

サイレージの凍結と、それが貯蔵中の 栄養分の損耗におよぼす影響

坪 松 戒 三† 斎 藤 久 幸††

FREEZING CONDITION OF SILAGE IN TOWER SILO AND EFFECTS OF FREEZING ON LOSSES OF NUTRIENTS IN THE ENSILAGE PROCESS

Kaizo TSUBOMATSU, Hisayuki SAITO

I 緒 言

根釧地方のような寒冷、積雪地帯の酪農経営においては、生草利用期間は夏季4～5カ月で、残り7～8カ月間は貯蔵飼料に依存しなければならず、サイレージ、乾草のような貯蔵粗飼料の年間給与飼料上における役割りは重要なものである。これら貯蔵飼料は量的にも質的にも十分に確保しなければならぬことはもちろんであるが、当地方においては、牧草の第1刈り取り期の気象条件は不安定で、気温は低く、日照時間が少なく、温度は高く、乾草調製にはきわめて不適であり、調製中の降雨による養分の溶脱や、栄養価の高い葉部の損失が大きく、しかも、大部分の酪農家の乾草調製は畑地乾燥法であるため、多くの労力と日数を要し、また刈り取り期を遅らせるために乾草の品質は著しく低く、かつ、草地の生産量を低下させる主要な原因をなしている。

このような現状においては、WATSON & SMITH (1951) によって示されているように、サイレージは乾草に比較して、天候に左右されることが少なく、かつ、わずかな養分損失で調製することが可能なので、気象条件の恵まれない根釧地方では、サイレージの有利なことは明らかであり、当地方の酪農経営安定上、冬期貯蔵飼料中のサイレージの比重は大きなものである。

しかし、このサイレージにしても、同地方では

極端な寒冷のために、例年凍結の被害をこうむり、牧草を十分効果的に貯蔵ならびに給与することのできない現状にあることは農家経営安定上大きな問題である。

極寒地方においては、冬季間のサイレージの凍結は通常見受けられる現象である。凍結の害としては、サイレージ取り出し時の労働量の増加、家畜による採食量の減少、摂取熱量の低下ならびに貯蔵中の損耗量の増加などが考えられるが、まだこれらに関する研究は少なく、サイレージの凍結の実態を記載した文献もない。

これらの状況から、筆者らは、サイレージに関する研究の一環として、サイレージ調製技術改善上、凍結防止に関する資料をうるために、サイレージの凍結の機構と、それのおよぼす影響について調査中であり、いまだ解明を要する事項も少なくないが、現在までの調査研究の結果にもとづいて、凍結の実態とそれが貯蔵中の養分の損耗におよぼす影響について報告する。

本試験、調査にあたり、御指導と御助言をいただいた前根室支場長平賀即稔技師、北大広瀬可恒教授に感謝の意を表する。

II 試 験 方 法

A. サイレージの凍結状況調査

サイレージの凍結機構を解明する足がかりとして、根釧地方のサイレージの凍結の実態を把握するため、昭和33年1月から3月まで、昭和33年12月から翌年3月までの2回にわたって、凍結の

† 根室支場

†† 元根室支場

部位、凍結浸透度合（凍結部分の厚さ）ならびに凍結の程度について調査した。サイレージの凍結状況は複雑な環境温度の変化やサイロの立地条件、材質、構造ならびに埋蔵原料の状況などに左右され、一定の傾向を求めることは困難であるが、根室支場に設置されている牧草を埋蔵した下記のサイロについて、サイロ開封時および取り出しに応じて調査した凍結状況について報告する。

直径	高さ	壁の厚さ	材 質	型 式	基数
2.7 m	5.5 m	15 cm	コンクリート	1/4地下式塔型	3
3.6	7.3	22	火山灰ブロック	1/4地下式塔型	1

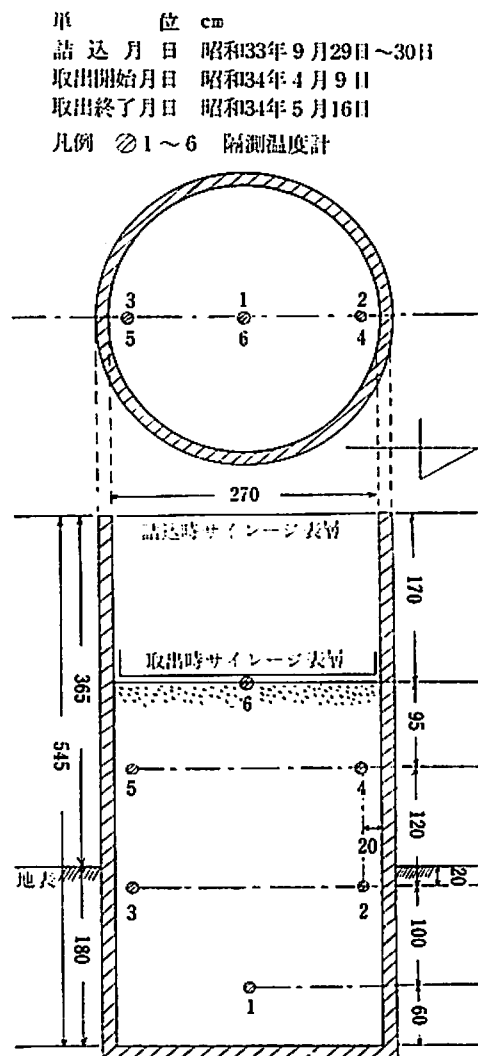
B. サイロ壁温調査

この実態調査結果にもとづいて、凍結状況の気温との関係：外気温の低下に伴うサイロ内気温の低下の状況、サイロ壁の熱貫流の状況ならびに南側サイロ壁面の直射日光による輻射熱の影響を追究する目的で、埋蔵物のない空のサイロの内面、外面壁温、サイロ内気温、外気温を測定し、南側部と北側部の比較を行なった。牛舎の南側に位置し、直径2.7m、高さ5.5m、壁の厚さ15cmの1/4地下式コンクリート製塔型サイロについて、サイロの内面・外面壁表面温度を南側と北側の2カ所において測定し、同時にサイロ内気温と外気温を測定した。サイロの取り出し口はサイレージ埋蔵中と同じ状態に密閉し、内部温度の測定は予め装置した隔測温度計によった。

C. サイレージの貯蔵温度調査

サイレージの凍結がどのような環境条件から発生するかについて追究するために、環境温度により影響されるサイレージの貯蔵温度の推移とそれが凍結までの推移ならびに凍結融解の状況を把握する目的で、牛舎の南側に位置している、マメ科牧草を主とする2番刈り牧草を埋蔵した直径2.7m、高さ5.5m、壁の厚さ15cmの1/4地下式のコンクリート製塔型サイロについて、第1図のように地下中央部・北側地表部（サイロ壁面より20cm内部；以下同じ）・南側地表部・北側地上部・南側地上部ならびにサイレージ表面中央部（ビニールカバ

第1図 サイレージ取出時における温度計配置図



ーとムシロで被覆した下部)の6カ所に6点式の自記隔測抵抗温度計を配置し、埋蔵時の昭和33年10月より取り出し時の翌年4月にわたり、温度変化を記録したものである。

D. サイレージの凍結ならびに長期貯蔵が醗酵状況、栄養分の損耗に及ぼす影響

サイレージの凍結による栄養分上の被害状況を明らかにするため、サイレージの代表的な添加処理法である Sodium metabisulfite 添加、鉍酸添加ならびに無処理牧草サイレージについて、その貯蔵期間や凍結がサイレージの醗酵状況や栄養分の

損耗にいかなる影響をおよぼすかについて調査しようとしたものである。

原料牧草は7月6日刈り取りのラデノクロバー、赤クロバー（開花期）10～20%混合したチモシー（出穂期）を供試し、サイロは排出成分を調査するために底部に排出液採取装置を付し、サイレージの凍結など外気温の影響が強調されるように、内面にビニール塗料を塗布した9基のドラム罐を使用した。

