

## 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けてご紹介いたします。

(No.214からの続き)

## 第14章

## DDGSを配合した水産養殖動物用飼料のエクストルード加工

## はじめに

エクストルード加工は、水産養殖動物用飼料製造時に最も一般的に使用されている加工工程であり、飼料の効率とペレット密度を改善し、水中での安定性を高め、生産性と汎用性を向上させる(Khaterら、2014)。エクストルード加工は、でん粉の糊化、たん白変性、水和性、物性改善、部分的な脱水、微生物や有毒化合物の破壊も引き起こす(Khaterら、2014)。残念ながら、DDGSを配合した飼料は、でん粉含量が低く、纖維含量が高いため、エクストルード加工時の問題となる(Chinら、1989)。飼料中のでん粉含量が減少すると、加工中に膨化しにくくなり、纖維含量を高めると、エクストルーダーの強度と耐久性が低下する(Chevananら、2007a)。

## エクストルード加工

エクストルード加工は、ピストンまたはスクリューを使用して、所定の形状のオリフィスまたはダイを通して、飼料または食品材料を押し出す一連の工程である。エクストルード加工は水産養殖動物用飼料製造時に使用される最も一般的な加工工程であり(Khaterら、2014)、豚(Rojasら、2016)や家禽(Lundbladら、2011)用飼料では、エネルギーおよび栄養成分の消化率が改善されるという利点もある。工程中では、液体の移動、熱と物質の移動、混合、剪断、粒子サイズの縮小、溶融、圧縮、カラメル化、可塑化、成形等が起こる(Camire、1998)。エクストルード加工には、従来のスチーム・ペレット加工と比べて、オンライン調整が可能で希望する物理的特性が得やすい、多くの種類の飼料製品に対応できる、排水がない、エネルギー効率が高い、乾燥あるいは粘性が高い原料から湿潤した原料まで、幅広い原料に対応できる等の利点がある(Maskan and Altan、2011)。エクストルーダーにはいくつかのタイプがあるが、一般的にはスクリューの数に基づいて一軸エクストルーダーと二軸エクストルーダーに分類される。一軸エクストルーダーは、二軸エクストルーダーに比べて、初期投資と運用コストが低いため、飼料業界で広く使用されている。一軸エクストルーダーは、ダイの圧力、バレル壁でのスリップおよびスクリューが充填される範囲により作動する。一方、二軸エクストルーダーは、2つのスクリューが回転する方向と2つ

のスクリュー間の噛み合いの範囲により作動する(Chevananら、2005)。一軸エクストルーダーは、金属バレル内に1本のスクリューが設置されており多くのパターンの構成がある。一軸エクストルーダーの主要な構成要素は、フィーダー、移動、圧縮、計量工程であり、飼料または原料がホッパーに入り、スクリューの回転によって移動部分に運ばれ、以後、スクリューの幅が徐々に狭くなることで材料が圧縮され、その物理的エネルギーにより材料温度が上昇して、でん粉の糊化と凝集が起こる。材料は計量部分から供給され続けるため、圧縮・加熱された材料はダイの開口部から押し出されて射出す。二軸エクストルーダーは、一軸エクストルーダーに比べて、前処理の必要がない、セルフクリーニングを必要としない、長さ対直径比の範囲が広い、材料を混合しやすい、滞留時間が短く熱伝達が良い、幅広い水分含量の材料に対応できる等の利点がある(Harper、1989)。

## 水産養殖動物用飼料のエクストルード加工に影響する要因

エクストルード加工された沈降性および非沈降性飼料、スチーム・ペレット加工飼料、様々なサイズのクランブル等、様々な形態の養殖水産動物用飼料が生産されているが、スチーム・ペレット加工とエクストルード加工は養殖水産動物用飼料製造の際の主要な方法となっている。

