

添加双乙酸钠对发酵全混合日粮发酵品质和霉菌毒素含量的影响

王子苑 舒健虹* 陈光吉 王小利 李世歌

(贵州省农业科学院草业研究所, 贵阳 550006)

摘要: 本试验旨在研究添加双乙酸钠对发酵全混合日粮(FTMR)发酵品质和霉菌毒素含量的影响, 以为双乙酸钠在 FTMR 生产中的应用提供理论依据。采用完全随机试验设计, 在全混合日粮(TMR)中分别添加 0(对照组)、0.2%、0.4% 和 0.8% 的双乙酸钠, 混合均匀后装袋密封发酵第 7、21、35、49 和 70 天时取样, 对 FTMR 进行感官评定、常规成分含量、发酵参数以及霉菌毒素含量的测定。结果表明: 1) 各组 FTMR 感官评定等级均为“优良”, 双乙酸钠添加量对 FTMR 中粗蛋白质含量无显著影响($P>0.05$), 0.4% 组 FTMR 中中性洗涤纤维含量在发酵第 21 和 49 天时显著高于其余组($P<0.05$), 各双乙酸钠添加组 FTMR 中酸性洗涤纤维含量在发酵第 49 和 70 天时均显著低于对照组($P<0.05$)。2) 0.2% 组 FTMR 具有较低的 pH 和较高的乳酸含量; FTMR 中氨态氮/总氮随双乙酸钠添加量的增加而逐渐降低, 0.8% 组和对照组之间在除发酵第 35 天外的各发酵时间点均存在显著差异($P<0.05$); FTMR 中乙酸含量在 0.8% 组有最大值。3) FTMR 中霉菌毒素含量随双乙酸钠添加量的增加而降低, 其中 0.8% 组的黄曲霉毒素含量在发酵第 70 天时几乎检测不出。4) 随着发酵时间的延长, FTMR 的 pH 以及常规养分和霉菌毒素含量均有不同程度下降, 乳酸和乙酸含量出现上下波动, 各组均在发酵第 35 天时有较低的 pH。由此可见, 添加双乙酸钠能改善 FTMR 的发酵品质, 抑制霉菌毒素的大量繁殖, 减少干物质的损失; 本试验条件下, 双乙酸钠的适宜添加量在 0.2%~0.4%。

关键词: 发酵全混合日粮; 双乙酸钠; 发酵品质; 霉菌毒素

中图分类号: S816

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2020)12-5958-09

发酵全混合日粮(FTMR)是一种将混匀的全混合日粮(TMR)装入发酵装置或裹包保存的发酵型混合饲料^[1]。FTMR 不仅具备了 TMR 技术节省饲料成本、增加干物质采食量和节约劳动力和时间等优点, 同时还解决了目前国内中小型养殖场使用 TMR 技术的局限性, 由于中小型养殖场牲畜数量少 TMR 饲喂量不大, 加之 TMR 存储期短易发霉变质, 若不及时处理很容易造成饲料浪费。FTMR 制作原理类似于半干青贮, 高水分含量的牧草或农作物副产品与低水分含量的精料混合青

贮, 具有减少渗出液损失、延长贮存时间、改善适口性、缓解能量负平衡等优点^[2]。王福金等^[3]对 TMR 发酵过程中乳酸菌的变化进行了研究, 发现乳酸菌的种类随着发酵时间的延长而逐渐增多。李长春等^[1]研究发现, 与未发酵的 TMR 对照组相比, 饲喂 FTMR 的羔羊肉质风味佳, 同时还提高了育肥性能和屠宰性能。

大量研究证实双乙酸钠(SDA)是一种安全的、能高效防霉的饲料添加剂。丁良等^[4]研究发现, 添加 0.5% 双乙酸钠能提高 FTMR 中乳酸含

收稿日期: 2020-05-18

基金项目: 贵州省科技计划项目(黔科合支撑[2017]2591, 黔科合支撑[2018]2376-1); 贵州省科技成果转化项目(黔科合成果[2017]4117); 贵州省科研机构创新能力建设专项(黔科合服企[2019]4010)

作者简介: 王子苑(1990—), 女, 贵州遵义人, 助理研究员, 硕士, 从事反刍动物营养与饲料研究。E-mail: wangziyuan525@163.com

* 通信作者: 舒健虹, 高级农艺师, E-mail: gszjhong@126.com

量,获得较低的 pH、氨态氮/总氮和丁酸含量,同时明显提高干物质回收率和有氧稳定性。研究表明,在家禽饲料中添加双乙酸钠能提高雏鸡的存活率和蛋鸡的产蛋率^[5],在奶牛饲料中添加 0.3% 的双乙酸钠能提高产奶量和乳脂率^[6],在断奶仔猪饲料中添加双乙酸钠能促进肠道健康,提高养分消化率、日增重和胴体瘦肉率^[7]。然而,关于双乙酸钠研究大部分集中于动物生产,对在青贮原料中添加双乙酸钠抑制霉菌繁殖的研究较少。本试验通过研究添加双乙酸钠对 FTMR 发酵品质和霉菌毒素含量的影响,筛选出双乙酸钠的适宜添加量,以期双乙酸钠在 FTMR 生产中的应用提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

