

5章: エタノール生産の新技术と生産された高たん白・トウモロコシ併産物の栄養組成

はじめに

米国のエタノール産業は進化し続けており、乾式粉碎方式のエタノール工場はバイオリファイナリー(バイオマスから燃料を製造する工場)となって、エタノール収率を高めるだけでなく、国内および国際市場向けの潜在的により高い価値を持つ、より多様化したトウモロコシ併産物を生産している。エタノールの収率を高め、新しい併産物を製造するためにフロントエンドの分画技術を採用するために、過去に、いくつかの試みが行われたが、それらのプロセスではエタノールと併産物の製造効率を最適化することが困難であり、現在は使用されていない。しかし、2005年初頭からの主な新技术は、バックエンドにおけるシンスチレージからオイル抽出であり、今日の乾式粉碎工場の大部分で使用されている。粗トウモロコシ油の製造工程、化学的な組成、エネルギー価については第4章に詳述した。

現在、一部の乾式粉碎工場で行われている新しいエンジニアリング技術の焦点の多くは、1)エタノール生産に用いるセルロースをトウモロコシ中の繊維から分離する、2)粗トウモロコシ油抽出法の改良、および、3)高たん白質(40%以上)のトウモロコシ併産物の製造である。

ICM社による新しいプロセステクノロジーの概要(www.icmnc.com/products)

ICM社では、4つの新しい工程を開発した(図1)。これらの工程を既存の乾式粉碎エタノール工場の製造工程に組込むことで、エタノールと粗トウモロコシ油の収量を改善し、たん白質含量が高いDDGs(HP-DDG)を製造できる。

Selective Milling Technology™ (SMT)

このプロセスでは、新しく設計された独自の粉碎機を用いることで、エタノールの収率が最大3%、粗トウモロ

コシ油の収率が最大25%向上し、エネルギー使用量を約40%削減でき、乾式粉碎工程の操作効率を高めることが出来る。

既存の乾式粉碎のエタノールと併産物の製造プロセスにSMTを追加することで、エタノールへの変換に利用されるデンプンの量が増加し、油の回収率が向上する。現在、世界中の26のエタノール工場でSMTプロセスが使用されている。

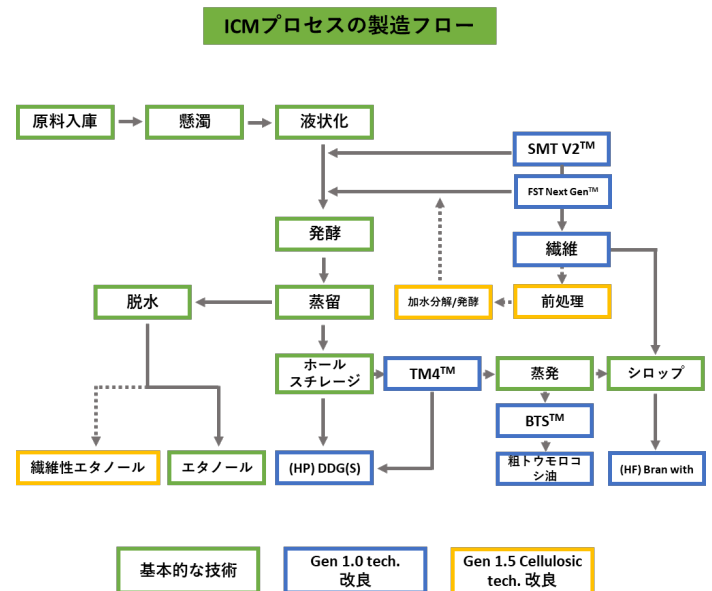


図1. エタノール工場でのエタノールおよび併産物製造工程におけるICM社のSMT、FST、TS4およびGen 1.5の概要

Fiber Separation Technology™ (FST)

FSTはSMTと対応しており、トウモロコシ中のデンプンをエタノール発酵させる前に繊維を除去するように設計されている。発酵前に繊維を取り除くことで、エタノール工場では発酵槽内で発酵が可能なデンプンの量を増加させ、エタノールの生産能力と処理能力を高めることが出来る。その結果、FSTを導入したエタノール工場

は、エタノール生産能力が最大 15%、粗トウモロコシ油の抽出能力が最大 30%高まり、製造で使用する天然ガス使用量が削減され、粗繊維含量が高い、あるいは粗タンパク質(CP)含量が高い(40%)併産物を製造することが出来る。

Thin Stillage Separation System™(TS4)

