

# X サイレージ化のメカニズム

～サイロの中のできごと～

長期間にわたって、飼料の品質を保持するためには、腐敗や変質の原因となる細菌類の活動を抑制しなければなりません。そのための方法は、一つに乾草があります。そして、いま一つは、サイレージです。

サイレージは、細菌類が活動できないレベルまで、pHを低下させることにより飼料としての保存性を保ちます。同じ原料草でも調製の仕方によってサイレージの質に大差が生じます。

サイレージの品質を下げる大きな原因は、酪酸発酵です。酪酸菌の活動をできるだけ抑制することがサイレージ調製の重要なポイントです。酪酸菌を極力混入させないことと、酪酸菌が活動不能の水準までできるだけ短時間でpHを下げるのが大切な技術になります。

## pHを素早く低下させる方法

- 原料草に付着している乳酸菌を利用し、良い乳酸発酵を起こす。
- ギ酸等の酸を投入し、pHを強制的に低下させる。

## 1 乳酸発酵のメカニズム

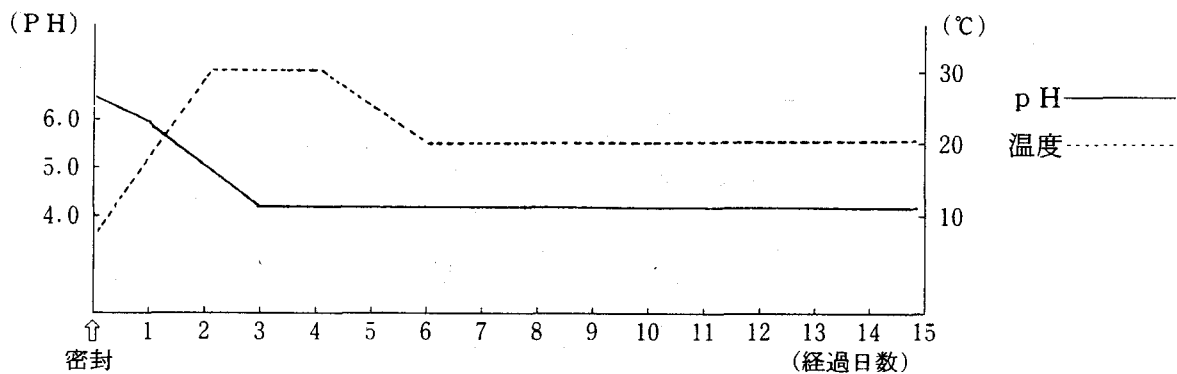
詰め込まれてから開封まで、サイロの中のできごとを追いながら、特に、嗜好性の高いサイレージをつくる観点から乳酸発酵のメカニズムを説明します。

サイレージの発酵過程は、一般に4つの段階にわけて説明することができます。

「草」が「サイレージ」になるまで（密封～発酵～安定）

- ①草の呼吸（サイロ内の酸素の大部分を消費）
- ②好気生菌の活動（残った酸素を消費し、サイロ内は嫌気環境になる）
- ③乳酸菌が活発になる（乳酸の生成、蓄積によるpHの低下）
- ④安定（pHの低下で乳酸菌自身も活動を抑制され、バクテリア活動がストップ、保存性を持つ）

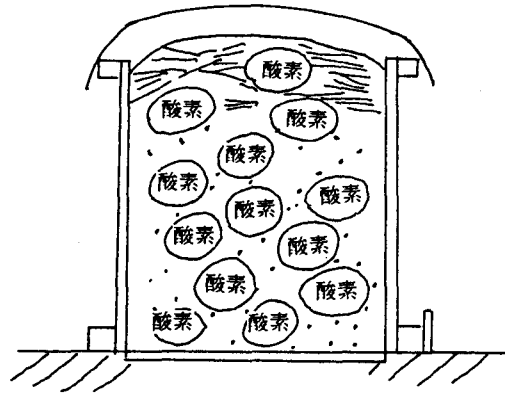
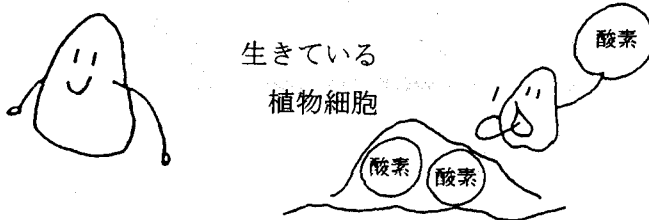
サイレージの発酵過程におけるpHと温度の変化



