

第 8 章

色は DDGS 品質の唯一あるいは最良の指標か？

なぜ DDGS の色が品質の問題として捉えられるのか？

トウモロコシ（例えば U.S. #2）や米国の他のコモディティ商品とは異なり、DDGS には等級制度または確定・統制された規格が存在しない。そのため、世界中の米国産 DDGS の売り手と買い手との間で誤解が生まれることがある。品質基準が存在しない状況では、価格を設定すること、契約書を作成すること、期待に応えることが困難である。この 10 年間にわたり、業界、政府および学界の専門家達は、DDGS の品質規格について協議しその開発に取り組んできたが、明確な品質規格の必要性について合意に至ることができず、また、おそらくは透明性が強化されることや品質を区分し DDGS 供給源間の差を評価する能力が高まることに対する懸念から、こうした試みは失敗に終わっている。米国の DDGS 販売業者の大半が水分および繊維については最高保証に、また、脂肪およびタンパク質については最低保証にのみ焦点を当てることを好んでいる。しかし米国産 DDGS は供給源が異なると栄養成分および品質も異なってくる。このため、世界中の DDGS 購入者の多くは、自分たちが期待しているレベルに到達していない併産物を購入するリスクを最小限に抑えるために、特定の品質項目に関してこれまで以上の保証を要求することが多い。

輸出市場には DDGS の色が非常に重要な品質要素であると考える購入者が存在し、実際の品質または認識上の品質を見分け DDGS 供給源を評価するために色が用いられている。数年前、供給源の異なる DDGS の色の違いを識別するため、DDGS の売り手側と買い手側の何名かが 5 色のスコアカード（図 1）を用いた主観的な色評価システムを作りあげた。この DDGS カラースコアカードは現在でも市場で用いられているが、このシステムは余りにも主観的であるため、DDGS の実際のカラースコアをめぐる解釈の違いによって買い手側と論争になることが多く、売り手側の多くは使用を取り止めている。その結果、現在米国の供給業者と海外の購入業者（特にアジア諸国）との間で交渉が進められている売買契約の多くに、定量的測色（例えば、L*色の明度と暗度）に関する最低保証が含まれることとなっている。一部の買い手側の期待レベルに見合うよう、DDGS の明度を識別するための最低保証として Hunter L* $>$ 50 が現在採用されている。色に関係なく、様々な国に輸出される米国 DDGS の量は増加し続けているが、明るい色の DDGS（すなわち L* $>$ 50）を保証することを求める市場では、取り扱っている供給源の DDGS が L* $>$ 50 であることを保証することのできる業者は相当額のプレミアムを受け取ることができる。

その結果として、米国では特に買い手側の色に関する期待に応える DDGS を供給することができない場合には、DDGS の色を品質指標として用いることに不満を抱き、その意義を問題視する供給業者もいる。このような理由で、本書の目的は DDGS の品質および市場における品質指標としての色の役割を明確化するとともに、DDGS の価値を評価するために用いることのできるその他の様々な品質特性および測定値についての記述を提供することとする。

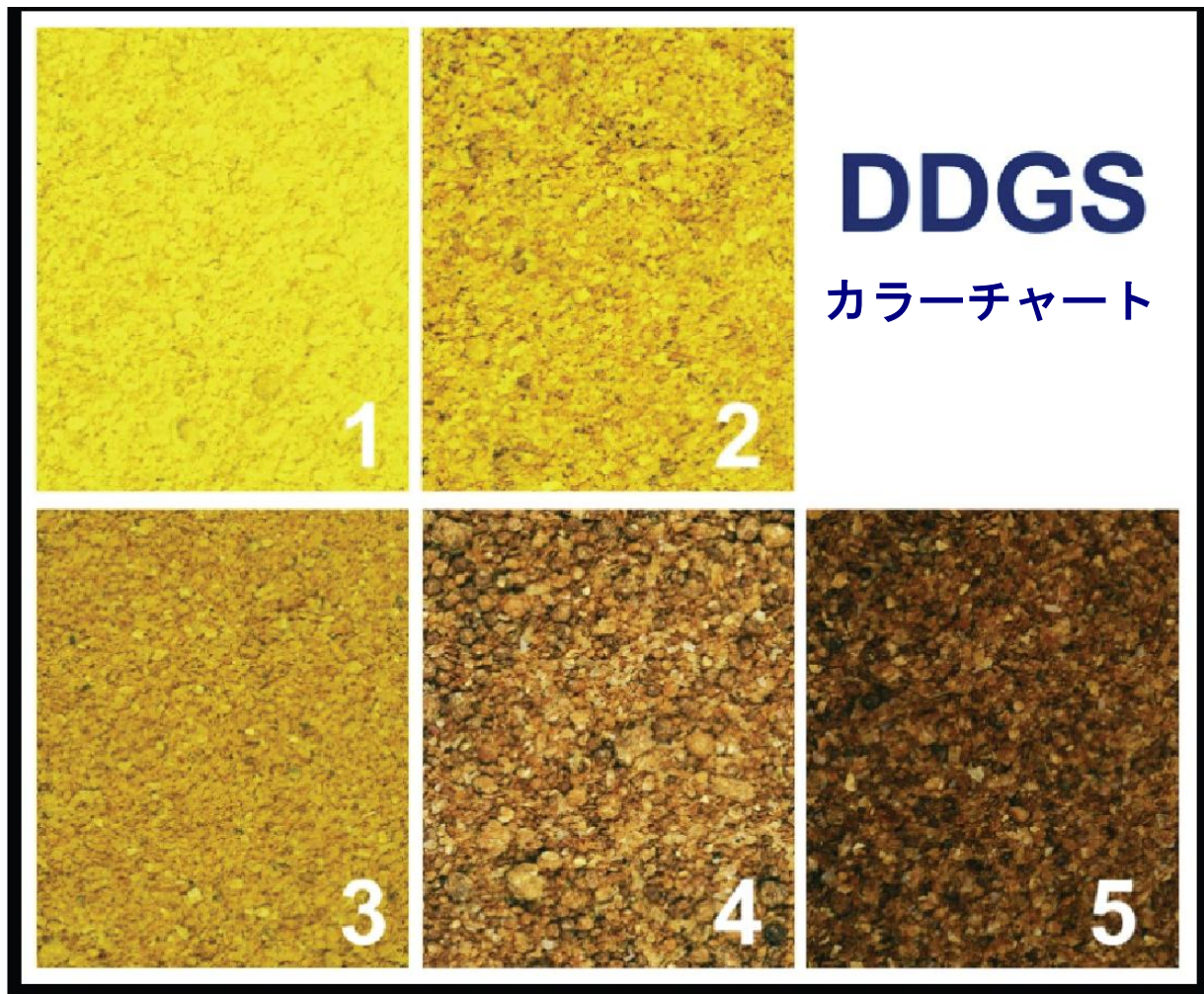


図 1. DDGS カラースコアカードの例

品質とは何か？

品質の定義は数多くある。品質は卓越性、優位性の程度または際だった性質を表す本質的特徴または固有の特性と定義することができる(<http://www.merriam-webster.com/dictionary/quality>)。

ビジネスの世界では(<http://www.businessdictionary.com/definition/quality.html>)、品質は卓越性、または欠陥、不具合、顕著なばらつきが存在しない状態を示す一般的なものさしとして定義されている。ISO 8402-1986 規格では、品質は「明示または暗示されたニーズを満たす能力を有する製品またはサービスの特質および性質の全体」として定義されている。製造の世界では、品質とは、特定の顧客要件またはユーザー要件を満たす均一な成果物を実現することを目的として、首尾一貫して測定可能かつ検証可能な基準を厳守することと定義されている。品質は客観的に測定可能な基準を用いて見極めることができ、主観的な意味合いでは観察可能な性質として推定することはできるが測定することは不可能なものとする事ができる。従って、品質は有形物の望ましい性質を言い表す一般的な用語であり、すべての人間にとって同一の内容を意味するとは限らない。

