

第 6 章

原料穀物が異なる DDGS の比較 - 栄養成分と動物成績

はじめに

世界ではエタノールおよび DDGS の製造に様々な原材料が使用されている。トウモロコシ、小麦および大麦といった穀物はそれぞれデンプン含有率が異なり（表 1）、デンプンを最も多く含む穀物（例えば、トウモロコシ）はエタノール収量が最大となるため、使用範囲も広い。エタノール製造に用いられる穀物の栄養成分は一定ではないため、結果として得られるジスチラーズ・グレインの栄養成分も異なる。

表 1. 原材料別のデンプン含有率とエタノール収量¹

原材料	水分 %	デンプン %	エタノール収量 (L/MT)
デンプン	-	100.0	720
サトウキビ	-	-	654
大麦	9.7	67.1	399
トウモロコシ	13.8	71.8	408
オーツ麦	10.9	44.7	262
小麦	10.9	63.8	375

¹Saskatchewan Agriculture and Food, 1993

ソルガム（マイロ）DDGS

表 2. はソルガム（マイロ）、ソルガム-トウモロコシ配合飼料およびトウモロコシ DDGS の栄養成分値の比較である（Urriola ら、2009）。米国エタノール産業で製造されるソルガム・ジスチラーズ・グレインおよびソルガム-トウモロコシ配合飼料のジスチラーズ・グレインの量はトウモロコシ DDGS の量と比較するとかなり少ない。しかも、ソルガムおよびトウモロコシ-ソルガム配合飼料のジスチラーズ・グレインの大半は地元の肉牛飼養場で使用され、乾燥させて DDGS にする量は非常にわずかである。従って現在のところ、大量のソルガム DDGS を輸出にまわすことはできない。

トウモロコシ DDGS と比較した場合、ソルガム DDGS では粗タンパク質の含有率がわずかに上回り、酸性デタージェント繊維（ADF）および灰分は大幅に上回り、粗脂肪およびリジンは下回る。メチオニン及びスレオニンの含有率は同程度であるが、トリプトファン含有率は大幅に上回り、リジンおよびアルギニンは下回るため、粗タンパク質に含まれるリジンの割合はトウモロコシ DDGS の値を相当下回る結果となる。ソルガム-トウモロコシ配合 DDGS の栄養成分はソルガム DDGS とトウモロコシ DDGS の中間に位置し、使用されるソルガムとトウモロコシの配合比率に依存する。

表 2. ソルガム、ソルガム-トウモロコシおよびトウモロコシ DDGS の栄養成分（現物給与ベース）

栄養成分, %	ソルガム ²	ソルガム-トウモロコシ ³	トウモロコシ ⁴
乾物	91.2	93.4	91.3
粗タンパク質	32.7	30.6	28.4
粗脂肪	8.0	8.9	10.1
NDF	34.7	36.3	33.3
ADF	25.3	17.2	11.6
灰分	11.9	5.8	2.75
アルギニン	1.10	1.31	1.25
ヒスチジン	0.71	0.80	0.75
イソロイシン	1.36	1.14	1.04
ロイシン	4.17	3.66	3.22
リジン	0.68	0.91	0.85
メチオニン	0.53	0.58	0.52
フェニルアラニン	1.68	1.51	1.35
スレオニン	1.07	1.15	1.05
トリプトファン	0.35	0.29	0.24
バリン	1.65	1.49	1.38
シスチン	0.49	0.57	0.49
総アミノ酸	30.1	28.3	25.5
リジン：粗タンパク質中の割合	2.08	2.98	2.98

¹Urriola ら、2009

²ソルガムを原材料とするジステラーズ・ドライド・グレイン・ウィズ・ソリュブル

³トウモロコシ-ソルガム配合飼料を原材料とするジステラーズ・ドライド・グレイン・ウィズ・ソリュブル

⁴トウモロコシを原材料とするジステラーズ・ドライド・グレイン・ウィズ・ソリュブル

こうした栄養成分の違いは、単胃動物に給与する場合にソルガム DDGS のエネルギー価およびタンパク質の品質がトウモロコシ DDGS を下回ることを示唆している。Dr. Joe Hancock（カンザス州立大学教授）は、ブロンズ色および黄色のソルガム DDGS の ME_n (kcal/kg) をそれぞれ 2,677 と 2,866 であると推測した。このソルガム DDGS の値は、Lumpkins と Batal、2005 (2,827 kcal/kg) および Batal と Dale、2006 (2,906 kcal/kg) が報告したトウモロコシ DDGS の ME_n（代謝エネルギー）値に近いが、わずかに下回っている。High Plains Corporation（カンザス州コルウィッチ）の推定値では、反芻胃動物に給与した場合のソルガム・ジステラーズ・グレインの TDN（総可消化栄養素）、NE_{lactation}（泌乳正味エネルギー）、NE_{maintenance}（維持正味エネルギー）、NE_{gain}（増体正味エネルギー）はそれぞれ 82.8%、0.87、0.96、0.63 Mcal/kg である。

