

## 添加己酸和盐酸对玉米秸秆青贮饲料质量的影响

席兴军 韩鲁佳

(中国农业大学农业工程研究院)

原慎一郎

甘利雅弘

(日本国际农林水产业研究中心) (日本农林水产省畜产试验场)

**摘要** 通过测定盐酸、己酸处理的玉米秸秆青贮饲料的 pH 值、含水率、有机酸含量及组成、干物质消失率、NDF 瘤胃降解率、干物质回收率和青贮饲料化学成分,研究了盐酸、己酸的处理对玉米秸秆青贮饲料质量的影响。试验结果表明:在玉米秸秆青贮饲料中添加盐酸,降低了青贮饲料中乳酸占总酸的比例和干物质回收率,并使青贮饲料的细胞壁物质含量显著增加,明显降低了玉米秸秆青贮饲料的质量;己酸的添加对青贮饲料质量无显著影响( $P > 0.05$ );盐酸和己酸的共同处理除了明显改善青贮饲料的色泽、气味和质地外,还可明显降低青贮饲料中 OB、ADF 和 ADL 的含量( $P > 0.05$ ),显著提高了青贮饲料的营养价值。

**关键词** 青贮饲料; 盐酸添加剂; 己酸添加剂; 玉米秸秆

**中图分类号** S 816.53

## Effects of Hydrochloric Acid and Caproic Acid on Quality of Corn Stover Silage

Xi Xingjun<sup>1</sup>, Han Lujia<sup>1</sup>, HARA Shin-ichiro<sup>2</sup>, Masahiro Amari<sup>3</sup>

(1. Agricultural Engineering Institute, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

2. Japan International Research Center for Agricultural Sciences; 3. Japan National Institute Animal Industry, MAFF)

**Abstract** Effects of hydrochloric acid and caproic acid on quality of corn stover silage were studied by analyzing for pH, DM, organic acid composition and content, DM digestibility, NDF digestibility, DM Recovery, silage chemical composition of silage. Results showed that the addition of hydrochloric acid was decreased obviously, the lactic-to-total acid ratios, DM Recovery were also reduced, and concentrations of organic cell wall(OCW) ( $P < 0.05$ ) were improved. It means that this treatment had debated the silage quality of corn stover silage. Caproic acid treatment had little effects on quality of corn stover silage. Treatment of corn stover with caproic acid and hydrochloric acid could obviously decrease concentrations of OB, ADF, ADL. Meanwhile, it could improve greatly the odor, color, texture of silage. It means that the addition of caproic acid and hydrochloric acid can improve the nutrient quality of silage.

**Key words** silage; hydrochloric acid additives; caproic acid additives; corn stover

我国北方奶牛场多以玉米秸秆为主要青贮原料。在大量制作青贮饲料时,由于青贮前不预

收稿日期: 2002-03-28

中国农业部与日本国际农林水产业研究中心(JIRCA S)合作项目资助

席兴军,北京清华东路 17 号 中国农业大学(东校区)232 信箱, 100083

干,玉米秸秆水分含量高,制成的青贮饲料质量较差。我国各地的青贮原料品种很多,如玉米秸秆、红薯藤、花生秧及紫云英、胡豆苗等,青贮条件也不尽相同,用一般的青贮方法质量难以保证,所以在我国玉米秸秆青贮虽早已在生产中应用,但是质量不稳定,损失较大,效益偏低。国外研究表明,利用各种不同的青贮饲料添加剂来提高玉米青贮饲料质量是一种省力、经济、高效的方法<sup>[1]</sup>。目前国内有关青贮饲料添加剂的研究较少,相关的研究报告也很少,因此,进行这一领域的研究十分必要。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材 料

原料为在黄熟期到完熟期之间收割的3个品种的玉米秸秆(含水率68%~74%):高赖氨酸玉米(中单9409),昌平产;普通玉米(唐抗5号)和高油玉米(农大115),顺义产。己酸和盐酸为市售己酸和盐酸加水稀释制成。

