

第 21 章

養豚飼料としての DDGS の使用

はじめに

米国ではトウモロコシのドライド・ジスチラーズ・グレイン・ウィズ・ソリュブル (DDGS) は最も人気があり経済的で広く入手が可能な豚用代替飼料原材料となりつつあり、豚の生産の全段階で用いられている。トウモロコシ DDGS にはトウモロコシとほぼ同量の可消化エネルギー (DE) および代謝エネルギー (ME) が含まれているため、豚用飼料では主としてエネルギー源として用いられている。ただし低脂肪 DDGS を給与した場合には、ME 値はわずかに減少する (第 22 章参照)。従って、豚用飼料では主としてトウモロコシのような高エネルギー原材料の一部を DDGS で置換することができるが、大豆粕や無機リンといった高タンパク質原材料の中にもその一部を DDGS で置換することができるものがある。Stein と Shurson (2009) が発表した科学レビューは、2009 年までの文献に記載された豚への DDGS 給与に関する公開科学情報のすべてをまとめたものである。本ハンドブックの第 35 章にはレビューのすべてを参照できるようリンクを記載した。本章の目的はこの包括的な文献レビューの主要部分を要約して記載するとともに、2009 年以降の様々な試験について発表された結果を付け加えて情報の最新化を図ることである。

豚に給与する場合の DDGS の栄養価

豚用飼料設計で用いる DDGS の栄養組成および消化率/有効率は第 4 章「DDGS の栄養成分と消化率：ばらつきと *In Vitro* 測定」に詳細に記載している。DDGS はエネルギー値が高く (3,674~4,336 kcal ME/kg、乾物ベース)、タンパク質 (27~33%、乾物ベース) およびリジン (0.60~1.1%、乾物ベース) のを適度に含み、重要な栄養成分であるリンの含有率 (0.57~0.85%、乾物ベース) および消化率 (50~68%) が比較的高いため、魅力的な豚用代替飼料原材料となっている。しかしながら、他の飼料原材料と同様に、DDGS を生育期 - 仕上期の豚用飼料に配合する場合に、経済的価値および発育成績面での価値を最大限に高める上で対処しなければならない複数の問題が存在する。エネルギー値が高く、可消化リンが多く含まれているという長所に加え、生育期の豚に給与した場合には内臓の健康に貢献することも考えられている。DDGS の高配合に対する制限 (>20%) は、豚脂肪の硬度の低下、排泄物量の増加、窒素およびリンの排泄量の増加、および飼料に結晶性アミノ酸の添加の必要性などを考慮したものである。ただし、こうした制限は、適切な飼料設計法を理解・適用することで容易に乗り越えることのできるものである。

離乳飼料への DDGS の使用

最大 30% まで DDGS を配合した飼料を離乳期の豚に給与してその影響を評価する試験が 10 件実施されており、その結果を (表 1) に示した。実施されたすべての試験において、DDGS を含まない対照飼料との比較で ADG (1 日平均体重増加率) の変化はみられなかった。試験の 80% で ADFI (1 日平均飼料摂取率) に変化はみられず、試験の 50% で増体効率に改善がみられたが、豚斃死率への影響は認められなかった。こうした試験結果は、発育成績および斃死率に悪影響を及ぼすことなく、DDGS は最大 30% まで離乳期豚用飼料に配合して、離乳後 14 日から 21 日 (21 日齢で離乳) まで効果的に用いることが可能であることを示唆している。

表 1. 離乳期豚用飼料に最大 30% までトウモロコシ DDGS またはソルガム DDGS を配合した場合の反応の要約¹

項目	N	トウモロコシ DDGS 飼料に対する反応		
		増加	減少	変化なし
ADG	10	0	0	10
ADFI	10	0	2	8

G:F	10	5	0	5
斃死率	2	0	0	2

¹ Whitney と Shurson (2004)、Gaines ら (2006)、Linneen ら (2006)、Spencer ら (2007)、Barbosa ら (2008) および Burkey ら (2008) による試験結果から算出したデータ
出典：Stein and Shurson (2009) .

最近新たに実施された 2 件の試験もこうした結果を裏付けている。Zhu ら (2010) は 4 件の試験を実施して、幼齢期後半の飼料に DDGS を 30%配合した飼料を給与した場合の豚の発育成績に及ぼす影響を評価するとともに、DDGS を 30%配合したペレット飼料およびミール飼料を給与して、発育成績および栄養成分消化率に及ぼす影響を比較した。その結果、発育成績に影響を及ぼすことなく、幼齢期後半の飼料として 30%DDGS を 10~23 kg の豚に給与することができることが明らかになった。DDGS ペレット飼料によりエネルギーおよび大半の栄養成分の消化率が上昇したため、発育成績および飼料効率が改善した。同様に Tran ら (2011) は、発育成績に影響を及ぼすことなく、幼齢期全体にわたって DDGS を 15%配合した飼料を給与することができ、幼齢期後半では DDGS を 30%まで配合した飼料を給与することができることを示した。飼料にラクトースを添加すると、DDGS を配合した飼料を給与している離乳期の豚の発育成績の維持に役立つ可能性があり、DDGS とラクトースを組み合わせると幼齢期の豚の排泄物中の乳酸菌に影響を及ぼす可能性があると考えられる。

