

肖芬, 毛家真, 向小娥, 等. 补饲瘤胃源活毕赤酵母菌液对奶水牛瘤胃发酵和营养物质降解率的影响 [J]. 畜牧与兽医, 2025, 57 (8): 22-27.
XIAO F, MAO J Z, XIANG X E, et al. Effects of rumen derived live *Pichia kudriavzevii* culture on rumen fermentation and degradation rate of feed nutrients in dairy buffaloes [J]. Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2025, 57 (8): 22-27.

补饲瘤胃源活毕赤酵母菌液对奶水牛瘤胃发酵和营养物质降解率的影响

肖芬^{1#}, 毛家真^{1#}, 向小娥², 杨承剑³, 毛胜勇¹, 金巍^{1*}

(1. 江苏省消化道营养与动物健康重点实验室/南京农业大学消化道微生物研究室, 江苏 南京 210095;

2. 南京农业大学动物科学类国家级实验教学中心, 江苏 南京 210095;

3. 广西壮族自治区水牛研究所/农业农村部(广西)水牛遗传繁育重点实验室, 广西 南宁 530010)

摘要: 旨在研究补饲瘤胃源活毕赤酵母 (*Pichia kudriavzevii*, YPK) 菌液对奶水牛瘤胃发酵和饲料营养物质降解特性的影响。选取 6 头体重相近、健康状况良好且装有永久性瘤胃瘘管的摩拉奶水牛为试验动物, 随机分为 2 组, 每组 3 头, 分别为对照组 (饲喂基础日粮) 和处理组 (饲喂基础日粮+每头 4×10^{11} CFU/d YPK 菌液); 测定奶水牛瘤胃发酵参数, 采用尼龙袋法评定奶水牛瘤胃内不同发酵时间 (2、4、8、12、24、48、72 h) 饲料的干物质 (DM)、粗蛋白质 (CP)、中性洗涤纤维 (NDF) 和酸性洗涤纤维 (ADF) 的降解特性。结果: 与对照组相比, 饲喂 YPK 极显著提高了瘤胃内乙酸 ($P < 0.001$)、丙酸 ($P = 0.002$) 和总挥发性脂肪酸 ($P < 0.001$) 浓度; 饲喂 YPK 显著提高了 DM ($P < 0.001$)、CP ($P = 0.044$)、NDF ($P < 0.001$)、ADF ($P < 0.001$) 的瘤胃有效降解率。结论: 日粮中添加 YPK 显著提高了奶水牛瘤胃乙酸、丙酸和总挥发性脂肪酸浓度, 提高了饲料营养物质瘤胃降解率, YPK 具有开发成反刍动物功能益生菌的潜力。

关键词: 尼龙袋法; 毕赤酵母; 奶水牛; 饲料营养物质; 降解特性; 瘤胃发酵参数

中图分类号: S823 文献标志码: A 文章编号: 0529-5130(2025)08-0022-06

Effects of rumen derived live *Pichia kudriavzevii* culture on rumen fermentation and degradation rate of feed nutrients in dairy buffaloes

XIAO Fen^{1#}, MAO Jiazhen^{1#}, XIANG Xiao'e², YANG Chengjian³, MAO Shengyong¹, JIN Wei^{1*}

(1. Jiangsu Key Laboratory of Gastrointestinal Nutrition and Animal Health/Laboratory of Gastrointestinal Microbiology of College of Animal Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;

2. National Experimental Teaching Center for Animal Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;

3. Guangxi Buffalo Research Institute/Key Laboratory of Buffalo Genetics, Reproduction and Breeding, Ministry of Agriculture and Rural Affairs (Guangxi), Nanning 530010, China)

Abstract: This study aimed to investigate the effects of rumen derived live *Pichia kudriavzevii* (YPK) culture on rumen fermentation and feed nutrient degradation characteristics in dairy buffalo. Six Murrah buffaloes with permanent rumen fistula were used in this study. The six buffaloes were randomly assigned into two groups; the control group was fed with the basal diet, while the treatment group was fed with the basal diet supplemented with YPK bacterial solution at a dose of 4×10^{11} CFU/d per head. Then, the rumen volatile fatty acids profile in the buffaloes was measured. A nylon bag method was used to evaluate the degradation characteristics of feed dry matter (DM), crude protein (CP), neutral detergent fiber (NDF), and acidic detergent fiber (ADF) in the rumen of the animals at different time points (2, 4, 8, 12, 24, 48, 72 hours post the beginning of the test). The results showed that YPK significantly increased the concentration of acetic acid ($P < 0.001$), propionic acid ($P = 0.002$), and total volatile fatty acids ($P < 0.001$) in the rumen of the buffaloes; YPK significantly increased