ICM TS4にはいくつかの構成があり、発酵後のステレージを CP、可溶性物質、粗トウモロコシ油などの付加価値が高い成分に分離することができる。このシステムは、乾燥機と蒸留器の能力を高め、遠心分離とトウモロコシ油分離を改善し、処理能力を高め、エタノール製造工程におけるエネルギーと水の使用量を削減することで、工場の運用効率を向上させる。

Generation 1.5 – Grain Fiber to Cellulosic Ethanol Technology™(Gen 1.5)

前述した SMT および FST の使用に加えて、Gen 1.5 を設置することで、トウモロコシが含む繊維からさらに 7~10%のエタノールを生産し、粗トウモロコシ油の抽出量を最大 20%高めることが出来るこのシステムにより、エタノール工場では、現在の米国政府の繊維系エタノールインセンティブの下で生産されたエタノールの価値を1ガロンあたり最大 3 ドル高めることが出来る。さらに、トウモロコシの繊維はかさばる作物残渣よりもはるかに扱いやすいことから、繊維系エタノールを生産するための投資金額を大幅に削減できる。このプロセス技術を使用すると、高たん白質(40%)の DDGS が製造できる。

Fluid Quip, LLC による新しいプロセステクノロジーの概要(<http://fqptech.com/proven-technologies>)

3つの新しいプロセスが Fluid Quip LLC によって開発されている(図 2)。これは、既存の乾式粉碎エタノールの製造工程に組込むことで、エタノールおよび粗トウモロコシ油の収量の改善、CP 50%の DDGS、純粋な繊維、糖分を得ることが出来る。

Selective Grind Technology(SGT™)

SGT は、より多くのでん粉をエタノールに変換するための「さらし」、胚芽の剪断により多量のトウモロコシ油

が回収を目的として、マッシュクック工程に挿入される。この工程では、エタノールと粗トウモロコシ油の収量を最大化するように粒子サイズを最適化するように設計されており、エタノール収量を最大 3.5%、粗トウモロコシ油収量を最大 30%高めることが出来る。

Stillage Co-Products™(MSC)

MSC ホールシチレージから複数の製品群を分離できるように設計されている。MSC により、製造に用いた酵母とコーングルテンミールを独自にブレンドしたたん白質含量 50%の製品である Still Pro 50™を製造する。このシステムを使用すると、バックグラインドの固形物と不純物が除去されるため、乾式粉碎エタノールの製造工程の運用効率が向上し、粗トウモロコシ油の収量を最大 30%、エタノール製造能力を最大 10%向上することが出来る。MSC は、Still Pro 50™の生産量を調整できることから、残りを輸出市場向けの栄養価を持つ DDGS として仕向けることが出来る。

Clean Sugar Technology(CST™)

CST™は、トウモロコシの湿式粉碎工程と同等の糖質を生成できる。CST™は工業用糖製品群を製造するだけでなく、高価値の粗トウモロコシ油製品群を製造し、高純度のたん白質製品群を含む貴重な動物飼料原料を製造できる。

Rayeman Compression Dryer System の概要(www.rayemanelements.com)

Rayeman Compression Dryer System は、エタノール工場の大部分で使用されている従来の回転式ドラムドライヤーとは異なるユニークな乾燥システムである。生の DDGS が乾燥機に入ると、2つの特許を持つ electrically heated screws が互いにかみ合い、生の DDGS から水を絞り出す圧縮点を作り出す。これが発生すると、回転スクリーからの生の DDGS の剪断と圧縮により低温の熱が発生し、プロセス全体の各所で生の DDGS から水が蒸発する。このプロセスを使用することにより、併産物の乾燥工程で使用するエネルギーが節約され、併産物の過加熱を防ぎ、二酸化炭素排出量が削減できる。

