

第 14 章

肉牛飼料としての DDGS の使用

はじめに

米国の肉牛業界はこの数十年間、湿潤および乾燥状態のトウモロコシ・ジスチラーズ副産物の主要な消費業界である。そのため、トウモロコシ・ジスチラーズ副産物を畜牛に給与した場合の飼料価値を評価するための試験を相当数実施している。こうした試験の大半がジスチラーズ・グレインの仕上期肉牛への給与に関するものである。優れた研究をまとめた文献や給与に関する推奨事項が記載された文献が数件発表されている (Erickson ら、2005; Tjardes と Wright、2002; Loy ら、2005a; Loy ら、2005b; Schingoethe、2004)。新しいところでは、Klopfenstein ら (2008) が様々な割合で湿潤ジスチラーズ・グレイン・ウィズ・ソリュブルを配合した飼料を飼養牛に給与した 9 件の試験のメタ分析を含む優れた文献レビューを発表した。

肉牛用ジスチラーズ副産物の栄養成分

肉牛に給与する場合の DDGS の栄養成分および消化率についての詳しい情報は、第 4 章「**DDGS の栄養成分と消化率: ばらつきと In Vitro 測定**」を参照されたい。

ウェット・ジスチラーズ・グレイン・ウィズ・ソリュブルおよびドライド・ジスチラーズ・グレイン・ウィズ・ソリュブルは比較的タンパク質の含有率が高く (27~30%)、古くから飼養牛用飼料のタンパク質補給原材料として用いられてきた (Klopfenstein ら、2008)。トウモロコシ DDGS に含まれるタンパク質の大半が第一胃の分解を逃れる率の高いゼインであり (Little ら、1968)、第一胃で分解されるのは 40% である (McDonald、1954)。第一胃の分解を逃れるタンパク質はばらつきが大きいことが知られているが (Aines ら、1987)、ドライド・ジスチラーズ・グレインのタンパク質は大豆粕の約 2.4 倍で、DDGS のタンパク質は約 1.8 倍である。

DDGS の炭水化物最大の分画成分は NDF (中性デタージェント繊維) である。トウモロコシ粒の果皮部分 (ふすま) は NDF を約 69% 含んでおり、DDGS の NDF の多くはこの部分から得られ、大部分 (87%) が急速 (1 時間に 6.2%) に消化される (DeHaan ら、1983)。DDGS に含まれる消化率が高く急速に発酵可能な繊維であることから、現在では仕上期の飼養牛用の飼料に高エネルギー、高タンパク質源として配合されている。Farlin (1981) はウェット・ジスチラーズ・グレイン・ウィズ・ソリュブル (WDGS) の乾物ベース kg 当たりのエネルギーがトウモロコシの値を上回ることを初めて見だし、これは後に Firkins ら (1985) および Trenkle (1996) によって裏付けられた。

DDGS に含まれるトウモロコシ油もエネルギー含量に大きく貢献している。Vander Pol ら (2007) はトウモロコシ油の消化率が 70% で、WDGS の油の消化率は 81% になることを示した。これは WDGS の油の一部が第一胃で加水分解および水素化を免れることに起因すると考えられる。脂肪酸摂取レベルが上昇すると消化が低下する (Plascencia ら 2003) が、これは恐らく DDGS の飼料配合率が上昇すると飼料価値が低下する理由を示していると考えられる (表 1)。

仕上期畜牛への DDGS の給与

米国ではジスチラーズ・グレイン・ウィズ・ソリュブルの多くは湿潤状態で仕上期の畜牛に給与されており、結果としてこうした畜牛は DDGS よりも高いエネルギー価を得ることができる。しかしながら、米国から輸出され、肉牛用飼料用として用いられるジスチラーズ・グレイン・ウィズ・ソリュブルはすべて乾燥させたものである。現在では、DDGS は主として仕上期畜牛用飼料のエネルギー源とみなされている。トウモロコシ DDGS は嗜好性が非常に優れ、積極的に摂取されるため、結果として高い乾物摂取量が得られる。DDGS を仕上期畜牛に給与した場合と比較すると、WDGS では発育成績が上回る (Erickson ら, 2005)。30~40%のトウモロコシ粒を WDGS に置換すると、確実に飼料要求率が 15~25%改善される結果となる (DeHaan ら, 1982; Farlin, 1981; Firkins ら, 1985; Fanning ら, 1999; Larson ら, 1993; Trenkle, 1997a,b; Vander Pol ら, 2005a)。飼料要求率がこのように改善されるのは、主として WDGS のエネルギー価がトウモロコシの 120~150%に相当するためである (Erickson ら, 2005)。乾燥させることによって、ジスチラーズ・グレイン・ウィズ・ソリュブルのエネルギー価は粗飼料率の高い飼料に用いられる乾燥圧ペントウモロコシのエネルギー価の 102~127%程度へと低下すると考えられる。WDGS および DDGS のエネルギー価が高いのはアシドーシス管理によるものと考えられる (Erickson ら, 2005)。



Buckner ら (2007) は仕上期の去勢牛に DDGS の配合率を変えて給与し、発育成績および枝肉特性に及ぼす影響を評価する試験を実施した (表 1)。この試験結果では、DDGS の配合率を引き上げても乾物摂取量、第 12 肋骨脂肪厚さ、腰部筋肉面積および霜降り度に影響は見られなかったが、ADG (1 日平均体重増加率) および温枝肉重量に二次効果、増体効率に二次傾向が観察された。DDGS を飼料に加えると飼料価値はトウモロコシの値を大幅に上回ったが、飼料配合率が上昇するに従ってこの値は低下した (表 1)。Klopfenstein ら (2008) は他の 4 件の試験結果とともに Buckner ら (2007) のデータを加えてメタ分析を行った。その結果においても、DDGS の配合率を引き上げて給与した場合に ADG (1 日平均体重増加率) に二次反応が見られたが、G:F (飼料効率) では三次反応が観察された。加えて、このメタ分析では飼料に 20~30% の割合で DDGS を配合した場合に最大の ADG が得られ、10~20%の配合率では G:F が最大になることが明らかになった。Klopfenstein ら (2008)

