

サイロ開封後のサイレージの変敗 第1報

誌名	日本草地学会誌
ISSN	04475933
著者	大山, 嘉信 柁木, 茂彦
巻/号	17巻3号
掲載ページ	p. 176-183
発行年月	1971年10月

サイロ開封後のサイレージの変敗

第1報 予乾サイレージにおける温度と有機酸組成の変化ならびに薬剤添加の影響

大山 嘉信・榎木 茂彦

(農林省畜産試験場栄養部)

サイレージ調製のために詰込まれた材料は、まず植物自体の酵素作用による変化を受け、次いで微生物の活動による顕著な変化を受けて、材料の組成、詰込み条件等によって種々の品質のサイレージとなる。そして、密封が完全であるならば、上記の変化はある程度まで進んだ後にほとんど停止して恒常状態となる。

ところが、利用に際してサイロを開封すると、外部の空気に接触することによって、それまでの均衡が破れ、時によっては著しく変敗することがある。これは、一般にサイレージの二次発酵と称されている。

近年、わが国において、貯蔵飼料を通年給与するための夏季におけるサイレージの利用、密に詰めることが困難なために開封後に空気が内部まで侵入しやすい低水分サイレージの普及、外部の空気に触れる面積の大きい水平型サイロの利用などの技術、さらに今後予想されるサイレージの流通化とも関連して、この現象が重要な問題となっている。

しかるに、これに関する基礎的研究はきわめて少なく、

海外においては Beck ら¹⁾および Gross ら²⁾の報告があるに過ぎない。わが国においては、高井らがサイレージの水分含量と保存性の関係⁵⁾およびプロピオン酸ナトリウムの添加によるカビ発生の防止効果^{6,7)}について報告しているが、変敗の機序についてはまだ十分に究められていない。

よって著者らは、開封後の変敗の機序を解明し、その防止法を樹立するための基礎として本研究を開始した。

本報においては、まず、若干のサイレージについて、開封後の温度ならびに有機酸含量等の変化を調べ、かつ、微生物の作用を抑える薬剤の添加の影響を調べた結果を報告する。

材料および方法

供試サイレージは、畜産試験場動物管理室のサイロにおいて調製したものである。表1にその内容を示した。なお、水分含量は、100°Cの通風乾燥器内で18時間乾燥する方法によって測定し、揮発性成分の補正は行なわ

Table 1. Silages used in the experiments

Exp. No.	Materials	Silo ^{a)}	Date of taking out from silo	Moisture (%)	Days of ensilage	pH
1	Grass mixture (3rd cut)	CT	Oct. 14	48.0	75	4.48
2	Italian ryegrass (2nd cut)	H	Nov. 24	53.1	44	5.93
3	" (4th cut)	CT	Mar. 2	62.4	130	4.03
4	" (1st cut)	H	May 18	45.6	32	5.53
5	" (1st cut)	H	June 8	61.5	38	4.44
6	" (3rd cut)	H	Aug. 17	50.8	34	4.59
7	" (3rd cut)	PT	Aug. 26	41.7	34	5.04
8	" (3rd cut)	PT	Sept. 7	61.1	46	4.54

a) CT.....Concrete tower silo
HHarvestore
PT.....Plastic tower silo

Table 2. Treatment

Exp. No.	Treatment	Amount packed in the container
1~4	Control	—
5	a) Control	5.6 kg
	b) Propionate* (1%) addition	//
	c) Nitrofurazone (0.1%) //	//
6	a) Control	3.5 kg
	b) Propionate (1%) addition	//
	c) Nitrofurazone (0.1%) //	//
	d) // (0.2%) //	//
7	a) Control	2.5 kg
	b) Propionate (2%) addition	//
	c) Nitrofurazone (0.3%) //	//
	d) (b)+(c)	//
8	a) Control	4.0 kg
	b) Propionate (2%) addition	//
	c) Nitrofurazone (0.3%) //	//
	d) (b)+(c)	//

