

トウモロコシ副産物の肉牛用および乳牛用飼料への使用

Terry Klopfenstein and Rick Grant
University of Nebraska, Lincoln

トウモロコシ副産物の肉牛への使用

ジスチラース・グレイン (DG: 蒸留粕) は優れた反芻動物用飼料である。これはエネルギーと蛋白質の優れた供給源となる。アルコールの製造では、トウモロコシ・グレイン成分の約 3 分の 2 を占めるデンプンが発酵してアルコールと CO₂ になる。そして残った栄養素は 3 倍に濃縮される。すなわち、トウモロコシ蛋白質は 10% から 30% に、脂肪 (油) は 4% から 12% に濃縮される。また、繊維は 14% から 42% に濃縮される。繊維は非常に消化率が良く、脂肪はデンプンの約 3 倍のエネルギーを持つ。蛋白質はバイパス蛋白質 (UIP: undegraded intake protein) が豊富である。

DG は、育成牛と仕上げ期の牛の蛋白源としてもエネルギー源としても利用できる。育成牛では UIP の数値が非常に重要となる。

DG は通常、仕上げ期のフィードロット飼料用として乾燥ジスチラース・グレインおよび生ジスチラース・グレインの 2 つの形状で販売される。仕上げ期のフィードロット飼料への使用に関しては、一般に 2 つの栄養原理がある。DG は飼料の乾物 (DM) 中、6~15% の割合で使用可能で、主として補給蛋白源となる。これより高いレベル (飼料 DM の 15% 超) で給与する場合、この副産物の主要な役割はトウモロコシ・グレインの代わりとしてのエネルギー源である。DM 含量 (生 DG、35~45% ; 乾燥 DG、90~95%) 以外のこの 2 つの産物の化学的組成は同様である。

乾燥 DG は補給蛋白源として日常的に給与されているが、乾燥処理により DG のエネルギー価は低下すると思われる。Ham ら (1994) は、仕上げ期用飼料の乾燥圧扁トウモロコシの 40% を乾燥 DG に置換すると飼料効率が 9% 向上することを実証した (表 1)。しかし、この向上率は、同様の量の乾燥圧扁トウモロコシを生 DG 副産物に置換したときに観察される率の 50% に過ぎなかった。乾燥コストは DG の価格を有意に上昇させる。乾燥 DG の価格は通常、大豆粕などの他の補給蛋白源に関連して決定される。したがって、エネルギーに基づいて価格が決められる場合 (トウモロコシに関連して)、予想される肥育成績の向上は含有率の上昇に伴う飼料コストの増加を埋め合わせられるほど大きくはならない。

生 DG は一般に、動物に蛋白質とエネルギーを補給するために高めの割合で飼料に混ぜて給与される。生 DG の利用には多くの利点がある。乾燥製粉工場にとっては、製品の乾燥に伴うコストを大幅に低減、あるいは完全に排除できる。これにより、加工するトウモロコシの単位容積当たりには得られる全体的エネルギーが増すことになる。生 DG 利用の主要な不利点は、含まれる水分の輸送コストである。

フィードロット飼料への生 DG の使用を評価した実験がいくつか存在する (DeHaan ら、1983; Farlin、1983; Firkins ら、1985; Ham ら、1994; Fanning ら、1999; Larson ら、1993; Lodge ら、1997a; Trenkle、1997a; Trenkle、1997b)。仕上げ期の牛を使った実験では、トウモロコシ・グレインを生 DG に置換することにより、一貫して飼料効率が向上した。Larson ら (1993) は乾燥圧扁トウモロコシを 5.2、12.6、あるいは 40% (乾物中) の生 DG に置換した (表 2)。初めの 2 つの割合 (5.2 および 12.6%) の副産物では、基本の乾燥圧扁トウモロコシ飼料に比べて飼料効率が 7% 向上した。しかし、含有率を飼料乾物中 40% にまで上げると、飼料効率が乾燥圧扁トウモロコシ飼料より 20% 上昇した。発表されている他の実験 (Ham ら、1994; Fanning ら、1999; Lodge ら、1997a) における生蒸留副産物の含有率は飼料乾物中 30~40% であった。これらの実験は一貫して、トウモロコシ・グレインの 30~40% を生 DG に置換すると飼料効率が 15~25% 向上することを示唆している。

仕上げ期の牛のエネルギー源として生 DG をトウモロコシと比較した 11 の実験をまとめた(表 3)。飼料(トウモロコシ)の 12.6~50%が生 DG に置換されていた。このデータは 3 つの状況にまとめられた。第一は乾燥圧扁トウモロコシをベースにした対照飼料である。第二は飼料中のトウモロコシを低率(12.6~28%)で生 DG に置換したものである。第三は、飼料乾物のうち 30~50%のトウモロコシを生 DG に置換した状況である。

