

## 第 10 章: DDGS の色調は品質と栄養価の信頼できる指標ではない

### なぜ DDGS の色が品質の問題として捉えられているのか

トウモロコシ(例えば米国の No. 2)やその他の米国産穀物商品のように、DDGS には格付けシステム、または定義および品質基準はない。その結果、世界中の米国 DDGS の売り手と買い手の間で誤解が生まれる可能性がある。品質基準がない状況では、価格設定、契約書の作成、期待への対応は困難となっている。過去 10 年間にわたって、業界、政府および各学界の専門家が DDGS の品質基準について協議し、品質基準の設定を試みてきたが、品質基準の定義設定の必要性に関する意見の相違およびおそらく透明性の向上と、品質を区分して DDGS 供給源間の差に関する評価能力が高まることへの警戒感から、試みは失敗に終わっている。米国の多くの DDGS 販売担当者は、水分および繊維の最大含量値保証と、脂肪とたん白質の最小含量保証値のみにスポットを当てることを好んでいる。しかし、米国産 DDGS の供給業者間で栄養成分含量と品質にはバラツキがあるため、世界の買い手は、自らが期待している水準に合わない併産物を入手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する保証を要求することがある。

DDGS の色調は、輸出市場の一部のバイヤーにとって品質を保証する非常に重要な要因となっており、DDGS 供給源を評価する際の指標として使われている。数年前、一部の DDGS の売り手と買い手は 5 色のスコアカード(図 1)を使用した主観的な色調評価システムを開発し、DDGS 供給源の色調による区別を行った。このスコアカードは現在も使用されているが、あまりにも主観的すぎ、スコアの解釈の違いによる売り手と買い手との間で論争が頻繁に起こっているため、マーケティング担当者の多くはその使用を中止している。その結果、米国の供給業者と海外(特にアジア諸国)の買い手との間で交渉が進められている売買契約の中に、色調の量的測定値( $L^*$ -色調の明暗)の最低保証が含まれるようになっていいる。現在、一部の買い手の要求にこたえるために、DDGS の色調の明暗の最少保障値としてハンター $L^* >$

50 を採用している。米国産 DDGS は、色調に関わらず様々な国に輸出され続けているが、一部の市場向けには、 $L^* > 50$ を保証している。

このため、買い手の色調に対する希望を満たすことが出来ない一部の供給業者は、DDGS の品質の指標として色調を用いることへの不満と疑念を抱くようになっている。このような理由で、本章では、DDGS の品質と、市場で品質を表す指標として色調を用いる理由を明確化し、DDGS の品質を評価するためのその他の様々な品質特性と測定結果について説明することとする。

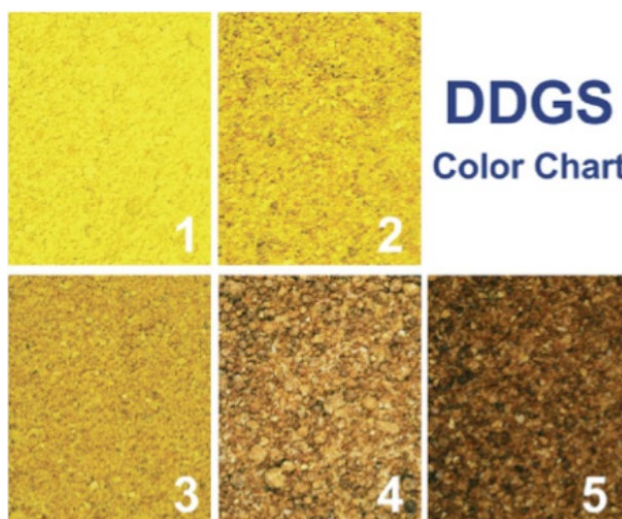


図 1. DDGS カラースコアカードの例

### 品質をどのように定義するのか?

品質には多くの定義があるが、その製品の卓越性、優位性または際立った特性等を表す本質的な特徴あるいは固有の特性と定義することが出来る(<http://www.merriam-webster.com/dictionary/quality>)。ビジネスの世界では、品質は卓越性、または、欠陥、不具合、著しいバラツキがない状態を示す一般的な尺度と定義されている(<http://www.businessdictionary.com/definition/quality.html>)。

