

网络出版时间:2019-06-12 09:41 DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2019.12.002
网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20190612.0939.004.html

活性干酵母对肉牛日粮瘤胃降解的影响

梁稼烨¹, 张 松¹, 宋 钰¹, 梅楚刚¹, 咎林森^{1,2}

(1 西北农林科技大学 动物科技学院, 陕西 杨凌 712100; 2 国家肉牛改良中心, 陕西 杨凌 712100)

【摘 要】 【目的】研究不同饲喂水平活性干酵母对肉牛饲料瘤胃有效降解率和发酵相关指标的影响, 为活性干酵母在肉牛生产中的应用提供依据。【方法】以 3 头装有永久性瘤胃瘘管的秦川肉牛为试验动物, 采用 3×3 拉丁方设计, 分为 3 期, 每期 30 d(预试期 10 d, 试验期 20 d), 每期对 3 头牛分别饲喂不同水平(0, 30, 60 g/(d·头))活性干酵母(混入相同的精料中饲喂), 在试验第 26~30 天, 采集瘤胃液, 测定其 pH 及氨态氮和挥发性脂肪酸含量。采用尼龙袋法分别测定 4 种粗饲料(青贮玉米、苜蓿干草、小麦麦秸、酒糟)和 3 种蛋白饲料(豆粕、菜粕、棉粕)的干物质(DM)、粗蛋白(CP)和中性洗涤纤维(NDF)的有效降解率。【结果】活性干酵母可显著提高瘤胃液 pH、挥发性脂肪酸含量和乙酸相对含量($P<0.05$), 显著降低氨态氮含量和丙酸相对含量($P<0.05$), 促进瘤胃乙酸型发酵。饲喂活性干酵母有助于提高苜蓿干草 DM、NDF、CP、青贮玉米 DM、NDF 及菜粕 CP 的有效降解率, 其中以 60 g/(d·头)的饲喂量效果较好, 但对其他饲料的有效降解率无显著影响。【结论】饲喂活性干酵母可显著改善瘤胃发酵相关指标, 提高苜蓿干草 DM、NDF、CP、青贮玉米 DM、NDF 及菜粕 CP 的有效降解率, 其中以 60 g/(d·头)的饲喂量效果较好。

【关键词】 活性干酵母; 肉牛饲料; 降解速率; 发酵指标

【中图分类号】 S823.9⁺2

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2019)12-0010-09

Effect of active dried yeast on rumen degradation of beef cattle diet

LIANG Jiaye¹, ZHANG Song¹, SONG Yu¹, MEI Chugang¹, ZAN Linsen^{1,2}

(1 College of Animal Science and Technology, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 National Beef Cattle Improvement Center, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】 This study analyzed the effects of different feeding levels of active dry yeast on effective rumen degradation rate and fermentation related indexes of beef cattle feed to provide basis for application of active dry yeast in beef cattle production. 【Method】 Three Qinchuan beef cattle with permanent rumen fistula were fed on same basal diet in three periods. Each period last for 30 days with 10 days for pre-trail and 20 days for experiment, and cows were fed with three yeast levels (0, 30 and 60 g/(d·head)). During days 26—30, the degradation rates of dry matter (DM), crude protein (CP) and neutral detergent fiber (NDF) of four forages (corn silage, alfalfa, wheat straw, and distiller grains) and three proteins (soybean meal, rapeseed meal, and cottonseed meal) were determined by nylon bag method. The rumen pH, ammonia nitrogen and concentration of volatile fatty acids were also measured. 【Result】 Active dry yeast could significantly increase pH, volatile fatty acid content and relative acetic acid content of gastric tumor fluid ($P<0.05$), significantly reduce ammonia nitrogen content and propionic acid content ($P<0.05$), and promote rumen acetic acid type fermentation. Active dry yeast feeding also improved the effective degradation rates of DM, NDF and CP of alfalfa hay, DM and NDF of silage corn and CP of rape meal. The level of

【收稿日期】 2018-10-25

【基金项目】 国家重点研发计划项目(2018YFD0501700); 国家肉牛牦牛产业技术体系项目(CARS-37)

【作者简介】 梁稼烨(1993—), 男, 陕西宝鸡人, 硕士, 主要从事肉牛健康养殖研究。E-mail: 1010511392@qq.com

【通信作者】 咎林森(1963—), 男, 陕西扶风人, 教授, 博士生导师, 主要从事肉牛奶牛遗传改良、健康养殖及产业化开发研究。E-mail: zanlinsen@163.com

60 g/(d·head) was the best, and had no significant effect on effective degradation rates of other feeds. 【Conclusion】 Feeding active dry yeast can significantly improve relevant indicators of rumen fermentation and improve effective degradation rates of DM, NDF and CP of alfalfa hay, DM and NDF of silage corn and of CP cabbage meal. The feed amount of 60 g/(d·head) is recommended.

Key words: active dry yeast; beef cattle feed; degradation rate; fermentation indicators

在反刍动物养殖中,通过调控瘤胃发酵达到提高饲料利用效率及动物生产性能的目的^[1]。抗生素类产品如莫能菌素能通过改变瘤胃微生物区系来调控瘤胃发酵,提高碳水化合物和蛋白质利用率,减少甲烷产量,从而提高动物生产性能,一直被广泛使用^[2]。然而,大规模使用抗生素会产生抗生素残留和导致耐药性细菌的危害^[3]。欧盟已于 2006 年全面禁止在动物饲料中添加抗生素。活性酵母可以维持肠道内微生态平衡,是一种很有潜力的抗生素替代品。研究发现,酵母培养物有利于提高反刍动物的采食量、产奶量等生产性能^[4]。唐海翠等^[5]研究证明,在山羊日粮中添加酵母培养物有利于改善山羊瘤胃发酵。活性酵母菌有提高水牛采食量和营养成分利用率的趋势,班志彬^[6]研究了添加活性酵母菌对草原红牛甲烷排放的影响,结果发现添加活性酵母菌后,甲烷排放量显著减少,有益于提高动物生产性能。然而,有关活性干酵母对肉牛瘤胃养分降解和发酵的影响鲜有报道。本试验以秦川牛肉用新品系(以下简称秦川肉牛)作为研究对象,饲喂不同水平(0, 30, 60 g/(d·头))活性干酵母,研究其添加对饲料养分瘤胃降解率和发酵相关指标的影响,旨在为活性干酵母在肉牛生产中的应用提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 试验动物及材料

试验动物为西北农林科技大学国家肉牛改良中心良繁场的 3 头体况良好、体质量在(500±15) kg/头、安装永久性瘤胃瘘管的秦川肉牛(公牛)。活性干酵母,购自北京邦士富生物科技有限公司。

1.2 试验设计及饲养管理

试验采用 3×3 拉丁方设计,分为 3 期,每期 30 d。每期对 3 头牛分别饲喂不同水平的活性干酵母,同一头牛不同期活性干酵母饲喂水平不同,每期根据活性干酵母的饲喂量分 3 个组:Ⅰ组(对照组,0 g/(d·头))、Ⅱ组(低水平组,30 g/(d·头))和Ⅲ组(高水平组,60 g/(d·头))。每期试验过程分为预试期和试验期,其中预试期 10 d,试验期 20 d。

