

ヌカ類および製造粕類におけるデタージェント連続分析の有用性

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

酸性デタージェント繊維 (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、大豆粕、フスマ、脱脂米ヌカ、ビートパルプ、ビール粕、豆腐粕であった。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 -0.5 ~ 0.8 パーセントポイント (% P), -0.3 ~ 0.0% 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。ビール粕および豆腐粕では、それぞれ 4.6, 4.3% P の差がみられ、他の飼料でも 1.9 ~ 3.2% P の差が認められた。また、製造粕類は ADFom 中に残留する粗タンパク質 (CP) を多く含むものもあり、残留 CP を除外し補正した ADFom, n-ADFom についても比較した。残留 CP を補正した ADFom と n-ADFom の差は、ビール粕および豆腐粕が、それぞれ 3.0, 3.6% P であり、他の飼料は 1.1 ~ 2.8% P の差が認められた。このことから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ろ過し難い物質の生成に寄与し、ADFom を過大に評価していることが明らかとなり、連続分析による n-ADFom は総繊維中の結晶性セルロースとリグニン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 : aNDFom, n-ADFom, 連続分析, ヌカ類, 製造粕類

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^⑧の節減は経営の安定・強化を図る上で重要な課題である。反芻家畜においては、飼料中の繊維成分は重要な栄養素である。特に配合飼料原料等に用いられるヌカ類および製造粕類は、牧草などの粗飼料と異なり繊維成分の組成がそれぞれ大きく異なるものと考えられる。

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^{10,11)}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。しかしながら、飼料の種類によっては、aNDFom より ADFom の分析値の方が大きくなるなどの事例^{1,8)}がみられる。本来、飼料中の総繊維量として定義される aNDFom 中の結晶性セルロースとリグニンが ADFom であることから、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、飼料中の多糖類を主要画分とするペクチン質の存在によるものとされている^{1,3,4)}。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^{1,2)}がある。この解決策として、中性デタージェン

ト溶液 (ND 溶液) 処理後の残渣について ADFom 分析 (n-ADFom), ADL を連続して分析する方法が提案¹⁾されている。また, ADFom 中に残留する粗タンパク質は, 結合性タンパク質として定義され, 粗タンパク質のウシ第一胃内での分解性に基づく画分として利用されているが, ADFom の構成物質である結晶性セルロースとリグニンを明確に表示させるためには ADFom 中に含まれる粗タンパク質の存在も考慮する必要がある。

そこで製造粕類について aNDFom, n-ADFom, ADL を連続分析することによりペクチン質および残留する粗タンパク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, 大豆粕, フスマ, 脱脂米ヌカ, ビートパルプ, ビール粕, 豆腐粕であった。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⁵⁾による水分, 粗タンパク質 (CP), デタージェント分析法^{6,10,11)}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 ND 溶液で処理した残渣を AD 溶液で煮沸し, それ以降は常法に準じた分析操作で aNDFom, n-ADFom, ADL を連続させて定量する方法¹⁾ (連続分析) によった。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 ファイバートテスト (VELP SCIENTIFICA FIWE6) を用いて定量した。本

試験において, デタージェント分析に供した試料量は, aNDFom の分析法⁶⁾に従い 0.5g とした。これらの分析は 2 反復で実施し, 2 反復の分析値の相対誤差が 2% 以内のものを平均し分析値として用いた。また, 製造粕類には高タンパク質含有の飼料もあり, aNDFom および ADFom 中に CP が多く残留している可能性もあることから aNDFom および ADFom 中に残留する CP を定量した。得られた aNDFom, ADFom, n-ADFom 分析値から aNDFom, ADFom, n-ADFom 中の残留 CP を差し引いて補正した分析値について, これらの差を比較することにより検討した。

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 -1.3 ~ 0.8% 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。大豆粕, フスマ, 脱脂米ヌカではそれぞれ 0.5, 1.3, 0.2% P と連続法が大きい値を示し, ビール粕は同じ値であり, ビートパルプ, 豆腐粕は, それぞれ -0.8, -0.1% P と連続法が小さい値を示した。aNDFom における常法での灰分量と ADL 中の灰分量との差は, 最も大きい差を示したビートパルプでも 0.85%, 他の飼料は 0.02 ~ 0.33% の範囲にあり, 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 中の灰分量を代用することは, 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