### ①草の呼吸

密封直後のサイロ内では、原料草の間に多くの酸素があり、かつ、植物細胞はまだ生きており、呼吸をしています。

この段階で、大部分の酸素が消費され尽します。



### ②好気性菌の活動

主な好気性菌

大腸菌属

バチルス属

コウボ (酵母)

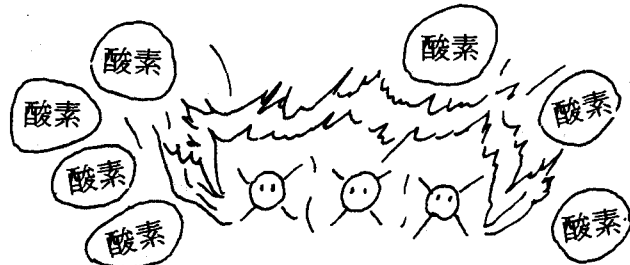
カビ類、など



植物細胞は、サイロ内の酸素を消費しながら死んでいき、原料草に付着している好気性菌が次第に活発になります。

好気性菌は、呼吸によって残りの酸素を消費し、乳酸菌の活動しやすい環境をつくります。しかし同時に乳酸菌のエネルギーである糖も消費してしまいます。したがって、好気性菌の活動が長く続くと、糖以外のものをエネルギーにすることができない乳酸菌の活動を抑制することになります。

また、好気性菌の活動は、発熱を伴いますから、原料草を炭化させる原因となり、味と栄養を低下させます。



### ③乳酸菌の活動が活発になる

サイロ内の酸素がなくなるにしたがって、乳酸菌の増殖が活発になります。乳酸菌は、原料草の糖を消費し、乳酸の生成を行ないpHを低下させます。最終段階での望ましい状態は次のとおりです。

pHは4.0以下

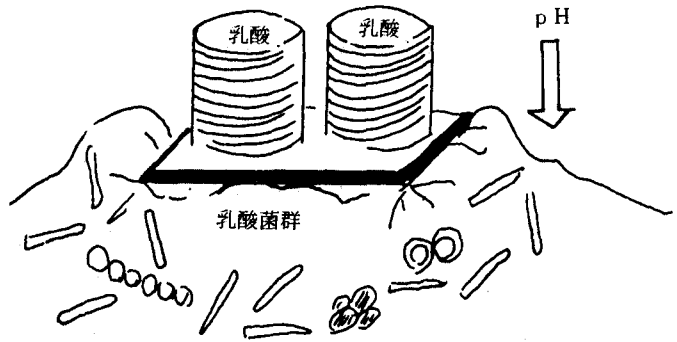
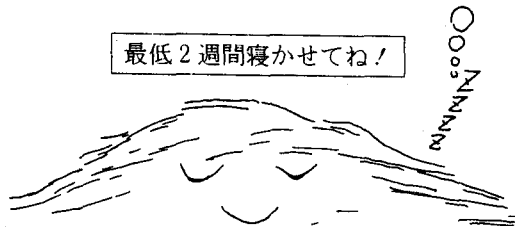
乳酸を現物の1.0~1.5%程度蓄積

#### ④安定

自らが生成、蓄積した乳酸によるpHの低下で、乳酸菌自身も活動を抑制されます。

pH 4 前後になると、乳酸菌を含め全ての  
 バクテリア活動がストップします。

これが、保存性を付与された原料飼料  
 すなわちサイレージです。



この状態になるまで、約2週間かかります。

#### (1) 乳酸菌について

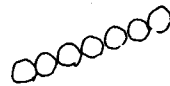
##### 〔サイレージの発酵に関わる主な乳酸菌〕

ストレプトコッカス属

ストレプトコッカス

ロイコノストック

ベディオコッカス属



ロイコノストック属

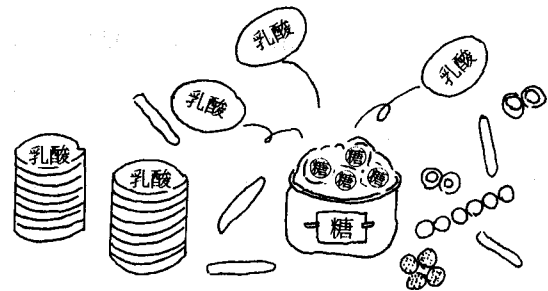
ベディオコッカス

ラクトバチルス

ラクトバチルス属

##### 性質

- ・糖のみを消費して乳酸をつくる
- ・酸素のない状態が好きである (嫌気)
- ・pH 5 ~ 3.8 で活動できる
- ・気温 10℃ ~ 40℃ で活動できる
- ・ある程度水分がなければ活動できない