* As sodium propionate

なかった。

実験方法は次のとおりである。すなわち、取出し直後のサイレージを、できるだけ均一に混合した後に、発泡ポリスチレン製の円筒形断熱容器*（内径 30 cm、深さ 27 cm、厚さ 1.5 cm）に、できるだけ密に詰込み、軽く蓋を載せ暗室内に放置した。容器の中心部に、記録計に接続した測温抵抗体を埋没し、温度変化を経時的に測定した。なお、同時に数個の容器に同一条件で詰込み、逐次 1 個ずつ内容全体を取出して分析に供した。この方法について、いくつかの問題点があるが、これについては考察の項において論ずる。

8 回にわたる実験の内容は表 2 に示すとおりである。すなわち、実験 1~4 では、サイレージのみを詰込んで温度と成分の変化を調べ、実験 5~8 では、対照区のほかに、表に記載した薬剤をよく混合した後に容器に詰込む区を設けて、温度変化を観察した。

成分分析は、試料の水抽出液について、別に報告した

* 市販品

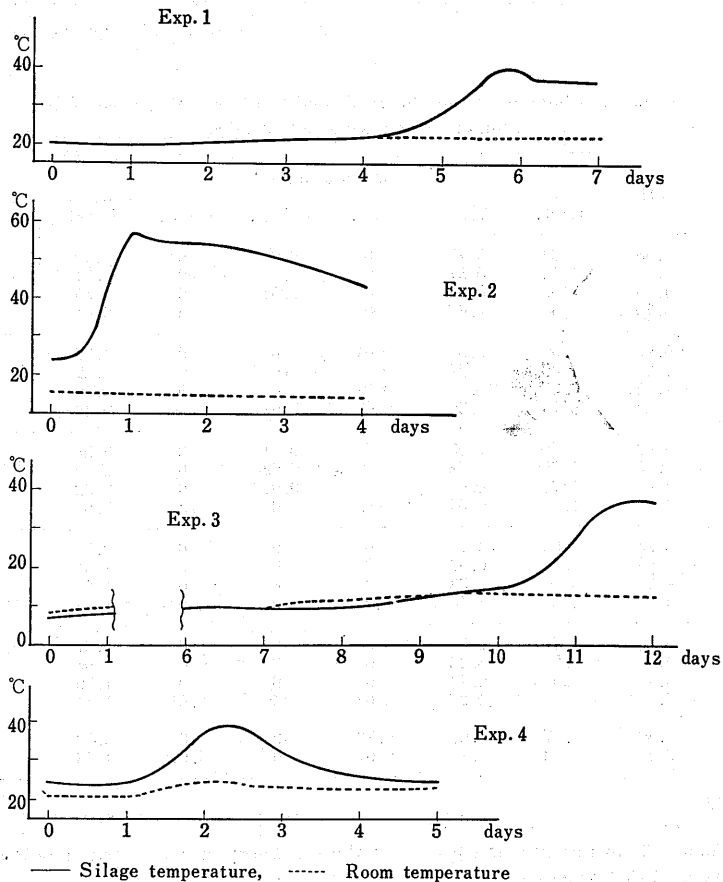


Fig. 1 Changes in the temperature of the silages put into the container after taking out of silos (Exp. 1~4)

方法^{3,4)}により実施した。すなわち、pHの測定はガラス電極 pH メーターにより、乳酸は BARKER and SUMMERSON 法による比色、揮発性脂肪酸（以下 VFA と略す）はガスクロマトグラフィによって定量した。また、揮発性塩基態窒素（以下 VBN と略す）は、硼酸緩衝液（pH 9.5）とともに水蒸気蒸留を行なって留出される窒素を定量した。一方、乾燥粉碎試料を熱水抽出し、トリクロール酢酸（終濃度 5%）法によって、蛋白態窒素を定量した。

実験結果

実験 1~4 におけるサイレージの温度変化を図 1 に示した。実験 1 においては 4 日間、実験 3 においては実に 10 日間にわたってサイレージの温度上昇は認められず、その後上昇しはじめ、約 2 日を費して最高温度に達した。一方、実験 2 では、ほとんどすぐに上昇しはじめ、1 日後に最高温度 52°C に達した。実験 4 では、前記 3 例と著しく異なり、約 1 日後から上昇し、その後約 30 時間で最高値に達した後、比較的急速に低下して室温近くになった。