Urriola ら（2009）は、豚に給与した場合のソルガム DDGS の標準化された真のアミノ酸消化率係数がリジン、メチオニン、スレオニン、トリプトファンでそれぞれ 64.0、76.5、70.2、72.0%であり、リジン（61.6%）およびトリプトファン（64.9%）はトウモロコシ DDGS の値をわずかに上回り、メチオニン（82.8%）は下回り、スレオニン（70.2%）は同じであることを示した。Dr. Joe Hancock（カンザス州立大学）は家禽を対象とした場合のリジンのバイオアベイラビリティを 71～73%と推定した。

小麦 DDGS

カナダ、ヨーロッパ、その他の諸国では動物飼料用小麦 DDGS の供給可能量が増加してきている。小麦 DDGS は粗タンパク質（38%）および灰分で（5.3%）トウモロコシ DDGS を上回るが、粗脂肪では下回り（4.6%）、ADF および NDF は同程度である（表 2 および 3）。脂肪含有率がトウモロコシ DDGS よりも低いということは、小麦 DDGS に含まれるエネルギーもトウモロコシ DDGS を下回っていることが示唆される。小麦 DDGS のリジン、メチオニンおよびトリプトファンの含有率はトウモロコシ DDGS の値を上回っている。

表 3. 小麦 DDGS の栄養成分

栄養成分、%	現物給与ベース
水分	8.32
乾物	91.68
粗タンパク質	38.48
粗繊維	6.00
脂肪	4.63
灰分	5.28
カルシウム	0.10
リン	0.93
ADF	12.85
NDF	35.50
デンプン	1.92
リジン	0.97
メチオニン	0.59
シスチン	0.83
スレオニン	1.09
トリプトファン	0.36
イソロイシン	1.38
ロイシン	2.50
ヒスチジン	0.85
アルギニン	1.67
フェニルアラニン	1.85
バリン	1.74

豚用としての栄養価値

Cozannet ら（2009）は文献レビューを実施し、小麦 DDGS の栄養成分には大きなばらつきがあり（トウモロコシ DDGS と同様）、NDF およびデンプン含有率の平均値はそれぞれ 28%と 4.7%で、最小値範囲および最大値範囲はそれぞれ 23~33%と 2.1~10.3%（乾物ベース）であることを示した。DE（可消化エネルギー）平均値（14.2 MJ/kg DM、豚に給与した場合）および可消化リンの平均値（0.60%、乾物ベース）は、豚用飼料では小麦 DDGS がそれぞれの良好な供給源であることを示唆している。しかしながら、DE 含有率のばらつきは非常に大きく（kgDM 当たり 12.8~16.0 MJ）、NDF の含有率に依存する。粗タンパク質に含まれるリジンの割合は 0.83~3.0%の範囲で、リジンの回腸消化率は 49~72%であり、小麦 DDGS の栄養成分の中で最もばらつきの大きい特性

であるが、これは供給源であるプラントで用いられる乾燥工程の違いに関係している可能性が高い。

Nyachoti ら (2005) は小麦 DDGS を成長期の豚に給与した場合の栄養組成および消化率を明らかにするため試験を実施した。小麦 DDGS の乾物、窒素およびエネルギーのみかけの回腸消化率および総消化管消化率は小麦を下回った。さらに、小麦 DDGS のサンプルに含まれるアミノ酸のみかけの回腸消化率も小麦を下回り、小麦 DDGS のリジン、スレオニンおよびイソロイシンの平均値はそれぞれ 43.8、62.9、68.0% であった。小麦 DDGS に含まれるエネルギーの平均回腸 DE および糞便中の平均 DE はそれぞれ 9.7MJ/kg と 13.5MJ/kg で、小麦のこれらの値は 13.3MJ/kg と 14.6MJ/kg であった。

Thacker (2006) は小麦 DDGS の配合率を変えて成長期の 72 頭の豚に給与し、小麦 DDGS の配合率が増加するに従って ADG (1 日平均体重増加率)、ADFI (1 日平均飼料摂取率) および栄養消化率が減少することを見出した。ただし、仕上期に小麦 DDGS の配合率を引き上げた場合では生育成績には影響を及ぼさなかったが、出荷時枝肉の歩留および赤身が減少した。

