

李艺男, 李莲, 韩兆玉, 等. 丝兰提取物对奶牛泌乳性能、血清指标、瘤胃发酵及瘤胃菌群的影响 [J]. 畜牧与兽医, 2025, 57 (3): 19-27.

LI Y N, LI L, HAN Z Y, et al. Effects of *Yucca schidigera* extract on performance, serum indexes, rumen fermentation and rumen flora of dairy cows [J]. Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2025, 57 (3): 19-27.

丝兰提取物对奶牛泌乳性能、血清指标、瘤胃发酵及瘤胃菌群的影响

李艺男¹, 李莲¹, 韩兆玉¹, 翟云飞¹, 田雨^{2*}

(1. 南京农业大学动物科技学院, 江苏 南京 210095;

2. 南京卫岗乳业集团, 江苏 南京 211102)

摘要: 旨在探究丝兰提取物 (*Yucca schidigera* extract, YSE) 对奶牛的泌乳性能、血清指标、瘤胃发酵以及菌群的影响。选择 24 头泌乳天数、胎次、产奶量相近的健康荷斯坦奶牛, 将其随机分为对照组 (基础日粮), 低剂量组 (基础日粮+每头 0.6 g/d YSE) 和高剂量组 (基础日粮+每头 1.2 g/d YSE), 每组 8 头, 预试期为 10 d, 正试期为 50 d。试验结束后, 采集奶样、血样和瘤胃液样用于测定乳成分、血清生化指标、抗氧化指标、瘤胃发酵参数和微生物菌群。结果: 与对照组相比, 低剂量组的日产奶量与乳蛋白产量显著增加 ($P<0.05$), 乳脂率显著降低 ($P<0.05$); 高剂量组的尿素氮含量极显著低于对照组和低剂量组 ($P<0.01$); 3 个组的 4% 标准乳、乳脂产量、乳蛋白率、乳糖率、乳总固体率与乳体细胞数未见显著差异 ($P>0.05$); 与对照组相比, 低剂量组的血清白蛋白含量显著升高 ($P<0.05$), 高剂量组的血清葡萄糖含量显著降低 ($P<0.05$); YSE 对奶牛其他血清生化指标无显著影响 ($P>0.05$), YSE 对奶牛的抗氧化能力没有显著影响 ($P>0.05$); 与对照组、低剂量组相比, 高剂量组奶牛瘤胃 pH 值显著升高 ($P<0.05$), 戊酸含量显著降低 ($P<0.05$), 3 组间其他瘤胃发酵参数未见显著差异 ($P>0.05$); 甲烷产量与 YSE 饲喂量成反比, 但各组间无显著差异 ($P>0.05$); 主坐标分析显示, 高剂量组瘤胃古菌群落与对照组、低剂量组显著分离, 相较于对照组和低剂量组, 高剂量组甲烷短杆菌属的相对丰度显著升高 ($P<0.05$)。综上, 日粮添加 YSE 能够提高奶牛的产奶性能, 并有降低甲烷产生的潜力, 低剂量的 YSE 可以提高饲料中的蛋白利用率, 高剂量的 YSE 具有调控血糖的功能, 对瘤胃产甲烷菌群也产生了一定的影响。

关键词: 丝兰提取物; 奶牛; 泌乳性能; 血清生化指标; 甲烷产量

中图分类号: S815 文献标志码: A 文章编号: 0529-5130(2025)03-0019-09

Effects of *Yucca schidigera* extract on performance, serum indexes, rumen fermentation and rumen flora of dairy cows

LI Yinan¹, LI Lian¹, HAN Zhaoyu¹, ZHAI Yunfei¹, TIAN Yu^{2*}

(1. College of Animal Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;

2. Nanjing Weigang Dairy Group, Nanjing 211102, China)

Abstract: The aim of this study was to investigate the effects of *Yucca schidigera* extract (YSE) on production performance, serum indexes, rumen fermentation and rumen flora of Holstein dairy cows. Based on similar lactation days and parities and milk production performance, 24 healthy Holstein cows were selected and randomly assigned to one of the three groups ($n=8$ per group): Group A (Total Mixed Ration, TMR), Group B (TMR+0.6 g/d YSE per cow) and Group C (TMR+1.2 g/d YSE per cow). The experimental pre-feeding period was 10 days and the formal feeding period was 50 days. During the experiment, milk samples, blood samples and rumen fluid samples were collected for the determination of milk composition, serum biochemical indexes, antioxidant indexes, rumen fermentation parameters and microbial flora. The results showed that, compared with Group A, the daily milk yield and milk protein yield of Group B were significantly increased ($P<0.05$), and their milk fat percentage was significantly decreased ($P<0.05$). Milk urea nitrogen in Group C was significantly lower than that in Groups A and B ($P<0.01$). There were no significant changes in 4% standard milk, milk fat yield, milk protein rate, lactose rate, total solids rate and milk somatic cell count in the three groups ($P>0.05$). At 60 days, compared with Group A, the albumin content of Group B was significantly increased ($P<0.05$), and the glucose content of Group C was significantly decreased ($P<0.05$). YSE had

收稿日期: 2024-05-09; 修回日期: 2025-01-27

基金项目: 江苏现代农业产业单项技术研发项目 [CX (22) 3198]

第一作者: 李艺男, 女, 硕士

* 通信作者: 田雨, 高级畜牧师, 主要从事奶牛场生产管理, E-mail: 14465515@qq.com。

no significant effects on the other serum biochemical indices of the dairy cows ($P>0.05$). In this experiment, YSE had no significant effect on the antioxidant capacity of the dairy cows ($P>0.05$). Compared with Groups A and B, the rumen pH of the dairy cows in Group C was significantly increased ($P<0.05$), and their valerate content was significantly decreased ($P<0.05$); but no significant differences were found in other rumen fermentation parameters among the three groups ($P>0.05$). The methane yield was inversely proportional to the YSE feeding amount, but there was no significant difference among all the groups ($P>0.05$). The results of principal coordinate analysis showed that the rumen archaea community in Group C was significantly separated from that in Groups A and B. Compared with Groups A and B, the relative abundance of *Methanobrevibacterium* in Group C was significantly increased ($P<0.05$). In conclusion, YSE improved the milk production performance of dairy cows, and possessed the potential to reduce methane production. A high dose of YSE might regulate blood sugar in cows and have certain impact on their rumen fermentation.

