

# 外源生物制剂对玉米秸秆青贮质量及肉羊瘤胃降解率的影响

冯鹏<sup>1\*</sup> 吴宏达<sup>2</sup> 孟凡坤<sup>3</sup> 郑海燕<sup>2</sup> 杨墨<sup>4</sup> 王建丽<sup>1</sup> 申忠宝<sup>1</sup>

(1. 黑龙江省农业科学院 草业研究所, 哈尔滨 150086;

2. 黑龙江省农业科学院, 哈尔滨 150086;

3. 明水县农业技术推广中心, 黑龙江 绥化 151700;

4. 黑龙江省农业科学院 畜牧兽医分院, 黑龙江 齐齐哈尔 161005)

**摘要** 为研究外源生物制剂对玉米秸秆青贮发酵品质、营养价值及肉羊养分瘤胃降解率的影响, 筛选高效青贮生物添加剂, 探索实用的玉米秸秆饲料转化方法。以粮饲兼用型玉米品种中原单 32 秸秆为试验材料, 生物制剂分别采用酶制剂、菌制剂及酶菌复合制剂, 完全随机试验设计, 共 15 个处理。玉米秸秆切短, 装入聚乙烯袋, 抽真空青贮 60 d 后, 采用实验室化学分析法及半体内试验测定发酵品质、营养成分和瘤胃降解率。结果表明, 玉米秸秆青贮饲料各处理及对照感官评定均达到了优级; 酶菌复合处理玉米秸秆发酵品质优于酶制剂、菌制剂处理, 玉米秸秆添加木聚糖酶 1 g/3 kg、果胶酶 1 g/3 kg、 $\beta$ -葡聚糖酶 1 g/3 kg、乳杆菌 3 g/3 kg、纤维素酶 1 g/3 kg(MCL<sub>2</sub>) 处理和添加木聚糖酶 1 g/3 kg、果胶酶 1 g/3 kg、 $\beta$ -葡聚糖酶 1 g/3 kg、乳杆菌 3 g/3 kg、漆酶 1 g/3 kg(MCL<sub>4</sub>) 处理乳酸含量最高, 分别为 4.03%DM 和 3.95%DM( $P < 0.05$ ); 外源生物制剂处理玉米秸秆青贮饲料, 干物质含量差异不显著( $P > 0.05$ ); 粗蛋白含量显著低于对照( $P < 0.05$ ), 玉米秸秆经酶制剂和酶菌复合处理青贮后, 青贮饲料 NDF、ADF 及纤维素含量显著降低( $P < 0.05$ ), 其中 MCL<sub>2</sub> 处理最低, 分别为 52.17%DM、31.94%DM 和 22.86%DM( $P < 0.05$ ); 纤维素酶添加量 1 g/3 kg 处理组(CE<sub>1</sub>、MCL<sub>2</sub>、MCL<sub>6</sub> 和 MCL<sub>7</sub>) 纤维素 72 h 瘤胃降解率高于其他处理, 但是差异不显著( $P > 0.05$ ), 其中 ML<sub>2</sub> 纤维素降解率最高, 为 37.38%( $P < 0.05$ )。综上, 外源生物制剂促进玉米秸秆发酵, 增加青贮饲料营养价值, 提高肉羊营养物质瘤胃降解效率, 综合玉米秸秆发酵品质、营养成分及养分瘤胃降解率, 酶菌复合处理 > 酶处理 > 菌处理, 其中 MCL<sub>2</sub> 处理效果最佳; 纤维素酶降低玉米秸秆青贮饲料纤维素、酸性洗涤纤维、中性洗涤纤维含量, 最适纤维素酶添加量为 1 g/3 kg。

**关键词** 玉米秸秆; 生物制剂; 青贮发酵; 发酵品质; 瘤胃降解率

中图分类号 S816.5+3

文章编号 1007-4333(2022)01-134-11

文献标志码 A

## Effects of exogenous biological agents on silage quality and ruminal degradability of corn stalk

FENG Peng<sup>1\*</sup>, WU Hongda<sup>2</sup>, MENG Fankun<sup>3</sup>, ZHENG Haiyan<sup>2</sup>, YANG Zhao<sup>4</sup>,

WANG Jianli<sup>1</sup>, SHEN Zhongbao<sup>1</sup>

(1. Grass and Science Institute, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Herbin 150086, China;

2. Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Herbin 150086, China;

3. Agricultural Technology Extension Center of Mingshui County, Suihua 151700, China;

4. Branch of Animal Husbandry and Veterinary of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Qiqihaer 161005, China)

**Abstract** The object of this study was to research the effects of exogenous biological agents on fermentation quality, nutritive value and *in situ* ruminal degradability of corn stalk silage. The high efficiency biological agents were screened

收稿日期: 2021-03-22

基金项目: 黑龙江省农业科学院“农业科技创新跨越工程”专项(HNK2019CX08, HNK2019CX15-7); 黑龙江省应用技术与开发计划重大专项(GA19B103)

第一作者: 冯鹏, 副研究员, 主要从事农作物秸秆饲料化研究, E-mail: fenggrass@163.com

and the efficient and practical conversion methods of corn stalk were explored. There were 15 exogenous biological agents treatments by randomized complete experimental design. Corn stalk was chopped and then packed in polyethylene bags. Fermentation quality, nutritive value and *in situ* ruminal degradability were analyzed using laboratory chemical methods and *in situ* technology of corn stalk silage after 60 days of fermentation. The results showed that all of the treatments sensory evaluation were superior grade. The content of lactic acid of MCL<sub>2</sub> treatment (xylanase 1 g/3 kg,  $\beta$ -glucanase 1 g/3 kg, pectinase 1 g/3 kg, lactobacillus 3 g/3 kg, cellulase 1 g/3 kg) and MCL<sub>4</sub> treatment (xylanase 1 g/3 kg,  $\beta$ -glucanase 1 g/3 kg, pectinase 1 g/3 kg, lactobacillus 3 g/3 kg, laccase 1 g/3 kg) were the highest, which were 4.03%DM and 3.95%DM respectively ( $P < 0.05$ ). There were no significant differences in dry matter content of exogenous biological agents treatments ( $P > 0.05$ ), and the crude protein content were lower than the control ( $P < 0.05$ ); Neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF) and cellulose content of enzyme preparation treatments and enzyme mixed fungus preparation treatments had decreased, among which the MCL<sub>2</sub> treatment were the lowest. They were 52.17%DM, 31.94%DM and 22.86%DM, respectively ( $P < 0.05$ ). Ruminal degradability of 72 h of MCL<sub>2</sub> treatment was the highest, which was 37.38% ( $P < 0.05$ ). The exogenous biological agents promoted fermentation and increased the nutrients storage of corn stalk silage, and also improved the *in situ* ruminal degradability for ruminant. The effects of exogenous biological agents from great to small were enzyme mixed fungus > enzyme > fungus treatments. The MCL<sub>2</sub> treatments had the best effects in this regard. And 1 g/3 kg was the best cellulase addition amount.

