

# 乳牛飼養における繊維問題

北海道立新得畜産試験場 坂東 健

## はじめに

近年、乳牛の泌乳能力を最大限に発揮させるために、粗飼料の品質・栄養価の向上とともに濃厚飼料の給与量が増加しています。

しかし、このように高泌乳を達成するための高エネルギー飼料を追求するあまり、繊維不足・デンプンなど易発酵性炭水化物過剰の飼料となり、第一胃内発酵の異常をきたし、その結果、乳脂率の低下ばかりでなく消化器障害や繁殖性の低下などの問題を生じています。

そこで、第一胃内発酵を正常に保ちつつ高泌乳を達成できる、より精密な飼料設計が必要になってきます。このような観点から、反芻動物の乳牛における繊維の役割が、繊維成分分析法の発展と相まって問い直されています。

ここでは、乳牛飼養における繊維の意義について考えてみたいと思います。

## 1 繊維の新しい分析法

従来、飼料の成分は水分、粗蛋白質、粗脂肪、可溶無窒素物、粗繊維および粗灰分の6成分で表示されていました。このうち、可溶無窒素物は糖類、デンプンなどの消化しやすい成分であり、一方、粗繊維は消化しにくい成分とされていました。しかし、従来の分析法では粗繊維定量時に使用する弱酸、弱アルカリ処理により、リグニン化の程度により消化率が低下するヘミセルロースの大部分とセルロースの一部、およ

び全く消化されないリグニンの過半が溶出してしまうことが報告されています。このため、粗繊維が消化率においてNFEよりも高い場面がしばしば出てきます。

このように、従来の分析法では、化学的に、栄養的に均一な成分として炭水化物を区分することができないことから、これを改善するために詳細な成分分析法が究明されてきました。これに対して、一方では栄養的に、あるいは化学的に似かよった性質の各種の成分をひとまとめにして表示しようという考え方がでてきました。この代表的な分析法として、Van Soestらの「デタージェント法」

