

DDGS の流動性に関する報告書

本報告書依頼者： Agricultural Utilization Research Institute
12298 350th Ave. Waseca, MN 56093

Minnesota Corn Growers Association
738 First Ave. East Shakopee, MN 55379

報告者： Jenike and Johanson
3485 Empresa Drive San Luis Obispo, CA 93401

農産物利用研究所 (AURI) およびミネソタ穀物生産者協会 DDGS の流動性に関する研究の要約

DDGS の流動性とペレット化の改良法 2005 年 10 月 17 日

研究課題の目標：

ミネソタ州においてエタノール生産設備の拡大の結果、エタノール生産業者、ミネソタ穀物生産者協会、農産物利用研究所 (AURI)、州立単科大学、州立大学に DDGS(ジスチラーズ・ドライド・グレイン・ウィズ・ソリュブル) の流動性の特質やペレット化の改良について年ごとに多くの照会が寄せられるようになった。

本試験では満足すべき流動性が得られているトウモロコシ DDGS の特質に焦点を合わせた。先ず粒径、油脂含量および水分の DDGS に関連する流動性の特性について試験を行った。

DDGS の流動性に関連する問題点についてはこれまで多くの論説がある。しかしながら、配合、処理法の変更あるいは工程を通じての流動性の改善や実施例に焦点を合わせたものは殆ど見あたらない。製品の流動性が劣るために DDGS の発送品の受け取りが断られる例では多額の損失が生じている。製品の流動性を改善することで自動車や鉄道による輸送時あるいは貯蔵時における製品の流動性の改善ができ、それにより市場の拡大が期待できる。耐久性を改良した高品位のペレットの生産工程を評価することにより、穀類蒸留粕の販路の開拓あるいは拡大が計られる。

関連団体：

DDGS の流動性に関する研究に対するミネソタ州トウモロコシ生産者協会と農産物利用研究所の共同資金援助に対し、ここに深く感謝する。

得られた情報は DDGS の販売と流通に係わるミネソタ州のエタノール生産工場に利益をもたらすものである。製品の流動性やペレット化が不可欠な DDGS を日々取り扱っている試験結果は穀物生産者、アルコール製造業者、販売業者にも利益をもたらすものである。

試験：

DDGS の試験は以下の 3 領域について行った：(1)分析法、(2)流動性および(3)ペレットの耐久性。

5 検体の DDGS を用いた。これらの検体は 2 ヶ所のエタノール工場由来の対照 2 検体(対照#1 及び対照#2)並びに加工 DDGS の 3 検体である。加工検体は脱脂 DDGS 検体(加工#3 脱脂)、低シロップ DDGS 検体(加工#4 低シロップ)およびペレット化 DDGS 検体(加工#5 ペレット)である。

分析法

分析はミネソタ州マーシャルの AURI 分析試験室において行った。分析は水分、油脂およびたん白質含量に的を絞った。これらの成分は製品の流動性に影響する主因と考えられている。以下に結果を示した(表 1)。

表 1.

試験番号 05-222

検体の種類	1) 対照		
<u>分析</u>	<u>方法#</u>	<u>単位</u>	<u>分析結果</u>
水分	AOAC 950.46B	g/100 g	13.98
たん白質	AOAC 981.10	g/100 g	25.94
灰分	AOAC 923.03	g/100 g	3.40
油脂	AOAC 991.36	g/100 g	9.37

試験番号 05-223

検体の種類	2) 対照		
<u>分析</u>	<u>方法#</u>	<u>単位</u>	<u>分析結果</u>
水分	AOAC 950.46B	g/100 g	9.93
たん白質	AOAC 981.10	g/100 g	26.80
灰分	AOAC 923.03	g/100 g	3.38
油脂	AOAC 991.36	g/100 g	8.44

試験室番号 05-224

検体の種類	3) 脱脂 DDGS		
<u>分析</u>	<u>方法#</u>	<u>単位</u>	<u>分析結果</u>
水分	AOAC 950.46B	g/100 g	10.14
たん白質	AOAC 981.10	g/100 g	31.34
灰分	AOAC 923.03	g/100 g	6.21
油脂	AOAC 991.36	g/100 g	2.30

