

家畜改良センター 技術マニュアル 5

飼料分析とその利用

農林水産省 家畜改良センター

はじめに

なぜ飼料分析を行うのか、また、飼料分析結果を誰がどのように使うのか。このことを利用者が頭に入れておかなければ、目的達成のための手段であるはずの飼料分析依頼が単なる作業になってしまい、分析結果の有効な活用は望めない。

一方、これまで飼料生産部門は飼料を作るだけ、家畜管理部門は家畜を飼うだけで相互の連携が十分ではなかったのではないかと指摘され、飼料生産及び給与を飼料生産部門と家畜管理部門の連携の下で改善していくことに取り組んでいるところである。

飼料分析は、まさに両部門の連携を強め、より良い飼料生産及び給与を行うための重要なツールである。

筆者は飼料分析の目的を、①家畜に給与する飼料の栄養価を把握し給与設計に役立てること、②飼料の品質を評価して計画的な飼料生産及び飼料生産調整技術の改善に役立てること、③飼料に硝酸態窒素等の有害物質が入っていないか検査し飼料の安全性を確認することと記述しており、飼料分析は飼料生産部門と家畜管理部門の両者に関係していることが分かる。

また、飼料分析を有効に活用するためには飼料生産部門と家畜管理部門のみならず飼料分析実施部門との意見交換も重要と考えており、これら3者で意見交換を行うための基礎知識の獲得に本書を有効に活用してもらいたい。

本書の特徴としては、飼料分析の結果から得られる各データを有効に利用するための入門書と位置づけ、「用語の解説を要所要所で、出来るだけわかりやすく解説する」ことに最重点を置き、次に「TDNとエネルギーについて理解を深める」、「飼料、繊維、粗蛋白質の分画を解説する」、「牧草の評価方法について現在一般的におこなわれているものを掲載する」、「牧草のサンプリングと輸送方法を理解する」、「分析方法を理解する」ことなど知識を深めるための内容が中心となっている。また、平成9年度より実施している近赤外法の説明と現在実際に使用している検量線を掲載している。

このように内容が盛りだくさんであり、一読しただけですべてを理解するには至らないかもしれないが、飼料分析の基礎知識について、今まで疑問に思いながらも調べるができなかったことが記載されていると思うので本書が有効に活用されることを期待する。

技術部飼料種苗課長 島森 剛

目次

【本書で使用する略号】	6
I 飼料分析の目的	10
II 飼料分析による分画	11
III 分析値を用いた飼料評価	12
1 TDN(Total Digestible Nutrient 可消化養分総量)による評価	12
1.1 TDNの概念	12
1.2 TDNの定義	12
1.3 実際のTDNの求め方	13
2 飼料のエネルギーによる評価	16
2.1 GE (Gross Energy 総エネルギー)	16
2.2 DE (Digestible Energy: Digested Energy 可消化エネルギー)	16
2.3 ME (Metabolizable Energy 代謝エネルギー)	16
2.4 NE (Net Energy 正味エネルギー)	16
3 繊維の評価	18
3.1 繊維について	18
3.2 粗繊維、NDF及びOCWの関係	19
3.3 繊維の重要性	20
3.4 畜産試験場で作成された繊維成分間の換算式	21
4 蛋白質の分類	22
4.1 代謝蛋白質の概念	22
4.2 現在の蛋白質の分画方法	23
5 サイレージの評価	24
5.1 サイレージ調製の目的	24
5.2 サイレージの乳酸発酵の条件	24
5.3 サイレージの品質	26
① 官能法	26
② フリーク法	28
③ pH (ペーハー)	29
④ 全窒素に対する揮発性塩基態窒素の割合 (VBN/TN)	30
⑤ V-SCRE	31
5.4 サイレージ関にすること	32
5.4.1 二次発酵とは?	32
5.4.2 添加剤について	33
6 牧草の相対的飼料価値評価(RFV)	34
7 その他	35
IV 飼料分析結果報告書の見方と飼料分析依頼票の記入例	38
1 飼料分析結果報告書の見方	38
2 飼料分析依頼票の記入例	38

V	飼料分析	40
1	通 則	41
1.1	原子量	41
1.2	単 位	41
1.3	百分率、百万分率及び十億分率	41
1.4	温 度	41
1.5	試 薬	41
1.6	水	42
1.7	溶 液	42
1.8	計量器	42
1.9	器具、機器等	43
2	サンプリング	48
2.1	梱包された飼料	49
2.2	梱包されていない飼料	54
2.3	放牧地等圃場の場合	56
2.4	輸 送	57
2.4.1	生草（放牧草）及びサイレージ	57
2.4.2	乾 草	57
2.4.3	その他	57
3	分析試料の調製法	58
4	一般栄養成分	60
4.1	水 分	60
4.2	粗たん白質	61
4.3	粗脂肪	64
4.4	粗繊維	65
4.5	粗灰分	65
4.6	可溶無窒素物	67
4.7	非構造型炭水化物 (NCWFE)	67
5	デタージェント成分	68
5.1	酸性デタージェント繊維 (ADF)	68
5.2	中性デタージェント繊維 (NDF)	69
5.2.1	でんぷんを含む飼料の場合	69
5.2.2	でんぷんを含まない飼料の場合	69
6	酵素法による成分	70
6.1	細胞壁物質 (OCW)	70
6.1.1	でんぷんを含む飼料の場合	70
6.1.2	でんぷんを含まない飼料の場合	71
6.1.3	でんぷんを含む飼料の場合の簡易法	71
6.2	低消化性繊維 (Ob)	71

7	硝酸及び亜硝酸態窒素	72
7.1	高速液体クロマトグラフ法	72
7.2	キャピラリー電気泳動法	73
8	有機酸	74
9	ミネラル成分	75
9.1	カリウム	75
9.2	カルシウム	76
9.3	マグネシウム	77
9.4	ナトリウム	78
9.5	りん	79
9.6	亜鉛	81
9.7	鉄	82
9.8	銅	83
9.9	マンガン	84
9.10	セレン	84
10	有害金属	86
10.1	鉛	86
10.2	カドミウム	87
10.3	クロム	88
10.4	水銀	89
10.5	ヒ素	90
11	蛋白質の分画	91
11.1	可溶性蛋白質	91
11.2	分解性蛋白質	91
11.3	結合性蛋白質	92
11.4	非分解性蛋白質	92
12	ビタミン類	93
12.1	ベータカロチン (β-カロチン)	93
12.2	ビタミンE	95
13	近赤外分光法	96
13.1	近赤外分光法について	96
13.2	近赤外分光法のメリット・デメリット	96
13.3	検量線の作成	96
13.4	検量線の信頼性	98
13.4.1	牧草イネ科一般	98
13.4.2	サイレージイネ科一般	101
13.4.3	とうもろこしサイレージ (開発中)	103
13.4.4	アルファルファ乾燥 (開発中)	104
13.4.5	アルファルファサイレージ (開発中)	105

飼料分析とその利用



試験検査棟

本書で使用する略号

ASH 粗灰分 (CAと同じ) 一般栄養成分の一つである。[V4.5]

ADF (Acid Detergent Fiber) 酸性デタージェント繊維 酸性の界面活性剤 (洗剤) を用いて試料を処理して得られた残差から灰分を減じたもの。一般に消化しにくい繊維である。[Ⅲ1.3] [V5.1]

ADIN (AD Insoluble Nitrogen) 酸性デタージェント不溶性窒素 酸性デタージェント繊維中の窒素。

ADIP (AD Insoluble Protein) 酸性デタージェント不溶性蛋白質 酸性デタージェント繊維中の蛋白質。消化出来ない蛋白質。

ADIL (Acid Detergent Insoluble Lignin) 酸性デタージェントリグニン 酸性デタージェント繊維中のリグニン。消化出来ないリグニン。ADIPと意味は同じ。

AFRC (Agricultural and Food Research Council) 英国農業及び食品研究協議会 ARCの後身。飼養標準を出している。

ARC (Agricultural Research Council) 英国農業研究協議会 飼養標準を出していた。現在、AFRCと名前を変更している。

AP (Absorbed Protein) 吸収蛋白質 飼料から摂取する蛋白質の内、家畜の維持・増体等に必要な蛋白質 (排泄されるもの及びNPN等は含まない)。

BP (Bond Protein) 結合性蛋白質 ルーメンを通過して、小腸でも吸収されない蛋白質。[V11]

BTP (Bacterial True Protein) 真の菌体蛋白質 飼料を摂取することによりルーメン内で増殖した微生物のうち蛋白質として吸収されるもの。

CA (Crude Ash) 粗灰分 一般栄養成分の一つである。[V4.5]

CF (Crude Fiber) 粗繊維 一般栄養成分の一つである。[Ⅲ3] [V4.4]

CNCPS (Cornell Net Carbohydrate Protein System) コーネル正味炭水化物及び蛋白質システム コーネル大学が中心となってニューヨーク州と共同開発した「飼養管理ソフト」である。[V11]

CP (Crude Protein) 粗蛋白質 一般栄養成分の一つである。[V4.2]

CPb (CP bond) 結合性蛋白質 BPと同じ。[V11]

CPd (CP degradable) 分解性蛋白質 ルーメン内で消化吸収される蛋白質 (DIPと同じ)。[V11]

CPs (CP soluble) 可溶性蛋白質 ルーメン内で速やかに消化吸収される蛋白質 (SIPと同じ)。[V11]

CPu (CP undegradable) 非分解性蛋白質 ルーメン内を通過して、小腸まで行く蛋白質 (UIPと同じ)。小腸で吸収される蛋白質と吸収されない蛋白質に分かれる。小腸で吸収されない蛋白質をBP又はCPbと言う。[V11]

CW (Cell Wall) 細胞壁物質 酵素法により分画される部分。[有機細胞壁物質(OCW)+無機細胞壁物質]である。

DCP (Digestible Crude Protein) 可消化粗蛋白質 可消化の蛋白質。「粗蛋白質×その消化率」と定義されている。[Ⅳ]

DE (Digestible Energy; Digested Energy) 可消化エネルギー 飼料の可消化部分のエネルギー。[Ⅲ2.2]

DIP (Degradable Intake Protein) 分解性蛋白質 CPdと同じ。[V11]

DM (Dry Matter) 乾物 飼料から水分を減じたもの。

DMI (Dry Matter Intake) 乾物摂取量 [Ⅲ6]

EE (Ether Extracts) 粗脂肪 一般栄養成分の一つである。[V4.3]

GE (Gross Energy) 総エネルギー 飼料のもつエネルギー。ボンブカロリメーターで測定する。[Ⅲ2.1]

HPLC (High Performance Liquid Chromatograph) 高速液体クロマトグラフ 分析機器。[V7.1, 12.1, 12.2]

JIS 日本工業規格 国内の工業規格。[V1.1]

ME (Metabolizable Energy) 代謝エネルギー 飼料から得られるエネルギーのうち代謝に使われるエネルギー。[Ⅲ2.2]

MP (Metabolizable Protein) 代謝蛋白質 代謝に必要な蛋白質。

NCWFE (Nitrogen Cell Wall Free Extracts) 糖・デンプン・有機酸類。[V4.7]

NDF (Neutral Detergent Fiber) 中性デタージェント繊維 中性の界面活性剤(洗剤)を用いて飼料を処理して得られた残差から灰分を減じたもの。[Ⅲ3.2] [V5.2]