飼料原材料および飼料の品質はどのように定められるのか？

飼料製造業者および動物生産業者は、物理的、化学的、生物学的な試験を含め、様々な定量的および定性的方法を用いて飼料原材料や飼料の品質の評価を行っている。飼料の物理評価は定性的なものであるが、原材料および飼料の特性の変化を特定するために用いられている。評価対象となる一般的な物理特性は、色、粒径、かさ密度、均質性、におい、味、手触り、音等である。飼料に含まれる他の穀物、雑草の種子、外皮および砂は物理評価によって特定することのできる最も一般的な物理的汚染源である。

化学試験は定量的なもので、栄養成分および潜在的な汚染源に関して正確に推定することを可能にする。品質を評価する場合には、一般慣習として民間の試験施設を利用して飼料原材料の近似分析を行う。通常こうして測定されるのは、水分、粗タンパク質、粗繊維、粗脂肪、灰分などである。原材料仕様（栄養成分）は飼料製造品質保証プログラムに不可欠であり、購入契約の作成および品質評価の基礎となり、ある程度までは飼料設計の基礎にもなる。こうした栄養仕様は納入された原材料が期待レベルに達しているか否かを判断するための基準であり、時にはこの仕様に懸念される潜在的汚染源（例えばマイコトキシン、ダイオキシン）の測定値が含まれることもある。

飼料または飼料原材料に混ぜ物や汚染物質が含まれていないかを確認するために、飼料顕微鏡検査が行われることもある。この検査には、飼料の形状、色、粒径、軟度、硬度および質感を評価することを目的とした、顕微鏡による低倍率（8倍～50倍）および高倍率（100倍～500倍）での飼料原材料サンプル試験が含まれる。

飼料原材料の生物学的評価も行われるが、通常は動物や研究施設を備える大学や大手の飼料会社での実施に限定される。生物学的評価には動物を用いるが、様々な動物種を用いて消化および代謝の試験を進めるための特別な訓練を受けた要員も必要である。こうした方法は時間や費用がかかるため、飼料製造品質管理プログラムの一貫として通常の手順に含めることはできない。しかしながら、飼料原材料の品質の評価および飼料価値の評価という点ではこの方法は他のいずれの方法よりも優れている。

先に述べたように、品質とは有形物の望ましい性質を言い表す一般的な用語であり、すべての人間にとって同一の内容を意味するとは限らない。DDGSの品質とは、ある人にとってはマイコトキシンに汚染されていないことを意味し、また別の人にとっては動物の健康や成績に決定的な影響を及ぼす可能性がある望ましくならぬ栄養阻害要因を意味することもある。また、さらに他の人にとっては栄養成分および消化率にばらつきのないことを意味することもある。このような定義があることを考えると、DDGSの品質を明確化するために色を用いることは可能であり、一部の市場では実際に用いられてもいる。

なぜ色を測定するのか？

何十年もの間、色は飼料原材料の栄養面での品質を主観的に示すひとつの指標として用いられてきた。遊離アミノ酸（特にリジン）は還元糖と結びついてメイラード反応を起こし、動物による消化を不可能にする。1912年にLouis Camille Maillardが糖とアミノ酸のこうした化学反応を発見し、初めてこの反応の根拠となる論文を執筆した。メイラード反応は糖とアミノ酸だけでなく、複合糖質とアミド類とを加熱した時に発生する一群の化学反応である。一般に、こうした反応はタンパク質レベルが中度から高度の飼料原材料が製造および乾燥工程中に熱を過剰に受けた場合に発生し、濃い色（褐色化）、焦げた香りや臭いが特徴である。乾燥粉碎エタノールプラントで用いられる乾

燥温度は 127~621°Cにまで及ぶことがある。反芻胃動物（Klopfenstein と Britton、1987）のみならず、豚および鶏（Cromwell ら、1993）を対象とした場合でも、メイラード反応は、DDGS に栄養面での深刻な影響を及ぼすことが示され、DDGS に含まれるタンパク質の品質低下の原因となる（Cromwell ら、1993；Fastinger と Mahan 2006；Stein ら、2006）。メイラード反応は乾燥乳漿、血粉、大豆粕のような他の一般的な原材料でも発生する。こうした原材料の色が濃い場合には過剰な加熱およびタンパク質品質の低下が示唆される。そのため、飼料原材料の購入者および飼料製造業者は、異なる飼料原材料供給源間でのタンパク質の品質および消化率の違いを示す一般指標として色を用いるよう指導されてきた。

この他に、色は穀物の成熟度、保管状況、毒素の有無、砂による汚染、殺虫剤や殺菌剤使用の可能性を知るための目安となる。この場合、穀物の外観の光沢がなくすんで見える。オレンジ色から赤色までの色を呈すソルガムはタンニン含有量が多いことを示唆している可能性がある。穀物または穀物併産物の褐色化または黒化が認められる場合には、過度の熱処理または不適切な保管による損傷が疑われ、その場合は栄養価が低下している可能性がある。色が黒くなった魚粉は魚油の悪臭が存在する可能性を示している。

どのように色を測定するのか？

食品業界では、キャンディーバー、クッキー、パンをはじめとする熱処理製品の栄養特性および物理特性の指標として長年にわたりHunterおよびMinoltaの色差計が用いられてきた。こうした食品では、製品の色が消費者を魅了する重要な品質特性の決定的要素となっていることが少なくない。色の測定にはオーストリアのウィーンに置かれている国際照明委員会が具体的に定義した3種の色特性が用いられる。[明度または L^* （0濃い、100薄い）、 a^* （赤-緑）および b^* （黄-青）；図2]。飼料原材料、とりわけDDGSの色差分析測定は、タンパク質レベルが中度から高度の原材料中の熱損傷の程度を評価するための方法として飼料業界では一般的に用いられるようになってきた。Minoltaの

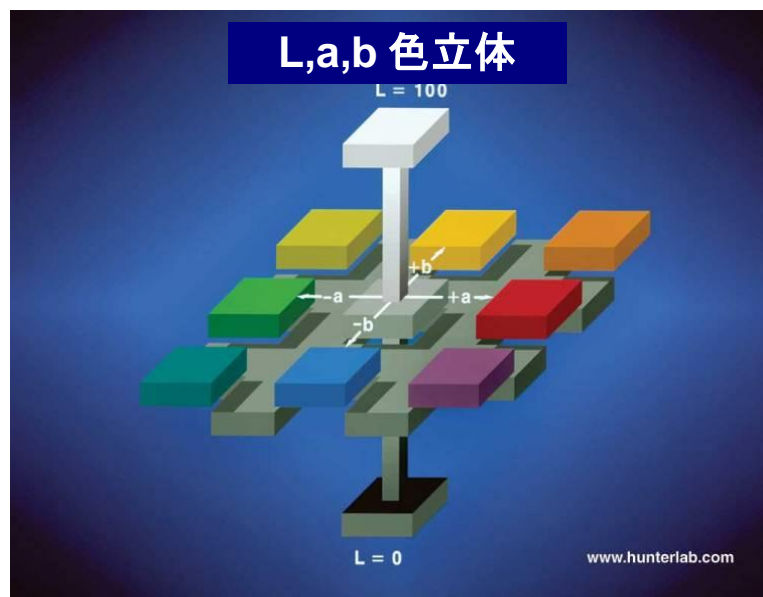


図 2. Hunterlab 測色スケール

色差計を用いたカラースコアはHunter Labの色差計を用いた場合よりも値が低くなることを念頭に置いておくことが重要である。Urriola（2007）によれば、同一サンプルを測定した場合、通常Minoltaの L^* 値はHunterの値よりも2.9ユニット低く、 b^* 値は1.7ユニット低い。しかしながら、いずれの方法を用いた場合でも、カラースコアによるサンプルの順位は同じになる。従って、異なる供給源のDDGSを販売する時の基準として測色が用いられる場合には、測定結果を誤って解釈することのないよう、採用した方法（例えば、HunterかMinoltaか）を契約書内で明確にしておくことが重要である。

