

刘蓓一, 赵冉冉, 田吉鹏, 等. 菌酶协同发酵对奶牛发酵全价混合日粮营养成分、发酵品质、体外消化率的影响[J]. 江苏农业学报, 2024, 40(6): 1038-1044.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2024.06.010

菌酶协同发酵对奶牛发酵全价混合日粮营养成分、发酵品质、体外消化率的影响

刘蓓一¹, 赵冉冉¹, 田吉鹏¹, 宦海琳¹, 程云辉¹, 许能祥¹, 张文洁¹, 韩冰峰², 丁成龙¹

(1.江苏省农业科学院畜牧研究所/农业农村部种养结合重点实验室, 江苏 南京 210014; 2.瑞粮饲料(徐州)有限公司, 江苏 徐州 221600)

摘要: 为研究菌酶协同发酵对奶牛发酵全价混合日粮的营养成分、发酵品质、体外消化率的影响, 设置 5 个处理, 分别为空白对照(CK)、添加 2×10^5 CFU/g 乳酸菌处理(J)、添加 2×10^5 CFU/g 乳酸菌+0.025% 纤维素酶处理(JX1)、添加 2×10^5 CFU/g 乳酸菌+0.050% 纤维素酶处理(JX2)、添加 2×10^5 CFU/g 乳酸菌+0.100% 纤维素酶处理(JX3)。所有处理均进行厌氧发酵, 在发酵 3 d、7 d、15 d、30 d 检测发酵品质, 发酵 30 d 检测营养成分含量、酸溶蛋白含量、体外消化率。结果表明, JX3 处理发酵全价混合日粮中的中性洗涤纤维含量显著低于对照($P < 0.05$)。JX3 处理发酵全价混合日粮的中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维、纤维素、半纤维素的含量最低, 酸溶蛋白、粗蛋白、乳酸含量最高。JX3 处理发酵全价混合日粮的体外干物质消化率和体外中性洗涤纤维消化率最高, 分别为 84.00% 和 21.61%。综上所述, 2×10^5 CFU/g 乳酸菌+0.100% 纤维素酶协同发酵的全价混合日粮营养成分、发酵品质、体外消化率最优。

关键词: 发酵全价混合日粮; 菌酶协同发酵; 发酵品质; 营养品质; 体外消化率

中图分类号: S816.6 文献标识码: A 文章编号: 1000-4440(2024)06-1038-07

Effects of cooperative fermentation by bacteria and enzymes on nutrient composition, fermentation quality and *in vitro* digestibility of fermented total mixed rations in dairy cows

LIU Beiyi¹, ZHAO Ranran¹, TIAN Jipeng¹, HUAN Hailin¹, CHENG Yunhui¹, XU Nengxiang¹, ZHANG Wenjie¹, HAN Bingfeng², DING Chenglong¹

(1. Institute of Animal Science, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Crop and Animal Integrated Farming, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Nanjing 210014, China; 2. Ruiliang Feed (Xuzhou) Co., Ltd., Xuzhou 221600, China)

Abstract: In order to study the effects of cooperative fermentation by bacteria and enzymes on nutrient composition, fermentation quality and *in vitro* digestibility of fermented total mixed rations in dairy cows, five treatments were set up, which were blank control (CK), adding 2×10^5 CFU/g lactobacillus treatment (J), adding 2×10^5 CFU/g lactobacillus +

0.025% cellulase treatment (JX1), adding 2×10^5 CFU/g lactobacillus + 0.050% cellulase treatment (JX2), adding 2×10^5 CFU/g lactobacillus + 0.100% cellulase treatment (JX3). All treatments were subjected to anaerobic fermentation. The fermentation quality was detected at 3 d, 7 d, 15 d and 30 d of fermentation, and the nutrient

收稿日期: 2023-06-08

基金项目: 江苏现代农业产业技术体系建设专项基金[JATS(2023)398]; 江苏省苏北科技专项(XZ-SZ202112)

作者简介: 刘蓓一(1984-), 女, 江苏武进人, 博士, 副研究员, 主要从事饲草加工与草食动物营养研究。(E-mail) byliu@jaas.ac.cn

