

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。

(No.202からの続き)

第13章

水産養殖動物における低脂肪DDGSの利用

はじめに

水産養殖業は、世界で最も急速に成長している食用動物産業の1つである。2014年の世界の魚摂取量は過去最高の20kg/人だったが、これは主に水産養殖の急速な成長によるものがある(FAO、2016)。実際、世界の水産養殖は、ヒトが消費する魚全体の約50%を賄っており、2014年の内陸水産養殖における総生産量は7,380万トン、ファースト・セール価格では1,600億ドル以上である(FAO、2016)。水産養殖の内訳は、魚類4,980万トン、軟体動物1,610万トン、甲殻類690万トン、両生類730万トンであり、主な生産国は中国(4,550万トン)で、次いで、インド、ベトナム、バングラデシュ、エジプトとなっている(FAO、2016)。

魚粉は、たん白質を多く含み、その消化率も高く、アミノ酸バランスが優れ、必須脂肪酸含量、可消化エネルギー価が高く、ビタミンとミネラルの含量も多いことから、これまで、ほとんどの水産養殖動物用飼料の主原料として使用されてきた(Abdelghany、2003)。しかし、魚粉の供給量の減少に伴い価格が高騰していることから、水産養殖の持続可能性を確保するために、魚粉の一部あるいはすべてを、より安価で高品質の植物主体原料と置換することが模索されている。残念ながら、植物性原料で魚粉を置換すると、その他の栄養素、特にアミノ酸の要求量を満たさない限り、発育成績が低下する可能性がある(Mbahinzirekra、2001; Sklanら、2004; Gatlinら、2007)。

ただし、2種類以上の植物性たん白質源(例えば、DDGSと大豆粕)を組み合わせることにより、飼料中の魚粉をすべて置換することが可能である。さらに、他の陸上畜種とは異なり、多くの水産養殖動物のエネルギーおよび可消化栄養成分の要求量は十分に解明されてはおらず、水産養殖動物用飼料で使用しているほとんどの飼料原料のエネルギーおよび栄養成分の消化率は分かっていないことが、現在、他の陸上食用動物で使用されているような正確な給与プログラムの開発を難しくしている。水産養殖動物用飼料におけるトウモロコシDDGSを含む植物たん白質源の使用を制限している最大の要因の1つは、エネルギーとアミノ酸の組成および消化率が明確ではないことである。乳牛、肉牛、豚、家禽と比較して、水産養殖動物へのトウモロコシDDGSの給与試験の実施例ははるかに少ないが、本章では、水産養殖動物用飼料におけるDDGSの使用に関して現在公表されているすべての情報を取りまとめた。

水産養殖動物におけるDDGSの栄養価

トウモロコシDDGSは、高濃度のエネルギー、中程度のたん白質、高濃度の可消化リンを含んでいる。ただし、栄養成分含量とその消化率は供給源によって大きく異なっている可能性がある(栄養成分含量とパラッキの詳細については4章を参照のこと)。トウモロコシDDGSのエネルギー含量は、比較的高い脂質含量(粗脂肪:5~12%)に由来し、残りのでん粉、繊維、たん白質からの寄与は少ない。水産養殖動物における脂肪含量が高い伝統的なDDGSと低脂肪DDGSのエネルギー消化率に関する研究は行われていないが、豚と家禽を用いたいくつかの報告では、粗脂肪含量はDDGSの可消化エネルギー価の予測因子としては不十分であるとされている。DDGSの粗脂肪含量は様々だが、DDGS中のトウモロコシ油には、リノール酸が約58%、リノレン酸が8%、DHAが0.14%含まれている。その結果、DDGSの ω (オメガ)6系脂肪酸と ω 3系脂肪酸の比率は高い。DDGSのでん粉含量はDDGS製造プロセス中に酵母によるエタノール発酵の程度に応じて1.1~7.9%(乾物)の範囲である(Andersonら、2012)。DDGS中のでん粉が消化可能であるか、または難消化性であるかは不明である。DDGSの平均粗繊維、ADF(酸性デタージェント繊維)、NDF(中性デタージェント繊維)、TDF(総食物繊維)含量は、それぞれ6.6、11.1、37.6および31.8%であり、TDFの大部分(96.5%)は不溶性繊維である(Urriolaら、2010)。NDF含量はDDGS中で最もパラッキが大きい成分の1つであり、これが実験室間誤差に由来するのか、供給源に由来しているのかは明確ではない。DDGSの粗繊維消化率は魚では明らかにされていないが、他の陸上単胃動物では繊維の一部が消化、発酵することにより下部消化管内で揮発性脂肪酸を産生できることが示されているが、その程度は畜種間で差がある。ティラピアやナマズなどの高繊維食を利用する魚種幼飼料では、腸内発酵がほとんどないサケやマス用飼料に比べてDDGSの配合割合が高い。

