

## 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。

(157号:「DDGSハンドブック第6章」からの続き)

## DDGSの天然抗酸化物質と植物化学組成

飼料の主な役割は、動物の栄養要求量を充足するための十分な量のエネルギーと消化可能な栄養成分を供給することであるが、一部の飼料原料には、飼料として供給される栄養素を超える生理学的利点を有する化合物も含まれている。これらの化合物は、「機能的」または栄養補助食品の特性(すなわち、栄養および医薬品)を持っていると説明されることがある。

トウモロコシには、ビタミンE、フェルラ酸、カロテノイドなどの健康上有効な生理活性化合物がいくつか含まれている。これらの化合物は、他の化合物とともに、DDGSの抗酸化能力および潜在的な健康上の利点に貢献する可能性がある。

DDGSの植物化学物質含有量と抗酸化能に関するデータは限られているが、これらの植物化学成分を定量化することは、豚、家禽、養殖魚に対するDDGS配合飼料の給与の際に観察される腸管健康と免疫系の応答に対する有益な効果を理解するために重要である。最初の証拠は、DDGSには、DDGS由来の過酸化油を家畜に供給すると酸化ストレスが発生するものの、健康上の利点をもたらす可能性がある自然由来の様々な抗酸化化合物も大量に含まれている。DDGSの抗酸化物質等の分析は、2011年にWinkler-Moser & Breyerにより実施されている。彼らは、POET社からDDGS試料を入手して、脂肪酸組成、トコフェロール、トコリエノール、カロテノイド、酸化安定性指数(OSI)およびDDGSから抽出した脂質中のフィトステロール等の広範囲の分析を行った(表12)。

トコフェロールは油に含まれる主要な抗酸化物質であり(Kamal-Eldin, 2006)、酸化促進条件下での過酸化を最小限に抑える上で重要な物質である。トコリエノールは抗酸化剤としても機能し(Schroederら, 2006)、血中コレステロールの低下、癌の予防、神経系の保護に貢献しているとされている(Senら, 2000)。トウモロコシ油中の主要なカロテノイドは、ルテインとゼアキササンチンであり、これらはヒトの加齢性黄斑変性症と白内障から保護することが示されている(Zhaoら, 2006)。βカロチンとβクリプトキサンチンはビタミンAの前駆物質であり(Bendich & Olson, 1989)、すべてのカロテノイドは、抗酸化作用や免疫反応の改善など、飼料由来のビタミンA作用を補給する以外にも有益な健康効果があることが示されている。いくつかのタイプの癌に対する防御(Bendich & Olson, 1989;

表12. 粗トウモロコシ油の脂肪酸組成、天然抗酸化物質、酸化安定性およびフィトステロール (Winkler-Moser & Breyer, 2011から改編)

分析項目	濃度
遊離脂肪酸 (% オレイン酸中)	10.5 + 0.18
脂肪酸 (% 脂質中)	
16:00	12.9
16:01	0.1
18:00	1.8
18:01	28.1
18:02	55.5
20:00	0.3
18:03	1.2
20:01	0
ヨウ素価	123.1
総トコフェロール μg/g	1,104
αトコフェロール μg/g	296
γトコフェロール μg/g	761
Δトコフェロール μg/g	48
総トコリエノール μg/g	1,762
αトコリエノール μg/g	472
γトコリエノール μg/g	1,210
Δトコリエノール μg/g	80
総カロチノイド μg/g	75
ルテイン μg/g	47
ゼアキササンチン μg/g	24
βクリプトキサンチン μg/g	3.3
βカロチン μg/g	0.9
OSI 110°C時の時間	6.62
総フィトステロール mg/g	21.7
カンベステロール mg/g	2.97
カンベステノール mg/g	1.35
ステグマステロール mg/g	1.1
シトステロール mg/g	10.3
シトスタノール mg/g	3.72
アベナステロール mg/g	0.93
シクロアルテノール mg/g	0.71
24-メチレンシクロアルタノール mg/g	0.3
シトロスタジエノール mg/g	0.31
Steryl ferulates, mg/g	3.42

Rao & Rao, 2007)。フィトステロールは、血中コレステロールを低下させ、胃腸管からのコレステロールの再吸収をブロックする能力があり、機能性食品の貴重な成分となっている (Gylling & Miettinen, 2005)。フェルリル酸ステロールは、フィトステロールのコレステロール低下特性を助ける (Rongら, 1997) だけでなく、また、抗酸化作用がある (Nyströmetら, 2005)。ごく最近、シムラ (パーソナルコミュニケーション) は、供給源が異なるDDGS 16 試料の抗酸化能力およびトコフェロール、トコトリエノール、アントフィ

