

サイレージ調製における硝酸態窒素の変化に関する研究

(第1報) ブドウ糖および尿素あるいは炭酸カルシウム添加が
硝酸態窒素の消失におよぼす影響

内田 仙二・内田 真人・堀米 隆男

(家畜飼養学研究室)

Received June 30, 1979

The Changes of Nitrate Nitrogen in Silage-Making I. The Influences of Glucose, Urea and Calcium Carbonate Additives on the Disappearance of Nitrate Nitrogen during the Storage

Senji UCHIDA, Mato UCHIDA and Takao HORIGOME

(Laboratory of Animal Nutrition)

An experiment was carried out by adding the simple or complex additives of glucose, urea and calcium carbonate to silage at ensiling time to investigate the effects on the disappearance of nitrate nitrogen during the storage and the fermentative quality of resultant silage.

The first cut Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* LAM.) and sorghum (*Sorghum vulgare* PERS.), which were harvested at the heading stage, were chopped into 1.5 cm lengths and ensiled in miniature-experimental silos with the additives. The contents of nitrate nitrogen in the forages ensiled and silages resulted were determined by an ion meter method, and the fermentative quality of the silages was estimated by FLIEG's method.

It was found that the disappearance rates of nitrate nitrogen in sorghum silages during the storage were generally lower than those in Italian ryegrass silages. The silages produced by adding glucose only had a high-fermentative quality, but the disappearance rates of nitrate nitrogen during the storage of silages decreased. And the silages with urea or calcium carbonate additive generally had a low-fermentative quality, however the disappearance rates of nitrate nitrogen during the storage of the silages remarkably increased. On the other hand, the silages with mixed glucose and urea or calcium carbonate additives had an excellent-fermentative quality and the disappearance rates of nitrate nitrogen are considerably increased.

These data suggest that the high quality and low nitrate silage can be made by using some additives for regulating fermentation of silage.

結 言

飼草中への硝酸塩蓄積は、それを採食する反すう家畜の急性または慢性中毒による障害との関係で飼草の生産利用上の大きな問題となっている^{3,4,5,6)}。

ところでサイレージに調製した場合、その貯蔵の過程において材料中の硝酸塩の一部または大部分が消失することが知られている^{1,11)}。しかして、その消失の程度は一般に pH 値が高く有機酸組成の不良な、いわゆる劣質サイレージにおいて大となる傾向にあるとされている¹⁴⁾。さきの予備の実験の中でも著者らは、埋蔵中の硝酸態窒素の消失率がサイレージの pH 値と正の相関にあり、評点とは負の相関にあることを明らかにした¹²⁾。

本研究は、これら今日までの知見を踏まえて、発酵の品質が良質で、なおかつ硝酸態窒素

の消失の高いサイレージ調製法を確立することを目的として実施しているものである。とくに本実験ではサイレージ発酵に対し、それぞれ特異な影響をおよぼすと思われる添加物としてブドウ糖と尿素および炭酸カルシウムに着目し、これらを単独または混合添加してイタリアンライグラスならびにソルゴーサイレージを調製し、でき上がった製品の発酵的品質と埋蔵中の硝酸態窒素の消失との関係を検討した。

材 料 と 方 法

1. 材料草の概要

本実験に使用した埋蔵材料は1977年4月29日に1番草出穂期に収穫したイタリアンライグラス (*Lolium multiflorum* LAM.): 早生ヒカリおよび1977年9月11日1番草出穂期に収穫したソルゴー (*Sorghum vulgare* PERS.): グリーンソルゴーの2草種で、いずれも当研究室実験圃場において栽培したものである。材料の乾物含量および乾物中の硝酸態窒素含量はイタリアンライグラスの場合それぞれ14.9% および0.51%, ソルゴーの場合それぞれ16.50% および0.30%であった。