TMR 由鲜草、苜蓿干草和精料组成,鲜草为种植于贵州省罗甸县的皇竹草,在高度达 1.5~2.0 m 时刈割,苜蓿干草购于甘肃某牧草饲料科技有限公司,精料由玉米、麦麸、豆粕、碳酸氢钙、食盐和预混料等组成;添加剂双乙酸钠购于连云港某生物科技有限公司。

1.2 FTMR 的制备

采用完全随机试验设计,按照配方要求,将双乙酸钠按 0(对照组)、0.2%、0.4% 和 0.8% 的添加量(双乙酸钠的添加量以 TMR 鲜重为基础)加入到预先混匀的精料中,分组装好待配 TMR, TMR 组成及营养水平见表 1。将鲜草揉切成 2~3 cm,按照试验设计将精料和粗料添加到 TMR 搅拌车中混匀,通过添加适量水使搅拌均匀的 TMR 含水率达到 60%。用“四分法”取制作好的 TMR,装入真空袋,抽出空气随即密封并存放在室内干燥地面上,每个双乙酸钠的添加量制备 15 袋,每袋净重 1.5 kg。

1.3 样品采集

在发酵第 7、21、35、49 和 70 天打开真空袋,先对青贮料样品进行感官评定,然后按照 4 分法采集样品,一部分(500 g)青贮料样品于 65 ℃ 烘箱烘至恒重,粉碎过 40 目筛制成风干样,用于常规养分含量的测定;另一部分(500 g)青贮料样品直接保存于-20 ℃,用于霉菌毒素含量的测定;最后一部分(20 g)青贮料样品加 180 mL 蒸馏水,榨汁机搅拌捣碎后用 4 层纱布和定性滤纸过滤得浸出液,所得浸出液一部分用于 pH 测定,另一部分-20 ℃ 保存,用于发酵品质的测定。

表 1 TMR 组成及营养水平

Table 1 Composition and nutrient levels of TMR¹⁾

%

项目 Items	双乙酸钠的添加量 SDA addition amount/%			
	0	0.2	0.4	0.8
原料 Ingredients				
皇竹草 <i>Pennisetum hybridum</i>	57.30	57.30	47.90	48.00
苜蓿干草 Alfafa hay	24.50	24.50	32.00	32.00
玉米 Corn	10.93	10.92	12.06	12.06
麦麸 Wheat middlings	3.09	3.09	3.42	3.42
豆粕 Soybean meal	2.73	2.73	3.01	3.00
碳酸氢钙 CaHPO ₄	0.18	0.17	0.20	0.20
食盐 NaCl	0.27	0.27	0.30	0.30
预混料 Premix ²⁾	0.18	0.18	0.20	0.20
双乙酸钠 SDA		0.14	0.31	0.62
沸石粉 Zeolite meal	0.82	0.70	0.60	0.20
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels ³⁾				
干物质 DM	45.57	45.57	52.01	52.03
粗蛋白质 CP	16.54	16.54	16.13	16.14
粗脂肪 EE	2.15	2.15	2.22	2.22
酸性洗涤纤维 ADF	10.95	10.95	9.78	9.80
中性洗涤纤维 NDF	38.58	38.58	37.20	37.25

续表 1

项目 Items	双乙酸钠的添加量 SDA addition amount/%			
	0	0.2	0.4	0.8
粗灰分 Ash	8.60	8.60	8.47	8.48
钙 Ca	0.80	0.80	0.84	0.84
磷 P	0.23	0.23	0.23	0.23

1) 原料中皇竹草为鲜物质基础,其他原料为风干基础;营养水平为干物质基础。Ingredients of *Pennisetum hybridum* based on fresh matter and other ingredients based on air-dry. Nutrient levels based on dry matter.

2) 预混料为每千克精料提供 The premix provided the following per kg of concentrated feeds: Cu (as copper sulfate) 10 mg, Fe (as ferrous sulfate) 50 mg, Mn (as manganese sulfate) 20 mg, Zn (as zinc sulfate) 30 mg, Se (as sodium selenite) 0.10 mg, I (as potassium iodide) 0.50 mg, VA 1 500 IU, VD 550 IU, VE 10 IU.

3) 营养水平均为计算值。Nutrient levels were calculated values.

1.4 指标测定及方法

1.4.1 感官评定

参考德国农业协会 (DLG) 青贮质量感官评分标准^[8],根据气味、结构和色泽对青贮料样品进行优劣评定。DLG 感官评分标准包括嗅味、结构和色泽 3 个部分,从青贮料是否有丁酸味、霉味和芳香果味,茎叶结构是否保存完好,色泽是否与原材料相似或变色严重等方面分别评分,各项相加总分分为 4 个等级,分别为良好 (20~16 分)、尚好 (15~10 分)、中等 (9~5 分)、腐败 (4~0 分)。

1.4.2 常规养分含量的测定

参照《饲料分析及饲料质量检测技术》^[9],采用凯氏定氮法测定粗蛋白质 (CP) 含量,烘干恒重法测定干物质 (DM) 含量, Van Soest 法测定中性洗涤纤维 (ADF) 和酸性洗涤纤维 (NDF) 含量。

