 试验期 60 d。结果表明: 1) 各试验组与 CK 组的日增重差异不显著( $P>0.05$ ); 试验 II 组的料重比显著低于 CK 组( $P<0.05$ ); 2) 试验组和对照组之间的胴体重和净肉重无显著差异( $P>0.05$ ); 试验 III 组的屠宰率、净肉率和眼肌面积均显著高于对照组( $P<0.05$ ); 3) 日粮中胡麻饼代替豆粕可以显著降低肌肉内脂肪含量( $P<0.05$ ), 但对羊肉的 pH、系水力和熟肉率无显著影响( $P>0.05$ ); 4) 日粮中胡麻饼代替豆粕可以显著增加背最长肌中 C20:5N3 含量( $P<0.05$ ), 但对饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸含量基本上无显著影响( $P>0.05$ ); 5) 试验组和对照组血清中的总胆固醇、低密度脂蛋白含量和超氧化物歧化酶活性无显著差异( $P>0.05$ ), 试验 I 组、III 组的甘油三酯含量显著低于 CK 组( $P<0.05$ ); 试验 II 组中高密度脂蛋白含量显著高于其他 3 组( $P<0.05$ ), 试验 II 组、III 组尿素氮含量显著低于 CK 组和试验 I 组( $P<0.05$ ); 试验 III 组的丙二醛含量显著低于其他 3 组( $P<0.05$ ); 试验 III 组过氧化氢酶活性显著高于其他 3 组( $P<0.05$ )。日粮中胡麻饼代替豆粕可以降低料重比, 提高屠宰率、净肉率等生产性能, 降低血脂, 提高绵羊抗氧化功能。因此, 胡麻饼可以作为肉羊的蛋白质饲料而广泛应用, 当胡麻饼代替 2/3 以上的豆粕时, 饲养效果较好。

**关键词:** 胡麻饼; 绵羊; 肉品质; 脂肪酸; 血液生化指标

中图分类号: S826; S816

文献标志码: A

文章编号: 0366-6964(2017)07-1260-11

## Effect of Replacement of Soybean Meal by Oil Cake of Flax Seed in Diet on Growth Performance, Meat Quality, Fatty Acid Content and Blood Biochemical Indicators of Sheep

WU Xiao-dong<sup>1</sup>, ZHAO Jun-xing<sup>1</sup>, LIU Wen-zhong<sup>1</sup>, JIN Ya-qian<sup>1</sup>, REN You-she<sup>1</sup>, ZHANG Chun-xiang<sup>1</sup>, ZHANG Wen-jia<sup>2</sup>, XIANG Bin-wei<sup>2</sup>, ZHANG Jian-xin<sup>1\*</sup>

(1. College of Animal Science and Veterinary Medicine, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801 China;

2. Animal Husbandry Bureau of Youyu County, Youyu 037200, China)

**Abstract:** The objective of this experiment was to investigate the effects of soybean cake substituted by oil cake of flax seed in diet on the growth performance, meat quality, fatty acid content and blood biochemical indicators of lambs. A total of 24 F1 Dorper×Small Tail Han sheep (5 month old, (26±1) kg) were randomly selected and equally assigned into 4 groups according to the proportion of flax cake substituting soybean meal (0, 1/3, 2/3 and 1): control group (CK group), treatment I, II and III. The experiment lasted for 60 days. The result showed that: 1) There was no significant difference in average daily gain between treatment groups and CK group ( $P>$

收稿日期: 2017-02-04

基金项目: 国家现代肉羊产业技术体系专项(CARS-39); 国家星火计划项目(2015GA630004); 山西省协同创新中心项目

作者简介: 武晓东(1991-), 男, 山西太原人, 硕士生, 主要从事反刍动物营养与饲料科学研究, E-mail: 283193352@qq.com

\* 通信作者: 张建新, 教授, 博士生导师, 主要从事饲料资源开发与利用研究, E-mail: ypzjx@126.com

0.05)。Compared with the CK group, the feed to gain ratio of group II was significantly declined ( $P < 0.05$ )。2) There was no significant difference in carcass weight and net meat weight between treatment and CK groups ( $P > 0.05$ )。The dressing percentage, net meat percentage and *longissimus dorsi* (LD) muscle area of group III were significantly higher than those in control group ( $P < 0.05$ )。3) The flax cake substituting soybean meal in diet effectively declined intramuscular fat content ( $P < 0.05$ ), whereas the pH, water holding capacity and cooked meat percentage were not significantly altered ( $P > 0.05$ )。4) The flax cake substituting soybean meal in diet significantly increased the content of C20:5N3 in LD muscle ( $P < 0.05$ ), and had no significant effect on saturated fatty acids, monounsaturated fatty acids and polyunsaturated fatty acids ( $P > 0.05$ )。5) Contents of TC, LDL and activity of SOD were not significantly different between treatment and CK groups ( $P > 0.05$ )。The contents of TG in group I and III were significantly lower than those in CK group ( $P < 0.05$ )。The content of HDL in group II was significantly higher than that in other groups ( $P < 0.05$ )。The contents of UREA in group II and III were significantly lower than those in group CK and group I ( $P < 0.05$ )。The MDA content of group III was significantly lower than that of other groups ( $P < 0.05$ )。The activity of CAT in group III was significantly higher than that in other groups ( $P < 0.05$ )。Dietary substitution of soybean meal by flax cake can reduce feed to gain ratio and improve the growth performance, reduce blood lipids and improve sheep antioxidant capacity。Therefore, oil cake of flax seed can be used as a protein source of sheep feed, the optimal substitution rate should be more than 2/3。

**Key words:** oil cake of flax seed; sheep; meat quality; fatty acid; blood biochemical indicators

胡麻,亦称亚麻,是世界十大油料作物之一,居世界油料总产量的第7位。我国胡麻主产区为黑龙江、甘肃、内蒙古、新疆、山西、河北和宁夏等地,其中山西省胡麻产区集中在太原以北地区和吕梁山区<sup>[1]</sup>,2015年该省胡麻面积为83.52万亩,总产量6.3万吨。胡麻分油用胡麻、纤用胡麻和油纤兼用胡麻,其脱脂后的副产品称为“胡(亚)麻饼(粕)”。胡麻饼富含亚麻籽胶和 $\omega$ -脂肪酸<sup>[2]</sup>,其中,亚麻籽胶能够增加饲料在瘤胃内的停留时间,可以被反刍动物瘤胃微生物分解利用;而 $\omega$ -脂肪酸对健康有益,尤其在降低血脂含量方面作用明显,其含量是鱼油中的两倍。此外,胡麻饼粗蛋白含量较高,可作为动物饲料中的氮源。但是,胡麻饼含有抗营养因子生氰糖苷<sup>[3-4]</sup>,饲用过多会导致动物出现中毒症状,因此利用率比较低。

本试验以杜泊×小尾寒羊杂交公羊为研究对象,旨在研究日粮中以一定比例胡麻饼代替豆粕对绵羊生产性能、肉品质、脂肪酸含量及血液生化指标的影响,为胡麻饼的合理利用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验时间和地点

本试验于2016年5月22日—8月1日在山西

省朔州市右玉县宏宇羊场试验基地进行。试验历时70 d,其中预饲期10 d,正饲期60 d。

### 1.2 试验设计与动物

试验随机选取24只5月龄,体重( $26 \pm 1$ ) kg, 体况良好的杜泊×小尾寒羊杂交公羊为研究对象,采用单因素随机试验设计平均分为4组:对照组(CK,不代替豆粕)、试验I组(1/3代替豆粕)、试验II组(2/3代替豆粕)和试验III组(完全代替豆粕)。

### 1.3 试验日粮

试验日粮参考NRC(2007)中体重25 kg,日增重 $300 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$ 的公羊营养需要量自行配制,其中粗饲料为玉米秸秆,能量饲料为玉米,蛋白饲料为豆粕和胡麻饼。试验日粮均制为全混合颗粒日粮,日粮组成及营养成分见表1。

