

み合せる「組合せ暗きょ」を施工することにより、転換初期からトウモロコシやオオムギのような耐湿性の低い作物の栽培が可能となりました。そして組合せ暗きょは機械作業を行う上からも有効であることがわかりました。しかし、試験を行なって最も強く感じたことは、水田転換は個々の畑で

行うことは非常に難かしく、集団的に転換をすることが重要であるということです。つまり、用・排水路を整備し、地域全体を転換畑として活用していくことが今後の転換畑での飼料作物栽培のために最も重要であると思われました。

サイレージの好氣的異常発酵について

中国農業試験場 山下良弘

最近のサイレージ調製は新型サイロの開発・普及、機械作業体系の整備によって調製規模が大きくなり、作業の省力化、高速化が目ざましいが、一方では安易に走りすぎて以前は余りみられなかったタイプの異常発酵が増えている。二次発酵及びくん炭化がそれであり、いずれも好氣的条件下で進行する異常発酵であるが、ときに大きな損害をもたらすものである。

二次発酵

1 二次発酵はどうして起るか

二次発酵はサイロ開封後に起る好氣の変敗で、当初良好な品質のサイレージが取出しを進めるにつれて発熱し、劣質化してくる現象である。

二次発酵が起りやすい条件は、①酵母、かびなどの原因菌が多数存在するが（酵母がサイレージ1g当り $10^2\sim 10^4$ 個以上いると要注意）②その生育を抑える働きをするプロピオン酸、酪酸などの有機酸やアンモニアの含量が少ないサイレージ（プロピオン酸0.5～0.6%、酪酸0.4～0.6%以下）であること、（ただし、乳酸含量はほとんど関係しない。）③取出し速度が遅い、密度が低い、あるいは取出し方法が粗雑であるなど空気との接触が多いこと、④環境温度が高く（20～30℃）、原因菌の増殖に適していることなどがあげられる。

通常、材料が詰込まれるとサイロ内は植物細胞や微生物の呼吸作用によって速やかに嫌気状態となり、同時に乳酸菌が活動して乳酸を蓄積するので酸性化も進む。このため大多数の微生物は死滅しないし、活動を抑えられ、貯蔵日数の経過とともに減少する。酵母、かびも材料1g当り $10^2\sim 10^5$ 個程度付着してサイロ内に入ってくるが、開封時にはほとんどみられなくなる。

しかし、表1に示した水分33%のような極端な低水分サイレージの場合や密封が遅れて発酵初期の嫌気化が十分でなかった場合など、調製・貯蔵条件によっては開封時にかなりの酵母、かびが残っていることがあり、これが好氣的に活動を始めたのが二次発酵である。酵母・かびは耐酸性が強く、乳酸はむしろ栄養源となることから酪酸などの生育抑制物質を含まない良質サイレージは他の微生物との競合関係からも有利な活動の場といえよう。トウモロコシサイレージで二次発酵が頻発するのはこのためであろう。

今まで述べてきた条件が整っても必ずしも二次発酵が起るわけではない。酵母、かびにも生育適温があり、25～27℃で空気に触れると速くに変敗するサイレージでも温度の低下と共に変敗は緩慢になり、7℃以下ではかなり長期間安定していた。このため、二次発酵は高温期に多発するが、冬季

表1 水分含量と炭酸ガス濃度、菌数、品質安定性との関係（アルファルファサイレージ）

処 理	水 分 (%)	CO ₂ 濃度 (%)			p H	総酸中 揮発酸 (%)	全窒素 中アン モニア (%)	菌 数		品 質 安 定 性 ²⁾		
		8 / 28	9 / 11	10 / 4				酵 母	か び	R (hr)	H(°C/hr)	S ₂₇
1. 軽予乾	68	89	89	65	4.57	14.6	13.4	<10	<10	138	0.05	2,760
2. 予 乾	59	75	86	72	4.99	12.0	8.6	<10	<10	138	0.06	2,300
3. “	54	69	72	69	5.17	9.6	9.3	<10	<10	138	0.07	1,971
4. “	33	33	39	32	6.03	39.6	4.1	18×10	2.8×10 ²	100	0.73	137

