

DOI:10.11686/cyxb2021420

http://cyxb.magtech.com.cn

范阳, 齐伟彪, 朱崇森, 等. 日粮中添加发酵豆渣对湖羊生长性能、养分表观消化率、肉品质及血清生化指标的影响. 草业学报, 2022, 31(11): 86—93.

FAN Yang, QI Wei-biao, ZHU Chong-miao, *et al.* Effects of fermented soybean residues on growth performance, apparent nutrient digestibility, meat quality and serum biochemical indexes of *Hu* sheep. Acta Prataculturae Sinica, 2022, 31(11): 86—93.

日粮中添加发酵豆渣对湖羊生长性能、养分表观消化率、肉品质及血清生化指标的影响

范阳¹, 齐伟彪¹, 朱崇森², 殷雨洋³, 毛胜勇^{1*}

(1. 南京农业大学动物科技学院, 江苏 南京 210095; 2. 南京致润生物科技集团有限公司, 江苏 南京 211200; 3. 湖州市农业科学研究院, 浙江 湖州 313000)

摘要:旨在研究日粮中添加发酵豆渣对湖羊生长性能、养分表观消化率、肉品质及血清生化指标的影响, 探究发酵豆渣在肉羊生产中的利用价值。试验选取 21 头体重相近、体况良好的湖羊公羔, 随机分为 3 组: 对照组(饲喂基础日粮)、豆渣组(饲喂基础日粮+20% 普通豆渣)和发酵豆渣组(饲喂基础日粮+20% 发酵豆渣), 每组 7 个重复, 每个重复 1 头羊。预饲期 7 d, 试验期 49 d。结果表明: 1) 与对照组和豆渣组相比, 饲粮中添加 20% 发酵豆渣可显著提高湖羊的平均日增重($P<0.05$), 且增重成本显著降低($P<0.05$); 2) 发酵豆渣组湖羊的干物质、粗蛋白和中性洗涤纤维的表观消化率显著高于其他各组($P<0.05$); 3) 与豆渣组相比, 发酵豆渣组湖羊的胴体重显著提高($P<0.05$), 且发酵豆渣组湖羊的屠宰率和红度显著高于其他两组($P<0.05$), 滴水损失显著低于其他两组($P<0.05$); 4) 与对照组和豆渣组相比, 发酵豆渣组湖羊的血清总蛋白含量显著提高($P<0.05$), 但尿素氮含量显著降低($P<0.05$), 而与豆渣组相比, 发酵豆渣组湖羊的血清白蛋白含量显著提高($P<0.05$)。因此, 饲粮中添加发酵豆渣可以显著提高湖羊的平均日增重, 降低饲料成本, 提高日粮的干物质、粗蛋白和中性洗涤纤维的表观消化率, 且对肉品质有一定的改善作用。

关键词: 发酵豆渣; 湖羊; 生长性能; 表观消化率; 肉品质; 血清生化指标

Effects of fermented soybean residues on growth performance, apparent nutrient digestibility, meat quality and serum biochemical indexes of *Hu* sheep

FAN Yang¹, QI Wei-biao¹, ZHU Chong-miao², YIN Yu-yang³, MAO Sheng-yong^{1*}

1. College of Animal Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2. Nanjing Zhirun Biotechnology Limited Company, Nanjing 211200, China; 3. Huzhou Academy of Agricultural Sciences, Huzhou 313000, China

Abstract: The experiment was conducted to study the effects of fermented soybean residues on growth performance, apparent nutrient digestibility, meat quality and blood physiological indexes of *Hu* sheep, and to investigate the value of fermented soybean residues in the production of meat sheep. In the present study, twenty-one healthy male *Hu* sheep with similar body weight were selected and randomly allocated into a basal diet (control) group, a soybean residue group (basal diet+20% soybean residue, SR) or a fermented soybean residues group (basal diet+20% fermented soybean residues, FSR), with 7 animals in each group. The experiment lasted for 49 days, including a 7-