〔良い乳酸発酵が起こるためにはどんなことが必要になるのでしょうか?〕

##### ①活動のエネルギー源は糖

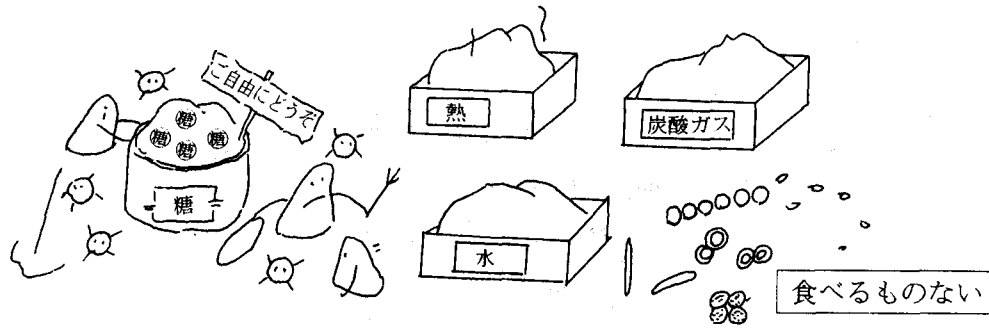
乳酸菌が活動するためには、原料中に約2%の糖が必要です。乳酸菌は糖のみをエネルギーに活動します。乳酸菌が活動できる段階で (嫌気状態になった時) 糖が十分にあること、これが乳酸発酵の出来不出来を決めます。

##### ②水分調整 (適水分化、糖の高含量化)

脱水によって原料草の相対的な糖含量率を高めることができます。また、植物細胞がサイロ内で生きている時間が短くなります

##### ③短期詰め込み

生きている植物細胞であれ、好気性菌であれ、呼吸作用は糖を消費し、熱、炭酸ガス、水を発生させます。呼吸作用は、好気条件が長時間になればそれだけ継続しますから、速やかに、原料草と酸素の接触を断つことが大切です。



特に、糖含有率の少ない原料草ほど短時間で調製し終わらなければなりません。(2番草、高水草など)

#### ④嫌気環境の維持

乳酸菌は、酸素のない所の活動が得意です。外気が流入すると乳酸発酵は抑制され好気性菌が動き始めます。

#### 〔乳酸菌のルーツ〕

乳酸菌は、原料草とともにサイロ内に持ち込まれます。不良細菌を抑え、乳酸菌が素早く増殖するためには、最低限現物1gあたり10万個以上の菌数が必要とされています。

乳酸菌が活着している原料草に付着している数は、ごくわずかで現物1gあたり100個以下といわれています。しかし、刈り倒されたウインドローの中で活発に増殖します。また、作業機械に残った草のクズの中にも乳酸菌は生存しており、刈り取り、反転、集草、切断、詰め込みと機械が触れるたびに原料草へ付着し、その数が増します。十分な環境条件が整えば、詰め込み時点で1gあたり1億個のレベルに達することもあります。このように、通常は、持ち込まれた乳酸菌だけで立派なサイレージをつくれます。しかし、その数は、気温等の環境条件によって大きな変動があり、3番草など低温時の収穫では、その必要限界を割る場合もあるので注意しなければなりません。

## (2) 宿敵、酪酸菌

### 酪酸菌

嫌気環境になるにつれ、原料草に付着している乳酸菌は活動を始めます。

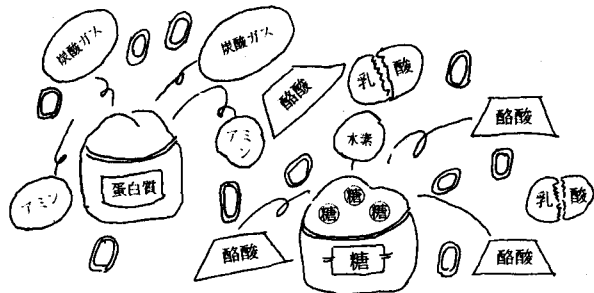


しかし、当初は酪酸菌もまだ活動可能な環境です。酪酸菌は、糖以外の物質もエネルギーにできますから、糖が少なければ乳酸発酵は緩慢になり酪酸発酵

クラストリジウム がどんどん進みます。

### 性質

- ・糖、乳酸、蛋白質を利用して酪酸をつくる
- ・酸素のない状態が好きである(嫌気)
- ・pH4.2以上で活動できる
- ・しっかりと水分がないと活動できない