### 1.4 饲养管理

试验羊采用全舍饲单栏饲养,单栏规格为 $0.8 \text{ m} \times 1.2 \text{ m}$ 。预饲期对试验羊进行驱虫、分组、编号处理,每日于上午08:00与下午16:00饲喂2次。正饲期内,所有试验羊自由采食、饮水,保证羊舍的清洁卫生。

### 1.5 样品采集及指标检测

1.5.1 生长性能 正饲期每天记录每只试验羊的喂料量和剩料量,并于试验开始第1、30和60天对试验羊进行空腹称重,记录数据。试验结束后,计

表1 试验日粮组成和营养水平

Table 1 The dietary composition and nutrient level		%			
项目 Item	CK	I	II	III	
组成 Ingredient					
玉米秸秆 Corn meal	55	55	55	55	
玉米 Corn	22	22	22	22	
豆粕 Soybean meal	18	12	6	0	
胡麻饼 Oil cake of flax seed	0	6	12	18	
预混料 Premix	5	5	5	5	
合计 Total	100	100	100	100	
营养成分 Nutrient level					
粗蛋白质 CP	12.52	11.54	10.02	9.33	
消化能/(MJ·kg <sup>-1</sup> )DE	10.63	10.70	10.46	10.38	
中性洗涤纤维 NDF	45.08	45.24	47.50	48.38	
酸性洗涤纤维 ADF	25.93	25.26	27.73	28.15	
钙 Ca	0.37	0.37	0.40	0.39	
磷 P	0.23	0.26	0.27	0.26	

每千克预混料提供:碘 40 mg、铁 600 mg、铜 260 mg、锰 750 mg、锌 680 mg、硒 15 mg、钴 10 mg、VA 117 000 IU、VE 180 IU。消化能为计算值,其余为实测值

Per kilogram premix contains: I 40 mg, Fe 600 mg, Cu 260 mg, Mn 750 mg, Zn 680 mg, Se 15 mg, Co 10 mg, VA 117 000 IU, VE 180 IU. Digestible energy is calculated value and others are measured values

算每只羊的平均日采食量、日增重和料重比。

1.5.2 屠宰性能 试验结束当天下午,对所有试验羊进行称重,并禁食禁水 12 h,于次日上午将所有试验羊空腹屠宰。测定指标包括宰前活重、胴体重、净肉重、骨重。

1.5.3 肉品质测定 试验羊屠宰时,取左侧背最长肌,测定眼肌面积、pH、肉色以及常规养分,其中眼肌面积、pH 和肉色当场测定,常规养分冷冻保存待测。

眼肌面积:测量倒数第 1 与第 2 肋骨之间脊椎上背最长肌的横截面积,即为眼肌面积。

pH:肉样取好后,放置 1 h,用 pH 计测定 pH<sub>1h</sub>,再将肉样放入 4 °C 冰箱熟化 24 h 后测定 pH<sub>24h</sub>。

肉色:采用 CM-5 分光测色仪测定背最长肌的 L(亮值)、a(红值)和 b(蓝值)值,取好肉样后,切面暴露 1 h,测定 L<sub>1h</sub>、a<sub>1h</sub> 和 b<sub>1h</sub>;再将肉样放入 4 °C 冰箱熟化 24 h,测定 L<sub>24h</sub>、a<sub>24h</sub> 和 b<sub>24h</sub>。

常规养分:将 -20 °C 保存的肌肉样品冷冻干燥 72 h,计算其水分含量,测定干燥处理后样品的粗蛋

白质、粗脂肪及灰分含量。

1.5.4 肌肉脂肪酸含量测定 采用 ThermoFisher Trace 1310 ISQ 气相色谱质谱联用仪对背最长肌脂肪酸含量进行分析。

样品处理:取 80~100 mg 样品加入 15 mL 离心管中,加入 2 mL 5% 盐酸甲醇溶液,3 mL 氯仿甲醇溶液(体积比 1:1),100 μL 十九烷酸甲酯内标,于 85 °C 水浴锅中水浴 1 h。水浴完成后,冷却至室温,加入 1 mL 正己烷,震荡萃取 2 min 后,静置 1 h。取上层清液 100 μL,用正己烷定容至 1 mL,用 0.45 μm 滤膜过膜后上机测试。

色谱条件:色谱柱: TG-5MS(30 mm×0.25 mm×0.25 μm)。升温程序:80 °C 保持 1 min,以 10 °C·min<sup>-1</sup> 的速率升温至 200 °C,继续以 5 °C·min<sup>-1</sup> 的速率升温至 250 °C,最后以 2 °C·min<sup>-1</sup> 的速率升到 270 °C,保持 3 min。进样口温度:290 °C。载气流速:1.2 mL·min<sup>-1</sup>。

1.5.5 血液生化指标 屠宰前,对所有试验羊进行颈静脉空腹采血,室温斜面静置 1 h 析出血清。将采血管 3 000 r·min<sup>-1</sup> 离心 10 min,取上清分装到 1.5 mL EP 管中,-20 °C 保存待用。测定指标包括总胆固醇、甘油三酯、高密度脂蛋白、低密度脂蛋白、尿素氮、丙二醛含量及过氧化氢酶、谷胱甘肽过氧化物酶和超氧化物歧化酶活性。

## 1.6 数据分析

试验数据采用 Excel 2007 软件初步整理,用 SPSS 17.0 统计软件进行单因素方差分析,并用 LSD 法进行多重比较,结果以“平均值±标准差”来表示,以  $P<0.05$  作为差异显著的判断标准。

## 2 结果

### 2.1 日粮中胡麻饼替代豆粕对绵羊生长性能的影响

由表 2 可知,试验羊初始体重差异不显著( $P>0.05$ ),CK 组、试验 I 组和 II 组试验羊末重显著高于试验 III 组( $P<0.05$ )。试验 I、II 组体增重和日增重显著高于试验 III 组( $P<0.05$ ),但与对照组差异不显著( $P>0.05$ )。与 CK 组和试验 I 组相比,试验 III 组采食量分别降低了 23.83% 与 26.96% ( $P<0.05$ ),与试验 II 组差异不显著( $P>0.05$ )。试验组的料重比在数值上均低于对照组,其中试验 II 组料重比显著低于对照组( $P<0.05$ )。

表 2 日粮中胡麻饼代替豆粕对绵羊生长性能的影响

Table 2 Effect of replacement of soybean meal by oil cake of flax seed in diet on growth performance of sheep

项目 Item	CK	I	II	III
初重/kg IBW	27.95±2.04 <sup>a</sup>	26.53±1.20 <sup>a</sup>	26.15±0.72 <sup>a</sup>	26.46±0.79 <sup>a</sup>
末重/kg FBW	41.88±0.95 <sup>a</sup>	43.00±1.30 <sup>a</sup>	42.10±2.67 <sup>a</sup>	38.66±1.86 <sup>b</sup>
体增重/kg BWG	13.93±1.15 <sup>ab</sup>	16.47±1.62 <sup>a</sup>	15.95±1.94 <sup>a</sup>	12.20±1.99 <sup>b</sup>
平均日增重/(g·d <sup>-1</sup> ) ADG	232.08±19.12 <sup>ab</sup>	274.44±29.45 <sup>a</sup>	265.83±32.39 <sup>a</sup>	203.33±33.27 <sup>b</sup>
平均日采食量/(g·d <sup>-1</sup> ) ADI	2 014.91±124.05 <sup>a</sup>	2 101.12±138.69 <sup>a</sup>	1 807.15±124.09 <sup>ab</sup>	1 534.74±138.69 <sup>b</sup>
料重比 F:G	8.65±0.60 <sup>a</sup>	7.70±0.89 <sup>ab</sup>	6.80±0.75 <sup>b</sup>	7.57±1.00 <sup>ab</sup>

