

## 梱包サイレージの密度に関する研究

### 第2報 二次発酵における梱包密度と添加剤の効果\*

坂本 登\*\*，辻 久郎\*\*

#### Studies on the Compactness of Baled Silage

##### I. Effect of bale densities and additives on aerobic deterioration of baled silage.

NOBORU SAKAMOTO and HISAO TSUJI

#### 緒 言

近年、高品質サイレージを大量に、安定かつ省力的に調製する一方法として、ヘイベーラを用いた梱包サイレージが普及してきた。安藤ら<sup>2)</sup>によると、梱包サイレージ調製の延労働時間(刈取から詰込まで)はヘクタール当たり13.5時間であり、1日処理可能面積は4ヘクタールで、その場合の給与原価は乾物kg当たり30~40円である。また、梱包サイレージは給与の省力化に役立ち、流通サイレージの性状としても高能率大量調製、良質サイレージ、乾物密度、運搬再貯蔵、秤量の省略など有利な特性をそなえている<sup>1)</sup>。著者らの研究<sup>1)</sup>においても、材料水分40~50%、乾物密度が100~150kg/m<sup>3</sup>のものが品質、予乾の安全性、作業効率などの点からも有利である。

一方、通年サイレージ給与による夏季開封使用にともなうサイレージの二次発酵Secondary fermentation(実際は発酵ではなく変敗である; Aerobic deterioration)が問題となってきた。この好気的変敗は、ビニールスタックサイロの破損、開封後のサイレージなど空気に触れることによっておこるものであり、一般には低水分サイレージやバンカーサイロ、トレンチサイロなど表面積の大きなサイロの普及、粗飼料の流通化などによってとくに問題となってきた。梱包サイレージの給与時の品質保存はサイロ断面の縮少、取出しの都度脱気、クリップ間仕切り法などで変敗は十分予防できるという報告<sup>2)</sup>があるが、気温30℃前後のとき開封した場合、梱包内温度は、開封後2日目ごろから上昇し始め、5日~7日で完全に腐敗し、西南暖地における夏季取出しにおいては、これだけでは不十分である。

第1報では、イタリアンライグラスを用いて種々の材料水分、梱包密度のもとでの高品質サイレージ調製と夏季取出しの場合の二次発酵について検討した結果、梱包

サイレージを調製する場合、材料水分50%、乾物密度150kg/m<sup>3</sup>程度(30×40×60cmの梱包の重さ20kg)が品質、作業の面から良く、二次発酵も梱包密度を高くすることによってある程度遅らせそうなことがわかった。

そこで、本研究では材料水分を一定(50%)にして物理的に梱包密度を高くする方法と添加剤を用いる化学的方法による梱包サイレージの開封後の好気的変敗防止について検討した。

#### 材料および方法

梱包材料は1977年5月にイタリアンライグラスの穂揃期のものをフレール型フォーレージハーベスタで刈落とし、水分50%まで予乾した。

##### 1. 梱包密度による二次発酵防止

第1表のとおり、予乾草をヘイベーラ(コンパクトベアー)を用いて、種々の梱包密度に梱包し、ほぼ同じ密度の2梱包を1袋のバッグサイロ(大きさ; 115×200cm, 厚さ0.13mm)に無脱気で詰込んだ。8月に開封して、第2表のような形質について調査した。開封時のカビ発生程度は無(0)、微(1)、少(2)、中(3)、多(4)、甚(5)の6段階で示した。開封後の二次発酵は、梱包を室内に放置し、梱包内部温度をサーミスタによって測定し、その温度上昇によって判断した。なお、梱包表面のカビ発生も同時に調査した。

##### 1. 添加剤による二次発酵防止

プロピオン酸ソーダを現物に対して0.3%、蟻酸カルシウム混合物(蟻酸カルシウム75%、ピロ亜硫酸ナトリウム10%、安息香酸ナトリウム10%、ミネラル、その他5%)を現物に対して0.25%を梱包表面より散布した場合を無添加と比較した。材料草はI試験と同じものを用いた。詰込月日、サイロ、取出し月日は第1表

