

## サイレージの調製法に関する研究 (第24報)

— 添加剤としてのアクリル酸ならびにアクリル酸ナトリウムの効果 —

内田仙二・石川正洋・扇 順二・堀米隆男

(家畜飼養学研究室)

Received June 30, 1982

### Studies on Silage-Making (XXIV) Effects of Acrylic Acid and Sodium Acrylate as Additives

Senji UCHIDA, Masahiro ISHIKAWA, Junji OOGI  
and Takao HORIGOME

(Laboratory of Animal Nutrition)

In order to find effects of acrylic acid and sodium acrylate as additives to fermenting in the silo and to aerobic deterioration after opening the silo, Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* L.A.M.) silages, to which were added the additives at 0.1-0.5% of fresh grass, were made in plastic and steel experimental silos.

The fermentative qualities of resultant silage were estimated by determining pH value, organic acids and ammoniac nitrogen. Each silage after opening was packed in a polyethylene container or in a steel silo and kept under aerobic condition. And the deterioration process of silage was estimated by determining mold, temperature, pH value and chemical composition.

Both acrylic acid and sodium acrylate in a high moisture silage were found effective in restricting fermentation in the silo, whereas the additives in a low moisture silage were not so effective in restricting fermentation. All the additives used for this experiment were effective in preventing silage after opening from deteriorating, but the effect of sodium acrylate was higher than that of acrylic acid and of sodium propionate.

#### 緒 言

アクリル酸およびそのナトリウム塩をサイレージ添加物として使用すれば、その抗菌力によってサイレージ発酵は総体的に抑制され、貯蔵中の養分損失が低減されること、さらに開封後のサイレージの変敗を防止して、製品の安定性向上に有効であることが、近時 WOOLFORD<sup>11)</sup>、WILSON<sup>10)</sup> らによって報告された。

著者らもサイレージの開封後の変敗防止に関する若干の研究の中で、これらの発酵や変敗防止に対する添加効果について検討してきたが、本報は、これらを高水分の材料に添加して実験用ミニサイロでサイレージを調製した場合、ならびに低水分材料に添加して実験用スチール製気密サイロにより低水分サイレージを調製した場合について、その発酵や開封後の変敗がどのようになるかについて調査した結果をまとめたものである。なお、本研究の実験では、添加剤の比較標準物質として、従来から研究実績の多いプロピオン酸ナトリウム<sup>3,6)</sup> を使用して調査を進めた。

#### 材 料 と 方 法

本報の実験は、つぎの I, II から構成されている。

## 実 験 I

出穂期に収穫したイタリアンライグラス1番草をサイレージカッターで1.5 cmの長さに細切り、各供試添加剤をそれぞれの水準で添加しながら、容量4 lのプラスチック製実験用サイロに著者らの常法<sup>8)</sup>でTable 1のように埋蔵し密封した。

Table 1 Outline of silage making

Lot	Grass*	Additives	Density	Duration of storage (day)
	(g)		(g/l)	
Control	2,000.0	—	500.0	80
Na-propionate 0.1%	2,000.0	Na-propionate 2.0	500.5	80
	2,000.0	6.0	501.5	80
	2,000.0	10.0	502.5	80
Acrylic acid 0.1%	2,000.0	Acrylic acid 2.0	500.5	80
	2,000.0	6.0	501.5	80
	2,000.0	10.0	502.5	80
Na-acrylate 0.1%	2,000.0	Na-acrylate 2.0	500.5	80
	2,000.0	6.0	501.5	80
	2,000.0	10.0	502.5	80

\* High moisture grass.

すなわち、無添加対照区のほかにプロピオン酸ナトリウム ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COONa}$ )、アクリル酸 ( $\text{CH}_2=\text{CHCOOH}$ ) およびアクリル酸ナトリウム ( $\text{CH}_2=\text{CHCOONa}$ ) をそれぞれ材料の0.1%、0.3%、ならびに0.5%量添加してサイレージを調製した。材料の埋蔵密度は500g/lに統一した。各サイロは準気密状態として埋蔵後80日間室内に保管し、開封してpH値の測定、FLIEG法<sup>6)</sup>による有機酸の分析ならびにアンモニア態窒素<sup>4)</sup>などを定量して、発酵的品質の調査を実施した。

いっぽう、でき上がったサイレージ各1,000 gを好氣的条件のポリエチレン製容器内に保管して室内に14日間放置し、温度の変化、カビの発生とその変化を経時的に調査した。14日目の各サイレージについてpH値、アンモニア態窒素などを調査し比較検討した。