NE (Net Energy) 正味エネルギー 飼料のもつエネルギーのうち、家畜の生産性に繋がるエネルギー。[Ⅲ2.4]

NEg (Net Energy gain) 泌乳牛以外の牛の増体に必要な正味エネルギー [Ⅲ2.4]

NEI (Net Energy lactation) 泌乳牛の維持、増体及び泌乳における正味エネルギー [Ⅲ2.4]

NEm (Net Energy maintain) 泌乳牛以外の牛の維持に必要な正味エネルギー [Ⅲ2.4]

NFC (Non Fiber Carbohydrate) 非構造化炭水化物 NSCと同じである。[V4.7]

NFE (Nitrogen Free Extracts) 可溶無窒素物 一般栄養成分の一つである。主に、でん粉、糖 類、有酸、リグニン等である。[V4.6]

NIRS (Near Infrared Reflectance Spectroscopy) 近赤外分光光度計 分析機器。この機器を用いることにより分析業務が迅速化された。[V13]

NPN (Non-Proteinous Nitrogen) 非蛋白態窒素 蛋白質の構造をしていない窒素。主に、アンモニア及び尿素。[Ⅲ4.1]

NSC (Non Structural Carbohydrate) 非構造化炭水化物 NFCと同じである。[V4.7]

NRC (National Research Council) 米国国家研究会議 飼養標準を出している。

Oa (Organic a fraction) 高消化性繊維 酵素法によって得られる消化性の高い繊維の分画。[Ⅲ1] [[V6]

Ob (Organic b fraction) 低消化性繊維 酵素法によって得られる消化性の低い繊維の分画。[Ⅲ1] [V6]

OCC (Organic Cell Contents) 有機細胞内物質 酵素法によって得られる分画で、消化性の高い部分。[Ⅲ1] [V6]

OCW (Organic Cell Wall) 有機細胞壁物質 酵素法によって得られる分画で、繊維の部分。総繊維とも言われる。[Ⅲ1] [V6]

OM (Organic Matter) 有機物 飼料の有機物部分。

RFV (Relative Feed Value) 相対的飼料価値 欧米で粗飼料、主に乾草の価値判断に用いられる。[Ⅲ6]

RVI (Roughage Value Index) 反すう時間

SIP (Soluble Intake Protein) 溶解性蛋白質 CPsと同じ。[V11]

SPARTAN ミシガン州立大学とウィリアムマイナー農業研究所が共同開発した「飼養管理ソフト」である。[V11]

TDN (Total Digestible Nutrients) 可消化養分総量 国内でもっとも利用されている飼料のエネルギー単位。[Ⅲ1]

TN (Total Nitrogen) 全窒素 [Ⅲ5.3]

UIP (Undegraded Intake Protein) 非分解性蛋白質 CPuと同じ。[V11]

VBN (Volatile Basic Nitrogen) 揮発性塩基態窒素 揮発性の塩基の窒素。主にアンモニア。[Ⅲ5.3]

VFA (Volatile Fatty Acide) 揮発性脂肪酸 一般には、低級脂肪酸と言う。脂肪酸とは一価のカルボン酸で鎖式構造をもつもの。[Ⅲ5.3]

飼 料 分 析 の 目 的
飼 料 分 析 に よ る 分 画
分析値を用いた飼料評価

I 飼料分析の目的

1 給与飼料の栄養価の把握

家畜に給与する飼料の栄養価を把握することにより、給与設計に役立てる。

2 飼料の品質評価

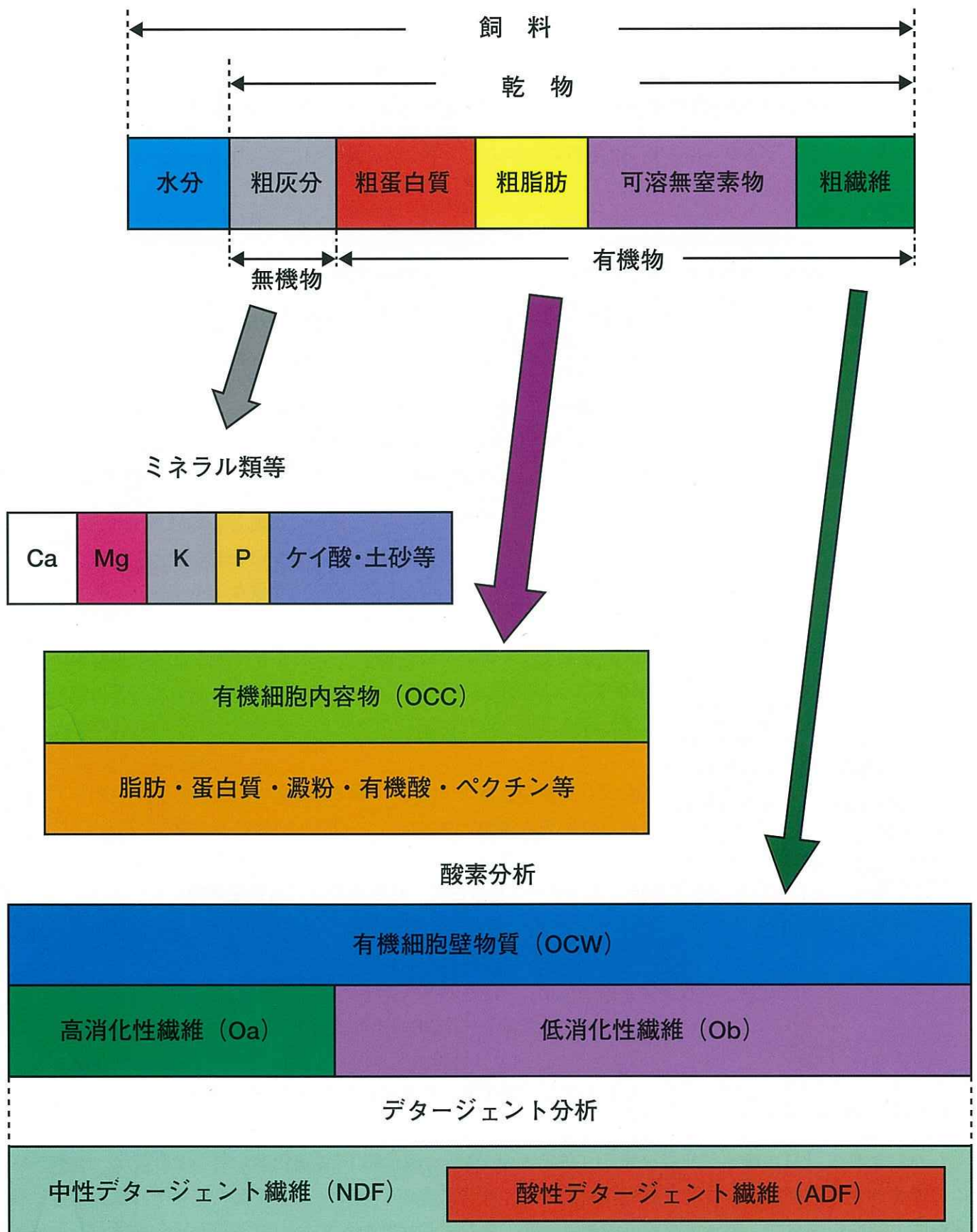
栄養、形状及び嗜好性等の面から飼料を評価して、計画的な飼料生産及び飼料生産調製技術の改善に役立てる。

3 飼料の安全性

飼料に有害物質（硝酸態窒素、マイコトキシン、残留農薬、水銀、鉛等）が入っていないか検査する。



Ⅱ 飼料分析による分画



Ⅲ 分析値を用いた飼料評価

家畜の増体、維持及び生産に必要なエネルギーは餌（飼料）から摂取され、その餌（飼料）の持つエネルギー（栄養価）を把握することが畜産の分野では重要なことである。通常、食品の場合にはカロリー単位で（その食品の持つ）エネルギーを表しているが、畜産の場合は「家畜の生産性」を目的としているので、より実質的な、増体、維持及び生産に直接つながるエネルギーを把握する必要がある。その代表的なTDN（1TDNによる評価）及びエネルギー（2飼料のもつエネルギーによる評価）を以下に示す。

<参考>

【カロリー（cal）】1gの水を14.5℃から15.5℃に上げるのに必要なエネルギーが1calである。最近では、世界保健機構（WHO）及び世界農業機構（FAO）が“仕事”の単位であるジュール（J）を用いることを奨励している（1cal = 4.184J）。

1 TDN（Total Digestible Nutrient 可消化養分総量）による評価

1.1 TDNの概念 国内で、もっとも利用されている飼料のもつ実質的なエネルギーを評価する単位がTDNであり、TDNは可消化つまり消化吸収された部分のエネルギーで、消化吸収されないで糞中に排泄されたものは含まれていない。これは「飼料のもつエネルギーから（消化されないで）糞として排泄されるエネルギーを差し引けば、直接家畜の増体、維持及び生産につながるエネルギーを表すことができる」とする考え方による（尿のことは考慮していない）。よって、TDNは増体、維持及び生産に必要なエネルギーと言える。

実際に、TDNを求めるには、個々の餌のエネルギーとその餌を食べて排泄される糞のエネルギーを出して、前者から後者を減じれば得られる訳であるが、個々の餌について、これを行うことは出来ない（労力と時間の浪費である）、また、牛の個体間による消化率も異なる。そこで、（数頭の牛を用いて）個々の餌の栄養成分について、その（平均）消化率を求め（消化試験による）て、栄養成分とその消化率からTDNを算出する方法が有効である。

また、TDNの単位はキログラム（Kg）又は重量パーセント（%）で示される。

1.2 TDNの定義 TDNは、一般栄養成分分析で得られる数値に個々の消化率を乗じ、加算したものとして定義される。ただし、粗脂肪の燃焼エネルギーは粗蛋白質、粗繊維及び可溶無窒素物に比べ2.25倍であるので、粗脂肪には2.25を乗じた。

$$\text{TDN (\%)} = [\text{CP} \times \text{その消化率}] + [\text{EE} \times \text{その消化率} \times 2.25] \\ + [\text{CF} \times \text{その消化率}] + [\text{NFEX} \times \text{その消化率}] \quad (\text{定義式})$$

この定義式からTDNを算出しようとする場合、消化率の把握が必要なので「日本標準飼料成分表」の数値を用いる。

しかしながら、「日本標準飼料成分表（1995年版）」では、“消化率”を「消化率は原則としてデータベースに収集蓄積された実測値について飼料の来歴を見て代表的な値であるかどうかを点検し平均値を求め、各家畜間、類似の飼料間、同一飼料内での細区分間の差などを比較し、また、諸外国の値も参考として検討

した数値とした。牛の消化率は山羊またはめん羊による試験成績を含むものであり、反芻家畜一般に適用できるものとした。以下、略」(1章1.1(2)消化率)、「消化率は見かけの消化率の実測値の平均値を用いることとしているが、消化率の実測値は成分分析値に比較して非常に少なく、また、消化率測定に供用された試料が、その飼料の代表的な成分値を持つとは言えないものもあった。このため同一飼料内での生育段階、処理方法の差による消化率の違い、類似飼料の消化率との比較、同一飼料の消化率の各家畜間の比較および文献値を参考にして検討を行って若干の補正をした。」(1章1.5(2)消化率)としていることを留意しなければならない。

