

あらたな乳からの情報を生かして管理する デノボ脂肪酸とケトン体で牛の健康をモニター

1. 乳から牛の健康情報が

生乳はバルク乳、乳牛検定でさまざまな分析が行われ、酪農家へデータが提供されている。ここ数年、飼養管理に関する情報で明らかになったデノボ脂肪酸とケトン体（BHB）について考えてみたい。酪農技術に関する項目は数多くあるが、その中心はルーメンであり牛の健康だ。あらたな検査項目であるデノボ脂肪酸はルーメンの動きを表し乾物摂取量と一致する。

従来、乳脂率は%で表示されているが、その脂肪酸はどこが起源なのかは理解できなかった。一部の研究機関でガスクロマトグラフィー（GC）による生乳分析は行っていたが、機器が高価であり数も限られていた。しかし、技術の進歩により、乳成分測定機でも高精度に分析することが可能となった（GCとの決定係数0.967）。北海道は2021年から、安価、簡易、迅速に脂肪酸組成が明らかになり酪農家へ提供されている。

一方、血液でしか分からない項目が、乳で分析値が明らかになってきた。 β ヒドロキシ酪酸（BHB）は乳中と血中の相関が高く、泌乳初期ほど両者の関係が平行だ。北海道は2016年から、ケトン体（BHB）を乳で分析、酪農家へ提供している。双方とも牛の体から発信する数値なので価値が高く、健康を確認しながら飼養管理に生かすべきだ。

2. デノボ脂肪酸はFAとMilkで

脂肪酸は複数の炭素が鎖状に繋がった形をしており、その数と二重結合によって種類を決定できる。これらはその起源に応じて、3つのグループに分類することができ、①粗飼料の繊維などルーメンのVFA（揮発性脂肪酸）である酢酸や酪酸から乳腺細胞で合成されるデノボ（De novo）脂肪酸、②飼料及び体の脂肪で血液から取り込む既成のプレフォーム（Preformed）脂肪酸、③双方からのミックス（Mixed）脂肪酸で構成されている（図1）。

乳脂率が高いからといって誇れるものではなく、どこから生成された脂肪酸なのかが問題になる。

脂肪酸（FA）ベースは全脂肪酸100gに対しての脂肪酸の割合、乳（Milk）ベースは乳100gに対しての脂肪酸gを表す。脂肪含有量のベースがFAか、Milkかの違いで、双方に変換することも可能だ。図2はバルク乳におけるデノボ（De novo）MilkとFAの関係を示しており、決定係数0.494と両者の関係が強い。基本的に、FA（脂肪酸）ベースはMilkベースより活用度合いが高く、分かりやすく説得力がある。

ただ、FAベースはデノボ、ミックス、プレフォームの割合で、生成する量そのものではない。バルク乳の月旬別推移は乳脂率が上下し、個体乳は乳脂率が群平均4.0%でも、2.0~7.0%まで広くバラつく。ルーメンで生成するデノボはMilkベースでも、0.5%

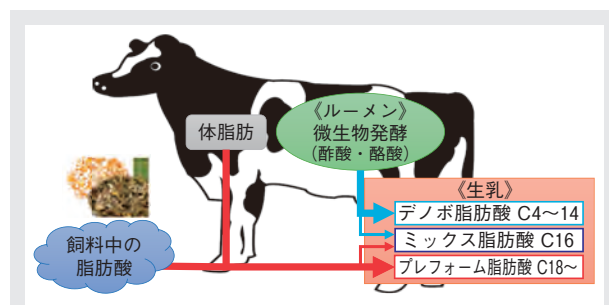


図1 乳脂肪合成までの脂肪酸の流れ

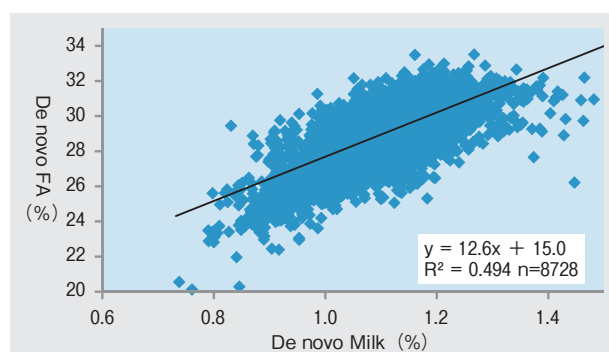


図2 De novo MilkとFAの関係（バルク乳）

から2.0%を超える牛がいる。デノボFAが38%と高いにも関わらず、デノボMilkが0.8%と低い牛、デノボFAが23%と低いにも関わらず、Milkが1.4%と高い牛もいる。デノボFAは高く健康な牛（群）に見えても、Milkの低い問題牛（群）がいるので双方からの判断が求められている。

