

15章: 肉用牛における低脂肪 DDGS

はじめに

米国の肉用牛飼育農家にとっては、湿式および乾式粉砕トウモロコシからの併産物は、過去何十年もの間、主要な飼料原料となっている。2017年における肉用牛飼育農家のエタノール発酵併産物消費量は、米国国内での総使用量の44%を占めている。その結果、エタノール発酵併産物の肉用牛への給与試験データは非常に多く、その多くは、最も多く使用されている仕上げ期のフィードロット牛における使用に焦点が当てられている。10年以上前にいくつかの優れた総説が発表されている(Ericksonら、2005; Tjardes and Wright、2002; Loyら、2005a; Loyら、2005b; Klopfensteinら、2008)が、2010年以降にも140を超える論文が公表されていることから、本章ではこれらの研究結果を要約する。

トウモロコシからのエタノール発酵併産物のエネルギー、栄養成分組成と消化率

トウモロコシ DDGS は、肉用牛の飼料に高いエネルギーと中程度のたん白質をもたらす飼料原料として使用されている。DDGS の栄養成分組成とバラツキに関しては4章で詳述している。米国では、トウモロコシの代替えとして、仕上げ期の肉用牛に DDGS を40%(乾物)程度給与しているが、主にエネルギー源として30%以上給与すると、フィードロット牛の要求量を超える CP(粗たん白質)とリンが給与されることになる。

エネルギー

DDGS の主要な炭水化物画分は NDF(中性デタージェント繊維)である。NDF の大部分は、NDF を約69%含むトウモロコシふすま由来で、そのほとんど(87%)が、急速に(6.2%/時間)消化される(DeHaanら、1983)。DDGS 中の繊維は、消化性と発酵性が高いため、仕上げ期のフィードロット牛用飼料のエネルギーおよびたん白

質源として使用される。DDGS に含まれているトウモロコシ油も、エネルギー含量に大きく影響する。Vander Polら(2007)は、トウモロコシ油の消化率が70%であることを示しているが、脂肪酸摂取量が増加すると、脂肪酸の消化率が低下し(Plascenciaら、2003)、DDGS を30%以上含む飼料を摂取した場合に摂取量の低下をもたらす可能性がある。Hamら(1994)による初期の研究では、トウモロコシ DDGS の肉用牛における NE_g(発育に要する正味エネルギー)は、トウモロコシの NE_g より21%高いことが報告されており、Tjardes and Wright(2002)によるその後の総説では、トウモロコシ DDGS の NE_m(維持に要する正味エネルギー)は2.16~2.21 Mcal/kg、ME_gは1.50~1.54 Mcal/kgであるとしている。実際、多くの反すう家畜関係の栄養士は、トウモロコシ DDGS は、圧ペントウモロコシと比較してフィードロット牛におけるルーメンアシドーシスのリスクが低いことから、トウモロコシ DDGS を好む傾向にある(Ahernら、2011)。

残念ながら、肉用牛における低脂肪 DDGS のエネルギー価に関するデータは少ない。Bremer(2014)は、成長期の子牛に DMI(乾物摂取量)の低脂肪(粗脂肪7.2%)および高脂肪(粗脂肪12.0%)DDGS を20または40%給与してエネルギー価を測定し、低脂肪 DDGS と高脂肪 DDGS のエネルギー価には差がなく、これらの2種類の DDGS のエネルギー価はトウモロコシの約124%であると推定している。ただし、低脂肪 DDGS を仕上げ期の肉用牛に給与した場合の価値は、高脂肪 DDGS の約89%であったが、低脂肪 DDGS の給与量の増加に伴い飼料効率が改善された。

DDGS はアシドーシスを減らす

DDGS を含む給与すると、高穀物飼料を給与しているフィードロット牛のアシドーシスが減少する。トウモロコシ穀粒には急速に発酵するでん粉が大量に含まれている

ため、仕上げ期の牛に多給した場合、亜急性アシドーシスが問題になることがある。これに対して、DDGS のでん粉含量は 2~5%と低く、粗繊維、CP、粗脂肪含量が比較的多いため、DDGS が乾物で 20%以上の粗飼料を給与すると、DMI を減少させることができる。さらに、低品質の粗飼料では、DDGS を 20%以上用いると CP が高まる (Klopfenstein ら、2008)。

たん白質

トウモロコシ DDGS は CP 含量が比較的多く(27~30%)、歴史的にフィードロット牛用飼料におけるたん白質サプリメントとしても使用されてきた (Klopfenstein ら、2008)。トウモロコシ DDGS のたん白質のほとんどはゼインであり、ルーメン・バイパス率が高く (Little ら、1968)、ゼインの約 40%がルーメンで分解される (McDonald、1954)。ルーメン・バイパスたん白質は DDGS の供給源で大きなバラツキがあることが示されているが (Aines ら、1987)、DDGS のたん白質は大豆粕のたん白質より 1.8 倍高いたん白質価を持っており、RUP (ルーメン非分解性たん白質) を豊富に含んでいる。

ADIN (酸性デタージェント不溶性窒素) は、DDGS のたん白質損傷を判断する尺度となり、ADIN 分析値に係数 (6.25) を乗じた値を、実際の CP 含量を比較することで損傷の程度を判断できる。大豆粕中の RUP は 30%だが、DDGS 中の RUP は約 60~70%であり、Erickson ら (2005) は、DDGS 中のたん白質が持つ高いバイパス性は、乾燥や水分含量ではなく、たん白質が本来持っている特性に由来するものであって、PER (たん白効率) は同等であるために ADIN の増加が起こらないか、DDGS 中の ADIN の増加に伴い増加するとしている。肉用牛における DDGS 中の RUP 含量に関する報告は少ないが、Castillo-Lopez (2013) は、RUP は CP の約 63%であると推察している。DDGS の給与は、十二指腸への微生物たん白質の流入量を減少させる傾向があり、十二指腸中の原生動物由来たん白質には影響を与えず、少量の酵母由来のたん白質を供給する。

Li ら (2012) は、小麦、トウモロコシ、小麦 DDGS、高脂肪 (粗脂肪 11.5%) と低脂肪 (粗脂肪 4.5%) のトウモロコシ

シ DDGS の CP とアミノ酸の *in situ* および *in vitro* 分解性について比較している。その結果、小麦、トウモロコシ、小麦 DDGS、高脂肪トウモロコシ DDGS および低脂肪トウモロコシ DDGS における CP の真の消化率はそれぞれ 98.5、96.5、94.3、93.5 および 88.9%であった。また、彼らは、DDGS 中の CP のルーメン内での分解は、原料である穀類より低く、高脂肪トウモロコシ DDGS よりも低脂肪トウモロコシ DDGS の方が低かったが、小麦 DDGS とトウモロコシ DDGS との間には差がなかったと結論している。必須アミノ酸のルーメン分解は、小麦 DDGS で最大であり、次いで、高脂肪トウモロコシ DDGS と低脂肪トウモロコシ DDGS だった。たん白質の品質と RUP 中の必須アミノ酸は原料穀類よりもわずかに少なかったが、これらのすべては優れた RUP 源である。その後の Li ら (2013) の研究では、小麦 DDGS と低脂肪トウモロコシ DDGS (粗脂肪 4.5%) を補給すると、ナタネ粕と高脂肪トウモロコシ DDGS を給与した場合と比較して、小腸内での CP とアミノ酸量が増加することを示している

尿素

牛用飼料にトウモロコシなどの急速に発酵する炭水化物が大量に含まれ、かつ、飼料の CP の多くがトウモロコシに由来している場合、RDP (ルーメン分解性たん白質) の摂取量が不足する可能性がある。Ceconi ら (2015) は、RDP 摂取量の増加と尿素的添加がフィードロット牛の発育成績、枝肉形質、ルーメン発酵、全消化管消化率、プリン誘導体からクレアチニンへの変換の指標に及ぼす影響を評価するため 2 試験を実施した。その結果、DDGS を 20%含む圧ペントウモロコシと高水分トウモロコシの飼料では、RUO 供給量が限られるため、ルーメン発酵、飼料の消化率、発育成績を改善するために尿素補給が必要であることが示されている。

リン

トウモロコシ DDGS のカルシウム含量は少なく、リン含量は比較的高い。DDGS を給与すると、その給与量によっては、補給するミネラル・サプリメント中へのリン源の添加を行う必要がなくなる場合がある。DDGS の給与量が多いフィードロット牛では、飼料中には要求量より過剰

なリンが含まれており、それが排泄物中に排泄されることを考慮する必要がある。DDGS ではカルシウム含量が低く、発育成績の低下と尿路結石の発生を予防するために、粉碎した石灰石やアルファルファ等のカルシウム源を補給して、カルシウム:リン比を 1.2:1 から 7:1 以下に維持する必要がある(Tjardes and Wright, 2002)。

Geisert ら(2010)は、リン酸一ナトリウムを添加してリン含量を 3 水準(0.12、0.27、0.42%)とした湿式粉碎トウモロコシ、圧ペントウモロコシおよび DDGS のリン消化率を測定した。その結果、DDGS を 30%配合した飼料では全リン含量と摂取量が比較的高くなり、その消化率は約 50%であった(表 1)。ただし、DDGS の可消化リン含量は、仕上げ期の肉用牛のリン要求量を超え、かなりの量のリン(摂取量の約 54%)が排泄された。仕上げ期の肉用牛のリン要求量は、典型的な米国のフィードロット牛用飼料のリン含量(0.30~0.50%)および NRC 肉牛(2001)よりも低い。最大の発育成績を期待する際のリンの要求量は、全飼料中で 0.17%(乾物)未満であるため、通常のトウモロコシ主体または DDGS 主体の飼料にリンを添加する必要はない。フィードロット牛用に用いるミネラル・サプリメントから過剰なリンを除くことで、排泄物中のリン含量が減少し、環境負荷のリスクを最小限に抑えることが出来る。

DDGS の配合量を高めると窒素(N)およびリン含量が減少する

DDGS をエネルギー源として 15~20%以上給与すると、過剰なたん白質とリンが供給される。過剰なたん白

質は、アミノ酸の脱アミノ化によって発生し、尿素として排泄するためにエネルギーが必要となる。Vander Pol ら(2005)は、仕上げ期の肉用牛に DDGS を乾物で 10 または 20%含む飼料を給与した場合、尿素を補給しても効果はなく、窒素循環が起こっていたことを示唆している。しかし、Erickson ら(2005)は、DDGS の含量が 20%未満である場合には、RDP の補給について NRC 肉牛(2001)に従うべきだとしている。カルシウム:リン比を許容範囲に維持するために十分なカルシウムが補充されている場合には、DDGS によって過剰なリンを含む飼料を給与しても発育成績や枝肉形質に悪影響はないようである。

イオウ

DDGS は比較的多くのイオウが含み、フィードロット牛にとって懸念となる可能性がある(Lonergan ら、2001)。14章では、反すう動物のイオウ摂取量の管理を詳述している。エタノール工場では、製造工程で硫酸を使用して pH 調整を行っているが、DDGS 中のイオウ含量 0.6~1.0%で、非常にバラツキが大きい。ルーメン微生物には十分なイオウが必要だが、飼料中のイオウ含量が過剰になると PEM(灰白脳軟化症)を誘引し、DMI、ADG(日増体量)、肝臓中の銅含量を低下させる可能性がある。Felix ら(2012a)は、DDGS を 30%以上含み、乾物の大部分を占めている場合には、肉用牛の DMI、ルーメン pH および食物繊維消化率が低下する可能性があることを示している。ルーメン pH が 6.35 に上がると、DMI が増加し、栄養成分のルーメン消化率が高まる(Leventini ら、1990)。

表 1. リン給与量が去勢牛におけるリン摂取量と見かけの消化率と排泄量に及ぼす影響(Geisert ら、2010 から改編)