收稿日期: 2024-10-21; 修回日期: 2025-06-09

基金项目: 广西科技重大专项 (桂科 AA22068099)

第一作者: 肖芬, 女, 硕士研究生; 毛家真, 男, 硕士研究生。*共同第一作者

*通信作者: 金巍, 教授, 博士生导师, 研究方向为奶牛营养与清洁化生产、消化道微生态与甲烷和臭气减排, E-mail: jinwei@njau.edu.cn。

their rumen degradation rates of feed DM ($P<0.001$), CP ($P=0.044$), NDF ($P<0.001$), and ADF ($P<0.001$). In conclusion, YPK significantly increased the rumen fermentation and the degradation rate of feed nutrients in dairy buffaloes. YPK has the potential to be a functional probiotic for ruminants.

Keywords: nylon bag method; *Pichia kudriazevii*; dairy buffalo; feed nutrient; degradation characteristics; rumen fermentation parameters

酵母菌类添加剂在提高反刍动物采食量、产奶量、饲料消化率,减少动物热应激等方面发挥着重要作用。活酵母可以消耗瘤胃中的氧气,能够为厌氧微生物的生长和活动提供更有利的环境^[1]。研究发现活性干酵母(酿酒酵母)可以提高纤维降解菌和乳酸利用菌的数量^[2],有助于稳定瘤胃 pH 值^[3]。在奶牛的日粮中添加 2%和 3%的酿酒酵母培养物可显著提高乙酸和总挥发性脂肪酸(总 VFA)的浓度^[4]。在肉牛的日粮中添加活性干酵母(酿酒酵母)也能够提高总 VFA 酸的浓度^[5]。张炯奇等^[6]研究发现日粮中添加 1%的酿酒酵母复合物可有效提高泌乳早期奶牛日粮中干物质(DM)、中性洗涤纤维(NDF)、酸性洗涤纤维(ADF)和粗蛋白质(CP)降解率。目前生产中使用的活酵母菌大部分都是非消化道源的菌株。外源酵母菌难以适应消化道内的环境,常出现作用效果不稳定的现象。瘤胃源酵母菌作为反刍动物消化道内源酵母菌,其作用效果可能会更加稳定^[7]。本研究旨在探究补饲瘤胃源活毕赤酵母菌液对奶水牛瘤胃发酵和饲料营养物质降解率的影响,为瘤胃源活酵母菌液在奶水牛生产中的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计与饲养管理

本试验方案获得南京农业大学实验动物福利与伦理委员会的批准(NJAU.NO20230629N12)。试验 2023 年 7—8 月在广西壮族自治区南宁市广西水牛研究所种畜场进行。试验菌液采用本实验室从湖羊瘤胃中筛选出的库德毕赤酵母(*Pichia kudriazevii*, YPK)^[8]菌液。试验动物选取 6 头年龄和体重相近、健康且均安装永久瘤胃瘘管的泌乳期摩拉水牛。随机分成 2 组,每组 3 头,分别为对照组(饲喂基础日粮)和处理组(饲喂基础日粮+每头 4×10^{11} CFU/d YPK 菌液)。基础日粮以全混合日粮(TMR)的形式饲喂。试验时间共 28 d,在最后 3 d 进行尼龙袋试验并采集瘤胃液。试验牛分栏饲养,每天 08:00 和 15:00 各饲喂 1 次,自由饮水,基础日粮的饲料组成及营养成分见表 1。

1.2 试验方法

1.2.1 瘤胃液的采集

在为期 3 d 的尼龙袋试验中,通过瘤胃瘘管分别

在 0、2、4、8、12、24、48 和 72 h 这 8 个时间点采集 6 头水牛的瘤胃液各 50 mL,将采集到的瘤胃液经 4 层纱布过滤后测定 pH 值。滤液保存于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$,用于 VFA 的测定与分析。

