

第 22 章

養豚飼料としての低脂肪 DDGS の利用

はじめに

従来からトウモロコシ DDGS には 10 から 11%の粗脂肪が含まれ、豚に給与する場合の代謝エネルギー含量 (ME) はトウモロコシと同程度とされてきた (Stein と Shurson、2009)。しかしながら過去 2 年の間に、水分を除去して濃縮ジスチラーズ・ソリュブルを作製し、粗粒穀物部分と混ぜ合わせ、乾燥させて DDGS を製造する前に、シンステイレージから油分をある程度抜き取るために必要となる遠心分離技術に投資するエタノールプラントが増加してきた。現在、米国エタノール産業の約 35%が DDGS の製造に先立ち、シンステイレージから油分を一部除去している。業界の専門家は、2012 年末までにエタノール業界の 50%が油分抽出を行うようになり、2013 年末までには業界の 70%がこの技術を使用するようになると予測している。

油分抽出技術が急速に採用されるようになったのは大きな経済的見返りがあるためである。例えば、1 億ガロン規模のエタノールプラントの場合には、300 万ドルの設備 (例えば、建屋、遠心分離器 2 機、配管) および操業費 (電気) に投資すれば、1 年に 2000 万ポンドの油分を抽出することができる。粗トウモロコシ油の現在の市場価格は 1 ポンド 0.50 ドルであるから、年 1000 万ドルの総収益となる。よって、遠心分離技術を導入するための初期設備投資費用は操業して 4 ヶ月もたないうちに回収することができる。この粗脂肪の約 90%がバイオディーゼル業界に販売され、残り 10%は養鶏用の飼料目的で販売されている。

そこで、油分抽出技術を導入すると、それ以前と比較して DDGS に含まれる粗脂肪含有率のばらつきの範囲が拡大する (3 から 12%)。油分に含まれるエネルギーは糖分 (例えば、デンプン) に含まれるエネルギーの 2.25 倍で、トウモロコシ油を除去すると DDGS の ME 含量が減少する。こうしたエネルギー含量の減少は、程度の差はあるもののすべての動物用飼料での DDGS の経済価値や使用率に影響を及ぼす。問題はどの程度かということである。これが分かれば、DDGS エンドユーザーは予測されるエネルギー価の減少を理由に低脂肪 DDGS のディスカウントを要求する。そうすると DDGS の市場価格が下がり、エタノールプラントの DDGS 販売による収入は減少するが、トウモロコシの粗脂肪の販売で増大する収益はこの減少分を補ってなお余りある。飼料設計 (例えば、飼料配合率、他のエネルギー源の追加) に適切な修正を加えて望ましい飼料エネルギーレベルを達成することができるよう、栄養担当者はトウモロコシ油の一部除去によってどの程度エネルギー含量が減少するのかを知りたいと考えている。

DE と ME の推定値および「一般的」な DDGS の供給源間のばらつき

豚用飼料においてジスチラーズ・ドライド・グレイン・ウイズ・ソリュブルは主としてエネルギー源となるものだが、相当量の可消化アミノ酸および有効態リンも供給する。最近行われている試験では、様々な供給源の DDGS の DE (可消化エネルギー) および ME 含量を見極め、実際のエネルギー価を推定するための化学分析手法を用いた予測式が開発されている。(Stein ら、2006 ; Pedersen ら、2007 ; Anderson ら、2011 ; Stein ら、2009 ; Mendoza ら、2010a)。これらの試験で評価した供給源の異なる DDGS の総エネルギー (GE)、DE および ME 含量の平均値および範囲を表 1 に示し、同試験で得られたトウモロコシのエネルギー価と比較している。

表 1 から分かるように、DDGS 試料の GE 平均値は 5 件の試験を通じて比較的一定しているが（5,311 から 5,593 kcal/kg DM）、GE の全体的な範囲にはばらつきがある（5,177 から 5,691 kcal/kg DM）。5 件の試験の平均 DE 推定値は 3,950 kcal DE/kg DM であるが、範囲は 3,382 から 4,593 kcal/kg DM である。DDGS 試料の ME 値が報告されているのはこれら 5 件の試験中 4 件で、それらの平均値は 3,784 kcal ME/kg DM であるが、DE 値と同様にその範囲は 3,381 から 4,336 kcal ME/kg DM にまで至る。異なる供給源による DDGS 間の DM 値に 955 kcal/kg DM というばらつき幅があるために、DDGS の配合率が高い場合には飼料エネルギー価の管理努力が困難なものになる。比較のために数値を挙げると、ME 値を報告している 4 件の試験（表 1）でのトウモロコシの ME 平均値は 3,928 kcal/kg DM（範囲は 3,805 から 4,103 kcal/kg DM）で、NRC（1998）で発表されている値（3,843 kcal/kg DM）を上回っている。この値に基づくと、DDGS の ME 平均値はおよそトウモロコシの値の 96%程度であるが、範囲はトウモロコシの値の 88.9 から 105.7%にまで至る可能性がある。