Keywords: *Yucca schidigera* extract; cows; production performance; serum biochemical indices; methane production

牛是温室气体排放量最多的家畜,在养殖过程中产生的大部分温室气体以甲烷的形式排放。甲烷不仅加剧了全球变暖,而且导致了饲料能量的损失,产生 1 kg 的甲烷约等于产生 17.7 kg 的标准乳或 1.3 kg 的牛肉,所以控制奶牛甲烷的排放至关重要。丝兰提取物 (*Yucca schidigera* extract, YSE) 由全株丝兰属植物经过回流、浓缩和干燥得到,其对动物无毒无害,主要活性成分为皂甙、多酚和多糖^[1],其中,多酚可以起到较强的抗氧化作用^[2];多糖能够吸附氨气 (NH_3) 并与氨结合,同时增加体内菌体蛋白 (MCP) 的合成^[3];皂苷不但可以调节畜禽胃肠道健康^[4],还能减少瘤胃内原虫的数量^[5]。一些原虫与部分产甲烷菌群为共生关系^[6],YSE 可以通过降低瘤胃内原虫的数目达到降低反刍动物甲烷产量、提高其生产性能。YSE 在体外试验中可有效抑制瘤胃甲烷产生,但其动物试验的研究结果不一致,饲喂 YSE 对奶牛瘤胃微生物的影响也鲜少报道。本试验旨在探究饲料中添加 YSE 对荷斯坦奶牛产奶性能、血液指标、瘤胃发酵、甲烷排放以及菌群的影响,为 YSE 在反刍动物中的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 主要试验材料

YSE 为全株丝兰提取物粉末,皂苷含量大于 10.5%,购自上海优久生物科技有限公司。血清生化指标与抗氧化指标的试剂盒购于南京建成生物工程研究所。氢氧化钠、次氯酸钠、水杨酸钠、亚硝基铁氰化钠、氯化氨、98% 浓盐酸、浓硫酸、95% 乙醇、85% 磷酸溶液均购于阿拉丁生化有限公司。

1.2 试验动物及试验设计

于 2023 年 3 月在江苏省某牧场进行。依照泌乳天数、胎次、产奶量相近的原则 (表 1),选择 24 头健康的荷斯坦奶牛并将其随机分为 3 组,每组 8 头。3 组奶牛饲喂相同的基础日粮,低剂量组和高剂量组分别在基础日粮上于每日 15:00 添加 0.6 和每头 1.2 g/d 的 YSE,表 2 为具体日粮信息。试验共 60 d,预

试期 10 d,正试期 50 d。为保证外界因素相同,所有试验牛均在同一牛舍饲养。奶牛每日定时上料、挤奶 3 次,当日的剩料率保证在 5%~10% 之间。奶牛拴带式饲养,自由采食和饮水,牛舍每日消毒。

表 1 试验牛只信息

项目	对照组	低剂量组	高剂量组
泌乳天数/d	79.50±17.68	77.13±14.06	71.57±11.37
胎次	2.63±0.74	2.50±0.53	2.43±0.53
产奶量/(kg·d ⁻¹)	43.50±6.09	43.88±4.19	43.29±5.28

表 2 基础日粮的组成及日粮营养水平 (干物质基础)

原料	含量/%	营养成分	含量
玉米青贮	25.79	代谢能/(MJ·kg ⁻¹)	16.15
进口燕麦草	3.59	干物质/%	53.34
进口苜蓿草	12.02	粗蛋白/%	15.87
玉米压片	6.07	粗脂肪/%	5.40
啤酒糟	3.07	中性洗涤纤维/%	33.99
甜菜粕	3.64	酸性洗涤纤维/%	19.79
棉籽粕	4.56	粗灰分/%	7.58
过瘤胃豆粕	1.26	钙/%	0.81
玉米粉	21.53	磷/%	0.41
43% 豆粕	8.18		
双低菜粕	2.96		
膨化大豆	1.22		
玉米干酒糟及其可溶物	2.48		
大麦 (过渡)	1.24		
脂肪酸 (C16:0)	0.68		
小苏打	0.71		
小料 A10 ¹⁾	1.00		

注: ¹⁾ 每千克日粮添加: VA 5 130 IU, VD₃ 1 283 IU, VE 26 mg, 生物素 0.05 mg, β-胡萝卜素 0.10 mg, 锰 12 mg, 磷 12 mg, 硫 0.85 mg, 锌 64 mg, 硒 0.4 mg, 钴 0.19 mg。

1.3 产奶量及乳成分的测定

正试期每周测定单头牛的产奶量并收集早、中、

晚(4:3:3)混合奶样共50 mL,用于测定乳成分。产奶量通过量杯读数获取,乳成分送至卫岗检测中心,通过DHI自动分析仪检测乳糖、乳脂、乳总固体、乳蛋白、乳体细胞计数及乳尿素氮。4%标准乳计算公式为:4%标准乳量= $M \times (0.4 + 0.15F)$,式中, M 为产奶量, F 为乳脂率。

1.4 血清生化指标及抗氧化指标的测定

第10天和第60天进行尾静脉采血,离心后分离血清,-20℃保存,用于血清生化指标以及抗氧化指标的测定。血清生化指标包括:总蛋白(TP)、白蛋白(ALB)、球蛋白(GLB)、葡萄糖(GLU)、尿素氮(BUN)、高密度脂蛋白(HDL)和低密度脂蛋白(LDL)。血清抗氧化指标:谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)、总抗氧化能力(T-AOC)、超氧化物歧化酶(SOD)和丙二醛(MDA)。

1.5 瘤胃液的采集与储存

最后1 d,每组随机选取5头牛于晨饲后3 h通过导管法从口腔采集瘤胃液,瘤胃液经4层纱布过滤后立即测定pH值,随后分装。一部分置于-20℃保存,用于MCP、氨态氮(N-NH₃)以及挥发性脂肪酸(VFA)的测定,另一部分保存在液氮中,后送至苏州帕诺米克生物医药科技有限公司测定其瘤胃微生物区系。

