

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。

(166号:「DDGSハンドブック第4版」の続き)

第9章

DDGSの取扱いと保管に関わる
物理・化学的特性

はじめに

DDGSは保管および取扱いの際に、他の原料に比べて注意を要する特異的な物理・化学的特性がある。家畜、家禽、水産養殖動物用飼料にDDGSを利用する場合、原料の取扱い、輸送、保管および製造のいくつかの段階で、鉄道車両、コンテナ、バルク船の荷降ろしが困難になる/従来のフィーダースクリューとビンを用いたDDGSの移動と保管が困難になる/ペレットの品質と生産性の悪化(17章、22章、25章で詳述)/配合飼料が望ましい栄養価を満たさないというリスクを回避するために、栄養成分のバラツキを管理(7章、21、24章で詳述)などの課題が生じる。

原料の適切な保管は、その栄養価を維持し、変敗を防ぐために不可欠である。入手時の原料の状態は、これを保管している間の品質維持に影響を与える最も重要な要素であり、水分含量、相対湿度および温度の影響を受ける(Mills, 1989)。原料中の水分は、時間経過とともに粒子内および粒子間で最終的には気相と平衡となり、条件によっては、カビや他の有害微生物の増加につながる可能性がある(Mills, 1989)。穀物の最大許容水分濃度が確立されており、穀物の種類によって保管期間は異なる(Mills, 1989)。

さらに、カビの生育を防ぐための相対湿度の上限は70%未満であり、微生物の生育を防ぐ上限は90%未満、昆虫発生を防ぐ上限は60%未満である(Mills, 1989)。ただし、相対湿度は、環境中の水分量と気温との相互作用を受ける。穀物と原料がビン内で曝気されている場合、高温条件下でも数か月保存することが出来る。温度と水分含量は、穀物または原料の酵素的、生物学的活性の程度を決定し、保存中の塊の表面と内部の温度差は、水分移動によるカビの生育のリスクを増加させる可能性がある(Mills, 1989)。残念ながら、DDGSの品質を維持し、長期間または様々な気候条件下で、変敗を防ぐための最適な保管条件に関する研究は行われていない。この結果、適度な保管温度と湿度のもとでは、DDGSの水分含量を12%未満まで乾燥させることが許容できる一般的な方法となる。

貯蔵ビンの割り当て

配合飼料工場で新しい原料を初めて使用する際には、その原料を保管する適切なスペースを特定または構築する必要がある。配合飼料工場が新しい原料を保管するための空スペースを

持っていることは稀である。もっとも簡単な解決策は、既存の原料の使用を中止して新規原料用のビンを確認することであるが、一連で流れている飼料製造のプロセスを中断せずに行うことは非常に困難となる(Behnke, 2007)。ビンの容量、ホッパー構成およびフィーダースクリューの設計が新しい原料に適していない場合には、他のオプションを検討する必要性が生じる(Behnke, 2007年)。貯蔵ビンへの原料の割当てを決定する際に最も重要な考慮事項の1つは、毎日または毎月の使用率と使用頻度を計算するために製造しているすべての配合飼料中の予想配合率を決定することである(Behnke, 2007)。次いで、重要なのは、原料のかさ密度や流動特性などの物理的特性に関連している。

DDGSのブリッジング、ケーキング、流動性

DDGSの取扱い上の最大の課題の1つは、鉄道車両、コンテナおよびバルク船からDDGSを積降ろす際に、ブリッジング、ケーキングおよび流動性が低下する傾向があることである。流動性は、「隣接する粒子間またはコンテナの壁面に沿った粒子の大部分の相対的な動き」と定義されている(Pelig, 1977)。残念ながら、一部のDDGSでは流動性と処理が不十分である(Bhadra et al, 2008)。これにより、輸送用の鉄道車両の日常的な使用が妨げられ、バルク船およびコンテナ用に特別に設計された積降ろし装置の開発につながり、バルク保管コンテナのブリッジにより家畜・家禽用飼料への使用が制限されていた。