试验牛的饲喂:将 1/2 设计量的活性干酵母混

入精料中饲喂,待试验牛食完后,再饲喂粗料,每天饲喂 2 次(08:30 和 16:30 各 1 次),并于饲喂 0.5 h 后饮水,保证每天的粗料剩料量在 5%~10%,期间准确记录每日的采食量。试验开始前对牛舍进行消毒,对试验牛进行驱虫。试验期间每天观察试验牛的行为(采食、饮水和排泄)和精神状况。

日粮中精料的配制依据中国肉牛饲养标准(NY/T 815—2004),结合营养需要量和饲喂的实际要求,并以等能等氮为原则,试验牛日粮配方及营养成分见表 1。粗料以青贮玉米和小麦秸秆为主。

1.3 瘤胃发酵相关指标的测定

1.3.1 样品采集与 pH 测定 分别在试验期第 26~30 天,采集晨饲 2 h 后的瘤胃液(上、下、左、右四方位),充分混匀,用便携式 pH S-2C 型数字式酸度计(上海 SANXIN)测定 pH。

1.3.2 氨态氮和挥发性脂肪酸(VFA)含量测定 用 4 层灭菌脱脂纱布过滤收集到的瘤胃液,然后量取两份(50 mL/份)瘤胃液分别加入到 2 个离心管中,其中一份加入到预盛有 5 mL 6 mol/L 盐酸的离心管中,于-20℃保存,用于氨态氮含量的测定;另一份-20℃保存,用于 VFA 含量的测定。

氨态氮含量参照文献[7]采用比色法测定:取 10 mL 上述瘤胃液样品,3 500~4 000 r/min 离心 10 min,取 2 mL 上清液于 15 mL 试管中,再加入 8 mL 0.2 mol/L 盐酸,摇匀,然后用分光光度计与氨氮标准系列溶液进行比色。

VFA 含量参考文献[8]使用气相色谱仪进行测定。取 2 mL 上述瘤胃液样品于 5 mL 离心管中,10 000 r/min 离心 10~15 min;取 1 mL 上清液于 1.5 mL 离心管中,加入 0.2 mL 250 g/L 的偏磷酸溶液,用涡旋振荡器混合均匀,10 000 r/min 离心 10~15 min;用微量注射器取 1 μL 上清液,注入气相色谱仪进行分析,得到 VFA 样品色谱图。采用峰面积外标法计算样品中 VFA 的含量,并计算丁酸、乙酸、丙酸的相对含量(占 VFA 的比例)及乙酸与丙酸比。

1.4 日粮瘤胃降解率测定

选取 4 种常用粗饲料(苜蓿干草、小麦麦秸、青

贮玉米和酒糟)和 3 种蛋白饲料(豆粕、菜粕和棉粕),采样后通过“四分法”获取样品,65 ℃ 条件下烘干 24 h,然后称质量备用^[9]。准确称取 5 g 样品放入尼龙袋(孔径 38 μm,面积 80 mm×120 mm)中,将装袋后的样品放入瘤胃腹囊中发酵。发酵时间设 3,6,12,24 和 48 h,每个时间处理同一试牛放 3 个重复袋。发酵结束后快速取出尼龙袋,立即放入冰水中,停止发酵,并用自来水冲洗至澄清为止,65 ℃ 烘干至恒质量。然后,将尼龙袋内的残余物粉碎,过 1 mm 孔筛,备用。采用常规营养成分分析法测定瘤胃降解前、后饲料中常规营养成分干物质(DM)、粗蛋白(CP)、中性洗涤纤维(NDF)的含量。DM 含量的测定:取 200~300 g 样品于 105 ℃ 烘箱中烘干,剩余质量占原质量的百分比即为 DM 含量。CP 含量的测定采用凯氏定氮法,NDF 含量的测定采用范式纤维分析法^[10]。钙含量的测定用高锰酸钾滴定法,磷含量的测定用钼黄比色法。不同时间点饲料养分降解率(p)按下式计算:

$$p=(\text{样品养分含量}-\text{某时间点残余物中该养分含量})/\text{样品养分含量}\times 100\%。$$

(1)

7 种饲料 DM、CP、NDF 的有效降解率(ED)根据文献[11]计算:

$$p=a+b(1-e^{-ct})。$$

(2)

式中: p 为不同时间点饲料养分降解率(%), a 为快速降解部分(%), b 为慢速降解部分(%), c 为慢速降解部分的降解速率(%/h), t 为降解时间(h)。

根据式(2)求出 a 、 b 的值,代入式(3)求出 ED 。

$$ED=a+b\times c/(c+k)。$$

(3)

式中: ED 为有效降解率(%), k 为外流速率(%/h),参照 Duinkerken 的观点,本试验 k 值按照 $k=0.001\ 39+0.177\ 5c$ 来计算。

1.5 数据统计分析

试验结果以“平均值±标准差”表示,采用 Excel 2007 进行数据整理,SPSS 17.0 软件进行数据分析处理,LSD 法检验组间的显著性。

表 1 试验牛日粮组成及营养水平(干物质基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of basal diet (air-dry basis)

项目 Item	成分 Component	含量 Content	项目 Item	成分 Component	含量 Content
配方 Composition	玉米/(g·kg ⁻¹) Corn	247.5	营养水平 Nutrient levels	综合净能/(MJ·kg ⁻¹) NE _{mf}	5.94
	麸皮/(g·kg ⁻¹) Wheat bran	79.2		粗蛋白质/(g·kg ⁻¹) CP	134.4
	豆粕/(g·kg ⁻¹) Soyabean meal	89.1		中性洗涤纤维/(g·kg ⁻¹) NDF	405.7
	菜籽粕/(g·kg ⁻¹) Rapeseed meal	24.8		酸性洗涤纤维/(g·kg ⁻¹) ADF	248.2
	棉粕/(g·kg ⁻¹) Cottonseed meal	29.7		钙/(g·kg ⁻¹) Ca	4.3
	青贮玉米/(g·kg ⁻¹) Corn silage	416.7		总磷/(g·kg ⁻¹) TP	3.1
	小麦麦秸/(g·kg ⁻¹) Wheat straw	83.3			
	食盐/(g·kg ⁻¹) NaCl	5.0			
	预混料/(g·kg ⁻¹) Premix	24.7			

注:预混料每千克含有 V_A 190 000 IU,V_D 75 000 IU,V_E 1 500 000 IU,Zn 4 600 mg,Fe 6 800 mg,Cu 1 000 mg,I 53 mg,Se 2 700 mg,Co 53 mg,水分≤10.0%。营养水平中综合净能是计算值^[7],其余指标均为实测值。

Note:1 kg premix contains V_A 190 000 IU,V_D 75 000 IU,V_E 1 500 000 IU,Zn 4 600 mg,Fe 6 800 mg,Cu 1 000 mg,I 53 mg,Se 2 700 mg,Co 53 mg, and moisture≤10.0%. NE_{mf} in the nutrient level is calculated value^[7],while other indicators are measured values.