サイレージの調製法は次のように処理したものである。原料草はカッターにより予め細切し、秤量後、S.M.S.添加・塩酸添加・無処理の3処理を行ない、各3基ずつ、ドラム罐内の周囲と上部のみビニールフィルムで被覆して、原料草を加圧充填し、木蓋で被覆し、さらに各ドラムサイロごとに約30kgの重石をのせた。

この各処理サイレージについて、埋蔵4ヵ月、7ヵ月、10ヵ月後の11月10日、2月10日、5月10日に1基ずつ供試した。表層損耗量とサイレージ回収量を秤量し、上・中・下層の中央部を試料として採取し、色調、香気、カビの発生ならびに腐敗の有無について肉眼的観察を行ない、さらに醗酵成分、一般成分について分析を行なった。排出液は流出に応じて随時、排出量と一般成分を調査した。

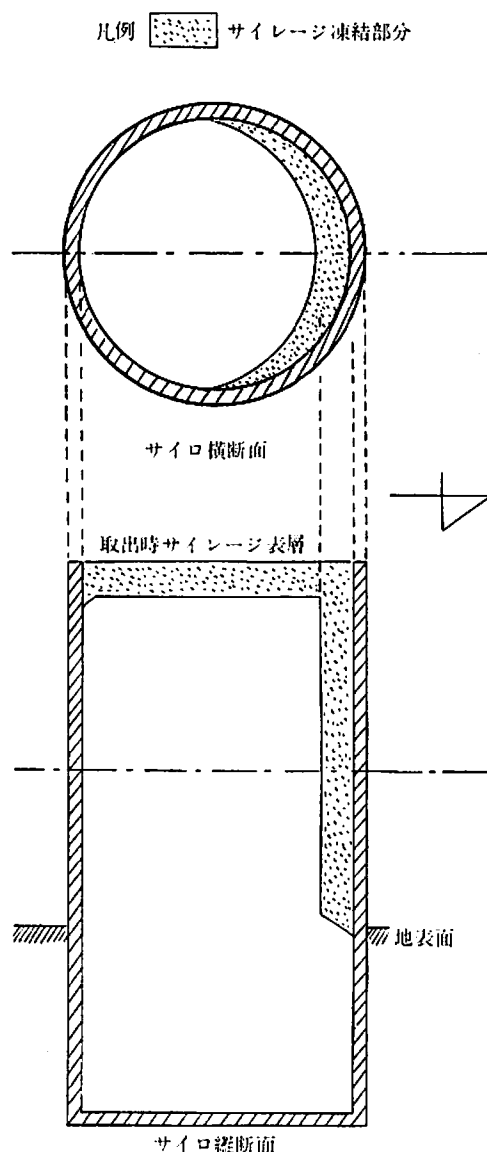
醗酵成分の分析法は、乳酸は p-Hydroxy diphenyl 試薬の比色法(BARNETT 1951)により、V.F.A.・N.V.F.A.・V.B.N. は WOODMAN (1925) 法によった。

III 調査および試験結果

A. サイレージの凍結状況調査

調査結果を総括して、その凍結部位を模式的に示すと、第2図のとおりである。サイレージ表層部分と北側サイロ壁付近はとくに凍結がはげしく、30～50cmの厚さに、氷塊状もしくは氷屑状に氷結する。北側サイロ壁の凍結部分は、水平面的には、真北にあたる部分が最も厚く凍結し、東西によるに従い、薄くなり三日月状をなしている。縦断面について観察すると、凍結部分は地上部のみで地下部は凍結していない。換言すると、サイ

第2図 塔型サイロにおけるサイレージの凍結状況



レージの凍結はサイロ内気温の低下によると同時に、直接に、サイロ壁の熱貫流によっておこることがうかがわれる。

また、極寒期の取り出し中サイレージでは、サイレージの表層部分は1夜の寒冷によって、厚さ2～10cmの範囲で、氷屑状乃至アイスクリーム状の凍結を示した。

第1表に示したように、凍結の度合はサイレージの水分含有率が高いと、はげしくなる傾向がみられる。しかし、凍結の浸透度合(凍結部分の厚さ)

は逆に、小さくなる傾向があり、これは凍結により生じた氷の理化学的性質(比熱、熱伝導率、凝固熱など)に関係するものと考えられる。

サイロ材質(コンクリートと中空の火山灰ブロック)による凍結の差異は、埋蔵原料や取り出し時期の異なるために、本調査では明らかにし得なかった。

つぎに、凍結による害としては、凍結の程度がはげしく、氷塊状に凍結した場合は、草塊の破砕はツルハシや島田鍬のような道具によらなければならない、サイレージ取り出し労力は倍加する。また、サイロ壁際の草塊の破砕は困難で、一部は春季温暖になるまで、融解剥離せず、その部分は損耗となると同時に、サイロ壁面の清掃洗滌を困難にする。さらに、凍結したサイレージを春季気温が上昇するまで貯蔵し、それが融解するときには、脱水作用により、サイレージ組織中の水分も浸出されるようであり、サイレージは乾燥しやすくなり、また、栄養分の排出液による損耗が増大する傾向が認められる。

埋蔵物総量に対する凍結部分の割合はサイロが大きくなると減少することが認められる。

第1表 サイレージの含水率と凍結の関係

サイロ 機 質	水 分 含有率	埋蔵原料	凍結部分 の 厚 さ	凍 結 状 態
コン ク リ ー ト	85.9	混合牧草	37	氷 塊 状
"	79.0	"	47	氷 屑 状
"	86.0	荳科牧草	27	氷 塊 状
"	75.3	"	30	氷屑状～ アイスクリーム状
火山灰 ブ ロ ッ ク	79.4	禾本科牧草	29	氷 屑 状

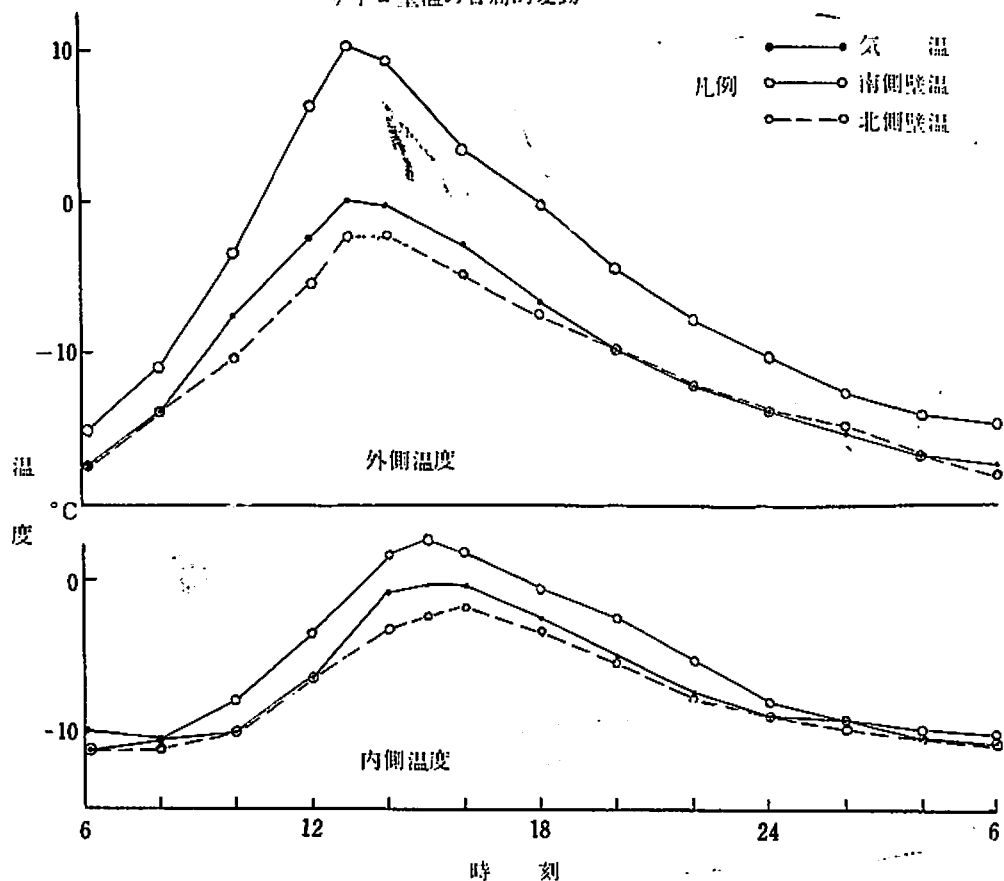
B. サイロ壁温調査

サイロ内気温やサイロ壁温の24時間中の推移を測定すると、外気温の変動によって複雑な推移を示すことが多い。今回は温度測定の日数が少なく、複雑な環境状況におけるサイロ壁の温度に関する条件を解析することはできなかったが、調査結果を総括して、比較的代表的な推移をしたとみられ、外気温が数日間似かよった日周の変動を反復した無風快晴の場合の1例を示すと、第2表および第3図のとおりである。