成長期-仕上期飼料への DDGS の使用

成長期-仕上期の豚または仕上期の豚にトウモロコシ DDGS を配合した飼料を給与した場合の発育成績と DDGS を含まない飼料を給与した場合の発育成績を比較した 25 件の試験 (Stein と Shurson, 2009) から得られた結果を表 2 にまとめた。こうした試験の大半で、ADG (試験の 72%)、ADFI (試験の 65%)、および G:F 比率 (試験の 64%) に豚の成績に変化はみられず、残りの試験では成績の上昇または低下がみられた。こうした 25 件の試験の報告書から得られた情報に基づいて豚の成績が維持された理由を説明することは困難である。これらの試験の大半が DDGS 配合飼料を使用したが発育成績が低下したわけではないためである。ただし、成績が低下した試験で用いられた DDGS の品質が期待以下のもの (栄養成分の消化率が低い) であった可能性はある。この他に、成績低下が認められた試験の中には、DDGS を飼料に配合すると粗タンパク質含有率が大幅に増加したものがあり、これによって飼料中に過剰な窒素が含まれる結果となった可能性もある。ADG が減少した試験の大半で、ADFI の減少も認められた。豚に選択肢が与えられている場合には、DDGS を配合していない飼料を好んで摂取することが実証されているため、ADFI のこの減少は低品質の DDGS を使用したことが原因とも考えられる (Hastad ら、2005; Seabolt ら、2010)。こうした研究者らとは別に、何件かの試験で観察された飼料摂取量の減少は、用いた DDGS の硫黄含有率が過度に高いためではないかと考えた研究者らもいる。しかしながら、Kim ら (2011) は 4 件の試験を実施し、飼料の硫黄含有率はトウモロコシ、大豆粕および DDGS を主体とした飼料を給与した離乳期および生育期 - 仕上期豚の飼料の選り好み、飼料摂取量、発育成績に悪影響を及ぼさないことを示した。更に、Hilbrands ら (2012) は周期的に飼料に 40%DDGS を追加したり、飼料から除去したりしても、使用した DDGS の SID AA 消化率に関わりなく、発育成績には悪影響を及ぼさず、枝肉品質にも重要な影響を及ぼさないことを示した。こうした結果は、発育成績または枝肉品質に重要な悪影響を及ぼすことなく、生育期 - 仕上期の豚用飼料に突然 DDGS を配合したり、除去したりすることが可能であることを示唆している。

表 2. 成長期-仕上期豚用飼料へのトウモロコシ DDGS の配合が発育成績および枝肉特性に及ぼす影響^{1,2}

項目	N	トウモロコシ DDGS 飼料に対する反応		
		増加	減少	変化なし
ADG	25	1	6	18
ADFI	23	2	6	15
G:F	25	4	5	16
枝肉歩留	18	0	8	10
背脂肪、mm	15	0	1	14
枝肉赤身率、%	14	0	1	13
腰肉厚み、cm	14	0	2	12

腹肉厚み、cm	4	0	2	2
腹肉の締まり	3	0	3	0
ヨウ素価	8	7	0	1

¹ 2000 年以降に発表された試験に基づくデータで、使用されている DDGS の配合率は最大で 30%。

² Galapp ら (2002)、Fu ら (2004)、Cook ら (2005)、DeDecker ら (2005)、Whitney ら (2006a,b)、McEwen (2006、2008)、Gaines ら (2007a,b)、Gowans ら (2007)、Hinson ら (2007)、Jenkin ら (2007)、White ら (2007)、Widyaratne と Zijlstra (2007)、Xu ら (2007a,b、2008a,b)、Augspurger ら (2008)、Drescher ら (2008)、Duttlinger ら (2008)、Hill ら (2008a)、Linneen ら (2008)、Stender と Honeyman (2008)、Weimer ら (2008) および Widmer ら (2008) によって実施された試験結果をまとめたデータ

Stein と Shurson (2009) のまとめでは、DDGS 飼料を給与した豚の枝肉歩留を測定した 18 件の試験のうち 10 件で、DDGS を含まない飼料を給与した豚の値との差が認められなかった (Fu ら、2004；McEwen、2006；2008；Xu ら、2007b；Augspurger ら、2008；Drescher ら、2008；Duttlinger ら、2008；Hill ら、2008a；Stender と Honeyman、2008；Widmer ら、2008)。しかしながら 8 件の試験では、DDGS を配合した飼料を給与した結果として枝肉歩留が減少した (Cook ら、2005；Whitney ら、2006a；Gaines ら、2007a と b；Hinson ら、2007；Xu ら、2007a；Linneen ら、2008；Weimer ら、2008)。以前の試験では、成長期-仕上期の豚に繊維が多く含まれる飼料原材料を配合すると腸内充満感が増し、腸内質量も増すため、枝肉歩留が減少する可能性のあることが示された (Kass ら、1980)。複数の試験において、DDGS 飼料を給与した豚の枝肉歩留が減少したのはこのためと考えられるが、他の試験でこの影響が観察されなかった理由は不明である。先頃、Agyekum ら (2012) は、DDGS を 30% 配合した飼料を給与した豚の枝肉歩留りはトウモロコシ - 大豆粕飼料を給与した豚の値を下回り、内臓の質量は上回るが、複合酵素剤を DDGS 飼料に添加した場合の枝肉歩留りおよび内臓質量はトウモロコシ - 大豆粕飼料を給与した豚の値と変わらないことを明らかにした。

通常、飼料に DDGS を配合しても背脂肪の厚み、腰肉厚みおよび枝肉赤身率 (%) は影響を受けない (表 2)。1 件の試験のみで DDGS 飼料を給与した結果としての背脂肪厚みの減少が報告されており (Weimer ら、2008)、2 件の試験で腰肉厚みの減少が報告されている (Whitney ら、2006a；Gaines ら、2007b)。腰肉厚みの減少が報告された試験では、DDGS を給与した豚は ADG が低下し、出荷時体重は軽かった。枝肉赤身率 (%) の減少が報告された試験は 1 件のみである (Gaines ら、2007b)。