2 结果与分析

2.1 活性干酵母对肉牛采食量的影响

试验结果显示,I、Ⅱ、Ⅲ组肉牛的精料采食量均为 2 kg/(d·头),粗料采食量分别为(18.09±

2.25),(18.33±1.28)和(18.97±2.30) kg/(d·头),组间差异不显著($P>0.05$),说明活性干酵母对肉牛采食量无显著影响。

2.2 活性干酵母对肉牛瘤胃发酵指标的影响

活性干酵母对肉牛瘤胃发酵指标的影响见表 2。

表 2 活性干酵母对肉牛瘤胃发酵指标的影响

Table 2 Effect of active dry yeast on rumen fermentation parameters of beef cattle

组别 Group	pH	氨态氮含量/ (mg·L ⁻¹) Ammonia N content	挥发性脂肪 酸含量/ (mmol·L ⁻¹) TVFA content	乙酸相对含量 Acetic acid relative content	丙酸相对含量 Propionic acid relative content	丁酸相对含量 Butyric acid relative content	乙酸/丙酸 Acetic acid/ Propionic acid
I	5.96±0.08 b	72.70±0.24 a	67.53±0.65 c	66.38±0.49 b	12.68±0.75 a	8.77±0.49	5.24±0.32 c
Ⅱ	6.12±0.07 b	62.50±0.08 b	72.33±6.59 b	67.48±0.52 b	10.97±0.66 b	9.39±0.45	6.17±0.38 b
Ⅲ	6.39±0.15 a	60.10±0.05 c	101.80±4.05 a	69.26±1.18 a	9.74±0.85 b	9.53±0.82	7.14±0.55 a

注:同列数据后标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

Note:Different lowercase letters in the same column mean significant difference ($P<0.05$).

由表 2 可知,随着活性干酵母饲喂量的增加,肉牛瘤胃液 pH 升高,且Ⅲ组肉牛瘤胃液 pH 显著高于Ⅰ组和Ⅱ组($P<0.05$);瘤胃氨态氮含量显著降低($P<0.05$);瘤胃内挥发性脂肪酸含量显著增加($P<0.05$)。随着活性干酵母饲喂量的增加,Ⅲ组的乙酸相对含量显著高于Ⅰ组和Ⅱ组($P<0.05$);Ⅰ组的丙酸相对含量显著高于Ⅱ组和Ⅲ组($P<0.05$),乙酸与丙酸比显著升高($P<0.05$);丁酸相对含量差异不显著。

2.3 活性干酵母对肉牛饲料 DM 瘤胃降解的影响

由表 3 可知,活性干酵母可不同程度提高苜蓿干草、小麦麦秸、青贮玉米、酒糟的降解率。在发酵 3 h,青贮玉米Ⅲ组 DM 的降解率显著高于Ⅰ组和Ⅱ

组($P<0.05$);在发酵 6 h,青贮玉米Ⅱ组和Ⅲ组 DM 的降解率显著高于Ⅰ组($P<0.05$);在发酵 12 h,青贮玉米Ⅲ组 DM 的降解率显著高于Ⅰ组($P<0.05$)。在发酵 3 h,苜蓿干草Ⅱ组 DM 的降解率显著高于Ⅰ组和Ⅲ组($P<0.05$)。在发酵 24 h,小麦麦秸Ⅱ组 DM 的降解率显著高于Ⅰ组($P<0.05$)。在发酵 6 和 24 h,酒糟 DM 的降解率在各组间有显著差异($P<0.05$),表现为Ⅰ组 $<$ Ⅱ组 $<$ Ⅲ组($P<0.05$);在发酵 12 h,酒糟Ⅱ组和Ⅲ组 DM 的降解率显著高于Ⅰ组($P<0.05$)。由表 4 可知,青贮玉米Ⅲ组 ED 显著高于其他 2 组($P<0.05$),苜蓿干草Ⅱ组 ED 显著高于其他 2 组($P<0.05$),小麦麦秸Ⅰ组 ED 显著高于其他 2 组($P<0.05$)。

表 3 活性干酵母对不同粗饲料 DM 瘤胃降解率的影响

Table 3 Effect of active dry yeast on dry matter degradation rate of different roughages in rumen

粗饲料 Roughage	组别 Group	降解率/% Degradation rate				
		3 h	6 h	12 h	24 h	48 h
青贮玉米 Corn silage	Ⅰ	30.55±0.58 b	33.79±1.17 b	42.17±0.64 b	58.06±1.26	64.79±1.71
	Ⅱ	29.31±1.02 b	36.46±0.72 a	43.53±0.88 ab	58.60±0.95	66.08±0.85
	Ⅲ	33.71±1.36 a	37.78±0.93 a	44.99±0.87 a	57.19±0.80	66.08±0.52
苜蓿干草 Alfalfa	Ⅰ	33.38±0.74 b	39.86±0.64	56.18±2.79	63.32±2.67	63.57±1.30
	Ⅱ	36.66±1.80 a	41.41±1.56	54.74±0.42	63.34±5.54	63.40±0.77
	Ⅲ	33.96±1.11 b	40.29±3.41	54.73±1.59	63.13±2.66	63.17±0.77
小麦麦秸 Wheat straw	Ⅰ	21.91±0.81	27.50±0.54	37.65±1.25	52.81±0.86 b	68.67±0.77
	Ⅱ	21.45±1.27	27.57±1.92	40.01±0.39	55.60±1.02 a	69.71±1.35
	Ⅲ	23.01±0.66	28.25±1.34	41.97±3.98	54.18±1.81 ab	68.89±0.60
酒糟 Distillers' grains	Ⅰ	35.28±1.00	39.27±0.92 a	43.00±0.78 b	45.78±1.84 c	50.37±0.11
	Ⅱ	36.76±1.06	41.98±1.34 b	48.03±1.96 a	49.79±0.58 b	51.34±1.02
	Ⅲ	37.76±1.73	46.34±0.84 c	47.93±0.55 a	51.66±0.96 a	51.85±2.08

注:不同小写字母表示同种饲料不同组间差异显著($P<0.05$)。下表同。
Note:Different lowercase letters indicate significant differences among different groups of the same feed ($P<0.05$). The same below.

