

添加剤がソルガムサイレージの発酵品質, 消化率, 乾物摂取量に及ぼす影響

森 登・秋田 勉

要 約

ソルガムを無添加, 乳酸菌添加, 蟻酸・プロピオン酸混合剤添加してサイレージ調製し, 黒毛和種成雌牛を用いて消化率および乾物摂取量を測定して以下の結果を得た。

- 1 乳酸菌添加はサイレージの酢酸含量が低く, やや発酵品質が高かった。蟻酸・プロピオン酸混合剤の添加は乳酸発酵を強く抑制した。
- 2 添加剤によって乾物消化率, 有機物消化率に差は認められなかった。in vitro 細胞壁物質消化率は in vivo 消化率とほぼ同程度であったが, 消化がはじまるまでのラグタイムは蟻酸・プロピオン酸混合剤添加区が長い傾向であった。
- 3 代謝体重当たり乾物摂取量は蟻酸・プロピオン酸混合剤添加 $88.5 \text{ g/W}^{0.75}$ > 乳酸菌添加 $80.5 \text{ g/W}^{0.75}$ > 無添加 $73.5 \text{ g/W}^{0.75}$ の順で高い傾向であった。

EFFECT of ADDITIVES on FERMENTATION QUALITY, DIGESTIBILITY and INTAKE of SORGHUM SILAGE by CATTLE

Noboru MORI and Tutomu AKITA

Summary

Sorghum ensiled with no additive (control), formic acid and propionic acid mixture and lactic acid bacteria was prepared and the voluntary intake and digestibility of silages was measured using Japanese Black cattle.

- (1) Silage treated with Lactic acid bacteria had lower acetic acid contents than the control silage. Formic acid and propionic acid mixture depressed production of lactic acid.
- (2) The dry matter and organic matter digestibility of silage was not improved by additives. In vitro Cell Wall digestion was similar in vivo. Silage treated with Formic acid and propionic acid mixture had longer lag time of cell wall digestion than the control silage.
- (3) Silage intake was slightly improved by additive treatments from 73.5 (control) to 80.5 (lactic acid bacteria) and 88.5 (formic acid and propionic acid mixture) gDM (kg live weight $^{0.75}$) $^{-1} \text{ d}^{-1}$.

キーワード：サイレージ添加剤, ソルガム, 発酵品質, 消化率, 乾物摂取量

緒 言

ソルガムは兵庫県の夏作飼料作物では最も栽培面積が多いが, 一般にトウモロコシより採食性が低いといわれており, その改善を望まれている。ソルガムの採食性は主に細胞壁物質含量の多少によって決まるといわれているが, 同一原料草を材料にしてサイレージ添加剤の乾物摂取量に及ぼす影響を発酵品質, 消化率を含めて総合的に評価した報告は少ない。そこで, 県内で普及している乳酸菌製剤と我が国では報告例の少ない蟻酸・プロピオ

ン酸混合剤をサイレージ調製時に添加し, ソルガムサイレージの発酵品質, 消化率, 乾物摂取量に及ぼす影響について黒毛和種成雌牛を用いて検討した。

材料及び方法

ソルゴー型ソルガムを供試材料とし, 栽培条件は表1に示した。栽培管理は当センター慣行の方法で行った。収穫はシリンダ型フォレジハーベスタ (設定切断長 13 mm) で行い, スチール製気密サイロ (10 m³ 容) 及び FRP 製サイロ (3 m³ 容) を用いてサイレージ調製した。試験区は, サイレージ調製時に蟻酸・プロピオン酸混合剤

表1 栽培条件

項目	内容
供試品種	Sugar Graze
播種日	1993年6月4日は種2kg/10a条播 (条間75cm)
施肥	10a当たりkg元肥N-P-K 7-7-7 追肥7-0-7
収穫日	1993年9月27日乳熟後期 (ブリックス糖度9.6度)

(商品名 MaxGrass 三井東圧ファイン製)をメーカーの標準添加量である容量比0.6%添加区(以下MG区という)、乳酸菌(*Lactobacillus plantarum* カネシヨク Biomax NF)を材料草1g当たりメーカーの標準添加量である 3.3×10^7 cfu 添加した乳酸菌添加区、新鮮草をそのまま無添加で埋草した対照区を設けた。