試験番号 05-225

検体の種類	4) 低シロップ DDGS		
<u>分析</u>	<u>方法#</u>	<u>単位</u>	<u>分析結果</u>
水分	AOAC 950.46B	g/100 g	14.12
たん白質	AOAC 981.10	g/100 g	26.85
灰分	AOAC 923.03	g/100 g	2.07
油脂	AOAC 991.36	g/100 g	6.26

試験番号 05-226

検体の種類	5) DDGS ペレット		
<u>分析</u>	<u>方法#</u>	<u>単位</u>	<u>分析結果</u>
水分	AOAC 950.46B	g/100 g	11.67
たん白質	AOAC 981.10	g/100 g	26.75
灰分	AOAC 923.03	g/100 g	3.30
油脂	AOAC 991.36	g/100 g	9.85

5 検体の全ては特に水分と油脂含量の異なるものから選択した。これらの検体は流動性の試験と流動性に影響する因子を決定するに際して異なった分析値を持つものの縮分検体である。たん白質含量の差は顕著ではなかった。水分は 9.93%から 14.2%の幅にあった。油脂の含量の差は大きく、その幅は 2.3% ~ 9.85%であった。

全ての試験は特に断りのない限り室温 (72° F = 22.2) で行った。

流動性

流動性の評価はばら積み固形物の研究、工学及び設計を業務とするマサチューセッツ州ウエストフォードの Jenike & Johanson 社で行った。試験は明確な試験計画書に基づいて研究資金内で行われた。DDGS の試験とその結果を以下に示した。

粒径

検体 1 ~ 4 を用いて流動性の標識となりうる粒径を測定した。ペレット検体はこの試験から除外した。

適切な分析ができるように先ず 10 メッシュあるいは 2 mm 以上の粒子を除去した。DGGS 対照#2 で 2 mm 以上の粒子が最も多く、12%が除去され、次いで対照#1 が 7.5%、加工#3 脱脂ならびに加工#4 低シロップで 3%が除去された。

最も大きな粒子を除去した後は、加工#4 低シロップの平均粒径が最も小さく、対照#2 がこれに次いだ。対照#1 と加工#3 脱脂の平均粒径は同じであった。

対照#1DDGS は加工#3 脱脂検体の起源なので、上記の結果は驚くにはあたらぬ。対照#2DDGS は加工#4 低シロップ検体の起源であった。

結合力

過圧密を受けた材料の性能を試験するものである。5 検体全てを用い、模擬連続供給系下で 3

日間静置下後に材料の流動性を調べた。

本試験の結果、**連続供給下ではいずれの材料でもブリッジ現象やラットホール現象は認められなかった**。これらの結果は、連続供給状態で DDGS を扱う場合に最小排出口寸法の設定が不要であることを示している。

これらの材料を容器内に 3 日間静置しておく、**対照#2 および加工#5 ペレット**ではラットホール現象の危険性がやや認められた。**6 インチ**の排出口付き円錐型ホッパーを用いた大量送出容器では、3 日間静置後でもラットホール現象は生じない。大量送出容器では、ホッパーが適度に急勾配で且つ平滑であれば、いずれの固形物を排出するときに停滞部分も無く流れる。本試験は 3 日間静置下期のみで行った。

圧縮能

次の試験は圧縮能と過剰圧力の評価である。開口部の大きさ、壁面の角度及び流量の計算には、バルクの密度-圧力関係が必要である。これは詰め込み時の振動、あるいは衝撃で材料により大きな圧力を与える。バルクの密度により検体は **100%**の過剰圧力に晒されていた。以下にバルクの密度の小さいものから大きなものへと列記した。

DDGS 加工#3 脱脂	30.8 pcf
DDGS 加工#4 低シロップ	33.1 pcf
DDGS 対照#1	33.2 pcf
DDGS 対照#2	34.05 pcf
DDGS 加工#5 ペレット	37.3 pcf

(pcf : 立方フィート当たりポンド)

本試験の結果、**100 %**の過剰圧力で 3 日間材料を静置した場合、**対照#1 並びに加工#3 脱脂検体**では圧力の影響は少なく、自由に流出した。対照#2 検体は加工#5 ペレット検体に次ぎ 3 番目であった。両検体では製品の流出が始まる為に排出部を追加する必要があった。河口#4 低シロップ検体では重力による自然排出は不可能であった。

