

## 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。

(先月号からの続き)

### 原料トウモロコシに由来するDDGSの栄養素含有量とその変動

DDGSの栄養成分含量の変動には、粗トウモロコシ油の抽出以外にも多くの要因が関与している。

Olentine (1986)は、蒸留併産物の栄養成分組成の変動に関わる原料および加工工程における多くの要因をあげている(表4)。トウモロコシDDGSの栄養成分含量の変動の多くは、品種間で通常起こり得る変動とそれが栽培される地域差によるものと考えられる。

表5に示したNRC豚(2012)およびNRC家鶏(1994)で報告された値(スミスら、2015)によるトウモロコシの粗脂肪、CP、NDF、ADF、豚のDE値および家禽のTMEとAME値をみると、トウモロコシの品種、施肥率、成長期の気候条件、遺伝的改良にともな

い、トウモロコシの成分組成は時間とともに変化している。このため、トウモロコシのエネルギー価と栄養成分組成の変動は、トウモロコシDDGSの栄養成分の変動に直接影響している。さらに、家禽や豚用飼料の設計を行う際に、NRC(1994および2012)によるトウモロコシのエネルギー価を使用すると、トウモロコシの実際のエネルギー価を過小評価することになる。

DDGSを製造時のジスチラーズ・グレイン(固形部分、DG)へのジスチラーズ・ソリュブル(液体部分、DS)の混合比も、工場によって異なっている。これら2つの画分の栄養成分組成には大きな違いがあるため、DGとDSの混合比がDDGSの最終的な栄養成分組成に大きな影響を与えることになる。Nollら(2006)は、0、12、25、42ガロンのDGに様々な水準(0、30、60および100%)のDSを添加して製造したトウモロコシDDGSの栄養成分組成と消化率を評価している。DGへのDSの添加率が低下すると、乾燥機

の温度は低下した。粒子サイズは増加し、DGへのDSの添加量の増加に伴い、DDGSの品質がより変化しやすくなった。DSの量が増加すると、DDGSの色調が濃くなり(L\*が低下)、黄色味が低下した(b\*が低下)。DSの増加は、粗脂肪、灰分、TME<sub>n</sub>(家禽)、マグネシウム、ナトリウム、リン、カリウム、塩化物および硫黄の増加をもたらしたが、CPおよびアミノ酸含量と消化率への影響は最小限だった。

飼料成分の分析結果が研究室間で異なることも多く報告されていることにも注意が必要である(Cromwellら、1999)。表6に示すように、同一のDDGSについて、同一の分析手順を用い、4か所の研究室で分析した分析結果は、乾物では92.4~96.2%、粗脂肪では9.4~13.0%、NDFでは26.8~40.5%と試験場間で差があった。各成分の分析手順には、結果に差異をもたらす可能性がある固有の分析実施上の変動が関連付けられている、技術者のエラー、サンプリングエラー、古い試薬の使用、分析機器の不適切なキャリブレーションおよびメンテナンスなどのその他の要因が差異の原因となる場合もある。研究室間でのDDGSの分析結果のばらつきを最小限に抑えるための推奨分析方法は7章を参照されたい。

### DDGSの必須アミノ酸組成の変動

他のすべての栄養成分と同様に、DDGSのアミノ酸含量は、供給源によって大幅に異なる。Olukosi & Abebiyi (2013)は、1997年から2010年の間に公表されたいくつかの論文からのいくつかのアミノ酸のデータセットをまとめている(表7)。

以前Fieneら(2006)によって報告されたように、これらのデータは、CP含量とアルギニン(r(相関係数)=0.44)、イソ

表4. 併産物の栄養成分に影響を与える要因(Olentine、1986年から抜粋)

原材料	要素
穀物の種類	粉碎手順
品種	粒度
品質	粉碎時間
土壌条件	浸漬処理
肥料	水量
天候	プレモルトの量
生産と収穫方法	温度と時間
処理	発酵方式(連続あるいはバッチ単位)
	冷却時間
	糖化
	麦芽の種類、量、質
	真菌アミラーゼ
	時間と温度
	糖化した穀物の希釈
	穀物の容量
	品質と量
	発酵
	酵母の質と量
	温度
	時間
	冷却
	攪拌
	酸度などの生産管理
	蒸留
	タイプ: 真空または大気圧、連続またはバッチ
	直接または間接加熱
	蒸留中の体積変化
	処理
	分離のタイプ: 静止、回転または振動
	遠心分離機の使用
	圧搾の種類
	蒸発器
	温度
	数
	乾燥機
	時間
	温度
	タイプ
	穀物と混合したシロップの量