	低リン	中リン	高リン	圧ペントウモロコシ	DDGS
飼料中リン含量 %	0.12	0.27	0.42	0.30	0.36
乾物摂取量 kg/日	8.86	10.54	9.76	9.57	9.48
乾物消化率 %	71.9	69.6	72.5	75.7	68.5
リン摂取 g/日	11.0 ^a	28.0 ^b	41.3 ^d	28.9 ^b	34.0 ^c
見かけのリン消化率 %	11.3 ^a	48.9 ^b	39.0 ^b	58.6 ^b	51.5 ^b
糞由来のリン排泄量 g/日	9.3 ^a	14.2 ^a	26.0 ^b	12.1 ^a	15.9 ^a
尿由来のリン排泄量 g/日	0.4 ^a	2.2 ^b	1.9 ^b	2.0 ^b	2.3 ^b
全リン排泄量 g/日	9.7 ^a	16.3 ^{ab}	27.9 ^c	14.0 ^{ab}	18.2 ^b
全リン排泄量中の尿由来のリン排泄量 %	3.5	14.2	9.9	14.3	12.4

a-d 異符号間に有意差あり (p < 0.10)

したがって、DDGS を多く含む飼料にアルカリ性のサプリメントを添加すると、pH の上昇と栄養成分の消化率改善効果がある。DDGS を含む高イオウ飼料におけるチアミン、銅、NaOH(水酸化ナトリウム)および CaO(酸化カルシウム)の影響に関していくつかの研究報告がある。

Neville ら(2012)は、DDGS の配合量(20、40、60%)とトウモロコシの加工方法(高水分トウモロコシと圧ペントウモロコシ)による発育成績、PEM 発生率およびフィードロット去勢牛における硫化水素ガス濃度に及ぼす影響を調査している。飼料中のイオウ含量は 0.6~0.9%であり、チアミンを 150 mg/日補給した。最終体重で補正した枝肉重量は、DDGS 配合量の増加と用量相関的に直線的減少を示したが、飼料効率には影響はなかった。DDGS の給与量が高まると、温屠体重量、背脂肪、枝肉歩留が低下した。硫化水素ガスは、DDGS 給与量の増加に伴って増加したが、PEM の確定例はなかった。トウモロコシの加工方法は、発育成績、PEM 発生率または第一胃の硫化水素ガス濃度に影響を与えなかった。これらの結果と、Neville ら(2010)および Schauer ら(2008)の報告は、羊と去勢牛に対して、DDGS 由来のイオウを最大許容レベルを超えて給与できることを実証しており、NRC(2005)によるイオウの最大許容レベルは再評価されるべきである。

DDGS 主体の飼料への銅の補給は、イオウ含量が高い DDGS を多量に給与した場合に、第一胃の硫化水素産生量を減少させ、イオウによる毒性発生を防ぐために効果的である。第一胃では、銅とイオウが結合して硫化銅が形成され、動物体における銅とイオウの利用率が低下する(McDowell, 2003)。肉用牛飼料中の銅の最大許容レベルは、100 mg/kg(乾物)であると報告されている(McDowell, 2003)。Felix ら(2012a)は、育成期の去勢牛と若雌牛に対して、DDGS を 60%配合した飼料に銅を 0、100 または 200 mg/kg添加した場合の発育成績、枝肉形質およびルーメン内のイオウ代謝に及ぼす影響を調査した。その結果、銅の補給により飼料効率が改善された。ADG や枝肉形質に影響はなかったものの、ルーメン内のイオウ代謝に対する銅補給の影響は、推奨される最大許容限度の 2 倍まで高めても最小限であった。

ルーメン pH の低下は繊維の発酵を妨げる。DDGS の

繊維含量は比較的多く、pH が比較的低いため、ルーメン pH と繊維の消化率を高めるためのアルカリ処理またはサプリメントの使用に関するいくつかの検討がなされている。Felix ら(2012b)は、給与前に 2%の NaOH で処理した DDGS を 25~60%含む飼料を給与した牛では、無処理の DDGS を含む飼料を給与した牛と比べて NDF の *in situ* 消失量が増加した。また、DDGS に対する 2% NaOH 処理は、ルーメン pH の上昇、硫化水素濃度の低下による PEM の発症リスクを低下させる可能性がある。NaOH 処理は、DDGS を中和するのに効果的だったが、反すう動物用飼料中の過剰なナトリウムは飼料摂取量を減少させる可能性があり(Croom ら、1982)、発育成績を改善するための DDGS 主体飼料におけるアルカリ処理が最適であるかの判断はされていない。Freetas ら(2016)は、肥育去勢牛の発育成績、枝肉形質および飼料摂取パターンを改善するために、DDGS を 50%含む飼料における NaOH の至適添加量を検討したが、供試した DDGS の pH(5.5)が低かったため、最大 1.5%の NaOH を添加しても、発育成績や枝肉形質に影響はなかった。

DDGS 給与前にアルカリ剤で処理すると栄養成分の消化率が向上するため、DDGS への CaO の添加は、DDGS の配合量が 30%以上の飼料の飼料価値や発育成績に関して満足できる成績が得られる可能性がある(Felix ら、2012b)。Schroeder ら(2014)は、発育成績、枝肉形質、飼料の消化率、飼料摂取量のパターンおよび飼料の分配に対する DDGS を 50%含む飼料への CaO の処理効果を検討した。その結果、CaO 処理の DDGS を給与した去勢牛では DMI が減少したが、ADG には影響がなかったため飼料効率が改善した。乾物や NDF 消化率には影響はなかった。Nuñez ら(2014)は、60%DDGS 飼料への CaO を添加した場合の、フィードロット去勢牛のルーメン発酵、飼料消化率、発育成績および枝肉形質を調査した。その結果、最大 1.6%の CaO を添加することで、繊維の消化率、揮発性脂肪酸の生産量、アミノ酸利用率、精肉歩留が改善し、ルーメン pH の変動を最小限に抑えることができることが示された。

飼料と飲水からのイオウが乾物値で 0.4%を超えると、牛で灰白脳軟化症が発生する可能性がある。さらに、イ

オウは銅の吸収と代謝を阻害し、モリブデンの存在下でさらに減少する。したがって、粗飼料や飲水中のイオウ含量が高い地域では、DDGS の給与量を抑える必要がある(Tjardes and Wright, 2002)。Drewnoskiら(2014)は、全イオウ摂取量が0.4%を超える場合、少なくとも7~8%のNDFを供給すると、イオウ含量が高いDDGSの配合割合が高い粗飼料を給与された牛におけるイオウの毒性の発生リスクを最小限にできることを示している。表2には、イオウの毒性の発生リスクと、PEMの発症リスクを回避するために、肥育牛にDDGSを使用する場合のイオウの最大含量を把握するための指標として使用できる。

仕上げ期の牛へのDDGSの給与

肉用牛に対するWDGS(脱水していない未乾燥のデイスチラーズ・グレイン・ソリュブル)とDDGSの給与に関する検討は、おそらくすべての動物種の中で最も多く行われている。その一例として、Bucknerら(2007)は、去勢牛の発育成績と枝肉形質に及ぼすDDGSの給与レベルの影響を検討している(表3)。その結果、DDGSの給与レベルの増加によるDMI、第12肋骨脂肪の厚さ、腰最長筋面積およびマーブリングスコアへの影響は見られないが、ADGと温屠体重量には二次曲線的な効果があり、飼料効率にも負の二次曲線的な効果があった。さらに、DDGSのフィーディングバリュー(飼料要求率の差をDDGS配合量で除したトウモロコシに対する相対値)は、配合割合の増加に伴って低下したが、いずれの配合割合の場合もトウモロコシより優れた(表3)。Klopfensteinら(2008)は、Bucknerら(2007)と他の試験のデータを用いてメタ分析を行っているが、DDGSの給与レベルの増加に伴い、ADGは二次曲線的な応答を示すが、飼料効率は三次曲線的な応答を示し、DDGSを20~30%含む飼料で仕上げ期における最大のADGを達成することが出来、飼料効率はDDGSを10~20%含む場合に最大の成績が達成出来ると推察している。

最近、Swansonら(2014)は、仕上げ期の肉用牛にDDGSを最大40%配合することでプラスの効果があることを示している。この研究では、DDGSを20または40%

含む飼料に粗粒または細粒トウモロコシを配合して1年齢の去勢牛に給与し、発育成績と枝肉形質への影響を調査した。その結果、終了時体重とADGおよび枝肉形質はDDGSの配合割合あるいはトウモロコシの粒度による影響はなかったが、DDGSの配合量の増加に伴い、DMIが減少し、飼料効率が改善された(表4)。この結果は、最大40%のDDGSを仕上げ期の飼料に配合しても、牛の枝肉品質に影響を与えずに、ADGを改善出来ることを示している。

Klopfensteinら(2008)によって行われたメタ分析以降、いくつかの研究が行われている。使用されたDDGSの粗脂肪含量が記されていない文献が多いが、記載されている場合には表中に示した。Frietasら(2017)、Engleら(2016)、Rodenhuisら(2016)、Nuñezら(2015)、Gigaxら(2011)およびLeuppら(2009)は、仕上げ期の肉牛における低脂肪WDGSまたはDDGSに関する研究を行っている。Gigaxら(2011)による研究では、低脂肪(粗脂肪6.7%)または高脂肪(12.9%)のWDGS(乾物35%)と、トウモロコシ(圧ペントウモロコシおよび高水分トウモロコシ)を含む飼料を仕上げ期の去勢牛に給与した。高脂肪WDGSの給与は、トウモロコシまたは低脂肪WDGSに比べて、ADG、終了時体重および温屠体重量が増加した。また、低脂肪WDGSの給与は、トウモロコシよりDMI、ADGおよび飼料効率が高かった。この結果は、仕上げ期の去勢牛に低脂肪WDGSを35%給与することで、圧ペントウモロコシあるいは高水分トウモロコシと少なくとも同等の発育成績と枝肉組成が得られることを示している。

これらの最近の研究の多くは、DDGSの配合割合が非常に高い(50~70%)場合の影響についての評価を行っており、その他の飼料組成と給与条件によっては、良好な発育成績と枝肉特性を示したとの報告がいくつもあることは非常に興味深いことである。さらに、いくつかの研究では、日常的に20~25%のDDGSを含む飼料を対照として使用していたが、このことは、25%までのDDGSを含む飼料をフィードロット牛に給与した場合、許容できる発育成績と枝肉特性が一貫して達成されるという高い信頼性があり、一般的に利用されていることを示している。し

たがって、米国以外の国でも、米国の現状と同様の利用 形態をとることに何ら問題はない。

表 2. DDGS のイオウ含量と、変動を 10%と仮定した場合の肉用牛飼料のイオウ含量 1 (Drewnoski ら、2014 から改編)

DDGS中のイオウ含量 %	DDGS配合割合 %				
	20	30	40	50	60
	飼料中イオウ含量 %				
0.3	0.16 - 0.17	0.18 - 0.18	0.20 - 0.21	0.22 - 0.23	0.23 - 0.25
0.4	0.18 - 0.19	0.21 - 0.22	0.24 - 0.25	0.27 - 0.29	0.29 - 0.32
0.5	0.20 - 0.21	0.24 - 0.27	0.28 - 0.30	0.32 - 0.34	0.35 - 0.38
0.6	0.22 - 0.24	0.26 - 0.30	0.32 - 0.34	0.37 - 0.40	0.41 - 0.45
0.7	0.24 - 0.26	0.28 - 0.33	0.36 - 0.39	0.42 - 0.45	0.47 - 0.51
0.8	0.26 - 0.28	0.33 - 0.35	0.40 - 0.43	0.52 - 0.56	0.53 - 0.58
0.9	0.28 - 0.30	0.36 - 0.38	0.44 - 0.47	0.52 - 0.56	0.59 - 0.65
1.0	0.30 - 0.32	0.39 - 0.41	0.48 - 0.52	0.57 - 0.62	0.65 - 0.71