第2表 サイロ壁温の日周の変動(°C)

時刻	天 候	外 気 温	南側壁外側温	北側壁外側温	内 気 温	南側壁内側温	北側壁内側温
6	晴 日出前	- 17.5	- 15.0	- 17.5	- 11.0	- 10.0	- 11.0
8	" 直射日光	- 14.0	- 11.0	- 14.0	- 10.5	- 10.0	- 11.5
10	" "	- 17.5	- 3.5	- 10.5	- 10.0	- 8.0	- 10.0
12	" "	- 2.5	+ 6.0	- 5.5	- 6.5	- 3.5	- 6.5
13	" "	0	+ 10.0	- 2.5			
14	" "	- 0.5	+ 9.0	- 2.5	- 1.0	- 1.5	- 3.5
15	" "				- 0.5	- 2.5	- 2.5
16	" 日没前	- 3.0	+ 3.0	- 5.0	- 0.5	- 1.5	- 2.0
18	" 日 没	- 7.0	- 0.5	- 7.5	- 2.5	- 0.5	- 3.5
20	" 夜	- 10.0	- 5.0	- 10.0	- 5.0	- 2.5	- 5.5
22	" "	- 12.5	- 8.0	- 12.5	- 7.5	- 5.5	- 8.0
24	" "	- 14.0	- 10.5	- 14.0	- 8.5	- 8.0	- 8.5
2	" "	- 15.5	- 13.0	- 15.0	- 9.5	- 9.0	- 9.5
4	" "	- 17.0	- 14.5	- 17.0	- 10.5	- 10.0	- 10.5
6	" 日出前	- 17.5	- 15.0	- 18.0	- 11.0	- 10.0	- 11.0

第3図 サイロ壁内面温度と外面温度の関係
サイロ壁温の日周的変動



これによると、日周的にピークを示す時刻は、内側温度は外側温度より最高温度では2～4時間、最低温度では2～3時間後にずれてあらわれる。また日周的な温度変動の範囲は内側では外側よりかなり小さくなることが認められたが、外側の温度変動範囲に対する内側の比率は区々まちまちであって、本調査では一定の比率は求められなかった。

つぎに、日光直射時の南側外壁温は輻射熱により外気温、北側壁温に比較してかなり高い温度を示し、その結果として、南側の内壁温も、内気温、北側内壁温より高い温度を示した。このことから、直射日光の輻射熱により、サイレージの凍結が抑制され、かつ、内気温が高められるものと考えられる。北側外壁温は一般に外気温より低く、北風の吹く場合にはとくにこの傾向が強くなり、内面壁温

は内気温より低い関係にあり、これがサイレージの凍結を促進するものと考えられた。

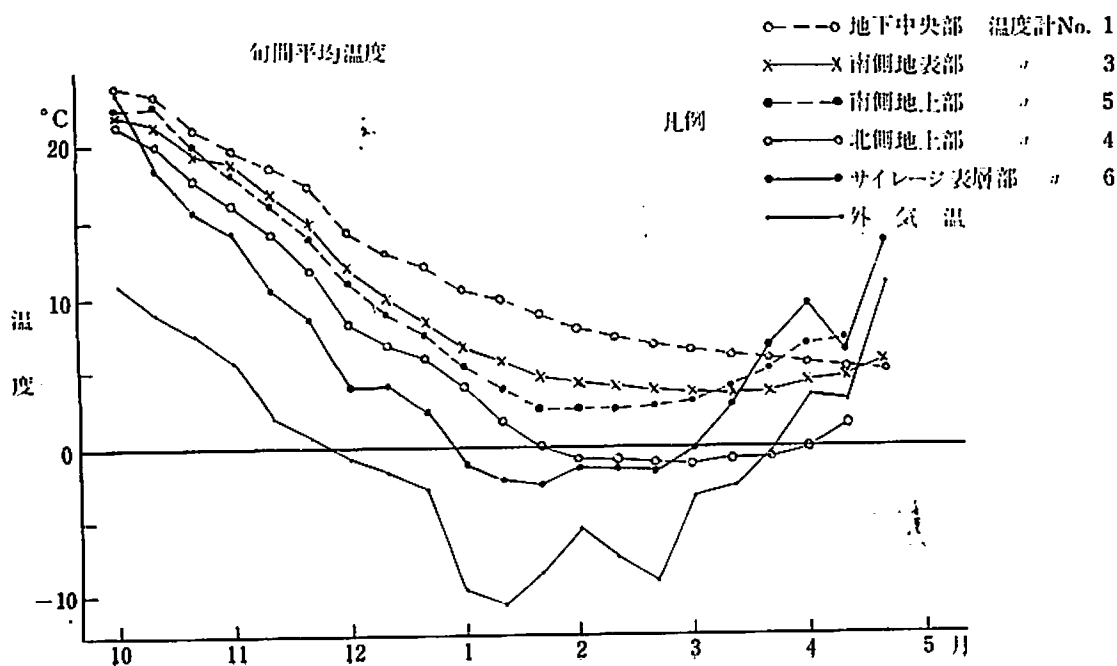
C. サイレージの貯蔵温度調査

埋蔵当初の呼吸作用により生ずる高温から外気温により影響された、貯蔵中のサイレージの低温への貯蔵温度の推移状況を旬間ごとの平均温度として示すと、第3表および第4図のとおりであり、旬間ごとの最高、最低温度で表示すると、第4表および第5図のとおりである。これによると、外気温の影響によりサイレージの貯蔵温度はかなり急速に変動することが認められる。各部位の最低温度についてみると、地下部位・地表部位・地上部位の順に低く、北側は南側より低い関係にある。とくにサイレージ表層部と地上部の北側は氷点以下となり、凍結することが認められ、実態調査の

第3表 旬間平均温度(°C)