表 1 基础饲粮组成及营养水平(干物质基础)

项目	含量	
原料/%	白酒糟	30.00
	玉米秸秆青贮料	52.00
	花生藤	7.00
	万寿菊渣	10.00
	食盐	0.35
	预混料 ¹⁾	0.65
	DM/%	33.44
营养成分 ²⁾	CP/%	13.22
	NDF/%	52.26
	ADF/%	33.98
	粗灰分/%	9.92
	粗脂肪/%	2.47
	Ca/%	0.62
	P/%	0.48
总能/(MJ·kg ⁻¹)	15.48	

注: ¹⁾ 预混料为每千克饲粮提供: VA 500 000 IU, VD 150 000 IU, VE 3 000 IU, Cu 1.3 g, Fe 4.0 g, Mn 3.0 g, I 80 mg, Zn 6.0 g, Co 80 mg, Se 50 mg; ²⁾ 各成分营养水平为实测值。

1.2.2 尼龙袋试验

采集广西水牛研究所种畜场瘘管牛 TMR 饲粮,在 $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下烘干 48 h 直至恒重,回潮 1 d,取风干样粉碎后过 10 目筛,用于测定瘤胃降解率。剩余饲料样品粉碎后过 40 目筛,用于测定 TMR 常规营养成分含量。尼龙袋规格为 $8\text{ cm} \times 12\text{ cm}$,孔径为 300 目,用超纯水浸泡并 $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘干 24 h 直至恒重后待用。称取 3 g 被测样品装入尼龙袋内。每头牛在每个时间点设置 3 个重复。尼龙袋通过细线固定在塑料软管上,每个时间点的 3 袋饲料系于同一根软管。晨饲前 0 h,将尼龙袋放入瘤胃,在放后 2、4、8、12、24、48、72 h 取出。取出后立即用超纯水冲洗至水流清澈为止,迅速转移至冰盒。尼龙袋清洗干净后放于 $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘箱 48 h 至恒重,称重后将剩余饲料粉碎并过 40 目

筛, 置于自封袋中常温密封保存用于后续测定营养物质降解率。

1.3 试验指标的测定

1.3.1 瘤胃液中 VFA 测定

瘤胃液中 VFA 的浓度采用气相色谱 (GC-14B, 岛津, 日本, Agilent DB-FFAP), 参照文献 [9] 描述的方法测定。柱温 135 °C, 汽化室温度 180 °C, 检测器 210 °C, 以巴豆酸作为内标, N₂ 作为载气。总 VFA 的浓度 = 乙酸浓度 + 丙酸浓度 + 丁酸浓度 + 异丁酸浓度 + 戊酸浓度 + 异戊酸浓度。

1.3.2 常规营养成分测定

饲料营养成分组成按照 AOAC (2007) 测定检测。CP 测定前使用消化炉 (SKD-2052, 上海培欧分析仪器有限公司) 先在 420 °C 下进行消化预处理, 然后使用全自动凯氏定氮仪 (SKD-1800, 上海培欧分析仪器有限公司) 测定。采用半自动纤维分析仪 (A200i, ANKOM, USA), 按照文献 [10] 方法测定 ADF 和 NDF。

1.4 瘤胃降解率计算

1.4.1 样品中营养成分的实时降解率

奶水牛瘤胃内不同发酵时间 (2、4、8、12、24、48、72 h) 饲料的 DM、CP、NDF 和 ADF 降解率根据下列公式计算: 某营养成分某个时间点的瘤胃降解率 = (降解前某营养成分的含量 - 降解后某营养成分某个时间点的含量) / 降解前某营养成分的含量 × 100%。

1.4.2 瘤胃有效降解率计算

奶水牛瘤胃内饲料的 DM、CP、NDF 和 ADF 的有效降解率根据下列公式计算:

$$P = a + b(1 - e^{-ct}),$$

$$ED = a + b \times c / (k + c),$$

式中: t 为饲料在瘤胃中的滞留时间 (h); P 为 t 时刻被测样品某营养成分的实时降解率 (%); a 为被测样品某营养成分的快速降解部分 (%); b 为慢速降解部分 (%); c 为 b 的降解速率 (%/h); ED 为有效降解率 (%); k 为瘤胃外流速率 (%/h), k 取 0.031%/h。