多くの魚種ではペレット状の非沈降性の浮き餌を必要とするか、少なくとも浮き餌を摂取できるように訓練することができるが、エビには沈降性のペレットが必須である(Craig、2009)。スチーム・ペレット加工は、水中で急速に沈む高密度のペレットを製造するために一般的に使用される。エクストルード加工は一般に浮き餌の製造に使用されており、スチーム・ペレットと比べて、幅広い水分含量の飼料を処理できる、エネルギー効率が良い、乾燥したあるいは粘性のある原料を処理できる、テクスチャーおよび味覚特性を改善できる、処理中の熱変性を最小限に抑えることが出来る、製造した飼料の水中での安定が良く水面に浮く、様々な飼料原料に対応できる等の利点がある(Chevananら、2005; Brownら、2012)。

エクストルード加工した水産養殖動物用飼料の生産効率と品質特性に影響を与える要因には、栄養成分(CP(粗たん白質)、粗脂肪、粗纖維、粗灰分)含量と水分含量、粒度分布、使用機器の処理能力、スクリューの構成と回転速度、温度などがある(Chevananら、2005)。エクストルード加工水産養殖動物用飼料の品質を測る重要な測定値は、見かけと真のかさ密度、多孔度、水分含量、PDI(ペレット耐久性指数)、壊れ

にくさ、水中での安定性指数、吸水指数、浮力等であるが、これらを評価する標準的方法はない(Chevananら、2005)。高品質のエクストルード加工水産養殖動物用飼料の製造には、栄養成分組成が重要だが、Kannadhasanら(2011)は、CP含量がエクストルード加工時の飼料の品質を左右する重要な要件であることを示している。エクストルード加工に大きく影響する飼料原料特性は、水分含量、粒子サイズおよび化学組成である。でん粉は膨化と糊化に必要で、纖維は膨化、糊化、耐久性および水中安定性を低下させる(Brownら、2012)。高CP原料や飼料をエクストルード加工すると、膨化が制限され、より多孔性でテクスチャーが高い製品が得られる。脂質含量が高い飼料は、潤滑剤として機能するため、でん粉の糊化と膨化が低下する(Brownら、2012)。

#### DDGSを含むエクストルード加工水産養殖動物用飼料

エクストルード加工に最大の影響を与える飼料原料特性は、水分含量、粒子サイズおよび成分組成である。DDGSの成分組成は、米国のエタノール産業が生産性と収益性を高めるための技術革新を進めているために進化し続けている。DDGSの成分組成はペレットとエクストルーダー加工製品の品質に影響を与える重要な要素であるため、それらの供給源間におけるバラツキと部分的な油抽出の影響を理解しておく必要がある。伝統的なDDGS(Spiehsら、2002; Belyeaら、2004)は、現在生産されているトウモロコシ油の一部を抽出した低脂肪DDGS(Kerrら、2013)に比べて、粗脂肪含量、NDF(中性デタージェント纖維)およびでん粉含量が高く、CP含量が低い(表1)。ただし、これらの成分組成の変化に関わらず、他の一

般的な飼料原料と比べて、DDGSはでん粉含量が非常に低く、粗脂肪およびNDF含量が比較的高いことから、DDGSの配合割合が高い飼料では、これらの成分変化がPDIに悪影響を与えるため、エクストルード加工が難しくなる。したがって、DDGSを配合したエクストルード加工飼料で高いPDIを得るために、粘結剤を添加する必要がある。表2には、様々な粘結剤と一般的な添加量および水産養殖動物用飼料で使用するための特性の概要を示している。

DDGSを様々な割合で配合した水産養殖動物用飼料の品質特性を評価した研究成果を表3に取りまとめた。このうち、9報では一軸エクストルーダーを使用し、5報では二軸エクストルーダーを使用している。これらの報告では、成分組成、使用した粘結剤、DDGSの配合割合、単位密度およびPDIとともに、飼料の多くの物理的および化学的特性が記されている。DDGSの配合割合が高い場合に様々な影響があるが、種々の粘結剤を添加すると単位密度とPDIが向上した。Chevananら(2009)およびRosentraterら(2009b)による報告を除き、エクストルード加工されたDDGS配合飼料の単位密度は1.0g/cm<sup>3</sup>未満で、浮遊性を示した。さらに、DDGSを最大60%配合した飼料でPDIは85%を超えており、DDGSの配合量の増加に伴うPDIの減少を報告しているのはわずかに2報(Chevannanら、2008およびKannadhasanら、2011)のみであった。具体的には、Chevananら(2007b)は、ホエーを粘結剤として使用したトウモロコシ、きな粉、魚粉を含む飼料にDDGSを60%まで配合しても高品質(高PDIおよび低単位密度)のペレットを製造が可能であることを示している。Kannadhasanら(2011)は、一軸エクストルーダーの様々な物理的特性に対するDDGSの配合量とCP含量、でん粉源の影響を評価し、DDGS配合量とCPを高めると、単位密度とペレットの耐久性が向上することを明らかにしている。