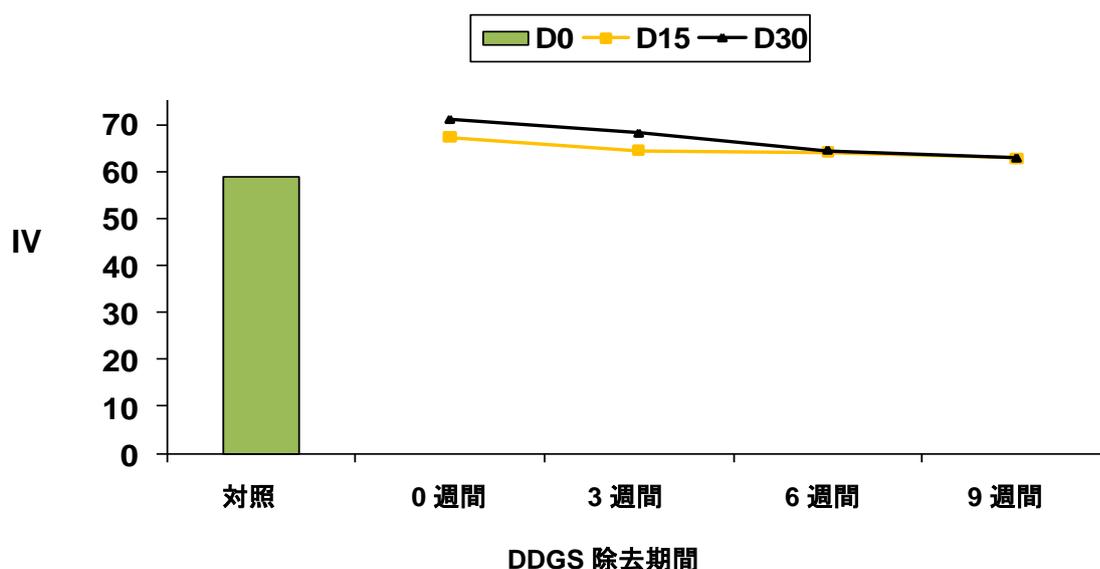
成長期-仕上期の豚用飼料に DDGS を加えた場合、特にその配合率が上昇すると、腹肉および豚肉脂肪の質に悪影響を及ぼす。DDGS には約 10% の脂肪が含まれており、50% 以上が長鎖不飽和脂肪酸であるリノール酸である。不飽和脂肪酸、特にリノール酸を多く含む飼料を給与すると、脂肪の締まりが低下し、豚肉脂肪中の不飽和脂肪酸の量が増加する。DDGS を成長期-仕上期の豚に給与した複数の試験結果から、飼料に配合するトウモロコシ DDGS の割合が増加すると、腹肉の厚みが 1 次減少を示すことが分かった (Whitney ら、2006a；Weimer ら、2008)。しかしながら、この 2 件の試験結果によれば DDGS 飼料を給与した豚の ADG も減少しており、結果として DDGS 飼料を給与した豚の出荷時体重は対照飼料を給与した豚の値を下回った。この体重減少により、DDGS 給与豚の腹肉厚みが減少したと考えられる。腹肉厚みに差異が認められなかった試験では (Widmer ら、2008 および Xu ら、2010b)、豚の最終体重にも違いが認められなかった。腹肉の締まりを測定したすべての試験 (3 件) で (Whitney ら、2006a；Xu ら、2010a；Widmer ら、2008)、DDGS を含む飼料を給与した豚の腹肉の締まりが DDGS を含まない飼料を給与した豚の値を下回った。この結果は、DDGS を給与した豚に腹肉脂肪のヨウ素価の増加が認められたと報告している 8 件の試験 (Whitney ら、2006a；White ら、2007；Xu ら、2010a；2008a；Hill ら、2008a；Linneen ら、2008；Stender と Honeyman、2008) の結果と一致している。Cromwell ら (2011) は DDGS を 30 または 45% 配合した飼料を給与し、発育成績には重要な影響を及ぼさないが、こうした飼料を給与した豚の腹部が柔らかくなるという結果を得た。回帰分析では、飼料への DDGS 配合率が 10 パーセントユニット増加するごとに、ヨウ素価が 4.3 ユニット増加した。



ヨウ素価が高いと腹肉が柔らかくなるため、枝肉脂肪のヨウ素価は枝肉脂肪の質を示す合理的な指標となり得る。DDGS の配合率を引き上げて豚に給与すると枝肉の豚脂肪のヨウ素価が増加したため、研究者らは DDGS がヨウ素価に及ぼす悪影響を低減させるための代替栄養戦略の評価を行ってきた。White ら (2007) はトウモロコシ DDGS を 20% または 40% 配合した飼料に 1% の共役リノール酸を加えて出荷前の 10 日間給与すると、脂肪ヨウ素価および n6:n3 比率が低下することを示した。Pompeu ら (2009) によって実施されたさらに最近の試験では、DDGS を 30% 含む仕上期豚用飼料に共役リノール酸を添加すると脂肪酸および豚脂肪の質が改善することが確認された。このように、DDGS が配合された飼料に共役リノール酸を加えて仕上後期の豚に給与すると、枝肉脂肪のヨウ素価低減に役立つ可能性がある。加えて、出荷前最終の 3~4 週間にわたり飼料から DDGS を除去しても、枝肉脂肪のヨウ素価に及ぼす DDGS の悪影響を低減させることができ、結果として豚のヨウ素価は許容可能な値になる (Hill ら、2008a ; Xu ら、2010b ; 図 1))。

