

酿酒酵母和地衣芽孢杆菌对绵羊生长性能和营养物质消化代谢的影响

郑玮才¹ 郝小燕¹ 张宏祥² 陈彦华³ 贺继峰³ 郭沐昀³ 张建新^{1*}

(1. 山西农业大学动物科技学院, 太谷 030801; 2. 山西祥和岭上农牧开发有限公司, 右玉 037200;

3. 山西安弘检测技术有限公司, 太原 030008)

摘要: 本试验旨在研究饲料中添加酿酒酵母和地衣芽孢杆菌对绵羊生长性能、营养物质消化代谢和能量代谢的影响。选用 48 只 4 月龄、体重为 (22.96±2.00) kg 的杜泊×小尾寒羊杂交 F1 代公羔, 随机分为 4 组: D 组 (对照组, 饲喂基础饲料)、D1 组 (在基础饲料中添加 6×10¹⁰ CFU/kg 酿酒酵母)、D2 组 (在基础饲料中添加 2×10¹⁰ CFU/kg 地衣芽孢杆菌)、D3 组 (在基础饲料中添加 6×10¹⁰ CFU/kg 酿酒酵母+2×10¹⁰ CFU/kg 地衣芽孢杆菌), 每组 12 只羊。正试期结束后, 采用全收粪收尿法进行消化代谢试验, 连续 3 d 采集粪样和尿样, 测定常规营养物质、尿嘌呤衍生物含量及能量。结果表明: 1) 饲料中添加酿酒酵母和地衣芽孢杆菌对试验羊的终末体重及平均日采食量的影响均不显著 ($P>0.05$), D3 组的平均日增重 (ADG) 比 D 组显著提高了 20.32% ($P<0.05$), D3 组的料重比 (F/G) 显著低于 D 组 ($P<0.05$)。2) D3 组的干物质 (DM)、有机物 (OM)、中性洗涤纤维 (NDF) 和酸性洗涤纤维 (ADF) 表观消化率显著高于 D 组 ($P<0.05$)。3) D3 组的氮表观消化率、沉积氮和氮沉积率与 D 组相比分别显著提高了 12.04%、41.39% 和 40.95% ($P<0.05$)。4) 试验组的尿囊素、黄嘌呤和次黄嘌呤和微生物蛋白含量均显著高于 D 组 ($P<0.05$)。D3 组的总尿嘌呤衍生物含量显著高于 D 组 ($P<0.05$)。5) D 组的粪能和尿能均显著高于其他 3 组 ($P<0.05$), D 组的甲烷能显著高于 D3 组 ($P<0.05$)。综上所述, 饲料中单独添加 6×10¹⁰ CFU/kg 酿酒酵母和 2×10¹⁰ CFU/kg 地衣芽孢杆菌均会对营养物质消化代谢和能量代谢产生积极影响, 可提高营养物质和能量的利用率, 改善绵羊的生长性能, 且二者组合饲喂效果更加显著。

关键词: 酿酒酵母; 地衣芽孢杆菌; 消化代谢; 营养物质; 能量

中图分类号: S826

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2020)11-5314-08

微生态制剂作为一种新型的绿色添加剂, 近年来在动物生产上的应用越来越广泛, 且生产效益显著, 主要分为乳酸菌类微生态制剂、芽孢杆菌类微生态制剂、酵母菌类微生态制剂、光合细菌类微生态制剂及复合微生态制剂等^[1]。酿酒酵母和

地衣芽孢杆菌是较为常用的微生态制剂, 具有提高营养物质利用率、改善瘤胃发酵、增强免疫力、提高反刍动物生长性能等作用^[2-4], 但二者组合应用对反刍动物生长性能、营养物质消化代谢及能量代谢方面的研究甚少, 仍需进一步探索。因此,

收稿日期: 2020-04-05

基金项目: 国家肉羊产业技术体系专项 (CARS-38); 国家重点研发计划 (2018YFD0502104); 山西省 1331 工程建设项目; 山西省重点研发计划项目 (201903D211012); 山西省科技成果转化引导专项 (201904D131026); 现代农业产业技术体系建设专项 (CARS-38); 山西农业大学畜牧学学科建设专项

作者简介: 郑玮才 (1995—), 女, 山西临汾人, 硕士研究生, 从事饲料资源开发和利用的研究。E-mail: 928156387@qq.com

* 通信作者: 张建新, 教授, 博士生导师, E-mail: ypzjx@126.com

本试验通过在饲料中添加酿酒酵母和地衣芽孢杆菌探究其对绵羊生长性能、营养物质消化代谢及能量代谢的影响作用,旨在为酿酒酵母和地衣芽孢杆菌在肉羊饲料中的合理添加提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验时间及地点