1.6 瘤胃发酵指标与瘤胃微生物的测定

MCP的测定参照Bradford法^[7],在处理过的瘤胃液中加入考马斯亮蓝,显色后在波长595 nm处通过酶标仪比色获得OD值。用冯宗慈等^[8]改进比色法测定N-NH₃,通过铵根离子与苯酚作用能够形成靛酚有色复合物的原理,测定显色后在波长630 nm处通过酶标仪比色获得的OD值。VFA的测定参照李闯^[9]的方法进行,配置标准品,以偏乙酸为内标,使用气相色谱仪测定VFA的含量。瘤胃微生物的测定交由苏州帕诺米克生物医药科技有限公司处理。

使用2×CTAB法从样品中提取全基因组DNA,用Nanodrop对DNA进行定量,并通过1.2%琼脂糖凝胶电泳检测DNA提取质量。采用原虫通用引物:上游引物序列5'-GTACACACCGCCCGTC-3',下游引物序列5'-TGATCCTTCTGCAGGTTACCTAC-3',对标准原虫18S V9进行PCR扩增;采用古菌通用引物:上游引物序列5'-TGYCAGCCGCCGCGTAA-3',下游引物序列5'-YCCGGCGTTGAVTCCAATT-3',对标准古菌16S V4V5(a)进行PCR扩增。扩增产物通过磁珠纯化回收,随后通过荧光试剂Quant-iT picoGreen dsDNA Assay Kit对PCR扩增后的回收产物进行荧光定量,定量仪器为Microplate reader。

采用Illumina公司的TruSeq Nano DNA LT Library

Prep Kit制备测序文库,使用MiSeq测序仪进行双端测序,相应试剂为MiSeq Reagent Kit V3(600 cycles)。

按照QIIME2 dada2分析流程进行序列去噪,基于100%降噪的方式,将微生物序列聚类为扩增子序列变体(ASV),每个ASV都是独立的序列。古菌的16S rRNA基因,默认选用Greengenes数据库;原虫微生物18S rRNA基因,默认选用Silva数据库。通过QIIME2 2019.4软件分析 α 、 β 多样性, α 多样性指标以Chao1和观测物种(Observed species)指数表征丰富度,以香农(Shannon)和辛普森(Simpson)指数表征多样性,以生物覆盖(Goods coverage)指数表征覆盖度。 β 多样性评估样本在物种复杂度上的差异。采用不同的算法对多维数据进行降维,计算加权与未加权的样本差异距离。主坐标分析(PCoA)通过将样本距离矩阵经过投影后,在低维度空间进行展开,并最大限度地保留原始样本的距离关系,判断组间群落结构的差异性。

1.7 甲烷产量的计算

参照Wanapat等^[10]建立的甲烷预测模型计算瘤胃内甲烷产量。公式如下:

甲烷=0.45×乙酸-0.275×丙酸+0.40×丁酸,式中,乙酸、丙酸、丁酸单位为摩尔比例;甲烷为VFA估算的甲烷产量。

1.8 数据统计与分析

采用Excel 2023对数据进行整理,采用SPSS 25.0进行单因素方差分析(One-way, ANOVA),Duncan氏法进行多重比较,结果用“平均值±标准差”表示, $P < 0.01$ 表示差异极显著, $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果

2.1 YSE对奶牛产奶性能的影响

由表3可知,与对照组相比,低剂量组产奶量极显著升高($P < 0.01$),乳脂率显著降低($P < 0.05$)。对照组的乳蛋白产量显著低于高剂量组($P < 0.05$)、极显著低于低剂量组($P < 0.01$)。高剂量组乳尿素氮含量极显著低于对照组和低剂量组($P < 0.01$)。

2.2 YSE对奶牛血清生化以及抗氧化指标的影响

由表4可知,10 d时,各组奶牛的血清生化指标均无显著差异($P > 0.05$);60 d时,对照组TP显著低于低剂量组($P < 0.05$),GLU($P < 0.05$)和BUN($P > 0.05$)随YSE饲喂量的增加而降低。3组间TP、GLB、LDL和HDL均无显著差异($P > 0.05$)。在本试验中,YSE对奶牛的抗氧化能力无显著影响($P > 0.05$) (表5)。

表 3 日粮添加不同水平 YSE 对奶牛产奶量及乳成分的影响

项目	对照组	低剂量组	高剂量组
产奶量/ (kg · d ⁻¹)	42.32±4.64 ^b	44.56±4.15 ^a	43.67±4.92 ^{ab}
4%标准乳量/ (kg · d ⁻¹)	42.62±1.29	43.46±0.87	43.28±1.35
乳脂率/%	4.05±0.12 ^a	3.85±0.11 ^b	3.99±0.07 ^{ab}
乳脂产量/ (kg · d ⁻¹)	1.71±0.61	1.71±0.44	1.73±0.52
乳蛋白率/%	3.24±0.17	3.31±0.18	3.31±0.18
乳蛋白产量/ (kg · d ⁻¹)	1.37±0.08 ^b	1.47±0.14 ^a	1.44±0.13 ^a
乳糖率/%	5.20±0.14	5.17±0.16	5.21±0.15
乳总固体率/%	13.39±0.45	13.30±0.49	13.38±0.31
乳尿素氮/ (mg · dL ⁻¹)	13.21±1.26 ^a	13.31±1.14 ^a	12.26±0.69 ^b
乳体细胞数/ (×10 ⁴ · mL ⁻¹)	20.17±4.20	19.84±6.81	19.50±6.88