は WDGS では DDGS より高い配合率で ADG および G:F 反応が最大になり、配合率の上昇による飼料価値の低下の割合は WDGS よりも DDGS を給与した場合に高いことを見いだした。

表 1. 各種飼料配合率で DDGS を仕上期去勢牛に給与した場合の発育成績および枝肉特性³

反応分類	0% DDGS	10% DDGS	20% DDGS	30% DDGS	40% DDGS
DMI kg/d	9.25	9.47	9.52	9.71	9.47
ADG kg	1.50	1.61	1.68	1.62	1.59
G:F	0.162	0.171	0.177	0.168	0.168
飼料価値 ¹	100	156	146	112	109
温枝肉重量 kg	351	362	370	364	359
第 12 肋骨脂肪 cm	1.42	1.37	1.50	1.40	1.47

腰部筋肉面積 cm ²	80.0	80.6	82.6	81.3	81.3
霜降り度 ²	533	537	559	527	525

¹ トウモロコシとの比較、G:F の差を DDGS 配合率で除して算出

² 霜降り度 400 = 僅少⁰、500 = 少⁰

³ Buckner ら 2007 に基づく

Leupp ら (2009) は 70%濃厚飼料を給与している去勢牛を対象として、様々な割合でトウモロコシ DDGS を配合した場合の飼料摂取量、消化率および第一胃発酵への影響を調べ、70%濃厚飼料に含まれる乾燥圧ペントウモロコシを最大 60%まで DDGS で置換しても、有機物消化率への悪影響がないことを示した。ただし、飼料に 60%の割合で DDGS を加えると、有機物の摂取量が減少した。本試験の研究者らは、生育期去勢牛用飼料に DDGS を 45%配合した場合に、消化および第一胃発酵を最も改善することができるかと結論付けた。

DDGS によるアシドーシス低減

DDGS を含む飼料を給与すると、穀物が多く含まれる飼料を摂取する飼養牛のアシドーシスが低減される。発酵速度の速いデンプンが多く含まれる高穀物飼料を仕上期の畜牛に給与すると、しばしば亜急性アシドーシスの問題が発生する。DDGS はデンプンの含有率が低く (2~5%)、繊維、タンパク質および脂肪の含有率が高いため、乾物摂取量の 20%以上を DDGS に置換した飼料を給与する場合には、飼料中の粗飼料の割合を引き下げることができる。DDGS はタンパク質含有率が高いため、DDGS を 20%以上含む飼料を給与する場合には、質の低い粗飼料でも効果的に用いることが可能になる (Klopfenstein ら、2008)。

DDGS 高配合飼料によるタンパク質およびリンの過剰摂取

DDGS をエネルギー源として用い、15~20%の範囲を超えて飼料に配合すると、タンパク質およびリンを過剰に摂取させることになる。過剰なタンパク質はアミノ酸の脱アミノ作用によってエネルギーに用いられ、結果として尿素が排泄されることになる。Vander Pol ら (2005b) は乾物の 10%または 20%が DDGS である飼料を仕上期畜牛に給与した場合には、飼料に尿素を添加しても何らの利益も得られないことを明らかにし、窒素の再利用が発生していることを示唆した。しかしながら、Erickson ら (2005) は、慎重を期すためには、DDGS の配合率が 20%を下回る飼料を調製する場合、分解性摂取タンパク質の補給に関する NRC (1996) ガイドラインに従うのが最善の策であると提案した。飼養牛に DDGS によるリンが過剰に含まれる飼料を給与しても、許容できる Ca:P 比率が維持されるようにカルシウムを適切に補給している場合には、成績および枝肉特性に悪影響を及ぼすことはないと考えられる。

DDGS が硫黄を高率で含有する可能性

DDGS における硫黄の高含有率は飼養肉牛にとっての懸念事項となる可能性がある (Lonergan ら、2001)。エタノールプラントではエタノールおよび DDGS の製造中にクリーニングおよび pH 調整を目的として硫酸を使用している。その結果、DDGS の硫黄含有率には大きなばらつきが生まれ、その範囲は 0.6%から 1.8%という高率にまで至る。第一胃の微生物は適切な食餌性硫黄を必要としているが、飼料に過剰な硫黄が含まれると灰白質脳軟化症を引き起こすことがあり、乾物摂取量、ADG および肝臓の銅濃度の減少にもつながる可能性がある。反芻動物における硫黄摂取の管理についての詳細なまとめは第 12 章「DDGS 中の硫黄に関する懸念と利点」を参照されたい。

Neville ら (2012) による最近の試験では、様々な配合率での DDGS 給与 (20、40 および 60%) およびトウモロコシ処理方法 (高水分トウモロコシ vs 乾燥あっぺんトウモロコシ) が飼養場去勢牛の発育成績、灰白質脳軟化症の発症率および硫化水素ガス濃度にどのような影響を与えるかを調べた。飼料の硫黄含有率は 0.6~0.9%の範囲で、1 頭 1 日当たり 150 mg のチアミンを添加した。飼料に含まれる DDGS の割合が増加するに従って枝肉調整後最終体重は線形減少を示し

たが、枝肉調整後飼料効率は影響を受けなかった。DDGS の配合率を引き上げて給与すると、温枝肉重量および背脂肪が減少し、歩留り等級の低下を招いた。飼料中の DDGS の割合が増加すると、硫化水素ガス濃度も増加したが、灰白質脳軟化症の発症は確認されなかった。トウモロコシ処理方法は発育成績、灰白質脳軟化症の発症率、第一胃の硫化水素ガス濃度に影響を及ぼさなかった。こうした結果だけでなく、Neville ら (2010) および Schauer ら (2008) による報告結果も、高濃度の飼料を給与した子羊および去勢牛では DDGS の硫黄は最大許容レベルを超えて給与可能であることを裏付けている。NRC (2005) が報告している硫黄の最大許容レベルについては、再評価の必要があると考えられる。この筆者らは食物性 (または水溶性) 硫黄源が臨床上の灰白質脳軟化症の発症に何らかの役割を果たしている可能性を示唆しており、更なる調査が求められる。

