

# 添加物の活用による 牧草サイレージの調製技術

安宅 一夫 (酪農学園大学 教授) 平成6年5月号

## 1. 今、なぜサイレージか？

今年も牧草の収穫シーズンが近づいてきました。今年の牧草はどのように調製する予定でしょうか？

近年、欧米では牧草サイレージの生産と利用に再び関心が高まっているようです。その理由は、サイレージは乾草に比べて天候に左右されないためロスが少なく、省力的に栄養価の高い粗飼料を低コストで生産できるからです。また、栄養価の高いサイレージを十分に与えると濃厚飼料の給与量を少なくすることができるのです。

わが国では、牛乳の生産過剰から生産調整が再び実施されるようになり、大きな問題となっていますが、ヨーロッパではすでに10年前（1984年）にミルククォータ制が実施され、これを機に低コスト生産のために牧草サイレージの生産が2～3倍に増加しています。

一方、アメリカでは、牛乳の生産地は北部や中央部から南部と南西部へ移動し、これまで長く続いた牛乳生産地の首位の座はウイソコンシン州からカリフォルニア州に変わったと報じられています。このような変化の原因には規模の差が指摘されていますが、北部の寒冷気候による畜舎などの設備投資と粗飼料の生産コストの高いことが大きな原因であることも見逃せません。特に粗飼料生産については、南部と南西部では降雨が少なく、さらに栽培期間が長いこと良質のアルファルファ乾草が多量に生産されるのに対し、北部では雨が多く、牧草の生育期間が短いこと、収量は低く、良質の乾草を調製することが難しい。このため伝統的酪農地帯の北部では生き残りをかけて、気候や規模の小さい不利を克服しようと努力しています。このような背景から、北部の酪農地帯では草とサイレージの重要性を見直すため、昨年2月（1993年）、ニューヨーク州シラキュースで20年ぶりに「全米サイレージシンポジウム」が開催され、サイレージ用作物の育種から栽培、調製、給与に関して論議されました。なお、このシンポジウムの内容は日本語に翻訳され出版されています（サイレージプロダクション、デーリィ・ジャパン社発行）。また、本年4月にはネブラスカ大学に

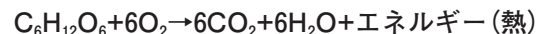
おいて25年ぶりに「全米フォレージカンファレンス」が開催されます。このように伝統的な酪農国では、牧草の利用、特にサイレージの重要性が再認識されていますが、サイレージにもリスクがあります。その一つはサイロが大型化していることで、失敗すると家畜の生産や健康に大きなダメージを与え、経営を悪化させる原因になります。もう一つは高水分サイレージの場合、排汁を多量に流出し、これが環境汚染の原因になるからです。ヨーロッパでは糞尿と並んで排汁処理の規制が厳しくなっていますが、日本は準備が遅れています。したがって、これからのサイレージ調製は省力的で低コストの調製法とともに環境問題についても配慮する必要があります。

そこで、牧草サイレージ調製についてのこれまでの知識を再点検し、さらに新しい情報を取り入れて良質のサイレージを作る必要があります。

## 2. サイロの中で何が起こるか？

### 1) 呼吸

刈取り直後の牧草はまだ生きており、呼吸を続けています。呼吸は次のように糖と酸素を消費して、炭酸ガス、水、エネルギーを発生します。



呼吸はサイロから酸素を除去する有益なメカニズムですが、呼吸が長く続けると糖が少なくなり、栄養価が低くなり、サイレージの品質も悪くなります。

呼吸はサイロ内の空気、温度、水分含量、pHなどによって影響され、温度が高くなると活発になりますが、約70℃以上になると停止します。また、水分含量との関係では、水分含量80%以上で最も活発になりますが、水分含量50～70%の予乾草では最大時の30～70%に低下するといわれています。呼吸はサイロの中に空気と糖がある限り続きますが、密封が完全であれば、高水分の牧草では約1日でサイロの中に酸素はなくなり、水分50%程度の牧草でも2日くらいで酸素がなくなり、植物の呼吸は停止します。ロールベールサイレージで、よくパンパンに膨らんだものを見かけることがありますが、材料の水

