中国畜牧兽医 2017,44(12):3512-3518
China Animal Husbandry & Veterinary Medicine
doi: 10.16431/j.cnki.1671-7236.2017.12.017

绿汁发酵液和纤维素酶对稻草青贮及稻草、甘蔗梢混合青贮品质的影响

宋 鸽[1],朱小清[2],张 诗[1],庄益芬[1*]
(1.福建农林大学动物科学学院,福州 350002;2.福建傲农生物科技集团股份有限公司,厦门 361008)

摘 要: 本研究以稻草和甘蔗梢为青贮原料,调制稻草青贮及稻草与甘蔗梢混合青贮(混合比例为 6∶4(m/m))。在稻草青贮及稻草、甘蔗梢混合青贮中均设计添加 2 mL/kg 的绿汁发酵液组(FGJ)、3 mL/kg 的纤维素酶组(CEL)、2 mL/kg 绿汁发酵液+3 mL/kg 纤维素酶的复合组(MIX)和对照组(CON),每个处理重复 3 次,室温条件下贮存 60 d 后开封,测定青贮的发酵品质和化学成分。结果显示,青贮原料稻草干物质中的可溶性碳水化合物(WSC)和粗蛋白质(CP)含量均低于甘蔗梢,而中性洗涤纤维(NDF)、酸性洗涤纤维(ADF)含量均高于甘蔗梢。稻草单独青贮后,与 CON 组相比,FGJ 组的 NDF、ADF、pH 和氨态氮均极显著降低($P<0.01$),WSC 极显著增加($P<0.01$),干物质回收率(DMR)升高;MIX 组的 NDF、ADF、pH、气体损失率(GLR)和氨态氮均极显著降低($P<0.01$),乳酸、WSC 及 DMR 升高;CEL 组中除 ADF 显著降低外,其他指标也有不同程度的改善。与稻草青贮相比,稻草、甘蔗梢混合青贮的 pH、氨态氮、NDF 和半纤维素(HC)均降低,而 DMR 和 WSC 均明显升高。综上所述,绿汁发酵液及其与纤维素酶的复合添加剂对改善稻草青贮及稻草、甘蔗梢混合青贮品质的效果相近,且优于纤维素酶;稻草、甘蔗梢混合青贮的品质优于稻草青贮。

关键词: 稻草;甘蔗梢;绿汁发酵液;纤维素酶;青贮;发酵品质
中图分类号: S816.5+3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-7236(2017)12-3512-07

Effects of Fermented Green Juice and Cellulase on the Fermentation Quality of Rice Straw Silage and Rice Straw with Sugarcane Tip Mixed Silage

SONG Ge[1], ZHU Xiao-qing[2], ZHANG Shi[1], ZHUANG Yi-fen[1*]
(1. *College of Animal Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou* 350002, *China*; 2. *Fujian Aonong Biological Technology Group Co., Ltd., Xiamen* 361008, *China*)

Abstract: Rice straw and sugarcane tip were used as the silage materials in this research, and there were two groups: Rice straw silage and mixed silage of rice straw and sugarcane tip with the mixed ratio 6∶4(m/m). Four treatment groups were set up in each silage: Control group (CON) and three treatment groups which added 2 mL/kg fermented green juice (FGJ), 3 mL/kg cellulase (CEL) and 2 mL/kg FGJ+3 mL/kg CEL (MIX), and treatment was repeated 3 times. The materials were ensiled at room temperature for 60 days, and the fermentation quality and chemical compositions were tested. The result showed that for the two kinds of raw silage materials, the contents of WSC and CP in rice straw were lower than those in sugarcane tip, while the contents of NDF and ADF in rice straw were higher than those of sugarcane tip. Compared with the CON group, the NDF, ADF, pH and NH_3-N in FGJ group were extremely significantly decreased when rice straw was silaged alone ($P<0.01$), while WSC was extremely significantly increased ($P<0.01$), and DMR was increased. The NDF, ADF, pH, GLR and NH_3-N in MIX group were ex-