## 実 験 II

2番草出穂期に刈取り、晴天下で約6時間地上乾燥して水分調節したのち、1.5 cmにサイレージカッターで細切したイタリアンライグラスを、実験用スチール製気密サイロ<sup>7)</sup>3基にそれぞれ無添加で、または、上記プロピオン酸ナトリウムならびにアクリル酸ナトリウムを0.3%添加して埋蔵した。各サイロは埋蔵後ただちに密封して気密条件とし、室内に保管した。サイレージ調製の概要はTable 2のようである。

埋蔵後87日目に各サイロを開封し、上層部約1/3を取出して成分ならびに品質を調査した。

Table 2 Outline of silage making

Lot	Ensiled amount	Additives	Duration of storage (day)
	(kg)		
Control	19.51*	—	87
Na-propionate 0.3%	20.17*	Na-propionate 0.3%	87
Na-acrylate 0.3%	19.98*	Na-acrylate 0.3%	87

\* Low moisture grass.

いっぽう、サイロのふたを1部解放状態にしてサイロ内を好氣的条件にし、残余サイレージ内に自動温度測定装置の感熱部をそう入して温度の変化を調査すると共に、サイレージ表面のカビの発生と変化を経時的に調査した。

なお、サイレージの成分品質、変敗に関する調査項目ならびに調査方法は実験Ⅰのそれに準じて実施した。

## 実 験 結 果

### 実 験 Ⅰ

#### 1 サイレージの発酵的特徴

開封時のサイレージの水分含量、pH値、有機酸組成と評点ならびにアンモニア態窒素含量などを調査した結果はTable 3のようである。

Table 3 Fermentative quality of resultant silages

Lot	Moisture (%)	pH	Lactic acid* (%)	Acetic acid* (%)	Butyric acid* (%)	Total acid* (%)	Score*	NH <sub>3</sub> -N (%)	$\frac{\text{NH}_3\text{-N}}{\text{Total-N}} \times 100$	
Control	84.9	3.74	2.56	0.35	0.00	2.91	100	0.028	6.86	
Na-propionate	0.1%	84.3	3.73	2.69	0.43	0.01	3.04	100	0.031	6.57
	0.3%	84.7	3.78	2.63	0.46	0.10	3.19	70	0.032	7.38
	0.5%	84.8	3.80	2.82	0.43	0.17	3.42	65	0.031	7.41
Acrylic acid	0.1%	85.6	3.78	2.09	0.22	0.00	2.31	100	0.029	6.48
	0.3%	85.0	4.12	1.22	0.30	0.04	1.52	78	0.024	5.04
	0.5%	84.8	4.52	1.29	0.35	0.03	1.66	77	0.014	3.15
Na-acrylate	0.1%	84.2	3.72	2.34	0.26	0.00	2.60	100	0.029	6.32
	0.3%	84.4	3.88	2.32	0.25	0.00	2.57	100	0.026	5.50
	0.5%	83.1	4.14	1.87	0.24	0.00	2.11	100	0.028	6.07

\* Determined by FLIEG's method.

Table 3のように、pH値は無添加対照区で3.74と低い値を示している。各添加剤添加区の場合、0.1%添加では対照区のそれに近い値であるが、添加割合が増すと共に高くなる傾向にある。しかして、この傾向はアクリル酸添加区で大であり、プロピオン酸ナトリウム添加区では添加量による差は小である。有機酸組成の調査結果から、乳酸含量は対照区またはプロピオン酸ナトリウム添加区に比べ、アクリル酸およびアクリル酸ナトリウム両添加区サイレージで一般に低く、とくにアクリル酸0.3%ならびに0.5%添加区とアクリル酸ナトリウム0.5%添加区のそれは、明らかに低い値を示している。酢酸含量はプロピオン酸ナトリウム添加区サイレージで一般に高い値となり、その他の区間には大差なかった。いっぽう、酪酸含量はプロピオン酸ナトリウム添加の各区とアクリル酸0.3%および0.5%添加区で検出された。これらの結果より、総酸はプロピオン酸ナトリウム添加各区サイレージで一般に高く、アクリル酸ならびにアクリル酸ナトリウム添加各区で低くなる傾向が認められた。アンモニア態窒素含量も、アクリル酸添加区で低くなる傾向にあった。

