とうもろこしサイレージの二次発酵とその対策

誌名	農業技術
ISSN	03888479
著者名	名久井,忠
発行元	農業技術協會
巻/号	34巻11号
掲載ページ	p. 495-498
発行年月	1979年11月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council Secretariat

とうもろこしサイレージの二次発酵とその対策

名久井　忠

1. はじめに

とうもろこしサイレージは北海道における自給飼料の重要な柱であり，1977年には作付面積が41,900haに達し，更に増加の傾向にある。中でも道東の増加が著しく十勝地方では1970年の9,910haから1977年には1.98倍の19,700haに急増している。

このように，とうもろこしサイレージの利用が増加した背景として，一方にはとうもろこしの栽培法が改善されて早生品種の有利性が認められてきたからであり，他方では従来の水分が高く子実の未熟なサイレージよりも，登熟した子実を含むサイレージの飼料価値が優れているという認識が深まってきたことによると思われる。更には，とうもろこしサイレージの通年給与方式が急速に普及して，牛乳生産の向上に効果が認められたことから，今後ますます利用の増大が予想される。

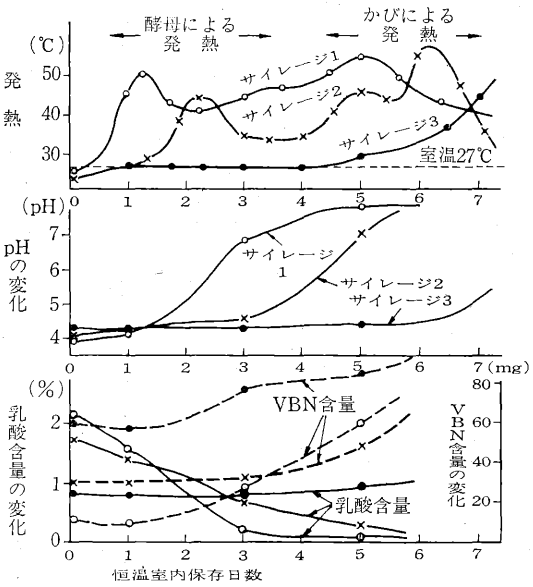
こうした反面，サイレージの調製・利用技術面において種々の問題が起っていることも事実である。中でも二次発酵はかなり広範囲にわたって発生し，酪農家にとって頭の痛い問題となっている。筆者は1974年以降，とうもろこしサイレージに関する試験研究に携わって来た関係から，二次発酵の発生に伴う現地実態調査をする機会に遭遇した。以下はその概要と若干の対策を述べたものである。

2. 二次発酵の機序

二次発酵（Secondary Fermentation）とはサイレージの発酵（乳酸発酵）が一応安定した後，サイロを開封した際に起る温度の顕著な上昇とカビの発生を伴った品質の劣質化現象である[1]と定義づけられている。この現象は，開封時までサイロ内で嫌気的条件に保たれて安定していたサイレージが空気に触れたために好気的微生物が増殖することによって起る好気的物質分解と，これによる発熱であり，正確には発酵というよりも“好気的変敗(aerobic deterioration)”と称すべきといわれる[1]。本稿では慣行的に用いられている二次発酵という語を用いることにする。

さて，二次発酵はどのようなメカニズムで起るのだろうか？。二次発酵の研究歴史は比較的新しく，我国では1960年代から開始され，最近では農林水産省畜産試験場の大山博士[2,3,4,6,7]を中心にしたグループと，北海道農業試験場の山下技官[5]らを中心としたグループによって精力的に取組まれ，欧米諸国の研究を凌ぐ研究成果をあげている。