同行数据不同肩标小写字母表示差异显著( $P<0.05$ ),相同字母表示差异不显著,下表同

Different letters in the same row means significant difference between treatments( $P<0.05$ ), same letter in the same row means not significant difference between treatments( $P<0.05$ ), The same as below

## 2.2 日粮中胡麻饼替代豆粕对绵羊屠宰性能的影响

由表 3 可知,CK 组、I 组和 II 组的宰前活重均显著高于试验 III 组( $P<0.05$ )。各组试验羊胴体重、净肉重均无显著差异( $P>0.05$ )。与 CK 组、试验 II 组相比,试验 III 组的屠宰率分别显著提高了 8.61%、7.71%( $P<0.05$ ),而试验 I 组与各组之间

的屠宰率均无显著差异( $P>0.05$ )。与 CK 组相比,试验 III 组的净肉率显著提高 9.26%( $P<0.05$ ),而试验 I 组、II 组同试验 III 组和 CK 组的净肉率无显著差异( $P>0.05$ )。试验 III 组的眼肌面积显著高于 CK 组和试验 I 组( $P<0.05$ ),试验 II 组同各组之间均无显著差异( $P>0.05$ )。

表 3 日粮中胡麻饼代替豆粕对绵羊屠宰性能的影响

Table 3 Effect of replacement of soybean meal by oil cake of flax seed in diet on slaughter performance of sheep

项目 Item	CK	I	II	III
宰前活重/kg SBW	38.50±0.65 <sup>a</sup>	38.47±0.59 <sup>a</sup>	39.45±2.43 <sup>a</sup>	35.76±1.49 <sup>b</sup>
胴体重/kg Carcass weight	17.13±0.42 <sup>a</sup>	18.03±0.99 <sup>a</sup>	17.68±1.27 <sup>a</sup>	17.46±0.83 <sup>a</sup>
净肉重/kg Net meat weight	11.31±0.16 <sup>a</sup>	12.19±0.70 <sup>a</sup>	11.86±0.98 <sup>a</sup>	11.64±0.86 <sup>a</sup>
屠宰率/% Dressing percentage	44.48±0.76 <sup>b</sup>	46.90±3.01 <sup>ab</sup>	44.85±2.44 <sup>b</sup>	48.31±1.34 <sup>a</sup>
净肉率/% Net meat percentage	29.38±0.23 <sup>b</sup>	31.70±2.06 <sup>ab</sup>	30.09±1.89 <sup>ab</sup>	32.10±1.70 <sup>a</sup>
眼肌面积/cm <sup>2</sup> LD muscle area	11.39±0.87 <sup>b</sup>	12.25±1.82 <sup>b</sup>	13.23±2.34 <sup>ab</sup>	14.44±0.96 <sup>a</sup>

## 2.3 日粮中胡麻饼代替豆粕对绵羊肉品质的影响

如表 4 所示,试验动物间 pH<sub>1h</sub>和 pH<sub>24h</sub>未见显著差异( $P>0.05$ )。与 CK 组和试验 I 组相比,试验 II 组可显著提高 L<sub>1h</sub>值( $P<0.05$ ),而试验 III 组的 L<sub>1h</sub>值同各组试验羊之间无显著差异( $P>0.05$ )。a<sub>1h</sub>值在各组间未见显著差异( $P>0.05$ )。试验 II 组的 b<sub>1h</sub>值显著高于试验 I 组( $P<0.05$ )。肉样经 24 h 熟化后,其 L 值、a 值和 b 值在数值上均有提高。与试验 III 组相比,试验 II 组的 L<sub>24h</sub>显著提高( $P<0.05$ ),而 CK 组与试验 I 组的 L<sub>24h</sub>值同各组试验羊相比均无显著差异。各组试验羊的 a<sub>24h</sub>值和 b<sub>24h</sub>值之间差异均不显著( $P>0.05$ )。试验 II 组和 III 组的剪切力显著高于 CK 组和试验 I 组( $P<$

0.05),从数值上看,试验 I 组的剪切力最小。系水力在各组间均无显著差异( $P>0.05$ ),但从数值上来看,系水力有逐渐提高的趋势。与 CK 组相比,各组间熟肉率差异不显著( $P>0.05$ )。

## 2.4 日粮中胡麻饼代替豆粕对肌肉常规养分的影响

如表 5 所示,水分含量和粗灰分含量在组间未见显著差异( $P>0.05$ )。与试验 II 组相比,CK 组和试验 III 组的粗蛋白质含量分别提高了 6.66%、6.60%( $P<0.05$ ),而试验 I 组同其他各组相比较,粗蛋白质含量差异不显著( $P>0.05$ )。CK 组和试验 I 组中粗脂肪含量显著高于试验 II 组和 III 组( $P<0.05$ ),试验 II 组粗脂肪含量显著高于试验 III 组( $P<0.05$ )。

表 4 日粮中胡麻饼代替豆粕对绵羊肉品质的影响

Table 4 Effect of replacement of soybean meal by oil cake of flax seed in diet on meat quality of sheep

项目 Item	CK	I	II	III
pH <sub>1 h</sub>	6.47±0.76 <sup>a</sup>	6.31±0.15 <sup>a</sup>	6.37±0.31 <sup>a</sup>	6.41±0.11 <sup>a</sup>
pH <sub>24 h</sub>	5.58±0.11 <sup>a</sup>	5.49±0.13 <sup>a</sup>	5.66±0.13 <sup>a</sup>	5.48±0.14 <sup>a</sup>
L <sub>1 h</sub>	31.00±0.76 <sup>b</sup>	31.80±1.44 <sup>b</sup>	33.60±1.38 <sup>a</sup>	32.10±1.49 <sup>ab</sup>
a <sub>1 h</sub>	10.09±0.38 <sup>a</sup>	9.61±0.70 <sup>a</sup>	10.91±1.91 <sup>a</sup>	9.80±0.92 <sup>a</sup>
b <sub>1 h</sub>	8.22±0.68 <sup>ab</sup>	7.67±0.69 <sup>b</sup>	9.03±0.69 <sup>a</sup>	8.45±0.89 <sup>ab</sup>
L <sub>24 h</sub>	37.82±2.55 <sup>ab</sup>	37.60±1.71 <sup>ab</sup>	39.41±0.96 <sup>a</sup>	37.21±0.70 <sup>b</sup>
a <sub>24 h</sub>	12.39±1.30 <sup>a</sup>	12.21±0.69 <sup>a</sup>	12.57±0.86 <sup>a</sup>	12.73±0.77 <sup>a</sup>
b <sub>24 h</sub>	12.04±0.90 <sup>a</sup>	12.39±0.92 <sup>a</sup>	12.69±0.92 <sup>a</sup>	11.93±0.94 <sup>a</sup>
剪切力(N) Shear force	28.93±7.25 <sup>b</sup>	24.29±0.85 <sup>b</sup>	35.38±2.66 <sup>a</sup>	33.37±2.53 <sup>a</sup>
系水力/% Water holding capacity	47.91±0.28 <sup>a</sup>	47.75±0.97 <sup>a</sup>	48.55±1.03 <sup>a</sup>	48.95±1.40 <sup>a</sup>
熟肉率/% Cooked meat percentage	62.64±1.01 <sup>a</sup>	64.09±0.92 <sup>a</sup>	64.13±1.77 <sup>a</sup>	63.89±1.82 <sup>a</sup>

表 5 日粮中胡麻饼代替豆粕对绵羊肌肉常规养分的影响

Table 5 Effect of replacement of soybean meal by oil cake of flax seed in diet on routine nutrients of sheep

