DOI: 10. 11686/cyxb2025461
http://cyxb. magtech. com. cn
罗芳，李飞，郭龙，等. 茴香渣和甘草秧混合替代部分玉米秸秆对澳湖羊生长性能、瘤胃发酵参数和肉品质的影响. 草业学报，2026，35(11)：76－87.
LUO Fang, LI Fei, GUO Long, *et al*. Effects of partial replacement of corn stover with a mixture of fennel residue and licorice seedlings on the growth performance, rumen fermentation parameters, and meat quality of Australian White×Hu sheep. Acta Prataculturae Sinica, 2026, 35(11): 76－87.

茴香渣和甘草秧混合替代部分玉米秸秆对澳湖羊生长性能、瘤胃发酵参数和肉品质的影响

罗芳[1]，李飞[1*]，郭龙[1]，马志远[1]，张智安[1]，郭涛[1]，王力[1]，焦帅[1]，张天西[1]，田文锦[2]，王新基[2,3]，许辉[4]

（1. 兰州大学草地农业生态系统国家重点实验室，兰州大学农业农村部草牧业创新重点实验室，兰州大学草地农业科技学院，甘肃 兰州 730020；2. 民勤同泽农业有限公司，甘肃 武威 733399；3. 民勤县畜牧兽医工作站，甘肃 武威 733399；4. 民勤县德福农业科技有限公司，甘肃 武威 733399）

摘要：旨在探讨茴香渣和甘草秧混合替代40%玉米秸秆对澳湖羊生长性能、肉品质、瘤胃发酵参数和肌肉脂肪酸组成的影响。选取16只体重相近的健康澳湖羊公羔随机分为2个处理组（n=8），对照组饲喂基础日粮，替代组将茴香渣和甘草秧按1∶1比例混合，替代对照组基础日粮中40%的玉米秸秆，试验期为105 d，试验结束后屠宰所有羊，采集瘤胃液研究瘤胃发酵参数，采集背最长肌研究肉品质和肌肉脂肪酸组成。结果表明：1）两组羊平均日增重和料重比差异均不显著（P>0.05），替代组平均日采食量显著低于对照组（P<0.05），末体重有低于对照组的趋势（P=0.084）；2）替代组宰前活重显著低于对照组（P<0.05），屠宰率有高于对照组的趋势（P=0.088），但两组羊胴体重差异不显著（P>0.05）；3）茴香渣和甘草秧混合替代玉米秸秆对羊肉pH、肉色、失水率、滴水损失、蒸煮损失、剪切力、硬度、内聚性、弹性、胶粘性和咀嚼性等指标均无显著影响（P>0.05）；4）替代组瘤胃液pH（P=0.065）和异丁酸（P=0.077）有高于对照组的趋势，总挥发性脂肪酸、乙酸、丙酸、丁酸、异戊酸、戊酸和乙酸/丙酸两组之间差异均不显著（P>0.05）；5）替代组羊肉中α-亚麻酸（C18∶3 n-3）（P=0.084）和二十二碳五烯酸（C22∶5 n-3）（P=0.095）有高于对照组的趋势。综上所述，茴香渣和甘草秧等比混合替代40%玉米秸秆会显著降低澳湖羊的采食量，澳湖羊可能需要更长的时间来适应这种特殊气味。虽然日采食量下降，但该替代方式能够改善羊肉品质，使肌肉中C18∶3 n-3和C22∶5 n-3含量更加丰富，食用此类羊肉可能为消费者提供更多具有潜在心血管健康益处的多不饱和脂肪酸。因此，茴香渣和甘草秧混合可作为玉米秸秆的有效替代品，在保证澳湖羊生长性能的同时，实现羊肉营养价值提升。

关键词：茴香渣－甘草秧；澳湖羊；生长性能；瘤胃发酵参数；肉品质

Effects of partial replacement of corn stover with a mixture of fennel residue and licorice seedlings on the growth performance, rumen fermentation parameters, and meat quality of Australian White×Hu sheep

LUO Fang[1], LI Fei[1*], GUO Long[1], MA Zhi-yuan[1], ZHANG Zhi-an[1], GUO Tao[1], WANG Li[1], JIAO Shuai[1], ZHANG Tian-xi[1], TIAN Wen-jin[2], WANG Xin-ji[2,3], XU Hui[4]

1. *State Key Laboratory of Grassland Agro-ecosystems, Key Laboratory of Grassland Livestock Industry Innovation, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou* 730020, *China*; 2. *Minqin Tongze Agricultural Co., Ltd., Wuwei* 733399, *China*; 3. *Minqin County Animal Husbandry and Veterinary*

收稿日期：2025-11-11；改回日期：2026-03-02
基金项目：甘肃省科技计划项目（25CXQH001），武威市市级科技计划项目（WW24A01QYJ010）和甘肃省科技计划项目（25CXNH006）资助。
作者简介：罗芳（1995－），女，甘肃武威人，在读博士。E-mail：lfang2024@lzu. edu. cn
＊通信作者 Corresponding author. E-mail：lfei@lzu. edu. cn

Workstation, *Wuwei* 733399, *China*; 4. *Minqin County Defu Agricultural Technology Co*, *Ltd.* , *Wuwei* 733399, *China*

Abstract: This study aimed to investigate the effects of replacing 40% corn stover with a mixture of fennel (*Foeniculum vulgare*) residue and licorice (*Glycyrrhiza uralensis*) seedlings on the growth performance, meat quality, rumen fermentation parameters, and muscle fatty acid composition of Australian White×Hu sheep. Sixteen healthy Australian White×Hu ram lambs of similar body weight were selected and randomly assigned to two treatment groups (n=8). The control group received a basal diet, whereas the replacement group was fed the same basal diet with 40% of corn stover replaced by a 1∶1 mixture of fennel residue and licorice seedlings. The experiment lasted for 105 days, after which all sheep were slaughtered. Rumen fluid was collected to determine rumen fermentation parameters, and the longissimus dorsi muscle was sampled to assess meat quality and fatty acid composition. The results show that: 1) There were no significant differences in average daily gain and feed-to-gain ratio between the two groups (P>0.05). The average daily feed intake was significantly lower in the replacement group than in the control group (P<0.05), and the replacement group tended to achieve a lower final body weight (P=0.084). 2) The live weight before slaughter was significantly lower for the replacement group than for the control group (P<0.05), and the slaughter rate tended to be higher for the replacement group than for the control group (P=0.088). There was no significant difference in carcass weight between the two groups (P>0.05). 3) Replacing corn stover with a mixture of fennel residue and licorice seedlings had no significant effects on the pH, meat color, drip loss, cooking loss, shear force, hardness, cohesiveness, springiness, gumminess, and chewiness of the meat (P>0.05). 4) Compared with the control group, the replacement group tended to show a higher pH of rumen fluid (P=0.065) and higher isobutyric acid concentration (P=0.077). There were no significant differences in the concentrations of total volatile fatty acids, acetic acid, propionic acid, butyric acid, isovaleric acid, and valeric acid or in the ratio of acetic acid to propionic acid between the two groups (P>0.05). 5) There tended to be higher concentrations of alpha-linolenic acid (C18∶3 n-3) (P=0.084) and docosapentaenoic acid (C22∶5 n-3) (P=0.095) in the meat of the replacement group than in the meat of the control group. In conclusion, replacing 40% of corn stover with an equal mixture of fennel residue and licorice seedlings significantly reduces feed intake in Australian White×Hu sheep, and the sheep fed with this diet may require a longer adaptation period. Although the daily feed intake was reduced, this alternative feeding strategy improved meat quality and increased the concentrations of C18∶3 n-3 and C22∶5 n-3 in the muscle. Consumption of this type of meat may supply consumers with greater amounts of polyunsaturated fatty acids, which may benefit cardiovascular health. Therefore, the mixture of fennel residue and licorice seedlings can serve as an effective alternative to corn stover, maintaining growth performance of Australian White×Hu sheep and improving the nutritional value of the meat.

