

粗飼料以外の繊維源(NFFS)の給与による乳牛の乳生産および健康改善の戦略
Invited review: Strategies for promoting productivity and health of dairy cattle by
feeding nonforage fiber sources

B.J. Bradford and C.R. Mullins
Journal of Dairy Science 95, pp. 4735-4746 (2012)

乳牛用 TMR の原料としては、穀類、油実類および粗飼料が主に使用されてきた。しかし、最近飼料価格が上昇してきたため、穀類の副産物、特にバイオ燃料由来の高繊維副産物の使用が増加してきた。2011 年度に米国で収穫されたトウモロコシの約 40% はウェットミルまたはドライミル用に使用されている。そこで本総説では、乳生産および健康に影響を与えずに NFFS を乳牛用飼料原料として用いる場合の実用的な戦略をとりまとめた。

粗飼料以外の繊維源(NFFS)

本総説では、NFFS としてビール粕、コーングルテンフィード (CGF)、ジスチラーズグレインソリュブル (DGS)、大豆皮、シュガービートパルプおよびホイトミドリリングスを取り上げた。

社会的圧力

高フルクトースを含有するコーンシロップやリンゴジュースなどを製造する食品工業では、高繊維の副産物を反芻家畜に給与しない場合は、副産物からの収入がなくなるだけでなく処理費用が必要となる。このやめ、これらの副産物を反芻家畜用の飼料原料として使用することにより、食品工業における環境問題と経済性が改善され、副産物の価格自体も安くなる。

NFFS 給与における経済性

NFFS の市場価格は含まれる栄養価により変動し、NFFS の種類によっても異なる。また、生の状態の NFFS は輸送費がかかるため、乾物当りの飼料費は高くなるとともに、貯蔵期間も短くなる。一方、NFFS は乾燥すると、ほこりっぽくなり、濃厚飼料

に比べて貯蔵が難しい。デンプン含量 29% の濃厚飼料を 21% の DGS と 9.6% の大豆皮で置換したデンプン含量 20% の飼料を調製したところ、乳牛 1 頭 1 日当りの飼料費が 1.42 ドル (29%) 節減され、収入も増加した。トウモロコシサイレージおよびアルファルファを 46% の CGF で置換した場合は、乳牛 1 頭 1 日当りの飼料費が 0.31 ドル節減されたが、乳量が減少したため、収入はかえって低下した。NFFS を使用した場合の収益性は地域の飼料事情によっても影響されるが、収益性を確保するためには、適正な乳量が得られるような飼料配合が必要である。

飼料配合の戦略

乳牛用飼料の調製の際には粗濃比を第一に考えることが多い。しかし、乳牛の栄養素要求を考慮すると、粗濃比は不正確な概念である。そこで大部分の栄養の専門家はエネルギー、蛋白質、NDF および微量栄養素の含量を重視する方針を取っている。トウモロコシを大豆皮で置換した試験では、乳脂率が増加し、他の乳生産に関する項目には影響がなかった。また、トウモロコシの一部を大豆皮で置換した試験では、乾物摂取量 (DMI) が増加し FCM も多くなったが、一般的には、穀類を直接置換する方法は乳生産を低下させる可能性がある。

多くの NFFS は可消化繊維だけでなく、他の蛋白質などの有用な栄養素をも供給する。そこで、NFFS は飼料中の穀類と油実類の両者を置換するのが一般的である。ルーメンで急速に発酵するような飼料の一部を NFFS で置換すると、乳生産、特に乳脂

量の改善が期待される。大部分の NFFS 中の繊維の消化性は粗飼料の繊維より高いと考えられるが、消化管の通過速度が早いいため、消化率がやや低下することも推察される。NFFS を使用する場合は粗飼料の NDF および飼料中のデンプンを置換する方法が最も効果的と考えられる。

濃厚飼料の 0, 50, 75 または 100% を CGF に類似した副産物で置換した試験では、DMI は低下したが、乳量は維持され、飼料効率は改善された。次に、濃厚飼料の全量と粗飼料の一部を NFFS で置換し、45, 53, 62 または 70% の NFFS を含有する飼料を乳牛に給与したところ、NFFS の配合割合の増加に伴って乳量は増加し、乳脂量には影響がなかった。この場合、最も NFFS の配合割合の高い飼料の粗飼料割合は 30% であった。

