

第 19 章

家禽飼料としての DDGS の使用

はじめに

DDGSを家禽に給与した場合の影響を調べる試験が数多く実施されている。トウモロコシDDGSは産卵鶏、ブロイラー、アヒルおよび七面鳥用の優れた飼料原材料であり、トウモロコシの約85%のエネルギー価を持ち、タンパク質と必須アミノ酸が中程度のレベル存在し、利用可能なリンの含量が高い。正確な栄養組成を用い可消化アミノ酸量の調整はほとんど必要ないが、必要に応じて、それらに基づいて飼料調製している限り、容易に最大10%まで産卵鶏やブロイラー用の飼料に加えることができる。SwiatkiewiczとKorelski（2008）はDDGSを家禽に給与した場合の利点に関して科学文献レビューを実施し、DDGSは家禽用飼料原材料として用いることが可能であり、ブロイラーおよび七面鳥用の幼雛期飼料には5~8%の割合で、ブロイラー、七面鳥および産卵鶏用の成長期-仕上期飼料には12~15%の割合で安全に配合することができる。ただし、これらの割合は可消化アミノ酸ベースで飼料調製が行われないことを仮定した、控えめな飼料配合率である。

最近の研究（Shimら 2011；Loarら 2010；Masa'dehら 2011）から、DDGSをそれよりさらに高い配合率（たとえば20%）で加えることが、DDGSの供給源別の正確な栄養組成を用い可消化アミノ酸量に基づいて飼料調製している限り、可能であることが示された

家禽に給与する場合の DDGS の栄養価

家禽用の飼料設計で用いる DDGS の栄養組成および消化率・有効率についての詳しい情報は、本ハンドブックの第 4 章「DDGS の栄養成分と消化率: ばらつきと In Vitro 測定」を参照されたい。本項では家禽に給与した場合のアミノ酸消化率およびリン有効率の In Vitro 測定に関する追加的な情報をさらに掘り下げて記載している。

DDGS に含まれるアミノ酸の消化率と測定

Pahm ら（2009）は 7 箇所の供給源から入手したトウモロコシ DDGS を用いて標準化した可消化（SDD）リジンの含有率と相対的生体利用可能リジンの含有率を比較する試験を実施し、DDGS に含まれる SDD リジンおよび生体利用可能リジンの含有率を予測するための *in vitro* 法（反応性リジンおよびカラスコア）について評価を行った。SDD リジンおよび相対的生体利用可能リジンの平均値はそれぞれ 61.4%と 69.0%という結果になった。7 箇所の供給源のうち 5 箇所の DDGS では SDD リジンの含有率と生体利用可能リジンの含有率に差は認められなかった。DDGS 中、SDD リジンの含有率と反応性リジンの含有率との間には高い相関関係 ($r^2 = 0.84$) が認められた。ハンターL*スコアの低い値と DDGS の生体利用可能リジンの高い含有率との間に相関関係 ($r^2 = 0.90$) が認められた。研究者らは、DDGS の SDD リジン含有率を用いて家禽にとっての生体利用可能リジン含有率を予測しても過大評価する結果にはならず、SDD リジンの含有率は反応性リジンの値によって予測することができ、DDGS の生体利用可能リジン含有率は Hunter L* カラスコアによって予測できると結論付けた。



Adedokun ら (2008) は 5 日齢から 21 日齢のブロイラー雛および七面鳥雛に給与した場合の、5 種類の植物主体飼料原材料 (トウモロコシ DDGS のサンプル 2 種類、即ち色の明るい DDGS と濃い DDGS、カノーラミール、トウモロコシおよび大豆粕) のアミノ酸の標準回腸消化率を見極めた。標準化後、DDGS およびトウモロコシをブロイラー雛に給与した場合にはアミノ酸の標準回腸消化率は日ごとに増加したが、大豆粕およびカノーラミールでは増加は認められなかった。七面鳥の雛に給与した場合は、色の濃い DDGS とカノーラミールを除き、いずれの飼料原材料でも見かけのアミノ酸標準回腸消化率は経時的に増加したが、標準化後ではトウモロコシを除き、いずれの飼料原材料でもアミノ酸の消化率に経時的な変化は認められなかった。この試験結果が示唆するのは、無窒素飼料または消化率の高いタンパク質飼料を給与した家禽では、トウモロコシを除き、回腸の内因性アミノ酸流量を用いて標準化したアミノ酸消化率が大半の植物性飼料間で差のないことである。

Fastinger ら (2006) は 5 箇所の供給源から入手した色の濃さが異なるトウモロコシ DDGS について、厳密給与した雄鶏を用いたアッセイ法によって、アミノ酸含有率およびエネルギー、カラスコア、TMEn (窒素補正した真の代謝エネルギー)、みかけのアミノ酸消化率および真のアミノ酸消化率を評価した。これらの DDGS の総リジン含有率は 0.48~0.76% で、そのうち最も色の濃い DDGS のリジン含有率が最も低かった。最も色の濃い DDGS のみかけのリジン消化率および真のリジン消化率は、他の 4 種類の DDGS の値をそれぞれ約 30 パーセントポイントおよび 15 パーセントポイント下回っていた。最も色の濃い DDGS のみかけの必須アミノ酸消化率および真の必須アミノ酸消化率の平均値は、他の 4 種類の DDGS の値をそれぞれ約 10 パーセントポイントおよび 8 パーセントポイント下回っていた。最も色の濃い DDGS では TMEn の値も他の 4 種類の DDGS の値を下回っていた。こうした結果は、DDGS の L* カラスコアが 28~34 の間である場合には、アミノ酸の有効率および真の代謝エネルギー量が減少していることを示唆しており、特にリジンの場合にこれが顕著である。色の濃い DDGS は乾燥工程で熱を受けすぎていることが多く、総リジン含有率、リジン消化率および TMEn 値の低下の原因となっている。

IDEATM は特許を受けた酵素系アッセイで、家禽用飼料原材料 (大豆粕、MBM (ミートボーンミール)、家禽用副産物ミールおよびフェザーミール; Schasteen ら、2005) のアミノ酸消化率を迅速に予測することのできる商業ベースの評価法である。IDEATM を用いて DDGS のアミノ酸消化率を予測することができるか否かを見極めるため、28 種の DDGS サンプルを用いて試験を実施し、IDEATM によるアミノ酸消化率の予測値と、厳密給与し盲腸を切除した雄鶏を用いたアッセイ法による真のアミノ酸消化率とを比較した。これら DDGS サンプルの真のリジン消化率は 59.1% から 83.6% とばらつきがあり、平均は 70.3% であった。リジンについては IDEATM による予測値と雄鶏を用いて得られた真の消化率との間に高い相関関係 ($r^2 = 0.88$) が認められたが、その他のアミノ

酸については IDEATM と真の消化率との相関関係は低かった ($r^2 < 0.5$)。この試験結果によると、供給源の異なる DDGS 間で in vivo リジン消化率に大きなばらつきがあり、他のアミノ酸ではばらつきは小さく、IDEATM は家禽に給与した場合の DDGS に含まれるリジンの in vivo 消化率を予測する上で有効であるが、その他のアミノ酸については有効とは言えない。