Felix ら (2012) は DDGS を 60% 配合した飼料を生育期畜牛に給与し、銅の補給が飼養場成績、枝肉特性および第一胃硫黄代謝に及ぼす影響を評価した。銅の補給は第一胃の pH には影響を及ぼさなかったが、DDGS を 60% 配合した飼料に銅を飼料 1kg 当たり 100 mg 添加した場合に、硫化水素ガス濃度が低下した。ただし、銅を飼料 1kg 当たり 0mg または 200mg 添加した場合には低下が認められなかった。60%DDGS 飼料を給与した畜牛では銅の補給によって飼料効率が改善したが、畜牛の最大許容量の倍量を補給した場合には、第一胃硫黄代謝への影響は最小になった。

DDGS 給与がもたらす優れた肉質および歩留

DDGS が含まれる飼料を給与しても牛枝肉の品質や歩留りに変化はなく、牛肉の官能特性および食味特性に影響を及ぼすこともない (Erickson ら、2005)。ジステラズ・グレインを給与した畜牛から得られる牛肉の品質および官能特性を評価する試験件数は増加傾向にあるが、いずれも一貫して、DDGS を高い割合で配合した飼料を給与しても得られた牛肉の食味特性に悪影響のないことを示している。

Roeber ら (2005) はウェット・ジステラズ・グレインおよびドライド・ジステラズ・グレインを最大 50% まで配合した飼料を給与した 2 件の試験の供試牛であるホルスタイン去勢牛から得られた牛肉のストリップロインの色、柔らかさおよび官能特性を評価した。柔らかさ、風味、および肉汁に差は認められなかった。同様に Jenschke ら (2006) もウェット・ジステラズ・グレインを最大 50% (乾物ベース) まで配合した飼料を仕上期肉牛に給与し、得られたステーキ肉の柔らかさ、結合組織の量、肉汁および異臭の程度に差のないことを明らかにした。実際のところ、ウェット・ジステラズ・グレイン・ウィズ・ソリュブルを 30% および 50% 配合した飼料を給与した場合と比較すると、0% および 10% 配合した飼料を給与した肉牛から得られたステーキに異臭が存在する可能性が非常に高かった。Gordon ら (2002) は 153 日間の仕上期試験期間中に DDGS を 0%、15%、30%、45%、60% および 75% 含む飼料を未經産牛に給与し、DDGS の配合率が高くなるとステーキの柔らかさが増すという線形関係が多少存在することを明らかにした。

Koger ら (2010) は大豆粕のすべてとクラックド・コーンの一部を 20 または 40% のウェット・ジステラズ・グレイン・ウィズ・ソリュブルまたはドライド・ジステラズ・グレイン・ウィズ・ソリュブルで置換した飼料をアンガス交雑種去勢牛に給与した。ジステラズ・グレインを給与した交雑種去勢牛の枝肉の脂肪厚および歩留り等級は、乾燥圧ペントウモロコシ、大豆粕およびアルファルファ干し草から成る対照飼料を給与した去勢牛を上回った。DDGS を給与した去勢牛から得られた腰肉の極限 pH はウェット・ジステラズ・グレインを給与した去勢牛から得られ

た腰肉の値を上回った。ジスチラーズ・グレインを給与した去勢牛から得られた挽肉の α トコフェロールの値は対照飼料を給与した去勢牛から得られた挽肉の値を上回ったが、ジスチラーズ・グレインを40%配合した飼料を給与した去勢牛から得られた挽肉では、小売店頭での陳列2日目のTBARS（チオバルビツール酸反応性物質：脂質過酸化反応指標として用いられる）の値がジスチラーズ・グレインを20%配合した飼料を給与した去勢牛の挽肉の値を上回った。この研究者らは、ジスチラーズ・グレインを給与した去勢牛は皮下脂肪が過剰になるのを避けるため、通常よりも短期間で市場に出す必要があるとも考えられるが、「ダークカッター」と呼ばれる暗色化、挽肉の小売店頭での陳列期限または肉の柔らかさに対してはプラスの影響もマイナスの影響もないと結論付けた。しかしながら、ジスチラーズ・グレインを給与した畜牛から得られた肉では、酸化腐敗臭を発生させやすいと考えられている多価不飽和脂肪酸が増加している。

生育期または仕上期の去勢牛にDDGSを0%配合した飼料と30%配合した飼料を給与しても、発育成績および枝肉特性に差は認められなかった（Leuppら、2009）。霜降りの度合いおよび柔らかさは飼料の影響を受けなかったが、仕上期にDDGSを給与した去勢牛のステーキは肉汁が多く、風味も優れていた。こうしたデータから、生育期または仕上期に乾燥圧ペントウモロコシを一部置換してDDGSを乾燥ベースで30%配合しても、成績、枝肉特性または官能特性には悪影響が及ばないことが示唆される。ただし、DDGSを30%配合するとステーキの色に悪影響が及ぶ可能性がある。

同様に、Segersら（2011）は、離乳期から出荷に至るまでの間、タンパク質補給用として大豆粕を給与した場合と比較して、DDGSまたはコーングルテンフィードを25%配合した飼料を給与しても腰最長筋ステーキの組成および柔らかさは影響を受けないことを示した。ただし、Leuppら（2009）によって確認されたステーキ色への影響と同様に、訓練を受けて本試験に参加した官能試験官らは知覚色の差を感知したが、異なる試料群間のステーキの全体的な色は似通っていた。試料群間でTBARSの濃度に違いはなかったが、DDGSを給与した去勢牛から得られたステーキの色の変化は小売店頭陳列9日後のステーキの色の変化を上回り、より多くの多価不飽和脂肪酸を含んでいた。これにより、DDGSを給与した畜牛から得られた食肉製品では脂質酸化を示す数値が上昇するため、保存期間が短くなる可能性が示唆される。本試験の結果は、肉質に影響を及ぼすことなく、離乳期から屠畜に至るまでの間、DDGSおよびコーングルテンフィードで肉牛用飼料中の大豆粕およびトウモロコシの一部を置換することが可能であることを示している。