月	旬	外 気 温			サイレージ表層温			北 側	南 側	南 側	地 下
		Max.	Min.	Mean	Max.	Min.	Mean	地上部温	地上部温	地表部温	中央部温
10	上	16.64	5.17	10.91	26.10	20.92	23.51	21.39	22.28	21.67	23.33
	中	13.33	4.48	8.91	19.06	17.50	18.28	19.89	22.78	21.31	22.82
	下	12.96	1.96	7.45	16.50	14.75	15.63	17.87	19.85	19.40	21.10
11	上	11.06	0.42	5.74	15.20	13.14	14.17	16.27	18.11	18.20	19.76
	中	6.57	-2.87	1.85	11.11	9.63	10.37	14.39	16.20	16.68	18.52
	下	6.63	-5.48	0.58	9.74	7.39	8.57	11.88	13.96	14.72	17.27
12	上	3.65	-5.42	-0.89	4.56	3.23	3.89	8.49	10.96	11.62	14.31
	中	2.53	-5.92	-1.70	4.71	3.28	4.00	6.91	8.88	9.65	13.22
	下	0.47	-6.19	-2.85	2.77	1.76	2.27	5.92	7.70	8.38	11.98
1	上	-2.48	-16.63	-9.56	-0.89	-1.64	-1.27	4.19	5.37	6.63	10.66
	中	-3.11	-18.01	-10.56	-1.86	-2.52	-2.19	1.83	3.78	5.43	9.75
	下	-2.76	-13.70	-8.27	-2.14	-2.87	-2.50	0.05	2.70	4.57	8.76
2	上	0.17	-11.29	-5.56	-0.97	-1.31	-0.92	2.51	4.01	4.01	7.93
	中	-0.26	-14.53	-7.40	-1.06	-1.46	-1.72	2.66	3.79	3.79	7.33
	下	-1.95	-16.00	-8.96	-1.10	-1.54	-1.38	2.63	3.40	3.40	6.84
3	上	1.77	-8.31	-3.27	0.15	-0.50	-0.18	-1.24	3.17	3.27	6.58
	中	1.93	-7.38	-2.73	4.15	1.34	2.74	-1.07	3.94	3.29	6.19
	下	3.91	-4.49	-0.59	7.87	5.46	6.67	-0.96	5.37	3.33	5.86
4	上	7.57	-0.81	3.39	12.38	6.55	9.46	-0.05	7.00	4.20	5.40
	中	6.81	-1.25	2.78	8.47	3.59	6.03	1.30	6.88	4.54	5.15
	下	18.60	3.54	11.07	18.69	8.56	13.63	—	—	5.08	5.04

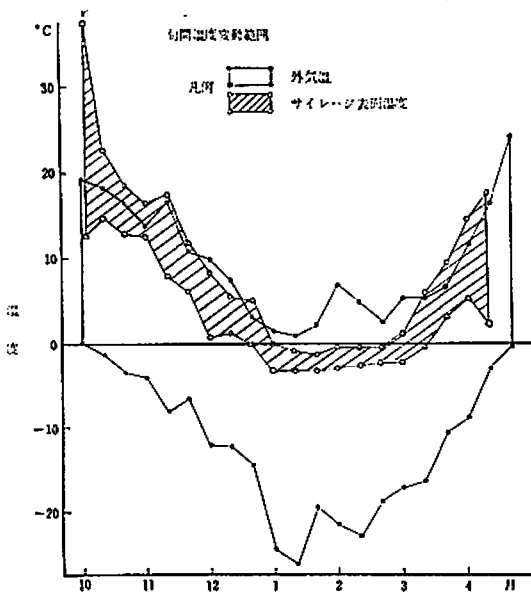
第4図 外気温とサイレージ各部位の温度の推移状況



第4表 旬間最高・最低温度(°C)

月	旬	最高温度						最低温度					
		気温	地下	南地表	北地上	南地上	表層	気温	地下	南地表	北地上	南地上	表層
10	上	19.0	23.8	22.0	22.0	23.0	37.5	-0.1	22.0	20.0	20.0	20.0	12.5
	中	18.2	23.5	22.0	21.0	23.5	22.8	-1.6	22.0	20.2	19.0	21.5	14.5
	下	16.4	22.0	20.0	19.0	21.0	18.5	-3.7	20.0	18.5	17.0	19.0	12.5
11	上	13.5	20.0	18.5	17.0	18.5	16.2	-4.2	19.3	17.7	15.3	17.6	12.0
	中	16.5	19.2	17.7	15.3	17.4	17.0	-8.2	17.8	15.7	13.0	15.0	7.5
	下	10.8	17.8	15.5	13.0	14.5	10.8	-6.8	16.8	14.3	11.0	13.7	5.8
12	上	9.5	15.0	12.5	9.0	12.0	8.0	-12.2	13.8	10.7	7.5	9.6	0.3
	中	7.0	13.8	19.4	7.5	9.4	5.4	-12.2	12.7	9.2	6.3	8.6	1.2
	下	3.1	12.6	9.0	6.2	8.6	5.0	-14.6	11.5	7.5	5.4	6.6	-0.2
1	上	1.1	11.0	7.2	5.2	6.3	0.3	-24.5	10.3	6.0	3.2	4.5	-3.4
	中	0.5	10.3	5.9	2.8	4.2	-1.0	-26.2	9.3	5.0	0.9	3.3	-3.5
	下	1.9	9.2	4.9	0.7	3.0	-1.5	-19.6	8.3	4.3	-0.5	2.4	-3.3
2	上	6.5	8.2	4.2	-0.7	2.9	-0.5	-22.2	7.7	3.9	-1.0	2.2	-3.0
	中	4.5	7.7	3.9	-1.2	2.7	-0.6	-23.1	7.0	3.6	-1.5	2.6	-2.7
	下	2.1	7.0	3.6	-1.3	2.6	-0.5	-18.7	6.7	3.2	-1.4	2.4	-2.4
3	上	5.0	6.7	3.3	-1.2	4.0	1.1	-17.3	6.4	3.3	-1.4	2.6	-2.5
	中	5.0	6.4	3.3	-1.0	4.2	5.8	-16.3	6.0	3.2	-1.2	3.8	0.5
	下	6.2	6.0	3.5	-0.9	5.8	9.6	-10.7	5.8	3.2	-1.0	4.7	3.1
4	上	11.2	5.8	4.3	0	7.0	14.8	-9.0	5.4	3.5	-0.9	5.8	5.0
	中	16.5	5.3	4.8	2.5	7.0	17.5	-3.2	5.0	4.5	0.2	6.5	0.2
	下	24.0	5.2	7.5	—	—	—	-0.5	4.8	4.8	—	—	—

第5図 外気温とサイレージ表面温度の関係



結果と一致した。春季の気温上昇によるサイレージの貯蔵温度上昇の影響は地下部位では明らかでないが、地表部位・地上部位は大きい。

本調査においては、サイレージの凍結は、表層部については12月下旬より3月上旬まで、地上部位の北側壁付近のサイレージについては1月下旬より凍結し、その融解には4月上旬までを要し、凍結したサイレージが融解するまでには相当日数の高気温を必要とすることが認められる。

さらに、サイレージ詰め込み時より取り出し時までの貯蔵中のサイレージ温度の推移を、各部位における当初温度と最低温度の差ならびにそれに要した日数について示すと、第5表のとおりである。最低温度が氷点以下の場合、表示温度は凍結による凝固熱の影響を受けているものと考えられるので、当初温度から氷点までの data について比較すると、最高温度と最低温度の較差は地上

部,とくにサイレーシ表層部は地下部より大きく,かつ,地上部は地下部より早く,約 $\frac{1}{2}$ の日数で最低温度に到達する。換言すると,温度低下の速度はサイレーシ表層部・地上部・地表部ならびに地下部の順に小さくなり,南側は北側より小さい関係にあり,地上部壁の近くはサイレーシ表層部の $\frac{1}{2}$,地下部は $\frac{1}{4}$ であり,サイレーシ貯蔵温度の変

動はサイロ内気温の変動によると同時に,直接的にサイロ壁の熱貫流による影響もかなり大きいことが知れる。

貯蔵温度の日周的変動については,サイレーシ表面温度は外気温や輻射熱によって,平均 2°C の日周変化をするが,サイレーシ内部の温度は明らかな日周的変動を示さなかった。

第 5 表 外気温による温度低下の影響

	気 温	表 層	北側地上	南側地上	南側地表	地 下
最高温度	19.0°C	37.5°C	22.0°C	23.5°C	22.0°C	23.8°C
最低温度	-26.2	- 3.5 *	- 1.5 *	2.2	3.2	4.8
較 差	45.2	41.0	23.5	21.1	18.8	19.0
Max. を示した月日		10月 3 日	10月 4 日	10月13日	10月 4 日	10月 7 日
Min. を示した月日		1 月 8 日	2 月20日	2 月 3 日	2 月28日	4 月25日
Max. から Min. に要する日数		97日	139日	113日	147日	200日
Max.-Min. 較差/要した日数		0.423°C^*	0.169°C^*	0.187°C	0.128°C	0.095°C
Max.		37.5°C	22.0°C			
0		0	0			
較 差		37.5	22.0			
Max. を示した日数		10月 3 日	10月 4 日			
0 を示した日数		12月26日	1 月26日			
Max. から 0 に要する日数		84日	114日			
Max.-0 較差/要した日数		0.446°C	0.204°C			