多くの要因がバルク原料の流動性に影響を及ぼすが(Peleg, 1977)、流動性を適切に説明する単一の測定はない(Bhadraら, 2008)。DDGSの水分含量と環境中の相対湿度は、ブリッジング、ケーキングおよび流動性の低下の主要要因ではあるが、粒子サイズ、乾燥前にジスチラーズ・グレインに添加されたジスチラーズ・ソリュブルの割合、乾燥機の温度、乾燥機出口での水分含量などの他の要因も影響する(Ganesanら, 2008a, b, c)。長期保管中のカビの生育による変敗を防ぐためにDDGSの水分含量は一般的に10~12%に設定されているが、DDGSは吸湿性があり、高湿度条件下で長期間保管すると水分含量が徐々に高まる可能性があり(Ganesanら, 2007)、吸湿性は、輸送、保管中のブリッジング、ケーキングおよび流動性の低下につながる可能性がある(Rosentrater, 2007)。

エタノール工場ではDDGSの貯蔵容量が限られているため、乾燥機から出てから数時間以内(水分が平衡化する前)に輸送船に積み込まれることがある。このようなことが起こると、DDGSは固化し、トラック、鉄道車両、コンテナ内で固い塊となって、荷降ろしが非常に困難となる。ただし、温かいDDGSを冷却して、荷重が加わる前に水分を平衡化すると、流動性が大幅に向上する。今日、ほとんどのエタノール工場では、ブリッジングとケーキングに

よる荷降ろし中の鉄道車両の損傷を防ぐために、出荷前に最低24時間の「キュアリング」または水分平衡を設けている。理想的には、5～7日間DDGSを置いておくと、完全に水分が平衡化し、冷却された固形物中に形成された液体の架橋が壊れ、取扱い上の困難を最小限に抑えることが出来る (Behnke, 2007年)。残念ながら、エタノール工場の大部分は、連続運転を行っていることから、貯蔵容量は2～3日分しかないため、水分平衡を適切にするために5～7日間貯蔵することは出来ない。

バルクの塊の水分含量と周囲環境の相対湿度との平衡関係は、吸着等温線の影響を受ける。吸着等温線は、特定の湿度条件、特定の温度条件で対応する水分量を示している。したがって、保管環境の相対湿度が増加すると、吸湿量が増加し、粒子間に液体架橋が形成される (Mathlouthi and Roge, 2003)。湿度が高い条件下での吸湿 (材料の外側または内側の表面に水を保持する機能) および水分の蒸散 (表面からの、または表面からの水の放出) は複雑であり、原料の炭水化物、糖、たん白質、繊維、ミネラル含量に影響を受ける (Chen, 2000)。DDGSにおいて、この関係を理解することは、輸送および保管中の水分含量および相対湿度レベルを決定する上で重要である。

Kingsly and Ileleji (2009) は、相対湿度が60%に達すると、DDGS中で液体架橋形成が発生することを示している。相対湿度80%では、DDGSの湿分飽和は最大となり、相対湿度100%では吸湿によって形成された液体架橋が硬化し、湿度が低下するとブリッジングにつながった。この結果は、輸送および保管中の相対湿度の増加によりDDGSの粒子間の不可逆的なブリッジングが引き起こされ、粒子の凝集、ケーキングおよび流動性の低下につながることを示している。