1.4.3 发酵参数的测定

pH 参照韩立英等^[10]的测定方法,采用雷磁 E-201-C 型 pH 计测定。氨态氮 ($\text{NH}_3\text{-N}$) 含量采用苯酚-次氯酸钠比色法^[11]测定。总氮 (TN) 含量采用凯氏定氮法测定。乳酸 (LA)、乙酸 (AA)、丙酸 (PA) 和丁酸 (BA) 含量采用岛津 LC-20A 型高效液相色谱仪测定,色谱柱: InertSustain C18 (5 μm ×4.6 mm×250 mm); 流动相由 pH 2.8 的 0.05 mol/L $\text{H}_3\text{PO}_4\text{-KH}_2\text{PO}_4$ 缓冲溶液与乙腈以体积比 95:5 组成,流速为 0.5 mL/min,柱温为 16 $^\circ\text{C}$,紫外检测器的波长为 210 nm,进样体积 10 μL 。

1.4.4 霉菌毒素含量的测定

用酶联免疫吸附测定 (ELISA) 试剂测黄曲霉毒素 (AF)、呕吐毒素 (DON) 和玉米赤霉烯酮 (ZEA) 含量,试剂盒购自上海快灵生物科技有限

公司,具体步骤参考张志国等^[12]的报道。

1.5 数据处理与分析

试验数据先用 Excel 2007 整理,后采用 SPSS 17.0 软件的“一般线性模型”程序进行方差分析,并采用 Duncan 氏法进行多重比较,结果以“平均值±标准差”表示。

2 结果与分析

2.1 添加双乙酸钠对 FTMR 感官评分的影响

TMR 在装袋时因混有精料,故总体颜色呈现淡黄绿色,并伴有鲜草清香。随着发酵时间的延长,FTMR 颜色逐渐变黄,在发酵第 7 天开包时 FTMR 已有明显的发酵芳香味,到第 35 天开包时色泽呈现出趋于稳定的黄色。各组青贮料样品均结构完整,直至发酵第 70 天也未出现丁酸臭味或腐败味,总分等级均为“优良”,综合 5 个发酵时间点的感官评分,以 0.4% 组得分最高,0.2% 和 0.8% 组次之 (表 2)。

2.2 添加双乙酸钠对 FTMR 常规养分含量的影响

由表 3 可知,各组 CP 含量随发酵时间的延长逐渐下降,发酵第 49 和 70 天时显著低于发酵第 7、21 和 35 天时 ($P<0.05$); 相同发酵时间下,CP 含量随双乙酸钠添加量的增加呈现先升高后降低的趋势,在 0.4% 组达到最高,但组间差异不显著 ($P>0.05$)。NDF 和 ADF 含量均随发酵时间的延长先下降而后趋于稳定;发酵第 21 和 49 天时,0.4% 组 NDF 含量显著高于其余组 ($P<0.05$); 发酵第 49 和 70 天时,双乙酸钠添加组 ADF 含量均显著低于对照组 ($P<0.05$),且各双乙酸钠添加组之间差异不显著 ($P>0.05$)。

表 2 添加双乙酸钠对 FTMR 感官评分的影响

Table 2 Effects of SDA addition on sensory score of FTMR

分

双乙酸钠添加量 SDA addition amount/%	发酵时间 Fermentation time/d				
	7	21	35	49	70
0	17	18	18	17	17
0.2	17	18	19	19	18
0.4	17	19	19	19	18
0.8	17	18	19	19	18

表 3 添加双乙酸钠对 FTMR 常规养分含量的影响(干物质基础)

Table 3 Effects of SDA addition on conventional nutrient contents of FTMR (DM basis)

%

项目 Items	双乙酸钠添加量 SDA addition amount/%	发酵时间 Fermentation time/d				
		7	21	35	49	70
粗蛋白质 CP	0	13.22±0.11 ^c	12.46±0.13 ^b	12.28±0.08 ^b	11.90±0.13 ^a	11.77±0.24 ^a
	0.2	13.45±0.31 ^b	12.79±0.25 ^{ab}	12.63±0.04 ^{ab}	12.16±0.15 ^a	11.97±0.68 ^a
	0.4	13.71±0.35 ^c	13.55±0.66 ^{bc}	12.42±0.15 ^{ab}	12.44±0.07 ^{ab}	12.25±0.62 ^a
	0.8	13.08±0.18 ^b	13.07±0.42 ^b	12.42±0.12 ^{ab}	12.13±0.41 ^a	11.71±0.34 ^a
中性洗涤 纤维 NDF	0	44.97±1.18 ^A	44.81±1.00 ^A	43.36±1.00	44.06±0.99 ^A	43.00±1.17
	0.2	45.91±1.88 ^{AB}	44.52±1.73 ^A	45.67±1.26	44.18±0.42 ^A	43.39±1.58
	0.4	48.63±0.76 ^{Bc}	48.08±0.33 ^{Bbc}	45.65±0.53 ^{ab}	47.77±1.05 ^{Bbc}	44.52±1.88 ^a
	0.8	45.25±0.35 ^A	44.42±0.58 ^A	42.88±1.55	43.19±1.07 ^A	43.13±3.21
酸性洗涤 纤维 ADF	0	26.29±0.23 ^{ab}	25.74±0.28 ^{Bab}	26.40±0.09 ^{Bb}	25.63±0.58 ^{Bab}	25.27±0.57 ^{Ba}
	0.2	24.80±1.52	23.77±0.93 ^A	23.38±1.25 ^A	23.16±0.89 ^A	22.17±1.68 ^A
	0.4	23.93±0.09 ^b	23.79±0.44 ^{Ab}	24.45±0.04 ^{ABb}	22.02±0.20 ^{Aa}	21.65±0.37 ^{Aa}
	0.8	25.13±1.12	24.29±0.15 ^{AB}	24.25±1.44 ^{AB}	23.10±0.98 ^A	22.91±0.02 ^{AB}