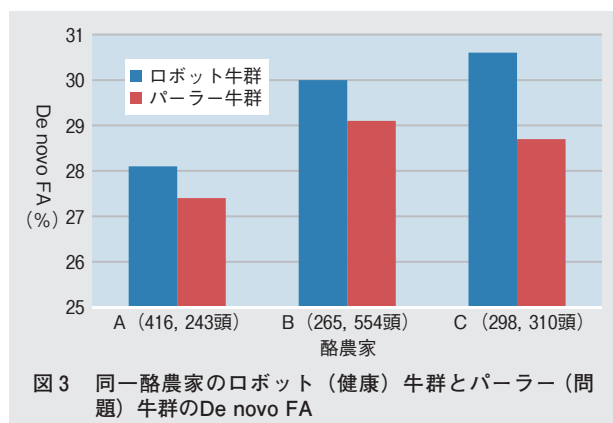
3. デノボ脂肪酸は牛の健康と一致が

では、脂肪酸組成は牛の健康状況を表すことができるのか、現場で調査確認をした。一般的に、搾乳ロボットを導入している酪農家は、ロボットとパーラーの2つのシステムを有している。健康牛はロボットで、乳頭配置だけでなく、年齢の高い牛、疾病の牛、肢蹄の悪い牛などの問題牛はパーラーで搾っている。

図3は上記の群分けをしている酪農家3戸のロボット群と、パーラー群のデノボ（De novo）FAを6ヶ月間追跡したものである。ロボット群の平均は29.4%であり、28%以下の個体牛割合は25%、同様に、パーラー群はそれぞれ28.5%、33%であった。いずれも、健康牛と想定されたロボット群はデノボが高く、低い個体牛の割合は少なかった。

一方、デノボの高い牛135頭（デノボFA 33.5%）、低い牛85頭（同23.8%）を対象に肢蹄スコア、ルーメンフィルスコア（RFS）、ボディコンディションスコア（BCS）を確認した。肢蹄についてデノボの高い牛は良好46%だが、低い牛は飛節が腫れたり蹄が赤く足踏みしたりしている要治療が35%であった。RFSはデノボの高い牛が膨満～中間96%で、低い牛はお腹のペチャンコ（凹み）が41%であった。BCSはデノボの高い牛で適度と思われる牛が89%だが、低い牛は痩せ過ぎと肥り過ぎが40%もあった。脂肪酸組成の中でもデノボは、肢蹄、ルーメン、BCSスコア牛の外貌とほぼ一致する。

さらに、北海道のおよそ3,000戸のバルク乳脂肪



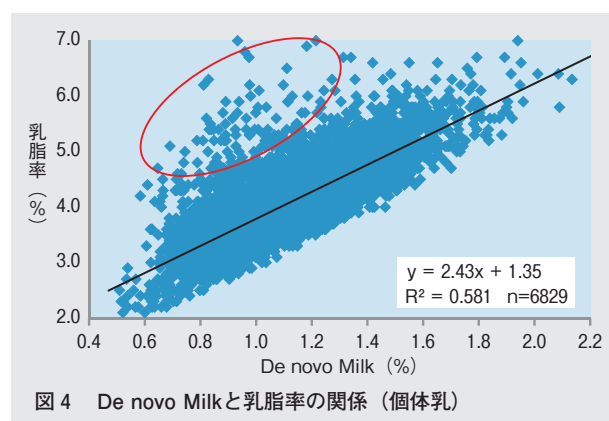
酸組成について、一年間を通して月旬別の推移をみた。デノボ脂肪酸は29%で推移したものが8月は27%台まで低下、逆に、プレフォーム脂肪酸は35%が39%まで高くなっていた。7～8月の暑熱時はデノボが低下し、乳脂率は下がる傾向を示した。このことから、デノボ脂肪酸は牛の健康（ルーメン）と一致することが現場で確認できた。