分含量が高すぎ、呼吸が活発であったことを示しています。このようなサイレージは恐らく臭い、品質の悪いものだったと思われます。

また、呼吸はpHが低くなると弱まり、pHが3.0近くで停止するとされています。このためギ酸を添加してpHを急激に下げることによって呼吸を停止することができます。

サイロによる呼吸損失の比較は詳しく調べられていませんが、バンカーサイロはタワーサイロより空気に触れる面積が大きいので、詰め込みが長期間にわたる場合には、呼吸による養分ロスが大きくなり、サイレージ品質が悪くなる可能性があります。バンカーサイロでは**密度を高め、詰め込みを短時間で終了し、素早く密封する**必要があります。

## 2) 蛋白質分解酵素

牧草の粗蛋白質中の溶解性蛋白質（SIP）の割合は10~35%ですが、これをサイレージにするとSIPの割合は50~70%に増加します。これは主に植物中の蛋白質分解酵素の作用によるものです。サイレージのSIPの割合は草種、pH、温度、水分含量などによって影響されます。草種では、マメ科牧草はイネ科牧草よりSIP割合が高く、温度が高くなるほどSIPの割合が増加します。水分含量の影響では、水分含量が低下するほどSIPの割合も減少し、水分含量：50%ではダイレクトカット（水分80%）の値の40%まで低下します。また、SIPの割合はpHが5.5~6.0で最大であり、pHが4.0になると最大時の15%の値まで低下します。したがって、ギ酸のような酸を添加することによってSIPの割合を低下させることができます。植物の蛋白質の分解酵素の活動は詰め込み後1~2週間続きますが、最初の2~3日が最も活発です。つまり、**詰め込みから密封までのサイレージマネジメントがSIPの増加に影響**するのです。

## 3) 微生物

牧草がサイロ内に詰め込まれると、牧草に付着して侵入した微生物が活動を開始します。サイレージに関与する微生物としては乳酸菌、好気性細菌（大腸菌群）、酵母、カビ、酪酸菌、リステリア菌などが知られています。この中で乳酸菌は有用ですが、その他の微生物はサイレージにとって好ましくないものです。また、この中で大腸菌、酵母、カビは空気があると活発に増殖し、乳酸菌、リステリア菌、そして特に酪酸菌は空気がない方が活発に増殖することができます。

牧草をサイロに詰め込むと、まず最初に活発に増殖するのは大腸菌群で、この微生物は植物の呼吸と同じく、牧草の糖とサイロ内の酸素を消費して炭酸ガスと水を生産します。この微生物の増殖が活発になると乳酸菌が利用する糖がなくなり、乳酸菌が増

殖できず、その結果、品質の悪いサイレージができます。大腸菌群の増殖を抑えるためには、まずサイロ内の酸素をなくすることです。

このためには、**材料の切断、踏圧、早期密封が重要です**。また、詰め込み時に乳酸菌を添加すると、これが大腸菌群の増殖を抑え、良質サイレージの生産が期待できます。酵母とカビも好気性の微生物ですが、一般に菌数が少ないと、大腸菌群の増殖を抑えることが良質サイレージを作るための第一関門です。