1.3 実際のTDNの求め方

定義式を用いて飼料を評価するには「日本標準飼料成分表」に掲載された草種、番草、刈取りステージ等の区分に合致している場合に限られる。

このような理由から、実際には、この定義式を利用できない場合が多い。

そこで、各研究機関から様々なTDN推定のための式が発表されている。

国内では酵素法による成分値を、欧米ではデタージェント法による成分値を用いてTDNを推定している。

<参考>

【酵素法】 酵素により飼料の繊維を求める方法

【デタージェント法】 界面活性剤により飼料の繊維を求める方法

詳細は「Ⅲ 3 繊維の評価」、「Ⅴ 飼料分析 5 デタージェント成分及び6 酵素法による成分」を参照されたい。

以下に紹介するTDN推定式は、消化試験により求めたTDNと相関が高いと考えられる飼料成分を用いて重回帰分析を行い算出した推定式である。

【式に出てくる用語】

OCC	: 有機細胞内容物	EE	: 粗脂肪
Oa	: 高消化繊維	ADF	: 酸性デタージェント繊維
Ob	: 低消化繊維	NDF	: 中性デタージェント繊維

①自給飼料研究会

乾草牧草(イネ科)	$TDN = 0.674 \times (OCC + Oa) + 0.217 \times Ob + 18.53$
アルファルファ(乾草)	$TDN = 1.021 \times (OCC + Oa) + 0.498 \times Ob - 16.1$
牧草サイレージ	$TDN = 22.6 + 0.637 \times (OCC + Oa) + 3.478 \times EE$
トウモロコシサイレージ	$TDN = 26.4 + 0.545 \times OCC + 1.413 \times Oa$

②十勝農協連

乾草牧草(イネ科/混播)	$TDN = 30.4 + 0.654 \times (OCC + Oa)$
乾草牧草(マメ科)	$TDN = 1.021 \times (OCC + Oa) + 0.498 \times Ob - 16.1$
トウモロコシサイレージ	$TDN = [0.86 \times (OCC + Oa) + 0.5] + (0.574 \times Ob - 8.6) + 1.25 \times (0.996 \times EE - 0.8)$

③Northeast DHI Association

乾草牧草（イネ科） $TDN=34.9+53.1(1.085-0.0150\times ADF)$

乾草牧草（マメ科） $TDN=29.8+53.1(1.040-0.0131\times ADF)$

混播草 $TDN=32.4+53.1(1.085-0.0150\times ADF)$

トウモロコシサイレージ $TDN=31.4+53.1(0.940-0.0080\times ADF)$

④Minnesota Extension Service

乾草牧草（イネ・マメ科） $TDN=88.9-0.779\times ADF$

トウモロコシサイレージ $TDN=87.8-0.700\times ADF$

実際の飼料の分析結果から、各TDNの推定式を用いて算出した結果が下表1である。

表1 定義式と各推定式によるTDN値

飼 料		調整方法	地域	番草	生育期	分析値										TDN				
						CP	EE	NFE	CF	OCC	OCW	Oa	Ob	ADF	NDF	定義式	①	②	③	④
オーチャードグラス	乾草	北海道	1番草	出穂前	11.64	2.19	51.91	25.50	31.54	60.42	10.01	50.41	30.98	63.18	68.62	57.47	57.57	67.83	64.76	
	乾草	東北	1番草	出穂期	14.26	2.01	39.30	34.35	23.43	66.48	14.07	52.41	34.83	72.62	58.33	55.18	54.92	64.77	61.77	
	乾草	東北	2番草	再生期	15.65	3.25	37.49	31.57	22.74	65.21	15.50	49.71	32.47	70.50	58.42	55.09	55.41	66.65	63.61	
	サイレージ	東北		出穂期	15.72	4.20	39.65	30.27	26.57	63.27	11.97	51.30	33.44	61.05	63.13	61.75	55.61	65.88	62.85	
チモシー	乾草	北海道	1番草	出穂期	8.96	1.72	46.06	35.95	21.30	71.40	8.73	62.67	39.28	71.26	68.53	52.37	50.04	61.23	58.30	
	乾草	北海道	2番草	結実揃	5.90	1.50	48.54	38.72	16.36	78.30	3.10	75.20	44.66	76.51	66.36	47.96	43.12	56.94	54.11	
	乾草	東北	1番草	出穂期	8.20	1.71	45.05	37.22	17.36	74.81	4.98	69.83	43.13	73.63	68.21	48.74	45.01	58.16	55.30	
	サイレージ	北海道	1番草	出穂期	8.19	3.58	44.11	37.51	19.96	73.44	13.15	60.29	43.71	66.90	65.03	53.93	52.05	57.70	54.85	
	サイレージ	北海道	2番草	出穂期	12.65	3.38	39.81	35.24	20.69	70.40	8.64	61.75	37.02	64.49	63.54	51.70	49.58	63.03	60.06	
アルファルファ	乾草	東北	1番草	開花期	16.69	3.49	34.49	35.15	23.24	66.59	14.05	52.54	40.78	60.23	58.62	48.14	48.14	56.87	57.13	
	乾草	東北	2番草	開花期	22.31	1.93	39.20	26.79					31.03	38.27	60.58			63.65	64.73	
	乾草	東北	1番草	開花期	17.70	1.97	42.31	23.29					26.16	35.74	57.49			67.04	68.52	
	サイレージ	北海道	1番草	開花期	14.43	4.33	38.31	32.53	28.18	61.41	13.25	48.16	36.89	56.10	61.58	50.19	50.19	59.58	60.16	
	サイレージ	東北	再生草	開花期	9.67	2.85	44.04	34.45	28.25	62.77	6.82	55.95	40.64	54.70	60.79	47.56	47.56	56.97	57.24	
トウモロコシ	サイレージ	北海道		黄熟期	8.43	2.91	64.60	19.70	51.26	44.39	2.77	41.62	23.76	46.14	64.80	58.25	65.28	71.22	71.17	
	サイレージ	北海道		黄熟期	7.19	3.24	65.45	19.94	51.94	43.89	2.99	40.90	24.33	42.99	65.32	58.93	65.33	70.98	70.77	
	サイレージ	北海道		黄熟期	7.24	2.98	65.74	19.61	51.20	44.37	4.06	40.31	23.58	41.98	64.90	60.04	65.72	71.30	71.30	
	サイレージ	東北		黄熟期	8.60	3.34	63.86	16.81	53.44	39.17	3.49	35.67	20.38	35.84	63.17	60.46	64.87	72.66	73.53	

表1を見て判るとおり、飼料によっては各推定式間に差が生じる。

また、畜産試験場での緬羊を用いた消化試験で得られたTDNと各推定式で算出したTDNを比較した表2を示す。以下の表2では、「②十勝農協連」の推定式が相関係数及び偏差の平方和から優れているように思われる。しかし、当センターでは、TDNの推定式を作成する際、全国的に粗飼料サンプルを集めて作成した「①自給飼料研究会」の推定式を用いている。

表 2 推定式の信頼性

飼 料	飼料の種類	生育期	飼羊	各推定 T D N				分析値			
			TDN	①	②	③	④	ADF	OCC	Oa	Ob
アルファルファ	乾草	開花期	52.9	53.5	53.3	54.3	52.1	47.3	28.5	17.8	44.9
アルファルファ	乾草	開花期	62.3	58.5	58.5	62.2	61.5	35.2	38.2	19.9	30.7
イネワラ			38.0	44.4	44.0	59.5	56.6	41.4	11.4	7.4	60.6
オーチャードグラス	乾草	開花期	53.3	55.9	56.2	62.2	58.3	39.3	23.5	16.0	49.3
チモシー	乾草	開花期	56.2	54.6	53.0	57.9	55.1	43.4	20.8	13.7	59.2
チモシー・赤クローバ混播	乾草		66.9	63.4	65.7	64.5	62.7	33.4	33.6	20.3	39.5
とうもろこしサイレージ	晩成種	乳熟期	61.1	65.0	62.3	68.6	66.9	29.9	41.3	11.4	39.6
とうもろこしサイレージ	早生種	黄熟期	68.1	73.3	66.2	68.2	66.2	30.8	44.8	15.9	32.7
相関係数				0.92	0.96	0.62	0.67				
偏差の平方和				1195	1046	917	880				

算出したTDNから等級による評価もできる（下表3）。この等級表は、生産物の品質管理に利用すると便利なものである。

表 3 TDN による等級

イネ科		マメ科	
TDN (DM%)	等 級	TDN (DM%)	等 級
65以上	特 級	61以上	特級
60～64	1級	56～60	1級
56～59	2級	50～55	2級
50～55	3級	49以下	3級

また、参考までにADFからの粗飼料の等級表を示す（下表4）。

表 4 ADFによる等級

ADF (DM中%)			
等 級	寒冷地イネ科	暖地イネ科	アルファルファ
特級	29以下		28以下
1級	30～36	17～24	29～35
2級	37～41	25～31	36～43
3級	42～49	32～40	44以上
4級	50以上	41以上	

2 飼料のエネルギーによる評価

飼料のもつエネルギーで、良く用いられるものについて説明する。

2.1 GE (Gross Energy 総エネルギー) 飼料が有する全エネルギーであり、飼料を完全に燃焼させて生じる熱エネルギーとして(ボンブカロリーメーターを用いて)測定する。

なお、GEの単位はカロリー(cal)で示される。

2.2 DE (Digestible Energy: Digested Energy 可消化エネルギー) DEは飼料が有するエネルギーのうち家畜が消化できる可消化部分のエネルギーである。TDNと概念が同じであり「飼料の総エネルギー(GE)から糞中に排泄されるエネルギーを減じたもの」である。

なお、DEの単位はカロリー(cal)で示される。

$$DE = GE - [\text{糞のエネルギー}]$$

また、DEはTDNとの相関があり、TDNからDEの推定は次式により導くことができる。

$$DE \text{ (Mcal/Kg)} = \text{TDN (\%)} \times 4.41 \times 0.01 \text{ (日本標準飼料成分表 [1995年版])}$$

$$DE = 0.04409 \times \text{TDN (NRC)}$$

2.3 ME (Metabolizable Energy 代謝エネルギー) 飼料が有するエネルギーのうち、家畜の代謝(維持、増体、生産)に要するエネルギーである。DEから尿及びガス(メタン)として消失するエネルギーを減じたものである。

なお、MEの単位はカロリー(cal)で示される。

$$ME = DE - [\text{尿及びガスのエネルギー}]$$

【DEからの換算式】

$$ME = -0.330 + 0.958 \times DE \text{ (日本標準飼料成分表 [1995年版])}$$

$$ME = -0.45 + 1.01 \times DE \text{ (NRC)}$$

【TDNからの換算式】

$$ME = -0.45 + 0.00445 \times \text{TDN (NRC)}$$

2.4 NE (Net Energy 正味エネルギー) 直接、家畜生産性につながるエネルギー、つまり、増体及び乳として生産されるエネルギーのことである。これはDEから(飼料を摂取することにより増加する)熱量を減じたものである。近年、欧米でNEによる「飼料のエネルギーを評価する」という考え方が高まり、研究が活発に行われている。

