

生物添加剂和含水率对紫花苜蓿和猫尾草青贮发酵品质的影响

庄益芬¹, 安宅一夫², 张文昌^{1*}

(1. 福建农林大学动物科学学院, 福州 350002; 2. 酪农学园大学, 日本 北海道 江别 069-8501)

摘要: 试验旨在研究紫花苜蓿绿汁发酵液 (AFGJ)、猫尾草绿汁发酵液 (TFGJ)、乳酸菌制剂 (LAB)、纤维素酶 (CEL) 及 LAB+CEL (MIX) 对紫花苜蓿和猫尾草青贮发酵品质的影响。用紫花苜蓿和猫尾草各 2 种含水率 (高、低) 的原料制作了青贮。每个处理设 2 次重复, 常温下贮存 50 d, 开封后测定青贮的发酵品质。研究表明, 添加剂对紫花苜蓿和猫尾草青贮的发酵品质有显著影响 ($P < 0.05$), 除 AFGJ 和 TFGJ 高含水率紫花苜蓿青贮外, 各种添加剂均不同程度地改善了高、低含水率紫花苜蓿和猫尾草青贮的发酵品质; 含水率对紫花苜蓿和猫尾草青贮的发酵品质有显著影响 ($P < 0.05$), 2 种牧草均是低含水率优于高含水率青贮的发酵品质; 添加剂和含水率对青贮的发酵品质有显著的交互作用 ($P < 0.05$)。综合各项指标, 在高、低含水率紫花苜蓿青贮中均以添加 MIX 效果最好; 在高含水率猫尾草青贮中, 添加 TFGJ 和 AFGJ 效果相近且优于其他添加剂; 在低含水率猫尾草青贮中添加 AFGJ、TFGJ、LAB 和 MIX 效果相近, 且优于添加 CEL。结果表明, 适当降低原料含水率并选择适宜的添加剂可调制优质青贮。

关键词: 绿汁发酵液; 含水率; 紫花苜蓿; 猫尾草; 青贮; 发酵品质

中图分类号: S816.5⁺3

文献标识码: A

文章编号: 0366-6964(2007)12-1394-07

Effects of Biological Additive and Moisture Content on Fermentation Quality of Alfalfa and Timothy Silages

ZHUANG Yi-fen¹, ATAKU Kazuo², ZHANG Wen-chang^{1*}

(1. College of Animal Science, Fujian Agriculture and Forestry University,

Fuzhou 350002, China; 2. Rakuno Gakuen University, Ebetsu, Hokkaido 069-8501, Japan)

Abstract: Two kinds of alfalfa and timothy with high and low moisture content were made silages to study the effects of alfalfa fermented with green juice (AFGJ), timothy fermented green juice (TFGJ), lactic acid bacteria (LAB), cellulose (CEL) and lactic acid bacteria (LAB) + cellulose (MIX) on fermentation quality of alfalfa and timothy silages. Each treatment had two repeats. Silages were fermented for 50 days. The fermentation quality of silages were observed. The fermentation quality of alfalfa and timothy silages were significantly affected by additives ($P < 0.05$), all the additives improved the fermentation quality of alfalfa and timothy silages with high and low moisture content, but there were no significant role in high moisture content alfalfa silages with AFGJ and TFGJ. The fermentation quality of alfalfa and timothy silages were significantly affected by the moisture content ($P < 0.05$), the fermentation quality of both alfalfa and timothy silages with low moisture content were better than that with high moisture content silages. There were significant interaction between the additives and moisture content ($P < 0.05$). The fermenta-

收稿日期: 2007-06-27

基金项目: 日本文部省基盘研究项目 (07306013)

作者简介: 庄益芬 (1959-), 女, 内蒙古通辽人, 副教授, 硕士, 主要从事动物营养和饲料方面的教学和研究, Tel: 0591-83758565, E-mail: yfzfz@163.com

* 通讯作者: 张文昌 (1957-), 教授, 博士, Tel: 0591-83792157; E-mail: zwcfz@163.com

tion quality of alfalfa silage with high and low moisture content with MIX were the best; the fermentation quality of timothy silage with high moisture content with FGJ and TFGJ were similar, but the quality were better than other additives. The fermentation quality of timothy silage with low moisture content with AFGJ, TFGJ, LAB and MIX were similar, but the quality were better than CEL. The results showed that the treatment by reducing the moisture content and choicing the additives could improve silage quality.