対照#1 並びに加工#3 脱脂検体は他の 3 検体に比べて明らかにより優れた成績を示した。両検体のただ一つの共通点は平均粒径であった。他の検体と比べ、水分および油脂含量は過剰圧力

による製品の流出に影響しないものと思われた。製品の密度もまた影響しないようであった。

壁の摩擦

流れの様式（漏斗式対多量式）を決定する際にはバルクの固形物と貯蔵用ホッパーの傾斜した壁の摩擦を知ることが必要である。2種の異なった材料、即ち 304#2B ステンレス鋼あるいはマイルド炭素鋼で表面を覆ったホッパーを用いて5検体全てを調べた。これらの材料を連続流出、3日間の静置で検査した。

以下に連続流出、3日間の静置で2種の鋼材での平均値の結果を示す。設定角度については Jenike & Johanson 社の最終報告書を参照されたい。以下に最良の結果から最悪の結果へと記した。

1. DDGS 加工#3 脱脂
2. DDGS 対照#1
3. DDGS 加工#5 ペレット
4. DDGS 対照#2
5. DDGS 加工#4 低シロップ

壁の摩擦による評価試験で流動の最も良好な材料は DDGS 加工#3 脱脂であった。この製品は特にステンレス鋼を使用したときに垂直に対する角度が大きくても良好に流動した。残りの検体では容器の側面の流れを維持するためには（垂直に対し）鋭角でなければならなかった。3検体では3日間静置した後特定の壁材料では流動しなかった（Jenike & Johanson 社の報告書要約を参照されたい。）

平均粒径が流動性を助ける唯一の物理学的特性で、流動状態を左右するものと考えられることを再度強調したい。油脂含量の低減が製品の流動性を助けているものと考えられる。油脂含量は3%以下の必要がある。

透過性

本試験は細粒を含み空気が抜かれた状態での固形物の大量流動能力を測定するものである。また、本試験はバルクが如何に容器内に“止まる”かを示すものである。これらの性状は流出の方

法や設計に係わらずしばしば流出率に制限を加える。

対照の 2 検体を用いて評価した。空気を抜いた検体を一杯に詰めた 20 フィートの有効径の円柱状容器に直径 1.0 フィートの排出口が付いた大量流動円錐の場合、1 時間当たりの流出率は対照 1 では 216 トン、対照 2 では 198 トンとなる。製品の流動と細粒との相関性を考慮すると、流出率の僅かな違いも驚く程ではない。対照 1 では概して大きめの粒子が多く、抜気量が少なかったために、透過性に起因する流動量が増加していた。

湿度の影響

DDGS 対照#1 を用いて吸湿/脱湿を行い、製品の流動性に対する湿度の影響を評価した。製品を 90°F (32.2) で湿度が 0.04% となるまで乾燥した。人工気象室を用いて 90°F (32.2) の恒温で相対湿度 (RH) ゼロ%RH 付近から 95 %RH まで 5 %RH 刻みで上昇させた。製品の吸湿能を量り、湿度変化を逆の順にした反復測定も行った。

最も明白な変化は 60%RH で認められた。吸湿の程度は材料全体の 10% にすぎなかった。60% RH 以上では製品の吸湿は急速であった。95%RH での水分はこの対照検体の乾燥重量の 73% であった。

この情報は高湿度の条件で DDGS を取り扱う場合に有用であろう。

容積増加の測定 (ディラメトリー)

本試験は特定の温度範囲内での材料の軟化点を測定するものである。特定の温度でのバルク材料の軟化は製品の流動性に直接に影響する。DDGS 対照 1 を用いて本試験を行った。検体を 60%RH 下に置き、68°F (20) から 176°F (80) に晒した。この温度範囲で軟化点は認められなかった。この温度範囲内の 60%RH 下では製品の固化は生じないものと思われる。製品は高湿度の下で吸湿性が高いので、この温度範囲内で相対湿度を 60%RH 以上にすれば固化が生じる可能性がある。

製品の容積増加は粒径や油脂量の影響を受けないと思われた。

かなりの容積増加が観察された。この容積増加は容器に無理に詰め込んだ結果の可能性もある。これは DDGS の流動性の問題に関与する因子の一つであろう。

ペレットの耐久性

DDGS のペレット化は高密度化への多くの機会を提供し、販売の機会を増加させるものである。AURI の副製品研究室は数種のペレット製造用鋳型や他の製品と組み合わせにより DDGS 検体のペレット化を積極的に検討してきた。AURI はペレットの品質を改良するためにその要因を科学的に報告する。