**Keywords** corn stalk; biological agent; silage fermentation; fermentation quality; ruminal degradability

目前,农作物秸秆直接饲喂或经过加工后饲喂家畜占我国秸秆总量不超过 25.0%<sup>[1]</sup>。利用生物制剂可有效提高玉米秸秆饲料利用效率,同时可以解决秸秆焚烧导致的环境污染问题。充分利用秸秆资源,提高其营养价值、适口性及利用率是发展草食家畜必由之路,也是实现农业和畜牧业现代化和可持续发展战略的重要途径之一<sup>[2]</sup>。

玉米秸秆作为粗饲料供给家畜,因含有大量的粗纤维,并且木质化程度高,所以适口性差,难以在瘤胃中充分降解和消化。大量的研究表明,玉米秸秆添加生物制剂青贮,可以成为反刍动物的优质饲料<sup>[3]</sup>。陶莲<sup>[4]</sup>认为,外源酶菌复合处理显著降低玉米秸秆青贮饲料中性洗涤纤维和酸性木质素含量,并且瘤胃消化吸收纤维素和性洗涤纤维能力显著提高。郭刚等<sup>[5]</sup>研究表明,添加 5 log cfu/g 蒙氏肠球菌和粪肠球菌处理秸秆均可显著降低氨态氮和乙酸含量,提高乳酸/乙酸比率。扈延成等<sup>[6]</sup>研究发现用微生物处理玉米秸秆后,内蒙古半细毛羊羯羊对青贮玉米秸秆饲料的利用率可提高 37.3%,干物质降解率比对照组提高 15.07%。王红梅<sup>[7]</sup>研究指出,秸秆饲料专用复合酶制剂(SFES)高剂量(5 mg/g 底物风干基础)处理,玉米秸秆青贮饲料干物质、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维、半纤维素和纤维素瘤胃降解率显著提高。Yang 等<sup>[8]</sup>报道,在泌乳早期奶牛精料补充料中添加复合酶制剂显著提高产奶量,并显著提高干物质和粗蛋白质消化率。Gado 等<sup>[9]</sup>研

究发现,在饲料与酶的相互作用之前,外源酶制剂能够直接提高瘤胃液纤维降解酶活性和其刺激作用增加纤维降解菌数量。尽管酶菌制剂在玉米秸秆饲料化利用中已有相关研究报道,但主要集中在肉牛和奶牛,有关饲用酶制剂处理玉米秸秆在肉羊中的应用研究相对较少,尤其是非淀粉多糖酶与木质素降解酶的结合应用研究仍较少。因此,本研究通过分析并寻找可促进玉米秸秆青贮发酵,提高营养价值及养分瘤胃降解率的外源生物制剂最优组合和用量,旨在为玉米秸秆作为粗饲料供给反刍家畜提供参考。

## 1 材料与方法

本试验于 2020 年 8 月—2021 年 1 月在黑龙江省农业科学院民主园区试验基地和黑龙江省农业科学院开放实验室进行。

### 1.1 青贮调制

试验材料为粮饲兼用型玉米(*Zea mays* L.)中原单 32 秸秆,2020 年 5 月播种,9 月 29 日收获后,将玉米秸秆用青贮切碎机切至约 2~3 cm,混合均匀,称取 1 000 g,按试验设计将各处理生物制剂溶于蒸馏水,与原料混合均匀后,装入聚乙烯袋(24 cm×40 cm),抽真空后封口。室温条件下发酵 60 d 后开包进行感官鉴定,并取样分析青贮秸秆饲料发酵品质指标及营养成分(见 1.3)。

### 1.2 试验设计

共设置 15 个处理组(表 1),4 个酶制剂处理

组(标记为 CE<sub>1</sub>、CE<sub>2</sub>、CE<sub>3</sub> 和 CE<sub>4</sub>);1 个菌制剂处理组(LAB);9 个酶菌复合处理组(MCL<sub>1</sub>、MCL<sub>2</sub>、MCL<sub>3</sub>、MCL<sub>4</sub>、MCL<sub>5</sub>、MCL<sub>6</sub>、MCL<sub>7</sub>、MCL<sub>8</sub> 和 MCL<sub>9</sub>);同时设置对照组(CK)。各处理组原料及青贮样品均设 3 次重复。试验所用酶制剂和乳杆菌均购自宁夏夏盛实业集团有限公司。其中,木聚糖酶活力为 180 000 U/g;β-葡聚糖酶活力 10 000 U/g;果胶酶活力 2 500 U/g;纤维素酶活力 1 000 U/g;漆酶活力为 10 000 U/g;乳杆菌为 2×10<sup>10</sup> cfu/g。

菌均购自宁夏夏盛实业集团有限公司。其中,木聚糖酶活力为 180 000 U/g;β-葡聚糖酶活力 10 000 U/g;果胶酶活力 2 500 U/g;纤维素酶活力 1 000 U/g;漆酶活力为 10 000 U/g;乳杆菌为 2×10<sup>10</sup> cfu/g。

表 1 试验设计

Table 1 Designing of experiment in the study

添加剂种类 Type of additives	处理 Treatment	添加量/(g/3 kg) Amount
酶	CE <sub>1</sub> 木聚糖酶+果胶酶+β-葡聚糖酶+纤维素酶	1+1+1+1
	CE <sub>2</sub> 木聚糖酶+果胶酶+β-葡聚糖酶+纤维素酶	1+1+1+2
	CE <sub>3</sub> 木聚糖酶+果胶酶+β-葡聚糖酶+漆酶	1+1+1+1
	CE <sub>4</sub> 木聚糖酶+果胶酶+β-葡聚糖酶+漆酶	1+1+1+2
菌	LAB 乳杆菌	3
酶+菌	MCL <sub>1</sub> 木聚糖酶+果胶酶+β-葡聚糖酶+乳杆菌	1+1+1+3
	MCL <sub>2</sub> 木聚糖酶+果胶酶+β-葡聚糖酶+乳杆菌+纤维素酶	1+1+1+3+1
	MCL <sub>3</sub> 木聚糖酶+果胶酶+β-葡聚糖酶+乳杆菌+纤维素酶	1+1+1+3+2
	MCL <sub>4</sub> 木聚糖酶+果胶酶+β-葡聚糖酶+乳杆菌+漆酶	1+1+1+3+1
	MCL <sub>5</sub> 木聚糖酶+果胶酶+β-葡聚糖酶+乳杆菌+漆酶	1+1+1+3+2
	MCL <sub>6</sub> 木聚糖酶+果胶酶+β-葡聚糖酶+乳杆菌+纤维素酶+漆酶	1+1+1+3+1+1
	MCL <sub>7</sub> 木聚糖酶+果胶酶+β-葡聚糖酶+乳杆菌+纤维素酶+漆酶	1+1+1+3+1+2
	MCL <sub>8</sub> 木聚糖酶+果胶酶+β-葡聚糖酶+乳杆菌+纤维素酶+漆酶	1+1+1+3+2+1
	MCL <sub>9</sub> 木聚糖酶+果胶酶+β-葡聚糖酶+乳杆菌+纤维素酶+漆酶	1+1+1+3+2+2
对照	CK 无添加	0