注：同行数据不同字母表示差异显著 ($P<0.05$)。下同。

表 4 日粮添加不同水平 YSE 对奶牛血清生化指标的影响

项目	时间/d	对照组	低剂量组	高剂量组
TP/ (g · L ⁻¹)	10	55.78±3.90	55.50±1.50	54.36±1.50
	60	54.73±3.60	56.22±4.09	53.76±2.48
ALB/ (g · L ⁻¹)	10	32.60±1.73	34.04±1.83	33.70±1.83
	60	33.30±3.62 ^b	36.59±2.27 ^a	34.16±1.49 ^{ab}
GLB/ (g · L ⁻¹)	10	21.12±2.58	20.73±2.33	20.66±2.33
	60	21.43±4.10	19.63±3.29	19.60±2.21
GLU/ (mmol · L ⁻¹)	10	3.85±0.41	3.80±0.30	3.50±0.30
	60	3.19±0.26 ^a	2.94±0.45 ^{ab}	2.77±0.43 ^b
LDL/ (mmol · L ⁻¹)	10	1.18±0.24	1.29±0.33	1.09±0.24
	60	1.15±0.30	1.32±0.25	1.08±0.30
HDL/ (mmol · L ⁻¹)	10	2.08±0.53	2.26±0.59	2.12±0.37
	60	2.03±0.47	2.21±0.84	2.01±0.23
BUN/ (mmol · L ⁻¹)	10	4.94±0.26	5.04±0.62	5.11±0.45
	60	6.38±0.85	6.02±1.17	5.85±0.92

表 5 日粮添加不同水平 YSE 对奶牛血清抗氧化指标的影响

项目	时间/d	对照组	低剂量组	高剂量组
GSH-Px/ (U · mL ⁻¹)	10	155.60±25.92	152.92±30.51	157.13±14.30
	60	145.14±26.84	141.84±26.94	142.24±34.49
T-AOC/ (mmol · L ⁻¹)	10	0.47±0.04	0.49±0.07	0.48±0.02
	60	0.46±0.05	0.48±0.02	0.48±0.03
SOD/ (U · mL ⁻¹)	10	15.05±2.51	14.98±2.96	15.43±3.76
	60	15.24±2.96	14.98±1.92	14.07±2.24
MDA/ (nmol · mL ⁻¹)	10	3.41±0.73	3.58±0.33	3.40±0.46
	60	3.72±0.64	4.03±0.42	3.18±0.65

2.3 YSE 对奶牛瘤胃发酵的影响

由表 6 可知,高剂量组的 pH 值显著高于对照组和低剂量组 ($P<0.05$),戊酸含量显著低于对照组和

低剂量组 ($P<0.05$)。随 YSE 饲喂量的增加, pH 值逐渐增大, N-NH₃、乙酸、丙酸、丁酸、异戊酸与总 VFA 含量逐渐降低,但各组间均无显著差异 ($P>$

0.05)。甲烷的产量与 YSE 添加量成反比，但各组间 无显著差异 ($P>0.05$)。

表 6 日粮添加 YSE 对奶牛瘤胃发酵特性的影响

项目	对照组	低剂量组	高剂量
pH 值	6.20±0.28 ^b	6.25±0.34 ^{ab}	6.73±0.27 ^a
MCP/ (mg · mL ⁻¹)	0.68±0.16	0.72±0.12	0.57±0.06
N-NH ₃ / (mg · dL ⁻¹)	10.27±0.24	8.75±0.43	7.69±0.34
乙酸/ (mmol · L ⁻¹)	58.21±14.74	56.58±7.23	49.82±13.91
丙酸/ (mmol · L ⁻¹)	26.67±7.66	26.26±5.50	20.75±6.90
异丁酸/ (mmol · L ⁻¹)	1.21±0.31	1.18±0.18	1.29±0.44
丁酸/ (mmol · L ⁻¹)	10.55±3.29	9.60±2.31	7.65±2.45
异戊酸/ (mmol · L ⁻¹)	1.35±0.42	1.26±0.37	1.10±0.09
戊酸/ (mmol · L ⁻¹)	1.35±0.19 ^a	1.22±0.23 ^a	0.87±0.22 ^b
总 VFA/ (mmol · L ⁻¹)	99.34±25.73	96.09±14.23	81.47±23.55
乙酸/丙酸	2.21±0.19	2.20±0.37	2.44±0.25
甲烷/ (mmol · L ⁻¹)	23.08±5.94	22.08±3.43	19.77±5.43

2.4 YSE 对奶牛瘤胃原虫与古菌 α 多样性指数的影响

基于 100%降噪的方式，以 ASV 为运算的分类单元。由表 7 可知，各组间的 Observed species、Chao1、

Shannon、Simpson 和 Goods coverage 指数均无显著差异 ($P>0.05$)。这表明，本试验中 YSE 对奶牛瘤胃原虫与古菌的丰富度与均匀度均无显著影响。

表 7 日粮添加 YSE 对奶牛瘤胃原虫与古菌 α 多样性指数的影响

类型	指数	对照组	低剂量组	高剂量组
原虫	Observed species	128.56±57.86	125.98±65.08	169.46±32.79
	Chao1	128.94±58.50	126.08±65.05	169.69±32.92
	Simpson	0.82±0.07	0.80±0.09	0.89±0.06
	Shannon	3.55±0.72	3.46±0.96	4.32±0.85
	Goods coverage/%	99.99±0.01	99.99±0.01	99.99±0.01
古菌	Observed species	41.60±7.33	39.56±3.27	50.34±12.62
	Chao1	41.62±7.30	39.58±3.31	50.36±12.65
	Simpson	0.81±0.07	0.82±0.03	0.74±0.15
	Shannon	3.15±0.54	3.15±0.31	3.02±0.73
	Goods coverage/%	99.99±0.01	99.99±0.01	99.99±0.01

2.5 YSE 对奶牛瘤胃原虫与古菌 β 多样性指数的影响

基于 unweighted_UniFrac 距离算法，高剂量组瘤胃原虫群落与低剂量组分离 (图 1A)，表明低剂量组和高剂量组的瘤胃原虫物种丰度存在差异，但不显著 ($P>0.05$)；基于 weighted_UniFrac 算法，高剂量组瘤胃古菌群落与对照组、低剂量组显著分离 (图 1B)，表明高剂量组瘤胃古菌物种组成与对照组 ($P<0.01$)、低剂量组 ($P<0.05$) 相比有显著差异。

