

酪農用飼料へのジスチラーズ・グレイン（蒸留粕）の利用について¹

Dr. David J. Schingoethe
Dairy Science Department
South Dakota State University

ジスチラーズ・グレインを飼料として乳牛へ与えることは、決して目新しいことではありません。このような製品は一世紀以上もの間牛に飼料として与えられてきました。Loosliら（1952年）による研究論文は、ジスチラーズ・グレインによる乳牛の飼育に関して報告した1895年の *Vermont Agricultural Experiment Station Bulletin* を引用しています。多くの点で、今日のジスチラーズ・グレインで飼育することに対する反応も、昔の研究に対する反応も同じようなものだろうと言われる方がいるかも知れません。確かに、変わらないところもありますが、過去と現在双方のジスチラーズ・グレインおよび牛を比較した場合、かなり違っている点があります。現在のジスチラーズ・グレインとは、主として蛋白質およびエネルギーがより多く含まれている点で違っており、現在の牛は彼らの先祖よりももっと多くの牛乳を生産しています。

私の講演の目的は、ジスチラーズ・グレインによる乳牛の飼育に関する最近の研究成果を報告することです。本講演はドライド（乾燥）ジスチラーズ・グレインに力点を置いたものですから、未乾燥および乾燥製品の両方についての研究をレビューします。おおむね私はコーン・ジスチラーズ・グレイン（CDG）についての話をします。その理由は、私が良く知っているほとんどの研究でこのCDGが使用されているからです。他の穀類からのジスチラーズ・グレインを用いた結果も同様であると考えられます。ほとんどの場合、用いられるCDGは、ソリュブル添加ドライド・ジスチラーズ・グレイン（DDGS）です。

現在のCDGの組成、特に中西部のエタノール工場由来の製品は、古い「文献」の値よりもっと多くの蛋白質およびエネルギーを含んでいます。たとえば、我々のSDSUにおける研究で用いたCDGは未乾燥および乾燥したもの両方とも、1989年の乳牛の栄養必要量（NRC, 1989年）に報告されている、CDGのCP23%およびDDGSのCP25%に対し、乾燥品ベースで30~36%またはそれ以上の粗蛋白質を含んでいました。新しい乳牛用NRC（2001年）では、実状に近い数値であるDDGSのCP 29.7%という値が掲載されています。泌乳に必要な現在のCDG中の正味のエネルギー（NE_L）は、過去の値（0.90 Mcal/ポンド以下）より約10%高く（1.00 Mcal/ポンド以下）なっています。脂肪分（9.8%以下）、中性デタージェント繊維（39%以下）および酸性デタージェント繊維（19%以下）の含有量は、過去の値とはわずかしき異なっていません。トウモロコシに含まれるデンプン質のエタノール発酵効率を向上させた結果、このようなCDGの組成の変化として現れたと考えられます。

ジスチラーズ・グレインまたは他の多くの副産物を飼料として与える場合、栄養に関して考慮すべきもう一つのこと、リンの含有量です。ドライドCDGは、おおよそ0.43%のリンを、またDDGSはジスチラーズ・ソリュブルの高リン含有量（1.37%）を反映し、約0.83%のリンを含んでいます。このようにリン含有量が高いと、飼料に通常添加される補助的なリンの量を減らすことができるので、一つの利点になります。逆に、糞尿のリン含有量が高いという栄養管理の問題を、他の飼料原料由来のリンの量を減らすことで防ぐことができない場合には短所になります。

¹ 全米トウモロコシ生産者協会 Ethanol Co-Products Workshop “DDGS : Issues to Opportunities”, 2001年11月7日、Lincoln, NEにおいて発表

