

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.203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

オオニベ (Meagre, *Argyrosomus regius*)

オオニベは、多様化する地中海域の水産養殖にとって最も有望な魚種と考えられている。トウモロコシDDGSの給与が発育成績、育成率および体成分組成に及ぼす影響に関する報告はないが、最近、Magalhãesら (2015) 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%)について、体重79gのオオニベ幼魚における見かけの消化率を測定している。供試した2種の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に比べて優れていた。DDGSの栄養成分含量と消化率のバラツキは、経済的価値を決定する上で重要な問題であり、水産養殖動物用飼料を配合設計する際に用いる可消化エネルギーと可消化成分含量も同様に重要な問題となる。トウモロコシDDGSの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では粗繊維含量が比較的高いことに由来すると考えられる。しかし、供試した2種類のDDGSのCP消化率は、対照飼料中に配合した唯一のCP源である魚粉のそれ(89~92%)と同等かそれ以上であって、両DDGSのアミノ酸消化率には違いがなかったが、ほとんどのアミノ酸の消化率は一般的な魚粉より低かった。トウモロコシDDGSは脂質の優れた供給源であり、一部の製品では魚粉(粗脂肪9.2%)より粗脂肪含量が高かったが、見かけの消化率は魚油(98.5%)より低かった。この結果は、トウモロコシDDGSがオオニベ用飼料における魚粉の一部を置換できることを示唆している。

サバヒー (Milkfish, *Chanos chanos*)

サバヒーはアジア地域における主要な水産養殖魚種であり、安価なたん白質供給源として利用されている。サバヒーは、食物連鎖の下位に位置しており、大量なたん白質を必要としないため、水産養殖生産に適した魚種の1つとしてFAOから推奨されている。U.S. Grains Council (2007b) は、サバヒー用飼料へのトウモロコシ

DDGSの最大配合量を調査する実証試験を後援している。この試験では、DDGSを0(対照)、10、20、30および40%配合して窒素およびエネルギーを等量とした5種類の飼料をサバヒーに対して給与しているが、発育成績には飼料間で差が見られず、DDGSを最大40%まで配合できることが示唆された。この結果は、Mamauagら (2017) による最近の報告でも確認されている。この報告では、トウモロコシDDGSを0(対照)、15、25、30、35および45%配合した飼料(いずれも、CP35%、粗脂肪 6%)を90日間給与した場合の発育成績、魚体成分組成および小腸の形態を調査しているが、増体量、育成率、飼料摂取量、飼料要求率および魚体成分には飼料間で差がなかった。

トウモロコシDDGSのCP、粗脂肪、炭水化物および乾物の見かけの消化率は、それぞれ91、85、75および52%であり、腸の形態への影響もなかった(表4)。これらの結果は、トウモロコシDDGSは、サバヒーの発育成績、育成率、体成分組成および腸の形態に悪影響を与えることなく、45%まで配合できることを示している。

バナメイエビ (*Litopenaeus vannamei*)

世界のエビの生産量が急速に増加する中で、バナメイエビは主要な養殖種となっている。魚粉は、アミノ酸バランスが優れ、必須脂肪酸およびミネラル含量が比較的高いため、エビ用飼料の主要なたん白質源として通常約20%配合されているが、エビや他の水産養殖動物用飼料への魚粉の使用は、飼料費の増大を招き、長期的な持続可能性への懸念もあることから、エビ用飼料に使用される魚粉の一部あるいはすべてをDDGS等の植物性飼料原料で置換す

表3. オオニベ (*Argyrosomus regius*) 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	65.6 ^a	57.2 ^b
エネルギー	67.4 ^a	58.0 ^b
粗たん白質	97.9 ^a	91.8 ^b
粗脂肪	87.9	82.0
アルギニン	81.5	82.6
ヒスチジン	63.3	59.1
イソロイシン	75.0	76.4
ロイシン	93.0	88.9
リジン	85.0	85.6
メチオニン	66.3	67.0
フェニルアラニン	76.0	83.4
トレオニン	81.2	91.1
バリン	81.7	81.6

a-b異符号間で有意差あり (p<0.05)

