

第6章

高たん白 DDG (HP-DDG) の飼料原料としての栄養特性と飼料価値

初めに

従来の DDGS の他にも、ソリュブルを含まない、粗たん白質 (CP) 含量が高い HP-DDG を飼料原料として用いた場合の発育成績に関する数多くの試験が行われている。HP-DDG は様々な技術を使用した製品が生産され続けており、製品によって栄養特性が大幅に異なるため、現在米国のエタノール業界で流通している様々なトウモロコシ併産物の中で最も誤解を受けやすい製品群でもある。HP-DDG という名称は、2006～2007 年頃に CP 含量が 27～30%である従来の DDGS と、CP 含量が 36～48%の新しいトウモロコシ併産物を区別するために最初に用いられた。これらの新しいトウモロコシ併産物は、トウモロコシから繊維と粗脂肪の一部を除去することによりたん白質画分を濃縮する様々なプロセスを用いて生産されている。HP-DDG は従来の DDGS とは明らかに異なるトウモロコシ併産物であり、CP 含量がさらに高い (50%以上) トウモロコシ発酵たん白質 (CFP) としばしば混同されている。CFP の中には CP 含量が一部の HP-DDG と同等の製品もあるが、CFP に含まれている使用済みの酵母の量は 20～27%であるのに対して、HP-DDG では 0～18%である。残念ながら、トウモロコシ併産物の生産者、マーケティング担当者および研究者は、公表文献、ウェブサイト、プレゼンテーション、製品パンフレットおよび製品仕様書等で、これらの併産物に関する情報を発信する際に、適切な用語の注意深い説明や使用を行っていない。このため、飼料の配合設計時に様々な文献からのデータを使用する際には、現在の HP-DDG の栄養特性は過去 15 年間の飼養試験で評価された様々な HP-DDG とは大きく異なることを把握しておくことが求められており、供給者から当該製品に関する正確な情報を入手する必要がある。

HP-DDG の生産に使用されるプロセスに関する技術は 2005 年以降劇的に進化しているが、表 1 に示すように、現在ではほとんど使用されていない古いフロントエンド分別工程を用いて生産された HP-DDG を評価した公表文献が多く存在する。現在、米国内のエタノール工場のいくつかで生産されている HP-DDG はすべて ICM 社の Fiber Separation Technology™ (FST™) というプロセスが用いられており、表 1 に示す文献は様々な動物種に対する HP-DDG の相対的な飼料価値について一般的な指標とはなるものの、現在生産されている HP-DDG の栄養組成、消化率および飼料用途を正確に表すものではない。これを強調するために、表 2 に最近公表された文献中の豚における HP-DDG の栄養特性と消化率を示したが、NRC (2012) に収載されている古いフロントエンド分別工程による HP-DDG は、現在の HP-DDG に比べて CP 含量が高く、粗脂肪 (エーテル抽出物) およびリン (P) 含量が低いことに注意が必要である。

例えば、表 2 に示した NRC (2012) による豚における HP-DDG の栄養特性は、表 1 に示した多くの文献で評価された HP-DDG のデータを用いたものであり、新たなプロセスを用いて生産されている HP-DDG を評価した最近のデータに比べて CP 含量が比較的高く (45%)、粗脂肪含量は比較的低い (3.5%)。ただし、栄養成分含量、エネルギー価およびアミノ酸と P 消化率には大きなばらつきがあるため、製品の供給源を把握し、使用する製品固有の栄養特性を用いた精密な配合設計を行うことが必須である。

表 1. 現在は使用されていない古い工程により生産された HP-DDG 製品を評価した公表文献

動物種	文献
豚	Widmer ら (2007、2008)
	Gutierrez ら (2009a、b)
	Kim ら (2009)
	Jacela ら (2010)
	Seabolt ら (2010)
	Anderson ら (2012)
	Adeola and Ragland (2012)
	Adeola and Ragland (2016)
	Peterson ら (2014)
	Rojo ら (2016)
家禽	Kim ら (2008、2010)
	Applegate ら (2009)
	Jung and Batal (2009、2010)
	Rocheil ら (2011)
	Tangenjaja and Wina (2011)
養殖水産動物	Kim ら (2008、2010)
	Barnes ら (2012a、b)
	Øverland ら (2013)
	Prachom ら (2013)
	Herath ら (2016a、b)
乳牛	Mjoun ら (2009)
	Christen ら (2010)
	Maxin ら (2013a、b)
	Swanepoel ら (2014)

現在の HP-DDG の栄養成分と消化率

豚

HP-DDG のエネルギーとアミノ酸の消化率の測定のほとんどは豚を用いて行われている (表 2)。HP-DDG の生産には様々なプロセスが用いられているため、CP 含量は 34~43%、リジン (Lys) 含量は 1.0~1.4%、Lys の標準化された回腸消化率 (SID) は 47~76%、総エネルギー (GE) 含量は 4,813~5,296 kcal/kg、可消化エネルギー (DE) 価は 3,352~4,424 kcal/kg と製品間で大きく異なる場合がある。驚くべきことに、DE 価およびアミノ酸含量に比べ、P 含量 (0.40~0.50%) には製品間で大きな差はないが、P の標準化された全消化管消化率 (STTD) の推定値には 48~68% の幅がある (表 2)。アミノ酸の SID 値

も製品間で大きく異なり、一般的に 60~89%の範囲にある。ただし、Lys の SID 値は例外的に 47~66%の幅である。これらの結果は、HP-DDG 各製品の製造業者が、様々な動物種におけるエネルギー効率、可消化アミノ酸および可消化 P 含量を測定し、この情報をユーザーに提供することで、実際の配合設計時における経済的および栄養的価値を最適にする必要があることを示している。

表 2. 最近の公表文献から得られた豚用の HP-DDG 製品の成分組成 (原物値)、エネルギー、アミノ酸および P 消化率の比較

分析値	NRC (2012) ¹	Rho ら (2017) ²	Rho ら (2017) ²	Paula ら (2021) ³	Paula ら (2021) ⁴	Espinosa and Stein (2018) ⁵	Lee and Stein (2021) ⁶
乾物 (DM)、%	91.20	91.9	91.3	89.62	92.30	86.50	87.45
粗たん白質 (CP)、%	45.35	38.9 (61) ⁷	39.4 (73)	34.83 (62)	42.93 (67)	37.11 (77)	39.05 (76)
粗脂肪、%	3.54	9.27	8.63	7.80	10.30	*	8.50 **
酸分解エーテル抽出物、%	*	*	*	*	*	7.59	8.46
中性デタージェント繊維 (NDF)、%	33.63	29.4	28.4	47.48	37.40	31.87	*
酸性デタージェント繊維 (ADF)、%	20.63	14.6	14.8	19.81	17.53	14.68	*
総食物繊維 (TDF)、%	*	*	*	*	*	34.20	37.6
水溶性食物繊維、%	*	*	*	*	*	2.40	2.2
不溶性食物繊維、%	*	*	*	*	*	31.80	35.4
総エネルギー (GE)、kcal/kg	5,173	4,986	4,935	4,915	5,296	4,825	4,813
可消化エネルギー (DE)、kcal/kg	4,040	4,130	4,157	3,352	4,060	4,424	3,688
代謝エネルギー (ME)、kcal/kg	3,732	*	*	3,116	3,757	4,275	3,496
粗灰分、%	2.39	2.40	2.34	3.39	2.81	2.41	1.80
カルシウム (Ca)、%	0.02	0.05	0.06	0.02	0.02	*	<0.10 **
リン (P)、%	0.36	0.50	0.47	0.46	0.48	*	0.40 **
P の STTD 値、%	73	*	*	68	48	*	*
マグネシウム (Mg)、%	0.09	*	*	0.18	0.01	*	*
ナトリウム (Na)、%	0.06	*	*	0.47	0.09	*	*
カリウム (K)、%	0.37	*	*	0.63	0.41	*	*
銅 (Cu)、mg/kg	2.03	*	*	7.9	7.10	*	*
鉄 (Fe)、mg/kg	65.30	*	*	52.1	112.5	*	*
マンガン (Mn)、mg/kg	7.00	*	*	9.00	9.97	*	*
亜鉛 (Zn)、mg/kg	27.30	*	*	56.40	75.55	*	*
必須アミノ酸、%							
アルギニン (Arg)	1.62 (85)	1.64 (72)	1.66 (79)	1.50 (76)	2.06 (83)	1.63 (87)	1.59 (84)
ヒスチジン (His)	1.07 (79)	1.01 (66)	1.04 (72)	0.89 (66)	1.26 (76)	0.97 (82)	1.00 (75)
イソロイシン (Ile)	1.83 (80)	1.48 (68)	1.50 (75)	1.46 (68)	1.79 (76)	1.59 (82)	1.53 (75)
ロイシン (Leu)	6.18 (86)	4.78 (81)	5.01 (84)	4.38 (72)	5.30 (81)	4.39 (89)	4.92 (86)
リジン (Lys)	1.22 (69)	1.19 (47)	1.20 (56)	1.00 (53)	1.37 (66)	1.43 (76)	1.34 (62)
メチオニン (Met)	0.93 (86)	0.79 (79)	0.82 (83)	0.54 (75)	0.95 (82)	0.70 (87)	0.84 (83)
フェニルアラニン (Phe)	2.42 (84)	2.01 (77)	2.07 (80)	1.86 (72)	2.16 (78)	2.03 (86)	2.00 (80)
トレオニン (Thr)	1.59 (75)	1.45 (60)	1.46 (67)	1.32 (67)	1.66 (76)	1.39 (75)	1.52 (72)
トリプトファン (Trp)	0.24 (82)	-	-	0.22 (71)	0.23 (73)	0.30 (80)	0.42 (81)
バリン (Val)	2.12 (78)	1.92 (69)	1.95 (75)	1.82 (69)	2.37 (76)	2.07 (81)	1.89 (73)
非必須アミノ酸、%							
アラニン (Ala)	3.32 (82)	2.78	2.87	2.65 (72)	3.28 (82)	2.58 (85)	2.83 (80)