2. サイレージの調製法

サイレージ材料は刈取後日乾することなくサイレージカッターで1.5cmに細切し、それぞれの添加物を添加してFig. 1に示すようなプラスチック製ミニサイロに埋蔵し、気密条件になるように密封した。

各区の添加物の添加量およびサイレージ調製の概要はTable 1に示す通りである。すなわち両草種ともブドウ糖2%, 尿素0.5%, 炭酸カルシウム0.5%を、それぞれ単一または混合で添加し各区とも5反復で調製した。

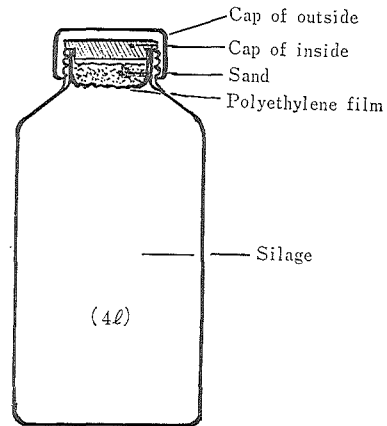


Fig. 1 Miniature-experimental silo made of plastic

Table 1 Outline of silage-making with Italian ryegrass and sorghum

Lot	n	Additives	Volume of silo	Ensiled amount	Density
C	5	Control (%)	4 (1)	2000 (g)	500.0 (g/l)
G	5	Glucose 2.0	4	2040	510.0
U	5	Urea 0.5	4	2010	502.5
G+U	5	Glucose 2.0 Urea 0.5	4	2050	512.5
Ca	5	Calcium carbonate 0.5	4	2010	502.5
G+Ca	5	Glucose 2.0 Calcium carbonate 0.5	4	2050	512.5

3. 材料草およびサイレージの硝酸態窒素含量の測定

常法によって風乾粉碎した試料1gを100ml容三角フラスコに採取し、50mlの抽出液(0.0122 M Ag_2SO_4 溶液)を加え30分間振盪抽出した後濾過して試料抽出液とする。この溶液についてイオンメーターにより電位を測定し、あらかじめ濃度既知の NaNO_3 液を用いて

作成した片側対数標準曲線から試料中の硝酸態窒素量を算出した。

なおイオンメーターは、Orion 硝酸イオン電極を装着した Corning Disital 112 Research pH メーターを使用した。

4. サイレージの発酵的品質の調査

各区サイレージを埋蔵後45日目に一せいに開封し、サイロ中央部より分析サンプルを採取した。pH 値は常法によって調製した試料液についてガラス電極 pH メーター（日立—堀場 M-5 型）により測定し、有機酸の定量および品質評価は FLIEG 法によって実施した⁶⁾。

5. 埋蔵中の硝酸態窒素消失率の調査

材料草およびでき上りサイレージの硝酸態窒素含量を上記の方法により測定するいっぽう、サイロへの埋蔵草量とでき上りサイレージ量を調査し、両者の関係から埋蔵硝酸態窒素量と取出し硝酸態窒素量を算出して埋蔵期間中の消失率を求めた。

結果と考察

イタリアンライグラスのブドウ糖、尿素および炭酸カルシウムの単独添加ならびに混合添加サイレージの pH 値、発酵有機酸含量および評点の調査結果を各区 5 反復の平均値と標準偏差で示すと Table 2 のようである。

Table 2 The fermentative quality of Italian ryegrass silages

Lot	n	pH	Lactic acid (%)	Acetic acid (%)	Butyric acid (%)	Total acid (%)	Score
C	5	5.79 ±0.06	0.23 ±0.09	1.10 ±0.40	1.30 ±0.44	2.69 ±0.89	- 7.0 ± 2.2
G	5	4.06 ±0.12	2.12 ±0.71	1.42 ±0.33	0.04 ±0.06	3.56 ±0.56	61.6 ±24.8
U	5	8.19 ±0.12	0.26 ±0.08	1.30 ±0.32	1.37 ±0.48	2.92 ±0.86	- 8.8 ± 1.6
G+U	5	4.53 ±0.08	2.72 ±0.45	0.95 ±0.14	0.00	3.81 ±0.45	91.8 ± 6.5
Ca	5	5.66 ±0.15	0.27 ±0.08	1.28 ±0.17	1.77 ±0.30	3.32 ±0.51	- 5.2 ± 2.1
G+Ca	5	4.50 ±0.12	2.13 ±0.32	0.82 ±0.12	0.01 ±0.02	2.95 ±0.32	89.2 ± 7.3