注 1) 8月25日詰込み（2番草），10月11日取出し

2) R 恒温室（27℃）へ搬入後の品質保持時間（hr）

H 発熱開始（室温+1℃）から1回目のピークまたは48時間後までの発熱勾配（℃/hr）

S 品質安定係数（ $S = \frac{R}{H}$ ，S₂₇ 27℃恒温室でのS）

間のゆっくりした二次発酵でも発熱が徐々に蓄積されるにつれてスピードが加速されるので安心できない。

2 二次発酵による成分変化

二次発酵は外見的にはサイレージの温度上昇から始まる。酵母は乳酸を消費するので発熱に引続いてpHが上昇する。著しい場合には乳酸がほとんどなくなり、pHはアルカリ性を呈することもある。

pHが5~6以上になると細菌類が活動を始め、蛋白質を分解してアンモニア、アミン類などの塩基態窒素化合物を生成する。すなわち、変敗の域をこえて腐敗が始まったことを示している。

二次発酵に伴う栄養的ロス糖分、乳酸及び蛋白質などの分解による乾物ロスと消化率の低下があげられる。乾物ロスは十分給与できる範囲内の二次発酵で2~4%（トウモロコシサイレージ）であった。消化率は表2にオーチャードグラスサイレージの例を示したが、蛋白質、脂肪の消化率が低下している。

表2 二次発酵サイレージの消化率

（オーチャードグラスサイレージ）

		良 質 サイレージ	二 次 発 酵 サイレージ
水 温	分 (%)	56.9	49.8
	度 (°C)	23	46
p H		4.52	4.94
菌 数 (10 ⁿ)	酵 母	5.1	9.5
	か び	2.0	5.0
消 化 率 (%)	乾 物	64.1	62.0
	蛋 白	56.2	50.3*
	脂 肪	58.8	49.6***
	N F E	64.0	61.3
	繊 維	69.8	77.2
可消化成分 (%)	D C P	5.1	4.7
	T D N	63.0	60.7

しかし、これらの栄養的ロスは変敗の程度にもよるが、それほど大きいものではない。むしろ、有害微生物の増殖による食い込み量の低下、下痢などの生理的方面への影響が大きい。かびについては毒素生成菌も数種類検出されているので、二次発酵サイレージを取扱う人間の健康問題についても考慮を払う必要がある。

3 二次発酵の防止対策

はじめに述べた二次発酵が起る条件を無くしていくことが防止対策になるが、サイレージ側の要因のうち揮発性の有機酸や窒素化合物、とくに酪酸、カブロン酸、アンモニアなどは劣質サイレージの成分であり、不快臭が強いので二次発酵を防ぐだけの理由でこれらの含量を増やすことは問題であろう。また、単に発酵品質を改善しただけでは防止できないことも前述した通りである。そこでサイレージの原因菌数を減らすことがポイントになる。

表1は水分含量と品質安定性との関係を示したものである。まず、材料の水分含量が低下するにつれて発酵初期の炭酸ガス生成が遅れ、とくに水分33%では1.5か月たっても32%にしかならなかった。更に密封を遅らせて詰込み初期の好気条件を延長させると炭酸ガスの充満は一層遅れ、水分58%でも最終濃度は53%であった。このような炭酸ガス濃度が低い場合に酵母、かびが多数残存し、品質安定性が悪くなるという一連の関係が認められている。

