

栄養面から見た牧草、飼料作物の評価

阿部 亮（畜産試験場 栄養部） 昭和60年12月号

はじめに

従来、飼料間の栄養価を相互比較する場合に、TDNと粗蛋白質の含量が主要な尺度として用いられて来ている。また、これらの単位が直ちに飼養標準と結びつく所から、飼料生産と乳牛飼養とを結ぶ太いパイプの役割をも果して来ている。

今も、これらの単位の重要さには何らの変りがないのであるが、どうもこれだけでは不足ではないか？ という事が昔から言われ、次第にその声が大きくなりつつある。例えば、TDNと言うのは、粗飼料の価値を濃厚飼料に比べて高く評価し過ぎるという事がある。TDNの正味エネルギーへの転換効率は、一般的に言って粗飼料よりも濃厚飼料の方が高いと言ってよい。そして、その場合の違いは、主に可消化エネルギーの質がデンプンか繊維かに起因する。現在、トウモロコシサイレージの給与がごく一般的に行われているが、乾乳牛に対してトウモロコシサイレージを給与していると、乾草などと比べて太ってくるという事をよく聞く。それは、トウモロコシサイレージのTDNの中に可消化の子実デンプンが多く含まれる事によるものである。

そこで、TDNを補足し、その内容を説明するような指標を導入する事によって飼料の性質・特徴をより一層明快に出来れば、これは一段の進歩になる。

研究の分野では、この方面についての蓄積が次第になされて来ているので、それを紹介しながら表題に迫ってゆきたい。

1. 飼料成分の表現方法

今までは、一般成分（6成分）の表示が飼料成分の表示法のすべてであった。しかし、最近、これではまずいというのが世界的な認識で、全く新しい発想に基づく成分表示法が次々と提案されており、その一部は飼料給与技術を支える指標として次第に注目されるようになって来た。

一般成分の項目、全てがだめだというのではない。問題は主要なエネルギー源となる炭水化物の表現の部分、つまり粗繊維と可溶無窒素物（NFE）

なのである。

飼料中の炭水化物は糖類、有機酸、デンプン等の非構造的で消化率が100%に近いものと、繊維性の構造炭水化物に分けられるが、NFEは両者をもとに含む分画であり、粗繊維は繊維の総量（総繊維）を示すものではなく、その一部分を説明しているに過ぎない。

例えば、総繊維の含量が63%のチモシー乾草の場合、粗繊維は32%であり、NFEの含量は45%である。この45%のNFEの中味は、31%の繊維と14%の可溶性糖類である。ホールクロップサイレージの場合、NFEは繊維成分のほかには有機酸とデンプンを多量に含む。そして稲わらのNFEは、そのほとんどが繊維性物質から構成される。トウモロコシ子実のNFEはデンプンが主成分である。

従って、飼料のNFEの含量を比較した所で何の役にも立たない。栄養学的にみて、表示する意味すら乏しい分画なのである。

そこで考えられたのが、飼料の有機物を、まず最初に非繊維性の部分と繊維性の部分とに分け、次にその内容に立ち入ろうという方法である。

本稿でもその考え方による成分の表示法を試みた。表1には、そこで用いる用語の意味を示した。

有機物は、まず非繊維性の細胞内容物質（Organic Cellular Contents、OCC）と総繊維（Organic Cell Wall、OCW）とに分けられる。

OCCの主成分は、先に述べた糖、デンプン、有

表1 成分表の用語説明

略号	和名	内容
OCC	細胞内容物質	非繊維区分の総量を示す区分。その中に蛋白質、非蛋白態窒素化合物、糖・デンプン・有機酸類、脂肪等を含む。
OCW	総繊維	飼料中の繊維物質の総量を示す区分。
NCWFE	糖・デンプン・有機酸類	飼料中の糖・デンプン・有機酸の総量を示す区分。消化率は100%に近い。
Oa	高消化性繊維	消化率が90～100%を示す易利用性の高消化性繊維区分。
Ob	低消化性繊維	消化率が20～40%程度のリグニンに被覆された利用性の低い繊維区分。
ADF	酸性デタージエント繊維	粗繊維の代わりに、繊維含量を示す指標として用いられている区分で、総繊維の一部分。

機酸等の易利用性炭水化物と蛋白質である。そこで、それらを示すものとして、粗蛋白質は一般成分の値をそのまま採用し、易利用性炭水化物の区分は**NCWFE**（Nitrogen Cell Wall Free Extracts、糖・デンプン・有機酸類）という単位を用いた。