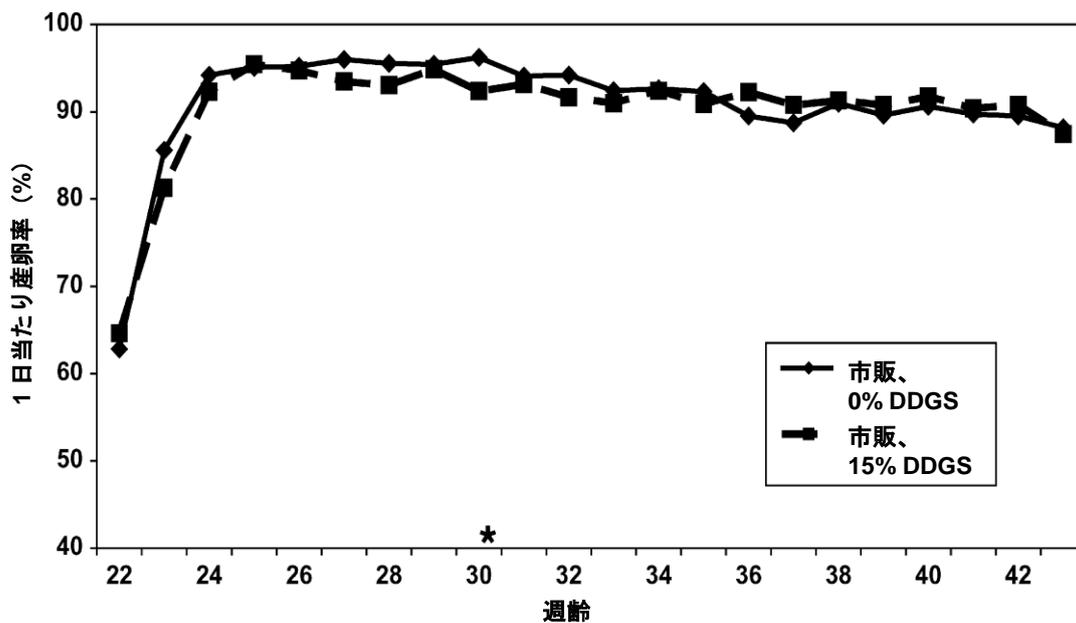
リンの有効率

家禽に DDGS を給与した場合、リンの有効率は比較的高いが、DDGS に含まれるリンの有効率を更に引き上げることを目的として、Martinez Amezcua ら (2005) は 2 件の試験を実施し、OptiPhos® フィターゼおよびクエン酸が DDGS のリン有効率改善に及ぼす効果について評価を行った。これらの試験では、Opti-phos およびクエン酸を添加した場合の脛骨灰分反応を KH_2PO_4 の脛骨灰分反応と比較した。OptiPhos® フィターゼおよびクエン酸では DDGS からのリン放出が 0.04~0.07% 上回った。このことは、OptiPhos® フィターゼとクエン酸のいずれもが DDGS に含まれるリンの有効率を増加させることを示唆している。Martinez-Amezcua ら (2006) は追跡調査として、OptiPhos® フィターゼおよびクエン酸が DDGS に含まれる生体利用不能なリンの放出に与える効果を見極めるために 3 件の試験を実施した。これらの試験により、DDGS に含まれるリンの生体利用率は 67% で、フィターゼおよびクエン酸を補うと 0.04~0.07% のリンを DDGS から放出し、DDGS に含まれるリンの生体利用率は 62% から 72% に上昇することが分かった。フィターゼおよびクエン酸は DDGS に含まれるリンの生体利用率を引き上げるが、1,000 FTU/kg のフィターゼが AME_n (窒素補正したみかけの代謝エネルギー) およびアミノ酸消化率を改善する効果には一貫性のないことを、こうした結果は示している。

産卵鶏への DDGS 給与

産卵鶏用飼料に高品質トウモロコシ DDGS を用いた試験がこれまでに相当数実施され、高品質トウモロコシ DDGS がトウモロコシ、大豆粕および無機リン酸塩の一部を置換することのできる優れた飼料原材料であり、産卵鶏の成績および鶏卵質の向上に役立つことが確認されている。Matterson ら (1966) によって報告された初期の試験結果は、産卵鶏用飼料には合成リジンを補うことなく、10~20% の配合率で DDGS を加えることが可能であり、産卵率には影響を及ぼさないことを示している。この割合で用いた場合の DDGS のタンパク質は飼料中の総タンパク質の約 30% を占めることになる。Harms ら (1969) の報告によれば、飼料中のタンパク質の一部を置換する目的で DDGS を 10% 加えた飼料を産卵鶏に給与した場合には、産卵率や卵重に影響は認められなかった。Jensen ら (1974) の報告によれば、DDGS が含まれた飼料を給与すると卵質 (ハウユニット) が改善されたが、反応には一貫性が認められなかった。Lumpkins ら (2005) が初めて高品質トウモロコシ DDGS を産卵鶏飼料に用いて評価を実施した。彼らは、DDGS 無配合または DDGS を 15% 配合した高エネルギー飼料 (2,871 kcal TME_n/kg) および低エネルギー飼料 (2,805 kcal TME_n/kg) を、Hy-line W-36 産卵鶏に 22 週齢から 42 週齢まで給与した。この試験で用いられた DDGS の色値は $L^* = 58.52$, $a^* = 6.38$, $b^* = 20.48$ であった。22 週間の全期間にわたって、DDGS 無配合または 15% 配合した高エネルギー飼料を給与した産卵鶏間の産卵率に有意差は認められなかったが、DDGS を 15% 配合した飼料を給与した産卵鶏の産卵率は DDGS 無配合の産卵鶏の値を 32 週齢まで一貫して下回った (図 1)。DDGS を 15% 配合した低エネルギー飼料を給与した場合には、26 週齢から 34 週齢までの間産卵率が低下したが、34 週齢以降は変化がなかった (図 2)。試験全期間にわたり、4 種類の調製飼料を給与した産卵鶏間で、卵重、比重、卵殻破壊強度、飼料要求率、体重、斃死率に差異は認められなかった。いずれの飼料を給与した産卵鶏も、25 週齢から 31 週齢のハウユニットは一定であった。43 週齢では、DDGS を 15% 配合した低エネルギー飼料を給与した産卵鶏のハウユニットが DDGS を 15% 配合した高エネルギー飼料を給与した産卵鶏の値を下回った。また、DDGS を 15% 配合した飼料を給与しても、卵黄色に感知し得る変化は認められなかった。こうした結果に基づいて、彼らは DDGS が積極的に受け入れられる産卵鶏用の飼料原材料であり、市販エネルギー飼料への DDGS の最大配合率は 10~12% とし、低エネルギー飼料用にはこれを下回る配合率を採用すべきであろうと結論付けた。