收稿日期: 2021-11-15; 改回日期: 2022-02-24

基金项目: 江苏省农业自主创新项目[CX(19)1006]资助。

作者简介: 范阳(1997-), 男, 江苏南京人, 在读硕士。E-mail: 2019105057@njau.edu.cn

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: maoshengyong@njau.edu.cn

day adaptation period. The results were as follows: 1) Compared with the control and SR groups, addition of 20% fermented soybean residues in the diet (FSR) significantly increased the average daily weight gain of *Hu* sheep ($P < 0.05$) and significantly reduced the weight gain cost ($P < 0.05$). 2) The apparent digestibility of dry matter (DM), crude protein (CP) and neutral detergent fiber (NDF) of *Hu* sheep in the fermented soybean residues group was significantly higher than that in other groups ($P < 0.05$). 3) Compared with the SR group, the carcass weight of the FSR group was increased ($P < 0.05$), while the dressing percentage, meat redness values of the FSR group were greater than those of the other groups ($P < 0.05$), and the drip loss was lower than other groups ($P < 0.05$). 4) Compared with the control and SR groups, the serum total protein content of the FSR group was increased ($P < 0.05$), and the urea nitrogen content was reduced ($P < 0.05$). Compared with the SR group, the serum albumin content of the FSR group was increased significantly ($P < 0.05$). In conclusion, the addition of fermented soybean residues in the diet significantly improved the average daily gain of *Hu* sheep, reduced the feed cost, improved the apparent digestibility of DM, CP and NDF, and improved the meat quality and serum biochemical indexes.

Key words: fermented soybean residues; *Hu* sheep; growth performance; apparent digestibility; meat quality; serum biochemical indexes

我国是一个糟渣类饲料资源十分丰富的国家,合理开发和利用这些饲料资源,对于缓解我国饲料资源短缺的意义重大^[1]。豆渣是豆腐、豆浆等豆制品加工过程中的主要副产物,产量巨大^[2]。据报道,我国每年约产280万t湿豆渣^[3]。豆渣营养丰富,含有较高的粗蛋白质和粗脂肪,但由于其含水量和粗纤维含量较高,且含有多种抗营养因子如胰蛋白酶抑制因子等,如果用其直接饲喂动物,会导致动物发生腹泻,并影响生产性能^[4-5]。因此,如何有效改善豆渣饲料的营养价值和饲喂价值,是当前饲料领域需要解决的问题之一。近年来,一些研究发现,应用微生物发酵技术可有效提升一些非常规饲料的营养品质^[6-8]。蔡辉益等^[9]研究发现,用发酵豆渣替代部分颗粒饲料可降低育肥猪的料肉比,减少生产成本。刘俊泽等^[10]研究发现,在妊娠后期的母猪饲粮中添加9%发酵豆渣后,提高了母猪胎盘的营营养物质转运能力和胎盘效率。然而,目前有关发酵豆渣在反刍动物生产中的应用效果如何,并不十分清楚。由此,本试验研究了日粮中添加发酵豆渣对湖羊生长性能、养分表观消化率、肉品质及血清生化指标的影响,旨在为发酵豆渣在肉羊生产中的应用提供数据支持。

1 材料与方法

1.1 试验时间和地点

本试验于2020年10—12月在浙江省湖州市吴兴区农业科学研究院湖羊养殖基地进行。

1.2 试验设计和饲养管理

试验选择体重 $[(23.35 \pm 1.64) \text{ kg}]$ 相近、健康状况良好的湖羊公羔21只,随机分为3组,每组7头羊。每头羊单栏饲养。对照组(control, CON)饲喂基础日粮,豆渣组(soybean residues group, SR)饲喂添加20%未发酵豆渣的日粮,发酵豆渣组(fermented soybean residues group, FSR)饲喂添加20%发酵豆渣的日粮。本试验使用的发酵豆渣的底物组成为80%纯豆渣和20%麸皮,发酵豆渣采用10%比例的混合菌液进行发酵。混合菌液中植物乳杆菌、枯草芽孢杆菌、酿酒酵母菌比例为3:2:1,发酵初始水分为50%,发酵温度为35℃,发酵时间48 h。试验饲粮参考农业行业标准《肉羊饲养标准》(NY/T 816-2004)^[11]。为消除发酵麸皮对试验结果的影响,对照组和豆渣组中使用4%发酵麸皮。发酵麸皮的接种菌液组成、添加剂及发酵条件同发酵豆渣制作。豆渣及发酵豆渣的营养水平见表1。饲粮的组成和营养水平见表2。预饲期7 d,试验期49 d。每天饲喂两次(8:00和17:00),自由采食和饮水。

1.3 测定指标

1.3.1 生长性能 于正试期的第一天和最后一天早上,对所有湖羊进行空腹称重,分别作为初始体重和终末体重。每天记录每只羊的给料量和剩料量,记录干物质采食量(dry matter intake, DMI)。并根据每周体增重计算平均日增重(average daily gain, ADG)和料重比(feed to gain ratio, F/G)。