表 1. 5 件の試験の異なる供給源の DDGS およびトウモロコシの GE、DE、ME の推定値および CP、NDF、粗脂肪レベルの比較

	Stein et al. (2006)	Pedersen et al. (2007)	Anderson et al. (2011)	Stein et al. (2009)	Mendoza et al. (2010)
	Stein ら (2006)	Pedersen ら (2007)	Anderson ら (2011)	Stein ら (2009)	Mendoza ら (2010b)
試料数	10	10	6	4	17
GE 平均 kcal/kg	5,426	5,434	5,420	5,593	5,311
GE 範囲 kcal/kg	5,372-5,500	5,272-5,592	5,314-5,550	5,483-5,691	5,177-5,421
DE 平均 kcal/kg	3,556	4,140	4,072	4,029	3,954
DE 範囲 kcal/kg	3,382-3,811	3,947-4,593	3,705-4,332	3,920-4,252	3,663-4,107
ME 平均 kcal/kg	ND	3,897	3,750	3,790	3,700
ME 範囲 kcal/kg	ND	3,674-4,336	3,414-4,141	3,575-3,976	3,381-3,876
ME/DE %	ND	94.1	92.1	94.1	93.6
CP 平均 %	30.9	32.2	31.3	31.8	30.3
CP 範囲 %	28.2-32.7	29.8-36.1	29.5-34.1	30.5-33.1	27.3-33.3
NDF 平均 %	45.2	27.6	40.4	40.1	34.6
NDF 範囲 %	41.8-49.1	23.1-29.7	33.4-49.1	35.1-45.2	25.3-43.1
粗脂肪平均 %	ND	11.7	11.4	13.2	11.7
粗脂肪範囲 %	ND	9.6-14.3	10.2-12.1	10.9-14.1	8.7-14.6
トウモロコシ DE kcal/kg	3,845	4,088	3,885	4,181	3,893

これらの試験で用いられた異なる供給源の DDGS の粗タンパク質レベルは比較的一定しているが、用いられた様々な供給源の DDGS 間および異なる試験間の粗脂肪および中性デタージェント繊維（NDF）（DE および ME 含量に影響を及ぼす 2 大要素）の値には大きなばらつきがある。異なる供給源の DDGS 間の DE および ME 推定値のばらつきは供給源間で栄養組成が異なることが主たる原因であるが、代謝試験で用いた方法の差異、栄養成分測定で用いた研究室手順の差異、および試験研究所間の違いもこのばらつきにかなり影響を及ぼしていると考えられる。例えば、Pedersen ら（2007）の試験では、NDF 値の平均と範囲は他の 4 件の試験で報告されている値を大きく下回る。Pedersen ら（2007）が評価した試料の NDF の値が実際に低かったのか、あるいは他の試験の NDF 評価手順とは異なる分析方法が用いられたのかといったことは明らかにされていない。Urriola ら（2010）によれば、8 個所の異なる供給源のトウモロコシ DDGS の NDF の見かけの全消化管消化

率 (ATTD) の平均は 59.3%であったが、その範囲は 51.6 から 65.8%にまで至り、飼料中総繊維の ATTD は 39.4 から 56.4%の範囲となっている。こうした結果は異なる供給源の DDGS 間で繊維消化率に大幅なばらつきがあることを示しており、DDGS 供給源間で DE および ME 含量のばらつきが発生する大きな要因となっている可能性がある。筆者らのグループ (Pomeroy ら、2011) の最近の未発表データによれば、排泄物中の脂肪酸の消化率は脂肪酸回腸消化率を上回り、トウモロコシ-大豆粕飼料を給与した場合と比較すると、DDGS を給与した育成期の豚では一価不飽和脂肪酸 (MUFA) および飽和脂肪酸 (SFA) の消化率が高くなるが、多価不飽和脂肪酸 (PUFA) の消化率は低くなる (30%DDGS 飼料とトウモロコシ-大豆粕飼料の比較で 66.5% vs. 77.3%)。DDGS に含まれるトウモロコシ油は主として PUFA であるため、また、DDGS の粗脂肪含有量には大幅なばらつきのある可能性があるため、こうした要素もまた異なる供給源の DDGS 間で ME 値にばらつきが発生する原因となっている。

飼料中繊維が増加すると見かけの脂肪消化率が大幅に低下することを複数の研究者らが報告している (Dierick ら、1989 ; Noblet と Shi、1993 ; Shi と Noblet、1993) 。Just (1982a,b) によれば、見かけの脂肪消化率は飼料中の粗繊維が 1 パーセント増加するごとに 1.3 から 1.5 パーセント減少し、この粗繊維の抑制作用はある程度飼料供給源によって異なる。Noblet と Shi (1993) は、見かけの脂肪消化率が飼料中 NDF 含有率の増加に伴って線形増加し、同時に飼料中脂肪レベルの増加に伴って脂肪消化率も増加することを明らかにした。こうした試験結果は、様々な供給源の DDGS について ME 値を正確に推定しようとする我々の能力が数多くの要因に影響されることを示唆している。供給源別にそれぞれ ME 推定値を入手する必要があることから、迅速で正確かつ低価格の「栄養学ツール」を開発、検証、導入し、異なる供給源の DDGS について実際のエネルギー価を推定しなければならない。

