

# 粗飼料のくん炭化とその防止対策

北海道立根釧農業試験場

酪農第一科

戸 莢 哲 郎

酪農施設科

高 橋 圭 二

## はじめに

近年、根釧地方において省力的な乾草調製用機械としてビッグベーラが著しく普及してきているが、これにより調製されたビッグベール乾草において、いわゆるくん炭化現象が多く認められており、これが著しい場合には自然発火し完全焼失に至る事例も発生し、大きな問題となっている。根釧農試専技室の調べでは、管内の最近5か年間ににおける乾草の自然発火件数は40件にのぼり、この9割がビッグベール乾草で占められている。

また一方では、新酪農村事業（昭和48～59年）によってボトムアンローダ装備の大型気密サイロ（容量約850m<sup>3</sup>）が多数導入され、低水分牧草サイレージの利用が増加してきているが、これに伴いサイロ開封後における高温発酵及びくん炭化現象も増加の傾向にある。

くん炭化したこれらの粗飼料の栄養価は、特に可消化粗蛋白質が低いために、これを長期にわたり給与した場合には、繁殖成績の低下やアルコール不安定乳生産などの問題を生じていることが現地より指摘されている。

根釧農試では昭和58年度から粗飼料のくん炭化発生要因と防止技術、及びくん炭化が飼料価値に及ぼす影響について検討してきたが、ここでは前者について解説してみたい。

## 1 ビッグベール乾草

### 1)くん炭化発生のメカニズム

牧草のくん炭化の正体は、通称メイラー

ド反応と呼ばれるアミノ・カルボニル反応であり、これによって牧草は非酵素的褐変を受けるということが定説となっている。この反応自体は通常の貯蔵状態でも進行するが、その反応速度は極めて遅く、くん炭化にまで至ることはまずない。問題となるのは、ある程度の高温状態と水の共存下で急速な反応が起る場合である。牧草を水分30～40%でベール調製した場合、牧草の呼吸熱、微生物の好気性代謝熱が発生する。従来のコンパクトベールの場合は密度が低く表面積が大きいために放熱が比較的容易であるが、ビッグベールの場合には密度が2倍程度になり、表面積は相対的に小さくなるので蓄熱効果も大きく、アミノ・カルボニル反応が急速に進み、この反応熱も蓄積して発火

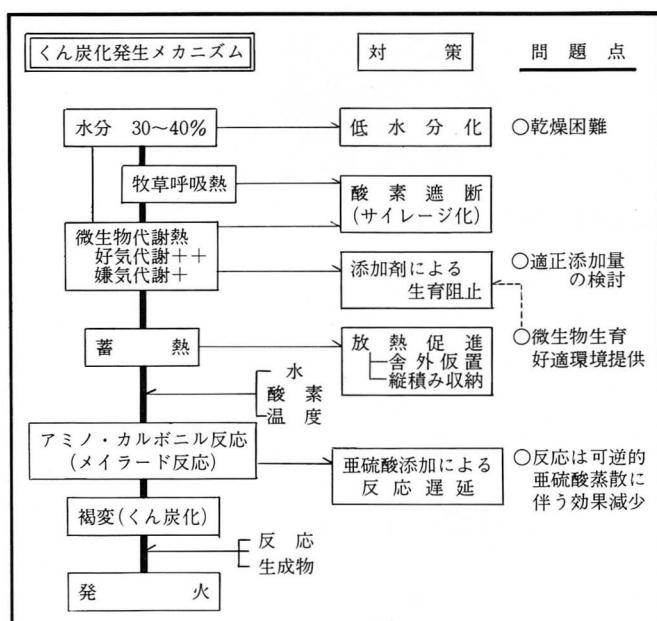


図1 ビッグベール乾草のくん炭化発生のメカニズムと基本的対策及び問題点

に至る場面すら生ずることになる。対策としては、原料草の低水分化、酸素遮断による呼吸熱・好気性微生物代謝熱の発生阻止、添加剤による微生物の生育阻止、発熱ベールの放熱促進、亜硫酸添加によるアミノ・カルボニル反応の反応速度遅延措置などが考えられるが、飼料の量的・質的ロスの大きさを考慮すれば、なるべく早い段階での対策がより効果的である。