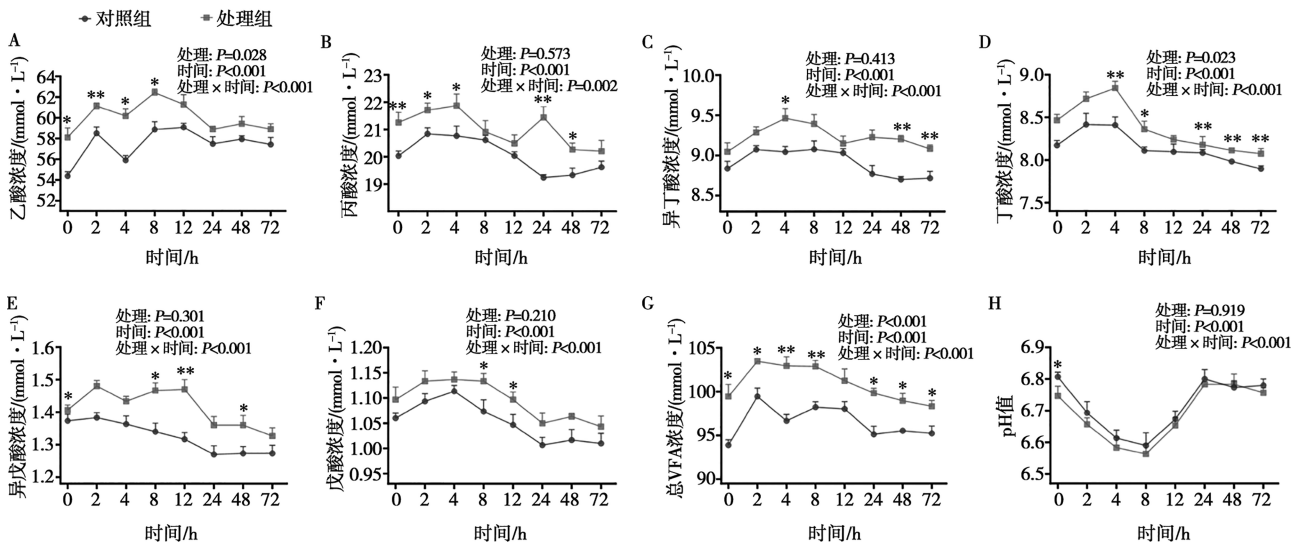
1.5 数据统计与分析

原始数据经 Excel (2021) 进行初步整理, 瘤胃 pH 值与发酵参数应用 SPSS 27.0 软件采用线性混合模型进行分析, 分析模型包括处理 (对照组、处理组), 时间 (8 个时间点), 处理 × 时间。通过 Bonferroni 检验进行事后比较, 评估组间的差异。采用 NLIN 程序计算瘤胃降解参数的 a 、 b 、 c 值。结果以 “平均值 ± 标准差” 的形式表示。当 $P < 0.05$ 时表示差异显著, $P < 0.01$ 时表示差异极显著。

2 结果与分析

2.1 饲喂 YPK 对奶水牛瘤胃发酵参数的影响

由图 1 所示, 0~4 h, 处理组牛瘤胃中的乙酸、丙酸和总 VFA 显著高于对照组 ($P < 0.05$)。



* 表示组间差异显著 ($P < 0.05$), ** 表示组间差异极显著 ($P < 0.01$)。

图 1 不同时间点下瘤胃发酵参数

晨饲 8 h, 处理组牛瘤胃中的乙酸、丁酸、异戊酸、戊酸、总 VFA 浓度显著高于对照组 ($P < 0.05$)。

24 h, 处理组牛瘤胃中的丙酸、丁酸和总 VFA 的浓度显著高于对照组 ($P < 0.05$)。48 h, 处理组牛瘤胃

中的丙酸、异丁酸、丁酸、异戊酸和总 VFA 的浓度显著高于对照组 ($P<0.05$)。72 h, 处理组牛瘤胃中的异丁酸、丁酸、总 VFA 的浓度显著高于对照组 ($P<0.05$)。晨饲 0 h 时, 处理组牛瘤胃的 pH 值低于对照组, 其余时间段中处理组牛瘤胃的 pH 值与对照组无显著差异 ($P>0.05$)。