2.6 YSE 对奶牛瘤胃原虫区系组成的影响

经过分类比对，共检测出 23 个门，101 个属。3 组的原虫优势门 (相对丰度 > 1%) 均为纤毛虫门、叶绿素、链球菌门、红藻门和子囊菌门 (表 8)。随着 YSE 饲喂量的增加，纤毛虫门的相对丰度逐渐降低；绿藻门、链球菌门与红藻门的相对丰度逐渐升高，但各组之间均无显著性差异 ($P>0.05$)。3 组原虫的卵囊藻属、布克斯顿纤毛虫与结肠小袋纤毛虫属相对丰度均在 7% 以上 (表 9)。随 YSE 饲喂量的增加，布克斯顿纤毛虫属的相对丰度逐渐降低；卵囊藻

属与结肠小袋纤毛虫属的相对丰度逐渐升高，但各组之间均无显著差异 ($P>0.05$)。

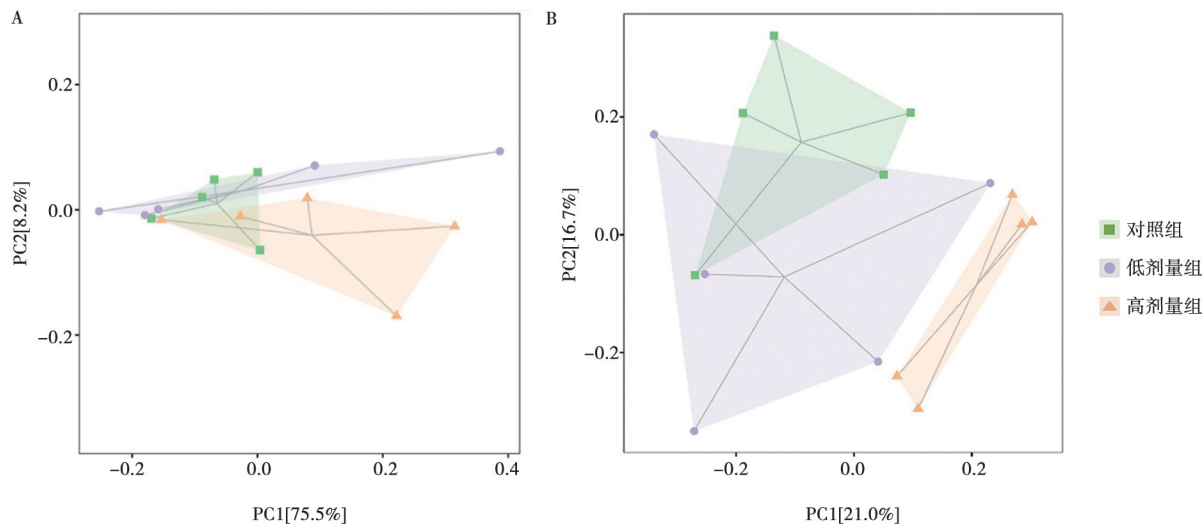


图 1 瘤胃原虫 (A) 和古菌 (B) PCoA 分析

表 8 日粮添加不同水平 YSE 对奶牛瘤胃原虫门水平相对丰度的影响 %

类别	对照组	低剂量组	高剂量组
纤毛虫门	71.12±11.05	64.70±18.02	51.31±23.57
叶绿素	18.10±6.67	19.33±18.04	24.54±11.99
链球菌门	3.11±1.05	6.50±9.54	6.09±3.36
红藻门	2.24±2.44	3.46±5.25	6.64±4.85
子囊菌门	1.89±2.67	1.64±1.79	3.39±1.72
节肢动物门	1.94±3.15	0.89±0.99	2.42±1.72
卵菌门	0.51±0.32	2.21±4.31	2.41±2.65
壶菌门	0.49±0.44	0.32±0.09	1.81±2.90
线虫动物	0.18±0.07	0.30±0.55	0.63±0.45
其他	0.08±0.06	0.18±0.28	0.16±0.10
脊索动物门	0.09±0.09	0.08±0.10	0.21±0.11
多孔动物门	0.09±0.14	0.13±0.25	0.10±0.04

表 9 日粮添加不同水平 YSE 对瘤胃原虫属水平相对丰度的影响 %

类别	对照组	低剂量组	高剂量组
卵囊藻属	18.10±6.67	19.33±18.04	24.54±11.99
布克斯顿纤毛虫属	17.98±6.58	12.56±9.68	10.94±2.18
结肠小袋纤毛虫属	7.97±7.25	9.98±5.87	13.16±10.52
木槿属	2.49±0.83	5.51±8.27	4.60±2.29
江蓠属	2.24±2.44	3.46±5.25	6.64±4.85
<i>Anoploactylus</i>	1.94±3.15	0.87±1.00	2.39±1.74
盘霜霉属	0.51±0.32	2.21±4.31	2.41±2.65
<i>Buuchfauromyces</i>	0.31±0.30	0.13±0.08	1.40±2.26
突喇叭虫属	0.34±0.12	0.54±0.48	0.75±0.47
豇豆属	0.26 ±1.38	0.42 ±0.25	0.59±0.27
异小杆线虫属	0.13±0.10	0.30±0.51	0.63±0.42
大蒜芥属	0.18±0.09	0.26±0.55	0.43±0.45
根囊鞭菌属	0.14±0.14	0.19±0.37	0.41±0.38
其他	45.65 ±0.01 ^a	42.34 ±0.01 ^{ab}	28.36±0.01 ^b

2.7 YSE 对奶牛瘤胃古菌区系组成的影响

由表 10 可知, 3 组的古菌优势门 (相对丰度 > 1%) 均为广古菌门, 其占比高达 99%; 3 组的古菌优势属均以甲烷短杆菌属与甲烷球形菌属为主, 相较