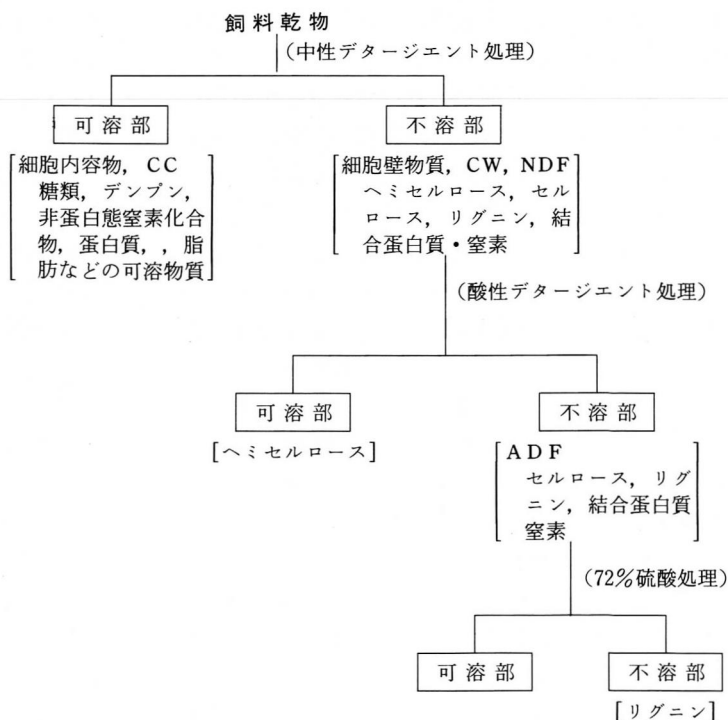


図1 デタージェントを用いた成分分析法

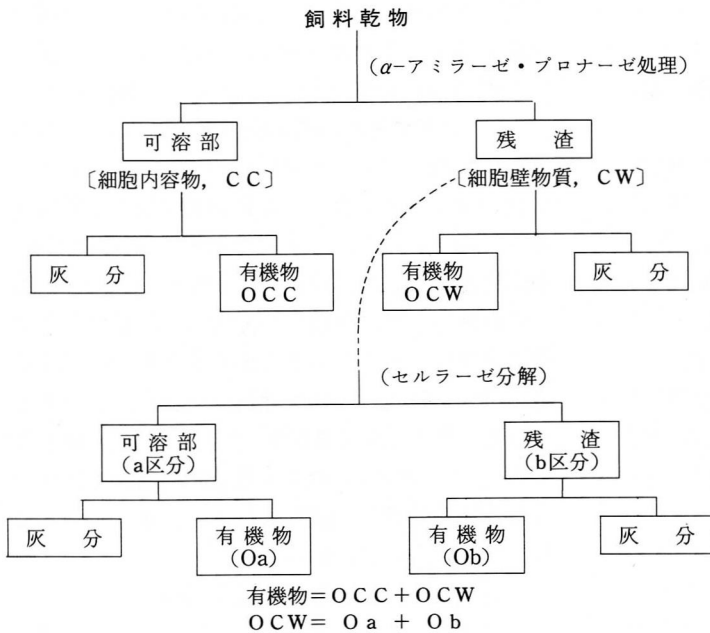


図2 酵素分析による乾物、有機物の分画

と阿部氏らが開発された「酵素法」とがあります。

デタージェント法は、図1に示すように、試料は中性デタージェントに可溶な部分(CC)と不溶部(NDF)に、更にNDFは酸性デタージェントにより可溶部(ヘミセルロース)と不溶部(ADF)に分けられます。これらの成分の算出に際しては、それぞれの灰分を差引く場合と、そうでない場合とがあります。

これに対して、酵素法では、図2に示すように、 $\alpha$ -アミラーゼとプロナーゼ処理により可溶部(CC)と残渣(CW)に分け、それぞれから灰分を差引いてOCCおよびOCWを算出します。OCCの真の消化率は100%と栄養的に均一な成分ですが、OCWは消化率の変動が大きい成分です。そこで、OCWをセルラーゼで分解して可溶部と残渣に分け、それぞれから灰分を差引き(Oa)と(Ob)を算出し

表1 各種飼料の繊維含量

飼料	NDF	ADF	粗繊維	b/a	c/a
	(a)	(b)	(c)		
	(乾物中%)				
チモシーサイレージ	60.9	36.5	32.9	0.60	0.54
アルファルファサイレージ	52.1	37.3	28.0	0.72	0.54
アカクロバサイレージ	49.4	35.0	26.6	0.71	0.54
トウモロコシサイレージ	39.5	25.0	20.3	0.63	0.51
配合飼料	22.9	9.5	6.9	0.41	0.30
大豆粕	21.5	7.8	5.5	0.36	0.26

NDF = 総繊維

(新得畜試成績書より引用)

ます。Oaは消化率が90~100%の高消化性の、Obは消化率が20~40%の低消化性の繊維区分を表します。

このようにして分けられた成分のうち、NDFあるいはOCWは繊維成分をすべて含有することから、一般に「総繊維」と言われるようになってきました。そこで、各種飼料のNDF含量と、ADFおよび粗繊維の含量とそれぞれのNDFに対する割合を表1に示しました。これからも、従来の表示法である粗繊維は繊維成分の一部を示すものであり、なおかつ、NDFに対する割合が一定でないことが明らかです。

なお、デタージェント分析の蓄積が多いアメリカのデータによれば、NDF含量は乾物摂取量、粗飼料の消化率、飼料の密度とは負の、そしやく時間と

は正の相関関係にある。ADF含量は消化率との間にNDF含量よりも高い負の相関関係があり、粗繊維と同様に乳脂率の低下を防止する飼料の最良の指標であり、乳脂率と最も高い相関関係があるとされています。

## 2 繊維と第一胃の恒常性

第一胃内発酵は24時間中連続して行われています。これは第一胃内のpHが通常6~7の狭い範囲内で変動するなど微生物の活動に好適な環境を保持されていることによるものです。

第一胃の恒常性は、①第一胃で生成された揮発性脂肪酸の胃壁からの吸収、②第一胃内容物の後部消化管への移行、③アルカリ性で緩衝能の強い唾液の大量流入(1日当たり90~190ℓ)によって維持されています。

このように第一胃の恒常性に大きな役割を果たしている唾液の分泌量は、給与する飼料によって異なります。唾液の分泌量は、休息時に34~95ml/分と少ないのに対して、採食時や反芻時には250ml/分程度に増加します。従って、唾液の分泌量に及ぼす大きな要因はそしやく時間(採食時間+反芻時間の合計)ということになります。

このようなことを考慮して、粗飼料の物理性を

示す指標として粗飼料価指数(RVI)がアメリカにおいて提案されています。これは飼料乾物1kg当たりのそしゃく時間を表すもので、下記の式によって算出できるとされています。

$$\text{RVI(分/kg)} = 10.86 + 21.59 \times \text{飼料平均粒度(mm)} - 1.91 \times \text{乾物摂取日量(kg)} + 0.541 \times \text{NDF含量(\%)} \quad (\text{Sudweeks})$$