コーン・ジスチラーズ・グレインに含まれる蛋白質

コーン・ジスチラーズ・グレインは、反芻動物の第1胃の中で分解しない蛋白質（*ruminally undegradable protein, RUP*）の良好な供給源です。RUPとしてのCP中比率55%という発表値は、恐らくほとんどの場合に適用できる適切な数値です。ほとんどの発表値はRUP 47～57%の範囲にありますが、我々はそれよりいくらか高い値を得ています（Broukら、1994年b）。未乾燥CDGは乾燥CDGよりもRUPの濃度が低いと考えられる方も多いのですが、その差はわずかです。Firkinsら（1984年）は、未乾燥CDGのRUPは47%、乾燥品のRUPは54%と発表していますが、この数値は未乾燥品と乾燥品における、RUPの実際的な差異を示していると思われます。トウモロコシに含まれる易分解性蛋白質のほとんどは、発酵プロセス中で分解してしまい、その結果CDG中に残っている蛋白質は、元のトウモロコシよりもRUP量が比例して高くなります。しかし乾燥CDGについてのRUP値が極めて高い（たとえばCP中比率が80%未満）場合は、熱損傷を受けた消化できない蛋白質を検査することもお勧めします。

CDGの蛋白質の品質はかなり良いものです。ほとんどのトウモロコシ製品において、乳牛ではCDGはリジンが第一制限アミノ酸です。蛋白質の品質については、CDGに対する生産反応について考察する中でさらにくわしくお話しします。

コーン・ジスチラーズ・グレインで飼育した場合の生産反応

表1に、牛をCDGで飼育した数例の実験で得られた牛乳生産量についてまとめました。補助蛋白質としてのCDGを大豆ミールと比較した実験において、未乾燥CDGで飼育した場合、その生産量は大豆ミールで飼育した場合に近く（Schingoetheら、1983および1999年）、乾燥CDGで飼育した場合は大豆ミールで飼育した場合より高い結果となりました（Nicholsら、1998年）。DDGSに関しては、Nebraskaの試験（OwenおよびLarson、1991年）およびFloridaの試験（Powersら、1995年）において、泌乳量は大豆ミールと近似していましたが、これらの試験の場合、DDGSが暗色化しており、恐らく熱損傷を受けていたものと思われます。ウィスキーまたは燃料エタノール製造工程由来の淡色DDGSで飼育した場合は、泌乳量は大豆ミールで飼育した場合よりも高い（ $P < 0.05$ ）結果となりました（Powersら、1995年）。

数例の実験で、CDG蛋白質の品質および乳牛の生産性を改善するためにどのように蛋白質の追加またはアミノ酸の補充を実施したらよいかの評価が行われました。Nicholsら（1998年）による実験では、反芻動物の第1胃の中で分解しないようにしたリジンおよびメチオニン（RPLM）で牛を飼育した場合、泌乳量が増加しました。ウィスコンシンの研究者（L. Armentanoら、1997年、未発表の結果）は、リジンを補充することで同様の増加を認めました。この反応は、トウモロコシ製品ベースの飼料中の蛋白質は主にリジンが制限アミノ酸になっていることによるものと思われます。CDGベース飼料を用いた場合の生産量増加は大豆ベース飼料を用いたものをはるかに上回りますが、コーン・グルテン・ミールのような他のトウモロコシベースの製品を用いた以前の研究に基づくとは完全にそうであるとは思われません。Polanら（1991年）による複数の大学が行った試験では、大豆ミールの代わりにコーン・グルテン・ミールで飼育した場合、RPLMでコーン・グルテン・ミールを補充したにもかかわらず、生産量の低下が観察されました。

しかし、誰かがある実験で良好な結果を得ても、別の人がそれを再現することができませんでした。牛の飼料中の蛋白質の品質を改良するために我々がとった次のステップは、唯一の補助蛋白質としての CDG を、CDG を含む蛋白質類の混合品と比較することでした (Liu ら、2000 年)。両飼料を RPLM を添加または無添加で与えました。混合飼料中の補助蛋白質は、CDG から 25%、魚粕から 25% および大豆ミールから 50% としました。これらの飼料の理論的な評価 (Schingoethe、1996 年; O'Connor ら、1993 年) によると、混合飼料のほうがより望ましいアミノ酸組成になっており、また CDG 飼料よりも泌乳量の増加に役立つことが示されました。