生 DG の給与が低率(平均 17.4%)の場合のエネルギー価はトウモロコシの 152%であった。給与の割合が高くなると、エネルギー価はトウモロコシの 136%にまで低下した。次に、生 DG を飼料の 17.4~40%を給与した場合のエネルギー価はトウモロコシの 124%になると計算された。

飼料中の生 DG の割合が増すにつれて相対的給与エネルギー価が変化することについては、非常に当を得た説明が成り立つと考えられる。我々の考えでは、第一の給与増分(17.4%まで)により牛にとっておそらく価値のある蛋白質などの栄養素を供給できるが、それより重要なことは、対照飼料で起こり得るアシドーシスを低減できることである。生 DG はエネルギーを動物に供給する蛋白質と脂肪を含有するが、アシドーシスにつながるデンプンは含有しない。さらに、生 DG の繊維(殻)は非常に消化率が良いが、飼料に繊維を添加してアシドーシスを低減させる。そのため、給与の割合が低率でも生 DG のエネルギー価が非常に高くなるのは(152%)、おそらく含まれる栄養素の厳密なエネルギー価以外の要素によるものと考えられる。

飼料の 17.4%を超える割合で給与された場合のエネルギー価は、おそらく生 DG の高い脂肪含量と高いバイパス蛋白質含量によるものと思われる。牛に対する脂肪のエネルギー価はデンプンの約 3 倍であり、バイパス蛋白質のエネルギーはデンプンよりも約 30%多い。給与試験からのエネルギー価は、トウモロコシの 124%であると計算された。バイパス蛋白質と脂肪含量に基づいて理論上のエネルギー価を計算すると、生 DG のエネルギー価はトウモロコシの 120%であると概算される。この計算結果は、給与試験で得られたエネルギー価に信憑性を与えるものである。

典型的なフィードロット飼料は約 85%のトウモロコシを含有する。トウモロコシのデンプンは牛が利用できるエネルギー源である。しかし、デンプンはルーメン(第一胃)の微生物によって迅速に発酵され、有機酸となる。有機酸が過剰に産生されるとアシドーシスが生じ、飼料の摂取量が減って増体が悪くなることになる(Stock および Britton, 1993 ; Stock ら, 1995)。蒸留副産物は原則的にデンプンが完全に除去されており、蛋白質、消化率の良い繊維、および脂肪が残っている。この副産物を給与することにより、アシドーシスが低減して飼料効率が高まると考えられる。

蒸留副産物の高い飼料的価値には、少なくとも 3 つの要因(蛋白質、エネルギー、アシドーシス)が関係している。飼料中の生蒸留副産物の割合に関するデータは限られているが、それに基づく、この副産物の経済的価値は飼料中の含有率の変化に伴って変動する。また、飼料中の割合が増すにつれて、1 日 1 頭当たりの給与量が多くなり、この副産物の総給与量が増すことになる。飼料中副産物の割合と飼料的価値および経済的価値の正確な関係はまだ明らかになっていない。

コーン・グルテン・フィードはもう 1 つの重要なトウモロコシ製粉副産物である。これは湿式製粉加工によって生じ、この副産物は DG とは全く異なっている。グルテン・フィードはトウモロコシ由来の繊維を含んでいるが、ジスチラス・グレインに含まれる脂肪やゼイン蛋白質(高バイパス蛋白質)は含んでいない。グルテン・フィードは、様々な組み合わせでスチープ・リカー、ジスチラス・ソリュブル、コーン・ブラン、ジャーム・ミールを含有する。

Stock ら (2000) は、フィードロット牛に対する 2 つの異なるグルテン・フィードの飼料的価値をまとめている。初めの産物については (表 4)、対照 (トウモロコシ) 飼料とグルテン・フィード含有飼料の飼料効率 (飼料: 増体比) は本質的に同等であった。これは、グルテン・フィードとトウモロコシのエネルギー価が等しいことを示唆している。産物 B (表 5) の飼料効率は対照よりも 5% 高く、これは置換したトウモロコシ・グレインよりもグルテン・フィードの方がエネルギー価が高いことを示している。DG と同様にグルテン・フィードもアシドーシスの管理に役立つ。実際のところグルテン・フィードはトウモロコシ・グレインよりも消化率が低い (Bierman ら、1995)、アシドーシスを管理できるため、フィードロット飼料中の見かけのエネルギー量は同等か高くなる。

グルテン・フィードは、育成牛や繁殖用雌肉牛にとって優れた蛋白質とエネルギーの補給源となる。これは放牧でトウモロコシの茎を摂取している育成牛への補給飼料として使用された。1 日当たり乾物として 5~6 ポンド (約 2.3~2.7 kg) の範囲で、増体は最適なものとなり、蛋白質とリンの必要補給量はグルテン・フィードで満たされた (図 1)。Jordon ら (2001b) は、これが育成牛にとって非常に費用効果の高い補給飼料になることを示している。