注) * 数値は凍結により潜熱の影響をうけていると考えられる。

第 6 表 旬間ごとの最高温度と最低温度の隔差

月	旬	サイレーシ 表 層	北側地上部	南側地上部	南側地表部	地下中央部	外 気 温
10	上	25.0°C	2.0°C	3.0°C	2.0°C	1.8°C	19.1°C
	中	8.3	2.0	2.0	1.8	1.5	19.8
	下	6.0	2.0	2.0	1.5	2.0	20.1
11	上	4.2	1.7	1.9	0.8	0.7	17.7
	中	9.5	2.3	2.4	2.0	1.4	24.7
	下	5.0	2.0	0.8	1.2	1.0	17.6
12	上	7.7	1.5	2.4	1.8	1.2	21.7
	中	4.2	1.2	0.8	1.2	1.1	19.2
	下	5.2	0.8	2.0	1.5	1.1	17.7
1	上	3.7	2.0	1.7	1.2	0.7	25.6
	中	2.5	1.9	0.9	0.9	1.0	26.7
	下	1.8	1.2	0.6	0.6	0.9	21.5
2	上	2.5	0.3	0.5	0.3	0.5	28.7
	中	2.1	0.3	0.1	0.3	0.7	27.6
	下	1.9	0.1	0.2	0.4	0.3	20.8
3	上	3.6	0.2	1.4	0	0.3	22.3
	中	5.3	0.2	0.4	0.1	0.4	21.3
	下	6.5	0.1	1.1	0.3	0.2	16.9
4	上	9.8	0.9	1.2	0.8	0.4	20.2
	中	15.3	0.2	0.5	0.3	0.3	19.7
	下				2.7	0.5	24.5
平 均		6.51	1.25	1.25	0.94	0.86	21.6

D. サイレーズの凍結ならびに長期貯蔵が醗酵状況、栄養分の損耗におよぼす影響

埋蔵、取り出しについての概要は第7表に、外観調査結果は第8表に示した。

第7表 埋蔵、回収の概要

詰込月日	添加処理	埋草量	埋蔵合計量	取出月日	回収量	表層廃量	排液量	回収合計量
35. 7. 7	無 添 加	105 ^{kg}	105,000 ^g	35.11.10	102,000 ^g	—	—	102,000 ^g
"	SMS 550g	110	110,550	"	107,500	—	—	107,500
"	2 N-HCl 6,000	100	106,000	"	101,500	—	2,100	103,600
35. 7. 6	無 添 加	105	105,000	36. 2.10	97,000	3,500	—	101,400
"	SMS 550g	110	110,550	"	108,700	200	—	108,900
"	2 N-HCl 6,000	100	106,000	"	103,900	—	—	103,900
35. 7. 6	無 添 加	105	105,000	36. 5.10	87,700	2,900	13,300	103,900
"	SMS 550g	110	110,550	"	91,000	1,900	16,200	109,100
"	2 N-HCl 6,000	105	106,000	"	87,000	—	18,500	105,500

第8表 サイレーズの外観調査結果

貯蔵期間	添加処理	凍結状況	色 調	香 気	表層損失状況
4カ月	無 添 加 0.5% SMS 2 N-HCl	凍 結 前 " "	緑褐色 緑黄色 黄金緑色	甘酸臭 爽快臭 酸 臭	
7カ月	無 添 加 0.5% SMS 2 N-HCl	凍 結 中 " "	緑褐色 緑黄色 黄金色	甘酸臭 爽快臭 弱甘酸臭	白カビ発生、やや酪酸臭 僅かに白カビ発生
10カ月	無 添 加 0.5% SMS 2 N-HCl	凍結融解後 " "	黄褐色 黄緑色 黄金色	甘酸臭やや酪酸臭 爽快臭 弱甘酸こおばしい	白カビ発生、酪酸臭 べたつき、ムン臭

埋蔵4カ月目ではカビや腐敗による表面損耗はみられなかったが、7カ月以降のものでは、無添加と S.M.S. 添加サイレーズに表面損耗が認められ、凍結初期における凍結、凍融の反復が若干こ

れに関係しているものと思われる。10カ月目の取り出しサイレーズは、各添加サイレーズとも、凍結の融解による脱水作用がおこり、多量の排出液が流出した。

第9表 サイレーズの醗酵成分調査結果

貯蔵期間	添加処理	pH	総 酸	揮発性塩基	アミノ酸	揮 発 酸	不揮発酸	乳 酸 %
4カ月	無 添 加 SMS HCl	4.00 4.60 3.05	344 286 292	44 16 6	93 128 41	88 47 43	162 111 208	1.52 0.31 1.00
7カ月	無 添 加 SMS HCl	4.07 4.60 3.20	350 272 365	45 28 18	95 105 70	123 65 54	129 101 242	0.82 0.34 0.84
10カ月	無 添 加 SMS HCl	4.27 4.57 3.20	303 288 358	44 32 26	75 101 75	157 82 65	70 105 217	0.52 0.40 0.95

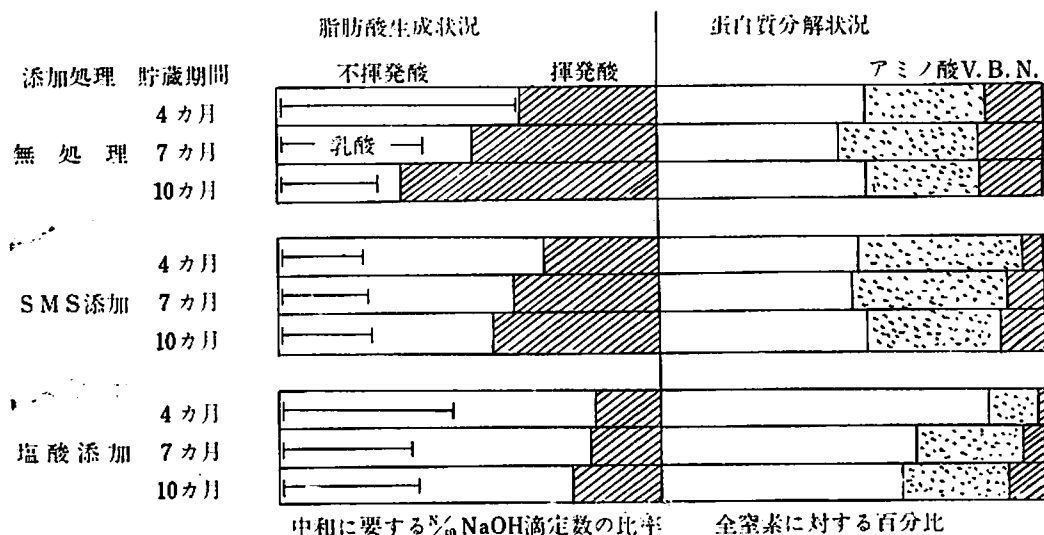
注) 数値は、上・中・下層の3点の平均値
新鮮サイレーズ 100g 中和に要する N/10 NaOH, N/10 HCl, ml 数
乳酸は P-Hydroxy Diphenyl の比色法による新鮮物中%

第 10 表 排液中の醗酵成分調査結果

貯蔵期間	添 加 処 理	pH	総 酸	揮発性塩基	アミノ酸	揮 発 酸	不揮発酸
10ヵ月	無 添 加	4.2	400	47	93	137	170
	SMS	4.8	267	33	80	77	110
	HCl	3.4	333	17	27	70	237