通讯作者: 丁成龙, (E-mail) dingcl@jaas.ac.cn

content, acid-soluble protein content and *in vitro* digestibility were detected at 30 d. The results showed that the content of neutral detergent fiber in fermented total mixed rations in JX3 was significantly lower than that in the control ($P<0.05$). The contents of neutral detergent fiber, acid detergent fiber, cellulose and hemicellulose of fermented total mixed rations in JX3 were the lowest, while the contents of acid soluble protein, crude protein and lactic acid were the highest. The *in vitro* dry matter digestibility and *in vitro* neutral detergent fiber digestibility of fermented total mixed rations in JX3 were the highest, which were 84.00% and 21.61%, respectively. In conclusion, the optimal nutritional composition, fermentation quality and *in vitro* digestibility of fermented total mixed rations were obtained by adding 2×10^5 CFU/g lactobacillus + 0.100% cellulase.

Key words: fermented total mixed rations; cooperative fermentation by bacteria and enzymes; fermentation quality; nutrient quality; *in vitro* digestibility

微生物发酵饲料具有饲料利用率高、适口性好等优点^[1],可以为瘤胃微生物提供营养底物,促进瘤胃微生物的生长和繁殖,提高瘤胃发酵水平以及饲料营养成分的体外消化水平^[2],促使机体激活免疫细胞,提高畜禽的免疫能力^[3]。饲用酶制剂能够提高青贮饲料的发酵品质及水溶性碳水化合物的含量,显著降低酸性以及中性洗涤纤维的含量^[4],且能提高饲料利用率,从而改善动物生产性能^[5-6]。

反刍动物酶制剂(纤维素酶、半纤维素酶、酯酶)的作用主要是降解植物细胞壁^[7-8]。菌酶协同发酵即益生菌和酶共同发酵饲料,可以提高发酵效率,提升发酵产品的品质,充分发挥酶和益生菌的互补作用,是一种较为先进的生产工艺^[9]。菌酶协同发酵能显著提高饲料中大分子物质的降解率,同时产生有机酸及大量有益的代谢产物^[10]。例如,纤维素酶分解秸秆内的纤维素得到单糖等小分子营养物质,为酵母菌产生菌体蛋白提供营养支持,提高酵母菌产酶量,显著提高饲料品质^[11]。现阶段,菌酶协同发酵饲料多用于饲养单胃动物以及水产动物方面^[12-14],对奶牛发酵全价混合日粮(TMR)菌酶协同工艺的研究较少。本研究拟利用乳酸菌和纤维素酶同时发酵奶牛全价混合日粮,研究菌酶协同发酵对发酵饲料营养品质、体外消化率和发酵品质的影响。

1 材料与方法

1.1 试验材料

根据奶牛围产前期营养需要(表1),配制围产前期奶牛日粮。精饲料包含压片玉米、玉米粉、豆粕、棉籽粕、碳酸钙、预混料(表2)。每1 kg 预混料含维生素A 8.0×10^5 IU、维生素D 1.8×10^5 IU、维生素E 7 000.0 mg、生物素 45.0 mg、 β -胡萝卜素 300.0 mg、铜 600.0 mg、铁 1 000.0 mg、锌 2 200.0 mg、锰

1 800.0 mg、钴 20.0 mg、硒 30.0 mg、碘 39.0 mg、镁 4.5 g、钙 7.2 g、磷 2.9 g。粗饲料包括青贮玉米、燕麦干草、小麦秸秆,均铡碎成2~3 cm 的小段。奶牛发酵全价混合日粮(TMR)由豆渣、糖蜜、精饲料与粗饲料混合、发酵制成,发酵过程中,水分控制在50%(表3)。

表1 奶牛围产前期日粮营养水平

Table 1 Dietary nutrition level of dairy cows in peripartum period

指标	营养水平
产奶净能(MJ/kg)	6.38
粗蛋白含量(%)	12.70
中性洗涤纤维含量(%)	31.40
酸性洗涤纤维含量(%)	16.90
钙含量(%)	0.55
磷含量(%)	0.30

表2 精饲料配方

Table 2 Formula of concentrated feed

原料	比例(%)
压片玉米	24.0
玉米粉	29.4
豆粕	32.6
棉籽粕	12.0
碳酸钙	1.0
预混料	1.0

1.2 试验设计

在表3的全价混合日粮(TMR)的基础上,设置5个处理,分别为空白对照(CK)、添加 2×10^5 CFU/g 乳酸菌处理(J)、添加 2×10^5 CFU/g 乳酸菌+0.025% 纤维素酶处理(JX1)、添加 2×10^5 CFU/g 乳酸菌+