従来の乾燥機と比較して設置コストと稼働コストの低

減が可能である。

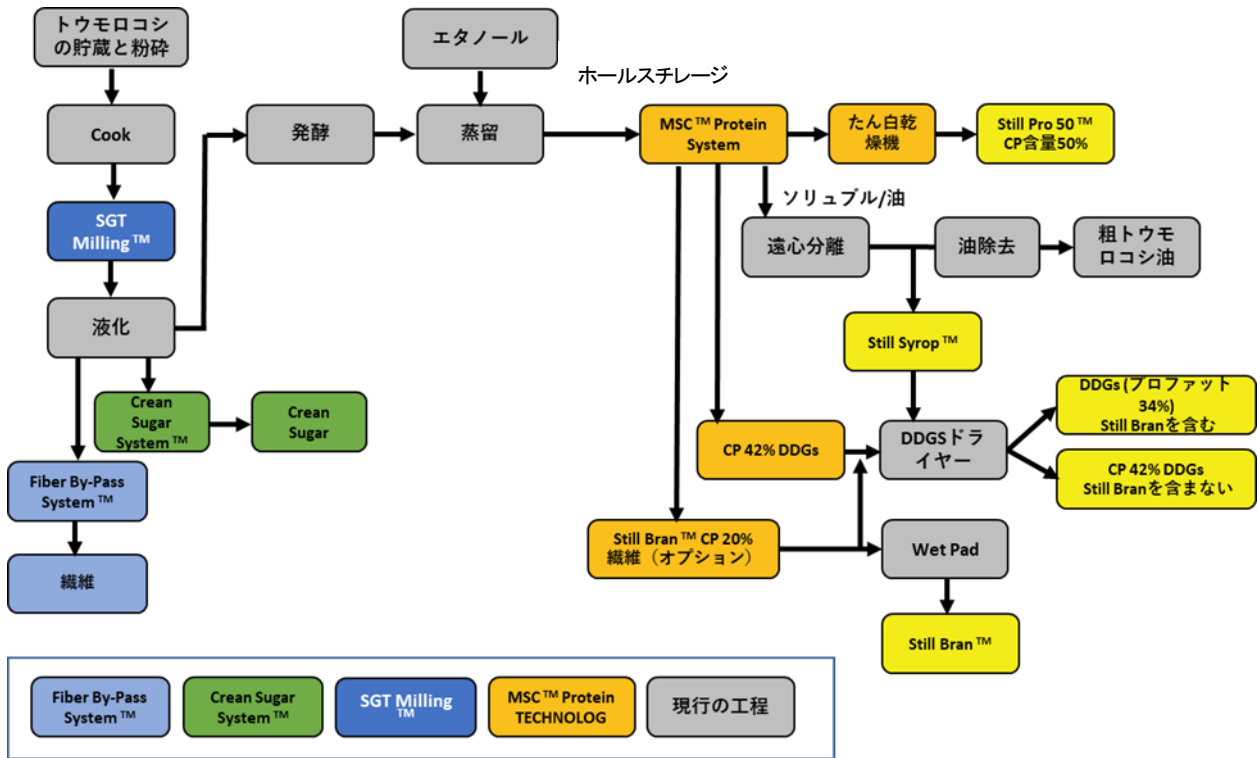


図 2. Still Pro 50™の製造時の蛋白質をシンスチレージから分離するための工程の概要

新しい高たん白・トウモロコシ併産物の栄養成分

新しい高たん白・トウモロコシ併産物の購入と使用を検討する際に考慮しなければならない点は、栄養成分とエネルギー値が特異的であり、これまでの併産物とは異なっていることである。さらに、これらの新しい製品は、それぞれを他と区別するために異なる製品名でブランド化されている。したがって、様々な畜種におけるこれらの併産物の栄養価を比較する際には注意が必要である。

Still Pro 50™を除き、生産されている新しい高たん白・トウモロコシ併産物の栄養素組成に関するデータは限られている。これは、これらの様々な新しい技術を用いたエタノール工場でのプロセスの最適化が進められている最中であるためである。したがって、原料の買い手は、これらの併産物の製造業者およびマーケティング担当者から栄養価に関する最新情報を入手する必要がある。

表 1 に示すように、現在の ICM テクノロジーを使用し

て製造された高たん白・DDGs (HP-DDG) には、以前に製造されていた HP-DDG (NRC, 2012) よりも CP 含量が低く、粗脂肪とリン含量が多く、アミノ酸組成が異なっている。成長期の豚およびブロイラーにおける ICM の HP-DDG の代謝エネルギー (ME) 価に関する研究が進められているが、以前に生産されていた豚用 HP-DDG の ME 価を考えると、新しい HP-DDG の豚およびブロイラーにおける ME 価は粗脂肪含量が中程度の DDGs (粗脂肪含量 7~9%) DDGs より高いことが期待できる。すべての畜種用飼料における HP-DDG の使用を評価した以前の研究結果を確認することは重要ではあるが、栄養特性が異なっているため、ICM HP-DDG には適用できない場合もありえる。

FST ファイバー + シロップの栄養組成については、ブラジルのトウモロコシエタノール工場では短期間しか生産されていないため、あまり知られていない。CP 含有量が低い (25.8%) ため、高たん白併産物とは見なされないが、