表4. トウモロコシDDGSの配合割合がサバヒー幼魚 (*Chanos chanos*) の発育成績、育成率および魚体成分組成に及ぼす影響 (Mamauagら、2017から改編)

	DDGS配合割合					
	0%	15%	25%	30%	35%	45%
開始時体重 g	3.08	3.01	3.08	3.10	3.11	3.08
終了時体重 g	21.0	18.5	20.1	22.1	18.1	19.2
増体率 %	582	513	553	614	483	519
生存率 %	82	81	85	82	85	83
飼料摂取量 1	24.2	25.1				.0
飼料効率 2	0.77	0.76	0.77	0.75	0.73	0.75
全魚体成分組成						
粗たん白質 g/kg 乾物	732	684	696	694	690	736
粗脂肪 g/kg 乾物	157	194	183	164	153	142
粗灰分 g/kg 乾物	93	99	92	90	103	91

1 飼料摂取量 = 乾物g/尾/90日間 2 飼料効率 = 生体重 (g)/乾物摂取量

る可能性が検討されている。バナメイエビへのDDGS給与の影響を評価した4つの報告の概要を表5に示した。

Royら(2009)による初期の報告では、DDGSを10%配合した飼料を給与した場合の増体率は、魚粉と家禽副産物およびエンドウ豆たん白を置換した場合と同等であったが、死亡率は高まる傾向を示した。その後公表されたSookying and David(2011)による報告では、大豆粕を多量に含むDDGS 10%配合飼料と魚粉10%配合飼料の最終体重(16.3 vs 16.9g)、育成率(92.2 vs 86.6%)および飼料要求率(1.32 vs 1.35)は差がなかった。Cumminsら(2013)は、魚粉、大豆粉および小麦粉の一部と置換することによりDDGSを最大30%配合し、リジンを添加した場合、バナメイエビの発育が低下した。一方、Rhodesら(2015)は、バナメイエビへの低脂肪DDGS(粗脂肪:4.8%)給与による影響評価のために、飼育試験および2回の消化試験を行った。飼育試験では、魚粉を6%配合した飼料中の大豆粕と置換することによりDDGSを0、10、20、30および40%配合した等たん白質飼料を用いた。なお、DDGS 30%配合飼料ではリジンを0.06%添加し、40%配合飼料では、リジン無添加と0.13%添加の2種類を調製した。その結果、DDGSの配合量にかかわらず、最終的なバイオマス、平均体重、飼料要求率および育成

率には影響が認められず、DDGS 10%配合飼料では最終的なバイオマスが改善された。また、40%配合飼料へのリジン添加の有無も発育成績に影響を及ぼさなかったことから、リジンは制限アミノ酸ではないことが示唆された。低脂肪DDGSの乾物、エネルギーおよびCP消化率は、いずれの試

験においても対照飼料より低く、低脂肪DDGSの見かけのCP消化率(36.9~44.7%)はLemosら(2009)が報告しているDDGSの消化率(78.5%)に比べて著しく低かった(表6)。この違いは、DDGSの供給源、CP含量または分析方法が原因である可能性がある。これらの結果は、低脂肪DDGSの乾物、エネルギーおよびCPの見かけの消化率は対照飼料より低いものの、40%配合した場合でも許容可能な発育成績と育成率が得られることを示している。

コバンアジ (*Pompano, Trachinotus carolinus*)

コバンアジの養殖は、長年に渡って関心がもたれていたが、最近まで栄養要求量に関する報告はわずかしかなかった(Lazoら、1998; Weirichら、2006; Williams、2008; Riche、2009; Gonzalez-Felixら、2010; Gothreauxら、2010; Riche and Williams、2010; Lech and Reigh、2012)。

Lech and Reigh(2012)は、トウモロコシDDGSのCPおよびエネルギーの見かけの消化率ならびにアミノ酸の見かけの有効率を測定してナタネ粕およびCGMと比較している(表7)。CGMの見かけのエネルギー消化率はナタネ粕およびDDGSよりも高く、DDGSのエネルギー消化率はナタネ粕よりも高かった。同様に、CGMの見か