\* 昭和53年度日本畜産学会東海支部研究発表会において講演

\*\* 畜産部飼料研究室

Table 1. Materials and methods on baled silage making

Exp. No.	Treatment	Definition of treatments
1	Bale densities ( 16 bales ) ( 75 d.m. Kg/m <sup>3</sup> - 153 d.m. Kg/m <sup>3</sup> )	Moisture content : 50% Baled by hay-baler ( compact baler ) Ensiled date : May 11, 1977 Silo* : Vinyl bag silo Unloading date : Aug. 2, 1977 Days of ensilage : 83 days
11	Silage additives	
	1. Propionic acid	As sodium propionate Original application = 3g/Kg grass f.m. Containing calcium formate at 75% and sodium nitrite at 10% Original application = 2.5g/Kg grass f.m. Ensiled date : May 11, 1977 Silo* : Vinyl bag silo Unloading date : Aug. 8, 1977 Days of ensilage : 89 days
	2. Formic acid	

Baled silages made from first cut of *Lolium multiflorum* Lamarck at full-heading stage.

\* The air was not sucked from silo.

のとおりである。また、二次発酵の調査はI試験と同じ方法で行なった。サイレージの有機酸の測定は、梱包表面と中心部をガスクロマトグラフ法<sup>10)</sup>で行なった。開封後のカビ発生程度の表示もI試験と同じである。

#### 結果および考察

##### 1. 梱包密度による二次発酵防止

###### 1. 材料およびサイレージ諸形質相互の関係

材料梱包およびサイレージの一般的形質は第2表のようである。水分含量50%まで圃場予乾されたイタリア

ンライグラス(1回刈, 穂揃期)をヘイベーラ(コンパクトベーラ)で最低密度から最高密度までベールプレス装置を連続的に変化させながら走行梱包した。梱包の大きさを30×40×60cmとした場合、平均梱包重は19.1kg(全梱包の95%は9~30kg)であった。したがって、梱包の現物密度は平均231kg/m<sup>3</sup>(全梱包の95%は100~370kg/m<sup>3</sup>)、乾物密度は平均113kg/m<sup>3</sup>(全梱包の95%は70~160kg/m<sup>3</sup>)であった。

Table 2. Traits of baled silage and its general statistics

(n=16)

Traits	Mean	C.V.(%)*	Definition of the traits
Materials			
Fresh density	231 Kg/m <sup>3</sup>	30	Treated fresh matter weight per cubic meter of bale
Dry density	113 Kg/m <sup>3</sup>	27	Treated dry matter weight per cubic meter of bale
Bale weight	19.1 Kg	30	Weight of a bale at ensiling date
Bale volume	0.0708 m <sup>3</sup>	6	Volume of a bale at ensiling date
Moisture content	50.8 %	6	
Silage			
Silage pH	5.36	3	
Total organic acid	3.79 %	11	Measured by Fleig's distillation method (Fresh matter basis)
Lactic acid	3.49 %	12	
Acetic acid	0.30 %	11	
Butyric acid	0 %	0	
Molding	1.2	52	Molding degree by the rank of 0-5 at unloading
Quality	100	0	Evaluation by Fleig's appraisal method
Aerobic deterioration	61.3 h	37	Hours after unloading until the secondary fermentation

\* Coefficient of variation

このような梱包をバッグサイロに2梱包ずつ詰め込み、83日後(8月2日)に開封して、サイレーズpH、有機酸組成、カビ発生程度、発酵品質を調査した。材料梱包密度だけを変化(変動係数30%)させた場合、そのサイレーズpHは平均5.36でほとんど変化せず、乳酸はサイレーズ現物当たり3.5%(全梱包の95%は2.8~4.3%)、酢酸は平均0.3(全梱包の95%は0.23~0.37)と変動係数で約10%変化した。酪酸はどのサイレーズでもまったく認められず、サイレーズ発酵品質としては100点(フリーグ評点)のものであった。したがって、材料水分50%程度の梱包サイレーズの発酵品質は梱包密度にまったく関係なく良質のものが調製される。前報<sup>11)</sup>でも梱包サイレーズの発酵品質は材料水分と関係があるが梱包密度とまったく関係がなかった。

材料およびサイレーズの主要形質間の相関は第3表のようである。サイレーズ中の有機酸含量が多くなると当然pHが低下し、開封時のカビ発生程度がわずかに少なくなるようであるが、これらと梱包密度の関係は明確ではなかった。

Table 3. Linear correlation coefficients among the traits

	Correlation coefficient (r)					
	7	6	5	4	3	2
1 Fresh density	.80	-.03	.47	.26	-.95	.98
2 Dry density	.78	.01	.46	.46	-.91	
3 Silage pH	-.77	.03	-.35	-.39		
4 Lactic acid	.07	-.54	.99			
5 Total acid	.01	-.53				
6 Molding	.38					
7 Aerobic deterioration						