ISO 8402-1986 規格では、品質を「指定または暗黙のニーズを満たす能力を備えた製品またはサービスの特性および機能の全体」と定義している。製造の世界では、品質は特定の顧客またはユーザーの要求を満たす均一

な製品を実現するための、測定および検証が可能な基準を一貫して厳密に遵守することを定義している。品質は、測定可能な基準を使用して客観的に確認することが可能で、主観的には、観察可能な特性として評価はできるが、測定することはできない特性であると言える。したがって、品質は有形物の望ましい特性を指す一般的な用語であって、人によって解釈が異なることを意味している。

## 飼料原料と飼料の品質はどのように定めるのか？

飼料製造業者および畜産生産者は飼料原料および飼料の品質を評価するために、物理・化学的および生物学的試験を含む、様々な定性的、定量的な方法を用いている。飼料の物理的評価は定性的なものであり、飼料原料と飼料の性質の変化を特定するために使用されている。一般的に評価される物理的特性には、色、粒子サイズ、かさ密度、均質性、臭い、味、触覚、音等がある。他の穀物、雑草の種、外皮、砂などの混入は、物理的評価によって確認できる最も一般的な異物である。

化学的な試験は定量的なものであり、栄養成分および潜在的な汚染物質の推定を可能にする。民間試験機関を利用して飼料原料の一般成分分析を行うことは品質を評価するための一般的な手法となっている。これらの測定項目には通常、水分、粗たん白質(CP)、粗繊維、粗脂肪、灰分がある。原料の特性(栄養成分組成)は、飼料製造における品質保証で不可欠であり、購買契約の作成、品質の評価およびある程度までは基礎的な配合設計用データとして使用される。これらの栄養成分値は、供給される原料が求めるレベルに達しているかを評価する指標となり、懸念される潜在的な汚染物質(マイコトキシン、ダイオキシンなど)の測定値が含まれる場合もある。

実体顕微鏡検査は、飼料または飼料原料に異物や汚染物質が混入しているか否かを判断する際に利用される。低倍率(8x~50x)および高倍率(100x~500x)の顕微鏡で飼料原料サンプルを鏡検し、形状、色、粒子サイズ、柔らかさ、硬度および質感を評価する。飼料原料の生物学的評価も行われるが、通常、大学や動物を用いた研

究施設を持つ大規模な飼料会社に限定される。これには、動物の使用と、様々な動物種の消化および代謝試験を実施するための特別な訓練を受けた人材が必要となる。このような試験では、時間と費用がかかるため、飼料製造品質管理プログラムの一部として使用される日常的な手順とはなり得ないが、他のすべての方法と比較して、飼料原料の品質と価値を最も正しく評価することが出来る。

品質とは有形物の望ましい特性を指す一般的な用語であり、人によって異なることを意味している。一部のユーザーにとって、DDGS の品質は、マイコトキシン汚染がないおよび家畜・家禽の健康と生育成績に有害と考えられる抗栄養因子を指す場合がある一方で、他のユーザーにとっては、安定した栄養成分含量と消化率を意味している可能性もある。これらの定義を考えると、色調はDDGSの品質を評価するための指標として、一部の市場で使用する事が可能であり、実際に使用されている。

## なぜ色調を測定するのか？

これまで何十年にもわたって色調は飼料原料の栄養価の主観的な評価指標として使用されてきた。遊離アミノ酸(特にリジン)は、還元糖と結合してメイラード反応を起こし、動物が消化しにくくなる。Louis Camille Maillard は、1912 年に糖とアミノ酸の間の化学反応に関する化学反応を最初に発見した。メイラード反応は、糖とアミノ酸だけではなく、複合炭水化物とアミドを加熱するときに発生する一連の化学反応である。一般的に、これらの反応は製造および乾燥工程中にたん白質含量が中程度あるいは多量に含まれる飼料原料が過熱された際に発生し、色の黒ずみ(褐色化)、焦げた風味やにおいが特徴である。乾式粉碎エタノール工場で使用されている DDGS の乾燥温度は、127~621°Cの範囲であり、DDGS でのメイラード反応による影響は、反芻動物(Klopfenstein and Britton, 1987)だけでなく、豚や家禽(Cromwell ら、1993)でも報告されており、DDGS 中のたん白質の品質の低下の原因となっている(Cromwell ら、1993; Fastinger and Mahan 2006; Stein ら、2006)。メイラード反応は、乾燥ホエー、血粉、大豆粕などの他の一般的な原料でも発生する。これらの成分の色調が濃くなることも、過熱とたん白質