トウモロコシ副産物の乳牛への使用

湿式および乾式製粉の副産物、特に DG とコーン・グルテン・フィード (CGF) は、古くから粗飼料および濃厚飼料代用物として泌乳牛用飼料に使用されている。一般に DG と CGF は飼料乾物中 20% 以下で給与されるが、最近の研究では、実際は実質的にもっと多くが、特に CGF は給与可能であることが示されている。近い将来、より多くのエタノールプラントが建設されるはずであるため、これらのトウモロコシ副産物を反芻動物用飼料に最大限利用することがますます重要になっていくと思われる。

これらの副産物の化学的組成を理解すれば、乳牛用飼料に効果的に配合することが可能になる。どちらも木質化によって消化率の高い (消化速度 6~8%/時) NDF (中性デタージェント繊維) を 40~45% 含有するため、デンプン (消化速度 10~30%/時) と置換してルーメンアシドーシスのリスクを低減することができる (Allen および Grant、2000)。これらの産物は共に粒子径が小さいため、物理的に有効な NDF は 15% 未満であり、それほど反芻を刺激しない (Clark および Armentano、1993; Allen および Grant、2000)。したがって、いずれかの副産物を粗飼料の代わりにする場合は、粗飼料の粒子径が重大問題となる。DG と CGF の組成上の主要な違いは脂質と蛋白質画分である。生あるいは乾燥ジスチラス・グレインは 30~35% の CP (粗蛋白質) を含有し、このうち 55% までがルーメンバイパス蛋白質 (RUP) である。これに対して、CGF は 20~25% の CP を含有するが、このうち RUP はわずか 25~30% である。DG の脂質含量は 10~15% であるが、CGF は 3% 未満である。これらの物理化学的特性の違いにより、CGF は主として可消化 NDF の供給源と見なされ、DG は RUP の供給源と見なされている。

しかし、適正な栄養補給と粗飼料の配合を行っていれば、どちらの副産物も RUP とエネルギーの供給源となれない理由はない。このセクションでは、この 2 つの副産物の栄養的特性を最適化し、泌乳牛用飼料に最大限まで配合することを目的とした最近の研究に焦点を当てていく。CGF または DG に対する産乳反応に関するさらに総合的な概要については、Chase (1991) と Schingoethe (2001) の総説を参照してもらいたい。

乳牛用コーン・グルテン・フィード

フィードロット肉牛の研究の要約 (Stock ら、2000) では、飼料に 25~50% の生 CGF (乾物中コーン・ブラン: スチープ・リカー、1:1) が含まれていると、穀類の効率が乾燥圧扁トウモロコシに比べて 5.1% 向上することが示された。この有利な反応は、おそらくルーメンアシドーシスの低減と

DMI（乾物摂取量）の増加によるものと思われた。かなりの量のデンプン質濃厚飼料が存在する場合にはルーメンでの繊維の消化が最適状態でなければならないため、乳牛への飼料給与の際にもルーメンアシドーシスは重大な問題となる。コーン・ブランはルーメン内で迅速かつ大量に消化される。その結果、CGF からの NDF でデンプンが希釈され、発酵速度の低下と単位発酵時間当たりのルーメン内の酸負荷量の減少が起こり、ルーメンアシドーシスのリスクを高めることなく消化率の高い飼料を給与できるようになる。

粗飼料以外の CGF などの繊維供給源は、粗飼料ほど効果的に反芻を刺激しない。そのため、これらを一部の粗飼料の代わりに与える場合は、正常な反芻を維持するために粗飼料の粒子が十分な長さを持つ必要がある。また、比較的長い粒子の粗飼料は消化物のマットを形成し、これによって小さな粒子がより効果的に濾過されたり絡め取られたりしてルーメン内に長時間留まり、発酵されることになる（Welch, 1982）。Allen と Grant (2000) は、乳牛における生 CGF の通過および消化の動態に対するルーメンマットの密度の影響を評価した。表 6 は飼料と重要な反応をまとめたものである。トウモロコシと大豆粕をベースにした 2 種類の濃厚飼料が、40%までのアルファルファと 24%の生 CGF を含むよう調製された。一方の飼料はアルファルファ・サイレージを含み、もう一方の飼料はアルファルファ・サイレージと同様の品質の粗く刻んだアルファルファ乾草を 1 : 1 に混合したものを含んでいた。乾草を加えていない飼料と比べて乾草を加えた飼料では粒子が 59%長く、ルーメンマットの密度が 37%大きく、反芻が 27%多く、NDF の摂取量は同等であったが、CGF の通過速度は 35%遅く、ルーメンでの NDF の消化が 40%増加し、4%乳脂補正乳 (FCM) 量が 5.5%増加した。どちらの飼料も 24%の生 CGF を含んでいたため、この研究は、CGF の通過と消化を操作することでルーメンでの NDF の発酵を最大化できる可能性を指摘していると言える。研究はまだ実施されていないが、DG は CGF と同様の粒子径と比重を持っているため、おそらく DG についても同様の反応が観察されるものと思われる。繊維性副産物は、総飼料中に存在する物理的に有効な NDF 量を十分に確保し、その通過と消化の動態を最適化すれば、以前に考えられていたよりも飼料の消化率を高めることに大きく寄与できると考えられる。