一方、**総繊維（OCW）**は、その消化性によって2つの区分（高消化性繊維区分Oaと低消化性繊維区分Ob）に分けて示した。更に、NRCの飼養標準の中で飼料中の繊維の必要量を示す単位として用いられているADF（酸性デタージェント繊維）についても言及した。ADFは、酸性の洗剤と希硫酸の処理によって得られる繊維区分で、総繊維の一部を示すに過ぎないが、粗繊維に比べて定量方法が簡単であるために、粗繊維に代って、広く世界中で用いられている成分である。

OCCの成分である粗蛋白質とNCWFEの反芻家畜における真の消化率は100%に近く、その含量と可消化量は比例する。NCWFEの場合、すべての飼料で、その含量（x）と動物での消化試験によって得られる可消化量（y）との間には次の回帰式が成立する。

$$y=1.039x-3.7 \quad (r=0.99)$$

従って、これらの成分はNFEとは異なって、含量そのものの比較が栄養学的に大きな意味を持つのである。

一方、総繊維は、その消化率が問題である。**表2**には、各種飼料のOCW、Oa、そしてObの消化率を示した。Oa区分は、Ob区分に比して非常に高い消化率を示すのである。Oa区分は繊維の消化性を阻

害するリグニンに被覆される事なく、第一胃内でも直ちに分解される区分であろう。一方Obはリグニンに被覆される低消化性の繊維区分であるが、リグニンによる被覆の程度がその消化性に影響するものと考え、Ob中のリグニン含量の値にも注目した。

以上の様な考え方に基づいて作成した飼料成分表が**表3～表5**である。

2. 組成から見た飼料の特徴

まず**表3**のイタリアンライグラスを見よう。生育の進展に伴ってOCCが減少し、総繊維（OCW）が増加する一方で、OCW中のOa含量は低下し続け、相対的にOb含量が増加する。イネ科牧草の場合、多くの試験の結果からOaの消化率を97%、Obのそれを37%と設定すると、これらの値とOCW中のOa、Obの含量とからOCWの消化率、ひいては消化される繊維（可消化繊維）の給与量も一つの目安として得る事が出来る。この視点は濃厚飼料多給（穀類デンプン多給）の際における第一胃内の酢酸とブ

表2 各種繊維分画の消化率（綿羊） (%)

試 料		OCW	Oa	Ob
オーチャードグラス	出穂初期	63.7	98.7	36.2
〃	開花期	52.5	98.3	37.7
アルファルファ乾草	開花前	50.9	94.5	22.7
〃	開花期	45.5	93.0	26.6
トウモロコシサイレージ	糊熟期	53.1	91.2	38.9
〃	黄熟期	49.9	91.2	34.6
グレインソルガムサイレージ	糊熟期	47.2	89.4	38.5
ビートパルプ		88.2	97.2	79.9

表3 牧草類の各種成分含量

乾物中%（Oa、ObはOCW中%）

試料	有機物		NCWFE	粗蛋白質	OCW		ADF	Ob中の リグニン%
	OCC	OCW			Oa	Ob		
イタリアンライグラス 1 番草								
生育期 (4月10日)	49.9	40.7	35.2	13.0	65.6	34.4	20.7	11
〃 (4月20日)	42.9	47.3	31.9	9.4	54.8	45.2	25.6	10
出穂前～出穂始 (5月1日)	30.7	58.5	20.1	9.6	46.2	53.8	35.4	13
出穂期 (5月13日)	26.7	61.8	18.3	7.6	38.5	61.5	37.7	13
出穂後期～開花 (5月23日)	28.7	62.4	22.9	5.4	30.6	69.4	38.4	14
開花後 (6月1日)	27.3	64.0	22.5	4.7	25.9	74.1	39.0	14
オーチャードグラス 1 番草								
穂ばらみ前	34.1	56.2	17.9	12.9	53.0	47.0	30.3	12
穂ばらみ	31.2	58.4	13.5	15.5	48.6	51.4	32.0	11
出穂期	25.3	66.6	12.4	10.9	31.7	68.3	38.3	10
出穂後期	25.5	67.0	12.4	11.0	29.4	70.6	38.9	11
開花期	24.4	68.1	13.1	9.3	25.6	74.4	40.8	12
開花後	18.6	75.5	10.8	6.7	16.4	83.6	46.6	12
アルファルファ								
着蕾初期	46.7	42.9	20.4	25.7	38.7	61.3	30.6	24
着蕾期	40.5	50.7	18.3	21.3	34.7	65.3	37.1	25
開花初期	36.6	54.6	16.7	18.9	31.3	68.7	38.9	24
開花期	34.4	57.5	15.5	18.5	26.1	73.9	42.7	23
開花後	30.3	61.1	14.6	15.9	27.3	72.7	46.0	25