また、貯蔵中の温度及び貯蔵期間は菌の生存を直接左右する要因である。表3に示すように45℃で貯蔵すると酵母、かびは短期間に死滅するが、

表3 サイレージの貯蔵温度・貯蔵日数と残存菌数

貯蔵温度	日数	pH	総酸中揮発酸 %	全窒素中アンモニア	菌数	
					酵母	かび
原料	草	6.0			1.0×10^5	2.3×10^3
15℃	5日	4.3	14.4	3.2	1.4×10^6	1.3×10^2
	10日	4.2	13.7	3.8	4.0×10^5	1.8×10^2
	40日	4.2	21.4	5.1	1.3×10^6	<10
15℃ 14日→30℃	26日	4.3	39.0	6.4	4.2×10^2	<10
30℃	5日	4.1	16.6	5.2	1.0×10^5	2.3×10
	10日	4.2	18.2	5.3	5.1×10^4	9.2×10
	40日	4.5	23.8	8.1	2.4×10^2	<10
30℃ 14日→45℃	26日	4.2	23.3	10.4	<10	<10
45℃	5日	4.5	11.7	3.7	<10	<10
	10日	4.4	11.6	2.2	<10	<10
	40日	4.7	32.4	7.8	<10	<10
45℃ 8日→30℃	2日	4.6	11.6	3.7	<10	<10
"	32日	4.8	33.1	12.1	<10	<10
45℃ 14日→30℃	26日	4.6	28.6	8.4	1.0×10^2	<10

15℃では40日後でも当初の菌数を維持している。霜の降るころに詰め込んだサイレージは二次発酵しやすい傾向があるのもこれが原因の一つであろう。30℃付近はサイレージ発酵の適温帯であるが、菌数の減少は45℃よりも緩やかなので貯蔵日数を40日ないしそれ以上置く必要がある。

取出しに関連して問題になるのは外気温と取出し速度である。高温時に取出すサイロは設置場所、サイロ内の通風に配慮する必要があり、建物の陰を利用する半地下式にするなどの点を工夫する。

取出し速度はサイレージの密度（水分含量も関係する）との関連で考える必要がある。水分67%、密度540 kg/m³のトウモロコシサイレージの場合、表層から20~30 cm内部の酸素濃度は16~20%で空気中（21%）に近い濃度であった。密度によってこの値は変わるが、それにしてもサイレージ層のかなり内部まで外気が透過していることは事実で、品質保持の悪いサイレージ、すなわち菌数、外気温及び密度などから二次発酵が予測されるサイレージでは毎日の取出し量をかなり多くする必要がある。とくに短期貯蔵、夏季利用サイロについては配慮が必要である。可能であれば給与量に合わせて直径や間口を小さくし、サイロ1基当りの容積も少ない方がよいが、このような対応が難しい場合にはサイレージと外気との接触を少なく

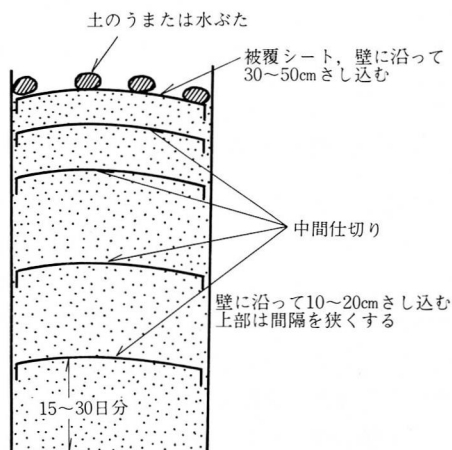


図1 中間仕切りの方法

する対策をたてる。それにはまず密度の向上であるが、材料の細切、堆積の均平化と加重による上層部の圧密を図り、サイロ壁面のザラツキもできれば補修したい。とくに均平化は重要で、トップアンローダを使う新型サイロでこれを粗略にして問題を起している事例が多い。詰込み期間中に、数回はサイロ内に入って堆積を均らすとともに、最後は密封・加重することがやはりポイントである。なお、サイロに入る前に必ず十分換気を行い、できれば作業中送風することは言うまでもない。

アンローダを使わないサイロでは図1に示す中間仕切りを予め入れておくことが最も簡便で予防効果が高く、二次発酵が起っても仕切り下への進行が防がれる。そのため、かなり悪い貯蔵条件下でも仕切り枚数を増やすことで対応できる。

現在進行中の二次発酵を抑える方法としては水ぶたによる一時的密封が効果的である。4~7日分のサイレージをバッグサイロに取出したあと、よく踏んで中央部をやや高く盛り、壁ぎわを低くして水ぶたをかけてしばらく放置する。この際、制菌剤などを添加する必要はない。水ぶたは丈夫なプラスチックシートでよいが、端から水がこぼれないようにして、平均水深10~15 cm注水する。4~7日後には水ぶたをはずして以前と同様に給与することができる。