同列数据肩标不同大写字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 同行数据肩标不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。下表同。

In the same column, values with different capital letter superscripts mean significant difference ($P < 0.05$); in the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference ($P < 0.05$). The same as below.

2.3 添加双乙酸钠对 FTMR 发酵参数的影响

由表 4 可知, 各组 pH 随发酵时间的延长总体呈现先下降后升高的趋势, 并均在发酵第 35 天达到最低值, 发酵时间对照组的 pH 无显著影响, 但显著影响了各双乙酸钠添加组的 pH ($P < 0.05$); 在双乙酸钠添加量的影响下, 0.2% 组 pH 显著低于对照组、0.4% 和 0.8% 组 ($P < 0.05$), 其中最低值为 4.17。随着发酵时间的延长, $\text{NH}_3\text{-N}/\text{TN}$ 逐渐升高, 发酵在第 70 天达到最大值; 相同发酵时间下, 随着双乙酸钠添加量的增加, $\text{NH}_3\text{-N}/\text{TN}$ 逐渐降低, 在 0.8% 组达到最低值, 除发酵第 35 天外, 0.8% 组和对照组之间在各发酵时间点均存在显著差异 ($P < 0.05$)。各组均未检测到丙酸和丁酸, 乳酸和乙酸含量随发酵时间的延长处于上下波动状态, 各组在发酵第 21 天时均较发酵第 7 天时显著增加 ($P < 0.05$) 并于发酵第 35 天时达到最大值; 各

发酵时间点的 0.2% 组乳酸含量均显著高于对照组、0.4% (发酵第 35 天时除外) 和 0.8% 组 ($P < 0.05$); 各发酵时间点乙酸含量均随双乙酸钠添加量的增加而持续升高, 且 0.8% 显著高于其他各组 (发酵第 7 天时 0.4% 组除外)。

2.4 添加双乙酸钠对 FTMR 霉菌毒素含量的影响

整个发酵过程中, 各组 AF 含量先从发酵第 7 天的 6.67 ~ 16.18 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 下降到发酵第 35 天的 0.49 ~ 2.92 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 降低 5.54 ~ 13.61 倍, 此后逐渐下降达到稳定期; 相同发酵时间下, AF 含量随双乙酸钠添加量的增加逐渐下降, 各双乙酸钠添加组均显著低于对照组 ($P < 0.05$)。在发酵第 21 天时, DON 和 ZEA 含量较发酵第 7 天时有小幅度上升, 而后随着发酵时间的延长缓慢下降; 各发酵时间点 DON 和 ZEA 含量均随双乙酸钠添加量的增