の品質の低下を示している。したがって、飼料原料の買い手と飼料製造業者は、飼料原料の供給源間におけるたん白質の品質と消化率の違いを判断するための一般的な指標として色調を使用するように指導されている。

この他に、色調は穀物の成熟度、保管条件、有害物質の存在、砂などの混入、殺虫剤/殺菌剤の使用の可能性を知るための目安ともなる。この場合、穀物の外観は、くすんでほこりっぽくなる。オレンジ色から赤色のソルガムは、タンニン含有量が高い可能性がある。穀物または穀物副産物の褐変または黒化は、不適切な保管による過剰な熱処理または腐敗を示し、栄養価を低下させる可能性がある。色調が黒い魚粉は含まれている魚油が酸敗している可能性がある。

## 色調の測定法

食品業界では、キャンディーバー、クッキー、パンなどの熱処理された製品の栄養的および物理的特性の指標として、ハンターラボ(Hunter Lab)とミノルタ(Minolta)の色差計が長年使用されてきた。これらの食品では、色調は消費者にとって製品の魅力を決定する重要な品質特性となっている。色調はオーストリア・ウィーンの国際委員会によって明確に定義された 3 種の色特性を読み取ることによって測定される[明度または  $L^*$ (0 濃い、100 明るい)、 $a^*$ (赤味-緑味)、 $b^*$ (黄味-青味)、図 2]。



図 2. ハンターラボの色調測定スケール

たん白質含量が中度から高度の飼料原料、特に DDGS の色調測定は、熱損傷の程度を評価するために飼料

業界で一般的に使用されている。ミノルタの色差計を用いたカラースコアは、ハンターラボの色差計を用いたものより低くなることを認識しておくことが重要である。Urrisola ら(2013)は、同一試料のハンターラボによる値と比べて、ミノルタによる一般に  $L^*$  は 2.9 ユニット低く、 $b^*$  は 1.7 ユニット低いことを示している。ただし、いずれの方法を用いても、カラースコアによる試料の順位付けは同様となる。したがって、DDGS を取引する際の基準として色差計による数値を用いる場合には、誤解がないように、使用する方法(ハンターラボなのかミノルタなどか)を契約書内で明確にしておく必要がある。

## なぜ一部の輸出市場で色調が重要視されているのか?

世界市場の中で活動する際には、世界中の様々な文化圏の中で物事をどのように認識されているか、その地域の人々がどのように考えるかという象徴的な特性と行動原理を理解することが不可欠となる。Web サイト([http://webdesign.about.com/od/colorcharts/l/bl\\_colorculture.htm](http://webdesign.about.com/od/colorcharts/l/bl_colorculture.htm))は、図 2 の様々な色の意味を説明しているが、ハンターラボによる色調測定結果は、様々な文化を推し量ることができる。例えば、中国では黄色は最も美しい色であると考えており、大地や物事のすべての中心を意味している([http://en.wikipedia.org/wiki/Color\\_in\\_Chinese\\_culture](http://en.wikipedia.org/wiki/Color_in_Chinese_culture))。黄色は茶色より階級が上で、幸運をもたらす。黄色は中国帝国の色であり、古代中国の伝説的な 5 代皇帝の象徴的な色として、王宮、祭壇、寺院の装飾、皇帝の礼服や衣装に使用されていた。また、黄色は世俗的な苦勞からの解放を表し、仏教界でも重んじられている。さらに、多くのアジア諸国では、米国で見られるような典型的な淡い色の卵黄や鶏の皮膚よりも濃い黄色の卵黄や黄色の鶏の皮膚を好む傾向にある。これらのことは、アジアの多くの地域で、色調が黄色や黄金色の「Golden」DDGS が好まれている理由の 1 つであると思われる。

## DDGS の色調と栄養価の間には関係があるのか?

### 供給源の違いによる色調の変化

米国産トウモロコシの DDGS は供給源間で、その色調

に大きな違いがある(図 3)。供給源の違いによる色調の範囲( $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ )と加熱の程度、栄養特性と物理的特性の違いとの関係进行评估するために 15 報の研究報告が公表されている。これらの報告の概要を表 1 に示したが、2 報(Urriola ら、2013; Song and Shurson、2013)を除くすべての報告では、少数の試料( $n=2\sim9$ )についての評価が行われている。ただし、これらのほとんどの報告で評価された試料数は限られてはいるものの、Rosentrater (2006)、Pahm ら(2009)および Kingsly ら(2010)の報告を