しかし今回 CDG 飼料に RPLM を補充しても生産量の増加はみられませんでした。また唯一の補助蛋白質としての CDG の代わりに数種の高品質な補助蛋白質の混合品で飼育しても、生産量の増加は顕著ではありませんでした。

前述の試験は、CDG は良好な品質の蛋白質源ではあるが、これ以上の改良は容易ではないことを示しています。コーン・ジスチラーズ・グレインは、多くの飼料状況下で、唯一の補助蛋白質源として利用可能であると言えます。

コーン・ジスチラーズ・グレインに含まれるエネルギー

現在入手可能な CDG は、「文献」の値に示されているよりももっとエネルギーを多く含んでいるのではないかと推測する人もいました。そこで我々 (Brouk ら、1994 年 a) は乳牛用の未乾燥 CDG のエネルギー値を測定する実験を行いました。研究の結果、未乾燥 CDG の消化エネルギー (DE)、代謝エネルギー (ME) および NE_L は、それぞれ 1.81、1.63 および 1.00 Mcal/ポンド DM であることがわかりました。これらの値は従来の公表値 (NRC、1989 年) よりも 7~11% 高めでした。改定された乳牛用 NRC (2001 年) で用いられている方法によって計算した NE_L 値 (0.85~0.89 Mcal/ポンド) は、全ての飼料について比例して低くなっているようですが、CDG についての NE_L は旧値よりも依然高めで示されています。

未乾燥ジスチラーズグレイン対ドライド (乾燥) ジスチラーズグレイン

本講演の目的の一つは、DDGS についての情報をお知らせすることですが、これまでのお話のほとんどは、未乾燥および乾燥ジスチラーズグレイン双方に共通する情報でした。それは、恐らく未乾燥 CDGの方が乾燥 CDGよりも RUP 値がわずかに低目であること (Firkins ら、1984 年) を除いては、未乾燥および乾燥 CDG において、基本的に乾物の栄養分含有量は同じであるからです。私は乾燥 CDG と未乾燥 CDG を直接比較した乳牛を用いた試験についてはよく知りません。肉牛を用いた未乾燥 CDG と乾燥 CDG の非常に小規模な比較データによると、未乾燥 CDG で飼育した場合の動物の実績は、乾燥 CDG で飼育した場合とまったく同等であるか、わずかに優れている程度でした。同様に私はジスチラーズグレインとソリュブル添加ジスチラーズグレインの直接比較についてもよく知りません。繰り返しますが、私は両製品の動物実験の結果は近似していると推測しています。

未乾燥 CDG と乾燥 CDG の利用に関して主に考慮すべき事柄は、取り扱いおよびコストです。乾燥製品は長期間保存可能ですし、未乾燥 CDG よりもより経済的に、また便利に長距離輸送できます。さらに他の食用成分と容易に混合することもできます。しかし未乾燥 CDG を与えることは、製品の乾燥コストを節約することになります。中には多量の DDGS を含んでいるものと混合してペレット化する場合の難しさを指摘している人もいます。

DDGS を与える場合には問題になりませんが、未乾燥 CDG を与える場合には考慮すべき要素がいくつかあります。まずこの製品は長期間新鮮で食べられる状態のまま保存することができず、5~7 日間が普通です。この貯蔵期間は周囲の温度によってやや変動します。高温下では製品はもっと急速に腐ったり食べられなくなりますが、適切な状態で涼しい条件下では3週間保存できます。未乾燥 CDG を用いた通年実験では、7 日ごとに新鮮な製品の供給を受けることができました。特例として何匹かの牛が全く食べなかった腐った製品を受け取った一回を除けば、これは許容範囲でした。表面にカビが生えたこともあり、この劣化した材料は飼料として使用できませんでした。このように乾燥 CDG または DDGS では考慮しなくてもよい問題で、常にいくらかの飼料を失いました。