Key words: fermented green juice; moisture content; alfalfa; timothy; silage; fermentation quality

青贮饲料已成为奶牛饲养业维持和创造高产水平不可缺少的重要饲料之一^[1]。青贮饲料品质的优劣受原料的含糖量、缓冲度、含水率等多种因素的影响^[2,3]。低糖、缓冲度高的原料常规青贮难以成功。紫花苜蓿富含蛋白质、矿物质和维生素,是目前国内外栽培面积较大的豆科牧草品种之一,有“牧草之王”的美誉^[2]。猫尾草是一种产量高、品质优良、消化性好,为草食家畜所喜食的长纤维禾本科牧草^[4]。若能把紫花苜蓿和猫尾草调制成为优质青贮饲料,对奶牛业的发展具有重要意义。但是,紫花苜蓿的水溶性碳水化合物含量低、缓冲度高^[5,6],猫尾草的水溶性碳水化合物含量也较低^[7]。对这 2 种原料调整含水率或正确使用添加剂是调制优质青贮的必要手段。适当降低原料的含水率,使原料的水溶性碳水化合物等养分浓缩,可促进乳酸发酵,并在一定程度上抑制不良发酵,有利于调制优质青贮^[8]。正确选用添加剂可显著改善青贮品质。近年来由于生物技术的发展,安全意识的提高,生物添加剂倍受关注。添加足够的乳酸菌可确保青贮发酵初期所需的乳酸菌数,能促进乳酸发酵。绿汁发酵液,是一种新型生物性青贮添加剂,它具有取材方便、制作简单、成本低廉等特点。大岛光昭等已经确认,绿汁发酵液可以使附着在牧草表面的乳酸菌群增殖,有乳酸发酵“启动因子”之称^[9,10]。纤维素酶可将青贮原料的结构性多糖降解为单糖,为乳酸菌的繁殖发酵提供底物,从而提高青贮的发酵品质^[11,12]。在低糖并缺少乳酸菌的原料中同时添加乳酸菌和纤维素酶,可获得相乘效果,显著改善青贮的发酵品质。但是,现有同类研究结果不一致,有效^[13~15]和无效^[16,17]的报道兼而有之,而且缺乏对不同因素影响的综合研究。本试验对生物添加剂(绿汁发酵液、乳酸菌、纤维素酶、乳酸菌与纤维素酶混合物)、原料含水率及其交互作用对紫花苜蓿和猫尾草青贮发酵品质影响进行了探讨,为调制优质紫花苜蓿和猫尾草青贮提供依

据。

1 材料和方法

1.1 材料

1.1.1 青贮原料 青贮原料是日本酪农学园大学附属农场栽培的盛花期紫花苜蓿和出穗期猫尾草 2 种牧草,每种牧草分别用新鲜(高含水率)原料和自然晾晒 24 h(低含水率)原料调制青贮。

1.1.2 添加剂 添加剂有紫花苜蓿绿汁发酵液(AFGJ)、猫尾草绿汁发酵液(TFGJ)、乳酸菌(LAB)、纤维素酶(CEL)4 种。2 种绿汁发酵液是参照大岛光昭等^[18]的方法,分别用本试验的原料经榨汁、加入 2% 的蔗糖、30℃ 恒温厌氧发酵 48 h 以上制成;乳酸菌由雪印种苗株式会社技术研究所提供(SLL 水和剂);纤维素酶由明治制药株式会社提供(酶活性为 424 U/g)。

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计 紫花苜蓿和猫尾草的高、低含水率原料均设相同的 6 个添加处理,分别为对照(CON)、添加 2 mL/kg AFGJ、添加 2 mL/kg TFGJ、添加 4 mg/kg LAB、添加 50 mg/kg CEL 及添加 4 mg/kg LAB + 50 mg/kg CEL(MIX)。每个处理设 2 次重复。添加剂的添加量按新鲜原料重计算。AFGJ 和 TFGJ 的添加量参照大岛光昭等^[18]的报道确定;LAB 和 CEL 的添加量为生产公司的推荐量。

1.2.2 青贮调制 用切草机将原料按 1~2 cm 长度切短,混合均匀后称重,装入塑料袋内加入添加剂。为了控制水分含量,各处理添加相同体积的添加剂或蒸馏水 10 mL,即对照组加等量的蒸馏水。用喷壶将添加剂或蒸馏水喷洒入塑料袋内的原料中,搅拌均匀后装入 1 L 的试验用青贮瓶,压实、密封。在室温条件下放置 50 d 开封,供分析测定。