0.050%纤维素酶处理(JX2)、添加 2×10^5 CFU/g乳酸菌+0.100%纤维素酶处理(JX3)。所有处理的全价混合日粮均进行厌氧发酵。乳酸菌为江苏省农业科学院提供的复合菌剂,包括干酪乳杆菌等多种菌类^[15]。纤维素酶由广东溢多利生物科技股份有限公司提供,酶活性为10 000 U/g。

每个处理 9 kg TMR 饲料,每个处理 TMR 饲料分成 15 袋,每袋 600 g,分别在发酵 3 d、7 d、15 d、30 d 开袋检测发酵品质;在发酵 30 d 检测营养成分含量、体外消化率、酸溶蛋白含量。

表 3 全价混合日粮配方

Table 3 Formula of total mixed ration

原料	重量(kg)
精饲料	5.5
糖蜜	0.5
豆渣	1.5
青贮玉米	13.0
燕麦干草	3.8
小麦秸秆	1.0
总计	25.3

1.3 发酵全价混合日粮制作与品质分析

1.3.1 发酵全价混合日粮的制作 用铡刀把燕麦干草、小麦秸秆和青贮玉米铡碎成2~3 cm 的小段,按照表 3 的配方将粗饲料和精饲料、糖蜜、豆渣混合,装入呼吸袋中,压实并抽成真空状态,每袋重 600 g。室温下遮光,分别进行 3 d、7 d、15 d、30 d 发酵处理。

1.3.2 营养成分和品质分析 pH:称取 20 g 发酵全价混合日粮,倒入 180 ml 蒸馏水,于 4 ℃ 放置 24 h,4 层纱布过滤后用 pHs-3C 型数显酸度计测定发酵全价混合日粮的 pH。

有机酸含量:用高效液相色谱仪分析测定有机酸(乳酸、乙酸)含量。

干物质含量:将每袋全价混合日粮分成 2 份,分别用报纸包好,105 ℃ 杀青 2 h,之后在 75 ℃ 的烘箱之中持续烘干 48 h,测定干物质的含量。将全价混合日粮粉碎,并用 1 mm 孔径的网筛筛选后,使用自封袋密封存储,进行常规营养指标检测。

粗蛋白含量:粗蛋白含量用全自动凯氏定氮仪(KjeltecTM2300)测定。

中性洗涤纤维(NDF)含量、酸性洗涤纤维(ADF)含量、木质素含量:均采用 ANKOM-A2000i 型全自动滤袋技术测定,并计算纤维素、半纤维素含量^[16],均以干物质计。

体外消化率:体外干物质消化率通过两级消化法(体外蛋白酶-纤维素酶)进行检测^[17],测定消化之后的试样残渣中性洗涤纤维含量,再计算得到体外中性洗涤纤维消化率。

酸溶蛋白含量:用锥形瓶称取 1.5 g 样品,倒入 50 ml 15% 三氯乙酸溶液,摇床转速 180 r/min, 30 min。摇晃后过滤,取 10 ml 滤液用凯氏定氮法测定。

1.4 数据分析

利用 Excel2019、SPSS26 软件统计分析试验数据,采用 Tukey 法进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 菌酶协同发酵对发酵全价混合日粮营养成分的影响

如表 4 所示,发酵 30 d,J 处理发酵全价混合日粮中的中性洗涤纤维含量与对照相比无显著差异($P>0.05$),JX1、JX2、JX3 处理发酵全价混合日粮中的中性洗涤纤维含量均显著低于对照($P<0.05$)。其中 JX3 处理显著低于对照、J、JX1、JX2 处理($P<0.05$),与对照相比,JX3 处理发酵全价混合日粮中的中性洗涤纤维含量显著降低 3.60 个百分点。发酵 30 d,J、JX1、JX2、JX3 处理发酵全价混合日粮中的酸性洗涤纤维含量均显著低于对照($P<0.05$)。其中,JX3 处理发酵全价混合日粮中的酸性洗涤纤维含量与 J、JX1、JX2 处理相比无显著差异($P>0.05$),与对照相比,JX3 处理发酵全价混合日粮中的酸性洗涤纤维含量显著降低了 1.96 个百分点($P<0.05$)。发酵 30 d,J、JX1、JX2、JX3 处理发酵全价混合日粮中的纤维素含量均显著低于对照($P<0.05$)。与对照相比,JX3 处理发酵全价混合日粮中的纤维素含量显著降低了 2.05 个百分点。发酵 30 d,J、JX1、JX2 处理发酵全价混合日粮中的半纤维素含量与对照相比无显著差异($P>0.05$),JX3 处理发酵全价混合日粮中的半纤维素含量显著低于对照和 J、JX1、JX2 处理($P<0.05$)。与对照相比,JX3 处理发酵全价混合日粮中的半纤维素含量显著降低 1.81 个百分点($P<0.05$)。对照和 J、JX1、JX2、JX3 处理的木质素含量均无显著差异($P>0.05$)。