乳牛用 CGF を評価した以前の多くの研究計画の 1 つの問題は、飼料のバランスが CP については整えられていたが代謝可能蛋白質 (MP) については整えられていなかった点である。生 CGF はトウモロコシと比べて CP は 2 倍量を含むが、MP 含量は少ない (Krishnamoorthy ら、1982 ; Stock ら、2000)。そのため、トウモロコシ・グレインを含み、CP のバランスを取るために大豆粕を使用している対照飼料は、CGF 飼料と同様の濃度の CP を含むと思われるが、同時にかなり多くの MP も含んでいると考えられる。CGF を含む飼料の MP が十分でないとする、その栄養価に関して誤った結論が導かれるおそれがある。いくつかの研究は、産乳に最適な飼料中の生 CGF は 20%以下であることを示している (Droppo ら、1982 ; Gunderson ら、1988 ; Schroeder および Park, 1997)。しかし、エネルギーや含量 20%を超える有効 NDF ではなく、MP が産乳量を制限していた可能性もある。

最近、MP 含量を増やすための湿式製粉処理から得られた成分を基礎とした新しい生 CGF 製品を開発し、飼料に配合可能なこの製品の最大量を決定するための一連の研究が実施された (Boddugari ら、2001)。その仮説は、適正に調製された生 CGF 製品は現在の酪農業界で実践されているよりもはるかに多くの量で給与されることができるといったものであった。開発された生コーン・ミリング・フィード製品 (CMP) はコーン・ブラン、発酵トウモロコシ抽出物 (スチープ・リカー)、コーン・ジャーム・ミールから成り、製品の MP 含量を増すために RUP 供給源が添加されている。CMP の成分は、CP が 23.1%、RUP が 43.0% (CP の%)、ADF (酸性デタージェント繊維) が 13.7%、NDF が 40.3%、脂質が 2.6% (乾物中) であった。比較のために挙げると、CMP を供給した湿式製粉工場から得られた生 CGF の栄養プロファイルは、CP が 22.5%、RUP が 30.0%、ADF が 14.0%、NDF が 43.0%、脂質が 2.5%であった。明らかに、大きな違いは CGF の RUP 含量が高められてい

る点である。最初の試験では、54.3%の粗飼料を含み、0、50、75、あるいは100%の濃厚飼料がCMPに置換されている4種類の飼料が評価された。対照飼料に比べて全てのCMP含有飼料では、DMIが7.8%低く、産乳量は同等で、FCMの産生効率が13.6%高まっていた。次の試験では、100%濃厚飼料置換飼料を対照飼料とし、15、30、あるいは45%の粗飼料がCMPに置換された。4%FCMの産生とFCMの効率は飼料に影響されなかったが、30および45%置換飼料では反芻が減少した一方、ルーメンpHは影響されなかった。この2つの試験は、少なくとも短期試験(4週間)では、飼料乾物のうち最高70%まではCMPで構成できることを実証しており、これは以前に発表された研究での数字よりもはるかに大きいものである。

最後の研究(Boddugariら、2001)は、泌乳初期の乳牛用飼料の最適なCMP含量を評価するために計画された。乳牛を泌乳1日目から63日目まで対照飼料(CMPなし)または40%のCMPを含む飼料のいずれかに割り付けた。40%というレベルを選択したのは、以前の試験で50%の濃厚飼料置換と30%粗飼料置換でFCM産生効率に対する効果が最大となったためである。これらの飼料に対する産乳反応を表7にまとめている。CMP含有飼料では対照飼料に比べてFCM産生効率が21%大きくなった。この一連の研究により、飼料の最高70%までは適正に調製した生CGF製品で置換できること、および飼料乾物の40%が最適給与量と思われることが示された。鍵となる概念は、副産物飼料に不足しているもの(この場合はMP)を補正することによってより多くを給与できるようになり、乳牛がデンブンよりも可消化NDFから獲得するエネルギー量を増やすことにより、長期的に健康で産乳量の多い乳牛にすることができる、というものである。