色を重視する輸出市場と重視しない輸出市場があるのはなぜか？

世界市場の中で生活し活動する場合には、世界各地域の文化が異なれば、物事の認識の仕方、思考方法の象徴性、選択行動の根拠となるものがいかに異なるかを理解することが肝要である。例えば、ウェブサイト(http://webdesign.about.com/od/colorcharts/l/bl_colorculture.htm)では文化によって異なる色の意味が記載されている。一例を挙げると、中国文化では黄色は最も美しい色として捉えられており、大地や万物の中心を意味している

(http://en.wikipedia.org/wiki/Color_in_Chinese_culture)。黄色は茶色より階級が上であり、中立・中性であることや幸運をも表す。かつて黄色は中華帝国の色であり、古代中国の伝説的な5大皇帝を象徴する色であり、王宮、祭壇および寺院の装飾によく使用され、皇帝の礼服や衣裳に用いられていた。黄色は現実世界の苦勞から解き放たれることも意味し、仏教界では重んじられる色である。

更に言えば、アジア諸国の多くでは、米国で典型的に見かける色の薄い卵黄や皮膚の鶏よりも濃い黄色の卵黄や黄色い皮膚の鶏が好まれる。そのため、黄色または黄金色は茶色よりも尊重され、これが恐らくアジアの多くの地域で DDGS の色として「黄金色」が好まれる理由のひとつであると考えられる。

DDGS の色と栄養価に関連性はあるのか？

供給源の異なる DDGS 間の色のバリエーション

米国トウモロコシ DDGS は供給源間で大幅な色の違いがある (図 3)。15 件の試験が実施され、供給源の異なる DDGS について、色の範囲 (L^* 、 a^* および b^*) または加熱の程度、および栄養品質や物理特性の差異との関連性が評価されている。こうした試験の主要な所見を表 1 にまとめた。2 件の試験 (Urriola, 2007 ; Song ら, 2011) を除くすべての試験の評価対象は、少数の供給源 (2 から 9 箇所) から入手した DDGS サンプルであった。しかしながら、これらの試験の大半が限られた数の供給源の DDGS を調査したものであったにも関わらず、Rosentrater (2006)、Pahm ら (2009) および Kingsly ら (2010) によって報告された試験を除き、分析されたサンプルの L^* カラースコアに大幅なばらつきが認められた。Cromwell ら、(1993) および Urriola (2007) の試験には飲料エタノールプラントから入手した DDGS サンプルが含まれており、このことがこれらの試験の L^* 値が非常に低い (色の濃いサンプル) 原因とも考えられるが、燃料エタノールプラントから入手した DDGS のみを評価した Fastinger と Mahan (2006) および Bhadra ら (2007) が実施した試験で得られた低い L^* 値の説明がつかない。

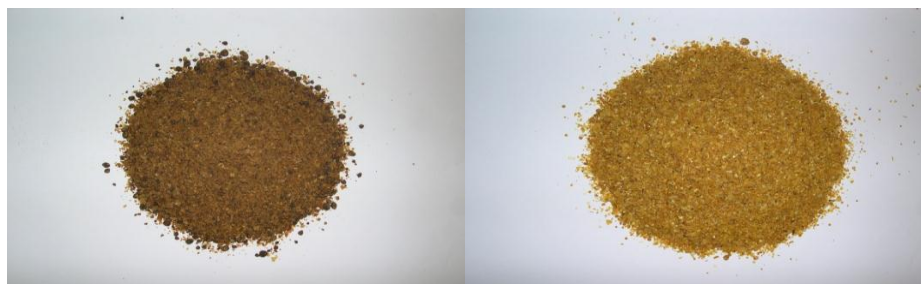


図 3. 供給源の異なる米国トウモロコシ DDGS の色の差

表 1. DDGS の色 (または加熱の程度) の栄養特性および物理特性に及ぼす影響関連試験結果の要約

参照文献	DDGS供給源の件数	L*範囲	a*範囲	b*範囲	主要所見
Cromwell ら (1993)	9	28.9-53.2	ND	12.4-24.1	DDGS の L*とリジン含有率、および L*・b*とブロイラー雛の増体量と飼料：増体比に有意な相関関係あり。豚に給与した場合の影響も同様。様々な供給源の DDGS の ADIN も雛の増体量および飼料：増体比と高い相関性を示した。
Whitney ら (2001)	2	ND；薄い色および濃い色	ND	ND	豚に給与した場合、色の薄い DDGS はリジンの AID が 47.4%であったが、色の濃い DDGS はリジンの AID が 0%であった。
Ergul ら (2003)	4	41.8-53.8	ND	32.9-42.8	家禽に給与した場合には L*・b*と可消化リジン間に有意な相関関係あり。
Roberson ら (2005)	2	ND；薄い色および濃い色	ND	ND	色の薄い DDGS のキサントフィルは 29.8 mg/kg で、色の濃い DDGS のキサントフィルは 3.5 mg/kg。
Rosentrater (2006)	6	40.0-49.8	8.0-9.8	18.2-23.5	L*、a*および b*は数種類の物理特性との相関関係がみられた。
Batal と Dale (2006)	6	47.9-62.9	4.1-7.6	8.8-28.4	可消化リジン、スレオニン、アルギニン、ヒスチジンおよびトリプトファンは L*値および b*値との有意な相関関係がみられたが、a* 値には相関関係はみられなかった。
Fastinger と Mahan (2006)	5	28.0-55.1	6.7-9.0	15.8-41.9	L*値および b*値の高い DDGS ほど、色の濃い DDGS よりも豚に給与した場合の AA の見かけの消化率および標準化消化率が高くなった。
Urriola (2007)	34	36.5-62.5	8.0-12.0	21.3-47.0	豚の場合では、Minolta、Hunter いずれのカラースコアを用いても、可消化粗タンパク質およびアミノ酸の予測を正確に行うことができなかった ($R^2 < 0.30$)。L* > 50 ($R^2 = 0.03$) のサンプルよりも L* < 50 のサンプルの方が L*と SID リジンとの間の相関関係 ($R^2 = 0.48$) が高かった。
Bhadra ら (2007)	3	36.6-50.2	5.2-10.8	12.5-23.4	カラーパラメータ a*・b*との相関関係は水分活性が高く、熱特性で中程度であったが、これは恐らく飼料保管およびその後の処理において重視されるべきことと考えられる。
Martinez Amezcua と Parsons (2007)	ND	ND；加熱処理した色の薄い DDGS サンプル	ND	ND	家禽の場合では、DDGS の加熱が進むにつれて DDGS に含まれる P の相対的なバイオアベイラビリティが有意に上昇したが、アミノ酸消化率、特にリジンの消化率は大幅に低下した。
Ganesan ら (2008)	ND	40.8-54.1	12.4-18.7	57.6-73.3	DDGS の L*を引き下げ、a*を引き上げるために穀物に添加したソリュブルの量は DDGS の色に影響を及ぼす水分含有率と相互関係にある。
Liu (2008)	6	44.9-59.6	8.3-11.4	31.0-46.4	大半の DDGS サンプルは粒径が増加するに従って L*および b*の減少を示したが、a*はわずかに増加した。
Pahm (2009)	7	49.3-56.4	10.4-14.5	36.7-43.9	雛鶏の場合では、L*と SID リジン間の相関関係は低かったが (0.29)、リジンの相対的バイオアベイラビリティは非常に高かった (0.90)。
Kingsly ら (2010)	1	49.0-53.4	8.8-11.3	24.7-26.5	CDS レベルの低下に従って L*値は増加し、a*値は減少した。
Song ら (2011)	31	45.2-58.1	9.3-12.4	26.6-42.4	脂肪酸化測定値 (TBARS および PV) と L*・b*との間に有意な相関関係がみられた。DDGS の TBARS はトウモロコシの 5~25x 倍だった。