Widyaratne と Zijlstra (2007) は成長期から仕上期の豚にトウモロコシ、小麦および小麦・トウモロコシ配合の (4:1) DDGS を給与する 2 件の試験を実施し、DE、アミノ酸およびリン、窒素およびリンの排泄量、ならびに生育成績を評価した。エネルギーのみかけの総消化管 DE は小麦が一番高く (85%)、いずれの供給源の DDGS でも差は見られなかった (77~79%)。トウモロコシ DDGS の総消化管 DE (4,292 kcal/kg、DM) は、それぞれ 4,038、4,019、3,807 kcal/kg であった小麦-トウモロコシ DDGS、小麦 DDGS および小麦サンプルを上回った。その一方、リジンのみかけの回腸消化率は小麦が一番高く (71%)、DDGS 間では差は見られなかった (59~63%) が、回腸可消化リジンのみかけの含有率はトウモロコシ DDGS が一番高く (0.51% DM)、小麦-トウモロコシ DDGS および小麦 DDGS が中程度 (それぞれ 0.45 と 0.42%)、小麦が最小値 (0.37%) であった。リンの総消化管消化率は小麦が一番低く (15%)、DDGS サンプル間では差が見られなかった (53~56%)。窒素の総排泄量は小麦-トウモロコシ DDGS および小麦 DDGS が多く (55 と 58 g/日)、トウモロコシ DDGS が中程度で (44 g/日)、小麦が最も少なかった (36 g/日)。リンの総排泄量は DDGS 間では差は見られなかった (11 g/日) が、小麦が最も少なかった (8 g/日)。小麦対照飼料を給与した豚の 1 日平均飼料摂取量および ADG は DDGS 飼料を給与した豚の値を上回ったが、飼料効率は同程度であった。こうした結果は、小麦 DDGS の可消化栄養素がトウモロコシ DDGS を下回るが、小麦を上回ることを示唆している。以前に割り出された可消化栄養素の含有率を用いた場合では、DDGS を給与することで生育成績が下落したため、この研究者らは小麦 DDGS の飼料価値を改善するためにはさらなる試験が必要であるとしている。

Emiola ら (2009) は小麦 DDGS 主体飼料にカルボヒドラーゼ酵素を配合して成長期および仕上期の豚に給与し、生育成績および栄養成分の消化率に与える影響について調べた。この試験結果は、複数種のカルボヒドラーゼ酵素を 30%小麦 DDGS 主体飼料に添加した場合に、成長期の豚では生育成績ならびに乾物、窒素、総エネルギーおよび粗繊維のみかけの総消化管消化率が、仕上期の豚では栄養成分のみかけの回腸消化率が改善されることを示している。

家禽用としての栄養価値

Thacker と Widyaratne (2007) は小麦 DDGS を 0、5、10、15、20%配合した場合に、ブロイラ

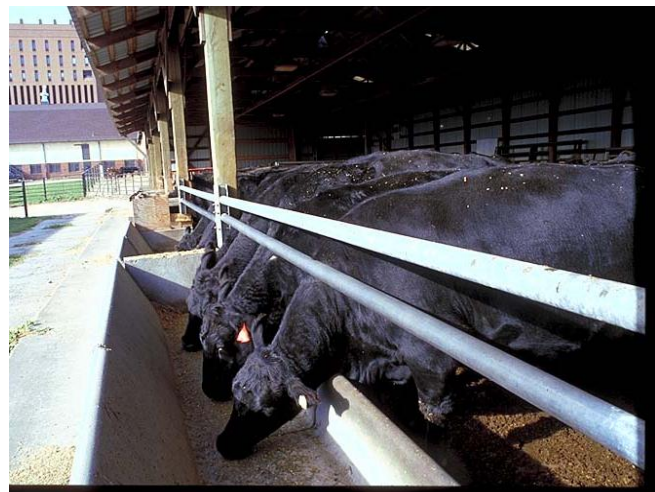
一の雛の生育成績および栄養消化率に及ぼす影響を調べるための給与試験を実施した。飼料に配合する小麦 DDGS の割合が増えるに従って、乾物、エネルギーおよびリンの消化率は線形減少を示した。しかしながら、小麦 DDGS の配合割合を引き上げた飼料を雛鶏に給与しても、増体量、飼料摂取量および飼料要求率に変化は観察されなかったが、DDGS を 20% 配合した飼料を給与すると、増体量および飼料要求率が減少する傾向が見られた。こうした結果は、小麦 DDGS はブロイラー用飼料に問題なく配合することができ、エネルギーおよびリンの含有率の低さは適切に飼料設計することによって補うことが可能であることを示している。