DDGSのペレット化は、かさ密度と流動性を改善するためにいくつかのエタノール工場が使用を考えた別のアプローチである。カンザス州立大学の研究者は、DDGSのペレット化の容易さ、物理的特性および流動特性について、様々なコンディショニング温度とダイ径に関して評価を行い、ペレット化条件でのほぼすべての組み合わせがDDGSの流動性を改善することを示している (Behnke, 2007)。ただし、このアプローチは、いくつかの理由により、米国のエタノール業界では採用されていない。すなわち、高価格のボイラーとペレットミルを購入、設置、運用する必要があるため、既存のエタノール工場への追加のコストが必要、操作作業者のトレーニングと人件費の追加、新たな保管スペースの追加が必要となる点である。さらに、ほとんどのDDGS利用者は、ペレット化されたDDGSの購入に消極的である。なぜなら、他の「増量材」を混入させていると感じる可能性があること、ペレット化工程中の熱処理によりアミノ酸などの栄養成分の消化率が低下する可能性があること、飼料工場において配合飼料を製造する際に再粉砕する追加コストが発生するためである。

油脂含量がDDGSの流動性に及ぼす影響

従来の高脂肪DDGS (Rosentrater, 2006)、中等度のDDGS (Ganesanら2009) および低脂肪DDGS (Saunders and Rosentrater, 2007) の物理的特性が評価されている。Ganesanら (2009) は、粗脂肪含量を低下させたDDGSは従来の高脂肪DDGSと比べて流動特性が改善されている可能性があることを示しているが、いずれも「凝集」性を持つと分類されており、粗脂

肪含量に関わらず長期間保存時にブリッジングおよびケーキングの問題が発生しやすいことを示唆している。彼らは、化学組成と粒子表面の形態 (粗さ、サイズ、形状) が粗脂肪含量よりもDDGSの流動性に大きな影響を与える可能性があることを示唆している。

前述のように、より完全な水分平衡化のための保管日数の延長とペレット化は、取扱いと流動性を防ぐため実行可能なオプションではない。いくつかの新しい荷降ろし機器の設計が開発され、鉄道車両とコンテナからのDDGSの荷降ろしを容易にするために使用されている。例えば、鉄道車両のピットの上に設置した鋼製の槍 (spear) を用いて、荷降ろし前に固結部分を破壊している。この方法は荷降ろしに要する時間短縮とはなるが、人件費と設置コストが増加する。さらに、多くの飼料工場は、DDGSの流動性の問題を回避するために、DDGSを保管する際に、ビンまたはサイロによる保管を避けている。平積み保管の主な利点は、流動性の問題に適切に対処でき、ビン建設に比べて設備投資が少ないことである。ただし、平積み保管ははるかに労働集約的であり、原料を移動するための前工程への輸送装置の設置、保管施設内の他の原料からの汚染のリスクの増加、飛散によるロス等を増加させる。

DDGSへの流動化剤添加の影響

DDGSの流動性を改善するために試みられた別のアプローチとして、様々な流動化剤の添加があるが、その有効性を評価するための研究は少ない。Ganesanら (2008a) は、実験室条件でジスチラズ・グレインとジスチラズ・ソリュブルの混合比が異なるDDGSに対する炭酸カルシウムの添加効果を評価しているが、流動性の改善効果はなかった。Johnstonら (2009) は、dry matter X-7 (2.5kg/MT, Delst, Inc. Temecula, CA)、炭酸カルシウム (2%, ILC Resources, Inc., Des Moines, IA) またはクリノプチロライトゼオライト (1.25%, St. Cloud Mining Co., New York, Winston) の水分含量9%または12%のDDGS (平均粒子サイズは、584～668 μ m) への添加効果を評価した。この試験では、エタノール工場において、それぞれの流動化剤を添加したDDGSをトラックに積込んで250 km走行し、60時間駐車し、さらに250km走行したのちの流動性を測定した。それぞれの流動化剤に関する試験は、2か月の間に実施し、各4日間の野外気温および相対湿度は12.9～27.8 $^{\circ}$ Cおよび34～67%だった。その結果、荷降ろし時の流量は、dry matter X-7 (441kg/分) に比べてクリノプチロライトゼオライト (558kg/分) では改善されたように思われたが、いずれも、無添加の対照DDGS (509kg/分) および炭酸カルシウムで処理されたDDGS (512kg/分) と差がなかった。さらに、クリノプチロライトゼオライトを添加すると追加した場合の流動性スコア (1=ブリッジなし、10=完全にブリッジ) は4.0であって、無添加対照 (6.0)、dry matter X-7 (6.5) および炭酸カルシウム (5.5) に比べて流動性スコアが改善された。処理時の水分含量は、DDGSの流量の最も重要な予測因子 (変動の70%を説明) であった。この場合、水分含量が9%から1%増加するごとに、流量が100 kg/分減少した。DDGSの水分含有量が増加すると、流動性が高まるという同様の結果がGanesanら (2008b) により報告されている。また、Ganesanら (2008b) は、DDGSでハンターb*値 (色の黄色味を示す) が高まると、流量も増加するが、流量