アスパラギン酸 (Asp)	2.75 (74)	2.62	2.60	2.72 (64)	3.29 (73)	2.44 (73)	2.64 (73)
シスチン (Cys)	0.82 (78)	0.73	0.78	0.80 (72)	1.09 (82)	0.69 (75)	0.80 (70)
グルタミン酸 (Glu)	7.52 (83)	6.69	6.92	6.21 (70)	7.98 (81)	5.61 (88)	6.83 (82)
グリシン (Gly)	1.39 (70)	1.44	1.43	1.40 (73)	1.77 (93)	1.45 (71)	1.38 (65)
プロリン (Pro)	3.65 (79)	3.29	3.40	3.08 (43)	3.99 (55)	–	3.26 (92)
セリン (Ser)	1.96 (82)	1.89	1.93	1.74 (64)	2.18 (79)	1.46 (82)	1.94 (82)
チロシン (Tyr)	1.92 (85)	–	–	1.45 (70)	1.91 (79)	1.46 (87)	1.59 (86)
総アミノ酸	–	–	–	34.76 (65)	44.39 (68)	35.11 (83)	38.45 (80)
Lys: CP	2.69	3.06	3.05	2.87	3.19	3.85	3.43

1 NRC・豚 (2012) のデータ。

2 ICM 社 (Colwich, KS) によって開発された Fiber Separation Technology™ (FST™) により生産された HP-DDG 2 試料についての Rho ら (2017) のデータ

3 ICM 社 (Colwich KS) によって開発された FST™ により Corn Plus Co-op (ウィネベゴ、ミネソタ州、米国) が生産した HP-DDG についての Paula ら (2021) のデータ

4 ICM 社 (Colwich KS) によって開発された FST™ により FS Bioenergia 社 (Lucas do Rio Verde, MT, ブラジル) が生産した HP-DDG についての Paula ら (2021) のデータ

5 発酵前の溶解度に基づく繊維の機械的分離、発酵後の油脂分離および低温圧縮乾燥を使用して Lincolnway Energy 社 (アイオワ州ネバダ州) が生産した HP-DDG についての Espinosa and Stein (2018) のデータ

6 ICM 社 (Colwich, KS) によって開発された FST™ により生産された HP-DDG (ANDVantage™ 40Y) についての Lee and Stein (2021) の未公表データ、The Andersons 社 (モーミー、オハイオ州) の許可を得て掲載

7 () 内の値は、対応するアミノ酸の SID 値

* データなし

** 供給業者の成分表示値

表 3 に示すように、HP-DDG のでん粉含量は比較的 low (2.3%)、NDF (41.3%) 含量と TFD (39.7%) 含量は従来の DDGS と同様に高い。DDGS や HP-DDG の繊維含量は比較的高いため、炭水化物分解酵素やプロテアーゼの添加が検討されている (Jang ら、2021) が、HP-DDG でもこれらと同様の膨潤性や水結合能力などの生化学的な反応が得られる可能性がある (表 3)。Boucher ら (2021) は、DDGS および HP-DDG を配合した豚用飼料に複合炭水化物分解酵素製剤 (キシラナーゼ、グルカナーゼ、セルラーゼ、アミラーゼ、インベルターゼおよびプロテアーゼ) を添加した場合の DE 価および ME 価の改善効果について報告している。供試した HP-DDG は、機械的な分離技術 (ICM 社、コルウィッチ、カンザス州、米国) を用いたもので、発酵前に非発酵性繊維の大きな粒子を除去し、単位時間当たりの処理量とエタノール生産量を高めている。ただし、この文献中の HP-DDG の栄養組成は ICM 社の FST™ を用いて生産された典型的な HP-DDG のデータを反映していないことから、名称の誤用や、供試したトウモロコシ併産物の生産プロセスに関する誤解があった可能性がある。それにもかかわらず、この文献による結果は、供試した HP-DDG は DDGS と比べてでん粉含量が約 50% 低く、CP 含量が 20% 高く、水結合能力が 14% 大きく、DE 価が高くなっている (それぞれ 3,896 および 4,405 kcal/kg、DM)。豚における ME 価はそれぞれ 3,494 および 3,872 kcal/kg (DM) であったが、複合炭水化物分解酵素製剤の添加による DE 価および ME 価の改善効果は DDGS および HP-DDG を配合した飼料のいずれでも認められなかった。

表3. トウモロコシおよび併産物の化学的および物理化学的特性 (Boucher ら、2021より引用)

特性	トウモロコシ	DDGS	HP-DDG	Dried Corn Bran + Solubles
化学的組成				
乾物 (DM)、%	86.1	89.3	88.9	94.9
総エネルギー (GE)、kcal/kg	3,769	4,600	4,950	4,629
粗たん白質 (CP)、%	6.5	27.1	32.5	19.4
粗脂肪、%	2.7	7.6	9.6	6.8
デンプン、%	67.1	4.5	2.3	7.4
総食物繊維 (TDF)、%	11.2	36.7	39.7	37.0
中性デタージェント繊維 (NDF)、%	12.3	30.5	41.3	33.5
酸性デタージェント繊維 (ADF)、%	3.2	7.1	15.1	7.6
理化学的性状				
嵩比重、g/L	522	507	478	386
膨潤度、L/kg	2.4	3.5	3.6	4.4
水結合能力、g/g	2.1	2.9	3.3	2.9

家禽

Fries-Craft & Bobeck (2019) は、HP-DDG のブロイラーにおけるアミノ酸の SID と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 (表4)。HP-DDG の CP 含量 (34.1%)、AMEn 価 (2,725 kcal/kg) およびアミノ酸含量は従来の DDGS より高く、アミノ酸の SID 値も Lys、Thr および Cys の 81% から Arg および Leu の 90% と高かった。ANDVantage™ 40Y に関する未公表データ (The Andersons 社の許可を得て掲載) は、Fries-Craft らの報告に比べて CP およびアミノ酸含量が高いが、アミノ酸の消化率は同等であった (表4)。ANDVantage™ 40Y の窒素補正した真の代謝エネルギー (TMEn) 価も、従来の DDGS よりも大幅に高い。

表4. HP-DDG の栄養成分とブロイラーにおける AMEn および TMEn 価ならびにアミノ酸の SID 値 (原物値) (Fries-Craft and Bobeck, 2019 から引用)

分析値	DDGS ¹	HP-DDG ¹	ANDVantage™40Y ²
乾物 (DM)、%	89.80	83.10	90.0
粗たん白質 (CP)、%	27.10	34.10	40.4
粗脂肪、%	9.63	7.91	8.50
粗繊維、%	7.85	8.35	8.80
窒素補正した見かけの代謝エネルギー (AMEn)、kcal/kg	2,629	2,725	NR4
窒素補正した真の代謝エネルギー (TMEn)、kcal/kg	2,509	NR	3,286
アルギニン (Arg)	1.10	1.49 (90) ³	1.69 (93) ³
ヒスチジン (His)	0.62	0.88 (86)	1.15 (88)
イソロイシン (Ile)	1.15	1.26 (84)	1.65 (87)
ロイシン (Leu)	2.40	4.32 (90)	4.93 (94)
リジン (Lys)	0.70	1.16 (81)	1.35 (81)
メチオニン (Met)	0.50	0.74 (89)	0.80 (91)
フェニルアラニン (Phe)	1.35	1.57 (88)	2.11 (91)
トレオニン (Thr)	0.93	1.31 (81)	1.56 (85)
トリプトファン (Trp)	0.20	0.30 (82)	0.30 (88)
バリン (Val)	1.40	1.60 (86)	1.97 (87)
アラニン (Ala)	NR	NR (86)	NR