一般的に、水分含量を高めるとPDIが高まるが、単位密度は減少する。ダイの温度が上昇するとPDIと単位密度が低下するが、ペレットのL:Dを高めると、ペレット品質評価値がわずかに向上する。したがって、DDGSの配合量が比較的高く、粘結剤(ホエーまたはでん粉)を配合

表1. 部分的な油抽出によるDDGSの栄養成分の平均と範囲(乾物)

栄養成分 %	トウモロコシDDGS(粗脂肪 > 10%)	トウモロコシDDGS(粗脂肪 < 10%)
水分	11.1 (9.8-12.8) <sup>1</sup>	12.5 (10.0-14.5)
粗たん白質 (CP)	30.8 (28.7-33.3) <sup>1,2</sup>	31.2 (29.8-32.9)
粗脂肪	11.5 (10.2-12.6) <sup>1,2</sup>	8.0 (4.9-9.9)
NDF	41.2 (36.7-49.1) <sup>1</sup>	32.8 (30.5-33.9)
でん粉	5.3 (4.7-5.9) <sup>2</sup>	2.4 (0.8-3.4)
粗灰分	5.2 (4.3-6.7) <sup>1,2</sup>	5.4 (4.9-6.1)

1 Spiehsら(2002); 2 Belyeaら(2004); 3 Kerrら(2013)

表2. 水産養殖飼料のスチーム・ペレット加工時に一般的に使用されている粘結剤(Lovell、1989から改編)

粘結剤	添加量 %	備考
カルボキシメチルセルロース	0.5 to 2.0	粘結剤として優れているが、高価格
アルギン酸類	0.8 to 3.0	湿飼料に適しているが、効果を得るには2価または多価イオンと組合わせる必要あり
Polymethylocarbamide	0.5 to 0.8	粘結剤として非常に優れているが、FDA未承認で、一部の魚種では嗜好性が悪い
グアガム	1.0 to 2.0	粘結剤として優れているが、高価格
ヘミセルロース	2.0 to 3.0	粘結剤としての効果は中程度だが、コストは中程度
リグニンスルホン酸	2.0 to 4.0	粘結剤として優れており、価格も中程度
ナトリウムおよびカルシウム・ベントナイト	2.0 to 3.0	有機質の粘結剤より効果が低い
糖蜜	2.0 to 3.0	粘結剤としての効果は中程度だが、栄養価がある
ホエイ	1.0 to 3.0	粘結剤としての効果は中程度だが、栄養価がある
トウモロコシ、ジャガイモ、モロコシ、米、キャッサバの糊化澱粉	10 to 20	栄養価を持つ優れたバインダーだが、多量に添加する必要がある
小麦グルテン	2.0 to 4.0	粘結剤として優れているが、高価格

した水産養殖動物用飼料では、工程中の水分含量、ダイの温度およびL:Dを適切に管理することで許容できる品質の製品を製造することが出来る。Hiltonetら(1981)は、エクストルード加工とスチーム・ペレット加工が、飼料の耐久性、吸水率マスの生理学的反応に及ぼす影響を評価しているが、エクストルード加工飼料は、スチーム・ペレット加工飼料に比べて吸水性が高く、水安定性も優れていたと報告している。

要約すると、水産養殖動物用飼料にDDGSを多く配合することに、より大きな経済的利点があるが、PDIの低下により飼料工場でのDDGSの使用が制限されることがよくある。いくつかの報告では、DDGSの配合割合と、様々な粘結剤の利用、エクストルーダーのタイプが加工製品の単位密度とPDIに及ぼす影響が評価されている。PDI低下の原因となるエクストルード加工変数間の相互作用には一貫性が見られない点も数多くあるが、DDGSを配合した飼料をエクストルード加工すると、適切な単位密度とPDIを達成できることがいくつかの研究で示されている。様々な水産養殖動物種に対してDDGSを含