1.2.3 测定项目 原料和青贮的分析样本是在

65℃的烘箱中干燥 24 h,回潮、粉碎制成。原料和青贮风干样本中的水分和粗蛋白含量用常规法^[19]测定,水溶性碳水化合物用蒽酮比色法^[20]测定,中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维用 Van Soest 等^[20]的方法测定,半纤维素=中性洗涤纤维-酸性洗涤纤维^[20]。使用青贮新鲜物的纯水浸出液测定 pH、氨态氮、乳酸、乙酸、丙酸、丁酸和总酸,pH 用玻璃电极 pH 计测定,氨态氮用水蒸气蒸馏法测定^[20],乳酸、乙酸、丙酸、丁酸和总酸用气相色谱仪(岛津 GC-14A 型,色谱柱:1.6 m 玻璃钢制,温度:由 120℃升至 190℃,升温速度 5℃/min)测定。粗蛋白、水溶性碳水化合物、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维和半纤维

素含量均以干物质基础的百分比表示;乳酸、乙酸、丙酸、丁酸和总酸以新鲜物基础的百分比表示;氨态氮以占原料总氮的百分比表示。干物质回收率和气体损失率分别按如下方法计算:

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

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

原料的化学成分如表 1 所示。

表 1 原料的化学成分
Table 1 Chemical composition of material

	含水率 Moisture content	水分 Moisture	水溶性碳 水化合物 WSC	粗蛋白 CP	中性洗 涤纤维 NDF	酸性洗 涤纤维 ADF	半纤维素 HC	%
紫花苜蓿 Alfalfa	高 High	82.4	6.4	16.7	52.5	44.2	8.3	
	低 Low	61.3	5.2	16.0	54.0	46.7	7.3	
猫尾草 Timothy	高 High	78.6	9.5	8.5	70.5	42.1	28.3	
	低 Low	54.9	7.4	8.9	72.7	43.3	29.4	

1.3 统计分析

添加剂、含水率及二者间的交互作用对青贮所有项目的影响使用两因子方差分析^[21];相同含水率青贮中添加剂、相同添加剂青贮中含水率对青贮所有项目的影响使用单因子方差分析^[21]。结果用平均数±标准差表示。

2 结果

2.1 紫花苜蓿青贮的发酵品质

添加剂、含水率以及二者间的交互作用对紫花苜蓿青贮发酵品质的影响如表 2 所示。

添加剂对青贮的乳酸、乙酸、总酸、pH、氨态氮和干物质回收率有极显著影响($P < 0.01$),含水率对水分、乳酸、乙酸、丙酸、总酸、pH、干物质回收率和气体损失率有极显著影响($P < 0.01$),在青贮的乳酸、乙酸、总酸、pH、氨态氮和气体损失率等项目上,添加剂和含水率间有极显著的交互作用($P <$

0.01)。

2.1.1 添加剂对紫花苜蓿青贮发酵品质的影响高、低含水率青贮均未产生丁酸。

在高含水率青贮中,添加 AFGJ 和 TFGJ 对所有项目未产生显著影响($P > 0.05$);LAB 组的乙酸和总酸含量显著增加($P < 0.05$);CEL 和 MIX 组的乳酸、乙酸和总酸显著增加、($P < 0.05$);CEL 组的干物质回收率显著降低($P < 0.05$)。

在低含水率青贮中,添加 AFGJ 使乳酸、乙酸和总酸含量显著增加($P < 0.05$);TFGJ 组的乙酸显著增加、气体损失率显著降低($P < 0.05$);LAB 组的乳酸和总酸显著增加、pH、氨态氮和气体损失率显著降低($P < 0.05$);CEL 组的乙酸和总酸显著增加,pH 显著降低($P < 0.05$);MIX 组的 pH、氨态氮和气体损失率显著降低($P < 0.05$)。

除 AFGJ 和 TFGJ 对高含水率青贮发酵品质没有明显影响,各种添加剂对高、低含水率青贮的发酵

品质均有不同程度的改善。

2.1.2 含水率对紫花苜蓿青贮发酵品质的影响

各种添加处理组随原料含水率的降低,均呈现干物质回收率显著升高、气体损失率显著降低($P < 0.05$)的规律。此外,CON、AFGJ、CEL、MIX 组的 pH 和 CON、AFGJ、TFGJ、CEL 组的氨态氮升高(P

< 0.05); AFGJ 和 TFGJ 组的乳酸、乙酸、总酸和氨态氮增加($P < 0.05$); LAB 组的乳酸和总酸增加,氨态氮减少($P < 0.05$); MIX 组的乙酸、总酸和氨态氮显著减少($P < 0.05$)。总体来看,低含水率青贮各处理组的发酵品质均优于高含水率青贮。