次に、植物の呼吸によってサイロ内の酸素がなくなると、乳酸菌と酪酸菌が増殖できる環境になります。都合のよいことに、酪酸菌は酸素が全くない状態を好み、乳酸菌は酸素が少しあっても増殖できるので、乳酸菌の方が早く増殖を開始します。酪酸菌は高水分を好み、水分含量が60%以下になると増殖できなくなります。一方、高水分でもpHが4.2以下になると増殖できなくなります。したがって、乳酸菌が急速に増殖し、多量の乳酸が生産され、**pHが4.2以下になると良質のサイレージ**ができます。しかし、不幸にして、水分が70%以上でpHが4.2以下に達しない場合には酪酸菌が増殖して、品質の悪いサイレージができます。酪酸菌が増殖すると乾物ロスが多くなり、サイレージには酪酸含最が高くなり、蛋白質が分解してアンモニアやアミンが生産されるので、これを摂取した乳牛はケトシス、第4胃変位などの病気を起こしやすくなります。

一方、最終pHが4.2以下であっても詰め込みが長期化したり、密封が不十分な場合には酵母やカビの多いサイレージができて二次発酵を起こすことがあります。また、詰め込み時にギ酸を適量添加すると急激にpHが低下し酪酸菌の増殖を抑制することができますが、酵母やカビの増殖は抑えることができないので二次発酵を起こすことがあります。

水分含量が60%以下の低水分サイレージでは、pHが4.2に達しなくても、密封が完全であれば酪酸菌やその他の不良微生物のない良質サイレージができます。この理論はヘイレージやロールベールサイレージに応用されています。ロールベールサイレージは材料を切断しないため発酵が弱く、pHの高いサイレージが生産されがちです。確実に予乾を行い、水分含量が50~60%で密封することが推奨されています。なお、ロールベールサイロではピンホールなどの穴から空気が侵入してカビを生じることがありますが、このようなカビの生えた部分は給与してはいけません。最近のヨーロッパの研究によると、ロールベールのカビの部分にはリステリア菌が多く含まれていることがあると報告されています。リステリア菌は人畜共通の脳障害、流産、死をもたらす恐ろしい細菌の一つです。リステリア菌の増殖

を抑える方法はpHを低下させ、良質サイレージを作ることです。

### 3. サイレージ添加物の種類と役割

添加物を利用することによって、植物の呼吸、酵素作用、微生物の活動などを制御し、サイレージ発酵中のロスや品質を改善することができます。サイレージ添加物は表1に示すように2つのグループに分けられます。代表的な添加物の作用と使用方法について述べてみます。

#### 1) 乳酸菌

乳酸菌はアメリカ、ヨーロッパで最も人気のある添加物に位置づけられています。乳酸菌は材料の糖を発酵し、乳酸を生産し、pHを下げて不良微生物の増殖を抑制するものです。乳酸菌は次のような効果を持っています。

- ☆大腸菌、酵母、酪酸菌の増殖を抑制する。
- ☆サイレージの温度を低下させる。
- ☆乾物とエネルギーロスを少なくする。
- ☆二次発酵を抑制する。
- ☆乳生産効率を改善する。

以上のような効果は常に認められるとは限りません。乳酸菌の添加効果は次の要因によって左右されます。

- ①菌種：ホモ型の乳酸菌で、乳酸の生産力の強い菌種が望ましい。有効な菌種としてはラクトバチルス・プラントラム、ラクトバチルス・カゼイ、ベディオコッカス・ベントサセウスなどです。筆者らは雪印種苗（株）との共同研究により、ラクトバチルス・カゼイが従来から用いられているラクトバチルス・プラソタラムより優れていることを示すとともに、家畜にとって好ましいL型乳酸の割合を増加させることを世界で最初に実証しました。これらの結果は表2のとおりです。
- ②菌の活力：生菌であり、使用時点で活力のあるものでなければなりません。
- ③材料の糖含量：乳酸菌が増殖するためには基質として糖が必要です。糖の必要量は可溶性炭水化物（WSC）として原物中2～3%あるいは乾物中10%以上です。糖が不足すると十分な乳酸が生産されず、pHは4.2以下に達しません。
- ④材料の水分含量：一般に乳酸菌は水分含量が70%前後で最も活発に増殖しますが、50%以下になると活動が弱まります。最適水分含量は50～70%です。
- ⑤添加方法：均一に添加しなければ効果ができません。液剤の方が均一に添加しやすい。
- ⑥添加量：材料1g当たり $10^5$ （10万）以上になる