表 4 ホールクロップサイレージ類の各種成分含量								乾物中%（Oa、ObはOCW中%）		
試 料			有機物		糖・デンプン・ 有機酸類 (NCWFE)	粗蛋白質	OCW		酸性デタージ エント繊維 (ADF)	Ob中の リグニン%
			細胞内容物質 (OCC)	総繊維 (OCW)			高消化性繊維 (Oa)	低消化性繊維 (Ob)		
トウモロコシサイレージ（交 4 号）										
未 乳	熟		36.0	57.6	22.9	11.7	29.2	70.8	32.5	10
乳		熟	41.9	52.5	30.1	10.4	28.4	71.6	28.6	10
糊		熟	48.1	46.9	36.5	9.6	25.2	74.8	24.6	9
黄		熟	51.0	43.7	39.4	9.1	22.0	78.0	22.4	9
スイートソルガムサイレージ										
乳		熟	24.4	68.1	17.1	7.9	17.6	82.4	44.3	17
糊		塾	33.3	59.6	28.7	6.8	17.3	82.7	38.1	18
黄		熟	34.1	59.5	29.5	6.4	13.4	86.6	38.9	17
過		熟	33.9	58.9	29.3	6.9	16.8	83.2	37.9	19
グレインソルガムサイレージ（乳熟期）										
NK265			38.4	51.6	26.3	11.0	17.1	82.9	31.3	14
NK285			40.8	50.0	28.6	10.9	14.6	85.4	29.9	14
サ バ ン ナ 4			41.6	49.6	30.5	10.7	16.3	83.7	28.8	15
BR44			39.4	49.9	28.8	10.7	13.2	86.8	30.2	16
大麦サイレージ										
開 花	期		25.3	61.1	12.5	12.2	33.1	66.9	34.9	11
乳 熟	期		35.0	53.7	22.9	11.8	31.3	68.3	31.7	13
糊 塾	期		41.1	47.9	30.6	10.3	25.9	74.1	27.8	13
糊 熟 後	期		41.0	48.4	31.6	9.0	27.1	72.9	27.3	13
完 熟	期		42.4	46.6	34.7	8.1	22.3	77.7	26.7	14
エンバク										
出 穂	前		41.2	49.6	23.3	15.7	55.4	44.6	27.3	8
出 穂	期		29.6	62.7	17.9	10.1	38.3	61.7	35.7	9
乳		熟	40.0	53.4	30.0	9.9	20.8	79.2	29.1	11
ライムギ										
乳		熟	24.3	71.2	15.3	8.1	18.7	81.3	43.6	12
糊		塾	34.4	61.8	26.8	7.1	19.6	80.4	37.5	13
黄		熟	36.9	59.6	29.7	7.1	18.3	81.7	35.1	12

表5 カブ類及びビートパルプの組成				乾物中%
試料	有機物		NCWFE	粗蛋白質
	OCC	OCW		
紫カブ	76.5	13.1	61.0	17.4
紫カブ葉	45.1	35.9	24.4	20.8
ルタバガ	79.6	14.9	68.1	12.7
ビートパルプ	26.0	69.1	15.8	12.2
〃	30.7	63.4	20.0	12.7
〃	32.3	61.8	21.6	12.9
ビートトップ	58.0	28.9	39.9	19.7

ロピオン酸の比率を考えていく上で、将来、重要なものになると思われる。今、出穂期のイタリアンライグラスを例に取ってみると、OCWの消化率は $38.5 \times 0.97 + 61.5 \times 0.37 = 60\%$ と計算される。乾物でこのサイレージを4kg（水分80%のサイレージを20kg）給与しているとすると、 $4 \times 0.618 \times 0.60 = 1.5\text{kg}$ の可消化繊維がVFA生成素材として供給されると見積もられる。

アルファルファの場合には、Ob中のリグニン%がイネ科草の約2倍の24%程度の値であり、表2に示されるアルファルファのOb分画の低消化率の原因はここに求められよう。

次に表4のホールクロップサイレージについて見

てみよう。このグループの特徴は、NCWFE中にデンプンと有機酸を含む事である。Ob区分の消化率をそのリグニン化率から推定すると、トウモロコシサイレージ、グレインソルガムサイレージ、大麦サイレージ、エンバクサイレージ及びライムギサイレージはイネ科牧草とほぼ同じ値を取るであろう事が予測されるが、スイートソルガムのリグニンは17~19%と高く、その分、Obの消化率は低いものと考えられる。また、OCW中のOaとObとの比率に対する生育期（乳熟期以降）の違いの影響は牧草ほどには大きくない様である。

