

叶杭, 贺宇, 张国轶, 等. 绿汁发酵液和纤维素酶对香蕉叶青贮品质的影响 [J]. 福建农业学报, 2014, 29 (7): 628-632.  
YE H, HE Y, ZHANG G-Y, et al. Effects of Fermented Green Juice and Cellulase on the Fermentation Quality of Banana Leave Silage [J].  
Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2014, 29 (7): 628-632.

## 绿汁发酵液和纤维素酶对香蕉叶青贮品质的影响

叶杭<sup>1</sup>, 贺宇<sup>1</sup>, 张国轶<sup>2</sup>, 张文昌<sup>1</sup>, 陈国富<sup>1</sup>, 庄益芬<sup>1\*</sup>

(1. 福建农林大学动物科学学院, 福建 福州 350002; 2. 北京飞机维修工程有限公司发动机部, 北京 100621)

**摘要:** 为开发利用香蕉叶生产青贮饲料, 研究绿汁发酵液和纤维素酶对香蕉叶青贮品质的影响, 在香蕉叶青贮中以香蕉叶单独青贮为对照组, 设置如下处理: 添加  $2 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1}$  绿汁发酵液(FGJ)组; 分别添加 0.05、0.15、0.25 g  $\cdot \text{kg}^{-1}$  纤维素酶(CEL1、CEL2 和 CEL3)组; 分别添加  $2 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1}$  FGJ + 0.05 g  $\cdot \text{kg}^{-1}$  CEL、 $2 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1}$  FGJ + 0.15 g  $\cdot \text{kg}^{-1}$  CEL 和  $2 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1}$  FGJ + 0.25 g  $\cdot \text{kg}^{-1}$  CEL 混合(MIX1、MIX2 和 MIX3)组。每个处理重复 3 次。常温下贮存 60 d 开封, 测定青贮的发酵品质和化学成分。结果表明, ①较对照组, 处理组的 pH、气体损失率(GLR)极显著或显著降低( $P < 0.01$  或  $P < 0.05$ )。②较 FGJ 组, 3 个 MIX 组的干物质回收率(DMR)极显著升高( $P < 0.01$ ); 较 CEL 组, 同纤维素酶水平的 MIX 组的 DMR、可溶性碳水化合物(WSC)极显著增加( $P < 0.01$ ), 氨态氮/总氮(AN/TN)极显著降低( $P < 0.01$ ); ③在 3 个 MIX 组中, 随纤维素酶添加水平升高, pH 呈下降趋势, DMR、WSC 呈递增趋势。结果表明, 绿汁发酵液和纤维素酶都能显著改善香蕉叶青贮的品质, 二者混合添加的效果优于单独添加,  $2 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1}$  FGJ + 0.25 g  $\cdot \text{kg}^{-1}$  CEL 混合处理的青贮品质最优。

**关键词:** 绿汁发酵液; 纤维素酶; 香蕉叶; 青贮; 品质

中图分类号: S 816.53

文献标识码: A

### Effects of Fermented Green Juice and Cellulase on the Fermentation Quality of Banana Leave Silage

YE Hang<sup>1</sup>, HE Yu<sup>1</sup>, ZHANG Guo-yi<sup>2</sup>, ZHANG Wen-chang<sup>1</sup>, CHEN Guo-fu<sup>1</sup>, ZHUANG Yi-fen<sup>1\*</sup>

(1. College of Animal Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002, China;  
2. Aircraft Maintenance and Engineering Corporation of Beijing, Beijing 100621, China)