表 4 活性干酵母对不同粗饲料 DM 瘤胃降解参数的影响

Table 4 Effect of active dry yeast on dry matter degradation parameter of different roughages in rumen

粗饲料 Roughage	组别 Group	降解参数 Degradation parameter			
		$a/\%$	$b/\%$	$c/(\% \cdot h^{-1})$	ED/%
青贮玉米 Corn silage	Ⅰ	22.51±0.77 b	47.27±2.26 ab	0.05±0.00 ab	55.01±1.19 b
	Ⅱ	22.01±1.33 b	47.85±1.23 a	0.06±0.00 a	55.52±0.33 b
	Ⅲ	27.89±1.35 a	43.80±1.78 b	0.04±0.00 b	57.17±0.54 a
苜蓿干草 Alfalfa	Ⅰ	16.59±3.35 b	48.11±4.96	0.13±0.01	54.03±0.88 b
	Ⅱ	23.64±3.59 a	41.10±5.07	0.11±0.01	55.20±1.64 a
	Ⅲ	18.73±1.97 ab	45.64±3.46	0.12±0.01	54.07±0.85 b
小麦麦秸 Wheat straw	Ⅰ	15.15±0.76	65.75±0.62	0.04±0.00	56.89±0.47 a
	Ⅱ	12.87±2.21	64.15±2.26	0.04±0.00	56.16±1.18 b
	Ⅲ	14.84±1.14	61.43±3.87	0.04±0.01	55.90±0.87 b
酒糟 Distillers' grains	Ⅰ	32.92±2.08	18.42±1.35	0.06±0.02 b	45.90±0.41
	Ⅱ	27.12±4.11	23.81±4.38	0.17±0.04 a	46.00±0.73
	Ⅲ	26.48±5.73	24.97±4.31	0.23±0.07 a	46.61±1.95

注: a 为快速降解部分, b 为慢速降解部分, c 为慢速降解部分的降解速率。下表同。
Note: a for rapidly degraded proportion, b for slowly degraded proportion, and c for degradation speed of slowly degraded proportion. The same below.

由表 5 和表 6 可知,活性干酵母对 3 种蛋白饲料(豆粕、菜粕、棉粕)的降解率和发酵参数均无显著

影响($P>0.05$)。

综上所述,饲喂活性干酵母有利于提高肉牛对青贮玉米和苜蓿干草的降解,其中 60 g/(d·头)的活性干酵母用量对青贮玉米的降解效果较好,30 g/(d·头)的活性干酵母用量对苜蓿干草的降解效果较好。

表 5 活性干酵母对不同蛋白饲料 DM 瘤胃降解率的影响

Table 5 Effect of active dry yeast on dry matter degradation rate of different proteins feeds in rumen

蛋白饲料 Protein feed	组别 Group	降解率/% Degradation rate				
		3 h	6 h	12 h	24 h	48 h
豆粕 Soybean	I	39.82±0.35	44.96±0.92	52.97±0.90	66.78±1.86	84.80±0.62
	II	39.58±2.37	43.93±0.32	52.10±1.28	68.74±1.18	84.36±0.50
	III	39.26±0.79	44.49±0.64	52.05±0.21	68.62±1.57	83.74±0.93
菜粕 Rapeseed	I	28.20±1.04	31.58±0.95	53.15±2.75	62.85±2.52	77.81±2.12
	II	29.60±0.72	33.18±2.82	51.83±1.06	65.53±1.06	77.39±0.98
	III	30.61±1.85	34.49±0.75	52.85±0.92	45.28±17.60	78.98±1.48
棉粕 Cottonseed	I	24.01±0.92	30.32±0.20	42.21±0.71	54.79±4.41	75.45±0.20
	II	24.30±0.35	32.31±1.19	42.98±0.51	56.98±1.46	76.26±0.52
	III	27.58±6.64	31.41±1.28	44.23±2.38	56.42±0.83	76.47±1.40

表 6 活性干酵母对不同蛋白饲料 DM 瘤胃降解参数的影响

Table 6 Effect of active dry yeast on dry matter degradation parameter of different proteins feeds in rumen

蛋白饲料 Protein feed	组别 Group	降解参数 Degradation parameter			
		a/%	b/%	c/(%·h ⁻¹)	ED/%
豆粕 Soybean	I	33.43±0.98	66.06±0.98	0.03±0.00	74.06±0.27
	II	32.90±1.73	66.66±2.38	0.03±0.00	73.89±0.07
	III	32.70±1.09	64.73±3.36	0.03±0.01	73.01±1.64
菜粕 Rapeseed	I	16.25±3.58 b	65.52±0.37	0.06±0.01	62.30±2.12
	II	17.44±0.68 b	63.76±0.20	0.06±0.00	62.62±0.49
	III	24.73±2.91 a	69.10±7.88	0.03±0.02	64.48±0.85
棉粕 Cottonseed	I	17.94±1.31	75.07±5.02	0.03±0.01	63.59±1.50
	II	18.44±1.67	73.10±3.52	0.03±0.01	63.93±1.79
	III	20.37±5.86	71.90±2.68	0.03±0.01	64.26±3.31

2.4 活性干酵母对肉牛饲料 CP 瘤胃降解的影响

由表 7 可知,发酵 3 h 时,青贮玉米Ⅲ组 CP 的降解率显著高于Ⅱ组和Ⅰ组($P<0.05$)。发酵 12~24 h,苜蓿干草Ⅲ组 CP 的降解率显著高于Ⅱ组和Ⅰ组($P<0.05$);发酵 48 h,苜蓿干草Ⅱ组和Ⅲ组 CP 的降解率显著高于Ⅰ组($P<0.05$)。在发酵 3 h 时,酒糟Ⅲ组 CP 的降解率显著高于Ⅱ组和Ⅰ组($P<0.05$)。由表 8 可知,苜蓿干草Ⅱ组和Ⅲ组的 ED 显

著高于Ⅰ组($P<0.05$),其他粗饲料的 ED 在 3 组间无显著性差异($P>0.05$)。

由表 9 可知,发酵 3~6 h,豆粕Ⅲ组 CP 的降解率显著高于Ⅰ组($P<0.05$)。发酵 3 h,菜粕Ⅲ组 CP 的降解率显著高于Ⅱ组和Ⅰ组($P<0.05$);发酵 24~48 h,菜粕Ⅲ组 CP 的降解率显著高于Ⅰ组($P<0.05$)。发酵 12 h,棉粕Ⅱ组和Ⅲ组 CP 的降解率显著高于Ⅰ组($P<0.05$)。

表 7 活性干酵母对不同粗饲料 CP 瘤胃降解率的影响

Table 7 Effect of active dry yeast on crude protein degradation rate of different coarse feeds in rumen