アスパラギン酸 (Asp)	NR	NR (82)	NR
シスチン (Cys)	0.45	0.58 (81)	NR
グルタミン酸 (Glu)	NR	NR (90)	NR
グリシン (Gly)	0.60	1.25 (NR)	NR
プロリン (Pro)	NR	NR (82)	NR
セリン (Ser)	1.30	1.60 (87)	NR
チロシン (Tyr)	0.80	1.34 (84)	NR
Lys: CP	2.58	3.40	3.34

1 Fries-Craft and Bobeck (2019) による公表データ

2 The Andersons, Maumee (アハイオ) の許可を得て掲載した未公表データ

3 () 内の数値は各アミノ酸の SID 値

4 NR = データなし

養殖水産動物

最近、HP-DDG (ANDVantage™ 40Y)、大豆粕および家禽処理副産物における栄養上の違いと、アメリカナマズ用飼料中の大豆粕または家禽処理副産物を HP-DDG で部分的に置き換えた場合の効果に関するデータが公表されている (Nazeer ら、2022)。これら 3 種類の飼料原料の栄養特性を比較して表 5 に示した。家禽処理副産物は、HP-DDG より CP 含量が高く、Leu を除く必須アミノ酸含量も高い。同様に、大豆粕は Leu および Met を除くアミノ酸含量が HP-DDG より高い。このため、養殖水産動物用飼料において HP-DDG を大豆粕および家禽処理副産物と部分的に置き換える場合、最適な発育成績およびフィレ肉の組成を得るためには、合成 Lys、Met、Thr および Trp の補給が必要になる可能性がある。

分析値、%	家禽処理副産物	大豆粕	ANDVantage™40Y ²
乾物 (DM)	91.05	88.52	90.86
粗たん白質 (CP)	64.59	46.66	42.25
粗脂肪	12.29	0.48	8.48
粗繊維	-	3.59	7.05
粗灰分	9.88	6.47	2.13
必須アミノ酸			
アルギニン (Arg)	4.32	3.49	1.84
ヒスチジン (His)	1.41	1.24	1.18
イソロイシン (Ile)	2.64	2.27	1.88
ロイシン (Leu)	4.55	3.64	5.48
リジン (Lys)	4.11	3.02	1.30
メチオニン (Met)	1.22	0.61	0.86
フェニルアラニン (Phe)	2.57	2.38	2.34
トレオニン (Thr)	2.55	1.83	1.58
トリプトファン (Trp)	0.60	0.64	0.34
バリン (Val)	3.21	2.31	2.30
非必須アミノ酸			
アラニン (Ala)	4.05	2.04	3.19
アスパラギン酸 (Asp)	5.29	5.31	2.86
シスチン (Cys)	0.77	0.69	0.83
グルタミン酸 (Glu)	8.58	9.00	7.17
グリシン (Gly)	5.54	2.00	1.56

ヒドロキシリシン	0.23	0.02	0.00
ヒドロキシアウロリン	1.55	0.11	0.07
プロリン (Pro)	3.59	2.21	3.44
セリン (Ser)	2.53	2.26	1.82
タウリン	0.47	0.12	0.10
チロシン (Tyr)	2.15	1.73	1.79

豚に対する HP-DDG 給与試験の概要

Yang ら (2019) は、Lincolnway Energy 社 (ネバダ、アイオワ州) が生産した HP-DDG (37.6%) について、離乳子豚において試験的に推定した ME 価およびアミノ酸の SID 値の使用の可否に関する評価している。離乳後の 1 週間は共通のフェーズ 1 用飼料を給与した後、フェーズ 2 (離乳後 7~21 日) およびフェーズ 3 (離乳後 21~42 日) では、HP-DDG を 0、10、20 および 30% 配合した飼料を給与した。各飼料は、ME 価、可消化 Lys、Met、Thr および Trp 含量ならびに可消化 P 含量が等量となるように調製した。HP-DDG の配合量の増加に伴い、SID-Leu:SID-Lys 比は、フェーズ 2 用飼料では 119% から 173% に、フェーズ 3 用飼料では 120% から 160% に高まった。SID-Ile:SID-Lys 比はフェーズ 2 用飼料では 60~69%、フェーズ 3 用飼料では 54~59%、SID-Val:SID-Lys 比はフェーズ 2 用飼料では 63~79%、フェーズ 3 用飼料では 64~68% であった。HP-DDG の配合量の増加に伴い、フェーズ 2 および 3 における平均日増体量 (ADG)、平均摂取日量 (ADFI) および飼料効率は直線的に低下した。この試験では子豚に対して連鎖球菌と大腸菌を暴露したが、罹患率は各飼料間で差がないものの、HP-DDG を配合した場合の斃死率は HP-DDG を配合していない対照飼料に対して低下する傾向を示した。これらの結果から、HP-DDG の配合割合の増加に伴う発育成績の直線的な低下は、おそらく SID アミノ酸含量の過大評価と、可消化 Val および Ile に対する可消化 Leu の過剰による拮抗作用によるもので、食物繊維摂取量の増加による Thr 必要量が増加した可能性も考えられる。

同様に、Gemin ら (2019b) は、ICM 社のプロセスを用いて生産された HP-DDG の配合量を増加させた場合の (0、10、20、30 または 40%) エネルギー生産量を推定している。HP-DDG の正味エネルギー (NE) 価は、3 つの異なる DE 予測式を用いて推定した。エネルギー効率は、ADFI に飼料 1 kg あたりの推定 NE 価 (kcal) を乗じ、ADG で除して算出した。21 日間の試験期間において HP-DDG の配合量を増加させると、ADG、ADFI および最終体重が直線的に低下した。飼料効率は二次回帰的な傾向を示し、HP-DDG を 40% 配合した飼料で最も優れていた。この結果、HP-DDG のエネルギー効率は、配合量の増加とともに直線的に減少し、DE 価予測式を適用させると HP-DDG の NE 価を過小評価し、エネルギー効率の計算に基づいて推定した HP-DDG の NE 価は、NRC (2012) によるトウモロコシの NE 価の約 97% であると推定している。

4 段階のフェーズにより、HP-DDG を 30% 配合した場合の発育成績、枝肉成績および体

脂肪の品質に及ぼす影響について2つの試験が行われている (Yang ら、2020)。試験1では、比較的low濃度のデオキシニバレノール (DON、1.7 mg/kg)、フモニシン (FUM、0.60 mg/kg) およびゼアラレノン (ZEA、0.2 mg/kg) を含む IGPC Ethanol 社 (Alymer、Ontario、カナダ) が生産した HP-DDG を供試し、試験2では比較的low濃度の DON (1.0 mg/kg)、FUM (3.80 mg/kg) および ZEA (0.06 mg/kg) を含む ICM 社 (St. Joseph、ミズーリ州) が生産した HP-DDG を供試した。アメリカ食品医薬品局 (FDA) による「安全な」最大濃度に関するガイドラインでは DON 濃度を 1 mg/kg 以下、FUM 濃度を 5 mg/kg および ZEA 濃度を 1 mg/kg 以下としているが、これらの HP-DDG を 30% 配合しても発育成績に悪影響を及ぼさないと予想された。試験1の結果、low濃度の DON、FUM および ZEA を含む HP-DDG を 30% 配合した飼料を 16 週間給与した場合、最初の 8 週間で、トウモロコシ・大豆粕主体の対照飼料に比べて ADG および ADFI が減少した。増体と飼料摂取量の減少が HP-DDG を配合した飼料中の過剰な Leu に由来するか、あるいは、low濃度のカビ毒に由来するかを判断するために、後半の 8 週間では、半数の供試豚に対して、市販のカビ毒低減製品を対照飼料および HP-DDG 30% 配合飼料の両者に添加し、無添加飼料とともに給与試験を続行した。その結果、カビ毒低減製品を添加することで、HP-DDG 30% 配合飼料における発育成績は対照飼料と同等まで回復した。これらのことは、試験期間の前半 8 週間における発育成績の低下は、low濃度の DON、FUM および ZEA による相加的な悪影響であって、Leu 過剰による影響でないことを示している。

試験2では、カビ毒低減製品を試験開始時から添加して実施した。その結果、HP-DDG を 30% 配合した飼料では、全期間 (16 週間) の ADG、最終体重、ADFI および飼料効率が低下した (表6)。さらに、HP-DDG を 30% 配合した飼料では、対照飼料に比べて温屠体重量、枝肉歩留、ロース芯面積、赤味肉除脂肪体重も減少したが、背脂肪厚には影響はなかった (表6)。また、HP-DDG 配合飼料を給与した場合の体脂肪の多価不飽和脂肪酸含量とヨウ素価は対照飼料を給与した場合より高く、HP-DDG を給与した場合には軟脂となることが示された。これらの結果は、1) カビ毒で汚染された HP-DDG を含む飼料中のlow濃度のカビ毒は発育成績を低下させる可能性があるが、カビ毒低減製品の使用によりこれらの悪影響を軽減できること、2) HP-DDG を 30% 配合すると、飼料中の Leu 過剰により Ile および Val の利用を妨げ、飼料摂取量、発育、飼料効率、枝肉特性に悪影響を及ぼし、かつ、3) HP-DDG に含まれるトウモロコシ油のhigh濃度の不飽和脂肪酸により、30% 配合した場合に軟脂をもたらすことを示している。