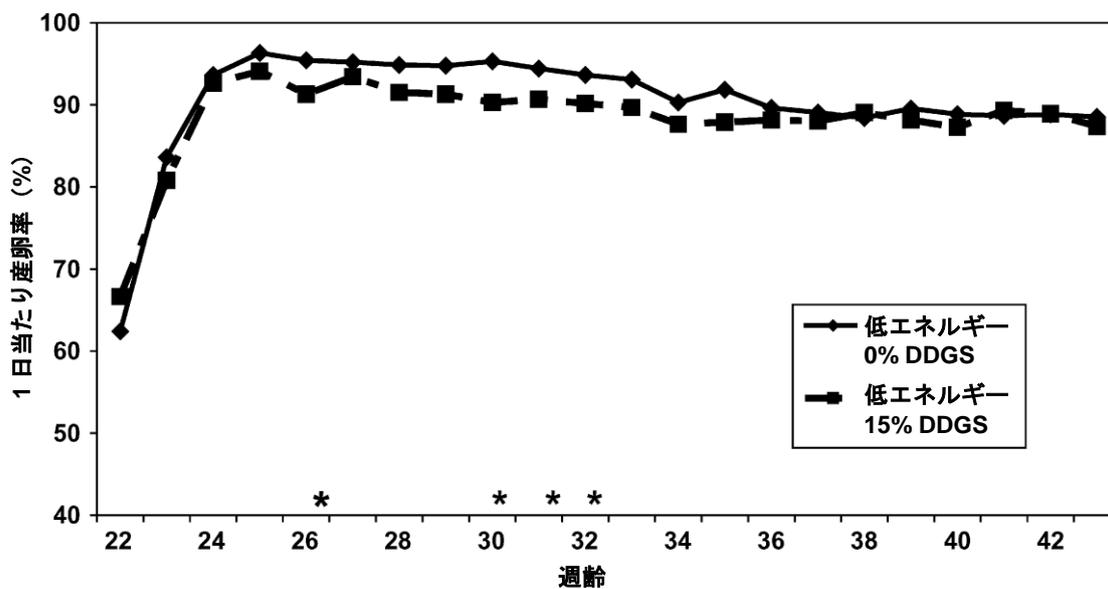
図 1. 市販の高エネルギー飼料にDDGSを配合して産卵鶏に給与した場合の1日当たり産卵率に及ぼす影響¹



*2種の飼料間の有意差 (P < 0.05)

¹Lumpkins ら、2005

図 2. 低エネルギー飼料にDDGSを配合して産卵鶏に給与した場合の1日当たり産卵率に及ぼす影響¹



*2種の飼料間の有意差 (P < 0.05)

¹Lumpkins ら、2005

同じく Roberson ら (2005) も DDGS を 0%、5%、10% または 15% 配合した飼料を産卵鶏に給与して、産卵成績パラメータおよび卵黄色に及ぼす影響を見極める 2 件の試験を実施した。最初の試験では、まず黄金色のトウモロコシ DDGS を飼料に配合し、48 週齢から 56 週齢まで給与し、次に茶色の DDGS を配合した飼料を 58 週齢から 67 週齢まで給与した。大半の週齢において、産卵測定値に変化はみられなかった。しかし、DDGS の配合率が上昇するに従って産卵量 (52 週齢から 53 週齢)、卵重 (63 週齢)、卵質量 (51 週齢および 53 週齢) および比重 (51 週齢) に 1 次低下が認められた。試験期間全体を通じて、DDGS の配合率が上昇するに従って卵黄色に 1 次上昇が認められた。2 番目の試験では、DDGS の配合率が上昇するに従って卵黄赤味 (a*) に 1

次増加が認められた。こうした結果から、黄金色の DDGS を 10%以上配合した飼料を給与すると 1 ヶ月以内に卵黄色がより一層赤味を帯び、DDGS を 5%配合した飼料を 2 ヶ月給与すると卵黄色がさらに強い赤味を帯びることが分かる。この研究者らは、産卵鶏用飼料への DDGS の配合率が 15%以内であれば産卵率には影響を及ぼさないが、試験 1 の結果にばらつきがあることから、DDGS の配合率は 15%未満に抑えるべきであると結論付けた。

Cheon ら (2008) は産卵鶏を対象とした 10 週間の給与試験を実施し、色の薄い DDGS を 0%、10%、15%および 20%の配合率で等タンパク質および等カロリーの産卵鶏用飼料に加えて給与し、産卵成績、卵質および卵黄の脂肪酸組成に及ぼす影響を調べた。DDGS の配合率が 20%以内の場合、飼料摂取量、産卵率、総卵質量、平均卵重および飼料要求率に影響を及ぼさなかった。色および卵殻破壊強度についても同様であった。加えて、飼料に配合する DDGS の割合が 20%以内の場合、卵白高およびハウユニットにも変化はみられなかった。予期したように、DDGS を飼料に配合すると卵黄色は大幅に上昇した。飼料に配合する DDGS の割合が上昇するに従って、卵黄中のオレイン酸含有率が低下し、リノール酸含有率が増加したが、卵黄中の飽和脂肪酸量は DDGS 配合の影響を受けなかった。韓国で実施されたこの試験の結果は、色の薄い DDGS (L* 56.65) が産卵鶏成績に悪影響を及ぼす事なく 20%まで産卵鶏飼料に配合することができ、韓国の家禽産業に経済的恩恵を与えることを示唆している。

Swiatkiewicz と Koreleski (2007) はトウモロコシ DDGS およびライ麦 DDGS を配合した産卵鶏用飼料中のリン含有率を引き下げた場合の、成績、卵殻の質および脛骨および上膊骨の質に及ぼす影響を調べる試験を実施した。トウモロコシ DDGS を 20%配合した飼料を給与した場合には、産卵成績、卵殻の質および骨の質への影響は認められなかった。ライ麦 DDGS を 20%配合した飼料を給与した場合には、産卵成績および飼料要求率が低下した。DDGS を配合した産卵鶏用飼料中のリン含有率を引き下げても、成績、卵殻の厚さ、密度および強度、脛骨および上膊骨の弾性および剛性への影響は認められなかった。こうした結果は、成績、卵殻の質および骨特性に影響を及ぼすことなく、トウモロコシ DDGS を 20%配合した飼料中のリン含有率の引き下げが可能であることを示している。

最近の Masa'deh ら (2011) は、DDGS を 0、5、10、15、20、25%含む飼料を産卵鶏に 24 週齢から 46 週齢 (フェーズ 1) と 47 週齢から 76 週齢 (フェーズ 2) の期間給餌し、全採卵サイクルでの産卵応答を評価した。飼料は各フェーズごとに、等カロリー (代謝エネルギーとして 2,775 と 2,816 kcal/kg)、等窒素 (粗タンパク質で 16.5 と 16.0%) とした。その結果から、産卵鶏飼料に最大 25%まで DDGS を加えても、飼料要求率、産卵率、ハウユニット、比重に負の影響はなく、高い配合率では卵黄色の改善が見られた。DDGS を 15%以上含むとフェーズ 1 では卵重が減少したが、フェーズ 2 では影響は見られなかった。25%DDGS 飼料を給餌した産卵鶏では、窒素とリンの保持率が増加し、排泄物は減少した。