于对照组和低剂量组, 高剂量组甲烷短杆菌属的相对丰度显著升高, 甲烷球形菌属的相对丰度显著降低 ($P < 0.05$)。

表 10 日粮添加不同水平 YSE 对奶牛瘤胃古菌门、属水平的相对丰度的影响 %

水平	类别	对照组	低剂量组	高剂量组
门	广古菌门	99.98±0.01	99.99±0.01	99.86±0.01
	泉古菌门	0.02±0.01	0.01±0.01	0.14±0.01
属	甲烷短杆菌属	90.00±2.49 ^b	89.32±1.71 ^b	94.06±4.04 ^a
	甲烷球形菌属	9.65±2.48 ^a	10.39±1.68 ^a	5.19±4.23 ^b
	其他	0.21±0.01	0.18±0.01	0.19±0.01

3 讨论

3.1 YSE 对奶牛产奶量及乳成分的影响

奶牛的泌乳性能是其重要的经济性性状, 添加 YSE 对奶牛的产奶量与乳成分无显著影响^[11-14]。但在本试验中, 添加适量的 YSE 提高了奶牛的产奶量与乳蛋白产量, 降低了乳脂率, 其中高剂量组的乳尿素氮含量显著降低。这可能是因为, YSE 属于脲酶抑制剂, 其多糖组分还具有与瘤胃内 NH_3 结合的特性^[15-19], 会降低奶牛体内氨的含量。而本试验中的乳脂产量各组间并无显著区别, 猜测是由于产奶量的上升致使乳脂率有所下降。以上结果证明 YSE 对奶牛的产奶性能具有积极的作用, 能提高蛋白质的利用效率, 这与田丽新^[20]试验结果一致。

3.2 YSE 对奶牛血清指标的影响

血清生化指标能够反映动物的生理机能与代谢情况。血清 GLU 由碳水化合物的发酵 (反刍动物主要是纤维的发酵)、肝糖原的分解和非糖物质的转化 (糖异生) 而来, 这些糖类主要以 GLU 的形式被血液运输至各个组织器官供能, 并始终处于稳定的状态。有研究表明, YSE 具有降低血糖和胆固醇^[21-24]的功能。在本试验中, GLU 的浓度随 YSE 饲喂量的增加逐渐下降, 但负责运输胆固醇的 LDL 和清除胆固醇的 HDL, 3 组之间并无显著差异, 猜测是由于 YSE 的用量过低, 对奶牛的影响较轻, 因此无法在血样中检测出差异。

血清抗氧化指标能够反映出奶牛体内合成的抗氧化酶的水平, 其在预防活性氧 (ROS) 损伤细胞中起着至关重要的作用。Liu 等^[25]发现 YS 能够显著降低奶牛的 MDA 水平。MDA 作为脂质被 ROS 氧化的终产物, 它的浓度能够侧面反映 ROS 损伤细胞的程度^[26]。但本试验的结果表明, YSE 对奶牛的抗氧化

指标并无显著影响, 与 Deng 等^[27]的研究结果一致。

3.3 YSE 对奶牛瘤胃发酵的影响

瘤胃发酵参数能够反映瘤胃内的代谢情况, 其中 pH 值能够衡量饲料在瘤胃中的发酵程度。大量研究表明, YSE 对瘤胃 pH 值不会产生影响^[28-29]。但在本试验中, 高剂量组的 pH 值显著高于对照组和低剂量组, 这与 Eryavuz 等^[30]在奶牛饲料中加入 30 g/d 的 YSE 后发现该组的原虫丰度增加、瘤胃 pH 值也显著提高的结果相一致。猜测过度繁殖的原虫吞噬了大量的淀粉颗粒, 导致瘤胃 pH 值有所升高^[31]。本试验中也显示添加 1.2 g/d 的 YSE 在一定程度上具有增加瘤胃原虫丰度的趋势。

瘤胃内的 N-NH_3 能通过自由扩散的形式进入血液并成为 BUN, 两者含量都能反映饲料蛋白的代谢情况^[32]。YSE 的皂苷和多糖组分均被证明能够降低瘤胃内氨的含量, 从而降低血氨和尿素的水平^[19, 33]。本试验中, 随 YSE 饲喂量的增加, N-NH_3 与 BUN 浓度均呈现下降的趋势, 这表明 YSE 能够提高饲料蛋白质的利用效率。 N-NH_3 浓度的降低, 猜测有以下原因, YSE 的多糖组分与 NH_3 结合的特性^[3]; 纤毛虫增加导致外源氮被大量需求; YSE 能够提高过瘤胃蛋白的比例, 减少了瘤胃降解蛋白的分解; YSE 属于脲酶抑制剂, 能够抑制尿素的快速分解。

有研究者持相反的观点^[11, 13, 28-29, 34], 他们表示 YSE 不会影响瘤胃内的发酵指标, 这可能受 YSE 的产地, 皂苷含量, 饲喂剂量及各牛场不同的基础饮食配方等指标影响^[19]。

3.4 YSE 对奶牛微生物菌群的影响

YSE 具有广谱抗菌性^[15], Goel 等^[35]证明皂苷成分能够通过破坏原生动物的细胞膜从而降低原虫的数目。许多研究也证实了 YSE 能够降低瘤胃内纤毛虫的数量^[1, 6, 36], 但大量的体内试验表明, YSE 对瘤胃

内原生动物种群没有影响^[11,13,37]。本试验中高剂量组的原生动物与古菌的丰富度均有所增加,而在门水平上 YSE 饲喂量的增加会降低纤毛虫门的相对丰度,但各组之间差异并不显著,这说明适量的 YSE 可以在不影响菌群整体数目的情况下,起到抗原虫的作用。本试验与 Eryavuz 等^[30]的结果一致,他们观察到 YSE 不会影响牛瘤胃内细菌与真菌的数量,低剂量组对瘤胃内的原虫没有影响,但是高剂量会显著提高原虫的数目,这种情况可以被中度干扰假说解释,即当一个群落受到中等程度的干扰频率时,群落会维持较高的物种多样性^[38];也可能是由于 VFA 产量下降,致使 pH 值显著升高,而瘤胃内的氢离子会抑制原虫的生长,当氢气减少时,原虫便会过渡增殖。