4. 乳脂率と乳タンパク質が高く

デノボ脂肪酸はルーメン微生物の働きによる活動量を反映し、乳腺細胞で合成される。図4は個体乳のデノボ（De novo）Milkと乳脂率の関係を示したが、ルーメンからの脂肪酸が多くなるほど乳脂率は高くなる。ただ、左上のMilkが1%以下で、乳脂率5%を超える牛も数多く存在する。デノボは低く乳脂率の高い個体牛は、自分の体の脂肪を動員して乳生産をしている。

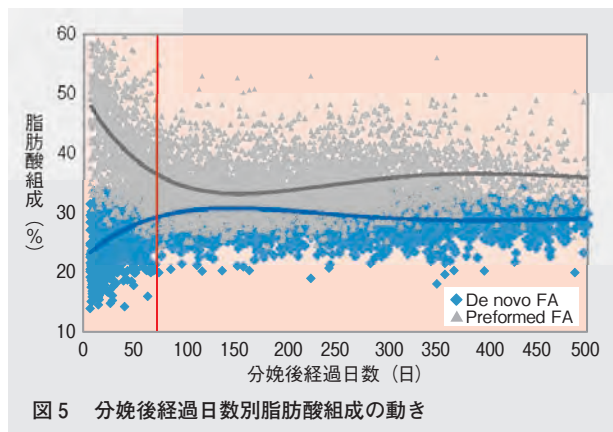
一方、乳タンパク質はルーメンで飼料中のタンパク質をアンモニアまで分解、ルーメン微生物によりでんぷんや糖のエネルギーを利用して作られる。デノボ脂肪酸と乳タンパク質は「ルーメンと微生物」という点で一致する。

個体乳におけるデノボMilkと乳タンパク質率は関係が高く（決定係数0.328 n=6,829）、デノボFAも個体乳及びバルク乳は同様であった。牛の健康はルーメンから、活動量は微生物から、デノボと乳タンパク質はほぼイコールだ。



5. 分娩後の体調不良は繁殖にも影響が

脂肪酸はその起源に応じて、3つのグループに分類することができるが、分布の動きは微妙に異なる。図5は個体牛の分娩後経過日数別、脂肪酸組成における2本の動きを示している。一乳期でみると、デノボ（De novo）FAは山型、プレフォーム（Preformed）FAは谷型に推移している。



特に、分娩後60日以下はデノボが低くプレフォームは高く、そして個体牛間のバラツキが大きくその後は少しずつ狭まる。双方からのミックス (Mixed) FAはデノボより5%ほど高めで、ほぼ同じ軌跡をたどる。

個体牛におけるデノボ脂肪酸のヒストグラムは、15~40%の広い範囲で分散している。頻度の高い30~32%の範囲が約半分を占め、体調が悪いと推測できる牛は低い方のレンジへ雪崩のように広がる。同様に、プレフォームFAは25~50%、Mixed FAは22~40%の範囲で分布するが、体調不良の影響で偏りがみられる。この傾向は分娩後60日以下にみられ、多くの牛は体調不良で、61日以上は正規分布をしているのが特徴だ。

一方、分娩1ヶ月以内の高・低デノボ牛と、3ヶ月後の繁殖並びに除籍状況を追跡した。その結果、分娩1ヶ月以内のデノボFA22%以下の牛群は、3ヶ月後の未授精が49%、除籍が16%となり、同様に、28%以上の牛群は、未授精が33%、除籍が0%で明らかに差があった。このことから、デノボ脂肪酸はその時の状態だけでなく、数ヶ月後の繁殖や除籍にも影響する。

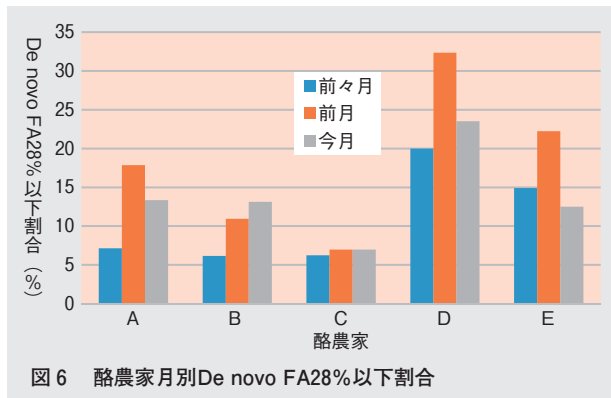
6. 乳期で指標値を確認して割合も

脂肪酸組成は泌乳期で異なるため、分娩後60日を基点として泌乳初期と中後期に分けて北海道の指標値を表1に示した。60日以内の牛では、デノボFA22%以下、プレフォームFA50%以上、同様に60日以上以上の牛ではデノボFA28%以下、プレフォームFA40%以上が健康に問題であり、各項目において2割の牛がこの範囲を逸脱する。