ロイシン( $r=0.26$ )、リジン( $r=0.22$ )およびトリプトファン( $r=0.33$ )の間の相関が低く、統計的に有意ではなかった。これは、CPがトウモロコシDDGS中のこれらのアミノ酸含量に対して不十分な指標であり、推定式が開発されなかったことを意味している。

他の必須アミノ酸の含量は、CP含量と有意な相関を示した(ヒスチジン、ロイシン、メチオニン、フェニルアラニン、トレオニン、バリンの各 $r=0.68, 0.49, 0.73, 0.81, 0.59, 0.61$ )が、それらの相関係数は一般的には低く、推定式の $R^2$ (決定係数)は低かった(0.23~0.66)。これらの結果は、CP含量はトウモロコシDDGS中のアミノ酸含量の推定因子としては不十分であることを示しており、正確な結果を得るためには、アミノ酸を実測する必要がある。最近では、Zengら(2017)が、2006年から2015年の間に実施された研究結果(査読済みの公表論文

22報、修士論文1報)からのデータセットの要約を示している(表

表8. 2006~2015年におけるトウモロコシDDGSの一般成分アミノ酸含量の変動(乾物(88%)、Zengら、2017から改編)

成分値	平均	CV
CP %	27.1	8.7
粗繊維 %	8.2	26.2
NDF %	34.1	13.4
ADF %	11.5	21.2
粗脂肪 %	8.8	36.3
粗灰分 %	4.1	24.9
<b>必須アミノ酸</b>		
アルギニン %	1.15	11.8
ヒスチジン %	0.74	14.2
イソロイシン %	0.99	11.8
ロイシン %	3.16	13.7
リジン %	0.80	17.9
メチオニン %	0.54	15.1
フェニルアラニン %	1.32	12.3
トレオニン %	1.01	15.5
トリプトファン %	0.20	16.3
バリン %	1.35	11.1

表5. NRC豚(2012)およびNRC家禽(1994、Smithら、2015から更新)によるトウモロコシ穀粒由来の栄養成分とエネルギー価

	NRC豚(2012)	Smithら(2015)				
		平均	範囲	差	SD	CV
乾物 %	88.3	86.6	83.7-88.9	5.2	1.2	1.4
CP %	9.3	9.5	7.9-12.3	4.4	0.98	10.3
粗脂肪 %	3.9	5.6	3.1-10.8	7.7	1.96	35.1
粗繊維 %	2.2	1.7	0.93-3.7	2.8	0.42	27.8
NDF %	10.3	10.7	6.7-15.4	8.7	2.14	20.0
ADF %	3.3	4.5	1.9-8.0	6.1	1.80	39.6
でん粉 %	70.8	68.5	58.3-74.2	15.9	3.4	4.9
可溶性炭水化物 %	-	72.8	63.6-79.9	16.3	3.7	5.1
粗灰分 %	1.5	1.4	0.87-2.4	1.5	0.28	20.5
GE kcal/kg	4,454	4,576	4,409-4,841	432	101	2.2
DE kcal/kg(豚)	3,907	4,105	3,904-4,344	440	100	2.4
AMEn kcal/kg	3,764	4,006	3,865-4,269	404	94	2.3
TMEEn kcal/kg	3,898	4,086	3,955-4,272	317	80	2.0

表6. 同一サンプルのDDGSに関する4か所の研究所間での栄養成分分析値の違い

	研究所1	研究所2	研究所3	研究所4
乾物 %	96.2	95.1	92.4	95.1
CP %	29.6	30.3	30.2	29.3
粗脂肪 %	9.4	13.0	11.1	11.9
NDF %	32.2	26.8	40.5	27.8
粗灰分 %	4.2	5.0	4.4	4.3

Kerr(2013) unpublished data.

表7. 1997~2010年におけるトウモロコシDDGSの必須アミノ酸組成の変動(Olukosi & Adebisi, 2013から改編)

	平均	最少値	最大値	SD	CV
アルギニン %	1.22	1.06	1.46	0.098	8.0
シスチン %	1.73	1.49	1.97	0.057	11.1
ヒスチジン %	0.74	0.65	0.91	0.070	9.4
イソロイシン %	1.07	0.96	1.25	0.072	6.7
ロイシン %	3.21	2.89	3.62	0.210	6.6
リジン %	0.90	0.62	1.11	0.118	13.1
メチオニン %	0.52	0.44	0.72	0.063	12.0
フェニルアラニン %	1.29	1.09	1.51	0.123	9.6
トレオニン %	1.03	0.93	1.16	0.067	6.5
トリプトファン %	0.22	0.16	0.26	0.022	10.3
バリン %	1.42	1.30	1.61	0.095	6.7