Significant at 5% level in the case of  $r > .497$  (n=16)  
Significant at 1% level in the case of  $r > .623$

## 2. 梱包密度と二次発酵

これまで、一般にサイレーズの二次発酵と物理的要因との関係について、材料を密に詰めると空気が侵入しにくく、とくに低水分サイレーズの場合、二次発酵に効果があり<sup>3)</sup>、環境温度が高い(25~30℃)と二次発酵がおこりやすく、また、材料水分が低い場合、二次発酵がおこりやすい<sup>9)</sup>とされている。しかし、環境温度、密度、水分含量と二次発酵の関係は明確ではない<sup>9)</sup>。前報<sup>11)</sup>では、pHが低く、水分含量の高い梱包サイレーズほど二次発酵がおさえられることが認められた。山下ら<sup>20)</sup>は予乾サイレーズにおける二次発酵誘発条件について、室温19℃又は27~28℃の条件のもとで、サイレーズpHが4.23~4.81の範囲のものは開封後5日までに二次発酵しなかったとし、pH4.20以下の酪酸のない良

発酵品質のサイレーズが変敗しやすいとしている。本研究では、第3表に示すとおり、梱包サイレーズの二次発酵までの時間は梱包密度と正の相関、サイレーズpHと負の相関が見られた。これは梱包密度を高くすると、サイレーズpHが低くなるということであるが、水分含量が50%の材料であるので、そのpHはすべて5.0以上のもので、このようなサイレーズを室温30℃前後のもとで開封しているので、かなり二次発酵がおこりやすい条件にあるが、その中でもやはりpHが低い方が二次発酵がおこりにくいものと思われる。大山ら<sup>3)</sup>も予乾サイレーズについて、埋蔵日数が短かく、pHが高いサイレーズが気温の高い条件におかれると変敗しやすいと報告している。

第1図は梱包密度とサイレーズ中総酸、pH、二次発酵の関係を示したものである。梱包現物密度200kg/m<sup>3</sup>(乾物密度100kg/m<sup>3</sup>)以上になると、サイレーズ中総酸が4%以上、pHが5.4以下となり、開封から二次発酵開始までの時間が60時間以上となる。50%程度の低水分では梱包密度の差によるサイレーズpHの変化は少ないので、結論的には梱包密度を高くすると開封後の空気の浸入が少なく、その結果二次発酵がおこりにくいものと思われる。第2図は梱包現物密度が約150kg/m<sup>3</sup>、200kg/m<sup>3</sup>、300kg/m<sup>3</sup>の開封後の梱包内温度(外気温との差)の経時的変化を示したものである。現物密度が150kg/m<sup>3</sup>(乾物密度75kg/m<sup>3</sup>)のものでは開封後24時間で二次発酵を開始するが、200kg/m<sup>3</sup>(乾物密度100kg/m<sup>3</sup>)以上になると、65時間は二次発酵を開始しなかった。しかし、144時間(6日)後には、これらの梱包内温度は同じになり、完全に腐敗した。また、これらの梱包はその内部温度の変化に関係なく、カビ発生が認められた。

貯蔵中のサイレーズでは材料に付着している細菌、カビ、酵母などの微生物のうちで酸素を必要とする微生物はその活動がおさえられて、なりをひそめているにすぎず<sup>9)</sup>、これが開封されたとき、酵母やカビが活動を開始する。また、酵母は類似の代謝活性を営むカビや細菌と生活の場をとりあう場合がある<sup>12)</sup>。相手がカビの場合は、そこに存在する酸素量と水分含量とに密接な関係がある。

材料水分50%のものをヘイベーラを用いて梱包した場合、ベーラで梱包可能なかぎり密度を高くすると、そのサイレーズの二次発酵は夏季取出しで70時間(3日)程度おさえられたが、実用的には、これまで言われている1回取出し量の調節、取出し後の密封脱気、分割再貯蔵、サイロ断面の縮少、クリップ間仕切り法、二次発酵防止剤の使用等との併用によって、これを防止するのが効果的であろう。