表 2 紫花苜蓿青贮的发酵品质
Table 2 Fermentation quality of alfalfa silages

含水率 Moisture content	添加剂 Additives	水分 Moisture	乳酸 Lactic acid	乙酸 Acetic acid	丙酸 Propionic acid	丁酸 Butyric acid	总酸 Total acid	pH	氨态氮 NH ₃ -N	干物质回 收率 DMR	气体损 失率 GL
高 High	CON	83.2±0.05 ^{abcA}	1.55±0.16 ^{cd}	0.47±0.04 ^d	0.03±0.00	0	2.06±0.16 ^c	4.62±0.01 ^{aB}	10.0±0.19 ^B	92.9±0.55 ^{abB}	4.4±0.00 ^A
	AFGJ	83.4±0.08 ^{abA}	1.44±0.13 ^{dB}	0.59±0.01 ^{cdB}	0.04±0.00	0	2.07±0.16 ^{cB}	4.68±0.02 ^{aB}	11.1±0.44 ^B	93.1±0.40 ^{abB}	4.6±0.02 ^A
	TFGJ	83.5±0.10 ^{abA}	1.52±0.09 ^{cdB}	0.58±0.02 ^{dB}	0.03±0.03	0	2.16±0.15 ^{cB}	4.68±0.01 ^a	11.4±1.00 ^B	92.3±0.50 ^{bcB}	4.7±0.00 ^A
	LAB	83.1±0.10 ^{bcA}	1.94±0.20 ^{bcB}	0.71±0.04 ^{bc}	0.08±0.04	0	2.74±0.11 ^{bB}	4.7±0.11 ^a	11.5±0.15 ^A	93.1±0.14 ^{abB}	5.0±0.49 ^A
	CEL	83.6±0.24 ^{aA}	2.21±0.02 ^b	0.85±0.01 ^a	0.02±0.00	0	2.94±0.14 ^b	4.34±0.01 ^{bB}	11.4±0.21 ^B	91.0±0.56 ^{cB}	4.6±0.06 ^A
	MIX	83.0±0.07 ^{cA}	3.02±0.01 ^a	0.76±0.01 ^{abA}	0.04±0.01	0	3.81±0.04 ^{aA}	4.32±0.02 ^{bB}	11.1±0.21 ^A	93.9±0.37 ^{aB}	5.1±0.27 ^A
低 Low	CON	62.8±0.25 ^{abcB}	2.51±0.24 ^b	0.64±0.01 ^b	0.01±0.00 ^{ab}	0	3.17±0.29 ^d	4.90±0.02 ^{aA}	11.9±0.47 ^{aA}	95.3±0.15 ^{abA}	2.3±0.00 ^{abB}
	AFGJ	63.2±0.16 ^{aB}	3.63±0.08 ^{aA}	0.96±0.05 ^{aA}	0±0.00 ^b	0	4.62±0.16 ^{aA}	4.96±0.03 ^{aA}	12.1±0.15 ^{aA}	95.4±0.10 ^{abA}	2.4±0.01 ^{abB}
	TFGJ	62.5±0.06 ^{bcB}	2.63±0.02 ^{ba}	0.91±0.01 ^{aA}	0±0.00 ^b	0	3.56±0.04 ^{cdA}	4.88±0.05 ^a	12.2±0.20 ^{aA}	96.0±0.35 ^{aA}	2.1±0.02 ^{baB}
	LAB	62.5±0.23 ^{cB}	3.80±0.29 ^{aA}	0.68±0.00 ^b	0±0.00 ^b	0	4.49±0.31 ^{abA}	4.68±0.01 ^b	9.3±0.10 ^{bbB}	96.0±0.34 ^{aA}	1.9±0.00 ^{cbB}
	CEL	63.0±0.06 ^{abcB}	2.97±0.23 ^b	0.89±0.02 ^a	0.02±0.00 ^a	0	3.88±0.23 ^{bc}	4.76±0.01 ^{ba}	12.3±0.10 ^{aA}	94.6±0.43 ^{baA}	2.4±0.05 ^{abB}
	MIX	63.2±0.29 ^{abB}	2.87±0.06 ^b	0.63±0.07 ^{bbB}	0.01±0.01 ^{ab}	0	3.53±0.04 ^{cdB}	4.56±0.01 ^{ca}	8.0±0.20 ^{cbB}	95.5±0.30 ^{abA}	2.0±0.08 ^{bcB}
方差分析 Analysis of variance	添加剂(A) 含率率(MC) A×MC		**	**			**	**	**	**	**

同含水率同列肩标不同小写字母(a,b,c,d)者、同添加剂同列肩标不同大写字母(A,B,C)者表示差异显著($P < 0.05$); **, $P < 0.01$, *, $P < 0.05$; 下同

Different letter (a,b,c or A,B,C) within rows at same moisture content or same additives represent significant difference ($P < 0.05$); **, $P < 0.01$, *, $P < 0.05$. The same as below