表1 サイレージの添加物の種類

要因	種類
乳酸発酵を促進するもの	乳酸菌 酵素 乳酸菌+酵素 糖、穀類
不良発酵を抑制するもの	ギ酸、ギ酸アンモニウム プロピオン酸 クエン酸、リンゴ酸 アンモニア、尿素

表2 異なる乳酸菌の添加がオーチャードグラスサイレージの品質に及ぼす影響(%)

	pH	乳酸	L(+) <sup>3)</sup>	酢酸	酪酸	総酸	NH <sub>3</sub> -N <sup>4)</sup>
無添加	5.3	0.15	81	0.55	1.40	2.10	52.0
LP <sup>1)</sup>	4.1	2.00	44	0.28	0	2.28	6.8
LC <sup>2)</sup>	4.0	1.65	84	0.05	0	1.70	2.8

(安宅ら、1985：国際草地学会)

注) 1) ラクトバチルス・プラントラム  
2) ラクトバチルス・カゼイ  
3) 全乳酸に対する割合、%  
4) 全Nに対する割合、%

表3 チモンシロ1番草に対する新型乳酸菌のサイレージ添加物の効果

	高水分		中水分		低水分	
	pH	評点	pH	評点	pH	評点
無添加	4.3	91	5.5	1	5.6	43
乳酸菌+酵素 添加	3.7	100	3.9	100	4.1	86
ギ酸 添加	5.0	15	4.3	90	4.5	100

(安宅、1992)

注) ①原料草水分：高水分87%、中水分76%、低水分63%  
②乳酸菌：ラクトバチルス・カゼイ0.002%  
酵素：セルラーゼ0.02%、ギ酸：0.3%

よう添加します。

#### 2) 酵素剤

添加物としていろいろな酵素が考えられています。セルラーゼ、ヘミセルラーゼ、ペクチナーゼなどの繊維を分解する酵素が注目されています。この添加物は繊維を分解し、糖を生成し、乳酸発酵を促進するものです。いくつかの酵素剤が市販されていますが、酵素を生産する微生物によって効果が異なります。従来はアスペルギルス属から生産されたセルラーゼが主流でしたが、最近はトリコデルマ属やアクレモニウム属のカビから生産されたセルラーゼが注目されています。

酵素剤の効果は次のような原因によって左右されます。

- ①添加量：セルロース、ヘミセルロースなど基質を分解するために十分な量の添加量が必要です。
- ②温度：酵素の種類によって適温が異なります。
- ③pH：酵素の種類によって最適のpHが異なります。セルラーゼは4.0～4.5、アミラーゼは6.0前後です。
- ④水分含量：一般に水分含量が低くなると酵素活

性が低くなり、水分60%以下ではあまり効果がなくなります。

### 3) 乳酸菌と酵素の複合剤

乳酸菌と酵素をそれぞれ単独で添加しても効果が得られないことがあります。両者を併用すると常に良質のサイレージを作ることが期待できます。しかし、両者を併用するとコストが高くなり、実用的ではありませんでしたが、ハイテク技術の進歩により、より活力のある製品が安く生産されるようになりました。雪印種苗（株）では、日本で開発された世界最強のセルラーゼと**新型乳酸菌ラクトバチルス・カゼイ**を組み合わせた製品を市販しています。その効果をギ酸と比較した結果を**表3**に示しました。高水分サイレージではギ酸の添加はバラツキがあり、予想外に悪い成績でしたが、酵素と乳酸菌の併用添加では水分含量に関係なく、常に良質のサイレージができました。酵素の添加はギ酸と同じく排汁が多くなるのが欠点です。