Key words: fennel residue－licorice seedling; Australian White×Hu sheep; growth performance; rumen fermentation parameters; meat quality

茴香(*Foeniculum vulgare*)是一种多年生草本植物,隶属伞形科,具有抗干旱、耐盐、耐瘠薄等特点[1-2]。甘草(*Glycyrrhiza uralensis*)隶属豆科多年生草本植物,具有特殊香气和甜味[3]。茴香和甘草在我国资源丰富,主要产自甘肃、宁夏、内蒙古、新疆、陕西、山东、青海等地。2024 年我国茴香种植面积达到 1.5×10^5 hm^2,预计到 2030 年,茴香产量将突破 7.0×10^5 t,甘草种植面积将增长至 8.2×10^4 hm^2。茴香和甘草在加工过程中会产生一些副产物,如茴香秸秆、茴香秕壳、茴香渣、甘草渣等,这些副产物可用于提取茴香油或作为饲料等。

茴香多用其嫩叶和籽,茴香籽脱粒后所得外壳或残余物以及在收获加工筛选过程中不符合质量标准的农副废弃产品称为茴香渣(茴香籽、茴香秕壳和茴香秸秆)。未被充分利用的茴香渣通常作为废弃物处理,不仅降低了

茴香的利用率,也会造成资源浪费[2]。茴香渣作为一种区域性非常规粗饲料,具有应用于肉羊生产的潜力,但是目前验证其饲用价值的报道较少。李钰等[4]利用近红外反射光谱技术分析测定了茴香渣的营养价值,研究发现茴香渣的粗蛋白和粗脂肪含量高达12.05%和4.13%,并且具有丰富的矿物元素,其适合作为动物饲料的补充原料,对农业生产和畜牧业具有积极的意义。刘婷等[5]通过瘤胃瘘管羊的消化代谢试验测定茴香秕壳的营养价值,研究表明茴香秕壳的干物质消化率为61.63%,氮消化率为65.63%,氮留存率为47.72%,有机物消化率为62.50%,消化能为9.51 MJ·kg^{-1}。祝艳华等[6]研究表明经复合微生物菌系发酵处理过的茴香秕壳能显著提高育肥羊的采食量和日增重,降低料重比。

甘草地上的茎叶部分(甘草秧)通常在其收获过程中被作为副产品或废弃物。甘草秧作为一种中等质量的豆科牧草含有较高的粗蛋白质、纤维和矿物质等,营养期甘草茎叶粗蛋白质含量可达13.17%、粗脂肪含量可达4.80%[7]。其包含的一些化学成分,如黄酮类化合物、多酚类化合物等,具有一定的抗氧化和抗炎作用,可提高机体免疫力和改善肉质[8]。薛正芬等[9]在育肥羊日粮中补饲甘草茎叶能够明显提高羔羊日增重及产肉量。因此甘草秧可作为反刍动物潜在的优质粗饲料来源。

目前有关茴香和甘草方面的研究主要集中在化学成分、药理作用、资源分布等方面,尚未见到将茴香渣和甘草秧联合添加用作动物饲料营养价值评定的报道,在实际生产中造成了严重的资源浪费。本研究在育肥期澳湖羊饲粮中用茴香渣和甘草秧等比混合替代部分玉米(*Zea mays*)秸秆,旨在探究其对澳湖羊生长性能、瘤胃发酵参数和肉品质的影响,为提高甘草和茴香种植的经济效益,缓解畜牧业饲草不足问题提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

本研究选用兰州大学民勤德福羊场16只2月龄、体重为(20.90±2.75) kg的健康澳湖羊公羔作为试验对象,随机分为2组,对照组和替代组。对照组饲喂基础日粮,替代组将茴香渣和甘草秧按1∶1比例混合,替代对照组基础日粮中40%的玉米秸秆。每组处理设置8个重复,每个重复1只羊,试验采用单栏饲养。整个试验期为105 d,预试期25 d,正试期80 d,试验结束后屠宰所有羊,采集瘤胃液研究瘤胃发酵参数,采集背最长肌研究肉品质和肌肉脂肪酸组成。本试验所用茴香渣和甘草秧的常规养分含量如表1所示,试验日粮配方如表2所示。

表1 茴香渣和甘草秧的营养水平(风干基础)

Table 1 The nutrient levels of fennel residue and licorice seedlings (air-dry basis)

营养水平 Nutrient levels	茴香渣 Fennel residue	甘草秧 Licorice seedlings
干物质 Dry matter (DM, %)	93.40	94.37
有机物 Organic matter (OM, %)	85.23	93.48
中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber (NDF, %)	49.13	64.32
酸性洗涤纤维 Acid detergent fiber (ADF, %)	34.27	46.25
粗脂肪 Ether extract (EE, %)	2.27	1.17
粗蛋白质 Crude protein (CP, %)	10.40	9.22
代谢能 Metabolizable energy[1)] (ME, MJ·kg^{-1})	6.23	8.49

[1)]代谢能参考赵明明等[10]根据概略养分含量预测粗饲料代谢能的方程进行计算,其他为实测值。The metabolizable energy was calculated based on the equation for predicting the metabolizable energy of roughage from the crude nutrient content proposed by Zhao *et al*[10], while the others were measured values.

1.2 试验动物及饲养管理

本试验所有程序和动物均按照伦理委员会的指导方针进行。本研究已获得兰州大学动物伦理审查委员会的批准(审批编号:LZU 201803002)。

于2024年2—6月进行肉羊育肥试验。试验开始前对羊舍进行全面清洁和消毒处理,对试验羊进行疫苗注射和驱虫处理。正试期第1天称初始体重,正试期第80天称末重。试验期间所有羊均进行单栏饲养,每日于09:00、17:00和20:00进行饲喂,自由饮水、采食。试验开始和结束分别空腹称重,记录初始体重、终末体重和采食量(投料量和剩料量),分别计算试验期间的平均日采食量、平均日增重、料重比。

1.3 指标测定

1.3.1 饲粮营养成分 粗蛋白质含量参考GB/T 6432—2018进行测定[11],中性洗涤纤维含量参考GB/T 20806—2022进行测定[12],酸性洗涤纤维含量参考NY/T 1459—2022进行测定[13],粗脂肪含量参考GB/T

6433－2006 进行测定[14]，代谢能参考《中国饲料成分及营养价值表》(2022 年第 33 版)[15]进行计算，计算方法为原料代谢能乘以该原料在饲粮中所占的比例，然后相加。