#### 2 サイレージ開封後の変敗

##### (1) 温度の変化

開封後の各区サイレージについて測定した午前10時の温度の日変化をグラフで示すとFig. 1のようである。

Fig. 1のように各サイレージの温度とも5日目頃まで比較的安定して経過するが、6日目

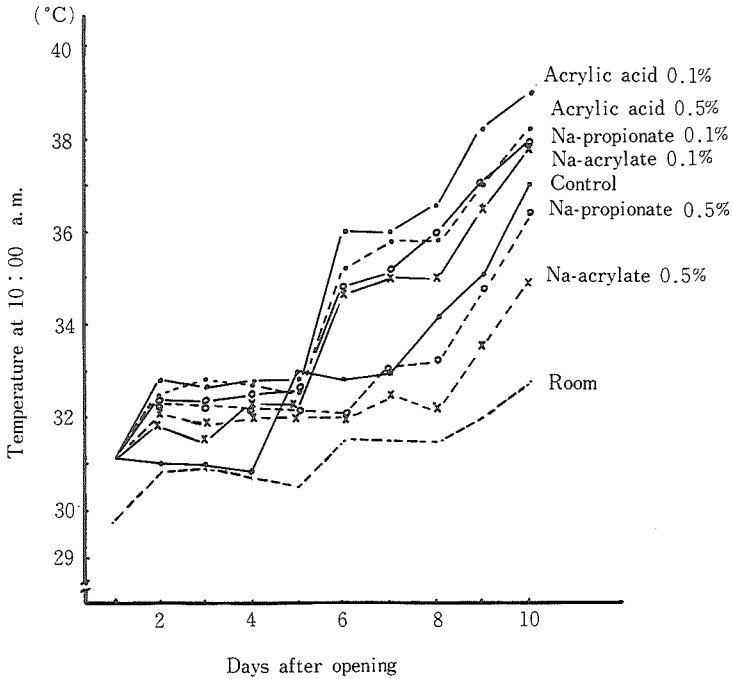


Fig. 1 Changes in temperature of silages after opening silos.

頃から区によってそれぞれ特徴的に変化している。すなわち、6日目頃から対照区、各添加剤0.1%添加区ならびにアクリル酸0.5%添加区の温度上昇が急速となり、10日目の温度は37-39°Cに達する。いっぽう、プロピオン酸ナトリウムとアクリル酸ナトリウムを各0.5%添加区のサイレージは、8日目頃まで安定に経過し、その後上昇の傾向となり、10日目に35°C前後を示している。

(2) カビの発生と推移

カビの発生とその増加の状態を14日間にわたって肉眼的に調査した結果はTable 4のようである。

Table 4 Effects of acrylic acid and sodium acrylate as mold inhibitor

Lot	Days after opening														
	1	2	3	4	5*	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Control		+	++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	
Na-propionate 0.1%			+	+	++	++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	
0.5%							+	++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	
Acrylic acid 0.1%			+	++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	
0.5%				+	+	++	++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	
Na-acrylate 0.1%						+	++	++	++	+++	+++	+++	+++	+++	
0.5%							+	++	++	+++	+++	+++	+++	+++	
		+ Growth visible		++ Increasing growth			+++ Abundant growth								

すなわち、対照区では2日目に、プロピオン酸ナトリウムならびにアクリル酸各0.1%添加区で3日目に、アクリル酸0.5%添加区で4日目にそれぞれカビの発生が認められた。これらのカビはその後急速に増加し、サイレージは急速に変敗して堆肥状に変化した。いっぽう

う、アクリル酸ナトリウム0.1%添加区のカビ発生は6日目に、プロピオン酸ナトリウムならびにアクリル酸ナトリウム各0.5%添加区のカビ発生は7日目であり、その増加の速度も緩やかであった。

(3) pH値ならびにアンモニア態窒素含量の変化

開封後14日間好氣的条件で保存した各区サイレージのpH値とアンモニア態窒素含量を調査し、開封時のそれと対比した。これらの結果はTable 5のようである。

Table 5 pH value and ammoniac nitrogen of silages in 14 days after opening

Lot	pH	NH <sub>3</sub> -N (%)	NH <sub>3</sub> -N/Total-N×100
Control	7.12	0.136	33.3
Na-propionate 0.1%	6.82	0.163	34.7
0.5%	4.52	0.070	17.1
Acrylic acid 0.1%	6.37	0.111	24.7
0.5%	4.47	0.035	8.0
Na-acrylate 0.1%	6.23	0.124	30.0
0.5%	4.12	0.036	7.7

