

徐途谦, 刘丰慧, 张文凤, 等. 日粮中添加中草药对湖羊瘤胃液体外发酵特性及甲烷排放的影响[J]. 江苏农业学报, 2026, 42(3): 591-597.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2026.03.017

日粮中添加中草药对湖羊瘤胃液体外发酵特性及甲烷排放的影响

徐途谦^{1,2}, 刘丰慧², 张文凤², 张建丽^{2,3,4}, 张俊^{1,3,4}, 李隐侠^{2,3,4}, 熊波¹, 孟春花^{2,3,4}, 钱勇^{2,3,4}

(1.南京农业大学动物科技学院, 江苏 南京 210095; 2.江苏省农业科学院畜牧研究所, 江苏 南京 210014; 3.农业农村部种养结合重点实验室, 江苏 南京 210014; 4.江苏省畜禽精准育种工程研究中心, 江苏 南京 210014)

摘要: 为探究中草药对湖羊瘤胃功能的影响, 本研究以全混合日粮为基础, 分别添加紫苏籽(T1)、使君子(T2)、黄芪(T3)、乌梅(T4)、南瓜籽(T5), 另设置不含中草药的全混合日粮作为对照(CK), 利用瘤胃液体外发酵48 h后测定相关指标。结果表明, 各处理瘤胃液体外发酵液 pH 值与对照相比均无显著变化($P>0.05$)。T4 处理瘤胃液体外发酵产气量显著高于对照($P<0.05$), T2 处理瘤胃液体外发酵产气量显著低于对照($P<0.05$)。T2 处理瘤胃液体外发酵甲烷产量显著低于对照($P<0.05$), 且 T2 处理瘤胃液体外发酵液乙酸与丙酸比显著高于对照($P<0.05$)。表明饲料中添加使君子有助于实现减少温室气体排放和提高饲料能量转化效率的双重目标。在营养物质降解方面, T1 处理、T5 处理中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维降解率显著高于对照($P<0.05$)。可能是因为紫苏籽和南瓜籽中的活性成分能够促进纤维分解菌增殖, 从而提升纤维素与半纤维素等碳水化合物的降解效率。T2 处理干物质降解率显著低于对照($P<0.05$)。T1 处理、T2 处理、T3 处理、T4 处理、T5 处理蛋白质降解率与对照相比均无显著差异($P>0.05$)。综上, 紫苏籽和南瓜籽能有效提升纤维素与半纤维素等碳水化合物的降解效率, 使君子则显著抑制瘤胃发酵产气, 这为通过中草药添加剂提升饲料利用效率及减少温室气体排放提供了理论依据。

关键词: 瘤胃液; 中草药; 湖羊; 温室气体; 体外产气

中图分类号: S826 文献标识码: A 文章编号: 1000-4440(2026)03-0591-07

Effects of dietary supplementation with Chinese herbal medicines on *in vitro* rumen fermentation characteristics and methane emissions of Hu sheep

XU Erqian^{1,2}, LIU Fenghui², ZHANG Wenfeng², ZHANG Jianli^{2,3,4}, ZHANG Jun^{1,3,4}, LI Yinxia^{2,3,4}, XIONG Bo¹, MENG Chunhua^{2,3,4}, QIAN Yong^{2,3,4}

(1. College of Animal Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2. Institute of Animal Science, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 3. Key Laboratory of Crop-Livestock Integration, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Nanjing 210014, China; 4. Jiangsu Engineering Research Center for Precision Breeding of Livestock and Poultry, Nanjing 210014, China)

收稿日期: 2025-03-20

基金项目: 江苏省农业科技自主创新基金项目[CX(23)1003]

