

第8章

ドライド・コーン・ブラン・アンド・ソリュブル (BS、Dried Corn Bran and Soluble)、脱油 DDGS (De-Oiled (溶媒抽出) DDGS) およびコーン・ディスティラーズ・オイル (CDO) 飼料原料としての栄養特性および飼料価値

初めに

トウモロコシ発酵たん白質 (CFP; 第1章、第2章、第3章、第4章および第5章)、高たん白 DDG (HP-DDG; 第6章) およびトウモロコシたん白濃縮物 (CPC; 第7章) 以外にも、いくつかのエタノール工場において新しい工程を使用した栄養特性や用途が異なる新しいトウモロコシ併産物 (コーン・ファイバー/ブラン・アンド・ソリュブル (CBS、Corn Fiber/Bran and Solubles、未乾燥製品および乾燥製品)、脱油 DDGS、CDO) が生産されている。本章では、これらについての栄養特性や様々な動物種において飼料原料として用いる場合の利点と注意点に関する最新の情報とこれまでに実施された給与試験の結果を概説する。

CBS

反芻動物における CBS の栄養組成

ICM 社の Fiber Separation Technology™ (FST™) を導入しているいくつかのエタノール工場では、未乾燥の高水分 (乾物 (DM) 40%) CBS を生産している。水分含量が高く輸送コストが高くなるために輸出は行われていないが、肉牛の肥育現場では評価されており、本章内の「反芻動物に対する CBS の給与試験の概要」において給与試験の結果を概説した。

豚における乾燥 CBS の栄養組成

ブラジルのトウモロコシを原料とした新しいエタノール工場では、ICM 社の FST™ を用いて、豚、家禽および牛用飼料原料として CBS の乾燥製品を生産している。Paula ら (2021) は、CBS 乾燥製品の可消化エネルギー (DE) 価、代謝エネルギー (ME) 価、アミノ酸の標準化された回腸消化率 (SID) およびリン (P) の標準化された全消化管消化率 (STTD) を測定し、従来の DDG、米国で生産された HP-DDG およびブラジルにおいて ICM 社の FST™ を用いて生産した HP-DDG と比較した。

予想したとおり、CBS の粗たん白質 (CP) 含量は比較的 low (13.87%)、粗脂肪 (9.00%) および中性デタージェント繊維 (NDF、39.07%) 含量は、他のトウモロコシ併産物に比べて比較的高かった (表 1)。CBS の ME 価は、米国産の DDGS の約 91%、米国産 HP-DDG およびブラジル産 HP-DDG の 80% および 71% であった。CBS の P 含量は 0.71% であり、他

のトウモロコシ併産物よりも高かったが、PのSTTD値は46.4%であって、比較したトウモロコシ併産物で最も低かった（表1）。CBS中のリジン（Lys）、メチオニン（Met）、トレオニン（Thr）およびトリプトファン（Trp）のSID値は、他のトウモロコシ併産物よりも低かった。これらの結果は、CBS乾燥品のME価と可消化アミノ酸含量は従来のDDGSやHP-DDGよりも大幅に低い、エネルギー摂取量やボディ・コンディションの抑制が必要で、可消化アミノ酸要求量が比較的低い妊娠豚用飼料原料としては適している。

表1. CBSの栄養組成と、米国産のDDGSとHP-DDG、ブラジル産のHP-DDGの栄養組成の比較（原物値）（Paulaら、2021より引用）

分析値	米国産 DDGS	米国産 HP-DDG	ブラジル産 HP-DDG	ブラジル産 CBS
乾物 (DM)、%	86.08	89.62	92.30	87.59
粗たん白質 (CP)、%	26.37 (72)	34.83 (62)	42.93 (67)	13.87 (59)
粗脂肪、%	6.40	7.80	10.30	9.00
中性デタージェント繊維 (NDF)、%	36.59	47.48	37.40	39.07
酸性デタージェント繊維 (ADF)、%	14.31	19.81	17.53	13.31
総エネルギー (GE)、kcal/kg	4,532	4,915	5,296	4,513
可消化エネルギー (DE)、豚 kcal/kg	3,134	3,352	4,060	2,843
代謝エネルギー (ME)、豚 kcal/kg	2,941	3,116	3,757	2,680
粗灰分、%	4.89	3.39	2.81	4.80
カルシウム (Ca)、%	0.04	0.02	0.02	0.02
リン (P)、%	0.68	0.46	0.48	0.71
STTD P、%	62.7	67.6	48.3	46.4
マグネシウム (Mg)、%	0.28	0.18	0.01	0.33
ナトリウム (Na)、%	0.44	0.47	0.09	0.24
カリウム (K)、%	1.09	0.63	0.41	1.50
銅 (Cu)、mg/kg	14.26	7.9	7.10	7.14
鉄 (Fe)、mg/kg	59.56	52.1	112.5	87.32
マンガン (Mn)、mg/kg	12.72	9.00	9.97	16.81
亜鉛 (Zn)、mg/kg	63.39	56.40	75.55	61.26
必須アミノ酸、%				
アルギニン (Arg)	1.10 (84)	1.50 (76)	2.06 (83)	0.69 (74)
ヒスチジン (His)	0.64 (72)	0.89 (66)	1.26 (76)	0.36 (69)
イソロイシン (Ile)	0.98 (67)	1.46 (68)	1.79 (76)	0.46 (65)
ロイシン (Leu)	2.90 (74)	4.38 (72)	5.30 (81)	1.20 (72)
リジン (Lys)	0.73 (55)	1.00 (53)	1.37 (66)	0.40 (46)
メチオニン (Met)	0.43 (75)	0.54 (75)	0.95 (82)	0.25 (73)
フェニルアラニン (Phe)	1.21 (72)	1.86 (72)	2.16 (78)	0.54 (64)
トレオニン (Thr)	0.95 (68)	1.32 (67)	1.66 (76)	0.51 (54)
トリプトファン (Trp)	0.15 (74)	0.22 (71)	0.23 (73)	0.11 (66)
バリン (Val)	1.30 (66)	1.82 (69)	2.37 (76)	0.64 (65)
非必須アミノ酸、%				
アラニン (Ala)	1.86 (78)	2.65 (72)	3.28 (82)	0.90 (79)
アスパラギン酸 (Asp)	2.02 (65)	2.72 (64)	3.29 (73)	1.02 (53)
シスチン (Cys)	0.59 (70)	0.80 (72)	1.09 (82)	0.34 (59)
グルタミン酸 (Glu)	4.34 (75)	6.21 (70)	7.98 (81)	2.03 (69)
グリシン (Gly)	1.08 (94)	1.40 (73)	1.77 (93)	0.66 (80)
プロリン (Pro)	2.14 (59)	3.08 (43)	3.99 (55)	1.08 (52)
セリン (Ser)	1.20 (66)	1.74 (64)	2.18 (79)	0.61 (63)
チロシン (Tyr)	1.09 (69)	1.45 (70)	1.91 (79)	0.49 (62)