**Abstract:** To research the effect of fermented green juice and cellulase on the fermentation quality of banana leaves silage, banana leaves single silage was set as the control group and other silages were set up into the following groups with the different additives:  $2 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1}$  fermented green juice (FGJ) group, 0.05, 0.15 and 0.25 g  $\cdot \text{kg}^{-1}$  of cellulose groups (CEL1, CEL2 and CEL3) and  $2 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1}$  FGJ + 0.05 g  $\cdot \text{kg}^{-1}$  CEL,  $2 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1}$  FGJ + 0.15 g  $\cdot \text{kg}^{-1}$  CEL and  $2 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1}$  FGJ + 0.25 g  $\cdot \text{kg}^{-1}$  CEL mixed groups (MIX1, MIX2 and MIX3) respectively. Then, they were ensiled at room temperature and opened 60 days later. In the end, the fermentation quality and the chemical composition were analyzed. The same results were obtained in all three replicates. Our results showed that the pH and GLR of the other groups are decreased ( $P < 0.01$  or  $P < 0.05$ ), compared with the control group. Meanwhile, the DMR of three MIX groups were increased ( $P < 0.01$ ) compared with the FGJ, and the DMR and WSC of MIX groups were increased ( $P < 0.01$ ), but the AN/TN were reduced ( $P < 0.01$ ), compared with the CEL groups with the same level's cellulase enzyme. Furthermore, the pH was declining on trend, DMR and WSC were increased with the levels of cellulose in three MIX groups. Our results suggested that fermented green juice and cellulase improved the quality of banana leaves silage, and the effect of MIX3 is the best.

**Key words:** fermented green juice; cellulase; banana leaves; silage; quality

我国香蕉种植面积大, 生产周期短, 产量高、效益好<sup>[1]</sup>。在香蕉生产的同时会产生 75% 左右的

茎叶副产品<sup>[2]</sup>。但迄今, 大部分的香蕉茎叶被随意丢弃, 造成资源浪费和环境污染。香蕉茎叶含有多

收稿日期: 2014-01-08 初稿; 2014-05-09 修改稿

作者简介: 叶杭 (1989—), 男, 在读硕士生, 研究方向: 动物营养与饲料 (E-mail: yhfjfz@163.com);

贺宇 (1993—), 女, 在读本科生, 研究方向: 动物营养与饲料 (E-mail: 784863252@qq.com)

\* 通讯作者: 庄益芬 (1959—), 女, 教授, 研究方向: 动物营养与饲料 (E-mail: yfzfz@163.com)

基金项目: 国家菌草工程技术研究中心开放基金项目 (JCJJ13017); 福建省大学生创新训练计划项目 (111zc3067)

种维生素和较高的可溶性碳水化合物,尤其是香蕉叶富含粗蛋白,香蕉茎秆、叶梢中有性能良好的纤维<sup>[2]</sup>。在面临今后动物饲料短缺的局势下,将香蕉茎叶用作饲料无疑能显示出很大的优势和地位。但是,由于鲜香蕉茎叶同时含有大量的单宁而影响适口性和动物对蛋白质的吸收<sup>[3]</sup>。将香蕉茎叶调制成青贮饲料是科学的利用方法之一。将香蕉茎叶调制成青贮饲料不仅能保持香蕉茎叶的营养、延长贮存时间,而且还能大大降低单宁含量,从而改善适口性,提高利用率<sup>[4]</sup>。目前,利用生物性添加剂改善青贮品质的研究已经成为一种趋势,绿汁发酵液和酶制剂倍受青睐。绿汁发酵液能为青贮发酵底物提供乳酸菌。在青贮中添加绿汁发酵液有利于改善青贮的化学成分<sup>[5-7]</sup>,马春晖等<sup>[8]</sup>在紫花苜蓿青贮中添加绿汁发酵液可显著降低乙酸、丙酸、丁酸以及氨态氮的含量,改善青贮的化学成分。在青贮过程中添加酶制剂能不同程度地改善青贮饲料的发酵品质,提高家畜的采食量和消化率<sup>[9]</sup>。纤维素酶能降解青贮原料的结构性碳水化合物为单糖或双糖,使植物纤维成分含量下降,为乳酸发酵提供更多可利用的底物,而且随纤维素的酶解,青贮料的营养也得以提高<sup>[10-11]</sup>。陈鑫珠等<sup>[12]</sup>、马慧等<sup>[13]</sup>分别在象草玉米秸秆混合青贮、玉米秸秆青贮试验中证明,纤维素酶能够改善青贮的发酵品质。迄今,利用纤维素酶改善香蕉叶青贮品质的研究报道甚少,绿汁发酵液对香蕉叶青贮品质影响的研究尚无人问津。因此,本试验在香蕉叶青贮中添加绿汁发酵液和不同水平纤维素酶以及二者的混合物,旨在探明绿汁发酵液、纤维素酶以及二者混合添加对香蕉叶青贮效果的影响,为生产优质的香蕉叶青贮饲料提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 青贮原料