表3.エクストルーダーのタイプ、飼料組成、バインダー、押出養殖飼料のDDGS濃度の要約

エクストルードのタイプ別の引用文献、魚種	飼料の組成	粘結剤	DDGS %	単位密度 g/cm <sup>3</sup>	PDI %
<b>一軸エクストルーダー</b>					
Chevannan et al. (2008)	きな粉、トウモロコシ、魚粉、ビタミンミネラル(VM)プレミックス	なし	20	0.96	89
			30	0.93	65
			40	0.93	56
Chevanan et al. (2009)	きな粉、トウモロコシ、魚粉、VMプレミックス	ホエー	20	1.05	94
			30	1.07	94
			40	1.06	94
Chevanan et al. (2007a)	きな粉、トウモロコシ、魚粉、VMプレミックス	ホエー	40	0.88-1.03	85-98
Kannadhason et al. (2011) ティラピア アメリカナマズ	きな粉、魚粉、ホエー、VMプレミックス	コーンスターーチ	20	0.78	82
			30	0.88	84
			40	0.86	86
Rosentrater et al. (2009a) ティラピア	コーンスターーチ、大豆粕、魚粉、ホエー、VMプレミックス	コーンスターーチ	20	0.90	85
			30	0.94	76
			40	0.91	63
Kannadhason et al. (2009) ティラピア	大豆粕、魚粉、ホエー、VMプレミックス	タビオカでん粉	20	0.79	82
			30	0.88	85
			40	0.90	87
Rosentrater et al. (2009b) ティラピア	大豆粕、魚粉、ホエー、VMプレミックス	ジャガイモでん粉	20	1.03	71
			25	1.01	91
			30	1.02	70
Ayadi et al. (2013) ナイルティラピア	トウモロコシ、魚粉、大豆粕(30,40,50%)、VMプレミックス	ホエー	20	0.94	90
			25	0.93	96
			30	0.99	84
Ayadi et al. (2016) ナイルティラピア幼魚	大豆粕、トウモロコシ、魚粉、ホエー、VMプレミックス	アミロース70: アミロペクチン30 100%アミロペクチン	20	0.85	89
			25	0.97	96
			30	0.93	82
<b>二軸エクストルーダー</b>					
Chevanan et al. (2007b)	きな粉、トウモロコシ、魚粉、VMプレミックス	ホエー	20	0.24	98
			40	0.34	98
			60	0.61	97
Kannadhason et al. (2010) ティラピア	大豆粕、トウモロコシ、魚粉、大豆油、VMプレミックス	ホエー	0	0.73	93
			17.5	0.90	97
			20	1.00	97
			22.5	0.88	95
			25	0.87	97
			27.5	0.92	93
Ayadi et al. (2011) ニジマス	魚粉、コーングルテンミール、小麦粉、イワシ油、セルロース、VMプレミックス	なし	0	0.93	83
			10	0.89	91
			20	0.89	89
			30	0.94	88
			40	0.97	92
			50	0.99	95
Fallahi et al. (2011) ナイルティラピア	大豆粕、トウモロコシ、魚粉、大豆油、VMプレミックス	ホエー	20	0.92-1.02	94-99
Fallahi et al. (2012) イエローパーチ	高たん白DDG、魚粉、コーングルテンミール、小麦粉、油脂、結晶アミノ酸、VMプレミックス 上記+高たん白発酵大豆粕 上記+大豆たん白	CMC	31	0.66	99
			31	0.60	99
			31	0.50	99