以上の実験における pH、有機酸組成、VBN および蛋白態窒素含量の変化を表 3 に示した。いずれも、材料として使用したサイレージは、有機酸としては乳酸と酢酸が主であり、ごく僅かのプロピオン酸が認められるものもあった。

温度上昇と成分変化の関係ならびにその様相について共通に認められることは、温度上昇の起こらない間は有機酸量にほとんど変化がなく、温度上昇にともなってその量が激減する点である。すなわち、実験 1 では、7 日後に乳酸および酢酸が著しく少なくなり、とくに酢酸がごく僅かになった。実験 2 では 1 日後に温度が最高になったが、これにともなって乳酸の減少が始まり、4 日後にはきわめて僅かになった。この場合は、酢酸含量に大きい変化はなかった。実験 3 では、温度変化がなかった 7 日後までは有機酸組成は変わらず、温度が上昇した後に酢酸の著しい減少と乳酸の若干の減少が認められた。

実験 4 は、温度変化について前述のように実験 1~3 とかなり様相を異にしていたが、有機酸についても特有の変化が認められ、酢酸の顕著な増加のために、乳酸の減少にもかかわらず有機酸の総量が增大する結果となっ

Table 3. Changes in the chemical quality of the silages put into the container after taking out of silos

Exp. No.	Days	pH	Organic acids ^{a)}					VBN ^{b)}	Protein N ^{b)}	
			Lact.	Acet.	Prop.	n-But.	i-Val.			Total
1	0	4.48	0.94	0.45	0	0.01	0	1.40	39	238
	1	4.46	1.13	0.57	0	0.01	0	1.71	46	251
	2	4.43	1.09	0.55	0	0.01	0	1.65	47	248
	7	5.70	0.54	0.07	0	0	0	0.61	20	368
2	0	5.93	1.39	0.30	0.01	0	0	1.70	120	575
	1	7.26	1.05	0.22	0.01	tr.	0	1.28	116	627
	2	7.85	0.37	0.27	0.01	0	0	0.65	103	633
	4	7.48	0.15	0.30	0.02	0.01	0	0.48	56	676
3	0	4.03	1.70	0.63	0	0.01	0	2.34	30	226
	1	4.05	1.70	0.62	0	0.02	0	2.34	31	226
	7	4.04	1.70	0.61	0	0.01	0	2.32	30	231
	12	4.39	1.41	0.09	tr.	0	tr.	1.50	16	278
4	0	5.53	0.63	0.13	0	0	0	0.76	56	410
	2	4.93	0.49	0.82	0	0	0	1.31	60	423
	3	4.77	0.24	1.33	0	0	0	1.57	69	421
	5	4.81	0.20	1.44	0	0	0	1.64	67	425
5	0	4.44	1.73	0.34	0	0	0	2.07	83	—
	1	4.53	1.73	0.22	0	0	0	1.95	78	—
	2	4.74	1.66	0.13	0	0	0	1.79	88	—
	5	5.20	1.31	0.27	0.02	0	0.01	1.61	103	—
	P5 ^{c)}	4.32	2.77	0.07	0.79	0	0	3.63	82	—
N5	5.10	1.28	0.18	0.01	0	0.01	1.48	85	—	

a) % of the silage

b) mg% of the silage

c) Data for the silage 5 days after being packed in the container with 1% sodium propionate (P5) and with 0.1% nitrofurazone (N5), respectively