表6. カビ毒低減製品を添加した HP-DDG 30% 配合飼料を給与した場合の肥育豚の発育成績および枝肉形質 (Yang ら、2020 より引用)

測定値	対照	30% HP-DDG + マイコトキシン軽減製品
開始時体重、kg	22.75	22.74

終了時体重、kg	133.37 a		126.58 b	
ADG、kg	1.01 a		0.95 b	
ADFI、kg	2.63 a		2.57 b	
飼料効率	0.41 a		0.39 b	
枝肉形質	雌	去勢	雌	去勢
温屠体重量、kg	98.34	98.16	96.07	95.86
枝肉歩留、%	75.55	75.33	74.04	73.78
背脂肪厚、mm	19.75	23.45	20.72	23.22
ロース芯面積 ^{1, 2, 3} 、cm	49.26	44.91	42.58	43.71
除脂肪赤肉 ^{1, 2, 3} 、%	52.40	49.38	50.10	49.04

^{ab} 異付号間に有意差あり (p<0.05)

¹ 飼料間に有意差あり (p<0.01)

² 性間に有意差あり (p<0.05)

³ 飼料×性の交互作用に有意差あり (p<0.01)

HP-DDG の配合量が高い飼料を用いた場合の影響に関する最新の報告が Rao ら (2021) により行われている。この報告では、育成～肥育期の豚に対して、従来の DDGS または HP-DDG (ICM 社) の配合水準 (0、15 および 30%) が異なる飼料を給与した場合の発育成績および枝肉形質を評価している。各飼料の可消化 Lys 含量および NE 価を同等とし、分岐鎖アミノ酸比は、DDGS および HP-DDG 配合飼料中の Leu 過剰に関する Cemin ら (2019) の推定式に基づいて調整した。エネルギー効率は推定 NE 摂取量を体重増加で除して算出した (Cemin ら、2020)。

その結果、従来の DDGS の配合量を増加させると最終体重が直線的に大幅に減少したが、HP-DDG の配合率を増加させた場合でも最終体重が減少する傾向を示した (表 7)。DDGS または HP-DDG を増加させた場合の最終体重の減少は、育成期において ADG が直線的に減少したことに起因していた。HP-DDG を配合した飼料では、DDGS を配合した飼料より ADFI と飼料効率が高まった。DDGS または HP-DDG の配合割合の増加に伴い、温屠体重量および枝肉歩留が直線的に減少した。体脂肪の不飽和脂肪酸と飽和脂肪酸の比率として示されるヨウ素価は、DDGS および HP-DDG の配合割合の増加と対応して直線的に高まった。これらの結果は、HP-DDG を DDGS と同水準で配合した場合の ADG は類似しているが、HP-DDG を用いた場合のほうが飼料効率は高いことを示している。HP-DDG を配合した飼料で体脂肪のヨウ素価が高まった原因は、従来の DDGS の粗脂肪含量 (8.03%) と比べて、HP-DDG の粗脂肪含量 (10.27%) が高かったためと考えられる。

表 7. 従来の DDGS と HP-DDG の配合割合を高めた飼料を給与した場合の育成-肥育豚の発育成績、エネルギー効率および枝肉形質 (Rao ら、2021 より引用)					
測定値	対照 (0%)	DDGS		HP-DDG	
		15%	30%	15%	30%
開始時体重、kg	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1
終了時体重、kg	130.0	127.3	127.8	129.0	128.0
育成期					
ADG、g	893	879	862	875	852
ADFI、g	1,870	1,840	1,828	1,825	1,721

飼料効率、g/kg	479	479	472	480	497
エネルギー効率、kcal/kg	5,395	5,317	5,322	5,420	5,300
肥育期					
ADG、g	855	833	864	860	870
ADF1、g	2,609	2,604	2,644	2,555	2,510
飼料効率、g/kg	328	321	327	336	347
エネルギー効率、kcal/kg	8,040	8,136	7,890	7,937	7,743
全期間					
ADG、g	876	857	865	870	863
ADF1、g	2,262	2,243	2,259	2,212	2,139
飼料効率、g/kg	388	382	384	394	404
エネルギー効率、kcal/kg	6,747	6,758	6,655	6,699	6,586
枝肉形質					
温屠体重量、kg	94.9	92.5	92.1	94.0	92.0
枝肉歩留、%	73.1	72.6	72.1	72.9	71.9
背脂肪厚、mm	15.9	15.5	15.9	15.8	15.6
ロース芯、mm	67.0	67.0	66.9	67.3	66.7
赤肉、%	57.2	57.5	57.2	57.3	57.4
ヨウ素価、g/100 g	64.8	69.0	73.7	72.9	80.0

ブロイラーに対する HP-DDG 給与試験の概要

Fries-Craft and Bobeck (2019) は、供給源が不明の HP-DDG (CP : 34%) を配合した飼料のブロイラーにおける AMEn 価、アミノ酸の SID 値および発育成績 (42 日間) を調査している。AMEn 価は 2,725 kcal/kg であり、必須アミノ酸の SID は 81% (Arg および Leu) から 90% (Lys) の範囲にあった。HP-DDGS を 15% および 20% 配合すると増体量と飼料要求率が低下したが、飼料摂取量は HP-DDGS を 10% 配合した飼料と差がなかった (表 8)。この結果は、この HP-DDGS をブロイラー用飼料に最大 10% まで配合できる可能であり、Lys および Arg を補給しなくても発育成績には悪影響がないことを示している。

測定値	5% DDGS	10% HP-DDGS	15% HP-DDGS	20% HP-DDGS
開始時体重、g	37.93	37.74	37.40	37.48
前期 (0~14 日)				
14 日齢体重、kg	0.39 ^a	0.39 ^a	0.35 ^b	0.37 ^a
増体量、kg	0.34 ^a	0.35 ^a	0.31 ^b	0.34 ^a
飼料摂取量、kg	0.51 ^{ab}	0.53 ^a	0.51 ^b	0.53 ^a
飼料要求率	1.49 ^c	1.51 ^c	1.63 ^a	1.58 ^b
中期 (15~35 日)				
35 日齢体重、kg	1.99 ^{ab}	2.02 ^a	1.91 ^c	1.93 ^{bc}
増体量、kg	1.61 ^{ab}	1.64 ^a	1.56 ^b	1.55 ^b
飼料摂取量、kg	2.66 ^{ab}	2.74 ^a	2.63 ^b	2.70 ^{ab}
飼料要求率	1.66 ^c	1.67 ^{bc}	1.69 ^b	1.76 ^a
後期 (35~42 日)				
42 日齢体重、kg	2.70 ^a	2.72 ^a	2.56 ^b	2.58 ^b
増体量、kg	0.70 ^a	0.70 ^{ab}	0.65 ^b	0.65 ^b
飼料摂取量、kg	1.30 ^a	1.29 ^{ab}	1.24 ^b	1.26 ^{ab}

飼料要求率	1.86	1.86	1.91	1.94
全期間（0～42日）				
増体量、kg	2.65 ^a	2.68 ^a	2.52 ^b	2.54 ^b
飼料摂取量、kg	4.47 ^{ab}	4.55 ^a	4.38 ^b	4.49 ^{ab}
飼料要求率	1.69 ^c	1.70 ^c	1.74 ^b	1.77 ^a

^{abc} 異付号間に有意差あり (p<0.05)

Hussainら（2019）は、HP-DDG（米国産であるが詳細は不明、CP：43%）を6.4%配合し、プロテアーゼ、マンナーゼおよびキシラーゼを組合わせて添加、あるいは3種類すべてを添加した飼料を用いて、ブロイラーの発育成績、栄養素の消化率および腸管の形態に及ぼす影響を調査している。その結果、増体量、飼料摂取量、飼料効率、屠体形質、臓器重量および腸管の形態ならびにエネルギーおよびアミノ酸の消化率には酵素添加の影響はなかった。これらの結果は、この研究で評価された炭水化物分解酵素とプロテアーゼには、ブロイラーの発育成績、栄養素消化率および腸管の形態への改善効果はないことを示している。

