

# 飼料中の硝酸態窒素 ——中毒と対策——

帯広畜産大学

高橋潤一

米国ウイスコンシン州の酪農地帯で高硝酸塩摂取に起因する乳牛のエンバク乾草中毒（1937年）が報告されてからすでに久しい。しかし、最近の米国における臨床獣医関係の雑誌にも硝酸塩による乳牛の死亡事故の報告例が後を絶たない。我が国でも最近、乳牛用の輸入粗飼料の利用が拡大しているが、その中に含まれている硝酸塩濃度がかなり高く、家畜生産への弊害が懸念されている。しかし、急性中毒による死亡事故が生じない限り、この問題は意外にも見過ごされてしまっていることが多い。亜急性の硝酸塩中毒に対して何らかの防除対策を講じるということは通常の乳牛飼養の中では特に行われていない。これは亜急性の場合、一般にはっきりとした臨床症状が現れないので、外見上の判別が難しいことが理由としてあげられる。これまで我が国においても、反対う家畜の硝酸塩中毒については多くの専門書や実用書などの出版物の中で紹介されているが、その本質は必ずしも正しく理解されているとはいえない。ここでは、急性及び亜急性の硝酸塩の影響とそのメカニズムについて述べ、さらには、防除対策について若干の解説を加えたい。

## 1 飼料作物への硝酸塩の集積

この問題は農業の近代的集約化と無縁ではない。本来、硝酸塩は窒素循環の一形態であって、そのままの形態であれば動植物に対する毒性は低い。むしろ、硝酸塩は乳牛の粗飼料となるイネ科の植物にとっては主要な窒素給源であり、土壤微生物の活動が活発で肥沃な土壤条件であれば自然のサイクルの中で、正常にかつ必然的に存在する物質である。しかし、飼料作物の高位生産を目的とし

た窒素質肥料の多肥あるいは耕地面積の制限下でのふん尿の土壤還元は飼料作物への硝酸塩の過度の集積を招く。このような硝酸塩の遍在は近代農業の宿命とはいえ、放置しておいて解決する問題ではない。この傾向は今後ますます強くなると考えられ、都市近郊の家畜飼養地帯では特に顕著な傾向となって現れるであろう。また、流通粗飼料においても、その硝酸塩含量は無視できる現状ではない。供給側の方で、硝酸塩含量について特に配慮した適正な肥培管理が行われているとは考え難い。つまり、このような我が国の家畜生産の状況下では、家畜の飼料中に硝酸塩が少なからず存在するということを前提として認識し、そのマイナス面に対する対処法を考える必要があろう。このような飼料作物中の硝酸塩の過度の集積は無機態及び有機態窒素の過剰施用が第一義的要因であることは疑いもないが、その他にも様々な要因が関与している。飼料作物自体にも硝酸塩の集積のしやすさについては種間差があり、生育段階や部位によっても異なる。すなわち、土壤中で化成された硝酸態窒素は植物体の根から吸収され、太陽の恵みを受けて光合成の進展とともに植物組織内の還元酵素によってアンモニア態窒素に形を変え、タンパク質へと合成される。これによって植物は成長し、実を結ぶことができるのである。植物体の地上部では茎葉部が硝酸塩の集積部位となり、穀実中には極めて低い。したがって、このような植物の成長に関わる気象条件は飼料作物の硝酸塩含量に大きな影響を及ぼす。干ばつ、降霜、日照不足などは硝酸塩の集積を促進する要因となる。また、除草剤の中には飼料作物の硝酸塩集積に関与するものがあることもよく知られている事実で

ある。

硝酸塩は水に溶けやすいので、水が硝酸塩のキャリアとなって、いろいろな問題を生じる場合がある。下水汚泥、産業廃液、堆肥場、フィードロットなどからの河川や地下水への硝酸塩の流入は環境汚染の問題にもなっている。特に、地下水を飲料用に利用している場合、その硝酸塩含量は飼料作物のものとは別個の問題として取り扱わなければならない。さらに、水は窒素のキャリアとして地形によっては無意識的過肥を生む場合がある。著者の所属する大学の付属農場で、次のような事例があった。大学付属農場に隣接する養豚農家の堆肥場から降雨とともに大量の汚水が農場の採草地に流れ込んだ。農場採草地がその農家の堆肥場よりやや低地になっていたことにもよるが、その後、同草地から生産されたロールペール乾草から致死レベルの硝酸態窒素(乾物中0.5%)が検出された。また、山麓部に位置する公共育成牧場で肥料散布後に放牧草の硝酸態窒素を調査したところ、適切な施肥計画の下に、均一な散布が行われていたにもかかわらず、降雨後は傾斜地より位置的に低い牧区の方が放牧草の硝酸塩含量が高くなる傾向がみられた。このような偶発的事例は枚挙に暇がない。