项目 Item	CK	I	II	III	%
水分 Moisture	74.55±1.17 <sup>a</sup>	74.81±0.78 <sup>a</sup>	74.99±3.07 <sup>a</sup>	75.39±1.58 <sup>a</sup>	
粗蛋白质 CP	19.55±1.13 <sup>a</sup>	19.03±0.54 <sup>ab</sup>	18.33±0.48 <sup>b</sup>	19.54±0.59 <sup>a</sup>	
粗脂肪 EE	4.01±1.76 <sup>a</sup>	3.72±0.23 <sup>a</sup>	2.80±0.14 <sup>b</sup>	1.90±0.78 <sup>c</sup>	
粗灰分 ASH	1.14±0.02 <sup>a</sup>	1.12±0.02 <sup>a</sup>	1.17±0.27 <sup>a</sup>	1.11±0.07 <sup>a</sup>	

## 2.5 日粮中胡麻饼代替豆粕对绵羊背最长肌脂肪酸组成的影响

如表 6 所示,日粮中胡麻饼替代豆粕对绵羊背最长肌的脂肪酸含量有显著影响。对照组和试验组背最长肌中的月桂酸、棕榈酸、硬脂酸、花生酸、C17:1 棕榈油酸和油酸的含量均无显著差异( $P>0.05$ )。试验 I 组、II 组、III 组的十七烷酸含量显著高于 CK 组( $P<0.05$ )。CK 组的癸酸含量显著高于试验 III 组( $P<0.05$ ),而在试验 I 组与 II 组间未见显著差异( $P>0.05$ )。试验 II 组和 III 组的十五烷酸含量显著高于 CK 组和试验 I 组( $P<0.05$ )。试验 I 组的肉豆蔻酸含量显著高于 CK 组( $P<0.05$ ),试验 II 组、III 组与各组之间含量无显著差异( $P>0.05$ )。CK 组和试验 I 组的 C20:1 含量显著高于试验 II 组、III 组( $P<0.05$ )。CK 组和试验 III 组的亚油酸含量显著高于试验 I 组、II 组( $P<0.05$ )。试验 II 组、III 组之间的 C20:5N3 含量无显著差异( $P>0.05$ ),而 CK 组和试验 I 组未检测到 C20:5N3。CK 组与试验 II 组的花生四烯酸含量显著高于试验 I 组、III 组( $P<0.05$ )。虽然上述各组织间背最长肌脂肪酸含量有显著差异,但对照组和试验组之间的饱和脂肪酸含量和单不饱和脂肪酸含量均无显著差异( $P>0.05$ )。与试验 I 组相比,CK

组和试验 II 组、III 组的多不饱和脂肪酸含量分别显著提高了 23.44%、17.95% 和 20.88% ( $P<0.05$ )。PUFA:SFA 值在各组间无显著差异( $P>0.05$ )。CK 组和试验 II 组、III 组的 n-6 PUFA 含量显著高于试验 I 组( $P<0.05$ )。

## 2.6 日粮中胡麻饼代替豆粕对绵羊血液生化指标的影响

由表 7 可知,低密度脂蛋白含量、超氧化物歧化酶活性在对照组和试验组中无显著差异( $P>0.05$ )。CK 组和试验 II 组血清中甘油三酯的含量显著高于试验 I 组、III 组( $P<0.05$ )。试验 III 组丙二醛含量显著低于其他 3 组( $P<0.05$ );CK 组和试验 I 组血清中尿素氮的含量显著高于试验 II 组、III 组( $P<0.05$ )。试验 II 组血清中总胆固醇含量显著高于试验 III 组( $P<0.05$ );剩余两组与各组之间无显著差异( $P>0.05$ )。试验 II 组血清中高密度脂蛋白含量显著高于其他 3 组( $P<0.05$ );CK 组和试验 I 组的高密度脂蛋白含量显著高于试验 III 组( $P<0.05$ )。试验 III 组过氧化氢酶活性显著高于其他 3 组( $P<0.05$ )。CK 组中谷胱甘肽-过氧化物酶活性显著高于试验 I 组、II 组( $P<0.05$ );试验 III 组与其他 3 组相比差异不显著( $P>0.05$ )。

表 6 日粮中胡麻饼代替豆粕对绵羊背最长肌脂肪酸含量的影响

Table 6 Effect of replacement of soybean meal by oil cake of flax seed in diet on fatty acid composition in *longissimus dorsi* muscle of sheep

项目 Item	CK	I	II	III	%
癸酸 C10 : 0	0.11±0.02 <sup>a</sup>	0.10±0.02 <sup>ab</sup>	0.09±0.02 <sup>ab</sup>	0.08±0.01 <sup>b</sup>	
月桂酸 C12 : 0	0.06±0.02 <sup>a</sup>	0.08±0.03 <sup>a</sup>	0.07±0.02 <sup>a</sup>	0.08±0.02 <sup>a</sup>	
肉豆蔻酸 C14 : 0	1.71±0.48 <sup>b</sup>	2.28±0.62 <sup>a</sup>	1.89±0.37 <sup>ab</sup>	1.89±0.34 <sup>ab</sup>	
十五烷酸 C15 : 0	0.05±0.02 <sup>b</sup>	0.07±0.03 <sup>b</sup>	0.23±0.05 <sup>a</sup>	0.26±0.05 <sup>a</sup>	
棕榈酸 C16 : 0	21.10±0.80 <sup>a</sup>	21.39±1.36 <sup>a</sup>	21.78±1.07 <sup>a</sup>	21.15±1.03 <sup>a</sup>	
十七烷酸 C17 : 0	1.06±0.20 <sup>b</sup>	1.32±0.34 <sup>a</sup>	1.33±0.35 <sup>a</sup>	1.29±0.31 <sup>a</sup>	
硬脂酸 C18 : 0	14.93±1.42 <sup>a</sup>	14.62±3.25 <sup>a</sup>	13.89±2.46 <sup>a</sup>	13.38±1.19 <sup>a</sup>	
花生酸 C20 : 0	0.06±0.03 <sup>a</sup>	0.08±0.03 <sup>a</sup>	0.07±0.01 <sup>a</sup>	0.07±0.01 <sup>a</sup>	
棕榈油酸 C16 : 1	1.15±0.16 <sup>a</sup>	1.26±0.33 <sup>a</sup>	1.02±0.28 <sup>a</sup>	1.07±0.07 <sup>a</sup>	
C17 : 1	0.31±0.02 <sup>a</sup>	0.33±0.05 <sup>a</sup>	0.38±0.03 <sup>a</sup>	0.32±0.02 <sup>a</sup>	
油酸 C18 : 1N9C	52.63±1.50 <sup>a</sup>	52.92±3.81 <sup>a</sup>	52.73±2.03 <sup>a</sup>	53.79±2.46 <sup>a</sup>	
C20 : 1	0.08±0.02 <sup>a</sup>	0.07±0.01 <sup>a</sup>	0.05±0.01 <sup>b</sup>	0.05±0.01 <sup>b</sup>	
亚油酸 C18 : 2N6C	5.02±0.28 <sup>a</sup>	4.40±0.19 <sup>b</sup>	4.63±0.21 <sup>b</sup>	5.00±0.17 <sup>a</sup>	
C20 : 5N3	0 <sup>b</sup>	0 <sup>b</sup>	0.33±0.01 <sup>a</sup>	0.35±0.03 <sup>a</sup>	
花生四烯酸 C20 : 4N6	1.73±0.17 <sup>a</sup>	1.06±0.08 <sup>b</sup>	1.48±0.13 <sup>a</sup>	1.22±0.11 <sup>b</sup>	
饱和脂肪酸 SFA	39.09±0.87 <sup>a</sup>	39.94±2.67 <sup>a</sup>	39.35±1.85 <sup>a</sup>	38.20±1.82 <sup>a</sup>	
单不饱和脂肪酸 MUFA	54.17±1.57 <sup>a</sup>	54.58±1.96 <sup>a</sup>	54.18±2.32 <sup>a</sup>	55.23±2.41 <sup>a</sup>	
多不饱和脂肪酸 PUFA	6.74±0.38 <sup>a</sup>	5.46±0.16 <sup>b</sup>	6.44±0.20 <sup>a</sup>	6.60±0.14 <sup>a</sup>	
PUFA : SFA	0.17±0.01 <sup>a</sup>	0.14±0.03 <sup>a</sup>	0.16±0.02 <sup>a</sup>	0.17±0.01 <sup>a</sup>	
n-6 PUFA	6.74±0.38 <sup>a</sup>	5.46±0.16 <sup>b</sup>	6.12±0.22 <sup>a</sup>	6.22±0.18 <sup>a</sup>	