ND = 未測定

豚および家禽の場合の DDGS の色とリジン消化率との関係

EvansとButts（1948）が実施した試験では、飼料原材料が過度に加熱されると結果的にアミノ酸およびタンパク質が繊維など他の化合物と結合することや、単胃動物（すなわち、豚、家禽、魚）に給与する場合にはアミノ酸の消化率（特にリジン）が低下することが初めて明らかにされた。そのため、実施された試験の15件中7件では、過剰な加熱およびDDGSのアミノ酸消化率の低下を示す指標として色を用いることが試験の第一目的となっていた（表1）。DDGSの色、リジン含有率、動物成績の関係を示す初めての論文はCromwellら（1993）によって発表された。彼らによれば、最も色が薄いDDGSでリジン含有率が最も高くなる傾向があり、色が中程度のDDGSでは含有率が中程度、色が濃いDDGSでは含有率が最も低くなる傾向がみられた。これに加えて、ブロイラー鶏ではHunter L*値、増体量、飼料：増体比に有意な相関関係が認められた。カラスコアが似通った供給源の異なるDDGSを混合して豚に給与すると、得られた成績は鶏の雛の試験で観察された結果とほぼ同じであった。Ergulら（2003）およびBatalとDale（2006）が追加的に実施した家禽試験では、広範なL*値とb*値を有する供給源の異なるDDGSの評価が行われ、L*値とb*値はリジン等のアミノ酸の消化率と有意な相関関係のあることを示したCromwellら（1993）による試験結果が裏付けられた。しかしながら、7箇所の供給源から入手した「ゴールデン」に分類され、L*値の範囲が狭い（49から56）DDGSを評価したPahmら（2009）による最近の研究から得られた結果は、家禽ではL*値はリジン消化率に影響を及ぼさないことを示唆していた。一方でこれらのDDGS間ではリジンの相対的なバイオアベイラビリティには有意な差が認められた。

同様に、豚を対象とした追加試験（Whitneyら、2001；FastingerとMahan、2006）から得られた結果は、L*値の高いDDGSよりもL*値の低い（色の濃い）DDGSに含まれるアミノ酸の消化率の方が低いことを示した。ところが、Urriola（2007）はL*値の幅が広い（37～63）数多くのDDGSサンプル（n = 34）を用いて、豚の場合ではMinoltaとHunterいずれのカラスコアでも可消化粗タンパク質およびアミノ酸は正確には予測できない（ $R^2 < 0.30$ ）ことを初めて実証した。L*値が50を超えるサンプルよりも50未満のサンプルの方が、L*値と可消化リジンとの相関性は強くなった（図4）。しかしながら、L*値が50未満のサンプルでも、豚に給与した場合はL*値と可消化リジン含有率との相関性は比較的小さくなった（ $R^2 = 0.48$ ）ことから、色を用いて供給源の異なるDDGSの可消化リジン含有率を正確に予測することが不可能であることが示唆された。こうした試験から得られた結果により、L*値が50未満の場合には、a*値以外のL*値とb*値がリジンの相対消化率の有用な一般的指標となり得ること、また、このことはL*値が50を超える場合には当てはまらないことが示された。

DDGS に含まれるリンの相対的バイオアベイラビリティと乾燥温度との関係

DDGS 乾燥工程における過剰な加熱（低L*値および色の濃さ）がリジン等のアミノ酸の消化率を低下させることは、いずれの試験でも一致しているが、家禽の場合ではリンの相対的バイオアベイラビリティを上昇させることがある。Martinez - Amezcua と Parsons（2007）は薄い色のDDGSに適用する加熱温度を引き上げ、リンの相対的バイオアベイラビリティが改善することを見いだしたが、アミノ酸の消化率は大幅に低下した。これは、DDGS を過剰に加熱することによってリンの利用率が上昇するため、その結果として家禽にとっての栄養価値が高くなる可能性のあることを初めて証明するものである。

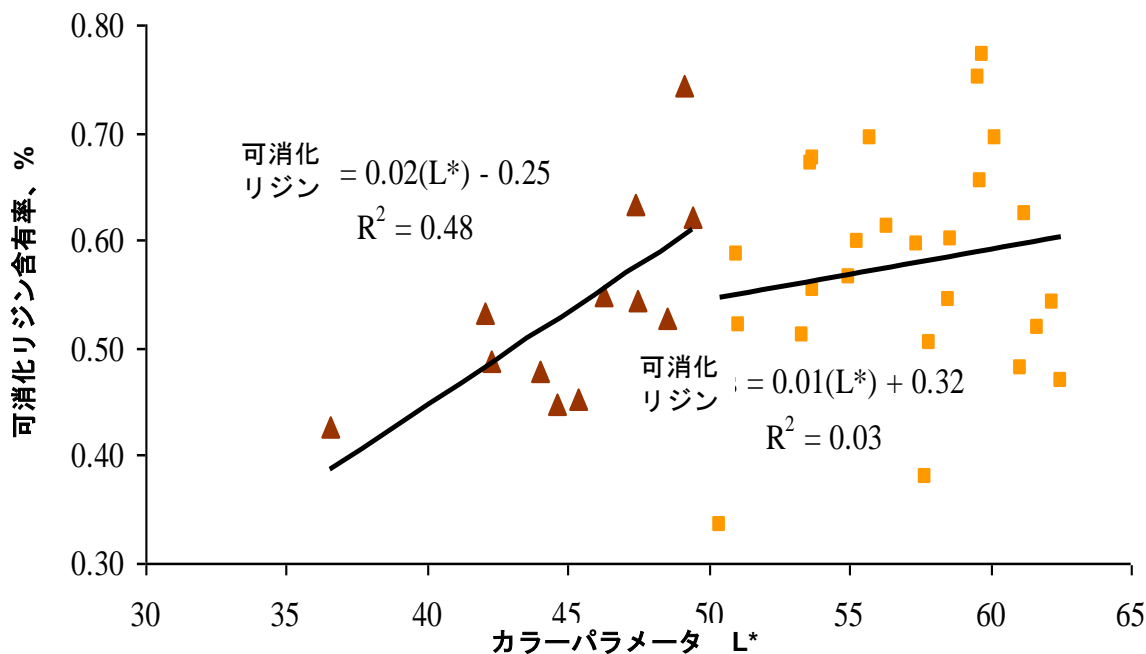


図4. 明度 (L*) と豚に給与した場合のトウモロコシDDGSに含まれる可消化リジンの含有率との関係 (Urriolaら、2007)