採食試験は黒毛和種成雌牛を各処理区に4頭、計12頭を用いて一元配置法で行った。しかし、MG添加区では1頭が原因不明で採食量を急減したため試験途中で試験から除外した。また、乳酸菌添加区のうち1頭は妊娠末期で採食量が極端に少なかったため棄却検定により試験から除外した。供試飼料はサイロから毎日取り出し、残飼量が10~15%程度になるよう1日1回、14時に単味で給与した。試験期間は14日間とし最終5日間に全ふん採取法で消化試験を実施した。ふん採取を行わない前半9日間は1日2時間程度、運動場に離した。残飼は1日1回測定した。また、消化率測定期間中に咀嚼回数測定機¹⁾を試験牛に装着して咀嚼回数を測定した。

飼料、糞の一般成分の分析は常法、酵素成分は阿部の方法¹⁾を用いた。サイレージの水分含量は100℃18時間法、揮発性塩基性窒素(VBN)は水蒸気蒸留法、乳酸は高速液体クロマトグラフ(カラム日立GL-610H)、低級脂肪酸はキャピラリガスクロマトグラフ(カラム信和化工HR-20M内径0.53mm長さ30m)で分析した。in vitro 消化試験は農林水産省畜産試験場の方法¹⁾で行い、

表2 サイレージの発酵品質(pH以外は現物中%)

処理	対照区	乳酸菌添加区	MG添加区
水分	77.1	77.1	77.5
pH	3.87	3.73	4.05
乳酸	2.14	2.21	0.60
酢酸	0.34	0.19	0.36
プロピオン酸	—	—	0.02
VBN/TN	4.8	4.7	8.1

表3 サイレージの化学成分(乾物中%)

処理	対照区	乳酸菌添加区	MG添加区
DM	22.9	22.9	22.5
OM	91.0	90.1	90.2
CP	7.2	7.3	7.9
EE	2.9	2.9	2.8
OCC	38.8	31.1	30.0
OCW	52.3	59.0	60.2
Oa	6.8	9.4	6.2
Ob	45.5	49.5	53.9
ADF	34.8	37.8	40.3
ADL	5.0	5.6	5.9

DM:乾物 OM:有機物 CP:粗蛋白質 EE:粗脂肪
OCC:細胞内容物 OCW:細胞壁物質 Oa:高消化性繊維
Ob:低消化性繊維 ADF:酸性デタージェント繊維
ADL:酸性デタージェントリグニン

対数変換し Mertens の式²⁾に当てはめた。

結 果

サイレージの発酵品質を表2に示した。pHは乳酸菌添加区、対照区は共に4.0以下で同程度であったが、MG添加区はやや高かった。乳酸含量は対照区、乳酸菌添加区とも2.0%を越え良好な発酵を示した。酢酸含量は乳酸菌添加区がやや低かった。MG添加区は乳酸含量が低く乳酸発酵が抑制された。また、添加剤に含まれるプロピオン酸が検出された。全窒素(TN)中のVBNの割合(VBN/TN)は対照区、乳酸菌添加区は5%以下であったが、MG添加区は高かった。

試験区サイレージの化学成分を表3に示した。乾物(DM)、有機物(OM)、粗脂肪(EE)含量は処理間に大きな差はなかった。粗蛋白質(CP)含量はMG添加区がやや高かった。細胞内容物(OCC)含量は対照区が高く、高消化性繊維(Oa)は乳酸菌添加区が高かった。繊維成分の細胞壁物質(OCW)、低消化性繊維(Ob)、酸性デタージェント繊維(ADF)及び不消化の酸性デタージェ

表4 供試牛の体重と乾物摂取量

処理	対照区	乳酸菌添加区	MG添加区
体重 kg	404	408	374
乾物摂取量 kg	6.63	7.32	7.43
乾物摂取量体重比%	1.64	1.79	2.02
代謝体重当り乾物摂取量 g/kgW ^{0.75}	73.5	80.5	88.5
1日当り総咀嚼回数	36,952	47,400	42,105
DM 1kg 当り咀嚼回数	5,580	5,918	5,565

表5 サイレージの成分別消化率と栄養価(乾物中%)

処 理	対照区	乳酸菌添加区	MG添加区
DM	57.4	56.2	55.2
OM	60.0	59.2	58.4
EE	73.4	72.8	71.0
OCC	80.8	75.7	76.5
OCW	44.7	50.5	49.4
TDN	57.3	56.0	55.1