### 4) ギ酸

この添加物は乳酸発酵に頼らず、直接pHを低下させることによって不良発酵（主として酪酸発酵）を抑えるものです。また、ギ酸を添加すると蛋白質の分解が抑えられ、SIPの割合が無添加や他の添加物に比べて低くなります。ギ酸は高水分サイレージに対しては酪酸発酵や**蛋白質の分解を抑制**する点で最も効果が期待できる添加物ですが、酵母やカビに対しては効果があまりないので比較的**二次発酵を起こしやすい**のが欠点です。また、①人体に危険である、②機械を腐食しやすい、③排汁が多くなるなどの不利な点を持っています。これらの欠点を軽減させるためギ酸アンモニウム製剤が利用されますが、効果はギ酸より幾分劣るようです。なお、ギ酸の添加量はpHが確実に4.2以下になるよう設定しますが、イネ科牧草は0.3%、マメ科牧草は0.5%が基準です。

### 5) クエン酸・リンゴ酸

これらは食品添加物として使用されていますが、サイレージ添加物としても利用できます。効果のメカニズムはギ酸と同じですが、これらは酸の力はギ酸より弱いけれども乳酸菌の増殖を抑制しない、というよりは適量添加では乳酸発酵を促進するので、ギ酸と同じ添加量で品質改善効果が期待できます。これらは水に溶かすと均一に添加できますが、そのまま粉状で添加してもかまいません。しかし、一部の酪農家ではクエン酸の少量添加（0.1%以下）を行っていますが、少量添加ではむしろ品質が悪くなる場合があります。すべての添加物はガイドラインどおりの添加量を守り、均一に添加する必要があります。

## 4. サイレージ調製技術のポイント

サイレージ調製の基本は、良い材料を用い、次いで、良いマネジメントをすることです。

- ①**草種**：収量、栄養価とともにサイレージの作りやすい草種を選択します。イネ科牧草はライグラスが最も作りやすく、次いでチモシーであり、マメ科牧草は作りにくい。
- ②**施肥**：窒素肥料や糞尿を多用すると牧草の糖含量が低くなり、品質が悪くなりやすい。
- ③**刈取時期**：生育時期が進むと水分、蛋白質が減少し、糖がわずかに増加します。また、乳酸菌数は生育に伴ってわずかに増加します。したがって、出穂期ぐらいまで遅くするとサイレージが作りやすくなりますが、それ以上遅くなると逆に品質が悪くなります。
- ④**水分調節**：普通のサイロは60~70%、ロールペールサイロは50~60%が目標。これより高くても低くてもロスが多くなり、品質も悪くなります。
- ⑤**切断**：切断すると発酵が速くなり、品質が良くなります。しかし、短すぎると消化障害が起こります。目標は約1 cm。
- ⑥**踏圧**：踏圧をしっかり行うと密度が高くなり、良質のサイレージができます。しかし、高水分サイレージでは踏圧に時間をかけすぎるとむしろ品質が悪くなります。短時間で詰め込みを終了する方が望ましい。
- ⑦**密封**：最も重要な項目です。詰め込みが終了したら、素早く、確実に密封します。
- ⑧**添加物**：①~⑦の7項目が不十分な場合、これを補足し、常に安全な良質のサイレージを作るために添加物の使用を考えます。添加物は材料の条件、調製法などによって適当なものを選びます。添加物を上手に使うためには次の事項をチェックする必要があります。

☆添加物を使用する目的は何か？

☆添加物を使用する必要があるか？

☆添加物は十分あるか？中途半端な添加量ではダメ。

☆添加物の効果を実証するデータがあるか？

☆添加物は安全か？

☆コストに見合うか？

## 5. おわりに

今年の乳牛の生産と健康は今年の粗飼料の量と質の確保にかかっています。良いサイレージができることを期待しています。

現在、弊社ではこれらの技術の集大成として、サイレージ用乳酸菌：サイマスターを開発し、ご好評を頂いています（編集係）。