DDGS 飼料への酵素添加

詳細については、本ハンドブックの第 24 章「家禽と養豚用の DDGS 配合飼料への酵素の利用」を参照されたい。Swiatkiewicz と Koreleski (2005) が実施した試験では、産卵成績および卵質に及ぼす影響を明らかにする目的で、茶系のローマン鶏 132 羽 (26 週齢から 38 週齢) にトウモロコシ DDGS またはライ麦 DDGS を 0%、5%、10%、15%または 20%配合した飼料を給与した。DDGS を 20%配合した飼料については、キシラーゼおよび β -グルカナーゼ活性を有する酵素剤を添加したものと添加しないものを使用した。トウモロコシ DDGS の配合率は産卵率、飼料要求率、ハウユニット、卵殻率および卵殻破壊強度に影響を及ぼさなかったが、卵黄色は有意な上昇を示した。ライ麦 DDGS を 5%、10%および 15%配合した飼料を給与しても産卵成績および卵質に影響を及ぼさなかったが、ライ麦 DDGS を 20%配合した飼料を給与すると産卵量が低下した。しかし、ライ麦 DDGS を 20%配合した飼料にキシラーゼおよび β -グルカナーゼを添加すると、産卵率が改善した。

その後の試験で、Swiatkiewicz と Koreleski (2006) は DDGS を 0%、5%、10%、15%または 0%配合した等カロリーおよび等窒素飼料、ならびに DDGS を 20%配合した飼料に非デンプン性多糖加水分解酵素を添加し、さらに合成リジンおよびメチオニンを加えた飼料を産卵鶏に給与した。

産卵第一段階（26 週齢から 43 週齢）では、DDGS の飼料配合率は産卵率、日卵重、飼料摂取量および飼料要求率に影響を及ぼさなかった。第二段階（44 週齢から 68 週齢）では、DDGS を 0%、5%、10% および 15% 配合した飼料を給与した試験群間で産卵反応基準に差異は認められなかったが、DDGS20% 給与群では産卵率および日卵重が減少した。ところが、非デンプン性多糖加水分解酵素を添加して DDGS20% 飼料を給与すると、産卵率および成績が改善した。DDGS の飼料配合率は卵白高、ハウユニット、卵殻の厚さ、密度および破壊ならびにゆで卵の官能特性には影響を及ぼさなかったが、DDGS を飼料に配合すると卵黄のカラースコアが大幅に改善した。

Gady ら（2008）はトウモロコシ DDGS のみかけの代謝エネルギー（AME）および *Penicillium funiculosum* (RovabioTMExcel) が産生した真菌系非デンプン性多糖加水分解酵素を添加した飼料を産卵鶏に給与した場合の DDGS エネルギー消化率への影響を見極めた。給与した飼料はトウモロコシおよび小麦を主体とする飼料にトウモロコシ DDGS を 10% または 20% 配合したものである。トウモロコシ-小麦主体の対照飼料の AME 値は期待値とほぼ同じであった（3,089 vs. 3,106 kcal/kg DM）。トウモロコシ DDGS の AME 値は平均 2,452 kcal/kg DM で、対照飼料に酵素を添加することで AME 値はわずか 34 kcal/kg DM 増加したに過ぎない。この増加は期待値より少ないが、酵素添加飼料を給与した産卵鶏の飼料摂取量が対照飼料を給与した産卵鶏の値を下回っていることが原因と考えられる（99.5 vs. 104.4 g/羽/日）。飼料要求率および卵重も同様で、飼料へのトウモロコシ DDGS 配合の影響を受けなかった。トウモロコシ DDGS を 10% および 20% 配合した飼料を給与した場合に酵素添加によるエネルギー消化率がより大きく改善され（それぞれ 43 kcal/kg と 58 kcal/kg DM）、これにより酵素製品の添加がトウモロコシ DDGS を配合したトウモロコシ-小麦主体飼料のエネルギー利用率を改善することが示唆される。

DDGS が換羽に及ぼす影響

Hong ら（2007）は DDGS および無塩飼料を用いた換羽誘導法により、給与換羽および絶食換羽が成績、卵質および産卵鶏の内臓重量に及ぼす影響を比較する試験を実施した。この試験には産卵率 80% 超、平均体重 1.08 kg のホワイトレグホン鶏（62 週齢）108 羽を使用した。給与した飼料の種類は対照飼料（非換羽用飼料）、換羽用飼料（DDGS および無塩飼料）ならびに絶食であった。換羽用飼料群では 18 日間で産卵率が 0% まで減少し、換羽用 DDGS 無塩飼料群では 17 日間で産卵率が 0% まで減少した。絶食換羽群では 6 日間産卵しなかった。換羽用飼料群では 12 日後、絶食群では 16 日後に産卵が再開した。卵黄を除き、卵質はすべての飼料群で改善した。肝臓、心臓および卵管の重量はすべての換羽群で減少した。これらの試験結果から、絶食換羽を給与換羽（DDGS および無塩飼料）に置換することができ、換羽期の絶食という動物にとっての不快感を改善することが可能であることが分かる。

Mejia ら（2010）は、絶食換羽プログラムにおいて、DDGS を毎日 36、45、54 グラム給餌した際、同様のトウモロコシ給餌の場合と比較したところ、換羽以降の産卵（5 から 43 週）が、DDGS 給餌の方がトウモロコシ給餌より高いことを見出した。卵容積、卵比重、飼料効率、飼料消費量は、換羽後の給餌法の違いによる一貫した差は見られなかった。これらの研究者は、絶食換羽プログラムにおいて、トウモロコシや DDGS を制限給餌することによって、トウモロコシ-大豆殻飼料の任意給餌の場合と同様な、長期的な換羽後成績を得ることができると結論付けた。

排泄物栄養成分およびガス放出に及ぼす影響

米国の家禽業界の主要な問題の一つはアンモニア（NH₃）の放出である。Roberts ら（2007a,b）は飼料中の繊維を増やし、粗タンパク質を減らすことで産卵鶏の排泄物から放出される NH₃ を減少させることが可能であるか否かを見極めるための試験を実施した。彼らは 2 種類の含有率（通常および低減）で粗タンパク質を含む 4 種類の繊維供給飼料（中性デタージェント繊維の追加量が等しくなるように調製したトウモロコシ-大豆粕主体の対照飼料、トウモロコシ DDGS を 10% 含む飼料、小麦ふすま（wheat middlings）を 7.3% 含む飼料および大豆外皮を 4.8% 含む飼料）を給与した。粗タンパク質低減飼料の粗タンパク質含有率は通常飼料の含有率を約 1 パーセントポイント下回り、すべての飼料は等エネルギー、可消化アミノ酸ベースで調製した。トウモロコシ DDGS、小麦ふすままたは大豆外皮を飼料に加えると、7 日間の累積排泄物 NH₃ 放出量は対照飼料群の乾物排泄物 1kg 当たり 3.9 g から、それぞれ 1.9 g、2.1 g、2.3 g に減少し、1 日の NH₃ 放

出率も低下した。こうした結果から、トウモロコシ DDGS の 10%配合、小麦ふすまの 7.3%配合および大豆外皮の 4.8%配合は産卵鶏排泄物からの NH₃ 放出を低減させる上で効果的であるが、粗タンパク質含有率を 1 パーセントポイント引き下げても NH₃ 放出量には変化のないことが分かる。

Hale (2008) は業界標準飼料を給与した場合と DDGS を 10%配合した飼料を給与した場合とで、排泄物 pH、固形成分含有率およびアンモニアの放出に及ぼす影響を比較した。DDGS を 20%配合した飼料を給与すると、試験の全期間を通じて排泄物アンモニア放出は平均で 16.9%低下し、排泄物 pH は 0.25 SU 低下し、排泄物固形分は 2.36%増加した。