作者简介: 徐途谦(2001-), 男, 广东潮州人, 硕士研究生, 从事动物营养与繁殖研究。(E-mail) 1254181024@qq.com

通讯作者: 孟春花, (E-mail) mengchunhua@jaas.ac.cn; 钱勇, (E-mail) jaasqy@jaas.ac.cn

Abstract: To investigate the effects of Chinese herbal medicines on rumen function in Hu sheep, this study used a total mixed ration (TMR) as the basal diet, with supplementary perilla seed (T1), quisqualis fruit (T2), astragalus root (T3), dark plum fruit (T4), and pumpkin seed (T5), while a TMR without Chinese herbal

medicines was set as the control (CK). Relevant indicators were determined after 48 hours of *in vitro* rumen fermentation using rumen fluid. The results showed that there were no significant changes in the pH of *in vitro* rumen fermentation fluid between the treatment groups and the control group ($P>0.05$). The cumulative gas production of rumen fermentation in T4 was significantly higher than that in the control ($P<0.05$), while that in T2 was significantly lower than that in the control ($P<0.05$). The methane production of rumen fermentation in T2 was significantly lower than that in the control ($P<0.05$), and the acetate-to-propionate ratio in rumen fermentation fluid of T2 was significantly higher than that in the control ($P<0.05$). These findings indicated that dietary supplementation with quisqualis fruit could help achieve the dual goals of reducing greenhouse gas emissions and improving feed energy conversion efficiency. Regarding nutrient degradation, the degradation rates of neutral detergent fiber and acid detergent fiber in T1 and T5 were significantly higher than those in the control ($P<0.05$). This may be attributed to the fact that the active components in perilla seed and pumpkin seed can promote the proliferation of fiber-degrading bacteria, thereby enhancing the degradation efficiency of carbohydrates such as cellulose and hemicellulose. The dry matter degradation rate in T2 was significantly lower than that in the control ($P<0.05$). There were no significant differences in protein degradation rates between T1, T2, T3, T4, T5 and the control ($P>0.05$). In conclusion, perilla seed and pumpkin seed can effectively improve the degradation efficiency of carbohydrates such as cellulose and hemicellulose, while quisqualis fruit significantly suppresses rumen fermentation gas production. This study provides a theoretical basis for improving feed utilization efficiency and reducing greenhouse gas emissions through the use of Chinese herbal medicine additives.

Key words: rumen fluid; Chinese herbal medicine; Hu sheep; greenhouse gases; *in vitro* gas production

随着全球气温变暖问题日益严重,节能减排已成为各行各业关注的焦点。在过去 100 年,甲烷的全球增温潜势约为二氧化碳的 34 倍^[1]。畜牧业是温室气体排放的重要来源,其全产业链贡献了全球温室气体排放总量的 51% 以上。其中,反刍动物瘤胃发酵产生的甲烷占全球甲烷排放量的 28%,且每年以 1% 的速度递增^[2]。研究表明,反刍动物因甲烷排放导致的日粮干物质能量损失为 2%~15%,具体损失量受日粮组成和瘤胃 pH 值等因素的影响^[3]。理论上,这部分能量可被用于动物生长或产奶。因此,降低反刍动物甲烷排放量不仅有助于缓解温室效应,还可提升肉类和奶制品的生产效率与经济收益,对构建绿色养殖体系具有重要意义。

近年来,中草药在调控反刍动物瘤胃发酵及减少甲烷生成方面的作用受到关注。紫苏籽具有降气化痰、平喘润肠等功效,可以通过调节营养物质代谢改善动物生长性能与饲料利用率,在增强细胞免疫与体液免疫的同时提高机体抗病能力。此外,紫苏子提取物还能通过调控动物脂肪沉积与肌肉发育,改善其胴体品质与肌肉嫩度^[4]。使君子作为一种驱虫类中草药,具有抗原虫、促进溃疡修复及刺激胆汁分泌、增强脂肪消化能力的作用^[5]。黄芪则具有抗氧化、利尿、抗炎和增强免疫的功效,其活性成分可通过调节动物瘤胃微生物代谢网络,促进瘤胃黏

膜发育并提高营养代谢效率^[6]。乌梅常用于改善动物胃肠功能,具有润肠通便、促进消化及调节肠道菌群的作用^[7]。南瓜籽中富含水溶性膳食纤维,可增强动物胃肠道黏膜屏障功能,其活性成分还能调节消化酶活性、促进胆汁分泌与胃肠蠕动,从而提高营养物质的消化吸收效率^[8]。本研究拟采用体外产气法,系统评估紫苏籽、使君子、黄芪、乌梅及南瓜籽 5 种中草药对反刍动物瘤胃发酵特性及营养物质代谢的调控作用,以期开发畜牧业节能减排新策略提供理论依据。