2.2 饲喂 YPK 对营养物质瘤胃降解率的影响

2.2.1 饲喂 YPK 对奶水牛瘤胃 DM 降解率的影响

由表 2 所示, 2~24 h, 处理组的 DM 瘤胃降解率均显著高于对照组 ($P<0.05$), 而 48 h 时, 处理组与对照组的 DM 瘤胃降解率无显著差异 ($P=0.664$), 72 h 时, 处理组的 DM 瘤胃降解率极显著高于对照组 ($P=0.008$)。处理组 DM 的快速降解部分显著高于对照组 ($P=0.011$), 而处理组 DM 的慢速降解部分 ($P=0.356$) 和慢速降解部分的降解速率 ($P=0.802$) 与对照组无显著差异。处理组的有效降解率极显著高于对照组 ($P<0.001$)。

表 2 饲粮 DM 瘤胃降解率及降解参数

项目	对照组	处理组	P 值	
2 h	32.90±1.30	36.16±1.02	0.008	
4 h	36.81±2.12	41.12±1.68	0.019	
瘤胃 降解 率/%	8 h	46.89±1.14	50.22±2.32	0.042
	12 h	51.23±0.89	55.32±1.41	0.003
	24 h	64.01±0.92	66.56±1.81	0.046
	48 h	68.68±1.59	69.47±3.06	0.664
	72 h	70.57±1.32	74.71±1.63	0.008
瘤胃 降解 参数	a/%	26.26±1.81	30.19±1.16	0.011
	b/%	44.37±2.29	42.98±1.57	0.356
	c/(%·h ⁻¹)	0.074±0.009	0.076±0.013	0.802
	ED/%	57.47±0.40	60.53±0.56	<0.001

注: a 为快速降解部分, b 为慢速降解部分, c 为 b 的降解速率, ED 为有效降解率。下同。

2.2.2 饲喂 YPK 对奶水牛瘤胃 CP 降解率的影响

由表 3 可知, 2、8 和 72 h 3 个时间点, 处理组 CP 的瘤胃降解率显著高于对照组 ($P<0.05$), 其余时间点, 处理组与对照组的 CP 瘤胃降解率无显著差异 ($P>0.05$)。处理组与对照组的 DM 快速降解部分、慢速降解部分和慢速降解部分的降解速率均无显著差异 ($P>0.05$)。处理组的有效降解率显著高于对照组 ($P=0.044$)。

2.2.3 饲喂 YPK 对奶水牛瘤胃 NDF 降解率的影响

由表 4 可知, 2~72 h, 处理组的 NDF 瘤胃降解率显著高于对照组 ($P<0.05$), 其中 4 h 和 48 h 处理

组的 NDF 瘤胃降解率极显著高于对照组 ($P<0.01$)。处理组 NDF 的快速降解部分显著高于对照组 ($P=0.023$), 慢速降解部分与对照组无显著差异 ($P=0.637$)。处理组 NDF 的慢速降解部分的降解速率和有效降解率极显著高于对照组 ($P<0.01$)。

表 3 饲粮 CP 瘤胃降解率及降解参数

项目	对照组	处理组	P 值	
2 h	28.45±0.73	30.67±0.78	0.023	
4 h	38.43±1.44	40.42±0.82	0.106	
瘤胃 降解 率/%	8 h	46.23±1.74	49.50±0.71	0.040
	12 h	52.15±0.24	53.26±0.78	0.078
	24 h	57.26±2.53	59.73±1.28	0.207
	48 h	65.35±0.70	66.38±1.49	0.340
	72 h	72.45±0.69	74.21±0.83	0.048
瘤胃 降解 参数	a/%	25.99±1.20	28.04±1.14	0.099
	b/%	43.51±0.72	42.65±0.80	0.241
	c/(%·h ⁻¹)	0.068±0.011	0.071±0.006	0.688
	ED/%	55.83±0.77	57.75±0.86	0.044

