

DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.200053

王小平, 王小琪, 李标, 王琳, 段子渊. 复合菌剂对青贮玉米营养成分及其饲喂滩羊效果的研究[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2020, 28(8): 1258–1264

WANG X P, WANG X Q, LI B, WANG L, DUAN Z Y. Testing the performance of compound microbial additives in silage maize nutrients and the effect of feeding Tan sheep[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2020, 28(8): 1258–1264

复合菌剂对青贮玉米营养成分及其 饲喂滩羊效果的研究*

王小平^{1,2†}, 王小琪^{2†}, 李 标², 王 琳³, 段子渊^{2**}

(1. 宁夏大学农学院 银川 750021; 2. 中国科学院遗传与发育生物学研究所 北京 100101;

3. 慕恩(北京)生物科技有限公司 北京 102200)

摘 要: 筛选复配适合宁夏地区的青贮微生物菌剂, 可解决在青贮自然发酵过程中, 青贮玉米营养损失多且易发霉等问题。本研究对从宁夏中部干旱区自然发酵的青贮玉米饲料中分离鉴定的 1 株乳酸菌(*Lactobacillus acidophilus*)和 1 株酵母菌(*Saccharomyces cerevisiae*)进行性能测定, 复配后形成复合菌剂并进行 45 d 的大型窖贮青贮发酵试验, 设置不添加菌剂和添加商业菌剂的青贮饲料为对照组。营养成分测定结果显示, 与不加菌剂和添加商业菌剂的对照组相比, 经复合菌剂处理后饲料中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维显著下降($P<0.05$), 干物质和粗脂肪含量显著增加($P<0.05$), 粗蛋白含量变化不显著。为期 75 d 的滩羊肥育饲喂和 5 d 的消化代谢试验表明, 对照组与试验组滩羊的日均采食量差异显著($P<0.05$), 平均日增重、末重、料重比差异不显著。试验组滩羊对青贮玉米饲料中粗蛋白、粗脂肪表观消化率显著提高($P<0.05$), 中性洗涤纤维表观消化率提高, 对酸性洗涤纤维的表观消化率影响不显著。结果表明, 复合菌剂显著改善了青贮玉米饲料的品质, 复合菌剂发酵的饲料玉米对滩羊生长有良好的促进作用。

关键词: 复合菌剂; 青贮玉米; 营养成分; 滩羊; 生长性能; 表观消化率

中图分类号: S816.7

开放科学码(资源服务)标识码(OSID):



Testing the performance of compound microbial additives in silage maize nutrients and the effect of feeding Tan sheep*

WANG Xiaoping^{1,2†}, WANG Xiaoqi^{2†}, LI Biao², WANG Lin³, DUAN Ziyuan^{2**}

(1. College of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 2. Institute of Genetics and Developmental Biology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 3. Moon (Beijing) Biotech Co., Ltd., Beijing 102200, China)

Abstract: Silage can be affected by a variety of factors during fermentation, which reduce its feed and fattening qualities. We selected and combined silage microbial additives to address the problems that occur during the natural fermentation of silage maize, such as nutrient loss and mold. The performance of a compound of one strain of lactic acid bacteria (*Lactobacillus acidophilus*) and one strain of yeast (*Saccharomyces cerevisiae*), which were isolated from mixed silage maize

* 国家重点研发计划重点专项(2016YFC0500709)和宁夏回族自治区农业综合开发推广项目(NTKJ2018-02)资助

** 通信作者: 段子渊, 主要研究方向为动物免疫遗传与代谢。E-mail: zyduan@genetics.ac.cn

† 同等贡献者: 王小平, 研究方向为动物生产、动物肠道菌群与免疫代谢, E-mail: nxuwxp321@163.com; 王小琪, 研究方向为动物生产、动物肠道菌群与免疫代谢, E-mail: xqwang@genetics.ac.cn

收稿日期: 2020-01-31 接受日期: 2020-04-21

* This study was supported by the National Key Research and Development Project of China (2016YFC0500709) and the Agricultural Comprehensive Development and Extension Project of Ningxia Hui Autonomous Region (NTKJ2018-02).

** Corresponding author, E-mail: zyduan@genetics.ac.cn

† Equivalent contributors

Received Jan. 31, 2020; accepted Apr. 21, 2020

collected in multiple spots in the central arid area of Ningxia Hui Autonomous Region, China, were tested. The compound lactic acid bacteria-yeast strain microbial additive was inoculated into silage maize; at the same time, silage without and with commercial microbial additives were set as the control group. The nutritional composition was determined after a 45-d fermentation period. The results indicated that the neutral detergent fibers (NDF) and acid detergent fibers (ADF) of the feed decreased significantly after treatment with compound microbial additives, while the dry matter content and ether extract (EE) increased significantly. The degradation of crude protein (CP) was slightly inhibited, although this was not significantly different to the control. The 75-d fattening study and 5-d digestive and metabolic experiments for Tan sheep showed that the average daily feed intake significantly increased, while the difference in the average daily grain, final weight and ratio of feed to gain were not statistically significant. During the course of fattening, the final body weight, average daily gain, and feed efficiency increased. Then, the digestive and metabolic experiments for Tan sheep were showing that the apparent digestibility for CP and EE were significant increased. NDF tends to increased, while the different in the apparent digestibility of ADF was statistically insignificant. Thus, it is clear that the compound microbial additives noticeably improved the feed quality of silage and that silage maize inoculated with compound microbial additives facilitated the growth performance of Tan sheep.