そして、よく用いられるトウモロコシの黄熟期、ソルガムの糊熟期、大麦の糊熟期におけるOCW中のOaの比率は17~26%程度の値であり、イネ科牧草では一般的に遅刈りと言われる開花期以降に相当する値である。

従って、これらの飼料の総繊維（OCW）の消化率は決して高い値ではなく、表2にも示されている様な50%前後の値であると見なしてよいであろう。

カブ類については、ルタバガと紫カブのデータを表5に示したが、何より特徴的な事はNCWFEの含量が高いという事である。総繊維（OCW）も13~15%程度含まれるが、これもビートパルプと同様、

非常に高い消化率を示すものと考えてよいであろう。

文頭に述べたTDNを説明する様な指標というのは、別の言い方をすれば、TDNの化学構成を明確にするという事に他ならない。エネルギー成分（炭水化物）について言えば、可消化の繊維に強く依存しているものか、あるいは可消化のNCWFEに多くを依存しているかと言う事である。

そのためにはそれぞれの可消化量を知らなければならないが、それについては既に記述した。一方、TDNの含量について表中の成分から以下の式を用いる事により推定する事が出来る。

牧乾草（イネ科草、イネ科主体混播）：TDN= $1.111 \times (OCC+Oa) + 0.605 \times Ob - 18.8$

アルファルファ（乾草、キューブ）：TDN= $1.021 \times (OCC+Oa) + 0.498 \times Ob - 16.1$

トウモロコシサイレージ：TDN= $0.545 \times OCC + 1.413 \times Oa + 26.4$

表6には、群馬県の酪農家が調製した10点のトウモロコシサイレージのデータを示した。表4に示したトウモロコシサイレージは、試験場で下葉の枯れ上がりもなく理想的な材料をもとに作られたものである。

それと比較して表6のサイレージが異なるのはOCW中のOaの割合である。その中でもNo.2のサイレージは極端に低く10%以下の値である。デンプン含量は26%と多い所から、茎葉はかなり枯上がった状態のものとする事が出来る。

今このサイレージ（乾物率35%）を1日に15kg給与しているケースを想定してみよう。乾物の給与量は5.3kgである。1kg乾物中に360gの子実量（子実%=デンプン×1.39）が含まれる所から、このサイレージの給与では1.9kgの子実と3.4kgの茎葉サイレージを給与する事になる。筆者はこの例をよく用いているが、トウモロコシサイレージを給与してい

るのではなく、1.9kgの穀類と3.4kgのコーンストーバを給与していると考えなくてはならないのである。

この場合、OCW中のOaの含量は極端に低い所から、茎葉部分の総繊維（OCW）の消化率も低いものと考えねばならない。

それ故に、何か他の良質の繊維でその分をカバーするという配慮が必要である。飼料を考える時、語る時にアルファルファとかイタリアンライグラスとかと言う様なモノで考えるのではなく、その飼料特性（化学性、消化性）から共通点を見つけていくという視点も同時に必要ではないだろうか？

黄熟期のトウモロコシサイレージと言っても、表6の様に多岐な性質にわたるのである。飼料特性で分類するためにはそれを可能とするシステムが用意されていなければならない。今回、酵素分析法という簡易な分析手法（デンプンまでも含めて）を用いた例を本誌をお借りして紹介した。

今後の発展方向を探る一つのテーマとしてご議論いただければ幸いである。

表6 酪農家の調製したトウモロコシサイレージの組成とTDN（群馬県） 乾物中%

No.	有機物		OCW		デンプン	乾物1kg中の子実g	TDN
	OCC	OCW	Oa	Ob			
1	41.1	49.4	7.2 (15)	42.2	16.3	230	58.9
2	48.9	44.3	2.1 (5)	42.2	25.8	360	56.1
3	41.0	51.7	8.4 (16)	43.3	16.9	230	60.5
4	50.1	44.3	5.7 (13)	38.7	28.2	390	61.7
5	40.2	50.9	7.7 (15)	43.2	21.5	300	59.1
6	42.0	50.0	6.4 (13)	43.7	20.3	280	58.3
7	32.2	60.3	10.0 (17)	50.4	9.0	130	58.0
8	41.0	51.7	8.2 (16)	43.5	16.2	230	60.3
9	52.7	41.0	5.6 (14)	35.4	30.1	410	63.0
10	25.6	65.9	11.4 (17)	54.5	7.7	107	56.5

注 () はOCW中Oaの割合%
No.2は茎葉枯れ上がりの大きい試料とみられる。

新刊図書のご紹介