pH 値は各添加物の添加に対応して、それぞれ特徴的な数値を示している。すなわち尿素区、炭酸カルシウム区および対照区で高く、ブドウ糖区で最も低い値となっている。いっぽうブドウ糖と尿素または炭酸カルシウムを混合添加した区の pH 値は、それぞれの単独添加の場合のほぼ中間の値となっている。また発酵有機酸の分析結果と、それに基づく品質評点の調査結果より、対照区と尿素または炭酸カルシウムを単独添加した区のサイレージは、いずれも乳酸含量が低く酪酸含量が高くなっており品質評点は極めて低い。いっぽうブドウ糖区の場合は乳酸含量が比較的高く中位の品質となっている。ブドウ糖と尿素または炭酸カルシウムを混合添加した両区サイレージは、いずれも pH 値がブドウ糖単独添加区より高い水準にあるにもかかわらず乳酸含量が相対的に高く、品質評点も 91.8 点および 89.2 点となり優れた品質を示している。

ソルゴーサイレージについて、上記イタリアンライグラスサイレージの場合と同様各区サ

イレーズの pH 値, 発酵有機酸ならびに品質評点の平均値ならびに標準偏差を示すと Table 3 のようである。

Table 3 The fermentative quality of sorghum silages

Lot	n	pH	Lactic acid (%)	Acetic acid (%)	Butyric acid (%)	Total acid (%)	Score
C	5	4.59 ±0.04	0.53 ±0.07	0.76 ±0.08	0.01 ±0.01	1.30 ±0.03	53.8 ± 9.2
G	5	3.60 ±0.01	2.04 ±0.14	0.30 ±0.01	0.00	2.34 ±0.14	100.0 ± 0.0
U	5	7.39 ±0.13	0.19 ±0.03	0.59 ±0.13	0.71 ±0.12	1.49 ±0.25	- 5.8 ± 2.9
G+U	5	4.62 ±0.30	1.56 ±0.20	0.88 ±0.09	0.02 ±0.05	2.47 ±0.14	69.2 ±17.0
Ca	5	5.53 ±0.11	0.62 ±0.11	0.76 ±0.14	0.00	1.38 ±0.11	60.0 ± 3.9
G+Ca	5	4.06 ±0.05	1.85 ±0.32	0.56 ±0.07	0.00	2.41 ±0.31	93.8 ± 5.0

pH 値はイタリアンライグラスサイレーズに比べて全体的に低い値となっているが、区別では尿素区および炭酸カルシウム区で高く、ブドウ糖区で最も低い値となっている。いっぽうブドウ糖と尿素あるいは炭酸カルシウムを混合添加した区の pH 値は、対照区のそれとともに、それぞれ単独に添加したサイレーズの値のほぼ中間の値を示している。発酵有機酸含量および、それに基づく品質評点の調査結果より、区別の傾向はイタリアンライグラスサイレーズの場合と一致しているが、炭酸カルシウム単一添加区の場合、乳酸含量が比較的高く、酪酸を含まず評点はむしろ無添加対照区のそれよりまさったものであった。ブドウ糖区サイレーズは乳酸含量も高く最も優れた品質を示している。いっぽうブドウ糖と尿素あるいは炭酸カルシウムを混合添加したサイレーズは、pH 値は比較的高いが尿素または炭酸カルシウムを単独添加した区に比べ明らかに発酵の品質は優れたものとなっている。