1 材料与amp;方法

1.1 试验材料

以全混合日粮(TMR)为发酵底物。发酵底物经 65 ℃ 恒温干燥 24 h,随后参照标准流程风干并粉碎,过 80 目筛备用。瘤胃液采集自江苏省农业科学院六合动物科学基地种羊场内 3 只健康、体重相近、安装有永久性瘤胃瘘管的湖羊母羊。这些母羊年龄与胎次相同,体质状况良好。饲料由粗饲料与精饲料按 2 : 1 (质量比) 配制,粗饲料为发酵稻草,粗饲料营养成分含量、精饲料组成及其营养成分含量如表 1 所示。

1.2 试验设计

本研究以 0.36 g 全混合日粮为基础,分别添加 0.04 g 紫苏籽(T1)、0.04 g 使君子(T2)、0.04 g 黄

芪(T3)、0.04 g 乌梅(T4)、0.04 g 南瓜籽(T5),另设置0.40 g 全混合日粮作为对照(CK)。每处理均设6个重复,其中3个重复用于测定粗蛋白含量,另外3个重复用于测定中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量。将所有底物装入纤维袋中并封口。将封口的纤维袋放入产气瓶中。将瘤胃液与人工瘤胃液缓冲液按1:2(体积比)混合,人工瘤胃缓冲液配方^[9]如表2和表3所示。向每个产气瓶注入40 mL混合

液,充入CO₂气体营造厌氧环境,密封瓶口,并置于39.5℃恒温培养箱中培养48 h。培养期间定期摇晃产气瓶使内容物混合均匀。发酵结束后,立即测定总产气量,并分别收集气体、发酵残渣及发酵液。随后对气体成分、体外发酵参数及营养物质含量进行测定与分析^[10]。本试验方案已通过江苏省农业科学院动物伦理委员会审查批准(批准号:江苏省农业科学院第63号)。

表1 精饲料和粗饲料营养成分及水平

Table 1 Nutritional composition and levels of concentrate and roughage

精饲料成分	含量(%)	精饲料营养成分	含量(%)	粗饲料营养成分	含量(%)
玉米	43.00	干物质	89.57	干物质	46.27
麸皮	10.00	粗蛋白质	17.14	粗蛋白质	2.57
豆粕	9.20	粗脂肪	4.91	粗脂肪	4.69
蛋白粉	7.00	粗纤维	5.08	粗纤维	15.48
米皮	4.96	中性洗涤纤维	20.37	中性洗涤纤维	44.61
DDGS	11.48	酸性洗涤纤维	7.95	酸性性洗涤纤维	16.44
胚芽粕	4.90	灰分	9.17	灰分	7.82
花生藤	4.96	钙	1.18	钙	0.85
4%肉羊预混料	4.00	磷	0.55	磷	0.43

每1 kg 4%肉羊预混料包含维生素A 180 000~300 000 IU、维生素D₃ 70 000~120 000 IU、d1-α-生育酚乙酸酯>1 300 mg、锌1 200~3 600 mg、碘20~60 mg、铜60~150 mg、硒10~30 mg、钴7~21 mg、氯化钠12%~24%、钙15%~30%、水分<10%。DDGS:酒糟蛋白饲料。所有营养成分含量为实测值,以干物质计。

表2 人工瘤胃缓冲液配制方法

Table 2 Preparation method of artificial rumen buffer solution

溶液	配制方法
微量元素溶液(A)	CaCl ₂ ·2H ₂ O 13.20 g、MnCl ₂ ·4H ₂ O 10.00 g、CoCl ₂ ·6H ₂ O 1.00 g、FeCl ₃ ·6H ₂ O 8.00 g,用蒸馏水溶解定容至100.00 mL
缓冲液(B)	NaHCO ₃ 35.00 g、NH ₄ HCO ₃ 4.00 g,用蒸馏水溶解定容至1 000.00 mL
常量元素溶液(C)	Na ₂ HPO ₄ ·12H ₂ O 14.37 g、KH ₂ PO ₄ 6.20 g、MgSO ₄ ·7H ₂ O 0.60 g,用蒸馏水溶解定容至1 000.00 mL
刃天青溶液(D)	刃天青 100.00 mg,用蒸馏水溶解定容至100.00 mL
还原剂溶液(E)	1 mol/L NaOH 溶液 2.00 mL、Na ₂ S·9H ₂ O 312.50 mg,加入47.50 mL蒸馏水