### 1.2 试验设计

每个品种的玉米秸秆分别设对照、己酸处理、盐酸处理、己酸和盐酸混合处理,随机区组设计,2次重复。

### 1.3 青贮饲料调制工艺

将原料揉切至1~4 cm,各组原料均为12 kg。1)对照处理组,加入100 mL水;2)己酸处理组,加入120 mmol己酸;3)盐酸处理组,加入1 440 mmol盐酸;4)己酸和盐酸混和处理组(简称己酸盐酸处理组),分别加入120 mmol的己酸和1 440 mmol的盐酸。将各处理组的原料混和均匀后,分别装入塑料桶内压实密封,在常温下贮存2个月 after 开封。

### 1.4 测定项目和方法

青贮饲料的感官指标、含水率及pH值和有机酸组成的评定,依据农业部颁布的《青贮饲料质量评定标准》<sup>[2]</sup>。干物质消失率和NDF瘤胃降解率用瘤胃尼龙袋法(消化时间48 h)测定,试验在中国农业大学动物科技学院实验小牧场进行<sup>[3]</sup>。中性洗涤纤维(NDF)、酸性洗涤纤维(ADF)、酸性洗涤木质素(ADL)用范氏纤维测定法测定<sup>[4]</sup>,细胞壁物质(OCW)、低消化性纤维(OB)用酶分析法测定<sup>[5]</sup>,pH值用pH计测定,含水率的测定用烘箱干燥法(70℃,48 h)<sup>[4]</sup>。有机酸含量的测定:乳酸含量用GL-C610H型高效液相色谱仪测定(流动相:质量分数为0.2%的磷酸溶液,流速1 mL·min<sup>-1</sup>,温度70℃,检测器UV 210 nm),挥发性脂肪酸含量用GC-8A型气相色谱仪测定(色谱柱外径2.6 mm,内径1.5 mm,柱温为230℃;气化室、检验室温度均为135℃;载气中N<sub>2</sub>压力30 kPa,H<sub>2</sub>压为60 kPa,空气压力50 kPa;灵敏度100)。

## 2 结果与讨论

### 2.1 不同处理对青贮饲料干物质回收率的影响

干物质回收率(DM recovery)是评价青贮饲料质量的重要指标,在保证青贮饲料的色泽、气味和质地结构良好的前提下,干物质回收率越高,说明青贮料发酵过程中碳水化合物等营养物质的降解越少,能更好的保存青绿饲料。干物质回收率在95%~100%时,青贮饲料质量优良;低于85%时,青贮饲料质量不佳。

3种玉米秸秆青贮饲料的干物质回收率见表1。

表1 玉米秸秆青贮饲料的有机酸质量分数和干物质回收率 %

玉米品种	组别	w (有机酸)					干物质回收率
		乳酸	乙酸	丙酸	丁酸	$\sum C_5 \sim nC_6$	
高赖氨酸	对照	2.16	0.57	0.02	0.01	0.04	99.80
	己酸	2.13	0.57	0.03	0.01	0.05	96.11
	盐酸	0.72	0.26	0.03	0	0.02	86.00
	己酸盐	0.52	0.15	0	0	0.08	96.54
普通	对照	1.79	0.60	0.03	0.03	0.03	91.11
	己酸	1.58	0.68	0.01	0	0.09	92.13
	盐酸	0.24	0.25	0.04	0.01	0.02	82.20
	己酸盐	0.33	0.18	0.01	0	0.10	95.90
高油	对照	2.61	0.48	0.02	0	0.02	93.62
	己酸	1.91	0.52	0.01	0	0.08	96.52
	盐酸	0.81	0.21	0.02	0	0.02	87.74
	己酸盐	0.63	0.16	0.01	0	0.10	96.42

注: 为新鲜物料中有机酸的质量分数;  $\sum C_5 \sim nC_6$  表示正戊酸以上的其他酸。

在加有己酸的处理组, 青贮饲料的干物质回收率与对照组之间均无明显差异 ( $P > 0.05$ ); 盐酸处理组的干物质回收率平均值为 85%, 明显低于对照组 (95%) 和己酸盐处理组 (96%)。这表明, 盐酸的处理使得玉米秸秆青贮饲料干物质回收率明显下降。其原因可能是: 盐酸的加入使青贮饲料的渗出液增加, 引起营养物质损失增加, 导致回收率下降。