すなわち、対照区ならびに各添加剤0.1%添加区サイレージのpH値は、いずれも6以上に上昇している。いっぽう、各添加剤0.5%添加区のそれは、ほぼ4.1-4.5の範囲にあり、開封時の値からの変化は小であった。アンモニア態窒素含量は、対照区ならびに各0.1%添加区で開封時の値の4-6倍となっている。そして、プロピオン酸ナトリウム0.5%添加区では2倍強、アクリル酸およびアクリル酸ナトリウム0.5%添加区のそれらは1.3-1.5倍の値を示している。アンモニア態窒素含量の変化に対応して、全窒素に対する比率も開封時のそれとは大きく変動している。

実験 II

1 低水分サイレージの発酵的特徴

低水分サイレージの発酵的特徴ならびに品質を調査した結果はTable 6のようである。

Table 6 Fermentative quality of resultant silages

Lot	Moisture (%)	pH	Lactic acid* (%)	Acetic acid* (%)	Butyric acid* (%)	Total acid* (%)	Score*
Control	55.8	4.72	3.85	0.46	0.00	4.31	100
Na-propionate 0.3%	55.2	4.65	3.57	0.51	0.05	4.13	100
Na-acrylate 0.3%	55.4	4.92	3.73	0.51	0.00	4.24	100

\* Determined by FLIEG's method.

Table 6のように、pH値は総体的に高く、有機酸とくに揮発性脂肪酸の生成が比較的低いなど、低水分サイレージに共通する性質を示し、発酵的品質は極めて良好であり、かつ各区の製品の組成および品質に大差は認められなかった。

2 低水分サイレージ開封後の変敗

(1) 温度の変化

開封後のサイロ内サイレージの温度の変化を経時的に調査した結果より、午前10時の温度の日変動グラフはFig. 2のようである。

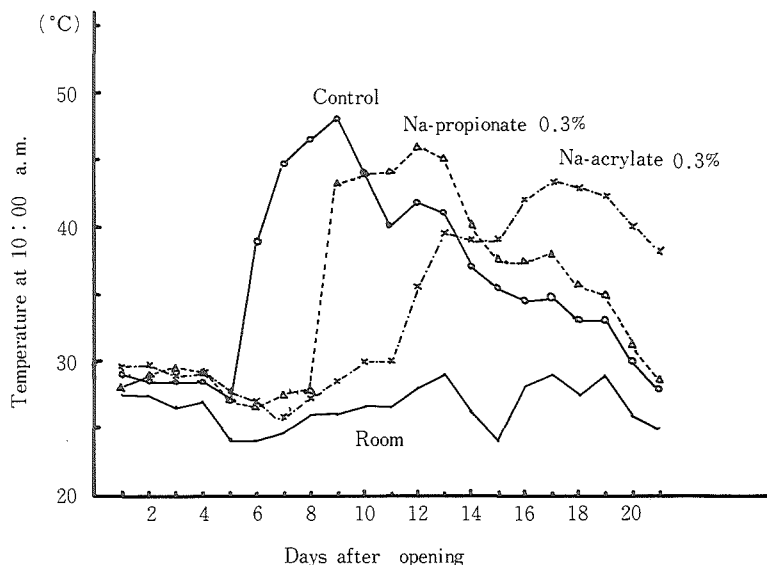


Fig. 2 Changes in temperature of silages after opening silos.

対照区では開封6日目頃から急速に温度上昇し、9日目に最高となりその後徐々に下降した。期間の最高温度は9日目の51.5°Cであった。プロピオン酸ナトリウム添加区では、開封9日目頃より急速な温度上昇を示し、12日目に最高となり以後下降した。期間の最高は12日目の49.3°Cであった。いっぽう、アクリル酸ナトリウム添加区では、9日目頃より温度は徐々に上昇し、17日目に最高となり、その後下降した。期間の最高は17日目の45.0°Cであった。

### (2) カビの発生と推移

開封後サイレージ表面のカビの発生とその変化の経過を調査した結果はTable 7のようである。

Table 7 Effect of sodium acrylate as mold inhibitor

Lot	Days after opening													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Control				+	.	+	++	++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
Na-propionate 0.3%						+	+	+	+	++	++	+++	+++	+++
Na-acrylate 0.3%										+	+	+	+	++
	+ Growth visible			++ Increasing growth			+++ Abundant growth							

対照区のカビの発生は4日目から認められ、その後経時的に増加し、10日目頃からサイレージは堆肥状に変化した。プロピオン酸ナトリウム添加区の場合、6日目頃から発生が認められ、経時的に増加して13日目頃から堆肥状となった。アクリル酸ナトリウム添加サイレージの場合、10日目頃に発生を見、その後徐々にカビが増加する傾向にあった。