表 4 饲粮 NDF 瘤胃降解率及降解参数

项目	对照组	处理组	P 值	
2 h	18.84±0.35	20.23±0.39	0.010	
4 h	29.98±0.58	33.18±0.59	0.003	
瘤胃 降解 率/%	8 h	41.01±0.14	41.96±0.52	0.036
	12 h	48.99±0.95	50.99±0.50	0.032
	24 h	54.75±1.18	58.01±1.36	0.035
	48 h	61.94±0.50	64.80±0.77	0.006
	72 h	71.11±1.42	73.62±0.56	0.046
瘤胃 降解 参数	a/%	11.63±1.50	15.00±0.65	0.023
	b/%	54.59±1.37	54.15±0.56	0.637
	c/(%·h ⁻¹)	0.051±0.007	0.083±0.004	0.002
	ED/%	45.47±0.35	54.38±0.49	<0.001

2.2.4 饲喂 YPK 对奶水牛瘤胃 ADF 降解率的影响

由表 5 所示, 2~24 h, 处理组的 ADF 瘤胃降解率显著高于对照组 ($P<0.05$), 而 48 h 时, 处理组的 ADF 瘤胃降解率与对照组无显著差异 ($P=0.086$), 72 h 时, 处理组的 ADF 瘤胃降解率显著高于对照组 ($P=0.048$)。处理组 ADF 的快速降解部分、慢速降解部分的降解速率及有效降解率极显著高于对照组 ($P<0.001$), 而处理组与对照组的慢速降解部分无显著差异 ($P=0.754$)。

表 5 饲料 ADF 瘤胃降解率及降解参数

项目	对照组	处理组	P 值	
瘤胃 降解 率/%	2 h	14.38±0.72	15.91±0.55	0.043
	4 h	19.96±0.59	21.53±0.37	0.018
	8 h	27.56±0.26	29.61±0.94	0.022
	12 h	36.75±1.03	39.89±1.22	0.027
	24 h	45.68±1.50	49.03±1.14	0.037
	48 h	54.83±1.53	57.51±1.36	0.086
	72 h	64.64±1.66	67.70±0.99	0.048
瘤胃 降解 参数	a/%	10.88±0.20	13.05±0.25	<0.001
	b/%	52.76±1.77	53.14±0.94	0.754
	c/(%·h ⁻¹)	0.047±0.001	0.085±0.003	<0.001
	ED/%	42.76±0.96	51.99±0.47	<0.001

3 讨论

3.1 瘤胃源活酵母菌液对瘤胃发酵参数的影响

pH 值是瘤胃发酵的重要参数之一，可以反映瘤胃环境稳态。Nisbet 等^[11]研究发现酵母菌通过竞争可发酵碳水化合物或促进乳酸利用菌的生长，降低乳酸的积累，从而稳定瘤胃 pH 值并防止瘤胃酸中毒。研究发现，酿酒酵母菌通过抑制乳酸产生菌和促进乳酸利用菌生长来稳定瘤胃 pH 值^[12]。一般瘤胃 pH 值的正常范围为 6.0~7.0，过高或过低都会影响瘤胃微生物的活性^[13]。本试验中 2 组的 pH 值均在 6.5~6.9 内，并且 YPK 没有显著影响瘤胃 pH 值，暗示添加 YPK 对瘤胃的 pH 值不会产生负面影响。

VFA 是碳水化合物在瘤胃中被多种微生物发酵的主要产物，其浓度和组成是评价瘤胃发酵方式和发酵能力的直接指标。酵母菌液能影响瘤胃微生物区系，可以促进瘤胃中的纤维降解菌的生长，改变瘤胃 VFA 谱。Xiao 等^[14]研究发现，荷斯坦犊牛饲喂酿酒酵母 (*Saccharomyces cerevisiae*)，增加了瘤胃中丁酸弧菌 (*Butyrivibrio*) 的丰度，提高了丁酸的浓度。Amin 等^[15]研究表明酵母菌通过与牛链球菌 (*Streptococcus bovis*) 和乳酸杆菌 (*Lactobacillus*) 争夺可用糖分，并促进巨球形菌 (*Megasphaera*) 的生长，从而促进乳酸转化为丁酸和丙酸，改变瘤胃 VFA 组成。Zhu 等^[16]在奶牛的研究中得出了相似的结论，除乙酸、丙酸外，丁酸和总 VFA 的浓度显著增加。Opsi 等^[17]观察到活性酿酒酵母降低了瘤胃乙酸浓度但增加了戊酸比例。本研究发现 YPK 显著提高了奶水牛瘤胃乙酸、丙酸和总 VFA 的浓度，这可能与 YPK 改变了瘤胃微生物区系，促进了饲料营养物质降解率有关。

