

# イオンバランスを知って 乳牛を健康に飼おう

## 1. はじめに

人や牛などの家畜の健康を保つ栄養的な条件はいろいろあります。一般には、エネルギー・蛋白質などの五大栄養素の充足・栄養バランスが大きな役割を果たしています。

さらに、生命活動（代謝）には酵素活性が不可欠です。その酵素活性にも、ビタミン、ミネラルを充足させる必要があります。また種々の疾病防御のため免疫システムを機能させなければなりません。栄養・代謝条件が大きくこれに関わってきます。

これらの栄養的な条件の他に生命・代謝活動に不可欠なのが、細胞内外、血液のイオンバランス（酸・塩基平衡、pH）です。

牛などの身近なイオンバランスに関わる疾病は、乳酸アシドーシス、熱中症、低カルシウム血症、尿石症など数多く挙げることができます。さらにイオンバランスの異常は受胎にも影響している可能性があります。

そこで、この牛の健康（生命維持・代謝）に必要な

なイオンバランスの基本的な点を理解いただき、飼料給与の面からイオンバランス、血液pHをコントロール、適正にし、乳牛を健康的に飼うポイントについて説明します。

## 2. 代謝活動と細胞内外のpH

地球上に生命が誕生したのは海と言われており、海水と細胞間質液のミネラル組成には類似性があります。研究者の中には、生命の始まりでは、海水と単に細胞膜を隔てイオンや電子のやり取りをする中でエネルギー獲得をしていたという大胆な発想をする人さえいます。<sup>1)</sup>

実際、生命活動の最小単位は細胞であり、生命（代謝）活動の結果、細胞内にできた老廃物（代謝産物）は必ず電気的刺激・エネルギー差により細胞外（血液）に排出されるしくみになっています（図1参照）。

この老廃物には、細胞呼吸の結果生じる揮発性酸であるCO<sub>2</sub>（炭酸ガス）と不揮発性酸（硫酸・硝酸・リン酸イオン等）があります。

この代謝活動によって生ずる酸の排出の恒常性が崩れる病態がアルカローシスであり、アシドーシスです。

生命・代謝活動にとって正常な血液pHは7.35～7.45ですが、これを維持するための排出装置である腎臓・膀胱から出る尿のpHは5～9まで変動し、あるいは炭酸ガスを排出する装置：肺の機能により呼吸数が大きく変動します。

## 3. 飼料給与とイオンバランス（血液pH, 尿pH）

牛では穀類の多量摂取で乳酸アシドーシス、尿素など非蛋白態窒素の大量摂取でアルカローシスになることがあり、ひどい場合には血液pHが回復せず、死にいたることになります。この牛の飼料とイオンバランス、血液pH, 尿pHとの関係を整理しました。