如表 5 所示,发酵 30 d,J 处理发酵全价混合日粮

中的粗蛋白含量与对照相比无显著差异($P>0.05$), JX1、JX2、JX3 处理发酵全价混合日粮中的粗蛋白含量均显著高于对照($P<0.05$), 其中 JX3 处理发酵全价混合日粮中的粗蛋白含量最高, 为 13.82%。

表 4 菌酶协同发酵对发酵全价混合日粮中膳食纤维含量的影响

Table 4 Effects of cooperative fermentation by bacteria and enzymes on the dietary fiber content of fermented total mixed rations

处理	中性洗涤纤维含量 (%, 干物质)	酸性洗涤纤维含量 (%, 干物质)	纤维素含量 (%, 干物质)	半纤维素含量 (%, 干物质)	木质素含量 (%, 干物质)
CK	36.88±0.24a	18.24±0.21a	16.29±0.16a	18.73±0.19a	1.23±0.04a
J	35.87±0.15ab	16.39±0.14b	14.36±0.22b	19.16±0.07a	1.19±0.04a
JX1	35.69±0.36b	16.68±0.18b	14.84±0.11b	18.87±0.23a	1.19±0.02a
JX2	35.26±0.15b	16.36±0.21b	14.45±0.09b	18.85±0.16a	1.21±0.03a
JX3	33.28±0.19c	16.28±0.10b	14.24±0.12b	16.92±0.14b	1.15±0.07a

CK:空白对照;J:添加 2×10^5 CFU/g乳酸菌处理;JX1:添加 2×10^5 CFU/g乳酸菌+0.025%纤维素酶制剂处理;JX2:添加 2×10^5 CFU/g乳酸菌+0.050%纤维素酶处理;JX3:添加 2×10^5 CFU/g乳酸菌+0.100%纤维素酶处理。同一列数据后不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)。

表 5 菌酶协同发酵对发酵全价混合日粮中粗蛋白含量的影响

Table 5 Effects of cooperative fermentation by bacteria and enzymes on the crude protein content of fermented total mixed rations

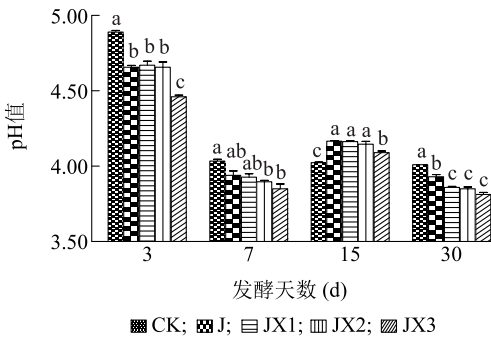
处理	粗蛋白含量(%, 干物质)
CK	13.15±0.05c
J	13.27±0.04bc
JX1	13.35±0.06b
JX2	13.67±0.07a
JX3	13.82±0.02a

CK、J、JX1、JX2 和 JX3 见表 4 注。同一列数据后不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)。

2.2 菌酶协同发酵对发酵全价混合日粮发酵品质的影响

如图 1 所示,在发酵 7 d 内,对照和各处理发酵全价混合日粮的 pH 值均迅速下降到 4.00 左右。发酵 7~30 d,对照发酵全价混合日粮的 pH 值继续下降。发酵 7~15 d,J、JX1、JX2、JX3 处理发酵全价混合日粮的 pH 值均上升,发酵 15~30 d,J、JX1、JX2、JX3 处理发酵全价混合日粮的 pH 值均下降。发酵 30 d,J、JX1、JX2、JX3 处理发酵全价混合日粮的 pH 值均低于对照,其中 JX3 处理发酵全价混合日粮的 pH 值最低,为 3.81。