加而下降,且 0.8%组与对照组的差异均达到显著水平($P<0.05$)。

表 4 添加双乙酸钠对 FTMR 发酵参数的影响

Table 4 Effects of SDA addition on fermentation parameters of FTMR

项目 Items	双乙酸钠添加量 SDA addition amount/%	发酵时间 Fermentation time/d				
		7	21	35	49	70
pH	0	4.57±0.10 ^B	4.46±0.26	4.36±0.13	4.37±0.16	4.51±0.18 ^B
	0.2	4.34±0.02 ^{Ab}	4.31±0.03 ^b	4.17±0.05 ^a	4.35±0.03 ^b	4.30±0.03 ^{Ab}
	0.4	4.72±0.11 ^{Bc}	4.40±0.01 ^b	4.23±0.05 ^a	4.38±0.02 ^b	4.36±0.03 ^{ABb}
	0.8	4.67±0.07 ^{Bb}	4.39±0.07 ^a	4.35±0.03 ^a	4.44±0.04 ^a	4.40±0.08 ^{ABa}
氨态氮/总氮 NH ₃ -N/TN	0	1.52±0.09 ^{Ca}	1.70±0.03 ^{Ba}	1.71±0.05 ^a	1.74±0.10 ^{Ca}	2.23±0.28 ^{Cb}
	0.2	1.35±0.07 ^C	1.37±0.06 ^{AB}	1.42±0.81	1.46±0.19 ^{BC}	2.01±0.02 ^{BC}
	0.4	0.93±0.02 ^B	1.15±0.36 ^A	1.26±0.65	1.29±0.03 ^{AB}	1.73±0.08 ^{AB}
	0.8	0.75±0.04 ^{Aa}	0.87±0.13 ^{Aab}	1.02±0.01 ^b	1.03±0.04 ^{Ab}	1.51±0.10 ^{Ac}
乳酸 LA/%	0	1.96±0.02 ^{ABa}	4.26±1.00 ^{Acd}	5.45±0.61 ^{Bd}	3.62±0.01 ^{Bbc}	2.63±0.06 ^{Bab}
	0.2	2.90±0.30 ^{Ca}	6.49±0.08 ^{Bd}	7.83±0.04 ^{Ce}	5.18±0.16 ^{Cc}	4.72±0.04 ^{Db}
	0.4	2.28±0.15 ^{Ba}	4.13±0.32 ^{Ab}	7.30±0.04 ^{Cc}	4.16±0.01 ^{Bb}	4.01±0.04 ^{Cb}
	0.8	1.78±0.06 ^{Aa}	2.90±0.19 ^{Ac}	3.48±0.20 ^{Ad}	2.38±0.41 ^{Abc}	2.22±0.01 ^{Aab}
乙酸 AA/%	0	1.46±0.35 ^{Aa}	3.78±0.14 ^{Ab}	3.85±0.55 ^{Ab}	3.58±0.06 ^{Ab}	2.10±0.01 ^{Aa}
	0.2	1.92±0.01 ^{Aa}	4.70±0.35 ^{Bb}	5.65±0.05 ^{Bd}	5.34±0.34 ^{Bcd}	4.87±0.18 ^{Bbc}
	0.4	3.16±0.03 ^{Ba}	4.89±0.01 ^{Bb}	6.61±0.16 ^{Cd}	5.61±0.43 ^{Bc}	5.29±0.30 ^{Bbc}
	0.8	3.21±0.01 ^{Ba}	7.05±0.06 ^{Cc}	8.14±0.08 ^{Dc}	7.87±0.08 ^{Cd}	6.86±0.01 ^{Cb}

表 5 添加双乙酸钠对 FTMR 霉菌毒素含量的影响

Table 5 Effects of SDA addition on mycotoxin contents of FTMR

μg/kg

项目 Items	双乙酸钠添加量 SDA addition amount/%	发酵时间 Fermentation time/d				
		7	21	35	49	70
黄曲 霉素 AF	0	16.18±0.50 ^{Cc}	7.56±0.71 ^{Bb}	2.92±0.60 ^{Ba}	2.03±0.91 ^{Ba}	1.56±0.16 ^{Ca}
	0.2	12.31±0.93 ^{Bc}	6.02±0.14 ^{ABb}	1.39±0.51 ^{Aa}	1.11±0.20 ^{ABa}	1.03±0.18 ^{Ba}
	0.4	11.07±0.35 ^{Bc}	5.78±0.61 ^{Ab}	1.02±0.25 ^{Aa}	1.00±0.17 ^{ABa}	0.59±0.13 ^{Aa}
	0.8	6.67±0.48 ^{Ac}	5.53±0.66 ^{Ab}	0.49±0.23 ^{Aa}	0.38±0.22 ^{Aa}	0.20±0.13 ^{Aa}
呕吐 毒素 DON	0	266.05±23.91 ^B	255.15±79.95 ^B	202.34±65.92 ^B	204.50±14.76 ^C	201.05±41.60 ^B
	0.2	129.68±12.28 ^{Aa}	194.84±15.44 ^{ABb}	118.02±10.85 ^{ABa}	114.89±22.39 ^{Ba}	105.26±36.69 ^{Aa}
	0.4	123.56±15.86 ^{Aab}	159.67±12.27 ^{ABb}	105.90±17.45 ^{ABa}	107.60±18.77 ^{Ba}	102.59±25.84 ^{Aa}
	0.8	95.19±8.92 ^{Ab}	129.29±14.52 ^{Ab}	55.35±18.83 ^{Aa}	48.91±15.01 ^{Aa}	44.33±14.97 ^{Aa}
玉米赤 霉烯酮 ZEA	0	155.22±17.96 ^B	164.60±13.56 ^B	146.18±29.98 ^B	128.00±25.17 ^B	126.55±36.84 ^B
	0.2	135.20±21.21 ^{AB}	131.49±15.66 ^{AB}	123.70±18.53 ^{AB}	103.05±24.82 ^{AB}	92.80±10.75 ^{AB}
	0.4	136.80±24.75 ^{AB}	119.25±25.95 ^{AB}	106.69±28.56 ^{AB}	94.55±12.79 ^{AB}	89.95±9.26 ^{AB}
	0.8	92.23±13.15 ^A	84.45±29.91 ^A	66.55±18.87 ^A	66.25±18.46 ^A	62.70±16.69 ^A

3 讨论

3.1 添加双乙酸钠对 FTMR 感官评定的影响

双乙酸钠作为乙酸衍生物具有较强的抑菌功能,是一种广泛用于食品和饲料中的防腐保鲜剂,

本试验中所有组 TMR 在发酵 70 d 后均有较好的颜色、气味和结构,即便是没有添加双乙酸钠的对照组也表现出良好的青贮效果,说明精料和粗料混合青贮为乳酸菌发酵提供了一定的含糖量,使得乳酸菌在短时间内产生大量乳酸而降低了 pH,