1.3.2 表观消化率 于正试期的第47~49天,进行为期3 d的消化试验,收集每天的粪样并称重,充分混匀后,取总粪量的10%于自封袋保存。每150 g粪样加10%稀硫酸用于固氮,混合后置于-20℃冰箱保存备用。试验结束后,将饲料样品粉碎,经0.425 mm

表1 豆渣及发酵豆渣的营养水平

Table 1 Nutrient levels of soybean residues and fermented soybean residues(dry matter basis, %)

项目 Items	豆渣 Soybean residues (SR)	发酵豆渣 Fermented soybean residues (FSR)
粗蛋白 Crude protein (CP)	19.16	19.50
粗脂肪 Ether extract (EE)	3.61	2.91
粗灰分 Crude ash (CA)	9.47	8.12
粗纤维 Crude fiber (CF)	13.13	13.73
酸性洗涤纤维 Acid detergent fiber (ADF)	13.25	13.63
中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber (NDF)	37.35	42.93

表2 试验饲料组成及营养水平

Table 2 Composition and nutrient levels of diets(dry matter basis)

项目 Items	对照组 Control group (CON)	豆渣组 Soybean residues group (SR)	发酵豆渣组 Fermented soybean residues group (FSR)
原料 Ingredients			
燕麦干草 Oaten hay (%)	23	23	23
苜蓿干草 Alfalfa hay (%)	17	17	17
玉米 Corn (%)	30.0	23.1	23.6
豆粕 Soybean meal (%)	16.5	14.5	14.0
发酵麸皮 Fermented wheat bran (%)	4	4	—
麸皮 Wheat bran (%)	7	—	—
未发酵豆渣 Soybean residues (%)	—	16	—
发酵豆渣 Fermented soybean residues ¹ (%)	—	—	20
食盐 NaCl (%)	0.8	0.8	0.8
预混料 Premix ² (%)	0.8	0.8	0.8
石粉 Limestone (%)	0.6	0.4	0.4
磷酸氢钙 CaHPO ₄ (%)	0.3	0.4	0.4
营养水平 Nutrient levels ³			
消化能 Digestible energy (MJ·kg ⁻¹)	13.28	13.32	13.37
粗蛋白 Crude protein (%)	17.36	17.15	17.27
粗脂肪 Ether extract (%)	3.86	3.87	3.76
中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber (%)	29.21	31.75	33.23
酸性洗涤纤维 Acid detergent fiber (%)	20.20	20.75	20.85
粗灰分 Crude ash (%)	5.81	5.78	5.74
钙 Ca (%)	0.70	0.73	0.71
磷 P (%)	0.48	0.45	0.43

¹发酵豆渣由80%豆渣和20%麸皮组成的底物发酵而来。The fermented soybean residues used in the test was a mixture containing 80% soybean residues and 20% wheat bran; ²每千克预混料中含有 The premix provided the following per kg of diets: Fe (as ferrous sulfate) 334 mg, Zn (as zinc sulfate) 313 mg, Cu (as copper sulfate) 80 mg, Mn (as manganese sulfate) 251 mg, I (as potassium iodide) 246 mg, Se (as sodium selenite) 44 mg, Co 125 mg, V_A 18000 IU, V_D 3000 IU, V_E 576 IU; ³消化能为计算值,其余为实测值。Digestible energy was a calculated value, while the others were measured values.

网筛过滤后,测定常规营养成分包括:干物质(dry matter,DM)、中性洗涤纤维(neutral detergent fiber,NDF)、粗蛋白(crude protein,CP)、粗脂肪(ether extract,EE)、酸性洗涤纤维(acid detergent fiber,ADF)含量;粪样于 65 ℃条件下烘 48 h,自然条件下回潮 48 h 后称重,计算初水分,然后粉碎,经 0.425 mm 网筛过滤后,测定上述常规营养成分含量,具体测定方法参考张丽英^[12]编著的《饲料分析及饲料质量检测技术》。

1.3.3 血清生化 于试验期第 49 天清晨空腹颈静脉采血 10 mL 于未加抗凝剂的离心管中,待其凝固后 3500 r·min⁻¹离心 10 min,吸取上清液分装并置于-80 ℃冰箱冻存。使用 Procyte 全自动血细胞自动分析仪(IDEXX,美国)测定血液生化指标。