3.2 瘤胃源活酵母菌液对瘤胃中饲料营养物质降解率的影响

饲料营养物质降解率能够反映饲料被瘤胃微生物降解的程度。DM、CP、NDF 和 ADF 是评价饲料营养物质降解率的重要指标^[18]。本研究发现 YPK 显著提高了饲料 DM、CP、NDF 和 ADF 在瘤胃中的降解率。Suntara 等^[19]研究表明酿酒酵母可以提高荷斯坦奶牛的饲料消化率。Lesmeister 等^[20]在犊牛日粮中补充酿酒酵母培养物，发现提高了采食量和饲料的消化率。Chaucheyras 等^[21]研究表明活酿酒酵母可以提高厌氧微生物的纤维酶活性，从而促进瘤胃纤维素降解。Zhou 等^[22]研究表明在日粮中添加活性酵母提高了荷斯坦奶牛瘤胃中纤维分解菌的丰度，还提高了奶牛的泌乳性能和饲料降解率。Johnson 等^[23]在牛日粮中添加活酵母（裂殖酵母和酿酒酵母）降低了瘤胃溶解氧，促进了纤维素分解菌生长。Promkot 等^[24]在奶牛的日粮中添加活性酿酒酵母，发现牛瘤胃细菌数量和 NDF 消化率有升高的趋势，可能原因是活性酵母增加了瘤胃纤维分解菌、淀粉分解菌和蛋白分解菌的数量。Sunato 等^[25]用酿酒酵母发酵饲料饲喂奶牛，发现可以提高 DM、CP 的消化率。本研究结果与上述研究结果一致，可能机制是 YPK 通过消耗瘤胃中的氧气，为瘤胃厌氧微生物营造厌氧环境，另一方面 YPK 为瘤胃特定微生物菌群提供了生长因子和营养物质，促进了纤维降解菌等菌群的生长，从而提高了饲料营养物质在瘤胃中的降解率。

4 结论

补饲瘤胃源活毕赤酵母菌液显著提高了奶水牛瘤胃中乙酸、丙酸和总 VFA 的浓度，提高了饲料 DM、CP、NDF、ADF 在瘤胃中的降解率，说明瘤胃源活毕赤酵母具有开发成反刍动物功能性益生菌的潜力。

参考文献：

- [1] FONTY G, CHAUCHEYRAS-DURAND F. Effects and modes of action of live yeasts in the rumen [J]. *Biologia*, 2006, 61 (6): 741-750.
- [2] PINLOCHE E, MCEWAN N, MARDEN J P, et al. The effects of a probiotic yeast on the bacterial diversity and population structure in the rumen of cattle [J]. *PLoS One*, 2013, 8 (7): e67824.
- [3] MALEKKHAHI M, TAHMASBI A M, NASERIAN A A, et al. Effects of supplementation of active dried yeast and malate during sub-acute ruminal acidosis on rumen fermentation, microbial population, selected blood metabolites, and milk production in dairy cows [J]. *Anim Feed Sci Technol*, 2016, 213: 29-43.
- [4] 惠文. 日粮添加酵母培养物对奶牛生产性能、营养物质表观消化率及瘤胃发酵参数的影响 [J]. *饲料研究*, 2021, 44 (7):