tr.trace

た。なお、温度が最高値よりかなり低くなり、さらに低下を続けた3日後と5日後の間には、有機酸含量にほとんど差がなかった。

pH については、有機酸の変化と同様に、温度変化が

ない間は変わらず、温度上昇にともなって pH も上昇することが認められた。ただし、これも実験4のみは例外であった。

VBN は、実験 1~3 では、温度上昇後に減少した。

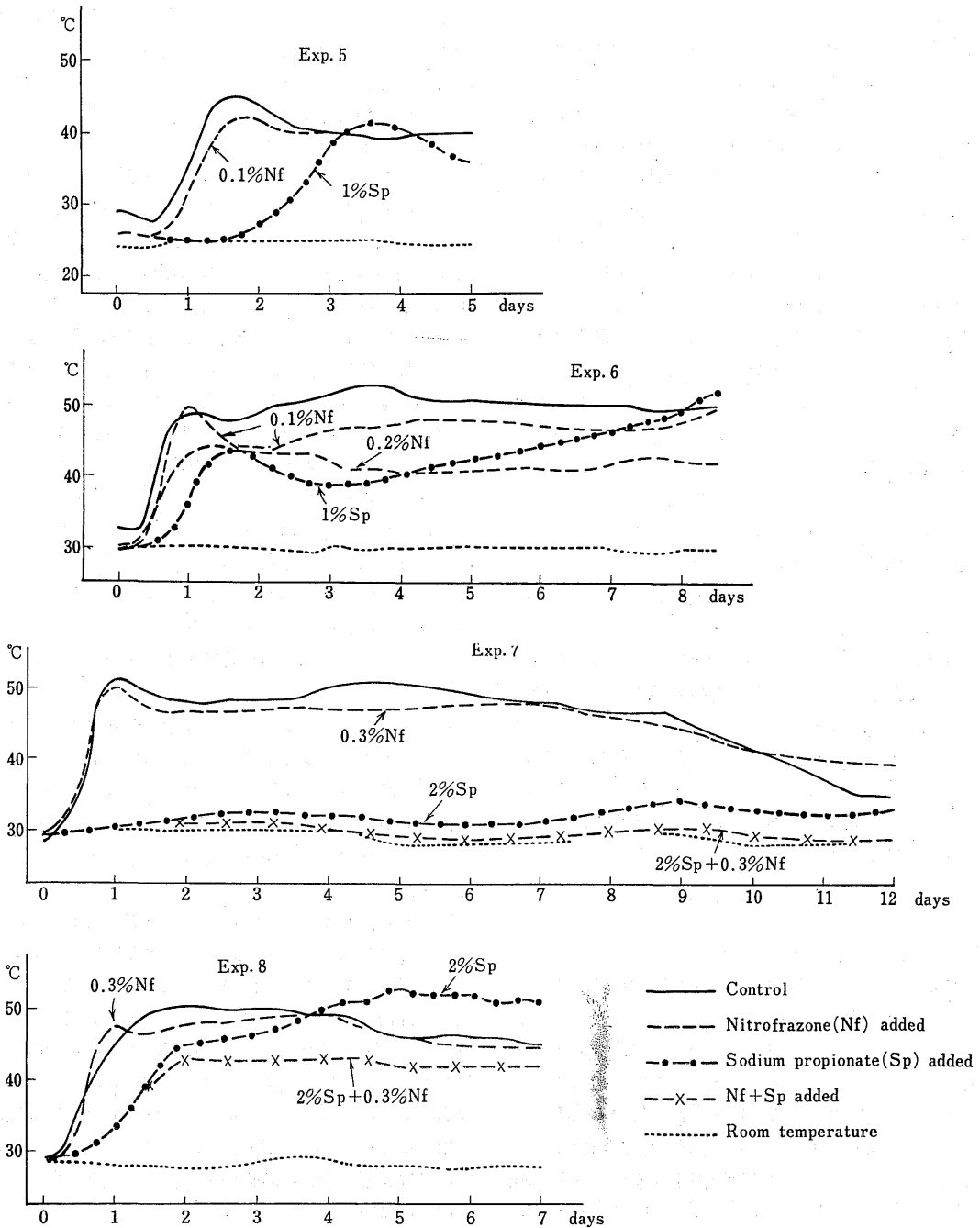


Fig. 2 Changes in the temperature of the silages put into the container after taking out of silos (Exp. 5~8)

しかし、実験4, 5では増大する傾向が認められた。蛋白態窒素は、一般に温度上昇とともに増加した。

次に、薬剤添加の影響を調べた実験5~8における温度変化は、図2のとおりであった。なお、実験5のみは有機酸組成等の変化を調べたので、その結果を表2にあわせて記した。