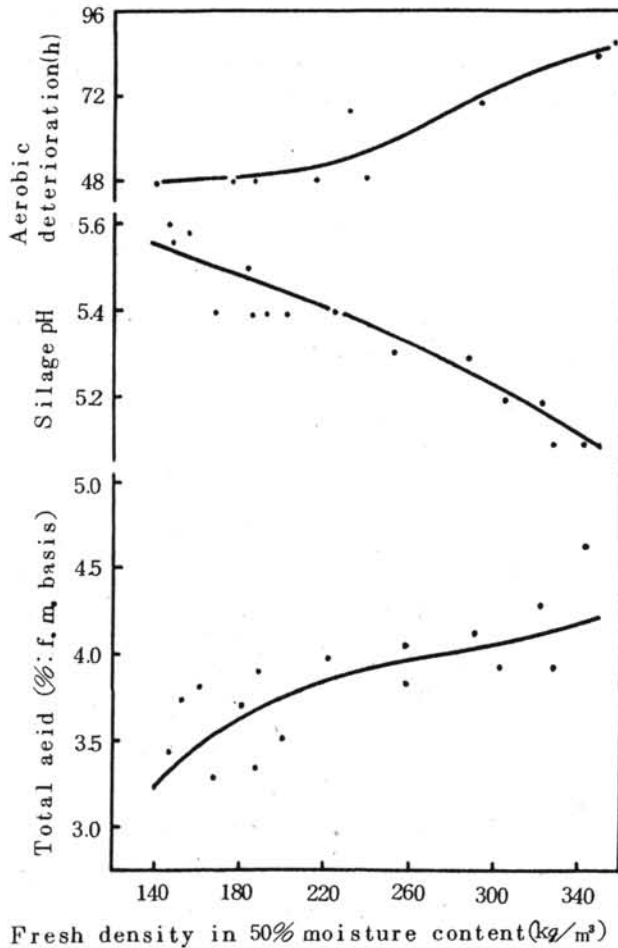


Fig. 1. Effect of bale densities on total acid, silage pH and aerobic deterioration.

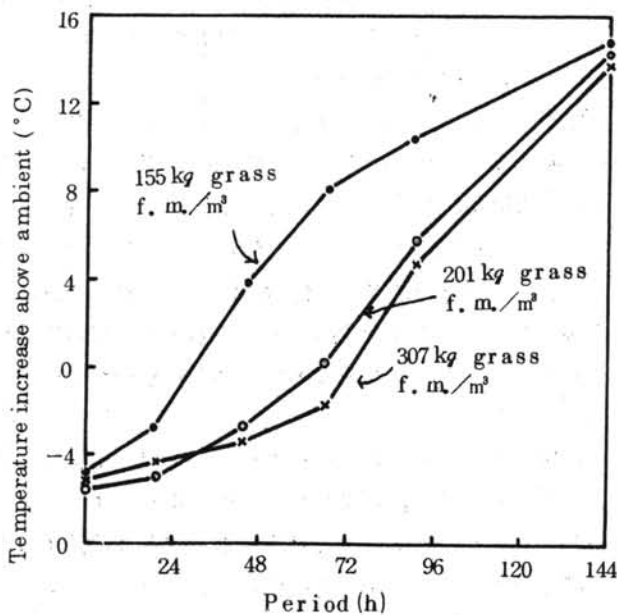


Fig. 2. Effect of bale densities on silage deterioration.

## Ⅱ. 添加剤による二次発酵防止

開封後のサイレージの二次発酵は、環境条件が好氣的となり、酵母、カビ、細菌などの微生物が活動し、発熱をともなう腐敗に向うものである。酵母はカビより生育が早く、場を保有するために<sup>12)</sup>、カビはこれより数日遅れて活動し始める<sup>20)</sup>。したがって、これらの微生物の活動をおさえるか、殺菌するような添加剤が二次発酵の抑制に有利である。これまで、サイレージの二次発酵防止添加剤として、蟻酸、プロピオン酸やそれ以上の炭素数の高級脂肪酸、またホルムアルデヒド、塩酸などの無機酸などが報告されている<sup>4,5,9,13,14,16,19,20)</sup>。揮発性脂肪酸はサイレージ埋蔵中や反すう動物のルーメン内に見られるものであり、蟻酸は体内でメタン、炭酸ガス、水に分解され、一部は熱源として完全に代謝される<sup>13)</sup>ものである。プロピオン酸や蟻酸の添加量は現物に対して0.2~0.6%程度であり<sup>7,9,14,16)</sup>、1%も添加すればかなり二次発酵がおさえられる<sup>9)</sup>。