表13. DDGS 16サンプルの抗酸化能力、トコフェロール、トコトリエノール、キサントフィルおよびフェルラ酸含有量のトウモロコシとの比較(乾物、Shurson, 2017年から抜粋)

	トウモロコシ	DDGS		
		平均	最小値	最大値
抗酸化能、mmolトコフェロール当量/kg	8.1	38.07 + 93.9	29.0	65.2
トコフェロールおよびトコトリエノール mg/kg				
α-トコフェロール	3.2	10.8 + 4.5	4.1	19.7
α-トコトリエノール	2.4	9.3 + 2.2	5.4	12.8
γ-トコフェロール	32.7	69.0 + 8.6	52.7	81.4
γ-トコトリエノール	8.6	14.0 + 2.9	7.6	17.5
δ-トコフェロール	10.1	18.2 + 3.6	10.0	24.3
総トコフェロール	57.0	121.3 + 16.9	90.8	141.2
キサントフィル μg/kg				
ルテイン	385	627 + 218	447	1,343
ゼアキサントチン	63	95 + 50	ND	243
総キサントフィル	448	697 + 257	447	1,586
フェルラ酸 mg/kg				
遊離フェルラ酸	0.01	0.042 + 0.016	0.018	0.087
総フェルラ酸	2.50	7.455 + 0.675	6.774	9.511

ル、フェルラ酸含量と変動を調査しており、これらの値をトウモロコシと比較している(表13)が、DDGS間で、これらの化合物の含量にはかなりのばらつきがあることを示しているが、いずれも、トウモロコシに比べて2~3倍多くなっている。

第6章の引用文献の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-6.pdf>

## 第7章

### DDGSのための推奨される分析手順

#### はじめに

飼料成分の分析は、成分含量が保証値を満たしていることを確認し、飼料の配合に用いるための栄養成分組成と、潜在的な汚染物質の存在とその含量を知るために、飼料業界では一般的な手法となっている。したがって、DDGSを含む飼料原料中のさまざまな化学物質の測定の高確性は不可欠となる。分析手順は、特定の実験室のバリデーション・レベルに基づいて分類できる (Thiex, 2012)。単一の実験室内でのバリデーションは、特定の実験室、技術者および機器に適用されるが、複数の実験室間におけるバリデーションでは、分析結果が当該実験室と、他の実験室との間でどの程度再現性があるかの情報を得るために、2~7か所の実験室でのバリデーションが行われる。完全に調和したプロトコルを用いた共同研究のバリデーションは、少なくとも8か所の実験室において、同一の手順を使用して許容できるデータが提供されることで得られる。DDGSに関する推奨分析手順についての優れた総説が Thiex (2012) によって公表されて

おり、本章ではその重要点を紹介する。

#### DDGSで考えられる汚染物質を測定するための推奨手順 (Caupertら, 2012)

##### マイコトキシン(カビ毒)

1960年代以降、ヒトの健康に対する毒性の懸念から、食品や飼料中のマイコトキシン含量を分析するための多くの分析

#### DDGSの取引基準を満たすための推奨分析方法 (AFIA, 2007年)

分析項目	方法	備考
水分	NFTA 2.2.2.5	Lab Dry Matter (105°C/3hr)
CP	AOAC 990.03	Protein (Crude) in Animal Feed
CP	AOAC 2001.11	Protein (Crude) in Animal Feed and Pet Food Copper Catalyst
粗脂肪	AOAC 945.16	Oil in Cereal Adjuncts (Petroleum Ether)
粗繊維	AOAC 978.10	Fiber (Crude) in Animal Feed and Pet Food (F.G. Crucible)

#### 配合設計のためのDDGSの栄養成分分析の推奨方法

分析項目	方法	備考
酸性デタージェント繊維 (ADF)	AOAC 973.18	Fiber, Acid Detergent and Lignin, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> in Animal Feed and ISO, 2008 are equivalent
酸性デタージェントリグニン (ADL)	AOAC 973.18	Fiber, Acid Detergent and Lignin, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> in Animal Feed and ISO 13906:2008 are equivalent
中性デタージェント繊維 (NDF)	AOAC 2002.04	AOAC 2002.04 Amylase Treated Neutral Detergent Fiber in Feeds and ISO 16472:2006 are equivalent
でん粉	No official method	AOAC 920.40 is no longer valid because of discontinued production of the enzyme needed for the assay, <b>AOAC 996.11</b> is most commonly used but has deficiencies.
アミノ酸	AOAC 995.12 ISO 13903:2005	AOAC 994.12 for all amino acids except tyrosine and tryptophan
トリプトファン	AOAC 988.15	
灰分	AOAC 942.05 ISO 5984:2002	AOAC 942.05 and ISO 5984:2002 are equivalent. Note: If the ash contains unoxidized carbon, the sample should be re-ashed