総アミノ酸	24.44 (62)	34.76 (65)	44.39 (68)	12.16 (65)
Lys: CP	2.77	2.87	3.19	2.88

以前に公表された Anderson ら (2012) および Rochell (2011) の報告では CBS の栄養特性、豚における DE および ME 価、家禽における AMEn 価の測定が行われている (表 2)。CBS の家禽における AMEn 価を推定した最近の報告はないが、Anderson ら (2012) により測定された CBS の豚における DE 価 (3,282 kcal/kg、DM) および ME 価 (3,031 kcal/kg、DM) は、Paula ら (2021) が測定した DE 価 (3246 kcal/kg、DM)、DM) および ME 価 (3,060 kcal/kg、DM) とほぼ同一だった。CBS のアミノ酸含量は Anderson ら (2012) のデータと Paula ら (2021) のデータの間で異なっていたが、P 含量には差がなかった。

分析値 (DM)、%	CBS
乾物 (DM)、%	90.82
総エネルギー (GE)、kcal/kg	4,982
可消化エネルギー (DE)、豚 kcal/kg	3,282
代謝エネルギー (ME)、豚 kcal/kg	3,031
窒素補正した代謝エネルギー (AMEn) 家禽 kcal/kg	3,030
粗たん白質 (CP)	34.74
粗脂肪	9.68
総食物性繊維 (TDF)	26.65
中性デタージェント繊維 (NDF)	25.21
酸性デタージェント繊維 (ADF)	5.35
粗灰分	5.31
カルシウム (Ca)	0.03
リン (P)	0.76
必須アミノ酸	
アルギニン (Arg)	0.77
ヒスチジン (His)	0.44
イソロイシン (Ile)	0.50
ロイシン (Leu)	1.30
リジン (Lys)	0.62
メチオニン (Met)	0.23
フェニルアラニン (Phe)	0.55
トレオニン (Thr)	0.61
トリプトファン (Trp)	0.09
バリン (Val)	0.76
非必須アミノ酸	
アラニン (Ala)	1.04
アスパラギン酸 (Asp)	1.02
シスチン (Cys)	0.30
グルタミン酸 (Glu)	1.95
グリシン (Gly)	0.77
プロリン (Pro)	1.08
セリン (Ser)	0.65
チロシン (Tyr)	0.41

反芻動物に対する CBS の給与試験の概要

Garland ら (2019a) は、トウモロコシ (対照)、HP-DDG を 20 および 40%、CBS を 40%、従来のウェット DGS (WDGS) を 40%、従来の DDGS を 40% 含む飼料のエネルギーおよび栄養素消化率と乾物摂取量 (DMI) を比較している。その結果、CBS を含む飼料の DM と有機物 (OM) 消化率はトウモロコシを含む対照飼料より低く、NDF 消化率は同等で、ADF およびエネルギー消化率はトウモロコシを含む対照飼料より高かった。CBS の DM および OM 消化率と DE 価は従来の WDGS および DDGS と同様だった。さらに、CBS を 40% 含む飼料の DM、OM、NDF および ADF 消化率ならびに DE 価は HP-DDG を同量含む飼料と差がなかった。これらの結果は、HP-DDG および CBS を与えると DM および OM の消化率が低下するが、これらを含む飼料ではエネルギー摂取量が増加することを示している。さらに、CBS は WDGS や DDGS と同等の飼料価値を有している。

その後の研究で、Garland ら (2019b) は、未乾燥の CBS を DMI の 20 あるいは 40% 給与した場合と、生のディスティラーズ・グレイン (WDG) を DMI の 20 あるいは 40% 給与した場合の去勢牛における発育成績を比較している。いずれのトウモロコシ併産物を用いた場合も、DMI と飼料効率は給与量の増加とともに増加し、CBS または WDGS を給与した場合の日増体量 (ADG) は、高水分トウモロコシと乾燥圧ペントウモロコシを用いた対照飼料と比べて高かった。この結果は、WDG と同じ量の生の CBS を給与すると、同様の発育成績および枝肉形質が得られることを示している。

また、Garland ら (2019c) は、HP-DDG、従来の DDGS、WDGS あるいは未乾燥の CBS を DM 摂取量の 40% 含む飼料を交雑種去勢牛に給与した場合の発育成績と枝肉形質を比較している。その結果、DMI には差がなかったが、HP-DDG と未乾燥の CBS を給与した場合には、WDGS と DDGS を給与した場合に比べて、ADG と枝肉重量が増加した。この試験において、肥育後期に測定した飼料効率を基に推定した HP-DDG および未乾燥の CBS の飼料価値は、トウモロコシの飼料価値の 121 および 125% であった。

脱油 DDGS

脱油 DDGS は、溶媒抽出により DDGS から粗脂肪を除去したトウモロコシ併産物 (ブランド名: NovaMeal) だが、米国における現在の生産量は限られており、大部分は泌乳中の乳牛用飼料原料として使用されている。このため、栄養組成と飼料価値に関する研究のほとんどは、泌乳中の乳牛における飼料価値に焦点が当てられている。

AAFCO の定義

AAFCO は、脱油 DDGS を次のように定義している。

27.9 De-oiled Corn Distillers Dried Grains with Solubles, Solvent Extracted は、DDGS から粗脂肪を溶媒抽出し、粗脂肪含量を原物値で 3% 未満と

した製品であり、たん白源としての使用を目的としている。表示票には、CP の最小値とイオウ (S) の最大値の保証値を記載する必要がある。飼料原料として表示する場合、「溶媒抽出」という記載は必要ない。