青贮原料是香蕉叶,取自福建农林大学校园内种植的香蕉树,于2013年1月19日人工刈割,利用日光晒制成预干的原料。

### 1.2 添加剂

绿汁发酵液(Fermented Green Juice, FGJ):参照大島光昭等<sup>[14]</sup>的方法用新鲜甘蔗梢制成。

纤维素酶(Cellulase, CEL):广东溢多利公司,酶活为20 000 U·g<sup>-1</sup>。将其配制成5%水溶液备用。

### 1.3 试验设计

试验以香蕉叶单独青贮为对照(CON)组,设添加2 mL·kg<sup>-1</sup>绿汁发酵液(FGJ)组,分别添加

0.05、0.15和0.25 g·kg<sup>-1</sup>纤维素酶(CEL1、CEL2和CEL3)组,分别添加2 mL·kg<sup>-1</sup>FGJ+0.05 g·kg<sup>-1</sup>CEL、2 mL·kg<sup>-1</sup>FGJ+0.15 g·kg<sup>-1</sup>CEL和2 mL·kg<sup>-1</sup>FGJ+0.25 g·kg<sup>-1</sup>CEL(MIX1、MIX2和MIX3)组。每个处理重复3次。

### 1.4 青贮调制

青贮调制于2013年1月20日进行。将原料切短成约1~2 cm长、混合均匀,每个处理均称取400 g,分别装入贴有标签的塑料袋内,分别加入设计的添加剂和蒸馏水共计10 mL。混拌均匀后大致分为3等份,分别装入贴有标签的真空袋内,用真空泵抽气、用塑料封口机封口,称重。常温条件下贮存60 d开封,供分析测定。

### 1.5 分析样本的制备及指标测定

青贮前,测定原料中微生物含量。乳酸菌、细菌、酵母菌和霉菌数量分别采用MRS(deMan-Rogosa-Sharpe)琼脂培养基、营养琼脂培养基(nutrient agar)、马铃薯葡萄糖琼脂培养基(potato dextrose agar)计数<sup>[15]</sup>。乳酸菌用厌氧箱,30℃培养2 d;细菌、酵母菌、霉菌在有氧条件下30℃培养2~4 d。

原料与青贮的分析样本在65℃下干燥48 h、回潮、粉碎。采用常规法<sup>[16]</sup>测定水分(Moisture)和粗蛋白质(CP)含量,中性洗涤纤维(NDF)和酸性洗涤纤维(ADF)用Van Soest等<sup>[17]</sup>的方法测定,半纤维素(HC)=NDF-ADF。可溶性碳水化合物(WSC)用比色法<sup>[17]</sup>测定。取具代表性青贮样品20 g装入有刻度的100 mL的广口锥形瓶中,加入蒸馏水定容至100 mL,置于4℃冰箱中,18 h后滤纸过滤,制备青贮浸提液。用pH计测定浸提液的pH;用岛津LC-20AT型高效液相色谱(色谱柱:Shodex Rspak KC-811 S-DVB gel Column 300×8 mm,检测器:SPD-M10AVP,流动相:3 mmol·L<sup>-1</sup>高氯酸)分析浸提液的乳酸、乙酸、丙酸、丁酸含量<sup>[18]</sup>;用苯酚-次氯酸钠比色法<sup>[19]</sup>测定青贮浸提液的氨态氮(AN),并换算为占原料总氮(TN)的百分比(AN/TN)。WSC、NDF、ADF、HC和CP以干物质(DM)为基础的百分比表示,LA、AA、PA和BA用鲜重(FM)为基础的百分比表示,Moisture为总水分的百分比。气体损失率(GLR)和干物质回收率(DMR)通过计算得出,计算方法如下:

$$\text{DMR}(\%) = [(\text{开封时回收青贮重} \times \text{青贮 DM\%}) / (\text{装填时装入原料重} \times \text{原料 DM\%})] \times 100\%$$

GLR(%)=[(装填时装入原料重-开封时回收青贮重)/(装填时装入原料重×原料 DM%)]×100%。

### 1.6 数据分析

经 Excel 2003 软件初步处理后,采用 SPSS13.0 统计软件进行方差统计分析及显著性比较。

表 1 香蕉叶的化学成分  
Table 1 Chemical composition of banana leaves

干物质 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)	半纤维素 HC(%DM)	粗蛋白质 CP(%DM)
27.54	20.54	68.77	51.81	16.96	6.47

### 2.2 香蕉叶的微生物组成

香蕉叶的微生物组成如表 2 所示。在香蕉叶的微生物组成中,乳酸菌数量低于细菌数,并未占有优势。

### 2.3 香蕉叶的青贮品质

绿汁发酵液和纤维素酶对香蕉叶青贮品质的影响如表 3 所示。

## 2 结果与分析

### 2.1 香蕉叶的化学成分

香蕉叶的化学成分如表 1 所示。与一般的禾本科牧草及豆科牧草相比,香蕉叶的 WSC、NDF、ADF 较高,CP 较低。

表 2 香蕉叶中微生物数量

Table 2 The microorganisms in banana leaves

乳酸菌	细菌	酵母菌	霉菌
5.21	6.91	4.26	<2.70

注:微生物的数量单位 lg cfu·g<sup>-1</sup> FM。

表 3 绿汁发酵液和纤维素酶对香蕉叶青贮品质的影响

Table 3 The effects of FGJ and CEL on the fermentation quality of banana leaves

项目	处理							
	CON	FGJ	CEL1	CEL2	CEL3	MIX1	MIX2	MIX3
pH 值	4.33±0.05Aa	4.14±0.01Bb	4.22±0.08ABb	4.20±0.04ABb	4.14±0.05Bb	4.20±0.02ABb	4.19±0.07Bb	4.17±0.05Bb
乳酸 LA (%FM)	2.08±0.31ABCbc	2.01±0.31ABCc	2.95±0.19Aa	2.20±0.74ABCabc	1.86±0.27ABCc	2.85±0.27ABab	1.63±0.59Cc	1.68±0.60BCc
乙酸 AA (%FM)	0.52±0.12ABbc	0.47±0.07Bc	0.92±0.20Aa	0.59±0.17ABbc	0.51±0.05Bbc	0.79±0.09ABab	0.51±0.24Bbc	0.58±0.16ABbc
丙酸 PA (%FM)	0.18±0.02ABab	0.19±0.03ABab	0.31±0.05Aa	0.20±0.06ABab	0.17±0.02ABab	0.16±0.14ABb	0.07±0.11Bb	0.21±0.05ABab
丁酸 BA (%FM)	0.00±0.00Bb	0.00±0.00Bb	0.00±0.00Bb	0.00±0.00Bb	0.01±0.01ABb	0.01±0.00Aa	0.01±0.01ABab	0.01±0.01ABab
干物质 DM (%)	24.45±0.33BCbc	24.39±0.28BCbc	25.74±1.29ABCab	24.99±0.84ABCbc	24.00±0.87Cc	25.53±0.87ABCabc	26.91±0.38Aa	26.62±1.26ABA