1.3.4 肉品质 屠宰前所有待宰羊只禁食 4 h,通过颈动脉放血致死。屠宰后,采集背最长肌样品进行肉色、肌肉 pH、滴水损失、剪切力、系水力等肉品质的测定。具体测定参考刘东旭等^[13]的方法。

1.3.5 经济效益的计算 增重成本(元·kg⁻¹)=饲料成本(元·只⁻¹·d⁻¹)/日增重(kg·只⁻¹·d⁻¹)。

1.4 数据处理

采用 Excel 2019 进行数据初步整理,使用 SPSS 26.0 进行单因素方差分析(one-way ANOVA),并采用 Duncan 氏法进行多重比较检验,显著性水平为 $P<0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 发酵豆渣对湖羊生长性能和经济效益的影响

2.1.1 发酵豆渣对湖羊生长性能的影响 由表 3 可知,各组湖羊的初始体重无显著差异($P>0.05$),而发酵豆渣组的终末体重较豆渣组显著增加($P<0.05$),与对照组差异不显著。与对照组和豆渣组相比,发酵豆渣组的 ADG 显著提高($P<0.05$),但 DMI 和 F/G 均无显著变化($P>0.05$)。

表 3 发酵豆渣对湖羊生长性能的影响

Table 3 Effects of fermented soybean residues on growth performance of *Hu* sheep

项目 Items	对照组 CON	豆渣组 SR	发酵豆渣组 FSR	标准误 SEM	<i>P</i> 值 <i>P</i> -value
干物质采食量 Dry matter intake (DMI, g·d ⁻¹)	1141.12a	1113.33a	1175.79a	31.15	0.590
初始体重 Initial weight (kg)	23.37a	23.33a	23.36a	0.37	0.990
终末体重 Final weight (kg)	36.01a	33.91b	37.11a	0.54	0.040
平均日增重 Average daily gain (ADG, g·d ⁻¹)	258.02b	216.04c	280.76a	8.25	0.002
料重比 Feed to gain ratio (F/G)	4.49a	5.24a	4.25a	0.20	0.110

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 lowercase letters mean significant difference ($P<0.05$). The same below.

2.1.2 发酵豆渣对湖羊经济效益的影响 由表 4 可知,对照组的饲料成本显著高于豆渣组和发酵豆渣组($P<0.05$)。发酵豆渣组湖羊的增重成本为 8.70 元·kg⁻¹,与对照组和豆渣组相比,分别减少了 2.30 和 2.51 元·kg⁻¹,且差异显著($P<0.05$)。该结果表明,饲喂发酵豆渣可以降低湖羊的养殖成本。

2.2 发酵豆渣对湖羊养分表观消化率的影响

由表 5 可知,发酵豆渣组湖羊的 DM、CP 和 NDF 表观消化率显著高于其他两组($P<0.05$),但三组之间的 EE 和 ADF 表观消化率差异不显著($P>0.05$)。

表 4 发酵豆渣对湖羊经济效益的影响

Table 4 Effects of fermented soybean residues on economic benefit of *Hu* sheep

项目 Items	对照组 CON	豆渣组 SR	发酵豆渣组 FSR	标准误 SEM	<i>P</i> 值 <i>P</i> -value
耗料量 Feed consumption (kg·No. ⁻¹ ·d ⁻¹)	1.14a	1.11a	1.18a	0.31	0.59
饲料成本 Feed cost (yuan·No. ⁻¹ ·d ⁻¹)	2.74a	2.34b	2.35b	0.07	0.01
增重成本 Weight gain cost (yuan·kg ⁻¹)	11.00a	11.21a	8.70b	0.47	0.04

表5 发酵豆渣对湖羊养分表观消化率的影响

Table 5 Effects of fermented soybean residues on nutrient apparent digestibility of *Hu* sheep (%)

项目 Items	对照组 CON	豆渣组 SR	发酵豆渣组 FSR	标准误 SEM	P 值 P-value
干物质 Dry matter	68.88b	68.46b	72.42a	0.43	<0.001
粗蛋白 Crude protein	72.58b	70.22c	74.90a	0.45	<0.001
粗脂肪 Ether extract	73.69a	72.82a	72.79a	0.17	0.370
中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber	60.19b	60.28b	62.31a	0.25	<0.001
酸性洗涤纤维 Acid detergent fiber	52.69a	52.92a	52.96a	0.09	0.463