一般に、飼料中の硝酸塩含量は硝酸態窒素( $\text{NO}_3^- - \text{N}$ )として濃度は乾物中の重量%で、また、量を表す場合はgで表示するのが慣用になっているが、しばしば硝酸イオン( $\text{NO}_3^-$ )として表示されたり、結合している塩から硝酸カリウム( $\text{KNO}_3$ )あるいは硝酸ナトリウム( $\text{NaNO}_3$ )としても表示されることがある。単位がモル表示であれば問題ないが、%あるいはg表示の場合に混乱が生じることがあるので、以下に、それぞれの換算法を示す。

$$\begin{aligned} 1 \text{NO}_3^- - \text{N} &= 4.43 \text{NO}_3^- \\ &= 7.22 \text{KNO}_3 \\ &= 6.07 \text{NaNO}_3 \end{aligned}$$

## 2 急性中毒

乳牛などの反すう家畜のルーメン内には多くの種類の遍性あるいは通性嫌気性の微生物が生息し、宿主である反すう家畜の草食動物としての能力を最大限引き出すため、共利共生関係を形成してい

る。しかし、水素を消費するある種の還元菌には家畜の生産活動にとって好ましくない機能を持つものがいる。前にも述べたように、硝酸塩自体の毒性は低いが、ルーメン内には硝酸還元菌が生息するため、亜硝酸塩に還元される。また、ルーメン内には亜硝酸還元菌もいるので、この還元がスムーズに進行すれば植物の同化的還元と同様に硝酸態窒素はアンモニア態窒素になり、菌のタンパク質合成に利用される。しかし、両者には決定的な違いがある。植物は硝酸塩を過剰に吸収した場合、硝酸塩そのものを組織内に蓄積するが、反すう家畜が硝酸塩を過剰に摂取した場合、ルーメン内には硝酸塩の還元産物である高濃度の亜硝酸塩が蓄積する。これは菌叢の優劣関係のほかに、pHなどのルーメン環境が亜硝酸塩の還元より硝酸塩から亜硝酸塩の還元に適していることによるし、亜硝酸塩自体の静菌作用も関係する。ルーメン内で生成された亜硝酸塩が血液中に吸収されると赤血球のヘモグロビンと反応してメトヘモグロビンを形成する。亜硝酸塩がヘモグロビンの2価鉄を3価に酸化するために血液の色は赤味を失って暗褐色のチョコレート色に変わり、チアノーゼが現れる。メトヘモグロビン内の鉄は3価であるため、ヘモグロビンの重要な機能である酸素運搬能が失われ、動物は酸素欠乏状態になり、代謝率も低下する。重篤な場合には、呼吸困難に陥り死亡する。赤血球内には様々なメトヘモグロビン還元システムがあるため、メトヘモグロビン含量が循環血中の全ヘモグロビン含量の40~50%に達しても元のヘモグロビンに戻ることができる。しかし、メトヘモグロビンをこの程度まで形成するほどに血液中の亜硝酸塩の濃度が高まれば、赤血球内のメトヘモグロビン還元システムの一部の効力も亜硝酸塩によって徐々に抑制され、還元力が低下していく。もし、この閾値を越えると自らの還元力による制御は効かなくなり、メトヘモグロビンは直線的に増加し、80%を越えると家畜は斃死する。発症時間は条件によって異なるが、硝酸塩摂取後4時間内に発症し、斃死は遅くても12時間以内の出来事である。では、急性のメトヘモグロビン血症とは一体どのくらいのレベルのことをいい、それを引き起こす飼料中の硝酸塩含量とはどの程度を