1 飲料水からのイオウ摂取はなく、他の飼料成分にはイオウが0.13%含まれていると仮定

表 3. DDGS 配合量と肥育去勢牛の発育成績および枝肉形質 (Buckner ら、2007 から改編)

評価項目	DDGS 0 %	DDGS 10 %	DDGS 20 %	DDGS 30 %	DDGS 40 %
乾物摂取量 kg/日	9.25	9.47	9.52	9.71	9.47
日増体量 kg	1.50	1.61	1.68	1.62	1.59
飼料効率	0.162	0.171	0.177	0.168	0.168
フィーディング・バリュー ¹	100	156	146	112	109
温層体重 kg	351	362	370	364	359
12肋骨ロースの脂肪厚 cm	1.42	1.37	1.50	1.40	1.47
ロース芯面積cm ²	80.0	80.6	82.6	81.3	81.3
マーブリングスコア ²	533	537	559	527	525

1 飼料要求率の差をDDGS配合量で除したトウモロコシに対する相対値

2 マーブリングスコア: 400=わずが、500=小

表 4. 圧ペントウモロコシの粒度と DDGS 配合量が仕上げ期の肉用牛の発育成績と枝肉形質に及ぼす影響 (Swanson ら、2014 から改編)

評価項目	圧ペントウモロコシの粉碎			
	粗粒 (2.88mm)		細粒 (1.46mm)	
	DDGS 20%	DDGS 40%	DDGS 20%	DDGS 40%
開始時体重 kg	345	345	343	345
終了時体重 kg	606	607	600	603
平均日増体量 kg/日	2.06	2.05	2.01	2.03
乾物摂取量 kg/日	12.1	11.0	11.6	11.0
乾物摂取量/体重kg % ¹	2.55	2.31	2.47	2.31
飼料効率	0.169	0.185	0.169	0.178
温層体重 kg	361	369	360	360
12肋骨ロースの脂肪厚 cm	1.06	1.37	1.27	1.28
ロース芯面積cm ²	82.2	82.0	81.3	83.3
マーブリングスコア ²	543	538	533	530

1 DDGS配合量の影響 (p<0.001)

2 やや低い: 500、適度: 600

表 5. さまざまなタイプの DDGS 飼料を給与した仕上げ期肉用牛の発育成績と屠体特性を評価した 2009 年以降に公表された 28 報の概要

給与時期 開始体重	DDGS給与量と 粗脂肪含量	給与方法	発育成績等	屠体特性	引用文献
肥育牛					
去勢牛 211-261kg	50% 粗脂肪含量: 8.8%	NaOH含量が異なる(0、0.5、1.0、1.5%)トウモロコシサイレージ、圧ペン トウモロコシ各20%、 DDGS 50%飼料	NaOH添加による 終了時BW、ADG、 飼料効率に影響 なし	NaOH添加による HCW、LM面積、枝 肉歩留、背脂肪の硬 さ、マーブリングス コアに影響なし	Frietas et al., 2017
去勢牛 310kg	育成期・肥育 期 26% 粗脂肪含量: 9.6%	育成期用飼料：乾草 19%、 トウモロコシサイレージ 22%、トウモロコシまた は大麦 30% 肥育期用飼料：トウモロ コシサイレージ 20%、ト ウモロコシまたは大麦 51%	ADG、DMI、飼料 効率に影響なし	精肉歩留、HCW、枝 肉歩留、LM面積、 マーブリングスコア、 背脂肪に影響なし	Engle et al., 2016
去勢牛 287kg	0、0.5、1 %/BW 粗脂肪含量: 11.1%	中等度の乾草を自由 摂取、DDGS含量を変 えたサプリメントを 給与（試験期間84 日）	ADG、飼料効率に 二次回帰的傾向	DDGS添加量の増加 に伴いLM面積、脂 肪の硬さ、腰脂肪の 硬さが増加	Islas et al., 2014
去勢牛 359kg	DDGS 32%、濃 縮ジスチラー ズソリュブル 7%粗脂肪含 量:不明	DDGS由来のイオウを 0.46%含み、プロム グラス由来のNDFが 3.5~11.4%の6飼料 を給与	終了時BW、ADG、 飼料効率にNDF 含量による影響 ないが、DMIが 増加	-	Morine et al., 2014
去勢牛 355kg	60% 粗脂肪含量: 不明	CaOを0~2.5%含む DDGS 60%、トウモロ コシサイレージ 20%、 トウモロコシ 13~14% 飼料を給与	CaO添加量に対応 してADGと飼料効 率が直線的に改善、 DMIは直線的に低 下	CaO添加量が1.0%ま では枝肉歩留が直線的に 改善、その他の枝肉特 性には影響なし	Núñez et al., 2014
去勢牛 368kg	DDGSまたは WDGS 0、16.7、 33.3、50%(乾物) 粗脂肪含量: 不明	破砕アルファルファ ヘイレージ 10%を 含む飼料中のトウモロ コシと置換して給与	DDGSまたはWDGSの 添加量の違いはBW、 ADGに影響しなかつ たが、DDGS給与量 に伴い肝臓痛スコア が直線的に低下	枝肉歩留、HCW、 マーブリングスコア、 赤身肉歩留と色調に 影響なし	Salim et al., 2014
去勢牛 336kg	DDGSまたはモ ディファイド DDGS 粗脂肪含量: 不明	CaOを無添加または 1.2%添加したアル ファルファ乾草およ びコーンハスクと置 換した試料を給与	DDGSをCaO処理 するとDMIが低下、 ADG、には影響な し。CaO無添加の 場合に飼料効率 が改善	-	Schroeder et al., 2014
去勢牛 345kg	20、40% 粗脂肪含量 :不明	DDGS 20または40%と、 粗挽および粉碎トウ モロコシを含む飼料 を給与	トウモロコシの加 工とDDGSはBW、 ADGに影響しない が、DDGS給与によ りDMIが低下し、 飼料効率が改善	DDGS給与による屠 体成績への影響なし	Swanson et al., 2014
去勢牛 268kg	1%/BW 粗脂肪含量 :不明	冬季のトールグラス放 牧地で1kgの綿実粕 1g/ 日と、ウモロコシ・大 豆粕飼料、大豆皮と大 豆粕またはDDGS 1% /BWを補給して121日間 飼育	トウモロコシ・ 大豆粕飼料給与 は、大豆粕と大 豆皮またはDDGS 給与ADGが高い	エネルギー源の補給 は腸間膜脂肪、YGを 高めたが、第12肋骨 脂肪の硬さ、マーブ リングスコアには影 響なし	Sharman et al., 2013

表 5. さまざまなタイプの DDGS 飼料を給与した仕上げ期肉用牛の発育成績と屠体特性を評価した 2009 年以降に公表された 28 報の概要(続)

給与時期 開始体重	DDGS給与量と 粗脂肪含量	給与方法	発育成績等	屠体特性	引用文献
去勢牛 335kg	モディファイ ドDDGS 0、25、 40、70% (乾 物) 粗脂肪含量 : 10.4%	トウモロコシサイ レージを15%含む飼 料中のトウモロコシ と大豆粕と置換して 給与	ADG、終了時BW には影響なし。 モディファイド DDGSを70%給与 すると、飼料効 率が劣る	モディファイドDDGS の70%給与は、ロー ス芯面積が小さい。 給与量の増加に伴い 格付けが低下	Veracini et al., 2013
冬小麦圃場 で放牧した 去勢牛 363~403kg	35% 粗脂肪含量 : 12.2%	DDGSを圧ベントウモ ロコシ、尿素、綿実 粕と置換して給与す る2年間の試験	DDGSの給与はBW に影響しない。圧 ベントウモロコシ 給与は対照飼料、 DDGS飼料より飼料 効率が優れる	DDGSの給与はLM面積、 YG、マープリングスコ アに影響なし、圧ベ ントウモロコシ給与で精 肉歩留、第12肋骨脂肪 の硬さが、高まる	Buttrey et al., 2012
去勢子牛 297kg	トウモロコシ または小麦 DDGS 22.5% 粗脂肪含量 : 不明	圧ベン大麦 71%、大 麦サイレージ 5%に混 合して給与	トウモロコシDDGS は小麦DDGSより ADG、飼料効率が 改善し、対照飼料 よりADG、DMIが 増加	トウモロコシDDGS 給与により、対照飼 料に比べてYG1の割 合が低下し、YG2と3 が増加	Hallewell et al., 2012
去勢子牛 336kg	20、40、60% 粗脂肪含量 : 不明	アルファルファ乾草 5%、トウモロコシサ イレージ 10%を含む 飼料に圧ベントウモ ロコシとともに配合 して給与	PEM(たんぱく質・ エネルギー欠乏)な かったが、DDGS給 与量増加により最 終終BW、ADGが二 次的に減少。飼料 効率に影響なし。 トウモロコシの加 工方法は発育成績 に影響なし。	DDGS給与により HCW、脂肪厚、YG が低下	Neville et al., 2012
去勢子牛 252kg	65% 粗脂肪含量 : 不明	DDGSあるいはトウモ ロコシを65%含む飼 料を0.9または1.4kg /BW給与	育成期のADG、 DMI、飼料効率は DDGS給与が優れ たが、肥育期で は差がない	育成期にDDGS給与 により、ADGおよび マープリングスコ アが改善	Felix et al., 2011
去勢牛 403kg	WDDGS 0、30% 粗脂肪含量: 6.7または 12.9%	圧ベントウモロコシ 85%、高水分トウモ ロコシ10%、ソルガ ムサイレージ 10%、 低脂肪あるいは高脂 肪WDDGS 35%	高脂肪WDDGS給 与ではADG、BW が増加したが、 DMI、飼料後逸に は差がない	高脂肪WDDGS給与 によりHCWが増加し たが、他の屠体成績 には差がない	Gigax et al., 2011
去勢牛 306kg	24.5% 粗脂肪含量: 不明	トウモロコシサイ レージ 75%と、DDGS、 コーングルテフィ ードまたは大豆粕 25% の飼料を給与	-	枝肉歩留、枝肉品質 には影響はないが、 DDGSあるいはコー ングルテンフィード 給与によりステーキ 肉が硬かった	Segers et al., 2011
1年齢の去勢 牛 406kg	30% 粗脂肪含量: 12.0%	イオウ含量が通常は 高レベルのDDGSを含 む湿式、乾式圧ベ ントウモロコシ飼料を 給与	高イオウ飼料で はDMI、ADGが低 下したが、飼料 効率には影響な し	高イオウ飼料では HCW、YGが低下し たが、精肉歩留、肝臓 痛、第12肋骨の脂肪 の硬さ、LM面積、格 付けには差がない	Uwituze et al., 2011

表 5. さまざまなタイプの DDGS 飼料を給与した仕上げ期肉用牛の発育成績と屠体特性を評価した 2009 年以降に公表された 28 報の概要(続)