他の研究者らも、DDGS を高率に含む飼料への動物性脂肪源を添加した際の豚脂肪の品質を評価している。Stevens ら (2009) は、26 日間の DDGS 除去プログラムの期間中、トウモロコシ-大豆粕飼料に選択したホワイトグリスを 5% 加えたもの、またはホワイトグリスを加えないものを給与すると、DDGS 飼料中で増加したリノイン酸に起因する脂肪の質への悪影響をある程度部分的に排除することが可能であることを示した。しかしながら彼らによれば、豚脂肪の質を完全に回復するにはさらに長い除去期間が必要であるという。飽和脂肪酸が多く含まれる (70%) 乾燥動物脂肪原材料 (飼料の 4%) を加えても、DDGS を 30% 配合した飼料を給与した結果上昇したヨウ素価は低減されなかったが (Freitas ら、2009) 、これは恐らく試験で使用した飽和脂肪の消化率の低さが原因と考えられる。Benz ら (2010) は、DDGS を様々な割合で配合し (0~20%) 、選択したホワイトグリスを 6% 含む飼料を給与した場合、未経産豚の背脂肪および腹脂肪の C18:2n-6、PUFA および PUFA:SFA 率が去勢豚の値を上回り、C14:0 濃度が下回ったが、顎肉脂肪ではこうした差のないことを示した。未経産豚の腹脂肪ヨウ素価 (IV) は去勢豚の値を上回ったが、未経産豚と去勢豚との間で背脂肪および顎肉脂肪ヨウ素価の違いは認められなかった。DDGS の配合率を引き上げて給与すると、背脂肪、顎肉脂肪および腹脂肪のヨウ素価が線形増加を示したが、顎肉脂肪は背脂肪および腹脂肪よりも DDGS の飼料配合率の増加に対する反応に乏しかった。DDGS を 20% 配合し、選択したホワイトグリスを 6% 含む飼料を給与した豚は、複数の米国豚肉処理施設が標準値として設定した顎肉最大ヨウ素価値 73g/100 g を上回った。Pomerence ら (2011) も牛脂 (動物性飽和脂肪源) を 5% 添加しても、30% DDGS 飼料を給与すると豚肉脂肪の硬度の改善には効果のないことを示した。DDGS 給与が豚肉脂肪の品質に及ぼす影響に関するより詳細な考察、およびこうした問題を飼料給与で解決する方法については第 23 章を参照されたい。

図 1. DDGS の飼料配合率 (0%、15%および 30%) ならびに除去期間 (出荷前 0、3、6、9 週間) が腹肉脂肪のヨウ素価 (IV) に及ぼす影響¹



注 : D15-9 週間および D30-9 週間 = 対照、その他 > 対照

¹Xu ら、2010b.

妊娠期および泌乳期飼料への DDGS の使用

雌豚の妊娠期飼料に 50%まで DDGS を配合しても、また泌乳期に 30%まで DDGS を配合しても、繁殖成績および乳組成に悪影響が及ぼされないことが複数の試験で示された (Wilson ら、2003 ; Hill ら、2008b ; Song ら、2010 ; Greiner ら、2008)。Wilson ら (2003) によれば、妊娠前に 50%DDGS 飼料を給与し、妊娠直前の繁殖周期の泌乳期に 30%DDGS 飼料を給与した結果として、産子のサイズが増加した。ただし、その後の試験ではこの反応は確認されていない。

DDGS と排泄物管理

DDGSを豚に給与した場合の気体および臭気の排出ならびに排泄物組成に及ぼす影響に関するデータで利用可能なものは限られている。DDGSを20%配合した飼料を10週間にわたって生育期 - 仕上期の豚に給与して採取した排泄物の硫化水素 (H₂S)、アンモニア (NH₃) および臭気の検出レベルが、トウモロコシ - 大豆粕飼料を給与した豚から採取した排泄物から得られた値と差のないことを初めて報告したのは Spielsら (2000) であった。この試験では、DDGSを配合した飼料を給与すると窒素排泄量が増加する傾向にあったが、いずれの飼料でもリンの保持量に差はみられなかった。Gralappら (2002) は DDGSを0%、10%および20%配合した飼料を仕上期の豚に給与し、飼料中のDDGS配合率が異なっても排泄物中の総固形分、揮発性固形分、化学的酸素要求量、総窒素濃度および総リン濃度に違いのないことを見いだした。ただし、飼料中のDDGSの割合が増加するに従って臭気濃度が上昇する傾向が認められた。McDonnellら (2011) は生育期 - 仕上期の豚に給与する飼料に配合するDDGSの割合を引き上げると、排泄物中の総窒素排泄量が増加することを確認したが、アンモニア排出量の増加は観察されなかった。Spielsら (2000) の所見とは対照的に、Liら (2011a) はDDGSを20%配合した飼料を生育期の豚に給与すると、硫化水素、メタン、アンモニアおよび非メタン全炭化水素の排出量が増加するが、有機微量ミネラルはDDGSが硫化水素の排出に及ぼす悪影響を軽減するための有望な戦略となることを示した。

Hillら (2008b) は雌豚の排泄物組成に関する研究の中で、泌乳期の雌豚用飼料にDDGSを配合すると、排泄物中のリン濃度がDDGSを含まないトウモロコシ-大豆粕飼料を給与した場合の値を下回することを示したが、飼料中の乾物消化率が明らかにされていないため、総リン排泄量が減少したのか否かは不明

である。Liら（2011b）は妊娠中の豚にDDGSを40%配合した飼料を給与すると、飼料に含まれる乾物の見かけの消化率が減少し、排泄物量が増加するが、生成されるスラリーの総量またはスラリー中の窒素、リン、カリウムの量には影響を及ぼさないことを示した。

飼料調製方法、DDGSの飼料配合率および微生物フィターゼが幼齢期および成長期 - 仕上期の豚の栄養バランスに及ぼす影響を評価する4件の試験が実施された（Xuら、2006a, b, c, d）。これらの試験結果から、幼豚用飼料にDDGSを配合すると、通常、乾物の消化率が低下し、排泄量が増加する結果となり、排泄物中の総リン排泄量を低下させるためにはDDGSよりもフェターゼが効果的であることが分かった。更に、20%DDGSおよびフェターゼを配合した飼料を幼豚に給与する場合には、NRC（1998）が定めたカルシウム有効リン比率（2:1～3:1）になるように飼料調製すると、排泄物中のリン排泄量を最小限に抑えるために役立つ。幼齢期の豚とは異なり、フィターゼ添加の有無を問わず、DDGSを含む飼料を成長期-仕上期の豚に給与しても、乾物消化率および排泄量は変化しなかった。