乳牛用ジスチラス・グレイン

ほとんどの研究は、大豆粕に代わる蛋白源としてDGに注目している(たとえばOwenおよびLarson、1991)。しかし、DGは可消化NDFと脂質の含量が高いため、優れたエネルギー源にもなる。最近の総説でSchingoethe(2001)は、飼料乾物のうち最大20%のDGでは嗜好性の問題が生じるおそれがあり、この量を超えると蛋白質の摂取が過剰になることを示唆した。しかし最近の試験(Schingoetheら、1999)では、対照飼料(トウモロコシ-大豆粕ベース)に対して31.2%の生トウモロコシDGを含む飼料ではエネルギー補正乳の産生効率が13.6%増すことが明らかになった。これらの飼料の粗飼料成分は63%までのトウモロコシ・サイレージと37%のアルファルファ乾草であり、飼料中の総CP含量が21%となって血清尿素レベルが22%上昇した。そのため、高レベルのトウモロコシDGを給与する際には、長期的に次の点を考慮する必要がある。すなわち1)粗飼料供給源の比率を適正にして飼料中のCPを減らす、2)粗飼料の多くがトウモロコシ・サイレージである場合はリジン供給源を補給する。飼料中の総CPとおそらく脂質の割合を、配合可能なDGの量に基づいて上限に設定すると良いようであるが、この割合を適正に調整すれば、20~30%は配合可能であると思われる。DGとCGFを組み合わせ、この2つの副産物の独特な性質を利用することにより(CGFからの可消化NDFとDGからのRUPと脂質)、飼料中含量が高く、産乳効率を増すことができる製品を作製することは、論理的に可能である。また、トウモロコシDGに含まれる脂質が乳脂肪の不飽和対飽和脂肪酸比を高める上で有効であることを示す証拠も得られている(Schingoetheら、1999)。

乳牛によるDGの利用に関する2つの大きな疑問は、1)生DGと乾燥DGで違いはあるのか、そして2)発酵のための穀物供給源がDGの栄養価に影響することはあるのか、という点である。ある研究(Al-Suwaieghら、1999)では、100%トウモロコシあるいは100%ソルガムの発酵から得られた生DGと乾燥DGが比較された。全ての飼料がアルファルファとトウモロコシ・サイレージの1:1混合物を50%、DGを15%含有していた。トウモロコシとソルガムのDGの化学的組成は同様であった。FCM産生効率は、生あるいは乾燥状態のトウモロコシまたはソルガムDGを給与された乳牛の全てで同様であった(表8)。生でも乾燥でも効率は同じであったことから、DGの形状は主とし

て、その農場の飼料の貯蔵と取り扱いに関する許容量にとって都合が良いかどうかに影響されると言える。4%FCM の産生は、乳牛がトウモロコシよりもソルガムの DG を給与されたときに低下する傾向を示した。DG の品質と長期的産乳成績に対する穀物材料の影響は不明である。生 DG も乾燥 DG も同様であることが分かっているため、泌乳早期に継続して給与した生または乾燥 DG を比較する研究を実施する必要がある。

乳牛への DG および CGF の給与：結論

間違いなく、DG と CGF は乳牛用飼料にとって可消化 NDF、RUP、および脂質の優れた供給源である。特に CGF については、これまで推奨されてきたよりもはるかに多く（少なくとも 2 倍）を飼料に配合することができる。これらの副産物の栄養プロファイルを考慮して、不足している栄養素を補給したり様々な製粉副産物を独創的に組み合わせたりすることにより、飼料を補正する必要がある。また、飼料の粗飼料成分の物理的および化学的特性を操作して、これらの副産物の利用を最大限に高める必要もある。粗飼料と濃厚飼料を最大限に置換できるようなトウモロコシ製粉副産物の組み合わせには非常に多くの可能性がある。今後数年の間にエタノールプラントの建設が増加するはずであるため、このアプローチはますます重要になっていくものと思われる。乳牛への飼料給与に関する伝統的な規範は、飼料中の粗飼料含量を最大限に高めるというものであり、粗飼料の品質に多大な注意を払う必要があった。しかし、高品質の粗飼料が高価であったり供給量が限られていたりする場合や、副産物が大量に生じる地域では、副産物を最大限に活用し、物理的に有効な NDF の最低必要量を満たすだけの粗飼料を確保する、という規範に移行していく必要がある。DG 製品も CGF 製品も共に、泌乳中の乳牛に一貫した品質で消化率の高い飼料を供給するという点で有効な成分になるはずである。