栄養組成は、CP、粗脂肪、可溶無窒素物(NDF)およびアミノ酸含量が従来の DDGS の一部と同等である。さらに、FST ファイバー + シロップのリン含量は、表 1 に示しており、すべての併産物中で最も高く(1.34%)、豚および家禽用飼料では、無機リン源の添加量を減らすことによる大幅なコスト削減が可能となる(含まれているリンが、DDGS と同様に消化率と生物学的利用率が高い場合)。この製品の ME 価、標準化された回腸末端アミノ酸消化率および標準化されたリンの全消化管総管消化率、有効リン含量を求めるための試験が進められている。

Purestream 40 は、HP-DDG および Still Pro 50TM よりも CP が少ない(42%)が、HP-DDG よりもリジン、メチオニン、アルギニン、ロイシン、イソロイシン含量が高い。さ

らに、最近、報告された Purestream 40 の豚における ME 価は、Still Pro 50TM、粗脂肪含量が中程度の DDGS および大豆粕より高い。しかし Pro 50TM は、すべての新しいトウモロコシ併産物の中で最も広く研究されている。これは、すべての高たん白併産物の中で CP 含量が最も高く、大豆粕と匹敵しているからである。その結果、Still Pro 50TM のアミノ酸含量は、他のすべての高たん白併産物より高くなっているが、大豆粕に比べてアルギニン、イソロイシン、リジン、フェニルアラニン、トリプトファン含量は低くなっている。Still Pro 50TM の豚における ME 価は、粗脂肪含量が中程度の DDGS よりやや低いものの、大豆粕より約 100 kcal/kg 多く、リン含量は Purestream 40 に匹敵し、DDGS、大豆粕、HP-DDG よ

表 1. 新しい高たん白・トウモロコシ併産物の栄養成分(乾物値)

乾物換算値	HP-DDG (ICM) ¹	HP-DDG (NRC, 2012)	FST Fiber+Syrup (ICM) ²	Purestream 40 ³	Still Pro ^{TM4}	粗脂肪含量が中程度のDDGS (NRC 2012)	大豆粕 (NRC 2012)
水分、%	8.8	8.8	10.0	10.7	6.8	10.7	10.0
CP、%	44.2	49.7	25.8	42.1	53.4	30.6	53.0
粗脂肪、%	8.6	3.9	7.8	9.4	5.8	10.0	1.69
NDF、%	36.0	36.9	32.9	34.8	39.5	34.1	9.1
AFD、%	17.5	22.6	9.3	15.8	20.0	13.5	5.9
ME、kcal/kg	ND5	4,092	ND	4,275	3,766	3,801	3,660
アルギニン、%	1.80 (72-79)	1.78 (85)	1.29	2.10 (87)	2.41 (81)	1.38 (81)	3.83 (94)
シスチン、%	1.02 (69-74)	0.90 (78)	0.72	0.91 (75)	1.75 (73)	0.49 (73)	0.78 (84)
ヒスチジン、%	1.16 (66-72)	1.17 (79)	0.60	1.15 (82)	1.44 (80)	0.83 (78)	1.42 (90)
イソロイシン、%	1.52 (68-75)	2.01 (80)	0.57	1.62 (82)	2.12 (75)	1.19 (76)	2.38 (89)
イソロイシン：リジン	1.13	1.50	0.66	1.05	0.98	1.18	0.72
ロイシン、%	4.95 (81-84)	6.78 (86)	1.27	5.14 (89)	6.68(85)	3.64 (84)	4.02 (88)
ロイシン：リジン	3.69	5.06	1.46	3.36	3.08	3.60	1.22
リジン、%	1.34 (47-56)	1.34 (69)	0.87	1.53 (76)	2.17 (61)	1.01 (61)	3.29 (89)
メチオニン、%	0.80 (79-83)	1.02 (86)	0.53	0.88 (87)	0.95 (84)	0.64 (82)	0.73 (90)
フェニルアラニン、%	2.29 (77-80)	2.65 (84)	0.63	2.32 (86)	2.67 (81)	1.53 (81)	2.67 (88)
トレオニン、%	1.90 (60-67)	1.74 (75)	0.80	1.66 (75)	2.57 (70)	1.11 (71)	2.07 (85)
トリプトファン、%	0.38	0.26 (82)	0.30	0.31 (80)	0.40 (81)	0.22 (71)	0.73 (91)
バリン、%	2.19 (69-75)	2.32 (78)	0.93	2.15 (81)	2.73 (74)	1.56 (75)	2.48 (87)
バリン：リジン	1.63	1.73	1.07	1.40	1.26	1.54	0.75
粗灰分、%	3.0	2.6	7.3	2.8	3.9	4.5	7.0
カルシウム、%	0.01	0.02	0.08	0.03	0.03	0.09	0.37
リン、%	0.80	0.39	1.34	0.91	1.00	0.67	0.79
イオウ、%	0.86	0.82	0.66	0.48	0.51	0.54	0.44
ナトリウム、%	0.07	0.07	0.54	0.12	0.06	0.34	0.09