む水産養殖動物用飼料の化学組成を最適化するにはさらなる研究が必要である。

## 第15章

## 肉用牛における低脂肪DDGS

## はじめに

米国の肉用牛飼育農家にとっては、湿式および乾式粉碎トウモロコシからの併産物は、過去何十年もの間、主要な飼料原料となっている。2017年における肉用牛飼育農家のエタノール発酵併産物消費量は、米国国内での総使用量の44%を占めている。その結果、エタノール発酵併産物の肉用牛への給与試験データは非常に多く、その多くは、最も多く使用されている仕上げ期のフィードロット牛における使用に焦点が当てられている。10年以上前にいくつかの優れた総説が発表されている(Ericksonら、2005; Tjardes and Wright、2002; Loyら、2005a; Loyら、2005b; Klopfensteinら、2008)が、2010年以降にも140を超える論文が公表されていることから、本章ではこれらの研究結果を要約する。

## トウモロコシからのエタノール発酵併産物のエネルギー、栄養成分組成と消化率

トウモロコシDDGSは、肉用牛の飼料に高いエネルギーと中程度のたん白質をもたらす飼料原料として使用されている。DDGSの栄養成分組成とバラツキに関しては4章で詳述している。米国では、トウモロコシの代替えとして、仕上げ期の肉用牛にDDGSを40%(乾物)程度給与しているが、主にエネルギー源として30%以上給与すると、フィードロット牛の要求量を超えるCP(粗たん白質)とリンが給与されることになる。

## エネルギー

DDGSの主要な炭水化物画分はNDF(中性デタージェント繊維)である。NDFの大部分は、NDFを約69%含むトウモロコシ粉由来で、そのほとんど(87%)が、急速に(6.2%/時間)消化される(DeHaanら、1983)。DDGS中の繊維は、消化性と発酵性が高いため、仕上げ期のフィードロット牛用飼料のエネルギーおよびたん白質源として使用される。DDGSに含まれているトウモロコシ油も、エネルギー含量に大きく影響する。Vander Polら(2007)は、トウモロコシ油の消化率が70%であることを示しているが、脂肪酸摂取量が増加すると、脂肪酸の消化率が低下し(Plascenciaら、2003)、DDGSを30%以上含む飼料を摂取した場合に摂取量の低下をもたらす可能性がある。Hamら(1994)による初期の研究では、トウモロコシDDGSの肉用牛におけるNEg(発育に要する正味エネルギー)は、トウモロコシのNEgより21%高いことが報告されており、Tjardes and Wright(2002)によるその後の総説では、トウモロコシDDGSのNEm(維持に要する正味エネルギー)は2.16~2.21Mcal/kg、MEgは1.50~1.54Mcal/kgであるとしている。実際、多くの反対する家畜関係の栄養士は、トウモロコ

シDDGSは、圧ペントウモロコシと比較してフィードロット牛におけるルーメンアシドーシスのリスクが低いことから、トウモロコシDDGSを好む傾向にある(Ahernら、2011)。

残念ながら、肉用牛における低脂肪DDGSのエネルギー価に関するデータは少ない。Bremer(2014)は、成長期の子牛にDMI(乾物摂取量)の低脂肪(粗脂肪7.2%)および高脂肪(粗脂肪12.0%)DDGSを20または40%給与してエネルギー価を測定し、低脂肪DDGSと高脂肪DDGSのエネルギー価には差がなく、これらの2種類のDDGSのエネルギー価はトウモロコシの約124%であると推定している。ただし、低脂肪DDGSを仕上げ期の肉用牛に給与した場合の価値は、高脂肪DDGSの約89%であったが、低脂肪DDGSの給与量の増加に伴い飼料効率が改善された。

## DDGSはアシドーシスを減らす

DDGSを含む飼料を給与すると、高穀物飼料を給与しているフィードロット牛のアシドーシスが減少する。トウモロコシ穀粒には急速に発酵するデン粉が大量に含まれているため、仕上げ期の牛に多給した場合、亜急性アシドーシスが問題になることがある。これに対して、DDGSのデン粉含量は2~5%と低く、粗繊維、CP、粗脂肪含量が比較的多いため、DDGSが乾物で20%以上の粗飼料を給与すると、DMIを減少させることができる。さらに、低品質の粗飼料では、DDGSを20%以上用いるとCPが高まる(Klopfensteinら、2008)。

(次号に続く)

第14章、第15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/buying-selling/ddgs/user-handbook/>

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 &  
BIOPRODUCTS  
COUNCIL

アメリカ穀物バイオプロダクト協会

〒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/>