Literature Cited

- Allen, D. M., and R. J. Grant. 2000. Interactions between forage and wet corn gluten feed as sources of fiber in diets for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 83:322-331.
- Al-Suwaiegh, S., R. J. Grant, C. T. Milton, and K. Fanning. 1999. Corn versus sorghum distillers grains for lactating dairy cows. 199-2000 Nebraska Dairy Report. MP74-A, Univ. of Nebraska Coop. Ext. Serv., Lincoln, NE.
- Bierman, S. J. 1995. Nutritional effects on waste management. M.S. thesis. Univ. of Nebraska, Lincoln.
- Boddugari, K., R. J. Grant, R. Stock, and M. Lewis. 2001. Maximal replacement of forage and concentrate with a new wet corn milling product for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 84:873-884.
- Chase, L. E. 1991. Feeding distillers grains and hominy feed. *Proc. Alternative Feeds for Dairy and Beef Cattle. Natl. Invitational Sympos., St. Louis, MO. Sept. 22-24.*
- Clark, P. W., and L. E. Armentano. 1993. Effectiveness of neutral detergent fiber in whole cottonseed and dried distillers grains compared with alfalfa haylage. *J. Dairy Sci.* 76:2644-2650.
- DeHann, K., T. Klopfenstein, R. Stock, S. Abrams and R. Britton. 1982. Wet distillers byproducts for growing ruminants. *Nebraska Beef Rep.* MP-43:33.

- Droppo, T. E., G. K. Macleod, D. G. Grieve, and J. D. Summers. 1982. Feed value of moist corn gluten feed for dairy cows. *J. Anim. Sci.* 55:121.
- Fanning, K. T. Milton, T. Klopfenstein and M. Klemesrud. 1999. Corn and sorghum distillers grains for finishing cattle. *Nebraska Beef Rep.* MP-71-A:32.
- Farlin, S.D. 1981. Wet distillers grains for finishing cattle. *Amin. Nutr. Health* 36:35.
- Firkins, J. L., L. L. Berger and G. C. Fahey, Jr. 1985. Evaluation of wet and dry distillers grains and wet and dry corn gluten feeds for ruminants. *J. Anim. Sci.* 60:847.
- Gunderson, S. L., A. A. Aguilar, and D. E. Johnson. 1988. Nutritional value of wet corn gluten feed for sheep and lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 71:1204-1214.
- Ham, G. A., R. A. Stock, T. J. Klopfenstein, and R. P. Huffman. 1995. Determining the net energy value of wet and dry corn gluten feed in beef growing and finishing diets. *J. Anim. Sci.* 73:353-359.
- Ham, G. A., R. A. Stock, T. J. Klopfenstein, E. M. Larson, D. H. Shain and R. P. Huffman. 1994. Wet corn distillers byproducts compared with dried corn distillers grains with solubles as a source of protein and energy for ruminant. *J. Anim. Sci.* 72:3246-3257.
- Herold, D., M. Klemesrud, T. Klopfenstein, T. Milton, and R. Stock. 1998. Solvent-extracted germ meal, corn bran, and steep liquor blends for finishing steers. *Nebraska Beef Cattle Rep.* MP 69-A:50-53.
- Jordan, D. J., T. Klopfenstein, and T. Milton. 2001. Wet corn gluten feed supplementation of calves grazing corn residue. *Nebraska Beef Cattle Report.* MP 76A:41
- Jordon, D. J., T. Klopfenstein, T. Milton, and R. Cooper. 2001b. Compensatory growth and slaughter breakevens of yearling cattle. *Nebraska Beef Cattle Report.* MP 76-A:29.
- Krehbiel, C. R., R. A. Stock, D. W. Herold, D. H. Shain, G. A. Ham, and J. E. Carulla. 1995. Feeding wet corn gluten feed to reduce subacute acidosis in cattle. *J. Anim. Sci.* 73:2931-2939.
- Krishnamoorthy, V., T. V. Muscato, C. J. Sniffen, and P. J. Van Soest. 1982. Nitrogen fractions in selected feedstuffs. *J. Dairy Sci.* 65:217-226.
- Larson, E. M., R. A. Stock, T. J. Klopfenstein, M. H. Sindt and R. P. Huffman. 1993. Feeding value for wet distillers byproducts from finishing ruminants. *J. Anim. Sci.* 71:2228.
- Lodge, S. L., R. A. Stock, T. J. Klopfenstein, D. H. Shain and D. W. Herold. 1997a. Evaluation of corn and sorghum distillers byproducts. *J. Anim. Sci.* 75:37.
- Lodge, S. L., R. A. Stock, T. J. Klopfenstein, D. H. Shain, and D. W. Herold. 1997b. Evaluation of wet distillers composite for finishing ruminants. *J. Anim. Sci.* 75:44-50.
- McCoy, R. A., R. A. Stock, T. J. Klopfenstein, D. H. Shain, and M. J. Klemesrud. 1998. Effect of energy source and escape protein on receiving and finishing performance and health of calves. *J. Anim. Sci.* 76:1488-1498.