Aldaiら（2010）は小麦 DDGS とトウモロコシ DDGS を飼養場畜牛に給与し、肉質に及ぼすそれぞれの影響を比較し、大麦対照飼料を給与した肉牛と比較した場合、小麦 DDGS は肉質に悪影響を及ぼさないが、トウモロコシ DDGS では柔らかさや嗜好性等の肉質にある程度プラスの影響があることを示した。

DDGS 給与が大腸菌 O157:H7 排菌に及ぼす影響

2007 年、米国では牛挽肉の大腸菌 O157:H7 汚染が増加し、その原因を突き止め理解しようとする動きが急激に活発化した。同時期、エタノールおよびジスチラーズ・グレインの生産が爆発的に増加したため、ジスチラーズ・グレインの給与がこの問題に関わっているのではないかという疑念が生まれた。そのため、研究者らはジスチラーズ・グレイン・ウィズ・ソリュブルの給与と牛肉の大腸菌 O157:H7 汚染の増加に関係があるのか否かを突き止めるための試験に着手した。DDGS 給餌と糞便中への排菌の相関関係の可能性についての研究結果の詳細かつ包括的なまとめについては本ガイドブック第 16 章「DDGS 給餌と肉牛糞便中の大腸菌 O157:H7 とに関連性はあるのか？」を参照されたい。

一言で言えば、肉牛への DDGS 給与が大腸菌 O157:H7 の排菌に及ぼす影響については一貫性のな

いことを示している。大腸菌 O157 : H7 の排菌反応は DDGS の飼料配合率およびトウモロコシ処理方法その他の飼料原材料の影響を受けると考えられる。現在のところ、DDGS の配合率が牛挽肉の大腸菌 O157 : H7 汚染の原因のひとつであることを示唆する科学的根拠は存在しない。

DDGS のその他の飼料用途

その他の年齢の畜牛に給与するトウモロコシ DDGS に関する試験は多くは行われていない。しかしながら、質の低い粗飼料を摂取させている場合には、DDGS は飼料に効果的に用いることのできる優れた補給用エネルギー源でありタンパク質源となる。リンの含有率が低い粗飼料を含む飼料を給与している場合には、DDGS を加えると DDGS に含まれるリンがより大きな価値を持つことになる。この他の DDGS の使用用途には授乳中の親牛に用いる餌付け飼料としての使用、放牧牛のための補給飼料としての使用が含まれるだけでなく、低品質粗飼料および作物残渣を給与している成長期の仔牛および妊娠期の肉牛繁殖用雌牛または育成期の肉牛繁殖用未経産牛への補給飼料として使用できる可能性がある。

肉牛繁殖用雌牛への DDGS 給与

仕上期の肉牛とは異なり、肉牛繁殖用雌牛への DDGS 給与試験はそれほど多く行われているわけではない。Loy ら (2005a) は肉牛繁殖用雌牛の飼料に DDGS を配合した試験結果をまとめ、優れた論文を発表した。肉牛繁殖用雌牛の飼料に DDGS を配合することがもっともふさわしい状況は、1) コーングルテンフィードまたは大豆粕を置換することのできるタンパク質補給源が必要な場合 (特に低品質粗飼料を給与している場合) 2) コーングルテンフィードまたは大豆外皮を置換することのできる低デンプン、高繊維、高エネルギー源が必要な場合、および 3) 脂肪補給源が必要な場合である。

タンパク質補給源としての DDGS

研究者らは、コロラド州の冬期放牧地に放牧されている肉牛繁殖用雌牛に 1 日 0.18 kg のタンパク質を補給する目的で DDGS を給与すると、アルファルファ乾草やカルネイビー・ビーンよりも良好な結果が得られることを示した (Smith ら、1999)。Shike ら (2004) は泌乳期のシンメンタル牛に給与する乾燥粉碎アルファルファへの栄養補給源としてコーングルテン飼料を給与した場合と DDGS を給与した場合とで発育成績を比較し、DDGS を給与した牛は増体量でコーングルテンフィードを給与した牛を上回り、乳量では下回ることを見いだ



した。しかしながら、仔牛の体重および繁殖成績には差は見られなかった。その後の研究では、イリノイ大学の研究者である Loy ら (2005a) は泌乳期のアンガス牛とシンメンタル牛に粉碎トウモロコシ茎と DDGS またはコーングルテンフィードを組み合わせた飼料を補給してその結果を比較した。仔牛への授乳中の親牛に全配合飼料を制限給餌し、DDGS を補給した雌牛とコーングルテンフィードを補給した雌牛の間に乳量および仔牛の増体量の差は見られなかった。

エネルギー補給源としての DDGS

低品質の粗飼料を給与している場合には、ドライド・ジスチラーズ・グレイン・ウィズ・ソリュブル

は効果的なエネルギー補給源となる。Summer と Trenkle (1998) は、DDGS およびコーングルテンフィードがコーンストーバー飼料ではトウモロコシに勝る補給源となるが、高品質アルファルファ飼料ではそうならないことを示した。コーンストーバー（トウモロコシの茎葉）のタンパク質、エネルギーおよびミネラルの含有率は低いが、価格が安く、米国の主要トウモロコシ生産州では入手が容易である。良好な状態にある妊娠期の雌牛に低品質の粗飼料（「例えば、コーンストーバー」）を給与している場合には、妊娠期の最後の 3 分の 1 の期間中 1 日 1.4~2.3 kg の DDGS を摂取させると、タンパク質およびエネルギー要求量を満たすことができる (Loy ら、2002)。泌乳期の初期に低品質の粗飼料（例えば、トウモロコシの茎葉）を給与している場合には、1 日 2.7~3.6 kg の DDGS を摂取させると、タンパク質およびエネルギー要求量を満たすことができる (Loy ら、2002)。