低脂肪 DDGS についての試験結果

最近になって、育成期豚において低脂肪が ME 含量に及ぼす影響を推定する 3 件の試験結果が発表された (Dahlen ら、2011 ; Jacela ら、2011 ; Anderson ら、2011) 。Jacela ら (2011) および Anderson ら (2011) の試験の DDGS はヘキササン抽出により油分除去されたものである。Dahlen ら (2011) の試験では DDG (ソリュブル不添加) の DE および ME 含量を DDGS と比較している。この DDGS は油分含有率が僅かに上回るもので (乾物比で 10.02%) 、同じエタノールプラントで製造されたものである。これらの試験で評価された低脂肪源の栄養成分含有量を表 2 に示した。

粗脂肪含有量に基づく DE および ME 推定値に大きなばらつきがあるため、これらの試験から得られた結果から油分抽出が ME 含量に及ぼす影響を推し量ることに問題がある。例えば、Anderson ら (2011) の試験で評価された脱油 DDGS では粗脂肪の含有率 (3.15%) が最も低く、NDF の含有率 (50.96%) は最も高いが、DE 含量 (3,868 kcal/kg ME) は 3 種の供給源中で最も高い値となっている。Anderson ら (2011) によって評価された脱油 DDGS と同じく、Jacela ら (2011) によって評価された脱油 DDGS も同様の製造技術を採用している VeraSun エタノールプラントから入手したものである。ところが、Anderson ら (2011) が評価した試料と同程度の GE 含量を示しているにも関わらず、Jacela ら (2011) の脱油 DDGS は粗脂肪 (4.56%) がわずかに高く、NDF (35.58%) が大幅に低いものの、DE 含量 (3,100 kcal/kg) は最低値となっている。このような大きな矛盾は、この 2 件の試験の間に DE 評価方法および分析方法に相当な差があることや、研究所での誤差のあることを示唆している。さらに、Jacela ら (2011) の試験で用いられた脱油 DDGS の ME および NE 推定値は、トウモロコシのジスチラーズ併産物専用としてではなく、配合済みの飼料を対象として開発された数式を用いて算定されたものであるということも、こうした推定値に大きな疑問符が付く原因となっている。Dahlen ら (2011) の試験で報告された、粗脂肪 1%の減少

が ME 含量に及ぼす影響についても疑わしい点がある。何よりも、こうした試験で DDGS の ME 含量を同じ供給源から入手した DDG と比較しているということが妥当ではない。というのも濃縮ソリュブルの栄養成分そのものが DDG には欠けており、従って灰分が少なく繊維分が多くなり、結果的に粗脂肪を 1 パーセント低減した場合の ME 推定値が正しく得られないことになる。

Anderson ら (2011) の試験では、6 個所の異なる供給源の DDGS の粗脂肪は 10.16 から 12.10% で、ME 含量は 3,414 から 4,141 kcal/kg であった。基準値として脱油 DDGS を用い、粗脂肪を 1 パーセント引き下げた場合の影響を算定すると、それぞれ、59、1、41、-28、25 kcal/kg DM となっている。マイナスの数字さえ出現するこの大きなばらつきは、ME 含量を粗脂肪含有率のみに関係付けることに大きな問題があることを示唆している。

Kil ら (2010) は育成期の豚を対象として、トウモロコシ油を抽出した場合と抽出せずそのままの場合の影響、飼料中 NDF が内因性脂肪損失および脂肪の回腸消化率と全腸管消化率に及ぼす影響を見極めるための試験を実施した。研究者らはトウモロコシ油を抽出した場合では回腸末端部および全腸管内での見かけの消化率および真の消化率が抽出しない場合よりも高くなるが、精製 NDF はトウモロコシ油の見かけの消化率および真の消化率にほとんど影響を及ぼさないことを示した。トウモロコシ油の見かけの回腸消化率および全腸管消化率は、脂肪の形態のいかんに関わらず、飼料中の脂肪含有量が増加するに従って曲線増加を示すことも明らかにされた。内因性脂肪の損失に総脂肪産出量は大きく影響されることから、飼料中脂肪量が多い場合よりも少ない場合の方が、見かけの脂肪消化率への影響は大きい。こうした結果から、DDGS に含まれる粗脂肪の線形減少が ME 含量の線形減少に結びつく単純に推測することができない理由について追加的な知見がもたらされる。

表 2. 低脂肪 DDGS (RF-DDGS) と DDG の栄養組成およびエネルギー価の比較 (DM 比)

