

## DDGSハンドブック第4版

DDGSの栄養分析と新たな発見をまとめたDDGSハンドブック第4版がアメリカ穀物協会から発行されました。こちらでその一部を和訳したものを数回にわたってご紹介いたします。

(前号の続き)

## 第10章-vol.2

## DDGSの色調は品質と栄養価の信頼できる指標ではない

## DDGSの色調と栄養価の間には関係があるのか？

## 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(NETWORK No.189に掲載)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(R2:

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<sup>2</sup>=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。

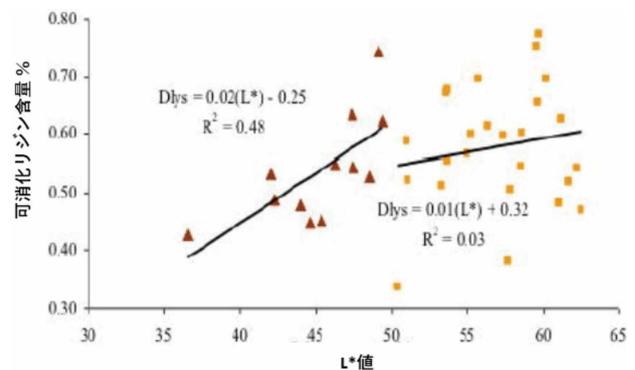


図4. トウモロコシDDGSの色調(L\*)と可消化リジン含量の相関(Urriolaら, 2013)

## 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10.6~34.0mg/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3.5mg/kg、明るい黄金色のDDGSでは29.8mg/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;Dibner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(過酸化物質)を測定し、脂質当たりのTBARS含量は1.0から5.2ng MDA相当量/mg、PVは4.2~84.1meq/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)と相関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・グレインへのジスチラーズ・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、ジスチラーズ・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ズ・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ズ・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ズ・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ズ・ソリュブルを追加することに相当する。ジスチラーズ・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、ジスチラーズ・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。ジスチラーズ・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)。ジスチラーズ・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>)値と、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

表2. DDGSの色調特性に対するジスチラーズ・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。

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、ジステラーズ・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 $\mu\text{m}$ )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)値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の品質の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相関している。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テラーズ・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およびアミノ酸含有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、マイコト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のマイコト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章に詳述している。

## 第11章

# DDGSと飼料の安全性

### はじめに

飼料の安全性は、家畜の健康と生産性に直接影響するだけでなく、人間が消費する畜産物の安全性にも直結しているため、食品安全システム全体に大きな影響を与えることになる。

飼料の汚染は、フード・チェーン全体に影響を与える可能性があり、何百万ドルもの損失とコストの増加をもたらす。さらに、消費者のパニックを引き起こし、食品の消費量が減少し、食品システム全体に対する消費者の信頼性を損なうことになる。また、疾病の発生や死、将来にわたる潜在的な健康リスクも起こり得る。すなわち、飼料の安全性は食品の安全性に直結する問題であり、「feed is food:飼料は食品である」という概念につながっている。

私たちが暮らしているすべての国で飼料原料と食品の輸出入が行われている。しかし、飼料と食品の安全基準と規制は国によって大きく異なる。飼料および飼料原料は、有害な微生物学的、物理的および化学的な危害要因により汚染される可能性があり、サプライチェーンが世界的に広がっているため、たった一例の飼料汚染が広範囲に拡大する可能性がある。このため、飼料および食品のマーケティング、生産、流通が世界的に拡大すればするほど、飼料における有害物質の汚染の潜在的なリスクも増加することになる(Liu, 2011)。実際、一部の飼料原料の原産地についての透明性担保へのニーズに応じて、世界的な飼料市場における穀物と副産物の植物学および地理的な由来を識別するための分析方法の開発につながっている(Tresら、2014; Tenaら、2015)。

飼料原料の供給者、買い手および飼料製造業者は、各国の規制当局による規制を遵守するだけでなく、飼料およびフード・チェーンのあらゆる側面において継続的な品質と安全性向上のためのプログラムの開発と実行が不可欠である。150か国以上の先進的な飼料メーカーや畜産企業はISO(国際標準化機構)規格を導入して、より効率的かつ安全な製品の生産を行い、最終的にはより標準化された製品を消費者に提供している。ISO規格を導入している企業では、規格を文書化し、内部監査を通じてコンプライアンスを確保すると同時に、外部監査機関による査察を受ける必要がある。さらに、先進的な飼料メーカーでは

HACCP(ハザード分析および重要管理点)システムも導入している。これは、飼料および食品のサプライチェーンにおける製造、保管、流通のすべての段階で汚染を防止することを目指している。HACCPの開発と導入には、次の7つの原則がある。