## 2.2 不同处理对青贮饲料的感官指标、含水率和 pH 值的影响

3 种玉米秸秆青贮饲料的感官指标、含水率及 pH 值综合评分结果见表 2<sup>[2]</sup>。可以看出, 盐酸或己酸的添加对玉米秸秆青贮饲料的感官指标都有一定的改善作用, 得到的青贮料的质量都在良好以上。与对照组相比, 己酸的添加使高赖氨酸玉米、普通玉米和高油玉米秸秆青贮饲料综合评定的得分分别提高 9%, 11% 和 14%, 盐酸己酸处理组分别提高了 10%, 13% 和 15%。综合表 1 和表 2 的结果可知: 在不降低干物质回收率的情况下, 己酸与盐酸共同作用对玉米秸秆青贮饲料发酵品质改善具有明显的作用。

表2 玉米秸秆青贮饲料的感官指标、含水率及 pH 值的综合评分

玉米品种	组别	pH 值	含水率/%	气味	色泽	质地	得分
高赖氨酸	对照	3.72 (20)	69.24 (20)	淡酸味 (15)	褐黄色 (7)	松散 (7)	69 良好
	己酸	3.73 (20)	68.00 (20)	淡酸味 (16)	黄褐色 (11)	松散正常 (8)	75 良好
	盐酸	3.49 (25)	71.31 (17)	酒酸味 (9)	亮黄色 (18)	略粘手 (4)	73 良好
	己酸盐	3.27 (25)	69.55 (20)	酒酸味 (8)	淡黄色 (15)	松散完整 (8)	76 优

续表 2

玉米品种	组 别	pH 值	含水率/%	气味	色泽	质地	得分
普通	对照	3.69 (20)	74.10 (13)	淡酸味 (15)	褐黄色 (7)	松散 (7)	62 良好
	己酸	3.69 (20)	73.75 (14)	淡酸味 (16)	黄褐色 (11)	松散正常 (8)	69 良好
	盐酸	3.36 (25)	75.84 (12)	酒酸味 (9)	黄绿色 (18)	略粘手 (4)	68 良好
	己酸盐	3.11 (25)	73.32 (14)	酒酸味 (9)	淡黄绿 (14)	松散完整 (8)	70 良好
高油	对照	3.69 (20)	71.81 (17)	淡酸味 (15)	褐黄色 (7)	松散 (7)	66 良好
	己酸	3.71 (20)	71.16 (18)	淡酸味 (16)	黄褐色 (13)	松散正常 (8)	75 良好
	盐酸	3.29 (25)	73.31 (14)	酒酸味 (10)	黄绿色 (17)	松散 (5)	74 良好
	己酸盐	3.34 (25)	70.84 (18)	酒酸味 (9)	淡黄绿 (16)	松散完整 (8)	76 优

注: 括号内数值为根据评定标准所得的得点数。

### 2.3 不同处理对青贮饲料有机酸含量及组成的影响

由表 1 可知, 玉米秸秆原料的含水率较高(68%~ 74%)时, 无论是否添加己酸或盐酸, 其青贮饲料中都能检测出一定量的乳酸和乙酸, 表明这些青贮饲料品质优良。

添加己酸对玉米秸秆青贮饲料总酸的含量无明显作用( $P > 0.05$ )。盐酸处理组的高赖氨酸、普通、高油 3 种玉米秸秆青贮饲料中总酸的质量分数(新鲜物料中)分别比对照组低 63%、77%和 66%。结合表 2 的综合评定结果可知, 添加盐酸使青贮饲料的自然发酵过程受到明显抑制, 并且使青贮饲料的质量明显下降。虽然盐酸和己酸的混合添加也使高赖氨酸、普通、高油 3 种玉米秸秆青贮饲料产生的总酸的质量分数分别比对照组低 73%、75%和 71%, 但对青贮饲料的其他质量指标没有显著影响, 证明己酸能明显抑制青贮饲料中的腐败菌及醋酸菌等有害微生物的活动, 从而有效地抑制了丁酸发酵, 使青贮饲料质量保持良好。