反芻動物における脱油 DDGS の栄養組成

Mjoun ら (2010c) は、泌乳中のホルスタインにおける従来大豆粕、高脂肪 DDGS、脱油 DDGS および HP-DDG の栄養成分組成、ルーメン分解性および非分解性たん白質ならびにアミノ酸の小腸消化率を測定している (表 3)。遅分解性たん白質の分解速度は、大豆粕で最大 (11.8%/時) であり、De-oiled DDGS では 2.7%/時だった。ルーメン非分解性たん白質 (RUP) は、32% (大豆粕) から 60% (脱油 DDGS) の範囲にあった。可消化 CP の総量は大豆粕の併産物の方が多かったが、いずれも 95%以上であった。同様に、併産物中の大部分のアミノ酸の小腸内消化率は 92%以上であったが、大豆粕 (94%以上) よりわずかに低かった。脱油 DDGS における小腸内吸収性たん白質は 55%であって、DDGS (48%)、HP-DDG (51%)、大豆粕 (31%) より多かった。これらの結果は、泌乳中の乳牛に給与した脱油 DDGS およびその他のトウモロコシ併産物の CP およびアミノ酸の消化率は大豆粕に匹敵することを示している。

分析値、DM%	大豆粕	DDGS	脱油 DDGS	HP-DDG
乾物 (DM)	90.2	88.5	87.7	93.2
粗たん白質 (CP)	49.6	30.8	34.0	41.5
可溶性たん白質、%/CP	15.0	14.0	10.9	6.4
ルーメン分解性たん白質 (RDP) % /CP	68	48	40	46
ルーメン非分解性たん白質 (RUP) %/CP	32	52	60	54
たん白質の小腸内推定消化率、%/RUP	97	92	91	94
小腸内吸収性たん白質、%/CP	31	48	55	51
総可消化たん白質、%/CP	99	96	95	97
中性デタージェント不溶性蛋白質 (NDICP)、%/CP	3.4	9.1	19.7	10.1
酸性デタージェント不溶性蛋白質 (ADICP)、%/CP	3.2	8.8	13.2	9.9
中性デタージェント繊維 (NDF)	12.0	31.5	42.5	30.4
酸性デタージェント繊維 (ADF)	6.2	9.4	12.4	10.5
粗脂肪	1.1	10.6	3.5	3.2
でん粉	2.0	8.9	5.1	8.3
非繊維炭水化物 (NFC)	29.9	22.7	14.7	22.5
粗灰分	7.4	4.4	5.3	2.4
カルシウム (Ca)	0.70	0.06	0.07	0.06
リン (P)	0.73	0.75	0.77	0.51
マグネシウム (Mg)	0.33	0.32	0.34	0.16

カリウム (K)	2.34	0.92	0.93	0.53
イオウ (S)	0.42	0.62	0.74	0.79
必須アミノ酸、g/kg CP ¹				
アルギニン (Arg)	71.0 [85] (99)	47.4 [66] (93)	46.9 [59] (93)	37.1 [57] (93)
ヒスチジン (His)	27.9 [87] (96)	30.0 [71] (93)	30.5 [65] (93)	27.7 [68] (93)
イソロイシン (Ile)	48.0 [84] (98)	40.4 [65] (93)	43.1 [59] (93)	41.8 [56] (93)
ロイシン (Leu)	79.7 [84] (98)	117.4 [59] (96)	125.3 [50] (96)	135.3 [51] (96)
リジン (Lys)	64.7 [86] (96)	34.8 [77] (84)	32.2 [69] (86)	29.5 [70] (87)
メチオニン (Met)	14.3 [82] (94)	20.4 [55] (95)	19.9 [37] (95)	20.4 [48] (94)
フェニルアラニン (Phe)	50.2 [84] (98)	45.2 [53] (95)	47.3 [45] (95)	50.9 [49] (95)
トレオニン (Thr)	38.2 [83] (98)	37.8 [63] (88)	38.0 [51] (90)	36.5 [56] (91)
バリン (Val)	50.0 [83] (97)	53.0 [67] (92)	53.4 [60] (92)	51.4 [59] (92)
非必須アミノ酸、g/kg CP				
アラニン (Ala)	43.3	69.3	71.2	73.1
アスパラギン酸 (Asp)	114.3	63.7	68.5	65.0
シスチン (Cys)	14.7	19.3	18.1	18.3
グルタミン酸 (Glu)	149.9	130.4	143.8	160.8
グリシン (Gly)	42.9	41.1	41.1	32.6
プロリン (Pro)	47.8	86.3	74.3	88.0
セリン (Ser)	43.3	40.7	43.1	43.6
総アミノ酸	918.1 [84]	877.0	896.9	912.0

¹ []内は必須アミノ酸のルーメン内分解率 (%), ()内は RUP 中の必須アミノ酸の小腸内消化率 (%)

豚における脱油 DDGS の栄養組成

脱油 DDGS の豚における DE 価および ME 価を測定した 2 文献が公表されており (Jacela ら、2011; Anderson ら、2012)、これらのうち 1 報ではアミノ酸の標準化された回腸消化率 (SID) も推定されている (Jacela ら、2011)。これらの文献において、脱油 DDGS の総エネルギー (GE) は同等だったが、Anderson ら (2012) が直接測定した DE 価と ME 価は、*in vivo* により測定された Jacela ら (2011) の ME 価よりはるかに高かった。Jacela ら (2011) は、Noblet and Perez (1993) および Noblet ら (1994) による ME 価および正味エネルギー (NE) 価の推定式を利用しているが、これらの推定式は個々の飼料原料ではなく配合飼料に適用することを意図して作成されたものであるため、このアプローチの正確性には疑問が残るが、この DE 価と ME 価は最近のデータに匹敵している (Paula ら、2021; Yang ら、2021)。また、Jacela ら (2011) の報告によるアミノ酸の SID 値は最近のデータ (Paula ら、2021; Yang ら、2021) と同一であるが、脱油 DDGS 中の P の STTD 値の推定値のデータはない。

分析値、DM%	Jacela ら (2011)	Anderson ら (2012)
乾物 (DM)	87.69	87.36
総エネルギー (GE)、kcal/kg	5,098	5,076
可消化エネルギー (DE)、kcal/kg	3,100	3,868
代謝エネルギー (ME)、kcal/kg	2,858 ¹	3,650
正味エネルギー (NE)、kcal/kg	2,045 ²	-