表3 人工瘤胃缓冲液组分

Table 3 Composition of artificial rumen buffer solution

溶液	体积(mL)
微量元素溶液(A)	0.12
缓冲液(B)	237.00
常量元素溶液(C)	237.00
刃天青溶液(D)	1.22
还原剂溶液(E)	49.50
蒸馏水	474.00

1.3 样品采集及测定指标

1.3.1 产气量测定 厌氧发酵48 h后,将产气瓶从培养箱中取出,使用测压仪(南京左首电子科技有限公司产品)测定产气量。

1.3.2 营养物质消化率测定 恒温培养48 h后,将纤维袋取出,反复漂洗后置于65℃恒温干燥箱中烘干至恒重。随后测定纤维袋中样品的干物质含量、粗蛋白含量、中性洗涤纤维含量和酸性洗涤纤维含量,并计算各营养成分的降解率。以上物质含量的

测定方法分别参照《饲料中水分的测定》(GB/T 6435-2014)、《饲料中粗蛋白的测定 凯氏定氮法》(GB/T 6432-2018)、《饲料中中性洗涤纤维(NDF)的测定》(GB/T 20806-2022)和《饲料中酸性洗涤纤维的测定》(NY/T 1459-2022)。

1.3.3 pH 值测定 使用 pH 计(Mettler Toledo 公司产品)分别测定新鲜采集并过滤的瘤胃液和经过 48 h 恒温培养的发酵液体 pH 值。

1.3.4 短链挥发性脂肪酸含量测定 取 1.5 mL 体外发酵 48 h 的液体,加入 75 μ L 34% 磷酸进行酸化。将混合液转移至 2 mL 离心管中,在 10 000 r/min 条件下离心 5 min,取上清液稀释并过滤,采用气相色谱仪(岛津公司产品)进行分析。色谱条件如下:色谱柱为 SK-WAX (30.00 m \times 0.53 mm \times 1.00 μ m),火焰离子化检测器(FID),氮气作为载气;进样口温度 150 $^{\circ}$ C,火焰离子化检测器温度 230 $^{\circ}$ C,分流比 1:10;柱箱升温程序为:初始温度 50 $^{\circ}$ C 保持 2 min,以 50 $^{\circ}$ C/min 升至 150 $^{\circ}$ C 并保持 0.5 min,再以 30 $^{\circ}$ C/min 升至 230 $^{\circ}$ C 并保持 1.2 min;进样量为 1 μ L。

1.3.5 体外产气气体组分测定 收集体外发酵 48 h 后的气体样品 1 mL,使用气体采样袋保存,采用气相色谱仪(岛津公司产品)进行气体成分分析。色谱条件如下:进样器温度 130 $^{\circ}$ C,柱温 130 $^{\circ}$ C,热导检测器温度 150 $^{\circ}$ C,电流 60 mA,载气为氢气,流速 40 mL/min。

1.3.6 数据统计与分析 试验数据经 Excel 初步整理后,利用 SPSS 27.0 软件进行单因素方差分析,组间比较利用 Duncan 氏多重比较检验。以 $P < 0.05$ 表示差异显著, $P < 0.01$ 表示差异极显著。

2 结果与分析

2.1 中草药对湖羊瘤胃液体体外发酵产气的影响

如表 4 所示,T1 处理、T3 处理、T5 处理湖羊瘤胃液体体外发酵产气量与对照相比均无显著差异($P > 0.05$),T4 处理体外发酵产气量显著高于对照($P < 0.05$),T2 处理体外发酵产气量显著低于对照($P < 0.05$)。体外发酵产生的气体的主要成分是 CO_2 , N_2 和 CH_4 的含量较低。T1 处理、T2 处理、T3 处理、T4 处理、T5 处理体外发酵 CO_2 和 N_2 产量与对照相比均无显著差异($P > 0.05$);T2 处理体外发酵 CH_4 产量显著低于对照($P < 0.05$)。