收稿日期: 2017-07-17
基金项目: 福建省教育厅科技项目(JK2009010);国家菌草工程技术研究中心开放基金课题(JCJJ13017)
作者简介: 宋 鸽(1985-),女,黑龙江牡丹江人,硕士,实验师,研究方向:动物营养与饲料,E-mail:961203190@qq.com
* **通信作者:** 庄益芬(1959-),女,内蒙古通辽人,硕士,教授,研究方向:动物营养与饲料,E-mail:yfzfz@163.com

tremely significantly decreased ($P<0.01$), while lactic acid, WSC and DMR were increased. In CEL group, the ADF was significantly decreased ($P<0.05$), and other indicators also had improved in different degrees. Compared with rice straw silage, the NDF, HC, pH and NH_3-N of mixed silage were lower, while DMR and WSC were obviously increased. In conclusion, the fermented green juice and it compound with cellulase had the similar effects on improving the fermentation quality, and the effects were both better than that of cellulase. The fermentation quality of rice straw with sugarcane tip mixed silage was better than rice straw silage.

Key words: rice straw; sugarcane tip; fermented green juice; cellulase; silage; fermentation quality

目前,中国畜牧业正处于飞速发展时期,而饲料是畜牧业发展的根本,开发和利用非粮饲料,发展节粮型畜牧生产,已成为发展畜牧业的重要途径。中国水稻种植面积广阔,稻草资源十分丰富。但是,由于自然风干的稻草粗蛋白质含量低且品质差、粗纤维含量高、适口性差而限制了其在畜牧生产中的利用。甘蔗梢是甘蔗产业的副产物,约占甘蔗产量的20%,具有产量大、产地集中、易于收购等特点。甘蔗梢中可溶性碳水化合物和粗蛋白质含量较高,适口性好,是家畜良好的饲料资源[1]。但是,不经过处理的甘蔗梢比较坚硬,影响动物采食量的同时容易伤害家畜的消化道。近年来,采用青贮的方法对稻草等秸秆进行开发利用的报道逐渐增多,但稻草可溶性碳水化合物的含量低,常规青贮难以调制出高品质的青贮饲料[2]。稻草和甘蔗梢作为单一饲料饲喂效果不理想,而且极易造成浪费,把二者进行混合青贮,两种原料能各自发挥优点,有利于调制出品质优良的青贮饲料。一般牧草等青贮原料上附着的乳酸菌数目较少,且只有少数是发酵能力强的优良菌种,调制的青贮饲料品质往往不稳定。因此,利用生物性添加剂改善青贮品质的研究已成为一种趋势。绿汁发酵液和酶制剂是目前倍受青睐的生物性添加剂。绿汁发酵液有乳酸发酵"启动因子"之称[3],可迅速提高青贮料中的乳酸含量,降低 pH,减少蛋白质的分解损失[4]。而青贮时添加纤维素酶可以降解细胞壁成分,提高可溶性糖含量,为乳酸发酵提供更多的底物[5]。因此,本研究首次将稻草与甘蔗梢进行混合青贮,并通过在青贮调制中添加绿汁发酵液、纤维素酶及二者复合添加剂探究其对稻草与甘蔗梢混合青贮品质的影响,为探索稻草等秸秆青贮加工调制方法提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　材料

1.1.1　青贮原料　　稻草由福建农林大学作物学院实验基地提供,品种为 Y 两优 302,秧龄期为 23 d。甘蔗梢取自福建农林大学甘蔗园,2 种原料均晾晒制成预干的原料。

1.1.2　添加剂　　绿汁发酵液(fermented green juice,FGJ)的制备[6]:将甘蔗梢切碎,混合均匀,称取 200 g 加入少量蒸馏水,榨汁,用双层纱布过滤,加 2%蔗糖,混匀后定容至 1 000 mL,30 ℃恒温厌氧发酵 48 h 以上备用;纤维素酶(cellulase,CEL)由广东溢多利生物科技股份有限公司提供,酶活为2×10^4 U/g,将其配制成 5%水溶液备用。