### 1.3 测定指标与方法

#### 1.3.1 青贮感官评价

感官评价采用德国农业协会(Deutsche Lan Gesellschaft, DLG)评分标准<sup>[10]</sup>。

#### 1.3.2 发酵品质测定

取玉米秸秆青贮饲料样品 20 g,加蒸馏水 180 mL,搅碎混匀,先后用 4 层纱布和定量滤纸过滤,测滤液 pH<sup>[11]</sup>;苯酚-次氯酸比色法测定氨态氮含量<sup>[12]</sup>;SHIMADZE-10A 型高效液相色谱仪测定青贮饲料样品有机酸含量<sup>[13]</sup>。色谱条件:色谱柱为 Shodex Rspak KC-811 S-DVB gel Column 30 mm×8 mm,检测器为 SPD-M10AVP,10 μL 进样量,1 mL/min 流速,3 mmol/L 高氯酸溶液流动相,50 °C 柱温,210 nm 检测波长<sup>[14]</sup>。

#### 1.3.3 营养成分测定

玉米秸秆青贮饲料干物质(DM)含量采用 105 °C 烘干法测定<sup>[15]</sup>;粗蛋白质(CP)采用杜马斯燃烧法测定<sup>[16]</sup>;中性洗涤纤维(NDF)、酸性洗涤纤维(ADF)和酸性洗涤木质素(ADL)采用滤袋法测定<sup>[16]</sup>;可溶性碳水化合物(WSC)采用蒽酮-硫酸比色法测定<sup>[17]</sup>;半纤维素/%=NDF/%-ADF/%<sup>[18]</sup>。

#### 1.3.4 瘤胃降解率

选用 6 只健康,体重为(60±2.0) kg、装有永久瘤胃瘘管的杜泊×小尾寒羊 F<sub>1</sub> 代杂交羯羊,随机分为 2 组,每组 3 只羊。试验羊单圈饲养,基础日粮粗饲料占比 60%,每日早八点和晚六点各一次饲喂,共 1 200 g,自由饮水,预试期 7 d。基础日粮组成及营养水平见表 2。称取 2.5 g 各处理和对照玉米秸

秆青贮样品粉末(65 °C 烘干 48 h, 回潮 24 h, 粉碎后过 1 mm 筛), 装入 10 cm×6 cm 300 目尼龙袋, 设置 2 个平行, 72 h 后取回<sup>[19]</sup>, 立即放入冷水中, 终止发酵。每个样品 3 个重复, 每个重复 1 只羊。

72 h 的降解率<sup>[20]</sup>：

$$A\% = (B - C) / B \times 100\% \quad (1)$$

式中, A 为待测饲料的某种营养成分瘤胃 72 h 的消失率, %; B 为待测样品中某种营养成分含量, g; C 为待测样品尼龙袋残渣中某种营养成分含量, g。

表 2 基础日粮组成及营养水平(干物质基础)

Table 2 Composition and nutrient levels of the basal diet (DM basis)

原料 Ingredient	含量/% Content	营养水平 Nutrition	含量 Content
羊草 Chinese wild-rye hay	60.0±1.34	干物质/% DM	93.61±2.33
玉米 Maize	24.5±0.62	有机物/% OM	88.57±2.04
豆粕 Soybean meal	12.5±0.18	代谢能 (MJ/kg) GE	8.65±0.15
磷酸氢钙 CaHPO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	0.6±0.04	粗蛋白质/% CP	11.88±0.20
石粉 Limestone	0.8±0.05	中性洗涤纤维/% NDF	39.20±0.78
食盐 NaCl	0.6±0.05	酸性洗涤纤维/% ADF	24.08±0.57
预混料 Pre-mixa	1.0±0.09	钙/% Ca	0.68±0.05
合计 Total	100	磷/% P	0.30±0.04

## 1.4 数据分析

采用 SAS 8.1 (SAS Institute Inc., 2006) 统计软件, 所有的数据用 Mean±SD 表示, 在 0.05 水平对试验结果进行方差分析和 Duncan 多重比较。所有试验设重复 3 次。P<0.05 表示差异显著, P>0.05 表示差异不显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 青贮感官评价

不同处理青贮发酵 60 d 后, 玉米秸秆青贮饲料均为芳香果气味, 仅 CE<sub>2</sub> 处理芳香味略淡; 各处理茎叶结构保持良好, 质地柔软松散, 无粘手现象, 无霉变情况发生。色泽上 MCL<sub>6</sub> 呈黄绿色, 其他处理均为亮黄色(表 3)。各处理感官评价得分均>16, 达到优等级。

### 2.2 玉米秸秆青贮饲料发酵品质

由表 4 可知, 玉米秸秆青贮料菌处理组(LAB)和酶菌处理组(MCL<sub>1</sub>、MCL<sub>2</sub>、MCL<sub>3</sub>、MCL<sub>4</sub>、MCL<sub>5</sub>、MCL<sub>6</sub>、MCL<sub>7</sub>、MCL<sub>8</sub>和MCL<sub>9</sub>) pH 低于酶处理组(CE<sub>1</sub>、CE<sub>2</sub>、CE<sub>3</sub>和CE<sub>4</sub>)(P>0.05), 说明乳杆菌可迅速降低青贮环境 pH, 为青贮提高更有利条件。

酶处理组、菌处理及酶菌处理组中, 青贮饲料乳酸和乙酸含量显著高于对照(P<0.05), 其中 MCL<sub>2</sub>和MCL<sub>4</sub>处理乳酸含量最高, 分别为 4.03%DM和3.95%DM; 青贮样品中均未检出丁酸。MCL<sub>2</sub>处理氨态氮/总氮最低, 为 7.57%, 与其他处理相比, 差异显著(P<0.05)。

### 2.3 玉米秸秆青贮原料营养物质含量及 72 h 瘤胃降解率

从表 5 可以看出, 玉米秸秆青贮原料干物质含量为 33.07%FM, 适宜于调制优质青贮饲料。原料营养成分瘤胃 72 h 降解率仅干物质超过 50%, 达到 52.28%。玉米秸秆青贮原料酸性洗涤木质素含量为 7.19%DM, 降解率仅为 1.07%。

### 2.4 青贮饲料营养物质

由表 6 可知, 与对照相比, 酶制剂、乳杆菌和酶菌复合处理组玉米秸秆青贮饲料干物质含量差异不显著(P>0.05); 添加生物制剂各处理粗蛋白含量显著低于对照(P<0.05)。玉米秸秆经生物制剂青贮处理, 可溶性糖含量均高于对照, 其中菌处理组和酶菌复合处理组可溶性糖含量高于酶制剂处理组。