この式から明らかなように、そしゃく時間には飼料の粒度とNDF含量が大きく影響します。トウモロコシサイレーズの切断長と反芻時間の関係について検討した結果、5mm細切では10mm細切に比べて反芻時間が短くなることが報告されています。

このように、飼料設計においては、養分計算とともに、第一胃の恒常性を維持するために十分な物理性を有するように配慮することが極めて重要です。

### 3 繊維と第一胃発酵

従来、粗飼料と濃厚飼料の比率などと第一胃内発酵の関係について検討されています。その関係は、図3に示すように、濃厚飼料多給条件下では糖類・デンプンなど易発酵性の炭水化物が豊富に含まれているため、採食後速やかに第一胃内発酵が盛んになり揮発性脂肪酸濃度が高まり、一方、緩衝能の強い唾液の分泌量が少ないことから第一胃内のpHが低下します。その結果、低いpHでも

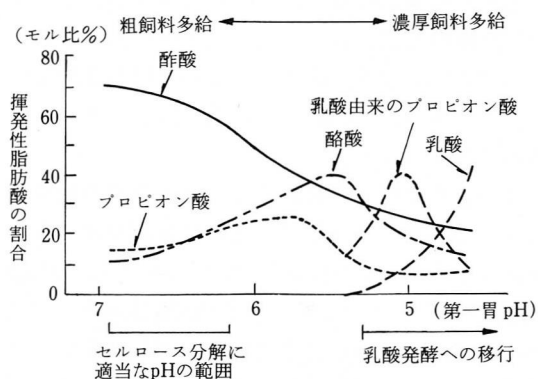


図3 飼料構成と第一胃液pH、揮発性脂肪酸及び乳酸含量(Kaufmannらより作図)

生育できる乳酸生成菌や乳酸からプロピオン酸を生成する菌が多くなります。一方、繊維分解菌は第一胃内のpHの変化に対して極めて敏感であり、pH6.2以下でその増殖が極めて抑制されます。このため酢酸/プロピオン酸比が低下し、これに伴い乳脂率も低下します。これが更に進むと乳酸が第一胃内に蓄積しルーメンアシドーシス、蹄葉炎、第四胃変位などの疾病が発生するようになります。

これに対して、粗飼料多給時には一般に易発酵性の炭水化物が少ないことから第一胃内の発酵はゆるやかに進行し、また唾液の分泌量が多いことから第一胃内pHは6以上、一般に7に近い値となります。このため、このようなpHの範囲で生育が良好な繊維分解菌が優勢となり、繊維を利用して酢酸主体の発酵が行われます。

しかし、粗飼料あるいは濃厚飼料においても、その内容は多種多様であり、繊維と易発酵性炭水化物の含量、比率および第一胃内における発酵速度において差異があります。例えば、ほぼ同様の

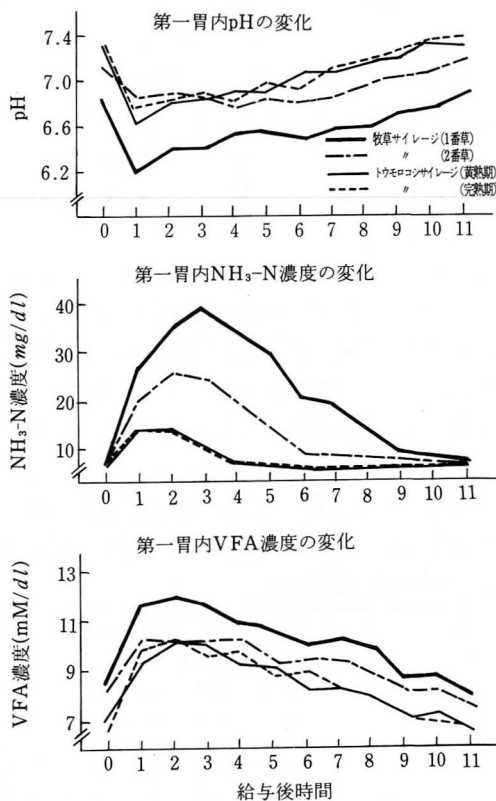


図4 各種サイレーズ給与と第一胃内発酵(和泉)

炭水化物主体濃厚飼料と考えられるトウモロコシ、マイロおよび大麦においても第一胃内における消失速度に差異があります。また、図4に示すように、デンプン含量の多いトウモロコシサイレージは予想に反して第一胃内発酵は安定的であり、一方、牧草サイレージでは変化が大きいことが報告されています。各種飼料の第一胃内における飼料特性についての詳細な検討が必要です。