1. 危害要因の分析
2. 重要な管理ポイントの特定
3. 潜在的な危害要因の制御のための製造プロセスの確立
4. 許容限界の設定
5. 監査手順と是正措置の確立
6. 記録の管理手順の確立
7. 検証手順の確立

食品安全管理システムは、ISO 9001とHACCPの原則を組み合わせ、品質を管理し、飼料メーカー内で継続的な改善が行われるように設計する必要がある。これにより、食品への媒介性病原菌や新たな病原菌の汚染リスクを低減し、リスク管理によりブランド製品を保護することが出来る。

飼料および食品安全システムの導入とモニタリングは、多くの国で継続的な改良が行われている。米国では最近、消費者に対する食品由来の危険性をより少なくするために、さらに厳しい飼料の安全規制(DDGSの生産を含む)を採用している。2012年1月、米国ではFood Safety Modernization Act(FSMA、食品安全強化法)が制定され、FDA(米国食品医薬品局)における食品および飼料の安全規制に関する権限とその対象が大幅に拡大された(Brew and Toeniskoetter, 2012)。米国のエタノール工場を含む飼料生産施設は2002年以降FDAへの登録が義務付けられているが、FSMAにより、食品または飼料の安全上の理由により施設の登録を取消す権限がFDAに与えられた。さらに、FSMAでは、無登録のままの州間における商取引による食品や飼料の輸送を禁止している。この結果、FDAは、食品または飼料の安全性に関する重大な違反があった場合、販売を禁止してリコールを命じることが出来るようになった。FSMAでは、エタノール工場に対して、生産する併産物のためのHACCPの導入・実施を要求している。FSMAでは、飼料製造業者は既知または潜在的な飼料安全上の危害要因を特定・評価して、予防管理手順を導入し、それらの手順を検証して、手順が機能していない場合は是正措置を講じ、システム全体が効果的に機能していることを定期的に検証する必要がある。これらの手順の文書化も必要であり、FDAでは、これが順守されているかに関して各エタノール工場の査察を行っている。FSMAの制定により、米国产DDGSが世界で最も厳しい飼料安全要件を満たしていることがより確実になった。

FSMAによる規制の遵守に加えて、一部の米国のエタノール工場では、多くの輸出相手国の市場で行われている併産物に対する厳しい安全基準に適合するようにGMP+(Good Manufacturing Practices) 認証を導入している。GMP+の認

証スキームは、飼料原料の汚染を含む様々な問題に対応するために、オランダにおいて1992年に開発されたもので、現在は、GMP+ Internationalが多くの国際的な機関と共同して管理する国際的なプログラムとなっている。2013年、GMP+はさらに発展し、飼料の安全性に関する保証と飼料に関する責任保証が含まれるようになっている。

エタノール工場におけるGMP+の導入は、飼料供給のすべての工程にわたる安全性に関する保証基準に準拠することにより、多くの国における先進的な配合飼料および畜産企業にDDGSを販売するためのライセンスとして必須となっている。さらに、食糧安全保障上で食品と競合する大豆や魚粉などの飼料原料の使用量低減と、環境への負荷を最小限に抑えることで、より責任ある方法で事業を展開している世界の飼料メーカーからの要求が高まっている。

幸いなことに、米国のDDGSにおける有害微生物、物理的および化学的な汚染物質のリスクは非常に低い。トウモロコシおよびトウモロコシDDGSには、すべての穀物および穀物を原料とした副産物に様々な濃度で含まれているフィチン態リンを除き、抗栄養因子は含んでいない。しかしながら、単胃動物における植物性飼料原料主体飼料に対するフィターゼの商業的な利用により、フィチン態リンの利用性の改善は費用対効果が高いことが示されている。

本章では、様々な畜種に対してDDGSを給与する際に考慮する必要がある潜在的な安全性に関する微生物学的、化学的および物理的な危害要因について概説している。懸念される潜在的な汚染物質は病原微生物、カビ毒、抗生物質残留物およびイオウであり、13章、14章、15章および19章も参照されたい。

(次号に続く)

第10章、第11章の引用文献リストにつきましてはこちらをご覧ください。

<https://grains.org/buying-selling/ddgs/user-handbook/>

ネットワークに関するご意見、  
ご感想をお寄せ下さい。



**U.S. GRAINS** アメリカ穀物協会  
COUNCIL

〒105-0001 東京都港区虎ノ門1丁目2番20号  
第3虎の門電気ビル11階

Tel: 03-6206-1041 Fax: 03-6205-4960

E-mail: [Japan@grains.org](mailto:Japan@grains.org)

本部ホームページ (英語) : <https://www.grains.org>  
日本事務所ホームページ (日本語) : <https://grainsjp.org/>