Radunz ら (2010) は妊娠後期の飼料エネルギー源（干し草、トウモロコシおよび DDGS）が分娩前および分娩後の雌牛成績に及ぼす影響、分娩前の飼料エネルギー源が及ぼす影響について評価した。こうしたエネルギー源を日々の要求量と同じか、それ以上給与した場合は、分娩前および分娩後の雌牛成績に悪影響は及ぼさず、分娩前の飼料エネルギー源として DDGS を給与した場合には妊娠期間中の 1 日当たりの飼料コストが減少した。飼料エネルギー源はエネルギー区分化に影響を及ぼし、血漿代謝を変化させ、その結果として、妊娠後期の期間中 DDGS またはトウモロコシを給与した雌牛から生まれた仔牛の出生時体重は干し草を給与した雌牛から生まれた仔牛の値を上回った。

脂肪補給源としての DDGS

妊娠率がやや劣る (<90%) 雌牛に脂肪を補給すると繁殖改善につながる。Loy ら (2002) はトウモロコシ油と同様の脂肪酸組成 (DDGS の脂肪酸組成) を有する補給飼料を給与すると妊娠率が改善することを示した。この他に、彼らは、タンパク質またはエネルギーの補給がすぐに必要とされる状況下での脂肪補給が最も効果的であることを示した。

Engle ら (2008) は妊娠後期の未経産牛用の飼料に DDGS を配合した場合と大豆外皮を配合した場合の動物成績および繁殖成績に及ぼす影響を比較評価した。この試験結果によって、脂肪および非分解性摂取タンパク質の補給源として DDGS を分娩前の飼料に加えると、良好な状態を維持している初産の未経産肉牛では妊娠率が改善することが示された。

Shike ら (2009) は制限給餌でトウモロコシ併産物を給与した場合の、動物成績、泌乳、栄養成分の産出およびその後の繁殖に及ぼす影響を評価した。コーングルテンフィードを給与した雌牛と比較して、DDGS を給与した雌牛は体重が 16 kg、乳量は 1 日当たり 0.9 kg 下回り、仔牛の ADG も下回る傾向が見られた。2 度目の試験では、粉碎トウモロコシ茎を 2.3 kg/d、さらに栄養要求量を満たすために、コーングルテンフィード (7.7 kg/d) または DDGS (7.2 kg/d) を等カロリー量雌牛に給与した。DDGS を給与した雌牛の体重はコーングルテンフィードを給与した雌牛の値を下回ったが、1 度目の試験とは異なり、乳量および仔牛の ADG には違いが認められなかった。いずれの試験でも繁殖成績には差が見られず、制限給餌では DDGS もコーングルテンフィードも最高 75% まで配合することができるが、DDGS はコーングルテンフィードよりも高い脂肪含有率を有するものの繁殖改善にはつながらないことを示唆している。

更新用未経産牛

更新用未経産牛への DDGS 給与に関する試験は極く僅かしか実施されていない。しかしながら、仕上期の畜牛を対象とした数多くの試験に基づき、DDGS は更新用未経産牛を育成するための優れたバイパスタンパク質源およびエネルギー源になると考えられる。MacDonald と Klopfenstein (2004) の試験では、スズメノチャヒキを自由採食している更新用未経産牛に 1 日当たり 0 kg、0.45 kg、0.90 kg、1.36 kg、1.81 kg の DDGS を補給した。研究者らは DDGS の補給量が 0.45 kg 増加するに従って、粗飼料消費量は 1 日につき 0.78 kg 減少し、1 日平均増体量は 27 g 増加することを見いだした。

Loy ら (2003) は交雑種未経産牛の飼育用として用いている粗飼料率の高い飼料に毎日または週に 3 回 DDGS を加えて、その補給価値を評価した。この未経産牛には干し草を不断給与し (粗タンパク質 8.7%)、DDGS または乾燥圧ペントウモロコシを栄養補給用として用いた。これらの補給飼料の配合率は 2 種類とし、同じ分量で毎日または 1 週間に 3 回給与した。毎日補給した未経産牛では干し草摂取量および増体速度が 1 週間 3 回給与の未経産牛の値を上回ったが、飼料要求率は下回った。補給飼料の配合率の高低の違いに関わらず、DDGS を給与した未経産牛の ADG および飼料要求率は乾燥圧ペントウモロコシを給与した未経産牛の値を上回った (表 2)。この筆者らは DDGS の正味エネルギー価はトウモロコシ粒の値を 27% 上回ると算定した。

表 2. 現地の干し草に DDGS またはトウモロコシを 2 種類の配合率で加えて給与した成長期の未経産牛の発育成績

		低 ^a	高 ^b
ADG kg/d	トウモロコシ	0.37	0.71
	DDGS	0.45	0.86
DM 摂取/ADG	トウモロコシ	15.9	9.8
	DDGS	12.8	8.0

^a 低 = 体重の 0.21% 量を補給

^b 高 = 体重の 0.81% 量を補給

出典: Loy ら (2003) .

引き続き実施した試験では、Loy ら (2004) はカニューレを挿入した未経産牛に補給飼料なし、DDGS を毎日補給、DDGS を 1 日おきに補給、乾燥圧ペントウモロコシを毎日補給、乾燥圧ペントウモロコシを 1 日おきに補給した。予期されたように、補給飼料を給与しなかった未経産牛の干し草摂取量は給与した未経産牛の値を上回ったが、DDGS を補給した場合とトウモロコシを補給した場合では飼料摂取量に差はみられなかった。DDGS を補給した未経産牛の第一胃繊維消失率はトウモロコシを補給した未経産牛の値を上回った。

Loy ら (2008) は交雑種未経産牛 120 頭それぞれに給与し、補給飼料の種類、配合率および給与頻度が摂取量および発育成績に及ぼす影響を見極め、粗飼料の割合が多い飼料に加えた DDGS のエネルギー価を推計した。この試験の結果により、育成期の未経産牛用として給与した DDGS の TDN 価 (可消化養分総量) は乾燥圧ペントウモロコシを給与した場合の値を 18~30% 上回ることが示された。

Stalker ら (2004) は粗飼料主体飼料のエネルギー源として DDGS を給与した場合の、補給用分解性タンパク質要求量の影響を評価するため 2 件の試験を行った。飼料は分解性タンパク質が不足し (> 100 g/日)、代謝性タンパク質は過剰に含まれるように調製した。この試験の結果により、粗飼料主体飼料のエネルギー源として DDGS を給与した場合には、分解性タンパク質摂取要求量を満たすために尿素を添加する必要のないことが示された。