給与時期 開始体重	DDGS給与量と 粗脂肪含量	給与方法	発育成績等	屠体特性	引用文献
去勢牛 349kg	DDGSまたは WDDGS 20、 40% 粗脂肪含量： 不明	DDGSまたは WDDGSを大豆粕と トウモロコシたん白と 置換		WDGSまたはDDGS の給与により、脂肪 厚、YGが増加し、 YG 1および2の比率 が低下、牛肉のα-ト コフェロール含量が 減少。肉の共役リ ノール酸含量には影 響しないが、脂質酸 化を受けやすい PUFA含量は増加	Koger et al., 2010
若雌牛 353kg	0、25% 粗脂肪含量： 10.1%	DDGSを0、25%含み、 圧ペントウモロコシ とトウモロコシサイ レージ、または、ア ルフアルファ乾草 6% を含む飼料を給与	DDGS給与による ADG、DMI、飼料 効率への影響な し。DDGS無給与 の場合に肝臓瘍 が増加	HCW、歩留まり、脂 肪の硬さ、枝肉格付 けには飼料間で差が ない	Uwituze et al, 2010
去勢牛 257kg	育成期：0、 10.5、17.5% 肥育期：0、 11.4、18.3% 粗脂肪含量： 不明	育成期（84日間）、 肥育期（112日）に DDGSを圧ペントウモ ロコシと置換して給 与	開始時と終了時 BWに差がないが、 DDGS給与により 育成期のDMIが減 少し、ADGと飼料 効率が高まった。 DDGSの給与は、 肥育期のDMIを減 少させた、飼料 効率が高まる傾 向を示した	DDGS給与により マーブリングスコア、 YGを高めたが、LM 面積が低下。DDGS 給与量が多いと背脂 肪が柔化	Eun, J.-S. et al., 2009
去勢牛 443kg	25、50% 粗脂肪含量： 13.9%	DDGSを25または50% 含み、コーングルテ ンミールを12%含む トウモロコシ主体飼 料を給与	DDGS 25%飼料 ではたん白質と 脂肪含量が高い 50%飼料により ADGと飼料効率 が高まった	DDGS 25%飼料では HCW、マーブリング スコアおよび格付が 優れたが、歩留、12 番目肋骨の脂肪厚、 LM面積、YG、剪断力、 肉の過酸化に差はない	Gunn et al., 2009
若雌牛 296kg	30% 粗脂肪含量： 9.7%	0、30%含む育成用 および肥育用飼料を 給与	育成期、肥育期 のいずれもDMI、 ADG、飼料効率に はDDGS給与の影 響なし	DDGS給与によるLM 面積、12肋骨の脂肪 厚、YG、マープリン グ、肉の柔らかさ には影響はないが、ス テーキはよりジュー シーで風味があった	Leupp et al., 2009

ADG：日増体量、BW：体重、DMI：乾物摂取量、HCW：温屠体重量、LM：腰最長筋、YG：枝肉

表 6. さまざまな種類の DDGS 飼料を給与した成長期または肥育期の肉用牛の発育成績と屠体特性を評価した 2009 年以降に公表された 5 報の概要

給与時期 開始体重	DDGS給与量と 粗脂肪含量	給与方法	発育成績等	屠体特性	引用文献
育成期～肥育期の肉牛					
1年目：去勢 牛 305kg 2年目：若雌 牛と去勢牛 301kg	25% 粗脂肪含量 ：10.9%	コーングルテン フィード、DDGS、ト ウモロコシ・大豆粕 25%とトウモロコシ サイレージ 75%を用 いた2年間の試験	DDGSとトウモロコシ・ 大豆粕を給与した去勢牛 は、高ADG、低DMI、高 飼料効率を示し、DDGS を給与した去勢牛の生産 コストは最も低い。	超音波装置 による枝肉 形質は差が ない	Segers et al., 2013
去勢牛 198 ～208kg	圧ペントウモロコ シまたはDDGSを体 重の0.2%補給 粗脂肪含量 ：11.6%	冬小麦牧草地で放牧した 去勢牛への圧ペントウモ ロコシまたはDDGSを給 与した2年間の試験	DDGS給与により、圧ペ ントウモロコシ給与およ びサプリメントなしに比 べてADGが8%増加	-	Buttrey et al., 2012
若雌牛と去 勢牛 238kg	60% 粗脂肪含量 ：不明	DDGS 60%、スチームグ ラスストロー 10%、大豆 皮 15%を含むサプリメン トに銅を0、100、200 mg/kg(乾物)添加	ADGには銅添加による影響は ないが、飼料効率は同含量と 対応して直線的に改善	HCW、LM面 積、YG、背脂 肪、マープリ ングスコアに は銅添加の影 響なし	Felix et al., 2012a
去勢牛 277kg	60% 粗脂肪含量 ：不明	ヘイレージ 0または10%、 モネンシン 0または 33mg/kg、DDGS 60%、 トウモロコシサイレージ 10%、トウモロコシ 5ま たは15%を給与	ヘイレージを10%給与する とADGが増加し、モネンシ ン添加でさらに増加しが、 DMIと飼料効率は低下	-	Felix and Loerch, 2011
ホルスタイ ン種雄牛 246kg	0、0.8、1.6 kg/日 粗脂肪含量 ：不明	トウモロコシサイレージ を自由摂取させ、大豆粕 1.1 kg、ナタネ粕 1.5 kg、 DDGS 1.6 kg、またはナタ ネ粕 0.8 kg、DDGS 0.8 kg を補給	DDGSのみを給与すると、ナ タネ粕+DDGS給与に比べて ADGが低下したが、他の飼料 との差はない。飼料効率には 影響なし	終了時BW、 枝肉歩留、内 臓脂肪には影 響なし	Meyer et al., 2010

ADG：日増体量、BW：体重、DMI：乾物摂取量、HCW：温屠体重量、LM：腰最長筋、YG：枝肉

育成期肉用牛への DDGS の給与

トウモロコシ DDGS を他のステージの肉用牛に給与した研究はあまり行われていない。しかし、DDGS は優れた飼料原料であり、牛に低品質の粗飼料を給与する場合に、飼料のエネルギーとたん白質を効果的に補うことができる。リン含量が少ない飼料原料を含む飼料では、DDGS を配合することで、DDGS 中のリンが非常に価値が高いものとなる。表 6 に示すように、DDGS の給与量が 60%までの粗飼料の給与に関する試験が 5 報公表されているが、一般に、DDGS を配合した飼料を給与した場合、発育成績と枝肉形質は同様に改善されている。

肉用牛子牛への DDGS の給与

子牛に対する給与試験が 3 報公表されており、DDGS を 60%まで含む飼料の給与についての評価が行われている(表 7)。一般に、DDGS の給与により、発育成績が改善され、さまざまな枝肉特性も改善された。

放牧肉用牛への DDGS の給与

放牧牛の発育とその後の枝肉形質に及ぼす DDGS の補給効果に関する試験が 3 報公表されている(表 8)。一般に、DDGS を補給すると、発育成績と枝肉形質が改善された。

表 7. さまざまな種類の DDGS 飼料を給与した子牛の発育成績と屠体特性を評価した 2009 年以降に公表された 3 報の概要

給与時期 開始体重	DDGS給与量と 粗脂肪含量	給与方法	発育成績等	屠体特性	引用文献
子牛					
若雌牛と 去勢牛 156kg	11~34 粗脂肪含量 : 不明	トウモロコシを 脂肪含量(高・ 低)×たん白質 (高・低)で置 換した4種類の 飼初期の126日 間では料を給与	高たん白質飼料は ADGを増加、トウモ ロコシ給与はDMIが 減少したが、DDGS 給与より飼料効率が改善	高脂肪飼料は第12肋 骨脂肪とマープリ ングスコアを高め、高 たん白飼料はマーブ リングスコアを低下、 HCW、LM面積、YGに 差はない。	Segers et al., 2014
ホルスタ イン種去勢牛 112kg	0、10、20、 30% 粗脂肪含量 : 不明	DDGSは、蒸気 圧ペントウモロ コシと置換して 305日間給与	初期の126日間では、 DDGSの増加に伴い ADGと飼料効率が 直線的に増加した が、以後および全 期間中の発育成績 には影響なし	DDGSを20%給与する とHCWは最大だった が、給与量との相関 はない。	Carrasco et al., 2013
早期離乳 去勢牛 200kg	0、30、60% 粗脂肪含量 : 9.8%	トウモロコシサイ レーズ20%と DDGS 0、30、 60%を99日間給 与後、屠殺まで 一般的な飼料を 給与	DDGS給与による育 成期のADG、DMI、 飼料効率には影響 なし。その後の発 育成績にも影響は ない。	精肉歩留、HCW、 脂肪厚はDDGS給 与に伴い2次曲線的 に増加、マープリ ングスコアへの影 響はないが、筋肉 内脂肪と皮下脂肪 の比率は、DDGS 30 ~60%で増加し、0 ~30%で減少。	Schoonmaker et al., 2013

ADG : 日増体量、BW : 体重、DMI : 乾物摂取量、HCW : 温屠体重量、LM : 腰最長筋、YG : 枝肉

肉質

一般的に多く使用されている量の DDGS(乾物摂取量の最大 30%)を含む飼料を給与しても、牛の枝肉肉質や歩留には影響はない。また、牛肉の官能的特性にも影響はない(Erickson ら、2005)。WDGS または DDGS を給与した牛の品質と官能特性を評価した研究は増えつつあり、DDGS の配合量が多い飼料を給与しても、牛肉の特性には悪影響を与えないことが一貫して示されている。

Roeber ら(2005)は、WDGS または DDGS を 50%まで配合した飼料をホルスタイン去勢牛に給与した 2 試験の結果から、ストリップロインの色調、柔らかさおよび官能特性を評価しているが、柔らかさ、風味、ジューシーさに差はなかった。同様に、Jenschke ら(2006)は、WDGS を

最大 50%(乾物)含む飼料を仕上げ期の肉用牛に給与し、ステーキ肉の柔らかさ、結合組織の量、ジューシーさ、異臭生成因子、異臭強度には影響がないことを示している。実際に、WDGS を 30%と 50%を給与した場合、WDGS 無給与、あるいは 10%含む飼料を給与した場合よりステーキ肉での異臭発生の可能性が明らかに低かった。Gordon ら(2002)は、仕上げ期の未経産牛に対して DDGS を 0、15、30、45、60、または 75%含む飼料を 153 日間給与し、DDGS の増加に伴い、ステーキ肉の柔らかさには線形モデル的な改善効果があったと報告している。Koger ら(2010)は、大豆粕すべてと粗挽きトウモロコシの一部と置換することにより WDGS あるいは DDGS を 20 または 40%配合してアンガス交雑種去勢牛に給与した。DDGS を給与した去勢牛の屠体は、圧ペントウモロコシ、

表 8. さまざまな種類の DDGS 飼料を給与した放牧牛の発育成績と屠体特性を評価した 2009 年以降に公表された 3

報の概要

給与時期 開始体重	DDGS給与量と 粗脂肪含量	給与方法	発育成績等	屠体特性	引用文献
放牧牛					
去勢牛 204kg	体重あたり0、 0.25、0.5% 粗脂肪含量 : 13.3%	メキシコ北部の砂漠地 帯で放牧し、週3回 DDGSを含むサプリメ ントを給与した2年間 の試験	DDGSの補給量増加 と対応して終了時 BW、ADG、サプリ メントの要求率が改 善	-	Murillo et al., 2016
去勢牛 1年目: 206kg 2年目: 230kg	体重あたり0、 0.2、0.4、0.6% 粗脂肪含量 : 12.1%	育成期の牧野で56~58 日間放牧し、DDGSを 含むサプリメントを BWの0、0.2、0.4、 0.6%給与した2年間の 試験	DDGS配合量増加と 対応してADGが直 線的に増加	-	Martinez- Pérez et al., 2013
1年去勢牛 321kg	放牧期間中は体 重あたり1% 肥育期間中は 40% 粗脂肪含量 : 不明	ブロムグラス牧草地で 放牧し、低s (DDGSか ら0.34%) または高s (DDGSとNaSO ₄ から 0.47%) を補給。肥育 期用にはトウモロコシ 48%、DDGS 40%、乾 草8%を給与	放牧中のADGに飼料 中sの影響なし、肥 育期ではsが高まる とADGが低下したが DMI、飼料効率には 影響なし	肥育期の高s飼 料を給与によ りHCWは減少、 枝肉脂肪、LM 面積、YG格付、 マープリング スコアには影 響なし	Richter et al., 2012