从而抑制有害菌在发酵过程中的大量繁殖,有利于 TMR 的长期保存。各双乙酸钠添加组 FTMR 的果味较对照组浓重,可能是由于双乙酸钠分解出较多的乙酸导致的。

3.2 添加双乙酸钠对 FTMR 常规养分含量的影响

本试验结果表明,与对照组相比,添加双乙酸钠能提高 FTMR 中 NDF 含量,降低 ADF 含量,说明添加双乙酸钠能降低半纤维素在青贮过程中的降解,提高饲料消化率,这与国卫杰等^[13]的研究结果一致。双乙酸钠添加组 FTMR 中 CP 含量稍高于对照组,以 0.4% 组最高,但双乙酸钠添加量对 CP 含量的影响不显著。李艳芬等^[14]的研究表明,在苜蓿中添加双乙酸钠能显著提高 CP 含量,可在一定程度上改善贮存后苜蓿的营养价值。双乙酸钠的添加量并非越高效果越佳,本试验中 0.2% 和 0.4% 组 CP 和 NDF 含量在数值上要高于 0.8% 组,这表明在一定程度上添加双乙酸钠能降低发酵过程中有害微生物对物料的养分消耗和氧化损失,从而提升营养物质的相对含量^[4]。此外,随着发酵时间的延长,各组 CP 含量有所下降,可能是青贮过程中发生的化学变化引起发酵损失而造成的^[15],这与王晶等^[16]、张放等^[17]报道的青贮料养分动态变化一致。NDF 和 ADF 含量在整个发酵期内呈现上下浮动但总体下降的趋势,这是青贮过程中纤维素或半纤维素的降解与发酵损失共同作用的结果。

3.3 添加双乙酸钠对 FTMR 发酵参数的影响

Catchpoole 等^[18]认为当 pH 下降到 4.2 以下时只有少数的乳酸菌存在,代表着青贮发酵进入稳定阶段。由于本试验所用发酵原料中混合有精料,故发酵后的 pH 与纯牧草青贮料相比会有所升高。各组 pH 均在发酵第 35 天时达到最低值,而后趋于稳定,添加双乙酸钠能降低 pH,其中 0.2% 组 pH 最低,为 4.11,同时 0.2% 组的乳酸含量要高于其余 2 个双乙酸钠添加组,说明 FTMR 中含有的乳酸菌在适宜条件下大量繁殖产生大量乳酸,使得青贮料酸度升高,pH 下降。随双乙酸钠添加量的增加,乙酸含量逐渐升高,可能是因为双乙酸钠在自然状态下能分解乙酸。本试验在所有青贮料样品中均未检测到丙酸和丁酸,可能是与 FTMR

青贮品质良好有关,发酵过程中没有产生或者产生极少量的丙酸和丁酸。刘振阳等^[19]研究添加双乙酸钠对混贮发酵品质的影响时发现,发酵到第 30 天时 pH 为 4.03,随后趋于稳定,并且 0.3% 组的发酵品质要优于 0.5% 组,这一结果与本研究相似,这是因为双乙酸钠作为一种霉菌抑制剂虽然能有效抑制有害菌的繁殖,但同型乳酸菌对双乙酸钠的耐受性较低,过量添加会抑制乳酸菌活性,降低乳酸和挥发性脂肪酸的产生,从而影响一系列发酵参数。 $\text{NH}_3\text{-N}/\text{TN}$ 反映了发酵过程中蛋白质和氨基酸的分解程度,比值越低说明蛋白质分解的越少,青贮品质越好^[20]。本试验发现添加双乙酸钠能降低 FTMR 的 $\text{NH}_3\text{-N}/\text{TN}$,可能是双乙酸钠能有效抑制腐败微生物对蛋白质的降解,使得发酵过程中胺或氨的生成减少,从而提高了青贮品质。有分析认为,双乙酸钠中的乙酸钠具有干燥剂功能,能吸附青贮过程中产生的渗出液,破坏青贮料中蛋白质的降解环境,从而减少 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的生成^[14]。此外,由于乙酸能通过降低青贮料的 pH 达到抑制有害菌的目的,因此可通过乙酸含量的高低来预测青贮料有氧稳定性的优劣^[21]。从本试验结果来看,发酵 49 d 之前青贮料的 $\text{NH}_3\text{-N}/\text{TN}$ 随发酵时间的延长缓慢升高,增幅不大,但发酵 49 d 后 $\text{NH}_3\text{-N}/\text{TN}$ 明显增加,说明发酵时间会影响青贮品质,这与 Luchini 等^[22]、贾戊禹等^[23]的研究结果一致。

3.4 添加双乙酸钠对 FTMR 霉菌毒素含量的影响

霉菌毒素是霉菌在被污染的作物上产生的有毒代谢产物,在作物的大田生长、收获以及贮存过程中均有可能生成,湿度和温度是影响霉菌毒素生成的重要因素。霉菌分布广泛,可通过食品或饲料进入人和动物体内,从而引发急性或慢性毒性。青贮料中常见的霉菌毒素主要有 AF、DON、ZEA 和伏马菌素 (FB) 等。张新慧等^[24]研究表明,添加双乙酸钠能抑制青贮料中霉菌和酵母菌的生成,提高其有氧稳定性。刘振阳等^[19]研究发现,在苜蓿与小麦的混贮料中添加双乙酸钠能明显延长开袋后有氧变质的时间,改善青贮品质,提升有氧稳定性。本试验中,添加双乙酸钠能显著降低 FTMR 中 AF、DON 和 ZEA 含量,可能是双乙