栄養成分	DDG – Dahlen ら 2011	脱油 DDGS – Jacela ら 2011 ¹	脱油 DDGS – Anderson ら 2011
DM	90.33	87.69	87.36
GE kcal/kg DM	5,536	5,098	5,076
DE kcal/kg DM	3,232	3,100	3,868
DE/GE	58.38	60.80	76.20
ME kcal/kg DM	2,959	2,858 ²	3,650
ME/GE	53.45	56.06	71.91
ME/DE	91.55	92.19	94.36
ME kcal/1%脂肪低減	5.0	ND	17.0 ⁴
NE kcal/kg DM	ND	2,045 ³	ND
CP	34.98	35.58	34.74
粗脂肪	8.80	4.56	3.15
NDF	ND	39.46	50.96
ADF	20.37	18.36	15.82
灰分	2.57	5.29	5.16
アルギニン	ND	1.50 (82.7)	1.44

システイン	0.60	ND	0.61
ヒスチジン	ND	0.93 (74.6)	0.89
イソロイシン	ND	1.38 (74.5)	1.25
ロイシン	ND	4.15 (83.8)	4.12
リジン	1.04	0.99 (50.4)	1.00
メチオニン	0.65	0.67 (80.4)	0.64
フェニルアラニン	ND	1.92 (80.8)	1.51
トレオニン	1.22	1.26 (68.9)	1.26
トリプトファン	0.20	0.22 (78.0)	0.18
バリン	ND	1.75 (73.8)	1.76
カルシウム	0.03	0.06	0.07
リン	0.61	0.87	0.84

¹ 括弧内の数値はアミノ酸の標準回腸消化率である。

² ME 価は $ME = 1 \times DE - 0.68 \times CP$ として算出した ($R^2 = 0.99$; Noblet と Perez, 1993)。

³ NE 価は $NE = (0.87 \times ME) - 442$ として算出した ($R^2 = 0.99$; Noblet ら, 1994)。

6 個所の異なる供給源から入手した DDGS の平均脂肪および ME 含量と比較した平均減少値。粗脂肪含有率の範囲が 10.16 から 12.10% で、ME 含量が 3,414 から 4,141 kcal/kg である DDGS 6 種の粗脂肪減少率 1% 当たりの ME 値はそれぞれ 59, 1, 41, -28, 25 kcal となった。

DDGS 低脂肪化の ME と DE への影響

豚を対象とした場合に低脂肪 DDGS が ME 含量に及ぼす影響を直接評価するため、ミネソタ大学と USDA-ARS は試験を実施し（未発表）、油分と ME 含量との関係を明らかにし、油分低減の影響を正確に推定するための予測式を開発した。粗脂肪含有率の範囲が 4.9 から 13.2% の合計 15 個所から入手した DDGS 試料を仕上期の豚に給与し、実際の DE および ME 含量を見極めた。DDGS から油分を抜き取った場合の栄養成分含有率の変化および相関性を明らかにするため、総エネルギーおよび栄養組成（表 3）のための試料分析も実施した。

表 3. 11 個所の供給源から入手した DDGS のエネルギーおよび栄養組成 (DM 比)

供給源別 DDGS	GE, kcal/kg	ME/GE	ME, kcal/kg	粗脂肪 %	NDF %	粗タンパ ク質 %	デンプ ン %	灰 分 %
8	5,167	69.57	3,595	13.2	34.0	30.6	1.3	5.3
11	5,130	69.37	3,559	11.8	38.9	32.1	1.1	4.9
9	4,963	71.83	3,565	9.7	28.8	29.8	2.8	5.0
6	4,963	70.68	3,508	9.6	33.0	30.1	3.4	4.9
7	4,938	69.36	3,425	10.1	38.2	30.3	2.2	5.0
2	5,075	67.01	3,401	11.1	36.5	29.7	3.9	4.3
4	4,897	68.69	3,364	8.6	35.7	32.9	0.8	5.1

3	5,066	66.04	3,346	10.8	38.6	29.7	1.6	4.6
10	4,948	67.46	3,338	10.0	35.9	32.7	1.0	5.3
1	5,077	65.06	3,303	11.2	44.0	27.7	1.8	4.4
5	5,043	64.70	3,263	11.1	39.7	31.6	0.9	5.0

DDGS 供給源の番号 8 と 9 の ME 含量および粗脂肪含有率を比較すると、粗脂肪ではその差は 3.5 パーセントであるにも関わらず、ME の差はわずか 30 kcal/kg で、すなわち脂肪 1 パーセントポイントにつき 8 kcal/kg となっている。このことは、ME 含量を粗脂肪濃度のみに関係付けると油分低減 DDGS の正確な ME 推定値を得ることが不可能となることを示唆している。理論的には、DDGS から油分を除去すると他の栄養成分の濃度が増加し、ME 含量は減少するはずである。しかしこれは DDGS から油分を 1%分取り去るとその分カロリーが減少するという単純な話ではない。図 1 に示すように、総エネルギー（GE）は粗脂肪含有率と非常に強い相関性があり、中性デタージェント繊維（NDF）、飼料中総繊維（TDF）、粗タンパク質（CP）および灰分との相関性は低いため、正確な予測式には ME を最も正確に予測するために GE を使用する必要があることを示している。粗脂肪含有率が減少すると、粗タンパク質および灰分は微増に留まる一方で、TDF は増加し、NDF は減少する。これは驚くべきことであり、何故 DDGS から粗脂肪を除去すると NDF が減少するのかは明らかになっていない。ところが、科学学術誌で報告されている他の試験では、DDGS の NDF、ADF と粗脂肪含有率との間に同様の関係があり、NDF および ADF の値は DDGS の供給源間で大きなばらつきのあることが示されている（図 2）。従って、脂肪が抽出されるに従って NDF が増加するという理論は間違いであり、油分低減 DDGS 試料間で NDF 含有率に大きなばらつきがあるため、ME 含量の推定値を算出する場合にはこのことを考慮する必要がある。