Morris ら (2005) は未経産牛それぞれに高品質または低品質の粗飼料を給与し、いずれの場合も 1 日当たり 0 kg、0.68 kg、1.36 kg、2.04 kg または 2.72 kg の DDGS を補給すると、粗飼料の摂取量が減少し、1 日平均体重増加率が向上することを示した。こうした結果により、粗飼料の入手が制限を受ける可能性のある場合には、DDGS は成長を促進させるための効果的な粗飼料用の補給飼料原材料となり得ることが示唆された。

Islas と Soto-Navarro (2011) は DDGS の配合が小粒穀物牧草を摂取する未経産牛の粗飼料摂取量および消化率に及ぼす影響を評価し、DDGS を体重の最大 0.6 % まで配合して、粗飼料の摂取量、消化率および第一胃の発酵に悪影響を及ぼすことなく、脂肪摂取量および脂肪と NDF の消化率を向上することが可能であることを示した。こうした結果に基づいて、小粒穀物牧草を摂取している畜牛の消化率や粗飼料摂取量に悪影響を及ぼすことなく、DDGS を添加することにより問題なく脂肪摂取量を増加させることができる。

まとめ

トウモロコシ DDGS は肉牛のあらゆる生産段階のエネルギー源およびタンパク質源として優れている。エネルギー源として効果的に使用することが可能で、仕上期の畜牛に乾物摂取量の 40% を限度として DDGS を配合した飼料を給与することで、優秀な発育成績、枝肉の質および肉質を得ることができる。ただし、DDGS の配合率が高いと、タンパク質およびリンを過剰に摂取させることになる。

肉牛に DDGS を給与した場合の大腸菌 O157 : H7 の排菌に及ぼす一貫性のある影響はなく、議論の分かれる問題である。DDGS の配合率およびトウモロコシ処理の種類（乾燥圧ペントウモロコシ、高湿潤トウモロコシ、スチームフレークコーン）が大腸菌 O157 : H7 の排菌に対する反応に影響を及ぼす可能性がある。現在のところ、DDGS の配合率が牛挽肉の大腸菌 O157 : H7 汚染の原因のひとつであることを示唆する科学的根拠は存在しない。

肉牛繁殖用雌牛の飼料に DDGS を配合することがもっともふさわしい状況は、1) コーングルテンフィードまたは大豆粕を置換するためのタンパク質補給源が必要な場合（特に低品質粗飼料を給与している場合）2) コーングルテンフィードまたは大豆外皮を置換することのできる低デンプン、高繊維、高エネルギー源が必要な場合、および 3) 脂肪補給源が必要な場合である。

成長期の未経産牛では、粗飼料主体飼料にエネルギー源として DDGS を加えている場合には、分解性摂取タンパク質の要求量を満たすために尿素を添加する必要がない。育成期の未経産牛では、粗飼料の入手が制限を受ける可能性のある場合には、DDGS は成長を促進させる効果的な粗飼料用の補給飼料原材料となり得るだけでなく、DDGS の TDN 価は乾燥圧ペントウモロコシの値を 18~30% 上回る。

References

- Aines, G., T. Klopfenstein, and R. Stock. 1987. Distillers Grains. MP51, Nebraska Agric. Res. Div., Lincoln.
- Aldai, N., J.L. Aalhus, M.E.R. Dugan, W.M. Robertson, T.A. McAllister, L.J. Walter, J.J. McKinnon. 2010. Comparison of wheat- versus corn-based dried distillers' grains with soluble on meta quality of feedlot cattle. *Meat Sci.* 84:569-577.
- Buckner, C.D., T.L. Mader, G.E. Erickson, S.L. Colgan, K. Karges, and M.L. Gibson. 2007. Optimum levels of dry distillers grains with soluble for finishing beef steers. *Nebraska Beef Rep.* 35-38
- DeHaan, K.D., T.J. Klopfenstein, and R. Stock. 1982. Corn gluten feed-protein and energy source for ruminants. *Nebraska Beef Cattle Report.* MP43-33-35.
- DeHaan, K., T. Klopfenstein, R. Stock, S. Abrams, and R. Britton. 1983. Wet distiller's co-products for growing ruminants. *Nebraska Beef Rep.* MP 43:33-35.
- Engel, C.L., H.H. Patterson, and G.A. Perry. 2008. Effect of dried corn distiller's grains plus solubles compared with soybean hulls, in late gestation heifer diets, on animal and reproductive performance. *J. Anim. Sci.* 86 (7) :1697-1708.
- Erickson, G.E., T.J. Klopfenstein, D.C. Adams, and R.J. Rasby. 2005. Utilization of corn co-products in the beef industry. - A joint project of the Nebraska Corn Board and the University of Nebraska-Lincoln, Institute of Agriculture and Natural Resources, Agricultural Research Division, Cooperative Extension Division. www.nebraskacorn.org
- Fanning, K., T. Milton, T. Klopfenstein, and M. Klemesrud. 1999. Corn and sorghum distiller's grains for finishing cattle. *Nebraska Beef Rep.* MP 71 A:32.
- Farlin, S.D. 1981. Wet distiller's grains for finishing cattle. *Anim. Nutr. Health* 36:35.
- Felix, T.L., W. P. Weiss, F.L. Fluharty, and S.C. Loerch. 2012. Effects of copper supplementation on feedlot performance, carcass characteristics, and rumen sulfur metabolism of growing cattle fed diets containing 60% dried distillers grains. *J. Anim. Sci.* doi:10.2527/jas.2011-4100.
- Firkins, J.L., L.L. Berger, and G.C. Fahey, Jr. 1985. Evaluation of wet and dry distiller's grains and wet and dry corn gluten feeds for ruminants. *J. Anim. Sci.* 60:847-860.
- Gordon, C.M., J.S. Drouillard, R.K Phebus, K.A. Hachmeister, M.E. Dikeman, J.J. Higgins, and A.L. Reicks. The effect of Dakota Gold Brand dried distiller's grains with solubles of varying