1.3.2　肉样采集与测定　试验完全结束后，将所有试验羊进行屠宰，屠宰前空腹称重得到宰前活重，屠宰后称量胴体重，胴体重与宰前活重的比值即为屠宰率。屠宰后立即采集两份背最长肌样品，一份取 30 g 装入自封袋中分组标记，置于－20 ℃冰箱中保存，后续用于脂肪酸的测定。另一份用于肉品质理化指标检测。分别于屠宰后 45 min 和 24 h，在室温下使用便携式酸度计(testo 205，德国)测定肉样的 pH 值，每块肉样重复测定 3 次，结果取其平均值。使用柯尼卡美达色差仪(konica minolta，CM-600D，日本)对背最长肌进行肉色检测[亮度(lightness，L*)、红度(redness，a*)、黄度(yellowness，b*)]，每块肉样测 3 个重复后取平均值。使用质构仪(英国稳定微系统公司，TA-XT Plus，英国)对肉样硬度、内聚性、弹性、胶粘性和咀嚼性进行测定，每个样品测定 3 次取平均值。使用肉品剪切力测量仪(广东三木科技有限公司，SM-8007，济南，中国)测定样品剪切力，每个样品取 10 块 100 g 左右肉样分别放入自封袋中，置于 80 ℃水浴锅中，持续加热 30 min 后取出冷却，将肉样沿纤维方向修剪为肉柱置于测量仪上进行测定，计算每个重复的平均值。失水率测定选取 3 块重量约 1 g 的肉样并精准称重，将肉样置于滤纸夹层中(上层铺垫 16 层定性滤纸、下层铺垫 18 层定性滤纸)，放置于测试平台，设置回程距离 3.5 cm、压力 135 kPa、保压时间 5 min，处理完成后取出肉样再次称重，按照公式失水率(%)=(压前肉样重量－压后肉样重量)/压前肉样重量×100 计算结果。蒸煮损失测定选取 3 块约 50 g 的肉样称重记录，采用两层纱布包裹后置于蒸锅笼屉，1000 W 条件下加热 30 min，冷却至室温后用滤纸吸干肉样表面水分并称重，通过公式蒸煮损失(%)=(蒸煮前肉样重量－蒸煮后肉样重量)/蒸煮前肉样重量×100 计算。滴水损失测定将 3 块背最长肌修整为 5 cm×3 cm×2 cm 的肉块，称重后悬挂于专用乳胶塑料瓶中静置 24 h，取出肉块再次称重，依据公式滴水损失(%)=(贮存前肉样重量－贮存后肉样重量)/贮存前肉样重量×100 计算。

表 2　基础饲粮组成及营养水平(风干基础)

Table 2　Composition and nutrient levels of basal diets (air-dry basis)

原料 Ingredients	对照组 Control group	替代组 Substituent group
玉米 Corn (%)	32.50	32.50
玉米秸秆 Corn stover (%)	25.00	15.00
茴香渣 Fennel residue (%)		5.00
甘草秧 Licorice seedling (%)		5.00
玉米皮 Corn bran (%)	8.00	8.00
玉米胚芽粕 Corn germ meal (%)	18.00	18.00
糖蜜 Molasses (%)	3.30	3.30
豆粕 Soybean meal (%)	4.00	4.00
棉粕 Cottonseed meal (%)	5.00	5.00
石粉 Limestone (%)	1.20	1.20
氯化钠 NaCl (%)	0.50	0.50
小苏打 $NaHCO_3$ (%)	0.50	0.50
预混料 Premix[1)] (%)	2.00	2.00
合计 Total (%)	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]		
代谢能 Metabolizable energy (ME, $MJ \cdot kg^{-1}$)	10.51	10.47
粗蛋白质 Crude protein (CP, %)	13.46	13.52
中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber (NDF, %)	31.98	28.55
酸性洗涤纤维 Acid detergent fiber (ADF, %)	17.96	16.12
粗脂肪 Ether extract (EE, %)	3.32	4.88

[1)] 预混料为每 kg 饲粮提供 The premix provided the following per kg of diets：铜 Cu 15 mg，铁 Fe 56 mg，锌 Zn 60 mg，锰 Mn 30 mg，碘 I 1.0 mg，钴 Co 0.3 mg，维生素 A V_A 2000 IU，维生素 D V_D 1000 IU，维生素 E V_E 30 mg. [2)] 代谢能为计算值，其他为实测值。Metabolizable energy was a calculated value，while the others were measured values.

1.3.3　瘤胃 pH 及挥发性脂肪酸(volatile fatty acids，VFA)测定　试验羊屠宰后立即收集约 300 g 瘤胃内容物，经 4 层纱布过滤，采用便携式 pH 计(leici，PHB-4，上海，中国)测量上清液 pH 值，取上清液于－20 ℃冷冻保存用于瘤胃液 VFA 的测定。VFA 通过气相色谱仪(赛默飞世尔科技，TRACE 1300，米兰，意大利)进行检测，毛细管色谱柱(AE-FFAP，30.00 m×0.25 mm×0.33 μm，中科安泰，兰州)，提取方法参考梁玉生[16]，将解冻的瘤胃液样品在 4 ℃ 12300 $r \cdot min^{-1}$ 离心 10 min，取 1.5 mL 上清液并加入 0.2 mL 巴豆酸[1% 重量/体积(weight/volume，

wt/vol)]作为内标,然后通过0.45 μm有机滤膜过滤。高纯氮气作为载气,流速为40.0 mL·min^{-1}。测定条件:进样口和检测器的温度为200 ℃,升温程序如下,45 ℃为初始温度,以20 ℃·min^{-1}升温至150 ℃,维持8 min,再以60 ℃·min^{-1}升温至185 ℃,保持5 min,进样量为1 μL,分流比20∶1。

1.3.4 肌肉脂肪酸含量测定 称取1.2 g左右的鲜肉进行脂肪酸甲酯的制备,其提取和测定参考吕佳颖[17]所用方法,采用气相色谱仪(赛默飞世尔科技,TRACE 1300,米兰,意大利)和毛细管色谱柱(HP-88,100.00 m×0.25 mm×0.20 μm,安捷伦,美国)测定肌肉脂肪酸含量。测定条件:进样口和检测器的温度分别为240和250 ℃,氮气(载气)、空气和氢气流率分别为20、400和40 mL·min^{-1}。升温程序如下:50 ℃保持4 min,以13 ℃·min^{-1}升至175 ℃保持27 min,再以3 ℃·min^{-1}升至215 ℃保持27 min,进样量为1 μL,分流比50∶1,最后用十九烷酸甲酯作为内标计算脂肪酸的含量。

1.4 数据统计分析

使用Excel 2010整理统计数据,使用SPSS 19.0统计分析软件对澳湖羊生长性能、屠宰性能、肉品质指标和瘤胃发酵参数进行单因素方差分析,以$P<0.05$作为差异显著的判断标准,$0.05<P<0.10$作为具有显著趋势的判断标准,结果用"平均值±标准差"表示。

2 结果与分析

2.1 茴香渣和甘草秧混合替代部分玉米秸秆对澳湖羊生长性能的影响

由表3可知,替代组澳湖羊末体重有低于对照组的趋势($P=0.084$),平均日采食量显著低于对照组($P<0.05$),两组羊的平均日增重和料重比差异不显著($P>0.05$)。

表3 茴香渣和甘草秧混合替代部分玉米秸秆对澳湖羊生长性能的影响

Table 3 Effects of mixing fennel residue and licorice seedlings to replace part corn stalks on growth performance of Australian White×Hu sheep

项目 Items	组别 Groups		*P*值 *P*-value
	对照组 Control group	替代组 Substituent group	
初体重 Initial body weight (kg)	28.01±3.25a	27.18±2.32a	0.563
末体重 Final body weight (kg)	54.98±2.74a	52.51±2.55a	0.084
平均日增重 Average daily gain (ADG, g·d^{-1})	0.34±0.07a	0.32±0.08a	0.172
平均日采食量 Average daily feed intake (ADFI, kg·d^{-1})	2.15±0.30a	2.02±0.30b	0.024
料重比 Feed conversion ratio (FCR, F/G)	6.68±1.79a	6.70±1.75a	0.903

注:同行不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下同。

Note: In the same row, the different small letters mean significant difference ($P<0.05$). The same below.