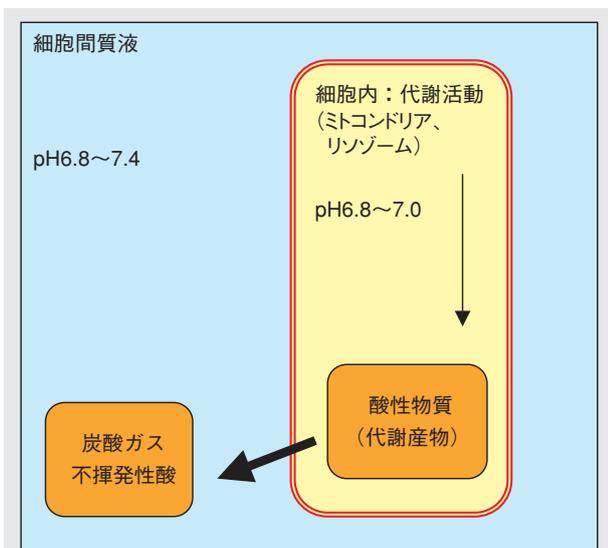


図1 細胞内・外のpHと代謝

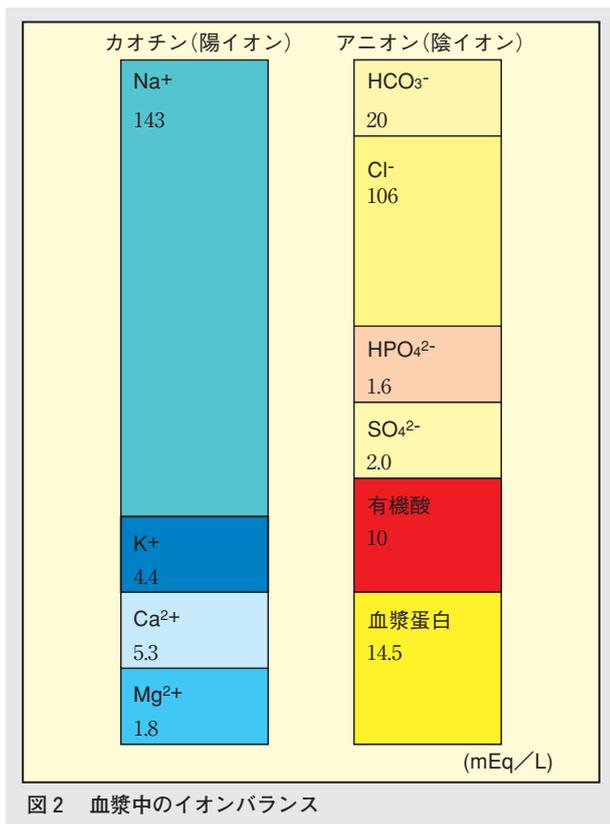


図2 血漿中のイオンバランス

### 1) 給与飼料の有機酸とイオンバランスとの関係

通常、給与飼料中の $(Na + K) - (Cl + S)$ :mEq/乾物100gの式で血液pHへの影響を判断しますが、実際には、サイレージ飼料等ではそこに含まれる乳酸等の有機酸が関係します。また、ルーメン発酵による乳酸やVFAも関与してきます(図2が血液pHに影響するイオンです)。

牛の場合、豚などの単胃家畜と異なり、まず飼料は発酵タンクであるルーメンに入ります。

高水分のサイレージなど有機酸含量の高い飼料を給与し、ルーメン微生物による有機酸の発生量がプラスされ、血液、尿のpHが低下する場合には、これを是正するため重曹等の緩衝剤の給与が有効になります。

### 2) 給与飼料の分解性蛋白とイオンバランスとの関係

ルーメン内で発生したアンモニアは、一部血液中に移行しますが、このアンモニアは一部、酸の中和剤の役目をする事になり、最終的に尿素やアンモニウム塩として尿中に排出されます。

この血中のアンモニア濃度は、牛の場合、ルーメンから発生するアンモニア含量に大きく影響され、濃度が高まれば、牛の代謝に異常を起こします。このルーメンでのアンモニアの血中への吸収速度はルーメンpHに依存しています。飼料中のカリウム

等の陽イオン含量が低く、ルーメンpHが低下すれば、ルーメン中にはアンモニウムイオンが多くなり、ルーメンからの吸収速度は遅くなることになります。

### 3) 給与飼料のカリウムとイオンバランスとの関係

一般の乳牛の飼料において、血液pHの変動に大きな影響を与えているミネラルは、カリウムと判断されます。粗飼料中のカリウムは土壌、施肥条件等で大きく変わります。乾物1%以下のものもあれば、3%以上に達しているものもあります。また飼料中のカリウムは、カルシウムと異なり、ほとんど体内に吸収され、蓄積されないため、乳牛に給与する飼料中のカリウムが高い場合、容易に高カリウム血症になり、尿pH(血液pH)が高くなります。

泌乳牛は、濃厚飼料の給与量が多く、尿pHは酸性と捉えるでしょうが、実際に各地の泌乳牛の尿pHを測定してみたら、乾乳牛と同じpH8台の牛群が多いようです。この原因は、これらの牛の血清のミネラルバランスを見る限り、このカリウムが関与していると思われます。

### 4) 給与飼料のカルシウムとイオンバランスとの関係

ルーメン発酵の状態により血液pHが影響されるのと同様、腸管内のpHもミネラルの吸収への影響を通じて体内イオンバランスや血液pHに関与することになります。カルシウム等は腸管内がpHが低下するほどイオンになりやすく腸管からの吸収が高まります。飼料給与の栄養バランスを取りながら、腸管内を弱酸性にできれば、カルシウムの吸収を促進することになります。カルシウムが多く吸収されれば、カリウムと同様血液、尿pHを上げる一因になります。

## 4. 乳牛のイオンバランスコントロールの必要性

### 1) 泌乳牛のイオンバランスのコントロール

前述したとおり、給与飼料の栄養バランス、イオンバランスを適正にし、またルーメン発酵の異常を防ぎ、血液pHの変動を少なくし、アシドーシス、アルカローシスを防ぐ必要があります。またナトリウムやカリウムの過剰摂取は、飲水量、尿量を増加させ、糞尿処理の負担を大きくすることにもなります。

一般に乳牛のナトリウム摂取量のコントロールはむずかしくありませんが、カリウムについては、自給飼料や流通乾草等では乾物当り1~2%程度の

表1 発酵TMRの酸度と尿pH

	頭数	尿pH	尿Ca	尿P	尿K	血清K	血清Ca
発酵TMR <sup>1)</sup>	3頭(平均)	7.1	32	0	123	5.1	9.8
TMR <sup>2)</sup>	5頭(平均)	8.5	3.4	3.6	203	4.8	9.5

