

aNDFom, ADFom および ADL 連続分析の有用性

甘利雅弘・田島清・大森英之¹

農研機構畜産研究部門 家畜代謝栄養研究領域, つくば市, 305-0901

¹農林水産省農林水産技術会議事務局, 東京, 100-8950

要 約

反芻家畜において、粗飼料中の繊維成分は重要な栄養素であり、それらの飼料成分としてデタージェント分析法（常法）による中性デタージェント繊維（aNDFom）、酸性デタージェント繊維（ADFom）および酸性デタージェントリグニン（ADL）が世界的に広く利用されている。ADFom は結晶性セルロースとリグニンを示す指標とされているが、飼料中のペクチン質が含まれているため過大に評価されている。ADFom をより正確な飼料評価の指標とするため、aNDFom, ADFom および ADL を連続して分析（連続分析）し、その有用性について検討した。供試試料は、オーチャードグラス混播乾草（OG）、アルファルファ乾草（ALF）、アルファルファヘイキューブ（Cube）、牧草サイレージ（GS）、とうもろこしサイレージ（CS）、ソルガムサイレージ（SORS）、稲発酵粗飼料（稲 WCS）、大麦ホールクロップ（BWC）であった。aNDFom および ADL では、常法と連続分析との分析値の差は、それぞれ -1.5 ~ 1.3 パーセントポイント（% P）、-0.2 ~ 0.1% P であり、大きな差は認められず、連続分析による分析値は、常法の aNDFom および ADL と同等に扱うことができるものと考えられた。常法による ADFom 分析値と連続法による ADFom 分析値（n-ADFom）では、すべての飼料種で n-ADFom が低い値を示した。Cube および稲 WCS では、7.4% P の差がみられ、他の飼料でも 2.2 ~ 4.0% P の差が認められた。これはペクチン質が酸性デタージェント溶液（AD 溶液）による加熱処理過程で過し難い物質の生成に寄与しているものと推察され、ADFom を過大に評価していることになる。また、飼料中の総繊維量を可消化部分と難消化部分とに分類する観点からも aNDFom 中の n-ADFom とヘミセルロースに分類する方が理論的に適切であり、連続分析による n-ADFom は総繊維中の難消化性繊維質を示す飼料の消化特性や栄養評価に有効な指標となりうるものと考えられた。

キーワード：デタージェント分析, aNDFom, n-ADFom, ADL, 連続分析

緒 言

乳牛の飼養管理においては、その能力を最大限に引き出して安定的な乳生産を図るため、成長や生産量に応じた栄養要求量の適正給与が必要である。また、酪農経営での生産費の 50% を超える飼料費¹⁰⁾の節減は経営の安定・強化を図る上で重要な課題である。特に、飼料価格が高騰している近年では、飼料の合理的な給与に向けた取り組みはさらに重要性を増している。反芻家畜に給与する粗飼料を有効利用するためには、飼料成分含量を正

確に把握する必要がある。反芻家畜において、粗飼料中の繊維成分は重要な栄養素であり、刈り取りステージや調製方法等により変動幅が大きい。飼料中の繊維成分の評価手法としてデタージェント分析法^{11,12)}による中性デタージェント繊維（aNDFom）、酸性デタージェント繊維（ADFom）および酸性デタージェントリグニン（ADL）、並びに酵素分析法²⁾による総繊維（OCW）、低消化性繊維（Ob）等が提案され利用されてきている。近年では、aNDFom, ADFom および ADL が飼料の栄養評価および給与診断の指標として世界的に広く利用され

てきている。

デタージェント分析法は、それまで飼料の繊維質の指標として使われてきた粗繊維の持つ欠陥を補い、反芻家畜の消化性をより適切に評価するため、1963年にVan SOEST^{11,12)}によって提案された。以後、NDFは α -アミラーゼの前処理または耐熱性 α -アミラーゼ添加によるデンプン質除去⁷⁾、たんぱく質除去のための亜硫酸ナトリウム添加の有無¹⁷⁾および灰分補正¹⁸⁾などの改良が加えられ、現行のaNDFomで利用されることが一般的となった。