- NRC. 1996. Nutrient Requirements of Beef Cattle (7th Ed.). National Academy Press, Washington, DC.
- Owen, F. G., and L. L. Larson. 1991. Corn distillers dried grains versus soybean meal in lactation diets. *J. Dairy Sci.* 74:972-979.
- Richards, C., R. Stock, and T. Klopfenstein. 1996. Evaluation of levels of wet corn gluten feed and addition of tallow. *Nebraska Beef Cattle Rep.* MP 66-A:61-63.
- Richards, C. J., R. A. Stock, T. J. Klopfenstein, and D. H. Shain. 1998. Effect of wet corn gluten feed, supplemental protein, and tallow on steer finishing performance. *J. Anim. Sci.* 76:421-428.
- Schingoethe, D. J. 2001. Feeding wet distillers grains to dairy cattle. *Proc. Distillers Grains Technol. Council. 5th Ann. Symp., Louisville, KY.* May 23-24.
- 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.
- Schroeder, J. W., and C. S. Park. 1997. Optimizing level of wet corn gluten feed, storage form, and altering intake protein degradability in diets for lactating Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.* 80:248.
- Scott, T., T. Klopfenstein, D. Shain, and M. Klemesrud. 1997a. Wet corn gluten feed as a source of rumen degradable protein for finishing steers. *Nebraska Beef Cattle Rep.* MP 67-A:70-72.
- Scott, T., T. Klopfenstein, R. Stock, and M. Klemesrud. 1997b. Evaluation of corn bran and corn steep liquor for finishing steers. *Nebraska Beef Cattle Rep.* MP 67-A:72-74.
- Stock, R.A. and R.A. Britton. 1993. Acidosis in Feedlot Cattle. In: *Scientific Update on Rumensin/Tylan for the Profession Feedlot Consultant.* Elanco Animal Health, Indianapolis, IN. p A-1.
- Stock, R. A., T. J. Klopfenstein and D. Shain. 1995. Feed intake variation. In: *Symposium; Intake by Feedlot Cattle.* Oklahoma Agr. Exp. Sta. P-942:56.
- Stock, R. A., J. M. Lewis, T. J. Klopfenstein, and C. T. Milton. 2000. Review of new information on the use of wet and dry milling byproducts in feedlot diets. *Proceedings of the American Society of Animal Science, 1999 (on line serial).*
- Trenkle, A. 1997a. Evaluation of wet distillers grains in finishing diets for yearling steers. *Beef Research Report- Iowa State Univ.* ASRI 450.
- Trenkle, A. 1997b. Substituting wet distillers grains or condensed solubles for corn grain in finishing diets for yearling heifers. *Beef Research Report - Iowa State Univ.* ASRI 451.
- Welch, J. G. 1982. Rumination, particle size, and passage from the rumen. *J. Anim. Sci.* 54:885-894.

表 1. 生および乾燥ジスチラス・グレインのエネルギー価

	対照	生	低 ^a	中 ^a	高 ^a
1 日給与量、lb	24.2 ^{bc}	23.5 ^b	25.3 ^c	25.0 ^c	25.9 ^c
1 日増体量、lb	3.23 ^b	3.71 ^c	3.66 ^c	3.71 ^c	3.76 ^c
給与量/増体量 向上	7.69 ^b	6.33 ^c	6.94 ^d	6.76 ^d	6.90 ^d
飼料		21.5		11.9 (平均)	
ジスチラス対トウモロコシ		53.8		29.8	

^aADIN のレベル、9.7、17.5 および 28.8%。

^{b,c,d}同じ列で上付き文字が異なる平均値は異なっている (P<0.05)。

表 2. 1 歳牛および子牛の仕上げ成績に対する生ジスチラス・グレインレベルの影響

項目	DG レベル、飼料乾物中% ^a			
	0	5.2	12.6	40.0
1 日給与量、lb				
1 歳牛 ^b	25.21	24.64	24.05	21.30
子牛 ^b	18.52	19.23	18.55	17.40
1 日増体量、lb				
1 歳牛 ^c	3.61	3.76	3.85	3.85
子牛 ^b	2.86	3.06	3.08	3.21
給与量/増体量 ^d				
1 歳牛 ^e	6.94	6.62	6.33	5.78
子牛 ^b	6.45	6.33	6.10	5.65

^a 乾物中の生グレイン：蒸留粕（給与比）、1 歳牛=1.67 : 1；子牛=1.81 : 1

^b 副産物レベル、一次的 (P<0.01)

^c 副産物レベル、一次的 (P<0.10)；二次的 (P<0.10)

^d 増体量/給与量として分析した給与量/増体量。給与量/増体量は増体量/給与量の逆数である

^e 副産物レベル、一次的 (P<0.10)

表 3. フィードロット飼料中の生ジスチラース・グレインおよびソリュブルの割合の飼料価値に対する影響

実験	飼料乾物中の生 DG レベル		
	0	12.6-28%	30-50%
Trenkle, 1997a	.154 ^a	.183 (20) ^b 194% ^c	.176 (40) ^b 137% ^c
Trenkle, 1997a	.154		.176 (40) 136%
Trenkle, 1997b	.164	.207 (16) 126%	.168 (40) 102%
Trenkle, 1997b	.164	.171 (28) 114%	
Firkins ら, 1985	.155	.156 (25) 101%	.171 (50) 121%
Larson ら, 1993	.144	.158 (12.6) 177%	.173 (40) 150%
Larson ら, 1993	.155	.164 (12.6) 164%	.177 (40) 135%
Ham ら, 1994	.133		.158 (40) 147%
Fanning ら, 1999	.154		.172 (30) 147%
平均		152% (17.4)	136% (40)
17.4~40 の値			124%