プロピオン酸や他の有機酸といった保存料を添加して未乾燥 CDG の貯蔵寿命を延ばすこともできますが、その結果を記した学術刊行物を見つけるのは困難です。SDSU では、未乾燥 CDG をサイロ用バッグに入れたり (K. Tjardes および C. Wright, 2001 年、未発表)、あるいは未乾燥 CDG を大豆の外皮と混合 (K. Kalscheur および A. Garcia, 2001 年、未発表) して、未乾燥 CDG の貯蔵期間を延ばそうと現在研究を実施しているところです。

どの程度のジスチラーズグレインを与えることができるのか?

私は、ジスチラーズグレインの投与量を飼料乾物の最大約 20% までと酪農家に推奨しています。泌乳中の乳牛の通常飼料摂取量でみると、これは牛一頭一日当たり、乾燥 CDG では約 10~12 ポンド、未乾燥 CDG では 33~37 ポンドになります。嗜好性の問題はありませぬし、飼料中のジスチラーズグレインをそのレベルまで上げて、栄養的にバランスのとれた飼料を配合設計することができます。たとえばコーンサイレージとして乾物の 25%、アルファルファ乾草として 25%、コンセントレートミックスとして 50% を含む飼料については、大豆ミールや、穀類ミックスに通常含まれている大量のトウモロコシといった補助蛋白質の全部では無いとしてもそのほとんどを CDG に代替することができます。コーンサイレージがさらに高い割合で含まれている飼料の場合、DDGS をさらに多めに使用することができます。しかし他のいくつかの補助蛋白質の必要性、蛋白質の品質 (たとえばリジンの制限)、リン濃度も考えるべき要素でしょう。アルファルファを高い割合で含む飼料の場合は、飼料中に必要な蛋白質を配合するために DDGS の量を減らす必要がありますが、実際は、その飼料は DDGS と同じほどには利用することができないでしょう。

中には一日分の飼料乾物中の 30% またはそれ以上をジスチラーズグレインをもって与えた研究者 (Schingoethe ら、1999 年) もいましたが、そのような高い割合は推奨しません。未乾燥 CDG を用いると飼料全体の水分が過剰な状態になり、乾物総摂取量が減少することが考えられます。飼料中の乾物の割合が 50% 未満であり、特に飼料中に発酵飼料が含まれている場合には、乾物総摂取量は減少します (NRC、2001 年)。飼料中に未乾燥または乾燥 CDG が多すぎる場合、食べられるどうか問題になるでしょう。飼料が全てまたはほとんどコーンサイレージや乾草でない限り、飼料中に 30% の CDG を添加して過剰蛋白質を与える人もいます。また未乾燥 CDG をコーンサイレージ含有量が高い飼料に配合するのであれば、飼料の水分含有量が高過ぎて乾物総摂取量を制限することになるでしょう。

肉牛を用いた研究では、ジスチラーズグレインを与えた場合にはトウモロコシを与えた場合よりも「摂食拒否」問題が少なくなることもあります。ジスチラーズグレインはトウモロコシと同程度のエネルギー量を含んでいますが、ジスチラーズグレインのエネルギーは主として可消化繊維質および脂肪分です。トウモロコシのエネルギーの大部分はデンプン質です。