2.2 茴香渣和甘草秧混合替代部分玉米秸秆对澳湖羊屠宰性能和肉品质物理特性的影响

由表4可知,替代组宰前活重显著低于对照组($P<0.05$),屠宰率有高于对照组的趋势($P=0.088$);两组之间的胴体重、屠宰后45 min和24 h背最长肌的pH、肉色、失水率、滴水损失、蒸煮损失、剪切力、硬度、内聚性、弹性、胶粘性、咀嚼性差异均不显著($P>0.05$)。

2.3 茴香渣和甘草秧混合替代部分玉米秸秆对澳湖羊瘤胃发酵参数的影响

由表5可知,替代组瘤胃液pH($P=0.065$)和异丁酸($P=0.077$)有高于对照组的趋势,总挥发性脂肪酸、乙酸、丙酸、丁酸、异戊酸、戊酸和乙酸/丙酸两组之间差异均不显著($P>0.05$)。

2.4 茴香渣和甘草秧混合替代部分玉米秸秆对澳湖羊肌肉脂肪酸组成的影响

由表6可知,替代组α-亚麻酸(C18:3 n-3)($P=0.084$)和二十二碳五烯酸(C22:5 n-3)($P=0.095$)有高于对照组的趋势,分别提高了15.79%和28.57%,其他脂肪酸在两组之间差异均不显著($P>0.05$)。

表 4　茴香渣和甘草秧混合替代部分玉米秸秆对澳湖羊屠宰性能和肉品质物理特性的影响

Table 4　Effects of mixing fennel residue and licorice seedlings to replace part corn stalks on slaughter performance and physical characteristics of meat quality of Australian White×Hu sheep

项目 Items	组别 Groups		*P* 值 *P*-value
	对照组 Control group	替代组 Substituent group	
宰前活重 Live weight before slaughter (kg)	58.69±2.77a	54.41±3.83b	0.023
胴体重 Carcass weight (kg)	30.95±1.63a	29.70±2.14a	0.211
屠宰率 Dressing percentage (%)	52.76±2.01a	54.61±2.03a	0.088
$pH_{45\ min}$	6.36±0.24a	6.34±0.21a	0.866
$pH_{24\ h}$	5.18±0.10a	5.28±0.23a	0.266
45 min 亮度 Lightness (L*)	33.21±1.68a	33.54±2.25a	0.750
45 min 红度 Redness (a*)	15.94±1.02a	15.95±1.70a	0.985
45 min 黄度 Yellowness (b*)	4.89±0.42a	4.89±0.76a	0.992
24 h 亮度 Lightness (L*)	36.94±2.70a	36.68±2.65a	0.850
24 h 红度 Redness (a*)	19.91±2.10a	19.38±1.38a	0.559
24 h 黄度 Yellowness (b*)	12.21±1.76a	11.29±1.54a	0.286
失水率 Water loss rate (%)	26.56±5.09a	24.52±8.21a	0.560
滴水损失 Drip loss (%)	3.25±0.58a	3.48±1.09a	0.596
蒸煮损失 Cooking loss (%)	45.12±1.47a	44.23±2.26a	0.371
剪切力 Shear force (N)	82.77±6.92a	91.01±17.98a	0.247
硬度 Hardness (N)	5.39±1.85a	6.92±4.10a	0.354
内聚性 Cohesiveness	0.41±0.06a	0.41±0.05a	0.993
弹性 Springiness (mm)	1.97±0.23a	1.99±0.41a	0.868
胶粘性 Gumminess (N)	2.61±1.09a	3.27±2.12a	0.449
咀嚼性 Chewiness (mJ)	5.86±3.06a	7.34±6.60a	0.575

表 5　茴香渣和甘草秧混合替代部分玉米秸秆对澳湖羊瘤胃发酵参数的影响

Table 5　Effects of mixing fennel residue and licorice seedlings to replace part corn stalks on rumen fermentation parameters of Australian White×Hu sheep

项目 Items	组别 Groups		*P* 值 *P*-value
	对照组 Control group	替代组 Substituent group	
pH	5.99±0.30a	6.25±0.21a	0.065
总挥发性脂肪酸 Total volatile fatty acids (TVFA, $mmol \cdot L^{-1}$)	75.95±16.40a	71.27±25.65a	0.670
乙酸 Acetate (%)	63.50±3.97a	61.39±3.11a	0.256
丙酸 Propionate (%)	20.62±3.45a	21.98±3.62a	0.457
异丁酸 Isobutyrate (%)	0.86±0.25a	1.18±0.40a	0.077
丁酸 Butyrate (%)	12.48±2.76a	12.37±1.91a	0.930
异戊酸 Isovalerate (%)	1.18±0.48a	1.70±0.70a	0.107
戊酸 Valerate (%)	1.36±0.58a	1.39±0.26a	0.911
乙丙比 Acetate/propionate	3.18±0.70a	2.87±0.59a	0.365

3　讨论

3.1　茴香渣和甘草秧混合替代部分玉米秸秆对澳湖羊生长性能和屠宰性能的影响

茴香渣富含芳香族化合物，甘草秧含有多糖、黄酮类物质及甘草酸，具有抗炎、抗氧化和促进消化的作用。本

表6 茴香渣和甘草秧混合替代部分玉米秸秆对澳湖羊肌肉脂肪酸组成的影响

Table 6 Effects of mixing fennel residue and licorice seedlings to replace part corn stalks on muscle fatty acid composition of Australian White×Hu sheep (%)