TDN：可消化養分総量

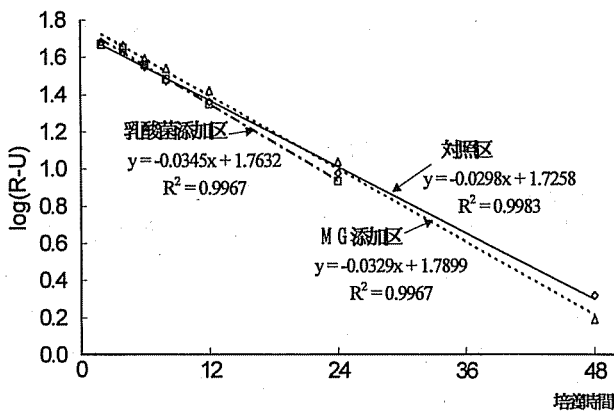


表6 in vitro OCW 消化率 (%)

処 理	対照区	乳酸菌添加区	MG添加区
2時間	0.4	3.7	3.7
4	6.1	5.7	4.4
6	13.1	14.1	11.3
8	18.7	20.1	15.7
12	25.6	28.1	24.0
24	39.0	41.9	39.5
48	46.4	49.7	48.9
72	48.5	50.5	50.4

ントリグニン(ADL)含量はMG添加区, 乳酸菌添加区が高かった。

供試牛の平均体重, 乾物摂取量, 咀嚼回数を表4に示した。乾物摂取量, 乾物摂取量体重比, 代謝体重当たり乾物摂取量はMG添加区, 乳酸菌添加区が高い傾向であった。総咀嚼回数は乳酸菌添加区が多かったが, 乾物1kg当たりの咀嚼回数はほぼ同程度であった。

サイレーズの成分別消化率と栄養価を表5に示した。DM, OM消化率は対照区>乳酸菌添加区>MG添加区の順で乾物摂取量に比例して低下する傾向であった。

OCW消化率は乳酸菌添加区, MG添加区が対照区より高い傾向であった。可消化養分総量(TDN)はDM消化率と同程度で乾物摂取量に比例して低下する傾向であった。

in vitro OCW消化速度を図に, OCW消化率を表6に示した。OCW消化速度は乳酸菌添加区, MG添加区はほぼ同程度であったが, 対照区はやや遅かった。72時間のOCW消化率は乳酸菌添加区=MG添加区>対照区でin vivo OCW消化率とはほぼ同様であった。OCW消化速度をMertensの式に当てはめるとOCWの消化が始まるまでのラグタイムはMG添加区>乳酸菌添加区>対照区の順でMG添加区がやや長い傾向であった。

$$R = D_0 e^{-k(t-L)} + U \text{ (Mertensの式)}$$

R: OCWの残存量 D₀: OCWの可消化部分

k: 消化速度定数 U: OCWの不消化部分

t: 培養時間 L: ラグタイム

対照区 $R = 48.5e^{-0.069(t-1.3)} + 51.5$

乳酸菌添加区 $R = 50.5e^{-0.079(t-1.7)} + 49.5$

MG添加区 $R = 50.4e^{-0.076(t-2.7)} + 49.6$

考 察

乳酸菌添加により, サイレージの発酵品質が向上するという報告は数多い^{8, 9, 10, 11, 16, 19}。また, 乳酸菌製剤の種類によって添加効果に差が生じるとの報告^{8, 9}や, 材料草の可溶性炭水化物含量によって乳酸菌添加効果が左右されると報告¹⁰されている。このため, 乳酸菌添加が発酵品質に正の影響を及ぼすためには発酵改善効果の高い乳酸菌製剤の選択と可溶性炭水化物含量の調整を行う必要があると考えられる。また, 乳酸菌の添加により急速に乳酸発酵が促進され, その結果有害微生物の増殖を抑制し, 酢酸, アンモニアの生成を抑えるといわれている¹¹。本試験で使用したソルガム材料草は糖度が高く可溶性炭水化物含量は乳酸発酵に十分であったと考えられ無添加でも良好なサイレーズ発酵品質であった。しかし, 乳酸菌添加区はわずかながら乳酸生成量が多く, 酢酸含量の低いサイレーズであり, 好氣的発酵時間が短く乳酸発酵が埋草後急速に進んだものと推察された。これより本試験で用いた乳酸菌製剤は乳酸発酵に正の影響を及ぼしたものと考えられた。