そこで最近までに明らかにされた事柄を検討することにする。第1図に二次発酵による変敗の型を示した[5]。



第1図　変敗の進行と発熱，pH，成分変化の3つのタイプ（山下）

発熱を見ると，3つのタイプがある。1つは変敗が速く進行するもので，1～2日に第1回目の発熱ピークが認められる型である（サイレージ1）。第2のタイプは2～3日に第1回目のピークが現われ，4～5日後に第2回目のピークを示す型であり，最も多く見られる型である（サイレージ2）。第3は5～8日後になって徐々に発熱する型である（サイレージ3）。これらのうち，第1のピークは主として酵母の増殖による発熱であり，第2のピークはカビが原因になっていることが多く，また，このピークに達する頃にはサイレージの外観はかなり変質しているのが普通である。

発熱と並行して多くの場合，糖，乳酸および酢酸含量が減少する。糖，乳酸は増殖した酵母の栄養源として消費されるが，酢酸は揮発性のため，発熱による温度上昇によって減少すると考えられている。

pHは乳酸の減少よりもかなり遅れて上昇し始めるが，これはサイレージの緩衝能によるとされている。緩衝能が限界に近づくに伴ってpHは急激に上昇し，中性～アルカリ性化を経てベトつきがひどくなり，堆肥状になる。VBN（揮発性塩基態N）は変敗が進み，pHが5を越える頃から増加の傾向をたどる。これはpHが上昇することにより好気性細菌の増殖が誘発され，蛋白質，アミノ酸の分解が進行していることを示している。

次に二次発酵の原因となる微生物の種類を見ると[3]，酵母は Hansenula anomala, Pichia membranaefaciens, P. fermentans および Candida krusei などとされている。そして，これらの酵母はpHが低くても生育するといわれることから，乳酸が多くpHが低い良質なサイレージであっても，二次発酵が起きないという保証はない。

カビ（糸状菌）には多くの種類があり，Penicillium, Aspergillus, Geotrichum, Byssochlamys, Monascus, Mucor などに属するものが認められている。その他に細菌がおり，これらがそれぞれの生育条件によって複雑な増殖を繰り広げるわけであるが，その詳細は未だ不明な点が多いといわれる。

3. 農家における二次発酵発生の実態

二次発酵が農家の現場でどのように発生しているのだろうか。二次発酵の発生状況を正確に把握することは難しく，部分的にしか把えられていない。北海道の石狩管内の調査[8]を見ると，毎年発生する例が33%，今まで二次発酵を経験したことがあるまで含めると70%を越える農家が経験していることが示されている。更に発生時期について見ると11～12月のサイロを開封して間もなく発生する場合と春から夏にかけて発生する場合が多いと答えており，発生時期も多様である。

それでは二次発酵の実態はどのような状況なのだろうか？。以下は帯広市近郊で発生した例を調査したものである[9]。この調査は1978年1月下旬に行った。第1表に聞きとり調査の結果を示したが，とうもろこしの品種を見ると早生，中生のいずれにも発生しており，特定の品種に偏っていることはなかった。サイロの規模はすべて大型（200～300 t 規模）で，開封後1～2か月以内がほとんどであった。とり出しの方法はバンカーサイロを除