项目 Items	组别 Groups		*P*值 *P*-value
	对照组 Control group	替代组 Substituent group	
饱和脂肪酸 Saturated fatty acids (SFA)			
己酸 Caproic acid (C6:0)	0.05±0.02a	0.06±0.02a	0.712
辛酸 Octanoic acid (C8:0)	0.03±0.01a	0.02±0.01a	0.737
癸酸 Decanoic acid (C10:0)	0.35±0.06a	0.38±0.08a	0.537
月桂酸 Lauric acid (C12:0)	0.27±0.08a	0.23±0.03a	0.167
十三烷酸 Tridecanoic acid (C13:0)	0.06±0.02a	0.05±0.02a	0.677
肉豆蔻酸 Tetradecanoic acid (C14:0)	6.28±1.22a	5.70±0.48a	0.230
十五烷酸 Pentadecylic acid (C15:0)	0.99±0.20a	0.99±0.37a	0.993
棕榈酸 Palmitic acid (C16:0)	20.28±1.50a	19.92±1.02a	0.579
十七烷酸 Heptadecanoic acid (C17:0)	1.80±0.23a	1.90±0.48a	0.605
硬脂酸 Stearic acid (C18:0)	21.51±3.90a	21.67±2.62a	0.922
二十三碳酸 Tricosanoic acid (C23:0)	0.05±0.03a	0.05±0.03a	0.885
单不饱和脂肪酸 Monounsaturated fatty acids (MUFA)			
肉豆蔻烯酸 Myristoleic acid (C14:1)	0.21±0.09a	0.17±0.05a	0.346
棕榈油酸 Palmitoleic acid (C16:1)	2.44±0.43a	2.22±0.26a	0.255
十七碳一烯酸 Heptadecenoic acid (C17:1)	0.92±0.25a	0.95±0.33a	0.847
反式油酸 Elaidic acid (C18:1 n9t)	6.45±1.17a	5.82±1.05a	0.278
油酸 Oleic acid (C18:1 n9c)	30.58±1.95a	31.95±1.54a	0.143
芥酸 Erucic acid (C22:1 n-9)	0.90±0.30a	0.97±0.23a	0.596
二十四碳一烯酸 Tetracosenoic acid (C24:1)	0.33±0.11a	0.37±0.08a	0.519
多不饱和脂肪酸 Polyunsaturated fatty acid (PUFA)			
反式亚油酸 Trans-linoleic acid (C18:2 n6t)	0.18±0.11a	0.17±0.11a	0.967
亚油酸 Linoleic acid (C18:2 n6c)	4.17±0.48a	4.15±0.31a	0.933
γ-亚麻酸 γ-linolenic acid (C18:3 n-6)	0.12±0.03a	0.12±0.02a	0.589
α-亚麻酸 α-linolenic acid (C18:3 n-3)	0.19±0.04a	0.22±0.02a	0.084
二十碳二烯酸 Eicosadienoic acid (C20:2)	0.04±0.01a	0.04±0.01a	0.791
花生三烯酸 Dihomo-γ-linolenic acid (C20:3 n-6)	0.12±0.03a	0.12±0.02a	0.877
二十碳五烯酸 Eicosapentaenoic acid (C20:5)	0.01±0.01a	0.02±0.01a	0.408
二十二碳三烯酸 Docosatrienoic acid (C22:3 n-3)	0.09±0.05a	0.08±0.03a	0.917
二十二碳五烯酸 Docosapentaenoic acid (C22:5 n-3)	0.07±0.02a	0.09±0.02a	0.095
二十二碳六烯酸甲酯 Methyl docosahexaenoate (C22:6 n-3)	0.11±0.05a	0.11±0.03a	0.849
异构脂肪酸 Isomeric fatty acid (IFA)			
反异十三烷酸 Anteiso-tridecanoic acid (anteiso-C13:0)	0.19±0.07a	0.18±0.07a	0.801
反异十五烷酸 Anteiso-pentadecanoic acid (anteiso-C15:0)	0.35±0.04a	0.37±0.09a	0.627
异十六烷酸 Iso-hexadecanoic acid (iso-C16:0)	0.37±0.04a	0.35±0.08a	0.686
异十八烷酸 Iso-octadecanoic acid (iso-C18:0)	0.49±0.10a	0.54±0.12a	0.435
n-6多不饱和脂肪酸∑n-6 PUFA	5.38±0.74a	5.47±0.45a	0.772
n-3多不饱和脂肪酸∑n-3 PUFA	0.46±0.15a	0.47±0.11a	0.870
饱和脂肪酸∑SFA	44.98±2.88a	43.41±1.92a	0.218
单不饱和脂肪酸∑MUFA	55.14±2.96a	56.77±1.86a	0.208
多不饱和脂肪酸∑PUFA	5.20±0.67a	5.23±0.36a	0.901
多不饱和脂肪酸/饱和脂肪酸∑PUFA/∑SFA	0.12±0.02a	0.12±0.01a	0.577
单不饱和脂肪酸/饱和脂肪酸∑MUFA/∑SFA	1.23±0.14a	1.31±0.10a	0.229
∑n-6/∑n-3多不饱和脂肪酸∑n-6/∑n-3 PUFA	12.39±2.78a	12.16±2.88a	0.875

研究中，替代组澳湖羊的平均日采食量和宰前活重显著低于对照组，末体重有低于对照组的趋势，屠宰率有高于对照组的趋势。刘重阳[18]在全混合颗粒日粮中分别用茴香渣和甘草秧替代部分玉米秸秆，发现在整个试验期间平均日采食量和宰前活重等指标替代组均低于玉米秸秆组。潘军等[19]用甘草茎叶替代苜蓿(*Medicago sativa*)干草研究其对绵羊生长性能的影响，发现未替代组的末体重和平均日增重均高于替代组，且随着甘草茎叶替代苜蓿比例的增加，羊日增重呈现下降趋势。王永力等[20]的研究用甘草茎叶替代日粮中 50% 和 100% 的稻草(*Oryza sativa*)饲喂山羊，其日增重也随替代水平的增加而降低。万凡等[21]的研究也显示，用甘草茎叶替代不同水平的紫花苜蓿，随着替代水平的增加阿尔泰羊的日增重呈现降低的趋势，差异不显著。本研究与上述研究结果相一致。出现这种结果的原因可能是茴香作为一种香料植物具有特殊的芳香味，甘草秧因含有甘草酸和甘草素等成分呈甘甜微苦，试验初期羊可能对这些气味不熟悉或敏感，进而影响采食积极性，导致日采食量下降，从而引起体重减轻。而甘草作为传统中药，其茎叶中也含有一定的药用成分，用量过大时可能会对动物生长产生负面影响。本研究中替代组与对照组饲粮营养价值没有显著差异。但替代组含有较高的粗蛋白质和粗脂肪，且中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量较低，从经济效益角度可作为替代玉米秸秆的一类粗饲料替代品，但对于茴香渣以及甘草秧的特殊气味澳湖羊可能需要更长的时间来适应。

3.2　茴香渣和甘草秧混合替代部分玉米秸秆对澳湖羊肉品质的影响

肉品质不仅影响消费者的感官体验和购买决策，还影响羊肉的加工、烹饪和营养价值。本研究中，替代组屠宰 45 min 和 24 h 背最长肌的肉色与对照组差异均不显著。刘重阳[18]分别用茴香渣和甘草秧等量替代玉米秸秆，发现湖羊屠宰 24 h 的肉色表型值(a*、b*、L*)降低。Dalle 等[22]在家禽的饲料中添加茴香籽粉，发现其能降低慢性热应激下鸡胸肉的红度值(a*)。本研究结果与上述不一致，原因可能是饲喂对象不同，其不同的生长发育速度、肌肉代谢、营养物质分配导致肉色差异。刘重阳[18]以湖羊为研究对象，Dalle 等[22]以家禽为研究对象，而本研究以澳湖羊为研究对象。一般情况下，肉色受到研究对象年龄、性别及品种的影响。随着动物年龄的增长，肌肉中的肌红蛋白含量逐渐增多，肌肉的颜色也随之加深，所以成年动物的肉色比幼龄动物深[23-24]。雄性动物比雌性动物的肌肉颜色更深[23,25]。不同品种之间的肉色也可能有显著差异[26]。研究发现，巴美肉羊的肌肉色泽与小尾寒羊和巴寒杂交一代相比明显更大[27]。除了遗传因素以外，年份、季节、屠宰批次等非遗传因素也有可能对动物的肉质产生影响[28]。