ただ、乳脂率が極端に高い牛と低い牛がおり、FAだけで判断ができないためデノボMilkは全乳期0.9%以上とした。なお、都府県は自給粗飼料が少なく暑熱の影響が大きく、副産物や油脂を給与して

表1 北海道における脂肪酸組成の指標値

FAベース	泌乳初期 (分娩後60日以内)	泌乳中期以降
デノボ FA (DnF)	> 22%	> 28%
プレフォーム FA (Prf)	< 50%	< 40%
Milkベース		全乳期
デノボ Milk (DnM)	> 0.90%	



おり北海道とは異なる。

一方、脂肪酸組成は群全体の平均やバルク乳でみると、大きな違いがないものの個体牛でみると必ずしもそうではない。酪農家5戸における3ヶ月間のデノボ (De novo) FAの平均は29%前後と同じだが、28%以下の個体割合でみると差が大きい (図6)。

酪農家CはデノボFA28%以下の個体割合が毎月7%ほどで、範囲は25~32%と均一であった。同様に、酪農家Dは月ごとで動くものの25%前後と高く、範囲は18~35%と個体差が大きかった。BCS、肢蹄やRFSをみてもバラツキや問題牛が多い傾向であった。

酪農家でデノボの平均に大きな違いがないにも関わらず、28%以下割合に差が生じるのは個体牛間の差を意味する。脂肪酸組成は群の平均値だけで議論することなく、デノボの低い牛の割合でも判断すべきだ。

7. まず、バルク乳で次に個体乳で

北海道の生乳検査はバルク乳が月3回、個体乳が乳検で月1回行われている。酪農家82戸におけるバルク乳と、個体乳の牛群平均デノボFAをみると相関関係は極めて高い (決定係数0.734 n=82)。

まず、バルク乳で牛群全体を全道及び地域と比べて、デノボが高いか、低いかなを見極め健康状態を確認する (図7)。さらに、時系列に月旬別脂肪酸組成の動きをみて、給与した飼料や管理を再点検す

検査項目	12月中旬	12月上旬	11月下旬	11月中旬
脂 肪 率 (%)	4.10 (3.88)	4.04 (3.82)	3.99 (3.91)	3.96 (3.98)
蛋 白 質 率 (%)	3.50 (3.32)	3.43 (3.30)	3.40 (3.32)	3.41 (3.27)
乳 糖 ・ 灰 分 率 (%)	5.49 (5.57)	5.48 (5.56)	5.47 (5.58)	5.50 (5.60)
無 脂 固 形 分 率 (%)	8.99 (8.89)	8.91 (8.86)	8.87 (8.90)	8.91 (8.87)
全 固 形 分 率 (%)	13.09 (12.77)	12.95 (12.68)	12.86 (12.81)	12.87 (12.85)
M U N (mg/dℓ)	12.7 (14.5)	12.0 (14.8)	13.2 (12.3)	14.5* (12.2)
氷 点 (°H)	0.548 (0.548)	0.547 (0.550)	0.546 (0.549)	0.545 (0.551)
F F A (ミリモル/100g脂肪)	0.76 (0.66)	0.68 (0.32)	0.91 (0.46)	1.02 (0.68)
デ ノ ボ Milk (%)	1.12 ()	1.09 ()	1.06 ()	1.05 ()
デ ノ ボ FA (%)	29.2 ()	29.0 ()	28.2 ()	28.3 ()
プレ フ ォ ー ム FA (%)	36.6 ()	37.7 ()	39.6 ()	38.6 ()
生 菌 数 (万/ml)	0.1 (0.3)	0.1 (0.2)	0.3 (0.1)	0.1 (0.1)
体 細 胞 数 (万/ml)	9.5 (7.8)	8.1 (7.4)	15.3 (11.4)	11.5 (5.7)

() は前年度同月同旬

図7 集乳旬報 (2022年12月中旬)