干物质回收率 DMR (%)	86.41±0.35Df	88.31±0.35CDde	89.57±1.48Ccd	90.21±0.96Cc	87.00±0.69Def	93.06±0.79Bb	95.28±0.41Aa	96.62±1.11Aa
气体损失率 GLR (%)	5.52±0.57Aa	3.78±0.08Cc	4.76±0.61ABb	4.82±0.17ABb	4.46±0.18BCbc	3.81±0.36Cc	3.77±0.38Cc	3.89±0.22BCc
氨态氮 AN/TN(%)	2.75±0.10Ab	1.80±0.15Bc	2.93±0.52Aab	3.30±0.21Aa	2.73±0.16Ab	1.79±0.17Bc	1.86±0.07Bc	1.94±0.24Bc
水溶性碳水化合物 WSC(%DM)	3.32±0.41Cd	4.68±0.22BCbc	3.84±0.12Ccd	3.45±0.55Cd	3.86±0.23Ccd	5.42±0.38ABb	5.49±0.09ABb	6.83±1.42Aa
中性洗涤纤维 NDF(%DM)	67.88±1.57Aa	64.39±1.73Bbc	65.00±1.84ABbc	65.12±0.63ABbc	65.89±0.74ABab	65.71±0.33ABCabc	65.94±1.00ABab	63.40±1.48Bc
酸性洗涤纤维 ADF(%DM)	48.80±1.05	47.68±3.03	48.53±0.56	48.50±2.25	47.31±0.86	47.81±1.47	47.70±0.28	46.94±0.89
半纤维素 HC(%DM)	19.08±2.05	16.70±1.67	16.48±2.37	16.61±1.72	18.58±0.33	17.89±1.24	18.24±1.28	16.46±1.06

注:同行数据后不同大写字母表示差异极显著( $P<0.01$ ),不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )。

与 CON 组相比,FGJ 组的 pH、GLR、AN/TN 和 NDF 极显著降低 ( $P<0.01$ ),DMR 和 WSC 显著升高 ( $P<0.05$ );3 个 CEL 组的 pH 和 GLR 极显著或显著降低 ( $P<0.01$  或  $P<0.05$ ),CEL1 组和 CEL2 组的 NDF 显著降低 ( $P<0.05$ ),

CEL1 组的 LA、AA 和 DMR 极显著或显著升高 ( $P<0.01$  或  $P<0.05$ ),CEL2 组的 DMR 和 AN/TN 极显著或显著升高 ( $P<0.01$  或  $P<0.05$ );3 个 MIX 组的 pH、GLR、AN/TN 均显著或极显著降低 ( $P<0.01$  或  $P<0.05$ ) 并且 DMR、WSC 均

极显著升高 ( $P<0.01$ )，MIX2 组和 MIX3 组的 DM 极显著或显著升高 ( $P<0.01$  或  $P<0.05$ )，MIX1 组的 BA 极显著升高 ( $P<0.01$ )，MIX3 组的 NDF 极显著降低 ( $P<0.01$ )。可见，FGJ、3 个水平 CEL 以及 3 个水平 MIX 处理均能改善香蕉叶的青贮品质。

与 FGJ 组相比，3 个 MIX 组的 DMR 均极显著升高 ( $P<0.01$ )，MIX1 组的 LA、AA 和 BA 显著或极显著升高 ( $P<0.05$  或  $P<0.01$ )，MIX2 组的 DM 极显著升高 ( $P<0.01$ )，MIX3 组的 DM 显著升高 ( $P<0.05$ )、WSC 极显著升高 ( $P<0.01$ )。可见，3 个 MIX 组均优于 FGJ 组。