ADG : 日増体量、BW : 体重、DMI : 乾物摂取量、HCW : 温屠体重量、LM : 腰最長筋、YG : 枝肉

大豆粕およびアルファルファ乾草を給与した場合に比べて、脂肪が厚く、歩留格付が改善された。DDGS 給与牛の腰最長筋は、WDGS 給与牛より pH が高く、対照飼料給与牛より α -トコフェロール含量が高かった。また、DDGS 40% 給与牛の挽肉は、20% 給与牛に比べて、販売店での陳列開始 2 日後における TBARS (チオバルビツール酸反応性物質: 脂質の指標となる) 含量が高かった。これらの結果から、DDGS を給与した去勢牛では体脂肪の過剰な蓄積を避けるために通常より早く出荷・と殺する必要があると結論しているが、挽肉や肉の柔らかさ、小売での陳列期間中の「ダークカッター」の発生などの影響はなかった。しかし、WDGS や DDGS の給与により、肉中の多価不飽和脂肪酸が増加しているため、酸化の影響を受けやすくなっている。

Leupp ら (2009) は、育成期および肥育期の去勢牛に DDGS を 0 または 30% 給与した場合、発育成績、マープリングスコアと肉の柔らかさに影響はないが、仕上げ期間中に DDGS を給与した去勢牛のステーキ肉はよりジュ

ーシーで風味が増したと報告している。これらのデータは、DDGS を育成期または仕上げ期にトウモロコシと部分的に置換して 30% 配合しても、発育成績、枝肉形質または官能特性に悪影響を及ぼさないことを示唆している。ただし、DDGS を 30% 給与すると、ステーキの色調に悪影響を及ぼす可能性がある。

同様に、Segers ら (2011) は、腰最長筋の組成と柔らかさは、たん白質補給源として大豆粕を離乳から屠殺まで使用する場合と比べて、DDGS またはコーングルテンフィードを 25% 含む飼料は影響を及ぼさないことを示しているが、Leupp ら (2009) によって観察されたステーキの色調には同様の影響があった。この試験では、パネラーが知覚できる色調の差についても評価しているが、全体的な色調は飼料間で類似していた。Koger ら (2010) による報告とは異なり、飼料間で牛肉の TBARS 濃度に差がなかったが、DDGS 給与牛のステーキ肉は、小売陳列 9 日後に変色し、多価不飽和脂肪酸の含量が高まった。この結果は、離乳から屠殺までの肉用牛用飼料の大豆

粕とトウモロコシの一部を DDGS とトウモロコシグルテンフィードで置換しても、肉の品質に影響を及ぼさないことを示している。

Aldaiら(2010a, b)は、小麦DDGSとトウモロコシDDGSの給与がフィードロット牛に肉の品質に及ぼす影響を比較し、小麦 DDGS は肉の品質に影響を及ぼさないが、トウモロコシ DDGS では、大麦対照飼料を給与した牛と比べて、肉のやわらかさと味が改善されるなど、肉の品質にプラスの影響を示した。

DDGS の給与が大腸菌 O157:H7 排出に与える影響

2007 年以降、米国で牛挽肉への *E. coli*(大腸菌) O157:H7 汚染が増加している理由の究明に関する関心が高まっている。これは、この時期にエタノール製造に伴う併産物(DDGs)の生産量が指数関数的に増加したためであり、WGDS や DDGS 等の DDGs の給与に疑念が向けられたのもこれが理由である。このため、DDGs の給与と、牛肉における *E. coli* O157:H7 汚染発生率の増加との関連についての調査が開始された。その結果、いくつかの調査結果では、肉用牛への DDGs 給与は、*E. coli* O157:H7 排出への一貫した影響はないことが示された。*E. coli* O157:H7 の排出に対する反応は、DDGs の給与量や、トウモロコシの加工形態など、他の飼料原料の影響を受ける可能性がある。現在、行われているレベルの DDGs の給与が、牛挽肉の大腸菌 O157:H7 汚染の原因であることを示唆する科学的証拠はない。糞便における *E. coli* O157:H7 の検出率と DDGS 給与による潜在的な関連性に関する研究結果の包括的な詳細情報は 18 章を参照されたい。

肉用牛への DDFS の給与

DDGS の他の用途として、クリープフィーディング用飼料、放牧時のサプリメント、低品質の粗飼料用サプリメントおよび成長期の子牛に給与される可能性がある牧草や作物残渣へのサプリメント等がある。ただし、育成期や仕上げ期の肉用牛とは異なり、DDGS の給与に関する研究はいずれも少ない。Loy ら(2005a)は、肉用牛飼料への DDGS に利用に関して最初に総説を公表し、DDGS

の使用に最適なアプリケーションは、1)トウモロコシグルテンフィードまたは大豆粕と置換するためにたん白質の補給が必要な場合(特に、低品質の粗飼料を給与する場合)、2)トウモロコシグルテンフィードまたは大豆皮と置換するために低でん粉、高繊維、高エネルギー源が必要な場合、3)脂質の補給が必要な場合であるとしている。

たん白質サプリメントとしての DDGS

以前の研究では、コロラド州の放牧地帯で冬季に放牧されている牛に 0.18 kg/日のたん白質を補給するために DDGS を利用した場合、アルファルファ乾草または間引かれたシロインゲンマメに比べて成績が優れていたことが報告されている(Smithら、1999)。Shikeら(2004)は、トウモロコシグルテンフィードまたは DDGS を、アルファルファ乾草のサプリメントとして泌乳中のシメンタール牛に給与した場合の産乳成績を比較し、DDGS の給与は、コーングルテンフィードの給与に比べて体重は増加するが、乳量は低下したと報告している。しかし、DDGS とコーングルテンフィードの間には、子牛の体重とその後の繁殖成績に差はなかった。その後の Loy ら(2005a)の研究では、DDGS またはコーングルテンフィードを配合した粉碎コーンストークス混合飼料を泌乳中のアンガス牛およびジンメンタール牛に給与しても、乳量や子牛の増体量には差がなかったと報告している。

エネルギーサプリメントとしての DDGS

トウモロコシ DDGS は、低品質の粗飼料を給与する場合に効果的なエネルギーサプリメントとなる。

Summer and Trenkle(1998)は、コーンストーパー主体の飼料では、DDGS およびトウモロコシグルテンフィードがトウモロコシより優れたサプリメントであることを示しているが、高品質のアルファルファ主体の飼料では有効ではなかった。

コーンストーパーは低タンパク質で、エネルギーおよびミネラル含量も低いが、安価であり、米国における主要なトウモロコシ生産州では容易に入手できる。妊娠後期の 3 分の 1 の期間に 1 日あたり 1.4~2.3 kg の DDGS を給与すると、牛の要求量を充足するたん白質とエネルギーが供給できる(Loy and Miller、2002)。泌乳初期の肉

用牛にコーンストークスなどの低品質の粗飼料を給与する場合、DDGSを2.7~3.6 kg補充すると、たん白質とエネルギーの要求量を充足させることが出来る(Loy and Miller, 2002)。Radunz ら(2010)は、分娩前後の肉用牛に対する妊娠後期のエネルギー源として乾草、トウモロコシまたは DDGS 給与の影響を評価した。これらのエネルギー源を1日の要求量以上給与すると、分娩前後の牛の成績に悪影響を及ぼさず、分娩前のエネルギー源として DDGS を給与すると、妊娠中の1日あたりの飼料費が低減できる。エネルギー源はエネルギーの分配に影響を及ぼし、血漿代謝産物に変化を引き起こし、結果として、妊娠後期に DDGS またはトウモロコシを給与した母牛が分娩した子牛の出生時体重は、乾草を給与したものと比べて増加した。

脂質サプリメントとしての DDGS

脂質の補給は、妊娠率が90%未満の経産牛群の繁殖成績を改善できる可能性がある。Loy and Miller(2002)は、DDGSに含まれているトウモロコシ油と類似した脂肪酸組成を持つサプリメントを給与すると、妊娠率が向上することを示している。彼らはまた、脂質の補給がたん白質および/またはエネルギー補給が必要な摂食状況で最も有益であることを示している。

Engle ら(2008)は、妊娠後期の未経産雌牛の飼料と飼料生産における DDGS 給餌の影響を大豆皮と比較しているが、DDGS を配合した分娩前の飼料が脂肪および RUP 供給源となって、受胎率を改善することを示している。

Shike ら(2009)は、制限給与条件下において、トウモロコシ併産物を使用した場合の発育成績、泌乳、栄養成分の排泄量およびその後の繁殖成績への影響を評価している。最初の試験では、DDGS を給与した牛は、体重が16 kg減少し、乳量は0.9 kg/日減少したため、コーングルテンフィードを給与した牛よりも ADG が低くなる傾向を示した。しかし、2回目の試験では、養分要求量を充足させるために粉碎コーンストーク 2.3 kg/日と、等エネルギー量のコーングルテンフィード(7.7 kg/日)または DDGS(7.2 kg/日)を給与した結果、DDGS を給与すると、

コーングルテンフィードより体重が減少する傾向を示したが、乳量や子牛の ADG には差がなかった。さらに、いずれの試験でも、繁殖成績には差がなく、DDGS とコーングルテンミールは制限給与用飼料の75%まで配合できるが、DDGS を多く含んでいる粗脂肪は繁殖成績を改善しなかった。

DDGSを妊娠中の肉用牛に給与することを評価した13報の公表論文の概要を表9、妊娠中の牛肉用牛に給与した4報の公表論文の概要を表10に示した。一般的に、DDGS を補給すると、繁殖成績が同等か、あるいは、改善され、未経産牛の発育とその後の枝肉形質や生殖効果も同等か改善傾向にあった。

更新用未経産牛

更新用の未経産牛への DDGS の給与に関する研究はほとんど行われていない。しかし、仕上げ期の肉牛で行われている多くの報告に基づくと、DDGS は、更新用未経産牛のバイパスたん白質とエネルギーの優れた供給源となるものと思われる。MacDonald and Klopfenstein (2004)は、ブロムグラス牧草地で放牧している更新用未経産牛に0、0.45、0.90、1.36 または 1.81 kg/日の DDGS を補給した結果、DDGS 補充量 0.45 kgあたり、DMI が0.78 kg ADG が27 g/日増加したと報告している。

Loy ら(2003)は、育成中の雑種の未経産牛に粗飼料を多く給与する際の、DDGS 補給回数(週6回または週3回)の効果を評価している。未経産牛は乾草(CP 8.7%)を自由に摂取することが可能な条件で、DDGS または圧ペントウモロコシを補給した。サプリメントの給与量は2水準とした。週6回補給した未経産牛では、乾草摂取量が増加し、ADG も増加したが、飼料効率は、週3回補給した牛より低下した。ただし、DDGS の補給レベルに関わらず、圧ペントウモロコシを給与した未経産牛よりも ADG と飼料効率が改善された(表11)。これらの結果に基づいて、DDGS の推定正味エネルギー値はトウモロコシより27%高かった。