1.2　试验设计

试验设计调制 2 种青贮:稻草青贮(单贮)和稻草、甘蔗梢混合青贮(混贮),混贮时将稻草与甘蔗梢以 6∶4(m/m)混合调制。2 种青贮均设置 4 个处理组,分别为添加 2 mL/kg 绿汁发酵液组(FGJ)、添加 3 mL/kg 纤维素酶组(CEL)、添加 2 mL/kg 绿汁发酵液+3 mL/kg 纤维素酶的复合组(MIX)和对照组(CON),每个处理 3 个重复,添加剂的添加量按新鲜原料质量计算。

1.3　青贮调制

将预干的原料用切草机切碎至 1～2 cm 长,搅拌均匀。调制混合青贮时将 2 种原料按比例混合均匀。每个处理均称取 400 g,装入塑料袋内,加入添加剂和蒸馏水共计 8 mL(对照组中加蒸馏水 8 mL),混拌均匀后大致分为 3 等份,分别装进贴有对应标签的真空袋内,抽气、封口、称重。室温条件下贮存 60 d 开封,供分析测定。

1.4　风干样品和浸提液制备

原料与青贮饲料的分析样本均在 65 ℃下干燥 48 h、回潮、粉碎、待测。取代表性原料或青贮饲料样品 20 g 装入有刻度的 100 mL 广口锥形瓶中,加蒸馏水定容至 100 mL,4 ℃放置 18～24 h 后用滤纸过滤制备纯水浸提液。

1.5　测定指标与方法

1.5.1　原料和青贮饲料中化学成分　　原料和青

贮饲料风干样的干物质(DM)和粗蛋白质(CP)含量采用常规法测定[7];可溶性碳水化合物(WSC)含量参照 Anthrone 比色法测定;中性洗涤纤维(NDF)和酸性洗涤纤维(ADF)含量参照前人试验方法测定[8],半纤维素(HC)=中性洗涤纤维(NDF)-酸性洗涤纤维(ADF)。

1.5.2 青贮发酵品质 用 pH 计测定青贮的纯水浸提液 pH;乳酸、乙酸、丙酸、丁酸含量均采用岛津 LC-20AT 型高效液相色谱(色谱柱:Shodex Rspak KC-811 S-DVB gel Column 300 mm × 8 mm,检测器:SPD-M10AVp,流动相:3 mmol/L 高氯酸)分析[9];氨态氮(NH_3-N)采用苯酚—次氯酸钠比色法测定[10]。

1.5.3 微生物数目 青贮原料中的乳酸菌、好气性细菌、酵母菌和霉菌数量分别采用 MRS 琼脂培养基、营养琼脂培养基、马铃薯葡萄糖琼脂培养基计数[11]。乳酸菌用厌氧箱(YQX-Ⅱ型)37 ℃培养 48 h;好气性细菌、酵母菌、霉菌在有氧条件下 30 ℃培养 48~96 h。

1.6 数据分析

原始数据经 Excel 2007 初步处理后,用 SPSS 20.0 统计软件进行单因素方差分析(One-Way ANOVA)和邓肯氏多重比较,结果用平均值±标准差表示,以 $P<0.05$ 作为差异显著性判断标准。

2 结 果

2.1 稻草和甘蔗梢作为青贮原料的适宜性

2.1.1 稻草和甘蔗梢的化学成分 稻草和甘蔗梢的化学成分见表 1。由表 1 可知,稻草和甘蔗梢 DM 含量分别为 40.28%、25.61%,常规青贮的适宜含水率为 60%~75%。稻草的 WSC 和 CP 含量均低于甘蔗梢;NDF、ADF 和 HC 含量均高于甘蔗梢,说明稻草的营养价值不及甘蔗梢。与稻草相比,甘蔗梢是易于青贮的原料,故推测将稻草和甘蔗梢混合青贮有望调制出优质青贮。