除いて、 $L^*$ には試料間で有意差があった。Cromwell ら(1993)および Urriola ら(2013)の報告には、飲料用エタノール工場で製造された DDGS が含まれており、このことが  $L^*$ 値が非常に低かった(色調が暗い)理由である可能性はあるが、Fastinger and Mahan(2006)および Bhadra ら(2007)による報告による燃料用エタノール工場で製造された DDGS のみを評価した際に認められた低い  $L^*$ 値を説明できない。

表 1. 栄養学および物理的特性に関する DDGS の色(または加熱の程度)に関する研究結果の要約

| 引用文献                                | サンプル数 | L*の範囲                                          | a*の範囲     | b*の範囲     | 重要な知見                                                                                                                                                           |
|-------------------------------------|-------|------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cromwell et al. (1993)              | 9     | 28.9-53.2                                      | ND        | 12.4-24.1 | DDGSのL*とリジン含量、L*およびb*のプロイラー雛の増体日量及び飼料効率との間の有意な相関関係（豚でも同様）。DDGS摂取量とプロイラー雛の増体日量と飼料効率の間に高い相関関係。                                                                    |
| Whitney et al. (2001)               | 2     | ND; Light and Dark                             | ND        | ND        | 明るい色調のDDGSにおけるリジンのAIDは47.4%、暗い色調のDDGSのリジンのAIDは0%。                                                                                                               |
| Ergul et al. (2003)                 | 4     | 41.8-53.8                                      | ND        | 32.9-42.8 | L*およびb*と家禽における可消化リジンとの間に有意な相関。                                                                                                                                  |
| Roberson et al. (2005)              | 2     | ND; Light and Dark                             | ND        | ND        | キサントフィル含量：明るい色調のDDGSでは29.8 mg/kg、暗い色調のDDGSでは3.5 mg/kg。                                                                                                          |
| Rosenstrater (2006)                 | 6     | 40.0-49.8                                      | 8.0-9.8   | 18.2-23.5 | L*、a*およびb*は、いくつかの物理的特性と相関がある。                                                                                                                                   |
| Batal and Dale (2006)               | 6     | 47.9-62.9                                      | 4.1-7.6   | 8.8-28.4  | L*、b*と。Lys、Thr、Arg、His、Trpの各消化率との間には有意な相関関係が見られたが、a*では相関なし。                                                                                                     |
| Fastinger and Mahan (2006)          | 5     | 28.0-55.1                                      | 6.7-9.0   | 15.8-41.9 | L*およびb*がより高いDDGSの豚におけるSIDアミノ酸が、暗い色調のDDGS供給源より高い。                                                                                                                |
| Urriola (2013)                      | 34    | 36.5-62.5                                      | 8.0-12.0  | 21.3-47.0 | ミノルタまたはハンターの色調スコアから、豚における可消化CPとアミノ酸の予測はできない（R <sup>2</sup> は0.30未満）。L*とSIDリジンの間の相関（R <sup>2</sup> =0.48）は、L*が50以上のDDGSより、L*が50以下のDDGSで高い（R <sup>2</sup> =0.03）。 |
| Bhadra et al. (2007)                | 3     | 36.6-50.2                                      | 5.2-10.8  | 12.5-23.4 | a*およびb*は水分活性と高い相関があり、熱特性と中程度の相関があり、飼料の保管とその後の処理に重要な場合がある。                                                                                                       |
| Martinez Amezcua and Parsons (2007) | ND    | ND; heat process-sed light colored DDGS sample | ND        | ND        | DDGSの加熱により、家禽におけるリンの相対的生物学的利用率は大幅に増加するが、アミノ酸消化率（特にリジン）は大幅に低下する。                                                                                                 |
| Ganesan et al. (2008)               | ND    | 40.8-54.1                                      | 12.4-18.7 | 57.6-73.3 | DDGS製造時のジスチラーズ・ソリュブルの添加はL*を低下させ、a*を高め、水分と相互作用してDDGSの色調に影響を与える。                                                                                                  |
| Liu (2008)                          | 6     | 44.9-59.6                                      | 8.3-11.4  | 31.0-46.4 | ほとんどのDDGSサンプルでは、L*およびb*の減少と、粒子サイズの増加に伴うa*のわずかな増加を示した。                                                                                                           |
| Pahm (2009)                         | 7     | 49.3-56.4                                      | 10.4-14.5 | 36.7-43.9 | L*と鶏ヒナにおけるSIDリジンの相関は低かったが、リジンの相対的生物学的利用率との相関は高かった。                                                                                                              |
| Kingsly et al. (2010)               | 1     | 49.0-53.4                                      | 8.8-11.3  | 24.7-26.5 | 濃縮ジスチラーズ・ソリュブルの添加レベルの低下により、L*は高まり、a*は低下する。                                                                                                                      |
| Song et al. (2013)                  | 31    | 45.2-58.1                                      | 9.3-12.4  | 26.6-42.4 | L*およびb*と、脂肪酸化の評価値（TBARSおよびPV）との間には有意な相関あり。DDGS中のTBARSはトウモロコシの5～25倍。                                                                                             |