2.3 发酵豆渣对湖羊屠宰性能及肉品质的影响

由表6可知,各组湖羊的宰前活重、剪切力、蒸煮损失、亮度、黄度、pH_{45 min}和pH_{24 h}无显著性差异($P>0.05$)。与豆渣组相比,发酵豆渣组湖羊的胴体重显著提高($P<0.05$),但与对照组相比,差异不显著($P>0.05$)。与对照组和豆渣组相比,发酵豆渣组的屠宰率和红度显著提高($P<0.05$),滴水损失显著下降($P<0.05$)。

表6 发酵豆渣对湖羊屠宰性能及肉品质的影响

Table 6 Effects of fermented soybean residues on slaughter performance and meat quality of *Hu* sheep

项目 Items	对照组 CON	豆渣组 SR	发酵豆渣组 FSR	标准误 SEM	P 值 P-value
宰前活重 Live weight before slaughter (kg)	36.01a	33.91a	36.83a	0.55	0.075
胴体重 Carcass weight (kg)	17.03a	15.53b	17.84a	0.34	0.010
屠宰率 Dressing percentage (%)	47.24b	45.80c	48.45a	0.38	0.007
剪切力 Shearing force(N)	74.55a	80.98a	78.12a	1.36	0.154
滴水损失 Drip loss (%)	35.45a	30.76b	29.02c	0.11	0.034
蒸煮损失 Cooking loss (%)	35.46a	32.80a	30.39a	1.08	0.159
亮度 L* value	48.11a	49.64a	48.11a	0.48	0.344
红度 a* value	20.80b	19.43c	34.30a	1.56	<0.001
黄度 b* value	8.15a	7.68a	7.78a	0.30	0.812
pH _{45 min}	6.32a	6.38a	6.29a	0.04	0.672
pH _{24 h}	5.54a	5.55a	5.58a	0.02	0.801

注: L*、a*、b*分别表示肉色中的亮度、红度和黄度。

Note: L*, a*, b* indicate brightness, redness and yellowness in meat colour respectively.

2.4 发酵豆渣对湖羊血清生化指标的影响

由表7可知,与对照组和豆渣组相比,发酵豆渣组湖羊的血清总蛋白含量显著提高($P<0.05$),尿素氮含量显著降低($P<0.05$)。与豆渣组相比,发酵豆渣组湖羊的血清白蛋白含量显著提高($P<0.05$),但与对照组之间无显著差异($P>0.05$)。

3 讨论

3.1 日粮中添加发酵豆渣对湖羊生长性能和日粮表观消化率的影响

如前所述,豆渣的抗营养因子较高,如果用其直接饲喂动物,常导致动物采食量和生产性能下降^[14-15]。一些报道显示,使用微生物发酵处理可有效降解豆渣中的木质素与半纤维素之间的化学键,促进纤维向可溶性糖类转化,同时发酵过程中产生的乳酸等物质,也可改善其适口性^[16-18]。本试验发现,3组之间湖羊的干物质采食量相近,结果说明日粮中添加发酵豆渣未对动物采食量产生显著影响,但使用发酵豆渣显著提升了湖羊的平均日增重和终末体重,这一结果说明,发酵豆渣在不影响动物采食量情况下,可提高动物的生产性能,导致该结果的主要原因可能与发酵豆渣日粮提高了湖羊表观消化率有关。本试验中发现发酵豆渣组湖羊的DM、CP和NDF表观消

表 7 发酵豆渣对湖羊血清生化指标的影响

Table 7 Effects of fermented soybean residues on serum biochemical indexes of *Hu* sheep

项目 Items	对照组 CON	豆渣组 SR	发酵豆渣组 FSR	标准误 SEM	P 值 P-value
总蛋白 Total protein ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	59.77c	60.66b	64.33a	0.52	0.002
白蛋白 Albumin ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	30.40a	29.43b	31.83a	0.36	0.015
球蛋白 Globulin ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	29.37a	32.23a	30.66a	0.59	0.139
白球比 Albumin to globulin ratio	1.04a	0.92a	1.04a	0.02	0.055
尿素氮 Urea nitrogen ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)	10.23a	9.20b	7.68c	0.34	0.003
总胆固醇 Total cholesterol ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)	1.70a	1.47a	1.62a	0.04	0.057
甘油三酯 Triglyceride ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)	0.47a	0.40a	0.46a	0.02	0.360
葡萄糖 Glucose ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)	4.51a	4.46a	4.68a	0.06	0.226
碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase ($\text{U} \cdot \text{L}^{-1}$)	463.29a	381.00a	460.00a	19.49	0.149
谷丙转氨酶 Alanine transaminase ($\text{U} \cdot \text{L}^{-1}$)	17.14a	16.86a	20.57a	0.92	0.192
谷草转氨酶 Aspartate aminotransferase ($\text{U} \cdot \text{L}^{-1}$)	119.86a	109.43a	118.57a	3.86	0.509