第1表　二次発酵発生農家における実態調査

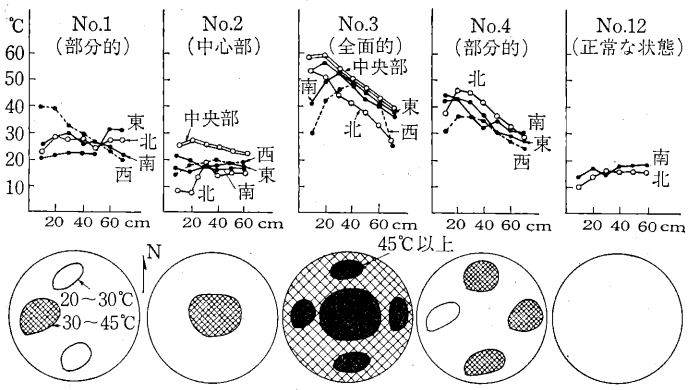
農家No.	品種	つめこみ月日	サイロの規模 径×高	材質および厚さ	重石の有無と方法	おちこみの程度	1日当り取出し量	とりだしの方法	備考
1	パイオニアB	10/15～22	6×16.8m	モナリスク（土谷式）17cm	なし	—	6.55cm	トップアンローダー	詰込3日目から取出している
2	パイオニアB	9/20～30	6×15m	タケダFRP 2.5cm	〃	1.5m	6.76cm 12月上旬から給与	〃	主として中心部のおよそ1/3が発熱
3（中心部）	パイオニアA	10/14～16	6×13m	丹治式スチール	〃	1.2m	5.0cm 12月上旬から給与	〃	全体が発熱し，異臭がある
3（北側）	パイオニアA	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	発熱部から水蒸気が上り，結露していた
4	パイオニア中生	10/25～11/5	5.4×12.6m	モナリスク 17cm	ビニール被覆，周縁にオガクズ	不明	4.0cm 12月上旬から給与	〃	原料に被霜あり，部分的に発熱あり
5	パイオニアB	10/20～21	6.4×15m	丹治式スチール	なし	〃	5.3cm 12/23 から給与	〃	原料に被霜あり，切断長が長い
6	パイオニア中生	10/15～18	5.8×14m	〃	〃	〃	6.7cm 1/4から給与	〃	原料に被霜あり，ベタベタしている
7	パイオニア中生	10/28～11/2	7.3×12.2m	〃	〃	0.7m	7.9cm 1/12から給与	〃	原料に被霜あり，南壁面付近は腐敗
8	パイオニアA	10/5～9 10/12～16	5.5×12m	土谷式ステープ	〃	不明	不明 1/1から給与	〃	中央部直径1mぐらい発熱
9	不明	不明	不明	バンカー	不明	—	不明	人力	表面全体が腐敗
10	パイオニアA	10/2～13	6.1×12.2m	モナリスク 17cm	オガクズ* 40～50kg/m²	1.5m	5～6 cm	トップアンローダー	中心部に発熱
11（正常）	パイオニア中生	10/5～12	4.8×10.6m	ブロック	ビニールを敷きコーンを吹込む	不明	不明	〃	
12（正常）	パイオニア中生	10/10～13	5.4×10.8m	モナリスク 17cm	オガクズ* 90～100kg/m³	2m	〃	〃	細断が細かく密度が高い

* オガクズは300kg/m³として計算した。　** 品種名：パイオニアAはC535，パイオニアBはP3853，パイオニア中生はP3715を指す。

くすべてがトップアンローダーを使用していた。サイロの材質はモナリスク，ステーブ，スチール，ＦＲＰおよびバンカーといずれも最近建設された新しいサイロであった。とうもろこしの刈取時期を見ると，９月中旬が１例，10月１日～10日までが１例，10月11日～20日までが３例，10月20日以降が３例あり，被霜後につめこんだと思われる例がおよそ半数あった。

次につめこみ終了までの日数を見ると，最も少ない場合は２日，最も長い場合は11日であり平均７日であった。重石の有無を見ると９例中全くないものが７例，ビニールをかけて周縁部にオガクズを40～50kg/m²程度のせた例が２例あった。サイレージが出来上った時点での落ちこみ程度を見ると，調査した４例はいずれも0.7～1.5m以内であった。１日あたりの取り出し深度を測定したところ，ほとんどが４～７cmの範囲にあった。

サイロ内の発熱の程度を調べた結果を第２表および第２図に示した。まず，発生の状況を見ると，第２図のNo.３の例に見られる通り，全面かつ70cm以上の深度にわたっている例が１例，部分的だが深度付60cm近まで30℃以上の発熱を示したものが２例，深度40cm付近まで30℃以上の発熱を示したものが３例，20～40cmまで20～30℃と，比較的低い発熱が起っている例が２例あった。一方，正常な区は２例とも15～20℃の範囲にあった。測定位置と発熱との関係では東西南北間に一定の傾向は認められなかったが，中央部は比較的高い傾向を示した。これは，つめこみ時にデストリビューターの調整不良から均一に散布できず，中央部が凹型になり，密度が相対的に粗かったことによると考えられる。