ND = 測定値なし



図 3.米国産トウモロコシ DDGS の色調の違い

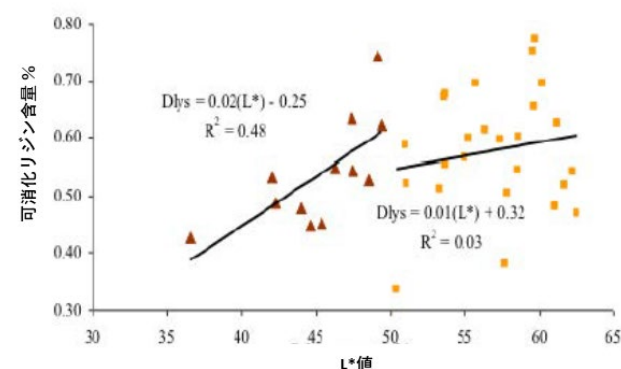
色調は DDGS のリジン消化率に関連するのか？

Evans and Butts(1948)は、他の研究者に先駆けて、飼料原料の過度な加熱がアミノ酸やたん白質を繊維などの他の化合物に結合させ、豚、鶏、魚などの単胃動物のアミノ酸(特にリジン)消化率を低下させる可能性があることを示している。このため、表1に示した15報中7報では、DDGS に対する過加熱によるアミノ酸消化率の低下の指標として色調を用いることを試験の目的としている。

DDGS の色調、リジン含量および発育成績の間の関係を示す最初の報告が Cromwell ら(1993)によって公表されている。彼らは、最も明るい色調の DDGS でリジン含量が最も高く、中間の色調の DDGS で中間であり、最も暗い色の DDGS では最も低い傾向があることを示している。さらに、ブロイラー雛では、ハンターL\*と体重増加および飼料効率の間に有意な相関があり、色調が類似した DDGS をブレンドして豚に給与した場合、発育成績は雛で観察されたものと同様だった。Ergul ら(2003)および Batal and Dale(2006)による家禽を用いた報告では、幅広いL\*およびb\*を表す DDGS を評価しており、L\*とb\*がリジンや他のアミノ酸の消化率と有意に相関しているとした Cromwell ら(1993)の報告を裏付けている。しかし、色調が「Golden」に分類され、L\*の範囲が狭い(49~56) DDGS 7 試料について評価を行った Pahm ら(2009)による最近の報告では、家禽におけるリジン消化率に対するL\*の影響はなかったものの、これらの試料間ではリジンの相対的生物学的利用率には有意差が認められた。

同様に、豚を用いた報告(Whitney ら、2001; Fastinger and Mahan、2006)では、L\*が高い DDGS に比べて、L\*が低い DDGS ではアミノ酸消化率が低いことを示している。一方で、L\*が広範囲(37 から 63)の DDGS サンプル(n=34)を用いた Urriola ら(2013)の報告では、ミノルタまたはハンターラボの色差計による値では可消化 CP およびアミノ酸量を正確に推定できない( $R^2$ :0.30 未満)ことを実証しており、図4に示すとおり、L\*が50以上のDDGSにおけるL\*と可消化リジン含量では、L\*が50未満のDDGSに比べて相関性が低いことを示している。なお、L\*が50未満のDDGSの場合のサンプルでは、L\*と豚における可消化リジン含量とのL\*と消化可能なリジン含有量の相関は比較的低いものの( $R^2=0.48$ )、ある程度、一般的な指標になり得る可能性があることを示している。