Almeida と Stein（2010）は3件の試験を実施し、可消化リンの含有率が等しくなるように調製した飼料を給与した豚は飼料中の総リン含有率が異なっている場合でも成績が同程度になり、微生物フィターゼまたはDDGSを単独配合するか、フィターゼとDDGSとを組み合わせるとリンの排泄量が減少するという仮説を調べた。これらの試験結果によれば、フィターゼを配合するとトウモロコシと大豆粕中のリンの標準全消化管消化率（STTD）は増加したが、DDGS中のリンのSTTDには影響を及ぼさなかった。最も重要なことは、豚の成績を犠牲にすることなく、STTD値に基づいて飼料設計を行うことができ、フィターゼまたはDDGSを単独で配合するか、あるいはフィターゼとDDGSとを組み合わせると、生育期の豚のリン排泄量を減少させることができるという点である。その後のフォローアップ試験では、Almeida と Stein（2012）が豚用のトウモロコシおよびトウモロコシ併産物飼料に微生物フィターゼを1kg当たり500、1,000または1,500 FTU添加した。この試験では、トウモロコシ（それぞれ40.9から67.5、64.5、74.9%に）、DDGS（それぞれ76.9から82.9、82.5、83.0%に）HP-DDG（それぞれ77.1から88.0、84.1、86.9%）およびコーンジャーム（それぞれ40.7から59.0、64.4、63.2%に）でリンのSTTDが線形増加を示した。研究者らはDDGSおよびHP-DDGよりもトウモロコシおよびコーンジャームの方が微生物フィターゼによるリンのSTTDへの影響が極めて大きいと結論付けた。従って、可消化リンまたは有効リンに基づいた飼料設計を行う場合には、DDGSを豚用飼料に添加することにより、排泄物中のリンの含有率を減らすことができる。

DDGS が成長期豚の腸の健康に及ぼす影響

Whitney ら（2006 b,c）は、飼料にDDGSを配合して成長期の若齢豚に給与すると、*Lawsonia intracellularis*の投与後に豚増殖性腸炎（回腸炎）を示す臨床的徴候、糞便排菌、腸障害、または細胞感染の発生件数が減少するか、またはその重症度を軽減するかを見極めるため、2件の試験を実施した。最初の試験では、DDGSを飼料に加えても障害発現率および障害期間、*L. intracellularis*の増殖、および障害の重症度に対する効果はみられなかった。2番目の試験では、供試豚への*L. intracellularis*の投与率を最初の試験の50%減とした。DDGSを10%配合した飼料を給与した結果、回腸および大腸の障害の期間が他の供試豚よりも短縮し、発現率が低下し、また、回腸および大腸の障害の重症度が軽減した。抗菌剤を適正投与した豚では空腸の障害の発現率および重症度が改善し、全体的に消化管障害期間が短くなる傾向がみられた。DDGSと抗菌剤（BMDおよびクロルテトラサイクロン）とを組み合わせると、障害の期間、重症度および発現率の一層の改善は認められなかった。こうした結果により、若齢豚の中程度の回腸炎に対する抵抗性という点では、飼料にDDGSを配合することによって米国で承認されている抗菌剤の適正投与と同様の効果が得られるが、さらに重症化した場合にはDDGSは効果的でないと考えられる。

DDGS を豚用飼料として用いる場合の推奨最大配合率

現時点での試験結果に基づき、以下の値を豚用飼料に用いるDDGSの最大配合率とする。

生産段階

最大飼料配合率

幼豚 (>7 kg)	30
成長期-仕上期の豚	30
発育中の未経産若齢雌豚	30
妊娠期雌豚	50
泌乳期雌豚	30
雄豚	50

こうした値はマイコトキシンに汚染されていない高品質 DDGS の使用を前提としたものである。可消化アミノ酸および有効リンの値に基づいて飼料調製する場合には、DDGS を最大 30%配合した幼豚用飼料にはトウモロコシ-大豆粕主体飼料を給与した場合と同等の発育成績を期待することができる。成長期-仕上期の豚および発育中の未経産若齢雌豚も同様に、可消化アミノ酸および有効リンの値に基づいて飼料調製する場合には、DDGS を最大 30%配合するとトウモロコシ-大豆粕飼料を給与した場合と同等の発育成績を達成できるに相違ない。しかしながら、DDGS を高率で配合すると腹肉の締まりの低下および豚脂肪の軟化の問題が発生するため、市場によっては望ましい豚脂肪品質を達成するために成長期-仕上り全体を通じて DDGS の配合率を 20%以下に抑えるか、出荷前の 3、4 週間は飼料から DDGS を除去することが求められる場合もある。同様に、発育中の未経産若齢雌豚用飼料には最大 30%の DDGS を配合することができる。DDGS がマイコトキシンに汚染されていなければ、雌豚の場合には妊娠期飼料に最大 50%まで、泌乳期飼料に最大 30%まで DDGS を配合して効果的に用いることができる。