3.3　茴香渣和甘草秧混合替代部分玉米秸秆对澳湖羊瘤胃发酵参数的影响

瘤胃 pH 值是评估反刍动物瘤胃内环境稳态和发酵状态的重要指标，它由氨、乙酸盐、丙酸盐、丁酸盐和乳酸浓度以及进入瘤胃的唾液数量和缓冲能力决定，通常维持在 5.0～7.5 范围内[29]。瘤胃发酵速率提高，发酵副产物(如短链脂肪酸)增加，将会导致瘤胃 pH 值降低[30]。在本研究中，替代组瘤胃 pH 值和异丁酸摩尔比例有高于对照组的趋势。前人关于茴香渣和甘草秧对瘤胃发酵参数的影响结果各不相同。Hegazy 等[31]的研究发现，绵羊采食茴香后其瘤胃 pH 值不变。刘婷等[5]用不同比例的茴香秸秆和茴香秕壳饲喂甘肃高山细毛羯羊，结果表明饲喂含茴香秸秆和茴香秕壳的饲粮会降低绵羊的瘤胃 pH。本研究结果与其不一致。出现这种结果的原因可能是瘤胃微生物对添加剂中的植物化学物质很敏感[32]。已有研究报道给反刍动物补充一些植物化学物质(如类黄酮和多酚)后会使其瘤胃 pH 值增加[33-34]。一些植物提取物，如茴香油，可以增加丙酸盐并减少乙酸盐产生，同时改变瘤胃中蛋白水解或脱氨模式，本研究中出现的替代组乙酸浓度下降，丙酸浓度升高现象与其相符合。纯草药精油会对短链脂肪酸的总产量产生影响[35]。而茴香中含有 8% 的精油[36]，其与酚类为亲脂性，可以穿过原生动物膜导致细胞膜破坏并抑制细胞代谢所需的酶，从而抑制瘤胃发酵速率，进而导致产生的短链脂肪酸减少，瘤胃 pH 值升高[37]。

异丁酸是由胃肠道细菌通过发酵不可消化蛋白质产生的一种支链挥发性脂肪酸，与其他由不可消化的碳水化合物发酵产生的短链脂肪酸不同[38]，其由支链氨基酸缬氨酸产生[39]。异丁酸的浓度远低于其他短链脂肪酸。在本研究中，替代组的异丁酸摩尔比例有高于对照组的趋势。Aguirre 等[40]通过体外发酵试验证明，高蛋白和低纤维饮食会增加粪便中异丁酸的浓度。有研究报道，茴香秸秆取代玉米秸秆会增加支链挥发性脂肪酸的摩尔比

例,尤其是异丁酸和异戊酸[41-42]。朱宝珍等[43]用茴香秸秆替代部分玉米秸秆作为粗饲料来源发现瘤胃中异丁酸的比例增加,本研究结果与其相一致。导致这种结果的原因可能是茴香渣和甘草秧混合替代部分玉米秸秆后使饲粮中的粗蛋白含量升高,中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量降低。本研究所用的茴香渣中CP含量高达10.40%;甘草秧中CP含量高达9.22%。李洋等[44]对常用秸秆类饲料营养价值进行评定,发现玉米秸秆中CP含量只有5.70%。而饲粮中粗蛋白质含量与可降解蛋白质的菌属相对丰度呈正相关关系[45]。饲粮中粗蛋白质含量高,相应的瘤胃中的普雷沃氏菌属数量增多,经过发酵纤维二糖、葡萄糖、果胶、蔗糖等,会使异丁酸的比例升高[46]。

3.4 茴香渣和甘草秧混合替代部分玉米秸秆对澳湖羊肌肉脂肪酸组成的影响

对于反刍动物而言,其肌肉中的脂肪酸沉积深受其饲料中脂肪酸组成的影响。一般情况下,饲料中的脂肪酸主要以C16和C18等饱和脂肪酸的形式存在[47]。在本研究中,茴香渣-甘草秧替代玉米秸秆组α-亚麻酸(C18:3 n-3)有高于对照组的趋势。C18:3 n-3是人体必需脂肪酸,可以转化为二十碳五烯酸(C20:5 n-3)和二十二碳六烯酸(C22:6 n-3),具有抗炎和提高免疫力的作用,能够预防癌症、动脉血栓、冠心病等疾病,有益于心血管健康,并对视力、记忆和大脑发育有促进作用[48]。因此,富含n-3系不饱和脂肪酸的羊肉对消费者的健康更有益。而羊肉中的C18:3 n-3只能通过采食富含多不饱和脂肪酸的饲料沉积到动物产品中[49-50]。朱宝珍等[43]用茴香秸秆替代部分玉米秸秆发现能够提高湖羊肌肉中C18:3 n-3的含量,本研究结果与其一致。反刍动物肌肉中的C18:3 n-3与其饲料原料中脂肪酸的组成有关。之前有研究通过对部分禾本科及豆科饲料样本中的脂肪酸检测结果表明,亚麻酸含量最为突出,亚油酸次之。此外,当采用不同饲料原料饲喂反刍动物时,畜产品中脂肪酸的沉积情况存在差异[51]。当反刍动物摄取日粮中的脂质后,瘤胃微生物通过脂肪酶将其分解为甘油与游离脂肪酸。瘤胃内的多不饱和脂肪酸会经历氢化过程,仅少部分能够逃避氢化并进入后续消化吸收环节沉积于动物产品中[49]。动物体内的多不饱和脂肪酸无法自行合成,必须依赖饲料供给,因此当饲喂富含多不饱和脂肪酸的原料[如亚麻(*Linum usitatissimum*)籽]时,动物产品中多不饱和脂肪酸的沉积量便会升高[50]。Berthelot等[52]的研究表明亚麻籽补充剂可使肌肉中C18:3 n-3比例提高3.6倍。朱宝珍等[43]对茴香秸秆和玉米秸秆中的C18:3 n-3进行检测分析,发现茴香秸秆中C18:3 n-3略高于玉米秸秆。但目前尚未有研究对茴香渣-甘草秧中脂肪酸组成进行测定,因此,本研究中茴香渣-甘草秧组澳湖羊肌肉中C18:3 n-3含量较高的原因,仍有待进一步探究。

4 结论

茴香渣和甘草秧等比例混合替代部分玉米秸秆会显著降低澳湖羊的采食量,使其末体重呈下降趋势,但对平均日增重、料重比和瘤胃发酵强度无显著影响。虽然日采食量有所下降,但该替代方式能够改善羊肉品质,使澳湖羊肌肉中C18:3 n-3和C22:5 n-3含量更加丰富,澳湖羊可能需要更长的时间来适应这种特殊气味,食用此类羊肉可能为消费者提供更多具有潜在心血管健康益处的多不饱和脂肪酸。因此,茴香渣和甘草秧混合可作为玉米秸秆的有效替代品,在保证澳湖羊生产性能的同时,实现羊肉营养价值提升。

参考文献 References:

[1] Shi S M, Zhang X. Effects of fennel essential oil on the growth performance, serum antioxidant and immune function of meat sheep. China Feed, 2025(4): 45-48.
侍世梅, 张玺. 小茴香精油对肉羊生长性能、血清抗氧化及免疫功能的影响. 中国饲料, 2025(4): 45-48.

[2] Egidio M, Casalino L, Biasio F D, *et al*. Antimicrobial properties of fennel by-product extracts and their potential applications in meat products. Antibiotics, 2024, 13(10): 932.

[3] Li W W, Ting Y M, Chen X Z, *et al*. Glycyrrhiza, a commonly used medicinal herb: review of species classification, pharmacology, active ingredient biosynthesis, and synthetic biology. Journal of Advanced Research, 2024, 75: 249-270.