如表 6 所示,发酵 30 d,J、JX1、JX2、JX3 处理发酵全价混合日粮中的酸溶蛋白含量均显著高于对照($P<0.05$),J、JX1、JX2 处理发酵全价混合日粮中的酸溶蛋白含量无显著差异($P>0.05$)。其中 JX3 处理发酵全价混合日粮中的酸溶蛋白含量最高,为 5.13%,与对照相比,JX3 处理发酵全价混合日粮中的酸溶蛋白含量显著提高了 0.60 个百分点($P<0.05$)。



CK、J、JX1、JX2 和 JX3 见表 4 注。图中不同小写字母表示相同发酵天数下不同处理之间差异显著($P<0.05$)。

图 1 发酵全价混合日粮的 pH 值动态变化

Fig.1 Dynamic changes of pH value of fermented total mixed rations

表 6 菌酶协同发酵对发酵全价混合日粮中酸溶蛋白含量的影响

Table 6 Effects of cooperative fermentation by bacteria and enzymes on the content of acid soluble protein of fermented total mixed rations

处理	酸溶蛋白含量(%, 干物质)
CK	4.53±0.08c
J	4.84±0.03b
JX1	4.95±0.04ab
JX2	5.03±0.11ab
JX3	5.13±0.18a

CK、J、JX1、JX2 和 JX3 见表 4 注。同一列数据后不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)。

如表 7 所示,J、JX1、JX2、JX3 处理发酵全价混合日粮中的乳酸含量均随着发酵时间的延长而呈上升趋势,且在相同发酵时间内乳酸含量均显著高于对照($P<0.05$)。发酵 30 d,JX3 处理的乳酸含量最高,为

1.82%。发酵 3 d,各处理的乙酸含量显著低于对照 ($P<0.05$),其中 JX3 处理的乙酸含量最低。在发酵 7 d 和 30 d 时,对照和 J、JX1、JX2、JX3 处理的乙酸含量

均无显著差异 ($P>0.05$)。在整个发酵过程中,JX2、JX3 处理发酵全价混合日粮中的乙酸含量在发酵 30 d 显著高于其他发酵天数 ($P<0.05$)。

表 7 菌酶协同发酵对发酵全价混合日粮中有机酸含量的影响

Table 7 Effects of cooperative fermentation by bacteria and enzymes on the content of organic acids of fermented total mixed rations

有机酸	处理	含量 (% ,干物质)			
		发酵 3 d	发酵 7 d	发酵 15 d	发酵 30 d
乳酸	CK	0.87±0.11e	0.91±0.20d	0.77±0.22e	0.88±0.08e
	J	1.11±0.07d	1.44±0.32c	1.52±0.29d	1.54±0.45d
	JX1	1.43±0.31c	1.49±0.32b	1.53±0.27c	1.64±0.22c
	JX2	1.44±0.31b	1.49±0.38b	1.57±0.29b	1.78±0.28b
	JX3	1.45±0.23a	1.57±0.34a	1.59±0.28a	1.82±0.08a
乙酸	CK	0.26±0.06a	0.21±0.04a	0.23±0.04a	0.29±0.04a
	J	0.14±0.04b	0.15±0.06a	0.13±0.04bc	0.21±0.06a
	JX1	0.15±0.01b	0.18±0.04a	0.19±0.04ab	0.17±0.04a
	JX2	0.15±0.03b	0.16±0.04a	0.10±0.06c	0.27±0.13a
	JX3	0.13±0.01b	0.16±0.05a	0.07±0.01c	0.28±0.09a

CK、J、JX1、JX2 和 JX3 见表 4 注。同一列数据后不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P<0.05$)。

2.3 菌酶协同发酵对发酵全价混合日粮体外消化率的影响

由表 8 可知,发酵 30 d,菌酶协同处理 (JX1、JX2、JX3) 发酵全价混合日粮的体外干物质消化率均显著高于对照 ($P<0.05$)。其中 JX3 处理发酵全价混合日粮的体外干物质消化率最高,为 84.00%,与对照相比,体外干物质消化率提高 4.14 个百分点。发酵 30 d,JX2 和 JX3 处理发酵全价混合日粮的体外中性洗涤纤维消化率显著高于对照 ($P<0.05$)。其中 JX3 处理的体外中性洗涤纤维消化率最高,为 21.61%,与对照相比,体外中性洗涤纤维消化率提高 3.93 个百分点。