References

- Agyekum, A.K., B.A. Slominski, and C.M. Nyanchoti. 2012. Organ weight, intestinal morphology, and fasting whole-body oxygen consumption in growing pigs fed diets containing distillers dried grains with soluble alone or in combination with a multi-enzyme supplement. <http://jas.fass.org/content/early/2012/05/02/jas.2012-4380>
- Almeida, F.N., and H.H. Stein. 2010. Performance and phosphorus balance of pigs fed diets formulated on the basis of values for standardized total tract digestibility of phosphorus. *J. Anim. Sci.* 88:2968-2977.
- Almeida, F.N., and H.H. Stein. 2012. Effects of graded levels of microbial phytase on the standardized total tract digestibility of phosphorus in corn and corn coproducts fed to pigs. *J. Anim. Sci.* 90:1262-1269.
- Augspurger, N.R., G.I. Petersen, J.D. Spencer, and E.N. Parr. 2008. Alternating dietary inclusion of corn distillers dried grains with solubles (DDGS) did not impact growth performance of finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 86(Suppl. 1):523.
- Barbosa, F.F., S.S. Dritz, M.D. Tokach, J.M. DeRouchy, R.D. Goodband, and J.L. Nelsen. 2008. Use of distillers dried grains with solubles and soybean hulls in nursery pig diets. *J. Anim. Sci.* 86(Suppl. 1):446.
- Benz, J.M., S.K. Lineen, M.D. Tokach, S.S. Dritz, J.L. Nelssen, J.M. DeRouchey, R.D. Goodband, R.C. Sulabo, and K.J. Prusa. 2010. Effects of dried distillers grains with soluble on carcass fat quality of finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 88:3666-3682.
- Burkey, T.E., P.S. Miller, R. Moreno, S.S. Shepherd, and E.E. Carney. 2008. Effects of increasing levels of distillers dried grains with solubles (DDGS) on growth performance of weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 86(Suppl. 2):50.
- Cook, D., N. Paton, and M. Gibson. 2005. Effect of dietary level of distillers dried grains with solubles (DDGS) on growth performance, mortality, and carcass characteristics of growfinish barrows and gilts. *J. Anim. Sci.* 83(Suppl. 1):335.
- Cromwell, G.L., T.S. Stahly, H.J. Monegue, and J.R. Overfield. 1993. Distillers dried grains with solubles for growing-finishing swine. Kentucky Agric. Expt. Station, Lexington. Progress Report 274. p. 30-32.
- Cromwell, G.L., M.J. Azain, O. Adeola, S.K. Baidoo, S.D. Carter, T.D. Crenshaw, S.W. Kim, D.C. Mahan, P.S. Miller, and M.C. Shannon. 2011. Corn distillers dried grains with soluble in diets for growing-finishing pigs: A cooperative study. *J. Anim. Sci.* 89:2801-2811.
- DeDecker, J.M., M. Ellis, B.F. Wolter, J. Spencer, D.M. Webel, C.R. Bertelsen, and B.A. Peterson. 2005. Effects of dietary level of distiller dried grains with solubles and fat on the growth performance of growing pigs. *J. Anim. Sci.* 83(Suppl. 2):49.

- Drescher, A.J., L.J. Johnston, G.C. Shurson, and J. Goihl. 2008. Use of 20% dried distillers grains with solubles (DDGS) and high amounts of synthetic amino acids to replace soybean meal in grower-finisher swine diets. *J. Anim. Sci.* 86(Suppl. 2):28.
- Duttlinger, A.W., M.D. Tokach, S.S. Dritz, J.M. DeRouchy, J.L. Goodband, R.D. Goodband, and H.J. Prusa. 2008. Effects of increasing dietary glycerol and dried distillers grains with solubles on growth performance of finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 86(Suppl. 1):607.
- Fastinger, N.D. and D.C. Mahan. 2006. Determination of the ileal amino acid and energy digestibilities of corn distillers dried grains with solubles using grower-finisher pigs. *J. Anim. Sci.* 84:1722-1728.
- Freitas, L.S., M.J. Azain, C.R. Dove, and T.D. Pringle. 2009. Effect of dietary distillers dried grains with solubles on performance and carcass characteristics in finishing hogs *J. Anim Sci* 87(E.Suppl. 2):332.
- Fu, S.X., M. Johnston, R.W. Fent, D.C. Kendall, J.L. Usry, R.D. Boyd, and G.L. Allee. 2004. Effect of corn distiller's dried grains with solubles (DDGS) on growth, carcass characteristics, and fecal volume in growing finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 82 (Suppl. 2):50.
- Gaines, A.M., G.I. Petersen, J.D. Spencer, and N.R. Augspurger. 2007a. Use of corn distillers dried grains with solubles (DDGS) in finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 85 (Suppl. 2):96.
- Gaines, A.M., J.D. Spencer, G.I. Petersen, N.R. Augspurger, and S.J. Kitt. 2007b. Effect of corn distillers dried grains with solubles (DDGS) withdrawal program on growth performance and carcass yield in grow-finish pigs. *J. Anim. Sci.* 85 (Suppl. 1):438.
- Gaines, A., B. Ratliff, P. Srichana, and G. Allee. 2006. Use of corn distiller's dried grains and solubles (DDGS) in late nursery pig diets. *J. Anim. Sci.* 84(Suppl. 2):120.
- Gowans, J., M. Callaahan, A. Yusupov, N. Campbell, and M. Young. 2007. Determination of the impact of feeding increasing levels of corn dried distillers grains on performance of growing-finishing pigs reared under commercial conditions. *Adv. Pork Prod.* 18:A-22.
- Gralapp, A.K., W.J. Powers, M.A. Faust, and D.S. Bundy. 2002. Effects of dietary ingredients on manure characteristics and odorous emissions from swine. *J. Anim. Sci.* 80:1512-1519.
- Greiner, L.L., X. Wang, G. Allee, and J. Connor. 2008. The feeding of dry distillers grain with solubles to lactating sows. *J. Anim. Sci.* 86(Suppl. 2):63.
- Hastad, C.W., J.L. Nelssen, R.D. Goodband, M.D. Tokach, S.S. Dritz, J.M. DeRouchey, and N.Z. Frantz. 2005. Effect of dried distillers grains with solubles on feed preference in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 83(Suppl. 2): 73.
- Hilbrands, A.M., L.J. Johnston, K.M. McClelland, R.B. Cox, S.K. Baidoo, L.W.O. Souza, and G.C. Shurson. 2012. Effect of abrupt introduction and removal of high and low digestibility corn distillers dried grains with solubles from the diet on growth performance and carcass characteristics of growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* (in press).
- Hill, G.M., J.E. Link, D.O. Liptrap, M.A. Giesemann, M.J. Dawes, J.A. Snedegar, N.M. Bello, and R.J. Tempelman. 2008a. Withdrawal of distillers dried grains with solubles (DDGS) prior to slaughter in finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 86(Suppl. 2):52.
- Hill, G.M., J.E. Link, M.J. Rincker, D.L. Kirkpatrick, M.L. Gibson, and K. Karges. 2008b. Utilization of distillers dried grains with solubles and phytase in sow lactation diets to meet the phosphorus requirement of the sow and reduce fecal phosphorus concentrations. *J. Anim. Sci.* 2008. 86:112-118.
- Hinson, R.G. Allee, G. Grinstead, B. Corrigan, and J. Less. 2007. Effect of amino acid program (low vs. High) and dried distillers grains with solubles (DDGS) on finishing pig performance and carcass characteristics. *J. Anim. Sci.* 85(Suppl. 1):437.
- Jenkin, S., S. Carter, J. Bundy, M. Lachmann, J. Hancock, and N. Cole. 2007. Determination of P-bioavailability in corn and sorghum distillers dried grains with solubles for growing pigs. *J. Anim. Sci.* 85(Suppl. 2):113.
- Kass, M.L., P.J. van Soest, and W.G. Pond. 1980. Utilization of dietary fiber from alfalfa by growing swine. I. Apparent digestibility of diet components in specific segments of the gastrointestinal tract. *J. Anim. Sci.* 50:175-191.
- Kim, B.G., Y. Zhang, and H.H. Stein. 2011. Sulfur concentration in diets containing corn, soybean meal, and distillers grains with soluble does not affect feed preference or growth performance of weanling or growing-finishing pigs. <http://jas.fass.org/content/early/2011/08/26/jas.2010-3777>