[4] Li Y, Li X R, Li K D, *et al*. Analysis of nutritional characteristics of fennel residue and construction of near infrared reflectance spectroscopy predictive model of conventional nutrient and mineral element contents. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2024, 36(6): 3973-3983.

李钰，李欣荣，李开栋，等．茴香渣营养特征分析及其常规养分和矿物元素含量近红外反射光谱预测模型构建．动物营养学报，2024，36(6)：3973－3983.

[5] Liu T，Zheng C，Li F D，*et al*. Nutritional evaluation of fennel straw and shell on sheep. Acta Prataculturae Sinica，2012，21(5)：55－62.
刘婷，郑琛，李发弟，等．茴香秸秆和茴香秕壳对绵羊营养价值的评定．草业学报，2012，21(5)：55－62.

[6] Zhu Y H，Guo Q K，Lou Z B，*et al*. Effects of fennel straw and chaff on growth performance and mutton flavor of fattening sheep. China Feed，2024(6)：125－128.
祝艳华，郭全奎，娄志波，等．茴香秸秆和秕壳对育肥羊生长性能及羊肉膻味的影响．中国饲料，2024(6)：125－128.

[7] Xue Z F，Zhang W J，Tan S R，*et al*. The exploitation and development of licorice stems and leaves as feed resources. Grass-Feeding Livestock，2004(2)：51－53.
薛正芬，张文举，谭守仁，等．甘草茎叶饲料资源的开发利用．草食家畜，2004(2)：51－53.

[8] Hou C Z，Wang C. Effect of adding licorice stems and leaves in the diet on the fatty acids and minerals in lamb. Gansu Animal Husbandry and Veterinary Medicine，2023，53(4)：95－98.
侯长政，王成．日粮中添加甘草茎叶对羊肉脂肪酸及矿物质的影响．甘肃畜牧兽医，2023，53(4)：95－98.

[9] Xue Z F，Zhang W J，Sheng T，*et al*. Study on the feeding effect of licorice stems and leaves on lambs. Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine，2005(9)：59－60.
薛正芬，张文举，盛涛，等．甘草茎叶饲喂羔羊效果研究．黑龙江畜牧兽医，2005(9)：59－60.

[10] Zhao M M，Ma T，Ma J N，*et al*. Prediction and equation of effective energy values of common roughages for mutton sheep. Chinese Journal of Animal Nutrition，2016，28(8)：2385－2395.
赵明明，马涛，马俊南，等．肉用绵羊常用粗饲料有效能值的预测与方程的建立．动物营养学报，2016，28(8)：2385－2395.

[11] State Administration for Market Regulation，Standardization Administration of the People's Republic of China. Determination of crude protein in feeds－Kjeldahl method：GB/T 6432－2018. Beijing：Standards Press of China，2018.
国家市场监督管理总局，中国国家标准化管理委员会．饲料中粗蛋白质的测定 凯氏定氮法：GB/T 6432－2018. 北京：中国标准出版社，2018.

[12] State Administration for Market Regulation，Standardization Administration of the People's Republic of China. Determination of neutral detergent fiber (NDF) in feed：GB/T 20806－2022. Beijing：Standards Press of China，2022.
国家市场监督管理总局，中国国家标准化管理委员会．饲料中中性洗涤纤维(NDF)的测定：GB/T 20806－2022. 北京：中国标准出版社，2022.

[13] Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. Determination of acid detergent fiber (ADF) in feeds：NY/T 1459－2022. Beijing：Standards Press of China，2022.
中华人民共和国农业农村部．饲料中酸性洗涤纤维的测定：NY/T 1459－2022. 北京：中国标准出版社，2022.

[14] General Administration of Quality Supervision，Inspection and Quarantine of the People's Republic of China，Standardization Administration of the People's Republic of China. Determination of crude fat in feeds：GB/T 6433－2006. Beijing：Standards Press of China，2006.
中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局，中国国家标准化管理委员会．饲料中粗脂肪的测定方法：GB/T 6433－2006. 北京：中国标准出版社，2006.

[15] Institute of Animal Sciences，Chinese Academy of Agricultural Sciences，State Key Laboratory of Animal Nutrition，China Feed-Database Information Center，*et al*. Formulation of tables of feed composition and nutritive values in China (33rd edition，2022). China Feed，2022(23)：109－119.
中国农业科学院北京畜牧兽医研究所，动物营养学国家重点实验室，中国饲料数据库情报网中心，等．中国饲料成分及营养价值表(2022年第33版)制订说明．中国饲料，2022(23)：109－119.

[16] Liang Y S. Study on growth performance and rumen function in finishing Hu lambs with different residual feed intakes. Lanzhou：Lanzhou University，2017.
梁玉生．不同剩余采食量育肥湖羊的生长性能与瘤胃功能差异研究．兰州：兰州大学，2017.

[17] Lyu J Y. Effects of rouged feed sources on production performance and rumen microflora of fattened lambs. Lanzhou：Lanzhou University，2017.
吕佳颖．粗饲料来源对育肥羔羊生产性能和瘤胃微生物区系的影响．兰州：兰州大学，2017.

[18] Liu C Y. Genetic parameters estimate of meat color traits and the transcriptomic analysis of the effect of special feeds on meat

color in Hu sheep. Lanzhou: Lanzhou University, 2024.
刘重阳. 湖羊肉色遗传参数估计及特色饲料影响肉色的转录组学分析. 兰州: 兰州大学, 2024.

[19] Pan J, Chen J J, Zhu Y X. Effect of *Glycyrrhiza uralensis* stem and leaf on growth performance and blood physiological and biochemical indexes in sheep. Feed Research, 2020, 43(4): 4-7.
潘军, 陈靖晶, 朱玉新. 甘草茎叶对绵羊生长性能和血液生理生化指标的影响. 饲料研究, 2020, 43(4): 4-7.

[20] Wang Y L, Halidai R H M J, Erni H L K, *et al*. Effects of the aerial parts of ural licorice on the growth performance and the blood characteristics of Bachu goat. Xinjiang Agricultural Sciences, 2016, 53(1): 190-196.
王永力, 哈丽代·热合木江, 厄尼·哈力克, 等. 乌拉尔甘草茎叶对巴楚白山羊生产性能和血液性状的影响. 新疆农业科学, 2016, 53(1): 190-196.

[21] Wan F, Guo T J, Zang C J, *et al*. Effects of the stem and leaf of *Glycyrrhiza uralensis* of different adding levels on the production performance and economic profit of Aletai sheep in fattening period. Feed Research, 2015(13): 41-44.
万凡, 郭同军, 臧长江, 等. 不同添加水平的甘草茎叶对育肥期阿勒泰羊生产性能及经济效益的影响. 饲料研究, 2015(13): 41-44.

[22] Dalle Z A, Celia C, Cullere M, *et al*. Effect of an *in-vivo* and/or in-meat application of a liquorice (*Glycyrrhiza glabra* L.) extract on fattening rabbits live performance, carcass traits and meat quality. Animal Feed Science and Technology, 2019, 260: 114333.

[23] Zhou J P, Diao Y J, Tao Q S, *et al*. Quality characteristics and evaluation methods of mountain goat meat. Shandong Journal of Animal Science and Veterinary Medicine, 2021, 42(2): 52-55.
周佳萍, 刁有江, 陶庆树, 等. 山羊肉质特征及其评价方法. 山东畜牧兽医, 2021, 42(2): 52-55.