実験5では、対照区およびニトロフラゾン添加区と異なり、プロピオン酸ナトリウム添加区では温度上昇が約40時間抑制された。実験6においても、プロピオン酸ナトリウム添加区において、対照区よりも温度上昇が遅く、かつ最高値が低かったといえるが、効果は実験5よりもはるかに軽度である。これに反して、実験7では、ニトロフラゾンはほとんど効果がなく、プロピオン酸ナトリウム添加により明らかに温度上昇がかなり長時間にわたって抑制され、さらに両者を併用すると、12日間にわたってほとんど室温と同じに保たれるほどに顕著な効果があることが認められた。実験8の結果は、傾向としては実験7と似ているが、効果はごく軽度で、プロピオン酸ナトリウムのみ添加の場合には、後期にむしろ対照区よりも温度が高くなった。

なお、カビの発生については、肉眼的に観察したのみであるが、一般に、温度が最高値に達してから1日後頃に白カビが顕著に認められた。ただし、実験4では、温度が一旦上昇し、さらに下降した後においても、カビの発生は認められなかった。

実験5における有機酸組成の変化については、対照区において2日後までは主として酢酸が減少し、その後乳酸が顕著に減少することが認められた。また、ニトロフラゾン添加区の5日後における状態は対照区との間に大きな差がないのに反して、プロピオン酸ナトリウム添加区は、乳酸が極度に増加することが認められ、プロピオン酸は添加した量に比して若干少なくなった。

考 察

1) 実験方法について

本実験は次のような理由で、サイロ開封後の変敗のモデル実験と考えることができる。

第1に、このような方法により調べた現象は、(1)開封後のサイロ内におけるサイレージの変化に相当するの、あるいは(2)サイロより取出し後、外部に放置したサイレージの変化に相当するの、という問題がある。本実験では、サイレージを断熱容器にできるだけ密に詰込んだ。そして、実験3において認められたように、室温が上昇した際にもサイレージ自体の温度が室温より低く保たれることがあったことから、断熱がきわめてよく

行なわれたということが出来る。取出し後、外部に放置されたサイレージであれば、空気に触れる部分が著しく多いために、その温度は多分に外気温の影響を受けるであろう。これに反して、サイロ内にあるサイレージは、一般に密に詰まっており、表面において空気の影響を受けるに過ぎない。以上のことから、本実験の条件は、断熱容器に詰める前に混合する際、全体的に暫時空気に触れる点を除いては、開封後のサイロ内におけるサイレージの変化に相当するものと考えてよいであろう。

第2は、本実験の容器内における均一性の問題である。一定期間放置した試料を容器から取出すと、カビの発生が上層に著しく、下層になるにしたがって軽度であることが観察された。また、予備実験において、测温抵抗体を種々の位置に挿入して調べた結果、温度変化に若干の差があることが認められた。このようなことは実際のサイロ内においても当然起こることであろう。したがって、最終的には部位別に測定、分析を行なうべきであろうが、本実験では、第一段階として、既述の大きさの容器において、中央部の温度を測定し、分析は内容物全体をよく混合したものについて実施することに定めた。

第3に、数個の容器に分けて詰めたものの同一性であるが、これについては、サイレージを十分混合し、かつ詰込み量にしたがって詰込み密度を同一にすることによって、温度変化が同じ経過を辿ることを予備実験において確かめた。それ故、これらを逐次一つずつ開けて分析することによって、成分の経時的変化を追跡することが可能と考えられる。

以上述べたことにより、本実験を、開封後のサイロ内におけるサイレージの変化、すなわちいわゆる二次発酵について調べるモデル実験と考えるとよいであろう。

2) 変敗時の成分変化

本実験の結果は、実験4を除けば、次のようにまとめることができる。

すなわち、サイロ開封後にサイレージが変敗する場合には、温度の上昇に続いて、乳酸および酢酸、あるいはそのいずれかが減少し、pHは上昇するという形になる。温度上昇後のサイレージは、悪臭、カビの発生などよりみて、きわめて劣質と判断されるが、これは、一般に劣質サイレージの特色である酪酸が多量に認められる形とは異なるものであり、したがって有機酸組成からFLIEGの規準にしたがって判定するとかなり高い点数となるので、二次発酵の場合の品質判定については別途考えなければならない。