図 1. GE（総エネルギー）、NDF（中性デタージェント繊維）、TDF（飼料中総繊維）、CP（粗タンパク質）および灰分含有率に及ぼす DDGS 油分抽出（エーテル抽出=EE）の影響

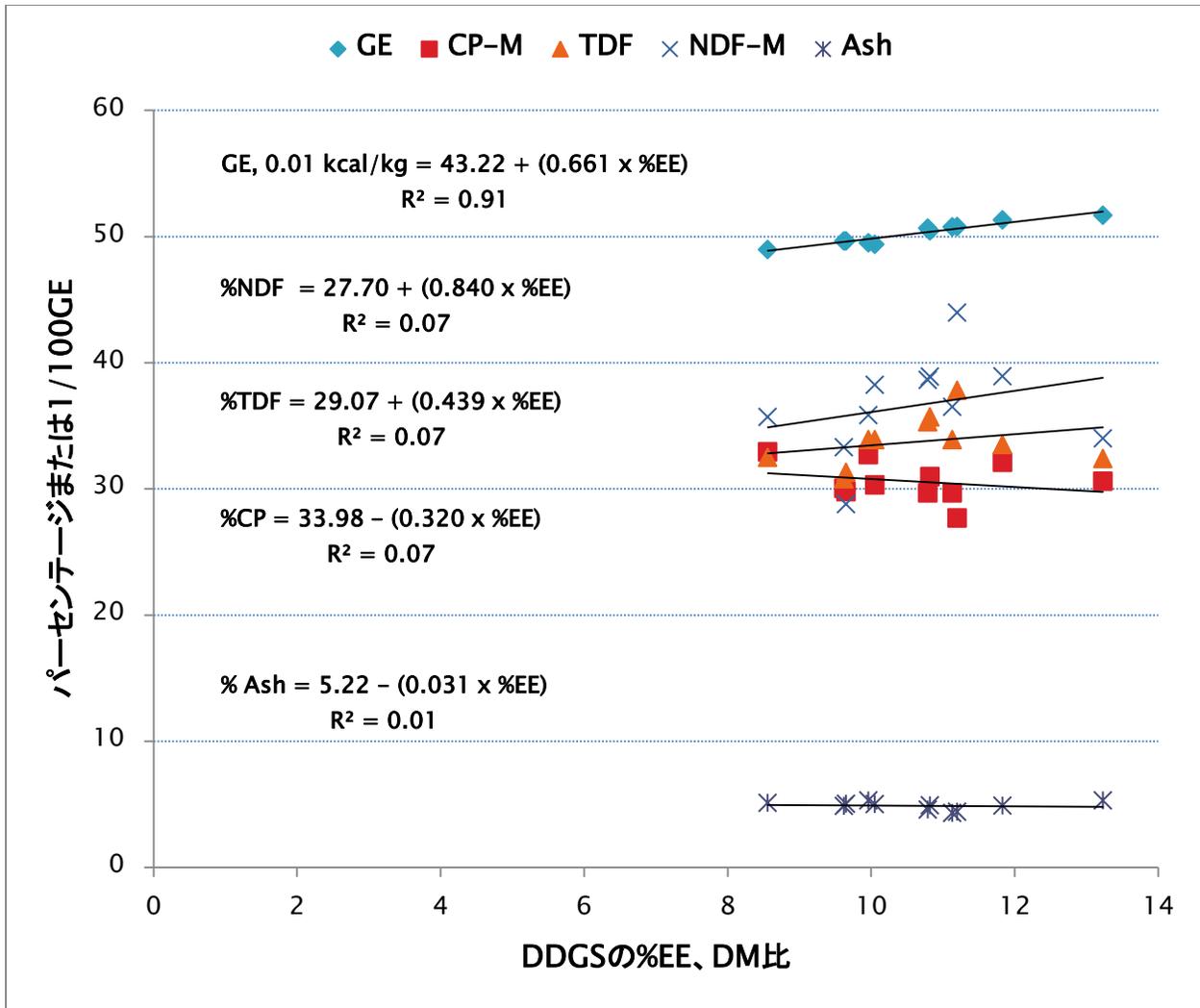


図 2. 科学学術誌発表試験における NDF、CP、ADF（酸性デタージェント繊維）および灰分含有率に及ぼす DDGS のトウモロコシ油分（EE）の影響

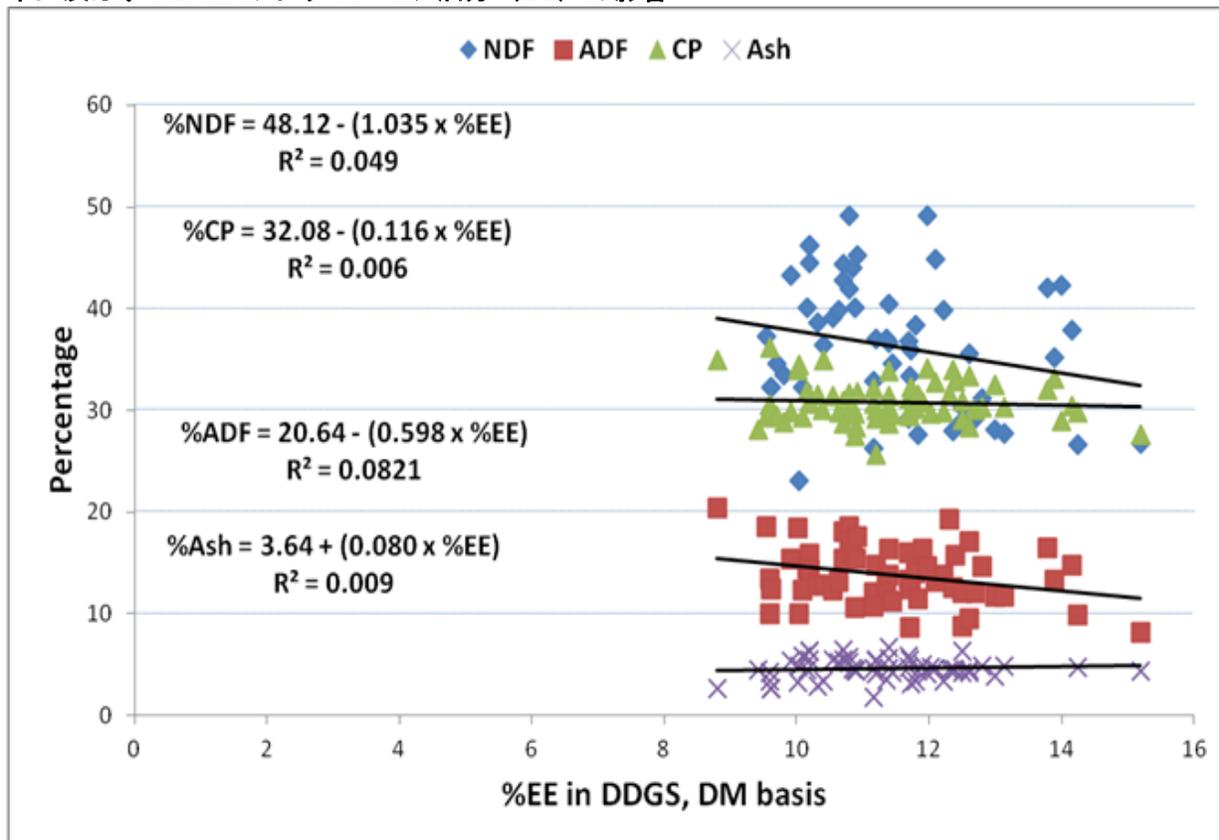


図 3 に示されるように、DDGS の DE と ME 含量への低脂肪の顕著な影響はない ($R^2 = 0.05$ から 0.11)。言い換えれば、1%の油分減少による ME 含量を無理やり推測すると、その推測は角度がとても低い ($R^2 = 0.11$) が、平均 ME 含量は乾物ベースで 30 kcal/kg 減少することになる (図 3)。したがって、正確な低脂肪 DDGS の ME の推算には、より正確な推算式を用いなくてはならない。重回帰分析を用いて得られるもっともよい推算式は：