注) サイレージ排液 100 g 中和に要する N/10 NaOH, N/10 HCl, ml 数

第 6 図 サイレージの酸組成と含窒素物組成の貯蔵期間による変動



サイレージの醗酵成分の調査結果は第9表、第6図のとおりで、埋蔵初期に pH の低下が抑制される S.M.S. 添加サイレージを除き、貯蔵期間の長くなるにつれて、サイレージの pH は上昇の傾向がある。とくに無添加サイレージの凍結融解後に、この傾向が著しい。脂肪酸の生成状況については、埋蔵期間の長くなるに従い、どの添加処理サイレージも、揮発酸が増加し、不揮発酸が減少する。この脂肪酸組成の変動は、凍結融解後において顕著である。この現象は埋蔵初期に生成された乳酸が酪酸に変わる反応に関係しているものと考えられ、凍結の融解によりサイレージが過汁となるためと、流出液により脂肪酸も排出して、酸の濃度が減少するために、この乳酸分解作用が促進されるものと考えられる。なお、無添加ならびに有機物を添加したサイレージの蒸溜法による不揮発酸量と p-Hydroxy diphenyl の比色法による乳酸量 (アセトアルデヒドを含む) はよく近似してい

るが、鉍酸およびその塩類を添加したサイレージの酸組成については、前記両成分の間かなりの差がみられ、この差すなわち不揮発酸中の乳酸以外の酸は、添加した鉍酸またはその塩より生成した酸根によるものと考えられる。

含窒素物の形態の変化については、埋蔵期間が長くなり、凍害を被ると、アミノ酸が減少、揮発性塩基窒素が増加しており、アミノ酸分解作用が促進されるようである。つぎに原料草とサイレージの一般成分は第11表のとおりで、粗蛋白質と純蛋白質の比率より、埋蔵中の蛋白質の非蛋白態窒素への変化についてみると、埋蔵期間が長くなると、純蛋白質が減少し、蛋白質分解作用の大きくなることがうかがわれるが、凍結による影響は明らかでない。

サイレージの調製においては、貯蔵中における栄養分の歩留りの高いことが重要であるので、第12表には、それについて調査した結果を示した。

第 11 表 原料牧草とサイレージの一般成分分析結果 (%)

貯蔵期間	添加処理		乾 物	粗 蛋 白	純 蛋 白	粗脂肪	粗 纖 維	NFE	粗灰分
4 カ月		原 料	21.42	14.59	12.58	4.35	26.65	47.76	6.65
	無添加 SMS HCl	サイレージ	18.79	13.33	9.39	6.92	26.62	45.44	7.19
			19.65	13.01	8.88	5.10	27.37	46.32	8.20
			19.34	13.91	9.26	5.37	26.42	46.01	8.29
7 カ月		原 料	21.39	12.94	11.09	3.74	28.10	48.10	7.12
	無添加 SMS HCl	サイレージ	18.89	12.06	7.36	6.01	28.81	45.68	7.44
			19.29	12.23	6.64	5.30	28.59	45.55	8.33
			18.33	12.08	7.53	5.22	29.17	45.17	8.36
10 カ月		原 料	21.39	12.94	11.09	3.74	28.10	48.10	7.12
	無添加 SMS HCl	サイレージ	20.37	11.41	7.54	6.42	29.52	46.26	6.39
			21.41	11.67	6.85	5.49	30.12	45.35	7.19
			20.70	11.66	7.85	5.29	30.29	45.31	7.45

注) 数値は上・中・下層 3 点平均の無水物中含率

第 12 表 サイレージ貯蔵中の栄養分回収率 (%)

貯蔵期間	添 加 処 理	乾 物	粗 蛋 白	純 蛋 白	粗 脂 肪	粗 纖 維	NFE	粗 灰 分
4 カ月	無 添 加	85.3	78.0	63.7	135.3	85.1	82.0	92.2
	SMS	88.1	80.0	63.3	104.9	92.1	87.0	86.8
	塩 酸	90.5	88.1	67.9	113.9	91.6	88.9	87.9
7 カ月	無 添 加	85.3	79.5	56.6	137.0	87.4	81.0	89.2
	SMS	87.6	84.4	53.3	126.6	90.6	84.3	82.7
	塩 酸	87.4	83.1	60.4	124.4	92.4	83.6	83.2
10 カ月	無 添 加	82.2	72.5	55.9	141.1	86.3	79.0	73.7
	SMS	83.0	76.2	52.1	124.1	90.4	79.8	67.6
	塩 酸	82.7	75.9	59.6	119.1	90.8	79.3	70.2

各添加処理サイレージともに、埋蔵することにより、粗脂肪はその絶対量が増加するが、その他の成分はすべて減少し、貯蔵期間の長びくにつれて、歩留りの低下がみられる。これを一般成分別にみると、粗蛋白質は埋蔵後 4 カ月目までの初期に 10~20% の損耗を示し、その後は損耗の程度は少なくなるが、凍結の融解により、再び損耗量が増加し、25~30% の損耗率となった。純蛋白質は最も回収率が低く、損耗の状況は初期に大きく、その後小さくなる傾向にあり、10 カ月後で 40~50% の損耗を示した。可溶性無窒素物や粗繊維についても、損耗は初期に多く、後期に少なくなり、とくに粗繊維は 4 カ月目以降は一定の水準 (10~15

% の損耗率) で推移した。粗灰分は凍結融解後の損耗が大きくなる傾向にあり、凍結中 15% の損耗が凍融後は 30% と倍増した。粗脂肪については、その増加の状況は、無処理サイレージと、S.M.S. や塩酸添加サイレージでは趣きを異にし、前者では初期に増加率が大きく、後期は一定水準で経過するが、後者では凍結するまで、徐々に増加するようであり、かつ、増加量は前者に比し少なく、脂肪酸の生成状況を反映しているものと考えられる。

つぎに、サイレージ排出液の流出量と成分組成は第 13 表のとおりであり、凍結融解後の排出液による栄養分の損耗がかなり高いことが知れる。それ故に、サイレージ貯蔵中の栄養分の損耗を、呼

吸ならびに醗酵による損耗(サイロ中の全損耗から表面 Spoilage と排出液による損耗を差引いたもの)、表面廃棄による損耗および排出液による損耗の3項に

分類して考察すると、第14表・第7図のとおりである。

第13表 排出量と排液成分分析結果

貯蔵期間	添加処理		排 液 量	比 重	乾 物	有 機 物	粗 灰 分	粗 蛋 白	純 蛋 白
10ヵ月	無 添 加	含有率 重 量	13,300g	1.024	5.02% 668	3.97% 528	1.05% 140	1.49% 198	0.11% 15
	SMS	含有率 重 量	16,200	1.035	6.63 1,074	4.69 760	1.94 314	1.53 248	0.16 29
	塩 酸	含有率 重 量	18,500	1.027	5.41 1,001	4.11 760	1.30 241	1.09 202	0.07 13
4ヵ月	塩 酸	含有率 重 量	2,100	1.024	4.18 88	3.12 66	1.06 22	0.36 8	0.16 3