Keywords: Compound microbial additives; Silage maize; Nutrient composition; Tan sheep; Growth performance; Apparent digestibility

玉米(*Zea mays*)是三大粮食作物之一,也是主要的饲料作物^[1]。用饲料玉米进行青贮已成为反刍动物饲料的主要加工方式。青贮饲料的制作表面简单,实则是一个极为复杂的微生物厌氧发酵过程。青贮饲料中的微生物主要有乳酸菌(*Lactobacillus acidophilus*)、酵母菌(*Saccharomyces cerevisiae*)及其他腐败细菌等。借助乳酸菌可以将青贮原料中的可溶性碳水化合物转化为乳酸、乙酸等有机酸^[2],降低 pH,抑制有害微生物繁殖,最大限度地保持青贮原料的营养成分,并延长饲料的保存周期^[3]。

宁夏处于我国农牧过渡区,尤其中部干旱地区是农牧交错区^[4],以滩羊为代表的畜牧业是其主要的农业经济产业。但饲喂滩羊的青贮玉米依然多采用自然发酵方式。研究表明,青贮原料上天然附着的乳酸菌数量较少^[5],在青贮过程中产酸不足,不能迅速降低青贮体系的 pH,抑制青贮饲料中其他微生物的繁殖能力较弱^[6]。青贮饲料中微生物大量繁殖,导致青贮饲料蛋白含量下降,降低青贮饲料的营养价值^[7]。青贮饲料制作过程中常出现发霉变质现象,不仅造成营养物质的严重损失和饲料原料浪费,更严重的是霉变的青贮饲料会对动物健康造成严重危害,处理不当还会对当地环境造成严重污染。研究表明,通过人工添加乳酸菌增加青贮体系中乳酸菌数量,迅速产生大量的乳酸,加快发酵过程,可弥补自然发酵青贮饲料的不足,提高青贮饲料的发酵品质^[8]。然而,目前市面上针对宁夏地区专用的青贮玉米菌剂种类较少,且现有商业青贮菌剂成分主要为单一产酸的乳酸菌菌株,其中的乳酸菌不能适应宁夏地区特殊的气候环境导致乳酸菌活性

较低,从而导致商业青贮菌剂的青贮效果不佳。

本研究对从宁夏回族自治区自然发酵的青贮玉米饲料中通过有益菌群筛选、分离出的乳酸菌和酵母菌菌株进行性能评估,复配形成适用于宁夏地区的复合青贮菌剂并接种于玉米饲料青贮,通过微生物的代谢活动提高青贮玉米饲料的营养价值和保存质量,并通过滩羊饲喂和消化代谢试验,探究青贮玉米饲料的饲喂效果。这将对宁夏地区推广使用优化的青贮菌剂和滩羊养殖业的发展具有积极意义。

1 材料与方法

1.1 分离菌株的性能测定与复配

已分离鉴定的 1 株乳酸菌和 1 株酵母菌,来自本实验室从宁夏中部干旱区多个地点采集的玉米饲料自然发酵样品,通过有益菌群培养、筛选^[9-10]获得,本研究进行菌株的性能测定。

乳酸菌产酸速率测定:取分离的乳酸菌于 MRS 培养液中振荡培养 24 h 进行活化,之后以 3% 的接种量接入 MRS 液体培养基,37℃ 恒温振荡培养。从接种 0 h 开始,每隔 2 h 测定乳酸菌发酵液 pH,连续测定 30 h。

菌株生长性能测定:结合其产酸速率测定实验进行。从接种培养 0 h 开始,每隔 2 h 取样,以 MRS 培养基为空白对照,600 nm 波长下测定样品吸光值,连续测定 30 h。酵母菌首先在 YPD 液体培养基活化培养 24 h,之后以 3% 的接种量接入 YPD 液体培养基,28℃ 恒温振荡培养。从接种 0 h 开始,每隔 2 h 取一次样,以 YPD 液体培养基为空白对照,660 nm

波长下测定样品吸光值, 连续测定 30 h。

复合菌剂复配: 分别取上述乳酸菌和酵母菌菌株, 活化并培养后以 1:1 复配提供菌种, 委托慕恩(北京)生物科技有限公司进行生产性发酵。复合菌剂活菌总数 $\geq 1 \times 10^{10}$ CFU·g⁻¹。青贮试验用的对比菌剂购自山东鼎创生物科技有限公司的商业青贮菌剂, 说明书显示其活菌总数 $\geq 1 \times 10^{10}$ CFU·g⁻¹。