DDGSはCP(粗たん白質)含量が比較的高い(27%)にもかかわらず、リジン、メチオニン、スレオニンおよびトリプトファン含量は、魚のアミノ酸要求量に比べて比較的低い。さらに、リジン含量はすべてのアミノ酸の中でDDGSの供給源による変動が最も大きく、DDGS製造工程中における加熱の程度により、その消化率も変動する。その結果、DDGSを多量に配合する場合には、結晶アミノ酸の添加が必須となる。ニジマスにおけるDDGSの見かけのアミノ酸消化率は比較的高い(トレオニンを除くすべての必須アミノ酸で90%を超える、Cheng and Hardy、2004a)。Magalhãesら(2015)による最近の研究では、ヨーロッパスズキ(European Seabass)およびオオニベ(Meagre)におけるトウモロコシDDGSの見かけのアミノ酸消化率を報告しており、Lech and Reigh(2012)は、コバンアジ(Pompano)におけるトウモロコシDDGSの見かけのアミノ酸消化率を報告しているが、その他の魚種におけるアミノ酸消化率は明

らかになっていない。DDGSのリン含量(0.85%)は、他の植物主体原料よりも多く、フィチン態リンの多くはエタノール発酵中に分解されるため、単胃動物での利用性は高まる。ただし、魚におけるDDGSのリン消化率および有効率は明らかになっていない。DDGS中のカルシウム(Ca)、塩素(Cl)、カリウム(K)などの主要ミネラル含量は魚の要求量に比べて低いいため、飼料中に添加する必要がある(Hertrampf and Piedad-Pascual, 2000)。また、DDGS中の亜鉛(Zn)、鉄(Fe)、マンガン(Mn)、銅(Cu)などの微量ミネラル含量は、通常の魚粉より低いものの、これらの微量栄養素をプレミックスの形で添加することで要求量を満たすことが出来る。

リボフラビン、ナイアシン、パントテン酸、葉酸、コリンなどのビタミンは、トウモロコシに比べてDDGSでは約3倍多い(Hertrampf and Piedad-Pascual, 2000)。DDGSのキサントフィル含量とその生物学的利用率、魚肉の色調への影響に関するデータは数少ないが、それらのデータから、トウモロコシDDGSのキサントフィル含量のパラツキは大きい(20~50mg/kg)、ナマズなどの一部の魚種用飼料に配合するトウモロコシとトウモロコシ併産物の量によっては、フィレ肉への黄色の色素沈着を避けるために、キサントフィルの総含量の配合量が制限される。他の植物原料に対するDDGSの有意性の1つは、抗栄養因子(大豆粕におけるトリプシンインヒビター(Wilson and Poe, 1985; Shiauら, 1987)、ナタネ粕におけるグルコシノレートとエルカ酸、綿実粕におけるゴシポール(Jauncey and Ross, 1982; Robinson, 1991))が含まれていないことであり、また、他の植物性原料よりフィチン酸塩含量が低いことである。したがって、DDGSは、抗栄養因子が含まず、エネルギー含量が比較的高いこと、可消化リン含量が高いこと等により、様々な水産養殖動物用飼料で使用される際に栄養的および経済的に魅力的な原料であると言える。

アワビ (*Haliotis discus hannai*)

アワビは、東アジア、特に中国、韓国、日本で最も商業的に重要な貝類の1つであり、養殖生産量は急速に増加している(Cho, 2010)が、アワビ用飼料におけるトウモロコシDDGSの利用に関する報告はない。ただし、Choiら(2014)は、アワビ稚貝の成長率について、飼料中の小麦と大豆粕をコメDDGSで置換(0、15、30、45および60%)した場合の影響について、15および30%のコメDDGSを給与した場合の増体量は、対照飼料と差がなかったが、45または60%のコメDDGSを給与した場合には対照飼料に比べて増体量が低かった。育成率、殻の長さおよび体成分組成には、コメDDGS給与による影響はなかった。この結果は、アワビ稚貝用飼料に最大30%までのコメDDGSを配合しても許容可能な発育成績と体成分組成が得られることを示しているが、トウモロコシDDGSを用いた場合でも同様の結果が得られるか否かについては調査が必要である。