表 4 中草药对湖羊瘤胃液体体外发酵产气的影响

Table 4 Effects of Chinese herbal medicines on gas production in *in vitro* rumen fluid fermentation of Hu sheep

处理	产气量 (mL)	CH_4 产量 (mL)	N_2 产量 (mL)	CO_2 产量 (mL)
CK	73.50 \pm 2.74b	26.43 \pm 0.16a	38.84 \pm 13.42a	245.20 \pm 5.53a
T1	74.33 \pm 2.73b	24.57 \pm 0.80a	41.86 \pm 9.15a	246.57 \pm 0.13a
T2	69.33 \pm 3.20c	24.00 \pm 0.14b	42.24 \pm 3.86a	231.75 \pm 8.24a
T3	72.83 \pm 3.55b	26.95 \pm 1.26a	37.81 \pm 1.84a	243.73 \pm 12.29a
T4	77.17 \pm 3.37a	27.37 \pm 1.74a	37.96 \pm 4.72a	256.17 \pm 5.11a
T5	71.33 \pm 1.86b	27.09 \pm 0.26a	47.78 \pm 14.63a	229.12 \pm 20.55a

T1:0.04 g 紫苏籽+0.36 g 全混合日粮;T2:0.04 g 使君子+0.36 g 全混合日粮;T3:0.04 g 黄芪+0.36 g 全混合日粮;T4:0.04 g 乌梅+0.36 g 全混合日粮;T5:0.04 g 南瓜籽+0.36 g 全混合日粮;CK:0.40 g 全混合日粮。同一列数据后不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

2.2 中草药对瘤胃液体体外发酵液挥发性脂肪酸含量的影响

如表 5 所示,对照、T1 处理、T2 处理、T3 处理、T4 处理、T5 处理湖羊瘤胃液体体外发酵液 pH 值和对照相比均无显著差异($P > 0.05$);T3 处理瘤胃液体体外发酵液乙酸和丁酸含量显著高于对照($P < 0.05$),T2 处理瘤胃液体体外发酵液乙酸、丁酸和丙酸含量低于对照($P < 0.05$)。T1 处理、T2 处理、T3 处理、T4 处理瘤胃液体体外发酵液乙酸与丙酸比均显著高于对照($P < 0.05$)。

2.3 中草药对湖羊营养物质降解率的影响

2.3.1 中草药对干物质降解率的影响 如图 1 所示,T1 处理、T3 处理、T4 处理、T5 处理干物质降解率与对照相比均无显著差异($P > 0.05$),而 T2 处理干物质降解率显著低于对照($P < 0.05$)。

2.3.2 中草药对粗蛋白降解率的影响 如图 2 所示,对照、T1 处理、T2 处理、T3 处理、T4 处理、T5 处理间粗蛋白降解率均无显著差异($P > 0.05$)。

2.3.3 中草药对中性洗涤纤维及酸性洗涤纤维降解率的影响 如图 3 所示,对照、T2、T3、T4 处理间中性洗涤纤维降解率均无显著差异($P > 0.05$)。T1、T5 处理中性洗涤纤维降解率显著高于对照($P < 0.05$)。

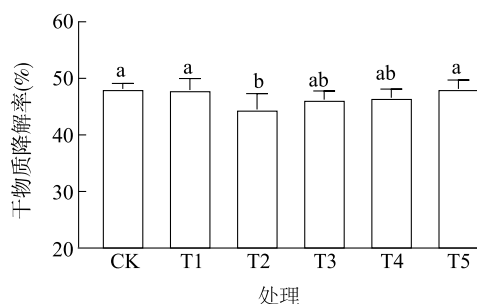
如图 4 所示,T1 处理、T5 处理酸性洗涤纤维降解率显著高于对照($P < 0.05$),对照、T2 处理、T3 处理、T4 处理间酸性洗涤纤维降解率均无显著差异($P > 0.05$)。

表5 中草药对瘤胃液体体外发酵挥发性脂肪酸含量的影响

Table 5 Effects of Chinese herbal medicines on the content of volatile fatty acids in the *in vitro* rumen fermentation fluid