蟻酸・プロピオン酸混合剤は材料草を強制的に酸性化して不良発酵菌の抑制を行い, 同時に乳酸発酵を抑制する⁶とされている。蟻酸単独の添加でも乳酸発酵の抑制は報告^{3, 5, 16, 17}されており, 本試験で用いた蟻酸・プロピオン酸混合剤はより顕著に乳酸発酵を抑制するものと考えられた。このため, 蟻酸・プロピオン酸混合剤添

加草はサイレーズとして評価すると乳酸含量が著しく低く、VBN/TNは対照区より高くやや低い品質であった。サイレーズ・乾草など貯蔵飼料は変質せず長期間安定に貯蔵が可能であることがその使命であり、この点からみると本試験で用いた蟻酸・プロピオン酸混合剤添加草はカビの発生も少なく貯蔵飼料として実用的に利用可能であると考えられた。

密閉遅延サイレーズでは乳酸菌の添加で、無添加に比べて消化率が向上したとする報告¹³⁾はあるが、通常の方法草を使用して、乳酸菌を添加したサイレーズの消化率に差はなかったとする報告^{7, 15, 16)}が多い。蟻酸添加では消化率が変わらなかったとする報告^{3, 6, 7, 15, 17, 18)}が数多い。PARKERら¹⁵⁾は水分含量が高く無添加では不良発酵を起こし易い場合は、蟻酸添加で消化率は向上するが、良質原料の場合は差がなかったとしている。本試験で用いた材料草は、糖含量が高くサイレーズに好適な材料であったため、添加剤は消化率に影響を及ぼさなかったものと考えられる。

乾物摂取量と化学成分の関係では、繊維成分が高いと乾物摂取量が減少することは一般に広く受け入れられている⁴⁾。しかし、本試験では、乾物摂取量の高かった添加剤区の繊維成分のOCW, Ob, ADFと不消化のADL含量が高く、逆の結果であった。サイレーズ発酵中の繊維成分の分解との関係が想像されるが、本試験の結果からはその原因は明確ではなかった。

乾物1kg当たりの咀嚼回数は添加剤によって大きな違いはなく、添加剤によってサイレーズの物理性に大きな影響は与えないものと考えられる。

OCCはきわめて短時間にルーメン内で分解されるためルーメン内の容積の大部分を占めるのは給与飼料中のOCWであると考えられる。そのため、in vitro OCW消化速度が速いと乾物摂取量は増加すると考えられる。本試験では添加剤区のOCW消化速度が無添加区に比べやや高かったが、その差はCARRO²⁾らの報告と比べ小さく、サイレーズ添加剤によってin vitro消化速度が異なるかどうかについてはさらに精密な研究が必要であると考えられた。

WILKINSら¹⁹⁾は綿羊を用いた試験からサイレーズの乾物摂取量は、DM, 窒素, 総酸中の乳酸割合, フリーク点数と正の相関が、VBN/TN, 酢酸と負の相関があるとしている。ROOKE¹⁶⁾らは乳酸菌の添加で採食量の向上を報告しており、その原因として乳酸発酵の促進による酢酸含量の低下, アンモニア態窒素含量が低いこととしている。本試験では乳酸菌添加区はDM, 窒素, VBN/TNは対照区と同程度であったが酢酸含量がやや

低く、これが採食量をやや向上させた原因と考えられた。

PARKERら¹⁵⁾はDM含量が26.2%以下の条件で蟻酸添加サイレーズは乾物摂取量が16%向上し、日増体量が0.18kg優れたと報告している。また、WALDOら¹⁷⁾は蟻酸添加サイレーズは乾物摂取量が高い傾向で牛の増体量が有意に高かったとしている。蟻酸・プロピオン酸混合剤添加による乾物摂取量の増加は、PARKERら¹⁵⁾, WALDOら¹⁷⁾による蟻酸の増加割合とほぼ同程度であり、蟻酸・プロピオン酸混合剤は蟻酸と同様に乾物摂取量を高める効果が期待できるものと考えられた。

以上まとめると本試験で使用したサイレーズ添加剤は消化率には影響を及ぼさないが、乳酸菌製剤は発酵品質、乾物摂取量に正の影響を、蟻酸・プロピオン酸混合剤は乳酸発酵を抑制し、乾物摂取量に正の影響を与えるものと考えられた。