3 个 MIX 组与 3 个 CEL 组之间对比发现，较 CEL1 组，MIX1 组的 BA 和 WSC 极显著升高 ( $P<0.01$ )、DMR 极显著升高 ( $P<0.01$ )、GLR 和 AN/TN 极显著降低 ( $P<0.01$ )、PA 显著降低 ( $P<0.05$ )；较 CEL2 组，MIX2 组的 DM 显著升高 ( $P<0.05$ )、DMR 和 WSC 极显著升高 ( $P<0.01$ )、GLR 和 AN/TN 极显著降低 ( $P<0.01$ )；较 CEL3 组，MIX3 组的 DM 和 DMR 极显著升高 ( $P<0.01$ )、WSC 极显著升高 ( $P<0.01$ )、AN/TN 极显著降低 ( $P<0.01$ )、NDF 显著降低 ( $P<0.05$ )。可见，3 个 MIX 组均优于 3 个 CEL 组。

3 个 CEL 组之间对比，较 CEL1 组，CEL2 组的 AA 显著降低 ( $P<0.05$ )，CEL3 组的 AA 和 DMR 极显著降低 ( $P<0.01$ )，LA 和 DM 显著降低 ( $P<0.05$ )；较 CEL2 组，CEL3 组的 DMR 极显著降低 ( $P<0.01$ )、AN/TN 显著降低 ( $P<0.05$ )。可见，CEL1 组和 CEL2 组青贮的品质相近，CEL3 组稍差。

3 个 MIX 组之间对比，较 MIX1 组，MIX2 组和 MIX3 组的 LA 极显著和显著降低 ( $P<0.01$ ， $P<0.05$ )，DMR 极显著升高 ( $P<0.01$ )，MIX3 组的 WSC 显著升高 ( $P<0.05$ )；较 MIX2 组，MIX3 组的 WSC 显著升高，NDF 显著降低 ( $P<0.05$ )。可见，随 CEL 添加水平的提高，MIX 组青贮品质有一定的提高。

### 3 讨论

在青贮中添加绿汁发酵液是为了提供乳酸菌，确立乳酸菌在青贮发酵前期微生物群中的优势地位，从而促进乳酸生成，抑制不良发酵，改善青贮品质。庄益芬等<sup>[20]</sup>在象草青贮中添加绿汁发酵液，青贮的 pH 降低、DMR 提高。文奇男等<sup>[21]</sup>在水稻秸秆青贮中添加绿汁发酵液，青贮的粗蛋白和乳酸

含量提高、pH 和氨态氮降低。本试验添加 FGJ 能极显著或显著降低青贮的 pH、AN/TN、GLR 和 NDF，并能显著提高 DMR 和 WSC。

在青贮中添加纤维素酶，能够分解纤维素产生葡萄糖，不仅为青贮发酵提供碳源，促进青贮发酵，而且降低植物细胞壁成分的含量，提高动物对青贮料的消化利用率<sup>[22-23]</sup>。本试验中较对照组，CEL1 组的 LA、AA 和 DMR 显著或极显著升高，pH、GLR 和 NDF 显著降低；CEL2 组的 DMR 极显著升高，pH、GLR 和 NDF 显著降低；CEL3 组的 pH 和 GLR 极显著降低。说明 3 个添加水平对青贮发酵品质都有一定的改善。这与李静等<sup>[24]</sup>在稻草青贮中添加纤维素酶的试验结果相似。