エネルギー

飼料中に NFFS を高い割合で配合する場合は以下の点に留意する必要がある。

- (1) ルーメンの恒常性と乳脂率を維持するために、物理的に有効な繊維の必要最小限の水準を確保する。
- (2) 少なくとも 34% の非繊維性炭水化物 (NFC) が供給できるように NFFS と濃厚飼料を配合する。
- (3) ルーメンで利用可能な不飽和脂肪酸の量を推定し、乳脂率の低下のリスクを避けるように配合割合を調整する。
- (4) 蛋白質、ルーメン不溶性蛋白質、代謝性リジン、代謝性メチオニンの供給量を推定し、蛋白質供給のバランスを調整する。
- (5) 微量栄養成分のバランスを調整する。

飼料中に 20% 以上の NFFS を配合し、デンプン含量を 22% 以下、NDF 含量を 37% まで高めても、50kg 以上の日乳量を維持できることが示された。他の多くの試験においても、NFC 含量が 25~36% の範囲では、NFFS を主体とした飼料により 35kg 以上の乳生産が可能であった。

ルーメンにおける酸の生産量が多く、し

かも乳生産の維持にはさらにエネルギーが必要な場合には、飼料への脂肪の添加が効果的である。一般的な飼料を給与している高泌乳牛に水素添加脂肪酸を 2.25% 添加した高 NFFS 飼料を与えると乳量が改善された。20% の大豆皮を含む飼料に飽和脂肪酸を含むタローまたは動物性脂肪と植物性脂肪の混合物を高い濃度（乾物中の脂肪酸濃度 6.1%）で添加した結果、不飽和脂肪酸 (UFA) の濃度の増加に伴って、DMI は直線的に減少し、ルーメンからの微生物態蛋白質の流出量は二次関数的に低下し、乳質および乳脂量も直線的に減少する傾向を示した。飼料中のデンプン含量は低いにも拘わらず、不飽和脂肪酸は乳脂肪の減少を引き起こし、ルーメン発酵が抑制された。

物理的に有効な繊維 (peNDF)

peNDF は飼料片サイズ (PS) と化学成分を組み合わせた概念で、咀嚼を刺激する効果、乳脂率や乳量を維持する効果などに基づいて算出される。NFFS の PS は一般に小さく、リグニン含量が低いので、可消化の繊維を多く含有している。そのため、粗飼料を NFFS で置換すると、peNDF は減少するので、ルーメンでの膨満度が DMI を規制している場合は、NFFS での置換はエネルギーの供給量を改善する効果がある。1.18mm 以上の peNDF (peNDF1.18)、ルーメン pH および乳脂量の間には強い相関が認められる。peNDF 1.18 は 1.18mm の篩上に残存する TMR の割合と飼料中の総 NDF 含量を掛け合わせて算出する。peNDF 1.18 については TMR の peNDF 1.18 の情報は得られているが、高 NFFS 飼料についてのデータは少ない。従来の粗飼料と濃厚飼料から成る飼料についてのメタ分析では、ルーメン pH の推定には peNDF 1.18 より peNDF 8.0 の方が有効であることが示された。乾物中の peNDF 8.0 含量が 9.6% の飼料でも、乳脂率は正常に維持された。一方、CGF を飼料中に 33~56% 配合した試験では、粗飼料に由来する NDF 濃度は 1

5.3 から 9.3%に低下した。これらの飼料の peNDF8.0 は乾物中 10.7%以上であったが、最も CGF の配合率の高い飼料では、乳脂量は約 20%減少し、アシドーシスが起った。これらの成績は従来の飼料で得られた peNDF の閾値は高 NFFS 飼料には適用できないことを示している。

高 NFFS 飼料に対しては、NRC で提唱された方法に類似した方法が推奨される。すなわち、飼料中の総 NDF が 27%または 33%の場合、粗飼料からの NDF は最小限 18%または 15%は必要と考えられる。飼料中の総 NDF が 31~35%では、乳脂量の減少を防止するためには、粗飼料からの NDF は 12~13%とみなされる。これらを総合的に判断すると、NFFS の NDF の有効性は粗飼料の約半分と見なされる。このガイドラインによれば、8mm の篩を通過する割合が 65%以下であれば、ルーメン機能は正常に維持されると考えられる。