なお、NEの単位はカロリー(cal)で示される。

$$NE = DE - [\text{飼料を摂取することにより発生する) 熱量}]$$

これからのエネルギーの関係を下図1に示す。

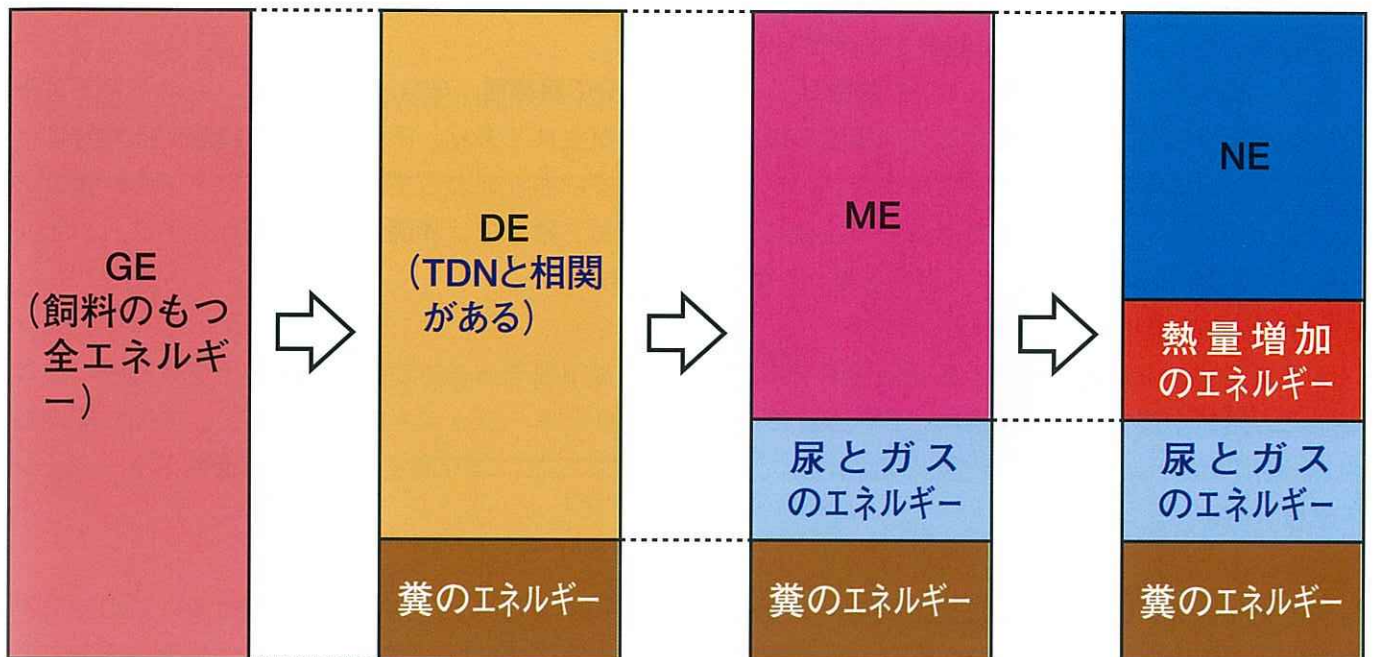


図1 飼料のエネルギーによる分画

更にNRCでは、泌乳牛以外の牛のNEを分画して、

NE_m (Net Energy maintain) : (体温)維持のための正味エネルギー

NE_g (Net Energy gain) : 増体のための正味エネルギー

としている。

また、泌乳牛には、

維持、増体及び泌乳における正味エネルギーを一括して、 NE_l (Net Energy lactation) としている。

泌乳牛以外の牛のNEは、 NE_m と NE_g に区分され、 $NE = NE_m + NE_g$ とされ、

泌乳牛の場合は、 $NE = NE_l$ となっている。

NE_m 、 NE_g 及び NE_l の算出式は、

$$NE_m = -1.12 + 1.37ME - 0.138ME^2 + 0.0105ME^3 \text{ (NRC)}$$

$$NE_g = -1.65 + 1.42ME - 0.174ME^2 + 0.0122ME^3 \text{ (NRC)}$$

$$NE_l = 0.0245TDN - 0.12 \text{ (NRC)}$$

ME : 代謝エネルギー TDN : 可消化養分総量

3 繊維の評価

3.1 繊維について

繊維は、反すう家畜にとって重要な栄養素である。

従来、飼料分析の対象となっていた繊維は、一般栄養成分の粗繊維（CF）のみであり、これだけでは十分に繊維を評価できなかった。これは植物の繊維は細胞壁が主体であり、その細胞壁を構成する物質はセルロース、ヘミセルロース、リグニン及びペクチン等であるにもかかわらず、ヘミセルロース等が含まれていないからである。繊維をできるだけ正確に測定するため、欧米では界面活性剤を用いたデタージェント法が、日本（畜産試験場）では酵素を用いた酵素法が開発された。

デタージェント法は、中性の界面活性剤を用いて飼料を加熱処理して、可溶性部分と不溶性部分に分ける。この時の不溶性部分の有機物が細胞壁に相当する（中性デタージェント繊維 [NDF]）。また、細胞壁中、「消化しにくい」分画を酸性の界面活性剤で加熱処理することにより測定している（酸性デタージェント繊維 [ADF]）。

酵素法は、デンプン及び蛋白質を酵素により分解して、可溶性部分と不溶性部分に分ける。この時の不溶性部分の有機物が細胞壁に相当する（有機細胞壁物質 [OCW]）。また、「消化しにくい」分画をデンプン及び蛋白質の分解の後、更にセルロースを酵素によって分解して測定している（低消化性繊維 [Ob]）。

NDF及びOCWは、総繊維を示し、ADF及びObは消化しづらい繊維を示す。

粗繊維：セルロースの大部分、ヘミセルロース、リグニン及びペクチンの一部

NDF：セルロース、ヘミセルロース、及びリグニンが主体（総繊維）

ADF：セルロースの一部とリグニン主体（低消化性繊維）

OCW：セルロース、ヘミセルロース、及びリグニンが主体（総繊維）

Oa（＝OCW－Ob）：高消化性の繊維

Ob：OCW中のセルロースの一部とリグニンが主体（低消化性繊維）

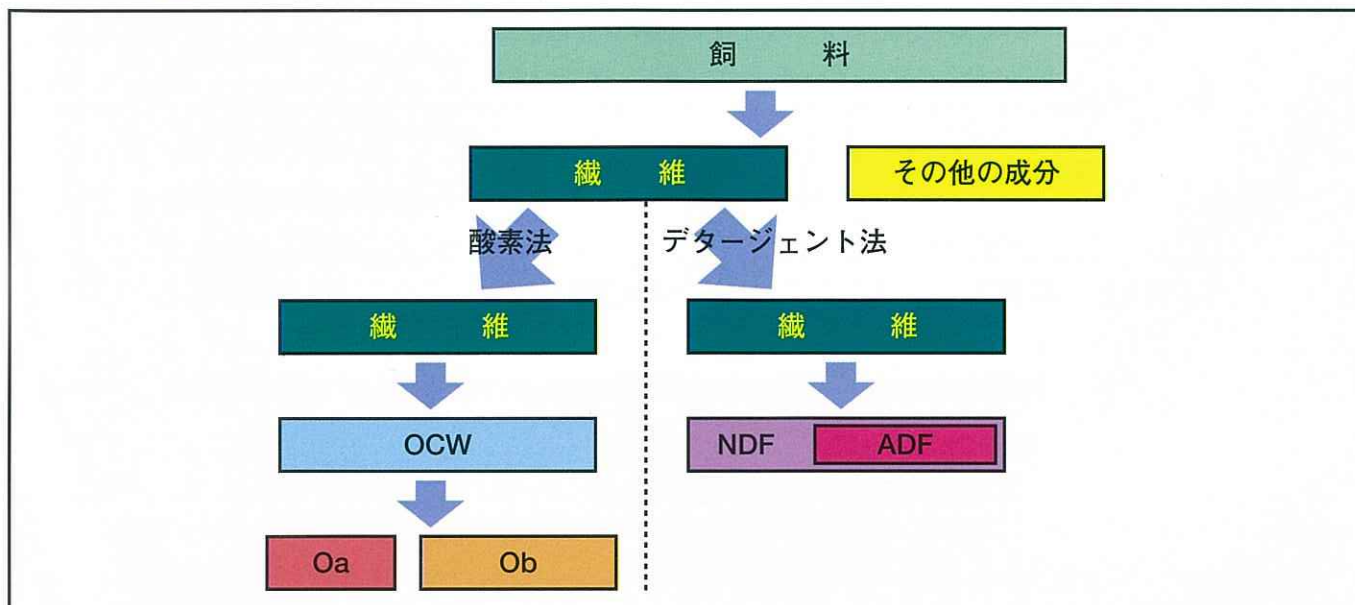


図2 繊維の分画

3.2 粗繊維、NDF及びOCWの関係

NDF、OCWは共に総繊維と呼ばれる。しかし、実際には、NDFとOCWの分析値に差が生じる。これは、分析法の違いによりNDFには蛋白質の一部が含まれ、OCWには構造的炭水化物の一部が含まれているためである。また、一般に、**NDFの値よりOCWの値の方が一般的に大きい**。以下に、粗繊維、NDF及びOCWの関係を図3に示し、表5にOCW及びNDFの分析値を示す。