1.2 饲料玉米青贮试验

青贮用玉米原料产自宁夏回族自治区盐池县生长到蜡熟期的全株青贮用玉米。随机取样后测定其营养成分。

青贮试验共分 4 组, 青贮菌剂的添加量依据菌剂中活菌数确定。处理 A 为对照: 不添加任何菌剂和添加剂, 进行自然发酵; 处理 B: 添加 2 g·t⁻¹ 商业菌剂发酵, 活菌总数 $\geq 1 \times 10^{10}$ CFU·g⁻¹; 处理 C: 添加 3 g·t⁻¹ 商业菌剂发酵, 活菌总数 $\geq 1.5 \times 10^{10}$ CFU·g⁻¹; 处理 D: 添加 2.5 g·t⁻¹ 复合菌剂发酵, 活菌总数 $\geq 1 \times 10^{10}$ CFU·g⁻¹。每个处理 3 个重复, 新鲜全株玉米收割后粉碎成 5 cm 左右的秸秆, 菌剂与蒸馏水混匀, 喷雾器喷洒至原料, 放入青贮窖压实, 塑料薄膜包裹, 密封发酵 45 d。青贮窖的青贮容量在 80 t 以上。

1.3 青贮后玉米饲料营养成分测定

发酵 45 d 后开窖, 采用三点取样法, 取每个重复距表层 40 cm 的青贮玉米饲料混合。每个重复的

取样量为 1 kg, 装入无菌自封袋, 低温快速送至宁夏大学饲料工程技术研究中心进行营养成分测定。测定指标包括粗蛋白、粗脂肪、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维、粗灰分和总氮。

1.4 滩羊饲喂试验

从盐池县种羊场选购体重 20 kg 左右的当年 3 月龄断奶滩羊羔羊 14 只, 随机分为两组, 每组 7 只。对照饲喂不添加菌剂的处理 A 自然发酵青贮玉米饲料, 试验组饲喂添加复合菌剂的处理 D 青贮玉米饲料。在鲜重基础上日粮组成为: 青贮玉米饲料(50%)+羊草(20%)+精料补充料(30%), 日粮组成及营养水平见表 1。

试验期共持续 75 d, 其中预饲期 15 d, 用于羊只适应环境并确定饲喂量。所有试验羊单栏饲养, 饲喂试验期间所有羊只自由采食、饮水。饲喂试验开始后, 每天称量每只滩羊的饲喂量和剩余量, 计算当日采食量; 每隔 20 d 进行称重一次。试验结束前, 试验滩羊转移至消化代谢笼, 进行为期 5 d 的消化代谢试验, 收集羊只的全部鲜粪称重, 测定粗蛋白、粗脂肪、中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量。

1.5 数据处理

数据经 Excel 初步整理后, 采用 SPSS 21.0 软件进行单因素方差分析和 *T* 检验进行差异显著性分析, *P*<0.05 为差异显著判定值。

表 1 滩羊饲喂试验对照和添加菌剂处理的饲料组成及营养水平

Table 1 Composition and nutrient level of diet of the control and compound microbial additives treatments of the Tan sheep feeding experiment

		对照 Control	处理 Treatment
原料	无菌剂青贮玉米 Silage maize without additives	50	0
Raw material	有菌剂青贮玉米 Silage maize with additives	0	50
(%)	羊草 <i>Leymus chinensis</i>	20	20
	精料补充料 ¹⁾ Concentrate supplement ¹⁾	30	30
	合计 Total	100	100
营养水平 ²⁾	代谢能 Metabolic energy (MJ·kg ⁻¹)	10.46	10.21
Nutrition level ²⁾	粗蛋白 Crude protein (g·kg ⁻¹)	119.3	114.5
	中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber (g·kg ⁻¹)	402.7	377.9
	酸性洗涤纤维 Acid detergent fiber (g·kg ⁻¹)	210.6	194.1
	粗脂肪 Ether extract (g·kg ⁻¹)	26.4	29.0
	钙 Calcium (g·kg ⁻¹)	8.9	9.3
	磷 Phosphorus (g·kg ⁻¹)	3.9	4.1

1) 精料补充料配比: 玉米 55.0%, 豆粕 10.0%, 菜籽粕 11.0%, 棉粕 7.0%, 玉米蛋白粉 8.0%, 石粉 2.0%, 食盐 2.0%, 碳酸氢钙 1.0%, 苏打 1.0%, 氧化镁 1.0%, 氯化铵 1.0%, 复合预混料 1.0%。2) 代谢能为计算值, 其余营养成分为实测值。1) Ingredients of concentrate supplement: corn 55.0%, soybean meal 10.0%, rapeseed meal 11.0%, cottonseed meal 7.0%, corn protein powder 8.0%, stone powder 2.0%, table salt 2.0%, calcium bicarbonate 1.0%, soda 1.0%, magnesium oxide 1.0%, ammonium chloride 1.0%, composite premix 1.0%. 2) Metabolic energy is calculated value, the rest of the nutrition components are measured data.