## 2)くん炭化発生試験

今回の試験では、多雨寡照地帯での乾草調製を前提に、水分30~40%の高水分乾草を梱包し、これによりくん炭化の発生状況を調査した。高水分乾草ペールを3段横積み状態で調製後即時収納したところ、くん炭化が発生した。ペール乾草の堆積中心での品温変化は図2に示したとおりで、収納直後に急激な品温上昇が認められ、10~14日後に最高温度に達し、中心で81℃、ペール接触面で

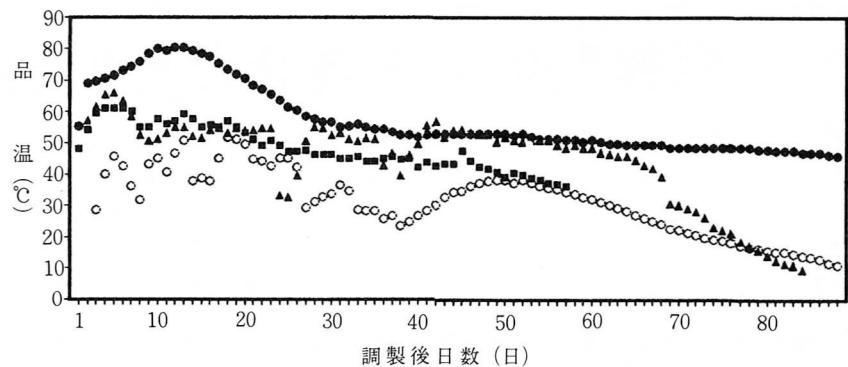


図2 3段積みビッグペール乾草の中心品温変化

注 ● 高水分横積み即時収納 ■ 縦積み  
▲ 舎外仮置後収納 ○ 低水分

は86°Cにまでなった。また後半の品温降下も速やかではなく、50°C程度の要注意状態が持続した。これに対し、水分23%で調製した低水分区では、収納直後の急激な品温上昇は認められなかった。また、堆積しない別のペールで検討した場合にも水分が低ければ低いほど品温上昇が小さい傾向が示された。また、高水分で調製した場合でも、調製後即時収納せず舎外に一定期間仮置したり、横積みではなく縦積みに収納したりして、水分・熱の発散を促すことによっても収納後の品温上昇を

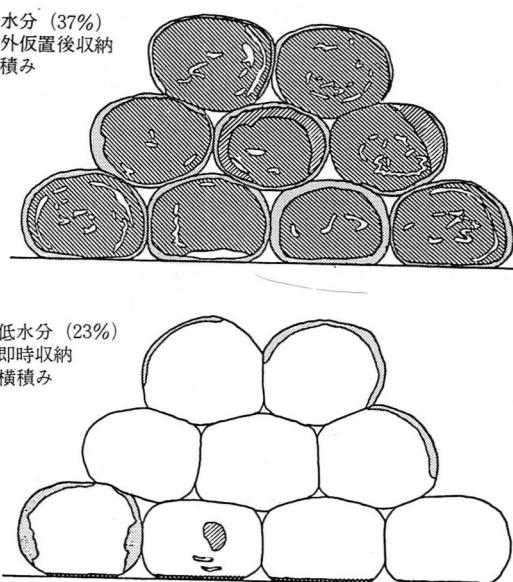
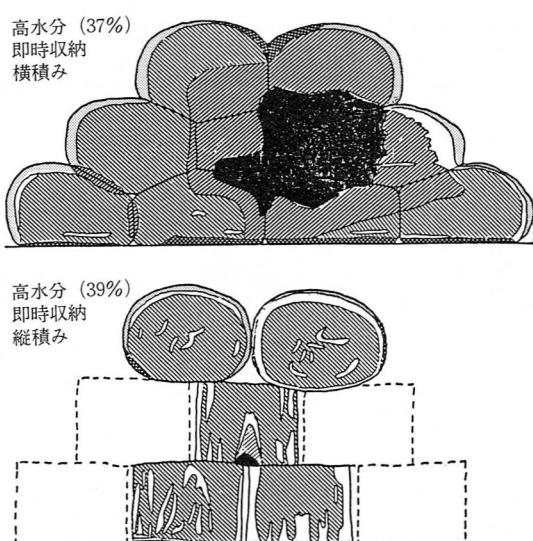