- 1 ミネソタ大学で実施した最近の豚の試験で使用されたHP-DDGからのデータ。()内はRhoら(2017)によって測定された標準化された回腸消化率(豚)
- 2 FS Bioenergia (ブラジル)からのデータ
- 3 ミネソタ大学で行われた最近の給餌試験で使用されたPurestream 40のデータ
- 4 United Wisconsin Grain Processors、Flint Hills ResourcesおよびFluid Quip、LLCのStillPro 50TMのデータ

りも高くなっている。

これらの新しいトウモロコシの併産物は、すべて、カルシウムとナトリウム含量が低いが、他の穀類や大豆粕に比べてリン含有量は比較的高くなっている。HP-DDG および Still Pro 50TM のイオウ含量は、従来の DDGS よりも高く、反芻動物用飼料でこれらの併産物を多量に配合(20%を超える)する場合の制限要因になる可能性がある。

新しいトウモロコシのすべての併産物は、すべての畜種のエネルギー、可消化アミノ酸、可消化リンの優れた供給源として使用できるが、DDGS および高たん白の併産物ではロイシン、イソロイシン、バリンの含量が比較的

高く、大量の結晶リジン、スレオニン、トリプトファンを使用して大豆粕配合量を極端に減らすと、豚、家禽、魚用飼料では配合量が制限される可能性がある。リジンと比較して過剰なロイシンは、イソロイシンとバリンの利用を妨げ、豚の飼料摂取量と成長率を低下させる可能性がある。これらの影響が家禽や様々な魚種で発生するかどうかは不明だが、これら高たん白トウモロコシ併産物の配合量を高める(30%を超える)場合に、結晶イソロイシンとバリンを補充することが効果的か否かに関する研究が進められている。

フロントエンド分別により製造された HP-

DDG における動物試験の要約

フロントエンドの分別工程により製造された HP-DDG の給与による栄養価と発育成績に関して、いくつかの報告がある(表 2)。これらの報告の多くは豚および乳牛についてのものだが、わずかに、養殖魚(ニジマス)、ブロイラーおよび産卵鶏について行われた文献もある。肉牛に対する HP-DDG 給与に関する報告はない。現在の ICM プロセスを使用して作成された HP-DDG に関連する唯一の研究は、Rho ら(2017)によるものがある。以前に製造されたフロントエンド分画 HP-DDG 併産物と ICM HP-DDG とはエネルギー価と栄養素組成が異なることから、以前に公開された文献からの動物の反応を評価する際には注意が必要となる。

Still Pro 50™ の栄養価評価する研究の要約

Still Pro 50™ のユニークな特徴の 1 つは、HP-DDG、Purestream 40 および DDGS と比べて、製造工程で使用された酵母がかなりの量含まれていることである。暫定的な推定では、DDGS の酵母含量が 10%程度であるのに対して、Still Pro 50™ には 29%程度含まれていることが示されている。したがって、酵母は、この併産物にか

なりの量の CP とアミノ酸をもたらし、様々な畜種で有益な健康効果が示されている酵母細胞壁(マンナン、β-グルカン、ヌクレオチド)に由来する有益な化合物を提供している(Shurson、2017)。Still Pro 50™ のマンナン含有量は約 3%、β-グルカン含有量は約 8.4~8.8%である(Shurson、2017)。したがって、高品質のエネルギー、可消化アミノ酸、可消化リンの供給源としてだけではなく、家畜の健康にも寄与する可能性がある。Still Pro 50™ のアミノ酸(豚および家禽)および CP(反すう動物)消化率に関する予備試験結果を表 3 および表 4 に示した。Still Pro 50™ の他の栄養素とアミノ酸含量については、表 1 を参照されたい。