试验于2018年1月1日至3月23日在山西省晋中市太谷县山西农业大学牧站进行。

1.2 试验设计及饲料

采用完全随机分组试验设计,选用4月龄、体重 $[(22.96 \pm 2.00) \text{ kg}]$ 相近、健康的杜泊 \times 小尾寒羊杂交F1代公羔48只,随机分为4组:D组(对

照组,饲喂基础饲料)、D1组(在基础饲料中添加 6×10^{10} CFU/kg 酿酒酵母)、D2组(在基础饲料中添加 2×10^{10} CFU/kg 地衣芽孢杆菌)、D3组(在基础饲料中添加 6×10^{10} CFU/kg 酿酒酵母+ 2×10^{10} CFU/kg 地衣芽孢杆菌),每组12只。酿酒酵母购买于安琪酵母股份有限公司,为颗粒状制剂,实测活菌数为 2×10^{10} CFU/g;地衣芽孢杆菌购于天津坤禾生物科技集团股份有限公司,为粉状制剂,实测活菌数为 2×10^{10} CFU/g。基础饲料参考NRC(2007)^[5]绵羊营养需要中体重20 kg、日增重300 g公羔的营养需要配制,精粗比为60:40,其组成及营养水平见表1。

表1 基础饲料组成及营养水平(干物质基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of the basal diet (DM basis)

%

原料 Ingredients	含量 Content	营养水平 Nutrient levels ²⁾	含量 Content
玉米 Corn	30.00	代谢能 ME/(MJ/kg)	8.77
米糠 Rice bran	7.00	有机物 OM	86.72
豆粕 Soybean meal	18.00	粗蛋白质 CP	13.14
预混料 Premix ¹⁾	5.00	粗灰分 Ash	8.27
玉米秸秆 Corn straw	20.00	粗脂肪 EE	2.23
谷草 Millet straw	20.00	中性洗涤纤维 NDF	41.84
合计 Total	100.00	酸性洗涤纤维 ADF	22.29
		钙 Ca	0.35
		磷 P	0.29

1) 预混料为每千克饲料提供 Premix provided the following per kg of the diet: Cu 15 mg, Fe 55 mg, Zn 25 mg, Mn 40 mg, Se 0.3 mg, I 0.5 mg, Co 0.2 mg, VA 20 000 IU, VD 4 000 IU, VE 40 IU。

2) 除代谢能,其他营养水平均为实测值。Nutrient levels were measured values except ME.

1.3 饲养管理

试验羊舍为封闭式圈舍。试验开始前用消毒液对羊舍的地面、羊栏、食槽等喷洒消毒。所有试验羊经检疫驱虫后,打好耳标。试验羊均单栏饲养,每天分别于08:00和18:00进行饲喂,自由采食和饮水。预试期15 d,正试期60 d。

1.4 生长性能的测定

正试期内每天准确称量记录每只试验羊的喂料量和剩料量,计算平均日采食重[ADFI,非干物质(DM)基础]。在正试期第1、30、60天晨饲前对试验羊进行称重,计算平均日增重(ADG)。根据ADFI和ADG计算料重比(F/G)。

1.5 样品采集与处理

正试期结束后,采用全收粪收尿法,将所有试验羊置于自制消化代谢笼中饲养,预试期4 d,试

验期3 d。

1.5.1 粪样的收集

晨饲前收集每只羊24 h所排全部粪便,并称重记录。连续收集3 d,按排粪量的10%四分法取样,记录粪样重。一部分粪样加入10%的硫酸(每100 g粪样加10 mL 10%的 H_2SO_4)固氮,充分混匀后置于 -20°C 保存,用于测定蛋白质含量;一部分粪样直接置于 -20°C 保存,用于测定其他常规营养物质含量和粪能。

1.5.2 尿样的收集

于采样前1天向每只尿桶中加入100 mL 10%的硫酸固氮,晨饲前收集每只羊24 h所排全部尿液,用量筒量其体积并记录。将尿样摇匀后,经4层纱布过滤,按1/10取样,连续收集3 d,将样品充分混匀后置于 -20°C 保存,用于测定尿氮、尿

酸、尿囊素、黄嘌呤、次黄嘌呤含量和尿能。

1.6 样品测定

1.6.1 饲料常规营养物质含量的测定

参考 AOAC (2000)^[6] 方法测定饲料的 DM、粗灰分 (Ash)、粗脂肪 (EE) 和粗蛋白质 (CP) 含量; 参考 Van Soest 等^[7] 方法测定饲料的中性洗涤纤维 (NDF) 和酸性洗涤纤维 (ADF) 含量; 采用原子吸收分光光度计法^[8] 测定饲料中钙 (Ca) 含量; 采用钒钼黄比色法^[9] 测定饲料中磷 (P) 含量。