る。粗飼料の質や量、暑熱や寒冷による摂取量、選り喰いや固め喰い程度、飼料設計の成熟度、従業員の給与技術、はき寄せの精度などの課題、・・・を追求すべきであろう。

次に、個体乳でデノボの低い牛、プレフォームの高い牛を特定、個々の体調を確認する。密飼いにより飼槽スペースが不足すると、強い牛と弱い牛が混在しバラつく。分娩直後に食い込めないと血中遊離脂肪酸 (NEFA) やケトン体 (BHB) が高く、低カルシウム血症、ケトーシス、第四胃変位・・・が発症する。このような牛は分娩直後の脂肪酸がルーメンではなく、体や飼料からの比率が高まる。

8. 酪農家間で牛群の健康度に差が

酪農家の飼養管理を検討していくと、表面的な乳の数値は同じでも問題点が異なる。A牧場とB牧場

の2戸は乳脂率4.0%、乳タンパク質率3.4%前後で乳成分はほぼ同数値だ。しかし、デノボ脂肪酸は大きな違いがあり「牛群の健康度」に差があるようだ。

図8はA牧場とB牧場におけるデノボFAと、デノボMilkを4区分にしたマトリックスで示している。FAは脂肪酸組成のバランスを、Milkはルーメン発酵を表し、どの区分に牛が集まるかで酪農家の健康度を判断できる (右上が健康牛、左下が問題牛)。

A牧場のデノボFAは群平均で23%、指標値28%以上の個体割合は3%と低く、プレフォームFAも49%と高い。群の平均産次は1.7産と回転が速く、平均搾乳日数203日と繁殖も問題で、根本的に「問題牛群」と考えられた。年間の疾病は多発するので淘汰廃用牛が多く、頻繁な牛の入れ替えで群を維持している。

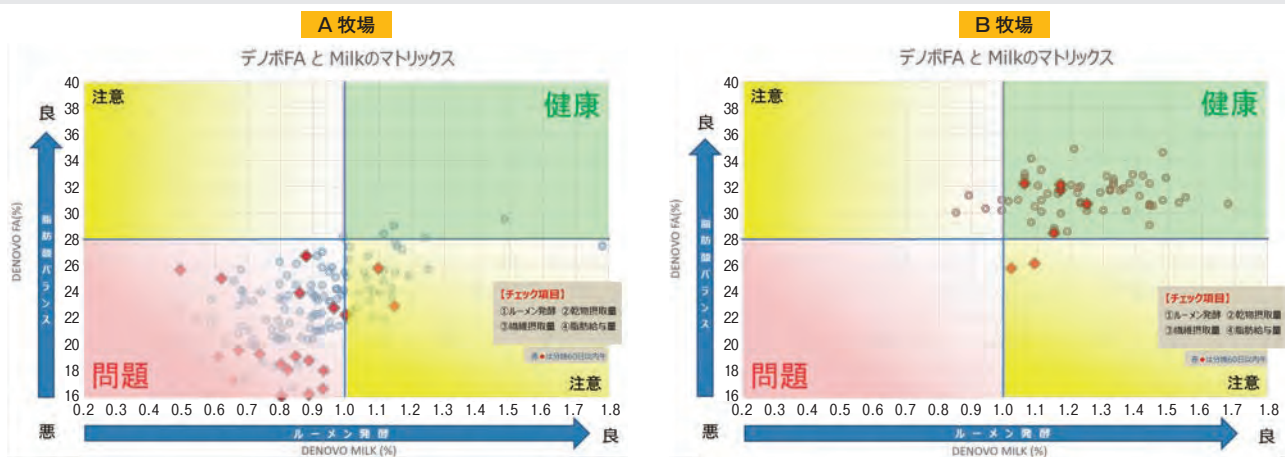


図8 A牧場とB牧場のデノボFAとMilkのマトリックス

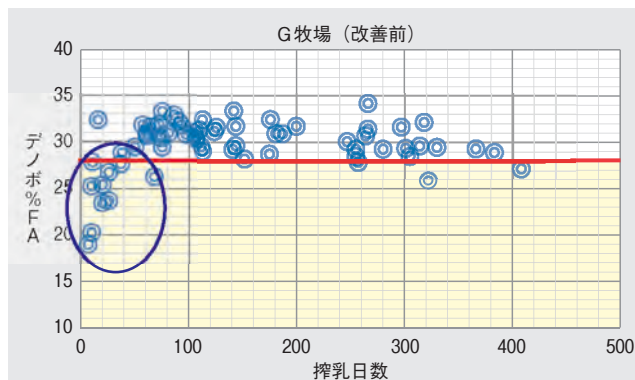
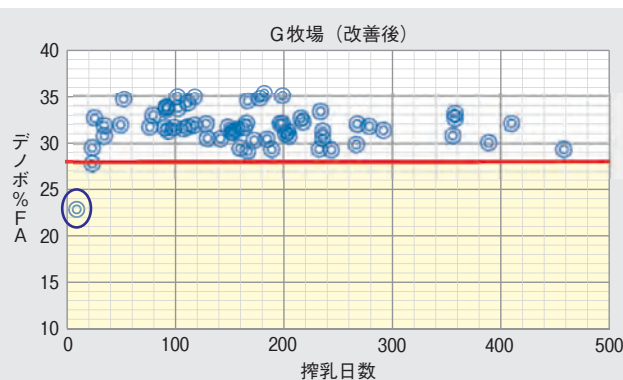