酸钠分解产生的乙酸可穿透细胞壁干扰酶的相互作用,致使胞内蛋白质变性无法进行正常新陈代谢而死亡,从而达到抑制细菌滋生的效果^[5],这与 Danner 等^[25]的研究结果一致。发酵第 21 天时各组 AF 含量较发酵第 7 天时显著降低而后逐渐递减,到发酵第 70 天 0.4% 和 0.8% 组几乎检测不到 AF。虽然各组 FTMR 的感官评定等级均为“优良”,未见青贮料有发霉变质的现象,但检测结果表明其仍被霉菌毒素污染,特别是 DON 和 ZEA 含量,虽然随着发酵时间延长呈下降趋势最后趋于稳定,但直到发酵第 70 天时也还能检测出。分析其原因,可能是 DON 属于单端孢酶烯族化合物,化学性能稳定,而 ZEA 具有酚的内酯结构,它们在酸性环境下毒力几乎不受影响,尤其是 DON,高温高压下也仅有少量会被破坏,强耐藏性使其在发酵第 70 天时依然能检测出。王晶晶等^[26]认为,霉菌毒素可以从未明显表现出被污染的青贮料中分离出来。马燕等^[27]从苜蓿青贮过程中霉菌毒素的变化规律中发现,青贮开始的前 3~5 d, AF、ZEA 和 DON 含量明显增加,其中 AF 和 DON 含量较发酵前增幅最大,分别达 4.1 和 7.4 倍,此后随发酵时间延长 DON 含量缓慢增加,而其余指标趋于平稳。这与本试验中霉菌毒素含量动态变化规律一致,说明在有氧发酵阶段霉菌大量繁殖产生霉菌毒素,当 pH 进一步下降到乳酸菌成为优势菌群时,霉菌活动受限,霉菌毒素产量逐渐减少,但依然不断累积。

4 结 论

在整个青贮过程中,FTMR 的养分含量以及发酵参数随着发酵时间的延长呈现出动态变化趋势;添加双乙酸钠能抑制青贮过程中霉菌毒素的大量繁殖,减少干物质的损失,改善 FTMR 的发酵品质;在本试验条件下,双乙酸钠的添加量以 0.2%~0.4% 较佳。

参考文献:

[1] 李长春,成启明,王志军,等.饲草型 FTMR 对羔羊生产性能的影响[J].中国草地学报,2017,39(2): 90-95.

[2] 马晓宇,朱风华,葛蔚,等.含水率和发酵时间对以全株玉米为基础的发酵全混合日粮养分的影响[J].

动物营养学报,2019,31(5):2367-2377.

- [3] 王福金,西野直树,王靖宇.应用 PCR-DGGE 技术对发酵全混合日粮中可培养乳酸菌的调查[J].动物营养学报,2010,22(6):1636-1643.
- [4] 丁良,原现军,闻爱友,等.添加剂对西藏啤酒糟全混合日粮青贮发酵品质及有氧稳定性的影响[J].草业学报,2016,25(7):112-120.
- [5] 陈文宁,王琤韡.浅谈双乙酸钠在动物生产中的应用[J].江西饲料,2018(1):10-12.
- [6] 田希文,王义忠,张淑凤.双乙酸钠对奶牛增乳的应用试验[J].宁夏农林科技,2001(3):38.
- [7] 王国良,孙永贵,黄大鹏,等.双乙酸钠对育肥猪生长性能及肌肉品质的影响[J].黑龙江八一农垦大学学报,2008,20(1):59-62.
- [8] ZHU Y, NISHINO N, KISHIDA Y, et al. Ensiling characteristics and ruminal degradation of Italian ryegrass and Lucerne silages treated with cell wall-degrading enzymes[J]. Science, 1999, 79(14): 1987-1992.
- [9] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].3版.北京:中国农业大学出版社,2007:56-74.
- [10] 韩立英,张英俊,玉柱.生物添加剂对全株玉米青贮饲料中黄曲霉毒素的影响[J].中国畜牧杂志,2010,46(23):63-66.
- [11] WEATHERBURN M W. Phenol-hypochlorite reaction for determination of ammonia[J]. Annual of Chemistry, 1967, 39(8): 971-974.
- [12] 张志国,王丹,高阳,等.添加复合益生菌对全混合日粮发酵品质的影响[J].中国畜牧兽医,2017,44(12):3536-3542.
- [13] 国卫杰,王加启,王晶,等.添加不同水平双乙酸钠对裹包 TMR 贮存效果的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2009,37(12):45-50.
- [14] 李艳芬,程金花,田川尧,等.双乙酸钠对苜蓿青贮品质、营养成分及蛋白分子结构的影响[J].草业学报,2020,29(2):163-171.
- [15] OWENS V N, ALBRECHT K A, MUCK R E. Protein degradation and fermentation characteristics of unwilted red clover and alfalfa silage harvested at various times during the day[J]. Grass and Forage Science, 2002, 57(4): 329-341.
- [16] 王晶,王加启,卜登攀,等.裹包贮存对全混合日粮品质的影响[J].农业工程学报,2009,25(5):280-283.
- [17] 张放,蔡海莹,王志耕,等.不同品种全株饲用大麦青