粗たん白質 (CP)	35.58	34.74
粗脂肪	4.56	3.15
総食物性繊維 (TDF)	-	37.20
中性デタージェント繊維 (NDF)	39.46	50.96
酸性デタージェント繊維 (ADF)	18.36	15.82
粗灰分	5.29	5.16
カルシウム (Ca)	0.06	0.08
リン (P)	0.87	0.84
必須アミノ酸		
アルギニン (Arg)	1.50 (83) ³	1.44
ヒスチジン (His)	0.93 (75)	0.89
イソロイシン (Ile)	1.38 (75)	1.25
ロイシン (Leu)	4.15 (84)	4.12
リジン (Lys)	0.99 (50)	1.00
メチオニン (Met)	0.67 (80)	0.64
フェニルアラニン (Phe)	1.92 (81)	1.51
トレオニン (Thr)	1.26 (69)	1.26
トリプトファン (Trp)	0.22 (78)	0.18
バリン (Val)	1.75 (74)	1.76
非必須アミノ酸		
アラニン (Ala)	2.43 (79)	2.48
アスパラギン酸 (Asp)	2.10 (65)	2.19
シスチン (Cys)	0.62 (67)	0.61
グルタミン酸 (Glu)	4.85 (79)	5.43
グリシン (Gly)	1.35 (65)	1.39
プロリン (Pro)	2.41 (88)	2.54
セリン (Ser)	1.48 (77)	1.58
チロシン (Tyr)	1.29 (82)	1.22

¹ 計算値: ME = 1 × DE - 0.68 × CP (Noblet and Perez, 1993)

² 計算値: NE = (0.87 × ME) - 442 (Noblet ら, 1994).

³ () 内は SID 平均値

家禽における脱油 DDGS の栄養組成

豚において Anderson ら (2012) が評価した脱油 DDGS と同一製品について Rochell ら (2011) がブロイラーにおける窒素補正した見かけの代謝エネルギー (AMEn) 価を測定している。このため、表 4 に示す栄養組成は家禽における AMEn (2,146 kcal/kg) 以外は同様である (Rochell ら, 2011)。

乳牛に対する脱油 DDGS 給与試験の概要

Mjoun ら (2010a) は、8 週間の飼育試験を行って、泌乳中期のホルスタイン牛用飼料における脱油 DDGS の最適含量を調査している。飼料には、脱油 DDGS の大豆主体原料と置き換えて 0、10、20 および 30% (DM) 配合した。この結果、脱油 DDGS の飼料への配合割合は DMI および産乳量に差がないことは示された (表 5)。乳脂率と乳脂量は、脱油 DDGS 配合量の増加と対応して増加したが、乳たん白質率および乳たん白質量には二次曲線的な影響がみうけられた。産乳効率は直線的に増加する傾向を示したが、乳生産のための窒素の利用効率には脱油 DDGS の配合量増加の影響はなかった。これらの結果は、脱

油 DDGS を最大 30%まで含む飼料を泌乳中の乳牛に給与した場合、たん白質およびエネルギー源として大豆主体の副産物を配合した対照飼料と同等の成績が得られることを示している。

表5. 脱油 DDGS を大豆主体の副産物と置き換えて0、10、20 および 30%給与した場合の泌乳中期の乳牛の乾物摂取量、乳量および乳成分 (Mjounら、2010a)

測定値	飼料中脱油 DDGS 量 (DM%)			
	0%	10%	20%	30%
体重、kg	705	713	721	710
体重の変動、g/日	-167	15	230	-36
ボディ・コンディション・スコア (BCM) ¹	3.56	3.37	3.36	3.53
正味エネルギー (NE) 摂取量 ² 、Mcal/日	34.7	37.0	38.3	35.2
維持に要する NE ³ 、Mcal/日	10.9	11.2	11.0	11.0
泌乳に要する NE ⁴ 、Mcal/日	22.6	24.0	24.7	25.0
エネルギー収支 ⁵ 、Mcal/日	3.18	1.60	2.80	-0.81
エネルギー効率 ⁶	64.6	66.8	64.2	71.2
乾物摂取量 (DMI)、kg/日	22.7	23.0	23.7	22.2
粗たん白質 (CP) 摂取量、kg/日	4.0	4.1	4.2	4.0
産乳量、kg/日	34.5	34.8	35.5	35.2
エネルギー補正乳量 (ECM) ⁷ 、kg/日	32.6	34.6	35.6	36.0
脂肪補正乳量 (FCM) ⁸ 、kg/日	30.0	31.7	32.1	33.1
飼料効率 ⁹	1.47	1.53	1.49	1.61
窒素効率 ¹⁰	25.5	27.0	25.8	26.0
乳成分				
乳脂率、%	3.18	3.40	3.46	3.72
乳脂量、kg/日	1.08	1.19	1.23	1.32
乳たん白率、%	2.99	3.06	3.13	2.99
乳たん白質量、kg/日	1.03	1.07	1.10	1.06
乳糖率、%	4.95	4.96	4.94	5.06
乳糖量、kg/日	1.71	1.74	1.75	1.76
総固形分率、%	12.10	12.39	12.40	12.67
総固形分量、kg/日	4.15	4.35	4.43	4.45

¹ BCM: 1 = 削瘦、5 = 肥満

² 泌乳に要する NE (Mcal/kg) × DMI (kg/日)

³ 維持に要する NE = 体重^{0.75} × 0.08

⁴ 産乳に要する NE = 乳量 (kg) × [(0.0929 × 脂肪、%) + (0.0563 × たん白質、%) + (0.0395 × 乳糖率、%)]

⁵ エネルギー収支 = NE 摂取量 - (維持に要する NE + 産乳に要する NE)

⁶ エネルギー効率 = 産乳に要する NE / NE 摂取量

⁷ ECM = [0.327 × 乳量 (kg)] + [12.95 × 乳脂量 (kg)] + [7.2 × 乳たん白質量 (kg)]

⁸ FCM = [0.4 × 乳量 (kg)] + [15 × 乳脂量 (kg)]

⁹ 飼料効率 = ECM / DMI

¹⁰ 窒素効率 = 乳窒素量 (kg/日) / 窒素摂取量 (kg/日)