産卵鶏に対する HP-DDG 給与試験の概要

Foleyら（2022）は、ICM社のFST™を用いて生産された2種類の新しいHP-DDG（FST 1: CP 40.3%、FST 2: CP 39.1%）を配合した場合の21～45週齢の白色レグホン種産卵鶏における飼料摂取量、産卵成績およびAME価に及ぼす影響を調査している。処理区は、HP-DDGを含まないトウモロコシ・大豆粕主体の対照飼料と、FST1またはFST2を5、10または15%配合した試験飼料で構成した。その結果、産卵成績、卵黄の色調および卵殻強度に給与開始後日数×処理の交互作用が認められた。両HP-DDGを15%配合した飼料では、試験後半の数週間で産卵率が改善された。卵黄色調はHP-DDG配合割合の増加に対応して高まったが、HP-DDGの違いに係わらず日数経過とともに低下した。卵殻強度は、対照飼料およびFST 2を15%配合した飼料で高値を示したが、HP-DDGの種類および配合量は飼料摂取量、卵重および供試鶏の体重に影響を及ぼさなかった。要約すると、ICM社のFST™を用いて生産されたHP-DDGは産卵鶏用飼料に最大15%まで配合することが可能であり、飼料摂取量や産卵成績に悪影響を与えることはなく、産卵後期の卵黄色調と産卵成績をわずかに改善できる。

養殖水産動物に対する HP-DDG 給与試験の概要

ナイルティラピア (*Oreochromis niloticus*)

Herethら（2016a）は、トウモロコシたん白濃縮物（CPC、配合割合：19.4%）、HP-DDG（同33.2%）、コーングルテンミール（CGM、同23.5%）またはDDGS（同52.4%）で、魚粉（同21.8%、対照）を完全に置き換えた等窒素飼料をナイルティラピア (*Oreochromis*

niloticus) 稚魚 (体重 4.5 g) に 12 週間給与した場合の発育成績および体成分組成への影響を調査している。対照飼料および DDGS を配合した飼料は、すべての飼料中で最も優れた比成長率、飼料摂取量、たん白質蓄積率および生存率を示した (表 9)。これに対して、CGM および CPC を配合した飼料では比成長率、体積膨張率、飼料摂取量、たん白質保持率および生存率が最も低かった。HP-DDG を配合した飼料の比成長率および体積膨張率は低かったが、飼料摂取量とたん白質蓄積率は対照飼料および DDGS を配合した飼料と同程度であった。さらに、HP-DDG を配合した飼料では、対照飼料および DDGS を配合した飼料に比べて全魚体およびフィレ肉の CP 含量が高く、脂質含量も対照飼料より高かった (表 9)。しかし、体指数を表す各指標には各飼料間で差はなかった。この結果は、ナイルティラピア稚魚用飼料において魚粉を様々なトウモロコシ併産物で完全に置き換えると、発育成績や全魚体およびフィレ肉の組成に様々な影響を及ぼすことを示している。供試したトウモロコシ併産物中で、DDGS は発育成績や体組成が最も優れていたが、HP-DDG も CGM および CPC に比べて発育成績と全魚体およびフィレ肉のたん白質量が優れていた。

表 9. トウモロコシ併産物飼料を 12 週間給与したナイルティラピア (*Oreochromis niloticus*) の発育成績、魚体インデックスおよびフィレ肉の色調 (Herath ら、2016a から引用)

測定値	Control	HP-DDG ¹	DDGS ²	CGM ³	CPC ⁴
発育成績					
比成長率、%	3.56 ^a	3.30 ^b	3.53 ^a	2.75 ^c	2.63 ^d
体積膨張率	1.21 ^a	1.06 ^c	1.16 ^b	0.81 ^d	0.76 ^e
飼料摂取量、DM g	84.05 ^a	71.05 ^a	81.20 ^a	40.2 ^b	38.80 ^b
飼料要求率	1.00	1.05	1.05	1.00	1.10
たん白効率	3.20	2.99	3.06	3.10	2.84
たん白質蓄率、%	49.62 ^a	46.17 ^{ab}	46.70 ^{ab}	42.02 ^{bc}	38.42 ^c
生存率、%	100.0 ^a	80.6 ^{bc}	97.2 ^{ab}	66.6 ^c	75.0 ^c
全魚体組成、% (原物値)					
水分	69.4	68.9	69.7	70.9	71.6
たん白質	15.5 ^b	16.7 ^a	15.4 ^b	14.6 ^c	13.9 ^d
脂質	8.5 ^b	9.9 ^a	10.0 ^a	9.8 ^a	9.6 ^a
灰分	6.9 ^a	5.4 ^c	5.7 ^b	4.0 ^e	5.0 ^d
フィレ肉の組成、% (原物値)					
水分	78.2	76.2	77.2	77.9	78.5
たん白質	18.8 ^b	19.8 ^a	18.3 ^b	19.2 ^b	18.7 ^b
脂質	1.6 ^c	2.4 ^b	3.1 ^a	2.2 ^b	1.9 ^{bc}
灰分	1.4	1.2	1.3	1.3	1.4
体指数					
内臓指数 ⁵	10.8	11.6	12.9	12.1	12.8
肝臓指数 ⁶	3.0	2.1	2.7	2.2	2.0
フィレ肉収量 ⁷ 、%	30.4	30.8	32.4	31.9	28.3
状態係数 ⁸	2.0	2.0	2.0	1.8	1.9

^{abcde} 異付号間に有意差あり (p<0.05)

¹ HP-DDG = 高たん白 DDG

² DDGS = ディスチラーズ・グレイン・ウィズ・ソリュブル

³ CGM = コーングルテンミール

⁴ CPC = トウモロコシたん白濃縮物

⁵ 内臓係数 = 100 × 内臓重量 (g)/体重 (g)

⁶ 肝臓係数 = 100 × 肝臓重量 (g)/体重 (g)

⁷ フィレ肉収量 = 100 × フィレ肉重量 (g)/体重 (g).

⁸ 状態指数 = 100 × 体重 (g)/魚体積 (cm³)

Herath ら (2016b) は、その後に行われた長期飼育試験において、ナイルティラピア (*Oreochromis niloticus*、体重 21g) を用いた 24 週間の飼養試験中の発育成績、フィレ肉の色調および組成に対するトウモロコシ併産物主体飼料の影響について検討している。この試験で用いた飼料は、魚粉を 10% 配合した対照飼料と、魚粉を含まずに HP-DDG (33.2%)、DDGS (52.4%)、CGM (23.5%) あるいは CPC (19.4%) を配合して飼料中のたん白質の 50% 量を置き換えた試験飼料 4 種類である。対照飼料、HP-DDG および DDGS を配合した飼料では、CGM および CPC を配合した飼料に比べて増体率、比成長率、平均飼料摂取量、たん白効率が優れ、飼料効率および生存率が高まった (表 10)。しかし、フィレ肉の明度、赤色度、黄色度、粗たん白質および総アミノ酸含量への各トウモロコシ併産物配合の影響はなかった。CGM を配合した飼料ではフィレ肉の脂質および灰分含量が最も高かったが、フィレ肉の脂肪酸組成は飼料間で差が見られた。これらの結果は、魚粉を含まない飼料に HP-DDG または DDGS を飼料中たん白質の最大 50% 量まで配合しても、発育成績やフィレ肉の色調への悪影響は見られないが、CGM および CPC を用いた場合に生存率などに悪影響があることを示している。

表 10. HP-DDG、DDGS、CGM および CPC を含む飼料を 24 週間給与した場合のナイルティラピア (*Oreochromis niloticus*) の発育成績、体指数、フィレ肉の成分および色調に及ぼす影響 (Herath ら、2016b から引用)

測定値	Control	HP-DDG ¹	DDGS ²	CGM ³	CPC ⁴
発育成績					
平均増体量、g	162 ^a	161 ^a	161 ^a	88 ^b	75 ^b
比成長率、%	1.27 ^a	1.26 ^a	1.27 ^a	0.96 ^b	0.90 ^b
平均飼料摂取量、g/尾	216 ^a	222 ^a	226 ^a	149 ^b	124 ^b
飼料要求率	1.33 ^b	1.38 ^b	1.40 ^b	1.72 ^a	1.66 ^a
たん白効率	2.31 ^a	2.12 ^a	2.30 ^a	1.69 ^b	1.68 ^b
生存率、%	97.2 ^a	97.2 ^a	97.2 ^a	91.7 ^a	52.7 ^b
体指数					
腹腔内脂肪率	1.88	2.22	1.50	2.02	1.34
肝臓指数	2.70 ^b	2.70 ^b	1.93 ^c	3.45 ^a	2.30 ^{bc}
内臓指数	9.33	10.92	9.44	11.62	11.50
フィレ肉収量	28.16	27.52	27.34	27.14	26.37
状態指数	2.01 ^a	1.83 ^c	1.89 ^{bc}	1.94 ^b	1.87 ^{bc}
フィレ肉の組成					
水分、%	77.85	77.60	77.35	77.30	77.70
粗たん白質、%	19.60	19.60	19.65	19.40	19.35
粗脂肪、%	1.80 ^b	2.05 ^{ab}	2.20 ^{ab}	2.35 ^a	2.05 ^{ab}
粗灰分、%	1.30 ^b	1.30 ^b	1.26 ^b	1.60 ^a	1.50 ^{ab}
フィレ肉の色調					
L*	47.8	48.0	47.8	41.5	41.8
a*	1.3	0.7	1.2	1.8	2.3

b*	3.2	2.3	2.3	1.3	2.2
彩度 ¹	3.5	2.4	2.7	1.9	3.3
色相角 ² 、°	67.5	74.0	54.5	53.6	43.3
ΔE ³	0	1.11	0.97	6.61	6.22