図9 G牧場における改善前後の搾乳日数別のデノボ脂肪酸



それに対し、B牧場のデノボFAは、群平均で30%と高く、指標値28%以上の個体割合は89%を占め、プレフォームFAも34%と低かった。群の平均産次2.6産、平均搾乳日数171日は全道平均であり、体調は良好で乳生産をしており根本的に「健康牛群」と考えられた。

一方、G牧場は搾乳牛68頭、日乳量36.0kg、乳脂率3.7%、乳タンパク質3.3%である。デノボFAは群全体で29%、指標値28%以上の個体割合は68%、プレフォームFAも38%で北海道の平均的数値であった。ただ、分娩後60日以下におけるBHB 0.13mmol/L以上の潜在性ケトosis牛が33%と高かった。乾乳牛舎はなく低カルシウム血症、乳熱、第四胃変位、などの周産期病を発症していた。問題は分娩後数日間の管理にあり、乾乳から泌乳初期にかけて、飼料の組み立てと管理を見直した結果、デノボは分娩直後が高くなり牛の状態は明らかに良くなった（図9）。

9. 個体牛間で牛の健康度に差が

酪農家におけるデノボ脂肪酸と牛の状態を現場で追及すると、搾乳牛253頭の平均は29%ほどだが幅広く分散していた。その中で、F牧場のある牛はデノボFA 38%、プレフォームFA 23%とルーメンからの脂肪酸が極端に高い。牛を確認すると、毛づやが良く、強健な肢蹄、適度なBCS、動きが早いという印象だ。経営者は「この牛は極めて健康で喰い込みが良く、手がかからない」と話していた（写真1）。

一方、G牧場のある牛はデノボFA 21%、プレフォームFA 51%とルーメンからの脂肪酸が極端に低い。牛を確認すると、体調は悪く喰い込み量が少なく、飼槽に残飼が目立っていた。経営者は「この牛は分娩時に双子を出産、その後ブドウ糖の点滴治療を受けている」と話していた（写真2）。

では、このようなデノボが極端に低い牛は、その後回復するのだろうか。低い牛48頭（デノボFA

21%）を追跡すると、1ヶ月後28%、2ヶ月後31%まで上昇していた。泌乳初期は低くても経過日数とともに、体調が良くなれば乾物摂取量は増えてくる。結果として、乳生産だけでなく、繁殖が良好になり良質乳を生産することに繋がる。



写真1 De novo38%（高い）牛は毛づやが良く健康だ。



写真2 De novo21%（低い）牛は体調が悪く残飼が目立つ

10. 牛群の健康は飼養管理がすべて

脂肪酸組成をみながら、デノボの低い牛は群全体なのか、乳期や暦月で偏るのか……。酪農家個々で異なり、どこの時点で健康が損なわれているか、焦点を絞って改善点を見出すべきだ。

現場で個体牛を確認すると、次の5パターンに傾向が分かれる。

- 1) 分娩後1ヶ月以内のプレフォームFAが高い牛は、肥り過ぎによるルーメンの動きが鈍く、乾物摂取量不足で体の脂肪を動員している。
- 2) 泌乳初期のデノボFAが低い牛は、周産期病などで体調が回復できず、泌乳ピークに達するにも関わらず摂取量が追いついていない。
- 3) 乳期に関係なくデノボFAの低い牛が点在する場合、肢蹄の悪化で寝起きの回数が少なく、固め喰いや選り喰いが行われている。
- 4) 群全体のプレフォームFAが高い場合、暑熱や寒冷対策が十分でないか、不飽和脂肪酸を多く含む副産物や油脂を給与している。
- 5) 群全体のデノボFAが低く個体牛がバラつく場合、粗飼料の品質が悪い、給与技術が低い、飼料スペースが確保されていないなど、十分に喰い込めていない。