迄今为止发现的产甲烷菌全部来自于广古菌门。其中,甲烷短杆菌作为食氢型产甲烷菌,可以利用微生物分解碳水化合物后产生的氢气和二氧化碳作为底物产生甲烷(该方式产生的甲烷占机体总甲烷排放量的 82%)^[39],甲烷的产生可以降低瘤胃的分压,使其正常发酵^[38]。本研究显示,0.6 g/d 的 YSE 没有对瘤胃古菌区系产生显著影响,高剂量组中甲烷短杆菌属的相对丰度显著增加,而甲烷球形菌属的相对丰度降低。这与 Wang 等^[1]的结果相同,猜测是由于甲烷短杆菌属所附着的原虫数量变多的原因。

3.5 YSE 对甲烷产量的影响

本研究显示,甲烷的产量随 YSE 添加量的增加而降低,但差异并不显著。多数研究表明 YSE 减少瘤胃甲烷排放的机制是其甾体皂苷能够通过降低瘤胃内的原虫数量,间接降低与其共生的产甲烷菌的数目,从而达到降低反刍动物甲烷产量的目的^[11,36,40-42]。本试验中高剂量组甲烷短杆菌属的相对丰度显著上升,甲烷短杆菌属是奶牛体内最主要的产甲烷菌属,但通过 VFA 含量计算的甲烷产量却略有下降,高剂量组的甲烷产量下降可能是由饲料消化率降低引起的。Eadie 等^[31]表示补充任何一种皂苷来源都会减少甲烷的产生,但它通常也会对瘤胃发酵和饲料消化产生其他不良影响,特别是中性洗涤纤维消化率的降低。

4 结论

综上所述,日粮添加 YSE 可以提高奶牛的产奶性能、增加饲料中蛋白质的利用率,并且具有减少甲烷产生的潜力。高剂量的 YSE 还具有调控血糖的功能,它对瘤胃发酵与微生物产生了一定的影响。在本试验中,奶牛饲粮中添加 0.6 g/d 的 YSE 效果最佳。

参考文献:

- [1] WANG Y, MCALLISTER T A, YANKE L J, et al. Effect of steroidal saponin from *Yucca schidigera* extract on ruminal microbes [J]. J Appl Microbiol, 2000, 88 (5): 887-896.
- [2] BASSARELLO C, BIFULCO G, MONTORO P, et al. *Yucca gloriosa*: a source of phenolic derivatives with strong antioxidant activity [J]. J Agric Food Chem, 2007, 55 (16): 6636-6642.
- [3] CARDOZO P W, CALSAMIGLIA S, FERRET A, et al. Effects of natural plant extracts on ruminal protein degradation and fermentation profiles in continuous culture [J]. J Anim Sci, 2004, 82 (11): 3230-3236.
- [4] SAEED M, ARAIN M A, NAVEED M, et al. *Yucca schidigera* can mitigate ammonia emissions from manure and promote poultry health and production [J]. Environ Sci Pollut Res Int, 2018, 25 (35): 35027-35033.
- [5] JIMÉNEZ G G, DURÁN A G, MACÍAS F A, et al. Structure, bioactivity and analytical methods for the determination of *Yucca saponins* [J]. Molecules, 2021, 26 (17): 5251.
- [6] MORGAVI D P, MARTIN C, JOUANY J P, et al. Rumen protozoa and methanogenesis: not a simple cause-effect relationship [J]. Br J Nutr, 2012, 107 (3): 388-397.
- [7] BRADFORD M M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding [J]. Anal Biochem, 1976, 72: 248-254.
- [8] 冯宗慈,高民.通过比色测定瘤胃液氨氮含量方法的改进 [J]. 内蒙古畜牧科学, 1993 (4): 40-41.
- [9] 李闯.稻草尾菜混贮饲料对湖羊胃肠道微生物及粪便代谢组的影响 [D]. 扬州:扬州大学, 2022.
- [10] WANAPAT M, GUNUN P, ANANTASOOK N, et al. Changes of rumen pH, fermentation and microbial population as influenced by different ratios of roughage (rice straw) to concentrate in dairy steers [J]. J Agric Sci, 2014, 152 (4): 675-685.
- [11] HOLTSHAUSEN L, CHAVES A V, BEAUCHEMIN K A, et al. Feeding saponin-containing *Yucca schidigera* and *Quillaja saponaria* to decrease enteric methane production in dairy cows [J]. J Dairy Sci, 2009, 92 (6): 2809-2821.
- [12] LOVETT D K, STACK L, LOVELL S, et al. Effect of feeding *Yucca schidigera* extract on performance of lactating dairy cows and ruminal fermentation parameters in steers [J]. Livest Sci, 2005, 102 (1): 23-32.
- [13] BENCHAAR C, MCALLISTER T A, CHOUINARD P Y. Digestion, ruminal fermentation, ciliate protozoal populations, and milk production from dairy cows fed cinnamaldehyde, quebracho condensed tannin, or *Yucca schidigera* saponin extracts [J]. J Dairy Sci, 2008, 91 (12): 4765-4777.
- [14] VAN ZIJDERVELD S M, DIJKSTRA J, PERDOK H B, et al. Dietary inclusion of diallyl disulfide, yucca powder, calcium fumarate, an extruded linseed product, or medium-chain fatty acids does not affect methane production in lactating dairy cows [J]. J Dairy Sci, 2011, 94 (6): 3094-3104.
- [15] WALLACE R J, ARTHAUD L, NEWBOLD C J. Influence of *Yucca schidigera* extract on ruminal ammonia concentrations and ruminal mi-