また、Mjounら (2010b) は、トウモロコシ併産物を含まない飼料 (大豆粕、圧搾大豆粕および大豆皮を含む、対照)、従来の DDGS を 22%含む飼料および脱油 DDGS を 20%含む飼料を 14 週間給与した場合の泌乳初期の乳牛における産乳性への影響を調査している。各飼料中の CP、粗脂肪、NDF および泌乳に要する NE が同一となるように設計した。その結果、体重、体重変化、BCM、DMI、乳量、乳脂率および乳糖率には、飼料間で差がなかった

(表6)。乳たん白率および乳たん白質量は、DDGS 飼料を給与した場合と脱油 DDGS 飼料を給与した場合とで類似していたが、対照飼料を給与した場合より高かった。DDGS 飼料および脱油 DDGS 飼料を給与した場合には、対照飼料と比べて飼料効率が高まる傾向があり、窒素効率も高まった。これらの結果は、脱油 DDGS を 20%含む飼料を泌乳初期の乳牛に給与すると、大豆主体の飼料を給与した場合に比べて産乳成績と乳組成が同等あるいは改善されることを示している。

表6. 大豆主体製品(対照)と、DDGS を 22%、脱油 DDGS を 20%含む飼料を泌乳初期の乳牛に給与した場合の乳量、組成および栄養効率 (Mjounら、2010b)

測定値	Control	22% DDGS	20% 脱油 DDGS
開始時体重、kg	693	682	660
終了時体重、kg	734	722	704
体重の変動、g/日	0.47	0.47	0.53
ボディ・コンディション・スコア (BCM) ¹	3.43	3.32	3.34
正味エネルギー (NE) 摂取量 ² 、Mcal/日	41.3	40.1	40.3
維持に要する NE ³ 、Mcal/日	11.0	11.0	11.0
泌乳に要する NE ⁴ 、Mcal/日	26.4	26.5	27.4
エネルギー収支 ⁵ 、Mcal/日	4.39	1.98	1.98
エネルギー効率 ⁶	63.1	66.9	68.1
乾物摂取量 (DMI)、kg/日	24.8	24.7	24.6
粗たん白質 (CP) 摂取量、kg/日	4.3	4.3	4.3
産乳量、kg/日	39.2	38.9	39.8
エネルギー補正乳量 (ECM) ⁷ 、kg/日	38.0	37.8	39.5
脂肪補正乳量 (FCM) ⁸ 、kg/日	35.7	35.3	37.1
飼料効率 ⁹	1.50	1.57	1.61
窒素効率 ¹⁰	24.5 ^b	26.9 ^a	26.5 ^a
乳成分			
乳脂率、%	3.63	3.24	3.57
乳脂量、kg/日	1.33	1.34	1.40
乳たん白率、%	2.82 ^b	2.88 ^a	2.89 ^a
乳たん白質量、kg/日	1.07 ^b	1.15 ^a	1.14 ^a
乳糖率、%	4.90	4.99	4.96
乳糖量、kg/日	1.94	1.94	1.96
総固形分率、%	12.3	12.0	12.4
総固形分量、kg/日	4.73	4.70	4.90

¹ BCM: 1 = 削瘦、5 = 肥満

² 泌乳に要する NE (Mcal/kg) × DMI (kg/日)

³ 維持に要する NE = 体重^{0.75} × 0.08

⁴ 産乳に要する NE = 乳量 (kg) × [(0.0929 × 脂肪、%) + (0.0563 × たん白質、%) + (0.0395 × 乳糖率、%)]

⁵ エネルギー収支 = NE 摂取量 - (維持に要する NE + 産乳に要する NE)

⁶ エネルギー効率 = 産乳に要する NE / NE 摂取量

⁷ ECM = [0.327 × 乳量 (kg)] + [12.95 × 乳脂量 (kg)] + [7.2 × 乳たん白質量 (kg)]

⁸ FCM = [0.4 × 乳量 (kg)] + [15 × 乳脂量 (kg)]

⁹ 飼料効率 = ECM / DMI

¹⁰ 窒素効率 = 乳窒素量 (kg/日) / 窒素摂取量 (kg/日)

ab 異付号間に有意差あり (p<0.05)

ほ乳期および育成-肥育区の豚に対する脱油 DDGS 給与試験の概要

Jacelaら (2011) は、飼料中の脱油 DDGS の配合量増加 (0、5、10、20 および 30%)

が哺乳期子豚（体重 9.9 kg）の発育成績に及ぼす影響について 28 日間の飼育試験（表 7）および育成-肥育豚（体重 30 kg）の発育および枝肉形質に及ぼす影響について 99 日間に飼育試験（表 8）を行っている。飼料は、脱油 DDGS の配合量の増加に応じて大豆油の配合量を増加させ、以前の試験で得られた測定値に基づいて SID リジン含量を等量で、ME 価も等しくなるように設計した。育成-肥育期の試験では 4 つのフェースを設定した。表 7 に示したとおり、ほ乳期子豚を用いた成績では飼料間に差はみられず、脱油 DDGS を最大 30% まで配合しても、維持のために大豆油を用いてエネルギーを補給してエネルギー密度を高めることで、許容できる発育成績が得られたことが示された。

一方、育成-肥育豚では、脱油 DDGS の配合割合を増加させると、日増体量（ADG）、日飼料摂取日量（ADFI）、枝肉重量および枝肉歩留が直線的に減少した（表 8）。しかし、飼料効率は、枝肉の背脂肪、赤肉割合、無脂赤身割合に影響を及ぼすことなく改善される傾向を示した（表 8）。ADG や ADFI の減少などの悪影響がほ乳期子豚では発生せずに、育成-肥育豚で発生したのかの原因は不明である。

表 7. ほ乳期子豚に対して脱油 DDGS の配合割合を高めた飼料を 28 日間給与した場合の発育成績に及ぼす影響（Jacela ら、2011 より引用）

測定値	脱油 DDGS 配合割合、%				
	0	5	10	20	30
開始時体重、kg	10.0	10.0	9.6	9.9	9.9
終了時体重、kg	22.7	22.8	22.2	22.4	22.3
日増体量（ADG）、kg	0.455	0.459	0.452	0.445	0.442
飼料摂取日量（DFI）、kg	0.749	0.771	0.760	0.751	0.761
飼料効率	0.609	0.595	0.594	0.593	0.582