なお、デノボ脂肪酸は牛群間（酪農家）や個体間（牛）で次のような関係がある。

- ①個体乳量（日乳量）で差がない
- ②経営規模（飼養頭数）で差がない
- ③牛群構成（平均産次）で差がない
- ④北海道内の地域（粗飼料）で差がない
- ⑤経営形態（繋ぎ、FS、ロボット）で差がない

どのような環境であっても、牛群の健康は個々の飼養管理がすべてであることを意味する。

11. 乳量と一致するが必ずしも

図10は個体牛6,829頭のデノボ脂肪酸と日乳量の

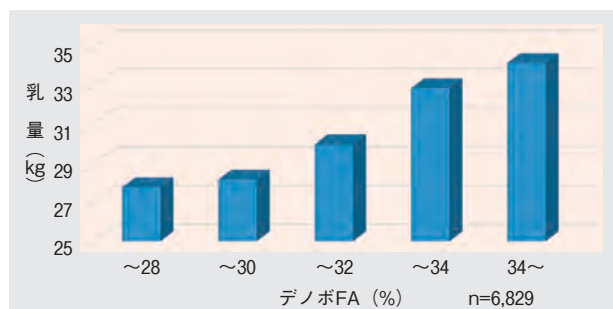


図10 デノボFAと日乳量の関係

関係を示している。デノボ FA28%以下は泌乳初期に集中するので一括りにすると、日乳量は27.8kg、30.1~32%が30.0kg、34%以上が34.2kgであった。

一方、酪農家90戸におけるデノボ FA29%以下（平均27.9%）の酪農家は日乳量27.2kgであるのに対して、29%以上（平均30.1%）は29.5kgであった。個体牛及び酪農家ともに、%が高くなるほど乳量は増えている。牛の体調は良好で、粗飼料を含めて乾物摂取量とエネルギー充足率が高まるからだ。

結果、デノボ脂肪酸が高い酪農家や牛は乳量と完全に一致すると思われるが、双方の相関係数は個体牛0.114 (n=6,829) と関係は薄い。このことは、デノボが高いからと言って、必ずしも乳量が増えるとは限らない。濃厚飼料を多給しルーメンアシドーシスの状態で、高乳量を維持している酪農家が存在する。ルーメン内には細菌、プロトゾア、真菌などが生息しており、微生物の生態系が安定的した環境で乳量を追求するべきであろう。

12. ケトン体（BHB）にも注視を

デノボ脂肪酸はルーメンの活動力、ケトン体は肝臓機能の強弱に関連するが、飼料充足という面から一致している。図11は牛の健康状態をモニターできるデノボFAとケトン体（BHB）の関係を示した。分娩後60日以下に限定すると両者には負の相関があり（決定係数0.529 n=196）、体やエサからの脂肪酸であるプレフォームと正の相関関係があった。

乳牛は分娩後にエネルギーがマイナスとなり、糖質や糖原性アミノ酸が代謝され生体維持に使われる。体脂肪に蓄えられた中性脂肪はホルモン感受性リパーゼによって分解され、非エステル型脂肪酸（NEFA）が生じ肝臓に動員される。さらに、エネルギー不足が生じた場合は、過剰なNEFAはアセチルCoAを経て、結果的にケトン体の産生に回る。こ

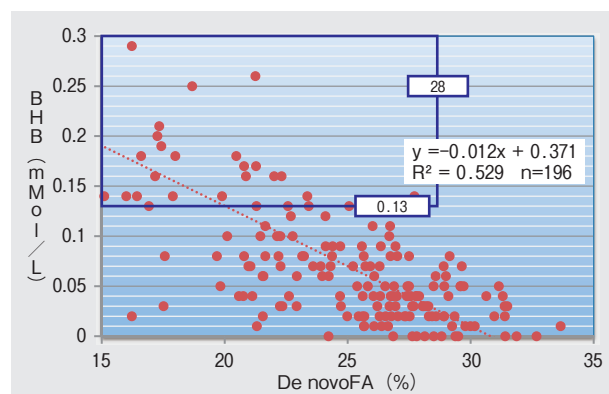


図11 De novo FAとBHBの関係（60日以下）

のケトン体が多くなると臨床性ケトosisに罹患、潜在性の段階で見つけることが求められている。

高ケトン体のガイドラインはBHB0.13mmol/L（血液1.2mmol/L）以上を潜在性ケトosisとした。この数値が高まると、食欲低下、反芻や消化管運動が減少し急激に痩せて臨床性ケトosisが発症する。乳検で分娩1回目の高BHB割合は12%ほどだが、ゼロから4割を超える酪農家もあり、差が大きい。しかも、分娩後直後はBHBが高くなり、日数が経過するほど低下する傾向にある。