- croorganisms [J]. *Appl Environ Microbiol*, 1994, 60 (6): 1762-1767.
- [16] PATRA A K, SAXENA J. The effect and mode of action of saponins on the microbial populations and fermentation in the rumen and ruminant production [J]. *Nutr Res Rev*, 2009, 22 (2): 204-219.
- [17] JAYANEGARA A, WINA E, TAKAHASHI J. Meta-analysis on methane mitigating properties of saponin-rich sources in the rumen; influence of addition levels and plant sources [J]. *Asian-Australas J Anim Sci*, 2014, 27 (10): 1426-1435.
- [18] SALAZAR S S V, VÁZQUEZ A T P, BOTERO I C M, et al. Potential of *Samanea saman* pod meal for enteric methane mitigation in crossbred heifers fed low-quality tropical grass [J]. *Agric For Meteorol*, 2018, 258: 108-116.
- [19] YOUNG A U, XAVIER C, LYDIA O, et al. Effects of *Yucca schidigera* based feed additive on *in vitro* dry matter digestibility, efficiency of microbial production, and greenhouse gas emissions of four dairy diets [J]. *Dairy*, 2022, 3 (2): 326-332.
- [20] 田丽新. 丝兰提取物对奶牛产奶性能、免疫功能和氨气排放的影响 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2014.
- [21] COATES E M, POPA G, GILL C I, et al. Colon-available raspberry polyphenols exhibit anti-cancer effects on *in vitro* models of colon cancer [J]. *J Carcinog*, 2007, 6: 4.
- [22] DUFFY C F, KILLEEN G F, CONNOLLY C D, et al. Effects of dietary supplementation with *Yucca schidigera* Roelz ex Ortgies and its saponin and non-saponin fractions on rat metabolism [J]. *J Agric Food Chem*, 2001, 49 (7): 3408-3413.
- [23] LAI L R, HSIEH S C, HUANG H Y, et al. Effect of lactic fermentation on the total phenolic, saponin and phytic acid contents as well as anti-colon cancer cell proliferation activity of soymilk [J]. *J Biosci Bioeng*, 2013, 115 (5): 552-556.
- [24] UMENO A, HORIE M, MUROTOMI K, et al. Antioxidative and antidiabetic effects of natural polyphenols and isoflavones [J]. *Molecules*, 2016, 21 (6): 708.
- [25] LIU W H, LA TENG ZHU LA A, EVANS A C O, et al. Supplementation with *Yucca schidigera* improves antioxidant capability and immune function and decreases fecal score of dairy calves before weaning [J]. *J Dairy Sci*, 2021, 104 (4): 4317-4325.
- [26] BOWLER C, SLOOTEN L, VANDENBRANDEN S, et al. Mangane superoxide dismutase can reduce cellular damage mediated by oxygen radicals in transgenic plants [J]. *Embo J*, 1991, 10 (7): 1723-1732.
- [27] DENG Z, WU B, YI X, et al. The Effect of *Yucca schidigera* extract on serum metabolites of angus crossbreed steers with metabolomics [J]. *Metabolites*, 2024, 14 (1): 58.
- [28] WILSON R C, OVERTON T R, CLARK J H. Effects of *Yucca schidigera* extract and soluble protein on performance of cows and concentrations of urea nitrogen in plasma and milk [J]. *J Dairy Sci*, 1998, 81 (4): 1022-1027.
- [29] WU Z, SADIK M, SLEIMAN F T, et al. Influence of *Yucca* extract on ruminal metabolism in cows [J]. *J Anim Sci*, 1994, 72 (4): 1038-1042.
- [30] ERYAVUZ A, DEHORITY B A. Effect of *Yucca schidigera* extract on the concentration of rumen microorganisms in sheep [J]. *Anim Feed Sci Technol*, 2004, 117 (3/4): 215-222.
- [31] EADIE J M, HYLDEGAARD-JENSEN J, MANN S O, et al. Observations on the microbiology and biochemistry of the rumen in cattle given different quantities of a pelleted barley ration [J]. *Br J Nutr*, 1970, 24 (1): 157-177.
- [32] GUSTAFSSON A H, PALMQUIST D L. Diurnal variation of rumen ammonia, serum urea, and milk urea in dairy cows at high and low yields [J]. *J Dairy Sci*, 1993, 76 (2): 475-484.
- [33] NARVAEZ N, WANG Y, MCALLISTER T. Effects of extracts of *Humulus lupulus* (hops) and *Yucca schidigera* applied alone or in combination with monensin on rumen fermentation and microbial populations *in vitro* [J]. *J Sci Food Agric*, 2013, 93 (10): 2517-2522.
- [34] JOHNSON C A, SNELLING T J, HUNTINGTON J A, et al. Effect of feeding *Yucca schidigera* extract and a live yeast on the rumen microbiome and performance of dairy cows fed a diet excess in rumen degradable nitrogen [J]. *Animal*, 2023, 17 (10): 100967.
- [35] GOEL G, MAKKAR H P, BECKER K. Changes in microbial community structure, methanogenesis and rumen fermentation in response to saponin-rich fractions from different plant materials [J]. *J Appl Microbiol*, 2008, 105 (3): 770-777.
- [36] LILA Z A, MOHAMMED N, KANDA S, et al. Effect of sarsaponin on ruminal fermentation with particular reference to methane production *in vitro* [J]. *J Dairy Sci*, 2003, 86 (10): 3330-3336.
- [37] RETT B, COOKE R F, BRANDÃO A P, et al. Supplementing *Yucca schidigera* extract to mitigate frothy bloat in beef cattle receiving a high-concentrate diet [J]. *J Anim Sci*, 2020, 98 (11): skaa355.
- [38] LEAHY S C, KELLY W J, RONIMUS R S, et al. Genome sequencing of rumen bacteria and archaea and its application to methane mitigation strategies [J]. *Animal*, 2013, 7 (2): 235-243.
- [39] MILLER T L, WOLIN M J, ZHAO H X, et al. Characteristics of methanogens isolated from bovine rumen [J]. *Appl Environ Microbiol*, 1986, 51 (1): 201-202.
- [40] 包乌日汉, 青春, 曲永利, 等. 丝兰提取物与日粮精粗比对体外发酵和甲烷产生量的交互影响 [J]. *饲料工业*, 2023, 44 (21): 32-39.
- [41] 李国祥, 王梦芝, 李世霞, 等. 丝兰提取物对山羊瘤胃发酵参数、原虫密度及甲烷产量的影响 [J]. *饲料工业*, 2008 (18): 15-18.
- [42] ZENG H, LI S, ZHAI Y, et al. Preliminary transcriptome analysis of long noncoding RNA in hypothalamic-pituitary-mammary gland axis of dairy cows under heat stress [J]. *Biomolecules*, 2023, 13 (2): 390.