反芻動物の第1胃におけるデンプン質の急激な発酵は、アシドーシス、蹄葉炎、脂肪肝の発症をより起こしやすくします。

飼料としての他のトウモロコシ製品

乳牛に飼料として与えることができる他のいくつかの製品として、コーン・グルテン・ミール、コーン・グルテン・フィードおよびコーン・ジスチラーズ・ソリュブルがあります。コーン・グルテン・ミールおよびコーン・グルテン・フィードはこの講演の主たる目的ではありませんので、これらに関して多くの時間を割いてお話しするつもりはありませんが、それぞれ一言、二言だけ言及いたします。コーン・グルテン・ミールは、高濃度の蛋白質（60%CP）およびRUP（CP中55%）を含む飼料で、大変良質な補助蛋白質であります。他の補助蛋白質と組み合わせると最も良いことが判明しています（Polanら、1991年）。コーン・グルテン・フィードは良好な総合飼料であり、蛋白質（25%CP）は中程度、RUP（CP中25%）は低め、エネルギー源（ $NE_L=0.86$ Mcal/ポンド）としては良好で、またしばしば他の飼料原料と競合できる値段になっています。

コーン・ジスチラーズ・ソリュブルについては、これらはCDGを製造するのと同じプロセスの一部なので、もっとくわしく考察します。ジスチラーズソリュブルは、乾燥させてDDGSを製造する前に、しばしばジスチラーズグレインと混合されますが、ソリュブル単独でも与えられます。我々（DaCruzら、1996年）は、一日分飼料乾物総量の0、5、10%の割合で、濃縮したコーン・ジスチラーズ・ソリュブル（condensed corn distillers solubles, CCDS）を添加して乳牛を飼育した実験を一例行いました。CCDSは28%の乾物を含んでおり、この乾物は18%のCP、21.5%のエーテル抽出物（脂肪）、12.5%のミネラル類と約0.91 Mcal/ポンドのNEを含んでいました。CCDSで飼育すると、牛乳の生産量が（飼料中0、5、10%のCCDSについて、それぞれ75.2、78.3、78.9ポンド/日）増加しました。乳脂肪率（3.54、3.33および3.43）はCCDSで飼育するとわずかに低下し（ $P < 0.05$ ）、一方乳蛋白率（2.93、2.97および2.95）は飼料内容の影響を受けませんでした。CCDS中の脂肪由来で増加したエネルギーは、泌乳量の増加に寄与したようですが、観察されたように乳脂肪分のわずかな低下も起こしたと思われる。乾物摂取量（54.7、53.8、49.6ポンド/日）は、対照群およびCCDS飼料群で近似していました。しかし、5%CCDSよりも10%CCDSを与えた場合は、摂取量は減少傾向（ $P < 0.10$ ）にありました。結論として、一日分の飼料乾物にCCDSを5%配合して与えると、酪農家にとって望ましい結果が得られ、かつ有益であると言えます。一日分の飼料乾物にCCDSを10%配合して与えても利点はありませんでした。

結論

コーン・ジスチラーズ・グレインは乳牛用飼料に添加するための良好な蛋白質およびエネルギー供給源です。CDG中の乾物の栄養成分含有量は、未乾燥および乾燥CDGともに基本的に同じです。添加したソリュブルによりリン含有量が高くなることを除き、DDGSを調製する際にソリュブルをジスチラーズグレインに添加するしないに係らず、栄養成分含有量も近似しています。

参考文献

Brouk, M. J., C. P. Birkelo, and D. J. Schingoethe. 1994a. Energy partitioning of diets containing wet corn distillers grains by dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 77 (Suppl. 1):234 (Abstr.).