指すのであろうか。メトヘモグロビンは30%以上形成されると、一般に臨床症状が現れるので、急性中毒とはこれ以上を指すと考えてよい。しかし、飼料中の硝酸塩含量については、次のような理由で線引きが難しい。つまり、中毒の発症に飼料条件が大きな影響を及ぼし、粗飼料主体の育成牛と濃厚飼料を併給される泌乳牛とではおのずから設定の基準が異なる。また、胎児への影響を考慮すると妊娠中かどうかによっても設定が変わってくる。硝酸塩の主な給源となるのは濃厚飼料より粗飼料の方であるから、急性中毒レベルの最大公約数として単味の粗飼料中の硝酸態窒素含量の下限値は乾物中0.2%程度となる。これ以上がメトヘモグロビンを30%以上作り出す危険性のある含量と考えられ、0.45%以上では斃死の危険性のある含量といえる。

### 3 亜急性中毒

哺乳類の血液中には正常な場合でも全ヘモグロビンの2%程度のメトヘモグロビンは常に存在する。それ以上は何らかの外的要因によって増加する。メトヘモグロビンが5%以上形成されると、ルーメン内ではその原因となる亜硝酸塩が硝酸塩から還元されて作られるために、たくさんの量の水素(電子)が消費される。そのために、本来ルーメン内で水素を必要とする纖維類の消化・発酵に悪影響を及ぼす。さらに、生成される亜硝酸塩は纖維分解菌などの家畜にとって有用なルーメン内

細菌の増殖を抑える。図1には、ルーメン内細菌による牧草の消化・発酵産物であるVFA(家畜のエネルギー源)の生産が硝酸塩によって低下する様子を示している。これが原因となって、飼料のエネルギー利用効率が低下し、その結果、総体的に家畜の生産機能は減退する。これらはすぐには目に見える数字になって現れないのに、あまり注意が払われていないが、経営上のマイナス面は大きい。また、メトヘモグロビンが20%程度形成するとそれに応じて酸素消費量が20~30%減少し、代謝率も同程度低下する。しかし、家畜が快適な環境温度の下で安静状態に置かれているかぎり、心肺機能や体温には特段の影響は現れないが、過度の運動、環境温度の急激な変化など家畜の体が急に多量の酸素を要求するような事態が起これば話は別である。酸欠症状を呈し、寒冷では急速な体温の低下を招く。

このように、亜急性中毒のメトヘモグロビンレベルは個々の症状によって幅があり、全ヘモグロビン中の形成割合が5~30%の範囲と考えてよいであろう。条件によって異なるが、主要な粗飼料中の硝酸態窒素含量が乾物中0.1~0.2%の範囲にある場合、亜急性中毒の発症の可能性が考えられる。以下に、個々の硝酸塩に起因する亜急性中毒の主な症例について述べる。

#### 1) 繁殖

受胎率と飼料の亜急性レベルの硝酸塩含量とは直接の関連性はないと考えられる。

それよりも流産が問題となり、急性中毒の場合はもちろん、亜急性中毒レベルの硝酸塩によっても流産は起こり得る。完全に解明されているわけではないが、これは胎児のヘモグロビンが母親のヘモグロビンより亜硝酸塩酸に酸化されやすいことと胎児の赤血球のメトヘモグロビン還元システムが十分に発達していないことが原因であると考えられている。非感染性流産の場合、このケースが疑われる。

#### 2) ビタミンA

亜硝酸塩によってカロチンからビタミンへの転換が阻害されることを分かっているが、飼料の亜急性レベルの硝酸塩含量で起こるかどうかはまだはっきり証明されていない。

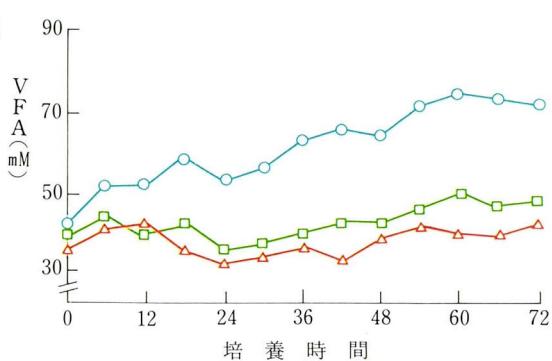


図1 ルーメン内細菌によるVFA生産に及ぼす牧草(オーチャードグラス)の硝酸塩含量の影響

- 低硝酸態窒素 (乾物中0.04%)
- 中硝酸態窒素 (乾物中0.22%)
- △- 高硝酸態窒素 (乾物中0.56%)