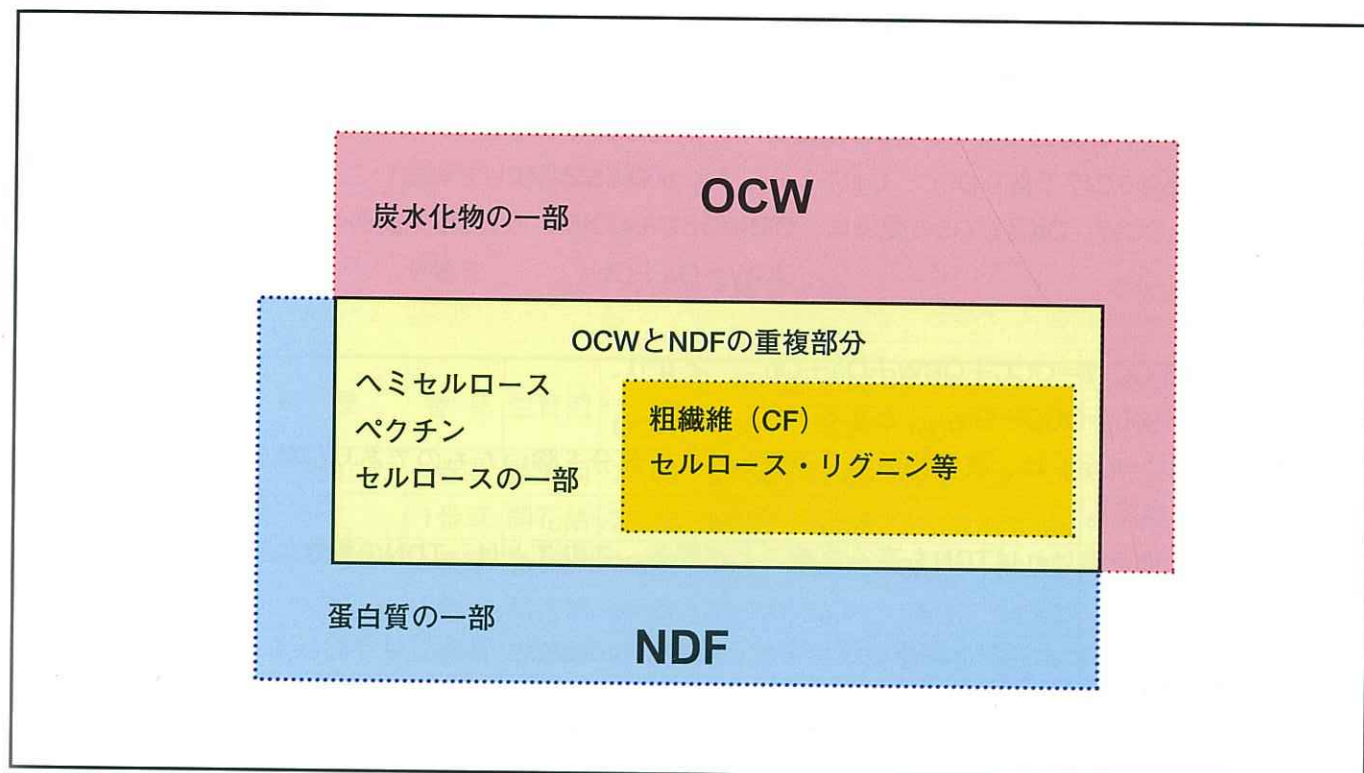


図3 粗繊維、OCW及びNDFの関係

表5 牧草によるOCWとNDFの違い

サイレージ（北海道）

（単位：乾物中％）

草 種	番草	生育期	OCW	NDF
アルファルファ	1番草	開花期	65.26	61.18
チモシー	1番草	開花始	76.18	71.68
チモシー	1番草	出穂前期	76.05	68.38
トウモロコシ		黄熟後期	44.37	41.98

3.3 繊維の重要性

繊維の質（可消化部分、非可消化部分等）を知ることは、重要なことである。
 理由は、「1 TDNによる評価」のTDNの推定式に、これらの繊維（OCW,Ob,NDF,ADF）が関与しているからである。TDNの推定式は、消化試験により求めたTDNを用いて、それに高い相関がある栄養素を選び出し重回帰分析を行い求めている。よって、**繊維はTDNと高い相関があると考えられている**。
 例えば、「1 TDNによる評価 ①自給飼料研究会」による“乾草牧草（イネ科）”のTDN推定式は、

$$TDN=0.674 \times (OCC+Oa) + 0.217 \times Ob + 18.53$$

であり、OCCは飼料中の有機物部分から繊維質を除いたもので消化の高い分画である。また、Oaは繊維質のうち消化されやすい分画である。Obは繊維質中、消化しにくい分画であり、OCCとOaは0.674を乗じられているが、Obは0.217でありOCC、Oaの3分に1しかTDNに関与していないことになる。

また、OCC、OCW、Oa及びObの関係は、 $OM=OCC+OCW$ (OM：飼料中の有機物)
 $OCW=Oa+Ob$ であり、

両辺と足すと

$$OM+OCW=OCC+OCW+Oa+Ob \quad \text{となり、}$$

$$OM-Ob=OCC+Oa \quad \text{となる。}$$

つまり、「OCC+Oa」は、有機物中から消化しにくい部分を除いたものであり、飼料中の消化の高い部分である（図4参照）。

よって、消化性が高ければTDNも高くなることが判る。このことは、TDNの推定には繊維の質が重要であることを示す。

（しかし、飼養家畜によって、繊維の質や含量を要求されるので、TDNだけで給与する飼料を決めるわけではない。）

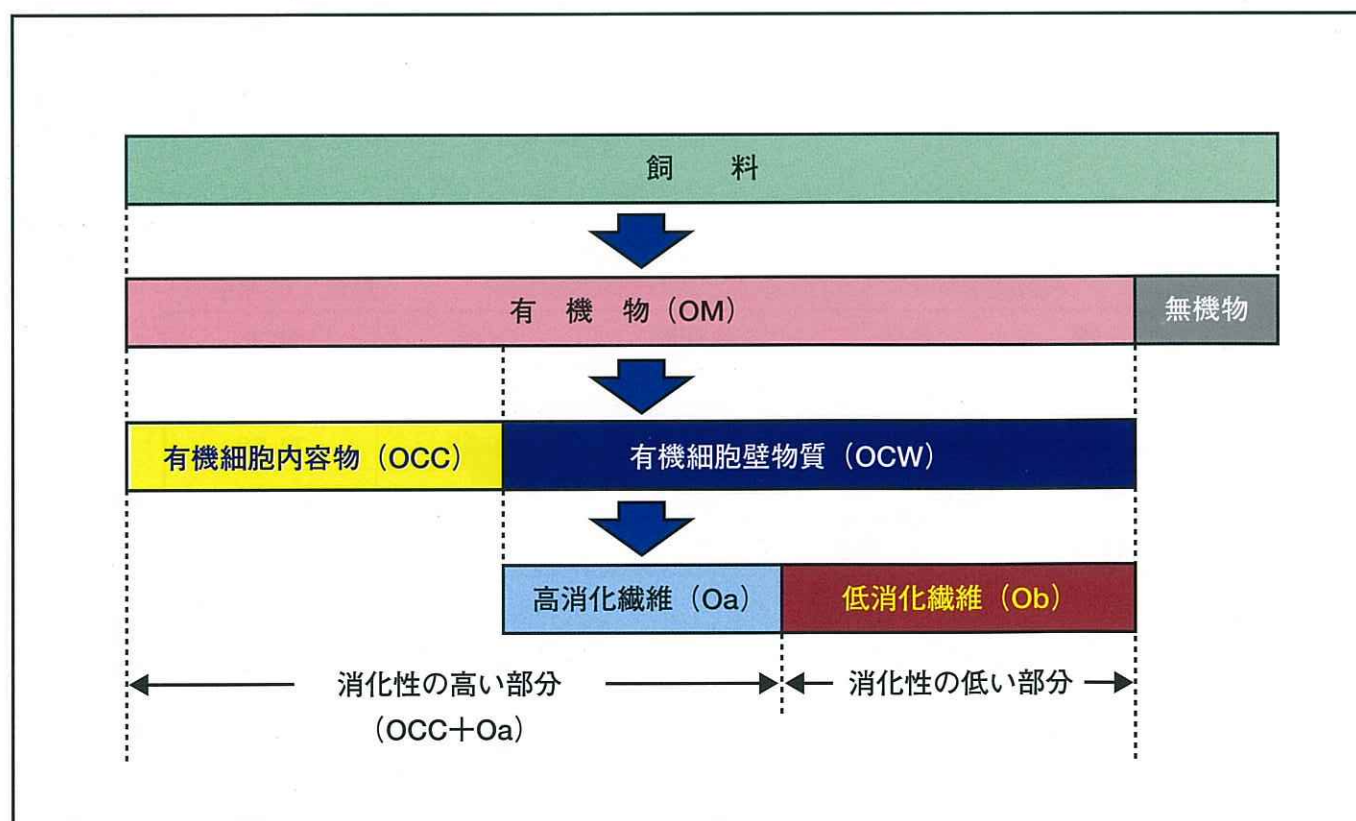


図4 飼料の消化部分

3.4 畜産試験場で作成された繊維成分間の換算式

イネ科	$NDF = 0.932 \times OCW + 3.4$ $ADF = 0.641 \times OCW - 3.5$ $CF = 0.789 \times ADF + 2.2$
アルファルファ	$NDF = 1.060 \times OCW - 10.4$ $ADF = 0.930 \times OCW - 11.0$ $CF = 0.893 \times ADF - 2.8$
トウモロコシサイレージ	$ADF = 0.601 \times OCW - 1.1$ $CF = 0.858 \times ADF - 1.1$
配合飼料	$NDF = 0.708 \times OCW + 2.9$

表6 分析値と換算式値

イネ科牧草

地域	調整方法	草種	番草	生育期	分析値(乾物%)					換算式からの値(乾物%)		
					OCW	Ob	ADF	NDF	CF	NDF	ADF	CF
北海道	乾草	イタリアンライグラス	1番草	結実期	72.49	69.48	41.66	62.21	31.17	70.96	42.97	35.07
北海道	サイレージ	チモシー	1番草	開花始	76.18	63.37	42.59	71.68	36.80	74.40	45.33	35.80
北海道	乾草	オーチャドグラス	1番草	伸長期	70.23	58.22	36.79	68.11	33.55	68.85	41.52	31.23
北海道	サイレージ	ヘレニアルライグラス	1番草	開花期	59.62	49.72	38.41	54.37	31.83	58.96	34.72	32.51
北海道	乾草	アルファルファ	1番草	着蕾期	65.26	50.75	36.10	61.18	33.71	64.22	38.33	30.68

アルファルファ

地域	調整方法	番草	生育期	分析値(乾物%)					換算式からの値(乾物%)		
				OCW	Ob	ADF	NDF	CF	NDF	ADF	CF
北海道	サイレージ	1番草	開花期	62.75	44.70	33.35	57.58	29.80	56.11	28.21	26.98
北海道	サイレージ	1番草	開花期	61.41	48.16	36.89	56.10	32.53	54.70	31.51	30.14
北海道	サイレージ	1番草	開花期	65.26	50.75	36.10	61.18	33.71	58.77	30.77	29.43
東北	乾草	1番草	開花期	66.59	52.54	40.78	60.23	35.15	60.19	35.13	33.62
東北	サイレージ	再生草	開花期	62.77	55.95	40.64	54.70	34.45	56.13	35.00	33.49

トウモロコシサイレージ

地域	生育期	分析値(乾物%)					換算式からの値(乾物%)	
		OCW	Ob	ADF	NDF	CF	ADF	CF
北海道	黄熟期	44.37	40.31	23.58	41.98	19.61	25.57	23.13
北海道	黄熟後期	43.89	40.90	24.33	42.99	19.94	25.28	23.78
東北	黄熟期	39.17	35.67	20.38	35.84	16.81	22.44	20.39
東北	黄熟期	44.37	38.64	22.09	44.76	18.47	25.57	21.85

4 蛋白質の分類

飼料中の蛋白質は、一般に反すう胃内で微生物態蛋白質に変換される。しかし、家畜の生産性が高くなると微生物態蛋白質だけでは蛋白質の要求量を満たすことができない。蛋白質要求量の不足は生産性の低下に直接結びつくことから、家畜が利用可能な蛋白質をいかに供給するかが重要なポイントになる。以上のことから、家畜が体の維持及び生産に利用できる**代謝蛋白質の概念**が欧米の飼養標準（NRC）で取り入れられるようになった。

そこで、粗蛋白質中の消化性に基づいた（一般的な）分画を示す（図5）。

4.1 代謝蛋白質の概念 家畜の摂取した蛋白質が生体内でどのような変化をし、生体に吸収又は排泄されるかを「蛋白質の消化性」に基づいて分類する考え方である。

*代謝とは「生体内の物質とエネルギーとの変化。外界から取り入れた物質をもとにした合成と分解とからなる物質の交代と、その物質の変化に伴って起こるエネルギーの生産や消費からなるエネルギー交代とが密接に結びついている。」（大辞林 第二版）