1.6.2 营养物质表观消化率的测定

将粪样置于恒温鼓风干燥箱中, 65 °C 烘干 48 h, 回潮 24 h 后称重, 计算得出初水分含量。粉碎过 40 目筛后用于测定营养成分含量 (同 1.6.1)。参考杨胜^[10] 的方法测定饲料、粪样和尿样中的氮含量。相关计算公式如下:

某营养物质表观消化率 (%) = (食入该营养物质质量 - 粪中该营养物质质量) / 食入该营养物质质量 × 100 (计算时已减去剩料中

该营养物质质量);

氮表观消化率 (%) = (摄入氮 - 粪氮) / 摄入氮 × 100;

沉积氮 (g/d) = 摄入氮 - 粪氮 - 尿氮;

氮沉积率 (%) = 沉积氮 / 摄入氮 × 100。

1.6.3 能量的测定

饲料、粪样和尿样的总能用氧弹量热仪 (TJHY-5000, 天健电子科技有限公司) 测定。对于饲料和粪样能量的测定, 取 5 张称量纸称重后分别测定能值, 计算出称量纸的平均能值, 称取 0.9~1.1 g (精准到 0.000 2 g) 的待测样品, 再用称量纸包紧放于燃烧皿中 (由于样品较轻, 燃烧时易于飞溅) 测定能值, 减去称量纸能值即可得到待测样品的能值。对于尿能的测定, 取 5 张定量滤纸称重后分别测定能值, 计算出滤纸的平均能值, 将 1 mL 尿液滴在滤纸上, 65 °C 烘干后测定能值, 减去滤纸能值即可得到尿能。

甲烷产量使用 MA-10 甲烷分析仪 (Sable Systems International, 亨德森, 美国) 测定。将试验羊的头部固定在小型反刍动物专用的聚碳酸酯头箱中, 每日正常饲喂后密封头箱, 适应 24 h 后, 进行 24 h 实时测定。利用标准气将 MA-10 甲烷分析仪校准后, 通过 Sable 开路式呼吸测热系统采集并计算数据, 即得到甲烷产量。相关计算公式如下:

总能 (MJ/d) = 每天食入饲料的总能量;

甲烷能 (MJ/d) = 甲烷产量 × 单位体积

甲烷能量 (39.5 kJ/L) × 1 000^[11];

总能表观消化率 (%) = 表观消化能 / 总能 × 100。

1.6.4 微生物蛋白 (MCP) 含量的计算

参考 Chen 等^[12] 方法, 利用紫外分光光度计 (UV-1800PC, 上海美谱达仪器有限公司) 测定黄嘌呤、次黄嘌呤和尿囊素含量, 利用酶标仪测定尿酸含量, 根据尿嘌呤衍生物 (PD) 含量计算 MCP 含量。计算公式如下:

$$\text{MCP (g/d)} = (\text{尿囊素} + \text{尿酸} + \text{黄嘌呤} + \text{次黄嘌呤}) \times 70 \times 6.25 / (0.116 \times 0.83 \times 1\ 000)。$$

1.7 数据分析

数据用 Excel 2010 进行初步整理, 采用 SPSS 22.0 进行单因素方差分析, 当差异显著时用 Duncan 氏法进行多重比较, 以 $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 添加酿酒酵母和地衣芽孢杆菌对绵羊生长性能的影响

由表 2 可知, 添加酿酒酵母和地衣芽孢杆菌对试验羊的终末体重及平均日采食量的影响均不显著 ($P > 0.05$)。D3 组的 ADG 显著高于 D 组 ($P < 0.05$)。与 D 组相比, D1、D2 和 D3 组的 F/G 分别显著降低了 9.87%、9.12% 和 31.14% ($P < 0.05$), 但 D1 和 D2 组之间差异不显著 ($P > 0.05$)。

2.2 添加酿酒酵母和地衣芽孢杆菌对绵羊营养物质表观消化率的影响

由表 3 可知, D3 组的 DM、OM、NDF 和 ADF 表观消化率显著高于 D 组 ($P < 0.05$), 分别提高了 9.64%、8.86%、9.27% 和 3.47%, 但 D1 和 D2 组之间均差异不显著 ($P > 0.05$)。

2.3 添加酿酒酵母和地衣芽孢杆菌对绵羊氮的消化代谢的影响

由表 4 可知, 饲料中添加酿酒酵母和地衣芽孢杆菌对摄入氮、粪氮和尿氮的影响不显著 ($P > 0.05$), 对氮表观消化率、沉积氮和氮沉积率影响显著 ($P < 0.05$)。D3 组的氮表观消化率、沉积氮和氮沉积率与 D 组相比分别显著提高了 12.04%、41.39% 和 40.95% ($P < 0.05$), D1 和 D2 组之间均差异不显著 ($P > 0.05$)。