図4. トウモロコシ DDGS の色調(L\*)と可消化リジン含



量の相関(Urriola ら、2013)

## DDGS の乾燥温度とリンの相対的生物学的利用率

乾燥中の過加熱(L\*が低く、色が暗い)により、リジンや他のアミノ酸の消化率が低下するという見解は一致しているが、家禽ではリンの相対的生物学的利用率が向上する可能性がある。Martinez-Amezcuca and Parsons(2007)は、明るい色の DDGS で用いられている加熱温度を高めると、リンの相対的生物学的利用率が高まるが、アミノ酸消化率は大幅に低下したことを報告している。これは、DDGSの過加熱がリンの利用性を改善することで家禽における栄養価を高める可能性があることを示した最初の報告である。

## DDGS の色調とキサントフィルの含量

DDGS のキサントフィル含量を測定した報告は少ない。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含まれている黄色/オレンジ色の色素で、多くの国々、特にアジア諸国における家禽用飼料において、卵黄とブロイラーの皮膚を望まれる黄金色にするための重要な成分である。工業的なキサントフィル色素(多くの場合、マリーゴールドの花弁由来)は非常に高価だが、主に色素の供給源としてアジア諸国の家禽飼料に添加されている。したがって、トウモロコシグルテンミールなどのトウモロコシ併産物や量的には少ないものの DDGS を家禽用飼料に配合すると、工業的に製造された色素の使用量を減らすことが出来、その結果、消費者が望んでいる卵黄と皮膚の色の品質基準を満たしながら、飼料

コストを削減することが出来る。

DDGS のキサントフィル含量は 10.6～34.0 mg/kg であると報告されている (Sauvant and Tran, 2004)。Roberson ら (2005) は、ミノルタまたはハンターラボの色差計は使用してはいないものの、暗い色の DDGS のキサントフィル含量は 3.5 mg/kg、明るい黄金色の DDGS では 29.8 mg/kg であったとしている。また、彼らは、過熱が DDGS 中のキサントフィルの酸化を引き起こし、含量の低下をもたらす可能性があることを示唆している。したがって、色調が明るい DDGS は、暗い DDGS よりもキサントフィルを多く含む傾向があると考えられる。

### DDGS の色調と脂質の過酸化

トウモロコシ DDGS に含まれている脂質の過酸化の程度を評価した試験はわずかである。DDGS には 5～13% のトウモロコシ油が含まれており、トウモロコシ油には脂質過酸化の影響を受けやすい高濃度の多価不飽和脂肪酸 (特にリノール酸) が含まれている。エタノール工場で使用される乾燥温度は大幅に変化する可能性があり (85～600℃)、乾燥プロセス中に使用される乾燥時間と温度により、脂質の過酸化が加速される。過酸化脂質を含む飼料は、豚およびブロイラーの健康や発育成績に悪影響を与えることが示されている (L'Estrange ら、1967; Diberner ら、1996; DeRouchey ら、2004; Hung ら、2017)。

Harrell ら (2010) は、過酸化トウモロコシ油または DDGS を育成豚に給与すると、新鮮な (過酸化されていない) トウモロコシ油を給与した豚と比べて発育成績が低下することを示している。Song and Shurson (2013) は、トウモ

ロコシ DDGS 31 試料中について、一般的に脂質の過酸化を示す指標として用いられている TBARS (チオバルビツール酸反応物質) と PV (過酸化価) を測定し、脂質当たりの TBARS 含量は 1.0 から 5.2 ng MDA 相当量/mg、

PV は 4.2～84.1 meq/kg であると報告している。TBARS と PV の値が最も高かった DDGS では、トウモロコシ中の含量に比べて、それぞれ 25 倍および 27 倍高かった。また、DDGS 供給源間の L\* および b\* と、脂質過酸化のレベルとの間には有意な負の相関があったことを報告している。これらの結果は、黄色ではないより色調が濃い DDGS は、明るい色の DDGS に比べて過酸化化合物の含量が高い可能性があることを示している。