表 1 原料的化学成分

Table 1 The chemical composition of materials %DM

原料 Materials	干物质 DM/%	可溶性碳水化合物 WSC	粗蛋白质 CP	中性洗涤纤维 NDF	酸性洗涤纤维 ADF	半纤维素 HC
稻草 Rice straw	40.28	6.05	6.78	73.64	40.78	32.86
甘蔗梢 Sugarcane tip	25.61	13.72	8.41	62.26	33.22	29.04

2.1.2 稻草和甘蔗梢的 pH 和有机酸 稻草和甘蔗梢的 pH 和有机酸含量见表 2。由表 2 可知,稻草的乙酸含量相对较多,乳酸和丙酸含量较少,只检出微量的丁酸;而甘蔗梢的乳酸含量较低,乙酸和丙酸含量更少,未检出丁酸;甘蔗梢的 pH 低于稻草。两种原料在 pH 和有机酸方面各占优势,混合青贮有望提高青贮品质。

表 2 原料的 pH 和有机酸

Table 2 The pH and organic acid of materials %FM

原料 Materials	pH	乳酸 LA	乙酸 AA	丙酸 PA	丁酸 BA
稻草 Rice straw	6.48	0.14	0.35	0.13	0.01
甘蔗梢 Sugarcane tip	5.75	0.07	0.01	0.01	0

2.1.3 稻草和甘蔗梢的微生物组成 稻草和甘蔗梢的微生物组成见表 3。由表 3 可知,在稻草和甘蔗梢的微生物组成中,细菌数量最多。稻草中乳酸菌、酵母菌和霉菌数量相差不多,甘蔗梢中乳酸菌数量多于酵母菌和霉菌数量。

表 3　原料中微生物数量

Table 3　The number of microorganisms in materials　　lg(CFU/g) FM

原料 Material	乳酸菌 *Lactobacillus*	细菌 Bacterial	酵母菌 Yeast	霉菌 Mold
稻草 Rice straw	5.67	7.76	5.76	5.72
甘蔗梢 Sugarcane tip	5.64	7.03	5.00	4.30

2.2　绿汁发酵液和纤维素酶对青贮品质的影响

2.2.1　稻草青贮　　绿汁发酵液和纤维素酶对稻草青贮品质的影响见表 4。在 4 种有机酸组成中,稻草青贮以乳酸最多,乙酸含量次之,丙酸更少,而丁酸只有少量检出。与 CON 组相比,FGJ 组和 MIX 组的 NDF、ADF、pH 和氨态氮均极显著降低($P<0.01$),WSC、HC 和乳酸均极显著增加($P<0.01$);此外,MIX 组的气体损失率极显著降低($P<0.01$);CEL 组的 NDF 和 ADF 极显著减少($P<0.01$)。与 CEL 组相比,FGJ 组和 MIX 组中 ADF、pH、气体损失率和氨态氮均呈极显著降低($P<0.01$),而 WSC、HC 和乳酸均极显著升高($P<0.01$);MIX 组 NDF 极显著升高($P<0.01$)。与 FGJ 组相比,MIX 组 WSC 极显著降低($P<0.01$),而 NDF 和 HC 极显著升高($P<0.01$)。表明 3 种添加剂均能显著提高稻草青贮的品质,FGJ 组和 MIX 组青贮的品质相近,显著优于 CEL 组。