- Li, W., W. Powers, and G.M. Hill. 2011a. Feeding distillers dried grains with soluble and organic trace mineral sources to swine and the resulting effects on gaseous emissions. *J. Anim. Sci.* 89:3286-3299.
- Li, X. J., S. K. Baidoo, G. C. Shurson, and L. J. Johnston. 2011b. Effects of corn dried distillers grains with solubles (DDGS) on diet digestibility and slurry output from gestating sows. *J. Anim. Sci.* 89 (E-Suppl. 2):40.
- Linneen, S.K., J.M. DeRouchy, S.S. Dritz, R.D. Goodband, M.D. Tokach, and J.L. Nelssen. 2008. Effects of dried distillers grains with solubles on growing and finishing pig performance in a commercial environment. *J. Anim. Sci.* 86:1579-1587.
- Linneen, S K., M.U. Steidinger, M.D. Tokach, J.M. DeRouchey, R.D. Goodband, S.S. Dritz, and J.L. Nelssen. 2006. Effects of dried distillers grain with solubles on nursery pig performance. Kansas State University Swine Day 2006. Report of Progress 966. 100-102.
- McDonnell, P., C.J. O'Shea, J.J. Callan, and J.V. O'Doherty. 2011. The response of growth performance, nitrogen, and phosphorus excretion of growing-finishing pigs to diets containing incremental levels of maize dried distiller's grains with solubles. *An. Feed Sci. Tech.* 169:104-112.
- McEwen, P. 2008. Canadian experience with feeding DDGS. Pages 115-120 in Proc. 8th 632 London Swine Conf., London, ON, Can.
- McEwen, P. L. 2006. The effects of distillers dried grains with solubles inclusion rate and gender on pig growth performance. *Can. J. Anim. Sci.* 86:594.
- National Research Council. 1998. Nutrient Requirements of Swine. 10th ed. National Academy Press, Washington, D.C.
- Pomerence, J. M., G. C. Shurson, S. K. Baidoo, and L. J. Johnston. 2011. Tallow and DDGS effects pork fat quality. *J. Anim. Sci.* 89 (E-Suppl. 2):38.
- Pompeu* D., R.B. Hinson, Z.P. Zhu, B.R. Wiegand, J.W. Rickard, and G.L. Allee. 2009. Dietary inclusion of CLA changes fatty acid profiles of pigs fed 30% DDGS during the growing-finishing phase. *University of Missouri, Columbia.*
- Seabolt, B.S., E. van Heugten, S.W. Kim, K.D. Ange-van Heugten, and E. Roura. 2010. Feed preference and performance of nursery pigs fed diets containing various inclusion amounts and qualities of distillers coproducts and flavor. *J. Anim. Sci.* 88:3725-3738.
- Song, M., S.K. Baidoo, G.C. Shurson, M.H. Whitney, L.J. Johnston, and D.D. Gallaher. 2010. Dietary effects of distillers dried grains with solubles on performance and milk composition of lactating sows. *J. Anim. Sci.* 88:3313-3319.
- Spencer, J.D., G.I. Petersen, A.M. Gaines, and N.R. Augsburger. 2007. Evaluation of different strategies for supplementing distillers dried grains with solubles (DDGS) to nursery pig diets. *J. Anim. Sci.* 85(Suppl. 2):96-97.
- Spiehs, M.J., M.H. Whitney, G.C. Shurson, and R.E. Nicolai. 2000. Odor characteristics of swine manure and nutrient balance of grow-finish pigs fed diets with and without distillers dried grains with solubles. *J. Anim. Sci.* 78:69 (Suppl. 2).
- 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(4):1292-1303.
- Stender, D., and M.S. Honeyman. 2008. Feeding pelleted DDGS-based diets to finishing pigs in deep-bedded hoop barns. *J. Anim. Sci.* 86(Suppl. 2):50.
- Stevens, J. A. Schinckel, B. Richert, and M. Latour*. 2009. The impact of dried distillers grains with solubles withdrawal programs on swine carcass fatty acid profiles and bacon quality. *Purdue University, West Lafayette, IN.*
- Tran, H., R. Moreno, E.E. Hinkle, J.W. Bundy, J. Walter, T.E. Burkey, and P.S. Miller. 2011. Effect of corn distillers dried grains with solubles on growth performance and health status indicators in weanling pigs. *J. Anim. Sci.*
- <http://jas.fass.org/content/early/2011/10/07/jas.2011-4196>
- Weimer, D., J. Stevens, A. Schinckel, M. Latour, and B. Richert. 2008. Effects of feeding increasing levels of distillers dried grains with solubles to grow-finish pigs on growth performance and carcass quality. *J. Anim. Sci.* 86(Suppl. 2):51. (Abstr.)
- White, H., B. Richert, S. Radcliffe, A. Schinckel, and M. Latour. 2007. Distillers dried grains decreases bacon lean and increases fat iodine values (IV) and the ratio of n6:n3 but conjugated linoleic acids partially recovers fat quality. *J. Anim. Sci.* 85(Suppl. 2):78.