### (3) 成分と品質の変化

開封後7日目におけるサイレージのpH値ならびに有機酸を調査した結果はTable 8のようである。

Table 8 Quality of silages in 7 days after opening

Lot	pH	Lactic acid*	Acetic acid*	Butyric acid*	Total acid*	Score*
Control	8.32	—	—	—	—	—
Na-propionate 0.3%	4.80	3.63	0.51	0.04	4.18	100
Na-acrylate 0.3%	4.95	3.88	0.62	0.00	4.50	100

\* Determined by FLIEG's method.

Table 8のように、対照区サイレージのpH値は8.32となっており、腐敗状態を呈している。いっぽう、プロピオン酸ナトリウムならびにアクリル酸ナトリウム両添加区サイレージは、pH値、有機酸組成とも開封時のそれと大差ない値を示している。

### 考 察

高水分材料を使用して、各添加剤添加によって調製した各区サイレージの発酵の特徴について調査したが、本実験では発酵有機酸定量法としてFLIEG法を採用したこと、無添加対照区サイレージの発酵的品質が極めて優れていたことなどから、添加による影響を詳細かつ明確に解析することは不可能と思われる。しかし本実験から、アクリル酸またはアクリル酸ナトリウムを添加して調製したサイレージは、無添加対照区のそれに比べ、乳酸をはじめとして有機酸の生成が少なくなる傾向にあること、pH値の下降が抑制される傾向があること、さらにアンモニア生成が抑えられる傾向にあることなど幾つかの特徴的な現象が認められた。これら一連の特徴は、これらの添加によってサイロ中でサイレージ発酵全体が抑制されることを意味するものと考えられる。これらのことは、WILSONら<sup>10)</sup>の実験成績と一致しているところである。

なお、本実験において有機酸定量にFLIEG法を適用したが、この本法ではBERGら<sup>11)</sup>、DANIEL<sup>2)</sup>、大山ら<sup>9)</sup>もそれぞれ指摘しているように、添加剤として使用したプロピオン酸などが酢酸や酪酸の画分として留出定量されるため、発酵の特徴や品質を正しく示さない可能性が高い。本研究結果におけるプロピオン酸ナトリウム添加サイレージの酢酸および酪酸の値も方法誤差に起因する誤差が考えられる。これらの点については今後検討の必要があるが、本報では発酵的特徴を知るための一応の指標として本法を採用して検討したものである。

高水分サイレージ開封後の好気的変敗に関する実験結果より、各添加剤の使用により開封後における温度上昇およびカビ発生の遅延、pH値上昇およびタンパク質分解の抑制などの効果が認められた。しかし、これらの効果は、それぞれによって差があり、温度上昇の遅延、カビ発生の抑制などの作用はアクリル酸ナトリウムで最も強く、プロピオン酸ナトリウムがこれに続き、アクリル酸の作用が最も弱い結果となった。いっぽう、pH値の上昇およびアンモニア生成の抑制効果は、アクリル酸ナトリウムとアクリル酸がほぼ同様であり、プロピオン酸ナトリウムの効果は若干劣っている。以上の点から、開封後の変敗防止用添加剤としてこれらのうちではアクリル酸ナトリウムが最も優れたものと考えられる。

なお、サイレージ発酵ならびに開封後の変敗防止の両面から総合的に考えた場合においても、本条件下においてはアクリル酸ナトリウムが最も優れた添加剤ということになる。

スチール製気密サイロによるサイレージの調製ならびに開封後の変敗防止に関する実験結果より、サイレージ発酵の特徴あるいは発酵的品質については区間に大差は認められなかった。このことは実験Ⅰの場合と異なり、サイレージ発酵が添加剤添加による影響よりも、他の要因すなわち材料の低水分化ならびにサイロの気密性などにより、より強く影響されたこ

とを意味していると推定される。

いっぽう、気密サイロ開封後におけるサイロ内サイレージ変化のパターンは、好気的変敗に対し添加剤の影響がかなり強いことを示している。すなわち、温度の上昇、カビの発生と増殖ならびにpH値や有機酸の変化を指標とする変敗の程度および速度は、無添加対照区のそれに比べ、プロピオン酸ナトリウムで相当抑制され、アクリル酸ナトリウム添加で著しく抑制されることが認められた。本実験は実験Ⅰに比べ、より実用に近い条件で実施されているが、25°C以上の環境温度の中で、無添加対照サイレージが堆肥状に変化しているにも係わらず、開封1週間目においても添加区サイレージではほとんど変化していないことは、実用の場での効果を裏付ける資料でもであると推察される。