\*単位：血清、尿中KはmEq/L、尿Ca、P、血清Caはmg/dl  
H16年10月・11月、当場繋養泌乳牛で実施  
1) 発酵TMR：乳配、粕類、ストロー類を混合サイレージ化したものを給与、有機酸含量は乾物4～5%  
2) 那須TMR方式：乳配、オーツ乾草、TMウエット（粕類、乾草の混ぜサイレージ化）を混合給与、有機酸含量乾物1.5～2%

変動があり、牛へ過不足なく給与することは容易ではありません。

泌乳期のカリウム供給過剰は、暑熱時のカリウム要求量のアップや代謝性アシドーシスには有効である一方、尿量の増加等のマイナス面が出てきます（給与飼料中のカリウム含量を0.5%減らせれば、乾物20kg程度採食する泌乳牛では、1日1頭6kg程度の尿量が減る可能性があります<sup>2)</sup>）。

泌乳後期、骨密度を高め、分娩後のカルシウムの要求量アップ（マイナスバランス）に対処するには、泌乳期においてもアルカローシス（高カリ血症）にさせることなく、血清中のカルシウムイオン含量を維持し（血液pHが上昇すれば、血漿蛋白のイオン化が進み、カルシウムイオンと結合するためカルシウムイオン濃度が減少する可能性あり）、ビタミンD3の活性化やPTH（パラトルモン：Ca代謝に関与）の機能を維持させます。また腸管内のpHを弱酸性として、カルシウムの体内吸収を高めておくことも必要です。

これらのことから、泌乳期といえども粗飼料はカリウムの高いもの（乾物3%以上）は避けたいところです。

このアルカローシスとは反対に分娩後急激に穀類を多給しルーメンpHが大きく下がれば、グラム陰性菌の死滅によるエンテロトキシン（細菌内毒素）やヒスタミンの産生が起こると共に、生成された乳酸が血液中に蓄積し、代謝性アシドーシスを呈し、蹄葉炎、乳房炎、免疫力の低下等種々の障害を生ずることにもなります。

一方、このような濃厚飼料による血液pH低下の他、乳酸の多い発酵ウエット飼料や自給飼料サイレージの多給もルーメンpHを下げ、また血液中の乳酸濃度が高まり、血液pHを低下させる場合があります。表1のように、発酵TMRを給与した場合、血清カリウム含量が基準値でも、尿pHは平均7.1を示し、尿中へのカルシウム排出量も高いものになっております（通常のTMRでは濃厚飼料多給以外見られない現象です）。血漿中の有機酸は、

表2 主な飼料のイオンバランス（DCAD値）

(乾物% mEq/100g)	Na	K	Cl	S	DCAD
とうもろこし圧片	0.02	0.42	0.08	0.10	3.1
大麦圧片	0.02	0.56	0.13	0.12	4.0
加熱大豆	0.01	1.20	0.29	0.14	29.6
綿実	0.02	1.13	0.06	0.02	13.7
ビートパルプ	0.01	1.20	0.29	0.14	14.2
ビール粕（生）	0.01	0.47	0.12	0.33	-11.6
ふすま	0.03	1.38	0.10	0.18	22.5
グルテンフィード	0.13	1.46	0.20	0.44	9.9
大豆粕	0.04	1.21	0	0.32	12.7
なたね粕	0.07	1.41	0.04	0.73	-7.6
糖蜜（ビート）	1.48	6.06	0	0.60	181.8
コーンサイレージ	0.01	1.20	0.29	0.14	14.2
ルーサン乾草 <sup>1)</sup>	0.15	2.98	0.85	0.26	42.2
スーダン乾草 <sup>1)</sup>	0.03	2.90	1.55	0.08	26.7
チモシー乾草 <sup>1)</sup>	0.02	1.63	0.54	0.05	24.5

(NRC飼養標準(2001年)飼料成分値より算出,1)乾草(流通)は新潟農総研(H10年)報告より)

図2に示されるように陰イオンの働きをするため、自給サイレージやウエット飼料の乳酸含量が高く、泌乳牛の尿pHが酸性を示し、乳脂率にも問題が出るような場合には、重曹等の緩衝剤の給与が必要でしょう。また、飼料中の有機酸はルーメン微生物のエネルギー源にはなりにくいことから、自給飼料サイレージやウエット飼料の有機酸含量が高い場合、ルーメン微生物の合成量にも影響するためこれを考慮した飼料設計が必要になります。