表5. トウモロコシDDGSをバナメイエビ (*Litopenaeus vannamei*) に給与した場合の発育成績と体成分組成への影響を評価した公表文献の概要

体重 g (開始-終了)	DDGS %	置換原料	試験期間 (日)	魚粉配合割合 %	リジン添加量 %	DDGSの推奨配合割合 %	引用文献
0.49 - 7.2	0 - 40	大豆粕、コーンスターチ	56	6	0 - 0.13	40	Rhodes et al, 2015 ¹
0.99 - 6.1	0 - 30	魚粉、大豆粕、フスマ	56	0	0 - 0.4	魚粉を含まない飼料で大豆粉をDDGSで部分的に置換すると成長成績が低下	Cummins et al., 2013
0.04 - 16.3	10	ソルガム	126	0	none	10	Sookying and Davis, 2011
0.45 - 25	0 - 10	ソルガム、魚粉	63	0	none	Up to 10	Roy et al., 2009

1 低脂肪DDGS (粗脂肪 4.8%)

表6. パナメイエビ (*Litopenaeus vannamei*) における低脂肪DDGSおよび対照飼料の乾物、エネルギーおよびCPの見かけの消化率係数 (Rhodes and Davis, 2015から改編)

	対照飼料	低脂肪DDGS
試験1		
乾物	68.2	53.8
エネルギー	74.5	55.7
粗たん白質 (CP)	85.7	36.9
試験2		
乾物	73.2	42.4
エネルギー	78.1	20.9
粗たん白質 (CP)	89.1	44.7

表7. コバンアジ (*Trachinotus carolinus*) におけるナタネ粕、CGMおよびDDGSのエネルギーとCPの見かけの消化率と、必須アミノ酸の見かけの有効率 (Lech and Reigh, 2012から改編)

	ナタネ粕	コーングルテンミール	DDGS
見かけの消化率 %			
エネルギー	21.3 ^c	57.1 ^a	30.7 ^b
粗たん白質 (CP)	38.6 ^{ab}	57.2 ^a	20.6 ^b
見かけの有効率 %			
アルギニン	53.8	68.5	35.0
シスチン	30.3	42.5	23.0
ヒスチジン	46.9	58.7	30.0
イソロイシン	50.4	62.5	40.9
ロイシン	46.8 ^b	70.8 ^a	55.6 ^b
リジン	48.4	47.9	50.4
メチオニン	91.9	84.9	91.5
フェニルアラニン	54.2	70.9	55.5
トレオニン	44.6	56.9	37.6
バリン	48.1	64.7	50.4

a - c異符号間で有意差あり (p < 0.05).

けのCP消化率はDDGSよりも高かったが、ナタネ粕のCP消化率はCGMと有意差はなかった。さらに、ナタネ粕、CGMおよびDDGSのアミノ酸の見かけの有効率は、ロイシンを除いて差がなかった。CGMにおけるロイシンの見かけの有効率は、ナタネ粕およびDDGSに比べて高かった。Lech and Reigh (2012) は、飼料の各栄養成分の消化率は、飼育条件、魚体のサイズ、実験方法が類似している場合でも、報告によって異なることから、様々な魚種において、飼料原料のエネルギーと栄養成分の消化率を推定するために推定式開発の必要があるとしている。これは、より正確な配合設計のために各飼料原料の栄養価を標準化するのに役立つものと思われる。また、実際の配合設計で使用するためのより現実的な消化率を求めるために、エネルギーと栄養成分の消化率および飼料原料の配合割合の様々な組合せに関する詳細な情報が不可欠であることも示唆している。公開されている飼料の可消化栄養成分値は、魚種毎により異なるばかりではなく、それが配合される飼料にも影響される。したがって、消化率測定の際には、対照として用いる飼料の成分組成をも考慮する必要がある。

ニジマス (*Oncorhynchus mykiss*)

ニジマスなどの肉食魚用の飼料には魚粉を大量に (30~50%)