添加剤の使用については二次発酵自体、調製・利用上の配慮でかなり少なくできること、添加剤は一般にかなり高価であること、どんな場面でも常に効果があるとは言えないこと、サイレージは

毎日与え、給与量も多いので薬剤使用はできるだけ避けたいことなどの理由から慎重に扱った方がよいであろう。

サイレージのくん炭化

くん炭化は詰込み直後の好氣的異常発酵でサイレージが著しい発熱を起し、高温が蓄積した中心部が暗褐～黒色に変色し、半炭状になる現象である。低水分牧草サイレージの普及とともに各地域で発生しているが、これが更に進行すればサイレージ火災という重大な事態を招く恐れがある。

1 くん炭化はどうして起るか

くん炭化の起るプロセスは乾草の発火、いわゆるヘイファイアーと同じと考えられる。まず、堆積された植物の呼吸作用によって温度が急激に上昇し、これに並行して、あるいは引続いて微生物の代謝作用による発熱が続く。堆積内の温度が65～80℃になると、第3のプロセスとして化学的な酸化作用を受けて発火点に達するとされているが、これらのプロセスが進行するためには連続した酸素の供給と熱の放散を妨げる大きな堆積が必要である。

本来、サイロ内では酸素の供給は無いはずであるが、取出口のドアを通じて若干のガスの出入りがあり、その周辺のサイレージが腐敗している例は珍しくない。スチール製の気密サイロでもサイロ内外の気圧差によってボルト穴や取出口からガス交換が行われるとされている。事実、アメリカではサイロタイプに関係なく火災が発生するとされており、わが国でもボトムアンローダ式の気密サイロでの発生が多い。

正常なサイレージ発酵では詰込み後数日間は呼吸作用で温度が上昇し、詰込み時の材料温度より10～20℃高い温度をピークとしてその後は緩やかに低下するものである。この初期の発熱が異常に高進するとくん炭化につながるが、その原因として①詰込み材料の水分含量、②詰込み量、切断長、均平化など二次発酵と同様な問題が考えられる。

サイレージの貯蔵原理は乳酸による酸性化と材料自らが生成する高濃度の炭酸ガスによるガス貯蔵である。炭酸ガスは嫌気条件を維持すると同時に静菌作用があり、かびに対しては60%以上の濃

度があれば酸素が十分にある条件でもその活動を抑えるとされている。炭酸ガス生成は既に説明したとおり材料水分の影響が大きく、過度に低水分化すればガス貯蔵機能は破たんする。一方、量的には少なくとも植物細胞の呼吸作用は水分23～29%まで続くといわれ、発生した熱は断熱性の高い低水分サイレージの中で蓄積していくものと考えられる。

気密サイロで詰込み量が少ない場合には大量の空気がサイロ内に残り、この空気層の日内温度差は夏季に30～40℃、冬期でも20℃になるので内圧の変化により多量のガスが出入りすることになり、調整弁以外のサイロ壁の隙間からも外気の吸収を促し、サイレージ内部からの好氣的発熱を起させる原因になる。

水分含量が少ない上に切断長や均平が不適であれば当然密度は低く、空気の残存量が多いので好氣的状態が長引くことになり、やはり熱の蓄積をもたらすであろう。

2 くん炭化による成分変化

くん炭化サイレージの成分を表4,5に例示した。外観的には暗褐色～黒褐色で、甘い焦げ臭が強く、完全に炭化した場合はほとんど無臭である。水分含量は33～49%でいずれも低く、これがくん炭化した主要な原因の一つであろう。くん炭化によりADF(リグニン、セルロース、ヘミセルロースなどを含む繊維質)、全窒素に対するADIN(ADFに含まれる窒素)含量の比が明らかに高くなった。これはサイレージが高温にさらされた結果、炭水化物とアミノ化合物が反応して重合し、不溶性の難消化物質に変化したことを示している。これはいわゆるヒートダメージであるが、とくにNFE、粗繊維、蛋白質の消化率が著しく低下する。