- 贮发酵品质及其营养成分动态变化研究[J].中国奶牛,2014,23(24):1-8.
- [18] CATCHPOOLE V R, HENZELL E F. Silage and silage making from tropical herbage species[J]. *Herbage Abstracts*, 1971, 41(3):213-221.
- [19] 刘振阳,孙娟娟,姜义宝,等.双乙酸钠对苜蓿与小麦混合青贮发酵品质和有氧稳定性的影响[J].中国草地学报,2017,39(2):85-89.
- [20] 邱小燕,姚元枝,潘润泽,等.双乙酸钠和糖蜜对秸秆 TMR 青贮发酵品质及有氧稳定性的影响[J].草业科学,2019,36(10):2703-2711.
- [21] WEN A Y, YUAN X J, WANG J, et al. Effects of four short-chain fatty acids or salts on dynamics of fermentation and microbial characteristics of alfalfa silage[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2017, 223:141-148.
- [22] LUCHINI N D, BRODERICK G A, MUCK R E, et al. Effect of storage system and dry matter content on the composition of alfalfa silage[J]. *Journal of Dairy Science*, 1997, 80(8):1827-1832.
- [23] 贾成禹,程俊康,辛国荣,等.晾干及青贮时间对高水分多花黑麦草青贮效果的影响研究[J].草学,2019(6):13-19.
- [24] 张新慧,张永根,赫英飞.添加两种乙酸钠盐对玉米青贮品质及有氧稳定性的影响[J].中国农业科学,2008,41(6):1810-1815.
- [25] DANNER H, HOLZER M, MAYRHUBER E, et al. Acetic acid increases stability of silage under aerobic conditions[J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2003, 69(1):562-567.
- [26] ARAGON Y A, RODRIGUES I, HOFSTETTER U, 等.青贮饲料中霉菌毒素的发生和预防[J].王晶晶,译.国外畜牧学(猪与禽),2013,33(11):102-105.
- [27] 马燕,孙国君.苜蓿青贮过程中霉菌毒素含量变化初探[J].饲料研究,2016(1):1-3.

Effects of Adding Sodium Diacetate on Fermentation Quality and Mycotoxin Contents of Fermented Total Mixed Ration

WANG Ziyuan SHU Jianhong* CHEN Guangji WANG Xiaoli LI Shige

(Guizhou Institute of Prataculture, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang 550006, China)

Abstract: The purpose of this experiment was conducted to investigate the effects of adding sodium diacetate on the fermentation quality and mycotoxin contents of fermented total mixed ration (FTMR), in order to provide a theoretical basis for the application of sodium diacetate in FTMR. A completely randomized trial design was used. Added 0 (control group), 0.2%, 0.4% and 0.8% sodium diacetate into total mixed ration (TMR), respectively, mixed evenly, and then bagged and sealed for fermentation. Samples were taken on the 7th, 21st, 35th, 49th and 70th day of fermentation to analyze sensory quality, conventional nutrient contents, fermentation parameters and mycotoxin contents. The results showed as follows: 1) the sensory evaluation of the FTMR of each group was excellent, and different addition amount of sodium diacetate had no significant effect on crude protein content ($P>0.05$); the content of neutral and acid detergent fiber in FTMR of the 0.4% group was significantly higher than in the other groups at the 21st and 49th days of fermentation ($P<0.05$), while the content of acid detergent fiber in the FTMR of each sodium diacetate addition group was significantly lower than that of the control group at the 49th and 70th day of fermentation ($P<0.05$). 2) The FTMR of the 0.2% group had lower pH and higher content of lactic acid; ammonia nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}$)/total nitrogen (TN) in the FTMR decreased gradually with the increase of the sodium diacetate addition amount, and there were significant differences between the 0.8% group and the control group at each fermentation time point except the 35th day of fermentation ($P<0.05$); the content of acetic acid in the FTMR of the 0.8% group had the maximum value. 3) Mycotoxin contents in the FTMR were decreased with the increase of sodium diacetate addition amount, and the aflatoxin content of the 0.8% group was almost undetectable at the 70th day of fermentation. 4) In addition, as the fermentation time extending, pH, the contents of conventional nutrients and mycotoxins in the FTMR were decreased to varying degrees, and the contents of lactic acid and acetic acid were fluctuated up and down; each group had a lower pH at the 35th day of fermentation. It is concluded that adding sodium diacetate can improve the fermentation quality of FTMR, inhibit the proliferation of mycotoxins, and reduce the loss of dry matter. Under the experimental conditions, the appropriate addition amount of sodium diacetate is 0.2% to 0.4%. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32(12):5958-5966]

Key words: fermented total mixed ration; sodium diacetate; fermentation quality; mycotoxins