2 结果与分析

2.1 菌株性能测定

乳酸菌产酸性能和乳酸菌、酵母菌生长性能的测定结果见图 1。从图 1a 可知, 分离的乳酸菌产酸性能良好, 从培养开始至 12 h 内可产生大量乳酸并在 24 h 内使培养液的 pH 从 6.5 迅速下降至 4.0。从图 1b 可知, 乳酸菌培养 8 h 可达到生长峰值, 酵母菌培养 24~26 h 时达峰值。

2.2 发酵前后青贮饲料玉米的营养成分

由表 2 可知, D 组青贮饲料玉米的干物质含量显著高于 A、B、C 3 组, B、C 组在添加商业菌剂后干物质含量较 A 组提高, 但显著低于 D 组。与对照 A 相比, 添加商业菌剂的 B、C 组粗蛋白含量均显著下降 ($P<0.05$), B、C 组之间差异不显著; 添加复合菌剂的 D 组虽略有下降, 但与对照组差异不显著; 但 D 组的粗蛋白含量显著高于 B、C 组 ($P<0.05$)。说明复合菌剂抑制青贮饲料中蛋白质分解的作用

优于商业菌剂组。

与对照 A 比较, 添加复合菌剂发酵后最显著的变化是酸性和中性洗涤纤维含量的降低。复合菌剂 D 组无论是酸性洗涤纤维还是中性洗涤纤维均显著低于 A、B、C 组 ($P<0.05$), 说明复合菌剂降解青贮玉米饲料中纤维素、半纤维素的能力远大于商业菌剂。相反, D 组的粗脂肪含量显著高于 A、B、C 组 ($P<0.05$), 表明经复合菌剂发酵后能够提高青贮玉米饲料的脂溶性物质含量; 商业菌剂的粗脂肪含量则随活菌数增加有进一步降低的可能。表中数据也表明, 玉米饲料经菌剂发酵后粗灰分和总氮含量均有降低, 但复合菌剂 D 组的降低程度均低于商业菌剂 B、C 组, 并且粗灰分与 B、C 组差异达显著水平 ($P<0.05$)。

综合分析青贮后玉米饲料的营养指标结果, 尽管复合菌剂 D 组的粗蛋白含量较 A 组略有下降, 但在其他指标上, 尤其在提高粗脂肪、降解酸性和中性洗涤纤维含量方面均显著优于 A、B、C 组。

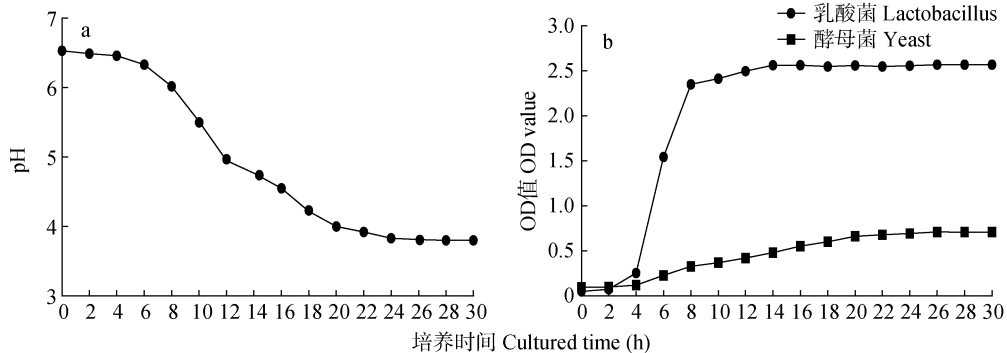


图 1 分离的乳酸菌 pH(a)及乳酸菌和酵母菌 OD 值(b)的动态变化

Fig. 1 Dynamic changes of pH of isolated lactobacillus (a) and the OD value of isolated lactobacillus and yeast (b)

表 2 添加不同菌剂发酵后青贮玉米的饲料营养成分

Table 2 Nutrients composition of silage maize before and after fermentation with different microbial additives