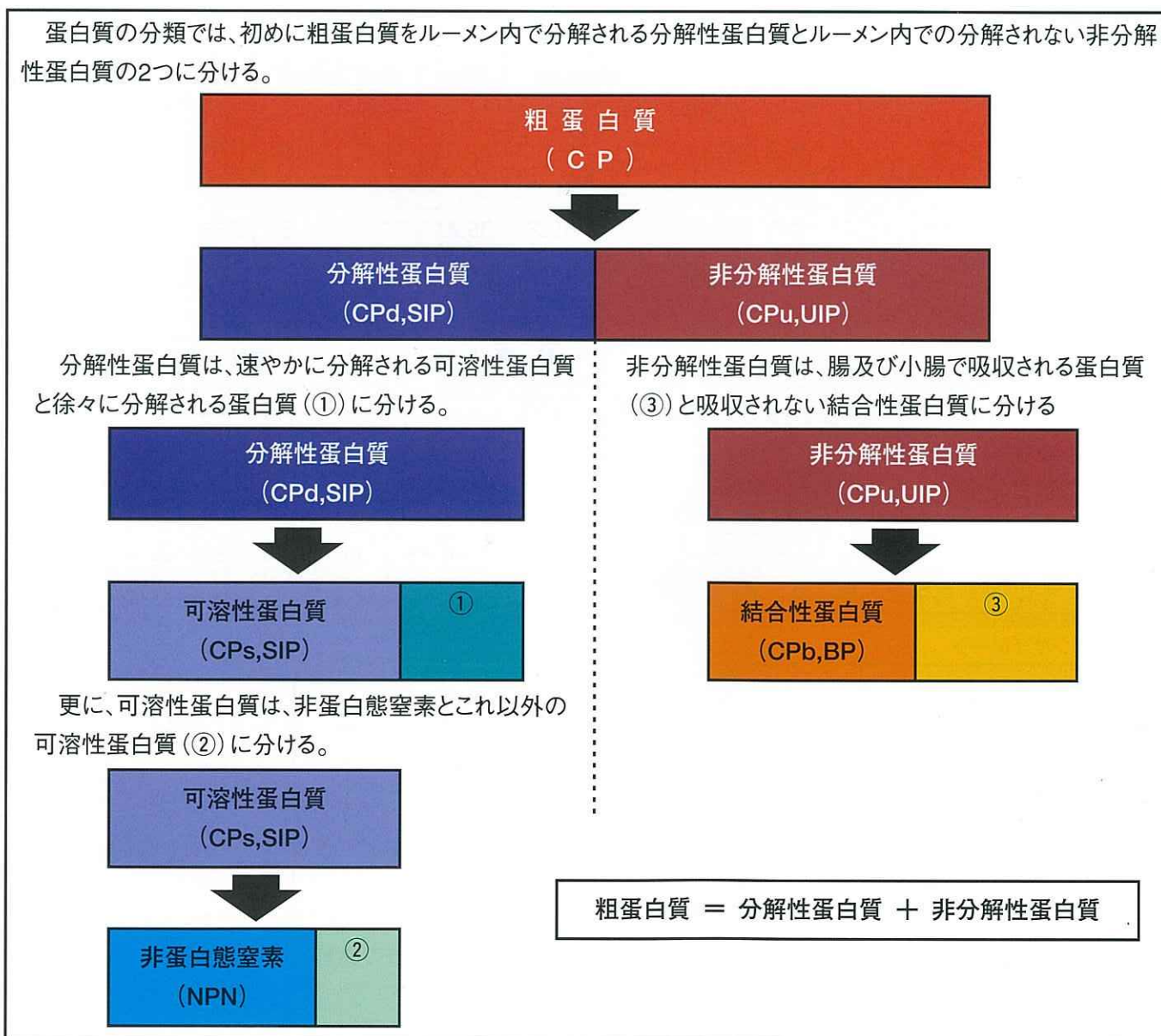


図5 蛋白質の消化性による分類

4.2 現在の蛋白質の分画方法

- ① ナイロンバック等をルーメンフィステルで第一胃内に入れ一定時間毎に分解率を測定する方法 (in Situ 法)
- ② 試験管等に取り出した第一胃内容物に飼料を入れ一定時間毎に分解率を測定する方法 (in vitro法)
- ③ CNCPSによる1) 非蛋白態窒素 (A区)、2) 可溶性蛋白質 (B1区)、3) 分解性蛋白質 (B2区)、4) 非分解性蛋白質 (B3区)、5) 結合性蛋白質 (C区) による方法

CNCPSとは、コーネル大学が中心となってニューヨーク州と共同開発した「飼養管理ソフト」である。

A 区：NPN (非蛋白態窒素)

B1 区：溶解性蛋白質 (SolP) からA区 (NPN) を減じた蛋白質

B2 区：中性デタージェント溶液可溶性蛋白質

B3 区：中性デタージェント溶液不溶性蛋白質、酸性デタージェント溶液可溶性蛋白質

C 区：酸性デタージェント不溶性蛋白質 (結合性蛋白質)

- ④ SPARTANによる1) 粗蛋白質 (CP)、2) 分解性蛋白質 (DIP)、3) 非分解性蛋白質 (UIP)、4) 溶解性蛋白質 (SolP)、5) 吸収蛋白質 (AbsP)、6) 結合性蛋白質 (BindP) による方法

SPARTANは、ミシガン州立大学とウィリアムマイナー農業研究所が共同開発した「飼養管理ソフト」である。国内で比較的利用されているものである。

5 サイレージの評価

5.1 サイレージ調製の目的

サイレージ調製とは「高水分の材料を変質させることなく長期間保存する」ため、酸素を遮断した状態で密封することにより好気性菌の増殖を抑えるとともに、選択的に乳酸菌の増殖を促進する事により（乳酸菌以外の）嫌気性菌の増殖を抑えることである。乳酸菌の選択的な増殖は、乳酸発酵に伴い乳酸が生成されてpHが低くなり、こうした環境が乳酸菌以外の嫌気性菌の増殖を抑えることにつながる。

したがって、乳酸濃度が高く、pHが低いことが、良質サイレージ発酵の指標といえる。

5.2 サイレージの乳酸発酵の条件

- ① 水分 乳酸菌による乳酸発酵には水分が必要であり、水分70%のときその活性はピークとなる。一方、サイレージ調製にとって不良発酵である酪酸発酵にも水分が必要であり、水分80%のときその活性はピークとなる。

このため、最もサイレージ調製に適した水分は、65～70%程度である。

- ② 可溶性炭水化物の含有量 乳酸発酵には、乳酸菌が活用できる可溶性炭水化物が必要である。このため、サイレージ原料には可溶性炭水化物が多い材料が適している。

トウモロコシのホールクロップサイレージが比較的容易に乳酸発酵するのは、その可溶性炭水化物の含有量が多いからである。

しかしながら、一般に牧草は可溶性炭水化物の含有量が少ない。また、牧草が含有する可溶性炭水化物には、次のような特徴があるのでサイレージ材料を選ぶとき注意する必要がある。

- 1) 1 番草に最も多く、2 番草に少ない。
- 2) イネ科に多く、マメ科に少ない。
- 3) 生育ステージが早いほど多い。

可溶性炭水化物の含有量が少ない牧草はできるだけ乾草に調製することが望ましいが、サイレージ調製を行わざるを得ない場合には、糖蜜などの可溶性炭水化物を添加する等の処置を行うことが必要である。

- ③ 乳酸菌濃度 あらかじめ、乳酸菌がサイレージ原料中にできるだけ多く生息していることが望ましい。一般に、乳酸菌はサイレージ原料となる植物の表面に相当程度付着しているので問題はないが、降雨時には一時的に流失する。

したがって、降雨時及びその後しばらくの間は、サイレージ調製を控えることが望ましいが、サイレージ調製を行わざるを得ない場合には乳酸菌の添加を行う必要がある。

- ④ 土壌の混入の回避 サイレージ調製に不都合な酪酸菌等は土壌中に生息している。このため、圃場での収穫作業中に土壌が混入すると酪酸発酵が生じて、サイレージの品質が低下することがある。

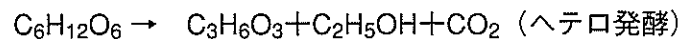
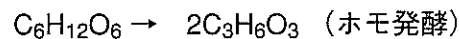
したがって、圃場における収穫作業時には、できるだけ土壌が混入しないように注意する必要がある。

- ⑤ 嫌気的状態の確保 酸素が存在する状況では、乳酸菌よりも好気性微生物の増殖が優先する。このため、詰め込みから密封に至るまでの作業は迅速に行い、できるだけ早期に嫌気的な状態にするとともに、その後嫌気的状況を長期間保持できるように適切な密封を行う必要がある。

<参 考>

【乳酸菌とは？】

- 定 義
- ① グラム陽性菌
 - ② 桿菌又は球菌（運動性がなく、胞子を作らない）
 - ③ 嫌気性（カタラーゼ反応が陰性）
 - ④ 発酵形式が



に従う。 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ：ブドウ糖 $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$ ：乳酸

生育の環境条件 温度条件：4℃以上、50℃以下

特に、乳酸菌そのものの生育に酸素の有無は関係しない。しかし、酸素の存在があると好気性細菌、カビ、酵母等が優勢に生育するため、乳酸菌を選択的に生育させるためには嫌气的条件にすることが必要である。

【グラム陽性菌】 グラム染色で染まる細菌の一群。細胞壁は一層でやや厚い。タンパク質性の菌毒を分泌するものがある。ブドウ球菌・ボツリヌス菌・枯草菌・乳酸菌など、約六〇属が含まれる（大辞林 第二版）。

【グラム染色】 グラム陽性菌の細菌の表面にはRNAのマグネシウム塩（グラム陽性物質）があり、クリスタル紫で染色してルゴール液を作用させるとレーキが形成される。一方、グラム陰性菌ではグラム陽性物質が欠けているために、レーキが形成されない。アセトンによる脱色・分別操作を行うと、グラム陽性菌は脱色されず、グラム陰性菌は脱色されてしまう。

【サイレージの発酵にに關与する主な乳酸菌】

Lactobacillus属・Leuconosioc属・Pediococcus属などがある。

5.3 サイレージの品質

サイレージの品質は、① 栄養価

② 発酵品質 によって、査定されている。

つまり、サイレージ原料の栄養が貯蔵によって損なわれることなく維持できているかということである。栄養価の評価は乾草等と同様であるので、ここでは、貯蔵状態（発酵品質）についての指標を記載する。

指標としては、① 官能法

② フリーク法

③ pH

④ 全窒素に対する揮発性塩基態窒素の割合（VBN/TN）

⑤ V-SCRE がある。

① 官能法

色沢、香味、触感などで判定する。

表7 官能によるサイレージの品質（畜産大辞典）

	良 質	劣 質
色	明るい黄緑～黄色	褐～暗褐色
臭	芳香～甘酸臭	酪酸臭～悪臭
味	快い酸味	不快な味
触感	サラサラした感じ	ネバネバした感じ
		組織が崩れやすい

表8 サイレージ品質の簡易な見分け方（経済連）

等 級	色 沢	香 り	触 感	給 与 限 界
A	明黄緑色	快甘酸臭	さらっとして清潔	多給してもよい
		芳香		
B	黄緑色	甘酸臭	やや粘性があるが清潔	多給してもよい
C	黄褐色	僅かにアンモニア臭	軽い粘性	搾乳牛には要注意
		カビ臭		育成牛用
D	褐色	アンモニア臭	粘性・発熱・ 発カビあり	搾乳牛には給与中止
		カビ臭		育成牛にも要注意