クロダイ (*Acanthopagrus schlegelii*)

クロダイは、発育速度が速いことが知られており、アジアにおいて商業的に重要な海洋魚種として種苗生産と養殖技術が確立されている。クロダイ用飼料へのトウモロコシDDGSの利用に関する情報はないが、Rahmanら(2013)の最近の報告では、クロダイ稚魚に対するコメDDGSの利用性について検討し、コメDDGSは、小麦粉とCGM(コーングルテンミール)の適切な代替原料であり、24%まで配合しても最適な発育成績が得られるとしているが、トウモロコシDDGSを用いた場合でも同様の結果が得られるか否かについては

調査が必要である。

アメリカナマズ (*Channel Catsh, Ictalurus punctatus*)

アメリカナマズ、アメリカナマズの雑種(アメリカナマズ×ブルーキャットフィッシュ(Blue catsh, *I. Furcatus*))およびナマズの1種のスワイ(Swai, *Pangasius hypophthalmus*.)に関する13の公表論文におけるDDGSの最適配合割合と実験条件の概要を表1に示した。

ナマズへのトウモロコシDDGS給与に関する最初の研究は、1990年代初頭にTidwellら(1990)により行われた。試験には、粗脂肪含量が10%以上の伝統的な高脂肪DDGSを用いており、DDGSをトウモロコシと大豆粕の一部と置換することで0(対照)、10、20および40%配合した飼料をアメリカナマズの稚魚に11週間給与した。その結果、魚体重、育成率、飼料要求率、PER(たん白効率)には飼料間で差がなかった。同様に、Websterら(1993)は、トウモロコシおよび大豆粕と部分的に置換することによりDDGSを0(対照)、10、20および30%配合した飼料をナマズ幼魚に給与して、魚体重、育成率、飼料要求率、体成分組成、頭、皮、内臓の割合、フィレ肉の官能特性を調査し、飼料間で差がなかったと報告している。これらの試験結果は、ナマズ用飼料に対してDDGSを最大30%まで配合することが可能であり、発育や魚体の成分組成、フィレ肉の風味などには悪影響を及ぼさないことを示している。したがって、DDGSは、ほぼ30年間にわたって、アメリカナマズ用飼料原料として受入れられてきた(Tidwellら, 1990; Websterら, 1991; Websterら, 1993)。

その後も、Robinson and Li(2008)、Limら(2009)およびZhouら(2010)が、ナマズ用飼料原料としての高脂肪DDGSの利用に関して評価している。Robinson and Li(2008)は、大豆粕の代替えとして、綿実粕あるいはDDGSに結晶リジンを添加した場合の影響に関する2試験を実施し、DDGSを配合した飼料の増体量は対照飼料より優れていた(試験1)あるいは同等(試験2)であって、体脂肪は増加する傾向を示した。この結果は、アメリカナマズ用飼料に最大30%のDDGSを配合しても、結晶リジンを添加することで、満足出来る発育成績を得ることが出来ることを示している。Limら(2009)は、大豆粕、トウモロコシ粉およびDDGSをたん白質等量で0(対照)、10、20、30および40%配合し、リジンを添加した飼料を体重13gのナマズ幼魚に12週間給与した。その結果、発育成績および飼料要求率は飼料間で類似していたが、DDGSの給与により魚体の脂肪含量の増加と水分含量の減少が見られた。同様に、Zhouら(2010)は、大豆粕およびトウモロコシと置換することによりDDGSを30%配合した飼料をアメリカナマズの雑種に給与しても、発育、飼料要求率およびPERは良好であったと報告している。これらの研究の結果は、ナマズにおいては、発育成績や飼料要求率に悪影響を及ぼさず、DDGSを比較的多量(30~40%)に配合できることを示している。なお、ほとんどの研究で、DDGSの配合量が多い場合に体脂肪含量の増加傾向が認められているが、フィレ肉の色調には影響がないようであった。

残念なことに、トウモロコシDDGSの水産養殖動物用飼料への利用性を評価した公表文献の大部分では、供試したDDGSの栄養成分組成に関する情報が不十分であるが、これらの研究の多くは、粗脂肪含量が10%以上の高脂肪DDGSを使用していたものと想定される。最近、Renukdasら(2014)は、低脂肪DDGSを20%配合した飼料を用いた試験を行っているが、アメリカナマズおよびアメリカナマズの雑種の発育成績や調理特性には影響を及ぼさないと報告している。