SFA=C10 : 0+C12 : 0+C14 : 0+C16 : 0+C17 : 0+C18 : 0+C20 : 0; MUFA=C16 : 1+C17 : 1+C18 : 1N9C+C20 : 1; PUFA=C18 : 2N6C+C20 : 5N3+C20 : 4N6; n-6 PUFA=C18 : 2N6C+C20 : 4N6

表 7 日粮中胡麻饼代替豆粕对绵羊血液生化指标的影响

Table 7 Effect of replacement of soybean meal by oil cake of flax seed in diet on blood biochemical indicators of sheep

项目 Item	CK	I	II	III
总胆固醇/(mmol·L <sup>-1</sup> ) TC	1.03±0.16 <sup>ab</sup>	1.08±0.18 <sup>ab</sup>	1.13±0.21 <sup>a</sup>	0.80±0.05 <sup>b</sup>
甘油三酯/(mmol·L <sup>-1</sup> ) TG	0.31±0.06 <sup>a</sup>	0.27±0.04 <sup>b</sup>	0.33±0.02 <sup>a</sup>	0.25±0.01 <sup>b</sup>
高密度脂蛋白/(mmol·L <sup>-1</sup> ) HDL	0.69±0.11 <sup>b</sup>	0.74±0.02 <sup>b</sup>	0.91±0.05 <sup>a</sup>	0.57±0.03 <sup>c</sup>
低密度脂蛋白/(mmol·L <sup>-1</sup> ) LDL	0.50±0.02 <sup>a</sup>	0.49±0.05 <sup>a</sup>	0.46±0.02 <sup>a</sup>	0.44±0.06 <sup>a</sup>
尿素氮/(mmol·L <sup>-1</sup> ) UREA	7.56±0.22 <sup>a</sup>	7.70±0.61 <sup>a</sup>	5.69±0.29 <sup>b</sup>	4.39±0.18 <sup>b</sup>
丙二醛/(mmol·L <sup>-1</sup> ) MDA	4.23±0.23 <sup>a</sup>	4.31±0.13 <sup>a</sup>	4.53±0.18 <sup>a</sup>	3.77±0.18 <sup>b</sup>
过氧化氢酶/(U·mL <sup>-1</sup> ) CAT	28.78±1.83 <sup>b</sup>	28.68±0.92 <sup>b</sup>	29.45±2.53 <sup>b</sup>	34.33±1.33 <sup>a</sup>
谷胱甘肽-过氧化物酶/ (U·mL <sup>-1</sup> ) GSH-Px	966.61±22.16 <sup>a</sup>	886.81±22.54 <sup>b</sup>	870.47±37.85 <sup>b</sup>	921.81±3738 <sup>ab</sup>
超氧化物歧化酶/(U·mL <sup>-1</sup> ) SOD	63.39±1.92 <sup>a</sup>	67.75±3.30 <sup>a</sup>	64.99±2.88 <sup>a</sup>	65.08±2.23 <sup>a</sup>

## 3 讨论

### 3.1 日粮中胡麻饼代替豆粕对肉羊生产性能和屠宰性能的影响

屠宰性能是衡量动物生产性能优良与否的一项重要重要的指标。研究表明,日粮中的营养水平对动物的屠宰性能和生长性能具有一定的影响<sup>[5-6]</sup>。冯超等<sup>[7]</sup>研究表明,肉鸡日粮中添加胡麻饼导致了采食量的下降。J. S. Drouillard 等<sup>[8]</sup>的研究发现,肉用阉公牛的日粮中添加亚麻籽,其干物质采食量水平随着亚麻籽的添加量呈显著下降。本试验中,肉羊的采食量也随着胡麻饼代替豆粕比例的增加而减少,这可能是由于胡麻饼中所含的亚麻籽胶所致。亚麻籽胶遇水变得黏稠,可以被瘤胃微生物分解利用,但不能被单胃动物和禽类所利用。同时,亚麻籽胶吸收大量的水分而导致其膨胀,可以延长日粮在瘤胃内停留的时间,使瘤胃微生物有更多的时间对日粮进行消化<sup>[9-10]</sup>。武雅楠等<sup>[11]</sup>的研究指出,羔羊日粮中添加 5% 和 10% 亚麻籽,可以显著提高羔羊的日增重和胴体重。彭祥和等<sup>[12]</sup>在罗非鱼日粮中用亚麻籽油分别代替 25%、50% 的鱼油,能够显著的促进罗非鱼的生长。M. J. Quinn 等<sup>[13]</sup>的研究也发现,在肉牛日粮中添加 0.2%、4% 和 6% 的亚麻籽后,可以提高肉牛的胴体重和眼肌面积。本试验中,试验 I 组与 II 组的体增重和日增重在数值上均高于对照组,且试验组的胴体重、净肉重、屠宰率、净肉率和眼肌面积这些屠宰指标均高于对照组;并且在本试验中,各试验组的料重比均在数值上低于对照组,其中试验 II 组的料重比显著低于对照组,表明日粮中胡麻饼代替豆粕可以提高饲料利用率。陈文等<sup>[14]</sup>的研究表明,饲料中蛋白质的生物学价值和净蛋白效率比随着饲料中有效磷含量的降低而降低,导致饲料中粗蛋白质真利用率的下降。胡麻饼中的植酸磷含量约为 0.02%~0.24%,而豆粕中的植酸磷含量为 0.43%<sup>[15-16]</sup>;植酸磷还可以同胰酶、淀粉酶、胃蛋白酶和饲料中的蛋白质相结合,从而影响酶的活性,降低蛋白质的营养功能。并且大豆中含有胰蛋白酶抑制剂、大豆凝血素和低聚糖等抗营养因子降低蛋白质的利用率<sup>[17]</sup>。综上,胡麻饼中蛋白质的生物学效价可能高于豆粕,因此日粮中胡麻饼代替豆粕能增加肉羊体内蛋白质的沉积,从而提高了肉羊的各项屠宰指标。在本试验中,试验 III 组的末重和宰前活重均显著低于其他 3 组,但是其胴体重、

净肉重、屠宰率、净肉率和眼肌面积这些屠宰指标均同其他试验组相比无显著差异或有所提高,这可能是由于试验 III 组的采食量低于其他 3 组,其消化道内容物重量较轻所导致的。

### 3.2 日粮中胡麻饼代替豆粕对绵羊肉品质和常规养分的影响

剪切力是衡量肌肉嫩度的一个重要指标。韩学平<sup>[18]</sup>的研究表明,日粮中添加胡麻籽对羊肉的 pH 没有显著影响,但羊肉剪切力有降低的趋势。李秋凤等<sup>[19]</sup>的研究表明,日粮中添加亚麻籽可以显著降低育肥牛屠宰后 24 和 48 h 后的剪切力。本试验中,对照组和试验 I 组的剪切力要显著低于试验 II 组和 III 组,这可能与试验 II 组和 III 组肌肉脂肪含量较少有关。肌肉中的脂肪可以降低肌纤维密度,减少肌纤维之间的连接组织,提高肉的嫩度;脂肪还可以提高肉的多汁性<sup>[20]</sup>。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。本试验中,对照组和试验组的系水力和熟肉率之间无显著差异。刘冠勇等<sup>[21]</sup>的研究表明,肌肉中蛋白质含量与其保水性呈正相关。本试验说明,日粮中胡麻饼代替豆粕对羊肉的熟肉率和系水力无显著影响,但可能会对肉的嫩度产生一定的影响。