Loy ら(2004)によるその後の研究で、カニユーレを装

表 9. さまざまな種類の DDGS 飼料を給与した雌牛の繁殖成績とその後の発育、屠体成績または繁殖成績を評価した 2009 年以降に公表された 13 報の概要

給与時期	DDGS給与量と粗脂肪含量	給与方法	繁殖成績等	子牛の発育、枝肉成績、繁殖成績	引用文献
妊娠牛					
未経産牛		母牛には、妊娠後192日から分娩後118日までトウモロコシサイレージTMR、DDGSを給与。離乳までの産子にはDDGSを自由摂取させ、その後、AIまでの間、トウモロコシサイレージ、グラスサイレージ、コーンストーパー、大豆皮、大豆粕を給与	DDGSを給与した母牛から生まれた子牛は、離乳から繁殖までのBWおよび骨格スコアが優れたが、卵巢サイズと卵胞数と発情日数には差がなかった。発情時のBWと受胎率はDDGS給与により高まったが、異常分娩率には影響しなかった。	-	Gunn et al., 2015
初産牛 450 kg	0.83kg/日 粗脂肪含量：不明	妊娠142日間の3年間の試験で、乾草、あるいは、それと等窒素のDDGSまたはコーングルテンを含むサプリメントを給与	サプリメントの補給によりDMI及びBWが増加した。サプリメントの補給はADGを増加させたが、子牛の出生体重とその後の受胎率には差がなかった。	子牛のADGとHCWには、母牛へのサプリメント給与による影響はなかったが、枝肉脂肪が低く、肉が柔らかかった。	Summers et al., 2015a,b
2歳の雌牛 199 kg	粉碎大豆 1.2kg、 トウモロコシ 0.4kg、DDGS 1.65kg 粗脂肪含量：11.5%	離乳から繁殖まで、遅刈り乾草と、生大豆およびトウモロコシまたはDDGSを自由摂取	DDGSの補給により1年目のADGが増加したが、2年目では差はない。1年目と2年目の間で、卵胞のサイズ、卵胞ホルモン、妊娠率に差はない。子牛の生産性へ影響はない。	-	Martin et al., 2010
妊娠後期牛	2.8～3.1kg/日 粗脂肪含量：12.0%	乾草4 kg/日、DDGS 2.8～3.1 kg/日、大豆皮 3.2～3.5 kg/日を妊娠から分娩までの190日間給与	DDGS給与によりBWが増加したが、BCS、子牛の活力や出生体重、離乳時体重、ADGへの影響はない。DDGS給与牛では受胎率が高かったが、発情周期には影響なし。	-	Engle et al., 2008

ADG = 日増体量、AI = 人工授精、BCS = BCSスコア、BW = 体重、DMI = 乾物摂取日量、HCW = 温屠体重量、LM = 腰最長筋、YG = 枝肉評価

表 9. さまざまな種類の DDGS 飼料を給与した雌牛の繁殖成績とその後の発育、屠体成績または繁殖成績を評価した 2009 年以降に公表された 13 報の概要(続)

給与時期	DDGS給与量と粗脂肪含量	給与方法	発育成績等	子牛の発育、枝肉、繁殖成績	引用文献
春分娩 経産牛 688 kg	分娩後の飼料ではDDGS 7%、その後の一般的なフィードロット飼料にDDGS 45%またはモディファイドDDGSを配合	乾草とDDGSまたはトウモロコシフスマ、コーンストークスを配合したTDN要求量の100または125%を含む飼料を、分娩前83日から分娩まで給与し、分娩後は一般的な飼料を給与。産子には、DDGS 45%を含む一般的な飼料を給与	子牛の離乳時BW、フィードロット開始時および終了時のBW、DMI、ADG、飼料効率、罹患率には影響なし	No differences in calf weaning weight, initial and final feedlot BW, DMI, ADG, Gain:Feed, or morbidity among dam diet treatments	Wilson et al., 2016b
秋分娩 雌牛 632 kg 子牛 186日齢	DDGS 70%と大豆皮 30%のサプリメント 離乳講師には粗脂肪含量 8.1%のモディファイドDDGSを25~45%給与	エンドファイトに感染したトールフェスク/レッドクローバー牧野でサプリメントなしまたは低 (2.2 kg/牛/日) または高 (8.6 kg/牛/日) 補給で飼育	サプリメントの給与量の増加により、分娩前、分娩後、繁殖後のBWが増加したが、子牛の生時BW、斃死率に影響なし。また、サプリメント給与は定時AI率の改善傾向を示したが、受精率には影響せず、早期離乳と栄養補給は、BW、BCS、繁殖成績を改善。	母牛に低サプリメント飼料を給与すると、離乳去勢牛の離乳時BWが改善されたが、サプリメント補給による子牛の成績の差は最小限。	Shoup et al., 2015
春分娩 雌牛 678 kg	脂肪含量 : 不明	分娩前~出産までは、乾草 (12 kg/日) またはコーンストークス 60%、DDGS 24%、トウモロコシフスマ 16%を含む飼料を10.4 kg/日給与。分娩後は、乾草 22%、コーンストークス 22%、DDGS 33%、トウモロコシフスマ 24%を給与。産子にはコーングルテンフィード、高水分トウモロコシ、コーンハスクを給与。	母牛のBWとBCS、子牛の出生時BWは分娩前のDDGS給与によりどうか、妊娠率および乳量には影響なし。	フィードロット期間中の子牛の終了時BW、ADG、DMI、飼料効率、斃死率、罹患率、HCW、LM面積、背脂肪、マープリングスコア、YGに影響なし	Wilson et al., 2015a
秋分娩 雌牛 603 kg	分娩までは2.1 kg/日；フィードロット中は43%量 粗脂肪含量 : 不明	分娩前69日間、トールフェスクの牧野に放牧、サプリメントなしで別の牧野に移動。雄去勢牛にはDDGSを43.5%含む飼料を給与	DDGS給与により、BWとBCSが高まったが、分娩日、乳量、AI適期、妊娠率、子牛の出生時または離乳時BW、ADGに影響なし。	去勢子牛の開始時および終了BW、飼育日数、ADG、DMI、飼料効率、マープリングスコア、YGに影響なし	Wilson et al., 2015b
雌牛 606 kg	4.1 kg/日 粗脂肪含量 : 不明	乾草のみ自由摂取、トウモロコシ 5.3kg/日、DDGS 4.1kg +2.1 kg+サプリメント 1 kg/日を補給して妊娠167日から分娩前1週間まで飼育	DDGS給与によりBWが高まったが、BCSには影響なし。また、より子牛の生時BWは増加したが、受胎率、乳量、乳成分には影響なし		Radunz et al., 2010

ADG : 1日増体量、AI : 人工授精、BW : 体重、DMI : =乾物摂取量、HCW =温屠体重量、LM : 腰最長筋、YG =枝肉

表 10. 様々な種類の DDGS 配合飼料を給与した妊娠牛の繁殖成績と発育成績、枝肉形質または繁殖反応を評価した 2009 年以降に公表された 4 報の概要

給与時期	DDGS給与量と粗脂肪含量	給与方法	発育成績等	子牛の発育、枝肉、繁殖成績	引用文献
妊娠牛					
秋分娩 経産牛 623 kg	DDGS 70% + 大豆皮30%を 0、2.2または 8.6 kg/日 粗脂肪含量 : 不明	供試牛をエンド ファイトに感染し たトールフェスク/ レッドクローバー の牧草地で放牧し、 分娩前103日から分 娩後2日まで補給	-	雌牛の離乳、繁殖、 妊娠、AI受胎率、 妊娠率、分娩率へ の影響はない。子 牛の生時体重、乳 量および73日齢の BWにも影響はな い。	Shoup et al., 2017
経産牛	DDGS 0、2.5ま たは4.7 kg/日 粗脂肪含量 : 不明	授乳初期に、等エ ネルギーのDDGS添 加または無添加の サイレージTMRを 給与	DDGS給与量を増 加すると、乳脂 肪と尿素含量が 増加し、2.5 kg 給 与により乳糖含 量が増加した。 終了時のBW、 ADG、発情日齢 および受胎率に は影響なし。	-	Taylor et al., 2017
初産および2 産牛 520 kg	0.35%体重を 週3回または6 回給与 粗脂肪含量 : 不明	DDGSを含むトウモ ロコシ併産物補給 による放牧	週6日および3日 の補充はADGを 増加させた。BCS は6日/週で高 まった。	-	Gross et al., 2016
経産牛 674 kg	0.3%体重を妊 娠後期3週およ び分娩後8週間 給与。 粗脂肪含量 : 不明	妊娠後期10週から コーンストーバー と、DDGSを含むサ イレージを給与	DDGS給与により 血糖値が高まり、 子牛の分娩時お よび離乳時体重 が高まった。 DDGSの給与は子 宮血を増加させ たが、エストラ ジオールとプロ ゲステロン濃度 が減少した。	-	Kennedy et al., 2016a,b,c
経産牛 653 kg	6.9kg/日 粗脂肪含量 : 不明	に母牛と子牛のペ アに分娩から分娩 後129日までライム ギ乾草とDDGSまた は大豆粕、コーン サイレージ、ライ 麦乾草を給与	DDGS給与により 産乳量には影響 はないが、乳中 尿素窒素と乳脂 肪が増加、乳た ん白が低下し、 定時AI率が低下。 受胎率には影響 なし。	DDGSを給与した 子牛ではADGと BWが増加	Shee et al., 2016
春分娩 経産牛 657 kg	19または39% (乾物)のモディ ファイドDDGS 粗脂肪含量 : 不明	エン麦サイレージ、ト ウモロコシサイレージ、 モディファイドDDGS をたん白質要求量ある いはその129%量を妊 娠後78日から分娩まで 給与	BW、BCS、産乳 量、繁殖成績、 英乳後の発育成 績には影響なし	子牛の発育とマー プリングスコアに は影響はないが、 高タンパク質サブ リメントの給与に より第12肋骨の脂 肪厚とYGが増加	Wilson et al., 2016a

表 11. 放牧中の成長期の未経産牛にトウモロコシ DDGS を低レベルまたは高レベルで補給した場合の発育成績(Loyら、2003 から改編)

		低 (0.21%/体重)	高 (0.81%/体重)
日増体量 kg/日	トウモロコシ	0.37	0.71
	DDGS	0.45	0.86
乾物摂取量/日増体量	トウモロコシ	15.9	9.8
	DDGS	12.8	8.0

着した未経産牛に、サプリメントなし、または、DDGS を毎日または 1 日おきに補給、圧ペントウモロコシを毎日または 1 日おきに補給した。その結果、予想通り、サプリメントを補給した未経産牛では、乾草摂取量が増加した。DDGS または圧ペントウモロコシを補給した未経産牛の飼料摂取量には差がなかったが、DDGS を補給した未経産牛では、ルーメンにおける繊維の消失率が高かった。

Loyら(2008)は、育成牛における DDGS のエネルギー価を推定するために、サプリメントの種類、濃度および給与頻度が DMI と発育成績に及ぼす影響を調査した。その結果、DDGS または圧ペントウモロコシを週に 3 回補給すると、毎日補給した場合に比べて DMI と ADG が減少したが、DDGS の補給は、圧ペントウモロコシの補給に比べて、ADG と飼料効率が改善されたと報告している。彼らは、未経産牛用の乾草飼料へのサプリメントとして使用した場合の DDGS の TDN(可消化養分総量)は、トウモロコシの 118~130%であったと推定している。

Stalker ら(2004)は、DDGS を粗飼料主体の飼料のエネルギー源として供給する際の、補足的な RDP の影響を評価するために 2 試験を行っている。供試飼料は RDP が不足するように設計された(100 g/日以上)が、代謝可能なたん白質は過剰に含まれていた。その結果、DDGS を粗飼料主体飼料のエネルギー源として使用する場合、RDP の要求量を充足させるための尿素添加は必要がないことを示している。

Morris ら(2005)は、個体毎に給餌している未経産牛に対して、高品質または低品質の粗飼料を給与し、0、0.68、1.36、2.04 または 2.72 kg/日の DDGS を補給すると、DMI が減少し、ADG が増加したことを示している。この結果

は、飼料の有効性が制限されている可能性があるときに、DDGS が発育促進に効果的なサプリメントである可能性があることを示唆している。

Islas and Soto-Navarro(2011)は、放牧未経産牛の DMI と消化性に対する DDGS 補給の影響を評価し、DDGS の補給量が最大 0.6%/体重であっても、粗脂肪摂取量および NDF 消化率、ルーメン発酵特性に悪影響を及ぼさないことを報告している。これらの結果に基づいて、DDGS をサプリメントとして使用すると、放牧牛の DMI や消化性に悪影響を及ぼすことなく、脂質摂取量を増加させることが出来る。