8)。これらのデータは、Olukosi & Adebisi(2013)によるデータよりも、現在のトウモロコシDDGSの化学組成と変動を反映している。

**DDGS繊維の非デンプン多糖類組成**

DDGSの繊維画分のNSP(非デンプン性多糖類)の組成に関する知見は、豚、家禽および養殖水産動物用の原料として供給されるDDGSのエネル

ギー価と栄養成分の消化率を改善する市販の酵素を選択する際に重要である。Pedersenら(2014)は、47試料のトウモロコシDDGSおよび11試料の小麦DDGSのNSP組成を測定し、NSPがトウモロコシDDGSの約25~34%を占め、そのほとんどは不溶性であることを示している(表9)。これは、トウモロコシDDGSの繊維画分は小腸での消化性が制限されており、豚、家禽、養殖魚の下部消化管での発酵性が制限されることを示している。セルロースはトウモロコシDDGS中の約5~9%を占め、主な非繊維性多糖類はキシロース(7.7%)とアラビノキシロース(12.3~17.2%)であり、これらも主に不溶性である。トウモロコシDDGSのマンノース含有量(1.7%)は、トウモロコシ粒に比べて非常に多く、DDGS中に存在する残留酵母細胞壁のマンナンに由来する可能性がある。トウモロコシDDGSは、小麦DDGSに比べて総アラビノースと総ウロン酸含量が高いため、アラビノース:キシロースおよびウロン酸:キシロース比が比較的高くなっている。これは、トウモロコシDDGSの繊維(ヘテロキシラン)構造は、小麦DDGSに比べてより複雑で変化しやすく、したがって、外因性酵素での分解がより困難であることを示している。ただし、小麦DDGSでは難消化性



のクラソニン含量がトウモロコシDDGSより多かった。クラソニンは化学成分として明確に定義されておらず、真のリグニンに加えて、たん白質(メイラード反応による生成物)、残留脂肪、ワックスおよびクチンが含まれている可能性がある。これらの結果は、DDGSの製造中にトウモロコシ粒に含まれていや構造から置換されたキシランおよび水溶性NSPの濃度が変化していることを示唆している。

### DDGSにおけるトウモロコシ油の脂肪酸組成と過酸化に対する指標

DDGSの脂肪酸組成には、MEおよびNE価への寄与、乳牛における乳脂肪量への潜在的な影響、成長期～仕上げ期の豚の脂肪の硬さに及ぼす影響および生産、輸送中、貯蔵中の脂質の過酸化に対する感受性など、いくつか重要な点がある。表10に示すように、DDGS中のトウモロコシ油に含まれる主な脂肪酸は、リノール酸(54%)、オレイン酸(26%)、パルミチン酸(14%)であり、リノール酸とオレイン酸は不飽和脂肪酸であることから、DDGS中の脂質は過酸化されやすくなっている。さらに、脂肪酸組成は、粗脂肪含量が10%以上のDDGSと、10%以下のDDGSとは大きな違いはない。DDGS中の脂質

中では、エイコサペンタエン酸(EPA)は検出されないが、神経、網膜、免疫機能にとって生理学的に重要なオメガ3系の脂肪酸であるドコサヘキサエン酸(DHA)は少量含まれている。

粗脂肪含量が10%以上のDDGSと、10%以下のDDGSにお

表9. トウモロコシDDGS 47サンプルおよび小麦DDGS 11サンプルにおける栄養成分および非デンプン性多糖類(NSP)含量(%)と変動(乾物、Pedersenら、2014から改編)