図3 3段積み堆積ペールの中心断面におけるくん炭化発生状況

注 ■ 堆肥化 □ カビ汚染 ○ 放線菌汚染 ■くん炭重  
■くん炭中 ■くん炭軽 ■くん炭微 □良質

大幅に削減することができ、特に後半の品温下降が急速である傾向も認められた。

開封時のくん炭化状況も、貯蔵中の品温上昇の程度に対応する結果を示した(図3)。特に高水分横積み即時収納区ではくん炭化が著しく、中心部の10%程度が黒褐色に、また周囲の大部分も濃褐色～褐色となった。またペール接触面ではペール中央に比べてくん炭化の程度が高く、更に堆積中心部では堆積周辺部に比べてくん炭化の程度が高く、より蓄熱しやすい傾向が観察された。これに対し低水分区では、ほぼ全体が淡黄色であり、圃場での乾燥ムラによるものと推察される極めて軽度のくん炭化が、ほんの一部に見られただけであった。また高水分舎外仮置後収納区、高水分縦積み区では、これら両区の中間状態であり、くん炭化の軽微化が認められ、また堆積の中心部と周辺部とのくん炭化の程度に大差は認められず、堆積による蓄熱効果の減少が示唆された。しかし一方で、高水分ペールの放熱を促進するようなこれらの処理は、好温性の微生物、特に近年農夫肺の原因菌としてマークされている放線菌群の増殖環境を促進するため、これを抑制する必要がある。今回の試験ではこの目的でプロピオン酸アンモニウムを添加し、ある程度の抑制効果は確認し得たが、水分40%近い原料草に対し0.7%程度の添加では増殖を阻止するにはほど遠い状態であった。

### 3)くん炭化を防止するために

以上の試験結果から明らかなように、くん炭化防止対策としては、可能な限り低水分にすることが発熱防止上最も有効であり、やむを得ず乾燥不十分で調製した場合には、舎外仮置や縦積み収納により放熱・水分の蒸散促進を図る必要がある。併せて制菌剤添加などの好温性菌防止対策を講ずることが望ましい。

一部の農家の間では、くん炭化した乾草は香ばしく牛の好みもよく、見た目も均質で一見よさそうに見えるために、むしろ好まれるような状況さえあるようである。確かにくん炭化を防止すると前述のように微生物汚染によって見栄えのしない牛の嗜好性の劣るものになってしまう場合が多いが、自然発火防止のため、また貴重な粗飼料の栄養価を維持するためにも、くん炭の発生は可能な

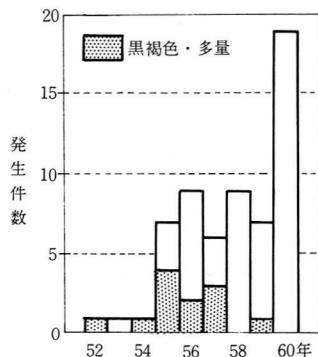


図4 年次別くん炭化発生件数

限り防止せねばならず、その上で生ずる諸問題の解決にあたる姿勢こそ望まれるものであろう。その意味からも、一部の農家で既に導入されているビッグペールサイレージ化の手法は、これら高水分乾草のくん炭化防止上、有望であると思われる。根釧農試でも昭和61年度より2か年の計画でビッグペールサイレージの調製・貯蔵・給与上の問題点の解決、飼料価値の査定を行うことになっていく。

## 2 低水分サイレージ

### 1)くん炭化の発生状況

根室管内の酪農家113戸について聞き取り調査を行なったところ、49戸でくん炭化発生の経験があり、毎年のように発生している農家もみられた。年度別発生件数は図4に示したように増加傾向にあったが、多量で重度のくん炭化は昭和55～57年に多く発生しており、昭和58年以降は部分的な発生が多かった。農家であげた主なくん炭化の原因