発酵品質は二次発酵と異なり、有機酸組成や塩基態の窒素化合物などはほとんど変化しない。これは極端な低水分と高温条件下で不良微生物の活動が抑えられるためであるが、このような条件下で乳酸を生成する好熱性細菌があり、乳酸含量がかえって増える場合もある。

3 くん炭化の防止法

これまで述べたように過度の予乾を避け、残存空気の排除と外気の導入を防ぐことがポイントに

表4 農家サイロにおけるくん炭化サイレージの品質

サイレージ別	材 料	外 観 的 品 質	サイレージ 温 度	p H	水 分	粗 蛋 白 質	A D F	ADIN 全N	比
			℃	%	%	%	%	%	%
A 氏 くん炭化部	2 番 牧 草	黒褐色のうち10%はくん炭化 強い焦臭と甘味臭	23.5~24.3	4.1	40.0	20.2	51.4	48.7	
A 氏 非炭化部	マメ科10~20%	暗褐色 やや苦味のある甘焦臭	18.9~19.0	4.6	43.2	18.2	43.0	25.3	
B 氏 くん炭化部	1 番 牧 草	暗褐色のうち5%はくん炭化 くん煙臭強い	34.2~35.0	4.1	37.8	13.0	50.8	47.8	
B 氏 非炭化部	チモシー出穂期 マメ科15~20%	褐黄緑色のうち5%が暗褐変 水分少なく白かびの小片時折混在	17.0~18.9	4.7	33.1	11.6	46.8	21.3	
B 氏 バンカーサイロ くん炭化部	チモシー出穂 ~開花期	暗褐色のうち30%はくん炭化 刺激のある焦臭強く、甘味臭に欠ける	42.0~43.0	3.6	35.9	18.0	52.7	62.1	
B 氏 バンカーサイロ くん炭化の中心部	いわゆる 針金牧草	完全炭化、消炭様の乏しい臭気 外縁部は黒褐色で木材乾留時の刺激臭	63.0~67.0	3.7	49.2	20.6	51.3	60.7	
B 氏 バンカーサイロ 非炭化部		少緑黄褐色 やや刺激のある甘酸臭で焦臭伴う 水分少ない	30.0~40.0	4.2	45.4	10.7	47.6	24.2	

※DM中

表5 くん炭化サイレージの発酵品質

サイレージ別	有 機 酸 組 成						揮発性 塩基態 窒 素
	乳 酸	酢 酸	プロピ オン酸	酪 酸	吉草酸	カプロ ン酸	
A氏くん炭化部	398	433	—	—	200	—	183
A氏非炭化部	249	383	—	—	42	15	132
B氏くん炭化部	1,216	347	—	57	—	—	101
B氏非炭化部	409	300	—	91	20	—	92

(サイレージ100g中のmg)

なるが、そのために①低水分サイレージの予乾は水分65~55%をめどに行い、50%以下にはしない②取出し口、排汁口、サイロ壁などからの空気もれは完全にチェックしておく③均平化による密度の向上を図る④気密サイロでは1回当りの詰込み量を多くし、サイロ容積の半分以上は詰込むことなどを配慮する。

もし、サイレージがくん炭化していることを認めた時は、黒変部はできるだけ取出してしまい、

更に進行が懸念される場合には完全に密閉して取出しを休止するか、水分含量の高い材料を追詰めする。なお、不完全燃焼による有毒ガスの発生も考えられるのでサイロ内へ入る時はとくに注意が必要である。気密サイロの場合、ボトムアンローダが動く空間にドライアイ

ス、液化炭酸ガスなどを注入するが、危険な作業であり、専門家のメーカーに任せるべきである。

くん炭化から一歩進んでサイロ火災が発生した場合には消防署に連絡し、決して自分で消すことを考えてはならない。

(訂正おわび)

本誌8月号、P.5、図3の(57. 9. 19播)は(56. 9. 19播)の誤りでした。訂正して、おわびを申し上げます。(編集担当)