ブロイラーへの DDGS 給与

研究者らはいずれもが DDGS をブロイラー用飼料に配合した結果として、成績および肉質が改善することを見いだした。Day ら (1972) による初期の試験結果では、DDGS を低配合率 (2.5%および 5%) で飼料に加えるとブロイラーの増体量が対照飼料を給与したブロイラーの値を上回った。後に Waldroup ら (1981) は、飼料に含まれるエネルギーが一定である場合には、DDGS をブロイラー用飼料に最大 25%まで配合して良好な成績を収めることができることを実証した。

高品質トウモロコシ DDGS を用いた試験では、DDGS を高配合した飼料を効果的に使用できることが確認されただけでなく、高配合が推奨されている。Lumpkins ら (2004) は、飼料中のエネルギーおよびタンパク質含有率を評価し、ブロイラー用飼料に DDGS を使用する場合の配合率を見極めるため、2 件の試験を実施した。最初の試験では、2 種類の栄養成分濃度 (高 = タンパク質 22%、3050 kcal ME_n (窒素補正後代謝エネルギー) /kg、低 = タンパク質 20%、3000 kcal ME_n/kg) の飼料に DDGS を 0%または 15%配合した。これらの試験飼料を 0 日齢から 18 日齢まで雛に給与した。高濃度飼料を給与した雛の増体量および飼料要求率は低濃度飼料を給与した雛の値を上回ったが、栄養成分濃度の範囲では、DDGS 無配合のものと 15%配合したものとに成績の差は認められなかった。(表 1)

表 1. ブロイラー用栄養成分高濃度飼料および低濃度飼料に DDGS を 15%配合した場合の増体量および増体効率に及ぼす影響¹

| 反応基準 | 高濃度、 0% DDGS | 高濃度、 15% DDGS | 低濃度、 0% DDGS | 低濃度、 15% DDGS |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 増体量 (7 日目) g/d | 133 | 134 | 130 | 124 |
| 増体量 (14 日目) g/d | 401 ^a | 399 ^a | 376 ^b | 362 ^b |
| 増体量 (18 日目) g/d | 556 ^a | 555 ^a | 523 ^b | 518 ^b |
| 増体量 : 飼料 (7 日目) | 956 ^a | 991 ^b | 898 ^c | 854 ^d |
| 増体量 : 飼料 (14 日目) | 938 ^a | 936 ^a | 874 ^b | 847 ^c |
| 増体量 : 飼料 (18 日目) | 782 ^a | 772 ^a | 712 ^b | 705 ^b |

^{a,b,c,d} は同一列の異なる上付文字は有意差のあることを示す (P<0.05)。

¹ Lumpkins ら、2004 に基づく。

2 番目の試験では、Lumpkins ら (2004) は DDGS を 0%、6%、12% および 18% 配合した等カロリーおよび等窒素飼料を 42 日間の給与期間中にわたり雛に給与した。飼料に DDGS を 18% 配合すると、幼雛期 (0 日から 16 日) の増体量が減少し (表 2)、飼料に DDGS を 12% 配合すると増体量の数値は僅かに減少した。しかしながら、成長期および仕上期では DDGS の配合率の違いによる増体量の差は認められなかった。18% DDGS 飼料を給与した雛の全幼雛期間 (0 日から 42 日) の増体量は他の配合率の飼料を給与した雛の値を下回ったが、これは幼雛期の増体量減少に起因するものであ

る。トウモロコシをタンパク質供給源にしたアミノ酸組成よりも、大豆粕のアミノ酸組成の方がブロイラーのアミノ酸要求を満たす上で適している。飼料に DDGS を 18% 配合すると、トウモロコシのタンパク質によって供給されるタンパク質の飼料中含有率は 4.6% から 8.6% に増加し、大豆粕によって供給されるタンパク質の含有率は減少するため、リジンが不足し、生育速度および増体効率が減少する結果になる可能性があると考えられる。試験全期間を通じて、DDGS の飼料配合率は飼料摂取量に影響を及ぼさなかった。幼雛期に DDGS を 18% 配合した飼料を給与すると増体効率は低下し、DDGS を 12% 配合すると増体効率は数値上減少した（表 2）。しかしながら、成長期および仕上期ならびに 42 日間の給与試験全期間を通じて DDGS の配合率の違いによる増体効率の差は認められなかった。DDGS を 0%、6%、12% または 18% 配合しても、枝肉歩留への影響は認められなかった。この研究者らは、最新エタノールプラントで製造された DDGS がブロイラー用飼料の原材料として満足できるものであると結論付け、幼雛期の DDGS 最大飼料配合率として 6%、ブロイラー生産の成長期および仕上期の段階の配合率として 12~15% を推奨している。

表 2. DDGS を 0%、6%、12% および 18% 配合した等カロリーおよび等窒素飼料を 42 日間、雛に給与した場合の増体量および増体効率に及ぼす影響¹

| 反応基準 | 0% DDGS | 6% DDGS | 12% DDGS | 18% DDGS |
|------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 増体量（0 日目から 16 日目）、g/d | 414 ^a | 416 ^a | 399 ^{ab} | 387 ^b |
| 増体量（17 日目から 31 日目）、g/d | 1,052 | 1,055 | 1,049 | 1,039 |
| 増体量（0 日目から 42 日目）、g/d | 2,314 ^a | 2,289 ^a | 2,291 ^a | 2,243 ^b |
| 増体量：飼料（0 日目から 16 日目） | 746 ^a | 739 ^a | 715 ^{ab} | 702 ^b |
| 増体量：飼料（17 日目から 31 日目） | 597 | 600 | 604 | 599 |
| 増体量：飼料（0 日目から 42 日目） | 566 | 554 | 565 | 554 |

^{a,b} は同一列の異なる上付文字は有意差のあることを示す（ $P < 0.05$ ）。

¹ Lumpkins ら、2004 に基づく。

ブロイラー用飼料に様々な配合率で DDGS を加え、その評価を行う試験は他にも複数実施されている。（Shim ら、2008；Choi ら、2008；Wang ら、2007 a, b, c、Wang ら、2008 a, b, c；Youssef ら、2008；Min ら、2008；および Moran と Lehman、2008）。

Shim ら（2008）は DDGS を 0%、8%、16% および 24% 配合し、補完用エネルギー源として家禽脂肪を添加したトウモロコシ-大豆粕飼料を給与した。飼料は結晶アミノ酸を用いて可消化アミノ酸ベースで調製した。対象飼料と比較して、DDGS を給与した場合には幼雛期の終わり（18 日目）に増体量が改善され、42 日目ではいずれの DDGS 配合率でも増体量および増体量飼料比率の値はほぼ同じであった。脂肪パッド、胸肉歩留および枝肉品質については、DDGS 飼料配合率の違いによる差は認められなかった。こうした結果は、飼料が可消化アミノ酸ベースで調製される場合には、DDGS がブロイラー飼料の最大 24% まで配合することのできる良好な代替飼料原材料であることを示している。