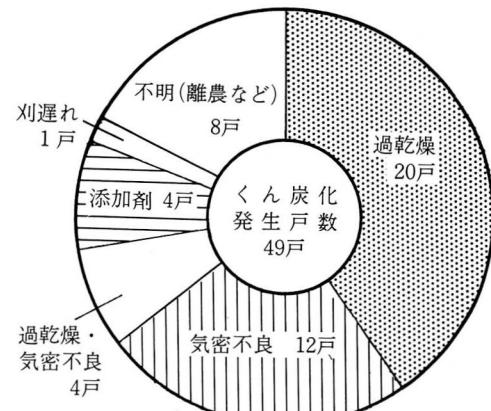


図5 主なくん炭化の発生原因

は、図5に示したように、原料草の過乾燥やサイロの気密不良が多く、中には過乾燥の原料草に散水しながら詰込んでもくん炭化した例もあった。詰込み原料草の水分を3年にわたり現地で調査した結果でも、ファイアゾーンとされる水分30~40%での調製が多く見られた。次に現地でみられたくん炭化発生事例を紹介する。

### ①事例1（昭和56年9月発生）

一番草を7月中旬に詰込み、下旬から取出しを行なったところ、9月末からくん炭化し始め、ほぼサイロ全体がくん炭化した。1~2月にかけてサイロ内温度を計測したところ、高温部で86°Cにまで上昇していた。くん炭化緩和のためドライアイスや炭酸ガスの注入を行い密閉後10日で72°Cまで低下したが、取出し再開後、温度も再上昇し始めた。このサイロの非くん炭化部分のサイレージ水分は27%で、くん炭化部のDCPは0.2%，TDNは45%であった。

### ②事例2（昭和59年3月発生）

一番草を7月下旬と8月上旬に詰込んだが、8月分がかなり乾燥していた。9月初めより取出しを行いながら二番草を10月上旬に追い詰めた。2月上旬よりくん炭化した二番草が混じり始め、3月には全体が黒褐色となった。くん炭化サイレージの水分は44%，DCPは2.0%，TDNは45.3%であった。その後、サイロ壁体パネルに隙間のあることが判明した。

## 2) サイロの気密性

くん炭化発生の主要原因の一つとみられるサイロの気密性の程度を、ミルカ用真空ポンプを用いた減圧試験により調査した。試験はサイロ12基について行い、うち4基については2年連続して行なった。通常の農家使用状態では取出し口パッキンの劣化、アンローダカバー類の変形などにより気密が悪く、安全バルブ作動圧まで減圧できないもののが多かった。取出し口周囲から減圧時に空気流入のみられたサイロは、この部分をコーティング剤で

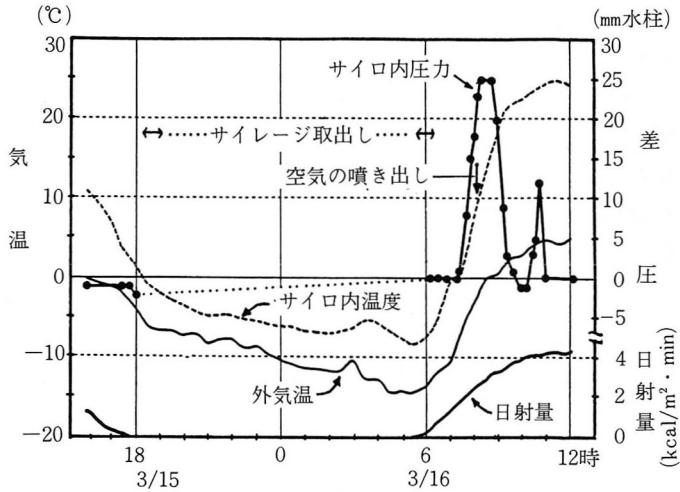


図6 サイロ内圧力と温度変化

密閉することにより流入量を半減することができた。また、ボトムアンローダ引出し後完全密閉したサイロでは、ほとんど空気流入が見られなかつたことから、密閉不良の主な原因がアンローダ周辺に集中していることが明らかになった。また、気密性の良好であったサイロで、壁体ボルトを外して減圧したところ、ボルト5本外した場合の気密状態よりも多くのサイロは気密性が悪かった。気密状態は年次とともに低下する傾向にあり、くん炭化の発生したサイロ程気密性が悪い傾向がみられた。

### 3) サイロ内圧力・温度変化とくん炭化

サイロ内に空気が流入する原因としては、サイレージ取出し作業によるドアの開閉のほか、日射や気温の変化があげられる。天気の良い日に、取出し口から空気が噴き出したり、また夕方に空気が流入する事は多くの農家でみられている。そこで、サイロ内圧力と温度変化を調査した(図6)。調査サイロは、ブリーザバッグ装備でサイレージ残量は7mであった。外気温は5~−15°Cの変化であったが、サイロ内温度は25~−8°Cと30°C以上の変化であった。サイロ内圧力は日没前より負圧