肉的颜色会影响到消费者的购买欲望。肉的颜色主要取决于肌肉中所含的色素物质——肌红蛋白和血红蛋白。在充分放血的情况下,肌红蛋白约占肉中色素含量的 80%~90% 左右。肌红蛋白的颜色为紫色,与氧结合后即可生成氧合肌红蛋白,颜色为鲜红色。肌红蛋白与氧合肌红蛋白都可以被氧化从而生成高铁肌红蛋白,其颜色为褐色,使得肉色变暗。在鲜肉的贮藏期间,肌红蛋白、氧合肌红蛋白和高铁肌红蛋白的相互转换从而导致了肉色的变换<sup>[22-23]</sup>。本试验中,试验组和对照组除了在 L(亮)值上有显著差异外,a(红)、b(蓝)值均无显著差异,并且熟化 24 h 后试验 II 组和 III 组的 a、b 值在数值上高于 CK 组,说明日粮中胡麻饼代替豆粕对肉色没有显著的影响。正常肉的 pH<sub>45 min</sub> 为 6.0~6.5, pH<sub>24 h</sub> 为 5.4~5.7<sup>[24]</sup>。在本试验中,各组肉的 pH 均在正常范围内,说明日粮中胡麻饼代替豆粕对羊肉的 pH 无显著影响。

肌肉中的常规养分之间存在着相互依存和制约的关系,其中肌肉内的水分和蛋白质含量相互依存,并且二者与肌内脂肪相互拮抗,这三者之间比例的

相互变化影响了肉质性状<sup>[25]</sup>。T. Daszkiewicz 等<sup>[26]</sup>的研究表明,肌内脂肪的含量越高,肌肉的干物质就会增加,粗蛋白质含量则会下降。同时,肌内脂肪含量越高,肌肉的保水性能越好,可减少在蒸煮过程中的损失。在本试验中,羊肉水分为 74.55%~75.39%,各组之间的差异不显著。本试验除了 II 组中的肌肉蛋白质含量较低,其余各组之间肌肉蛋白质含量均无显著差异,说明日粮中胡麻饼少量或全部代替豆粕对羊肉中蛋白质水平没有不良影响。本试验结果表明,日粮中胡麻饼代替豆粕可以降低肌肉中脂肪的含量,从而影响了羊肉的嫩度,同时也可以看出肉中的水分含量与脂肪含量存在着一定的负相关。刘丽等<sup>[27]</sup>的研究指出,肉牛活重越大,其肌内脂肪含量也越高,这是因为骨骼和肌肉是决定活重的主要因素,只有当骨骼和肌肉发育到一定程度后,才会沉积脂肪。在本试验中,试验 III 组的平均采食量、平均日增重和末重均低于其他 3 组,其骨骼和肌肉发育较为缓慢,可能导致了该试验组绵羊肌内脂肪沉积较少。

### 3.3 日粮中胡麻饼代替豆粕对绵羊背最长肌脂肪酸含量的影响

功能性脂肪酸对健康有着至关重要的作用,对心血管疾病、糖尿病、关节炎和癌症等疾病有着良好的防治作用<sup>[28-30]</sup>。亚油酸是 n-6 多不饱和脂肪酸中含量最高的,具有抑制动脉血栓形成和降低血清胆固醇的作用<sup>[31]</sup>。有研究表明,在饲料中增加 n-3 多不饱和脂肪酸含量可以提高肌肉组织中 n-3 多不饱和脂肪酸的含量,而且胡麻饼中含有大量的  $\omega$ -脂肪酸<sup>[32]</sup>。N. J. Choi<sup>[33]</sup>和 S. Lorenz<sup>[34]</sup>等研究指出,肉牛日粮中添加亚麻籽可以增加肌肉中 n-3 多不饱和脂肪酸的含量。本试验中,CK 组和试验 I 组均无法测出 C20:5N3 含量,而试验 II 组和 III 组间的 C20:5N3 含量无显著差异,并且 C20:5N3 是 n-3 不饱和脂肪酸中的一种,说明日粮中胡麻饼代替豆粕可以增加肌肉中 C20:5N3 含量。本试验中,除试验 I 组中 n-6 多不饱和脂肪酸含量较低外,其余 3 组间均无显著差异。V. L. Anderson 等<sup>[35]</sup>的研究表明,肉牛日粮中长时间添加亚麻籽后,试验组中多不饱和脂肪酸和单不饱和脂肪酸的含量显著高于对照组。本试验中,试验组和对照组之间单不饱和脂肪酸含量无显著差异。肉中多不饱和脂肪酸和饱和脂肪酸的比例(P/S)可用来衡量肉的营养价值,合理的 P/S 值为 0.45,而肉类中的比例大多为 0.1

左右<sup>[36]</sup>。本试验中,随着胡麻饼代替豆粕量的增加,P/S 值也增加,但与对照组之间无显著差异,说明日粮中胡麻饼代替豆粕对羊背最长肌脂肪酸含量无显著影响。

### 3.4 日粮中添加胡麻饼对绵羊血液生化指标的影响

高密度脂蛋白是一种抗动脉粥样硬化的血浆脂蛋白,是冠心病的保护因子,俗称“血管清道夫”。高密度脂蛋白可以运载周围组织中的胆固醇,再转化为胆汁酸或直接通过胆汁从肠道排出。动脉造影证明,高密度脂蛋白胆固醇含量与动脉管腔狭窄程度呈显著的负相关。血清中总胆固醇增多常见于高脂血症、动脉粥样硬化、胆总管阻塞等。研究表明,小鼠日粮中添加亚麻籽油或胡麻饼,可显著降低血清中总胆固醇、甘油三酯和低密度脂蛋白胆固醇含量,同时显著增加血清中高密度脂蛋白的含量<sup>[37-40]</sup>。本试验中,试验 III 组血清中总胆固醇含量低于其他 3 组,说明日粮中胡麻饼代替豆粕可以有效降低血液中胆固醇含量,保证羊机体健康。试验 II 组的高密度脂蛋白含量显著高于其他 3 组,可能是由于其血清中总胆固醇含量升高而导致,进一步说明,日粮中将胡麻饼适量代替豆粕,可以提高血液中高密度脂蛋白含量,有利于健康。低密度脂蛋白是一种运载胆固醇进入外周组织细胞的脂蛋白颗粒,可被氧化成低密度脂蛋白,当低密度脂蛋白过量时,它携带的胆固醇便积存在动脉壁上,容易引起动脉硬化。本试验中,对照组和试验组血清中的低密度脂蛋白含量差异不显著,但随着胡麻饼代替豆粕的比例增加,低密度脂蛋白含量在数值上呈现出递减的趋势,说明日粮中胡麻饼代替有降低血液中低密度脂蛋白、促进健康的趋势。甘油三酯来自食物中脂肪的分解,肝也能将血液中的某些糖类转化为甘油三酯。过量的甘油三酯将囤积于皮下,导致肥胖;囤积于血管壁则造成动脉硬化,囤积于心就会导致心肥大,囤积于肝则会造成脂肪肝。本试验中,试验 III 组的甘油三酯含量显著低于 CK 组,说明日粮中胡麻饼代替豆粕可以有效控制羊血脂过高的问题。综上所述,绵羊日粮中胡麻饼代替豆粕可以降低血清中脂肪含量,这可能是由于胡麻饼中所含的  $\omega$ -脂肪酸具有降血脂的功能,从而对试验羊起到了良好的降低血脂作用。

血液中尿素氮是机体蛋白质代谢的主要终末产物,也是衡量肾功能的主要指标之一。尿素氮升高



的原因可能是由于器质性肾功能损害、肾前性少尿和蛋白质分解或摄入过多所引起的。本试验中,CK组和试验 I 组的尿素氮含量显著高于试验 II 组、III 组。事实上,日粮蛋白质的品质与血清尿素氮含量呈负相关,当日粮中氨基酸平衡良好时,血清尿素氮含量下降<sup>[41-42]</sup>。日粮中胡麻饼代替豆粕,可以降低血清尿素氮含量,说明机体蛋白质沉积速度加快,提高生长速度,并起到了保护肾功能的作用。