试验结果(表 1)显示: 盐酸处理组和己酸盐处理组与对照组的乳酸含量之间差异显著( $P < 0.05$ )。与对照组相比, 盐酸处理的高赖氨酸、普通和高油 3 种玉米秸秆青贮饲料中, 乳酸的质量分数分别降低 67%、87%和 69%; 己酸盐处理组分别降低 76%、82%和 76%。也就是说, 在有盐酸的处理组, 乳酸的质量分数低于无盐酸处理组的 50%, 乙酸质量分数也只是无盐酸处理组的 60%~ 83%。这进一步证明盐酸的添加抑制了青贮饲料发酵过程中乳酸、乙酸等有机酸的产生。

丁酸是腐败菌及酪酸菌分别分解蛋白质、葡萄糖和乳酸而生成的产物, 其含量或比例增加, 说明青贮饲料质量降低。由表 3 可知, 己酸或盐酸的添加对玉米秸秆青贮饲料中丁酸及其他挥发性脂肪酸的含量均没有明显影响( $P > 0.05$ )。从饲料有机酸的组成来看, 各处理组青贮饲料的乳酸、乙酸和丁酸的摩尔分数  $x$ , 都符合优质青贮饲料的标准, 说明各处理组青贮饲料的发酵均以同型乳酸发酵为主。盐酸处理组的高赖氨酸、普通和高油 3 种玉米秸秆青贮饲料

中,虽然丁酸的摩尔分数分别比对照组下降了100%,68%和100%,但其乳酸的摩尔分数也降低了10%,42%和4%。在盐酸己酸处理组的高赖氨酸、普通和高油玉米3种秸秆的青贮料中乳酸的摩尔分数分别比对照组降低了3%,17%和4%,而且基本上无丁酸的产生。

表3 玉米秸秆青贮饲料有机酸组成的评定结果

玉米品种	组别	$x$ (乳酸)/%	$x$ (乙酸)/%	$x$ (丁酸)/%	得分	评价
高赖氨酸	对照	71.36	28.30	0.11	95	优
	己酸	70.83	28.83	0.11	95	优
	盐酸	64.43	35.57	0	90	优
	己酸盐	69.52	30.48	0	94	优
普通	对照	65.65	33.23	0.34	89	优
	己酸	60.70	39.30	0	83	优
	盐酸	38.11	60.27	0.11	65	良
	己酸盐	54.59	45.40	0	80	良
高油	对照	74.88	25.12	0	97	优
	己酸	71.20	28.80	0	95	优
	盐酸	72.19	27.81	0	96	优
	己酸盐	72.29	27.71	0	96	优

注: $x$ 为摩尔分数。

## 2.4 不同处理对青贮饲料干物质消失率和NDF瘤胃降解率的影响

3种玉米秸秆青贮饲料的干物质消失率和NDF的瘤胃降解率见表4。

由分析结果可知:对照组、己酸处理组、盐酸处理组和己酸盐处理组干物质消失率和NDF瘤胃降解率之间均无显著差异( $P > 0.05$ ),说明不同的处理对青贮饲料的干物质消失率和NDF瘤胃降解率无显著影响。

## 2.5 不同处理对青贮饲料纤维物质含量的影响

### 2.5.1 对中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维、酸性洗涤木质素含量的影响

与对照组相比,己酸处理组的中性洗涤纤维(NDF)、酸性洗涤纤维(ADF)和酸性洗涤木质素(ADL)的相对含量均无显著差异( $P > 0.05$ )。盐酸处理的高赖氨酸和普通玉米秸秆青贮

表4 青贮饲料的干物质消失率和NDF瘤胃降解率 %

玉米品种	组别	干物质消失率	NDF降解率
高赖氨酸	对照	54.82	43.33
	己酸	57.19	45.75
	盐酸	52.12	45.22
	己酸盐	58.07	46.13
普通	对照	56.20	46.42
	己酸	56.42	45.82
	盐酸	54.78	47.17
	己酸盐	58.88	44.16
高油	对照	58.06	44.29
	己酸	60.52	46.33
	盐酸	58.83	47.83
	己酸盐	61.48	48.75

料中NDF 的质量分数分别增加 10%和 8%,ADF 的质量分数分别增加 7%和 9%,且普通玉米秸秆中ADL 的质量分数增加了 5%; 盐酸己酸处理的高赖氨酸、普通和高油玉米秸秆青贮饲料中ADF 的质量分数分别降低了 5%, 5%和 6%,ADL 的质量分数降低了 13%, 10%和 10%。