一方、ADFomは、試料を酸処理することで総繊維中の易消化性のヘミセルロース部分を除去し、結晶性セルロースとリグニンを示す指標とされているが、飼料の種類によってNDFomよりADFomの分析値の方が大きくなるなどの事例^{8,9)}がみられる。本来、飼料中の総繊維量として定義されるNDFom中の結晶性セルロースとリグニンがADFomであることから、明らかに矛盾することであり、適正な分析値として評価されていないと考えられる。その原因は、飼料中のペクチン質の存在によるものとされている^{3,9)}。野菜類や果実粕等では顕著な差がみられ、牧草類等の粗飼料でもペクチン質に由来する差が認められる報告³⁾がある。さらに、この解決策として、中性デタージェント溶液(ND溶液)処理残渣についてADFom分析(n-ADFom)を実施する方法が提案³⁾されている。飼料中のペクチン質は易消化性物質でありADFom中に含まれていることは結晶性セルロースとリグニンを示すADFomが過大に評価されていることになる。また、ADFomは粗繊維のように単独で分析する手法が使われているが、総繊維中の結晶性セルロースとリグニンとして評価するためには、NDFom中のADFomを定量する方が理論的にも適合した方法であり、ADFomの過大評価の問題も解決できるものと考えられる。また、最近では、自動化された繊維分析装置が普及し、硫酸を含むAD溶液を取り扱う上で安全な操作でaNDFom, n-ADFom, ADLを連続して分析することが可能になった。

そこでaNDFom, n-ADFom, ADLを連続分析で定量し、ペクチン質を除去した定量値を従来の方法で定量した分析値と比較し、デタージェント分析法の連続法による分析値の飼料評価への有用性を検討した。

材料と方法

1. 供試試料

供試試料は、オーチャードグラス混播乾草(アキミド

り、1番草、出穂期、OG)、アルファルファ乾草(2番草、開花前期ALF)、市販のアルファルファハイキューブ(Cube)、牧草サイレージ(イタリアンライグラス、いなずま、GS)、とうもろこしサイレージ(デントコーン、黄熟後期、CS)、ソルガムサイレージ(糊熟期、SORS)、稲発酵粗飼料(夢あおば、稲WCS)、大麦ホールクロップ(シュンライ、BWC)であった。供試試料は熱乾法により60℃で18時間乾燥させ、室温で1日間放置した後、1mmのメッシュを通過する粒度で粉碎し、飼料分析に供した。

2. 飼料成分分析

飼料成分分析は、一般分析法⁶⁾による水分、デタージェント分析法^{7,11,12)}に基づくaNDFomおよびADFomとADLを分析する方法(常法)であり、それらに加えてNDF処理残渣をAD溶液で煮沸し、それ以降は常法に準じた分析操作でn-ADFom, ADLを連続させて定量した。これらのデタージェント分析には、同一の試薬を用い、アクタックファイバーテスト(VELP SCIENTIFICA FIWE6)を用いて定量した。得られた各成分値について、それらの差を比較することにより検討した。本試験において、デタージェント分析に供した試料量は、a-NDFomの分析法⁷⁾に従い0.5gとした。aNDFom, n-ADFom, ADLを連続で分析する手順を図1に示した。

結果と考察

供試試料について、それぞれのデタージェント分析法で分析した結果を表1に示した。aNDFomでは、常法と連続法の分析値は-1.5~1.3%Pの差が認められた。常法と連続分析におけるaNDFom分析値では、異なる要因が補正する灰分量の違いによるもののみであり、それらの違いが反映されていると考えられる。ALF, Cubeではそれぞれ1.3, 1.1%Pと連続法が大きい値を示したが、CS, 稲WCSは、それぞれ-1.5, -1.4%Pと連続法が小さい値を示した。OG, GS, SORSでも灰分補正量が少ないにもかかわらず連続法の方が低い値を示した。aNDFomにおける常法での灰分量と連続法でのADL中の灰分量との差は、0.5~3.6mgであり、0.5gのサンプル量に対し0.1~0.7%の範囲にあり、通常分析で二反復分析の相対誤差を $\pm 5\%$ の範囲で許容していることを考えると、これらの分析誤差は軽微な差であると考えられる。