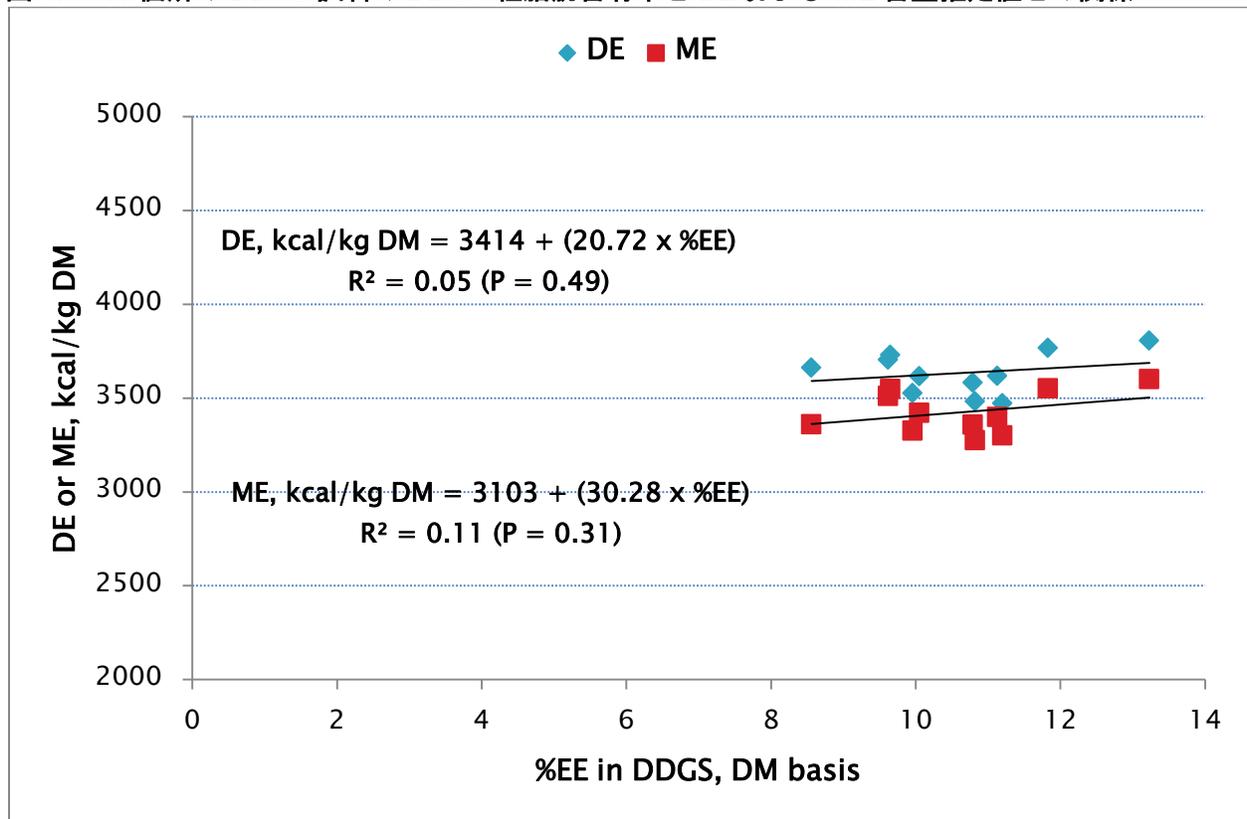
$$\text{ME kcal/kg DM} = 1,352 + (0.757 \times \text{GE kcal/kg}) - (51.4 \times \% \text{TDF}) \quad \text{SE} = 50 \quad R^2 = 0.84$$

しかし、この式に用いるための GE と TDF を民間のラボから得ることは難しい。そのため、養豚での低脂肪 DDGS の ME 含量を適度な正確さを持って推算するために、以下の式を用いることができる：

$$\text{ME kcal/kg DM} = 4,440 - (68.3 \times \% \text{ADF}) \quad \text{SE} = 58 \quad R^2 = 0.76$$

$$\text{ME kcal/kg DM} = 3,711 - (21.9 \times \% \text{NDF}) + (48.7 \times \% \text{Crude fat}) \quad \text{SE} = 75 \quad R^2 = 0.65$$

図 3. 11 個所の DDGS 試料の DDGS 粗脂肪含有率と DE および ME 含量推定値との関係



豚およびその他の動物市場セクターにとって低脂肪 DDGS が意味するものは？

- 豚において低脂肪 DDGS の ME 含量への影響は低い。
- DDGS の粗脂肪含量は ME 含量を推測するために用いるべきではない。
- 低脂肪 DDGS 中の ME をもっとも正確に推算する式は、総エネルギーと総食物繊維（TDF）を必要とする。これらの測定値を得ることは、民間のラボでは難しく、TDF を決定するためのコストは高い。
- その代わりに、より正確さには欠けるが、低脂肪 DDGS の ME 含量の適切なレベルでの推測のため、より通常にラボで行われる含量決定値を用いた以下の 2 つの式を使うことができる：
 - **ME kcal/kg DM = 4,440 – (68.3 x % ADF)**
 - **ME kcal/kg DM = 3,711 – (21.9 x % NDF) + (48.7 x % Crude fat)**
- 豚はエネルギーを得るために低脂肪 DDGS に含まれる繊維の多くの部分を利用することができると考えられる。しかしながら、家禽類は腸内発酵が限定的であるため、繊維からエネルギーを得る能力に劣り、結果的に豚よりも低脂肪 DDGS の影響を受け易いと推測することができる。

- 多くの DDGS の粗脂肪含有量にばらつきがあるので、「タンパク質-脂肪」ベースで DDGS を販売したり購入したりすることは勧められない。これは、油分抽出および豚を対象とした場合の栄養価への相対的影響の結果として、脂肪および粗タンパク質含有量に不均衡な変化が生じるためである。エンドユーザーは価格を指定し、最低粗タンパク質含有量および最低粗脂肪含有量に基づいて価格交渉を行うべきである。
- DDGS から油分を除去するとエネルギー価が減少する。豚用飼料では DDGS は主としてエネルギー源として用いられるため、ディスカウント価格の概算値を求める場合には、購入を検討する DDGS に含まれる ME 含量の減少推定値に基づいて算出し、「一般的な」通常の脂肪が含まれた（原物ベースで 10 から 11%）DDGS の ME 含量をその基準とすべきである。
- 油分抽出技術を導入しているエタノールプラントの数および 1 工場内での DDGS からの油分抽出の程度を勘案すると、今後家畜・家禽市場セグメント間の相対的消費率が変化していく可能性が高い。配合率が高い場合でも乳脂肪減少のリスクがさほど大きくないため、酪農業界での使用量が増加してゆくと考えられる。飼養牛用飼料としては今後も比較的高い配合率での使用が続き、エネルギー価減少分の推定値に基づく価格調整が行われる。豚用飼料としては今後も使用が継続されるが、エネルギーという観点から価格のディスカウントは小幅なものとなり、豚肉脂肪品質への悪影響を最小限に抑えるため、油分の含有量に依存して使用量が増加する可能性がある。米国では、すべての食用動物の中で、家禽類が最も脂肪低減の影響を受け易く、エネルギー価減少の程度に依存して配合率が低下するか、または全く使用されなくなる可能性もある。