次に、VBNの変化については、予想に反して、その含量が低下したが、この理由については、主として、pH

と温度の上昇という条件によってアンモニアが逸散したためと推察される。一方、蛋白態窒素が増加したこともやや意外であるが、これについてはカビの増殖によって菌体蛋白質が合成されたためという可能性もあるが、温度の上昇による水分の蒸発およびカビの代謝作用による乾物の減少による相対的なものであることも十分考えられ、さらに検討を要する。

実験4では、温度変化の経過、酢酸の増加、pHの低下、カビの発生が認められない点などにおいて例外的であるが、この理由は現在の所不明である。

プロピオン酸ナトリウムの添加によって温度上昇抑制効果が認められた実験5においては、5日間に多量の乳酸の生成が認められた。これが二次発酵防止機序と如何に関係するかについては、今後さらに検討を要する。

なお、本実験に用いたサイレージは、すべて低水分サイレージの調製を意図して予乾処理を行なったものであるので、表1に示したように水分含量は一般に低く、かつ酪酸以上の揮発性脂肪酸はほとんど認められないもので、品質良好なサイレージであった。よって、高水分サイレージについても、品質の良否によってそれぞれ如何なる変化が起こるかについては、今後検討を行ないたい。

3) 変敗の起こる条件について

先に述べたように、本実験においては、長時間室温と同程度に保たれる変敗し難いものから、ただちに温度が上昇し、したがって有機酸の減少とpHの上昇が起こる変敗し易いものまで、種々認められた。

今、二次発酵の起こり易さと関係があると考えられるサイレージの水分含量、pH、埋蔵日数、および室温に着目して、二次発酵が比較的長時間にわたって起こらなかった実験1および実験3(A群とする)と、短時間のうちに温度の上昇をみた他の6例の実験(B群とする)とに分けて考察すると次のようになる(表1, 図1参照)。

まず、水分含量については、A群とB群を画然と分けるものが見られない。たとえば、きわめて長時間にわたって温度の上昇をみなかった実験3と同程度の水分含量のものがB群に2例存在する。

次にpHについては、実験3が4.03できわめて低く、5以上のものはすべてB群に属することから、低い方が二次発酵を起こしにくいとも考えられるが、4.5程度のもはA群にも属しており、かつ本実験においてはpHが低いサイレージが少ないので、さらに検討を要する。

なお、Beckら¹⁾によれば、pHが3.9程度のサイレージにも保存性が悪いものがしばしば認められている。

埋蔵日数は、A群に属するものが明らかにB群より長

い点が注目値する。なお、これは、A群は通常のコンクリート製タワサイロであるのに対し、B群は底部より取出しつつ上部から新しい材料を詰めて循環利用する形のハーベストアならびに小型のプラスチック製サイロであることとも対応している。

室温については、14~16°Cの実験2においても短期間に温度が上昇したが、27°C以上のものはすべてB群に属することから、外気温が高ければ保存性が悪くなる傾向があるといえよう。

4) 薬剤の影響

開封後のサイレージの変敗は、空気が侵入することによって、それまで嫌氣的に保たれて安定していた状態が乱されることによるものと考えられるが、この際、変化の原因となるものは好気性の微生物であろう。よって、変敗が好気性細菌によるものが、あるいはカビによるものかを知ろうとして、とくに細菌の増殖を抑えるニトロフラゾンと、カビの増殖を抑えるプロピオン酸ナトリウムの添加を試みた。本実験の結果では、ニトロフラゾンの効果はほとんどなく、プロピオン酸ナトリウムの添加によって温度の上昇が抑えられる場合があることが認められた。したがって、変敗は主としてカビの増殖によるものと考えられる。

しかし、プロピオン酸ナトリウムの添加によって温度上昇が長期間にわたって抑えられたのは実験7のみであり、実験5では2日足らずで温度が上昇しはじめ、その他の実験では温度上昇が対照区に比してやや遅くなっただけであって、その効果はわずかであった。そして、温度上昇後のサイレージにおいては、例外なく顕著なカビの発生が認められたことから、プロピオン酸ナトリウムは必ずしもカビの増殖を抑えるものではないと結論できる。この場合、カビの数や種類、生育段階などが関係している可能性もあり、もとのサイロの中ですでにある程度変敗が始まっていたのかも知れない。この点については、ニトロフラゾンを併用することによってプロピオン酸ナトリウム単独よりもさらに効果があった点^{*}、あるいはBeckら¹⁾が指摘しているように酵母がサイレージの保存性に関係すると考えられる点などとともに、今後微生物学的に詳細に検討する必要があると考えられる。