### DDGS の色調と物理的特性の間には関係があるのか?

DDGS の色調とその保管およびその後の飼料処理に影響を与える可能性のある物理的特性との関係を理解するために、5 つの報告がある (表 1)。Rosentrater (2006) は、L\*、a\* および b\* が DDGS のいくつかの物理的性質 (水分、水分活性、導電率、抵抗率、かさ密度および流動性) と関連することを最初に報告している。Bhadra ら (2007) は、これらの知見を確認し、a\* と b\* が水分活性と高い相関関係にあり、DDGS の熱特性と中程度の相関関係にあることを示しており、色調が飼料の貯蔵とさらなる処理特性を評価するための色指標になる可能性があることを示している。DDGS を製造する際、ジスチラーゼ・

表 2. DDGS の色調特性に対するジスチラーゼ・ソリュブル添加量の影響

| 色調 (CIE スコア) | 0 ガロン/分 | 12 ガロン/分 | 25 ガロン/分 | 42 ガロン/分 | ピアソンの相関係数 | 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) から改作。

グレインへのジスチラーゼ・ソリュブルの添加割合のエタノール工場間での違いは DDGS の栄養成分組成に影響を与える。これは、これらの各画分の栄養成分含量が大幅に異なっているためである。ジスチラーゼ・グレインは、ジスチラーゼ・ソリュブルに比べて、乾物 (33.8 vs 19.

5%)、CP (33.8 vs 19.5%) および粗繊維 (9.1 vs 1.4%) 含量が高く、粗脂肪 (7.7 vs 17.4%)、粗灰分 (3.0 vs 8.4%) およびリン (0.6 vs 1.3%) 含量は低い。したがって、ジスチラーゼ・グレインへのジスチラーゼ・ソリュブルの添加割合を増やすと、粗脂肪、粗灰分およびリン含量が

増加するが、CP および粗繊維含量は減少する。

Noll ら(2006)は、ジスチラーゼ・グレインへのジスチラーゼ・ソリュブルの添加水準を様々に変えて製造したトウモロコシ DDGS の栄養成分組成と消化率を測定している。供試した DDGS におけるジスチラーゼ・グレインへのジスチラーゼ・ソリュブルの添加量は、最大可能添加量の約 0、30、60 および 100% であり、ジスチラーゼ・グレインに毎分 0、12、25、42 ガロンのジスチラーゼ・ソリュブルを追加することに相当する。ジスチラーゼ・ソリュブルの添加率の低下に伴って、乾燥機の温度は低下した。一方、ジスチラーゼ・ソリュブル添加量の増加に伴い、粒子サイズが大きくなり、粒子径のバラツキも大きくなった。ジスチラーゼ・ソリュブルの添加量の増加に伴い、DDGS の色調が濃くなり(L\*が減少)、黄色味が低くなった(b\*が減少)(表 2)。ジスチラーゼ・ソリュブルの添加量に伴い、粗脂肪、灰分、家禽における真の代謝エネルギー(TME<sub>n</sub>)価と、マグネシウム、ナトリウム、リン、カリウム、塩化物およびイオウ含量が増加したが、CP とアミノ酸含有量と消化率への影響は小さかった。Ganesan ら(2008)および Kingsly ら(2010)も、ジスチラーゼ・ソリュブルの量の増加に伴い、L\*が低下し、a\*が高まることを示している。これらのことから、DDGS の L\*と a\*は、DDGS の栄養成分組成の違いを示す一般的な指標となり得る。

ミネソタ大学で行われた研究では、DDGS の供給源間で粒子サイズにかなりのばらつき(256~1,217  $\mu$ m)があり、DDGS の粒子サイズは豚における DE(可消化エネルギー)および ME(代謝エネルギー)価に影響を与える可能性があることを示した Liu ら(2012)および Liu(2008)の報告では、粒子サイズが大きくなるにしたがって、ほとんどの DDGS で L\*と b\*が減少し、a\*がわずかに増加している。

## 色調は DDGS の品質を表す最良の指標なのか

答えは、「No」である。これまでに説明したように、DDGS の色調に影響を与える要因は多く、これらの要因のいくつかは DDGS の栄養価に負の影響を与える一方で、他の要因は DDGS の栄養価に正の影響を及ぼす。色調はいくつかの栄養成分および物理的特性と関連している。