第２図　サイレージの深度と二次発酵温度との関係（温度は壁面から中心部へ1.5mの地点，壁温は第２表参照）

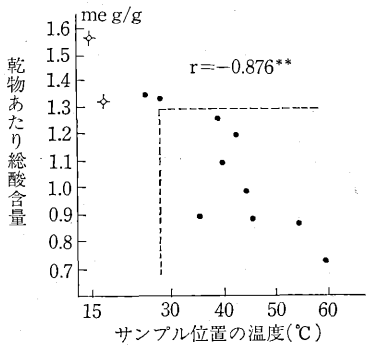
第２表　二次発酵サイレージ発酵品質

農家	凍結の程度 北	凍結の程度 南	サイロ壁温 北	サイロ壁温 南	詰込みの密度*	サンプル位置の温度	pH	総酸	乳酸	VFA	VFA/T-A	VBN/T-N	水分
	cm	cm	℃	℃	kg/m³	℃		←meq%		→	%	%	%
1	15	7	2	11	690	39	3.9	35.7 (1.14)	32.0	3.7	10.3	11.1	68.7
2	25	0	7	25	645	25	3.8	35.9 (1.35)	30.2	5.7	15.7	11.8	73.5
3（中心部）	0	7	4	10	605	59	4.6	21.7 (0.74)	18.8	2.9	13.5	16.3	70.8
3（北側）	0	7	4	10	—	54	4.8	21.4 (0.86)	15.2	6.2	28.3	25.1	75.4
4	25	0	0	3	582	44	4.6	30.1 (1.0)	27.8	2.3	7.6	13.8	69.9
5	8	5	−2	0	415	45	4.1	31.3 (0.88)	29.3	2.0	6.6	11.0	64.4
6	0	0	4	5	659	27	3.8	34.2 (1.34)	28.9	5.3	15.6	9.4	74.5
7	7	0	−4	0	511	42	3.9	34.9 (1.16)	29.3	5.6	16.1	10.2	69.8
8	2	0	−8	−1	692	35	4.1	25.5 (0.93)	22.8	2.7	10.7	9.3	72.5
9	—	—	—	—	528	—	3.9	35.4 (1.2)	29.9	5.5	15.6	10.2	70.6
10	—	—	—	—	610	38	4.0	30.6 (1.26)	17.5	13.1	36.7	10.4	75.9
11（正常）	0	0	4	5	786	17	3.7	40.3 (1.45)	30.0	10.3	25.6	7.4	72.1
12（正常）	30	17	−2	12	738	13	3.8	32.9 (1.32)	26.1	6.8	20.6	6.9	75.1

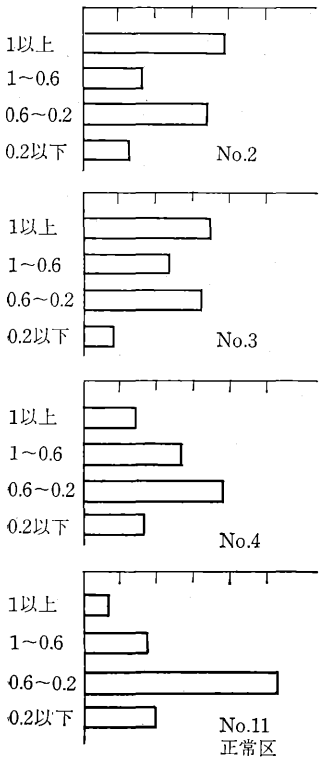
＊採取したサンプルを実験室で測定した値であり，サイロ内密度と必ずしも一致しない。（ ）内はDM1gあたりの値