- 29-32.
- [5] 王磊, 周国乔, 张永东, 等. 活性干酵母对肉牛生长性能、养分表观消化率及瘤胃发酵参数的影响 [J]. 饲料研究, 2021, 44 (13): 27-30.
- [6] 张炯奇, 徐晓锋, 林涛, 等. 体外法研究酵母复合物对泌乳早期奶牛日粮降解特性和瘤胃发酵参数的影响 [J]. 饲料工业, 2024, 45 (11): 62-68.
- [7] 王晓成, 刘军花, 朱伟云, 等. 瘤胃源酵母的分离筛选及对不同底物发酵能力影响 [J]. 草业学报, 2016, 25 (5): 141-148.
- [8] WANG Y, LI Z, JIN W, et al. Isolation and characterization of ruminal yeast strain with probiotic potential and its effects on growth performance, nutrients digestibility, rumen fermentation and microbiota of Hu sheep [J]. J Fungi (Basel), 2022, 8 (12): 1260.
- [9] JIN W, MENG Z, WANG J, et al. Effect of nitrooxy compounds with different molecular structures on the rumen methanogenesis, metabolic profile, and methanogenic community [J]. Curr Microbiol, 2017, 74 (8): 891-898.
- [10] VAN SOEST P J, ROBERTSON J B, LEWIS B A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition [J]. J Dairy Sci, 1991, 74 (10): 3583-3597.
- [11] NISBET D J, MARTIN S A. Effect of dicarboxylic acids and *Aspergillus oryzae* fermentation extract on lactate uptake by the ruminal bacterium *Selenomonas ruminantium* [J]. Appl Environ Microbiol, 1990, 56 (11): 3515-3518.
- [12] CHAUCHEYRAS-DURAND F, AMEILBONNE A, BICHAT A, et al. Live yeasts enhance fibre degradation in the cow rumen through an increase in plant substrate colonization by fibrolytic bacteria and fungi [J]. J Appl Microbiol, 2016, 120 (3): 560-570.
- [13] JEYANATHAN J, MARTIN C, MORGAVI D P. The use of direct-fed microbials for mitigation of ruminant methane emissions: a review [J]. Animal, 2014, 8 (2): 250-261.
- [14] XIAO J X, ALUGONGO G M, CHUNG R, et al. Effects of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation products on dairy calves: ruminal fermentation, gastrointestinal morphology, and microbial community [J]. Dairy Sci, 2016, 99 (7): 5401-5412.
- [15] AMIN A B, MAO S. Influence of yeast on rumen fermentation, growth performance and quality of products in ruminants: a review [J]. Anim Nutr, 2021, 7 (1): 31-41.
- [16] ZHU W, WEI Z, XU N, et al. Effects of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation products on performance and rumen fermentation and microbiota in dairy cows fed a diet containing low quality forage [J]. J Anim Sci Biotechnol, 2017, 8: 36.
- [17] OPSI F, FORTINA R, TASSONE S, et al. Effects of inactivated and live cells of *Saccharomyces cerevisiae* on *in vitro* ruminal fermentation of diets with different forage: concentrate ratio [J]. J Agric Sci, 2012, 150: 271-283.
- [18] 姬奇武, 韩汝旦, 董宽虎, 等. 不同生长期白羊草的营养成分及绵羊瘤胃降解特性 [J]. 草地学报, 2015, 23 (6): 1295-1302.
- [19] SUNTARA C, CHERDTHONG A, URIYAPONGSON S, et al. Novel Crabtree negative yeast from rumen fluids can improve rumen fermentation and milk quality [J]. Sci Rep, 2021, 11 (1): 6236.
- [20] LESMEISTER K E, HEINRICHS A J, GABLER M T. Effects of supplemental yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) culture on rumen development, growth characteristics, and blood parameters in neonatal dairy calves [J]. J Dairy Sci, 2004, 87 (6): 1832-1839.
- [21] CHAUCHEYRAS F, FONTY G, BERTIN G, et al. Effects of live *Saccharomyces cerevisiae* cells on zoospore germination, growth, and cellulolytic activity of the rumen anaerobic fungus, *Neocallimastix frontalis* MCH₃ [J]. Curr Microbiol, 1995, 31 (4): 201-205.
- [22] ZHOU R, WU J, ZHANG L, et al. Effects of oregano essential oil on the ruminal pH and microbial population of sheep [J]. PLoS One, 2019, 14 (5): e0217054.
- [23] 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.
- [24] PROMKOT C, NITIPOT P, PIAMPON N, et al. Cassava root fermented with yeast improved feed digestibility in Brahman beef cattle [J]. Anim Prod Sci, 2017, 57: 1613-1617.
- [25] SUNATO S, PATTARAJIN V, LOWILAI P, et al. Effect of yeast fermented ethanol waste on feed utilization and digestion in dairy cattle [J]. Pak J Nutr, 2015, 14 (8): 468-473.