多くの研究者は、濃い色の DDGS はリジンの消化率が低いことを示していると認識しているが、L\*値が広範囲(36~64)の色調の DDGS では、リジンの消化率との関連性に関する予測因子としては不十分であることが示されている。さらに、L\*が高い DDGS は、キサントフィル含量が高く、脂質過酸化が最小限であることを示している可能性もある。対照的に、暗い色の DDGS は、明るい色の DDGS に比べて、一部の栄養成分含量が高い場合がある。例えば、DDGS を製造する際にジスチラーゼ・ソリュブルの添加レベルを高めると、エネルギー、粗脂肪、ミネラル含量が増加し、CP およびアミノ酸含量と消化率への影響が最小限になる。

さらに、色調が濃い DDGS は、家禽に対するリンの相対的な生物学的利用率が高い。DDGS の粒子サイズ、含水率、その他の物理的特性も色調との間に相関関係があるが、これらの相関係数の値は、飼料製造と栄養学的観点から評価するのが困難である。したがって、DDGS 品質の指標として色調を用いることは推奨できない。

## DDGS の品質はどのように決定すべきなのか

DDGS ユーザーのほとんどは、「品質が高い DDGS」とは、エネルギーおよび栄養成分含量と消化率が高く、マイコキシンなどの抗栄養因子が含まれていないことが条件である。エネルギー、CP(アミノ酸)とリンは、飼料中で価格が高い栄養成分である。したがって、様々な DDGS の供給源間で代謝エネルギー、可消化アミノ酸、可消化または利用可能なリンを把握するために正確な方法を使用する必要がある。このために、豚と家禽における正確な ME と消化可能なアミノ酸の推定式が開発、検証、公開されている。これらの推定式の詳細については、本ハンドブックの 19 章と 22 章に詳述している。残念ながら、豚および家禽における DDGS 中の可消化または利用可能なリンを推定するための正確な推定式は開発されておらず、反芻家畜における DDGS の正味エネルギー、第一胃分解性および非分解性たん白質を推定するための推定式も開発されていない。DDGS のマイコキシン含量を測定するための推奨方法は、本ハンドブックの 8 章で詳述している。

## 引用文献

- 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.
- DeRouchey, 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-Amezcu, 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.uconn.edu/info-poultry.html](http://www.ddgs.uconn.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. Determination of the ideal AA and energy digestibilities of corn distillers dried grains with solubles using grower–finisher pigs. *J. Anim. Sci.* 84:1722–1728.
- 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://en.wikipedia.org/wiki/Color_in_Chinese_culture)  
<http://hubpages.com/hub/The-significance-of-the-colors-red-gold-in-Chinese-culture>  
<http://v-a-st.com/services.htm> [http://webdesign.about.com/od/colorcharts/l/bl\\_colorculture.htm](http://webdesign.about.com/od/colorcharts/l/bl_colorculture.htm)  
<http://www.gipsa.usda.gov/GIPSA/webapp?area=home&subject=lr&topic=hb>
- Hung, Y.T., A.R. Hanson, G.C. Shurson, and P.E. Urriola. 2017. Peroxidized lipids reduce growth performance of poultry and swine: A meta-analysis. *Anim. Feed Sci. Technol.* 231:47–58.
- 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.
- 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. Parry. 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, P., L.W.O. Souza, S.K. Baidoo, and G.C. Shurson.

2012. Impact of distillers dried grains with solubles particle size on nutrient digestibility, DE and ME content, and flowability in diets for growing pigs. *J. Anim. Sci.* 90:4925–4932.
- 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.
- Martinez-Amezcu, 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.
- 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 Millennium*, 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. *Poult. Sci.* 88:571–578.
- 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.
- 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 18 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., and G.C. Shurson. 2013. Evaluation of lipid peroxidation level in corn dried distillers grains with solubles. *J. Anim. Sci.* 91:4383–4388.
- Stein H.H., M.L. Gibson, C. Pedersen, and M.G. Boersma. 2006. AA and energy digestibility in 10 samples of distillers dried grain with solubles fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 84: 853–860.
- Urriola, P.E., L.J. Johnston, H.H. Stein, and G.C. Shurson. 2013. Prediction of the concentration of standardized ileal digestible amino acids in distillers dried grains with solubles. *J. Anim. Sci.* 91:4389–4396.
- 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-percent20Apparent percent20ileal percent20amino.pdf](http://www.ddgs.umn.edu/articles-swine/2002-Spiehs-percent20Apparent%20ileal%20amino.pdf) Accessed Jan. 7, 2011.