この他の試験として、Youssef ら（2008）は DDGS を 0%、5%、10% および 15% と増加して配合した飼料を 12 日齢から 35 日齢まで給与し、飼料摂取量、増体量、排泄物の質ならびにタンパク質および有機物の消化率への有意な影響がないことを示した。DDGS を 15% 配合した飼料を給与すると、飼料要求率に減少傾向が認められた。DDGS に含まれるタンパク質の消化率は 77% と推測された。この試験の結果は、仕上期のブロイラー用飼料の効果的なタンパク質源として、DDGS を最大で 10~15% 配合可能であることを示している。

Choi ら（2008）は Youssef ら（2008）の試験結果を確認し、ブロイラー飼料に DDGS を最大 15% 配合しても生育成績、カラースコア、胸およびももの筋肉の締まりに影響を及ぼさないが、飼料に DDGS を加えることで鶏肉中の不飽和脂肪酸含有率および脛の黄色味が増加することを示した。彼らは、DDGS は最大 15% まで飼料に配合することができ、生育成績および肉質に悪影響を及ぼす事なく、トウモロコシおよび大豆粕の一部を置換して飼料コストを削減させることができると結論付けた。

Wang ら、（2007 a,b,c および 2008 a,b,c）は一連の試験を実施して、飼料調製が可消化アミノ酸

ベースで実施されている場合には、DDGS を最大 30%まで配合した飼料を給与すると、満足のできる生育成績の達成に役立つことを示した。ただし、DDGS の飼料配合率が 15~20%を超えると、飼料のかさ密度およびペレットの品質低下、ならびに飼料中への不適切な結晶性アミノ酸添加によって生育成績の低下を招く可能性がある。さらに、DDGS の飼料配合率が 15~20%を超える飼料を給与すると、枝肉歩留および胸肉歩留が低下する可能性もある。飼料に 15%の DDGS が含まれ、可消化アミノ酸ベースで飼料調製が行われている場合には、この DDGS 配合を突然取り止めてもブロイラーの成績には悪影響を及ぼさない。

Min ら (2008) は DDGS を 0%、15%および 30%含み、グリセリンを含まないかあるいは 5%含む飼料を給与して、生育成績および肉歩留への影響を見極める試験を実施した。飼料は可消化アミノ酸ベースで調製し、ペレット状で給与した。この試験の結果、可消化アミノ酸ベースで調整されブロイラーの栄養必要量を満たしていれば、栄養品質が明らかにされている DDGS を 15%配合した飼料は、生育成績および肉歩留に悪影響を及ぼすことなく、成長期ブロイラー用の飼料原材料として用いることが可能であることが示された。これ以上の配合率で DDGS を加えることも可能であると考えられるが、ペレットの品質が改善されない限り、飼料要求率が低下する可能性がある。それまでの試験でも報告されていたように、DDGS をさらに高い割合 (>15%) で飼料に配合すると枝肉歩留が減少したが、エネルギー源としてグリセリンを 5%加えると満足のできる生育成績及び肉歩留が達成できるものと考えられる。

Moran と Lehman (2008) はアミラーゼ・フィターゼ・プロテアーゼ・キシラナーゼ混合体をブロイラー用飼料に添加し、抗菌薬を加えることなく 8 週間の給与期にわたって給与し、その結果として、アルファルファミールおよび DDGS の配合の有無に関わらず、また代謝エネルギーおよび有効リンが必要量を満たしているかどうかに関わらず、生育成績、皮なし骨なし肉の歩留および骨格完全性に良好な反応を認めた。



Corzo ら (2009) は DDGS 無配合および 8%配合した飼料を給与し、ブロイラー胸肉およびもも肉の品質に及ぼす影響を評価するための試験を実施した。色 (CIE L*, a*, b*)、極限 pH、調理損失、剪断値および食感の満足度については、DDGS 飼料と対照飼料との間に差はみられなかった。しかしながら、好ましい風味および全体的な満足度に関しては、対照飼料を給与したブロイラーが DDGS 飼料を給与したブロイラーをわずかに上回った。いずれの飼料を給与したブロイラーの胸肉も嗜好尺度で「中程度に好ましい」と判断され、これらの胸肉を「中程度に好ましい」または「非常に好ましい」と評価した消費者 (パネリストの 50%超) は両者の違いを識別することができなかった。飼料間で脂肪酸組成にわずかな差があり、DDGS 飼料を給与したブロイラーの方が筋肉のリノール酸および総多価不飽和脂肪酸の値が高かったが、これは脂肪酸化の影響を受けやすいためと考えられる。一般に、こうしたデータは、DDGS を 8%配合した飼料を給与すると、商品間の差を極小にしながら胸肉やもも肉の品質を高められることを示している。

さらに最近では、Loar ら (2010) が、DDGS をスターター飼料 (0 から 14 日) に対して 0 から

8%、成長期飼料（14 から 28 日）に対して 0、7.5、15、22.5、30%それぞれ加えた飼料の給餌効果を評価した。飼料変換率と致死率は DDGS の配合率によって影響を受けなかったが、成長速度について、15%以上 DDGS を含む飼料から負の影響を受ける可能性がある。しかしながら、Shim ら（2011）は、DDGS を 0、8、16、24%含む等栄養価飼料をブロイラーに給餌した際に、DDGS を 8%以上含む飼料給餌が 0%DDGS 飼料給餌より、0 から 18 日のスターター期中の生育速度を上げることが示した。ただし、42 日齢の体重は、DDGS の給餌レベルに関わらずほぼ同じであった。DDGS を飼料に加えるとペレットの持続指数は低下したが、生育成績には影響しなかった。これらの結果は、適切にバランスを取った飼料では最大 24%まで DDGS を配合しても、ブロイラーの成績は良好で、と体や肉質への負の影響はないことを示している。

Schilling ら（2010）は、42 日間、DDGS を 0、6、12、18、24%含む飼料を与えたところ、DDGS の給餌レベルに関わらず、高品質の胸肉を生産することを示した。もも肉の品質は、DDGS を 0 から 12%含む飼料の給餌について、ブロイラー間で同様であったが、効率での配合は、もも肉は酸化により感受性となった。

七面鳥

Noll（2004）は市場向け七面鳥の雄に成長-仕上の期間中最大 12%まで DDGS を配合した飼料を給与した 3 件の試験の結果をまとめ、対照飼料であるトウモロコシ-大豆粕-肉粉飼料を給与した場合と比較して、増体量および飼料要求率に差のないことを見いだした。Roberson（2003）は大型白色七面鳥の雌を用いた 2 件の試験を実施し、DDGS の配合率を引き上げて生育成績に及ぼす影響を評価した。最初の試験では、DDGS を 0%、9%、18%および 27%含むトウモロコシ-大豆粕飼料を 56 日齢から 105 日齢まで成長期の七面鳥に給与した。飼料中の DDGS の割合が増加するに従って、105 日齢で体重に 1 次減少がみられた。一方飼料要求率は、DDGS の飼料配合率が増加するに従って、77 日齢から 105 日齢までの間改善した。Roberson（2003）は、DDGS を高い割合で配合した飼料を給与するとそ嚢下垂の発生件数が増加することに注目した。2 回目の試験では、成長期に DDGS を 0%、7%および 10%配合した飼料を給与した。七面鳥の半数には成長期に DDGS を 10%配合した飼料を、仕上期に 7%配合した飼料を給与した。この試験では、異なる飼料間で増体量および飼料要求率に差は認められなかった。Roberson は、DDGS の適切な栄養価が用いられている場合には、成長期-仕上期の七面鳥雌用飼料には DDGS を 10%配合して効果をあげることができる結論付けた。