[24] Yang X J, Zhao R Q, Chen J, *et al*. The developmental changes of myofibre types in LD muscle of Erhualian and Large White pigs. Chinese Journal of Veterinary Science, 2005, 25(1): 89-94.
杨晓静, 赵茹茜, 陈杰, 等. 猪背最长肌肌纤维类型的发育性变化及其品种和性别特点. 中国兽医学报, 2005, 25(1): 89-94.

[25] Luo Y M. Effects of weight on slaughter performance and meat quality of Dorper and Mongolia crossbred sheep F_1. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2012.
罗毅敏. 体重对杜蒙杂交一代羊的屠宰性能及肉品质的影响. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2012.

[26] Yao G J. Molecular mechanism of gene expression of *PPARδ* and *Myoglobin* and its effect on pork color. Hangzhou: Zhejiang University, 2011.
姚国佳. *PPARδ*和*Myoglobin*基因表达对猪肉色的影响及机制研究. 杭州: 浙江大学, 2011.

[27] Teng K. Studies on the meat production and quality properties of hybrid lamb between Bamei mutton sheep and small tail Han sheep. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2012.
腾克. 巴美肉羊与小尾寒羊杂交后代产肉性能及羊肉品质的研究. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2012.

[28] Hu H, Lv F, Ding Y T. Progress in coloration mechanism and color assessment of meat products. Meat Research, 2016, 30(12): 48-53.
胡煌, 吕飞, 丁玉庭. 肉制品的呈色机理和色泽评定研究进展. 肉类研究, 2016, 30(12): 48-53.

[29] Sha Y Z, Liu X, Li X X, *et al*. Succession of rumen microbiota and metabolites across different reproductive periods in different sheep breeds and their impact on the growth and development of offspring lambs. Microbiome, 2024, 12(1): 172.

[30] Wolfe A R, Narciso M H P M, Uwier R R E, *et al*. Effects of ruminal short-chain fatty acid concentration and pH on histology, hematology, and inflammation in cannulated Holstein dairy calves. Journal of Dairy Science, 2025, 108(2): 2070-2082.

[31] Hegazy S A, Elmawla S M, Khorshed M M, *et al*. Productive and immunological performance of small ruminants offered some medicinal plants as feed additives. International Journal of Veterinary Science, 2023, 12(1): 120-125.

[32] El-Zaiat H, Kholif M, Moharam A E, *et al*. The ability of tanniniferous legumes to reduce methane production and enhance feed utilization in Barki rams: *in vitro* and *in vivo* evaluation. Small Ruminant Research, 2020, 193(1): 106259.

[33] Bu Y, Zhang X Y, Xiong Z B, *et al*. Effect of red clover isoflavones on ruminal microbial composition and fermentation in dairy cows. Applied Microbiology & Biotechnology, 2025, 109(1): 107.

[34] Tan J, Wang Y, Niu H Y, *et al*. Metagenomic insights into the mechanistic differences of plant polyphenols and nitrocompounds in reducing methane emissions using the rumen simulation technique. Science of the Total Environment, 2024, 953: 176135.

[35] Zou Q, Chen A Q, Huang J, *et al*. Edible plant oils modulate gut microbiota during their health-promoting effects: a review.

Frontiers in Nutrition, 2024, 11: 1473648.

[36] Aynechi Y. Pharmacognosy and medical herbs. Tehran: Tehran University Press, 2012.

[37] Goel G, Puniya A K, Aguilar C N, *et al*. Interaction of gut microflora with tannins in feeds. The Science of Nature, 2005, 92(11): 497－503.

[38] Rios-Covian D, Gonzalez S, Nogacka A M, *et al*. An overview on fecal branched short chain fatty acids along human life and as related with body mass index: associated dietary and anthropometric factors. Frontiers in Microbiology, 2020, 27(11): 973.

[39] Oliphant K, Allen-Vercoe E. Macronutrient metabolism by the human gut microbiome: major fermentation by-products and their impact on host health. Microbiome, 2019, 7(1): 1－15.

[40] Aguirre M, Eck A, Koenen M E, *et al*. Diet drives quick changes in the metabolic activity and composition of human gut microbiota in a validated *in vitro* gut model. Research in Microbiology, 2016, 167(2): 114－125.

[41] Hald S, Schioldan A G, Moore M E, *et al*. Effects of arabinoxylan and resistant starch on intestinal microbiota and short chain fatty acids in subjects with metabolic syndrome: a randomised crossover study. PLoS One, 2016, 11(7): e0159223.

[42] Lu D X. Theory and application of ruminant nutrition regulation. Inner Mongolia Animal Science, 1993(Special Issue): 104.
卢德勋. 反刍动物营养调控理论及其应用. 内蒙古畜牧科学, 1993(特刊): 104.

[43] Zhu B Z, Gao Q, Li F, *et al*. Effect of fennel straw replacing corn stover on rumen fermentation parameters and intramuscular fatty acid composition of Hu sheep. Pratacultural Science, 2020, 37(8): 10.
朱宝珍, 高强, 李飞, 等. 茴香秸秆替代玉米秸秆对湖羊瘤胃液挥发性脂肪酸, 微生物区系和肌肉脂肪酸组成的影响. 草业科学, 2020, 37(8): 10.

[44] Li Y, Xin H S, Li C L, *et al*. Nutritional value evaluation of common straw roughages in dairy cows. Journal of Northeast Agricultural University, 2015, 46(4): 76－82.
李洋, 辛杭书, 李春雷, 等. 奶牛常用秸秆类饲料营养价值的评定. 东北农业大学学报, 2015, 46(4): 76－82.

[45] Meyer M, Stenze U, Hofreite M. Parallel tagged sequencing on the 454 platform. Nature Protocols, 2008, 3(2): 267.

[46] Feng Y L. Ruminant nutrition. Beijing: Science Press, 2004.
冯仰廉. 反刍动物营养学. 北京: 科学出版社, 2004.

[47] Porter N H, Clark K L, Rebelo L R, *et al*. Effects of saturated fatty acids with lysophospholipids on production and nutrient digestibility in lactating cows. Journal of Dairy Science, 2024, 107(7): 4524－4536.

[48] Kaur G, Mason R P, Steg P G, *et al*. Omega-3 fatty acids for cardiovascular event lowering. European Journal of Preventive Cardiology, 2024, 31(8): 1005－1014.

[49] Jin L, Wang L Z, Wang Z S, *et al*. Relationship between rumen microorganisms and fatty acid composition of ruminant products. Feed Industry, 2018, 39(9): 51－55.
金磊, 王立志, 王之盛, 等. 瘤胃微生物与反刍动物产品脂肪酸组成的关系. 饲料工业, 2018, 39(9): 51－55.

[50] Suksombat W, Lamphuoc T, Meeprom C, *et al*. Effects of linseed oil or whole linseed supplementation on performance and milk fatty acid composition of lactating dairy cows. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 2014, 27(7): 951－959.

[51] Li Z Q, Liu F Z, Lu P, *et al*. The analysis of fatty acid components of some important forages. China Dairy Cattle, 2006(10): 3－6.
李志强, 刘凤珍, 卢鹏, 等. 几种重要饲草的脂肪酸成分分析. 中国奶牛, 2006(10): 3－6.

[52] Berthelot V, Bas P, Pottier E, *et al*. The effect of maternal linseed supplementation and/or lamb linseed supplementation on muscle and subcutaneous adipose tissue fatty acid composition of indoor lambs. Meat Science, 2012, 90(3): 548－557.