DDGSの色とキサントフィル含有率との関係

DDGSのキサントフィルの含有率を確定するために実施された試験は少ない。キサントフィルはトウモロコシおよびトウモロコシ併産物に自然に発生する黄色かオレンジ色の色素で、多くの国、特にアジアの国々で望ましい黄金色の卵黄やブロイラーの皮膚を得るために使用される大切な家禽飼料成分となっている。合成キサントフィル色素（多くの場合、マリーゴールドの花弁から作られる）は非常に高価であるが、主要な色素源としてアジア諸国ではごく普通に家禽飼料に添加されている。従って、コーングルテンミールや、量は少ないもののDDGSなどのトウモロコシ併産物を家禽飼料に加えると、高価な合成色素の必要量を減らすことができ、結果的に顧客が好む色の卵黄や皮膚の実現が可能となる上、飼料コストも引き下げることができる。

DDGSに含まれるキサントフィルの値は10.6 mg/kg (NRC、1981) ~34.0 mg/kg (SauvantとTran、2004)の範囲であることが報告されている。Robersonら(2005)は測色にMinoltaの色差計もHunterの色差計も用いず、薄い黄金色のDDGSにキサントフィルが29.8 mg/kg含まれているのに対し、色の濃いDDGSに含まれるキサントフィルは3.5 mg/kgであることを示した。彼らはDDGSの過剰な加熱がキサントフィルの酸化を引き起こす可能性があり、その結果として含有率が低下することを明らかにした。従って、色の濃いDDGSよりも色の薄いDDGSの方がより多くのキサントフィルを含有している可能性が高いと考えられる。

DDGS の色と脂質酸化レベルとの関係

DDGS に含まれる酸化油の量を評価するために実施された試験はごくわずかである。ドライド・ジスチラーズ・グレイン・ウィズ・ソリュブルには約 10%のトウモロコシ油が含まれている。トウモロコシ油には脂質過酸化反応の影響を受けやすい多くの多価不飽和脂肪酸（特にリノール酸）が含まれている。エタノールプラントで採用されている乾燥温度には大きな差がある可能性があり（185（85°C）～1100°F（593.3°C））、乾燥工程中に乾燥時間が伸び、乾燥温度が上昇すると脂質過酸化反応が促進される。動物飼料の脂質過酸化反応は豚の健康および生育成績に悪影響を及ぼす事が明らかになっている（L'Estrange ら、1967；Dibner ら、1996；DeRouchey ら、2004）。Harrell ら（2010）は、酸化が非常に進んだトウモロコシ油を給与した豚の成育成績と DDGS を 20～30%配合した飼料を給与した幼豚の生育成績がほぼ同程度となり、酸化したトウモロコシ油または DDGS を給与した豚の成育成績が新鮮な（酸化していない）トウモロコシ油を給与した豚の成績を下回る結果となることを示した。Song ら（2011）は最近になって、米国 31 箇所のエタノールプラントから入手した DDGS サンプルを用い、脂質過酸化反応を測定するための一般的な分析方法であるチオバルビツール酸反応性物質（TBARS）および過酸化価（PV）を測定する試験を完了した。DDGS サンプルの TBARS の範囲は 1.0～5.2 ng MDA 相当/mg 油で、PV の範囲は 4.2～84.1 meq/kg 油であった。TBARS および PV の値が最も高い DDGS サンプルは、それぞれトウモロコシのレベルの 25 倍と 27 倍であった。異なる供給源の DDGS の L*値・b*値と脂質過酸化反応レベルとの間にみられる有意な負の相関関係は、色の濃い DDGS サンプルの方が色の薄い DDGS サンプルよりも酸化脂質のレベルが高い可能性を示唆している。

DDGS の色と物理特性に関連性はあるか？

保管およびその後の飼料処理に影響を及ぼす可能性のある、DDGS の色とその物理特性との関係を理解する目的で実施された試験は 5 件（表 1）である。Rosentrater（2006）は、L*、a*および b*が DDGS のいくつかの物理特性（水分含有率、水分活性、電導性、抵抗性、かさ密度および流動性）と相関関係のあることを初めて報告した。Bhadra ら（2007）はこうした発見を裏付けるとともに、a*と b*が水分活性と強い相関関係があり、DDGS の熱特性と中程度の相関関係があることを明らかにしたが、このことは色が飼料の保管およびその後の処理上の特性を評価するための指標となる可能性を示唆している。

エタノールプラントで DDGS を製造するために粗粒穀物分画に添加される濃縮ジスチラーズ・ソリュブルの量は様々である。DDGS の製造に用いられるソリュブルと粗粒穀物の割合は、それぞれの栄養成分が大幅に異なるため、DDGS の栄養成分に影響を及ぼす。乾物（33.8 vs. 19.5%）、粗タンパク質（33.8 vs. 19.5%）および粗繊維（9.1 vs. 1.4%）では粗粒穀物分画の値が濃縮ソリュブル分画の値を上回るが、粗脂肪（7.7 vs. 17.4%）、灰分（3.0 vs. 8.4%）およびリン（0.6 vs. 1.3%）では下回る。従って、粗粒穀物分画に添加する濃縮ソリュブルの割合が増加すると、DDGS に含まれる粗脂肪、灰分およびリンは増加するが、粗タンパク質および粗繊維は減少することになる。

Noll ら（2006）は、湿状穀物に添加するソリュブルの割合を変えて製造したトウモロコシ DDGS のバッチ別の栄養成分および消化率を評価した。調製された DDGS サンプルに含まれるソリュブルの割合は、穀物に対する最大添加可能量の約 0、30、60 および 100%であった。これはそれぞれ 1 分間に 0、12、25 および 42 ガロンのシロップを穀物分画に添加することに相当する。穀物分画に添加するソリュブルの割合が低下するに従って乾燥温度も引き下げた。穀物分画に添加するソリュブルの割合が増加するに従って、粒径が増加し、ばらつきが多くなった。添加するソリュブルの量が増えると、DDGS の色は濃くなり（L*の減少）、黄色の程度が薄く（b*の減少）なった（表 2）。ソリュブルの添加量が増加すると、粗脂肪、灰分、TME_n（家禽）、マグネシウム、ナトリウム、リ

ン、カリウム、塩化物および硫黄が増加する結果となったが、粗タンパク質およびアミノ酸の含有率および消化率には最小限の影響しか及ぼさなかった。Ganesan ら (2008) および Kingsly ら (2010) は、粗粒穀物分画に添加する濃縮ジステラーズ・ソリュブルの量が増加するに従って、L* が低下し、a*が増加することを示した。従って、DDGS の L* と a* は DDGS サンプル間の栄養成分の違いを示す一般指標とすることができる。

表 2. マッシュへのソリュブル添加率が DDGS の色特性に及ぼす影響

色 (CIE スケール)	0 ガロン/分	12 ガロン/分	25 ガロン/分	42 ガロン/分	ピアソン相関	P 値
L*	59.4	56.8	52.5	46.1	- 0.98	0.0001
a*	8.0	8.4	9.3	8.8	0.62	0.03
b*	43.3	42.1	40.4	35.6	- 0.92	0.0001

Noll ら(2006)から適用。

ミネソタ大学で実施された試験では、異なる供給源の DDGS の粒径には相当なばらつき (256~1,217 μm) があり、DDGS の粒径は豚に給与した場合の可消化エネルギー (DE) および代謝エネルギー (ME) に影響を及ぼす可能性のあることが示された (Liu ら、2011)。Liu (2008) の報告によれば、DDGS の粒径が増加すると、大半の DDGS サンプルの L*値および b*値が減少し、a*値はわずかに増加した。