第14表 サイレージ貯蔵中の栄養分の損耗の区分

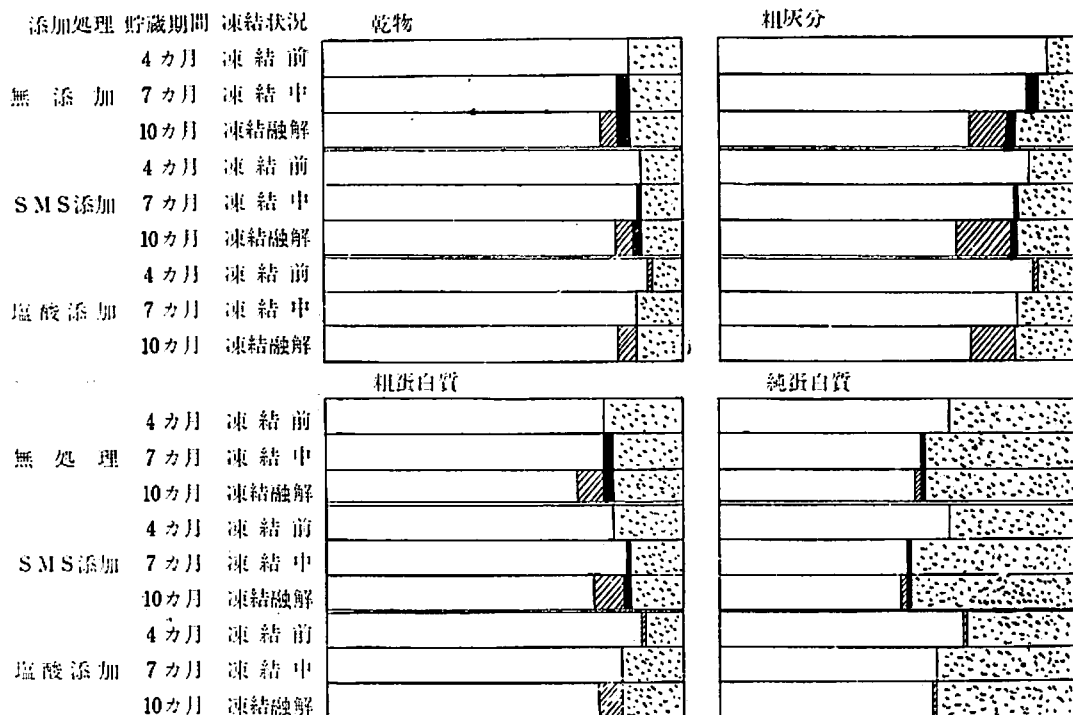
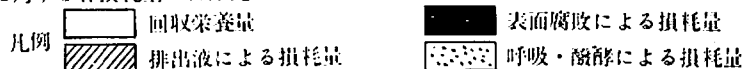
貯蔵期間	添加処理	損 耗 区 分	乾 物	有 機 物	粗 蛋 白	純 蛋 白	粗 灰 分
4ヵ月	無 添 加	全表面損耗	14.7	15.2	22.0	36.3	7.8
		排出液損耗	—	—	—	—	—
		呼吸、醗酵損耗	14.7	15.2	22.0	36.3	7.8
	SMS	全表面損耗	11.9	11.8	20.0	36.7	13.2
		排出液損耗	—	—	—	—	—
		呼吸、醗酵損耗	11.9	11.8	20.0	36.7	13.2
7ヵ月	塩 酸	全表面損耗	9.5	8.8	11.9	32.1	12.1
		排出液損耗	—	—	—	—	—
		呼吸、醗酵損耗	0.4	0.3	0.2	0.1	1.2
	無 添 加	同 上	9.1	8.5	11.7	32.0	10.9
		同 上	17.3	18.0	23.3	45.4	13.9
		同 上	3.0	3.0	2.8	2.0	3.1
10ヵ月	SMS	同 上	14.7	15.0	20.5	43.4	10.8
		同 上	12.6	12.1	15.8	46.8	17.5
		同 上	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2
	塩 酸	同 上	12.4	11.9	15.6	46.7	17.3
		同 上	12.6	12.1	16.9	39.6	16.8
		同 上	—	—	—	—	—
10ヵ月	無 添 加	同 上	12.6	12.1	16.9	39.6	16.8
		同 上	20.4	19.8	29.8	45.9	28.7
		同 上	2.6	2.6	2.3	1.8	2.4
	SMS	同 上	3.0	2.5	6.8	0.6	8.8
		同 上	14.8	14.7	20.7	43.5	17.5
		同 上	18.7	17.2	25.3	48.9	33.8
10ヵ月	塩 酸	同 上	1.7	1.7	1.5	1.0	1.4
		同 上	4.5	3.5	8.1	1.0	14.8
		同 上	12.5	12.0	15.7	46.9	17.6
	無 添 加	同 上	17.3	16.1	24.1	40.4	29.8
		同 上	—	—	—	—	—
		同 上	4.6	3.8	7.3	0.5	12.6
10ヵ月	塩 酸	同 上	12.7	12.3	16.8	39.9	17.2
		同 上	—	—	—	—	—

(注) 数値は堆蔵量に対する%

全損耗に排出液中の損耗、表面腐敗による損耗との差を呼吸、醗酵による損耗とした。

第 7 図 サイレージ貯蔵中における栄養分の損耗の貯蔵期間による変動

埋蔵量に対する各損耗量の百分比



これによると、塩酸添加処理以外は、呼吸・醗酵による損耗は埋蔵4カ月目以前の初期に生ずるものが大部分で、4カ月目以降の損耗の増加は表面 Spoilage や排出液の増加に原因している。とくに排出損耗は、排出液の成分組成からも知れるように、各処理サイレージともに、凍結融解後に排出液の増大することによって、急激に増量することが認められた。これを成分別に検討すると、乾物については、呼吸・醗酵損耗は10~15%、表層 Spoilage は0~3%であり、排出損耗は3~5%で、表層 Spoilage より大きく、全損耗量の15~30%に相当する。粗蛋白質の排出損耗は比較的大きく、埋蔵量の7~8%で、全損耗量の23~32%を占めているが、純蛋白質については、排出損耗はごくわずかであり、全損耗の95%以上は埋蔵量の40~50%に相当する蛋白分解作用によっている。全損耗中、排出損耗の最も大きい割合を占

めるのは粗灰分であって、埋蔵量の9~15%で、全損耗中の30~45%を占めている。また、粗灰分の排出損耗は S.M.S. や塩酸添加サイレージが無添加より多い傾向にある。なお、排出液により流出する栄養分はサイロ中に残留する栄養分よりも比較的消化性の高いことが想定されるので、可消化養分について考察するときは、排出液による損耗はさらに大きな割合を占めるものと考えられる。

IV 考 察

根釧地方の酪農を有利な経営とするためには、冬季貯蔵飼料として牧草サイレージをできるだけ多量に活用することが必要であるが、冬季の極寒によって例年凍結の被害を受け、産乳飼料としてサイレージを効果的に利用できない現状にある。しかしこのような凍結の障害は一部酷寒地域に限

られているために、その研究は皆無である。一般にはサイレージの凍結は不可避免的なものと考え、また凍結の被害を過少評価して、これを等閑視している傾向もあるが、凍結の被害は不可避免的なものでもなく、その程度も僅少なものでないと思われるので、凍結の機構や実態から凍結の防止対策を究明して、将来のサイロ築造の資料とし、凍結サイレージの損耗の状況からサイレージ調製上の指針を得ようとして本調査および試験を実施したものである。

その結果を総括して考察すると、サイレージの凍結の機構については、凍結の部位、サイロ壁内外温の測定によりえられた熱貫流の状況およびサイレージ貯蔵温度の推移状況よりみて、サイレージの凍結は間接的にサイロ内の気温の低下によっておこると同時に、直接にサイロ壁を通しての冷却によってもおこることが認められ、このために、サイロの南側は直射日光の輻射熱により凍結が防止され、北側は北風の冷却作用によって凍結が促進される関係にあることが認められた。

凍結の実態としては、密閉サイロ中の貯蔵サイレージの表層と地上部・北側が30~50 cmの厚さに氷塊状もしくは氷屑状に凍結し、取り出し中の開封サイロでは一夜の低温により、表面が2~10 cmの厚さに氷屑状またはアイスクリーム状に凍ることが認められ、表層部分の凍結は12月下旬より3月上旬まで続き、地上部・北側壁際の部分は1月下旬より凍りはじめ、その融解期は4月上旬であった。