营养成分 Nutrient composition	原料玉米 Raw maize	处理 A Treatment A	处理 B Treatment B	处理 C Treatment C	处理 D Treatment D
干物质 Dry matter ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	373.5 \pm 2.0	355.6 \pm 2.5c	360.5 \pm 1.2c	383.9 \pm 2.2b	409.9 \pm 1.8a
粗蛋白 Crude protein ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	73.1 \pm 1.2	81.5 \pm 1.0a	68.4 \pm 1.9b	69.3 \pm 2.5b	72.5 \pm 1.5a
粗脂肪 Ether extract ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	18.2 \pm 0.3	25.7 \pm 0.2b	25.7 \pm 0.2b	23.3 \pm 0.1c	31.0 \pm 0.3a
酸性洗涤纤维 Acid detergent fiber ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	307.8 \pm 6.3	232.5 \pm 4.3a	234.6 \pm 1.2a	206.5 \pm 4.1b	199.6 \pm 2.7c
中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	582.4 \pm 2.9	411.2 \pm 1.9b	454.3 \pm 7.0a	488.2 \pm 2.6a	361.5 \pm 4.4c
粗灰分 Crude ash ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	57.0 \pm 0.2	85.8 \pm 0.1a	39.9 \pm 0.4c	46.4 \pm 0.2c	59.8 \pm 0.2b
总氮 Total nitrogen ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	11.7 \pm 0.3	13.0 \pm 0.1	10.9 \pm 0.2	11.1 \pm 0.3	11.6 \pm 0.2

处理 A: 对照, 不添加任何菌剂和添加剂, 自然发酵; 处理 B: 添加 $2\text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ 商业菌剂发酵, 活菌总数 $\geq 1\times 10^{10}\text{ CFU}\cdot\text{g}^{-1}$; 处理 C: 添加 $3\text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ 商业菌剂发酵, 活菌总数 $\geq 1.5\times 10^{10}\text{ CFU}\cdot\text{g}^{-1}$; 处理 D: 添加 $2.5\text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ 复合菌剂发酵, 活菌总数 $\geq 1\times 10^{10}\text{ CFU}\cdot\text{g}^{-1}$ 。同行不同小写字母表示不同处理间在 $P<0.05$ 水平差异显著。Treatment A: natural fermentation without any additives; Treatment B: adding $2\text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ commercial microbial additives with $\geq 1\times 10^{10}\text{ CFU}\cdot\text{g}^{-1}$ total viable bacteria; Treatment C: adding $3\text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ commercial silage additives with $\geq 1.5\times 10^{10}\text{ CFU}\cdot\text{g}^{-1}$ total viable bacteria; Treatment D: adding $2.5\text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ compound microbial additives with $\geq 1\times 10^{10}\text{ CFU}\cdot\text{g}^{-1}$ total viable bacteria. Different lowercase letters in the same line mean significant differences among treatments at $P<0.05$ level.

2.3 复合菌剂青贮玉米饲料对滩羊生长性能的饲喂效果

与对照组相比,处理组滩羊的日均采食量显著增加($P<0.01$)。饲喂结束时的末体重、平均日增重和料重比虽然未达到显著差异水平,但处理组末体重和平均日增重明显较对照组提高,料重比下降。说明复合菌剂改善了青贮玉米饲料的适口性,提高了滩羊的日均采食量,对饲料的利用率

增加,进而提高了滩羊的平均日增重,最终提高了饲料转换效率(表 3)。

2.4 复合菌剂青贮玉米饲料对滩羊的表观消化率

与对照组相比,处理组滩羊极显著地提高了对饲料中粗蛋白的表观消化率($P<0.01$),对粗脂肪的表观消化率也显著提高($P<0.05$);对中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维的表观消化率有提高趋势,尤其是中性洗涤纤维接近了差异显著水平($P=0.053$)(表 4)。

表 3 复合菌剂青贮玉米饲料对滩羊生长性能的饲喂效果

Table 3 Growth performance of Tan sheep feed with silage maize with compound microbial additives

项目 Item	对照 Control	处理 Treatment	P
初始体重 Initial body weight (kg)	24.10±0.87	23.67±2.14	0.761
末体重 Final body weight (kg)	30.28±1.88	32.28±3.31	0.413
日均采食量 ¹⁾ Average daily feed intake ¹⁾ (g)	1 490.83±20.65	1 582.66±29.60	<0.010
平均日增重 Average daily gain (g)	103.00±17.95	143.61±32.17	0.129
料重比 Feed/gain	14.79±1.56	11.37±1.36	0.174

1)日均采食量为鲜物质重量。Daily average intake is fresh material weight.

表 4 复合菌剂青贮玉米饲料对滩羊的表观消化率

Table 4 Apparent digestibility of Tan sheep feed with silage maize with compound microbial additives

项目 Item	对照 Control	处理 Treatment	P
粗蛋白 Crude protein (%)	52.63±3.18	71.36±2.01	0.001
中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber (%)	37.42±1.66	40.10±0.34	0.053
酸性洗涤纤维 Acid detergent fiber (%)	23.21±11.59	33.15±1.67	0.216
粗脂肪 Ether extract (%)	77.24±3.54	87.54±1.81	0.011