表 8 菌酶协同发酵对发酵全价混合日粮体外消化率的影响

Table 8 Effects of cooperative fermentation by bacteria and enzymes on the *in vitro* digestibility of fermented total mixed rations

处理	体外干物质消化率 (% ,干物质)	体外中性洗涤纤维消化率 (% ,干物质)
CK	79.86±0.60c	17.68±0.35b
J	80.81±1.75bc	19.58±0.10ab
JX1	82.30±1.00ab	19.69±0.50ab
JX2	82.76±0.91ab	20.13±0.86a
JX3	84.00±1.43a	21.61±0.42a

CK、J、JX1、JX2 和 JX3 见表 4 注。同一列数据后不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P<0.05$)。

3 讨论

3.1 菌酶协同发酵对发酵全价混合日粮营养品质的影响

中性洗涤纤维含量为判断饲料纤维含量高低的关键指标之一^[18],酸性洗涤纤维含量与饲料消化率显著相关^[19]。本研究结果表明,JX1、JX2、JX3 处理发酵全价混合日粮中的中性洗涤纤维含量显著低于对照 ($P<0.05$)。这表明向发酵全价混合日粮饲料中添加乳酸菌以及纤维素酶能有效降解纤维素。傅彤^[20]的研究结果表明,用乳酸菌和纤维素组成的复合菌酶发酵全株玉米,中性洗涤纤维 (NDF) 含量和酸性洗涤纤维 (ADF) 含量均降低。在本研究中,与对照相比,JX1、JX2、JX3 处理发酵全价混合日粮中的中性洗涤纤维含量分别降低 1.19 个百分点、1.62 个百分点、3.60 个百分点,酸性洗涤纤维含量分别降低 1.56 个百分点、1.88 个百分点、1.96 个百分点,纤维素含量分别降低 1.45 个百分点、1.84 个百分点、2.05 个百分点。

粗蛋白含量为评估饲料质量的关键指标,Chen 等^[21]指出,相比单菌或者单酶发酵的饲料,菌酶协同发酵的青贮饲料的粗蛋白和可溶性蛋白含量更高。本研究中,发酵 30 d,JX1、JX2 和 JX3 处理发酵全价

混合日粮中的粗蛋白含量均显著高于对照($P<0.05$),与潘润淑等^[22]的研究结果一致。由此可见,菌酶协同发酵可以显著降低发酵全价混合日粮中粗纤维的含量,提高粗蛋白的含量。

3.2 菌酶协同发酵对发酵全价混合日粮发酵品质的影响

乳酸菌发酵生成乳酸,降低发酵饲料的酸碱度,有效抑制有害菌的生长。樊振等^[23]研究结果表明,向青贮玉米中添加乳酸菌可以明显降低饲料的 pH,降低霉菌数量。该结论与本研究结果一致。本研究发现,发酵全价混合日粮在发酵 7 d 内 pH 值迅速下降,发酵 3 d 时,对照发酵全价混合日粮 pH 值显著高于 J、JX1、JX2 和 JX3 处理,这是由于乳酸菌生成的乳酸使饲料酸碱度降低,有利于为饲料提供了良好的储存环境。

乳酸是乳酸菌发酵的主要产物,显著影响发酵饲料品质^[23]。在本研究中,J、JX1、JX2、JX3 处理发酵全价混合日粮中的乳酸含量随着发酵时间的延长呈上升趋势,J、JX1、JX2、JX3 处理发酵全价混合日粮中的乳酸含量均显著高于对照($P<0.05$)。发酵 30 d,JX3 处理的乳酸含量最高,显著高于对照和 J、JX1、JX2 处理($P<0.05$)。Filya 等^[24]研究结果表明,在饲料中接种乳酸菌能够促使饲料发酵,明显提升饲料中乳酸含量,与本研究结果一致。Chen 等^[21]指出,对比利用单一乳酸菌或者单一纤维素酶发酵饲料,菌酶协同作用的饲料 pH 值更低,乳酸含量更高。本研究结果表明,随着纤维素酶添加量的提高,发酵全价混合日粮中乳酸含量提高。