このことから連続法によるaNDFomにおいて、ADL

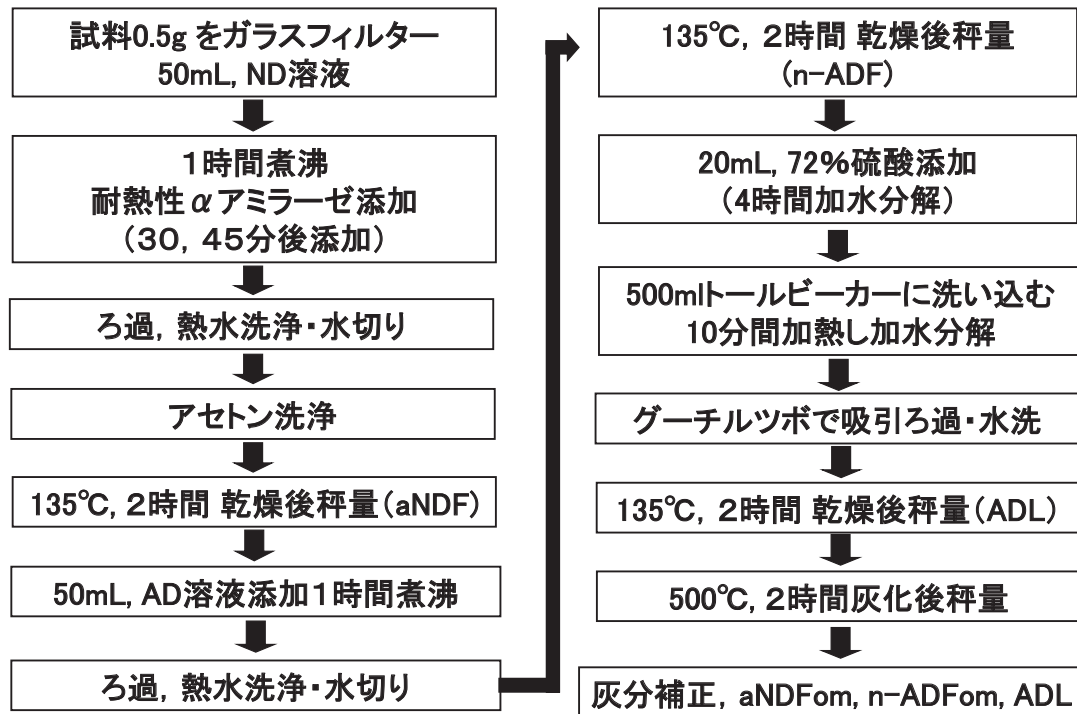


図 1. aNDFom, n-ADFom, ADL の連続分析の手順

表 1. 各種飼料のデタージェント分析による飼料成分

	aNDFom			ADFom				ADL		
	常法	連続法	差	常法	連続法	差	相対比	常法	連続法	差
OG	59.3	59.2	-0.1	38.9	36.4	-2.5	6.7	4.0	3.9	-0.1
ALF	42.1	43.2	1.1	33.2	31.0	-2.2	7.1	7.2	7.3	0.1
Cube	33.8	35.1	1.3	32.8	25.4	-7.4	29.4	6.0	5.8	-0.2
GS	53.9	53.1	-0.8	32.5	29.7	-2.8	9.4	2.8	2.9	0.1
CS	51.0	49.5	-1.5	32.5	29.7	-2.8	9.4	3.5	3.5	0.0
稲 WCS	38.4	37.3	-1.1	29.8	22.4	-7.4	32.7	4.2	4.2	0.0
SORS	64.1	63.4	-0.7	42.1	38.1	-4.0	10.5	4.2	4.1	-0.1
BWC	56.4	56.5	0.1	28.9	26.6	-2.3	8.3	2.8	2.8	0.0

aNDFom：中性デタージェント繊維，ADFom：酸性デタージェント繊維，ADL：酸性デタージェントリグニン，OG：オーチャードグラス混播乾草，ALF：アルファルファ乾草，Cube：アルファルファヘイキューブ，GS：牧草サイレージ，CS：トウモロコシサイレージ，稲 WCS：稲発酵粗飼料，SORS：ソルガムサイレージ，BWC：大麦ホールクロップ