化率显著高于其他各组。推测这可能与发酵豆渣中含有大量有益微生物有关,一些报道显示,在日粮中添加酵母菌等有益微生物可改善瘤胃发酵,进而提高日粮的表观消化率^[19-21]。本试验研究结果也与薛世崇^[22]和 Tres 等^[23]的研究报道基本一致,他们发现使用混合菌种发酵豆渣后,发酵产物的 DM、CP 和 NDF 在瘤胃内的有效降解率较发酵前相比均显著提高。

3.2 发酵豆渣对湖羊屠宰性能及肉品质的影响

本试验中,饲料中添加 20% 发酵豆渣后,显著提高了湖羊的胴体重和屠宰率。结果说明,日粮中添加发酵豆渣有助于改善营养物质在肌体内的沉积。肌肉 pH 是评定肉品质的重要指标之一,屠宰后 pH 在 5.8~6.8 的羊肉较为优质^[24]。本试验中,各组的 pH_{45 min} 均在优质范围内,但无显著性差异,结果说明使用发酵豆渣不影响肌肉 pH。通常认为,肉色中的亮度(L*)值越低,红度(a*)值越高,黄度(b*)值越低,肉色越好^[25]。本试验中,各组湖羊的肉质的亮度(L*)和黄度(b*)无显著性差异,但发酵豆渣组的红度(a*)显著高于其他两组,表明其肉色较好。剪切力可体现肌肉的嫩度,剪切力越小,肌肉越嫩,口感越好^[26]。本试验中,各组间的剪切力差异不显著,说明饲喂发酵豆渣不会影响肌肉的剪切力。滴水损失反映的是肌肉的保水性能,其值越低说明保水性能越好。本试验中,发酵豆渣组湖羊肌肉的滴水损失较其他各组最低,说明发酵豆渣组湖羊肌肉的保水性能最好。

3.3 发酵豆渣对湖羊血清生化指标的影响

反刍动物血清生化指标是体现动物生长发育规律、生理状态及健康状况的重要指标之一,可为动物临床上诊断疾病、防治疾病及合理饲养管理提供重要依据。一些已有的研究表明,发酵饲料或益生菌及其组分可影响反刍动物血液生化指标。在犊牛上的研究表明,酵母细胞壁通过产生抗体和提高嗜菌作用活性等激发机体体液免疫和细胞免疫,改善宿主健康^[27]。彭忠利等^[28]研究发现,饲料中添加发酵饲料可显著降低乐至黑山羊血清中的尿素氮含量,但对血清总蛋白和白蛋白没有显著影响。Zhang 等^[29]研究发现,饲料中添加 2% 发酵饲料可显著提高育肥羊总蛋白、葡萄糖和碱性磷酸酶含量。血清总蛋白含量主要反映了机体对饲料中蛋白质的摄入水平以及代谢情况,而血清尿素氮浓度主要反映了氮的利用和饲料氨基酸的平衡情况^[30]。本试验中,与其他两组相比,发酵豆渣组的血清总蛋白含量显著提高,尿素氮含量显著降低,说明饲喂发酵豆渣可以促进氮在体内沉积,提高饲料中蛋白质利用率。

4 结论

日粮中添加发酵豆渣可显著提高湖羊的平均日增重、胴体重、屠宰率和血清总蛋白含量,显著提高日粮 DM、CP 和 NDF 的表观消化率,降低尿素氮含量。结果说明肉羊饲料中添加发酵豆渣有助于降低动物的养殖成本,改善肉质。

参考文献 References:

- [1] Zhang Y G, Zhang G N, Fang X P, *et al.* Research progress in fermented total mixed ration. *Feed Industry*, 2019, 40(20): 1—5.
张永根, 张广宁, 房新鹏, 等. 发酵全混合日粮的研究进展. *饲料工业*, 2019, 40(20): 1—5.
- [2] Li J K, Wang X Y, Zhao J X, *et al.* Effects of different additives on fermentation quality and aerobic stability of soybean milk type and soybean residues type fermented feeds. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32(3): 1424—1433.
李金库, 王雪洋, 赵峻祥, 等. 不同添加剂对豆浆型和豆渣型发酵饲料发酵品质及有氧稳定性的影响. *动物营养学报*, 2020, 32(3): 1424—1433.
- [3] Vong W C, Liu S Q. Changes in volatile profile of soybean residue (okara) upon solid-state fermentation by yeasts: Soybean residue fermentation by yeasts. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2017, 97(1): 135—143.
- [4] Sath P K, Duhan S, Duhan J S. Agro-industrial wastes and their utilization using solid state fermentation: A review. *Bioresources and Bioprocessing*, 2018, 5(1): 1—2.
- [5] Zhu G Y, Zhu X, Xiao Z B, *et al.* Pyrolysis characteristics of bean residues and *in situ* visualization of pyrolysis transformation. *Waste Management*, 2012, 32(12): 2287—2293.
- [6] Purewal S, Salar R, Bhatti M, *et al.* Solid-state fermentation of pearl millet with *Aspergillus oryzae* and *Rhizopus azygosporus*: Effects on bioactive profile and DNA damage protection activity. *Food Measure*, 2020, 14: 150—162.
- [7] Mok W K, Tan Y X, Lee J, *et al.* A metabolomic approach to understand the solid-state fermentation of okara using *Bacillus subtilis* WX-17 for enhanced nutritional profile. *AMB Express*, 2019, 9(1): 60.
- [8] Gupta S, Lee J J L, Chen W N. Analysis of improved nutritional composition of potential functional food (okara) after probiotic solid-state fermentation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2018, 66(21): 5373—5381.
- [9] Cai H Y, Yu J Y, Liu S J, *et al.* Feed with liquid feeding on growth performance for growing finishing pigs. *Feed Industry*, 2018, 39(16): 1—5.
蔡辉益, 于继英, 刘世杰, 等. 发酵豆渣替代部分颗粒饲料液体饲喂生长育肥猪效果. *饲料工业*, 2018, 39(16): 1—5.
- [10] Liu J Z, Zhao L Y, Huang K, *et al.* Effect of fermented bean residues supplementation on the reproductive performance, placental efficiency, and placental nutrient transportation in sows. *Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2020, 52(8): 16—21.
刘俊泽, 赵靛瑜, 黄凯, 等. 日粮添加发酵豆渣对母猪产仔性能、胎盘效率和胎盘营养物质转运的影响. *畜牧与兽医*, 2020, 52(8): 16—21.
- [11] Wang X W, Ma Q, Zhao Z W. Effect of diets with different nutritional levels on fattening effect of beach sheep lambs based on “NY/T 816-2004 Meat Sheep Feeding Standard”. *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*, 2019, 5(4): 62—63, 66.
王晓薇, 马青, 赵正伟. 基于《NY/T 816-2004 肉羊饲养标准》的不同营养水平日粮对滩羊羔羊育肥效果的影响. *黑龙江畜牧兽医*, 2019, 5(4): 62—63, 66.
- [12] Zhang L Y. *Feed analysis and feed quality inspection technology (The 2nd Edition)*. Beijing: China Agricultural University Press, 2007.
张丽英. *饲料分析及饲料质量检测技术(第2版)*. 北京: 中国农业大学出版社, 2007.
- [13] Liu D X, Wang X, Zhu C M, *et al.* Effects of fermented soybean meal and fermented bran on slaughter performance and meat quality of *Hu* sheep. *Journal of Anhui Science and Technology University*, 2020, 34(5): 6—10.
刘东旭, 王翔, 朱崇森, 等. 发酵豆粕、麸皮对湖羊屠宰性能及肉品质的影响. *安徽科技学院学报*, 2020, 34(5): 6—10.
- [14] Shi C B, An S Y, Zhao J, *et al.* Effects of adding *Pleurotus eryngii* substrate to diet on growth performance, rumen fermentation characteristics and rumen development of *Hu* sheep. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2020, 43(6): 1063—1071.
史陈博, 安世钰, 赵洁, 等. 日粮中添加杏鲍菇菌糠对湖羊生长性能、瘤胃发酵和瘤胃发育的影响. *南京农业大学学报*, 2020, 43(6): 1063—1071.
- [15] Jin S L. Properties of soya bean curd and its application in livestock production. *Guangdong Feed*, 2017, 26(4): 40—42.
靳世磊. 豆腐渣的特性及其在畜牧生产上的应用. *广东饲料*, 2017, 26(4): 40—42.
- [16] Vong W C, Au Y K, Ling C, *et al.* Okara (soybean residue) biotransformation by yeast *Yarrowia lipolytica*. *International Journal of Food Microbiology*, 2016, 235(1): 1—9.
- [17] Wang Y F, Li Q. Effects of different levels of fermented soybean residues in feed on growth performance, slaughter performance