血清过氧化氢酶、谷胱甘肽-过氧化物酶、超氧化物歧化酶活性及丙二醛含量是反映机体抗氧化水平最直观的指标。超氧化物歧化酶可以将超氧化物转化为过氧化物,而过氧化氢酶和谷胱甘肽过氧化物酶可以催化过氧化氢,具有消除过氧化氢毒性的作用<sup>[43]</sup>。脂质氧化的终产物则是丙二醛,其含量可以反映细胞膜被氧化的程度<sup>[44]</sup>。MDA 增加意味着机体中抗脂质过氧化能力降低,或者是机体中使脂质过氧化作用的自由基生成异常。本试验中,试验组的超氧化物歧化酶活性与对照组差异不显著;试验 III 组的过氧化氢酶活性显著高于其他 3 组。试验 III 组的丙二醛含量显著低于其他 3 组,这可能是由于胡麻饼中所含的木酚素所导致。木酚素在肠道细菌作用下可以转化成为活性动物木酚素,即肠二醇和肠内酯<sup>[45]</sup>,而木酚素、肠二醇和肠内酯都具有较好的抗氧化活性,具有降低机体氧化损伤的功能<sup>[46]</sup>。本研究表明,日粮中胡麻饼代替豆粕可以提高机体的抗氧化能力。

#### 4 结 论

日粮中胡麻饼代替豆粕可以增加肉羊的胴体重、眼肌面积、屠宰率和净肉率,降低料重比。对羊肉的熟肉率、系水力和背最长肌中脂肪酸的含量均无不良影响。胡麻饼替代日粮中豆粕后,有降低肉中饱和脂肪酸含量的趋势,同时还具有降低血脂、提高绵羊抗氧化能力的作用。综上,胡麻饼可以替代豆粕作为绵羊养殖中蛋白质饲料的来源,当胡麻饼代替 2/3 以上的豆粕时,饲养效果较好。

#### 参考文献 (References):

[1] 元新娣. 山西胡麻产业现状及发展对策[J]. 中国农业推广, 2012, 28(5): 7-8.  
YUAN X D. Shanxi flax industry present situation and development countermeasures[J]. *China Agricultural Technology Extension*, 2012, 28(5): 7-8.

(in Chinese)  
[2] 何生虎, 王明成. 胡麻饼(粕)的营养学与毒理学研究进展[J]. 宁夏农学院学报, 2004, 25(2): 76-79.  
HE S H, WANG M C. Study progress on threpsology and toxicology of oil cake of plax seed[J]. *Journal of Ningxia Agricultural College*, 2004, 25(2): 76-79. (in Chinese)  
[3] DUGASSA D G, GRUNEWALDT-STÖCKER G, SCHÖNBECK F. Growth of *Glomus intraradices* and its effect on linseed (*Linum usitatissimum* L.) in hydroponic culture[J]. *Mycorrhiza*, 1995, 5(4): 279-282.  
[4] SMITH C R Jr, WEISLEDER D, MILLER R W. Linustatin and neolinustatin: cyanogenic glycosides of linseed meal that protect animals against selenium toxicity[J]. *J Org Chem*, 1980, 45(3): 507-510.  
[5] 闫祥林. 营养水平对肉牛生产性能及牛肉品质的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2003.  
YAN X L. Effect of nutrition level on beef cattle growth performance and beef quality[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2003. (in Chinese)  
[6] 赵彦光, 洪琼花, 谢萍, 等. 精料营养对云南半细毛羊屠宰性能及肉品质的影响[J]. 草业学报, 2014, 23(2): 277-286.  
ZHAO Y G, HONG Q H, XIE P, et al. Effects of diet nutritional on slaughter performances and meat quality of Yunnan semi-wool sheep[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2014, 23(2): 227-286. (in Chinese)  
[7] 冯超, 韦正中, 董怀信. 菜籽、胡麻饼替代鱼粉喂鸡试验[J]. 甘肃畜牧兽医, 1985(3): 13-14.  
FENG C, WEI Z Z, DONG H X. Rapeseed and flax seed instead of fish meal fed chicken for experiment [J]. *Gansu Animal Husbandry and Veterinary*, 1985(3): 13-14. (in Chinese)  
[8] DROUILLARD J S, SEYFERT M A, GOODE J, et al. Flaxseed for finishing beef cattle: effects on animal performance, carcass quality, and meat composition[C]//Proceedings of the 60th Flax Institute. Fargo, ND, 2004: 108-117.  
[9] 吴灵英. 亚麻籽及其饼粕在鸡饲料中的应用[J]. 饲料工业, 2002, 23(3): 32-34.  
WU L Y. Application of flaxseed and flax cake in chicken feed[J]. *Feed Industry*, 2002, 23(3): 32-34. (in Chinese)  
[10] SIBBALD L R. Estimation of bioavailable amino acids in feedingstuffs for poultry and pigs: a review with emphasis on balance experiments[J]. *Can J Anim Sci*, 1987, 67(2): 221-300.  
[11] 武雅楠, 曹玉凤, 高艳霞, 等. 日粮中添加亚麻籽对

- 羔羊产肉性能和肉品质的影响[J]. 畜牧兽医学报, 2012, 43(9): 1392-1400.
- WU Y N, CAO Y F, GAO Y X, et al. Effects of dietary linseed supplementation on performance, carcass characteristics and meat quality of lamb[J]. *Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica*, 2012, 43(9): 1392-1400. (in Chinese)
- [12] 彭祥和, 任 为, 李斌斌, 等. 不同水平亚麻籽油替代鱼油对罗非鱼生长及体组成的影响[J]. 饲料工业, 2014, 35(8): 30-34.
- PENG X H, REN W, LI B B, et al. Effects of dietary fish oil substitution with linseed oil on growth and body composition of tilapia (*Oreochromis niloticus*)[J]. *Feed Industry*, 2014, 35(8): 30-34. (in Chinese)
- [13] QUINN M J, MOORE E S, THOMSON D U, et al. The effects of feeding flaxseed during the receiving period on morbidity, mortality, performance, and carcass characteristics of heifers[J]. *J Anim Sci*, 2008, 86(11): 3054-3061.
- [14] 陈 文, 陈代文, 吴秀琼, 等. 植酸酶对仔猪饲粮能量和蛋白质利用率影响的研究[J]. 四川农业大学学报, 2003, 21(3): 254-257.
- CHEN W, CHEN D W, WU X Q, et al. Effects of phytase on the utilization of energy and protein in corn-soybean diets for piglets[J]. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 2003, 21(3): 254-257. (in Chinese)
- [15] 翟双双, 李孟孟, 冯佩诗, 等. 四川白鹅、樱桃谷肉鸭对不同产地亚麻饼粕养分利用率的影响[J]. 动物营养学报, 2016, 28(7): 2147-2153.
- ZHAI S S, LI M M, FENG P S, et al. Effects on nutrient utilization efficiency of flaxseed cake or meal from different producing areas by Sichuan white geese and cherry valley ducks[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2016, 28(7): 2147-2153. (in Chinese)
- [16] 贺健华. 植酸磷和植酸酶研究进展[J]. 动物营养学报, 2005, 17(1): 1-6.
- HE J H. Recent advances in phytate and phytase studies[J]. *Acta Zoonutrimenta Sinica*, 2005, 17(1): 1-6. (in Chinese)
- [17] 高云美, 张 通, 刘 宾, 等. 豆粕抗营养因子及其生物改性的研究[J]. 中国饲料, 2010(3): 37-41.
- GAO Y M, ZHANG T, LIU B, et al. The study on anti-nutritional factor in soybean and its nutritional value by microbial fermentation[J]. *China Feed*, 2010(3): 37-41. (in Chinese)
- [18] 韩学平. 油籽对成年羊肥育性能、肉品质及体脂脂肪酸组成的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2006.
- HAN X P. Effect of oilseeds on fattening performance, meat quality and fatty acid profile in muscle and adipose tissue of adult ewe[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2006. (in Chinese)
- [19] 李秋风, 许蕾蕾, 李建国, 等. 亚麻籽对育肥牛肉品质及脂肪酸的影响[J]. 草业学报, 2013, 22(5): 272-279.
- LI Q F, XU L L, LI J G, et al. Effects of flax seed on beef quality and fatty acids in fattening cattle[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2013, 22(5): 272-279. (in Chinese)
- [20] 徐秋良, 吴运香, 张长兴, 等. 畜禽肉嫩度及其影响因素[J]. 家畜生态学报, 2010, 31(6): 100-103.
- XU Q L, WU Y X, ZHANG C X, et al. Animal meat tenderness and its influencing factors[J]. *Acta Ecologiae Animalis Domastici*, 2010, 31(6): 100-103. (in Chinese)
- [21] 刘冠勇, 罗 欣. 影响肉与肉制品系水力因素之探讨[J]. 肉类研究, 2000(3): 16-18.
- LIU G Y, LUO X. A study on factors affecting the water holding capacity of meat and meat products[J]. *Meat Research*, 2000(3): 16-18. (in Chinese)
- [22] GIDDINGS G G, HULTIN H O. Reduction of ferri-myoglobin in meat[J]. *Crit Rev Food Technol*, 1974, 5(2): 143-173.
- [23] VAN LAACK R L J M, SMULDERS F J M. Colour stability of bovine *Longissimus* and *Psoas major muscle* as affected by electrical stimulation and hot boning[J]. *Meat Sci*, 1990, 28(3): 211-221.
- [24] 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.
- LI J J, WEN J, CHEN J L. Development of research on the aroma of meat[J]. *Food Science and Technology*, 2002(6): 23-26. (in Chinese)
- [25] 刘顺德. 宁夏黑猪背最长肌常规营养成分含量、组织学特性和肉质特性研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2006.
- LIU S D. Study on basic nutrition composition contents, histology characteristics and meat quality characteristics of longissimus muscle for Ningxia black swine[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2006. (in Chinese)
- [26] DASZKIEWICZ T, BAK T, DENABURSKI J. Quality of pork with a different intramuscular fat (IMF) content[J]. *Pol J Food Nutr Sci*, 2005, 14(1): 31-36.
- [27] 刘 丽, 周光宏. 饲养水平、年龄及体重对牛产肉性能影响的研究[J]. 黄牛杂志, 2001, 27(3): 10-14.
- LIU L, ZHOU G H. Effects of feeding plane, age and body weight on the beef production performance[J]. *Journal of Yellow Cattle Science*, 2001, 27