粗饲料 Roughage	组别 Group	降解率/% Degradation rate				
		3 h	6 h	12 h	24 h	48 h
青贮玉米 Corn silage	I	47.59±2.49 b	52.28±2.46	57.12±0.96	62.97±3.24	73.82±1.03
	II	46.97±0.83 b	52.11±1.46	56.71±1.04	62.13±1.13	73.80±1.06
	III	48.65±0.61 a	53.25±2.21	57.57±0.66	63.74±1.01	74.76±1.63
苜蓿干草 Alfalfa	I	57.77±2.94	63.16±4.80	72.17±1.18 b	76.19±3.12 b	82.22±1.61 b
	II	59.95±1.33	63.00±1.91	73.84±0.45 b	77.20±0.86 b	84.31±0.40 a
	III	60.20±1.11	61.94±0.46	76.00±1.28 a	80.58±1.00 a	85.34±0.89 a
小麦麦秸 Wheat straw	I	16.75±0.73	23.31±1.22	27.01±3.07	41.63±3.11	42.27±3.36
	II	16.77±1.15	23.85±1.64	30.35±1.31	40.52±0.45	40.62±1.13
	III	16.70±0.27	23.70±0.60	30.42±0.72	41.56±1.07	41.59±0.63
酒糟 Distillers' grains	I	10.53±0.42 b	15.46±1.42	30.42±1.21	37.38±1.04	48.59±1.22
	II	11.58±0.56 b	16.06±1.56	30.22±0.34	36.10±0.26	49.34±1.72
	III	14.25±1.00 a	17.76±1.52	30.49±0.51	36.32±0.33	47.32±0.55

表 8 活性干酵母对不同粗饲料 CP 瘤胃降解参数的影响

Table 8 Effect of active dry yeast on crude protein degradation parameter of different coarse feeds in rumen

粗饲料 Roughage	组别 Group	降解参数 Degradation parameter			
		<i>a</i> /%	<i>b</i> /%	<i>c</i> /(%·h ⁻¹)	<i>ED</i> /%
青贮玉米 Corn silage	I	45.22±4.64	42.66±6.49	0.03±0.02	68.68±2.35
	II	45.47±0.58	42.15±2.95	0.02±0.00	69.00±0.73
	III	46.84±1.43	41.10±3.57	0.02±0.00	70.10±2.37
苜蓿干草 Alfalfa	I	50.98±3.77	31.14±4.35	0.09±0.02	74.14±0.76 b
	II	53.67±2.03	31.02±1.86	0.07±0.00	76.26±0.66 a
	III	50.62±0.97	35.10±0.18	0.09±0.01	76.91±0.93 a
小麦麦秸 Wheat straw	I	9.68±0.76	34.90±3.67	0.07±0.01	35.18±2.48
	II	7.34±3.14	34.44±1.77	0.10±0.03	33.55±1.23
	III	7.61±0.22	35.28±0.78	0.10±0.01	34.34±0.62
酒糟 Distillers' grains	I	1.89±1.88 c	48.39±2.32 a	0.06±0.00	36.48±0.91
	II	4.70±0.56 b	48.09±3.23 a	0.05±0.01	37.88±1.37
	III	7.71±1.05 a	42.26±2.00 b	0.05±0.00	37.12±0.35

表 9 活性干酵母对不同蛋白饲料 CP 瘤胃降解率的影响

Table 9 Effect of active dry yeast on crude protein degradation rate of different protein feeds in rumen

蛋白饲料 Protein feed	组别 Group	降解率/% Degradation rate				
		3 h	6 h	12 h	24 h	48 h
豆粕 Soybean	I	34.56±1.31 b	48.59±0.35 b	52.69±0.85	64.00±2.19	85.88±3.04
	II	35.80±0.55 b	50.32±1.06 ab	55.64±1.24	65.39±1.12	84.56±0.95
	III	37.60±0.40 a	51.19±1.53 a	54.94±3.28	63.68±0.57	84.45±1.15
菜粕 Rapeseed	I	18.82±0.37 b	32.65±2.07	47.54±2.49	59.15±1.45 b	80.75±0.86 b
	II	19.55±0.71 b	33.22±1.01	46.51±1.32	61.35±1.14 ab	81.21±1.29 ab
	III	22.71±2.06 a	34.51±1.72	47.53±1.85	63.62±1.26 a	83.01±0.51 a
棉粕 Cottonseed	I	9.68±0.58	14.81±0.76	31.93±1.72 b	50.66±1.47	71.14±1.66
	II	9.37±0.34	15.58±1.58	34.92±1.54 a	48.94±1.38	70.46±0.25
	III	9.20±0.40	16.74±0.62	36.26±0.47 a	51.65±1.26	71.28±0.82

表 10 活性干酵母对不同蛋白饲料 CP 瘤胃降解参数的影响

Table 10 Effect of active dry yeast on crude protein degradation parameter of different protein feeds in rumen

蛋白饲料 Protein feed	组别 Group	降解参数 Degradation parameter			
		<i>a</i> /%	<i>b</i> /%	<i>c</i> /(%·h ⁻¹)	<i>ED</i> /%
豆粕 Soybean	I	32.04±1.15 c	67.20±0.31	0.03±0.00	73.21±0.70
	II	34.05±0.61 b	62.67±3.95	0.03±0.00	73.14±0.99
	III	36.43±1.08 a	63.57±1.08	0.03±0.00	74.12±0.84
菜粕 Rapeseed	I	11.25±1.64	76.00±2.17	0.05±0.01	62.96±1.24 b
	II	11.49±1.69	76.61±1.60	0.05±0.01	63.69±1.75 ab
	III	14.60±1.82	76.73±0.77	0.04±0.00	66.21±1.04 a
棉粕 Cottonseed	I	-0.83±0.24	85.49±5.24	0.04±0.00 b	54.84±1.91
	II	-0.59±0.39	81.39±2.08	0.04±0.00 ab	53.32±0.30
	III	-2.01±1.25	80.68±1.03	0.05±0.00 a	53.05±0.59

由表 10 可知,菜粕Ⅲ组的 *ED* 显著高于Ⅰ组 ($P<0.05$),其他蛋白饲料的 *ED* 在 3 组间无显著差异($P>0.05$)。

综上,饲喂活性干酵母有利于提高肉牛对苜蓿干草和菜粕 CP 的有效降解率,其中以 60 g/(d·头)的活性干酵母用量效果较好。

2.5 活性干酵母对肉牛饲料 NDF 瘤胃降解的影响

由表 11 可知,发酵 3~6 h 时,青贮玉米Ⅲ组 NDF 的降解率显著高于Ⅰ组($P<0.05$);发酵 24~

48 h 时,苜蓿干草Ⅲ组 NDF 的降解率显著高于Ⅰ组($P<0.05$);在发酵 3,24 h 时,小麦麦秸Ⅲ组 NDF 的降解率显著高于Ⅰ组($P<0.05$);在发酵 6 h 时,酒糟Ⅲ组 NDF 的降解率显著高于Ⅰ组($P<0.05$)。由表 12 可知,青贮玉米Ⅲ组的 *ED* 显著高于Ⅰ组($P<0.05$),苜蓿干草Ⅲ组的 *ED* 显著高于Ⅱ组和Ⅰ组($P<0.05$),小麦麦秸和酒糟的 *ED* 在 3 组间无显著差异($P>0.05$)。

表 11 活性干酵母对不同粗饲料 NDF 瘤胃降解率的影响

Table 11 Effect of active dry yeast on NDF degradation rate of different coarse feeds in rumen