の変動の4%程度であることも報告している。これらの結果は、DDGSの流量を改善するための最も効果的な方策は、水分含量を9%程度に低く保つことであり、dry matter X-7、炭酸カルシウムおよびクリノプロライトゼオライトの添加は明らかな効果がない。

DDGSの積載重量と粒子分離に対するかさ密度の影響

鉄道車両やコンテナにDDGSを積込む際に、安定したかさ密度を維持することは、輸送コストを最小限に抑えるために順次積み込まれる鉄道車両やコンテナにおける個別の積載重量を安定させるために、マーケティング担当者および購入者にとって課題となっていた (Ileleji and Rosentrater, 2008)。かさ密度はDDGSの供給元によって異なり、391~496kg/m³ (Rosentrater, 2006) および490~590kg/m³ (Bhadra ら, 2009) の範囲であると報告されている。

Clementson and Ilelejie (2010) は、鉄道車両の積載中に観察されるかさ密度の違いは、粒子の偏在が原因である可能性があることを示している。DDGSがトウモロコシ粒の構成成分に見られる様々なサイズ、密度、形態学的特性の粒子を含んでいることに起因している可能性がある (Ileleji ら, 2007)。粒子の分離は、DDGSの取扱いおよび重力排出時に発生することが示されている (Ileleji ら, 2007; Clementson ら, 2009)。Clementson and Ilelejie (2010) は、エタノール工場での鉄道車両の積載を想定して、ホッパーにDDGSを充填する際および排出する際のかさ密度の変動を調査し、その両者で主に粒子分離によりかさ密度が変動することを示している。彼らは、充填後、より小さく、より高密度の粒子がホッパーの中心部分に集中し、より大きく、より粗く、より密度が低い粒子がホッパーの側面に集中することを示している。この現象は、DDGSのトランスローディング中にかさ密度が変動するだけでなく、栄養成分分析時のサンプリング時にも考慮する必要がある。サンプリング場所によっては、最終的な分析結果に影響を与える可能性がある (Clementson ら, 2009)。

DDGSダイエットの流動性に対するビンの設計と粒子サイズの影響

ビンの設計

DDGSの流動性は、積み込み、輸送、保管および飼料製造中の課題であるだけでなく、DDGSを配合した飼料を給与する養豚場における課題となる可能性がある。飼料の流動性が適切ではない場合、フィーダーへの飼料の供給速度が低下し、フィーダー内でのブリッジが原因となって、飼料の給与不足が発生する可能性があり、ストレスの増加、腸管の健康への影響や生育成績の低下などの可能性がある (Hilbrands ら, 2016)。この問題は、豚用飼料へのDDGSの配合量を30%以上にしたい場合、特に豚の飼料効率改善のためにより粒子サイズが小さい飼料を給与する場合に、より大きな懸念となる。米国のビンの設計は、DDGSを配合した飼料の輸送性に重大な原因または潜在的な解決策になる可能性がある。Hilbrands ら (2016) は、3種類の市販のビン(① 60度の円錐を持つ亜鉛メッキ鋼の滑らかな側面で継ぎ目がないビン(Steel 60)、② 67度の円錐を持つ亜鉛メッキの波形鋼製ビン(Steel 67)、③ 60度の円錐を持つ白色ポリエチレン製のビン(Poly 60))における飼料の流動性を評価している。供試