与对照相比, 玉米秸秆经酶制剂和酶菌复合处理青贮后, 青贮饲料 NDF、ADF 及纤维素含量显著

表3 青贮感官评价  
Table 3 Sensory evaluation of silage

处理 Treatment	气味 Odor	质地 Texture	色泽 Color	总分 Score
CE <sub>1</sub>	芳香果味 14	茎叶结构保持良好, 柔软松散 4	亮黄色 2	20
CE <sub>2</sub>	芳香果味 13	茎叶结构保持良好, 柔软松散 4	亮黄色 2	19
CE <sub>3</sub>	芳香果味 14	茎叶结构保持良好, 柔软松散 4	亮黄色 2	20
CE <sub>4</sub>	芳香果味 14	茎叶结构保持良好, 柔软松散 4	亮黄色 2	20
LAB	芳香果味 14	茎叶结构保持良好, 柔软松散 4	亮黄色 2	20
MCL <sub>1</sub>	芳香果味 14	茎叶结构保持良好, 柔软松散 4	亮黄色 2	20
MCL <sub>2</sub>	芳香果味 14	茎叶结构保持良好, 柔软松散 4	黄绿色 1	20
MCL <sub>3</sub>	芳香果味 14	茎叶结构保持良好, 柔软松散 4	亮绿色 2	20
MCL <sub>4</sub>	芳香果味 14	茎叶结构保持良好, 柔软松散 4	亮绿色 2	20
MCL <sub>5</sub>	芳香果味 14	茎叶结构保持良好, 柔软松散 4	亮黄色 2	20
MCL <sub>6</sub>	芳香果味 14	茎叶结构保持良好, 柔软松散 4	黄绿色 1	19
MCL <sub>7</sub>	芳香果味 14	茎叶结构保持良好, 柔软松散 4	亮绿色 2	20
MCL <sub>8</sub>	芳香果味 14	茎叶结构保持良好, 柔软松散 4	亮黄色 2	20
MCL <sub>9</sub>	芳香果味 14	茎叶结构保持良好, 柔软松散 4	亮绿色 2	20
CK	芳香果味 14	茎叶结构保持良好, 柔软松散 4	亮黄色 2	20

表4 添加剂处理对玉米秸秆青贮饲料发酵品质的影响  
Table 4 Effect of additives on the fermentation quality of the corn stalk silage

处理 Treatment	pH	氨态氮/总氮/% NH <sub>3</sub> -N/TN	乳酸/%DM Lactic acid	乙酸/%DM Acetic acid	丙酸/%DM Propionic acid	丁酸/%DM Butyric acid
CE <sub>1</sub>	4.00±0.03 b	8.69±0.10 b	3.69±0.04 bc	0.54±0.01 b	0.01±0.01 c	0
CE <sub>2</sub>	4.07±0.05 b	8.32±0.09 bc	3.71±0.05 bc	0.53±0.01 bc	0 d	0
CE <sub>3</sub>	4.15±0.05 b	7.94±0.12 cd	3.67±0.03 bc	0.50±0.02 c	0.02±0.01 b	0
CE <sub>4</sub>	3.99±0.06 bc	8.41±0.14 bc	3.70±0.06 bc	0.53±0.01 bc	0.01±0.01 c	0
LAB	3.83±0.04 d	7.89±0.11 cd	3.48±0.04 bc	0.50±0.01 b	0 d	0
MCL <sub>1</sub>	3.72±0.05 e	8.03±0.10 c	3.42±0.06 d	0.58±0.01 b	0.01±0.01 c	0
MCL <sub>2</sub>	3.65±0.06 f	7.57±0.08 e	4.03±0.03 a	0.61±0.01 a	0.03±0.01 a	0
MCL <sub>3</sub>	3.91±0.07 c	8.00±0.15 c	3.79±0.05 b	0.53±0.01 bc	0 d	0
MCL <sub>4</sub>	3.69±0.04 f	7.82±0.17 d	3.95±0.06 a	0.59±0.01 a	0 d	0
MCL <sub>5</sub>	3.78±0.02 de	8.21±0.12 bc	3.43±0.02 cd	0.50±0.01 c	0 d	0
MCL <sub>6</sub>	3.94±0.08 c	8.64±0.10 b	3.82±0.08 b	0.55±0.02 b	0.01±0.01 c	0
MCL <sub>7</sub>	3.76±0.03 de	8.05±0.10 c	3.51±0.05 c	0.59±0.01 a	0.02±0.01 b	0
MCL <sub>8</sub>	3.77±0.04 de	8.38±0.13 bc	3.69±0.04 bc	0.55±0.01 bc	0 d	0
MCL <sub>9</sub>	3.85±0.05 d	8.61±0.09 b	3.70±0.04 bc	0.52±0.01 bc	0.01±0.01 c	0
CK	4.27±0.03 a	8.90±0.11 a	3.21±0.06 f	0.44±0.01 d	0 d	0

注: 同列数据不同字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ ); 下同。

Note: Different letters in the same column indicates significant differences ( $P < 0.05$ ); The same below.



表 5 原料营养物质含量及瘤胃降解率

Table 5 Contents of nutrition composition and *in situ* ruminal degradability of 72 h of the corn stalk stuff

指标 Index	含量 Content	72 h 瘤胃降解率/% <i>In situ</i> ruminal degradability of 72 h
干物质/%FM DM	33.07±0.50	52.28±1.19
粗蛋白/%DM CP	6.89±0.71	20.54±0.24
中性洗涤纤维/%DM NDF	64.35±1.52	30.03±0.28
酸性洗涤纤维/%DM ADF	37.60±0.48	14.70±0.17
纤维素/%DM Cellulose	26.54±0.23	28.81±0.25
半纤维素/%DM Hemicellulose	26.75±0.20	30.59±0.33
酸性洗涤木质素/%DM ADL	7.19±0.08	1.07±0.01

降低 ( $P < 0.05$ ), 其中 MCL<sub>2</sub> 处理最低, 分别为 52.17%DM、31.94%DM 和 22.86%DM ( $P < 0.05$ ); 添加生物制剂各处理及对照半纤维素含量差异不明显。漆酶添加组 (CE<sub>3</sub>、CE<sub>4</sub>、MCL<sub>4</sub>、MCL<sub>5</sub>、MCL<sub>6</sub>、MCL<sub>7</sub>、MCL<sub>8</sub> 和 MCL<sub>9</sub>) 青贮饲料酸性洗涤木质素含量均显著低于其他未添加漆酶处理 ( $P < 0.05$ ); 并且漆酶添加量 2 g/3 kg 处理 (CE<sub>4</sub>、MCL<sub>5</sub>、MCL<sub>7</sub> 和 MCL<sub>9</sub>) 酸性洗涤木质素含量数值上略低于漆酶添加量 1 g/3 kg 处理组, 但差异不显著 ( $P > 0.05$ )。

## 2.5 玉米秸秆青贮饲料营养成分 72 h 瘤胃降解率

各生物制剂处理均可显著提高玉米秸秆干物质和蛋白质瘤胃降解率, 其中 MCL<sub>2</sub> 干物质和粗蛋白 72 h 瘤胃降解率最高, 分别为 58.77% 和 32.89% ( $P < 0.05$ ) (表 7)。