色は DDGS の品質を示す最適な指標か？

必ずしもそうではない。DDGS の「品質」を表すために用いることのできる基準は数多く存在することを思い出してもらいたい。本書にまとめた研究試験から得られた結果は、DDGS の色が DDGS の栄養成分および物理特性の一部と相関関係にあることを示している。場合によっては、L*値の高い DDGS はリジン消化率およびキサントフィル含有率が高く、脂質の酸化が最小限であると推し量ることができるかもしれない。反対に、色の濃い DDGS は色の薄い DDGS よりもいくつかの栄養成分の値が高い可能性がある。例えば、DDGS を製造する時に粗粒穀物分画に添加するソリュブルの割合を引き上げると、含まれるソリュブルが少なく色の薄い DDGS と比較して、エネルギー、粗脂肪およびミネラルの値が高まり、その一方粗タンパク質およびアミノ酸の含有率および消化率には最小限の影響しか及ぼさない。さらに、色の濃いサンプルは家禽の場合ではリンの相対的なバイオアベイラビリティが高い可能性がある。粒径、水分含有率、その他の DDGS の物理特性も色と相関関係があるが、飼料製造および栄養の観点からこうした相関性の価値を評価するのは一段と困難なことである。従って、色を DDGS の品質を示す唯一の指標または最適な指標として用いることは推奨できない。

DDGS の品質および価値を評価するためのより正確な方法は？

ほとんどの DDGS ユーザーにとって、品質の優れた DDGS というのは栄養成分値および消化率が高く、マイコトキシンのような栄養阻害因子が存在しない DDGS である。栄養品質とは、動物飼料の他の原材料を部分的に置換するために DDGS を配合することによって得られる可消化栄養成分の含有率および価値またはコスト削減を意味している。この「価値」は DDGS に支払う「価格」とはかなり異なるものである。市場価格は通常、特定の「プロファット」レベル (例えば 36%) を保証することによって形成される。「プロファット」とは DDGS の粗タンパク質の含有率と粗脂肪の含有率を合計したもので、保証値 (例えば 36%) と同じかこれを上回らないと供給業者は値引きを避

けることができない。しかしながら、動物用飼料（特に豚および家禽用）は粗タンパク質や粗脂肪に基づいて試料設計するわけではなく、むしろ ME（代謝エネルギー）および可消化アミノ酸に基づいて試料設計が行われる。そのため、ME および可消化アミノ酸含有率が高い供給源の原材料は、こうした高価な栄養成分の含有率が低い供給源の原材料よりも飼料コストの面からより「貴重」である。DDGS 供給源は同一の「プロファット」レベルを有する DDGS を同一価格で供給することが多いが、ME および可消化アミノ酸含有率に基づく「価値」は大幅に異なる場合もある。

例えば、表 3 は 5 箇所の異なる供給源から入手した DDGS の粗タンパク質および粗脂肪の実際の含有率を示したものである。いずれの供給源も最低含有率である 36% のプロファット保証を満たしており、プロファットレベルが最も高い DDGS が最も高価値（例えば A と C）と考える人もいると思われる。しかし、VAST's Illuminate® サービス (<http://v-ast.com/services.htm>) を用いて実際に栄養分析を行って、豚用飼料として用いた場合の各 DDGS の ME、可消化アミノ酸および有効リンの含有率を調べると、事実は異なるということが分かる。DDGS の価値に最も貢献するのは ME 値で、2,970（供給源 C の価値は \$165/トン）～3,540 kcal/kg（供給源 E の価値は \$215/トン）の範囲になる。これで価値に \$50/トンの差がつくことになるが、こうした DDGS がすべて同一の価格で購入される可能性がある。DDGS の品質 = DDGS の価値と考えるなら、品質を評価する最良の方法は、価値評価に利用することのできる様々な「栄養ツール」を用いて、より緻密な飼料設計のためにより正確な栄養投入価値を知ることである。

表 3. 5 箇所の供給源から入手した粗タンパク質含有率および粗脂肪含有率が異なる DDGS の比較

	A	B	C	D	E
乾物%	87.9	90.1	86.5	91.7	90.0
粗タンパク質%	28.2	26.7	27.7	26.7	25.1
粗脂質%	11.4	9.9	11.5	10.6	11.2
プロファット%	39.6	36.6	39.2	37.3	36.3
ME、Kcal/kg	3070	3460	2970	3410	3540
可消化リジン%	0.54	0.52	0.54	0.61	0.54
有効リン%	0.67	0.50	0.62	0.56	0.64
価値\$	175	204	165	208	215

豚および家禽用の ME 予測式

供給源によって DDGS の栄養成分にばらつきがあり、豚および家禽用の飼料設計では正確な ME 値を知ることが経済的に重要であることから、研究者らは異なる供給源の DDGS の栄養成分含有率および ME 値を見極めるための試験を実施し、豚に給与する場合（Pedersen ら、2007；Mendoza ら、2010；Anderson ら、2012）および家禽に供給する場合（Batal と Dale、2006；Rochelle ら、2011）の様々な供給源の DDGS の ME 値を推定するための予測式を開発した。こうした予測式の例を次に示す。

豚

$$\text{ME kcal/kg DM} = (0.949 \times \text{kcal GE/kg DM}) - (32.238 \times \% \text{TDF}) - (40.175 \times \% \text{灰分})$$

Anderson ら(2012) $r^2 = 0.95$ SE = 306

$$\text{ME kcal/kg DM} = 2,815 + (94.5 \times \% \text{粗脂肪}) + (96.2 \times \% \text{粗繊維}) - (33.2 \times \% \text{NDF}) - (66.2 \times \% \text{灰分}) + (25.9 \times \% \text{デンプン})$$

$$\text{Mendoza ら (2010)} \quad r^2 = 0.90 \quad \text{SE} = 49$$

$$\text{ME kcal/kg DM} = -10,267 - (175.78 \times \% \text{灰分}) + (23.09 \times \% \text{CP}) - (71.22 \times \% \text{EE}) - (137.93 \times \% \text{ADF}) + (3.036 \times \% \text{GE, kcal/kg})$$

$$\text{Pedersen ら、(2007)} \quad r^2 = 0.99$$

ただし、GE = 総エネルギー、TDF = 総食物繊維、NDF = 中性デタージェント繊維、EE = エーテル抽出物、ADF = 酸性デタージェント繊維とする。

家禽

13種の異なるトウモロコシ併産物に基づく場合：

$$\text{AME}_n, \text{ kcal/kg DM} = 3,517 + (46.02 \times \% \text{粗脂肪}) - (82.47 \times \% \text{灰分}) - (33.27 \times \% \text{ヘミセルロース})$$

$$\text{Rochelle ら (2011)} \quad r^2 = 0.89 \quad \text{SE} = 191$$

DDGS のみに基づく場合：

$$\text{AME}_n = 2138 - (263.5 \times \% \text{粗繊維}) + (566.3 \times \% \text{灰分}) \quad r^2 = .99$$

$$\text{AME}_n = 1278 - (19.7 \times \% \text{TDF}) + (470 \times \% \text{灰分}) \quad r^2 = .99$$

Rochelle ら (2011)