結論

トウモロコシ DDGS は、肉用牛生産のすべての段階において優れたエネルギーおよびたん白質源である。すなわち、エネルギー源として効果的に使用が可能で、優れた発育成績、枝肉成績と肉の品質を得るためには、DMI の最大 40%を給与することが可能である。ただし、DDGS の給与量が多い場合、要求量より過剰なたん白質とリンが供給されるため、排泄物中の窒素とリンが増加する。DDGS のイオウ含量に注意を払い、特にイオウ含量の多い粗飼料や飲水を摂取している場合には、必要に応じて DDGS の配合量を調整してイオウ摂取による毒性を回避する必要がある。DDGS を多量に含む飼料を仕上げ期の肉用牛に給与しても、牛肉の色調への影響は少なく、官能特性は向上するが、多価不飽和脂肪酸含量が増加するため、賞味期限が短くなる恐れがある。

肉用牛からの *E. coli* O157:H7 の排泄に対する DDGS

給与には一貫した影響は認められない。DDGS の給与量とトウモロコシの加工(加熱あるいは蒸気圧パン、浸漬等)は、*E. coli* O157:H7 の排泄に影響を与える可能性がある。現在、行われているDDGSの給与レベルが牛挽肉の *E. coli* O157:H7 汚染の原因であることを示唆する科学的証拠はない。

肉用牛や未経産牛への DDGS の補給は、産子の発育、枝肉形質または繁殖成績への影響を最小に抑えながら、満足できる繁殖および泌乳成績を得ることが出来る。肉用牛飼料に DDGS を使用する場合の最適な用途は、1)トウモロコシグルテンフィードまたは大豆粕の代替えとして補足たん白質が必要な場合(特に低品質の粗飼料を給与する場合)、2)トウモロコシグルテンフィードまたは大豆皮とを置き換えるため低でん粉・高繊維エネルギー源が必要な場合、3)脂質の補給が必要な場合である。

育成中の未経産牛では、DDGS が粗飼料主体飼料のエネルギー源として使用されている場合、分解性たん白質の要求量を充足させるために尿素を追加する必要はない。DDGS は、飼料の入手が制限される可能性があるときに発育を促進するための効果的なサプリメントであり、育成用未経産牛において圧ペントウモロコシよりも18~30%高いTDNを有している。

引用文献

- Ahern, N.A., B.L. Nuttleman, C.D. Buckner, T.J. Klopfenstein, and G.E. Erickson. 2011. Use of dry-rolled corn, dry or wet distillers grains plus solubles as an energy source in high-forage diets for growing cattle. Nebraska Beef Cattle Report, p. 20-21.
- Aines, G., T. Klopfenstein, and R. Stock. 1987. Distillers Grains. MP51, Nebraska Agric. Res. Div., Lincoln. Aldai, N., M.E.R. Dugan, J.L. Aalhus, T.A. McAllister, L.J. Walter, and J.J. McKinnon. 2010a. Differences in the trans-18:1 prole of the backfat of feedlot steers fed wheat or corn based dried distillers' grains. Anim. Feed Sci. Technol. 157:168-172.
- Aldai, N., J.L. Aalhus, M.E.R. Dugan, W.M. Robertson, T.A. McAllister, L.J. Walter, J.J. McKinnon. 2010b. Comparison of wheat- versus corn-based dried distillers' grains with soluble on meat quality of feedlot cattle. Meat Sci. 84:569-577.
- Bremer, M.L. 2014. Energy value of de-oiled distillers grains plus solubles in beef cattle diets. Master's thesis, University of Nebraska-Lincoln. 117 pp.
- 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.
- Buttrey, E.K., F.T. McCollum, III, K.H. Jenkins, J.M. Patterson, B.E. Clark, M.K. Luebbe, T.E. Lawrence, and J.C. MacDonald. 2012. Use of dried distillers grains throughout a beef production system: Effects on stocker and finishing performance, carcass characteristics, and fatty acid composition of beef. J. Anim. Sci. 90:2381-2393.
- Carrasco, R., A.A. Arizon, A. Plascencia, N.G. Torrentera, and R.A. Zinn. 2013. Comparative feeding value of distillers dried grains plus solubles as a partial replacement for steam-flaked corn in diets for calf-fed Holstein steers: Characteristics of digestion, growth performance, and dietary energetics. J. Anim. Sci. 91:1801-1810.
- Castillo-Lopez, E., T.L. Klopfenstein, S.C. Fernando, and P.J. Kononoff. 2013. In vivo determination of rumen undegradable protein of dried distillers grains with solubles and evaluation of duodenal microbial crude protein flow. J. Anim. Sci. 91:924-934.
- Ceconi, I., M.J. Ruiz-Moreno, N. DiLorenzo, A. DiCostanzo, and G.I. Crawford. 2015. Effect of urea inclusion in diets containing corn dried distillers grains on feedlot cattle performance, carcass characteristics, ruminal fermentation, total tract digestibility, and purine derivatives-to-creatinine index. J. Anim. Sci. 93:357-369.
- Croom, W.J., Jr., R.W. Harvey, A.C. Linnerud, and M.

- Frotschel. 1982. High level of sodium hydroxide in in beef cattle diets. *Can J. Anim. Sci.* 62:217–227.
- 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.
- Drewnoski, M.E., D.J. Pogge, and S.L. Hansen. 2014. High-sulfur in beef cattle diets: A review. *J. Anim. Sci.* 92:3763–3780.
- Drewnoski, M.E., C.J. Brasche, and S.L. Hansen. 2014. Short communication: effects of dietary sulfur source on rumen pH and hydrogen sulfide gas concentration. *Livest. Sci.* 165:66–69.
- Engle, C.L., V.L. Anderson, and K.C. Swanson. 2016. Influence of two fat levels of dry distillers grains in diets with corn or barley on growing and finishing feedlot and carcass performance of steers. *J. Anim. Sci.* 94(Suppl. 2):173 (Abstr.).
- 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
- Eun, J.-S., D.R. ZoBell, and R.D. Wiedmreier. 2009. Influence of replacing barley grain with corn-based dried distillers grains with solubles on production and carcass characteristics of growing and finishing beef steers. *Anim. Feed Sci. Technol.* 152:72–80.
- Felix, T.L., W.P. Weiss, F.L. Fluharty, and S.C. Loerch. 2012a. Effects of copper supplementation on feedlot performance, carcass characteristics and rumen sulfur metabolism of growing cattle fed diets containing 60 percent dried distillers grains. *J. Anim. Sci.* 90:2710–2716.
- Felix, T.L., T.A. Murphy, and S.C. Loerch. 2012b. Effects of dietary inclusion and NaOH treatment of dried distillers grains with solubles on ruminal metabolism of feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 90:4951–4961.
- Felix, T.L., and S.C. Loerch. 2011. Effects of haylage and monensin supplementation on performance, carcass characteristics and ruminal metabolism of feedlot cattle fed diets containing 60 percent dried distillers grains. *J. Anim. Sci.* 89:2614–2623.
- Geisert, B.G., G.E. Erickson, T.J. Klopfenstein, C.N. Macken, M.K. Luebbe, and J.C. MacDonald. 2010. Phosphorus requirement and excretion of finishing beef cattle fed different concentrations of phosphorus. *J. Anim. Sci.* 88:2393–2402.
- Gigax, J.A., B.L. Nuttleman, W.A. Grifn, G.E. Erickson, and T.J. Klopfenstein. 2011. Performance and carcass characteristics of finishing steers fed low-fat and normalfat wet distillers grains. *Nebraska beef Cattle Report* p. 44–45.
- Gordon, C.M., J.S. Drouillard, R.K. Phebus, K.A. Hachmeister, M.E. Dikeman, J.J. Higgins, and A.L. Reicks. 2002. 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.
- Gross, S.M., B.W. Neville, F.A. Brummer, and M. Undi. 2016. Frequency of feeding distillers dry grain with solubles as a supplement to beef cows grazing corn residue. *J. Anim. Sci.* 94(E–Suppl. 5):290 (Abstr.)
- Gunn, P.J., J.P. Schoonmaker, R.P. Lemenager, and G.A. Bridges. 2015. Feeding distiller's grains as an energy source to gestating and lactating beef heifers: Impact on female progeny growth, puberty attainment and reproductive processes. *J. Anim. Sci.* 93:746–757.
- Gunn, P.J., A.D. Weaver, R.P. Lemenager, D.E. Gerrard, M.C. Claeys, and S.L. Lake. 2009. Effects of dietary fat and crude protein on feedlot performance, carcass characteristics and meat quality in finishing steers fed differing levels of dried distillers grains with solubles. *J. Anim. Sci.* 87:2882–2890.

- Hallewell, J., T.A. McAllister, J. Thomas, C.W. Booker, S. Hannon, G.K. Jim, L.O. Burciaga-Robles, M.L. May, R.E. Peterson, C. Flaig, E.M. Hussey, and K. Stanford. 2012. Effects of wheat or corn distillers dried grains with solubles on feedlot performance, fecal shedding and persistence of *Escherichia coli* O157:H7. *J. Anim. Sci.* 90:2802–2810.
- Ham, G.A., R.A. Stock, T.J. Klopfenstein, E.M. Larson, D.H. Shain, and R.P. Huffman. 1994. Wet corn distillers co-products compared with dried distillers grains with soluble as a source of protein and energy for ruminants. *J. Anim. Sci.* 72:3246.
- He, M.L., L. Xu, W.Z. Yang, D. Gibb, and T.A. McAllister. 2014. Effect of low-oil corn dried distillers grains with solubles on growth performance, carcass traits and beef fatty acid profile of feedlot cattle. *Can. J. Anim. Sci.* 94:343–347.
- Islas, A., T.C. Gilbery, R.S. Goulart, C.R. Dahlen, M.L. Bauer, and K.C. Swanson. 2014. Influence of supplementation with corn dried distillers grains plus solubles to growing calves fed medium-quality hay on growth performance and feeding behavior. *J. Anim. Sci.* 92:705–711.
- 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.
- 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.
- Kennedy, V.C., M.L. Bauer, K.C. Swanson, and K.A. Vonnahme. 2016. Supplementation of corn dried distillers grains plus solubles to gestating beef cows fed low-quality forage: I. Altered intake behavior, body condition and reproduction. *J. Anim. Sci.* 94:240–247.
- Kennedy, V.C., B.R. Mordhorst, J.J. Gaspers, M.L. Bauer, K.C. Swanson, C.O. Lemley, and K.A. Vonnahme. 2016. Supplementation of corn dried distillers' grains plus solubles to gestating beef cows fed low-quality forage: II. Impacts on uterine blood flow, circulating estradiol-17 α and progesterone and hepatic steroid metabolizing enzyme activity. *J. Anim. Sci.* 94:4619–4628.
- Kennedy, V.C., J.J. Gaspers, B. Mordhorst, G.L. Stokka, M.L. Bauer, K.C. Swanson, and K.A. Vonnahme. 2016. Supplementation of corn-dried distiller's grains plus solubles to gestating beef cows fed low quality forage: neonatal calf performance. *J. Anim. Sci.* 94(E-Suppl. 5):558 (Abstr.)
- 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.
- 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.
- Leventini, M.W., C.W. Hunt, R.E. Ruffer, and D.G. Casebolt. 1990. Effect of dietary level of barley-based supplements and ruminal buffer on digestion and growth of beef cattle. *J. Anim. Sci.* 68:4334–4340.
- Li, C., K.A. Beauchemin, and W.Z. Yang. 2013. Effects of supplemental canola meal and various types of distillers grains on ruminal degradability, duodenal flow and intestinal digestibility of protein and amino acids in bac