酸溶蛋白为游离氨基酸合成的小分子成分,为判断发酵饲料质量的关键要素之一^[25-26]。发酵 30 d,J、JX1、JX2、JX3 处理发酵全价混合日粮中酸溶蛋白含量均显著高于对照($P<0.05$),其中 JX3 处理酸溶蛋白含量最高,达到 5.13%。Chen 等^[21]指出,对比利用单一乳酸菌或者单一纤维素酶发酵饲料,菌酶协同发酵的饲料中可溶性蛋白含量更高,与本研究结果一致。

3.3 菌酶协同发酵对发酵全价混合日粮体外消化率的影响

体外干物质消化率和体外中性洗涤纤维消化率是衡量日粮品质的重要指标之一^[27]。消化率反映了动物对饲料的利用程度^[28]。在本研究中,发酵 30 d,JX1、JX2、JX3 处理全价混合日粮体外干物质

消化率均显著高于对照($P<0.05$)。发酵 30 d,JX2、JX3 处理全价混合日粮体外中性洗涤纤维消化率显著高于对照($P<0.05$)。研究结果表明,适量乳酸菌和纤维素酶复合添加可以明显增加发酵饲料的体外干物质消化率以及体外中性洗涤纤维消化率,与冯江鑫^[29]的研究结果一致。

4 结 论

本研究结论如下:(1)JX3 处理发酵全价混合日粮中的中性洗涤纤维含量显著低于对照和 J、JX1、JX2 处理($P<0.05$),与对照相比,JX3 处理发酵全价混合日粮中的中性洗涤纤维含量、酸性洗涤纤维含量、纤维素含量、半纤维素含量分别下降 3.60 个百分点、1.96 个百分点、2.05 个百分点、1.81 个百分点。JX3 处理发酵全价混合日粮中的粗蛋白含量最高,达 13.82%。(2)发酵 7 d,对照和各处理发酵全价混合日粮的 pH 值均迅速下降到 4.00 左右,发酵 3 d 时,J、JX1、JX2、JX3 处理发酵全价混合日粮的 pH 值显著低于对照($P<0.05$)。发酵 30 d,JX3 处理发酵全价混合日粮的 pH 值最低,为 3.81。JX3 处理发酵全价混合日粮中的酸溶蛋白含量显著高于对照和 J 处理($P<0.05$)。(3)JX3 处理发酵全价混合日粮的体外干物质消化率显著高于对照和 J 处理($P<0.05$),体外中性洗涤纤维消化率显著高于对照($P<0.05$)。

综合各项检测结果可以得出,添加 2×10^5 CFU/g 乳酸菌+0.100%纤维素酶的发酵全价混合日粮营养成分、发酵品质、体外消化率最优。

参考文献:

- [1] 吴小燕,郭春华,王之盛,等.微生物发酵饲料对泌乳奶牛生产性能和饲料养分表观消化率的影响[J].动物营养学报,2014,26(8):2296-2302.
- [2] 徐子萱,李冬芳,于春微,等.微生物发酵饲料对奶牛瘤胃发酵功能及饲料营养物质体外消化率的影响[J].动物营养学报,2021,33(3):1513-1522.
- [3] 胡新旭,周映华,卞巧,等.无抗发酵饲料对生长育肥猪生产性能、血液生化指标和肉品质的影响[J].华中农业大学学报,2015,34(1):72-77.
- [4] 贾燕霞,玉柱,邵涛.添加酶制剂对象草青贮发酵品质的影响[J].草地学报,2009,17(1):121-124.
- [5] SALEM A Z M, GADO H M, COLOMBATTO D, et al. Effects of exogenous enzymes on nutrient digestibility, ruminal fermentation and growth performance in beef steers [J]. Livestock Science,