表1. アメリカナマズ (*Ictalurus punctatus*)、アメリカナマズの雑種 (*I. punctatus* × *I. furcatus*) およびスワイ (*Pangasius hypophthalmus*) にトウモロコシDDGSを給与した場合の発育成績と体組成に関する公表文献

魚体重 (開始-終了) g	DDGS %	置換 原料	試験期 間 (日)	魚粉の 配合割 合 %	リジン添 加量 %	DDGS推 奨配合 割合 %	体成分 組成	引用 文献
アメリカナマズ (<i>Ictalurus punctatus</i>)								
21 - 265	0 - 20	トウモロコシ、大豆粕	186	0	0.15 - 0.25	20	体幹の フィレ重 量が減少	Renukdas et al., 20141
Varied among experiments	0 - 40	大豆粕	330 (Exp. 1) 120 (Exp. 2) 165 (Exp. 3)	0 - 1	0 - 0.80	30 to 40	フィレの 脂肪含量 増加	Robinson and Li, 2012
9.1 - 80.4	0 - 30	トウモロコシ、大豆粕、ホイトミドリリングス	56	5	0.30	30	フィレの たん白質 含量減少	Li et al., 2011
12.6 - 156.7	0 - 30	トウモロコシ、大豆粕	63	0	0.30 - 0.39	30	フィレの 脂肪含量 増加、たん 白質含量 低下	Li et al., 2010
86 - 491	0 - 30	トウモロコシ、大豆粕、ホイトミドリリングス	150	0	0.10 - 0.20	Up to 30	効果なし	Zhou et al., 2010a
13.3 - 67.1	0 - 40	トウモロコシ、大豆粕	84	8	0.40	40	全魚体の 脂肪含量 増加	Lim et al., 2009
48 - 1,227	0 - 40	大豆粕、ホイトミドリリングス	330	1	0.80 - 0.28	30 to 40	フィレの 脂肪含量 増加	Robinson and Li, 2008
33 - 226	0 - 30	トウモロコシ、大豆粕	110	8	none	30	効果なし	Webster et al., 1993
12.4 - 54.5	0 - 35	トウモロコシ、魚粉	84	0	0 - 0.4	35	-	Webster et al., 1992
10 - 79.3	0 - 70	トウモロコシ、大豆粕	84	10	0 - 0.4	35/70	全魚体たん 白質含量 減少、脂肪 含量増加	Webster et al., 1991
1.5 - 17.3	0 - 40	トウモロコシ、大豆粕	77	8	none	40	-	Tidwell et al., 1990
アメリカナマズの雑種 (<i>I. punctatus</i> × <i>I. furcatus</i>)								
47 - 703	0 - 20	トウモロコシ、大豆粕	186	0	0.15 - 0.25	20	効果なし	Renukdas et al., 20141
1.2 - 8.7	0 - 30	トウモロコシ、大豆粕、ホイトミドリリングス	56	0	0.2	30	-	Zhou et al., 2010b
スワイ (<i>Pangasius hypophthalmus</i>)								
40 - 500	0 - 15	トウモロコシ、フスマ	118	4.5 - 5.8	0	15	効果なし	U.S. Grains Council, 2015

1 低脂肪DDGSを使用

コイ (*Cyprinus carpio*)

コイは、アジアとヨーロッパの一部の国で養殖が行われている淡水魚である (Rahman, 2015)。様々な飼料や環境に対する適応力が高いことから、養殖生産業にとって魅力的な魚種であるが (Rahman, 2015)、コイ用飼料におけるDDGSの至適配合量に関する情報は少ない。U.S. Grains Council (アメリカ穀物協会) の後

援によるコイ用飼料へのDDGSの至適配合量の検討が、ベトナム・ホアビン省で行われており (U.S. Grains Council, 2007a)、魚体重 26~51gのコイに対してDDGSを0 (対照)、5、10および15%配合した飼料を平均体重が約200gに達するまでの3か月以上給与した。その結果、増体率、飼料摂取量および育成率には各飼料間で有意差はなかったが、DDGS10および15%配合飼料では、対照および

5%配合飼料に比べて発育速度が優れる傾向を示した。試験終了時の魚体の成分組成(水分、CPおよび粗脂肪)、肉の色調には、各飼料間で差がなかった。結論として、トウモロコシDDGSは、コイの発育成績や肉質に悪影響を及ぼすことなく、最大15%程度配合することが出来る。