表 4　绿汁发酵液和纤维素酶对稻草青贮品质的影响

Table 4　The effects of FGJ and CEL on the quality of rice straw silages

项目 Items	CON	FGJ	CEL	MIX
干物质 DM/%	37.44±0.35	37.53±0.35	37.69±0.61	37.37±0.55
可溶性碳水化合物 WSC/%DM	1.69±0.06^{Cc}	2.23±0.08^{Aa}	1.68±0.07^{Cc}	2.03±0.04^{Bb}
中性洗涤纤维 NDF/%DM	78.63±0.04^{Aa}	76.45±0.46^{Cc}	76.78±0.10^{Cc}	77.75±0.22^{Bb}
酸性洗涤纤维 ADF/%DM	44.52±0.09^{Aa}	40.79±0.35^{Cc}	43.22±0.57^{Bb}	40.34±0.17^{Cc}
半纤维素 HC/%DM	34.11±0.12^{Cc}	35.66±0.70^{Bb}	33.56±0.66^{Cc}	37.41±0.34^{Aa}
pH	4.62±0.11^{Ab}	4.39±0.05^{Bc}	4.75±0.02^{Aa}	4.43±0.01^{Bc}
乳酸 LA/%FM	0.98±0.10^{Bb}	1.69±0.11^{Aa}	0.90±0.12^{Bb}	1.43±0.24^{Aa}
乙酸 AA/%FM	0.35±0.15	0.44±0.05	0.32±0.10	0.36±0.07
丙酸 PA/%FM	0.09±0.08	0.14±0.15	0.15±0.18	0.08±0.04
丁酸 BA/%FM	0.02±0.02	0.02±0.01	0.03±0.01	0.02±0.01
干物质回收率 DMR/%	91.07±0.41	92.09±0.42	91.42±0.49	91.87±0.88
气体损失率 GLR/%	4.15±0.16^{ABab}	3.74±0.29^{BCbc}	4.50±0.35^{Aa}	3.32±0.20^{Cc}
氨态氮 NH_3-N/(mg/100 g)	26.09±0.91^{Aa}	19.38±0.35^{Bb}	25.77±0.45^{Aa}	19.79±0.27^{Bb}

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$);肩标不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$);肩标相同字母或无字母标注表示差异不显著($P>0.05$)。下同

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$); And with different capital letter superscripts mean extremely significant difference ($P<0.01$); While with the same or no letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$). The same as below

2.2.2　稻草、甘蔗梢混合青贮　　绿汁发酵液和纤维素酶对稻草、甘蔗梢混合青贮品质的影响见表 5。在 4 种有机酸中,稻草、甘蔗梢混合青贮中乳酸含量最高、乙酸含量次之,丙酸更少,丁酸没有检出。FGJ、MIX 组的 pH 均下降至 4.20 以下。与 CON 组相比,FGJ、MIX 组的 NDF、ADF、HC、pH、气体损失率和氨态氮均极显著降低($P<0.01$);此外,FGJ 组 WSC 含量极显著升高($P<0.01$),乳酸、干物质回收率显著升高($P<0.05$),而 MIX 组干物质回收率极显著升高($P<0.01$),DM、WSC 显著升高($P<0.05$);CEL 组氨态氮和 ADF 分别显著、极显著降低($P<0.05$;$P<0.01$)。与 CEL 组相比,FGJ、MIX 组在 NDF、ADF、HC、pH、气体损失率和氨态氮均极显著降低($P<0.01$),此外,FGJ 组中

WSC、乳酸分别极显著、显著升高($P<0.01$;$P<0.05$),MIX 组中 WSC、干物质回收率分别呈显著、极显著升高($P<0.05$;$P<0.01$);与 FGJ 组相比,MIX 组 DM 和干物质回收率均显著升高($P<0.05$)。说明 3 种添加剂均提高了稻草、甘蔗梢混合青贮的品质,FGJ、MIX 组青贮的品质相近,显著优于 CEL 组;稻草与甘蔗梢混合青贮品质更优,易于调制出优质青贮。

表 5 绿汁发酵液和纤维素酶对稻草、甘蔗梢混合青贮品质的影响

Table 5 The effects of FGJ and CEL on the quality of rice straw and sugarcane tip mixed silages