Richter ら (2006) はブロイラー雛 (0-8 週齢) に最大 20% まで、若齢 (9-18 週齢) の産卵鶏に最大 15% まで小麦 DDGS を配合し、それぞれの飼料に非デンプン性多糖加水分解酵素を添加した。小麦 DDGS の飼料配合率はブロイラーの生育成績に影響を及ぼさなかったが、添加した非デンプン性多糖加水分解酵素によって増体量が 2.5% 改善した。しかしながら、ブロイラーの仕上げ成績は飼料に含まれる小麦 DDGS の割合が増加するに従って低下した。これによって、小麦 DDGS の最大配合率は 5% であることが示唆される。小麦 DDGS の飼料配合率は産卵成績および鶏卵品質には影響を及ぼさなかった。

Leytem ら (2008) は小麦 DDGS を 0、5、10、15 および 20% 配合した飼料をブロイラーに給与して、栄養成分の排泄量およびリンの可溶性に及ぼす影響を見極めた。飼料中の小麦 DDGS の割合が増加するに従って、窒素およびリンのみかけの保持率は線形減少を示した。乾物摂取量 1 キログラム当たりの栄養成分排泄量については、DDGS の配合率が増加するに従って、窒素、リンおよび水溶性リンで線形増加が見られた。DDGS の配合率が増加すると、排泄物中のリンの含有率が増加し、フィチン態リンの含有率は減少した。その結果水溶性リンおよび総リン中の可溶性リンの割合が増加した。こうした結果は、飼料中に高い割合で小麦 DDGS が含まれると排泄物中の窒素およびリンの量が増加するため、排泄物管理計画において留意する必要があることを示している。

肉牛用としての栄養価値



McKinnon と Walker (2008) は、乾物ベースで総飼料の 25% および 50% を大麦から小麦主体 DDGS に置換すると、離乳以降の成長期の去勢牛の ADG および増体量効率が向上し、乾物摂取量および増体組成には変化のないことを示した。Beliveau と McKinnon (2008) は、小麦 DDGS の配合率を増加させて成長期および仕上期の畜牛に給与し、飼養場成績および枝肉特性に及ぼす影響を評価する試験を実施した。この試験の結果は、小麦 DDGS が飼料のエネルギーおよびタンパク質源となり、

畜牛飼料の大麦を置換する原材料として効果的であることを示している。仕上期の畜牛では、小麦 DDGS を乾物ベースで最大 23%まで飼料に配合することで、大麦と同等以上のエネルギー価値を飼料にもたせることができる。

Hao ら (2009) は小麦 DDGS を 0、20、40、60 および 60%超の割合で配合した飼料を飼養場畜牛に給与し、排泄物栄養成分および揮発性脂肪酸の排泄に及ぼす影響を評価した。総窒素 (糞便)、リン、pH (糞便) および水溶性アンモニアの値は、小麦 DDGS を 40%および 60%配合した飼料を給与した場合に、DDGS 無配合飼料を給与した場合の値を上回った。小麦 DDGS を 40%および 60%配合した飼料を給与した場合に、糞便中のイソ酪酸、吉草酸およびイソ吉草酸の総 VFA (揮発性脂肪酸) の含有率が最も高くなったが、DDGS の配合レベルによって総 VFA 含有率が変化することはなかった。こうした試験の結果、小麦 DDGS を給与した畜牛の排泄物は耕作地により多くの窒素およびリンを供給することになり、アンモニアの排出量や臭気も増加することになるため、過剰な排泄物栄養成分および悪臭を最小限に抑えるため、小麦 DDGS の畜牛用飼料への配合率は最大 20%に抑えるべきであることが示唆される。

その他原材料から製造される DDGS

世界的に見て、エタノールおよび DDGS の原材料としては圧倒的にトウモロコシや小麦が用いられているが、使用程度ははるかに少ないながらも他の穀物や高デンプン飼料原料も使用されている。様々な代替飼料原料から製造される DDGS の粗タンパク質、粗脂肪および粗繊維について発表されているデータは限られているが、表 4 にはそうした原材料の一般組成をまとめた (Moreau ら、2012)。トウモロコシ DDGS は、その粗タンパク質、粗脂肪および粗繊維の含有率がこうした代替 DDGS 原材料のいずれの値も上回っており、エタノール製造由来の飼料原材料としては最も価値の高いものであることを認識することが重要である。

表 4. 各種穀物から製造された DDGS の栄養成分 (乾物ベース) ^{1,2}

栄養成分, %	粗タンパク質	粗脂肪	粗繊維
脱穀大麦	17.7	2.5	5.7
オーツ麦	16.0	6.3	2.0
ライ麦	8.0-10.4	ND	ND
ライ小麦	10.33	ND	ND
長粒米 (玄米)	7.94	2.92	3.5
短粒米 (白米)	6.50	0.52	2.8
トウジンビエ	9.73-13.68	6.8	ND
キャッサバ	1.5-3.0	0.2	3-4

¹ND = データなし

² Moreau ら、2012 を採用

References

Batal, A. and N. Dale. 2006. True metabolizable energy and amino acid digestibility of distillers dried grains with solubles. J. Appl. Poult. Res. 15:89-93.