表 8. 育成-肥育豚に対して脱油 DDGS の配合割合を高めた飼料を 99 日間給与した場合の発育成績と枝肉形質に及ぼす影響（Jacela ら、2011 より引用）

測定値	脱油 DDGS 配合割合、%				
	0	5	10	20	30
開始時体重、kg	29.6	29.6	29.6	29.6	29.6
終了時体重 ¹ 、kg	121.4	119.3	118.8	118.2	116.2
日増体量（ADG ¹ ）、kg	0.909	0.893	0.887	0.887	0.873
飼料摂取日量（DFI ¹ ）、kg	2.16	2.17	2.11	2.11	2.04
飼料効率 ²	0.420	0.413	0.422	0.421	0.431
枝肉重量、kg	91.1	89.0	89.1	87.7	86.3
枝肉歩留 ¹ 、%	75.5	75.0	75.0	74.7	74.3
背脂肪厚、mm	16.46	16.53	16.53	16.38	16.96
ロース芯 ³ 、mm	63.5	62.2	62.5	63.0	60.7
赤肉割合、%	56.48	55.91	56.30	56.43	55.78
無脂肪赤肉指数	50.4	50.4	50.4	50.5	50.2

¹ 飼料中の De-oiled DDGS 配合割合増加に伴う直線的な減少（ $p < 0.01$ ）

² 飼料中の De-oiled DDGS 配合割合増加に伴う二次曲線的な改善傾向（ $p < 0.10$ ）

³ 飼料中の De-oiled DDGS 配合割合増加に伴う二次曲線的な減少傾向（ $p < 0.10$ ）

AAFCO の定義

AAFCO では CDO を以下のように定義している。

「33.10 ____ Distillers Oil (飼料品質) は、穀物または穀物混合物の酵母発酵からの蒸留によりエチルアルコールを除去し、エタノール生産産業で採用されている方法により油分を機械的または溶媒抽出した後に得られる。主に、脂肪酸のグリセリンエステルで構成され、遊離脂肪酸や脂肪由来の他の物質は含まれていない。総脂肪酸が 85%以上、不けん化物が 2.5%以下、不溶性不純物が 1%以下であることを保証する必要がある。また、遊離脂肪酸と水分の最大値を保証する必要がある。酸化防止剤を使用している場合には、一般名または慣用名を表示し、その後「防腐剤として使用」という文言を加えなければならない。製品名にその起源となった穀類の種類が表示されている場合、すなわち「トウモロコシ」、「ソルガム」、「大麦」、「ライ麦」等が付いている場合、製品名の最初の単語として宣言された主要な穀物が起源と対応している必要がある。提案：2015、改訂版採用：2016。1)

CDO は、米国のエタノール産業によって大量に生産され、再生可能ディーゼルの生産に使用されるほか、豚や家禽用飼料のエネルギー源としても使用されている。CDO の ME 価は、高濃度の多価不飽和脂肪酸 (PUFA)、特にリノール酸に由来しており、未精製の脱ガム大豆油に匹敵する。CDO では PUFA 含量が高いため、加工時の加熱や酸素および遷移金属 (Cu および Fe) に暴露されると、酸化が非常に進む。酸化された脂質を飼料原料として用いると、豚やブロイラーの健康状態や発育に悪影響を及ぼす可能性があるため、輸送および保管中の酸化を防ぐために酸化防止剤の添加が必要になる場合がある (Hung ら、2017)。さらに、トウモロコシ・大豆粕主体の育成-肥育豚用飼料に CDO を配合すると、豚肉の脂肪中 PUFA 含量が増加し、脂肪の硬さと保存性・安定性が低下する。

CDO の化学組成

精製されたトウモロコシ油と比較した場合の CDO の特筆すべき特徴の 1 つは、CDO では遊離脂肪酸 (FFA) 含量が高く (表 9)、FFA に 2%未満から最大 18%と幅があることである。様々な油脂原料を評価した以前の報告では、FFA 含量が増加すると豚や家禽における ME 価が低下されることが示されており、豚における DE 価と家禽における AMEn 価の予測式が開発されている (Wiseman ら、1998)。トウモロコシ油は、PUFA 含量が比較的高く、特に、オレイン酸 (9c-18:1; 総脂質の 28~30%) とリノール酸 (18:2n-6; 同 53~55%) が多いため、他の脂質源と区別される。植物油は動物性脂質に比べて PUFA 含量が高く、その結果として植物油の ME 価が高くなる (Kerr ら、2015)。そのため、CDO はすべての油

脂原料中で ME 価が高い原料の 1 つではあるが、過酸化の影響を受けやすくなっている (Kerr ら、2015; Shurson ら、2015; Hanson ら、2015)。過酸化脂質を豚やブロイラーに給与すると、発育速度、飼料摂取量および飼料効率が低下することが示されており (Hung ら、2017)、酸化が高度に進んだトウモロコシ油はほ乳期子豚におけるエネルギー利用率と抗酸化能を低下させる (Hanson ら、2016)。ただし、市販の抗酸化剤の添加は効果があり、CDO への抗酸化剤の添加により、高温多湿条件下で保存した場合の過酸化を最小限に抑制できる (Hanson ら、2015)。CDO の過酸化の程度 (過酸化物価、アニシジン価およびヘキサナール) は、精製トウモロコシ油より多少大きいものの、Hanson ら (2016) による発育成績が低下した豚の試験で用いられているトウモロコシ油の過酸化に比べてはるかに低い。

表 9. 精製トウモロコシ油と CDO の化学組成と過酸化度 (Kerr ら、2016 より引用)