在青贮中混合添加绿汁发酵液和纤维素酶，既能提高青贮发酵初期乳酸菌的数目，又能增加乳酸发酵的底物。理论上，不仅能提高青贮的品质，更重要的是还能获得单独添加绿汁发酵液与单独添加纤维素酶的相乘效果。本试验中的 3 个 MIX 组都获得此效果。主要体现是，较 CON 组，3 个 MIX 组的 DMR 极显著升高，WSC 极显著升高，pH、GLR、AN/TN 和 NDF 显著或极显著降低；与 FGJ 组相比，MIX1 组的 LA、AA 和 DMR 显著或极显著升高，MIX2 和 MIX3 组的 DM 和 DMR 均显著或极显著升高；较 CEL1 组，MIX1 组的 DMR 和 WSC 极显著升高，GLR 和 AN/TN 极显著降低。较 CEL2 组，MIX2 组的 DM、DMR 和 WSC 显著或极显著升高，GLR 和 AN/TN 极显著降低。较 CEL3 组，MIX3 组的 DM、DMR 和 WSC 极显著升高，AN/TN 和 NDF 极显著和显著降低；特别是，在 DMR 上，3 个 MIX 组均极显著高于 FGJ 组和 3 个 CEL 组。在 WSC 上，MIX3 组极显著高于 FGJ 组和 CEL3 组。证明，在添加绿汁发酵液的基础上添加纤维素酶，更有利于青贮营养成分的保存；在添加纤维素酶的基础上添加绿汁发酵液，也更有利于青贮营养成分的保存，同时还更有利于抑制不良发酵；混合添加绿汁发酵液和纤维素酶能进一步提高青贮营养成分的保存。这与庄益芬等<sup>[20]</sup>在低水分象草青贮中的研究结果一致。

马慧等<sup>[13]</sup>证实玉米秸秆的青贮品质随纤维素酶添加水平升高而提高。而本试验的结果有所不同，本试验中纤维素酶无论单独添加还是与绿汁发酵液混合添加，青贮乳酸及乙酸的产量均以  $0.05\text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  纤维素酶水平组最高，而青贮的 pH 却保持一致的较低水平。通常，在一定的纤维素酶水平范围内，随着添加水平的升高，纤维素酶的作用效

果增强。但是,当纤维素酶添加过多时,植物的细胞壁结构可能完全被破坏而增加原料的黏性<sup>[25]</sup>,这不利于乳酸菌与发酵底物的充分接触,导致乳酸菌作用受限制。另外,纤维素酶添加过多还可能会与青贮中的某些酶发生冲突,从而使酶的作用被削弱。然而,绿汁发酵液与纤维素酶混合添加时,随着纤维素酶添加水平的升高,青贮的DMR和WSC呈递增趋势,pH和ADF呈递减趋势。这又不同于单独添加纤维素酶青贮中CEL3组品质低于其他2组的情况。这可能是由于添加绿汁发酵液,使青贮乳酸发酵的启动更早,青贮pH下降更快,从而更早地抑制微生物的活动。同时,青贮酸性环境的提前形成也可能减弱原料某些附着酶与添加酶的冲突作用,确保较高水平纤维素酶的作用能够得以发挥。此外,也可能与纤维素酶的酶解反应条件有关,如青贮原料的种类及成熟度,纤维素酶的类型、组成及剂量,青贮的条件如温度、湿度及pH等<sup>[10]</sup>。具体原因有待进一步研究。

总体来看,本试验各处理组的有机酸组成中均以LA为主,BA未生成或数量极微,除CON组外的所有处理组的pH均接近或达到优质青贮标准的4.2以下,青贮发酵效果良好。尤为重要的是,无论单独添加还是混合添加绿汁发酵液与纤维素酶都能显著改善香蕉叶青贮的品质,二者混合添加还能获得单独添加的相乘效果,并且随纤维素酶添加水平的升高青贮品质进一步提高。