表 2 添加酿酒酵母和地衣芽孢杆菌对绵羊生长性能的影响

Table 2 Effects of supplement of *Saccharomyces cerevisiae* and *Bacillus licheniformis* on growth performance of sheep ($n=12$)

项目 Items	组别 Groups				SEM	P 值 P-value
	D	D1	D2	D3		
初始体重 IBW/kg	23.08	22.22	23.58	22.97	1.20	0.73
终末体重 FBW/kg	39.91	40.04	40.92	43.23	2.77	0.61
平均日增重 ADG/(g/d)	280.42 ^d	297.38 ^b	289.34 ^c	337.40 ^a	35.22	0.01
平均日采食量 ADFI/(g/d)	1 827.11	1 768.90	1 759.31	1 705.04	165.49	0.91
料重比 F/G	6.57 ^a	5.98 ^{ab}	6.02 ^{ab}	5.01 ^b	0.27	0.02

同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著($P>0.05$),不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下表同。

In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$), while with different small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$). The same as below.

表 3 添加酿酒酵母和地衣芽孢杆菌对绵羊营养物质表观消化率的影响

Table 3 Effects of supplement of *Saccharomyces cerevisiae* and *Bacillus licheniformis* on nutrient apparent digestibility of sheep ($n=12$)

项目 Items	组别 Groups				SEM	P 值 P-value
	D	D1	D2	D3		
干物质 DM	61.80 ^c	63.60 ^b	63.62 ^b	67.76 ^a	1.46	0.04
有机物 OM	63.56 ^c	65.24 ^{bc}	65.88 ^b	69.19 ^a	1.35	0.02
中性洗涤纤维 NDF	41.31 ^b	43.43 ^{ab}	43.87 ^{ab}	45.14 ^a	0.96	0.03
酸性洗涤纤维 ADF	39.82 ^b	41.03 ^{ab}	41.20 ^{ab}	43.14 ^a	1.14	0.03

表 4 添加酿酒酵母和地衣芽孢杆菌对绵羊氮消化代谢的影响

Table 4 Effects of supplement of *Saccharomyces cerevisiae* and *Bacillus licheniformis* on nitrogen digestion and metabolism of sheep ($n=12$)

项目 Items	组别 Groups				SEM	P 值 P-value
	D	D1	D2	D3		
摄入氮 N intake/(g/d)	36.85	37.14	37.91	35.99	1.17	0.41
粪氮 Fecal N/(g/d)	11.71	9.60	9.87	7.30	1.48	0.10
尿氮 Urinary N/(g/d)	10.21	9.20	9.07	6.50	2.93	0.78
氮表观消化率 Apparent digestibility of N/%	68.25 ^b	74.15 ^{ab}	76.07 ^a	76.47 ^a	3.10	0.04
沉积氮 Retained N/(g/d)	14.93 ^b	18.56 ^a	18.70 ^a	21.11 ^a	1.29	0.03
氮沉积率 N deposition rate/%	40.66 ^c	49.38 ^b	50.13 ^b	57.31 ^a	1.22	0.01

2.4 添加酿酒酵母和地衣芽孢杆菌对绵羊尿嘌呤生物和 MCP 含量的影响

由表 5 可知,饲料中添加酿酒酵母和地衣芽孢杆菌对尿酸含量没有显著影响($P>0.05$),但对尿囊素、黄嘌呤和次黄嘌呤、总尿嘌呤生物和 MCP 含量的影响显著($P<0.05$)。D1、D2 和 D3 组的尿囊素、黄嘌呤和次黄嘌呤和 MCP 含量均显著高于 D 组($P<0.05$)。D3 组总尿嘌呤生物含

量显著高于 D 组($P<0.05$),但与 D2 和 D3 组之间差异不显著($P>0.05$)。

2.5 添加酿酒酵母和地衣芽孢杆菌对绵羊能量代谢的影响

由表 6 可知,饲料中添加酿酒酵母和地衣芽孢杆菌对摄入总能、表观消化能和总能表观消化率的影响均不显著($P>0.05$),对粪能、尿能和甲烷能影响显著($P<0.05$)。D 组的粪能和尿能均显著

高于其他 3 组 ($P < 0.05$), D 组的甲烷能显著高于 D3 组 ($P < 0.05$)。

表 5 添加酿酒酵母和地衣芽孢杆菌对绵羊尿嘌呤衍生物和 MCP 含量的影响

Table 5 Effects of supplement of *Saccharomyces cerevisiae* and *Bacillus licheniformis* on urinary purine derivatives and MCP content of sheep ($n = 12$)