表1 サイロ内温度変化と推定空気流入量

項目	温度変化(°C)	推定空気流入量				
		5°C 25→20	10°C 5→−5	20°C 15→−5	30°C 25→−5	40°C 35→−5
残量割合(%)	空間部容積(m³)					
30	595	10m³	21	41	60	77
40	510	8	18	35	51	66
50	425	7	15	29	43	55
60	340	6	12	23	34	44
発生する負圧(mm水柱)		−17	−36	−71	−104	−134

となつたが、ブリーザバッグ装備のためか $-2\text{ mm}$ 水柱にとどまつた。しかし、日の出とともにサイロ内温度が上昇し始めるとき激に正圧となり、最大で $25\text{ mm}$ 水柱となつた。これに伴つて、取出し口から空気が噴き出した。その後はわずかな日射の変化で、サイロ内圧力が大きく変化している。調査サイロがブリーザバッグ装備であったため実際の負圧の程度を測定できなかつたが、サイロが完全密閉であると仮定した場合は、表1に示したような圧力変動によりサイロは常に“呼吸”をしており、気密性の悪い部分から空気が流入することになる。もし、この気密性不良部分がサイロ基部（アンローダ周囲やドレーンなど）にあつた場合には、毎日サイレージ内部に新鮮な空気が流入してサイレージの二次発酵や変敗の原因となり、水分が低い場合には、断熱性が良いために発生した熱が拡散せず高温となってくん炭化に至ると考えられる（図7）。

#### 4)くん炭化防止対策

低水分サイレージのくん炭化を防ぐためには、次の事項があげられる。

a) 適正水分 $50\sim60\%$ での調製を行うこと。  
そのために、天候に合わせた調製作業体系や簡易水分計などを使用することが必要である。

b) サイロの気密性を保つこと。特にサイロ

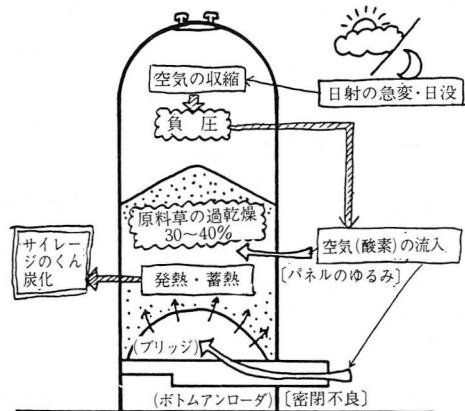


図7 低水分サイレージのくん炭化発生メカニズム

基部（アンローダ周囲、ドレーン）の密閉に注意する。安全バルブの作動状況も年1回は点検するとともに、数年に1回はサイロを空にして中からブリーザバッグや壁体部分の点検を行う。

c) 晴天日の夕方はサイロ内部が負圧となっているため、取出しにあたっては十分注意する。

d) 適正取出し量を保つこと。少量で長期にわたって取出しを行うと、空気にさらされる時間が長くなり二次発酵やくん炭化にもつながる。

e) 原料草の細切による高密度の詰込みや、短時間での取出しなども、空気の侵入を抑える上で効果的である。

このほかに、負圧側の安全バルブ作動圧を下げる事なども検討する必要があろう。

## 夏型草種のアンモニア処理

静岡県畜産試験場

芹澤駿治

### はじめに

低質粗飼料へのアンモニア処理( $\text{NH}_3$ 処理)効果はよく知られており、県下でも急速に普及している。今まで夏型牧草の利用は乾草調製が主体であったが、収納可能な水分 $20\%$ 以下まで乾燥させ

るために、3~4日の好天が必要であった。そこで $\text{NH}_3$ 処理の良好な貯蔵性に着目し、ローズグラス、カラードギニア、グリーンパニックの夏型牧草とソルガム、ヒエの飼料作物を予乾し、水分 $40\%$ 以下で梱包し $\text{NH}_3$ 処理を行なつたので紹介する。併せて、野草の $\text{NH}_3$ 処理についても紹介する。な