粗饲料 Roughage	组别 Group	降解率/% Degradation rate				
		3 h	6 h	12 h	24 h	48 h
青贮玉米 Corn silage	I	9.57±1.28 b	13.62±0.68 c	25.84±1.21	44.65±1.39	55.09±1.42
	II	11.40±0.60 ab	15.90±0.51 b	25.09±1.08	45.71±1.66	55.91±0.44
	III	12.49±1.19 a	18.34±1.15 a	26.72±2.79	46.70±2.32	57.50±2.05
苜蓿干草 Alfalfa	I	8.31±0.53	10.49±1.05	25.82±0.59	33.79±1.08 b	39.99±0.71 b
	II	7.97±0.86	11.41±0.64	26.44±1.16	36.24±1.70 ab	39.72±1.16 b
	III	8.44±0.22	12.45±1.27	27.34±2.21	37.16±1.51 a	42.82±0.56 a
小麦麦秸 Wheat straw	I	6.46±1.11 b	16.36±1.08	24.99±1.28	44.11±0.51 b	64.53±0.88
	II	7.74±0.98 ab	16.54±1.11	25.40±1.23	47.32±1.17 a	66.66±1.26
	III	8.49±0.37 a	16.61±0.82	26.36±0.66	48.12±2.36 a	66.75±2.56
酒糟 Distillers' grains	I	23.35±0.46	27.60±0.82 b	30.30±0.77	34.99±1.79	43.02±2.16
	II	28.11±7.04	30.25±0.76 ab	31.49±1.26	37.37±2.14	45.97±0.94
	III	25.44±2.27	30.56±2.20 a	31.70±1.14	38.14±2.69	45.47±1.38

表 12 活性干酵母对不同粗饲料 NDF 瘤胃降解参数的影响

Table 12 Effect of active dry yeast on NDF degradation parameter of different coarse feeds in rumen

粗饲料 Roughage	组别 Group	降解参数 Degradation parameter			
		a/%	b/%	c/(%·h ⁻¹)	ED/%
青贮玉米 Corn silage	I	-0.74±2.56 b	62.98±1.74	0.05±0.01	42.17±1.98 b
	II	2.11±1.64 ab	62.36±1.38	0.04±0.01	43.96±1.20 ab
	III	3.94±0.59 a	61.76±1.05	0.04±0.00	45.34±1.24 a
苜蓿干草 Alfalfa	I	-1.37±2.15	43.34±0.26 b	0.08±0.01	30.45±1.61 b
	II	-4.08±0.74	45.13±0.84 ab	0.09±0.01	29.68±1.01 b
	III	-2.88±2.65	47.11±2.21 a	0.08±0.01	31.88±0.40 a
小麦麦秸 Wheat straw	I	0.06±1.21	83.55±6.58	0.03±0.01	51.36±2.58
	II	0.07±1.32	84.33±3.28	0.03±0.00	52.77±1.49
	III	0.28±0.91	82.52±5.02	0.03±0.00	52.54±2.30
酒糟 Distillers' grains	I	21.72±1.55	28.53±6.23	0.03±0.03	37.94±2.56
	II	22.84±0.94	28.61±2.41	0.04±0.01	41.74±2.68
	III	23.34±4.42	29.95±3.13	0.03±0.03	38.79±2.48

由表 13 可知,发酵 6 h 时,豆粕Ⅲ组 NDF 的降解率显著高于Ⅱ组和Ⅰ组($P<0.05$);发酵 12~24 h,菜粕Ⅲ组 NDF 的降解率显著高于Ⅰ组($P<0.05$);发酵 3 h 时,棉粕Ⅲ组 NDF 的降解率显著高于Ⅰ组($P<0.05$)。由表 14 可知,豆粕、菜粕和棉

粕的 ED 均在 3 组间无显著差异($P>0.05$)。
综上,饲喂活性干酵母有利于提高肉牛对青贮玉米和苜蓿干草 NDF 的有效降解率,其中以 60 g/(d·头)的活性干酵母用量效果较好。

表 13 活性干酵母对不同蛋白饲料 NDF 瘤胃降解率的影响

Table 13 Effect of active dry yeast on NDF rate of different protein feeds in rumen

蛋白饲料 Protein feed	组别 Group	降解率/% Degradation rate				
		3 h	6 h	12 h	24 h	48 h
豆粕 Soybean	I	30.25±0.89	49.55±1.94 b	66.41±1.01	73.55±1.36	87.17±1.17
	II	29.41±1.22	53.50±2.47 b	65.31±1.89	71.61±1.77	88.56±1.52
	III	31.73±1.44	56.96±0.34 a	64.51±6.30	73.83±1.79	88.06±2.25
菜粕 Rapeseed	I	25.44±1.08	40.13±0.73	49.23±1.85 b	62.32±1.40 b	82.17±1.56
	II	24.87±1.64	41.81±1.34	53.76±1.28 a	63.34±1.36 ab	82.65±1.85
	III	26.40±1.14	39.92±1.49	52.39±1.43 a	65.25±1.30 a	83.51±0.99
棉粕 Cottonseed	I	21.84±1.05 b	36.39±1.26	48.67±0.89	60.07±0.94	79.24±0.84
	II	23.23±1.06 ab	37.63±1.99	48.90±1.41	57.37±3.55	78.12±1.46
	III	24.13±0.47 a	37.60±2.23	50.40±1.66	61.73±1.67	79.17±1.98

表 14 活性干酵母对不同蛋白饲料 NDF 瘤胃降解参数的影响

Table 14 Effect of active dry yeast on NDF parameter of different protein feeds in rumen

蛋白饲料 Protein feed	组别 Group	降解参数 Degradation parameter			
		<i>a</i> /%	<i>b</i> /%	<i>c</i> /(%·h ⁻¹)	<i>ED</i> /%
豆粕 Soybean	I	10.96±6.13	73.35±4.10	0.11±0.02	67.26±1.77
	II	12.68±3.78	71.57±1.66	0.11±0.02	67.51±1.24
	III	6.99±2.78	71.31±11.18	0.12±0.00	61.58±8.94
菜粕 Rapeseed	I	20.46±1.40	70.56±3.37	0.04±0.01 b	67.03±1.42
	II	18.01±2.08	67.18±4.63	0.06±0.00 a	65.33±1.24
	III	18.86±2.75	69.83±1.61	0.05±0.01 ab	66.95±0.58
棉粕 Cottonseed	I	15.01±0.53	69.00±2.75	0.05±0.00	62.54±0.58
	II	18.72±3.60	66.78±4.54	0.04±0.01	63.10±1.03
	III	16.47±0.64	66.47±2.62	0.05±0.01	62.80±1.51