引用文献

- (1) 阿部 亮(1988): 炭水化物を中心とした飼料分析法とその飼料栄養価評価法への応用: 畜試研資 2
- (2) CARRO, M. D., S. LOPEZ, J. S. GONZALEZ and F. J. OVEJERO (1991): The use of the rumen degradation characteristics of hay as predictors of its voluntary intake by sheep: Anim. Prod. 52, 133-139
- (3) CHAMBERLAIN, D. G., P. C. THOMAS and M. K. WAIT (1982): The rate of addition of formic acid to grass at ensilage and the subsequent digestion of the silage in the rumen and intestines of sheep: Grass and Forage Science 37, 159-164
- (4) CONRAD, H. R. (1966): Symposium on factors influencing the voluntary intake of herbage by ruminants; physiological and physical factors limiting feed intake: J. Animal Science 25, 227-235
- (5) HAIGH, P. M. (1988): The effect of wilting and silage additives on the fermentation of autumn made grass silage ensiled in bunkers on commercial farms in South Wales 1983-85: Grass and Forage Science 43, 337-345
- (6) 原慎一郎・野中和久・名久井忠(1993): ギ酸・プロピオン酸複合製剤添加によるサイレーズ品質改善効果の検証: 日草誌 39(別号), 245-246
- (7) JAAKKOLA, S., P. HUHTANEN and K. HISSA (1991): The effect of cell wall degrading enzymes or formic acid on fermentation quality and on

- digestion of grass silage by cattle : Grass and Forage Science 46, 75-87
- (8) 柿原孝彦・荒 智(1991)：添加剤を用いた良質サイレーズの調製技術 第1報 各種乳酸菌添加剤中の乳酸菌数と添加サイレーズの発酵品質：福岡農総試研報 C-11, 29-34
- (9) 柿原孝彦・荒 智(1991)：添加剤を用いた良質サイレーズの調製技術 第2報 乳酸菌と糖の添加によるサイレーズ発酵の推移：福岡農総試研報 C-11, 35-38
- (10) 木下 強・齋藤憲夫・小野崎敦夫(1993)：サイレーズ用添加剤による品質改善に関する試験：栃木酪試研報 117, 16-33
- (11) 熊井清雄・木村徹哉・福見良平・祭 义民・Lyndon F. QUINTIO(1990)：乳酸菌添加がサイレーズの微生物相の変遷並びにサイレーズの発酵品質に及ぼす影響：日草誌 36,231-237
- (12) MERTENS, D. R. and J. R. LOFTEN(1980)：The effect of starch on forage fiber digestion kinetics in vitro : J.Dairy Science 63, 1437-1446
- (13) 名久井忠・野中和久・原慎一郎(1993)：密閉遅延材料に乳酸菌剤を添加したサイレーズが，めん羊の血液，ルーメン液性状，採食量，消化率に及ぼす影響：日草誌 39(別号), 255-256
- (14) 押尾秀一・安藤 貞・鶴山元紀・鶴田 勉(1993)：咀嚼回数簡易測定器の開発と応用：日畜学会講要 87, 165
- (15) PARKER, J. W. G. and R. CRAWSHAW(1982)：Effect of formic acid on silage fermentation, digestibility, intake and performance of young cattle : Grass and Forage Science 37, 53-58
- (16) ROOKE, J. A., F. M. MAYA, J. A. ARNOLD and D. G. ARMSTRONG(1988)：The chemical composition and nutritive value of grass silages prepared with no additive or with the application of additives containing either *Lactobacillus plantarum* or formic acid : Grass and Forage Science 43, 87-95
- (17) WALDO, D. R., J. E. KEYS, JR., L. W. SMITH, and C. H. GORDON(1985)：Effect of formic acid on recovery, intake, digestibility, and growth from unwilted silage : J. Dairy Science 54, 71-76
- (18) WEINBERG, Z. G., G. ASHBELL, A. AZRIELI and I. BRUKENTAL(1993)：Ensiling peas, ryegrass and wheat with additives of lactic acid bacteria (LAB) and cell wall degrading enzymes : Grass and Forage Science 48, 70-78
- (19) WILKINS, R. J., K. J. HUTCHINSON, R. F. WILSON and C. E. HARRIS(1971)：The voluntary intake of silage by sheep : J. agric.Sci., Camb. 77, 531-537