中の粗灰分を代用することは、今回の結果をみる限り各種飼料における aNDFom 分析値に大きな影響を与えるものではなく常法の aNDFom と同等に扱うことができるものと考えられる。なお、ADL の分析を行わず n-ADFom のみの分析では、aNDFom 分析値は、n-ADFom 分析における灰分量が ADL における灰分量を下回ることがないことから、n-ADFom 分析の灰分量を用いて補正し、aNDFom 分析値として用いることも可能と考えられる。

ADFom における常法と連続法との分析値では、すべ

での飼料の種類で連続法の方が低い値を示した。Cube および稲 WCS ではどちらも 7.4% P と大きな差がみられ、他の飼料でも 2.2 ~ 4.0% P の差が認められた。これは、常法における ADFom 分析値の中にコロイド状多糖類を主要画分とするペクチン質が含まれているためである^{4,5)}。この結果から Cube および稲 WCS は、他の粗飼料よりペクチン質を多く含有することが示された。アルファルファはイネ科牧草に比べペクチン質が多く含まれる報告³⁾があり、Cube にも多く含まれることが本試験の結果からも確認できた。なお、ALF は 2 番草の

開花前期のものであったためペクチン質含量が低かったものと考えられた。稲 WCS は本試験の結果からペクチン質含量が高いものと推察されるが、今後、分析データを集積して明らかにしていく必要がある。これらペクチン質は、糖と酸の存在下でゼリー状になる性質を持つが、ペクチン質の多糖体はその構造が複雑でその定量法も確立されていないことから含有量を示すことができ得ないが、ペクチン質が AD 溶液による加熱処理過程でろ過し難い物質の生成に寄与しているものと推察され、ADFom 中に残留し過大にその含量を評価してしまうものと考えられる。一方、連続処理では aNDFom 分析の過程で ND 溶液による煮沸処理によりペクチン質が流出し、ADFom 分析に影響を及ぼさないことから結晶性セルロースとリグニンのより真値に近い分析値が得られるものと考えられる。ADFom 分析値に対する n-ADFom 分析値との比率についてみると OG, ALF, BWC, CS, SORS では 6.7 ~ 10.5%, Cube, 稲 WCS はそれぞれ 29.4, 32.7% の違いが認められ、飼料の種類によっては ADFom を大きく過大評価することになり、飼料の栄養的な価値を過小評価してしまうことになる。また、反芻家畜における繊維成分の消化性区分をよりの確に表示するために提案され、粗繊維と可溶無窒素物との化学的な不合理を解決するために、粗繊維分析から派生した ADFom 分析法であるが、飼料中の総繊維量を可消化部分であるヘミセルロースと結晶性セルロースとリグニンとに分類するためにも aNDFom と n-ADFom との差をヘミセルロースとする方がよりの確に飼料の栄養価を示す指標として利用できるものと期待される。特に、野菜残渣、果実粕および食品残渣等のペクチン質が多く含まれると考えられる飼料、並びに ADFom 分析値が aNDFom 分析値より大きい値を示す飼料では、連続法による n-ADFom 分析が推奨される。

ADL については、常法と連続法との分析値の差は、すべての飼料で -0.1 ~ 0.2% P の範囲にあり、aNDFom の場合と同様に、常法の分析値と同等に扱えるものと考えられた。

先に述べたように aNDFom 並びに ADFom が持つ飼料中の総繊維、総繊維中の結晶性セルロースとリグニンという観点からその差をヘミセルロースとするならば、aNDFom 残渣について ADFom 分析する n-ADFom は、理論的には適切な方法と言える。今回の分析結果が示すように ADFom と n-ADFom 分析値との間には大きな差が認められることから、n-ADFom 分析値を従来の ADFom 分析値と同一に扱うことはできない。したがって、n-ADFom 分析値を使用する際には、これら画分の

化学的な性質を理解し、分析法を明記した上で用いるべきであると考え。今後、n-ADF 分画の栄養学的な意義を家畜試験等によりその有効性を検証し、データ蓄積を図っていく必要があると考える。