3 讨 论

3.1 活性干酵母对肉牛瘤胃发酵指标的影响

瘤胃液 pH 直接反映瘤胃的健康情况以及饲料消化水平。影响瘤胃液 pH 的因素有很多,包括饲料原料种类、加工形式、粗精比、饲喂方式等,健康的瘤胃液 pH 为 5.5~7.5^[12]。本研究表明,饲粮中添加活性干酵母能够显著提高瘤胃液的 pH 值,这与前人有关活性酵母菌具有缓解瘤胃酸中毒、稳定瘤胃 pH 的研究结果^[13]相一致。Chaucheyras-Durand 等^[14]研究表明,较高的瘤胃液 pH 有利于提高白色瘤胃球菌、黄化瘤胃球菌、产琥珀酸丝状杆菌等纤维素分解菌分泌的外源性纤维素分解酶活性,有利于强化瘤胃对纤维成分的降解作用,防止瘤胃酸中毒。

瘤胃液中氨态氮的含量处于动态变化中,其安全范围为 60~300 g/L,所以适当地降低瘤胃液中氨态氮含量不但不会影响到反刍动物的生产性能和生理健康,还会对保护瘤胃微环境以及节约能源有积极作用。本研究表明,饲粮中添加活性干酵母能显著降低瘤胃液氨态氮含量,使其更多地用于菌体蛋白的合成^[15]。

粗饲料中的纤维物质经瘤胃微生物群发酵消化后降解为多种挥发性脂肪酸(乙酸、丙酸、丁酸等 VFA)^[16]。乙丙比(乙酸与丙酸比值)代表瘤胃消化粗饲料的能力,乙丙比越高,瘤胃对粗饲料的消化情况越好^[5]。本研究结果表明,肉牛日粮中添加活性干酵母能显著提高瘤胃液挥发性脂肪酸含量、乙酸相对含量和乙丙比,显著降低丙酸相对含量,促进瘤胃的乙酸型发酵,这与唐海翠等^[5]的研究结果一致。Guedes 等^[17]和 Moonen 等^[18]的报道则显示,添加酵母菌能降低瘤胃总 VFA 的浓度,这与本研究结果相反,可能是不同研究选取的饲粮精粗比不同,精粗比越大,也就是精饲料比例越高,酵母对丙酸型发

酵的抑制作用就会越明显,导致总挥发性脂肪酸含量下降;粗饲料比例越高,酵母对乙酸型发酵的促进作用就会越明显,导致总挥发性脂肪酸含量上升。

3.2 活性干酵母对肉牛饲料瘤胃降解的影响

本试验结果表明,活性干酵母有利于提高肉牛对青贮玉米和苜蓿干草 DM 的有效降解率,其中 60 g/(d·头)的活性干酵母对青贮玉米的降解效果较好,30 g/(d·头)的活性干酵母对苜蓿干草的降解效果较好,而对其他饲料 DM 的有效降解率无显著影响,这可能与青贮玉米在发酵时产生大量微生物分泌产物如硫胺素^[17]有关,硫胺素对活性干酵母的活化具有促进作用,而其他饲料中缺乏此类微生物分泌产物。活性干酵母能显著提高青贮玉米和苜蓿干草 NDF 的有效降解率,这与 Zain 等^[19]和 Elseed 等^[20]的研究结果相似。

瘤胃中粗蛋白(CP)饲料的有效降解率主要是由不同类型粗蛋白饲料发酵的难易程度和微生物降解时间决定的^[21]。本试验结果表明,在 7 种饲料中,饲喂活性干酵母能有效提升苜蓿干草及菜粕 CP 的有效降解率。Paryad 等^[22]研究认为,酵母分泌的营养物质可以促进蛋白分解菌(如溶纤维丁酸弧菌、嗜淀粉瘤胃杆菌等)生长,增强其活性,从而提高饲料中 CP 的消化率。Yoon 等^[23]研究表明,在奶牛饲料中添加酿酒酵母培养物,可以提高其瘤胃中蛋白分解菌的数量,瘤胃总菌量的增加尤其是蛋白分解菌量的增加,使更多的饲料蛋白和非蛋白氮转化成菌体蛋白,这些菌体蛋白随食糜进入真胃和十二指肠被机体消化吸收,提高了过瘤胃蛋白质的质量。

4 结 论

(1)活性干酵母具有提高肉牛瘤胃液 pH 和挥发性脂肪酸含量、降低氨态氮含量的作用,可以促进瘤胃乙酸型发酵。

(2)活性干酵母有助于提高苜蓿干草 DM、NDF、CP,青贮玉米 DM、NDF 以及菜粕 CP 的有效降解率,其中以 60 g/(d·头)的饲喂量效果较好。

[参考文献]