このような凍結のうち、表層部分の凍結については、サイロの屋根や取り出し窓の耐寒条件を改良したり、サイレージの表面を保温材料で被覆することにより、比較的容易に凍結を防止することができる。北側サイロ壁際の凍結は、コンクリートや中空ブロックのサイロでは不可避であって、これを防止するには、サイロの立地条件をかえることがよく、例えば、サイロは牛舎の南側に設置し、取り出し口は北側に設けて、牛舎に附属させ、北側は屋外に露出しないようにしたり、サイロを牛舎内または地下に設置するか、崖や斜面を利用してサイロ壁が直接外気にふれないようにすれば

よい。また材質、構造上からは、2重壁の真空鋼板サイロの利用も考えられる。

凍結の被害に関しては、それを、凍結中にサイレージを給与する場合と凍結の融解後に利用する場合に分類してみると、前者においては、凍結がはげしく、氷塊状に凍結したときは、massの破碎によるサイレージ取り出し労力は倍増し、サイロ壁際のmassの破碎は困難で、一部は春季融解するまで、剝離せず、その取り残し部分は損耗となると同時に、サイロ壁面の清掃・洗滌労力を附随する。さらに、凍結サイレージ給与の場合の採食量の減少や摂取熱量効果の低下も見逃がしえない。

後者については、根釧地方の酪農の現状として、6月下旬~7月上旬に収穫する1番刈り牧草を翌年の生草利用のはじまる6月上旬まで給与しようとするれば、最高11カ月間の長期にわたって貯蔵しなければならない場合が多い。貯蔵中にサイレージ中におこる栄養分の損耗は、貯蔵期間の長くなるにつれて増大することが考えられ、凍結融解後においては、本試験で示されたように、脱水作用によって、サイレージは液相と固相に分離しやすくなり、過汁の状態となって、脂肪酸組成の消化やアミノ酸分解を促進し、かつ排出液の流出によって、排出損耗が増大し、サイレージの貯蔵効果が著しく低下することが認められた。

以上のような結果から、凍結被害の防止策上、貯蔵材料中の水分を少なくした真空サイロによるHaylageの利用も将来は考慮される余地があるだろうが、現状では、サイレージ原料の水分の調節・添加物の利用とともにサイロの設置場所を考慮し、土中・斜面利用など北風にさらさぬような工夫が肝要であろう。

V 摘 要

牧草を埋蔵したコンクリート・塔サイロについて、サイレージの凍結状況、貯蔵温度の推移などについて調査し、あわせてサイレージの凍結が醗酵状況と栄養分の損耗におよぼす影響を試験した。その結果は次項のとおりであった。

1) 密閉サイロ中のサイレージの表層と地上部

北側壁際が 30~50 cm の厚さに、氷塊状もしくは氷屑状に氷結した。取り出し中のサイロでは、1 夜の寒冷により表面が 2~10 cm の厚さに凍結した。

2) サイレージの水分含有率が高いと、凍結の程度ははげしくなるが、凍結部分の厚さは小さくなる傾向がみられた。

3) サイレージの凍結はサイロ内気温の低下によると同時に、直接にサイロ壁の熱貫流によっておこることがうかがわれ、このために、サイロの南側は直射日光の輻射熱により凍結が防止され、北面は北風の冷却作用によって凍結が促進される関係にあることが認められた。

4) 外気温の低下によるサイレージの貯蔵温度の低下は、地上部は地下部より大きく、サイロの北側は南側より大きい。サイレージ表面の貯蔵温度は平均 2℃の日周変動をするが、サイレージ内部の温度は明らかな日周変動を示さない。

5) サイレージの凍結は表層部においては 12 月下旬より 3 月上旬まで続き、地上部北側のサイレージは 1 月下旬より凍結し、その融解には 4 月上旬までを要した。

6) サイレージの pH の上昇、脂肪酸組成の劣化ならびにアミノ酸分解作用は凍結融解後に著しい。長期の埋蔵期間における栄養分損耗の増加量の大部分は凍結融解後の排出液による損耗であった。

7) サイレージの醗酵成分の状態と栄養分の回収状況に対する凍結の悪影響は、凍結初期ならびに融解期における、凍結—融解の反覆による脱水作用で、排水液が増大することに原因しているものと考えられる。

参 考 文 献

- 1) ALDERMAN, G., R. L. COWAN, J. W. BRATZLER, and R. W. SWIFT, 1955; Jour. Dairy Sci., 38, 7: 805~810.
- 2) BAILY, G. L., C. C. BALCH, and J. C. MURDOCH, 1955; Jour. British grassland society, 10, 1: 27~34.
- 3) A. J. G. BARNETT, 1954; Silage fermentation. LONDON, BUTTER WORTHS SCIENTIFIC PUBLICATIONS.
- 4) BRATZLER, J. W., R. L. COWAN, and R. W. SWIFT, 1953; Jour. Dairy Sci., 36, 603.
- 5) COWAN, R. L., J. W. BRATZLER, R. KECK and R. W. SWIFT, 1956; Jour. Animal Sci., 15: 1188~1198.
- 6) GORDON, C. H., J. B. SHEPHERD, H. G. WISEMAN, and C. G. MELIN, 1953; Jour. Dairy Sci., 36: 602~603.
- 7) ———, E. A. KANE, J. C. DERBYSHIRE, W. C. JACOBSON, C. G. MELIN, and J. R. MCCALMONT, 1959; Jour. Dairy Sci., 42: 1703~1711.
- 8) ———, H. M. IRVIN, C. G. MELIN, H. G. WISEMAN, and J. R. MCCALMONT, 1957; Jour. Dairy Sci., 40: 789~799.
- 9) LARRABEE, W. L. and M. A. SPRAGUE, 1957; Jour. Dairy Sci., 40: 800~809.
- 10) MARSHALL, E. McCULLOUGH, 1961; Jour. Animal Sci., 20: 288~291.
- 11) McDONALD, P. and P. R. ATTWOOD, 1958; Jour. Brit. grassland Soci., 13: 115.
- 12) MURDOCH, J. C., C. MURIEL, HOLDSWORTH and MARRISON WOOD, 1956; Jour. Brit. grassland Soci., 11: 16~22.
- 13) MURDOCH, J. C. and MURIEL, C. HOLDSWORTH, 1958; Jour. Brit. grassland Soci., 13: 55~60.
- 14) SHEPHERD, J. B., C. H. GORDON, H. G. WISEMAN, C. G. MELIN, L. E. CAMPBELL and G. O. ROANE, 1953; Jour. Dairy Sci., 36: 1190~1208.
- 15) 高野信男, 三股正年, 1959; 北海道農業試験場報告第 52 号.
- 16) WATSON, S. J. and A. M. SMITH, 1951; Silage. London. LOCWOOD & SON, LTD.

Summary

Studies were made on freezing condition and storage temperature in a concrete tower silo filled with grass, and on effects of silage freezing upon fermentation products and losses of nutrients in experimental silos. Results obtained are as follows:

- 1) Top and north side (attachment to wall above ground level) of mass froze to 30~50 cm depth. After opening, surface of mass often froze 2~10 cm deep in one night.
- 2) High moisture silage froze not deeply but hard.
- 3) Silage was frozen because of decline of air temperature in tower, as well as because of coldness flowing through the silo wall. Freezing of mass attached to south side wall was prevented by radiant rays of the sun.
- 4) With regard to decline of silage temperature caused by outer air temperature, above

ground part showed more remarkable decline than in the parts below ground, and north side was lower than south side. Mass surface froze late in December and continued in that condition to early in March. North side mass above ground level froze late in January and melted early in April.

5) Diurnal temperature change was about 2 °C in surface, but it was not perceptible in deeper part.

6) Freezing had undesirable effects upon fer-

mentation, decomposition of nitrogen compounds and recovery of nutrients in silage. It may be said that hydro-extracting caused by repeated alternate phenomena of freezing-and-melting increase drainage in silage.

7) Rise in pH spoilage of fatty acid composition and decomposition of amino acids etc. were remarkable after freezing-and-melting. In long time storage, the greater part of nutrient losses were those in drainage at same stages.