測定項目	精製 トウモロコシ油	CDO (FFA ¹ 4.9%)	CDO (FFA 12.8%)	CDO (FFA 13.9%)
水分、%	0.02	1.40	2.19	1.19
不溶性不純物、%	0.78	0.40	1.08	0.97
不けん化物、%	0.73	0.11	0.67	0.09
粗脂肪、%	99.68	99.62	98.96	99.63
遊離脂肪酸、%	0.04	4.9	12.8	13.9
脂肪酸、全脂質中の%				
オレイン酸 (9c-18:1)	29.90	28.26	28.92	28.26
リノール酸 (18:2n-6)	54.57	53.11	54.91	53.11
リノレン酸 (18:3n-3)	0.97	1.32	1.23	1.32
ノナデカノン酸 (19:0)	ND ²	0.65	0.65	0.65
アラキドン酸 (20:0)	0.40	0.39	0.39	0.39
ゴンドウ酸 (20:1n-9)	0.25	0.24	0.24	0.24
ベヘン酸 (22:0)	0.13	0.13	0.12	0.13
リグノセリン酸 (24:0)	0.17	0.19	0.18	0.19
その他の脂肪酸	0.21	0.41	ND	0.41
酸化を示す指標				
過酸化物価、MEq/kg	1.9	2.9	3.3	2.0
アニシジン価 ³	17.6	80.9	70.3	73.3
ヘキサナール、 $\mu\text{g/g}$	2.3	4.4	3.9	4.9

¹ FFA = 遊離脂肪酸
² ND = 未検出
³ 単位なし

豚および家禽における CDO の ME 価

Kerr ら (2016) は、精製トウモロコシ油 (FFA : 0.04%A) および市販されている CDO 3 製品 (FFA : 4.9~13.9%) の豚における DE および ME 価とブロイラーにおける AMEn 価を測定している。表 10 に示すとおり、CDO の豚における ME 価は 8,036 から 8,828 kcal/kg の範囲にあり、FFA を 4.9%含む CDO の ME 価は精製トウモロコシ油と同等であった。精製トウモロコシ油 (8,741 kcal/kg)、FFA を 4.9%含む CDO (8,691 kcal/kg) および FFA を 13.9%含む CDO (8,397 kcal/kg) の ME 価は、NRC (2012) におけるトウモロコシ油の ME

価 (8,570 kcal/kg) と同等であった。全供試品中で ME 価が最も低かった FFA を 12.8% 含む CDO を除き、CDO の FFA 含量は豚に DE 価および ME 価に影響を及ぼさなかった。ブロイラーにおける CDO の AMEn 価は、7,694 から 8,036 kcal/kg の範囲にあり (表 10)、精製 トウモロコシ油の AMEn 価 (8,072 kcal/kg) と差がなかったが、これらの値は NRC (1994) による精製 トウモロコシ油の AMEn 価 (9,639~10,811 kcal/kg) に比べて大幅に低かった。FFA 含量が様々な CDO を給与された子豚またはブロイラーにおける粗脂肪消化率には差がなかった。また、Kerr ら (2106) は、Wiseman (1998) の推定式を用いた場合に、精製 トウモロコシ油と FFA を 12.8% および 13.9% 含む CDO では豚における DE 価は過大評価されたが、FFA 含量が 4.9% の CDO では推定値とほぼ同様の値を示したとしており、新たな DE および AMEn 価の予測式の開発が必要であることが示唆される。これは、豚とブロイラーの両者において固有の結果であるが、FFA を最大 14% 含む CDO が、豚およびブロイラー用飼料のエネルギー源として機能することを示している。

表 10. 遊離脂肪酸 (FFA) 含量が異なる精製 トウモロコシ油および CDO の豚およびブロイラーを用いた *in vivo* 試験から得られた DE および ME 価 (Kerr ら、2016 より引用)

測定項目	精製 トウモロコシ油	CDO (FFA ¹ 4.9%)	CDO (FFA 12.8%)	CDO (FFA 13.9%)
総エネルギー (GE)、kcal/kg	9,423	9,395	9,263	9,374
可消化エネルギー (DE)、豚 kcal/kg	8,814 ^a	8,828 ^a	8,036 ^b	8,465 ^{ab}
代謝エネルギー (ME)、豚 kcal/kg	8,741 ^a	8,691 ^a	7,976 ^b	8,397 ^{ab}
粗脂肪消化率、豚 %	93.2	94.0	91.7	95.0
窒素補正した見かけの代謝エネルギー (AMEn)、家禽 kcal/kg	8,072	7,936	8,036	7,694
粗脂肪消化率、家禽 %	91.6	89.8	89.0	88.4
不飽和脂肪酸：飽和脂肪酸	6.13	5.00	5.61	5.00

^{ab} 異付号間で有意差あり (p<0.05)

¹ FFA = 遊離脂肪酸。

結論

現在、CBS は限られたエタノール工場において未乾燥の製品が生産されており、歴史的にはトウモロコシ併産物、高水分トウモロコシおよび乾式圧ペントウモロコシに代わるエネルギー源として肉牛肥育用飼料としてのみ使用されてきたが、輸送コストをより低減した製品の利用が可能となった場合には、乳牛を含むより多様な反芻家畜用の飼料原料として使用する機会が増える可能性がある。一方で、CBS の乾燥製品では、ME 価および可消化アミノ酸含量は比較的低位のため、大量に生産されて利用が可能となった場合でも、豚や家禽用の飼料原料としての用途は限定的である。脱油 DDGS は NovaMeal の製品名で小量が販売されている。脱油 DDGS は、泌乳中の乳牛に対して大豆主体の飼料を給与する場合に比べて、DMI の最大 20% まで給与できる。文献によると脱油 DDGS をほ乳期子豚用飼料に配合して許容できる範囲の発育成績を得られることが示されているが、育成-肥育

期の豚用飼料に使用して発育成績を最適化するためにはエネルギーと可消化アミノ酸の補給が必要となる。CDO は、豚や家禽用飼料における優れたエネルギー源である。CDO の FFA 含量は 14% と高いものの、そのことは豚の ME 価には影響しないようにみられるが、ブロイラーの場合には著しく高い FFA 含量は AMEn 価を低下させるようにみられる。しかし、米国では再生可能なディーゼルオイルの生産用としての油脂への需要が非常に大きいため、将来的には、輸出市場での CDO の入手が制限される可能性がある。