处理	pH 值	乙酸含量(%)	丙酸含量(%)	丁酸含量(%)	乙酸与丙酸比
对照	6.30±0.03a	2.77±0.38b	1.12±0.17a	0.66±0.09b	2.48±0.05b
T1	6.32±0.05a	3.10±1.27b	1.19±0.47a	0.70±0.29b	2.59±0.06a
T2	6.31±0.03a	1.91±0.38c	0.72±0.14b	0.47±0.08c	2.64±0.15a
T3	6.28±0.02a	3.66±0.43a	1.36±0.18a	0.86±0.12a	2.70±0.11a
T4	6.26±0.03a	3.19±0.18b	1.16±0.08a	0.73±0.04b	2.76±0.10a
T5	6.30±0.03a	3.30±0.87b	1.35±0.39a	0.76±0.21b	2.47±0.07b

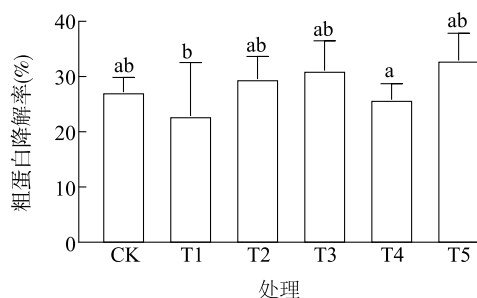
T1:0.04 g 紫苏籽+0.36 g 全混合日粮;T2:0.04 g 使君子+0.36 g 全混合日粮;T3:0.04 g 黄芪+0.36 g 全混合日粮;T4:0.04 g 乌梅+0.36 g 全混合日粮;T5:0.04 g 南瓜籽+0.36 g 全混合日粮;CK:0.40 g 全混合日粮。同一列数据后不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。



T1:0.04 g 紫苏籽+0.36 g 全混合日粮;T2:0.04 g 使君子+0.36 g 全混合日粮;T3:0.04 g 黄芪+0.36 g 全混合日粮;T4:0.04 g 乌梅+0.36 g 全混合日粮;T5:0.04 g 南瓜籽+0.36 g 全混合日粮;CK:0.40 g 全混合日粮。图柱上不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

图1 中草药对干物质降解率的影响

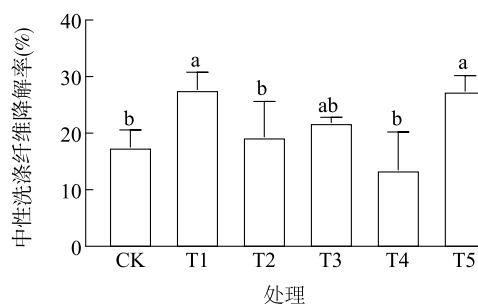
Fig.1 Effects of Chinese herbal medicines on dry matter degradation rate



T1:0.04 g 紫苏籽+0.36 g 全混合日粮;T2:0.04 g 使君子+0.36 g 全混合日粮;T3:0.04 g 黄芪+0.36 g 全混合日粮;T4:0.04 g 乌梅+0.36 g 全混合日粮;T5:0.04 g 南瓜籽+0.36 g 全混合日粮;CK:0.40 g 全混合日粮。图柱上不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

图2 中草药对粗蛋白降解率的影响

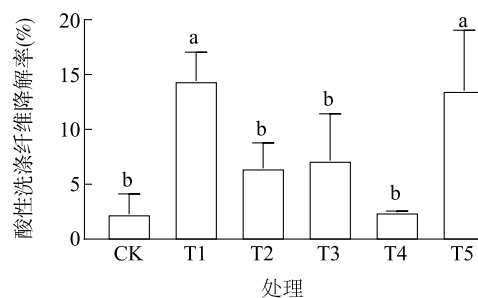
Fig.2 Effects of Chinese herbal medicines on crude protein degradation rate



T1:0.04 g 紫苏籽+0.36 g 全混合日粮;T2:0.04 g 使君子+0.36 g 全混合日粮;T3:0.04 g 黄芪+0.36 g 全混合日粮;T4:0.04 g 乌梅+0.36 g 全混合日粮;T5:0.04 g 南瓜籽+0.36 g 全混合日粮;CK:0.40 g 全混合日粮。图柱上不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