以上実験Ⅰ、実験Ⅱの2つの実験結果を総合して、アクリル酸ナトリウムはサイレージの安定性向上と養分損失防止のための添加剤として、アクリル酸またはプロピオン酸ナトリウム以上に有効なものと考えられる。なお、WILSONら<sup>10)</sup>はアクリル酸ナトリウムの添加剤としての長所として、上記の他に揮発性であり、非腐食性であることも付け加えている。

今日までのところ本剤のサイレージ用としての研究成績は極めて少なく、今後各面からの研究を要するものと思われる。とりわけ、添加して調製した製品と家畜生産ならびに畜産物との関係などに関する研究が当面必要であろう。なお、WILKINSON<sup>9)</sup>らはこれらの面について若干の研究をおこない、アクリル酸ナトリウム処理サイレージを給与した牛の増体が、無処理サイレージを与えられた場合より優れたこと、また、アクリル酸ナトリウム添加サイレージと乳酸添加サイレージの栄養価に大差なかったことなどを報告している。

## 摘 要

高水分ならびに低水分のイタリアンライグラスを埋蔵材料に用い、実験用プラスチックミニサイロおよび実験用スチール製気密サイロを供用して、アクリル酸ならびにアクリル酸ナトリウムのサイレージへの添加試験をおこない、サイロ内のサイレージ発酵および開封後サイレージの好気的変敗に対する影響について調査した。

本研究結果の要約は次のようである。

1) 本研究の実験の範囲においては、これら添加剤添加による、いわゆる発酵的品質の改善効果は確認できなかったが、添加によって発酵が総体的に抑えられ、タンパク質の分解抑制などによる埋蔵中の養分分解損失の減少の可能性が示された。

2) 開封後サイレージの変化についての調査より、これらの添加により、温度上昇の抑制遅延、カビ発生増殖の抑制ならびにタンパク質分解の低減など、変敗の遅延もしくは抑制の効果が認められた。

3) 添加効果ならびに取り扱いの簡便性や安全性などの点から、アクリル酸ナトリウムはアクリル酸またはプロピオン酸ナトリウムより、サイレージ添加剤として優れているものと思われた。

## 謝 辞

本研究の実施にあたり添加剤を提供され、ご協力をいただいた日本化薬株式会社 医薬事業部 安全性研究所 坂本広司氏ほかの各位に深い感謝の意をあらわす。

## 文 献

- 1) BERG, K., F. WEISSBACH, und H. WITTENBURG : Arch. Tierernährung 19, 475-485 (1969)
- 2) DANIEL, P. : Das wirtschaftseigene Futter 3, 234-243 (1971)
- 3) McDONALD, P. : The Biochemistry of Silage, 145-147, John Wiley & Sons, New York (1981)
- 4) 大山嘉信 : 動物栄養試験法 (森本 宏監修) 421, 養賢堂・東京 (1971)
- 5) 大山嘉信・白田 尚 : 日草誌 18, 260-266 (1972)



- 6) 須藤 浩：サイレージと乾草, 152-156, 190-191, 養賢堂・東京 (1971)
- 7) 須藤 浩・内田仙二：岡山大農学報 **32**, 35-42 (1968)
- 8) 内田仙二・内田真人・堀米隆男：岡山大農学報 **54**, 51-57 (1979)
- 9) WILKINSON, J.M., J.E. COOK, and R.F. WILSON: Br. Grassld Occ Symp. No. 11, Brighton, 1979, 408-412 (1980)
- 10) WILSON, R.F., M.K. WOOLFORD, J.E. COOK, and J.M. WILKINSON: J. agric., Sci., Camb. **92**, 409-415 (1979)
- 11) WOOLFORD, M.K. : J. Brit. Grassld Soc. **33**, 131-136 (1978)

## 正 誤 表 (Errata)

頁 (Page)	行 (Line)	誤 (Erratum)	正 (Correct)
4	Fig. 2	Berry size (mm)	Berry size (mm)
21	2	胸深 (r = 0.484), 尻長 (r = 0.528),	胸深 (r = 0.484**), 尻長 (r = 0.528**),
40	17	プロ・ピオン酸	プロピオン酸
43	6	Tabl 5	Table 5
46	29—30	抑制遅延	抑制・遅延
51	Fig. 2	extracss	extracts