表9 牧草サイレージ品質判定基準(北海道農業試験会議)

判定項目		配点	段落					備考
			A	B	C	D	E	
原 材 料	刈取時期	40	(1番草) イネ科草 出穂 マメ科草 開花 (40)	出穂期 開花期 (30)	出穂前期 開花盛期 (20)	開花期 開花後期 (10)	結実期 結実期 (0)	混播牧草の場合には 主体牧草について判定 中間得点可
		40	(番草以降、生育日数) オーチャードグラス 30日以内 チモシー・マメ科草 40日以内 (40)	31～45日 41～55日 (30)	46～60日 56～70日 (20)	61～75日 71～85日 (10)	76日以上 86日以上 0	上と同じ
	マメ科 割 合	10	50～30% (10)	29～20% (8)	19～10% (6)	9～1% (3)	なし 0	
	葉部割合	5	葉部割合が高く、 茎太い (5)	(中間) (4)	葉部割合、茎の 太 さ 中 程 度 (3)	(中間) (3)	葉 部 割 合 低 く、茎 細 い (3)	
	堆・枯草 割 合	5	なし (5)	1～3% (4)	4～6% (3)	7～9% (2)	86%以上 0	簡易水分計などによる
発酵品質(高・中水分用、水分 65%以上)	水 分	10	65～70% (10)	71～75% (8)	76～80% (6)	81～85% (3)	5.1以上 (0)	
	p H	15	4.1以下 (15)	4.2 (14) 4.3 (12) 4.4 (10)	4.5 (8) 4.6 (6) 4.7 (4)	4.8 (3) 4.9 (2) 5.0 (1)	4.8 (3) 4.9 (2) 5.0 (1)	
	色 沢	5	明黄緑色 (5)	黄緑色 (4)	黄緑色なるも若干 干褐色を帯びる (3)	黄褐色 (2)	褐色 0	マメ科割合がAラン クの場合1～2点、加 点する
	香 味	5	快甘酸臭・芳香 (5)	甘酸臭 (4)	甘酸なるも若干 激 臭 ・ 不 (3)	僅かにアンモニ ア 臭 ・ か び (3)	アンモニア臭・ か び を 伴 う 0	
	解 感	5	さらっとして清潔 (5)	(中間) (5)	軽い粘性 (3)	(中間) (2)	粘 性 ・ 発 熱 ・ 発 か び あ り (2)	
発酵品質(低水分用、水分 65%以上)	水 分	10	64%～60% (10)	59%～55% (8)	54%～50% (6)	49%～45% (3)	44%以上 0	簡易水分計などによる
	色 沢	10	明黄緑色 (10)	黄緑色 (8)	黄緑色なるも若干 干褐色を帯びる (6)	黄褐色 (3)	褐色 0	マメ科割合がAラン クの場合1～2点、加 点する
	香 味	15	快甘酸臭・芳香 (15)	甘酸臭 (11)	甘 酸 な る も 若 干 刺 激 臭 (7)	僅かにアンモニ ア 臭 ・ か び (3)	アンモニア臭・ か び を 伴 う 0	中 間 得 点 可
	解 感	5	さらっとして清潔 (5)	(中間) (4)	軽い粘性 (3)	(中間) (2)	粘 性 ・ 発 熱 ・ 発 か び あ り 0	

注1) 飼料と認め難いサイレージは評価の対象にしない。

色 沢：くん炭化などにより褐黒色～黒褐色になったもの。

香 味：酪酸臭、アンモニア臭、たばこ臭、焦げ付き臭など不快臭が著しく口に入れ難いもの。

触 感：べたべたし、発熱、発かびの著しいもの。

その他：飼料として認め難いもの。

注2) 色沢は下記の色調表を参考にして判定

明黄緑色	黄緑色	黄緑色 若干褐色 を帯びる	黄褐色	褐 色	褐黒色

注3) 牧草サイレージの得点と各付は次のとおりとする。

格 付	A	B	C	D	E
原料草十発酵品質=合計得点	100~81	80~61	60~41	40~21	20以下

② フリーク法

乳酸、酢酸及び酪酸含有量を求め、各々の重量％を算出して、「表10 フリークの評点」から各々の点数を出し、それを加算して評価の点数とする。

$$\text{乳酸 (\%)} = \text{乳酸\%} / (\text{乳酸\%} + \text{酢酸\%} + \text{酪酸\%}) \times 100$$

$$\text{酢酸 (\%)} = \text{酢酸\%} / (\text{乳酸\%} + \text{酢酸\%} + \text{酪酸\%}) \times 100$$

$$\text{酪酸 (\%)} = \text{酪酸\%} / (\text{乳酸\%} + \text{酢酸\%} + \text{酪酸\%}) \times 100$$

乳酸％、酢酸％、酪酸％：分析により求めた値

乳酸（％）、酢酸（％）、酪酸（％）の値から下表により、各々の点数を出す。

表10 フリークの評点						重量比(%)	
1. 乳酸	点	2. 酢酸	点	3. 酪酸	点		
0.0 ~ 25.0	0	0.0 ~ 15.0	20	0.0 ~ 1.5	50		
25.1 ~ 27.5	1	15.1 ~ 17.5	19	1.6 ~ 3.0	30		
27.6 ~ 30.0	2	17.6 ~ 20.0	18	3.1 ~ 4.0	20		
30.1 ~ 32.0	3	20.1 ~ 22.0	17	4.1 ~ 6.0	15		
32.1 ~ 34.0	4	22.1 ~ 24.0	16	6.1 ~ 8.0	10		
34.1 ~ 36.0	5	24.1 ~ 25.4	15	8.1 ~ 10.0	9		
36.1 ~ 38.0	6	25.5 ~ 26.7	14	10.1 ~ 12.0	8		
38.1 ~ 40.0	7	26.8 ~ 28.0	13	12.1 ~ 14.0	7		
40.1 ~ 42.0	8	28.1 ~ 29.4	12	14.1 ~ 16.0	6		
42.1 ~ 44.0	9	29.5 ~ 30.7	11	16.1 ~ 17.0	5		
44.1 ~ 46.0	10	30.8 ~ 32.0	10	17.1 ~ 18.0	4		
46.1 ~ 48.0	11	32.1 ~ 33.4	9	18.1 ~ 19.0	3		
48.1 ~ 50.0	12	33.5 ~ 34.7	8	19.1 ~ 20.0	2		
50.1 ~ 52.0	13	34.8 ~ 36.0	7	20.1 ~ 30.0	0		
52.1 ~ 54.0	14	36.1 ~ 37.4	6	30.1 ~ 32.0	-1		
54.1 ~ 56.0	15	37.5 ~ 38.7	5	32.1 ~ 34.0	-2		
56.1 ~ 58.0	16	38.8 ~ 40.0	4	34.1 ~ 36.0	-3		
58.1 ~ 60.0	17	40.1 ~ 42.5	3	36.1 ~ 38.0	-4		
60.1 ~ 62.0	18	42.6 ~ 45.0	2	38.1 ~ 40.0	-5		
62.1 ~ 64.0	19	45.0 以上	0	40.0 以上	-10		
64.1 ~ 66.0	20						
66.1 ~ 67.0	21						
67.1 ~ 68.0	22						
68.1 ~ 69.0	23						
69.1 ~ 70.0	24						
70.1 ~ 71.2	25						
71.3 ~ 72.4	26						
72.5 ~ 73.7	27						
73.8 ~ 75.0	28						
75.0 以上	30						

フリーク法による評価の点数＝乳酸の点数＋酢酸の点数＋酪酸の点数

【各有機酸の測定方法】

「V 飼料分析 8 有機酸」による。

③ pH

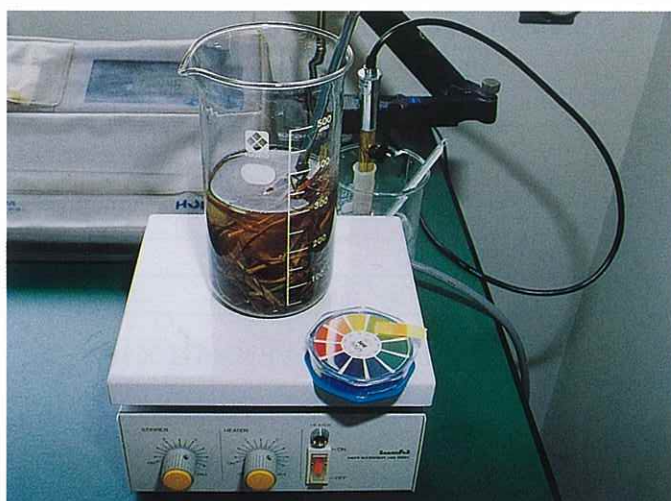
pHによる評価は、pH試験紙があれば誰にでも容易にできるので利用価値が高い。

良質サイレージのpHは、**牧 草** で、4.2以下

とうもろこしで、3.8以下である。

点数評価については、P27の「表9 牧草サイレージ品質判定基準（北海道農業試験会議）」を参照。

ところで、pHによるの評価基準は、低水分（50%以下）サイレージの指標とはならない場合が多い。この理由は、低水分サイレージは乳酸菌の選択的な増殖を積極的に促進するものではなく、乳酸菌のある程度の増殖で酪酸菌の増殖を抑えることができるからである。前述したとおり、サイレージにおけるの乳酸発酵のピークは水分含量70%のところにあり、水分の低下とともに乳酸発酵も低くなり、pHは高くなる。しかし、水分が低いと、酪酸菌の発酵も著しく低くなるため、比較的高いpHであっても不良発酵を招く菌を抑えサイレージの品質を保つことも可能である。このため、低水分（50%以下）サイレージに関してはpHが高水分サイレージに比べて高くても、品質が悪いとは言わず、ここで取り上げている評価方法を適用することはできない。



pH試験紙による測定



pHメーターによる測定

④ 全窒素に対する揮発性塩基態窒素の割合 (VBN/TN)

VBN及びTNを分析して〔VBN/TN×100〕を算出し、下表により、評価する。

VBNの大部分がアンモニアである。つまり、サイレージの全窒素量中のアンモニア態窒素比である。アンモニアは、サイレージ材料のもつ蛋白質を微生物等がアンモニアに変換するために生じる。アンモニア量が多くなるとpHを上げ、好気性細菌等の増殖を促進して、乳酸菌の活動が抑えられる。

表11 VBN／NTによる評価点数

	極 優	優	良	可	不 良	極不良
VBN/TN	8以下	8.1～12.5	12.6～15.0	15.1～17.5	17.6～20.0	20.1以上

【VBNの測定方法】

分析試料10 g を正確に量って500mLの共栓三角フラスコに入れ、水 200mLを加え、20分間振り混ぜて抽出した後、ろ紙（5種 A）でろ過して試料溶液とする。

以下、「V 飼料分析 4.2.3」に従って、操作を行い窒素〔N〕量を算出する。

【TNの測定方法】

「V 飼料分析 4.2 粗蛋白質」の操作に従って窒素〔N〕量を算出し、これをTNとする。

【計 算】

全窒素に対する揮発性塩基態窒素の割合 (VBN/TN) % = VBN／TN ×100

⑤ V-SCORE

V-SCOREは、サイレージに望ましくない物質の含有量等を下表12の Y_N 、 Y_A 、 Y_B を算出しそれを加算して、更に表13により評価する方法である。 Y_N 、 Y_A 、 Y_B はそれぞれの点数配分は(表12より)50、10、40点である。