- 2013, 154(1):69-73.
- [6] YANG W Z, BEAUCHEMIN K A, RODE L M, et al. A comparison of methods of adding fibrolytic enzymes to lactating cow diets [J]. *Journal of Dairy Science*, 2000, 83(11):2512-2520.
- [7] 王红梅, 屠 焰, 张乃锋, 等. 饲用酶制剂在反刍动物营养中的应用进展[J]. *草业学报*, 2017, 26(3):199-213.
- [8] 成艳芬, 马 菁, 朱伟云. 阿魏酸酯酶促进粗纤维降解的作用机制及其在饲料工业中的应用[J]. *动物营养学报*, 2022, 34(10):6203-6212.
- [9] 姜碧薇. 酶菌混合处理粗饲料对其纤维结构及滩羊生长性能和瘤胃菌群的影响[D]. 银川:宁夏大学, 2021.
- [10] 朱晓峰. 纤维降解酶与乳酸杆菌协同发酵改善菜籽粕营养价值研究[D]. 南京:南京农业大学, 2020.
- [11] 李 旺, 丁 轲, 曹平华, 等. 饲料中菌酶协同作用的研究与应用进展[J]. *动物营养学报*, 2020, 32(8):3469-3475.
- [12] 林标声, 何玉琴, 谢璐娜, 等. 菌酶协同发酵饲料对肉鸡肌肉风味物质含量、肠道转录组及菌群组成的影响[J]. *动物营养学报*, 2022, 34(11):7049-7062.
- [13] 陈绍坚. 菌酶协同发酵豆粕在大口黑鲈饲料中的应用研究[D]. 广州:华南农业大学, 2020.
- [14] 张 煜, 石常友, 王 成, 等. 菌酶协同发酵改善玉米-豆粕型饲料营养价值的研究[J]. *中国粮油学报*, 2018, 33(3):70-77.
- [15] LIU B Y, HUAN H L, GU H R, et al. Dynamics of a microbial community during ensiling and upon aerobic exposure in lactic acid bacteria inoculation-treated and untreated barley silages[J]. *Biore-source Technology*, 2019, 273:212-219.
- [16] 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.
- [17] GOTO I, MINSON D J. Prediction of the dry matter digestibility of tropical grasses using a pepsin-cellulase assay[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 1977, 2(3):247-253.
- [18] TIAN J P, XU N X, LIU B Y, et al. Interaction effect of silo density and additives on the fermentation quality, microbial counts, chemical composition and *in vitro* degradability of rice straw silage [J]. *Biore-source Technology*, 2020, 297:122412.
- [19] 赵苗苗, 玉 柱. 添加乳酸菌及纤维素酶对象草青贮品质的改善效果[J]. *草地学报*, 2015, 23(1):205-210.
- [20] 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.
- [21] CHEN L, LI J, DONG Z, et al. Effects of lactic acid bacteria inoculants and fibrolytic enzymes on the fermentation quality, *in vitro* degradability, ruminal variables and microbial communities of high-moisture alfalfa silage[J]. *Grassland Science*, 2019, 65(4):216-225.
- [22] 潘润淑, 尤希凤, 赵功玲. 微生物发酵柑桔渣提高粗蛋白含量的菌种筛选[J]. *河南职技师院学报*, 2001(3):32-34.
- [23] 樊 振, 马贵军, 姚 峻, 等. 不同发酵类型乳酸菌对玉米青贮发酵品质的影响[J]. *饲料研究*, 2014(1):43-45, 70.
- [24] FILYA I, ASHBELL G, HEN Y, et al. The effect of bacterial inoculants on the fermentation and aerobic stability of whole crop wheat silage[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2000, 88(1/2):39-46.
- [25] ZHANG Y, CHEN S, ZONG X, et al. Peptides derived from fermented soybean meal suppresses intestinal inflammation and enhances epithelial barrier function in piglets[J]. *Food and Agricultural Immunology*, 2020, 31(1):120-135.
- [26] 殷雨洋, 范 阳, 齐伟彪, 等. 自然发酵和益生菌发酵豆渣饲料的发酵品质、营养成分及微生物菌群组成分析[J]. *中国畜牧杂志*, 2023, 59(5):241-246.
- [27] LI P, JI S R, WANG Q, et al. Adding sweet potato vines improve the quality of rice straw silage[J]. *Animal Science Journal*, 2017, 88(4):625-632.
- [28] 彭 健. 日粮纤维:定义、成分、分析方法及加工影响(综述)[J]. *国外畜牧学(猪与禽)*, 1999(4):8-11.
- [29] 冯江鑫. 菌酶协同发酵饲料对断奶仔猪生长与肠道健康的影响[D]. 成都:四川农业大学, 2019.

(责任编辑:成纾寒)