#### 4 NDF 含量と乳生産

先にもふれましたように、NDF は飼料中の全繊維を示し、飼料のエネルギー含量、消化率、摂取量などに関係しているために、その多少が乳牛がその飼料から摂取するエネルギーの量に影響することになります。また、飼料の物理性と密接に関係していることや第一胃内における発酵が最も遅く、また酢酸生成と関係しています。これらのことから、飼料全体の特性を表す一つの指標としてNDFが飼料設計に採り入れられています。Mertensらは品質の異なるパーミューダ乾草、トウモロコシおよび大豆粕を用いて、おのおのについてNDF含量の異なる4種類の飼料を乳牛に給与し、ラテン方格法により検討した結果を図5に示します。

最高の固形分補正乳量および乾物摂取量となる全飼料中のNDF含量が回帰式により決定されたNDF含量と摂取量あるいは乳量との関係において乾草の品質間に差異はなく、全飼料中のNDFはADFや粗繊維に比べて最適含量の幅が小さく、乾草の品質が異なっても最も一定であることか

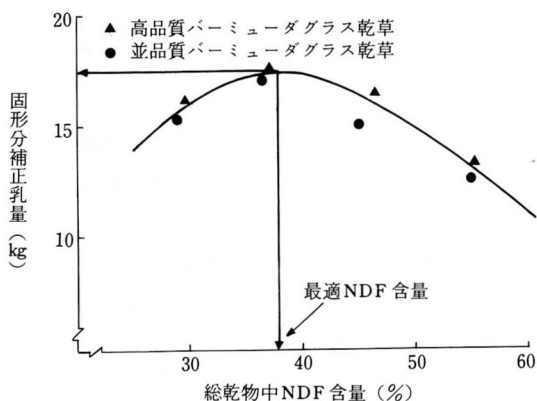


図5 回帰式による乳生産を最大にする全飼料中のNDF含量の決定 (Mertens)

ら飼料の乳生産性を最も正確に表すものであるとしています。また、NDFの最適摂取量はその70~80%が粗飼料から供給される条件で体重当たり1.2%±0.1%であることが報告されています。

NRC飼養標準(1988年版)によれば、分娩後3週間全飼料中の粗繊維、ADFおよびNDFの最少含量として、それぞれ17, 21, 28%が推奨されています。高泌乳期には十分なエネルギーを摂取させるために、それぞれ15, 19, 25%に低下するが、その後の泌乳期にはこれらの含量を高めていくべきです。これは乳脂率の低下を防止することと、乳生産のためのエネルギー要求量が少なくなるからです。NDFの75%は粗飼料から供給すべきです。なお、NDFが種々多様な飼料-特に副産物-から供給される条件での試験例が少ないので、この数値の適用については注意が必要であり、また、飼料に含まれるべき繊維の推奨含量は乳牛のボディコンデション、飼料の粒度の大小、飼料の緩衝能、飼料の給与回数、経済性により変化するものとされています。

#### 5 繊維と乳期別飼養技術

以上のように、繊維(粗飼料)には第一胃内発酵の基質という栄養としての役割、物理的役割および第一胃を充満させる「ガサ」という3つの役割が考えられます。

一方、乳牛には分娩から次期分娩までの間に乾乳期と泌乳期とがあります。乾乳期は乳牛の休養、胎児の発育、各種養分の体蓄積および乳腺胞の更新、増殖のために必要とされています。高能力牛では、これらに加えて泌乳に伴う高いエネルギー要求量を充足させるために、分娩後速やかに多量の飼料を摂取できる状態を準備することや分娩前後に多発する疾病を予防するという見地からも乾乳期の飼養技術が重視されています。

このためには、乾乳期には粗飼料の持つ栄養、物理性、ガサを最大限に活用し、第一胃の機能を十分に高める必要があります。乾乳期に濃厚飼料を多給すると給与当初の乾物摂取量が多いが、分娩が近づくにつれて低下し第四胃変位の誘因となることが報告されています。乾乳期に子実割合の高いトウモロコシサイレージ(粗繊維21%、