## 〔酪酸発酵を抑制する方法〕

### ①酪酸菌は低水分に弱い

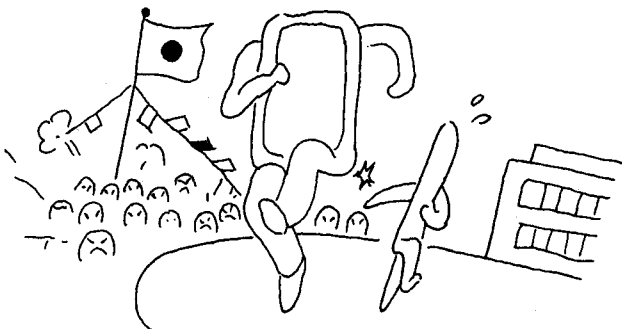
予乾で原料草の水分を下げることによって酪酸菌の活動を抑制することができます。酪酸発酵は、水分70%以下で抑制されます。一方、乳酸菌の最適活動には、65~75%の水分が必要です。ですから、酪酸菌の活動を抑え、かつ、しっかりと乳酸発酵を起こさせる望ましい水分含量は、60~70%といえます。理想を言うなら、全ての原料草の水分含量を、適切な刈り取り、予乾、集草、積み込みのタイミングによりこの最適水分にすることが、乳酸発酵サイレージ調製の「絶対的な原点技術」なのです。

### ②土壌は不良細菌の巣！

土砂などの混入は、酪酸菌をはじめ多くの不良細菌を原料草に付着させます。土砂等の混入をできるだけさせないことが、上質のサイレージをつくる大切な技術です。土砂を持ち込まないためにダイレクトで積み込んでも、短期積み込みの徹底、排汁処理やある程度までの水分調製のための添加物利用ができれば、乳酸発酵で酪酸菌の活動を抑制することができます。

### ③糖のロスはどう抑えるか

共に嫌気性菌である乳酸菌と酪酸菌は、活動開始時に同じスタートラインに立つのです。乳酸菌が優位にスタートダッシュをつけるためには、嫌気環境が整うまでの過程でエネルギー（原料草の糖）が極力ロスしないようにしなければなりません。糖が不足すれば、それ以外のもの（乳酸、蛋白質）をエネルギーにできる酪酸菌が優位になります。



—糖のロスをできるだけ少なくするために—

○短期詰め込み完了

○密度を高める

（きれいな切断、徹底的な鎮圧、適水分調製）

○密封を完璧にする（完全なシーリング）

糖がなくなると、乳酸菌は、酪酸菌に負けてしまう

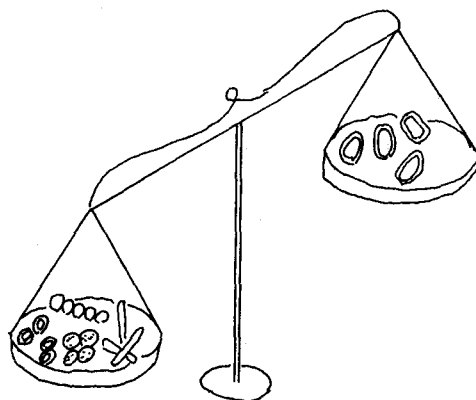
## 〔酪酸発酵したサイレージ〕

酪酸発酵したサイレージの特徴は、アンモニアが多いことです。そして、著しく悪質になり、採食量がどんどん減ります。すなわち、

- ・腐敗臭がする
  - ・アンモニア臭がする（酪酸菌は蛋白質からアンモニアを生成する）
  - ・酪酸発酵が起るまでの過程で糖が消費されて甘味が減ってしまっている
- これらのことから結果的に味が低下するからです。

「いかに酪酸菌を抑えることができたか？」  
これがサイレージの品質のバロメーターです。  
おいしいサイレージの原点です。

乳酸発酵は、酪酸菌の活動を抑えるための対応手段です。



## 2 酸添加サイレージ

pHを低下させて酪酸菌の活動を抑制するには、原料草に酸を添加し、乳酸発酵をはじめからさせない方法があります。酪酸菌は低いpHに弱いので、酸の添加により一気に発酵不能なpHまで低下させることで保存が効き、かつ、酪酸発酵のないサイレージを調製することが可能なわけです。しかし、適正を欠いた酸添加のためにpH低下が中途半端になると、かえって酪酸発酵を助長する破目になるので注意を要します。