粗タンパク質、脂肪、繊維および灰分の含有率から DDGS の家禽 TME を予測する場合 (Batal と Dale、2006)：

$$\text{TME}_n, \text{ kcal/lb} = 2439.4 + (43.2 \times \% \text{粗脂肪}) \quad r^2 = 0.29$$

$$\text{TME}_n, \text{ kcal/lb} = 2957.1 + (43.8 \times \% \text{粗脂肪}) - (79.1 \times \% \text{粗繊維}) \quad r^2 = 0.43$$

$$\text{TME}_n, \text{ kcal/lb} = 2582.3 + (36.7 \times \% \text{粗脂肪}) - (72.4 \times \% \text{粗繊維}) + (14.6 \times \% \text{粗タンパク質}) \quad r^2 = 0.44$$

$$\text{TME}_n, \text{ kcal/lb} = 2732.7 + (36.4 \times \% \text{粗脂肪}) - (76.3 \times \% \text{粗繊維}) + (14.5 \times \% \text{粗タンパク質}) - (26.2 \times \% \text{灰分}) \quad r^2 = 0.45$$

こうした数式は豚および家禽に給与する場合の DDGS の ME 値を推定するためのメカニズムを提供してくれるが、使用するには課題がある。何よりもまず、こうした数式のいずれも動物給与試験でその正確性が検証されているわけではない。2 番目に、こうした数式の中には、他の DDGS よりも栄養成分のばらつきが小さい DDGS のサンプルを用いて開発されたものがあり、多様な DDGS を対象とする場合にはこのことが精度に影響を与えることになる。3 番目に、数式を用いるために必要とされるいくつかの栄養成分計測値 (例えば GE、TDF) は飼料工場の研究室で普段計測されている項目ではない (例えば GE) 上に、高価である (例えば TDF) ことも多く、栄養成分の中には (例えば NDF) その計測結果が研究室ごとにまた用いられる手順ごとに大きく異なっているものもある。最後に、数式によっては脂肪および繊維のための調整が直観に反するようと思われる。例えば、エーテル抽出物は ME に対してプラス効果を、粗繊維はマイナス効果をもつはずだが、数式の中には反対の効果を示すものがある。

アミノ酸消化率を評価するための方法

可消化アミノ酸は動物用飼料に含まれる栄養成分としては 2 番目 (エネルギーに次ぐ) に高価なものである。複数の試験 (Ergul ら (2003) ; Batal と Dale (2006) ; Fastinger と Mahan (2006) ;

Urriola (2007)) によって、供給源の異なる DDGS では豚および家禽に給与した場合の可消化アミノ酸含有率に大きなばらつきのあることが示された。そのため、供給源の異なる DDGS のアミノ酸消化率を正確に予測することを目的として、様々な方法の検討が行われている。

豚

粗タンパク質の含有率は DDGS に含まれるリジンの標準回腸消化率 (SID) の予測指標としては劣るが、総リジンおよび反応性リジンの含有率に対しては優れた予測指標となり (Kim ら、2010)、次の数式、すなわち $SID \text{ リジン} \% = -0.482 + (1.148 \times \text{分析リジン、}\%)$ または $SID \text{ リジン} \% = -0.016 + (0.716 \times \text{反応性リジン}\%)$ が用いられる。DDGS に含まれる粗タンパク質に対するリジンの比率によって、供給源の異なる DDGS に含まれるリジンの相対的な消化率をおおよそ予測することができるが、正確な予測には不向きである (Stein、2007)。言い換えれば、ある供給源から入手した DDGS に含まれる粗タンパク質に対するリジンの比率が > 2.80 である場合には、非常に消化性に優れており、豚および家禽用飼料として適切であると見なすことができる。

家禽

Fiene ら (2006) は粗タンパク質、粗繊維および粗脂肪の値を用いて、DDGS に含まれる総アミノ酸含有率を予測するための数式を開発した。こうした数式はメチオニンやスレオニンの予測には妥当であるが、リジン、アルギニン、シスチンおよびトリプトファンの予測式としては劣る。Cromwell ら (1993) は、ADIN (酸性デタージェント不溶性窒素) およびブロイラーの成長率と DDGS の飼料要求率との間の高い負の相関を示した。Novus International 社の IDEATM 解析法を用いると、家禽に給与する場合の DDGS の可消化リジンを適切に予測することができるが、その他のアミノ酸には不向きである。

DDGS の栄養価を評価するための市販「栄養ツール」

IDEA® (固定化消化酵素評価法) は Novus International 社が市販している分析方法で、様々な供給源の DDGS、大豆粕およびその他家禽・豚飼料用高タンパク質原材料の可消化アミノ酸含有率を予測するために用いられる。豚に給与する場合の DDGS のアミノ酸消化率を示す信頼性の高い指標として IDEA® を用いることができるか否かを見極めるため、現在その精度についての評価検討が進められている。家禽の場合の可消化リジン含有率の予測には妥当な指標であるが、他のアミノ酸には不向きと考えられる。

AMINORED® は Evonik 社が開発したツールで、ヒートダメージ・インジケーター (HDI) と呼ばれる *in vitro* 処置を施すことで、大豆粕および DDGS の熱損傷を特定し、順位付けすることができる。この HDI は、AMINORED® と呼ばれる「ツール」を用いて熱損傷量に応じてアミノ酸消化率を調整するために使用される。豚および家禽に給与する場合の DDGS のアミノ酸消化率を示す信頼性の高い指標として AMINORED® を用いることができるか否かを見極めるため、現在その精度についての評価検討が進められている。

Adisseo 社は NIRS (近赤外反射分光法) を用いて、豚および家禽に給与する場合のトウモロコシ、大豆粕および DDGS を含む様々な飼料原材料に含まれる栄養成分を予測するサービスをアジア各国で提供している。近似分析成分を見極め、家禽に給与する場合のトウモロコシ、大豆粕および DDGS に含まれる総アミノ酸、可消化アミノ酸および AME を予測するための検量線が開発されている。

Illuminate® はValue Added Science and Technology社 (<http://v-ast.com/services.htm>) が開発した「ツール」で、DDGSに含まれるME値、SIDアミノ酸および有効リンを予測し、異なる供給源の豚用飼料原材料間の相対的な価値比較を提供することを特に目的としている。このツールを利用するためには有料の会員登録が必要であり、ツールは公表されているME予測式、米国約100箇所のエタノールプラントを対象とした化学分析およびNIR検量線に基づいたものである。

DDGS の価値を測る「計算ツール」

家畜および家禽に給与する場合のDDGSの飼料価値を見極めることを目的として、複数のDDGS価値計算ツールが開発されている。こうしたツールは、特定の家禽および家畜を対象として実際のDDGSの経済的価値を見極める上で非常に役立つものであり、現在のDDGSの価格が栄養貢献度から見てあるいは他の飼料原材料の価格と比較して経済的であるか否かを評価する場合にはこうしたツールを使用すべきものである。最も新しい総合的なDDGS価値計算ツールはアイオワ州立大学の研究者ら (DahlkeとLawrence、2008) によって開発されたもので、幅広い飼料および食品用動物種を対象とすることができるという点で便利である (<http://www.matric.iastate.edu/DGCalculator>)。SESAME (www.sesamesoft.com) はオハイオ州立大学の研究者ら (Drs. Normand St - Pierre、BranislavCobanovとDraganGlamocic、2007) によって開発されたもので、家畜や家禽の生産業者がより効果的に飼料を購入選択することができるよう支援する総合的なツールである。さらに、下記に示すように、豚専用開発されたDDGS評価ツールが3種類あり、www.ddgs.umn.eduで利用することができる。

- イリノイ大学 DDGS 計算ツール — Drs. Beob G. Kim と Hans H. Stein による開発 (2007年12月)
- 豚用DDGSコスト計算ツール — サウスダコタ州立大学公開講座豚スペシャリストである Dr. Bob Thalerによる開発 (2002年9月)
- DDGS価値計算ツール — ウィスコンシン州マジソン所在、Vita Plus Corporation社のDr. Dean Koehlerによる開発 (2002年9月)