2.2 猫尾草青贮的发酵品质

添加剂、含水率以及二者间的交互作用对猫尾草青贮发酵品质的影响如表 3 所示。

添加剂对青贮的所有项目、含水率对除乙酸外的项目有极显著影响($P < 0.01$),在青贮的所有项目上,添加剂和含水率间有极显著的交互作用($P < 0.01$)。

2.2.1 添加剂对猫尾草青贮发酵品质的影响 在高含水率青贮中,所有添加剂均降低了乙酸、丙酸、氨态氮($P < 0.05$);添加 AFGJ、TFGJ 和 MIX 均提高了乳酸和干物质回收率而降低了 pH 和气体损失率($P < 0.05$);添加 AFGJ 和 TFGJ 还降低了含水率和丁酸($P < 0.05$);LAB 组的含水率、气体损失率显著降低($P < 0.05$),干物质回收率显著提高($P < 0.05$)。

在低含水率青贮中,所有青贮均未生成丙酸。所有添加剂均显著提高了乳酸、干物质回收率和降低了丁酸、pH($P < 0.05$);除 CEL 外的所有添加剂均提高了总酸,降低了气体损失率($P < 0.05$);添加 AFGJ 和 TFGJ 提高了乙酸($P < 0.05$),添加 TFGJ、LAB 和 MIX 降低了氨态氮($P < 0.05$)。

5 种添加剂均不同程度地改善了高、低含水率猫尾草青贮的发酵品质。综合各项指标,在高含水率青贮中 TFGJ 和 AFGJ 组的品质相近,优于其它组;在低含水率青贮中 TFGJ、AFGJ、LAB 和 MIX 组的品质相近,优于 CEL 和 CON 组。

2.2.2 含水率对猫尾草青贮发酵品质的影响 随原料含水率的降低,所有添加处理组的气体损失率显著下降($P < 0.05$);CON、LAB、CEL 和 MIX 组的丁酸和氨态氮降低,而干物质回收率升高($P <$

0.05); CON 组的乳酸升高 ($P < 0.05$), 乙酸、丙酸、总酸降低 ($P < 0.05$); AFGJ 组的 pH 显著升高 ($P < 0.05$); TFGJ 组的乳酸、乙酸和总酸显著升高 (P