项目 Items	组别 Groups				SEM	P 值 P-value
	D	D1	D2	D3		
尿酸 Uric acid/(mmol/d)	0.18	0.21	0.20	0.22	0.01	0.07
尿囊素 Allantion/(mmol/d)	5.76 ^b	7.07 ^a	7.21 ^a	8.24 ^a	0.47	<0.01
黄嘌呤+次黄嘌呤 Xanthine+hypoxanthine/(mmol/d)	0.60 ^c	0.74 ^b	0.76 ^{ab}	0.88 ^a	0.05	<0.01
总尿嘌呤衍生物 Total PD/(mmol/d)	7.87 ^b	9.27 ^{ab}	9.46 ^{ab}	10.68 ^a	0.61	<0.01
微生物蛋白 MCP/(g/d)	29.72 ^b	36.40 ^a	37.10 ^a	42.43 ^a	2.39	<0.01

表 6 添加酿酒酵母和地衣芽孢杆菌对绵羊能量代谢的影响

Table 6 Effects of supplement of *Saccharomyces cerevisiae* and *Bacillus licheniformis* on energy metabolism of sheep ($n = 12$)

项目 Items	组别 Groups				SEM	P 值 P-value
	D	D1	D2	D3		
摄入总能 GE intake/(MJ/d)	18.87	18.29	18.86	18.02	0.05	0.06
粪能 FE/(MJ/d)	9.48 ^a	9.09 ^b	9.08 ^b	9.03 ^b	0.12	<0.01
尿能 UE/(MJ/d)	1.10 ^a	0.91 ^b	0.85 ^b	0.83 ^b	0.04	<0.01
甲烷能 Methane energy/(MJ/d)	0.67 ^a	0.57 ^{ab}	0.54 ^b	0.37 ^c	0.05	<0.01
表观消化能 ADE/(MJ/d)	8.81	8.77	8.78	7.82	0.04	0.31
总能表观消化率 Apparent digestibility of GE/%	48.29	48.86	49.42	49.44	0.68	0.52

3 讨论

前人研究表明,益生菌对动物机体消化道微生物及其功能有改善作用,可以促进小肠发育,有利于维持幼龄反刍动物小肠绒毛形态结构完整,并且酵母菌和芽孢杆菌在反刍动物消化道内可代谢产生多种酶类和非特异性免疫调节因子^[13-15],如蛋白酶、淀粉酶、脂肪酶和 B 族维生素等,还可以增加瘤胃蛋白酶、淀粉酶和纤维素酶的活性^[16],这些物质能降解饲料中的碳水化合物,促进纤维素的消化,提高动物对饲料的利用率,从而促进机体对营养物质的消化吸收^[17],提高动物的生长速度。另有报道表明,益生菌可以提高奶牛血清总抗氧化能力,降低丙二醛含量,增加机体抗应激能力^[18],从而减少机体因应激而产生的损耗。因此,本试验中饲料中添加不同益生菌可能改善机体的消化机能和健康状况,对绵羊的生长均产生了积

极的影响。

杨春涛等^[19]研究证明,饲料中添加地衣芽孢杆菌及其复合菌可以提高断奶应激条件下犊牛瘤胃 pH 的稳定性,改善瘤胃发酵状况,丰富瘤胃纤维分解菌种类并增加瘤胃内优势菌群数量,因此促进营养物质在瘤胃内的降解和利用。Masuccli 等^[20]研究表明,饲料中添加酿酒酵母或地衣芽孢杆菌可以提高犊牛的生长性能和营养物质消化率。DM、OM、NDF 和 ADF 消化率是衡量动物对饲料消化利用程度的重要指标^[21]。本试验中同时添加酿酒酵母和地衣芽孢杆菌使得 DM、NDF、ADF 和 OM 表观消化率均高于对照组,且对试验动物的 ADG 和 F/G 效果最佳,说明 2 种益生菌能提高营养物质利用率,最终起到促进动物生长的作用。从生长性能来看,组合饲喂具有协同作用,且效果最佳。但也有报道提出饲喂酿酒酵母和地衣芽孢杆菌对生长性能没有显著的改善作用^[22-24],可能是因为添加水平、试验环境、试验动