## 2) 乾乳牛のイオンバランスのコントロール

乾乳前期：乾乳期に給与する粗飼料のカリウムが過剰な場合、血液pHは上がり、アルカローシスになる可能性があります。これを是正するには、カリウム含量の低い飼料の併用が必要になってきます（表2参照、コーンサイレージ、ビートパルプ、ビール粕サイレージ、弊社周産期専用配合飼料「トランスプロ」等は乾乳期のカリウム含量をアップさせない飼料です）。表3は、関東地域のユーザーの乾乳前期のMPT（代謝プロファイルテスト）を行った際の主な血清ミネラルバランスです。今回の採血牛でもやはり自給粗飼料を給与している牛の血清カリウム含量は高い傾向があり（ただし、予想に反し血清マグネシウム含量は基準値を示しており、マグネシウム不足の傾向は見られませんでした。）、当地域の自給飼料のカリウム含量は一般に高い傾向にあることが窺えます。また、血清カルシウム含量も8mg/dl台の牛もおり、乾乳前期からカルシウムを要求量以下にすることは避けるべきです。

表3 乾乳牛（前期，関東地域）の血清ミネラルバランス

	採血月	頭数	飼料メニュー	血清K	血清Mg	血清Ca	尿pH
A牧場	8月	5頭	乳配1kg ビートパルプ1kg スーダン，チモシー オーツ乾草（飽食）	5.5	2.7	9.7	
B牧場	4月	6頭	乳配2kg ロールサイレージ（飽食）	4.7	2.4	9.1 (8.5以下2頭)	7.5 (3頭平均)
C牧場	4月	2頭	乳配2kg スーダン，オーツ乾草	4.9	2.6	9.6	
D牧場	6月	2頭	乳配2～3kg ロールサイレージ（飽食）	5.4	2.3	8.9	
F牧場	6月	2頭	乳配2kg オーツ乾草4kg グラスサイレージ（飽食）	5.8	2.4	9.5	
G牧場	6月	4頭	ルーサン乾草（飽食）	5.3	2.5	9.2	
H牧場	H16.6月	3頭	グラス，ソルゴーサイレージ チモシー，スーダン乾草	6.3	2.8	9.6	8.9
I牧場	1月	1頭	乳配 チモシー乾草	4.9	2	8.7	

\*単位：血清KはmEq/L，血清Mg，Caはmg/dl

\*採血年：平成17年（H牧場のみ16年）

クローズアップ期：この時期はさらに給与飼料のカリウム含量に注意を払う必要があります。

クローズアップ期に給与飼料のカリウム含量を低めるため，前述のカリウム含量の低い飼料を併用すると共に，粗飼料のカリウム含量は乾物2%以下のものを給与し，蛋白・エネルギー・ミネラル・ビタミン等の栄養素の充足を行います。

この方式では，血液pH，尿pHは低下しますが，尿pHが大きく酸性にならない限りカルシウムの体内収支はマイナスにならないようです。

研究機関（鹿児島畜試<sup>3)</sup>，福岡総合試<sup>4)</sup>）等の報告を見ても，陰イオン剤等の給与で尿pHが酸性にならなくても8台から7台に変化することで，分娩時の血中カルシウム含量の低下は少なく，また分娩前のカルシウムの体内蓄積もマイナスにはなっていません。

この時期，澱粉質を含めた飼料の給与を行い，腸管内のpHを低下し，カルシウムの吸収をよくさせます。蛋白過剰は，体内・腸管内のアルカリ化を促すことや肝機能に負担をかけるため避けるべきです。

クローズアップ期，前述のようなイオンバランスに注意した飼料給与を行います，実際イオンバランスが適切かどうかは，尿pHを測り確認したいところです。異常の見られない牛であれば，尿のpHは，体内のイオンバランス（血液pH）の目安となります。

pHが8台で高産次の牛であれば，分娩後低カル

シウム血症になる可能性があり，分娩前の陰イオン剤の給与，ビタミンD3の投与，分娩時のカルシウム剤投与など万全の体制を取りたいものです。

尚一般の酪農家の方が牛群の尿pHを知るには，数頭ほど，寝ている牛を起こし，陰部の下を軽く手で，膀胱を刺激し排尿させ，pHメーターやpH試験紙で測定します。尿pHにばらつきがなければ，その尿pHは，給与飼料のイオンバランスを示していることになります。

## 5. おわりに

獣医師は牛に代謝的な疾病がある時には，体内のイオンバランス（酸・塩基平衡）を是正するため補液療法を行うことが多いわけですが，牛群の健康を預かる酪農家の方も蛋白やエネルギー等の栄養充足の他，牛の体内のイオンバランス（血液，ルーメン内，腸管内，尿のpH）から見て，飼料給与が適切かを判断する管理をしていけば，牛群の疾病発生率も少なくなるのではないのでしょうか。

## 参考文献

- 1) 久保田博南；「電気システムとしての人体」（BLUE BACKS）より
- 2) A.Bannink et al.; J.Dairy Sci.82 (5), 1008(1999)
- 3) 鹿児島県畜産試験場研究報告第37号（2003年）
- 4) 九州地域基幹研究成果No10（2004年）