- levels on sensory and color characteristics of ribeye steaks. Cattleman's Day 2002, Report of Progress 890. Kansas State University. pp. 72-74.
- Islas, A., and S.A. Soto-Navarro. 2011. Effect of supplementation of dried distillers grains with solubles on forage intake and characteristics of digestion of beef heifers grazing small-grain pasture. *J. Anim. Sci.* 89:1229-1237.
- Jacob, M.E., J.T. Fox, S.K. Narayanan, J.S. Drouillard, D.G. Renter, and T.G. Nagaraja. 2008a. Effects of feeding wet corn distiller's grains with soluble with or without monensin and tylosin on the prevalence and antimicrobial susceptibilities of fecal food-borne pathogenic and commercial bacteria in feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 86:1182-1190.
- Jacob, M.E., J.T. Fox, J.S. Drouillard, D.G. Renter, and T.G. Nagaraja. 2008b. Effects of dried distiller's grains on fecal prevalence and growth of *Escherichia coli* O157 in batch culture fermentations from cattle. *Appl. Environ. Microbiol.* 74:38-43.
- Jacob, M.E., G.L. Parsons, M.K. Shelor, J.T. Fox, J.S. Drouillard, D.U. Thomson, D.G. Renter, and T.G. Nagaraja. 2008c. Feeding supplemental dried distiller's grains increases fecal shedding *Escherichia coli* O157 in experimentally inoculated calves. *Zoonoses Publ. Hlth.* 55:125-132.
- Jacob ME, J.T. Fox, J.S. Drouillard, D.G. Renter, and T.G. Nagaraja. 2009. Evaluation of feeding dried distiller's grains with solubles and dry-rolled corn on the fecal prevalence of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella* spp. in cattle. *Foodborne Pathog. Dis.* 6 (2) :145-53.
- Jenschke, B.E., J.M. James, K.J. Vander Pol, C.R. Calkins, and T.J. Klopfenstein. 2006. Wet distiller's grains plus solubles do not increase liver-like off-flavors in cooked beef. *Nebraska Beef Report, University of Nebraska-Lincoln*, pp. 115-117.
- Klopfenstein, T.J., G.E. Erickson, and V.R. Bremer. 2008 Board-Invited Review: Use of distillers by-products in the beef cattle feeding industry. *J. Anim. Sci.* 86:1223-1231.
- Koger, T.J., D.M. Wulf, A.D. Weaver, C.L. Wright, K.E. Tjardes, K.S. Mateo, T.E. Engle, R.J. Maddock, and A.J. Smart. 2010. Influence of feeding various quantities of wet and dry distillers grains to finishing steers on carcass characteristics, meat quality, retail-case life of ground beef, and fatty acid profile of longissimus muscle. *J. Anim. Sci.* 88:3399-3408.
- Larson, E.M., R.A. Stock, T.J. Klopfenstein, M.H. Sindt, and R.P. Huffman. 1993. Feeding value of wet distiller's co-products from finishing ruminants. *J. Anim. Sci.* 71:2228.
- Leupp, J.L., G.P. Lardy, M.L. Bauer, K.K. Karges, M.L. Gibson, J.S. Caton, and R.J. Maddock. 2009. Effects of distillers dried grains with soluble on growing and finishing steer intake, performance, carcass characteristics, and steak color and sensory attributes. *J. Anim. Sci.* 87:4118-4124.
- Little, C. O., G.E. Mitchell Jr., and G.D. Potter. 1968. Nitrogen in the abomasums of wethers fed different protein sources. *J. Anim. Sci.* 27:1722-1726.
- Lonergan, G.H., J.J. Wagner, D.H. Gould, F.B. Garry, and M.A. Toren. 2001. Effects of water sulfate concentration on performance, water intake, and carcass characteristics of feedlot steers. *J. Anim. Sci.* 79:2941-2948.
- Loy D.D., D.R. Strohbehn, and R.E. Martin. 2005a. Ethanol co-products for cattle: Distillers grains for beef cows. IBC 26. Iowa Beef Center. Iowa State University.
- Loy, D.D., D.R. Strohbehn, and R.E. Martin. 2005b. Ethanol co-products for cattle: Factors affecting the economics of corn co-products in cattle feeds. IBC 28. Iowa Beef Center, Iowa State University.
- Loy, D. and W. Miller. 2002. Ethanol co-products for cattle – The process and products. Iowa Beef Center. Iowa State University IBC-18.
- Loy, T.W., T.J. Klopfenstein, G.E. Erickson, and C.N. Macken. 2003. Value of dry distiller's grains in high fiber diets and effect on supplementation frequency. *Nebraska Beef Cattle Report MP 80-A:8.*
- Loy, T.W., J.C. MacDonald, T.J. Klopfenstein, and G.E. Erickson. 2004. Effect of distiller's grains or corn supplementation frequency on forage intake and digestibility. *Nebraska Beef Cattle Report MP 80-A:22-24.*
- Loy, T.W., T.J. Klopfenstein, G.E. Erickson, C.N. Macken, and J.C. MacDonald. 2008. Effect of supplemental energy source and frequency on growing calf performance. *J. Anim. Sci.* 86 (12) :3504-3510.