< 0.05); LAB 和 MIX 组的乳酸和总酸升高、pH 降低 ($P < 0.05$)。总体来看, 低含水率青贮的发酵品质优于高含水率青贮。

表 3 猫尾草青贮的发酵品质
Table 3 Fermentation quality of timothy silages

含水率 Moisture content	添加剂 Additives	水分 Moisture	乳酸 Lactic acid	乙酸 Acetic acid	丙酸 Propionic acid	丁酸 Butyric acid	总酸 Total acid	pH	氨态氮 NH ₃ -N	干物质固 收率 DMR	气体损 失率 GL
高 High	CON	81.4 ± 0.05 ^{aA}	0.25 ± 0.01 ^{dB}	0.31 ± 0.00 ^{aA}	0.21 ± 0.02 ^{aA}	0.94 ± 0.00 ^{aA}	1.71 ± 0.00 ^{aBA}	5.23 ± 0.05 ^a	19.1 ± 0.60 ^{aA}	85.3 ± 0.00 ^{cB}	10.2 ± 0.00 ^{aA}
	AFGJ	79.6 ± 0.07 ^{cA}	2.09 ± 0.11 ^a	0.18 ± 0.03 ^b	0 ± 0.00 ^b	0 ± 0.00 ^b	2.28 ± 0.12 ^a	3.76 ± 0.01 ^{cB}	5.5 ± 0.04 ^d	97.0 ± 0.30 ^a	2.1 ± 0.10 ^{cA}
	TFGJ	79.2 ± 0.36 ^{cA}	1.22 ± 0.08 ^{BB}	0.15 ± 0.07 ^{bcB}	0 ± 0.00 ^b	0.02 ± 0.00 ^b	1.38 ± 0.09 ^{BB}	4.03 ± 0.01 ^{bc}	4.3 ± 0.40 ^d	96.3 ± 0.30 ^a	2.1 ± 0.09 ^{cA}
	LAB	80.7 ± 0.17 ^{bA}	0.55 ± 0.20 ^{cdB}	0.12 ± 0.05 ^{bc}	0 ± 0.00 ^b	0.67 ± 0.00 ^{aA}	1.35 ± 0.20 ^{BB}	5.16 ± 0.05 ^{aA}	16.3 ± 0.39 ^{bA}	88.4 ± 0.94 ^{BB}	8.6 ± 0.83 ^{bA}
	CEL	81.3 ± 0.16 ^{abA}	0.47 ± 0.15 ^{cd}	0.10 ± 0.01 ^c	0 ± 0.00 ^b	1.09 ± 0.26 ^{aA}	1.67 ± 0.36 ^{ab}	5.02 ± 0.04 ^a	16.4 ± 0.30 ^{bA}	85.4 ± 0.78 ^{cB}	10.3 ± 0.27 ^{aA}
	MIX	80.9 ± 0.03 ^{abA}	0.83 ± 0.07 ^{bcB}	0.07 ± 0.03 ^b	0 ± 0.00 ^b	0.86 ± 0.23 ^{aA}	1.75 ± 0.25 ^{abB}	4.34 ± 0.14 ^{bA}	13.1 ± 0.99 ^{cA}	87.7 ± 0.03 ^{BB}	7.6 ± 0.49 ^{bA}
低 Low	CON	56.5 ± 0.55 ^{abB}	0.86 ± 0.01 ^{dA}	0.11 ± 0.05 ^{cB}	0 ± 0.00 ^B	0.35 ± 0.22 ^{BB}	1.33 ± 0.03 ^{cB}	5.34 ± 0.05 ^a	6.3 ± 0.54 ^{BB}	93.9 ± 0.10 ^{dA}	2.8 ± 0.00 ^{abB}
	AFGJ	56.5 ± 0.14 ^{abB}	2.25 ± 0.10 ^b	0.23 ± 0.08 ^{ab}	0 ± 0.00	0 ± 0.00 ^b	2.48 ± 0.15 ^b	4.04 ± 0.01 ^{cA}	5.4 ± 0.23 ^{ab}	96.1 ± 0.20 ^b	1.5 ± 0.01 ^{bB}
	TFGJ	56.1 ± 0.11 ^{bb}	2.24 ± 0.12 ^{bA}	0.26 ± 0.04 ^{aA}	0 ± 0.00	0 ± 0.00 ^b	2.50 ± 0.13 ^{bA}	4.03 ± 0.01 ^c	4.4 ± 0.62 ^{bc}	97.4 ± 0.10 ^a	1.5 ± 0.02 ^{bb}
	LAB	56.6 ± 0.01 ^{abB}	3.28 ± 0.10 ^{aA}	0.13 ± 0.01 ^{bc}	0 ± 0.00	0 ± 0.00 ^{BB}	3.42 ± 0.10 ^{aA}	3.83 ± 0.01 ^{dB}	4.1 ± 0.13 ^{bcB}	95.5 ± 0.02 ^{bcA}	1.4 ± 0.01 ^{bb}
	CEL	56.6 ± 0.20 ^{abB}	1.36 ± 0.17 ^c	0.13 ± 0.01 ^{bc}	0 ± 0.00	0.01 ± 0.00 ^{BB}	1.51 ± 0.20 ^c	5.17 ± 0.03 ^b	6.5 ± 0.51 ^{abB}	95.0 ± 0.51 ^{cA}	2.9 ± 0.13 ^{aB}
	MIX	57.2 ± 0.19 ^{abB}	3.42 ± 0.08 ^{aA}	0.16 ± 0.00 ^{abc}	0 ± 0.00	0 ± 0.00 ^{BB}	3.59 ± 0.12 ^{aA}	3.79 ± 0.01 ^{dB}	3.7 ± 0.40 ^{cB}	95.6 ± 0.20 ^{bcA}	1.4 ± 0.05 ^{bb}
方差分析	添加剂(A)	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Analysis of	含水率(MC)	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
variance	A × MC	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**

3 讨论

本试验添加剂、含水率以及二者的交互作用对紫花苜蓿和猫尾草青贮的发酵品质均有显著影响。说明含水率相同的牧草青贮中加入不同添加剂效果不同, 同种添加剂在不同含水率的同一牧草青贮中的添加效果不一样。兼顾 2 种因素的影响能使青贮发酵品质更好。

3.1 添加剂对青贮发酵品质的影响

本试验在紫花苜蓿青贮中添加 AFGJ 和 TFGJ, 对高含水率青贮发酵品质没有影响, 对低含水率青贮有一定的改善。紫花苜蓿水溶性碳水化合物含量低、缓冲能高^[2,5], 不利于乳酸菌繁殖和 pH 下降。降低原料的含水率可使原料中的 WSC 含量相应提高, 从而促进乳酸菌的繁殖, 改善青贮的品质。在高、低含水率猫尾草青贮中添加 AFGJ 和 TFGJ 均获得了显著效果, 这同诸多研究结果^[7,9,10,22] 一致。这也从另一个侧面证明本试验所使用的猫尾草原料上乳酸菌数量不足。绿汁发酵液作为乳酸发酵

的启动因子, 能迅速降低青贮的 pH, 抑制有害微生物的活动^[23], 显著提高青贮品质。在高含水率猫尾草青贮中绿汁发酵液的添加效果优于乳酸菌制剂及其他添加剂。进一步证实了绿汁发酵液具有更好的发酵稳定性^[24~26]。