以上両草種サイレーズの品質調査結果より、ブドウ糖添加により pH 値が低下し、発酵的品質は明らかに向上すること、いっぽう尿素あるいは炭酸カルシウム添加により pH 値は上昇し、発酵的品質は一般に下降する傾向にあることが知られた。これらの一般的傾向は今日までの研究成績^{9,10)}が示すところと一致するものである。しかしながらブドウ糖と尿素または炭酸カルシウムを混合添加した場合、pH 値が比較的高いにもかかわらず有機酸組成は良好で、ブドウ糖単独添加の場合に匹敵する品質評点を示した。トウモロコシを材料に用い、SIMKINSら⁷⁾は炭酸カルシウムを、BYERSら²⁾は石灰石をそれぞれ添加してサイレーズの調製試験を実施した。その結果これらを添加したサイレーズは無添加サイレーズに比べ、pH 値が高くなると同時に乳酸などの発酵有機酸含量が高くなることを認めている。この現象は炭酸カルシウムまたは石灰石による酸の中和による乳酸発酵促進に起因するものと理解される。本実験においてはブドウ糖と尿素または炭酸カルシウム添加によって、上記のトウモロコシの場合と同様 pH 値が上昇するとともに乳酸発酵が促進し、いわゆる発酵的品質が向上したものと推定される。

イタリアンライグラスサイレーズ各区の埋蔵期間中の硝酸態窒素消失率をグラフで示すと Fig. 2 のようである。

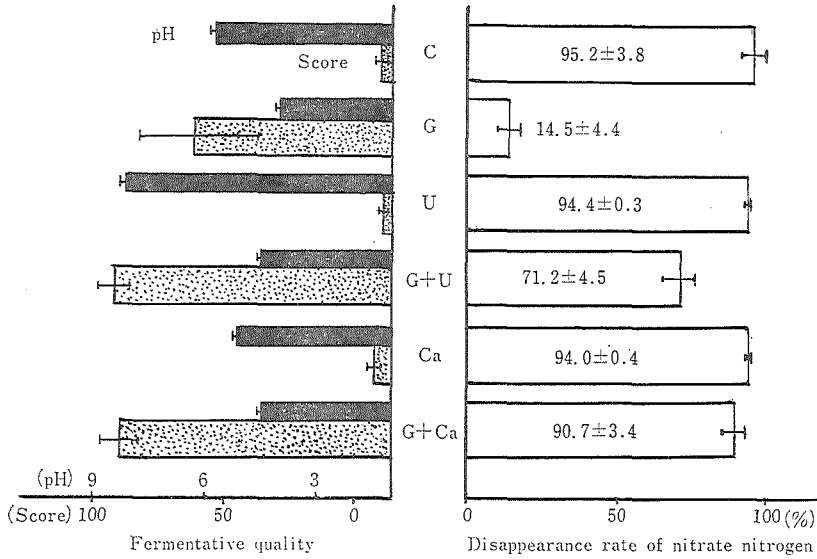


Fig. 2 The disappearance rate of nitrate nitrogen in Italian ryegrass silages during the storage.

ブドウ糖を単独添加した区の硝酸態窒素消失率は14.5%と極めて低い値であり、対照区、尿素および炭酸カルシウム単独添加区のそれは、それぞれ95.2、94.4および94.0(%)で極めて高い値となっている。いっぽうブドウ糖と尿素あるいは炭酸カルシウムを混合添加した区の消失率は、それぞれ71.2%、90.7%となり高品質サイレージにもかかわらず材料草中のほとんどの硝酸態窒素が消失したことを示している。