方法が開発されてきた (Trucksess、2000)。その中でも、TLC (薄層クロマトグラフィー) 法、エライザ法および免疫センサーに基づく方法は、迅速なスクリーニングに広く使用されているが、FD (蛍光検出) を備えた HPLC (高速液体クロマトグラフィー) および MS (質量分析検出) は、確認および参照方法として使用されている (Krskaら、2008)。

ただし、マイコトキシンの分析には、迅速、正確、低コストが求められるため、オンサイトメソッド・テストキットが、USDA (米国農業省) の GIPSA (穀物及び包装業者・飼育場検査管理部) によって開発および承認されて、DDGS に関するマイコトキシン分析に用いられている (表1: <http://www.gipsa.usda.gov/GIPSA/webapp?area=home&subject=lr&topic=hb>)。

これらの方法は、単一のマイコトキシンを検出するためのものであり、使用が比較的簡単で、定量感度が高く、高い試料処理能力 (サンプルスループット) を可能にしている。DDGS 中のマイコトキシンを分析するために6種類の製品が GIPSA により承認されている (アフラトキシン: 4種、フモニシン: 1種、ゼアラレノン: 1種)。DDGS に関して、マイコトキシン汚染の可能性を検討する場合、承認された分析手順を用いて正確な結果を得ることが不可欠となる。飼料中のマイコトキシンの存在と含量を測定するには HPLC が推奨されている。HPLC と様々な検出器を使用することで、飼料中のほとんどのマイコトキシンを分離して検出することが出来る (Krskaら、2008)。米国の主要な研究所で使用されている方法は表2に示したとおりであり、これらの方法は、個々の実験室で検証されており、最近、査読済みの科学誌で公表されている。

### 抗生物質の残留

米国食品医薬品庁 (FDA) の動物用医薬品センター (CVM) では、HPLC とイオントラップタンデム質量分析計を使用して、以下に示す13種類の抗生

分析項目	方法	備考
塩素	AOAC 969.10	AOAC 969.10 is the Potentiometric Method and AOAC 943.01 is the Volhard Method
	AOAC 943.01	
	ISO 6495:1999	
クロム	No official method	No methods have been validated
フッ素	Microdiffusion technique (Mineral Tolerances of Animals, 2005)	No methods have been validated
ヨウ素	ICP-MS technique (Mineral Tolerances of Animals, 2005)	No methods have been validated
リン	AOAC 965.17	AOAC 965.17 Phosphorus in Animal Feed, Photometric Method, ISO 6491:1998 Determination of Total Phosphorus Content – Spectrophotometric Method, and ISO 27085:2009 can be used
	ISO 6491:1998	
	ISO 27085:2009	
セレン	AOAC 996.16	AOAC 996.16 Selenium in Feeds and Premixes, Fluorometric Method and AOAC 996.17 Selenium in Feeds and Premixes, Continuous Hydride Generation Atomic Absorption Method are acceptable
	AOAC 996.17	
イオウ	AOAC 923.01	AOAC 923.01 Sulfur in Plants and ISO 27085:2009 are comparable
	ISO 27085:2009	
微量ミネラル	AOAC 968.08	Solubilization involves either dry ash followed by dissolving in acid, or wet ash using various acids depending on the elements being measured. Detection includes gravimetric techniques, visible spectrophotometry, flame and graphite furnace atomic absorption spectrophotometry (AOAC 968.08; ISO 6869:2000), or atomic mass spectroscopic detection (ICP-MS; ISO 27085:2009)
	ISO 6869:2000	
	ISO 27085:2009	

表1. GIPSAが承認しているDDGS用マイコトキシン・テストキット (Zhangら、2009から改編)

商品名	製造者	分析範囲	分析方法	抽出方法	クリーンアップ法
<b>アフラトキシン</b>					
Veratox Aflatoxin	Neogen Corporation	5–50 ppb	Microtiter Well Plate Assay	Methanol/water (70 + 30)	ELISA
Ridascreen FAST SC	R-Biopharm	5–100 ppb	Microtiter Well Plate Assay	Methanol/water (70 + 30)	ELISA
Aflatest	Vicam	5–100 ppb	Immunoaffinity Column	Methanol/water (80 + 20)	Affinity column
FluroQuant®	Romer	5–100 ppb	Fluorometry	Methanol/water (80 + 20)	Affinity column
<b>フモニシン</b>					
AgraQuant Total Fumonisin 0.25/5.0	Romer	0.5–5 ppm	Direct Competitive ELISA	Methanol/water (70 + 30)	ELISA
<b>ゼアラレノン</b>					
ROSA® Zearalenone	Charm Sciences, Inc.	50–1000 ppb	Lateral Flow Strip	Methanol/water (70 + 30)	