### 3) 家畜生産

硝酸塩の亜急性中毒の例として増体や乳生産の低下が知られているが、主に飼料摂取量が低下することと繊維類の消化が悪化するために起こる。給与飼料の硝酸態窒素含量が乾物中0.1%で乳牛の飼料摂取量が低下した報告例がある。

### 4) 甲状腺機能

硝酸イオン( $\text{NO}_3^-$ )は甲状腺へのヨウ素の取り込みを阻害することが知られている。反対する動物で臨床的に実証されているわけではないが、飼料中のゴイトロゲン(甲状腺腫を誘発する物質)の一つには違いない。

## 4 対 策

### 1) 治療

詳しい説明は省くが、速効性の治療薬としてメチレンブルーが用いられ、その他にアスコルビン酸などの赤血球メトヘモグロビン還元機構を活性化させるものはある程度有効性が認められている。しかし、これには獣医師の正しい診断と迅速な対応が必要であり、現実的には、発症してからの時間的余裕はあまりなく、手遅れになる場合が多い。

### 2) 貯蔵

①サイレージ化—飼料中の硝酸塩含量を低めるための有効な手段の一つである。しかし、牧草の種類やいろいろな埋蔵条件によって硝酸塩の減少の程度は異なり、安全値まで減少するという確証はない。硝酸塩は酪酸発酵を抑える効果があり、乳酸発酵の促進によってできた乳酸によってサイレージ中の硝酸(塩)還元菌も死滅するので、発酵品質が良好なサイレージほど硝酸塩含量が高い可能性があるという二律背反が存在する。

②乾草調製—一般農家向けの実用書ではあるが、乾草調製も硝酸塩含量を減少する有効な手段であるかのように記述されているものがある。これは誤りであると考えた方がよい。もし、天日による乾草調製時に雨に当たった場合、雨水によって若干の硝酸塩は溶出するかも知れない。また、好気性微生物の中には硝酸還元能を持つものが少なくなっているので、水分の高いまま調製されたものや雨にあつたものでは変敗の過程で硝酸塩含量が低下する可能性はある。しかし、これは本来の牧草貯蔵の

主旨からは容認されない。むしろ、乾草調製の過程で水分が蒸発することによって給与飼料としては生草より硝酸塩の濃縮が進んでいると認識しなければならない。

### 3) 給与法

硝酸塩含量に応じて、その飼料の給与量を適宜コントロールすることが対策の指針として推奨されている。一つは硝酸塩含量の高い飼料を利用する場合、低い飼料と併給することによって給与飼料全体の中で硝酸塩含量を希釈することを目的としたものである。もう一つは硝酸塩含量の高い飼料を数回に分けて給与する方法で、これによって硝酸塩の一回の効果を低減しようとするものである。しかし、給与量を減らして硝酸塩中毒の回避を図る方法はあまり現実的な対策法とはいえない。硝酸塩含量の高い飼料を給与せざるを得ないような状況の中で、代替の硝酸塩含量の低い粗飼料を常に確保することはそれほどたやすいことではない。そもそも粗飼料が足りないから輸入しているのである。また、後者の方針にしても量的限界がある。いずれにしても給与飼料の硝酸塩含量の的確な把握が必要なことはいうまでもない。

### 4) 飼料条件

エネルギーと粗タンパク質(CP)の給与量は硝酸塩中毒の発症に影響を及ぼす。また、両者のバランスも重要で、ルーメン内で分解性の高いタンパク質給源を低エネルギー条件下で多給するとルーメン内で亜硝酸塩の蓄積を促進することが分かっている。家畜のエネルギー要求量を満たすように配慮することは最低限必要なことであり、CPの過給は避けるようにするべきである。

### 5) 予防薬の開発

硝酸塩中毒を抑制する効果を持つ物質はいくつか発見されている。それらはいずれもミネラルの拮抗作用を応用したものである。すなわち、硝酸還元菌の硝酸(塩)還元酵素は活性化のために、モリブデンを必要とするが、モリブデンはタングステン、銅及びイオウと拮抗関係にあるために、これらの元素によって硝酸(塩)還元酵素活性は阻害され、亜硝酸塩の生成が抑制される。タングステンは乳牛でもその効果が確かめられたが、この元素は天然の飼料や食品中にはほとんど含まれ