アヒル

アメリカ穀物協会は台湾の家畜研究所の宜蘭支部で最近実施された試験を後援した。研究者らはトウモロコシ・ドライド・ジスチラーズ・グレイン・ウィズ・ソリュブルを配合した飼料を給与し、茶系 Tsaiya 産卵アヒルの産卵成績および卵質に及ぼす影響を評価した（Huang ら、2006）。14 週齢から 50 週齢後に、アヒルは DDGS を 0%、6%、12%または 18%配合した 4 種類の飼料のいずれかに無作為に割り当てた。2750 kcal/kg ME および 19% CP を含む等カロリーおよび等窒素飼料とした。この試験から得られた結果によると、産卵アヒル用飼料に最大 18%まで DDGS を配合しても、飼料摂取量、飼料要求率および卵殻の質に有意差は認められなかった。産卵アヒルに DDGS を 18%配合した飼料を給与すると、寒冷期の産卵率が増加した。飼料に DDGS を 12%または 18%配合すると、卵重が増加する傾向がみられた。産卵アヒル用飼料に含まれる DDGS の量が増加するに従って、卵黄色に 1 次改善がみられた。DDGS 中のキサントフィルは産卵アヒルに効果的に活用することが可能である。産卵アヒル用の飼料に DDGS を配合すると、卵黄の脂肪含有率および卵黄のリノール酸含有率が増加した。産卵アヒル用の飼料に配合した DDGS は、産卵成績に影響を及ぼすことなく、卵黄特性を効率的に改善することができる。

まとめ

ブロイラー、七面鳥、産卵鶏およびアヒルに用いる場合の、現時点でのトウモロコシ DDGS の最大推奨配合率は 15%であるが、エネルギーおよびアミノ酸に関する適切な飼料設計調整を行う場合には、これを上回る配合率でトウモロコシ DDGS を用いることができる (Wang ら、2007a,b,c ; 2008a,b,c ; Noll ら、2004 ; Waldroup ら、1981)。トウモロコシ DDGS を配合して飼料設計を行う場合には、アミノ酸の中でも特にリジン、メチオニン、シスチンおよびスレオニンについては可消化アミノ酸値を用いるべきである。トウモロコシ DDGS に含まれるタンパク質のアミノ酸の中では、トリプトファンおよびアルギニンが 2 番目に含有率が少ないため、これらのアミノ酸の許容可能な下限値を設定した上で飼料設計する必要もある。

References

- Adedokun S.A., O. Adeola, C.M. Parsons, M.S. Lilburn, and T.J. Applegate. 2008. Standardized ileal amino acid digestibility of plant feedstuffs in broiler chickens and turkey poulters using a nitrogen-free or casein diet. *Poult. Sci.* 87(12):2535-48.
- Cheon, Y.J., H.L. Lee, M.H. Shin, A. Jang, S.K. Lee, J.H. Lee, B.D. Lee, and C.K. Son. 2008. Effects of corn distiller's dried grains with solubles on production and egg quality in laying hens. *Asian-Australasian J. Anim. Sci.* 21(9):1318-1323.
- Choi, H.S., H.L. Lee, M.H. Shin, C. Jo, S.K. Lee, and B.D. Lee. 2008. Nutritive and economic values of corn distiller's dried grains with solubles in broiler diets. *Asian-Australasian J. Anim. Sci.* 21(3):414-419.
- Corzo, A., M.W. Schilling, R.E. II. Loar, V. Jackson, S. Kin, and V. Radhakrishnan. 2009. The effects of feeding distillers dried grains with solubles on broiler meat quality. *Poult. Sci.* 88(2):432-439.
- Day, E.J., B.C. Dilworth, and J. McNaughton. 1972. Unidentified growth factor sources in poultry diets. In "Proceedings Distillers Feed Research Council Conference". pp.40-45.
- Fastinger, N.D., J.D. Latshaw, and D.C. Mahan. 2006. Amino acid availability and true metabolizable energy content of corn distillers dried grains with solubles in adult cecectomized roosters. *Poult. Sci.* 85(7):1212-1216.
- Gady, C., P. Dalibard, and P.A. Geraert. 2008. Nutritional evaluation of corn distillers dried grains with solubles (DDGS) in layers and potential benefit of NSP-enzyme supplementation on energy digestibility. *Poult. Sci.* 87(Suppl. 1):112.
- Hale, E.C. III. 2008. Effect of 10% dietary DDGS on laying hen manure ammonia emissions, pH, and solids content. *Poult. Sci.* 87(Suppl. 1):160.
- Harms, R.H., R.S. Moreno, and B.L. Damron. 1969. Evaluation of distillers dried grains with solubles in diets of laying hens. *Poultry Sci.* 48:1652-1655.
- Hong, E.C., J.C. Na, D.C. You, H.K. Kim, W.T. Chung, H.J. Lee, I.H. Kim, and J. Hwangbo. 2007. Effects of feeding non-salt diet on the induced molting in laying hens. *Korean J. Poult. Sci.* 34:4, 279-286.
- Huang, J.F., M.Y. Chen, H.F. Lee, S.H. Wang, Y.H. Hu, and Y.K. Chen. 2006. Effects of Corn Distiller's Dried Grains with Soluble on the Productive Performance and Egg Quality of Brown Tsaiya Duck Layers. Personal communication with Y.K. Chen agape118@so-net.net.tw.
- Jensen, L.S., L. Falen, and C.H. Chang. 1974. Effect of distillers grains with solubles on reproduction and liver fat accumulation in laying hens. *Poultry Sci.* 53:586-592.
- Loar, R.E. II, J. S. Moritz, J.R. Donaldson, and A. Corzo. 2010. Effects of feeding distillers dried grains with soluble to broilers from 0 to 28 days posthatch on broiler performance, feed manufacturing efficiency, and selected intestinal characteristics. *Poult. Sci.* 89:2242-2250.
- Lumpkins, B., A. Batal and N. Dale, 2004. Evaluation of distillers dried grains with solubles as a feed ingredient for broilers. *Poultry Sci.* 83:1891-1896.
- Lumpkins, B., A. Batal and N. Dale, 2005. Use of distillers dried grains plus solubles in laying hen diets. *J. Appl. Poultry Sci.* 14:25-31.