- Luepp, J.L., G.P. Lardy, K.K. Karges, M.L. Gibson, and J.S. Caton. 2009. Effects of increasing level of corn distillers dried grains with soluble on intake, digestion, and ruminal fermentation in steers fed seventy percent concentrate diets. *J. Anim. Sci.* 87:2906-2912.
- MacDonald, J.C. and T.J. Klopfenstein. 2004. Dried distiller's grains as a grazed forage supplement. *Nebraska Beef Cattle Report MP 80-A:22-24.*
- McDonald, I.W. 1954. The extent of conversion of feed protein to microbial protein in the rumen of sheep. *Biochem. J.* 56:120-125.
- Morris, S.E., T.J. Klopfenstein, D.C. Adams, G.E. Erickson, and K.J. Vander Pol. 2005. The effects of dried distiller's grains on heifers consuming low or high quality forages. *Nebraska Beef Report MP 83-A:18-20.*
- Nagaraja, T.G., J. Drouillard, D. Renter, S. Narayanan. 2008. Distiller's grains and food-borne pathogens in cattle: Interaction and intervention. *KLA News and Market Report Vol. 33, No. 35.*
- Neville, B.W., C.S. Schauer, K. Karges, M.L. Gibson, M.M. Thompson, L.A. Kirschten, N.W. Dyer, P.T. Berg, and G.P. Lardy. 2010. Effect of thiamine supplementation on animal health, feedlot performance, carcass characteristics, and ruminal hydrogen sulfide concentrations in lambs fed diets based on 60% DDGS. *J. Anim. Sci.* 88:2444-2455.
- Neville, B.W., G.P. Lardy, K.K. Karges, S.R. Eckermann, P.T. Berg, and C.S. Schauer. 2012. Interaction of corn processing and distillers dried grains with soluble on health and performance of steers. *J. Anim. Sci.* 90:560-567.
- NRC. 1996. *Nutrient Requirements of Beef Cattle* (7th ed.) . National Academy Press, Washington, DC.
- NRC. 2005. *Mineral tolerances of animals*, 2nd ed. Natl. Acad. Press, Washington, D.C.
- Owens, F.N., D.S. Secrist, W.J. Hill, and D.R. Gill. 1997. The effect of grain source and grain processing on performance of feedlot cattle: a review. *J. Anim. Sci.* 75:868-879.
- Peterson, R.E., T.J. Klopfenstein, R.A. Moxley, G.E. Erickson, S. Hinkley, G. Bretschneider, E.M. Berberov, D. Rogan, and D.R. Smith. 2007. Effect of a vaccine product containing type III secreted proteins on the probability of *E. coli* O157:H7 fecal shedding and mucosal colonization in feedlot cattle. *J. Food Protection* 70:2568-2577.
- Plascencia, A., G. D. Mendoza, C. Vásquez, and R. A. Zinn. 2003. Relationship between body weight and level of fat supplementation on fatty acid digestion in feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 81:2653-2659.
- Radunz, A.E., F.L. Fluharty, M.L. Day, H.N. Zerby, and S.C. Loerch. 2010. Prepartum dietary energy source fed to beef cows: I. Effects on pre- and postpartum cow performance. *J. Anim. Sci.* 88:2717-2728.
- Roeber, D.L., R.K. Gill, and A DiCostanzo. 2005. Meat quality responses to feeding distiller's grains to finishing Holstein steers. *J. Anim. Sci.* 83:2455-2460.
- Schingoethe, D.J. 2004. Corn Co products for Cattle. *Proceedings from 40th Eastern Nutrition Conference, May 11-12, Ottawa, ON, Canada.* pp 30-47.
- Segers, J.R., R.L. Stewart, Jr., C.A. Lents, T.D. Pringle, M.A. Froetschel, B.K. Lowe, R.O. McKeith, and A.M. Stetleni. 2011. Effect of long-term corn by-product feeding on beef quality, strip loin fatty acid profiles, and shelf life. *J. Anim. Sci.* 89:3792-3802.
- Schauer, C.S., M.M. Stramm, T.D. Maddock, and P.B. Berg. 2008. Feeding 60% lamb finishing rations as dried distillers grains with solubles results in acceptable performance and carcass quality. *Sheep and Goat Res. J.* 23:15-19.
- Shike, D.W., D.B. Faulkner, and J.M. Dahlquist. 2004. Influence of limit-fed dry corn gluten feed and distiller's dried grains with solubles on performance, lactation, and reproduction of beef cows. *J. Anim. Sci.* 82 (Suppl. 2) :96.
- Shike, D.W., D.B. Faulkner, D.F. Parrett, and W.J. Sexten. 2009. Influences of corn co-products in limit-fed rations on cow performance, lactation, nutrient output, and subsequent reproduction. *Professional Animal Scientist.* 25:2, 132-138.
- Smith, C.D., J.C. Whitlier, D.N. Schutz, and D. Conch. 1999. Comparison of alfalfa hay and distiller's dried grains with solubles alone and in combination with cull beans as protein sources for beef cows grazing native winter range. *Beef Program Report. Colorado St. Clin.*

- Stalker, L.A., T.J. Klopfenstein, D.C. Adams, and G.E. Erickson. 2004. Urea inclusion in forage-based diets containing dried distiller's grains. Nebraska Beef Cattle Report MP 80-A:20-21.
- Summer, P., and A. Trenkle. 1998. Effects of supplementing high or low quality forages with corn or corn processing co-products upon digestibility of dry matter and energy by steers. Iowa State University Beef Research Report ASL-R1540.
- Tjardes, J. and C. Wright. Feeding corn distiller's co-products to beef cattle. SDSU Extension Extra. ExEx 2036, August 2002. Dept. of Animal and Range Sciences. pp.1-5.
- Trenkle, A.H. 1996. Evaluation of wet distiller's grains for finishing cattle. Beef Research Rep., Iowa State Univ., Ames. AS632:75-80.
- Trenkle, A. 1997a. Evaluation of wet distiller's grains in finishing diets for yearling steers. Beef research Report – Iowa State University ASRI 450.
- Trenkle, A. 1997b. Substituting wet distiller's grains or condensed solubles for corn grain in finishing diets for yearling heifers. Beef Research report – Iowa State University ASRI 451.
- Vander Pol, K.J., G. Erickson, T. Klopfenstein, and M. Greenquist. 2005a. Effect of level of wet distiller's grains on feed lot performance of finishing cattle and energy value relative to corn. J. Anim. Sci. 83 (Suppl. 2) :25.
- Vander Pol, K.J., G.E. Erickson, and T.J. Klopfenstein. 2005b. Degradable intake protein in finishing diets containing dried distiller's grains. J. Anim. Sci. 83 (Suppl. 2) :62.
- Vander Pol, K.J., M.K. Luebke, G.I. Crawford, G.E. Erickson, and T.J. Klopfenstein. 2007. Digestibility, rumen metabolism and site of digestion for finishing diets containing wet distillers grains or corn oil. Nebraska Beef Cattle Report. MP88-A:51-53.