	トウモロコシDDGS				小麦DDGS			
	平均	範囲	SD	CV	平均	範囲	SD	CV
水分	8.7	6.5-12.4	0.8	10	7.6	6.8-8.7	2.0	2
CP	31.4	27.1-36.4	2.1	7	33.4	30.3-37.9	2.8	9
粗脂肪	9.1	6.5-11.8	1.5	17	5.2	4.4-6.5	0.8	16
酸分解エーテル抽出物	11.1	8.4-13.5	1.4	13	7.3	6.5-8.8	0.8	11
NDF	35.1	30.2-39.7	2.4	7	30.6	27.3-34.2	2.6	8
ADF	10.1	8.9-11.9	0.6	6	10.5	9.5-12.2	0.8	7
粗繊維	7.7	6.4-9.5	0.6	7	6.7	5.5-8.8	0.9	14
でん粉	6.0	2.9-13.9	2.7	45	4.0	<1.0-8.8	4.2	103
全糖	9.0	5.4-12.6	1.7	19	9.8	4.6-12.4	2.2	23
粗灰分	7.1	5.4-9.0	0.7	9	9.1	8.1-10.0	0.4	5
総NSP	28.3	25.0-33.7	2.0	9	26.2	24.2-29.1	0.9	4
水溶性NSP	3.1	1.6-6.5	0.8	47	6.7	5.3-8.0	0.1	2
セルロース	6.7	5.2-9.1	0.8	16	5.0	3.5-6.7	1.6	32
非繊維性多糖類								
総キシロース	7.7	6.7-10.0	0.7	10	8.6	7.0-9.3	0.7	8
水溶性キシロース	0.6	0.1-1.6	0.3	62	2.3	1.5-3.2	0.5	22
総アラビノース	6.2	5.6-7.2	0.4	7	5.7	5.1-6.2	0.0	0
水溶性アラビノース	0.7	0.2-1.5	0.3	45	1.7	1.2-2.2	0.3	15
総グルコース	2.8	2.1-4.4	0.4	13	3.3	2.7-3.7	0.1	5
水溶性グルコース	0.3	0.0-1.6	0.4	190	1.1	0.1-2.1	1.0	89
総マンノース	1.7	1.2-2.0	0.2	12	1.6	1.3-1.8	0.2	13
水溶性マンノース	0.6	0.4-0.9	0.1	19	0.7	0.4-0.8	0.1	18
総ガラクトース	1.5	1.3-2.1	0.2	11	1.1	1.0-1.2	0.1	11
水溶性ガラクトース	0.3	0.2-0.5	0.1	29	0.6	0.4-0.7	0.1	18
総ウロン酸	1.6	1.4-2.0	0.1	8	0.8	0.7-0.9	0.1	12
水溶性ウロン酸	0.5	0.3-0.6	0.1	11	0.3	0.2-0.4	0.0	15
クラソニンリグニン	2.5	1.5-4.7	0.7	26	6.6	4.4-9.3	2.1	32
アラビノース：キシロース	0.80	0.71-0.85	0.0	5	0.66	0.62-0.70	0.01	9
ウロン酸：キシロース	0.20	0.16-0.23	0.0	8	0.09	0.08-0.11	0.0	21

表10. 様々な粗脂肪含有量のDDGSにおける脂肪酸組成と脂質過酸化の程度(Kerrら、2013から改編)

	平均値 (粗脂肪10%以上)	範囲	平均値 (粗脂肪10%以下)	範囲
サンプル数	8		7	
粗脂肪%	11.2	10.1-13.2	8.0	4.9-10.0
全油中脂肪酸%				
ミリスチン酸、14:0	0.07	0.06-0.08	0.04	ND-0.08
パルミチン酸、16:0	14.2	13.6-15.4	14.2	14.0-14.6
パルミトレイン酸、16:1	0.14	0.12-0.16	0.12	ND-0.15
ステアリン酸、18:0	2.2	2.0-2.6	2.2	2.1-2.3
オレイン酸、18:1	26.0	24.8-27.3	26.2	25.2-27.2
リノール酸、18:2	54.0	51.9-55.0	53.9	53.4-54.5
リノレン酸、18:3	1.6	1.4-1.8	1.6	1.6-1.8
アラキドン酸、20:4	ND	ND	ND	ND
EPA、20:5	ND	ND	ND	ND
ドコサペンタエン酸、22:5	ND	ND	ND	ND
DHA、20:6	0.18	0.15-0.27	0.21	0.16-0.26
脂質酸化反応				
遊離脂肪酸%	1.7	1.1-2.4	1.1	0.6-1.7
TBA吸光度	7.8	5.7-11.8	10.6	5.3-17.1
過酸化物価 mEq/kg	5.4	0.2-19.0	7.7	0.6-17.5

る脂質過酸化(遊離脂肪酸含有量、チオバルビツール酸および過酸化物価)の平均には大きな差はないが、これらの測定値にはかなりのばらつきがある。DDGSの脂質過酸化についてのより包括的な分析のために、Song & Shurson (2013)はトウモロコ

シDDGS 31試料から抽出したトウモロコシ油を分析し、これらのデータをトウモロコシ穀粒と比較している(表11)。ミノルタの色差計によるL\*とb\*と、過酸化値の間の相関は、それぞれ-0.63と-0.57で、TBARS(2-チオバルビツール酸反応性物質)の場合にはそれよりも大きかった(r = -0.73と-0.67)。

茶色のオキシポリマーが脂質過酸化中の重合反応中に生成される(Buttkus, 1975; KhayatおよびSchwall, 1983)ことによる、DDGSの色調と過酸化の測定値の間の有意な負の相関は、色調がDDGSの脂質過酸化の程度の知るうえで有用な指標である可能性があることを示唆している。