表2. 飼料中のマイコトキシン分析の推奨方法 (Zhangら、2009から改編)

項目	分析方法	検出範囲	引用文献
<b>アフラトキシン</b>			
トウモロコシ、アーモンド、ブラジルナッツ、ピーナッツ、ピスタチオナッツ	HPLC – FD	5 – 30 ppb	AOAC 994.08
<b>デオキシニバレノール</b>			
穀類、穀類副産物	HPLC – UV	ppm (detection limit)	MacDonald et al., 2005a
<b>フモニシン</b>			
トウモロコシ、圧ペントウモロコシ	HPLC – FD	0.5 – 2 ppm	AOAC 2001.04
トウモロコシ、トウモロコシ主体飼料	Thin layer chromatography (TLC)	ppm (detection limit)	Rottinghaus et al., 1992
<b>T2トキシン</b>			
食品、飼料	Thin layer chromatography (TLC)	ppm (detection limit)	Romer Labs, 1986
<b>ゼアラレノン</b>			
トウモロコシ、小麦、飼料	Microtiter Well Plate Assay	0.8 ppm (detection limit)	AOAC 994.01
大麦、トウモロコシ、小麦粉、オレシタ、トウモロコシ主体のベビーフード	HPLC – FD	0.05 ppm (detection limit)	MacDonald et al., 2005b
<b>アフラトキシン、デオキシニバレノール、フモニシン、T2トキシン、ゼアラレノン</b>			
食品、飼料	LC/MS/MS	Aflatoxins (1 – 100 ppb); Deoxynivalenol, (1, 1000 ppb) Fumonisin (16 – 3,200 ppb) T-2, (2 – 1,000 ppb) Zearalenone (20 – 1,000 ppb)	Sulyok et al., 2007

物質残留物についてDDGSでの検出を行っている (Heller, 2009)。

- アンピシリン
- バシトラシンA
- クロラムフェニコール
- クロルテトラサイクリン
- クラリスロマイシン
- エリスロマイシン
- モネンシン
- オキシテトラサイクリン
- ペニシリンG
- ストレプトマイシン
- タイロシン
- バージニアマイシンM<sub>1</sub>

この手順の抽出効率の範囲は65～97%であり、定量限

界は0.1～1.0 $\mu$ g/gであった。精度の範囲は88～111%で、CV (変動係数)は4～30%である。バージニアマイシン残基を検出するためにFDAが承認した唯一の方法は、バイオアッセイ (QA@Phibro.com)であり、バージニアマイシン残基の存在を正確に測定するために推奨されている。このバイオアッセイは、バージニアマイシン分子の両方のサブユニットが存在する場合にのみ発生する可能性がある生物活性を検出する。Heller (2009)のLC-MS法は、1つのサブユニットのみを検出し、高い割合で偽陽性を引き起こす可能性がある。

第7章の引用文献の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-7.pdf>

## 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

2021年4月9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、飼料そのほかへの利用の引き上げ、エタノール生産への利用の増大、輸出の増大と期末在庫の減少となっています。飼料そのほかへの利用は、3月1日の在庫報告で12月/2月四半期の消費が前年比6%増えたと報じられたため、5,000万ブッシェル増の57億ブッシェルとなっています。エタノール生産への利用は、穀物クラッシング・併産物生産報告の最新データとエネルギー情報機構データでの3月中の週間エタノール生産量に基づいて、2,500万ブッシェル引き上げられています。輸出は、3月の輸出検査量が、これまで月間最大であった1989年11月を越えたため7,500万ブッシェル増となっています。農家の年間平均トウモロコシ出荷価格の予想は、2月までの報告された価格から多くの穀物がより低い価格で販売されたことから、1ブッシェルあたり\$4.30で変更ありません。

2020/21年度の世界の粗粒穀物の生産量予測は、120万トン増の14億4,600万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拡大、貿易量の減少と在庫の増大となっています。パキスタン、EUとイギリ

ス、エクアドルでの増大と一部それを補うアルゼンチンとインドネシアでの減少となっています。大麦生産量はアルゼンチンとEUとイギリスで増大し、メキシコでは減少しています。

世界の貿易については、ウクライナのトウモロコシ輸出の現時点までの出荷データに基づいた下方修正が、主要な変更点となっています。バングラデシュのトウモロコシ輸入量が引き上げられています。大麦の輸出量はカナダ、アルゼンチン、EU27と英国で引き上げられ、イラクとカザフスタンでの減少がその一部がカバーしています。大麦の輸入量は、中国で急激に上昇し、モロッコでの減少が一部補っています。米国外のトウモロコシ期末在庫は、韓国とパキスタンでの増大がサウジアラビアでの減少によって補われていることから、先月から目立った変更はありません。

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](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/>