3 讨论

乳酸菌的初始产酸量和菌群的生长速度往往决定玉米青贮的质量和成败。良好的菌株必须达到以下基本条件:快速增殖,能与其他微生物区系竞争而且成为优势菌种;能快速产生乳酸并尽快降低 pH 最终达到 4.0;菌株本身耐酸等^[11]。本试验结果显示,我们分离出的乳酸菌菌株具有上述特性。目前市面上普遍使用的商业化菌剂中一般是植物乳杆菌(*Lactobacillus plantarum*)和戊糖片球菌(*Pediococcus pentosaceus*),两者均属于具有较强产酸能力的同型发酵乳酸菌,其进入指数生长末期的时间均是 12~13 h^[12]。本研究分离的乳酸菌能在 8 h 达到指数生长的高峰,比一般菌剂提前 4~5 h,且能在 12 h 内产生大量的乳酸并在 24 h 内速降低培养液的 pH 到 4.0,说明该菌株是在长期进化和适应当地气候环境中形成的优势菌株,具有迅速产生青贮发酵酸环境的良好功效。

粗蛋白含量是感官测定外衡量青贮饲料品质的一个重要指标。席兴军^[13]在青贮玉米饲料中添加乳酸菌后也观测到粗蛋白含量从 7.22%下降至 6.74%,与本研究结果的趋势一致。主要原因是由于在青贮发酵初期,青贮原料中存在多种厌氧、耐酸的梭菌,

可以把青贮原料中的蛋白质分解成氨气和胺^[14];同时,由于青贮原料刈割后植物呼吸作用和植物蛋白酶的作用,使青贮原料中的蛋白质被分解为肽、游离氨基酸等,导致青贮饲料粗蛋白含量下降^[15]。本研究结果显示,分离得到的乳酸菌能够在接种后 8 h 迅速大量繁殖,在发酵初期就能有效降低植物呼吸作用和酶的活性,抑制有害附生微生物繁殖,减少了青贮早期的植物呼吸作用对糖的氧化和对蛋白质的水解,从而抑制蛋白质降解成非蛋白氮,较好地保持了青贮原料的营养价值^[16],因而相较于商业菌剂的发酵青贮,复合菌剂发酵的玉米青贮粗蛋白含量下降较少。同时,复合菌剂中的酵母菌可以增加青贮饲料中微生物蛋白质的含量,同时生成醇类等物质,使青贮饲料具有特殊的香味,能够提高青贮饲料的营养价值和适口性^[17],进而导致饲喂试验中日均采食量显著增加。

中性洗涤纤维代表青贮饲料中的结构性碳水化合物,与青贮饲料的适口性相关,青贮饲料的中性洗涤纤维含量越低,家畜的采食量越高^[18];酸性洗涤纤维影响反刍动物对青贮饲料的消化能力,青贮饲料中酸性洗涤纤维含量越低,青贮饲料的消化率

越高^[19]。本研究显示, 添加复合菌剂后青贮玉米饲料的中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量均有较大程度下降, 说明乳酸菌和酵母菌在青贮发酵过程中产生的纤维素酶和脂酶等酶类起到了降解纤维素的作用, 这与任付平^[20]的研究结果一致。

相关研究表明, 青贮饲料中的粗脂肪含量相对较少, 粗脂肪作为一种高能量物质在动物营养中发挥着重要作用^[21]。使用复合菌剂青贮后, 青贮的粗脂肪含量显著上升, 高于对照组和商业菌剂组, 说明在复合菌剂及其分泌的酶类作用下产生了一些脂溶性营养物质, 致使青贮饲料具有更高的营养价值, 这与李旭业等^[22]的研究结果一致。

饲喂和消化代谢试验结果显示, 在日粮代谢能和粗蛋白水平近似的情况下, 饲喂添加复合菌剂的青贮玉米饲料, 滩羊日均采食量、平均日增重和末体重均高于对照组, 这也与 Nkosi 等^[23]、Basso 等^[24]和 Ando 等^[25]报道的研究结果一致或相似, 表明饲喂菌剂青贮饲料对滩羊生长产生了促进作用。除日均采食量的提高, 青贮饲料持续保持的低 pH 环境也有助于降低乙酸、丁酸以及其他有害微生物的数量, 提高干物质回收率, 提高了青贮饲料的利用率, 从而提高动物的生产性能^[26]。同时, 青贮玉米饲料中的乳酸菌、酵母菌等有益微生物作为益生菌进入反刍动物瘤胃后, 在瘤胃中生长繁殖, 可以抑制胃肠道病原微生物的生长, 起到调节胃肠道菌群平衡的作用; 也刺激消化道上皮组织, 促进了营养物质的吸收^[27]。

日粮的营养水平是影响反刍动物消化代谢的直接因素。本研究证明, 试验羊只对饲料粗蛋白、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维和粗脂肪的表观消化率显著增加, 其他研究者也得到菌剂青贮饲料可以提高粗蛋白^[28]以及中性洗涤纤维^[29]消化率的结果。玉米经青贮复合菌剂青贮发酵后, 饲料中的中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维显著降低, 致使相同配比日粮中菌剂青贮组的纤维含量明显低于对照组。低纤维日粮增加青贮饲料、羊草等在瘤胃内的滞留时间, 降低饲料在胃肠道中的流通速度, 从而提高了粗蛋白、粗脂肪以及钙、磷等矿物质在消化道中的表观消化率^[28]。青贮饲料中的乳酸能在滩羊瘤胃内被瘤胃微生物有效利用, 促进了瘤胃微生物的繁殖, 进而促进了瘤胃微生物将青贮饲料中的氮转化为微生物蛋白氮的生化反应, 提高了粗蛋白的消化利用率。同时, 酵母菌和乳酸菌在增殖中产生的大量消化酶类, 进一步加快了中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维在瘤胃内的降解, 提高了滩羊对青贮饲料营养成分的利用率。