物或者试验饲料组成等因素造成的。

反刍动物的代谢蛋白质主要由小肠可吸收饲料蛋白质和小肠可吸收 MCP 组成。瘤胃微生物利用饲料中的碳水化合物和含氮物质的降解产物合成 MCP, MCP 中 75%~85% 的氮以蛋白质、肽或游离氨基酸形式存在, 15%~25% 的氮存在于核酸中, 核酸被降解形成的嘌呤进入小肠黏膜, 最终以嘌呤衍生物的形式从尿中排出, 因此通常利用尿嘌呤衍生物的含量间接推算 MCP 合成量^[25-26]。本试验中, 添加酿酒酵母组和地衣芽孢杆菌组的氮表观消化率、氮沉积率和 MCP 含量均高于对照组, 可能是酿酒酵母促进瘤胃微生物的生长和繁殖, 使其对氮的利用率提高, 通过肝脏转变为尿素的量减少, 排出的粪氮浓度降低, 这与前人的研究结果^[27-28]相似; 并且地衣芽孢杆菌在胃肠道定植后具有一定的固氮能力^[29], 可以提高含氮物质的利用率, 从而提高 MCP 的合成及减少粪氮尿氮的排出。2 种益生菌同时添加的效果均好于单独添加, 说明二者之间具有协同效应, 但具体的互相作用机制还需进一步探究。

有研究表明, 反刍动物在消化过程中, 总能摄入量的增加可能会导致粪能的相应增加。饲料在瘤胃中发酵产生大量的甲烷(CH_4), 从而造成饲料总能损失 2%~15%^[30]。本试验中, 添加酿酒酵母和地衣芽孢杆菌对表观消化能和总能表观消化率均没有显著影响, 虽然总能摄入量差异不显著, 但是对照组的粪能和尿能的排出量显著高于试验组, 说明添加益生菌对能量的利用产生了积极作用。添加酿酒酵母和地衣芽孢杆菌降低了甲烷能可能是因为酿酒酵母可以刺激乙酸生成菌对氢的利用^[31], 从而减少 CH_4 的排放; 地衣芽孢杆菌在一定条件下可以产生脂肽类、磷脂类、多烯类和氨基酸类等多种抗生素^[32], 减少甲烷菌和产氢菌的数量, 提高动物机体的抵抗力, 从而促进机体的新陈代谢, 减少 CH_4 的合成和对环境的应激^[33], 所以提高了能量利用率。二者共同作用相比较于单独添加能够更有效地提高能量利用率, 减少甲烷能、粪能和尿能, 说明益生菌复合应用后在动物消化道内表现为协同效应。本试验虽然证明酿酒酵母和地衣芽孢杆菌可以提高绵羊对饲料中营养物质和能量的利用率, 但其详细具体的作用机理仍需要进一步研究。

本试验购买的酿酒酵母为 45 元/kg, 地衣芽

孢杆菌为 25 元/kg, 试验中的添加剂量分别为 3 和 1 g/kg 饲料。根据育肥出栏羊现行价格每 kg 活重 28 元, 试验天数为 60 d, 每只羊平均采食量为 1.77 kg/d 计算, 对照组的每只试验羊增加的出栏活重价值为 471.24 元。仅饲喂酿酒酵母组和仅饲喂地衣芽孢杆菌组的每只试验羊增加的出栏活重价格分别为 498.96 和 485.52 元, 同对照组相比分别增加了 27.72 和 14.28 元, 增加的投入分别为 14.34 和 2.66 元, 投入产出比(增加的出栏活重价值/增加的投入)分别为 1.93 和 5.38。同时添加 2 种菌的试验组, 每只试验羊增加的出栏活重价格为 567.28 元, 同对照组相比增加了 96.04 元, 增加的投入为 16.99 元, 投入产出比为 5.68。本试验中, 同时添加 2 种菌的试验组的投入产出比最高, 经济效果最好。

4 结 论

饲料中单独添加 6×10^{10} CFU/kg 酿酒酵母和 2×10^{10} CFU/kg 地衣芽孢杆菌可以对营养物质消化代谢和能量代谢产生积极影响, 提高营养物质和能量的利用率, 促进动物消化吸收, 从而改善绵羊的生长性能。在本试验中酿酒酵母(6×10^{10} CFU/kg)+地衣芽孢杆菌(2×10^{10} CFU/kg)组合饲喂效果更加显著。

参考文献:

- [1] 张民, 刁其玉. 益生菌的营养和免疫特性及其应用[J]. 饲料研究, 2002(10): 6-8.
- [2] 乔国华, 单安山. 直接饲喂微生物培养物对奶牛瘤胃发酵产甲烷及生产性能的影响[J]. 中国畜牧兽医, 2006, 33(5): 11-14.
- [3] 邵广, 李红宇, 黄帅, 等. 酿酒酵母对奶牛瘤胃内环境及血液生化指标的影响[J]. 中国牛业科学, 2011, 37(2): 24-26.
- [4] 张海涛, 王加启, 卜登攀, 等. 日粮中添加纳豆枯草芽孢杆菌对犊牛消化道发育的影响[J]. 中国畜牧兽医, 2010, 37(1): 5-9.
- [5] NRC. Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids, and new world camelids[S]. Washington, D.C.: National Academies Press, 2007.
- [6] AOAC. Official methods of analysis of AOAC International[S]. 17th ed. Gaithersburg: AOAC International, 2000.
- [7] 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]. *Journal of Dairy Science*, 1991, 74(10): 3583-3597.
- [8] 邵俊.干、湿法消解-火焰原子吸收法测定多种食品中钙元素的含量[J]. *化学工程师*, 2015(11): 22-25.
- [9] 李会娟.2种植物磷含量的检测方法比较研究[J]. *现代农业科技*, 2012(11): 16-17.
- [10] 杨胜.饲料分析及饲料质量检测技术[M].北京:北京农业大学出版社, 1993.
- [11] BROCKWAY J M, BOYNE A W, GORDON J G. Simultaneous calibration of gas analyzers and meters [J]. *Journal of Applied Physiology*, 1971, 31(2): 296-297.
- [12] CHEN X B, GOMES M J. Estimation of microbial protein supply to sheep and cattle based on urinary excretion of purine derivatives-an overview of technical details[M]. Bucksburn: Occasional Publication, 1992.
- [13] NAZMI A R, REINISCH T, HINZ H J. Calorimetric studies on renaturation by CaCl₂ addition of metal-free α -amylase from *Bacillus licheniformis* (BLA) [J]. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2008, 91(1): 141-149.
- [14] DAMIANO V B, BOCCHINI D A, GOMES E, et al. Application of crude xylanase from *Bacillus licheniformis* 77-2 to the bleaching of eucalyptus Kraft pulp[J]. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 2003, 19(2): 139-144.
- [15] TOHARISMAN A, SUHARTONO M T, SPINDLER-BARTH M, et al. Purification and characterization of a thermostable chitinase from *Bacillus licheniformis* Mb-2[J]. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 2005, 21(5): 733-738.
- [16] 黄帅.米曲霉和酿酒酵母对奶牛瘤胃发酵及血液生化指标的影响[D].硕士学位论文.大庆:黑龙江八一农垦大学, 2011.
- [17] 闫晓刚.酵母培养物和颗粒精料对荷斯坦犊牛生长发育的影响[D].硕士学位论文.长春:吉林农业大学, 2005.
- [18] 付晓政.复合益生菌对奶牛产奶性能、免疫功能及粪便有害气体释放的影响[D].硕士学位论文.呼和浩特:内蒙古农业大学, 2014.
- [19] 杨春涛,刁其玉,符运勤,等.不同益生菌组合对852周龄后备牛瘤胃发酵和细菌多样性的影响[C]//第七届中国饲料营养学术研讨会论文集.郑州:中国农业大学出版社, 2014.
- [20] MASUCCLI F, ROSA G D. Effects of *Aspergillus oryzae* extract and a *Saccharomyces cerevisiae* fermentation product on intake, body weight gain and digestibility in buffalo calves [J]. *Animal Feed Science & Technology*, 2008, 140(1): 67-77.
- [21] 郑琛.不同处理饲料及不同组合全饲料颗粒料对绵羊瘤胃内环境和养分消化代谢的影响[D].硕士学位论文.兰州:甘肃农业大学, 2004.
- [22] 耿春银.活性酵母与酵母培养物饲喂育肥牛生长性能、胴体指标和牛肉品质的比较[D].博士学位论文.北京:中国农业大学, 2015.
- [23] 董晓丽.益生菌的筛选鉴定及其对断奶仔猪、犊牛生长和消化道微生物的影响[D].博士学位论文.北京:中国农业科学院, 2013.
- [24] SANCHEZ P H, TRACEY L N, BROWNE-SILVA J, et al. *Propionibacterium acidipropionici* P169 and glucogenic precursors improve rumen fermentation of low-quality forage in beef cattle [J]. *Journal of Animal Science*, 2014, 92(4): 1738-1746.
- [25] 许贵善,刁其玉,纪守坤,等.不同饲喂水平对肉用绵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.
- [26] HAO X Y, DIAO X G, YU S C, et al. Nutrient digestibility, rumen microbial protein synthesis, and growth performance in sheep consuming rations containing sea buckthorn pomace [J]. *Journal of Animal Science*, 2018, 96(8): 3412-3419.
- [27] LEE S S, HA J K, CHENG K J. Influence of an anaerobic fungal culture administration on *in vivo* ruminal fermentation and nutrient digestion [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2000, 88(3/4): 201-217.
- [28] PUTNAM D E, SCHWAB C G, SOCHA M T, et al. Effect of yeast culture in the diets of early lactation dairy cows on ruminal fermentation and passage of nitrogen fractions and amino acids to the small intestine [J]. *Journal of Dairy Science*, 1997, 80(2): 374-384.
- [29] 刘晓琳,陈乐超,余新京,等.地衣芽孢杆菌对断奶仔猪生产性能的影响[J]. *广东饲料*, 2008, 17(1): 27-28.
- [30] HOLTER J B, YOUNG A J. Methane prediction in dry and lactating Holstein cows [J]. *Journal of Dairy Science*, 1992, 75(8): 2165-2175.
- [31] CHAUCHEYRAS F, FONTY G, GOUET P, et al. Effects of a strain of *Saccharomyces cerevisiae* (Levucell[®] SC), a microbial additive for ruminants, on lactate metabolism *in vitro* [J]. *Canadian Journal of Microbiology*, 1996, 42(9): 927-933.
- [32] 张菊,李金敏,张志焱,等.地衣芽孢杆菌的研究进展