^{abc} 異付号間に有意差あり (p < 0.05)

¹ 彩度 = 色の濃さ

² 色相角 = 0° は赤色、90° は黄色

³ ΔE = 対照飼料と比較した全体的な色の違い

カイヤン (*Pangasianodon hypophthalmus*)

HP-DDG (CP : 40%、粗脂肪 : 3.1%、粗繊維 : 28.1%、粗灰分 : 2.4%) の HP-DDG を対照飼料中の魚粉と部分的に置き換えて 5.8, 11.6 および 17.4% 配合した等窒素、等脂肪および等カロリー飼料を給与した場合のカイヤン (*Pangasianodon hypophthalmus*) の発育成績と経済性を評価した (Allam ら、2020)。対照飼料中に含まれる魚粉の 25% 量を HP-DDG で置き換えた場合 (配合割合 5.8%) には許容範囲内の成長率および飼料効率が得られたが、HP-DDG 配合量をそれ以上に高めた場合には成長率と飼料効率が直線的に低下した。さらに、HP-DDG 配合量が最も高い場合 (17.4%) には全魚体のたん白質含量が低下し、脂質含量が増加した。HP-DDG を 11.6 および 17.4% 配合した場合の発育成績および体組成への悪影響は、Lys、Met およびその他の必須アミノ酸が不十分であったためである可能性が高く、十分な量の結晶アミノ酸を補給することで改善できるものと思われる。

アメリカナマズ (*Ictalurus punctatus*)

Tidwell ら (2017) は、HP-DDG の配合量 (0、20、40 および 40% + 結晶 Lys) がペレットの特性と発育成績に及ぼす影響について調査している。HP-DDG を 20% 配合した飼料における平均収量 (86.8 g) は、HP-DDG を 40% 配合した飼料 (57.0 g) および HP-DDG 40% + Lys 添加飼料 (73.7 g) より優れたが、飼料効率および生存率には飼料間に差がなかった。HP-DDG を 40% 配合した飼料では Lys 添加の有無にかかわらず全魚体のたん白質含量が対照飼料より低かったが、水分、脂質および灰分含量は差がなかった。HP-DDG の配合割合が高まると、ペレット膨張率が低下し、単位密度とペレット耐久性指数が高まる傾向を示した。これらの結果は、HP-DDG を 20% 以上配合する場合に、最適な発育成績およびフィレ肉の組成を得るためには Lys の補給が必要であり、他の必須アミノ酸の補給も必要である可能性を示唆している。しかし、HP-DDG を高水準で配合することによりペレットの耐久性を高めることができる。

最近の研究では、アメリカナマズ稚魚用飼料において、HP-DDG (ANDVantage™ 40Y) を家禽処理副産物あるいは大豆粕と置換した場合の影響が調査されている (Nazeer ら、2022)。供試飼料は HP-DDG (0、3.1、6.2 および 9.3%) を家禽処理副産物 (6、4、2 および 0%) と置き換えおよび HP-DDG (5、10、15、20、30 および 40%) を大豆粕 (51.0、

46.5、41.9、37.4、28.2 および 19.2%) と置き換えて等窒素 (CP : 32%) および等脂質 (粗脂肪 : 6.5%) とした。試験 1 ではすべての飼料をペレット加工し、アメリカナマズ (*Ictalurus punctatus*、体重 1.8 g) に給与した。試験 2 では、9.3%の HP-DDG を家禽処理副産物と置き換えた飼料を給与した場合の飼料摂取量の低下に及ぼす給餌率の影響を調査した。HP-DDG の配合量と、置き換えたたん白質源 (家禽処理副産物または大豆粕) との間に有意な交互作用が認められた。HP-DDG を家禽処理副産物と置き換えて配合量を高めた場合、特に 9.3%配合した飼料では発育、飼料摂取量、飼料効率および正味たん白質蓄積率が低下したが (表 11)、生存率、全魚体の粗たん白質、粗脂質および灰分含量には飼料間には見られなかった (表 11)。一方、HP-DDG を大豆粕と部分的に置き換えた場合、HP-DDG の配合割合が 30 および 40%とした飼料を除き、飼料間には発育成績の差はなかった (表 12)。この場合にも、生存率と全魚体の水分、粗たん白質、粗脂質および灰分含量は、HP-DDG の配合量の増加による影響はなかった (表 12)。これらの試験結果は、HP-DDG はナマズ用飼料において優れたたん白質源となるが、大豆粕と部分的に置き換えた場合の発育成績の低下を避けるためには、配合量が 20%を超えないようにする必要があることを示している。しかし、HP-DDG を家禽処理副産物と完全に置き換えて 9.3%配合した場合には栄養不足による可能性が高い発育成績の低下が生じる。

表 11. HP-DDG (ANDVantage™ 40Y) を家禽処理副産物と部分的に置き換えた飼料を 10 週間給与した場合のアメリカナマズの発育成績および全魚体成分 (Nazeer ら、2022 より引用)				
測定値	対照	3.1% HP-DDG	6.2% HP-DDG	9.3% HP-DDG
発育成績				
最終バイオマス、g	479 ^a	445 ^{ab}	411 ^b	351 ^c
終了時体重、g/尾	24.26 ^a	22.25 ^{ab}	21.40 ^b	18.02 ^c
増体量、g/尾	22.41 ^a	20.50 ^{ab}	19.62 ^b	16.18 ^c
増体率、%	1,215 ^a	1,169 ^a	1,103 ^a	882 ^b
乾物摂取量、g/尾	24.35 ^a	23.27 ^a	23.52 ^a	20.50 ^b
飼料要求率	1.09 ^c	1.14 ^{bc}	1.20 ^{ab}	1.27 ^a
生存率、%	98.75	100.0	96.25	97.50
正味たん白質蓄積率、%	42.85 ^a	40.43 ^{ab}	38.47 ^{ab}	33.90 ^b
全魚体の組成、%				
水分	72.15	72.15	73.12	75.13
CP	14.65	14.40	14.40	13.80
粗脂肪	8.98	9.16	8.42	7.78
粗灰分	2.64	3.17	2.89	2.49

^{abc} 異付号間に有意差あり (p<0.05)

表 12. HP-DDG (ANDVantage™ 40Y) を大豆粕と部分的に置き換えた飼料を 10 週間給与した場合のアメリカナマズの発育成績および全魚体成分 (Nazeer ら、2022 より引用)							
測定値	HP-DDG 配合割合、%						
	0	5	10	15	20	30	40
発育成績							

最終バイオマス、g	479 ^a	493 ^a	504 ^a	512 ^a	507 ^a	403 ^b	253 ^c
終了時体重、g/尾	24.26 ^a	24.64 ^a	25.18 ^a	25.92 ^a	26.00 ^a	20.15 ^b	12.65 ^c
増体量、g/尾	22.41 ^a	22.85 ^a	23.33 ^a	24.13 ^a	24.19 ^a	18.35 ^b	10.88 ^c
増体率、%	1,215 ^a	1,277 ^a	1,263 ^a	1,349 ^a	1,340 ^a	1,020 ^b	613 ^c
乾物摂取量、g/尾	24.35 ^a	24.24 ^{bc}	24.83 ^{ab}	25.30 ^{ab}	25.65 ^a	23.32 ^c	18.30 ^d
飼料要求率	1.09 ^c	1.06 ^c	1.07 ^c	1.05 ^c	1.06 ^c	1.27 ^b	1.68 ^a
生存率、%	98.75	100.0	100.0	98.75	100.0	100.0	100.0
正味たん白質蓄積率、%	42.85 ^a	42.11 ^{ab}	44.82 ^a	43.78 ^a	43.65 ^a	35.26 ^b	24.39 ^c
全魚体の組成、%							
水分	72.15	72.47	70.72	71.65	71.55	73.37	73.40
CP	14.65	13.57	15.02	14.05	13.92	13.90	13.15
粗脂肪	8.98	9.31	9.50	9.52	9.86	8.78	8.23
粗灰分	2.64	3.15	3.19	3.31	2.82	2.96	3.21

^{abc} 異付号間に有意差あり (p<0.05)

イエローパーチ (*Perca flavescens*)