- Martinez, C., C.M. Parsons, and D.H. Baker. 2005. Microbial phytase and citric acid increase P availability in corn distillers dried grains with solubles (DDGS) for chicks. *Poultry Science*. 84(Suppl. 1):51.
- Martinez-Amezcuca, C., C.M. Parsons, and D.H. Baker. 2006. Effect of microbial phytase and citric acid on phosphorus bioavailability, apparent metabolizable energy, and amino acid digestibility in distillers dried grains with solubles in chicks. *Poult. Sci.* 85(3): 470-475.
- Masa'deh, M.K., S.E. Purdum, and K.J. Hanford. 2011. Dried distillers grains with soluble in laying hen diets. *Poul. Sci.* 90:1960-1966.
- Matterson, L.D., J. Tlustohowicz, and E.P. Singen. 1966. Corn distillers dried grains with solubles in rations for high-producing hens. *Poultry Sci.* 45:147-151.
- Mejia, L., E.T. Meyer, P.L. Utterback, C.W. Utterback, C.M. Parsons, and K.W. Koelkebeck. 2010. Evaluation of limit feeding corn and distillers dried grains with soluble in non-feed-withdrawal molt programs for laying hens. *Poult. Sci.* 89:386392.
- Min, Y.N., F.Z. Liu, Z. Wang, C. Coto, S. Cerrate, F.P. Costa, F. Yan, and P.W. Waldroup. 2008. Evaluation of distillers dried grains with solubles in combination with glycerin in broiler diets. *International J. Poult. Sci.* 7:7, 646-654.
- Moran, E.T., and R. Lehman. 2008. Response to combined amylase-phytase-protease-xylanase supplementation when 8 week broiler males had received corn-soybean meal feeds devoid of antimicrobials with/without alfalfa meal and/or DDGS. *Poult. Sci.* 87(Suppl. 1):158.
- Noll, S. 2004. [DDGS in poultry diets: Does it make sense](#). Midwest Poultry Federation Pre-Show Nutrition Conference, River Centre, St. Paul, MN. March 16, 2004.
- Noll, S.L., and J. Brannon. 2005. Influence of dietary protein level and inclusion level of DDGS on performance of market tom turkeys. Minnesota Turkey Growers Association, *Gobbles* 62:6-8.
- Pahm, A.A., C.S. Scherer, J.E. Pettigrew, D.H. Baker, C.M. Parsons, and H.H. Stein. 2009. Standardized amino acid digestibility in cecectomized roosters and lysine bioavailability in chicks fed distillers dried grains with solubles. *Poult Sci.* 88(3):571-8.
- Roberson, K.D. 2003. [Use of dried distillers' grains with solubles in growing-finishing diets of turkey hens](#). *International Journal of Poultry Sci.* 2 (6): 389-393.
- Roberson, K. D., J. L. Kalbfleisch, W. Pan and R. A. Charbeneau, 2005. Effect of corn distiller's dried grains with solubles at various levels on performance of laying hens and yolk color. *Intl J. Poultry Sci.* 4(2):44-51.
- Roberts, S.A., H. Xin, B.J. Kerr, J.R. Russell, and K. Bregendahl. 2007a. Effects of dietary fiber and reduced crude protein on ammonia emission from laying-hen manure. *Poult. Sci.* 86(8):1625-1632.
- Roberts, S.A., H. Xin, B.J. Kerr, J.R. Russell, and K. Bregendahl. 2007b. Effects of dietary fiber and reduced crude protein on nitrogen balance and egg production in laying hens. *Poult. Sci.* 86(8):1716-1725.
- Salim, H.M., Z.A. Kruk, and B.D. Lee. 2010. Nutritive value of corn distillers dried grains with soluble as an ingredient of poultry diets: A review. *World's Poul. Sci. J.* 66:411-432.
- Schasteen, C., J. Wu, and C. Parsons. 2005. Enzyme-based protein digestibility (IDEA (TM)) assay accurately predicts poultry in vivo Lysine digestibility for Distiller's Dried Grain and Solubles (DDGS). *J. Anim. Sci.* 83(Suppl. 2):69.
- Schilling, M.W. V. Battula, R.E. Loar II, V. Jackson, S. Kin, and A. Corzo. 2010. Dietary inclusion level effects of distillers dried grains with solubles on broiler meat quality. *Poult. Sci.* 89:752-760.
- Shim, M.Y., G.M. Pesti, R.I. Bakalli, P.B. Tillman, and R.L. Payne. 2011. Evaluation of DDGS as an alternative ingredient for broiler chickens. *Poult. Sci.* 90:369-376.
- Swiatkiewicz, S., and J. Koreleski. 2008. The use of distillers dried grains with soluble (DDGS) in poultry nutrition. *World Poultry Sci. J.* 64(2):257-265.
- Swiatkiewicz, S., and J. Koreleski. 2007. Quality of egg shells and bones in laying hens fed a diet containing distillers dried grains with solubles. *Medycyna Weterynaryjna.* 63(1): 99-103.

- Swiatkiewicz, S., and J. Koreleski. 2006. Effect of maize distillers dried grains with solubles and dietary enzyme supplementation on the performance of laying hens. *J. Anim. Feed Sci.* 15(2):253-260.
- Swiatkiewicz, S., and J. Koreleski. 2005. Preliminary results of study on the use of corn and rye distillers dried grains with solubles in the laying hens nutrition. *Proceedings of the 15th European Symposium on poultry nutrition, Balatonfured, Hungary*, 601-603.
- Waldroup, P. W., J.A. Owen, B.E. Ramsey, and D.L. Whelchel, 1981. The use of high levels of distillers dried grains plus solubles in broiler diets. *Poultry Sci.* 60:1479-1484.
- Wang, Z., S. Cerrate, C. Coto, F. Yan, F. Perazzo, A. Abdel-Maksoud, and P. Waldroup. 2008a. Evaluation of distillers dried grains with solubles (DDGS) in broiler diets formulated isocaloric at typical industry levels or formulated for optimum density with constant 1% poultry oil. *Poultry Science* 87(Suppl. 1):112.
- Wang, Z., S. Cerrate, C. Coto, F. Yan, F.P. Costa, A. Abdel-Maksoud, and P.W. Waldroup. 2008b. Evaluation of corn distillers dried grains with solubles in broiler diets formulated to be isocaloric at industry energy levels or formulated to optimum density with constant 1% fat. *International J. Poult. Sci.* 7: 7, 630-637.
- Wang, Z., S. Cerrate, C. Coto, F. Yan, and P.W. Waldroup. 2008c. Evaluation of high levels of distillers dried grains with solubles (DDGS) in broiler diets. *International J. Poult. Sci.* 7:10, 990-996.
- Wang, Z., S. Cerrate, C. Coto, F. Yan, and P.W. Waldroup. 2007a. Effect of rapid and multiple changes in level of distillers dried grain with solubles (DDGS) in broiler diets on performance and carcass characteristics. *International J. Poult. Sci.* 6:10, 725-731.
- Wang, Z., S. Cerrate, C. Coto, F. Yan, and P.W. Waldroup. 2007b. Utilization of distillers dried grains with solubles (DDGS) in broiler diets using a standardized nutrient matrix. *International J. Poult. Sci.* 6:7, 470-477.
- Wang, Z.R., S. Cerrate, C. Coto, F. Yan, and P.W. Waldroup. 2007c. Use of constant or increasing levels of Distillers Dried Grains with Solubles (DDGS) in broiler diets. *International J. Poult. Sci.* 6:501-507.
- Wu-Haan, W., W. Powers, R. Angel, and T.L. Applegate. 2010. The use of distillers dried grains plus soluble as a feed ingredient on air emissions and performance from laying hens. *Poul. Sci.* 89:1355-1359.
- Youssef, I.M.I., C. Westfahl, A. Suender, F. Liebert, and J. Kamphues. 2008. Evaluation of dried distillers' grains with solubles (DDGS) as a protein source for broilers. *Arch. Anim. Nutr.* 62(5):404-414.