本研究においては、プロピオン酸ナトリウム原液を現物に対して0.3%、蟻酸カルシウム混合物(蟻酸カルシウム75%、ピロ亜硫酸ナトリウム10%、安息香酸ナトリウム10%、ミネラル、その他5%)を0.25%それぞれ5倍に希釈して添加した。材料は梱包であるので梱包後、表面より散布した。無添加区とプロピオン酸添加区のサイレージ分析結果と二次発酵調査結果は第4表のようである。

プロピオン酸を0.3%表面添加した場合、取出し時に梱包表面に0.24%、内部にその1/3の0.08%のプロピオン酸が認められ、表面のpHは低かった。これはプロピオン酸のサイレージ残存率は約80%であるという報告<sup>14)</sup>と一致する。しかし、梱包内部への浸透が1/3程度であったので、二次発酵防止効果はあまり認められなかった。一方、サイレージ発酵品質は乳酸含量が多くなり、良質であったことによっても二次発酵がおりやすかったものと思われる。

蟻酸カルシウム混合物添加梱包サイレージはpHが高く、酪酸やバレリアン酸が認められ、発酵品質は無添加区と同程度に悪かった。しかし、二次発酵は無添加区やプロピオン酸添加区よりおさえられた。これは、酪酸発酵した劣質サイレージは遊離アミノ酸は少なく、二次発酵がおりにくいという報告<sup>6)</sup>や低品質サイレージの抽出液に酵母が増殖しない理由は栄養素の欠乏によるものではなく、酪酸の阻害作用によるものであるという報告<sup>7)</sup>と一致するところである。

第3図は各添加剤を使用した梱包サイレージの開封後の梱包内温度の経時的変化を示したものである。無添加やプロピオン酸添加の場合24時間以内に二次発酵が始

まったが、蟻酸カルシウム混合物添加の場合70時間後に二次発酵が始まった。しかし、この程度の二次発酵抑制効果では、梱包密度を高くした場合と同程度であるの

で、経済的には有利ではない。今後、梱包サイレージに対する二次発酵防止剤の添加量、添加方法、添加剤と梱包密度、水分との関係について検討しなければならない

Table 4. Effect of additives on baled silage composition and aerobic deterioration

	Original silages					
	Control		Propionic acid		Calcium formate/ Sodium nitrite	
	Surface	Inside	Surface	Inside	Surface	Inside
pH	5.4	5.4	5.2	5.4	6.0	6.0
Moisture (%)	45.0	59.1	45.1	46.0	47.5	47.0
	Components of f.m. % *					
Acetic acid	0.09	0.04	0.04	0.14	0.13	0.12
Propionic acid	0	0	0.24	0.08	0	0
iso-Butyric acid	0.04	0.02	Tr.	0.05	0.04	0.12
Butyric acid	0	0	0	0	Tr.	0.02
iso-Valeric acid	0	Tr.	0	0	0	0
Valeric acid	0	0	0	0	0	Tr.
Lactic acid	0.40	0.35	0.26	2.55	0.65	0.85
Total acid	0.53	0.41	0.54	2.82	0.82	1.11
Molding		2		0		2
Quality	59	65	61	80	64	57
Aerobic deterioration (h)		10		19		66

Densities of a bale were ranged from 230 f.m. Kg/m<sup>3</sup> to 253 f.m. Kg/m<sup>3</sup>.

\* The value of chemical analysis of the sample was analyzed by gas chromatography.

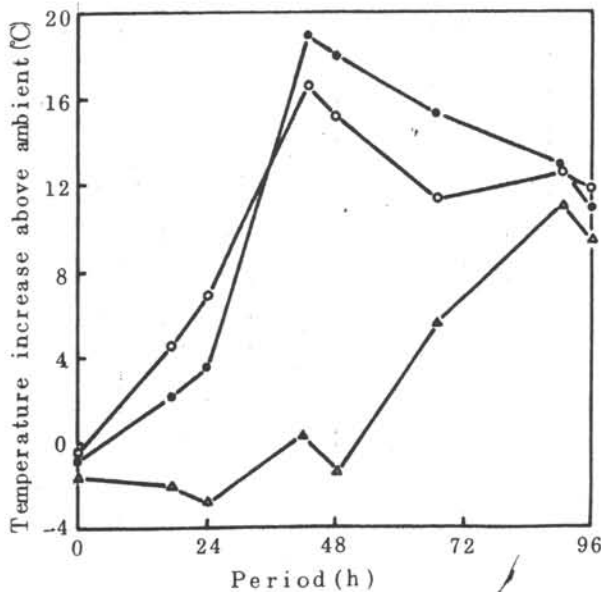


Fig. 3. Effect of additives on silage deterioration.