Von Eschen ら (2021) は、HP-DDG (CP : 40%) をニシン魚粉 (CP : 72%) と部分的あるいは完全に置き換えて 105 日間飼育している。HP-DDG の置換量は魚粉の 25、50、75 および 100%量とした。増体、飼料要求率、見かけの CP 消化率および状態指数は、HP-DDG の配合割合と負の相関を示した。魚粉の配合量が減少すると発育成績も低下したが、生存率はすべての飼料で 100%だった。この結果は、HP-DDG をイエローパーチ用飼料に配合する場合、魚粉との置換率を 50%以下とすべきであり、Lys を補給することで発育成績を改善出来る可能性があることを示している。

泌乳中の乳牛に対する HP-DDG 給与試験の概要

Zynda ら (2021) による未公表データによると、乾物摂取量の 20%量の HP-DDG (ICM 社) を給与した場合の産乳性、栄養素消化率および排泄物からのガス排出量について、酵母給与の有無、または、飼料中のイオンバランス (DCAD) 操作の有無の影響を調査している。大豆粕主体の対照飼料と比べて、HP-DDG を給与した場合には、有機物 (OM) と NDF の消化率が低下し、多価不飽和脂肪酸の含量摂取量の増加と DCAD の低下により産乳量が減少した。陽イオンの補給により HP-DDG 配合飼料の DCAD を高めると乳脂肪の低下が緩和されたが、酵母給与による影響はいずれの測定項目においても見られなかった。さらに、HP-DDG は P とイオウ (S) 含量が比較的高いため、HP-DDG を給与した場合に糞尿中への P および S 排泄量が増加し、硫化水素の排出量も増加した。これらの結果は、泌乳中の乳牛に HP-DDG を多量に給与する場合の乳脂肪の低下を防止するためには DCAD を調整が必要であることを示唆しているが、酵母含量の多い HP-DDG を用いても産乳成績、乳成分、栄養素の消化率および糞尿からのガス排出量は改善できなかった。

結論

現在、市場で入手することが出来る HP-DDG は、10~15 年前に生産されて評価された HP-DDG とは栄養特性が大幅に異なっている。このため、精密な配合設計を行って最適な飼育成績を得るためには、供給元から使用する HP-DDG の実際のエネルギー価、可消化アミノ酸および可消化 P 含量などの実際のデータを入手することが不可欠である。理論的には、適切な炭水化物分解酵素とプロテアーゼを豚、家禽および水産養殖動物用飼料に添加すると、HP-DDG を配合した飼料での食物繊維の利用と ME 価が改善される可能性があるが、豚および家禽についての現時点での報告では、効果的な戦略ではないことが示されている。HP-DDG は従来の DDGS に比べて CP および可消化アミノ酸含量が高いものの、Ile と Val に比べて Leu を過剰に含むため HP-DDG の配合量を高めると、離乳子豚および育成~肥育豚の増体量と飼料摂取量が低下する。したがって、HP-DDG の配合量によっては、増体量および飼料摂取量の減少を克服するために、いくつかの結晶アミノ酸(Lys、Thr、Trp、Ile、Val など) の補給が必要となる場合がある。ブロイラーと産卵鶏について報告されている限られたデータによると、ブロイラー用飼料では 10%、産卵鶏用飼料では 15%まで配合しても十分な成績が維持できることが示されている。一般に、HP-DDG はナイルテラピアおよびイエローパーチ用の魚粉を含まない飼料の CP の最大 50% 量を置き換えることが出来るように見えるが、発育成績を最適化するためには場合により Lys の補給が必要となる場合がある。カイヤンおよびアメリカナマズでは、HP-DDG を大豆粕と部分的に置き換える場合には配合割合を 20% 以下とすることが推奨され、発育成績を最適化するためには場合により Lys やその他の必須アミノ酸の補給が必要になる。泌乳中の乳牛用飼料に HP-DDG を配合しても産乳成績と乳成分を十分に維持できるが、最適な使用を行うためには、DCAD の調整を考慮する必要がある。

引用文献

- AAFCO. 2020. Association of American Feed Control Officials - Official Publication. Champaign, IL.
- Adeola, O., and D. Ragland. 2016. Comparative ileal amino acid digestibility of distillers' grains for growing pigs. *Anim. Nutr.* 2:262- 266. doi: 10.1016/j.aninu.2016.07.008
- Adeola, O., and D. Ragland. 2012. Ileal digestibility of amino acids in coproducts of corn processing into ethanol for pigs. *J. Anim. Sci.* 90:86-88.
- Allam, B.W., H.S. Khalil, A.T. Mansour, T.M. Srour, E.A. Omar, and A.A.M. Nour. 2020. Impact of substitution of FM by high protein distillers grains on growth performance, plasma protein and economic benefit of striped catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*) . *Aquaculture* 517:734792.

<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734792>

- Anderson, P.V., B.J. Kerr, T.E. Weber, C.J. Ziemer, and G.C. Shurson. Determination and prediction of digestible and metabolizable energy from chemical analysis of corn coproducts fed to finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 90:1242–1254.
- Applegate, T.J., C. Troche, Z. Jiang, and T. Johnson. 2009. The nutritional value of high-protein corn distillers grains for broiler chickens and its effect on nutrient excretion. *Poult. Sci.* 88:354–359. doi:3382/ps.2008-00346
- Barnes, M.E., M.L. Brown, and K.A. Rosentrater. 2012a. Initial observations on the inclusion of high protein distiller' s dried grain into rainbow trout diets. *Open Fish Sci. J.* 5:21–29.
- Barnes, M.E., M.L. Brown, K.A. Rosentrater, and B. Fletcher. 2012b. Replacement of FM with high protein distiller' s dried grain in juvenile rainbow trout diets. *J. Aquac. Feed Sci. Nutr.* 4:39–47.
- Batal, A. 2007. Nutrient digestibility of high protein corn distillers dried grains with solubles, dehydrated corn germ and bran. *Poult. Sci.* 86 (Suppl. 1) :206.
- Boucher, M., C. Zhu, S. Holt, and L.-A. Huber. 2021. Physicochemical characterization and energy contents of novel corn ethanol co-product streams, with and without inclusion of a multi-carbohydrase enzyme blend, for growing pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 101:353–361. dx.doi.org/10.1139/cjas-2020-0144
- Buenavista, R.M.E., K. Siliveru, and Y. Zheng. Utilization of distiller' s dried grains with solubles: A review. *J. Agric. Food Res.* 5:100195. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100195>
- Cemin, H.S., H.E. Williams, M.D. Tokach, S.S. Dritz, J.C. Woodworth, J.M. DeRouchey, R.D. Goodband, K.F. Coble, B.A. Carrender, and M.J. Gerhart. 2020. Estimate of the energy value of SBM relative to corn based on growth performance of nursery pigs. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 11:70. doi:10.1186/s40104-020-00474-x
- Cemin, H.S., M.D. Tokach, S.S. Dritz, J.C. Woodworth, J.M. DeRouchey, and R.D. Goodband. 2019a. Meta-regression analysis to predict the influence of branched-chain and large neutral amino acids on growth performance of pigs. *J. Anim. Sci.* 97:2505–2514. doi:10.1093/jas/skz118
- Cemin, H.S., M.D. Tokach, and S.S. Dritz. 2019b. Evaluating the productive energy