引用文献

- AAFCO. 2020. Association of American Feed Control Officials - Official Publication. Champaign, IL.
- Anderson, P.V., B.J. Kerr, T.E. Weber, C.J. Ziemer, and G.C. Shurson. 2012. Determination and prediction of digestible and metabolizable energy from chemical analysis of corn coproducts fed to finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 90:1242-1254.
- Garland, S.A., M.L. Jolly-Breithaupt, H.C. Hamilton, G.E. Erickson, J.C. MacDonald, and R.A. Mass. 2019a. Evaluation of the energy value and nutrient digestibility of distillers grains that have undergone a fiber separation process in finishing diets. *Nebraska Beef Cattle Reports*, 1019, p. 94-96. <https://digitalcommons.unl.edu/animalscinbcr/1019>
- Garland, S.A., B.M. Boyd, F.H. Hilscher, G.E. Erickson, J.C. MacDonald, and R.A. Mass. 2019b. Evaluation of corn bran plus solubles on performance and carcass characteristics in finishing diets. *Nebraska Beef Cattle Reports*, 1020, p. 91-93. <https://digitalcommons.unl.edu/animalscinbcr/1020>
- Garland, S.A., B.M. Boyd, F.H. Hilscher, G.E. Erickson, J.C. MacDonald, and R.A. Mass. 2019c. Evaluation of fractionated distillers grains (high protein and bran plus solubles) on performance and carcass characteristics in finishing diets. *Nebraska Beef Cattle Reports*, 1021, p. 88-90. <https://digitalcommons.unl.edu/animalscinbcr/1021>
- Hanson, A.R., P.E. Urriola, L. Wang, L.J. Johnston, C. Chen, and G.C. Shurson. 2016. Dietary peroxidized maize oil affects the growth performance and antioxidant status of nursery pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 216:251-261.
- Hanson, A.R., P.E. Urriola, L.J. Johnston, and G.C. Shurson. 2015. Impact of synthetic antioxidants on lipid peroxidation of distiller's dried grains with solubles and distiller's corn oil under high temperature and humidity

- conditions. *J. Anim. Sci.* 93:4070–4078.
- Hung, Y. T., A. R. Hanson, G. C. Shurson, and P. E. Urriola. 2017. Peroxidized lipids reduce growth performance of poultry and swine: A meta-analysis. *Anim. Feed Sci. Technol.* 231:47–58.
- Jacela, J. Y., J. M. DeRouchey, S. S. Dritz, M. D. Tokach, R. D. Goodband, J. L. Nelssen, R. C. Sulabo, R. C. Thaler, L. Brandts, D. E. Little, and K. J. Prusa. 2011. Amino acid digestibility and energy content of deoiled (solvent extracted) corn distillers dried grains with solubles for swine and effects on growth performance and carcass characteristics. *J. Anim. Sci.* 89:1817–1829. doi:10.2527/jas.2010-3097
- Jacela, J. Y., H. L. Frobose, J. M. DeRouchey, M. D. Tokach, S. S. Dritz, R. D. Goodband, and J. L. Nelssen. 2010. Amino acid digestibility and energy concentration of high-protein corn dried distillers grains and high-protein sorghum dried distillers grains with solubles for swine. *J. Anim. Sci.* 88:3617–3623.
- Kerr, B. J., W. A. Dozier III, and G. C. Shurson. 2016. Lipid digestibility and energy content of distillers' corn oil in swine and poultry. *J. Anim. Sci.* 94:2900–2908.
- Kerr, B. J., T. A. Kellner, and G. C. Shurson. 2015. Characteristics of lipids and their feeding value in swine diets. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 6:30.
- Mjoun, K., K. F. Kalscheur, A. R. Hippen, D. J. Schingoethe, and D. E. Little. 2010a. Lactation performance and amino acid utilization of cows fed increasing amounts of reduced-fat dried distillers grains with solubles. *J. Dairy Sci.* 93:288–303. doi:10.3168/jds.2009-2377
- Mjoun, K., K. F. Kalscheur, A. R. Hippen, and D. J. Schingoethe. 2010b. Performance and amino acid utilization of early lactation dairy cows fed regular or reduced-fat dried distillers grains with solubles. *J. Dairy Sci.* 93:3176–3191. doi:10.3168/jds.2009-2974
- Mjoun, K., K. F. Kalscheur, A. R. Hippen, and D. J. Schingoethe. 2010c. Ruminal degradability and intestinal digestibility of protein and amino acids in soybean and corn distillers grains products. *J. Dairy Sci.* 93:4144–4154. doi:10.3168/jds.2009-2883
- Mjoun, K., K. F. Kalscheur, A. R. Hippen, and D. J. Schingoethe. 2009. In situ ruminal degradability and intestinal digestibility of protein in soybean and

- dried distillers grains with solubles products. *J. Anim. Sci.* 87 (E-Suppl. 2) : 84.
- Noblet, J., H. Fortune, X.S. Shi, and S. Dubois. 1994. Prediction of net energy value of feeds for growing pigs. *J. Anim. Sci.* 86:2180–2189.
- Noblet, J., and J.M. Perez. 1993. Prediction of digestibility of nutrients and energy values of pig diets from chemical analysis. *J. Anim. Sci.* 71:3389–3398.
- NRC. 2012. *Nutrient Requirements of Swine*, 11th rev. Natl. Acad. Press, Washington, D.C.
- Paula, V.R.C., N.C. Milani, C.P.F. Azevedo, A.A., Sedano, L.J. Souza, B.P. Mike, G.C. Shurson, and U.S. Ruiz. 2021. Comparison of digestible and metabolizable energy and digestible phosphorus and amino acid content of corn ethanol coproducts from Brazil and the United States produced using fiber separation technology for swine. *J. Anim. Sci.* 99:1–13. doi:10.1093/jas/skab126
- Rochell, S.J., B.J. Kerr, and W.A. Dozier, III. 2011. Energy determination of corn co-products fed to broiler chicks from 15 to 24 days of age, and use of composition analysis to predict nitrogen-corrected apparent metabolizable energy. *Poult. Sci.* 90:1999–2007. doi:10.3382/ps.2011-01468
- Shurson, G.C, B.J. Kerr, and A.R. Hanson. 2015. Evaluating the quality of feed fats and oils and their effects on pig growth performance. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 6:10.
- Wiseman, J., J. Powles, and F. Salvador. 1998. Comparison between pigs and poultry in the prediction of dietary energy value of fats. *Anim. Feed Sci. Technol.* 71:1–9.
- Yang, Z., A. Palowski, J.-C. Jang, P.E. Urriola, and G.C. Shurson. 2021. Determination, comparison, and prediction of digestible energy, metabolizable energy, and standardized ileal digestibility of amino acids in novel maize co-products and conventional dried distillers grains with solubles for swine. *Anim. Feed Sci. Technol.* 282:115149. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.115149>