ソルゴーサイレージ各区の埋蔵期間中の硝酸態窒素消失率ならびに発酵的品質を示すとFig. 3のようである。

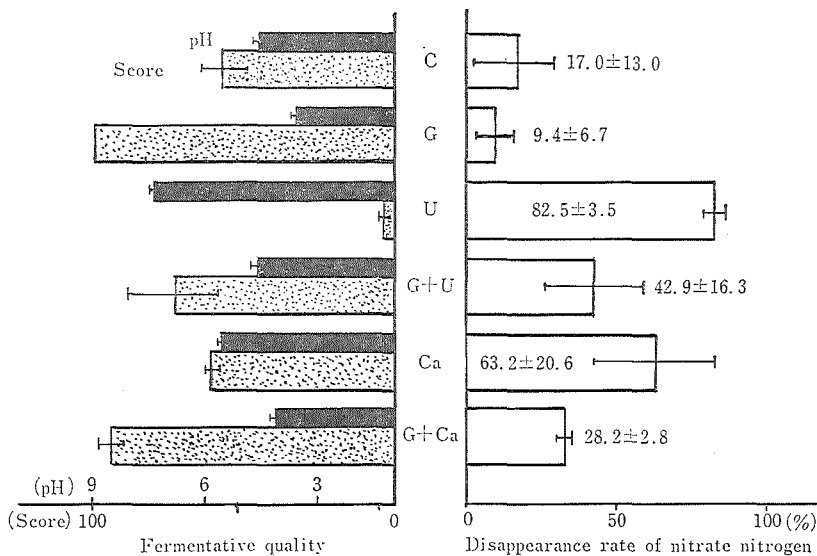


Fig. 3 The disappearance rate of nitrate nitrogen in sorghum silages during the storage.

各区の消失率はイタリアンライグラスサイレージのそれに比べ全体的に低い値となっている。とくにブドウ糖添加区の値は9.4%と極めて低く、続いて対照区の17.0%である。尿素ならびに炭酸カルシウムを単独添加した区の消失は他の区に比べて高く、その比率は82.5%および63.2%となっている。いっぽうブドウ糖と尿素あるいは炭酸カルシウムを混合添加した区においては、それぞれ42.9%および28.2%であり、高品質製品にかかわらず比較的高い消失率を示している。

以上の結果、草種によって若干の差異が認められるが、埋蔵中の硝酸態窒素の消失は対照区、尿素および炭酸カルシウム単独添加区のように pH 値が高く品質評点の低い、いわゆる劣質発酵サイレージの場合に一般に高く、ブドウ糖を添加して調製した pH 値の低い発酵的品質の優れたサイレージの場合に極めて低くなる傾向が認められた。これらの一般的傾向は今日までの基礎ならびに実用分野からの研究報告^{4,12,14)}によって指摘されているところである。いっぽう尿素あるいは炭酸カルシウムをブドウ糖と混合添加したサイレージの場合、これらとはかなり異なる傾向を示した。すなわちこれらの pH 値は比較的高く、乳酸含量が高く、FLIEG 法による評点はいずれも優れかつ埋蔵期間中の硝酸態窒素の消失は発酵的品質とさほど関係なく高率となっており、従来の知見とかなり異なったパターンが認められた。

これら混合添加の場合のサイレージ発酵および硝酸態窒素消失の機構については今後詳細な検討を要するものと思われるが、本実験で得られた資料から次のようなことが推察される。すなわち発酵性糖質の添加によって乳酸発酵が促進されるいっぽう、尿素または炭酸カルシウム添加の結果として生成される酸の中和がおこなわれる。こうしたサイロ内環境がサイレージの乳酸生成を促進するとともに硝酸還元酵素の活動を継続せしめ、発酵的品質が良好で硝酸態窒素消失の高いサイレージ調製を可能にさせるものと理解される。いずれにせよ本研究の結果は、ある種の添加物を組合わせて添加し、発酵を調節することによって、高品質でしかも硝酸態窒素消失割合が高いサイレージ調製の可能性を示唆しているように思われる。