- (3): 10-14. (in Chinese)
- [28] 陈银基,周光宏,徐幸莲. n-3 多不饱和脂肪酸对疾病的预防与治疗作用[J]. 中国油脂, 2006, 31(9): 31-34. CHEN Y J, ZHOU G H, XU X L. Disease preventing and curing function of n-3 polyunsaturated fatty acids[J]. *China Oils and Fats*, 2006, 31(9): 31-34. (in Chinese)
- [29] KRIS-ETHERTON P M, HARRIS W S, APPEL L J. Omega-3 fatty acids and cardiovascular disease; new recommendations from the American Heart Association[J]. *Arterioscler Thromb Vasc Biol*, 2003, 23(2): 151-152.
- [30] BARTSH H, NAIR J, OWEN R W. Dietary polyunsaturated fatty acids and cancers of the breast and colorectum; emerging evidence for their role as risk modifiers [J]. *Carcinogenesis*, 1999, 20(12): 2209-2218.
- [31] 张春娥, 张 惠, 刘楚怡, 等. 亚油酸的研究进展 [J]. 粮油加工, 2010(5): 18-21. ZHANG C E, ZHANG H, LIU C Y, et al. The research progress of linoleic acid[J]. *Cereals and Oils Processing*, 2010(5): 18-21. (in Chinese)
- [32] WACHIRA A M, SINCLAIR L A, WIKINSON R G, et al. 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(6): 697-709.
- [33] CHOI N J, ENSER M, WOOD J D, et al. Effect of breed on the deposition in beef muscle and adipose tissue of dietary n-3 polyunsaturated fatty acids [J]. *Anim Sci*, 2000, 71(3): 509-519.
- [34] LORENZ S, BUETTNER A, ENDER K, et al. Influence of keeping system on the fatty acid composition in the *longissimus* muscle of bulls and odorants formed after pressure-cooking [J]. *Eur Food Res Technol*, 2002, 214(2): 112-118.
- [35] ANDERSON V L, ILSE B R, LARDY G P, et al. Effects of timing of flax feeding on feedlot performance, carcass traits, and fatty acid profile in beef muscle[J]. *J Anim Sci*, 2005, 66(1): 237-242.
- [36] 许蕾蕾. 亚麻籽对育肥牛生长性能及肉品质的影响 [D]. 保定: 河北农业大学, 2012. XU L L. Effects of flaxseed on growth performance and beef quality in fattening cattle[D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2012. (in Chinese)
- [37] RANHOTAR G S, GELROTH J A, GLASER B K, et al. Lipidemic responses in rats fed flaxseed oil and meal[J]. *Cereal Chem*, 1993, 70(3): 364-366.
- [38] 张 琰, 成 亮. 橄榄油、亚麻籽油对肥胖模型大鼠减肥降血脂作用研究[J]. 农产品加工, 2016(4): 47-48. ZHANG Y, CHENG L. Study of olive oil and flax seed oil on fat rats lipid-lowering and weight loss[J]. *Farm Products Processing*, 2016(4): 47-48. (in Chinese)
- [39] JIANG W G, HISCOX S, HORROBIN D F, et al. Gamma linolenic acid regulates expression of mas pin and the motility of cancer cells[J]. *Biochem Biophys Res Commun*, 1997, 237(3): 639-644.
- [40] WAGNER W, NOOTBAAR-WAGNER U. Prophylactic treatment of migraine with gamma-linolenic and alpha-linolenic acids[J]. *Cephalalgia*, 1997, 17(2): 127-130.
- [41] CHEN H Y, MILLER P S, LEWIS A J, et al. Changes in plasma urea concentration can be used to determine protein requirements of two populations of pigs with different protein accretion rates[J]. *J Anim Sci*, 1995, 73(9): 2631-2639.
- [42] COMA J, ZIMMERMAN D R, CARRION D. Relationship of rate of lean tissue growth and other factors to concentration of urea in plasma of pigs[J]. *J Anim Sci*, 1995, 73(12): 3649-3656.
- [43] XU J Q, ZHOU X Q, DENG Q C, et al. Rapeseed oil fortified with micronutrients reduces atherosclerosis risk factors in rats fed a high-fat diet[J]. *Lipids Health Dis*, 2011, 10: 96.
- [44] 苏斌朝, 王连生, 王 红, 等. 玉米干酒糟及其可溶物饲料中添加共轭亚油酸或甜菜碱对肥育猪生长性能、血清生化指标及抗氧化功能的影响[J]. 动物营养学报, 2012, 24(9): 1737-1744. SU B C, WANG L S, WANG H, et al. Effects of corn DDGS diets supplemented with conjugated linoleic acid or betaine on growth performance, serum biochemical indices and antioxidant function of finishing pigs [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2012, 24(9): 1737-1744. (in Chinese)
- [45] CLAVE T, HENDERSON G, ENGST W, et al. Phylogeny of human intestinal bacteria that activate the dietary lignan secoisolariciresinol diglucoside[J]. *FEMS Microbiol Ecol*, 2006, 55(3): 471-478.
- [46] MADHUSUDHAN B, WIESENBERN D, SCHWARZ J, et al. A dry mechanical method for concentrating the lignan secoisolariciresinol diglucoside in flaxseed [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2000, 33(4): 268-275.