結論

いくつかの新しい高たん白併産物が、国内および輸出市場で利用できるようになってきている。予備試験結果では、これらの併産物の CP とアミノ酸含量は従来の DDGS と比較して大幅に高いが、アミノ酸消化率と ME 価は製品によって異なることを示している。豚、家禽、魚、反すう家畜にこれらの併産物を給与する場合の最大配合量と使用した場合の利点を確定するためには、今後の研究が必要となる。

表 2. フロントエンドの分画プロセスで製造された HP-DDG を配合した飼料を給与した場合の栄養価と飼育成績に関する公表論文

畜種	文献
養殖水産動物	Overland et al. (2013)
肉牛	なし
乳牛	Kelzer et al. (2007); Mjoun et al. (2009); Christen et al. (2010); Maxin et al. (2013a, b); Swanepoel et al. (2014)
ブロイラー	Batal (2007); Kim et al. (2008); Applegate et al. (2009); Rochelle et al. (2011);
産卵鶏	Batal (2007); Kim et al. (2008); Tangendjaja and Wina (2011)
豚	Widrymatteretal.(2007);Widrymatteretal.(2008);Gutierrezetal.(2009a,b);Andersonetal.(2012);Kimetal.(2009);Jacelaetal.(2010);Seaboltetal.(2010);aandRagland(2012);Petersenetal.(2014);Rojoetal.(2016);Rhoetal.(2017)

表3 豚および家禽に対する Still Pro 50™の ME およびアミノ酸消化率

栄養成分	豚	家禽
ME、kcal/kg (乾物値)	3,766	3,542 (TMEn)
アミノ酸の標準化された回腸消化率(豚)あるいは真の回腸消化率(家禽)、%		
アルギニン	81	94
ヒスチジン	80	90
イソロイシン	75	90
ロイシン	85	94
リジン	61	81
メチオニン+シスチン	79	88
フェニルアラニン	81	92
トレオニン	70	87
トリプトファン	81	90
バリン	74	88

表4 Still Pro 50™のたん白質のルーメンおよび腸における消化率

指標	% (原物)
水溶性たん白質	28.7
ルーメン内分解性たん白質	26.1
ルーメン内非分解性たん白質	73.9
腸内可消化たん白質	63.8
非分解性たん白質中の腸内非消化性たん白質	86.4
全消化管可消化たん白質	89.9
腸内非消化性たん白質	10.1

引用文献

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.

Anderson, P.V., B. J. Kerr, T. E. Weber, C. Z. Ziemer, and G. C. Shurson. 2012. Determination and prediction of 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 dried grains for broiler chickens and its effect on nutrient excretion. *Poult. Sci.* 88:354–359.

Batal, A. 2007. Nutrient digestibility of high protein corn distillers dried grains with solubles, dehydrated corn germ and bran. 2007 ADSA/ASAS/AMPA/P

SA Joint Ann. Mtg., San Antonio, TX. July 8–12. Abstract M206.

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 three other protein supplements. *J. Dairy Sci.* 93:2095–2104.

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):

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):

- 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.
- Kelzer, J.M., P.J. Kononoff, K. Karges, and M.L. Gibson. 2007. Evaluation of protein fractionation and ruminal and intestinal digestibility of corn milling co-products. *Dakota Gold Research Association*. <http://www.dakotagold.org/research/dairy.asp> downloaded June 24, 2008.
- 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 Amezcua, 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.
- Maxin, G., D.R. Ouellet, and H. Lapierre. 2013. Ruminal degradability of dry matter, crude protein, amino acids in soybean meal, 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 soybean meal 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, 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.
- Overland, M., A. 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*). *Aquacult.* 416–417:201–208.
- Petersen, G.I., Y.Liu, and H.H. Stein. 2014. Coefficient of standardized ileal digestibility of amino acids in corn, soybean meal, corn gluten meal, high-protein distillers dried grains and field peas fed to weaning pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 188:145–149.
- Rochelle, 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.
- 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.* 2017.95 doi:10.2527/jas2017.1553
- 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. 2017. Review: Yeast and yeast derivatives in feed additives and ingredients: Sources, characteristics, animal responses and quantification methods. *Anim. Feed Sci. Technol.* (in press).
- 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* p. 133–139. <http://medpet.jouranl.ipb.ac.id/> Doi: 10.5398/medpet.2011.34.2.133

Widry matterer, M.R., L.M. McGinnis, and H.H. Stein. 2007. Energy, phosphorus and amino acid digestibili

ty of highprotein distillers dried grains and corn germ fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 85:2994–3003.

Widry matterer, 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.