- Beliveau, R.M., and J.J. McKinnon. 2008. Effect of graded levels of wheat-based dried distillers' grains with solubles on performance and carcass characteristics of feedlot steers. *Can. J. Anim. Sci.* 88(4):677-684.
- Cozannet, P., Y. Primot, J.P. Metayer, C. Gady, M. Lessire, P.A. Geraert, L. le Tutour, F. Skiba, and J. Noble. 2009. Wheat dried distiller grains with solubles for pigs. *INRA Productions Animales.* 22:1, 11-16.
- Emiola I.A., F.O. Opapeju, B.A. Slominski, and C.M. Nyachoti. 2009. Growth performance and nutrient digestibility in pigs fed wheat distillers dried grains with solubles-based diets supplemented with a multicarbohydrazase enzyme. *J. Anim. Sci.* 87(7):2315-22.
- Hao X, M.B. Benke, D.J Gibb, A. Stronks, G. Travis, and T.A. McAllister. 2009. Effects of dried distillers' grains with solubles (wheat-based) in feedlot cattle diets on feces and manure composition. *J. Environ. Qual.* 38(4):1709-18
- Leytem, A.B., P. Kwanyuen, and P. Thacker. 2008. Nutrient Excretion, Phosphorus Characterization, and Phosphorus Solubility in Excreta from Broiler Chicks Fed Diets Containing Graded Levels of Wheat Distillers Grains with Solubles. *Poult. Sci.* 87(12):2505-2511.
- Lumpkins, B., A. Batal and N. Dale, 2005. Use of distillers dried grains plus solubles in laying hen diets. *J. Appl. Poultry Sci.* 14:25-31.
- McKinnon, J.J., and A.M. Walker. 2008. Comparison of wheat-based dried distillers' grain with solubles to barley as an energy source for backgrounding cattle. *Can. J. Anim. Sci.* 88(4):721-724.
- Moreau, R.A., N.P. Nghiem, K.A. Rosentrater, D.B. Johnston, and K.B. Hicks. 2012. Ethanol production from starch-rich crops other than corn and the composition of the resulting DDGS. In: *Distillers Grain Production, Properties, and Utilization*, ed. K. Liu and K.A. Rosentrater, CRC Press, Boca Raton, FL, p. 103-117.
- Nyachoti, C.M., J.D. House, B.A. Slominski, and I.R. Seddon. 2005. Energy and nutrient digestibilities in wheat dried distillers' grains with solubles fed to growing pigs. *J. Sci. Food Agric.* 85(15):2581-2586.
- Richter, G., H. Hartung, E. Herzog, and F. Otto. 2006. Use of dried wheat-based distillers grain from bioethanol production in poultry. *Tagung Schweine- und Geflugelernahrung*, Martin-Luther-Universitat Halle-Wittenberg, Halle, Germany. 265-267.
- Saskatchewan Agriculture and Food 1993. *Establishing an Ethanol Business.*
- Thacker, P.A., and G.P. Widyaratne. 2007. Nutritional value of diets containing graded levels of wheat distillers grains with solubles fed to broiler chicks. *J. Sci. Food Agr.* 87(7):1386-1390.
- Thacker, P.A. 2006. Nutrient digestibility, performance and carcass traits of growing-finishing pigs fed diets containing dried wheat distiller's grains with solubles. *Can. J. Anim. Sci.* 86(4):527-529.
- Urriola, P.E., D. Hoehler, C. Pedersen, H.H. Stein, L.J. Johnston, and G.C. Shurson. 2009. Determination of amino acid digestibility of corn, sorghum, and a corn-sorghum blend of dried distillers grains with solubles in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 87: 2574-2580.
- Widyaratne, G.R., and R.T. Zijlstra. 2007. Nutritional value of wheat and corn distiller's dried grain with solubles: Digestibility and digestible contents of energy, amino acids and phosphorus, nutrient excretion and growth performance of grower-finisher pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 87(1):103-114.