- kg rounded heifers. *J. Anim. Sci.* 91:5399–5409.
- Li, C., J.Q. Li, W.Z. Yang, and K.A. Beauchemin. 2012. Ruminal and intestinal amino acid digestion of distiller's grain vary with grain source and milling process. *Anim. Feed Sci. Technol.* 175:121–130.
- 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, 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.* 86:3504–3510.
- 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, 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, 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, D. and W. Miller. 2002. Ethanol co-products for cattle – The process and products. Iowa Beef Center. Iowa State University IBC–18.
- 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.*
- Martin, J.L., D.M. Larson, H.L. Stroh, A.S. Cupp, and R.N. Funston. 2010. Effects of dietary crude protein sources on hormone and follicle characteristics in beef heifers. *J. Anim. Sci.* 88:937–942.
- Martínez-Pérez, M.F., D. Calderón-Mendoza, A. Islas, A.M. Encinias, F. Loya-Olguín, and S.A. Soto-Navarro. 2013. Effect of corn dry distillers grains plus solubles supplementation level on performance and digestion characteristics of steers grazing native range during forage growing season. *J. Anim. Sci.* 91:1350–1361.
- McDonald, I.W. 1954. The extent of conversion of feed protein to microbial protein in the rumen of sheep. *Biochem. J.* 56:120–125.
- McDowell, L.R. 2003. *Minerals in Animal and Human Nutrition*, 2nd edition, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- Meyer, U., A. Schwabe, S. Dänicke, and G. Flachowsky. 2010. Effects of by-products from biofuel production on the performance of growing fattening bulls. *Anim. Feed Sci. Technol.* 161:132–139.
- Morine, S.J., M.E. Drewnoski, and S.L. Hansen. 2014. Increasing dietary neutral detergent fiber concentration decreases ruminal hydrogen sulfide concentrations in steers fed high-sulfur diets based on ethanol coproducts. *J. Anim. Sci.* 92:3035–3041.
- 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.*
- Murillo, M., E. Herrera, O. Ruiz, O. Reyes, F.O. Carrete, and H. Gutierrez. 2016. Effect of supplemental corn dried distillers grains with solubles fed to beef steers grazing native rangeland during the forage dormant season. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 29:666–673.
- 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–

- 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 percent DDGS. *J. Anim. Sci.* 88:2444–2455.
- Nuñez, A.J.C., T.L. Felix, S.C. Loerch, and J.P. Schoonmaker. 2015. Short communication: Effect of dried distillers grains with solubles or corn in growing cattle diets, followed by a corn-based finishing diet, on performance of feedlot cattle. *Anim. Feed Sci. Technol.* 207:267–273.
- Nuñez, A.J.C., T.L. Felix, R.P. Lemenager, and J.P. Schoonmaker. 2014. Effect of calcium oxide inclusion in beef feedlot diets containing 60 percent dried distillers grains with solubles on ruminal fermentation, diet digestibility, performance and carcass characteristics. *J. Anim. Sci.* 92:3954–3965.
- NRC. 2001. *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.
- 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.
- Pogge, D.J., M.E. Drewnoski, D. Snider, W.K. Rumbelha, and S.L. Hansen. 2016. Effect of ferric ammonium citrate in feedlot diets with varying dried distillers grains inclusion on ruminal hydrogen sulfide concentrations and steer growth. *J. Anim. Sci.* 94:3894–3901.
- Radunz, A.E., F.L. Fluharty, M.L. Day, H.N. Zerby, and S.C. Loerch. 2010. Parturient dietary energy source fed to beef cows: I. Effects on pre- and postpartum cow performance. *J. Anim. Sci.* 88:2717–2728.
- Richter, E.L., M.E. Drewnoski, and S.L. Hansen. 2012. Effects of increased dietary sulfur on beef steer mineral status, performance, and meat fatty acid composition. 90:3945–3953.
- Rodenhuis, M.A., F.E. Keomanivong, J.J. Gaspers, T.C. Gilbery, S.R. Underdahl, M.L. Bauer, V.L. Anderson, C.L. Engle, and K.C. Swanson. 2016. The influence of grain source and dried corn distiller's grains plus solubles oil concentration on finishing cattle performance and feeding behavior. *J. Anim. Sci.* 94(Suppl. 2):170 (Abstr.)
- Roeber, D.L., R.K. Ill, and A. DiCostanzo. 2005. Meat quality responses to feeding distiller's grains to finishing Holstein steers. *J. Anim. Sci.* 83:2455–2460.
- Salim, H., K.M. Wood, P.L. McEwen, G. Vandervoort, S.P. Miller, I.B. Mandell, J.P. Cant, K.C. Swanson. 2014. Influence of feeding increasing level of dry or modified wet corn distillers grains plus solubles in whole corn grain-based finishing diets on growth performance, carcass traits and feeding behavior in finishing cattle. *Livest. Sci.* 161:53–59.
- Schauer, C.S., M.M. Stramm, T.D. Maddock, and P.B. Berg. 2008. Feeding 60 percent lamb finishing rations as dried distillers grains with solubles results in acceptable performance and carcass quality. *Sheep and Goat Res. J.* 23:15–19.
- Schoonmaker, J.P., M.C. Claeys, and R.P. Lemenager. 2013. Effect of increasing distillers grains inclusion on performance and carcass characteristics of early-weaned steers. *J. Anim. Sci.* 91:1784–1790.
- Schroeder, A.R., M. Iakiviak, and T.L. Felix. 2014. Effects of feeding dry or modified wet distillers grains with solubles with or without supplemental calcium oxide on ruminal metabolism and microbial enzymatic activity of beef cattle. *J. Anim. Sci.* 92:3997–4004.
- Schroeder, A.R., M.J. Duckworth, D.W. Shike, J.P. Schoonmaker, and T.L. Felix. 2014. Effects of calcium oxide treatment of dry and modified wet corn distillers grains plus solubles on growth performance, carcass characteristics and apparent digestibility of feedlot

- steers. *J. Anim. Sci.* 92:4661–4668.
- Segers, J.R., D.B. Faulkner, K.M. Retallick, and D.W. Shike. 2014. Effects of protein and fat concentration in coproduct-based growing calf diets on performance and carcass composition. *J. Anim. Sci.* 92:5603–5611.
- Segers, J.R., A.M. Stelzleni, T.D. Pringle, M.A. Froetschel, C.L. Ross, and R.L. Stewart, Jr. 2013. Use of corn gluten feed and dried distillers grains plus solubles as a replacement for soybean meal and corn for supplementation in a corn silage-based stocker system. *J. Anim. Sci.* 91:950–956.
- 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. Stelzleni. 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.
- Sharman, E.D., P.A. Lancaster, C.R. Krehbiel, G.G. Hilton, D.R. Stein, U. DeSilva, and G.W. Horn. 2013. Effects of starch- vs. fiber-based energy supplements during winter grazing on partitioning of fat among depots and adipose tissue gene expression in growing cattle and final carcass characteristics. *J. Anim. Sci.* 91:2264–2277.
- Shee, C.N., R.P. Lemenager, and J.P. Schoonmaker. 2016. Feeding dried distillers grains with solubles to lactating beef cows: impact of excess protein and fat on cow performance, milk production and pre-weaning progeny growth. *Animal* 10:1, pp. 55–63.
- 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.* 25:132–138.
- Shoup, L.M., F.A. Ireland, and D.W. Shike. 2017. Effects of dam prepartum supplemental level on performance and reproduction of heifer progeny. *Italian J. Anim. Sci.* 16:75–81.
- Shoup, L.M., A.C. Kloth, T.B. Wilson, D. González-Peña, F.A. Ireland, S. Rodríguez-Zas, T.L. Felix, and D.W. Shike. 2015. Prepartum supplement level and age at weaning: I. Effects on pre- and postpartum beef cow performance and calf performance through weaning. *J. Anim. Sci.* 93:4926–4935.
- 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 State 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.*
- Stelzleni, A.M., J.R. Segers, and R.L. Stewart Jr. 2016. Long-term use of corn coproducts as a sources of protein in beef finishing diets and the effects on carcass characteristics and round muscle quality. *J. Anim. Sci.* 94:1227–1237.
- 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.*
- Summers, A.F., T.L. Meyer, and R.N. Funston. 2015a. Impact of supplemental protein source offered to primiparous heifers during gestation on I. Average daily gain, feed intake, calf birth body weight and rebreeding in pregnant beef heifers. *J. Anim. Sci.* 93:1865–1870.
- Summers, A.F., A.D. Blair, and R.N. Funston. 2015b. Impact of supplemental protein source offered to primiparous heifers during gestation on II greater than Progeny performance and carcass characteristics. *J. Anim. Sci.* 93:1871–1880.

- Swanson, K.C., A. Islas, Z.E. Carlson, R.S. Goulart, T.C. Gilbery, and M.L. Bauer. 2014. Influence of dry-rolled corn processing and increasing dried corn distillers grains plus solubles inclusion for finishing cattle on growth performance and feeding behavior. *J. Anim. Sci.* 92:2531–2537.
- Taylor, E.G., R.P. Lemenager, and K.R. Stewart. 2017. Effects of using distiller's dried grains with solubles in postpartum diets of beef cows on heifer offspring reproductive performance. *J. Anim. Sci.* 95(Suppl. 2): 165 (Abstr.)
- Tjardes, J. and C. Wright. 2002. Feeding corn distiller's co-products to beef cattle. SDSU Extension Extra. ExEx 2036, Dept. of Animal and Range Sciences. pp.1–5.
- Uwituze, S., G.L. Parsons, C.J. Schneider, K.K. Karges, M.L. Gibson, L.C. Hollis, J.J. Higgins, and J.S. Drouillard. 2011. Evaluation of sulfur content of dried distillers grains with solubles in finishing diets based on steam-flaked corn or dry-rolled corn. *J. Anim. Sci.* 89:2582–2591.
- Uwituze, A., G.L. Parsons, M.K. Shelor, B.E. Deppenbusch, K.K. Karges, M.L. Gibson, C.D. Reinhardt, J.J. Higgins, and J.S. Drouillard. 2010. Evaluation of dried distillers grains and roughage source in steam-flaked corn finishing diets. *J. Anim. Sci.* 88:258–274.
- Vander Pol, K.J., M.K. Luebbe, 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.
- Vander Pol, K.J., G.E. Erickson, and T.J. Klopfenstein. 2005. Degradable intake protein in finishing diets containing dried distiller's grains. *J. Anim. Sci.* 83(Suppl. 2):62.
- Veracini, J.L., P.M. Walker, M.J. Faulkner, R.E. Hall, R.L. Atkinson, and B.R. Wiegand. 2013. Effects of high-fat, modied-wet, corn distiller's grains plus solubles on beef steer performance and carcass characteristics. *Livest. Sci.* 157:151–161.
- Wilson, T.B., N.M. Long, D.B. Faulkner, and D.W. Shike. 2016a. Influence of excessive dietary protein intake during late gestation on drylot beef cow performance and progeny growth, carcass characteristics and plasma glucose and insulin concentrations. *J. Anim. Sci.* 94:2035–2046.
- Wilson, T.B., D.B. Faulkner, and D.W. Shike. 2016b. Influence of prepartum dietary energy on beef cow performance and calf growth and carcass traits. *Livest. Sci.* 184:21–27.
- Wilson, T.B., D.B. Faulkner, and D.W. Shike. 2015a. Influence of late gestation drylot rations differing in protein degradability and fat content on beef cow and subsequent calf performance. *J. Anim. Sci.* 93:5819–5828.
- Wilson, T.B., A.R. Schroeder, F.A. Ireland, D.B. Faulkner, and D.W. Shike. 2015b. Effects of late gestation distillers grains supplementation on fall-calving beef cow performance and steer calf growth and carcass characteristics. *J. Anim. Sci.* 93:4843–4851.