添加 LAB 在 2 种牧草的高、低含水率青贮均获得了一定效果。这可能是原料草附着的乳酸菌数不足^[2,27], 添加乳酸菌制剂, 促进了青贮的乳酸发酵。这种效果在本试验低含水率青贮中更突出, 说明在青贮过程中乳酸菌作用的发挥有赖于发酵基质。

据报道^[28,29] 纤维素酶可将植物细胞壁的结构性多糖降解为单糖, 为乳酸菌提供充足的发酵底物, 促进青贮的乳酸发酵, 从而提高青贮的发酵品质。本试验添加 CEL 不同程度地改善了 2 种牧草高、低含水率青贮的发酵品质。

综合本试验所有测定项目, 在紫花苜蓿高、低含水率青贮中, 均以 MIX 组的发酵品质最优。特别是在高含水率紫花苜蓿青贮的乳酸和总酸 2 个项目、低含水率紫花苜蓿青贮及高含水率猫尾草青贮的

pH 和氨态氮 6 个项目上均获得了 LAB 和 CEL 的相乘效果。因为在青贮中同时添加乳酸菌和纤维素酶,既能扩大青贮发酵起始阶段的乳酸菌群又能为乳酸菌发酵提供充足的底物,使二者共同作用下的效果比单独添加 LAB 或 CEL 时更显著。这同艾尼瓦尔等^[30]和庄益芬等^[31]报道的结果一致。

3.2 含水率对青贮发酵品质的影响

高含水率青贮的细胞液中糖分过稀,不能满足乳酸菌发酵所需的糖分浓度,而利于丁酸菌发酵,使青贮品质变坏^[2,3]。降低原料的含水率能使原料的WSC 等养分浓缩,促进乳酸发酵^[8],还能在一定程度上抑制不良发酵、酶的作用和植物细胞的呼吸活动^[1~3],从而减少营养物质的损失,提高青贮品质。本试验含水率对 2 种牧草青贮发酵品质的影响规律一致,即低含水率青贮优于高含水率青贮的发酵品质。这同诸多^[10,32]研究结果一致。

4 结 论

4.1 添加 AFGJ 和 TFGJ 对低含水率紫花苜蓿青贮和 2 种含水率猫尾草青贮的发酵品质均有显著效果;添加 LAB、CEL 和 MIX 对 2 种牧草各不同含水率青贮的发酵品质都有显著效果。

4.2 在紫花苜蓿 2 种含水率青贮中,MIX 组青贮的发酵品质均属最佳;在猫尾草青贮中,添加 AFGJ 和 TFGJ 在高、低含水率青贮中均获得极其显著的效果,添加 LAB 和 MIX 在低含水率青贮中获得了与 AFGJ 和 TFGJ 同等程度的效果。

4.3 2 种牧草青贮均是低含水率青贮优于高含水率青贮的发酵品质。

参考文献:

[1] 胡 坚. 动物饲养学[M]. 第 4 版. 长春:吉林科学技术出版社,1999. 127~128.

[2] 安宅一夫. サイレージバイブル[M]. 日本北海道:酪農学園出版部,1986. 47~51.

[3] 王成章,王 恬. 饲料学[M]. 北京:中国农业大学出版社,2003. 122~140.

[4] 庄益芬,安宅一夫,张文昌. 添加剂、收割期对猫尾草青贮细胞壁成分和体外干物质消化率的影响[J]. 江西农业大学学报,2006,28(3):436~439.

[5] 刘 贤,韩鲁佳,原慎一郎,等. 不同添加剂对苜蓿青贮饲料品质的影响[J]. 中国农业大学学报,2004,9(3):25~30.

[6] 汪 玺. 草产品加工技术[M]. 北京:金盾出版社,

2002. 72~74.

[7] Masuko T, Kodama I, Ohta N. Effects of addition of formic acid or mixture of bacterial inoculant and enzyme on fermentation of orchardgrass (*Dactylis glomerata* L.), timothy (*Phleum pratense* L) and alfalfa (*Medicago sativa* L) silages[J]. Grassland Science, 1996, 42(1):13~19.

[8] 增子孝義,円井更織,藤田希,等. 蟻酸、乳酸菌製剤および乳酸菌製剤と酵素剤の混合物の添加が予乾グラスサイレージの発酵品質に及ぼす影響[J]. 日本草地学会誌,1999,45(4):347~355.

[9] 大島光昭,曹力曼,木村英司,等. 前発酵液の添加が水分含量の異なる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,1997,43(1):56~58.