- Brouk, M. J., D. J. Schingoethe, and C. P. Birkelo. 1994b. In situ degradability of wet and dry corn distiller grains. *J. Dairy Sci.* 77 (Suppl. 1):135 (Abstr.).
- DaCruz, C. R., M. J. Brouk, and D. J. Schingoethe. 1996. Utilization of condensed corn distillers solubles in lactating dairy cow diets. Pages 95-97 in Proc. 1996 SD Dairy/Forage Conf., Brookings, SD.
- Firkins, J. L., L. L. Berger, G. C. Fahey, Jr., and N. R. Merchen. 1984. Ruminant nitrogen degradability and escape of wet and dry distillers grains and wet and dry corn gluten feed. *J. Dairy Sci.* 67:1936-1944.
- Liu, C., D. J. Schingoethe, and G. A. Stegeman. 2000. Corn distillers grains versus a blend of protein supplements with or without ruminally protected amino acids for lactating cows. *J. Dairy Sci.* 83:2075-2084.
- Loosli, J. K., K. L. Turk, and F. B. Morrison. 1952. The value of distillers feeds for milk production. *J. Dairy Sci.* 35:868-873.
- National Research Council. 1989. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 6th rev. ed. Natl. Acad. Sci., Washington, DC.
- National Research Council. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th rev. ed. Natl. Acad. Sci., Washington, DC.
- Nichols, J. R., D. J. Schingoethe, H. A. Maiga, M. J. Brouk, and M. S. Piepenbrink. 1998. Evaluation of corn distillers grains and ruminally protected lysine and methionine for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 81:482-491.
- O'Connor, J. D., C. J. Sniffen, D. J. Fox, and W. Chalupa. 1993. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets. IV. Predicting amino acid adequacy. *J. Anim. Sci.* 71:1298-1311.
- Owen, F. G., and L. L. Larson. 1991. Corn distillers dried grains versus soybean meal in lactation diets. *J. Dairy Sci.* 74:972-979.
- Powers, W. J., H. H. Van Horn, B. Harris, Jr., and C. J. Wilcox. 1995. Effects of variable sources of distillers dried grains plus solubles on milk yield and composition. *J. Dairy Sci.* 78:388-396.
- Polan, C. E., K. A. Cummins, C. J. Sniffen, T. V. Muscato, J. L. Vincini, B. A. Crooker, J. H. Clark, D. G. Johnson, D. E. Otterby, B. Guillaume, L. D. Muller, G. A. Varga, R. A. Murray, and S. B. Pierce-Sandner. 1991. Responses of dairy cows to supplemental rumen-protected forms of methionine and lysine. *J. Dairy Sci.* 74:2997-3013.
- Schingoethe, D. J. 1996. Balancing amino acid needs of the dairy cow. *Anim. Feed Sci. Technol.* 60:153-160.
- Schingoethe, D. J., M. J. Brouk, and C. P. Birkelo. 1999. Milk production and composition from cows fed wet corn distillers grains. *J. Dairy Sci.* 82:574-580.
- Schingoethe, D. J., A. K. Clark, and H. H. Voelker. 1983. Wet corn distillers grains in lactating dairy cow rations. *J. Dairy Sci.* 66:345-349.

表 1. 補助蛋白源としてのコーン・ジスチラーズ・グレインを含む飼料に対する牛乳生産反応

実験	補助蛋白質					
	SBM	SBM RPLM	CDG	CDG +RPLM ¹	混合	混合+ RPLM
(牛乳、ポンド/日)						
Schingoetheら、1983年	59.5	---	60.8 ³	---	---	---
Schingoetheら、1999年	67.7	---	67.9 ³	---	---	---
Nicholsら、1998年	75.6	75.0	77.8 ⁴	80.93	---	---
Liuら、2000年	---	---	71.9 ⁴	69.9	72.3	72.3
OwenおよびLarson、 1991年	74.5	---	75.6 ⁵	---	---	---
Powersら、1995年	59.1	---	61.1 ^{6*}	---	---	---
Powersら、1995年	59.1	---	61.3 ^{7*}	---	---	---
Powersら、1995年	59.1	---	59.3 ⁸	---	---	---

¹RPLM：反芻動物の第1胃の中で分解しないようにしたリジンおよびメチオニン

²混合：補助蛋白質は、CDG約25%、魚粕25%および大豆ミール（SBM）50%とした。

³未乾燥 CDG

⁴乾燥 CDG

⁵ソリュブル添加乾燥 CDG

⁶ソリュブル添加ウイスキー乾燥 CDG

⁷ソリュブル添加燃料エタノール乾燥 CDG

⁸ソリュブル添加暗色化した燃料エタノール乾燥 CDG

*生産量が SBM を与えたものより多い (P<0.05)