- , untreated control
- , silage treated with propionic acid
- ▲, silage treated with calcium formate

### 摘 要

水分含量50%に予乾したイタリアンライグラスを用いて、梱包サイレージの梱包密度と諸形質の関係および二次発酵防止効果について検討した。またプロピオン酸ナトリウム0.3%添加と蟻酸カルシウム混合物0.25%添加の二次発酵防止効果についても検討した。

その結果、

1. 梱包密度を高くすると、わずかにサイレージ中乳酸が増加し、pHが低下する傾向がある。しかし、サイレージ発酵品質は、どの梱包密度でも良質のものであった。
2. 現物密度150 kg/m<sup>3</sup> (水分50%)のものを300 kg/m<sup>3</sup>にすると、二次発酵開始は40時間遅くなった。
3. 蟻酸カルシウム混合物を添加した場合、無添加やプロピオン酸添加の場合より約50時間二次発酵開始が遅かった。

## 参考引用文献

- 1) 安藤文桜・中川西弘之・両角清一・阿部林 (1970) : 牛の粗飼料とくにサイレージの流通化とその方法, 畜研 24 (8), 1057-1061
- 2) 安藤文桜・両角清一・円通茂喜 (1976) : 梱包サイレージ方式による粗飼料の流通技術とその実証, 畜研 30 (2), 295-300
- 3) 大山嘉信・榎木茂彦 (1971) : サイロ開封後のサイレージ変敗, 第1報, 日草誌 17 (3), 176-183
- 4) 大山嘉信 (1975) : 欧州諸国におけるサイレージの研究とその背景 (1), 畜研 29 (5), 601-604
- 5) : 29 (6), 733-736
- 6) 大山嘉信 (1975) : サイレージの好気的変敗の際の遊離アミノ酸の変化, 日草誌 21 (別号-2), 120-121
- 7) 大山嘉信・原慎一郎 (1975) : サイレージから分離した酵母の各種培地における増殖とサイレージの好気的変敗との関係, 日畜会報 46 (12), 713-721
- 8) 大山嘉信・原慎一郎・榎木茂彦 (1976) : サイレージの好気的変敗防止のためのカプロン酸添加効果, 日草誌 22 (別号-1), 181-182
- 9) 大山嘉信 (1976) : サイレージの二次発酵とその対策。畜研 30 (6), 772-776
- 10) 藤山勝弘・森治夫・佐藤勝郎 (1972) : ガスクロマトグラフィーによるサイレージの揮発性脂肪酸と乳酸の同時測定法, 日畜会報 44 (9), 465-469
- 11) 坂本登・辻久郎 (1977) : 梱包サイレージの密度に関する研究, 第1報, 三重農技センター研究報告 6, 79-84
- 12) 曾根田正己 (1974) : コウボの分類と生態, 遺伝 28 (3), 6-13
- 13) 高野信雄・萬田富治・正岡淑邦 (1974) : 蟻酸サイレージの特性と調製法 (1), 畜研 28 (8), 989-992
- 14) : (2), 畜研 28 (9), 1111-1114
- 15) : (3), 畜研 28 (10), 1211-1216
- 16) 高橋正行・山本勝昭・森崎清之・丸山富美子・山本伸明 (1973) : サイレージの品質および貯蔵性におよぼす亜硝酸ナトリウムとギ酸カルシウムを主とする添加の効果, 日草誌 19 (4), 358-365
- 17) 原慎一郎・大山嘉信 (1976) : サイレージの変敗に関与する微生物, トウモロコシサイレージの変敗とプロピオン酸添加効果-, 日草誌 22 (別号-1), 179-180
- 18) 原慎一郎・大山嘉信 (1978) : サイレージ変敗防止剤の添加効果と微生物相, 一材料水分ならびに薬剤抵抗性菌の関係について-, 日畜会報 49 (11), 794-801
- 19) MCDONALD, P. (1976) : Trends in silage making. Microbiology in Agriculture, Fisheries and Food, 109-123, Academic Press, England.
- 20) 山下良弘・山崎昭夫 (1975) : 予乾サイレージにおける二次発酵誘発の条件について, 北農試研究報告 110, 81-95