- [1] 邓露芳,王加启,卜登攀,等. 2007—2008 年国际反刍动物营养研究进展: II. 瘤胃发酵调控 [J]. 中国畜牧兽医, 2009, 36(1): 12-18.
Deng L F, Wang J Q, Bu D P, et al. Annual review of ruminant nutrition in 2007—2008: II. Rumen fermentation regulation [J]. China Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2009, 36(1): 12-18.
- [2] 贾 鹏,马 涛,刁其玉,等. 莫能菌素作为饲料添加剂在反刍动物中的应用 [J]. 饲料工业, 2018, 39(3): 56-58.
Jia P, Ma T, Diao Q Y, et al. Application of monensin as feed additive in ruminant [J]. Feed Industry, 2018, 39(3): 56-58.
- [3] 岳 磊,牛晋国. 饲用抗生素在畜禽养殖中的问题与对策分析 [J]. 中国猪业, 2018, 7(1): 29-31.
Yue L, Niu J G. Analysis of problems and countermeasures of feeding antibiotics in livestock and poultry breeding [J]. China Swine Industry, 2018, 7(1): 29-31.
- [4] 王卫正,刘 青,张香云,等. 酵母培养物对奶牛生产性能及抗氧化功能的影响 [J]. 中国畜牧杂志, 2016, 52(19): 61-66.
Wang W Z, Liu Q, Zhang X Y, et al. Effect of yeast culture on performance and antioxidant function of dairy cows [J]. Chinese Journal of Animal Science, 2016, 52(19): 61-66.
- [5] 唐海翠,庞学东,庄 苏,等. 酵母培养物对山羊瘤胃纤维素酶活及挥发性脂肪酸的影响 [J]. 反刍动物营, 2005, 52(15): 34-37.
Tang H C, Pang X D, Zhuang S, et al. Effect of yeast culture on activities of fiber hydrolytic enzymes and VFA in goat rumen [J]. Ruminant Nutrition, 2005, 52(15): 34-37.
- [6] 班志彬. 纤维素酶与活性干酵母对草原红牛消化代谢、能量代谢及甲烷排放影响 [J]. 中国畜牧兽医, 2014, 41(1): 96-101.
Ban Z B. Effects of cellulose and active dry yeast on digestive metabolism, energy metabolism and methane emission of grassland red cattle [J]. China Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2014, 41(1): 96-101.
- [7] 冯宗慈,高 民. 通过比色测定瘤胃液氮含量方法的改进 [J]. 畜牧与饲料科学, 2010, 31(21): 37.
Feng Z C, Gao M. An improved method for the determination of ammonia-nitrogen content in gastric juice by colorimetry [J]. Animal Husbandry and Feed Science, 2010, 31(21): 37.
- [8] 曹庆云,周武艺,朱贵钊,等. 气相色谱测定羊瘤胃液中挥发性脂肪酸方法研究 [J]. 中国饲料, 2006(24): 26-28.
Cao Q Y, Zhou W Y, Zhu G Z, et al. Study on the determination of volatile fatty acids in gastric juice of sheep tumor by gas chromatography [J]. Chinese Feed, 2006(24): 26-28.
- [9] 冯仰廉. 反刍动物营养学 [M]. 北京: 科学出版社, 2004: 332-333.
Feng Y L. Ruminant animal nutrition [M]. Beijing: Science Press, 2004: 332-333.
- [10] 杨 胜. 饲料分析及饲料质量检测技术 [J]. 北京: 中国农业出版社, 1993.
Yang S. Feed analysis and feed quality testing technology [J]. Beijing: China Agricultural Press, 1993.
- [11] 冯仰廉,澳斯柯夫. 反刍家畜降解蛋白质的研究(一)用尼龙袋法测定几种中国精饲料在瘤胃中的降解率及该法稳定性的研究 [J]. 中国畜牧杂志, 1984(5): 2-5.
Fen Y L, Auskov. Study on degradation of protein in ruminant livestock (I) determination of degradation rate and stability of several kinds of Chinese refined feed in rumen by nylon bag method [J]. Chinese Journal of Animal Husbandry, 1984(5): 2-5.
- [12] 张彩英,胡国良,曹华斌,等. 反刍动物瘤胃内环境的特点及调控措施 [J]. 中国畜牧兽医, 2010, 37(4): 18-20.
Zhang C Y, Hu G L, Cao H B, et al. Characteristics and control measures of rumen environment in ruminants [J]. China Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2010, 37(4): 18-20.
- [13] Williams P E V, Tait C A G, Innes G M, et al. Effects of the inclusion of yeast culture (*Saccharomyces cerevisiae* plus growth medium) in the diet of dairy cows on milk yield and forage degradation and fermentation patterns in the rumen of steers [J]. J Anim Sci, 1991, 69: 3016-3026.
- [14] Chaucheyras-Durand F, Fonty G. Establishment of cellulolytic bacteria and development of fermentative activities in the rumen of gnotobiotically-reared lambs receiving the microbial additive *Saccharomyces cerevisiae* CNCM 1-1077 [J]. Reprod Nutr Dev, 2001, 41: 57-68.
- [15] 王加启,冯仰廉. 不同粗饲料饲粮发酵规律及合成瘤胃微生物蛋白质效率研究 [J]. 黄牛杂志, 1994, 20(8): 82-84.
Wang J Q, Feng Y L. Studies on the fermentation law of different coarse feed and the efficiency of the synthesis of rumen microorganism protein [J]. Journal of Cattle, 1994, 20(8): 82-84.
- [16] 景小平,彭全辉,邹华围,等. 活性干酵母对肉牛瘤胃纤维降解率的影响 [J]. 肉牛营养与饲料, 2015, 51(S1): 52-55.
Jing X P, Peng Q H, Zou H W, et al. Effects of active dry yeast on the degradation rate of rumen fiber in beef [J]. Nutrition and Feed of Beef Cattle, 2015, 51(S1): 52-55.
- [17] Guedes C M, Gongalves D, Rodrigues M A M, et al. Effects of a *Saccharomyces cerevisiae* yeast on ruminal fermentation and fiber degradation of maize silages in cows [J]. Anim Feed Sci Tech, 2008, 145: 27-40.
- [18] Moonen P, Boonstra J, Van D H R H. Validation of a light cyclor-based reverse transcription polymerase chain reaction for detection of foot-and-mouth disease [J]. Viral Methods, 2003, 113(1): 35-41.
- [19] Zain M, Jamarun N, Arnim A, et al. Effect of yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) on ferment ability, microbial population and digestibility of low quality roughage *in vitro* [J]. Archive Zootechnica, 2011, 14(4): 51-58.

[21] Byun S O,Fang Q,Zhou H,et al. An effective method for silver-staining DNA in large numbers of polyacrylamide gels [J]. Analytical Biochemistry,2009,385(1):174-175.

[22] Gong H,Zhou H,Hickford J G. Diversity of the glycine/tyrosine-rich keratin-associated protein 6 gene (KAP6) family in sheep [J]. Molecular Biology Reports,2011,38(1):31.

[23] Livak K J,Schmittgen,T D. Analysis of relative gene expression data using real-time quantitative PCR and the $2^{-\Delta\Delta C_T}$ method [J]. Methods,2001,25(4):402-408.

[24] Monne M,Nilsson I,Elofsson A,et al. Turns in transmembrane helices;determination of the minimal length of a “helical hair-pin” and derivation of a fine-grained turn propensity scale [J]. Mol Biol,1999,293:807-814.

[25] 车陇杰,王继卿,李 涛,等. 山羊 KRTAP26-1 基因鉴定及其遗传特征研究 [J]. 基因组学与应用生物学,2018,37(2):710-717.

[26] Che L J, Wang J Q, Li T, et al. Identification of caprine KRTAP26-1 gene and its genes characteristics study [J]. Genomics and Applied Biology,2018,37(2):710-717.

[27] Li S,Zhou H,Gong H,et al. Identification of the ovine keratin-associated protein 26-1 gene and its association with variation in wool traits [J]. Genes,2017,8(9):225.

[28] 李正娟,李爱华,张 蕊,等. 滩羊 KAP1. 1 基因在胚胎及二毛期毛囊中的表达分析 [J]. 农业科学研究,2013,34(2):21-25.

[29] Li Z J,Li A H,Zhang R,et al. Expression of KAP1. 1 gene in embryo stages and lamb hair follicle in Tan Sheep (*Ovis aries*) [J]. Journal of Agricultural Sciences,2013,34(2):21-25.

(上接第 18 页)

[20] Elseed A,Abusamra R M A. Effects of supplemental yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) culture on NDF digestibility and rumen ferfermentation of forage sorghum hay in Nubian goat’s kids [J]. Journal of Dairy Science,2007,3(3):133-137.

[21] 张永根,李春雷,王艳菲,等. 奶牛常用饲料干物质和蛋白质瘤胃降解特性及小肠消化率研究 [J]. 东北农业大学学报,2013,44(9):1-6.

[22] Zhang Y G,Li C L,Wang Y F,et al. Degradation characteristics and intestinal digestibility of common feed dry matter and protein in cows [J]. Journal of Northeast Agricultural University,2013,44(9):1-6.

[23] Paryad A,Rashidi M. Effect of yeast(*Saccharomyces cerevisiae*)off apparent digestibility and nitrogen retention of tomato pomace in sheep [J]. Pakistan Journal of Nutrition,2009,8(3):273-278.

[24] Yoon I K,Stern M D. Effects of *Saccharomyces cerevisiae* and asper gillusoryzae cultures on ruminal fermentation in dairy cows [J]. Journal of Dairy Science,1996,79(3):411-417.