要 約

サイロ開封後のサイレージの変敗の機序を知るために、大型サイロより取出した直後の予乾サイレージを、

* ニトロフラゾンは二次発酵の機序の解明の手段として使用したものであり、実用目的の使用を考慮したものではない。

発泡ポリスチレン製の断熱容器に詰込み、温度ならびに有機酸組成などの経時的变化を調べた。

その結果、サイレージによって、10日間にわたって室温とほぼ同じ温度に保たれる例から、ただちに温度が上昇する例まで、種々のものがあった。これとサイレージの性質との関係を検討したが、確定的な条件は見出されず、概して、埋蔵日数が短かく、pH が高いサイレージが気温の高い条件におかれると、変敗し易い傾向があった。

サイレージの温度が上昇しない間には成分の変化はなかったが、温度の上昇にともなって、乳酸および酢酸、あるいはそのいずれかが減少し、pH が上昇した。揮発性塩基態窒素の含量は減少し、蛋白態窒素の含量は増大する傾向が認められた。

プロピオン酸ナトリウムを添加すると温度の上昇が抑えられる場合があったが、ニトロフラゾンにはその効果

はなかった。両者を併用すると、プロピオン酸ナトリウム単独の場合よりも効果が顕著であった。

終りに、サイレージならびにこれに関する記録を提供された動物管理室上野克美技官、実験について貴重な助言をいただいた加工部森地敏樹博士、ならびに校閲をいただいた渋谷佑彦部長に深謝の意を表する。

引用文献

- 1) Beck, T. and Gross, F.: *Wirtschaftseigene Futter*, 4, 298 (1964)
- 2) Gross, F. and Beck, T.: *ibid.*, 16, 1 (1970)
- 3) 大山嘉信・榎木茂彦: 日畜会報, 40, 109 (1969)
- 4) 大山嘉信・榎木茂彦: 同誌, 40, 249 (1969)
- 5) 高井慎二・佐々木泰斗: 東北農試研究速報, 9, 95 (1968)
- 6) 高井慎二・佐々木泰斗: 同誌, 10, 27 (1969)
- 7) 高井慎二・佐々木泰斗: 同誌, 10, 31 (1969)

(昭和46年1月22日受理)

Deterioration of Silage after Opening Silo

I. Changes in temperature and chemical composition in some wilted silages

Yoshinobu OHYAMA and Shigehiko MASAKI

(Department of Animal Nutrition, National Institute of Animal Industry, Chiba-shi)

Summary

Experiments for investigating the mechanism of the deterioration of silage after opening silo (so-called secondary fermentation) were carried out. As the model for the above-mentioned phenomenon, silages were packed tightly in formed polystyrene container immediately after taking them out from the original silos and left in a dark room with free access of air on the surface.

Experiments were carried out with eight wilted grass silages of 42~62% moisture, which contained lactic acid and acetic acid without any higher volatile fatty acid than butyric acid.

Changes in temperature of the silages in the containers varied widely; temperature did not change for about 4 or 10 days in some silages whereas in others it began to rise as soon as the silages were put into the container. Definite correlation between the properties of the silages and the pattern of temperature change could not be found.

Chemical composition of the silages did not change as far as the temperature did not rise. On the other hand, after the rise in temperature, decrease in lactic acid and/or acetic acid content was recognized accompanied by the rise in pH value in most cases. Usually, decrease in volatile basic nitrogen and increase in protein nitrogen were found after the rise in temperature.

Addition of sodium propionate prevented the deterioration in some cases but not in others. This effect was reinforced by the addition of nitrofurazone to sodium propionate, although nitrofurazone itself did not have the effect of retarding the rise in temperature.

(J. Japan. Grassl. Sci., 17, 176~183 Oct. 1971)