各处理 72 h 纤维素瘤胃降解率差异明显, 添加纤维素酶处理 (CE<sub>1</sub>、CE<sub>2</sub>、MCL<sub>2</sub>、MCL<sub>3</sub>、MCL<sub>6</sub>、MCL<sub>7</sub>、MCL<sub>8</sub> 和 MCL<sub>9</sub>) 青贮饲料样品均显著高于其他未添加纤维素酶处理 ( $P < 0.05$ ), 其中纤维素酶添加量 1 g/3 kg 处理组 (CE<sub>1</sub>、MCL<sub>2</sub>、MCL<sub>6</sub>、MCL<sub>7</sub>) 纤维素瘤胃降解率高于其他处理, 说明就纤维素消化率而言, 1 g/3 kg 纤维素酶添加量为宜; MCL<sub>2</sub> 纤维素瘤胃降解率最高, 为 37.38% ( $P < 0.05$ )。青贮饲料样品中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维及纤维素瘤胃降解率表现趋势基本相同。玉米秸秆青贮饲料半纤维素降解率各处理差异不显著 ( $P > 0.05$ )。漆酶添加组 (CE<sub>3</sub>、CE<sub>4</sub>、MCL<sub>4</sub>、MCL<sub>5</sub>、MCL<sub>6</sub>、MCL<sub>7</sub>、MCL<sub>8</sub> 和 MCL<sub>9</sub>) 青贮饲料 72 h 酸性

洗涤木质素瘤胃降解率均显著高于其他未添加漆酶处理组 ( $P < 0.05$ ), 其中 MCL<sub>5</sub> 青贮饲料 72 h 酸性洗涤木质素瘤胃降解率最高, 为 3.93%。

## 3 讨论

### 3.1 外源生物制剂可促进玉米秸秆青贮发酵

有研究表明, 酶菌处理玉米秸秆青贮发酵后, 青贮原料乳酸含量迅速提高, 环境 pH 降低, 促进乳酸发酵, 提高玉米秸秆青贮品质<sup>[21-22]</sup>。氨态氮与总氮比值是青贮饲料蛋白质保存或分解的重要评判指标之一<sup>[23]</sup>, 殷术鑫等<sup>[24]</sup> 研究指出, 添加菌制剂可显著降低全株玉米青贮的氨态氮浓度。本研究中, 与对照相比, 不同的生物制剂处理玉米秸秆后, 氨态氮占总氮的比例明显下降, 青贮环境 pH 迅速降低, 说明生物制剂在一定程度上可以提高玉米秸秆的青贮品质。玉米秸秆添加生物制剂青贮, 其主要目的是为了将青贮原料中纤维素、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维、半纤维素等纤维性物质降解为可溶性的糖, 促进玉米秸秆青贮乳酸发酵<sup>[25]</sup>。本研究中, 酶处理组、菌处理及酶菌处理组青贮饲料乳酸、乙酸含量显著高于对照, 并且酶制剂处理组及酶菌复合处理组降低了玉米秸秆青贮饲料中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维及纤维素含量, 说明酶处理组和酶菌复合处理, 可有效的降解青贮原料纤维性物质含量, 增加了发酵底物, 促进乳酸菌发酵, 提高了玉米秸秆的发酵品质。这与吕文龙等<sup>[26]</sup> 和 Nkosi 等<sup>[27]</sup> 的研究结果一致。研究还发现, 酶菌复合处理对玉米秸秆青贮发酵的促进作用比酶制剂处理更大。

表6 青贮饲料干物质含量及营养成分

Table 6 Contents of dry matter and nutrition composition of the silages

处理 Treatment	干物质/ DM /%FW	粗蛋白/ CP /%DM	可溶性碳水 化合物/ WSC /%DM	中性洗涤 纤维/ NDF /%DM	酸性洗涤 纤维/ ADF /%DM	纤维素/ Cellulose /%DM	半纤维/ Hemicellulose /%DM	酸性洗涤 木质素/ ADL /%DM
CE <sub>1</sub>	33.18±0.83 a	6.57±0.19 bc	3.29±0.03 cd	56.81±1.36 b	33.96±0.32 c	24.69±0.48 bc	22.35±0.51 a	7.73±0.06 a
CE <sub>2</sub>	32.75±0.78 ab	6.48±0.10 c	3.37±0.02 c	55.79±1.08 c	34.51±0.49 bc	24.38±0.54 bc	21.28±0.55 ab	7.84±0.08 a
CE <sub>3</sub>	31.96±0.76 ab	6.55±0.14 bc	3.24±0.03 cd	55.37±1.22 bc	33.78±0.37 c	25.06±0.55 b	21.59±0.46 ab	7.64±0.07 c
CE <sub>4</sub>	32.54±0.82 ab	6.60±0.17 bc	3.30±0.07 cd	56.25±1.17 b	34.29±0.28 bc	24.71±0.59 bc	21.96±0.48 ab	7.50±0.07 d
LAB	33.07±0.80 a	6.70±0.19 b	3.61±0.04 a	56.36±1.24 b	35.76±0.33 a	26.15±0.49 a	20.60±0.53 b	7.85±0.10 a
MCL <sub>1</sub>	33.26±0.75 a	6.62±0.17 bc	3.55±0.03 ab	55.00±1.40 cd	32.77±0.41 d	24.00±0.63 cd	22.23±0.56 a	7.68±0.05 b
MCL <sub>2</sub>	32.87±0.69 ab	6.67±0.20 b	3.64±0.05 a	52.17±1.03 f	31.94±0.40 e	22.8±0.576 e	22.23±0.50 a	7.70±0.05 ab
MCL <sub>3</sub>	33.13±0.72 a	6.68±0.16 b	3.47±0.03 b	54.99±0.98 cd	33.40±0.38 c	24.21±0.54 c	21.59±0.52 a	7.69±0.10 ab
MCL <sub>4</sub>	32.50±0.87 ab	6.54±0.11 bc	3.70±0.06 a	53.08±1.29 e	32.11±0.29 de	23.01±0.51 de	20.97±0.49 b	7.55±0.11 cd
MCL <sub>5</sub>	32.69±0.78 ab	6.70±0.21 b	3.56±0.02 ab	54.86±1.33 d	32.84±0.30 d	24.15±0.47 c	22.02±0.57 a	7.49±0.07 d
MCL <sub>6</sub>	32.97±0.73 ab	6.64±0.15 b	3.49±0.08 b	54.44±1.00 d	33.03±0.43 cd	22.97±0.60 e	21.41±0.60 ab	7.60±0.08 c
MCL <sub>7</sub>	32.40±0.76 ab	6.59±0.18 bc	3.38±0.04 c	54.01±1.25 de	32.59±0.37 de	23.83±0.50 d	21.42±0.51 ab	7.52±0.10 cd
MCL <sub>8</sub>	32.75±0.80 ab	6.71±0.18 b	3.42±0.06 bc	54.97±1.36 cd	32.89±0.27 d	23.44±0.52 de	22.08±0.61 a	7.64±0.06 c
MCL <sub>9</sub>	33.11±0.74 a	6.63±0.19 b	3.58±0.05 ab	55.20±1.41 c	33.50±0.32 cd	23.78±0.57 d	21.70±0.55 ab	7.58±0.08 cd
CK	32.88±0.77 ab	6.78±0.23 a	3.20±0.07 d	58.03±1.30 a	35.42±0.36 a	25.87±0.58 a	22.61±0.50 a	7.79±0.10 a