したビンの形状は、排出円錐の側面の傾斜の違いや、ビンの壁に用いる様々な材料をカバーするために選択されている。この試験では、トウモロコシ 55%、大豆粕 35%、DDGS 40%とビタミン・ミネラル・プレミックス 2%を配合した飼料を用いており、平均粒子サイズが736~1,015ミクロンの範囲となるように粉碎している。試験は、夏季と秋季に2回実施した。夏季試験期間中の気温は16.6~30.9℃、相対湿度は39.4~100%、秋季試験期間中の気温は2.9~23.7℃、相対湿度は23.3~92.7%であった。ビンからの供給流量は、Steel 60に比べてPoly 60の方が速く、Steel 67ビンからの供給流量は両者の中間だった(表1)。ただし、興味深いことに、流量が最も遅かったSteel 60では、放出中に飼料を流し続けるために必要なタップ数は最少だった。表2に示すように、すべてのビンで、パッシブアジテーターを装着すると、装着しない場合より供給流量が増加したが、Poly 60にパッシブアジテーターを装着した場合に鋼製のビンに装着した場合よりも供給流量が増加した。ただし、最初の試験結果では、6つのビンの組み合わせ間で、飼料の流量に影響を与えるために必要なタップ数に違いはなかった。これらの結果は、ビンの設計がDDGSを40%配合した飼料の流量に影響を与えることを示している。Poly 60は、評価された鋼製ビンと比較して最高の供給流量と最高の排出率を示し、パッシブアジテーターの設置は、すべてのデザインのビンで供給流量が増加する。

粒子サイズの影響

DDGSでは供給元による粒子サイズの変動が大きい(平均:660 μ m、標準偏差:440 μ m (Liu, 2008))。DDGSの粒子サイズは、流動特性に影響するだけではなく (Ganesan ら, 2008a, b, c)、ME (代謝エネルギー) 値と栄養成分の消化率にも影響する (Mendoza ら, 2010)。育成期の豚におけるME値と栄養成分消化率に対するDDGSの粒子サイズの影響をさらに評価するために、Liu ら (2012) は、3種類の粒子サイズ(818 μ m=粗い、594 μ m=中、308 μ m=細かい)に粉碎した同一のDDGSのME値と栄養成分消化率を測定した。併せて、彼らはDDGSを30%配合した飼料の給与可能性についても評価している。予想通り、DDGSのME値は、粒子サイズが小さくなるにつれて高まった。平均粒子サイズが25 μ m減少する毎に(818から308 μ mの間)、ME値は13.5kcal/kg(乾物値)高まった。ただし、DDGSの粒径は、窒素およびリンの消化率には影響しなかった。DDGS 30%配合飼料の流動性は、対照としたトウモロコシ・大豆粕主体飼料に比べて低下し、微粉碎DDGSを配合した飼料で最も低かった(排出された安息角を測定することにより決定している)。これらの飼料の流動性について、測定基準として用いた安息角により比較した結果、対照飼料と、各粒子サイズのDDGSを30%配合した飼料との間で差はなかった。

DDGS保管中のカビの生育とマイコトキシンの産生リスク

カビ毒を産生する真菌類は、畑で成長している収穫前の穀類および収穫後の穀類貯蔵中に発生する可能性がある (Suleiman ら, 2013)。このため、真菌類はしばしば、野外性真菌と貯蔵性真菌に分類される (Barney ら, 1995)。野外性真菌類はトウモロコシ粒に感染し、収穫前の水分含量(22~33%)、相対湿度(80%以上)および幅広い温度範囲(10~35℃)でマイコトキシンを生成する可能性がある (Williams and MacDonald、