- Whitney, M.H. and G.C. Shurson. 2004. Growth performance of nursery pigs fed diets containing increasing levels of corn distiller's dried grains with solubles originating from a modern Midwestern ethanol plant. J. Anim. Sci. 82:122-128.
- Whitney, M.H., G.C. Shurson, L.J. Johnson, D.M. Wulf, and B.C. Shanks. 2006a. Growth performance and carcass characteristics of grower-finisher pigs fed high-quality corn distillers dried grain with solubles originating from a modern Midwestern ethanol plant. J. Anim. Sci. 84:3356-3363.
- Whitney, M.H., G.C. Shurson, and R.C. Guedes. 2006b. Effect of dietary inclusion of distillers dried grains with solubles on the ability of growing pigs to resist a *Lawsonia intracellularis* challenge. J. Anim. Sci. 2006. 84:1860–1869.
- Whitney, M.H., G.C. Shurson, and R.C. Guedes. 2006c. Effect of including distillers dried grains with solubles in the diet, with or without antimicrobial regimen, on the ability of growing pigs to resist a *Lawsonia intracellularis* challenge. J. Anim. Sci. 2006. 84:1870–1879.
- 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.
- Widiyaratne, G.R., and R.T. Zijlstra. 2007. Nutritional value of wheat and corn distiller's dried grain with solubles: Digestibility and digestible contents of energy, amino acids and phosphorus, nutrient excretion and growth performance of grower-finisher pigs. Can. J. Anim. Sci. 87(1):103-114.
- Wilson, J.A., M.H. Whitney, G.C. Shurson, and S.K. Baidoo. 2003. Effects of adding distiller's dried grain with solubles (DDGS) to gestation and lactation diets on reproductive performance and nutrient balance. J. Anim. Sci. 81(Suppl. 2):47-48.
- Xu, G., M.H. Whitney, and G.C. Shurson. 2006a. Effect of feeding diets containing corn distillers dried grains with solubles (DDGS), and formulating diets on total or available phosphorus basis, on phosphorus retention and excretion in nursery pigs. J. Anim. Sci. 84 (Suppl. 2):91.
- Xu, G., G. He, S.K. Baidoo, and G.C. Shurson. 2006b. Effect of feeding diets containing corn distillers dried grains with solubles (DDGS), with or without phytase, on nutrient digestibility and excretion in nursery pigs. J. Anim. Sci. 84 (Suppl. 2):91.
- Xu, G., G. He, M. Song, S.K. Baidoo, and G.C. Shurson. 2006c. Effect of Ca:available P ratio on dry matter, nitrogen, phosphorus, calcium, and zinc balance and excretion in nursery pigs fed corn-soybean meal diets containing DDGS and phytase. J. Anim. Sci. 84 (Suppl.2):91.
- Xu, G., M.H. Whitney, and G.C. Shurson. 2006d. Effects of feeding diets containing corn distillers dried grains with solubles (DDGS), with or without phytase, on nutrient digestibility and excretion in grow-finish pigs. J. Anim. Sci. 84 (Suppl. 2):92.
- Xu, G., G.C. Shurson, E. Hubly, B. Miller, and B. de Rodas. 2007. Effects of feeding corn-soybean meal diets containing 10% distillers dried grains with solubles (DDGS) on pork fat quality of growing-finishing pigs under commercial production conditions. J. Anim.Sci. 85(Suppl. 2):113.
- Xu, G., S.K. Baidoo, L.J. Johnston, D. Bibus, J.E. Cannon, and G.C. Shurson. 2010a. Effects of feeding diets containing increasing content of corn dried distillers grains with solubles to grower-finisher pigs on growth performance, carcass composition, and pork fat quality. J. Anim.Sci. 88:1398-1410.
- Xu, G., S.K. Baidoo, L.J. Johnston, D. Bibus, J.E. Cannon, and G.C. Shurson. 2010b. The effects of feeding diets containing corn dried distillers grains with soluble, and withdrawal period of distillers dried grains with solubles, on growth performance and pork quality in grower-finisher pigs. J. Anim. Sci.88:1388-1397.
- Zhu, A., R.B. Hinson, L. Ma, D. Li., and G.L. Allee. 2010. Growth performance of nursery pigs fed 30% distillers dried grain with solubles (DDGS) and the effects of pelleting on performance and nutrient digestibility. Asian-Aust. J. Anim. Sci. 23:792-798.