References

- Anderson, P.V., B. J. Kerr, T. E. Weber, C. Z. Ziemer, and G. C. Shurson. 2011. Determination and prediction of energy from chemical analysis of corn co-products fed to finishing pigs. *J. Anim. Sci.* (jas.2010-3605).
- Dahlen, R.B.A., L. J. Johnston, S. K. Baidoo, G. C. Shurson, and J. E. Anderson. 2011. Assessment of energy content of low-solubles corn distillers dried grains and effects on growth performance, carcass characteristics, and pork fat quality in growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 89:3140-3152.
- Dierick, N. A, I. J. Vervaeke, D. I. Demeyer and J. A. Decuyper. 1989. Approach to the energetic importance of fiber digestion in pigs. I. Importance of fermentation in the overall energy supply. *Anim. Feed Sci. Tech.* 23:141-167.
- 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.L. Prusa. 2011. Amino acid digestibility and energy content of deoiled (solvent-extracted) corn distillers dried grains with soluble for swine and effects on growth performance and carcass characteristics. *J. Anim. Sci.* 89:1817-1829.
- Just, A. 1982a. The influence of crude fiber from cereals on the net energy value of diets for growth in pigs. *Livest. Prod. Sci.* 9:569-580.
- Just, A. 1982b. The influence of ground barley straw on the net energy value of diets for growth in pigs. *Livest. Prod. Sci.* 9:717-729.
- Kil, D.Y., T.E. Sauber, D.B. Jones, and H.H. Stein. 2010. Effect of the form of dietary fat and the concentration of dietary neutral detergent fiber on ileal and total tract endogenous losses and apparent and true digestibility of fat by growing pigs. *J. Anim. Sci.* 88:2959-2967.
- Mendoza, O.F., M. Ellis, A.M. Gaines, M. Kocher, T. Sauber, and D. Jones. 2010. Development of equations to predict the metabolizable energy content of distillers dried grains with soluble (DDGS) samples from a wide variety of sources. *J. Anim. Sci.* 88 (E-Suppl. 3):54.
- Noblet J., and X.S. Shi. 1993. Comparative digestive utilization of energy and nutrients in growing pig fed ad lib and adult sows fed at maintenance. *Livest. Prod. Sci.* 34:137-152.

- Noblet, J., H. Fortune, X.S. Shi, and S. Dubois. 1994. Prediction of net energy value of feeds for growing pigs. *J. Anim. Sci.* 72:344-354.
- Noblet, J., and J.M. Perez. 1993. Prediction of digestible nutrients and energy values of pig diets from chemical analysis. *J. Anim. Sci.* 71:3389-3398.
- NCR 1998. *Nutrient Requirements of Swine* (9th Ed.). National Academy Press, Washington DC.
- Pedersen, C., M.G. Boersma, and H.H. Stein. 2007. Digestibility of energy and phosphorus in ten samples of distillers dried grains with soluble fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 85:1168-1176.
- Pomeranke, J.M. 2011. Effects of dietary tallow and DDGS effects on growth performance, pork fat quality, and fatty acid digestibility in growing-finishing pigs. M.S. Thesis. University of Minnesota.
- Shi, X. S. and J. Noblet. 1993. Digestible and metabolizable energy values of ten feed ingredients in growing pigs fed ad libitum and sows fed at maintenance level: Comparative contribution of the hindgut. *Anim. Feed Sci. Tech.* 42:223-236.
- Stein, H. H., and G. C. Shurson. 2009. BOARD-INVITED REVIEW: The use and application of distillers dried grains with solubles in swine diets. *J Anim Sci* 87: 1292-1303.
- Stein, H.H., M.L. Gibson, C. Pedersen, and M.G. Boersma. 2006. Amino acid and energy digestibility in ten samples of distillers dried grain with soluble fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 84:853-860.
- Stein, H.H., S.P. Connot, and C. Pedersen. 2009. Energy and nutrient digestibility in four sources of distillers dried grains with soluble produced from corn grown within a narrow geographical area and fed to growing pigs. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 22:1016-1025.
- Urriola, P.E., G.C. Shurson, and H.H. Stein. 2010. Digestibility of dietary fiber in distillers coproducts fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 88:2373-2381.