表1. ビンの設計とヘッドスペース内の温度および湿度が飼料の流動性に及ぼす影響 (Hilbrandsら、2016から改編)¹

試験1			
測定項目	Steel60	Poly60	Steel67
平均温度 °C	23.6	22.9	22.6
平均湿度 %	55.3	54.7	53.9
飼料の流量 kg/分	603 ^a	737 ^b	663 ^{ab}
タップ必要数 ²	3.8 ^a	7.5 ^b	6.0 ^b
流動性スコア ³	3.7 ^a	4.9 ^b	4.2 ^{ab}

¹ ab異符号間に有意差あり (p<0.05)

² 排出中に必要なビン側面をタップする回数

³ 流動性スコア (1=ブリッジがない、10=完全にブリッジ)

表2. ビンの設計およびパッシブアジテーターとヘッドスペース内の温度および湿度が飼料の流動性に及ぼす影響 (Hilbrands et al. 2016から改編)¹

試験2 測定項目	Steel60		Poly60		Steel67	
	攪拌機あり	攪拌機なし	攪拌機あり	攪拌機なし	攪拌機あり	攪拌機なし
平均温度 °C	20.1	20.4	19.6	19.5	19.0	18.8
平均湿度 %	58.3	65.0	65.0	61.3	61.1	63.8
飼料の流量 kg/分	827a	827a	831a	970b	807a	880a
タップ必要数 ²	2.1	2.0	5.2	2.5	3.2	2.0
流動性スコア ³	2.3	2.6	4.2	2.9	3.7	2.3

¹ ab異符号間に有意差あり (p<0.05)

² 排出中に必要なビン側面をタップする回数

³ 流動性スコア (1=ブリッジがない、10=完全にブリッジ)

表3. 25°Cから27°Cで貯蔵した穀物におけるカビの生育をサポートする相対湿度と水分含量 (Montrossら、1999から改編)

カビの種類	相対湿度 %	水分含量 %
<i>Aspergillus halophilieus</i>	68	12 – 14
<i>Aspergillus restrictus</i>	70	13 – 15
<i>Aspergillus glaucus</i>	73	13 – 15
<i>Aspergillus candidus</i>	80	14 – 16
<i>Aspergillus ochraeus</i>	80	14 – 16
<i>Aspergillus flavus</i>	82	15 – 18
<i>Aspergillus parssiticus</i>	82	15 – 18
<i>Penicillium spp</i>	80 – 90	15 – 18

1983; Montrossら、1999)。ほとんどの野外真菌は保管中には生存することが出来ないが、一部の種は適切な保管条件下でも生育し続けることができる (Sanchisら、1982)。貯蔵性真菌も圃場に由来しており、収穫前のトウモロコシ粒に感染した野外性真菌と入れ替わることができる (Reedら、2007)。表3に示すように、菌の生存には、トウモロコシ粒の水分含量が12%以上、相対湿度が70%以上であることが必要である (Montrossら、1999)。フザリウム属、リゾプス属、およびテイレチア属などの新たな真菌類も収穫後に付着する (Williams and MacDonald, 1983; Barneyら、1995)。DDGSはトウモロコシ粒から製造されるため、これらの真菌がDDGSに存在する可能性がある。ただし、DDGSの固有の物理的および化学的特性により、上記の相対湿度および水分含量の条件がトウモロコシ粒と同様に適用されるかどうかはわかっていない。収穫中および収穫後のトウモロコシ粒の機械的損傷が真菌胞子の侵入をもたらす可能性があるため (Dharmaputraら、1994)、DDGSはトウモロコシ粒よりもカビの成長の影響を受けやすく、破損したトウモロコシ粒と異物が貯蔵中の真菌の生育を促進する (Sone, 2001)。DDGS中のマイコトキシンに関する推奨

分析方法の詳細については7章を参照のこと。

第9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/wp-content/uploads/2018/06/Chapter-9.pdf>

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 COUNCIL アメリカ穀物協会

〒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

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/>