4 结论

本研究结果表明, 复合菌剂接种后 8 h 可迅速大量繁殖, 24 h 时 pH 达到并稳定在 4.0, 可以显著降解玉米饲料的中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维, 提高干物质和粗脂肪含量, 延缓粗蛋白的分解。使用复合菌剂发酵的玉米青贮饲喂滩羊, 可显著增加滩羊的日均采食量, 提高粗蛋白、粗脂肪和中性洗涤纤维的表观消化率, 进而提高滩羊生长性能。

致谢 本试验中微生物性能测定部分试验, 是在中国科学院微生物研究所正高级工程师仲乃琴老师实验室完成, 在此特别感谢仲老师实验组提供的试验器材及设备, 同时感谢仲老师实验组的硕士研究生石莹莹在试验期间提供的无私帮助。

参考文献 References

- [1] 李新, 许志斌, 余奎军, 等. 宁夏玉米产业的现状和发展[J]. 种子, 2009, 28(9): 104-106
LI X, XU Z B, SHE K J, et al. Status and development of maize industry in Ningxia Province[J]. Seed, 2009, 28(9): 104-106
- [2] HERRMANN C, IDLER C, HEIERMANN M. Improving aerobic stability and biogas production of maize silage using silage additives[J]. Bioresource Technology, 2015, 197: 393-403
- [3] 刘焕财, 王艳君. 玉米秸秆青贮饲料的制作与使用[J]. 吉林农业, 2013, (10): 52
LIU H C, WANG Y J. The production and usage of corn straw silage[J]. Jilin Agriculture, 2013, (10): 52
- [4] 蒋学勤. 宁夏农牧交错带农牧业发展刍议[J]. 中国农学通报, 2006, 22(5): 482-484
JIANG X Q. Analysis of development of agriculture and husbandry intersection in Ningxia[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2006, 22(5): 482-484
- [5] CAI Y, KUMAI S. The proportion of lactate isomers in farm silage and the influence of inoculation with lactic acid bacteria on the proportion of L-lactate in silage[J]. Nihon Chikusan Gakkaiho, 1994, 65(9): 788-795
- [6] 赵士萍, 周敏, 蒋林树. 青贮饲料添加剂的研究进展[J]. 中国农学通报, 2016, 32(20): 6-10
ZHAO S P, ZHOU M, JIANG L S. Research progress of silage additive[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2016, 32(20): 6-10
- [7] 王小芬, 高丽娟, 杨洪岩, 等. 苜蓿青贮过程中乳酸菌复合系 A12 的接种效果及菌群的追踪[J]. 农业工程学报, 2007, 23(1): 217-222
WANG X F, GAO L J, YANG H Y, et al. Effect of inoculating lactic bacteria community A12 and microbial shifts during alfalfa ensiling process[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(1): 217-222
- [8] 傅彤. 微生物接种剂对玉米青贮饲料发酵进程及其品质的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2005
FU T. Effect of microbial inoculants on fermentation process