引用文献

- 1) 阿部亮 (1988). 炭水化物を中心とした飼料分析法とその飼料栄養価評価法への応用, 畜産試験場研究資料, 2.
- 2) 阿部亮・堀井聡 (1979). 細胞壁物質の定量における中性デタージェント法と酵素分析法との比較, 日本草地学会誌, 25, 70-75.
- 3) 甘利雅弘・永西修・寺田文典・野中和久 (2009). 野菜におけるデタージェント分析法適用上の問題点, 畜産草地研究所研究報告, 10, 9-13
- 4) 浅岡久俊 (1986). 化学セミナー 14 糖質, 丸善株式会社, 東京, 149-151.
- 5) Cassida, K.A., Turner, K.E., Foster, J.G. and Hesterman, O.B. (2007). Comparison of detergent fiber analysis methods for forages high in pectin, *Anim. Feed Sci. & Tech.*, 135, 283-295.
- 6) 石橋晃監修 (2001). 動物栄養試験法, 養賢堂, 東京, 642p.
- 7) 自給飼料利用研究会編 (2008). 粗飼料の品質評価ガイドブック, 三訂版, 社団法人日本草地畜産種子協会, 東京, 195p.
- 8) 梶川博 (1998). 乳牛用飼料における有効繊維とは, ルーメン 5, デーリイ・ジャパン, 東京, 74.
- 9) 野中和久・名久井忠・篠田満 (1994). ニンジンサイレージの調製と飼料価値, 北海道農業試験場研究報告, 159, 73-85.
- 10) 農林水産省大臣官房統計部 (2016). 農業経営統計調査 平成 27 年度牛乳生産費 (全国), http://www.maff.go.jp/j/tokei/sokuhou/noukei/seisanhi_tikusan/gyunyu/h27/index.html [2016 年 9 月 15 日参照].
- 11) Van Soest, P.J. (1963). Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. I. Preparation of fiber residues of low nitrogen contents, *J. Assoc. Off. Anal. Chem.*, 46, 825-829.
- 12) Van Soest, P.J. (1963). Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. IV. Determination of Plant cell wall constituents, *J. Assoc. Off. Anal. Chem.*, 50, 50-55.

The Utility of the Continuous Method of aNDFom, ADFom and ADL

Masahiro AMARI, Kiyoshi TAJIMA and Hideyuki OHMORI¹

Division of Animal Metabolism and Nutrition,
Institute of Livestock and Grassland Science, NARO,
Tsukuba, 305-0901 Japan

¹Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council,
Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries,
Tokyo, 100-8950 Japan

Summary

A fibrous contents included in the forage is important nutriment in ruminant, and neutral detergent fiber (aNDFom), acid detergent fiber (ADFom) and acid detergent lignin (ADL) by a conventional method are used worldwide for evaluation of the nutritive value of a forage. However, ADFom content is overestimated by the existence of pectin in some forage. To solve this problem, we developed new method (continuous method) to determine aNDFom, ADFom (n-ADFom) and ADL content. The samples of Orchard grass mixed hay (OG), alfalfa hay (ALF), alfalfa hay cube (Cube), a grass silage (GS), a corn silage (CS), a sorghum silage (SORS), forage paddy rice silage (RWCS) and a barley whole crop (BWC) was examined in this study. The differences analytical amount of aNDFom and ADL contents between conventional and the continuous method were -1.5–1.3 percent point (%P) and -0.2–0.1 %P, respectively. Thus aNDFom and ADL contents by continuous method were mostly equal to that by onventional method.

The n-ADFom content showed lower than the ADFom content by conventional method in all forage. The differences between ADFom and n-ADFom were 7.4 %P in Cube and RWCS, and 2.2–4.0 %P in other forage. It is thought that the pectin in forage contributes to the generation of substance that is difficult to filter at the heating treatment process by the acid detergent solution. ADFom will be estimated excessively. This will be also to underestimate the nutritious value of the feed.

From the point of view that shares total fiber into digestible and indigestible fiber in forage, it is theoretically appropriate to separate aNDFom to n-ADFom and hemicellulose. It is considered that n-ADFom can be an effective index for the evaluation of the digestibility and the nutritive value of forage.

Key words: detergent analysis, aNDFom, n-ADFom, ADL, continuous method