### 2.5.2 对细胞壁物质(OCW)和低消化性纤维(OB)含量的影响

试验结果表明,添加己酸对玉米秸秆青贮饲料的OCW 和OB 含量均无显著影响( $P > 0.05$ )。由表 5 可以看出,添加盐酸的高赖氨酸、普通和高油 3 种玉米秸秆的青贮料中的细胞壁物质OCW 的质量分数分别比对照组高 10%, 11%和 8%。这可能是因为盐酸的加入使得细胞壁可溶性物质随渗出液流失,使损失增加,从而使OCW 等不可溶性物质的相对含量明显增加。粗饲料处理的目的之一就是要减少细胞壁物质的含量,消除营养障碍因素,提高消化率<sup>[6]</sup>。OCW 含量的增加,说明青贮饲料的质量下降。盐酸和己酸的共同作用,使高赖氨酸、普通和高油 3 种玉米秸秆青贮饲料OB 的质量分数分别比对照组降低了 8%, 7%和 4%,提高了青贮料的营养价值。

表 5 玉米秸秆青贮饲料的纤维物质成分

玉米品种	组 别	质量分数 <sub>w</sub>					%
		NDF	ADF	ADL	OCW	OB	
高赖氨酸	对照	65.27	34.43	8.12	69.24	66.17	
	己酸	64.91	33.29	7.63	69.24	64.63	
	盐酸	71.52	36.83	7.50	75.87	71.65	
	己酸盐	64.53	32.85	7.04	68.83	60.84	
普通	对照	62.82	31.60	5.92	67.00	61.80	
	己酸	61.79	31.33	5.88	65.42	60.17	
	盐酸	67.96	34.31	6.21	74.46	63.42	
	己酸盐	60.27	29.93	4.65	66.48	57.26	
高油	对照	61.17	29.09	5.43	66.67	61.16	
	己酸	59.64	27.57	5.16	64.53	59.56	
	盐酸	64.30	30.61	5.51	71.69	62.58	
	己酸盐	58.29	27.29	4.90	63.28	58.44	

## 3 结 论

1) 在玉米秸秆青贮中添加己酸可以在较高干物质回收率的情况下,明显提高青贮饲料的感官指标、含水率及 pH 值的综合评定得分,同时可有效抑制酵母菌的生长,此外,己酸处理对玉米秸秆青贮饲料的其他质量指标均无显著影响( $P > 0.05$ )。

2) 在玉米秸秆青贮饲料中单独添加盐酸,使 3 种秸秆青贮饲料中的乳酸、总酸的含量显著降低,说明添加盐酸抑制了乳酸和其他酸的产生。乳酸质量分数的显著下降,说明添加盐酸使玉米秸秆青贮饲料的发酵品质下降。盐酸的添加还使玉米秸秆青贮饲料的OCW, NDF 和

ADF 含量显著增加,明显降低了青贮饲料的营养价值。

3) 在玉米秸秆青贮饲料中同时添加己酸和盐酸,可以在不降低干物质回收率的情况下,使玉米秸秆青贮饲料的感官指标、含水率及 pH 值综合评定得分明显提高;与对照相比,己酸盐共同处理的青贮饲料中 OB, ADF 和 ADL 的含量降低,说明己酸和盐酸的共同作用,可以明显提高玉米秸秆青贮饲料的营养价值,改善了青贮饲料的品质。

### 参 考 文 献

- 1 (苏). 玉米青贮的高效利用 国外畜牧业, 1997(2): 39~ 41
- 2 郭庭双 秸秆畜牧业 上海: 上海科学技术出版社, 1995 51~ 67
- 3 冯仰廉 奶牛饲养标准和典型日粮配方 北京: 农业出版社, 1989 21~ 25, 40~ 46
- 4 杨 胜 饲料分析及饲料质量检测技术 北京: 北京农业大学出版社, 1999 58~ 63
- 5 阿部 亮 碳水化合物为主的饲料分析法及其在饲料营养评价法上的应用 日本农林水产省草地研究所, 2001 27~ 40
- 6 Kung L Jr, Sheprerd A C, Smagala A M, et al The effect of preservatives based on propionic acid on the fermentation and aerobic stability of corn silage and a total mixed ration. J Dairy Sci, 1998, 81: 1322~ 1330

www.cnki.net