ただし、Songら(2013)は、この研究において、最も過酸化が進んだDDGS(イオウ0.95%を含む)を30%配合した飼料を給与したが、離乳子豚の成長成績には悪影響を及ぼさなかった。成長成績に影響が出なかった原因として、DDGSの給与によるイオウ含有抗酸化化合物の増加に起因しており、発育成績への悪影

表11. トウモロコシDDGSから抽出された脂質の脂質過酸化と色調(Song & Shurson, 2013から改編)

	トウモロコシ	DDGS				
		平均	中央値	最小値	最大値	CV
過酸化値、mEq/kg (脂質中)	3.1	13.9	11.7	4.2	84.1	97.5
TBARS値 ng MDA相当量/mg (脂質中)	0.2	1.9	1.7	1.0	5.2	43.6
色調						
L*	83.9	54.1	54.9	45.2	58.1	4.6
a*	2.6	10.9	10.8	9.3	12.4	7.2
b*	20.0	37.3	37.5	26.6	42.7	8.8

響を防ぐためのビタミンE添加は必要がなかった。

同様の結果は、Hansonら(2015)による離乳子豚に過酸化が進んだDDGSを給与した試験でも観察されている。これらの結果は、DDGSで脂質の過酸化が明らかに発生するものの、離乳子豚の発育成績や健康状態に悪影響を与えないことを示唆している。DDGSに含まれている比較的高い天然抗酸化物質は、DDGSの過酸化油をブタに与える潜在的な悪影響を克服するのに十分である可能性がある。

(次号に続く)

## 米国農務省「世界農業需給予測(WASDE)」による 飼料穀物(トウモロコシ、ソルガム、大麦)需給概要の抜粋

2020年11月10日米国農務省発表の世界農業需給予測の米国産飼料穀物に関する部分の抜粋の参考和訳を以下に掲載いたします。WASDEのフルレポートについては(<https://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/>)よりご確認ください。また、数値や内容については、原文のレポートのものが優先いたします。各項目の詳細、注釈についても原文をご参照ください。

今月の2020/21年度の米国産トウモロコシの見通しは、生産量の引き下げ、飼料そのほかへの利用の減少、輸出の増大と期末在庫の減少となっています。トウモロコシの生産量は、収穫面積の下方修正と単収の175.8ブッシェル/エーカーへの引き下げのため、先月の予測より2億1,500万ブッシェル減の145億700万ブッシェルと予測されています。トウモロコシの輸出量は、3億2,500万ブッシェル引き上げられ26億5,000万ブッシェルとなり、実現すれば史上最大となります。飼料そのほかへの利用の予測は、生産量の減少と高値の予想から7,500万ブッシェル引き下げられています。供給量の減少と利用量の増大から、2020/21年度の期末在庫は4億6,500万ブッシェル引き下げられて17億ブッシェルとなり、この予想は2013/14年以来最小となります。農家の年間平均トウモロコシ出荷価格は、40セント引き上げられ、1ブッシェルあたり\$4.00となっています。

2020/21年度の世界の粗粒穀物の生産量予測は、1,110万トン下方修正され、14億4,780万トンとなっています。2020/21年度の米国外の粗粒穀物の予測は、先月と比較して生産量の引き下げ、実質上変化のない利用量と在庫の増大となっています。米国外のトウモロコシ生産量は、ウクライナ、EU、ロシア、モルドバでの減少が南アフリカとラオスでの増大を上回ったため、下方修正となっています。ウクライナについては、トウモロコシの単収予測

が、現時点まで続いている不作をもとに引き下げられ、2012/13年以来最低となっています。

2020/21年度の粗粒穀物の世界貿易での主な変化は、ウクライナとロシアからの輸出の減少を上回る米国、トルコ、南アフリカからの輸出増大となっています。トウモロコシの輸入は中国と韓国で引き上げられていますが、EU、メキシコ、イランでは引き下げられています。中国は、政府からの輸入割当の追加の公表はされていませんが、11月初旬までの輸出国の出荷データからは、720万トンの関税割当量を上回っています。大麦の輸出はEUで引き上げられており、中国の輸入予測も引き上げられています。中国の粗粒穀物の総輸入量は2014/15年度の2,570万トンを若干超える、史上最大の2,600万トンに達すると予測されています。

2020/21年度の米国外のトウモロコシ期末在庫は、EUとロシアでの減少があるものの、主に中国と南アフリカでの増大を反映して引き上げられています。世界のトウモロコシ期末在庫は、先月より900万トン引き下げられ、2億9,140万トンとなっています。

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/>