项目 Items	CON	FGJ	CEL	MIX
干物质 DM/%	32.50±0.31^{b}	32.83±0.64^{b}	32.87±0.51^{ab}	33.58±0.52^{a}
可溶性碳水化合物 WSC/%DM	1.78±0.02^{Bc}	2.68±0.15^{Aa}	1.81±0.21^{Bc}	2.26±0.26^{ABb}
中性洗涤纤维 NDF/%DM	76.56±0.65^{Aa}	71.88±0.33^{Bb}	76.20±0.13^{Aa}	71.62±0.33^{Bb}
酸性洗涤纤维 ADF/%DM	43.63±0.27^{Aa}	40.95±0.16^{Cc}	42.55±0.19^{Bb}	41.12±0.26^{Cc}
半纤维素 HC/%DM	32.92±0.50^{Aa}	30.93±0.26^{Bb}	33.65±0.29^{Aa}	30.50±0.51^{Bb}
pH	4.48±0.09^{Aa}	4.10±0.07^{Bb}	4.54±0.03^{Aa}	4.02±0.03^{Bb}
乳酸 LA/%FM	0.96±0.10^{b}	1.32±0.24^{a}	0.98±0.17^{b}	1.19±0.11^{ab}
乙酸 AA/%FM	0.38±0.16	0.34±0.12	0.36±0.14	0.38±0.03
丙酸 PA/%FM	0.12±0.07	0.15±0.05	0.17±0.03	0.14±0.02
丁酸 BA/%FM	0	0	0	0
干物质回收率 DMR/%	92.35±0.18^{Bc}	93.87±0.27^{ABb}	93.07±0.90^{Bbc}	95.10±0.59^{Aa}
气体损失率 GLR/%	6.47±0.21^{Aa}	4.84±0.26^{Bb}	6.49±0.21^{Aa}	4.41±0.57^{Bb}
氨态氮 NH_3-N/(mg/100 g)	21.98±0.23^{Aa}	12.74±0.32^{Bc}	20.92±0.86^{Ab}	12.20±0.23^{Bc}

3 讨 论

3.1 稻草和甘蔗梢作为青贮原料的适宜性

常规青贮时对原料的含水率要求为 60%~75%。适宜的含水率有利于乳酸菌的生长繁殖、抑制酪酸菌等有害微生物的活动,从而促进乳酸生成、加快 pH 下降,提高青贮品质。本试验将稻草和甘蔗梢以 6∶4 比例混合青贮后含水率恰好在常规青贮的适宜水平。

一般牧草青贮时,WSC 含量应占 DM 的 10%以上[12]。而本试验稻草 DM 中 WSC 的含量仅为 6.05%,不能满足乳酸菌正常发酵活动的需要,从而导致生成的乳酸较少,因此,稻草单独青贮时 pH 没有降低到 4.20 以下,无法确保青贮品质。此外,有研究表明,糖分含量会影响乳酸菌发酵速度,糖分含量过低将减慢乳酸菌发酵进程,从而不能及时降低青贮 pH 和有效抑制有害微生物的活动[13]。且稻草中含糖量较低,故常规法单独青贮稻草难以获得品质较高的青贮饲料。然而本试验中甘蔗梢 WSC 含量达 13.72%,是稻草 WSC 含量的两倍以上,并且甘蔗梢的 CP 含量达 8.41%,营养物质丰富。因此,相较于稻草单独青贮,将二者混合青贮成功率更高,且营养更均衡,有利于调制出品质优良的青贮饲料。

本试验中稻草的乳酸菌数量相对于细菌、酵母菌和霉菌未占优势;甘蔗梢中的乳酸菌含量虽高于酵母菌和霉菌,但低于细菌含量,其乳酸菌含量仍未占优势地位。一般青贮原料上附着的乳酸菌数量不足,不能满足发酵的需要,因此,调制的青贮饲料品质不稳定。添加青贮添加剂可以补充青贮原料的营养成分,促进发酵进程的开始,增加乳酸菌的繁殖,加速青贮饲料的酸化,从而提高青贮饲料的品质。所以本试验试图通过添加绿汁发酵液补充乳酸菌数目,纤维素酶可分解原料植物细胞壁产生可溶性糖,为乳酸菌提供底物,从而促进发酵进程,提高青贮品质[14]。