References

- 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 co-products fed to finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 90:1242-1254.
- Bhadra, R., K. Muthukumarappan, and K.A. Rosentrater. 2007. Characterization of chemical and physical properties of distillers dried grain with solubles (DDGS) for value added uses. An ASABE Meeting Presentation, Paper Number: 077009, 2007 ASABE Annual International Meeting, Minneapolis, Minnesota, 17 - 20 June 2007.
- Batal, A.B. and N.M. Dale. 2006. True metabolizable energy and amino acid digestibility of distillers dried grains with solubles. *J. Appl. Poult. Res.* 15:89-93.
- Cromwell, G.L., K. L. Herkelman, and T. S. Stahly. 1993. Physical, chemical, and nutritional characteristics of distillers dried grains with solubles for chicks and pigs. *J. Anim. Sci.* 71:679-686.
- DeRouche, J. M., J. D. Hancock, R. H. Hines, C. A. Maloney, D. J. Lee, H. Cao, D. W. Dean, and J.S. Park. 2004. Effects of rancidity and free fatty acids in choice white grease on growth performance and nutrient digestibility in weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 82:2937-2944.

- Dibner, J. J., C. A. Atwell, M. L. Kitchell, W. D. Shermer, and F. J. Ivey. 1996. Feeding of oxidized fats to broilers and swine: effects on enterocyte turnover, hepatocyte proliferation and the gut associated lymphoid tissue. *Animal Feed Science Technology* 62:1-13.
- Ergul, T., C. Martinez-Amezcuca, C. Parsons, B. Walters, J. Brannon and S.L. Noll. 2003. [Amino acid digestibility in corn distillers dried grains with solubles](#). Presented at the 2003 Poultry Science Association Mtg., Madison, WI, July 2003. Available: www.ddgs.umn.edu/info-poultry.html. Accessed: January, 2011.
- Evans, R. J., and H. A. Butts. 1948. Studies on the heat inactivation of lysine in soy bean oil meal. *J. Biol. Chem.* 175:15–20.
- Fastinger, N.D. and D.C. Mahan. 2006. Determination of the ileal AA and energy digestibilities of corn distillers dried grains with solubles using grower-finisher pigs. *J. Anim. Sci.* 84:1722-1728.
- Fiene, S.P., T.W. York, and C. Shasteen. 2006. Correlation of DDGS IDEA™ digestibility assay for poultry with cockerel true amino acid digestibility. Pp. 82-89 In: Proc. 4th Mid-Atlantic Nutrition Conference. University of Maryland, College Park, MD.
- Ganesan, V., K. Muthukumarappan, and K.A. Rosentrater. 2008. Effect of moisture content and soluble level in physical, chemical, and flow properties of distillers dried grains with soluble (DDGS). *Cereal Chem.* 85:464-740.
- Harrell, R. J., J. Zhao, G. Rexnik, D. Macaraeg, T. Wineman, and J. Richards. 2010. Application of a blend of dietary antioxidants in nursery pigs fed either fresh or oxidized corn oil or DDGS. *J. Anim. Sci.* 88(E-Suppl. 3): 97-98 (Abstr.).
http://en.wikipedia.org/wiki/Color_in_Chinese_culture
<http://hubpages.com/hub/The-significance-of-the-colors-red--gold-in-Chinese-culture>
<http://v-ast.com/services.htm>
http://webdesign.about.com/od/colorcharts/l/bl_colorculture.htm
<http://www.gipsa.usda.gov/GIPSA/webapp?area=home&subject=lr&topic=hb>
- Kingsly, A.R.P., K.E. Ileleji, C.L. Clementson, A.Garcia, D.E. Maier, R.L. Stroshine, and Scott Radcliff. 2010. The effect of process variables during drying on the physical and chemical characteristics of corn dried distillers grains with solubles (DDGS) – Plant scale experiments. *Bioresource Technology* 101:193–199.
- Kim, B.G., Y. Zhang, and H.H. Stein. 2010. Concentrations of analyzed or reactive lysine, but not crude protein, may predict the concentration of digestible lysine in distillers dried grains with soluble fed to pigs. *J. Anim. Sci.* 88(E-Suppl. 3):104 (Abstr.)
- Klopfenstein, T. and R. Britton. 1987. Heat damage . Real or Artifact. In: Dist.Feed Conf. Proceedings. 42:84-86.
- L'Estrange J. L., K. J. Carpenter, C. H. Lea, and L. J. Parr. 1967. Nutritional effects of autoxidized fats in animal diets. 4. Performance of young pigs on diets containing meat meals of high peroxide value. *Br. J. Nutr.* 20:377-392.
- Liu, K. 2008. Particle size distribution of distillers dried grains with solubles (DDGS) and relationships to compositional and color properties. *Bioresource Tech.* 99:8421-8428.
- Liu, P., L.W.O. Souza, S.K. Baidoo, and G.C. Shurson. 2011. Impact of DDGS particle size on nutrient digestibility, DE and ME content, and flowability in diets for growing pigs. *J. Anim. Sci.* **89 (E-Suppl. 2):58** (abstr).
- Martinez-Amezcuca, C. and C. M. Parsons. 2007. Effect of increased heat processing and particle size on phosphorus bioavailability in corn distillers dried grains with solubles. *Poultry Science* 86:331–337.
- 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.
- Noll, S., C. Parsons, and B. Walters. 2006. What's new since September 2005 in feeding distillers co-products to poultry. Proceedings from the 67th Minnesota Nutrition Conference & University of Minnesota Research Update Session: Livestock Production in the New Millenium, St. Paul, MN. pp. 149-154.

- 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. *Poul. Sci.* 88:571-578.
- Pedersen, C., M.G. Boersma, and H.H. Stein. 2007. Digestibility of energy and phosphorus in 10 samples of distiller dried grains with solubles fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 85:1168-1176.
- 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.
- 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. *Poul. Sci.* 90:1999-2007.
- Rosentrater, K.A. 2006. Some physical properties of distillers dried grains with soluble (DDGS). *App. Eng. Agric.* 22:589-595.
- Sauvant, D. and G. Tran. 2004. Corn Distillers. Page 118 in: *Tables of composition and nutritional value of feed materials.* D. Sauvant, J.M. Perez, and G. Tran ed. Wageningen Academic Publishers. The Netherlands.
- Song, R., A. SaariCsallany, and G. C. Shurson. 2011. Evaluation of lipid peroxidation level in corn dried distillers grains with solubles (DDGS). Presented at the Midwest ASAS/ADSA meeting, March, 2011. *J. Anim Sci. e-suppl.* (abstract).
- Stein H. H., M. L. Gibson, C. Pedersen, and M. G. Boersma. 2006. AA and energy digestibility in ten samples of distillers dried grain with solubles fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 84: 853-860.
- Stein, H. H. 2007. Distillers dried grains with solubles (DDGS) in diets fed to swine. *Swine Focus No.* 001. Univ. of Illinois, Urbana-Champaign.
- Urriola, P.A. 2007. Digestibility of Dried Distillers Grains with Solubles, In vivo Estimation and In vivo Prediction. M.S. Thesis. University of Minnesota.
- Whitney, M.H., M.J. Spiehs, G. C. Shurson, and S. K. Baidoo. 2001. Apparent ileal amino acid digestibility of corn distiller's dried grains with solubles. Available: <http://www.ddgs.umn.edu/articles-swine/2002-Spiehs-%20Apparent%20ileal%20amino.pdf> Accessed Jan. 7, 2011.