産褥牛は狭い飼槽幅や少ない牛床数において、動きが鈍く他の牛から圧倒される弱い立場だ。乳量がピークになるものの、強い牛に喰い負けすることで、乾物摂取量が低下し、ルーメンからの脂肪酸生成量が落ちる。そのため、規模の大きい酪農家では産褥牛群として、ひとつのグループを作っている。分娩後はケトン体（BHB）にも注視し、管理の徹底を図るべきであろう。

13. 良質な粗飼料の確保と給与を

サイレージに含まれる酪酸は、第一胃及び第三胃の粘膜上皮に吸収されてケトン体（BHB）に変換される。乳期に関係なく群全体でこの数値が高くなれば、サイレージの発酵品質を疑うべきだ。北海道における粗飼料の主体はグラスやとうもろこしサイレージで給与量が30kgにも及ぶ。飼料分析値の多くは乳酸発酵だが、酪酸含量が高く許容範囲を超えたサイレージが1～2割ほど見受けられる。

表2は4TMRセンター構成員と、所在地である域内（町）酪農家の高ケトン体（BHB0.13mmol/L以

上）牛割合を比較した。その結果、分娩60日以内はTMRセンター2.6%、地域平均7.2%、分娩30日以内はTMRセンター4.0%、地域平均11.0%で、双方ともセンターが低かった。

TMRセンターは計画的な草地更新や適正な施肥管理など、植生改善を積極的に取り組んでいる。しかも、大型ハーベスターで踏圧、密封という調製技術も高く、酪酸発酵する割合は極めて低い。このことから、TMRセンターで調製したサイレージは良質で、周辺酪農家と比べて高ケトン体（BHB）牛が少ない。

ただ、TMRセンターに共通した問題はバンカーサイロの切り替え時に乳量減、体細胞増、体調不良、・・・など、構成員からクレームが多い。サイロの最初と最後の部分は踏み込み不足によりBHBが高くなるので、次のサイロを開封して同時に給与するセンターもある。このことから、泌乳初期を中心に発酵品質の良好な粗飼料の確保と給与によって低ケトン体が求められている。

14. 健康を維持し乳生産を最大に

脂肪酸組成及びケトン体（BHB）は毎月ほぼ同程度で推移しており、問題があれば次月また次年度においても同傾向だ。日頃の飼養管理を見直さない限り、健康の指標である脂肪酸組成やケトン体数値は大きく変らない。

北海道では乳の情報について「牛群検定WebシステムDL」を使ってデータを深掘りが可能だ。本システムは乳検情報を始めとした各種生産情報を手軽に活用できるツールであり、検定加入農家は無料で利用できる。

牛は経済動物であることを考慮すると、濃厚飼料の給与量を増やすのも一案であろう。酪農家個々の考え方に基づき、健康を維持しながら乳生産を最大にするギリギリの管理を模索すべきだ。

鍵は「エサ、環境、牛」の3要素で、総合的な飼養管理の組み立てが必要である。乳からあらたな情報である脂肪酸組成とケトン体（BHB）を注視して、泌乳初期牛の健康状態をモニタリングすべきであろう。

*なお、今回の原稿の多くは北海道酪農検定検査協会在職中に仲間と調査研究したものである。

分娩後	～60日		～30日	
地域名	頭数	高BHB割合	頭数	高BHB割合
A 地域	1,730	7.7	788	11.8
A TMRセンター	97	5.2	38	7.9
B 地域	1,567	7.1	687	10.9
B TMRセンター	201	1.0	82	2.4
C 地域	404	7.9	177	13.6
C TMRセンター	27	3.7	13	7.7
D 地域	241	2.5	107	0.9
D TMRセンター	91	3.3	41	2.4
地域平均359戸	986	7.2	440	11.0
TMR平均23戸	104	2.6	44	4.0
同年同月 高BHBは0.13mmol/L以上（頭、%）				