^a 飼料効率

^b 飼料乾物中のレベル

^c トウモロコシに対する相対値

表 4. 仕上げ期の肉牛に対する WCGF-A^a のエネルギー価

参考文献	飼料中の量、 乾物%	複製数	相対的給与量： 増体量 ^b
Bierman (1995 年)	41.5	4	1.04
Ham ら (1995 年) 試験 1	35.0	4	1.06
	70.0	4	1.06
Ham ら (1995 年) 試験 2	17.5	4	1.06
	35.0	4	.97
	52.5	4	1.01
	70.0	4	.97
	87.5	4	1.01
Krehbiel ら (1995 年)	35.0	2 ^c	.96
Lodge ら (1997 年 b)	40.0	2 ^c	1.00
McCoy ら (1998 年) 試験 1	45.0	12	.98
McCoy ら (1998 年) 試験 2	45.0	16	.99
平均、全レベル	47.6	—	1.00
平均、飼料乾物中 20~60%	43.0	—	.997

^aWCGF-A=生コーン・グルテン・フィード、乾物中含量 40%

^b試験飼料の給与量/増体量で割った対照飼料の給与量/増体量として計算

^c個別給与牛の試験。計算のために 2 つの複製ペンに処置を割り付けた

表 5. 仕上げ期の肉牛に対する WCGF-B^a のエネルギー価

参考文献	飼料中の量、 乾物%	複製数	相対的給与量： 増体量 ^b
Richards ら (1996 年)	44.0	4	.89
	42.4	4	.91
	86.6	4	.91
Scott ら (1995 年 a)	10.4	4	1.02
	20.8	4	.99
	38.2	4	.97
Scott ら (1995 年 b)	30.0	2 ^c	.90
	60.0	2 ^c	.92
Herold ら (1998 年)	22.5	4	.99
Richards ら (1998 年)	25.0	8	.97
	50.0	4	.96
平均、全レベル	37.3	—	.951
平均、飼料乾物中 20~60%	34.8	—	.949

^aWCGF-B=生コーン・グルテン・フィード、乾物中含量 60%

^b試験飼料の給与量/増体量で割った対照飼料の給与量/増体量として計算

^c個別給与牛の試験。計算のために 2 つの複製ペンに処置を割り付けた

表 6. 生コーン・グルテン・フィード (CGF) のルーメン通過および消化

項目	CGF	CGF+乾草
成分、乾物%		
アルファルファ・サイレージ	39.8	19.9
アルファルファ乾草	—	18.8
生 CGF	24.4	24.4
混合濃厚飼料	35.8	36.9
9.5 mm 以上の粒子の%	7.3	11.6
NDF 摂取量、体重の%	1.4	1.4
ルーメンマットの密度、上昇速度、cm/秒	0.26 ^a	0.19 ^b
CGF の通過速度、%/時	6.40 ^a	4.20 ^b
見かけのルーメン NDF 消化率、%	32.4 ^b	44.8 ^a
反芻、分/kg NDF 摂取量	46.5 ^b	59.2 ^a
4%乳脂補正乳量、kg/日	27.9	29.4

^{ab}同じ列で上付き文字が異なる平均値は異なっている (P<0.10)

表 7. 泌乳 1 日目から 63 日目まで 40%の生コーン・ミリング・フィード製品 (CMP) を給与された乳牛の成績

項目	0% CMP	40% CMP
DMI、体重の%	4.27 ^a	4.06 ^b
NDF 摂取量、体重の%	1.16 ^b	1.40 ^a
4%FCM、kg/日	38.5 ^b	44.6 ^a
FCM/DMI、kg/kg	1.47 ^b	1.79 ^a
ボディ・コンディション・スコア	2.93	3.00

^{ab}同じ列で上付き文字が異なる平均値は異なっている (P<0.05)。

表 8. 乾物比 15%で給与されたトウモロコシあるいはソルガム由来の生および乾燥ジスチラス・グレイン (DG)

項目	トウモロコシ DG		ソルガム DG	
	乾燥	生	乾燥	生
DMI、体重の%	3.9	4.0	4.1	4.0
4%FCM、kg/日	33.3	33.0	31.9	31.3
FCM/DMI、kg/kg	1.3	1.3	1.3	1.2
乳脂肪、%	3.7	3.6	3.5	3.5
乳蛋白質、%	3.4	3.3	3.2	3.2