表 7 青贮饲料营养成分 72 h 瘤胃降解率

处理 Treatment	干物质 DM	粗蛋白 CP	The <i>in situ</i> ruminal degradability of 72 h of the silage					纤维素 Cellulose	半纤维素 Hemicellulose	酸性洗涤剂物质素 ADL
			中性洗涤剂纤维 NDF	酸性洗涤剂纤维 ADF	% % %					
CE <sub>1</sub>	55.37±1.05 cd	30.11±0.74 ed	39.53±0.95 a	30.28±0.64 b	36.66±0.82 b	38.33±0.93 a	0.12±0.01 c			
CE <sub>2</sub>	54.98±0.97 de	31.05±0.69 bc	38.37±0.80 b	29.76±0.61 c	35.89±0.85 b	37.69±0.79 ab	0.15±0.01 c			
CE <sub>3</sub>	55.09±1.13 d	30.46±0.70 e	35.46±0.94 e	28.05±0.67 de	32.91±0.89 ef	39.03±0.84 a	3.04±0.03 a			
CE <sub>4</sub>	55.12±1.06 d	30.69±0.58 e	36.21±0.82 de	27.39±0.73 e	33.50±0.70 ef	37.58±0.80 ab	3.15±0.02 ab			
LAB	56.31±0.85 c	31.27±0.72 bc	35.88±0.91 e	26.33±0.64 f	33.73±0.83 e	37.99±0.76 a	0.04±0.01 c			
MCL <sub>1</sub>	55.67±0.89 cd	32.00±0.60 ab	35.90±0.97 e	27.41±0.59 e	32.54±0.86 ef	37.84±0.62 ab	0.27±0.02 c			
MCL <sub>2</sub>	58.77±0.93 a	32.89±0.76 a	39.70±0.95 a	30.80±0.60 a	37.38±0.77 a	38.17±0.73 a	0.09±0.01 c			
MCL <sub>3</sub>	55.70±0.90 cd	31.58±0.65 b	38.65±0.79 b	30.04±0.62 b	34.82±0.84 cd	37.51±0.99 ab	0.18±0.01 c			
MCL <sub>4</sub>	57.69±1.22 b	31.37±0.70 bc	37.12±0.86 d	27.55±0.57 e	33.65±0.99 e	38.09±0.81 a	3.30±0.03 ab			
MCL <sub>5</sub>	55.05±0.88 d	31.68±0.69 b	37.04±0.89 d	26.98±0.71 f	34.03±0.97 de	37.68±0.76 ab	3.93±0.03 a			
MCL <sub>6</sub>	56.21±0.94 c	32.40±0.72 a	38.28±0.83 bc	29.62±0.66 c	35.90±0.72 b	38.16±0.88 a	3.07±0.02 ab			
MCL <sub>7</sub>	56.35±0.94 c	31.72±0.64 ab	38.41±0.93 b	28.79±0.64 d	36.34±0.74 b	37.94±0.75 a	3.84±0.03 a			
MCL <sub>8</sub>	54.88±0.90 de	31.83±0.79 ab	38.29±0.84 bc	30.01±0.58 bc	35.21±0.93 b	38.42±0.80 a	3.62±0.03 a			
MCL <sub>9</sub>	56.64±0.81 c	30.90±0.67 e	37.98±0.80 c	28.95±0.65 cd	35.35±0.81 bc	37.70±0.92 ab	3.71±0.04 a			
CK	53.29±0.94 e	29.05±0.88 f	34.78±0.98 f	26.74±0.60 f	32.19±0.73 g	37.35±0.73 ab	0.09±0.01 c			



### 3.2 外源生物制剂可提高玉米秸秆青贮饲料营养价值

Souza 等<sup>[28]</sup>研究表明,添加酶处理玉米秸秆青贮发酵后,原料与青贮料干物质含量差异不显著( $P>0.05$ ),本研究结果与其相符,说明玉米秸秆饲料经酶处理后,玉米秸秆青贮原料干物质较大程度的保留了下来。玉米秸秆细胞壁紧实致密,其中纤维素、半纤维素和木质素含量较高,很大程度上制约了家畜对玉米秸秆的饲料化利用<sup>[29]</sup>。本研究用到的木聚糖酶、 $\beta$ -葡聚糖酶、果胶酶和纤维素酶以及漆酶,分别起到了降解半纤维素、纤维素和木质素的效果,在提高玉米秸秆青贮饲料营养品质的同时,还可提高家畜对玉米秸秆消化吸收效率。玉米秸秆添加生物制剂青贮发酵后,增加了家畜消化系统内源酶含量,并使其活性增强,促进纤维性物质的消化吸收,进而提高玉米秸秆饲料化利用率<sup>[30]</sup>。本研究发现,较青贮原料,玉米秸秆经过酶制剂、酶菌复合处理发酵后,中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维、纤维素的含量均不同程度的降低,其中 MCL<sub>2</sub> 处理 NDF、ADF 和纤维素含量最低,可能玉米秸秆在青贮过程中,酶制剂促进纤维素降解为单糖、双糖等结构性碳水化合物,提高了青贮饲料的营养价值,这与赵国琦等<sup>[31]</sup>研究结果一致。陶莲等<sup>[32]</sup>指出,玉米秸秆青贮发酵后,青贮饲料粗蛋白质消耗,本研究中,与青贮原料相比,玉米秸秆添加生物制剂青贮发酵后,粗蛋白含量有所降低。

### 3.3 外源生物制剂可提高肉羊营养物质瘤胃降解率

半纤维素与木质素通过共价键结合在一起,纤维素分子被其包裹,形成屏障,将纤维素分子与消化酶隔绝,降低家畜瘤胃纤维素分子消化吸收,严重制约了农作物秸秆的饲料化利用<sup>[33-34]</sup>。Gado 等<sup>[35]</sup>和 Titi 等<sup>[36]</sup>研究表明,外源酶制剂可显著提高玉米秸秆青贮原料的干物质消化率,特别是中性洗涤纤维消化率。本研究中,外源生物制剂各处理中性洗涤纤维 72 h 瘤胃降解率均显著高于对照及青贮原料,说明玉米秸秆可以通过添加外源生物制剂青贮发酵,提高反刍动物对纤维性物质的消化吸收。何长芳等<sup>[37]</sup>研究证实,青海半细毛羊羊饲喂经纤维素酶、木聚糖酶、 $\beta$ -葡聚糖酶、果胶酶、糖化酶、菌体蛋白、维生素和矿物质的复合酶处理的小麦秸秆 90 d,较对照增重 1.71 kg,说明秸秆添加纤维素酶、木聚糖酶等外源酶制剂青贮发酵后,可以提高秸秆纤维组分的瘤胃降解率,本研究试验材料为玉米秸秆,也