3.2 绿汁发酵液和纤维素酶对青贮品质的影响

3.2.1 绿汁发酵液 绿汁发酵液中含有天然的乳酸菌菌群,能够提高青贮原料中的乳酸菌数量,确保青贮过程中乳酸菌的优势状态,促进乳酸发酵,抑制有害微生物对 WSC 的消耗和蛋白质的降解,有效改善青贮发酵饲料的品质。Wang 等[15]在苜蓿青贮中添加不同剂量的绿汁发酵液,试验组的 pH 和氨态氮含量显著降低,WSC 含量明显高于对照组,青贮品质显著改善。陈国富等[13]研究发现添加绿汁发酵液能降低灵芝菌糟的 pH 和 HC、NDF、氨态氮含量,增加 WSC 含量。本试验中,添加绿汁发酵液使稻草青贮的 NDF、ADF、pH、氨态氮均极显著

降低,乳酸、WSC 和 HC 均极显著升高,说明添加绿汁发酵液改善了稻草青贮的品质。但稻草青贮 pH 仍高于优质青贮 pH<4.20 的标准,这可能是由于稻草原料中的 WSC 含量不足,不能为乳酸菌提供足够的发酵底物所致。而在稻草和甘蔗梢混合青贮中添加绿汁发酵液,pH 极显著下降至 4.20 以下,且 NDF、ADF、HC、气体损失率、氨态氮均极显著降低,WSC 极显著升高,干物质回收率也显著增加。说明,添加绿汁发酵液可有效改善稻草青贮及稻草、甘蔗梢混合青贮的发酵品质及营养价值,并且同等条件下,稻草和甘蔗梢混合青贮的品质更优。

3.2.2　纤维素酶　　纤维素酶不仅能将原料的结构性多糖分解为葡萄糖,增加乳酸菌发酵所需的底物,生成乳酸,降低 pH,抑制有害菌生长,减少营养物质损失,提高青贮品质;还能降解植物的细胞壁成分,降低纤维含量[16-17]。庄益芬等[5]在灵芝菌糟发酵饲料中添加不同水平的纤维素酶均能降低氨态氮含量,提高 WSC 含量。徐然等[18]在光叶紫花苕青贮中添加纤维素酶显著降低了青贮饲料的 NDF 和 ADF,同时青贮饲料的 WSC 和 CP 含量上升。本试验中,与对照组相比,添加纤维素酶使稻草青贮的 NDF 和 ADF 极显著减少,pH 升高,而稻草、甘蔗梢混合青贮的氨态氮和 ADF 分别显著和极显著降低。表明纤维素酶可在一定程度上提高稻草青贮及稻草、甘蔗梢混合青贮的品质,但其添加效果远不及绿汁发酵液和二者复合添加。

3.2.3　绿汁发酵液和纤维素酶复合添加　　张英等[4]在王草青贮中添加绿汁发酵液、纤维素酶及两者的混合剂,结果发现,添加混合剂的发酵效果优于两者单独添加。叶杭等[19]在香蕉茎玉米面粉混合青贮中添加绿汁发酵液和纤维素酶的研究也得出 2 种添加剂混合添加效果优于单独添加的结果。因为在青贮饲料中同时添加绿汁发酵液和纤维素酶,一方面能增加乳酸菌数目,与添加乳酸菌制剂的作用原理一致,另一方面能提供乳酸菌发酵所需的底物(WSC),最终达到改善青贮品质的目的。本试验结果表明,绿汁发酵液和纤维素酶复合添加能显著改善稻草青贮及稻草甘蔗梢混合青贮的品质。而 MIX 组青贮的品质虽然优于 CEL 组,却与 FGJ 组相近,这说明复合添加并没有发挥出协同促进的作用。这与兴丽等[20]的研究结果一致,其在全株玉米青贮中分别添加纤维素酶、乳酸菌及两者的混合液,结果发现,同时添加纤维素酶和乳酸菌混合液青贮品质未能达到预期的协同效果。绿汁发酵液的添加能够显著提高青贮发酵初始阶段乳酸菌群的优势地位,在有效抑制有害微生物发酵的同时,确保了乳酸菌群增殖的提前启动和旺盛繁殖,从而能加快青贮 pH 下降的速度。但酸度快速下降可能制约了纤维素酶的活力,酶制剂发挥最大作用的前提是必须在适宜的环境条件下,较强的酸性环境可能使纤维素酶失去活性。