[J].中国饲料,2012(17):9-11.

[33] KIM Y, CHO J Y, KUK J H, et al. Identification and antimicrobial activity of phenylacetic acid produced by

Bacillus licheniformis isolated from fermented soybean, *Chungkook-Jang* [J]. *Current Microbiology*, 2004, 48(4):312-317.

Effects of *Saccharomyces cerevisiae* and *Bacillus licheniformis* on Growth Performance and Nutrient Digestion and Metabolism in Sheep

ZHENG Weicai¹ HAO Xiaoyan¹ ZHANG Hongxiang² CHEN Yanhua³ HE Jifeng³
GUO Muyun³ ZHANG Jianxin^{1*}

(1. College of Animal Science and Veterinary Medicine, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China; 2. Shanxi Xianghelingshang Farm Animal Husbandry Development Co., Ltd., Youyu 037200, China; 3. Shanxi Anhong Testing Technology Co., Ltd., Taiyuan 030008, China)

Abstract: The objective of this experiment was to study the effects of dietary supplementation of *Saccharomyces cerevisiae* and *Bacillus licheniformis* on growth performance, nutrient digestion and metabolism and energy metabolism in sheep. A total of 48 four-month-old healthy Dorper×Small Tail *Han* lambs with similar body weight of (22.96±2.00) kg were randomly divided into 4 groups: D (the control group, fed a basal diet); D1 (only 6×10¹⁰ CFU/kg *Saccharomyces cerevisiae* was added to the basal diet), D2 (only 2×10¹⁰ CFU/kg *Bacillus licheniformis* was added to the basal diet) and D3 (6×10¹⁰ CFU/kg *Saccharomyces cerevisiae*+2×10¹⁰ CFU/kg *Bacillus licheniformis* were added to the basal diet), each group with 12 lambs. At end of the experiment, the digestive and metabolic tests were carried out by the method of total fecal collection and urine collection for three days, and the nutrient contents of feces, urinary purine derivatives, and energy were measured. The results showed as follows: 1) the addition of *Saccharomyces cerevisiae* and *Bacillus licheniformis* in the diet had no significant effect on the final body weight and daily average feed intake of the test lambs ($P > 0.05$), average daily gain (ADG) of group D3 was significantly higher than that of group D by 20.32% ($P < 0.05$), and feed/gain of group D3 was significantly lower than that of group D ($P < 0.05$). 2) The apparent digestibility of dry matter, organic matter, neutral detergent fiber and acid detergent fiber of group D3 was significantly higher than that of group D ($P < 0.05$). 3) Compared with group D, the apparent digestibility of nitrogen, retained nitrogen and nitrogen deposition rate of group D3 were significantly increased by 12.04%, 41.39% and 40.95%, respectively ($P < 0.05$). 4) The contents of allantoin, xanthine, hypoxanthine and microprotein in the experimental groups were significantly higher than those of group D ($P < 0.05$). The total urine derivatives content of group D3 was significantly higher than that of group D ($P < 0.05$). 5) The fecal energy and urine energy of group D were significantly higher than those of other three groups ($P < 0.05$), and the methane energy of group D was significantly higher than that of group D3 ($P < 0.05$). In conclusion, the dietary supplementation of *Saccharomyces cerevisiae* (6×10¹⁰ CFU/kg) and *Bacillus licheniformis* (2×10¹⁰ CFU/kg) has positive effects on nutrient digestion and energy metabolism, improves the utilization of nutrients and energy, improves the growth performance of lambs and promotes animal digestion and absorption. Moreover, the combination of *Saccharomyces cerevisiae* and *Bacillus licheniformis* has better effects. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32(11):5314-5321]

Key words: *Saccharomyces cerevisiae*; *Bacillus licheniformis*; digestion and metabolism; nutrient; energy