- and quality of corn silage[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2005
- [9] 凌代文. 乳酸细菌分类鉴定及实验方法[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1999
- LING D W. Classification, Identification and Experimental Methods of Lactic Acid Bacteria[M]. Beijing: China Light Industry Press, 1999
- [10] 巴尼特 J A. 酵母菌的特征与鉴定手册[M]. 胡瑞卿, 译. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 1991: 6
- BARNETT J A. Yeasts: Characteristics and Identification[M]. HU R Q, trans. Qingdao: Qingdao Ocean University Press, 1991: 6
- [11] WHITTENBURY R. An investigation of the lactic acid bacteria[D]. Edinburgh: University of Edinburgh, 1961
- [12] 李军训. 乳酸菌青贮剂的发酵与生产技术研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2004
- LI J X. Study on fermentation and process of silage inoculate lactic acid bacteria[D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2004
- [13] 席兴军. 添加剂对玉米秸秆青贮饲料质量影响的试验研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2002
- XI X J. Effects of additives on the quality of corn stover silage[D]. Beijing: China Agricultural University, 2002
- [14] WINTERS A L, COCKBURN J E, DHANOA M S, et al. Effects of lactic acid bacteria in inoculants on changes in amino acid composition during ensilage of sterile and non-sterile ryegrass[J]. Journal of Applied Microbiology, 2000, 89(3): 442–452
- [15] COMINO L, TABACCO E, RIGHI F, et al. Effects of an inoculant containing a *Lactobacillus buchneri* that produces ferulate-esterase on fermentation products, aerobic stability, and fibre digestibility of maize silage harvested at different stages of maturity[J]. Animal Feed Science and Technology, 2014, 198: 94–106
- [16] 孙旸, 地里百尔·努尔, 林晓琼, 等. 酵母和乳酸菌混合发酵对玉米秸秆蛋白质含量的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2016, 38(5): 557–561
- SUN Y, DILBAR N, LIN X Q, et al. Effects of mixed fermentation of yeast and lactobacillus on protein content of maize straw[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2016, 38(5): 557–561
- [17] 杨梦婷, 张梦瑶, 徐养滨, 等. 添加饲用复合菌剂青贮全株玉米的效果研究[J]. 饲料工业, 2019, 40(16): 22–28
- YANG M T, ZANG M Y, XU Y B, et al. Study on the effect of adding compound microbes to silage whole-crop corn[J]. Feed Industry, 2019, 40(16): 22–28
- [18] 刘磊, 李福昌, 杨鹏程, 等. 饲料粗纤维、中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维残渣中各成分的研究[J]. 动物营养学报, 2018, 30(3): 1044–1051
- LIU L, LI F C, YANG P C, et al. Study of components in residues of crude fiber, neutral detergent fiber and acid detergent fiber in feed[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2018, 30(3): 1044–1051
- [19] TJARDES K E, BUSKIRK D D, ALLEN M S, et al. Neutral detergent fiber concentration of corn silage and rumen inert bulk influences dry matter intake and ruminal digesta kinetics of growing steers[J]. Journal of Animal Science, 2002, 80(3): 833–840
- [20] 任付平. 复合微生物菌剂在全株玉米青贮中的应用与研究[D]. 西安: 西北大学, 2007
- REN F P. Research and application of compound microbial additives on the whole-crop corn silage[D]. Xi'an: Northwest University, 2007
- [21] 邱代飞. 饲料中粗脂肪两种测定方法的比较探讨[J]. 广东饲料, 2012, 21(9): 40–42
- QIU D F. Comparison of two methods for determination of crude fat in feed[J]. Guangdong Feed, 2012, 21(9): 40–42
- [22] 李旭业, 董扬, 尤海洋, 等. 青贮添加剂对全株玉米青贮饲料品质的影响[J]. 现代畜牧科技, 2017, (2): 6–7
- LI X Y, DONG Y, YOU H Y, et al. Effect of silage additives on the quality of corn silage[J]. Modern Animal Husbandry Science & Technology, 2017, (2): 6
- [23] NKOSI B D, MEESKE R, PALIC D, et al. Effects of ensiling whole crop maize with bacterial inoculants on the fermentation, aerobic stability, and growth performance of lambs[J]. Animal Feed Science and Technology, 2009, 154(3/4): 193–203
- [24] BASSO F C, ADESOGAN A T, LARA E C, et al. Effects of feeding corn silage inoculated with microbial additives on the ruminal fermentation, microbial protein yield, and growth performance of lambs[J]. Journal of Animal Science, 2014, 92(12): 5640–5650
- [25] ANDO S, ISHIDA M, OSHIO S, et al. Effects of isolated and commercial lactic acid bacteria on the silage quality, digestibility, voluntary intake and ruminal fluid characteristics[J]. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 2006, 19(3): 386–389
- [26] 崔卫东. 青贮乳酸菌菌株特性分析与发酵条件研究[D]. 天津: 天津大学, 2009
- CUI W D. Study on characteristics and fermentation condition of lactic acid bacteria for silage inoculants[D]. Tianjin: Tianjin University, 2009
- [27] Weinberg Z G, Chen Y, Gamburg M. The passage of lactic acid bacteria from silage into rumen fluid, *in vitro* studies[J]. Journal of Dairy Science, 2004, 87(10): 3386–3397
- [28] 孟令凯, 郭春华, 彭忠利, 等. 微贮牧草对山羊生产性能、饲粮养分消化率和消化道微生物数量的影响[J]. 饲料工业, 2015, 36(3): 48–52
- MENG L K, GUO C H, PENG Z L, et al. Effect of microorganism fermented grass on growth performance, nutrient digestion metabolism and digestive tract microorganism quantity of goats[J]. Feed Industry, 2015, 36(3): 48–52
- [29] 司雪萌, 张振威, 王彦芦, 等. 微生物菌剂处理全株玉米青贮及花生秧添加对小尾寒羊生长性能及养分消化率的影响[J]. 中国畜牧杂志, 2018, 54(5): 79–83
- SI X M, ZHANG Z W, WANG Y L, et al. Effects of different microbial inoculants and peanut vine addition in whole-plant corn silage based total mixed rations on growth performance and nutrient digestibility of small-tailed Han sheep[J]. Chinese Journal of Animal Science, 2018, 54(5): 79–83