图3 中草药对中性洗涤纤维降解率的影响

Fig.3 Effects of Chinese herbal medicines on neutral detergent fiber degradation rate



T1:0.04 g 紫苏籽+0.36 g 全混合日粮;T2:0.04 g 使君子+0.36 g 全混合日粮;T3:0.04 g 黄芪+0.36 g 全混合日粮;T4:0.04 g 乌梅+0.36 g 全混合日粮;T5:0.04 g 南瓜籽+0.36 g 全混合日粮;CK:0.40 g 全混合日粮。图柱上不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

图4 中草药对酸性洗涤纤维降解率的影响

Fig.4 Effects of Chinese herbal medicines on acid detergent fiber degradation rate

3 讨论

3.1 中草药对湖羊瘤胃液体外产气的影响

体外发酵产气参数是评估反刍动物瘤胃发酵特性及饲料能量利用效率的重要指标,可反映瘤胃微生物群落的代谢活性与底物降解效率。研究结果表明,在体外发酵过程中,累计产气量和消化参数呈显著正相关($P < 0.05$),并且随着瘤胃微生物代谢活性的增强,产气量增加^[11]。瘤胃发酵气体主要为微生物代谢可溶性碳水化合物等营养物质所产生的挥发性脂肪酸、甲烷、氢气和二氧化碳等^[12-13]。瘤胃发酵过程中,随着丙酸生成量增加,产甲烷菌的活性受到抑制,甲烷产量通常与乙酸浓度呈正相关,而与丙酸浓度呈负相关^[14-15]。本研究中,T2处理瘤胃液体外发酵甲烷产量显著低于对照($P < 0.05$),T2处理瘤胃发酵液乙酸与丙酸比显著高于对照($P < 0.05$)。表明饲料中添加使君子有助于实现减少温室气体排放和提高饲料能量转化效率的双重目标。

3.2 中草药对湖羊瘤胃挥发性脂肪酸(VFA)的影响

瘤胃液 pH 值是反映瘤胃内环境稳态的关键指标,湖羊瘤胃液的初始 pH 值为 5.5,经 48 h 恒温培养后,各处理 pH 均呈上升趋势。当 pH 值为 6.2~6.8 时,瘤胃发酵效率较高,pH 值过低或过高都会抑制瘤胃微生物活性,甚至可能引发瘤胃酸中毒^[16]。本研究中,各处理 pH 值均处于正常范围内。在反刍动物瘤胃微生物降解过程中,日粮碳水化合物的主要代谢终产物为挥发性脂肪酸。挥发性脂肪酸不仅是动物的主要能量来源,可为瘤胃上皮细胞提供能量并维持内环境稳态,其缓冲体系还有助于维持纤维分解菌的活性。此外,挥发性脂肪酸还能作为碳骨架前体物质,通过三羧酸循环参与微生物蛋白质的合成。丁酸作为反刍动物瘤胃上皮细胞发育的主要能量来源,可刺激瘤胃上皮细胞增殖与分化^[17-18]。本研究中,T3处理瘤胃液体外发酵液丁酸含量显著高于对照($P < 0.05$),表明黄芪可通过促进湖羊瘤胃上皮细胞增殖,进而提升日粮养分消化率并改善生产性能。

3.3 中草药对营养物质消化率的影响

表观消化率是评估反刍动物对饲料消化利用程度的关键指标。中性洗涤纤维与酸性洗涤纤维作为粗饲料的主要能量来源,其在瘤胃中的发酵程度直接影响饲料可利用性^[19]。本研究中,T1处理、T5处

理中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维降解率显著高于对照($P < 0.05$)。可能是因为紫苏籽和南瓜籽中的活性成分能够促进纤维分解菌增殖,从而提升纤维素与半纤维素等碳水化合物的降解效率,该过程也有助于维持瘤胃液 pH 稳定^[20]。

在瘤胃中,蛋白质被微生物降解为氨基酸、有机酸、氨等代谢产物,进而被动物吸收利用。蛋白质降解率受饲料特性、瘤胃滞留时间以及微生物活性影响^[21]。本研究中,T1处理、T2处理、T3处理、T4处理、T5处理蛋白质降解率与对照相比均无显著差异($P > 0.05$)。后续研究可将各种中草药进行配伍,进一步探讨其对反刍动物瘤胃营养物质消化率和甲烷排放的综合影响,以期为提高饲料利用效率和降低温室气体排放寻求更优策略。