得出相似结果,表明生物制剂处理可破坏植物结构性碳水化合物中的纤维素晶体结构,弱化或破坏木质素与纤维素或半纤维素之间的酯键,促进纤维性物质瘤胃降解,提高消化率。本研究考虑青贮成本,纤维素酶和漆酶选定 1 和 2 g/3 kg 2 个添加量处理,结果表明,纤维素酶添加量 1 g/3 kg 处理组纤维素、NDF 和 ADF 均瘤胃降解率高于 2 g/3 kg 处理组,结合玉米秸秆青贮饲料青贮质量,得出 1 g/3 kg 纤维素酶添加量为宜。研究还发现漆酶可显著降低玉米秸秆酸性木质素含量,2 g/3 kg 较 1 g/3 kg 添加量,效果较好,但二者差异不显著。前人研究<sup>[4,6,32]</sup>,多集中在纤维素酶和漆酶对秸秆青贮饲料纤维性物质、酸性木质素降解,本研究设置纤维素酶和漆酶不同添加梯度,探求最佳添加量。

随着畜牧业的快速发展,秸秆型饲料是开发饲料资源、改善饲料利用率、提高反刍动物生产性能的有效途径<sup>[38]</sup>。饲用酶制剂作为绿色、环保、安全、有效饲料添加剂,在未来畜牧业发展中将发挥越来越重要的作用。本研究通过添加纤维素酶、木聚糖酶、果胶酶等非淀粉多糖酶,提高玉米秸秆青贮饲料营养价值和饲喂价值,为玉米秸秆的高效利用提供理论和科学依据。

## 4 结 论

1)综合玉米秸秆发酵品质、营养成分及养分瘤胃降解率,酶菌复合处理>酶处理>菌处理,其中玉米秸秆添加木聚糖酶 1 g/3 kg、果胶酶 1 g/3 kg、 $\beta$ -葡聚糖酶 1 g/3 kg、乳杆菌 3 g/3 kg、纤维素酶 1 g/3 kg(MCL<sub>2</sub>)处理效果最佳。

2)玉米秸秆作为粗饲料直接饲喂反刍动物,瘤胃几乎不能降解木质素。

3)纤维素酶可降低玉米秸秆青贮饲料纤维素、酸性洗涤纤维和中性洗涤纤维含量,最适纤维素酶添加量为 1 g/3 kg。

## 参考文献 References

- [1] Liu Q H, Shao T, Zhang J G. Determination of aerobic deterioration of corn stalk silage caused by aerobic bacteria[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2013, 183(3/4): 124-131
- [2] Bokulich N A, Subramanian S, Faith J J, Gevers D, Gordon J I, Knight R, Mills D A, Gregory C J. Quality-filtering vastly improves diversity estimates from Illumina amplicon

- sequencing[J]. *Nature Methods*, 2013, 10(1): 57-59
- [3] Li X X. Biomass energy-effective utilization of crop straws[J]. *Advanced Materials Research*, 2014, 1070-1072: 136-139
- [4] 陶莲. 利用生物技术提高玉米秸秆利用率的研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2017  
Tao L. The study on applying biotechnology to improving the utilization of corn straw [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2017 (in Chinese)
- [5] 郭刚, 霍文婕, 张拴林, 原现军, 王永新, 陈红梅, 刘强. 添加肠球菌对收获籽实玉米秸秆青贮品质及体外发酵特性的影响[J]. *山西农业大学学报: 自然科学版*, 2016, 36(7): 461-466  
Guo G, Huo W J, Zhang S L, Yuan X J, Wang Y X, Chen H M, Liu Q. Effect of adding enterococci on fermentation quality and *in vitro* fermentation of corn stover silages[J]. *Journal of Shanxi Agricultural University: Natural Science Edition*, 2016, 36(7): 461-466 (in Chinese)
- [6] 扈延成, 项镨锋, 娜日苏. 微贮对玉米秸秆饲用价值的影响[J]. *内蒙古草业*, 2011, 23(3): 24-26  
Hu Y C, Xiang K F, Na R S. Effect of micro-storage on feed value of maize straw[J]. *Inner Mongolia Prataculture*, 2011, 23(3): 24-26 (in Chinese)
- [7] 王红梅. 复合酶处理玉米秸秆对肉羊生产性能及破解纤维结构机制的研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2017  
Wang H M. Effect of exogenous enzyme preparation in corn straw-based diet on growth performance of lambs and mechanism of its action on degradation of fiber structure[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2017 (in Chinese)
- [8] Yang W Z, Beauchemin K A, Rode L M. A comparison of methods of adding fibrolytic enzymes to lactating cow diets[J]. *Journal of Dairy Science*, 2000, 83(11): 2512-2520
- [9] Gado H M, Salem A Z M, Robinson P H, Hassan M. Influence of exogenous enzymes on nutrient digestibility, extent of ruminal fermentation as well as milk production and composition in dairy cows [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2009, 154(1-2): 36-46
- [10] 冯鹏. 品种与栽培技术对玉米产量及青贮质量的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2011  
Feng P. Effect of varieties and cultivation techniques on maize yield and silage quality [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2011 (in Chinese)
- [11] 许庆方, 玉柱, 韩建国, 白春生, 薛艳林, 苟桂荣. 高效液相色谱法测定紫花苜蓿青贮中的有机酸[J]. *草原与草坪*, 2007, 27(2): 63-65, 67  
Xu Q F, Yu Z, Han J G, Bai C S, Xue Y L, Xun G R. Determining organic acid in alfalfa silage by HPLC [J]. *Grassland and Turf*, 2007, 27(2): 63-65, 67 (in Chinese)
- [12] Broderick G A, Kang J H. Automated simultaneous determination of ammonia and total amino acids in ruminal fluid and *in vitro* media[J]. *Journal of Dairy Science*, 1980, 63(1): 64-75
- [13] 许庆方, 周禾, 玉柱, 李胜利, 韩建国, 白春生, 薛艳林, 白景隆. 贮藏期和添加绿汁发酵液对袋装苜蓿青贮的影响[J]. *草地学报*, 2006, 14(2): 129-133, 146  
Xu Q F, Zhou H, Yu Z, Li S L, Han J G, Bai C S, Xue Y L, Bai J L. The Effect of different storage time and dilution previous fermented juice on bagged alfalfa silage [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2006, 14(2): 129-133, 146 (in Chinese)
- [14] 冯鹏, 王晓娜, 王清娜, 孙启忠, 赵淑芬. 水肥耦合效应对玉米产量及青贮品质的影响[J]. *中国农业科学*, 2012, 45(2): 376-384  
Feng P, Wang X N, Wang Q L, Sun Q Z, Zhao S F. Coupling effect of water and fertilizer on yield and silage quality of maize [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2012, 45(2): 376-384 (in Chinese)
- [15] 郭望山, 孟庆翔. 杜马斯燃烧法与凯氏法测定饲料含氮量的比较研究[J]. *畜牧兽医学报*, 2006, 37(5): 464-468  
Guo W S, Meng Q X. Comparison of Kjeldahl and Dumas combustion methods for determination of nitrogen content in feedstuffs[J]. *Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica*, 2006, 37(5): 464-468 (in Chinese)
- [16] Feng P, Sun Q Z, Zheng H Y, Ye S X, Yu Z, Xue J G. Nutrient and poisonous composition in the mixed silage of maize and *Astragalus adsurgens* Pall with varied proportions [J]. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 2012, 11(10): 1532-1537
- [17] Kruse S, Herrmann A, Kornher A, Taube F. Genotypic and environmental variation in water soluble carbohydrate content of silage maize[J]. *Field Crops Research*, 2008, 106(3): 191-202
- [18] 刘丽, 杨在宾, 杨维仁, 姜淑贞, 张桂国, 姚宝强. 紫花苜蓿和黑麦草茎形态学、化学组成和养分瘤胃降解率与剪切力的相互关系[J]. *中国农业科学*, 2009, 42(9): 3374-3380  
Liu L, Yang Z B, Yang W R, Jiang S Z, Zhang G G, Yao B Q. Correlations among shearing force, morphological characteristics, chemical compositions, and *in situ* degradability of alfalfa stem and rye grass stem [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(9): 3374-3380 (in Chinese)
- [19] 张立霞, 屠焰, 李艳玲, 王红梅, 刁其玉. 不同微生物菌株及其组合处理对玉米秸秆瘤胃降解率的影响[J]. *动物营养学报*, 2014, 26(8): 2433-2444  
Zhang L X, Tu Y, Li Y L, Wang H M, Diao Q Y. Effects of different microbes and their combinations on rumen degradation rate of corn stalk[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2014, 26(8): 2433-2444 (in Chinese)
- [20] 刘洁, 刁其玉, 赵一广, 姜成钢, 邓凯东, 李艳玲, 屠焰. 肉用绵羊饲料养分消化率和有效能预测模型的研究[J]. *畜牧兽医学报*, 2012, 43(8): 1230-1238  
Liu J, Diao Q Y, Zhao Y G, Jiang C G, Deng K D, Li Y L, Tu Y. Prediction of nutrient digestibility and energy concentrations using chemical compositions in meat sheep feeds