4　结　论

相对于稻草单独青贮,稻草与甘蔗梢混合青贮更有利于调制出营养均衡且品质优良的青贮饲料;绿汁发酵液、纤维素酶以及二者复合添加均可改善稻草青贮及稻草、甘蔗梢混合青贮的品质,绿汁发酵液及其与纤维素酶复合添加的效果相近,优于单独添加纤维素酶。

参考文献:

[1] 李乔仙,高月娥,尚德林,等.云南甘蔗梢饲用现状及其青贮营养成分测定[J].养殖与饲料,2011,10:45-47.

[2] 郭海明,夏天婵,朱　雯,等.青贮添加剂对稻草青贮品质和有氧稳定性的影响[J].草业学报,2017,26(2):190-196.

[3] 田瑞霞,安　渊,梁金凤,等.添加剂对紫花苜蓿青贮品质的影响[J].中国草地,2005,27(4):10-14.

[4] 张　英,周汉林,刘国道,等.绿汁发酵液与纤维素酶对王草青贮品质的影响[J].草业科学,2013,30(10):1640-1647

[5] 庄益芬,陈国富,叶　杭,等.纤维素酶对灵芝菌糟发酵饲料品质和发酵进程的影响[J].饲料研究,2015,3:21-25.

[6] 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(別号):280-281.

[7] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].第 2 版.北京:中国农业大学出版社,2003.

[8] 森本宏.家畜栄養実験法[M].東京:養賢堂発行,1971.

[9] 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.

[10] Broderica 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, 36(1): 64-75.

[11] 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.

[12] 安宅一夫.最新サイレージバイブル[M].日本:酪農学園出版部,2012.

[13] 陈国富,张文昌,江伟伟,等.绿汁发酵液、纤维素酶和木聚糖酶对灵芝菌糟发酵饲料品质的影响[J].中国畜牧兽医,2014,41(12):146-151.

[14] 侯美玲,格根图,孙 林,等.甲酸、纤维素酶、乳酸菌剂对典型草原天然牧草青贮品质的影响[J].动物营养学报,2015,27(9):2977-2986.

[15] Wang J,Wang J Q,Zhou H,et al. Effects of addition of previously fermented juice prepared from alfalfa on fermentation quality and protein degradation of alfalfa silage[J]. *Animal Feed Science Technology*,2009,151(3-4):280-290.

[16] Dean D B,Adesogan A K,Krueger N,et al. Effect of fibrolytic enzymes on the fermentation characteristics,aerobic stability,and digestibility of bermudagrass silage[J]. *Jounal of Dairy Science*,2005,83(3):994-1003.

[17] Guo G,Yuan X,Li L,et al. Effects of fibrolytic enzymes,molasses and lactic acid bacteria on fermentation quality of mixed silage of corn and hulless-barely straw in the Tibetan Plateau[J]. *Grass Land Science*,2014,60(40):240-246.

[18] 徐 然,陈鹏飞,白史且,等.乳酸菌和纤维素酶对光叶紫花苕青贮发酵品质的影响[J].草地学报,2014,22(3):420-425.

[19] 叶 杭,张文昌,张国轶,等.绿汁发酵液和纤维素酶对香蕉茎玉米面粉混合青贮品质的影响[J].家畜生态学报,2014,35(8):28-33.

[20] 兴 丽,韩鲁佳,刘 贤,等.乳酸菌和纤维素酶对全株玉米青贮发酵品质和微生物菌落的影响[J].中国农业大学学报,2004,9(5):38-41.

(责任编辑 姚倩倩)