次にサイレージの品温と発酵品質との関係を見ることにする。第2表に示したとおり，pHは正常区が3.7～3.8であるのに対し，二次発酵が起ったサイレージでは半数以上が4.0以上であり，中には4.6と異常に高い例も認められた。また，試料採取時の品温は50℃台が2例，40℃台が3例，30℃台が3例，20℃台が2例であり，正常区の13～17℃に比べて明らかに高かった。水分を見ると，64.4～75.9%の範囲に分布し，水分の多少による一定の傾向は見られなかった。

乾物あたりの総酸含量とサイレージの品温との関係を見ると（第3図），両者に負の相関が認められた。すなわち二次発酵が旺盛になるにつれて乾物あたりの総酸は減少することを示している。一方，VBN/T-Nの割合も正常区に比べて二次発酵区が高いことから，蛋白質等の分解が進行していることがうかがわれる。

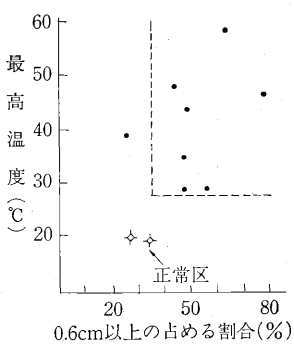


第3図　総酸と温度との関係



第4図　サイレージ切断長の分布

サイレージの切断長の分布ならびに切断長と品温との関係を第4，5図に示した。まず分布を見ると，0.6 cmを境にしてその構成比を見ると，正常区は0.6 cm以上の割合が全体の26～33%程度なのに対して，二次発酵区では40～50%が4例，50～75%が3例と明らかに切断長が長かった。そこで，0.6cm以上が占める割合と最高温度との関係を見ると，40%付近を境にしてそれ以上になると発熱が起こりやすくなるかのように思われた。



第5図　切断長と最高温度との関係

次に1 m³に対するサイレージの重量を実験室内で測定したところ，正常区は700kg以上の値を示したが，二次発酵区は400kg台が1例，500kg台が3例，600kg台が6例であった。これらは水分が異なるので同一に比較できないが，二次発酵区は相対的に密度が粗い傾向があるといえよう。

以上の結果から二次発酵が起った際のサイレージ調製・利用上の要因をまとめると，①刈取時期が遅れて霜を被っている場合が多い。②切断長が長く，そのためにつめこみ密度が粗い。③つめこみ後，重石が全くないか，あってもその用をなしていない場合が多い。④1日当りとり出し量が少ない，等があげられよう。（以下次号）

（なくいただし　北海道農試畑作部家畜導入研究室）

参考文献

1) 農林水産技術会議編(1976)：稲作転換推進のための粗飼料流通化技術の開発に関する研究．118-132.
2) 大山嘉信・柾木茂彦(1971)：サイロ開封後のサイレージの変敗―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，日草誌，17，176～183.
3) 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（英文）．日畜会報，6，713-721.
4) 大山嘉信・原慎一郎・柾木茂彦(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.
5) 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．北農試研報，110，81-95.
6) 原慎一郎・大山嘉信(1978)：とうもろこしサイレージの好気的変敗と酵母フローラ――プロピオン酸添加の影響，日草誌，24，別号，86-87.
7) 原慎一郎・大山嘉信(1978)：サイレージ変敗防止の添加効果と微生物相――材料水分ならびに薬剤抵抗性菌との関係について，日畜会報，49(11) 794-801.
8) 北海道農試草地開発第1部草地第5研究室(1979)：二次発酵の要因とその防止法に関する試験成績．1-35，昭和53年度北海道試験会議資料．
9) 西部　潤・名久井忠他(1978)：とうもろこしサイレージの二次発酵に関する一考察．北海道草地研究会誌 13．投稿中，
10) 佐藤文俊・名久井忠他(1978)：とうもろこしサイレージの夏期と冬期における発酵品質の比較．北海道草地研究会誌 13．投稿中．