ペレットの性能と経済的な生産に関連する情報は新規市場に参入する際に重要である。California Pellet Mill 社の“マスター”モデル 40HP を用いて 5 検体のペレットを作成した。最善の性能が得られるようにペレット化を試みた。ペレット化に用いた鋳型、鋳型の圧搾率及び蒸気の使用について、全ての検体について記録した。ペレット化の後、24 時間かけて冷却した。耐久性試験は飼料工業界の標準的方法とされているカンサス州ペレット耐久性試験法に従った。

最初の試験はペレットの鋳型がペレットの品質に与える影響に焦点を合わせた。最初の試験では DDGS 対照#1 を 5/32”径の円口ペレット用鋳型を用い 8:1 の圧搾でペレット化した。この圧搾率は飼料工業界で常用されているものである。次いで 5/32” X 11.7:1 でペレット化した。圧搾率は円口の直径を有効厚さ（鋳型の深さ）で割って算出した。以下に結果を示す（表 2）。

表 2.

材料	密度	使用蒸気	鋳型の寸法	ペレットの耐久性	最終的密度
対照#1	26 lbs/Ft ³	2% 水分	5/32” × 8:1	63%	29 lbs/Ft ³
対照#1	26 lbs/Ft ³	2% 水分	5/32” × 11.7:1	94%	34 lbs/Ft ³

現在飼料工業界で用いられているものと同じ鋳型による大きな圧搾をかけることによりペレットの明らかな耐久性の向上を達成することが可能となった。パルクの密度もより向上した。蒸気で 11.7:1 の圧搾によるペレット化では 128°F（53℃）の温度上昇であったのに比べ 8:1 の圧搾では 64°F（18℃）であった。温度の上昇もまたペレットの耐久性の向上に寄与している。

次に DDGS 中のシロップ量の低減と組み合わせで蒸気のペレットの耐久性に及ぼす影響を評価した。油脂は圧縮されないものと理解されており、ペレットの耐久性の向上が期待できた。

以下に結果を示す（表 3）。

表 3

材料	使用蒸気	鋳型の寸法	ペレットの耐久性
対照#1	1%水分	5/32" × 11.7:1	81%
加工#4 低シロップ	1%水分	5/32" × 11.7:1	74%
加工#4 低シロップ	無し	5/32" × 11.7:1	66%

蒸気により 1%の水分を加えた場合のペレットの耐久性は表 2 に示した 2%の水分の場合に比べ明らかに減少していた。製品の熱の発生には明白な相違が認められた。鋳型を通しての熱の発生は 2%水分の 128°F（53 ）に対して 1%水分では 66°F（19 ）であった。同様の結果が表 3 に示されている。加工#4 検体に蒸気を加えるとペレットの耐久性が上昇した。鋳型の選択と同様に最適の鋳型を選択した後は蒸気がペレットの耐久性に対して主要因となる。

最も驚くべき結果は低シロップの DDGS を用いてもペレットの耐久性は改善されないことである。油脂含量が低いために改善が予測されたが、試験の結果ではこの予測は否定された。

要約

DDGS 検体の流動性の特徴を考察すると有利な面と他の原因による不利な面が混在する。製品の流動性についてはペレット化により流動性が改善されないことは驚くべき結果であった。一定の結果が得られたのは DDGS 加工#3 脱脂検体の成績であった。流動性のみに限ってはこの検体の成績が他の検体よりも優れていた。加工#3 脱脂検体に比べて油脂含量は多いが粒径が同じ対照#1 がこれに次いだ。試験時の製品の水分は AURI 由来の検体と Jenike & Johanson 社のものに差があった。しかしながら、水分と流動性の関係は一定していた。

材料の容積増加と吸着能が製品の流動性を左右する最大要因と考えられる。これら試験は対照 #1 のみで行った。加工 DDGS 検体ではこれらの試験を行わなかった。ペレット化は抜気により流動率を規定する浸透性試験に影響を及ぼすが、この試験は実施していない。

全ての ASTM 規格並びに容器と排出口の設計は Jenike & Johanson 社の試験報告書（Flow Properties Test Report Dried Distiller's Grain）を参照されたい。