

DDGSハンドブック第4版

DDGSの栄養分析と新たな発見をまとめたDDGSハンドブック第4版がアメリカ穀物バイオプロダクト協会から発行されました。こちらでその一部を和訳したものを数回にわけてご紹介いたします。

第15章

肉用牛における低脂肪DDGS

(No.217からの続き)

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いる。

トウモロコシDDGSは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含量と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せず、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付けている。必須アミノ酸のルーメン分解は、小麦DDGSが最大であり、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の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、リンとイオウの含量は比較的高い。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るかなりの量のリン(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排泄物中の窒素(N)およびリン含量が増加する

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肉牛のガイドライン(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を含み、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および食物纖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)。

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)の影響に関する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150mg/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たかった。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、(2008)のところ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)。肉用牛用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200mg/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

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)

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の低下は纖維の発酵を妨げる。DDGSの纖維含量は比較的多く、pHが比較的低いため、ルーメンpHと纖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中の硫酸による酸性度を中和するのに効果的だったが、反対に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、発育成績、纖維の消化率、揮発性脂肪酸の生産量、アミノ酸利用率、代謝性酸塩基平衡、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ィスクレーズ・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研究している(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(表5)(表5については、ハンドブックを参照されたし)。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5中に示した。Freetas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。しかし、低脂肪WDGSの給与は、トウモロコシと同等のDMI、ADGおよび飼料効率を示した。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ある。さらに、いくつかの研究では、日般的に20～25%

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。

(次号に続く)

第15章の引用文献リストにつきましてはこちらをご覧ください。
<https://grains.org/buying-selling/ddgs/user-handbook/>

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 |
| 温屠体重 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=わずか、500=小

表4. 圧ペントウモロコシの粒度と20%・40%の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 (2.68mm) | | 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 |
| 温屠体重 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

ネットワークに関するご意見、
ご感想をお寄せ下さい。



アメリカ穀物バイオプロダクト協会

〒105-0001 東京都港区虎ノ門1丁目2番20号
第3虎の門電気ビル11階

Tel: 03-6206-1041 Fax: 03-6205-4960

E-mail: Japan@grains.org

本部ホームページ (英語) :<https://www.grains.org>
日本事務所ホームページ (日本語) :<https://grainsjp.org/>