表 1. ヌカ類および製造粕類における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 | 相対比 | 常法 | 連続法 | 差 | 相対比 | 常法 | 連続法 | 差 |
| Soy bean meal | 12.2 | 12.7 | -0.5 | -3.6 | 9.6 | 6.4 | 3.2 | 49.5 | 0.3 | 0.3 | 0.0 |
| Wheat bran | 43.4 | 44.7 | -1.3 | -2.9 | 14.7 | 12.6 | 2.0 | 16.2 | 3.1 | 3.4 | -0.3 |
| Defatted rice bran | 34.3 | 34.6 | -0.2 | -0.7 | 15.9 | 12.8 | 3.1 | 24.0 | 4.7 | 5.2 | -0.4 |
| Beet pulp | 46.9 | 46.0 | 0.8 | 1.8 | 25.7 | 23.8 | 1.9 | 8.2 | 1.6 | 1.8 | -0.2 |
| Brewers grains | 70.2 | 70.2 | -0.1 | -0.1 | 25.0 | 20.4 | 4.6 | 22.7 | 4.9 | 5.0 | 0.0 |
| Tofu cake | 33.1 | 33.0 | 0.1 | 0.3 | 21.2 | 16.9 | 4.3 | 25.5 | 1.1 | 1.3 | -0.1 |

Chemical composition of brans and food processing by-products by detergent analysis.

差: 常法分析値 (DM%) と連続法分析値 (DM%) との差 (DM%), 相対比: 連続法分析値に対する差の割合 (%), 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

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。

次に、aNDFom 中に残留する CP 含量と CP を補正した aNDFom 値を表 2 に示した。供試した試料の CP 含量は大豆粕 53.1%，フスマ 19.2%，脱脂米ヌカ 21.1%，ビートパルプ 7.6%，ビール粕 24.5%，豆腐粕 27.7% とビートパルプ以外の試料は高い CP 含量を有していた。これらの残留 CP を差し引いた aNDFom 値と aNDFom 分析値との差は、ビール粕が 15.2% P と著しく大きく、脱脂米ヌカおよびビートパルプがそれぞれ 5.5, 5.6% P, 他の試料では 2.3～4.4% P の範囲にあった。飼料種類によって大きな違いはあるものの aNDFom を総繊維量の指標として用いるためには無視できる範囲のものでなく、今後、aNDFom 中の残留 CP を補正したより aNDFom の真値に近い分析値を飼料評価の指標として活用していくことが課題であると考えられる。

ADFom における常法と連続法との分析値では、すべての飼料の種類で連続法の方が低い値を示した。ビール粕、豆腐粕はそれぞれ 4.6, 4.3% P の差がみられ、他の試料でも 1.9～3.2% P の差が認められた。相対比についてみると ADFom 含有量の少ない大豆粕では 49.5%，脱脂米ヌカ、ビール粕、豆腐粕は 22.7～25.5% と大きな差が認められ、粗飼料²⁾ や野菜残渣¹⁾ などと同様に aNDFom と ADFom との差をヘミセルロスとして評価する場合には、これらの試料のヘミセルロースを過小評価してしまうことになる。一般に粗飼料として利用されている牧草や飼料作物では ADFom 中の残留 CP 含量は大きなものではなく分析値に大きな影響は与えていな

い¹⁾。これらの飼料の種類では、常法の ADFom と連続法における n-ADFom との差をペクチン質に由来するものと考えられているが、製造粕類では子実などが原料であるため、牧草などの植物体が有する繊維構造や繊維質を構成する物質と異なるものと考えられる。

また、aNDFom と同様に、ADFom および n-ADFom 中の残留 CP も大きく影響するものと考えられることから、残留 CP を補正した ADFom について表 2 に示した。常法による ADFom では、大豆粕の残留 CP は 23.2% と aNDFom の残留 CP% より大きく、ビール粕が 11.2%，他の飼料は 2.9～4.5% の範囲にあった。一方、連続法における n-ADFom では、大豆粕が 1.6% と常法の場合と大きく異なる結果であった。脱脂米ヌカ、ビール粕、豆腐粕では常法のものとは比べ低い値であり、フスマ、ビートパルプは常法と連続法で大きな差は認められなかった。本試験においては残留粗タンパク質のアミノ酸組成の分析を実施していないため、明確な言及はでき得ないが、ADFom 分析において AD 溶液により酸可溶性のアミノ酸類が流出したのに対し n-ADFom 分析では ND 溶液と AD 溶液によって中性および酸可溶性のアミノ酸類⁷⁾ が流出したためと推察される。残留 CP を補正した ADFom と n-ADFom についてみると、n-ADFom の方がすべての試料で小さくその差は 1.1～3.6% P であり、ADFom 分析値に対する n-ADFom 分析値との比率（相対比）は 7.6～22.4% の範囲にあった。これらの差は、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^{3,4)}。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