- and economic benefits of finishing pigs. *China Feed*, 2021(5): 127–130.
- 王雅菲, 李强. 饲料中添加不同水平的发酵豆渣对育肥猪生长性能、屠宰性能及经济效益指标的影响. *中国饲料*, 2021(5): 127–130.
- [18] Tong D, Wang S Z. Preliminary study on the application of fermented soybean residue in beef cattle feed. *Rural Economy and Science—Technology*, 2020, 31(9): 97–98.
- 童丹, 王思珍. 发酵豆渣在肉牛饲料中应用的初步研究. *农村经济与科技*, 2020, 31(9): 97–98.
- [19] Poppi A C D O, Lazzari G, Gomes A L M, *et al.* Effects of feeding a live yeast on rumen fermentation and fiber degradability of tropical and subtropical forages. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2021, 101(15): 6220–6227.
- [20] Wang Z J. The quality evaluation of fermentation and the combinatorial optimization of forage. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2016.
- 王志军. 饲草组合优化及其发酵品质评价. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2016.
- [21] Promkot C, Nitipot P, Piamphon N, *et al.* Cassava root fermented with yeast improved feed digestibility in Brahman beef cattle. *Animal Production Science*, 2017, 57(8): 1613–1617.
- [22] Xue S C. Study on fermentation process for ruminant feed in soybean residues by solid-state fermentation. Harbin: Northeast Agricultural University, 2016.
- 薛世崇. 固态发酵豆渣作为反刍动物饲料工艺条件的研究. 哈尔滨: 东北农业大学, 2016.
- [23] Tres T T, Jobim C C, Diaz T G, *et al.* Okara or soybean grain added to the rehydrated corn grain silage for cattle: Digestibility, degradability and ruminal parameters. *Acta Scientiarum Animal Sciences*, 2020, 42(4): 485–493.
- [24] Wu F F, Mao J Y, Ding L Y, *et al.* Research progress on influencing factors of mutton pH change and its glycogen metabolism pathway mechanism. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32(2): 571–577.
- 吴非凡, 茆建昱, 丁洛阳, 等. 影响羊肉 pH 变化的因素及其糖原代谢通路机制的研究进展. *动物营养学报*, 2020, 32(2): 571–577.
- [25] Yin Y Y, Jiang Y Q, Huang J, *et al.* Effects of silage feeding rape on growth performance, slaughter performance, rumen fermentation and organ development of *Hu* sheep. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2021, 33(2): 1153–1162.
- 殷雨洋, 蒋永清, 黄杰, 等. 青贮饲用油菜对湖羊生长性能、屠宰性能、瘤胃发酵及器官发育的影响. *动物营养学报*, 2021, 33(2): 1153–1162.
- [26] Redoy M, Shuvo A, Cheng L, *et al.* Effect of herbal supplementation on growth, immunity, rumen histology, serum antioxidants and meat quality of sheep. *Animal*, 2020, 14(11): 2433–2441.
- [27] Razavi S A, Pourjafar M, Hajimohammadi A, *et al.* Effects of dietary supplementation of bentonite and yeast cell wall on serum blood urea nitrogen, triglyceride, alkaline phosphatase, and calcium in high-producing dairy cattle during the transition period. *Comparative Clinical Pathology*, 2019, 28(2): 419–425.
- [28] Peng Z L, Guo C H, Bai X, *et al.* Effects of fermented feed on production performance, digestibility of dietary nutrients, blood biochemical indices in goat. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2013, 15(5): 106–113.
- 彭忠利, 郭春华, 柏雪, 等. 微生物发酵饲料对乐至黑山羊生产性能、养分消化率与血液生化指标的影响. *中国农业科技导报*, 2013, 15(5): 106–113.
- [29] Zhang C, Zhang C Y, Du M Y, *et al.* Effects of dietary supplementation with different fermented feeds on performance, nutrient digestibility, and serum biochemical indexes of fattening lambs. *Animal Bioscience*, 2021, 34(4): 633–641.
- [30] Chaidate L, Somchai C, Jos N, *et al.* A cow-level association of ruminal pH on body condition score, serum beta-hydroxybutyrate and postpartum disorders in Thai dairy cattle. *Animal Science Journal*, 2015, 85(9): 861–867.