[10] 张 涛,崔宗均,高丽娟,等. 绿汁发酵液和乳酸菌剂 MMD3 在不同含水率苜蓿青贮中的添加试验[J]. 中国农业大学学报,2004,9(5):32~37.

[11] Selmer-Olsen I, Henderson A R, Robertson S, et al. Cell wall degrading enzymes for silage 1. The fermentation of enzyme-treated ryegrass in laboratory silos [J]. Grass and Forage Science, 1993, 48(1):45~54.

[12] 增子孝義,藤田希,円井更織,等. ぎ酸、乳酸菌製剤および乳酸菌製剤と酵素剤の混合物の添加が無予乾グラスサイレージの発酵品質に及ぼす影響[J]. 日本草地学会誌,1997,43(3):278~287.

[13] Weinberg Z G, Ashbell G, Azrieli A. The effect of applying lactic bacteria in ensiling on the chemical and microbiological composition of vetch, wheat and alfalfa silages[J]. Journal of Applied Bacteriology, 1988, 64:1~7.

[14] 友田裕代,大桃定洋,田中治,等. *Acremonium cellulyticus* Y-94 由来のセルラーゼの添加がアルファ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.

[15] 艾尼瓦尔艾山,安宅一夫,樽崎昇,等. *Acremonium cellulyticus* Y-94 由来の細胞壁分解酵素の添加がサイレージの発酵品質,乾物回収率および細胞壁成分に及ぼす影響[J]. 日本草地学会誌,1998,44(2):155~158.

[16] Ely L O, Moon N J, Sudweeks E M. Chemical evaluation of lactobacillus addition to alfalfa, corn, sorghum, and wheat forage at ensiling[J]. Journal of Dairy Science, 1982, 65(6):1 041~1 046.

[17] 松岡栄,Lourdes Noemi Branda,藤田裕,等. 乳酸菌、セルラーゼ添加牧草サイレージの貯蔵中における

- 构造性炭水化物の分解とその*in vitro*消化率に及ぼす影響[J]. 日本畜産学会報, 1997, 68(7): 661~667.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 森本宏. 家畜栄養実験法[M]. 東京: 養賢堂発行, 1971. 1~149.
- [21] パピルス株式会社編集. エクセル統計[M]. 東京: 社会情報サービス株式会社, 1995. 1~78.
- [22] 庄益芬, 张文昌, 方秀云, 等. 添加緑汁発酵液对不同含水率象草青贮品质的影响[J]. 江西农业大学学报, 2007, 29(2): 270~274.
- [23] 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.
- [24] Ohshima M, Ohshima Y, Kimura E, *et al.* Fermentation quality of alfalfa and Italian ryegrass silages treated with previously fermented juices prepared from both the herbage [J]. *Animal Science and Technology*, 1997, 68(1): 41~44.
- [25] Ohshima M, Kimura E, Yokota H. A method of making good quality silage from direct cut alfalfa by spraying previously fermented juice[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 1997, 66(1): 129~137.
- [26] Ohshima M, Cao L M, Kimura E, *et al.* Influence of addition of previously fermented juice to alfalfa ensiled at different moisture contents [J]. *Grassland Science*, 1997, 43(1): 56~68.
- [27] 蔡義民, 大桃定洋, 熊井清雄. 飼料作物・牧草に付着する乳酸菌の分布とその乳酸発酵特性[J]. 日本草地学会誌, 1994, 39(4): 420~428.
- [28] 友田裕代, 徳田宏晴, 中西載慶, 等. *Acremonium cellulyticus* Y-94 由来のセルラーゼ処理によってアルファルファ乾燥粉末から遊離する糖類[J]. 日本草地学会誌, 1996, 42(2): 159~162.
- [29] 吕建敏, 陈民利, 胡伟莲. 添加酶制剂对青贮玉米秸发酵品质和营养价值的影响[J]. 中国畜牧杂志, 2005, 41(7): 18~20.
- [30] 艾尼瓦尔艾山, 安宅一夫, 樽崎昇, 等. サイレージの発酵品質と細胞壁成分に及ぼす添加物と牧草の刈取時期の効果およびその交互作用[J]. 酪農学園大学紀要, 1997, 22(1): 129~138.
- [31] 庄益芬, 安宅一夫, 野英二. 乳酸菌およびセルラーゼ添加アルファルファサイレージの発酵品質, 細胞壁成分および*in vitro*乾物消化率に及ぼす貯蔵温度の影響[J]. 日本草地学会誌, 1999, 45(2): 181~186.
- [32] 大下友子, 名久井忠, 榎木茂彦. 原料草の水分含量がアルファルファサイレージの発酵品質及び飼料価値に及ぼす影響[J]. 東北農試研報, 1992, 84: 159~171.