表 2. 残留粗タンパク質を補正したデタージェント成分値

| | aNDFom | | | | | | | | | ADFom | | | | | | |
|--------------------|--------|--------|------|------|--------|------|------|------|------|--------|------|------|--------|------|-----|------|
| | 常法 | | | 連続法 | | | | | | 常法 | | | 連続法 | | | |
| | 分析値 | 残留 CP% | 補正值 | 分析値 | 残留 CP% | 補正值 | 差 | 相対比 | 分析値 | 残留 CP% | 補正值 | 分析値 | 残留 CP% | 補正值 | 差 | 相対比 |
| Soy bean meal | 12.2 | 18.6 | 9.9 | 12.7 | 18.6 | 10.3 | -0.4 | -3.6 | 9.6 | 23.2 | 7.4 | 6.4 | 1.6 | 6.3 | 1.1 | 16.6 |
| Wheat bran | 43.4 | 10.1 | 39.0 | 44.7 | 10.1 | 40.2 | -1.1 | -2.9 | 14.7 | 2.9 | 14.3 | 12.6 | 2.7 | 12.3 | 2.0 | 15.9 |
| Defatted rice bran | 34.3 | 16.2 | 28.8 | 34.6 | 16.2 | 29.0 | -0.2 | -0.7 | 15.9 | 4.5 | 15.2 | 12.8 | 3.2 | 12.4 | 2.8 | 22.4 |
| Beet pulp | 46.9 | 12.0 | 41.2 | 46.0 | 12.0 | 40.5 | 0.7 | 1.8 | 25.7 | 3.5 | 24.8 | 23.8 | 3.1 | 23.1 | 1.7 | 7.6 |
| Brewers grains | 70.2 | 21.7 | 54.9 | 70.2 | 21.7 | 55.0 | -0.1 | -0.1 | 25.0 | 11.2 | 22.2 | 20.4 | 5.8 | 19.2 | 3.0 | 15.8 |
| Tofu cake | 33.1 | 8.2 | 30.4 | 33.0 | 8.2 | 30.3 | 0.1 | 0.3 | 21.2 | 4.0 | 20.3 | 16.9 | 0.8 | 16.7 | 3.6 | 21.4 |

Analytical value of detergent analysis except for a remains crude protein.

aNDFom, ADFom, 差, 相対比: 表 1 参照, 残留 CP% (DM%): aNDFom, ADFom 中の粗タンパク質含量, (aNDFom 中の残留 CP% は常法と連続法が同一処理であり双方の相対誤差が 1% 以内であったため平均値を採用), 補正值: 残留 CP を除去した aNDFom, ADFom 分析値

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。これらの飼料のADFomは、牧草などの粗飼料に比べ含有量が低いが、相対比からみても無視できるものではなく、試料中の繊維成分を適正に評価する観点からは不適当であると考えられる。本試験において供試した製造粕類では、脱脂米ヌカ、ビール粕、豆腐粕はADFomとn-ADFomとの差が大きく、相対比も大きかった。このように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-0.4～0.0% 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を分析する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

きであると考ええる。さらに、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える。

引用文献

- 1) 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.
- 2) 甘利雅弘・田島清・大森英之 (2017). aNDFom, ADFom および ADL 連続分析の有用性、農研機構研究報告畜産研究部門, 17, 7–11.
- 3) 浅岡久俊 (1986). 化学セミナー 14 糖質, 丸善, 東京, 149–151.
- 4) 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.
- 5) 石橋晃 (2001). 新編動物栄養試験法, 養賢堂, 東京, 642p.
- 6) 自給飼料利用研究会 (2008). 粗飼料の品質評価ガイドブック, 三訂版, 日本草地畜産種子協会, 東京, 195p.
- 7) 森本宏 (1969). 家畜栄養学, 改訂版, 養賢堂, 東京, 7–8.
- 8) 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.
- 9) 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].
- 10) 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.
- 11) 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 Continuous Method of Detergent Analysis in Brans and Food Processing By-products

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

Key words: aNDFom, n-ADFom, Continuous method, brans and food processing by-products