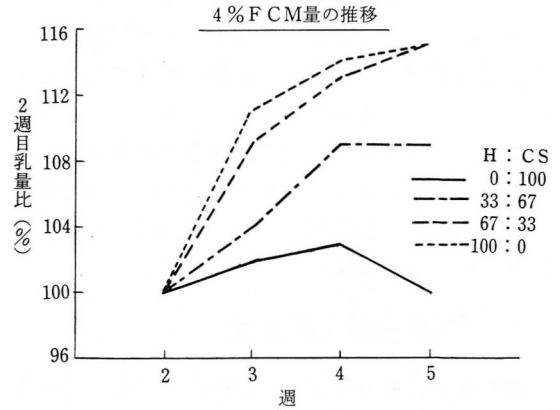
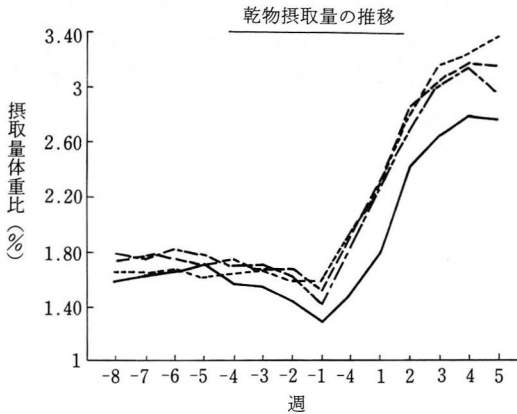


図6 乾乳期における乾草(H)とトウモロコシサイレージ(CS)の給与比率の影響

TDN 68%)と1番刈りチモシー乾草(同34, 57%)の給与比率について検討した結果を図6に示します。乾乳期にトウモロコシサイレージ単用では乾物摂取量が乾乳末期に低下し分娩後の増加が少なく、乳量の上昇はほとんど認められません。これに対して、乾乳期乾草単用では乾乳期における変動が少なくほぼ一定で推移し、泌乳初期の増加が著しく、これにつれて乳量の上昇も顕著でした。これらの結果は、乾乳期には繊維含量や粗飼料効果—採食行動や反芻行動を活発にさせる効果—が高く、腹一杯採食してちょうど養分要求量が充足される粗飼料が望ましく、デンプン質飼料が望ましくないことを示しています。泌乳期に、トウモロコシサイレージを主体とするTDN含量65%の粗飼料と濃厚飼料の比率を50:50~90:10の範囲で調製した混合飼料を用いた長期給与試験における乾物摂取量と乳量の関係について図7に示します。このように、乾物摂取量は乳量と極めて高い相関関係にあります。そこで、特に高泌乳期に

は乾物・エネルギーの摂取量を高めるために高エネルギー飼料で嗜好性の良いトウモロコシサイレージや早刈り牧草サイレージを粗飼料の主体とし、濃厚飼料の給与割合を高めま。従来、泌乳牛に対する繊維(粗飼料)給与の一般的な指針としては、給与乾物量中の少なくとも半は長い乾草か、あるいは乾物換算で等量の微細切していないサイレージであり、また、繊維(粗飼料)は乾草として、その他の粗飼料では乾草の乾物量換算で少なくとも体重の1.5%給与すべきであるとされてきました。しかし、これでは全飼料中の繊維含量は明らかではありません。飼料分析による各飼料の繊維含量を測定し、全飼料中の繊維含量が飼養標準に表示されている最少値以下にならないようにします。また、この期間には易発酵性炭水化物の割合と量が高い飼料となりますので第一胃の負担が多くなります。多回給与や混合給与により、一定の繊維含量の飼料を常時採食できるようにすることがこの負担を軽減します。

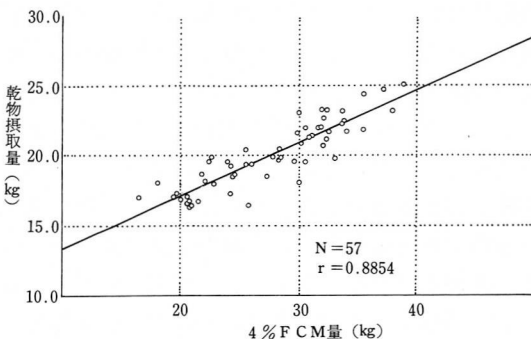


図7 乾物摂取量と乳量の相関関係 (坂東ら)

高泌乳期以後には乳量の低下に応じて繊維の割合を高め、低乳時には過肥を防ぐために繊維(粗飼料)の持つ「ガサ」を活用して摂取量をコントロールします。

以上、乳牛飼養における繊維の重要性、必要性について述べてきました。今後、正常な第一胃の機能を保ちつつエネルギー摂取を更に高めるため、繊維とデンプンなどの易発酵性炭水化物をどのように給与していくかについての詳細な検討が必要であると考えます。