参考文献:

- [1] 刘舒乐,严薇,高庆先,等. 双视角下中国畜牧业甲烷排放的温室效应[J]. 环境科学,2023,44(12):6692-6699.
- [2] XIE X, CAOY R, LI Q S. Mitigating enteric methane emissions: an overview of methanogenesis, inhibitors and future prospects[J]. Animal Nutrition,2025,21:84-96.
- [3] 胡红莲,卢德勋,高民. 反刍动物甲烷的排放及其减排调控技术[J]. 饲料与畜牧科学,2011,32(增刊1):26-29.
- [4] 吕耀平. 紫苏子提取物的生理功能及其在水产养殖中的应用研究进展[J]. 丽水学院学报,2006(5):48-53.
- [5] 刘本涛,李本杰,曹云,等. 使君子化学成分、药理与毒副作用研究进展[J]. 壮瑶药研究,2022(1):21-32,231-232.
- [6] 邵鹏阳,沙玉柱,刘秀,等. 黄芪饲料添加剂对羔羊生长性能、血清 Ig 和瘤胃发酵功能及微生物菌群特征的影响[J]. 中国农业科技导报(中英文),2025,27(3):83-94.
- [7] 姜毅,袁艳,董江川. 乌梅治疗慢性腹泻药理作用研究进展[J]. 实用中医药杂志,2024,40(1):185-188.
- [8] 雷晓青,陈鳌,张前飞,等. 南瓜子的药理活性及临床应用研究进展[J]. 贵阳学院学报(自然科学版),2017,12(3):62-64.
- [9] 滕战伟,陈秋楠,王笑笑,等. 不同来源多酚对奶牛瘤胃体外营养物质降解率和甲烷产量的影响[J]. 中国兽医学报,2023,43(10):2157-2161.
- [10] 王珊珊,狄寒秋,钟一帆,等. 体外产气法评价植物提取物对生长肥育猪粪样微生物发酵特性及甲烷生成的影响[J]. 动物营养学报,2023,35(11):6976-6988.
- [11] MENKE K H, RAAB L, SALEWSKI A, et al. The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedingstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor *in vitro*[J]. Journal of Agricultural Science,1979,93(1):217-222.
- [12] 刘美. 瘤胃甲烷减排中草药筛选及目标中草药的作用机制研究[D]. 杭州:浙江大学,2016.

- [13] 许研研. 芦荟粉对肉牛甲烷,氮磷排放以及生长性能的影响[D]. 郑州:河南农业大学,2016.
- [14] 李琳,董国忠. 反刍动物瘤胃甲烷产生及调控的研究进展[J]. 草食家畜,2010(2):41-44.
- [15] 杨金山,岳奎忠,刘鑫,等. 利用体外模拟瘤胃发酵技术预测奶牛生产性能的研究[J]. 中国畜牧兽医,2018,45(8):2167-2174.
- [16] 姜南,李学威,张楠,等. 日粮不同能量和蛋白质水平对生长期牦牛瘤胃发酵参数及瘤胃菌群的影响[J]. 中国草食动物科学,2024,44(2):18-26.
- [17] 殷云浩. 不同氮硫比尿素饲料条件下小肽对南江黄羊瘤胃体外发酵特性的影响[D]. 雅安:四川农业大学,2012.
- [18] 袁越,罗晓林,官久强,等. 益生菌添加水平与犏牦牛瘤胃发酵参数的量效关系研究[J]. 饲料研究,2024,47(15):6-12.
- [19] 许贵善,刁其玉,纪守坤,等. 不同饲喂水平对肉用湖羊能量与蛋白质消化代谢的影响[J]. 中国畜牧杂志,2012,48(17):40-44.
- [20] 马国强. 黑沙蒿及其多糖对绒山羊瘤胃发酵参数、营养物质消化、血液抗氧化与免疫指标的影响[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2019.
- [21] 南冰禹. 烟酰胺对泌乳奶牛生产性能、营养物质表观消化率及血液指标的影响[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学,2023.

(责任编辑:成纾寒)