Y_N は、「サイレージの全窒素中のアンモニア態窒素比」であり、サイレージの品質に大きく左右される部分であるので配分が高く、V-SCOREの50%を占めている。

Y_A は、酢酸及びプロピオン酸の存在はヘテロ乳酸発酵に由来する。ヘテロ乳酸発酵はホモ乳酸発酵よりも乳酸生成効率が劣るが、酢酸及びプロピオン酸はサイレージにプラスの要因として働く。しかし、特に重要ではないので配分が低い。

Y_B は、酪酸以上の揮発性脂肪酸であり、サイレージの発酵品質に影響することから配分が高い。

V-SCORE値は、揮発性塩基態窒素の含有量が低く、酪酸以上の揮発性脂肪酸含有量が低いものが良質と判定される。V-SCOREの評価は、高水分から低水分サイレージに用いることができるものとされている。

表12 V-SCOREによる点数配分計算式(現物中)

X_N (VBN/TN (%) 値)	5以下	5~10	10~20	20~
Y_N 値	50	$60-2X_N$	$80-4X_N$	0

X_A (酢酸+プロピオン酸含量)	0.2以下	0.2~1.5	1.5~
Y_A 値	10	$(150-100X_A) / 13$	0

X_B (酪酸以上のVFA含量)	0	0~0.5	0.5~
Y_B 値	40	$40-80X_B$	0

上表12より、

$$V-SCORE = Y_N + Y_A + Y_B$$

により「V-SCORE」値を算出して、下表13により評価する。

表13 V-SCOREによる評価点数

	良	可	不良
V-SCORE	80以上	60~80	60以下

<V-SCORE算出例>

VBN/TN (%) が7.8%、酢酸+プロピオン酸含量が0.1%、酪酸以上のVFA含量が0.1%の場合
表12の X_N が7.8、 X_A が0.1、 X_B が0.1であるので、

$$Y_N = 60 - 2 \times 7.8 = 44.4$$

$$Y_A = 10$$

$$Y_B = 40 - 80 \times 0.1 = 32$$

$$V-SCORE = Y_N + Y_A + Y_B = 44.4 + 10 + 32 = 86.4 \quad \text{となって、評価は「不良」となる。}$$

【VBN/TNの測定方法】

「④ 全窒素に対する揮発性塩基態窒素の割合（VBN/TN）」による。

【各有機酸の測定方法】

「V 飼料分析 8 有機酸」による。

* 低水分サイレージの評価方法は、確率されていないが、「V-SCRE」はVBN/TN、[酢酸＋プロピオン酸]、**酪酸以上の有機酸**含量を考慮して評価するので、①～⑤の評価方法の中で一番適していると言える。

【酪酸以上の有機酸】有機酸（又はカルボン酸という）とは、カルボキシル基（COOH）をもつものである。

例）ぎ酸： HCOOH 、酢酸： CH_3COOH 、プロピオン酸： $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$ 、酪酸： $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$ 、
吉草酸： $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$ 、カプロン酸： $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$ など、

「酪酸以上の有機酸」とは、組成式中のCの数が酪酸より沢山あるカルボン酸のことである。

5.4 サイレージ関にすること

5.4.1 二次発酵とは？

サイレージ中には、多種多様な微生物が棲息しており、開封時等の空気の混入によりサイレージが劣化することである。

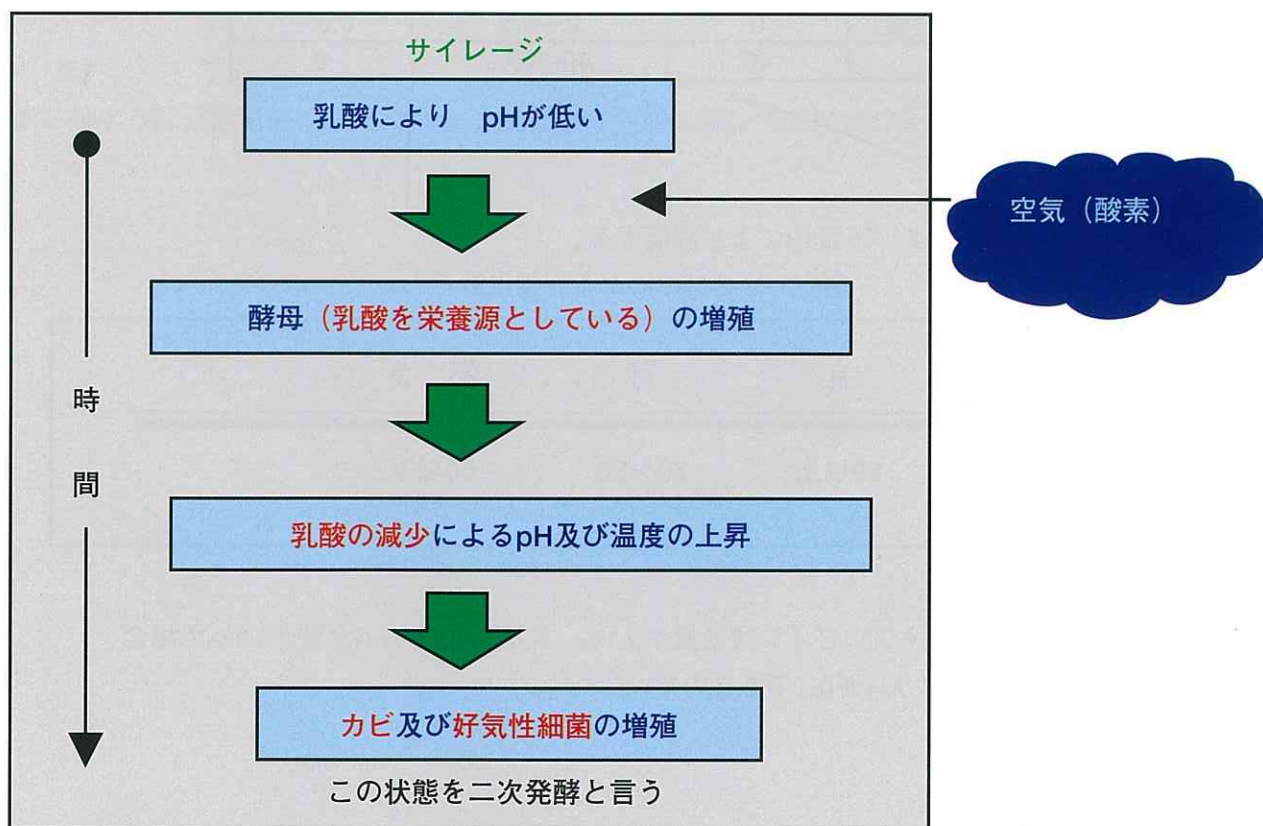


図6 二次発酵のプロセス

5.4.2 添加剤について

【糖・糖蜜】 乳酸菌の生育のためには栄養源の存在が不可欠である。

栄養源が不足している材料を用いてサイレージ調製を行うには、糖蜜等の可溶性炭水化物の添加が不可欠となる。添加量は、現物中最低でも2%以上になるように添加する。

【乳酸菌】 サイレージ調製に用する乳酸菌は、植物の表面に付着しているが、降雨時には乳酸菌が洗い流されて、このままの状態でも乳酸発酵が望めない場合がある。このようなときは、乳酸菌を添加することが必要である。

【ぎ 酸】 様々な要因から乳酸菌以外の微生物の活性が優性に働く場合がある。このようなとき、乳酸菌のみが選択的に活性することができる強酸性状態にするため、ぎ酸を添加してpHを極力低くすることが必要である。

効果は、pHの低下、蛋白質の分解を抑える、雑菌（酵母、好気性細菌等）の抑制であり、結果的に「乳酸菌の選択的な増殖」に繋がる

一般的な添加量は、0.2～0.5%（現物中）である。

【酵素剤（セルラーゼ）】 乳酸菌の栄養が不足している場合、前述のように、栄養源を添加する必要があるが、酵素剤を添加することにより材料中のセルロース等分解して、栄養源とする場合がある。添加量は現物中0.02%程度で効果がある。

6 牧草の相対的飼料価値評価（RFV）

欧米では、乾草の流通（商取引等）をする際、その牧草の評価をRFVで行っている。
これは、ADFからの可消化乾物量（DDM）の推定値とNDFからの（体重当たり）乾物摂取量（DMI）の推定値から算出する。

$$\text{DDM}(\%) = 88.9 - 0.779 \times \text{ADF}(\text{乾物中}\%)$$

$$\text{DMI}(\%) = 120 / \text{NDF}(\text{乾物中}\%)$$

$$\text{RFV} = \text{DDM} \times \text{DMI} / 1.29$$

RFVの評価基準を下表13に示します。

表13 RFVによる評価

RFV	評価
151以上	最優
125～150	優
103～125	良
87～103	可
75～87	低い
75以下	低すぎる

下表14は、分析結果を基にRFVを算出した結果である。

表14 牧草の生育にともなうRFVの変化

チモシー（北海道）乾草・1番草 (単位：乾物中%)

生育期	ADF	NDF	DDM	DMI	RFV
出穂前	37.54	69.88	59.66	1.72	79.42
出穂期	39.28	71.26	58.30	1.68	76.11
開花期	39.06	76.42	58.47	1.57	71.17
結実期	39.69	77.78	57.98	1.54	69.34

イタリアンライグラス（九州）サイレージ・1番草 (単位：乾物中%)

生育期	ADF	NDF	DDM	DM	RFV
出穂始	35.05	58.29	61.60	2.06	98.30
出穂期	36.13	65.59	60.75	1.83	86.17

イタリアンライグラス（本州）サイレージ・1番草 (単位：乾物中%)

生育期	ADF	NDF	DDM	DMI	RFV
開花前	36.03	60.77	60.83	1.97	93.12
開花期	36.53	63.48	60.44	1.89	88.58
結実期	42.51	66.93	55.78	1.79	77.53

7 その他

飼料分析値から簡単に推論（下表15～17）できること。

（分析値は飼養管理上の目安であるので、ここに記載していない成分についても、飼養標準等を参考に家畜に過不足なく給与することが必要である。）

7.1 乾草

表15 乾草の評価

分析項目		分析値	内容
水分		20%以上	カビの発生に注意
TDN	イネ科	55%以下	エネルギーが低い
	マメ科	50%以下	
CP		8%以下	蛋白含量が低い
OCW		70%以上	繊維質が多い
Ca		0.2%以下	カルシウムが低い

7.2 牧草サイレージ

表16 牧草サイレージの評価

分析項目		分析値	内容
水分		80%以上	変敗に注意
		40%以下	2次発酵に注意
TDN	イネ科	55%以下	エネルギーが低い
	マメ科	50%以下	
CP		8%以下	蛋白含量が低い
OCW		70%以上	繊維質が多い
Ca		0.2%以下	カルシウムが低い

7.3 とうもろこしサイレージ

表17 とうもろこしサイレージの評価

分析項目		分析値	内容
水分		80%以上	変敗に注意
		65%以下	2次発酵に注意
TDN		62%以下	エネルギーが低い
Ca		0.1%以下	カルシウムが低い