乳脂量の低下は peNDF 以外の因子によっても影響される。例えばルーメン分解性デンプンの供給量は単独でルーメン pH の低下および乳脂量減少のリスクファクターとなっている。NFFS はデンプン含量が低いので、その点では安全と考えられる。NFFS 中の NDF のルーメンでの分解性を考慮する必要がある。NDF の分解性が高い粗飼料を NFFS で置換した場合は、粗飼料からの NDF 供給量が満たされていても、乳脂量の減少が起る可能性がある。ある種の NFFS、特に DGS では、ルーメンで利用される UFA が供給されるので、乳脂量の減少を引き起こすことがある。

蛋白質

CGF はルーメンで容易に分解される蛋白質を多く含有しているが、DGS はルーメン非分解性蛋白質 (RUP) を多く含有している。バイパス大豆粕を DGS の RUP で置換すると、代謝蛋白質中の第一制限アミノ酸がメチオニンからリジンに変化する。

もう 1つ考慮すべき点は NFFS の蛋白質

の消化率である。市販の 6 点の DGS の蛋白質の全消化管における消化率は 85.3 から 70.7%まで変動し、これらの値は大豆粕の消化率より低かった。3 点の乾燥 DGS の蛋白質の消化率は生の DGS より低い場合もあったが、他の 2 点の乾燥 DGS の値は生の DGS の値と差がなかったことから、乾燥条件を適性に制御すれば、消化率には悪影響がないことが示された。

実用上の留意点とその限界

- (1) 変動: NFFS の化学成分および物理的性質はバッチにより大きく変動する。例えば、CGF の CP および NDF の平均値と標準偏差は変動が大きい ($23.8 \pm 5.7\%$, $35.5 \pm 6.8\%$) ことが報告されている。このため、NFFS を飼料原料として使用する場合は成分の変動について考慮する必要がある。
- (2) 安定性: 未乾燥の NFFS を使用する場合、特に気温の高い時期には、原料を 4~10 日以内に使いきる必要がある。NFFS を乾燥処理すると保存性は高まるが、コストが高くなる。CGF をプラスチック製のサイロで保存すれば、品質が保持されることが示されている。また生の NFFS に防黴剤としてプロピオン酸を添加することにより短期の保存が可能である。
- (3) ミネラル: 一般に NFFS のミネラル含量は高い。DGS の場合、リン含量が高い (0.9%) とともに、製造中に硫酸が使用されるため、イオウ (S) 濃度も高い (0.5~0.9%)。

トウモロコシの副産物やホイトミドリリングなどを高い割合で配合した場合、無機リンを添加しなくても、泌乳牛のリン要求量より過剰な量が供給される。泌乳後期の乳牛に過剰なリン (1日 80g 以上) を給与すると、乳熱のリスクが高まる。また、S の過剰給与は灰白質脳軟化症を引き起こすことが報告されている。それゆえ、NFFS を配合する場合は、ミネラルのバランス

に留意する必要がある。

異なる泌乳ステージの牛への NFFS 給与

- (1) 泌乳初期および最盛期におけるエネルギー摂取量の改善：粗飼料を NFFS で置換すると、飼料のエネルギー濃度が高まり、ルーメンでの膨満度が DMI を制限している場合は、DMI が増加する。高泌乳牛では、NFFS を飼料原料として使用する場合、粗飼料からの NDF を 12~14% に、飼料中の NFC を 35~40% 維持すると、エネルギー摂取量が増加し、乳量も改善されることが考えられる。
- (2) 泌乳後期の健康改善：泌乳後期の牛に高繊維飼料を給与しても、飼料摂取量は減少せず、乳量も維持され、過度の体重増加を防止できる。NFFS を配合する場合は、主に穀類と置換するので、泌乳後期牛の DMI の低下と過度の体重増加が防げる。飼料中の大麦を 17% のビートパルプで置換すると、血漿のインスリン濃度が低下し、過度の体重増加が防止できた。

(科学飼料 58 巻、3 月号)