- [J]. *Chinese Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 2012, 43(8): 1230-1238 (in Chinese)
- [21] Aksu T, Baytok E, Karšli M A, Muruz H. Effects of formic acid, molasses and inoculant additives on corn silage composition, organic matter digestibility and microbial protein synthesis in sheep[J]. *Small Ruminant Research*, 2006, 61(1): 29-33
- [22] Wang F Q, Xie H, Chen W, Wang E T, Du F G, Song A D. Biological pretreatment of corn stover with ligninolytic enzyme for high efficient enzymatic hydrolysis [J]. *Bioresource Technology*, 2013, 144: 572-578
- [23] 王红梅, 屠焰, 张乃锋, 司丙文, 马涛, 萨茹拉, 那亚, 刁其玉. 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
- Wang H M, Tu Y, Zhang N F, Si B W, Ma T, Sa R L, Na Y, Diao Q Y. Application of exogenous enzymes in ruminant nutrition[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2017, 26(3): 199-213 (in Chinese)
- [24] 殷术鑫, 曲永利, 辛小月, 王璐, 张帅, 刘玉琴, 席俊程. 不同青贮添加剂对全株玉米青贮品质的影响[J]. *中国草食动物科学*, 2019, 39(2): 24-27
- Yin S X, Qu Y L, Xin X Y, Wang L, Zhang S, Liu Y Q, Xi J C. Effects of addition of bacteria preparation and bacteria enzyme preparation on the quality of whole corn silage[J]. *China Herbivore Science*, 2019, 39(2): 24-27 (in Chinese)
- [25] Koc F, Coskuntuna L, Ozduven M L. The effect of bacteria+enzyme mixture silage inoculant on the fermentation characteristic, cell wall contents and aerobic stabilities of maize silage[J]. *Pakistan Journal of Nutrition*, 2008, 7(2): 222-226
- [26] 吕文龙, 刁其玉, 闫贵龙. 不同添加剂对不带穗玉米秸秆青贮发酵品质的影响[J]. *中国畜牧兽医*, 2010, 37(3): 22-26
- Lv W L, Diao Q Y, Yan G L. Effects of silage additives on the fermentation quality of corn stover silages[J]. *China Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2010, 37(3): 22-26 (in Chinese)
- [27] Nkosi B D, Meeske R, Palic D, Langa T. Laboratory evaluation of an inoculant for ensiling whole crop maize in South Africa[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2009, 150(1/2): 144-150
- [28] Souza C M, Oliveira R L, Voltolini T V, Menezes D R, dos Santos N J A, Barbosa A M, Silva T M, Pereira E S, Bezerra L R. Lambs fed cassava silage with added tamarind residue: Silage quality, intake, digestibility, nitrogen balance, growth performance and carcass quality[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2018, 235: 50-59
- [29] Adesogan A T, Ma Z X, Romero J J, Arriola K G. RUMINANT NUTRITION SYMPOSIUM: Improving cell wall digestion and animal performance with fibrolytic enzymes [J]. *Journal of Animal Science*, 2014, 92(4): 1317-1330
- [30] Durmic Z, Blache D. Bioactive plants and plant products: Effects on animal function, health and welfare[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2012, 176(1/4): 150-162
- [31] 赵国琦, 丁健, 贾亚红, 陈小连. 纤维素酶对大黍青贮饲料品质的影响[J]. *中国畜牧杂志*, 2003, 39(2): 9-11
- Zhao G Q, Ding J, Jia Y H, Chen X L. Effect of heat-stress on the metabolic parameters in laying hens[J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2003, 39(2): 9-11 (in Chinese)
- [32] 陶莲, 刁其玉. 青贮发酵对玉米秸秆品质及菌群构成的影响[J]. *动物营养学报*, 2016, 28(1): 198-207
- Tao L, Diao Q Y. Effects of ensiling on quality and bacteria composition of corn stalk [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2016, 28(1): 198-207 (in Chinese)
- [33] Schmidt R J, Kung L Jr. The effects of *Lactobacillus buchneri* with or without a homolactic bacterium on the fermentation and aerobic stability of corn silages made at different locations [J]. *Journal of Dairy Science*, 2010, 93(4), 1616-1624
- [34] Comino L, Tabacco E, Righi F, Revello-Chion A, Quarantelli A, Borreani G. 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
- [35] Gado H M, Salem A Z M, Odongo N E, Borhami B E. Influence of exogenous enzymes ensiled with orange pulp on digestion and growth performance in lambs[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2011, 165(1-2): 131-136
- [36] Titi H, Lubbadah W F. Effect of feeding cellulase enzyme on productive responses of pregnant and lactating ewes and goats [J]. *Small Ruminant Research*, 2004, 52(1/2): 137-143
- [37] 何长芳, 王建涛, 辛总秀. 两种处理小麦秸秆饲喂育肥羊效果试验[J]. *黑龙江畜牧兽医*, 2010, 9: 82-83
- He C F, Wang J T, Xin Z X. Effect sheep feeding on two treatments of wheat straw [J]. *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*, 2010, 9: 82-83 (in Chinese)
- [38] Díaz A, Ranilla M J, Giraldo L A, Tejido M L, Carro M D. Treatment of tropical forages with exogenous fibrolytic enzymes: Effects on chemical composition and *in vitro* rumen fermentation[J]. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2015, 99(2): 345-355