なお、サイレージの発酵的品質は材料草の硝酸塩含量によりかなり強く影響される¹³⁾とされているので、本実験の結果はさらに各種条件の材料を用いて追試し確認される必要がある。

摘 要

本研究はサイレージ調製と硝酸塩の変化との関係を知るとともに、良質で硝酸塩の消失の高いサイレージ調製法を確立するための基礎資料を得る目的で実施するものである。

一連の研究の一環として本報では、イタリアンライグラスおよびソルゴーを埋蔵材料に用い、サイレージ発酵を調節するための添加物としてブドウ糖、尿素および炭酸カルシウムを単独または混合添加してサイレージ調製試験をおこない、その発酵的品質ならびに埋蔵中の硝酸態窒素の消失割合について調査検討した。

本実験の結果、ブドウ糖2%添加によってサイレージの発酵的品質は大幅に改善されたが埋蔵中の硝酸態窒素の消失率は低下した。尿素0.5%または炭酸カルシウム0.5%を添加して調製した区のサイレージの発酵的品質は一般に劣質となり、埋蔵中の硝酸態窒素の消失率は高くなった。いっぽうブドウ糖2%と尿素0.5%あるいは炭酸カルシウム0.5%を混合添加した区のサイレージは優れた発酵的品質を示し、かつ埋蔵中の硝酸態窒素の消失もかなり高くなった。

本結果は添加物の使用など各種処理によってサイレージ発酵をコントロールすることにより、良質で硝酸塩消失の高いサイレージの調製が可能であることを示唆しているものと思われる。

文 献

- 1) 安宅一夫・檜崎 昇・吉田則久・和泉康史：日草誌 21 (別-1), 101-102 (1975)
- 2) BYERS, J. H., G. L. DAVIS and G. E. BAYIOR: J. Dairy Sci. 47, 1062-1064 (1964)
- 3) 原田 勇：牧草の栄養と施肥 (初版), 138-157, 養賢堂・東京 (1977)
- 4) 飯塚三喜：飼料作物と牛の生理障害 (初版), 9-98, 農文協・東京 (1976)
- 5) KAMP, A., J. H. GEURINK, R. T. HAALSTRA und J. MANSTEIN: Das wirtschaftseigene Futter 23, 23-36 (1977)
- 6) NEUBAUER, H.: Das wirtschaftseigene Futter 23, 23-36 (1977)
- 7) SIMKINS, JR, K. L., B. R. BAUMGARDT and R. P. NIEDERMEIER: J. Dairy Sci. 48, 1315-1318 (1965)
- 8) 須藤 浩：サイレージと乾草 (初版), 152-157, 養賢堂・東京 (1971)
- 9) 須藤 浩・内田仙二・安則久雄：岡山大農学報 24, 37-46 (1964)
- 10) 須藤 浩・内田仙二・坂本広司：岡山大農学報 30, 37-50 (1967)
- 11) 須藤 浩・内田仙二・長浜知洋：岡山大農学報 36, 31-39 (1972)
- 12) 内田仙二・内田真人・堀米隆男：日本畜産学会関西支部報 77, 30 (1977)
- 13) WIERINGA, G. W.: Proceedings of the X International Grassland Congress, 537-540 (1966)
- 14) 吉田條二・森沢重雄・中村亮八郎：日草誌 20 (別-1), 110-111 (1974)

正 誤 表 (Errata)

頁 (Page)	行 (Line)	誤 (Erratum)	正 (Correct)
目次	2	およびチラム	,チウラム
〃	〃	2, 3	2~3
〃	13	(第一報)	(第1報)
15	25	persent	percent
57	6	KAMP, A.	KEMP, A
〃	〃	J. MANSTEIN	JALESTEIN
〃	7	23-36	53-60
81	4	Reserch	Research
〃	32	miuimum	minimum
82	21	anb	and
83	9	weigheddaily	weighed daily
84	3	priod	period
〃	26	shwn	shown
85	4	enounh	enough