ヨーロッパスズキ(Dicentrarchus labrax)

ヨーロッパスズキは、地中海地域で多く養殖されている。Magalhãesら(2015)による最近の研究では、スペイン産およびハンガリー産のトウモロコシDDGS(粗脂肪含量(乾物):スペイン産11.8%、ハンガリー産12.8%)の見かけの消化率を測定している。2種類のDDGSは成分組成が類似していたが、スペイン産DDGSの乾物、エネルギーおよびCPの見かけの消化率は、ハンガリー産DDGSより優れていた(表2)。DDGSの供給源による栄養成分含量と消化率のバラ

ツキは、水産養殖用飼料を精密に設計する際の可消化エネルギーと栄養成分含量、経済的な価値を把握する上で問題となる。特に肉食魚では複雑な炭水化物の消化能力が低いため、この試験で得られた乾物およびエネルギーの見かけの消化率が比較的低いのは、トウモロコシDDGSの粗繊維含量が比較的高いためであると思われる。しかし、2種類のDDGSのCP消化率は、対照飼料中における唯一のCP供給源である魚粉(89~92%)と同等か優れていた。2種類のトウモロコシDDGSのアミノ酸消化率には差がなかったが、主なアミノ酸の消化率は一般的な魚粉に比べて劣った。トウモロコシDDGSは脂質の優れた供給源であるが、供試した2種類のDDGSの粗脂肪消化率は、魚油(98.5%)より劣っていた。

ヨーロッパスズキにおいて、飼育試験は行われていないが、この試験の結果は、トウモロコシDDGSがヨーロッパスズキ用飼料に配合されている魚粉の一部を十分に置換できることを示している。

表2. ヨーロッパスズキにおける2種類のトウモロコシDDGSのエネルギーと栄養素の見かけの消化率(%) (Magalhãesら、2015から改編)

	スペイン産DDGS	ハンガリー産DDGS
乾物	63.3 ^a	56.7 ^b
エネルギー	67.9 ^a	63.6 ^b
粗たん白質	96.3 ^a	92.1 ^b
粗脂肪	89.0	87.2
アルギニン	86.4	86.5
ヒスチジン	85.1	84.1
イソロイシン	83.7	83.0
ロイシン	89.1	89.0
リジン	94.8	99.0
メチオニン	78.3	83.9
フェニルアラニン	81.0	85.9
トレオニン	81.5	81.1
バリン	84.3	84.2

a-b異符号間で有意差あり (p < 0.05)

淡水エビ(Macrobrachium rosenbergii)

高脂肪DDGSを配合した淡水エビ用飼料に関する報告はいくつかある。最初の報告はTidwellら(1993a)のもので、DDGSを0(対照)、20および40%配合したCP29%の飼料を、体重0.66gの淡水エビに給与した結果、平均収量(833kg/ha)、育成率(75%)、終了時体重(57g)および飼料要求率(3.1)には飼料間で差がなかったとしている。この結果から、DDGSを最大40%配合した飼料を飼育密度19,760/haで淡水エビに給与した場合、優れた発育成績と育成率が得られることを示している。その後の研究で、Tidwellら(1993b)は、淡水エビの稚エビ(体重0.51g)用飼料の魚粉と大豆粉をDDGSで部分的に置換して発育成績などに及ぼす影響を調査した。供試飼料のCPはいずれも32%で、対照飼料中の魚粉(15%)の半量および全量を大豆粕とDDGS 40%を組み合わせて置換した。その結果、平均収量、育成率、終了時体重および飼料要求率には飼料間で差がなかった。魚粉を大豆粕とDDGSで置換すると、飼料中のグルタミン、プロリン、アラニン、ロイシンおよびフェニルアラニン含量が増加し、アスパラギン酸、グリシン、アルギニンおよびリジン含量が減少した。また、飼料中の脂肪酸組成も16:0、18:2n-6および20:1n-9が増加し、14:0、16:1n-7、18:1n9、18:3n-3および20:5n-3ならびに22:5n-3と22:6n-3の比率が減少した。この結果は、温帯域の養

殖池で飼育される淡水エビの飼料に使用される魚粉の一部あるいはすべてを大豆粕とDDGSで置換できることを示唆している。Coyleら(1996)は、DDGSは体重2g以上の稚エビ用飼料原料としてだけでなく、池の肥料として利用できるとしている。

(次号に続く)

第13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 アメリカ穀物協会
COUNCIL

〒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/>