- content of high-protein distillers dried grains in swine diets. *Kansas Agric. Exp. Sta. Rep.* 5 (8) :1-9. <https://doi.org/10.4148>
- Christen, K.A., D.J. Schingoethe, K.F. Kalscheur, A.R. Hippen, K.K. Karges, and M.L. Gibson. 2010. Response of lactating dairy cows to high protein distillers grains or 3 other protein supplements. *J. Dairy Sci.* 93:2095-2104.
- Cristobal, M., J.P. Acosta, S.A. Lee, and H.H. Stein. 2020. A new source of high-protein distillers dried grains with solubles (DDGS) has greater digestibility of amino acids and energy, but less digestibility of phosphorus, than de-oiled DDGS when fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 98:1-9. doi:10.1093/jas/skaa200
- Espinosa, C.D., and H.H. Stein. 2018. High-protein distillers dried grains with solubles produced using novel front-end-back-end fractionation technology has greater nutritional value than conventional distillers dried grains with solubles when fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 96:1869-1876. doi:10.1093/jas/sky052
- Foley, J., S. Purdum, and M.F. Wilken. 2022. New generation high protein dried distillers grain in White Leghorn laying hens diets. Unpublished abstract provided with permission from ICM, Inc.
- Fries-Craft, K., and E.A. Bobeck. 2019. Evaluation of a high-protein DDGS product in broiler chickens: performance, nitrogen-corrected apparent metabolizable energy, and standardized ileal amino acid digestibility. *Brit. Poult. Sci.* 60: <https://doi.org/10.1080/00071668.2019.1652884>
- 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>
- Gutierrez, N.A., D.Y. Kil, and H.H. Stein, 2009a. Net energy of distillers dried grains with solubles and high protein distillers dried grains fed to growing and finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 87 (Suppl. 2) :332
- Gutierrez, N.A., D.Y. Kil, B.G. Kim, and H.H. Stein. 2009b. Effects of distillers dried grains with solubles and high protein distillers dried grains on growth performance and organ weights of growing and finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 87 (Suppl. 3) :136.
- 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.
- Herath, S.S., Y. Haga, and S. Satoh. 2016a. Potential use of corn co-products in fishmeal-free diets for juvenile Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Fish Sci.* 82:811–818. <https://doi.org/10.1007/s12562-016-1008-6>
- Herath, S.S., Y. Haga, and S. Satoh. 2016b. Effects of long-term feeding of corn co-product-based diets on growth, fillet color, and fatty acid and amino acid composition of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture* 464:205–212. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.06.032>
- 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.
- Hussain, M., M.A. Mirza, H. Nawaz, M. Asghar, and G. Ahmed. 2019. Effect of exogenous protease, mannanase, and xylanase supplementation in corn and high protein corn DDGS based diets on growth performance, intestinal morphology and nutrient digestibility in broiler chickens. *Braz. J. Poult. Sci.* 21:1–10. <https://dx.doi.org/10.1590/1806-9061-2019-1088>
- 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.
- Jang, J.-C., Z. Zeng, P.E. Urriola, and G.C. Shurson. 2021. Effects of feeding corn distillers dried grains with solubles diets without or with supplemental enzymes on growth performance of pigs: a meta-analysis. *Transl. Anim. Sci.* 5:1–15. doi:10.1093/tas/txab029
- Jung, B., and A.B. Batal. 2010. Evaluation of high protein distillers' dried grains as a feed ingredient for broiler chickens. *Can. J. Anim. Sci.* 90:505–512. Doi:10.4141/cjas10030
- Jung, B., and A. Batal. 2009. The nutrient digestibility of high-protein corn distillers dried grains and the effect of feeding various levels on the performance of laying hens. *J. Appl. Poult. Res.* 18:741–751.
- 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.
- Kim, E.J., C.M. Parsons, R. Srinivasan, and V. Singh. 2010. Nutritional composition, nitrogen-corrected true metabolizable energy, and amino acid digestibilities of new corn distillers dried grains with solubles produced by new fractionation processes. *Poult. Sci.* 89:44–51.
- Kim, B.G., G.I. Petersen, R.B. Hinson, G.L. Allee, and H.H. Stein. 2009. Amino acid digestibility and energy concentration in a novel source of high-protein distillers dried grains and their effects on growth performance of pigs. *J. Anim. Sci.* 87:4013–4021.
- Kim, E.J., C. Martinez-Amezcuca, P.L. Utterback, and C.M. Parsons. 2008. Phosphorus bioavailability, true metabolizable energy, and amino acid digestibilities of high protein corn distillers dried grains and dehydrated

- corn germ. *Poult. Sci.* 87:700–705. doi:10.3382/ps.2007-003302.
- Maxin, G., D.R. Ouellet, and H. Lapierre. 2013. Ruminal degradability of dry matter, crude protein, and amino acids in SBM, canola meal, corn, and wheat dried distillers grains. *J. Dairy Sci.* 96:5151–5160.
- Maxin, G., D.R. Ouellet, and H. Lapierre. 2013. Effect of substitution of SBM by canola meal or distillers grains in dairy rations on amino acid and glucose availability. *J. Dairy Sci.* 96:7806–7817.
- 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.
- Nazeer, S., D.C. Fornari, H.S.C. Galkanda-Arachchige, S. Tilton, and D.A. Davis. 2022. Use of high protein distiller' s dried grain with yeat in practical diets for the channel catfish, *Ictalurus punctatus*. *Aquaculture* 546:737387. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737387>
- 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.
- Øverland, M., Å. Krogdahl, G. Shurson, A. Skrede, and V. Denstadli. 2013. Evaluation of distiller' s dried grains with solubles (DDGS) and high

- protein distiller' s dried grains (HPDDG) in diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) . *Aquaculture* 416–417:201–208. <https://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.09.016>
- Petersen, G. I., Y. Liu, and H. H. Stein. 2014. Coefficient of standardized ileal digestibility of amino acids in corn, SBM, corn gluten meal, high-protein distillers dried grains, and field peas fed to weanling pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 188:145–149.
- Prachom, N., Y. Haga, and S. Satoh. 2013. Impact of dietary high protein distillers dried grains on amino acid utilization, growth response, nutritional health status and waste output in juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) . *Aquac. Nutr.* 19:62–71. <https://doi.org/10.1111/anu.12049>
- Rao, Z.-X., R. D. Goodband, M. D. Tokach, S. S. Dritz, J. C. Woodworth, J. M. DeRouche, H. I. Calderone, and M. F. Wilken. 2021. Evaluation of high-protein distillers dried grains on growth performance and carcass characteristics of growing–finishing pigs. *Transl. Anim. Sci.* 5:1–9. doi:10.1093/tas/txab038
- Rho, Y., C. Zhu, E. Kiarie, and C. F. M. de Lange. 2017. Standardized ileal digestible amino acids and digestible energy contents in high-protein distiller' s dried grains with solubles fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 85:3591–3597. <https://doi.org/10.2527/jas.2017.1553>
- 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
- Rojo, A., M. Ellis, E. B. Gaspar, A. M. Gaines, B. A. Peterson, F. K. McKeith, and J. Killefer. 2016. Effects of dietary inclusion level of distillers dried grains with solubles (DDGS) and high-protein distillers dried grains (HP-DDG) on the growth performance and carcass characteristics of wean-to-finish pigs. *J. Anim. Sci* abstract doi: 10.2527/msasas2016-187 p. 88
- Seabolt, B. S., E. van Heugten, S. W. Kim, K. D. Ang-van Heugten, and E. Roura. 2010. Feed preferences and performance of nursery pigs fed diets containing various inclusion amounts and qualities of distillers coproducts and flavor. *J. Anim. Sci.* 88:3725–3738.
- 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.
- Soares, J.A., H.H. Stein, V. Singh, G.C. Shurson, and J.E. Pettigrew. 2012. Amino acid digestibility of corn distillers dried grains with solubles, liquid condensed solubles, pulse dried thin stillage, and syrup balls fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 90:1255–1261.
- Swanepoel, N., P.H. Robinson, and L.J. Erasmus. 2014. Determining the optimal ratio of canola meal and high protein dried distillers grain protein in diets of high producing Holstein dairy cows. *Anim. Feed Sci. Technol.* 189:41–53.
- Tangendjaja, B., and E. Wina. 2011. Feeding value of low and high protein dried distillers grains and corn gluten meal for layer. *Media Peternakan* 34:133–139. <https://doi.org/10.5398/medpet.2011.34.2.133>
- Tidwell, J., S. Coyle, L. Bright, L. Pires, and K. Rosentrater. 2017. Effects of varying levels of high-protein distillers grains on growth performance of channel catfish, *Ictalurus punctatus*, and post-extrusion feed pellet characteristics. *J. World Aquac. Soc.* 48:426–434. <https://doi.org/10.1111/jwas.12374>
- Von Eschen, A.J., M.L. Brown, and K. Rosentrater. 2021. Effect of increasing dietary high protein distillers dried grains on yellow perch *Perca flavescens* performance. *J. Appl. Aquac.* <https://doi.org/10.1080/10454438.2021.1885558>
- Widmer, M.R., L.M. McGinnis, D.M. Wulf, and H.H. Stein. 2008. Effects of feeding distillers dried grains with solubles, high-protein distillers dried grains, and corn germ to growing-finishing pigs on pig performance, carcass quality, and the palatability of pork. *J. Anim. Sci.* 86:1819–1831.
- Widmer, M.R., L.M. McGinnis, and H.H. Stein. 2007. Energy, phosphorus, and amino acid digestibility of high-protein distillers dried grains and corn germ fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 85:2994–3003.
- 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., P.E. Urriola, A. Hilbrands, L.J. Johnston, and G.C. Shurson. 2020. Effects of feeding high-protein corn distillers dried grains and a mycotoxin mitigation additive on growth performance, carcass characteristics, and pork fat quality of growing-finishing pigs. *Transl. Anim. Sci.* 4:1–16.

doi:10.1093/tas/txaa051

- Yang, Z., P.E. Urriola, A.M. Hilbrands, L.J. Johnston, and G.C. Shurson. 2019. Growth performance of nursery pigs fed diets containing increasing levels of a novel high-protein corn distillers dried grains with solubles. *Transl. Anim. Sci.* 3:350–358. doi:10.1093/tas/txy101
- Zynda, H.M., J.E. Copelin, L.R. Rebelo, W.P. Weiss, M. Wilken, and C. Lee. 2021. Effects of high-protein corn distillers' grains with and without yeast or manipulation of dietary cation and anion difference on production, nutrient digestibility, and gas emissions from manure in lactating dairy cows. Unpublished but included with permission from ICM, Inc.