添加する酸は、現在、ギ酸の利用がほとんどです。

### 〔ギ酸添加サイレージ〕

ギ酸を添加する場合は、ただちに原料草がpH4.2以下になる量を投入します。その量は、マメ科割合や水分含有率などによって異なりますが、現物中0.4~0.3%です。pH4.2以下、嫌気状態という条件下では、ほとんどの細菌類が活動を抑制されてしまいます。特に、ギ酸は酪酸菌を抑えるには有効です。また、ギ酸は殺菌効果もあるので不良細菌の中には完全に死滅してしまうものもあります。すなわち、開封後の二次発酵もある程度防止できるわけです。

### 〔ギ酸添加の有効性〕

#### ①貯蔵の効くサイレージ

ギ酸添加は、原料草のpHを一気に低下させるため不良細菌に活動のチャンスを与えません。特に、酪酸菌を抑える力があるので、長期保存の効く（バンクライフの長い）サイレージを調製することができます。

#### ②調製の際の天気に左右されずらい

ギ酸を添加する場合、不良細菌を強力に抑制するので、予乾など、酪酸菌の活動をコントロールするための水分調製をあまり意識しなくて済むサイレージ調製ができます。すなわち、高水分原料草を余儀なく調製せねばならない条件下では、相当に有効なサイレージ添加物といえます。したがって、ダイレクトでのつめこみも可能ですが、より良質なものにするには、排汁処理などの水分減少のための対策を強めることが必要です。嗜好性の向上や乾物摂取量の最大化のために給与飼料の適水分化は

大切な技術です。そのためには、詰め込み時点での原料草の水分を70%前後にまで調製することが肝要です。

### ③品質の安定

一気にpHを低下させることができるので、天候などの条件があまり整わない時や水分調製が困難な作業体系の時でも、ギ酸の添加によりある程度安定した品質のサイレージを調製することができます。

目的は、どれだけ酪酸菌を抑えることができるかということです。ギ酸によって十分にpHが低下していれば、乳酸菌の活動を期待する必要はありません。水分含量の高い原料草や、糖含量の少ない原料草（2番草、雨あたりの草など）、気温の低い時に収穫した場合（3番草など）、土砂等異物の混入が多いと思われる場合など、乳酸菌の活動をあまり期待できない場合、ギ酸添加はその効力を発揮します。

## 3 二次発酵のメカニズム

### 〔二次発酵とは〕

サイロを開封した後、サイレージが発熱し急速に変敗することを二次発酵といいます。二次発酵は酪酸発酵と同様にサイレージの味を落とす大きな要因です。サイレージが開封されてから熱を持ち始めるまでの時間をバンクライフといいます。バンクライフが長い程、貯蔵性の高いサイレージといえます。これは、サイレージ化の過程でどれだけ不良細菌の活動を抑制できたかということと大きく関係します。高品質のサイレージを調製することがすなわち、二次発酵防止のために第1義的に大切なのです。

### 〔二次発酵を起こしにくいサイレージ〕

- サイレージ化の過程で好気性菌の活動がしっかり抑制され、しかも、カビ、酵母類など二次発酵を起す細菌類の数が少ない
- 高密度である（酸素が奥に入りにくい）

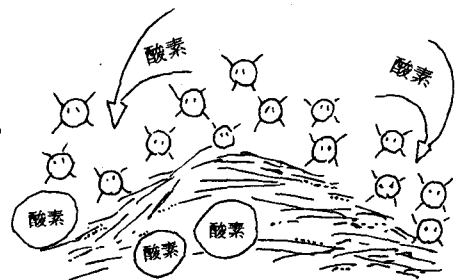
### 〔二次発酵の過程〕

- ①密封されていたサイレージが取り出しなどで空気に触れる
- ②嫌気環境がこわれ、活動を停止していた好気性菌が動きだす。



二次発酵の主な原因菌

- カビ
- 酵母
- 真菌類、など



- ③好気性菌の呼吸によるサイレージの発熱

二次発酵は、発熱によって察知できます。更に、酸素と接触が続くと好気性菌の活動がどんどん活

発になるため、乳酸が減少しpHが上昇して、カビの発生、変敗が進み、更なる発熱を起します。

発酵の終了したサイレージに継続的に酸素が供給されるとこれらの反応が進行します。取り出し面がなめらかでない（あおって取り出している）、取り出し口が広すぎる、環境温度が高い、サイロや被覆材に破損があるなどの条件があれば、二次発酵は起りやすくなります。水平サイロの場合、取り出し口の方向は、温度の上昇しにくい向き（北、東）であることが望ましいでしょう。また、取り出し方法によっても、サイレージ内に酸素が侵入する度合いに違いがあります。取り出し口の表面積ができるだけ小さくなるように取り出すこと（平らできれいな取り出し面）が酸素の侵入を少なくします。

（くわしくはP75）