## 参考文献:

- [1] 何云燕,吴松海.福建省香蕉产业生产现状与发展对策[J].中国热带农业,2006,(4):17-18.
- [2] 杨永智,王树明,杨芩.香蕉茎叶资源的开发利用研究[J].现代农业科技,2012,(4):294-295.
- [3] 宋志萍,蔡俊鹏.香蕉茎叶资源的开发利用[J].资源开发与市场,2005,21(1):59-60.
- [4] 刘建勇,高月娥,黄必志,等.香蕉茎叶营养价值评定及贮存技术研究[J].中国牛业科学,2012,38(2):18-22.
- [5] BUREENOK S, SUKSOMBAT W, KAWAMOTO Y. Effects of the fermented juice of epiphytic lactic acid bacteria (FJLB) and molasses on digestibility and rumen fermentation characteristics of ruzigrass (*Brachiaria ruziziensis*) silages [J]. Livestock Science, 2011, 138: 266-271.
- [6] TAKAHASHI T, Horiguchi K, Goto M. Effect of crushing unhulled rice and the addition of fermented juice of epiphytic lactic acid bacteria on the fermentation quality of whole crop rice silage, and its digestibility and rumen fermentation status in sheep [J]. Animal Science Journal, 2005, 76 (4): 353-358.
- [7] DENEK N, CAN A, AVCI M, et al. The effect of molasses-based pre-fermented juice on the fermentation quality of first-cut lucerne silage [J]. Grass and Forage Science, 2011, 66 (2): 243-250.
- [8] 马春晖,夏艳军,韩军,等.不同青贮添加剂对紫花苜蓿青贮品质的影响[J].草业学报,2010,19(1):128-133.
- [9] 郑晓灵,刘艳芬,刘轴,等.纤维素酶对甘蔗梢青贮品质的影响[J].饲料工业,2007,28(12):39-41.
- [10] 杨雪霞,陈洪章,李佐虎.添加纤维素酶的青贮研究进展[J].生物技术通报,2001,(1):37-41.
- [11] SUN Q, GAO F, YU Z, et al. Fermentation quality and chemical composition of shrub silage treated with lactic acid bacteria inoculants and cellulase additives [J]. Animal Science Journal, 2012, 83 (4): 305-309.
- [12] 陈鑫珠,张文昌,张建国,等.纤维素酶对象草玉米秸秆混合青贮品质的影响[J].家畜生态学报,2011,32(6):46-50.
- [13] 马慧,苗树君,刘君.纤维素酶对玉米秸青贮营养成分及其奶牛瘤胃降解率的影响[J].畜牧与兽医,2006,(4):43-46.
- [14] 大島光昭,木村英司,横田浩臣,等.搾汁発酵液あるいは乳酸菌の添加がアルファアルファサイレージの品質に及ぼす影響[J].日本草地学会誌,1996,42:280-281.
- [15] 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.
- [16] 杨胜.饲料分析及饲料质量检测技术[M].北京:中国农业大学出版社,1993:19-33.
- [17] 森本宏.家畜栄養実験法[M].東京:養賢堂発行,1971:1-149.
- [18] HAN K J, COLLINS M, Vanzant E S, et al. Bale density and moisture effects on alfalfa round bale silage [J]. Crop Science, 2004, 44 (3): 914-919.
- [19] BRODERICK G A, KANG J H. Automated simultaneous determination of ammonia and amino acids in ruminal fluid and in vitro media [J]. Journal of Dairy Science, 1980, 33: 64-75.
- [20] 庄益芬,张文昌,张丽.绿汁发酵液、纤维素酶及其混合物对象草青贮品质的影响[J].中国农学通报,2007,23(8):21-25.
- [21] 文奇男,张永根,王亮.不同发酵剂对水稻秸青贮发酵品质及营养价值的影响[J].饲料工业,2011,32(5):48-51.
- [22] 胡爽,王炜,山其木格,等.纤维素酶在青贮饲料中的作用及其基因克隆的研究进展[J].新疆农业科学,2008,45(2):242-247.
- [23] 郭金双,赵广永,冯仰廉,等.纤维素酶对大麦青贮品质及中酸性洗涤纤维瘤胃降解率的影响[J].饲料工业,2005,26(3):13-14.
- [24] 李静,高兰阳,沈益新.乳酸菌和纤维素酶对稻草青贮品质的影响[J].南京农业大学学报,2008,31(4):86-90.
- [25] 友田裕代,大桃定洋,田中治,等. *Acremonium celluliticus* Y-94由來のセルラーゼの添加がアルファアルファサイレージの発酵品質に及ぼす影響[J].日本草地学会誌,1996,42(2):155-158.

(责任编辑:张梅)