配合する必要があるが、魚粉価格の高騰に伴って、DDGSなどの代替たん白源の評価が行われ、魚粉の一部を置換するようになってきている。トウモロコシDDGSはサケ科の魚では消化しにくい非貯蔵性多糖類が比較的少量に含まれており、可消化アミノ酸のバランスが悪いために給与飼料の栄養素の吸収が制限される可能性があると考えられていた。しかし、いくつかの報告は、トウモロコシDDGSがニジマス用飼料における貴重な飼料原料であることを示している (表8)。Chengら (2003) および Cheng and Hardy (2004a, b) による初期の研究では、DDGSを15~22.5%配合してもリジンとメチオニンのいずれかを添加することで、体成分組成への影響を最小限に抑え、または、許容できる発育成績が得られることを示している。

Cheng and Hardy (2004a) は、DDGSのCPとアミノ酸の見かけの消化率が高いことを示す未公表のデータがあるとしている (CP= 90.4%、スレオニンを除く必須アミノ酸= 90%以上、システイン以外の非必須アミノ酸= 86%以上) が、ニジマス用飼料にDDGSを配合する場合の制限因子の1つは、魚粉に比べてリジンとメチオニンの含量が比較的低いことであると指摘している。したがって、ニジマスが十分に発育するためには、DDGS配合飼料にリジンとメチオニンを添加する必要がある。これを実証するために、

Cheng and Hardy (2004a) は、6週間の給与試験を行って、DDGS配合量 (0, 7.5, 15および22.5%) と、リジンとメチオニン添加の有無が体重50 gのニジマスの発育成績に及ぼす影響を調査している。すべての供試魚の育成率は100%であり、DDGSを15%配合した飼料、またはCPおよびエネルギー換算で魚粉の50%をDDGSで置換した飼料は、魚粉を用いた飼料と同等の発育および飼料要求率を示した。

この結果は、リジンとメチオニンの添加を行わずにDDGSを15%まで配合するか、魚粉の50%量まで置換することで十分な発育成績が得られること、DDGSは22.5%まで配合可能であり、リジンおよびメチオニンを添加すれば、魚粉の75%量までを置換することができることを示している。さらに、Chengら (2003) は、大豆粕、DDGSおよび1.65 g/kgのMHA (メチオニンヒドロキシルアナログ) を用いて、魚粉の50%量を置換した飼料を体重50gのニジマスに給与した場合、増体量、飼料要求率ならびにたん白質及びリンの蓄積量が大幅に改善されたと報告している。

Cheng and Hardy (2004b) は、DDGSの栄養成分の見かけの消化率と、DDGSおよび様々なレベルの微量ミネラルプレミックスを含むニジマス用飼料にフィターゼを添加した場合の、見かけの栄養成分蓄積率への影響を調査している。DDGSを30%配合した飼料

表8.トウモロコシDDGSをニジマス(Oncorhynchus mykiss)に給与した場合の発育成績と体成分組成への影響を評価した公表文献の概要

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の 推奨配合 割合 %	体成分組成	引用文献
143-359	0-50	ひまわり粕、 綿実粕、エン ドウ豆	77	18.9	none	50	-	Overland et al., 2013
33.6-57	0-20	魚粉、小麦	36	30-40	0.50	none	20%配合飼料給与により全魚体の粗脂肪が増加	Barnes et al., 2012
21-158.4	0-30	コーングルテンミールと組み合わせて魚粉とフスマと置換	84	0	none	30	全魚体のCPが減少し、粗脂肪が増加	Stone et al., 2005
49.8-96.2	0-22.5	コーングルテンミールと組み合わせて魚粉とフスマと置換	42	7.5-22.5	0-1.23	15/22.5	リジン無添加の22.5%配合飼料給与により全魚体の粗脂肪が減少、リジン添加時には影響なし	Cheng and Hardy, 2004a
20.0-78.5	15	-	70	15	0.82	15	効果なし	Cheng and Hardy, 2004b
49.5-114.6	18.5	魚粉(ニンシ ン)、小麦、 トウモロコシ グルテン	49	17.5	0-0.48	メチオニンを添加した飼料では18.5	効果なし	Cheng et al., 2003

にフィターゼを0、300、600、900および1200 FTU/kg添加した場合の見かけの消化率は、乾物:49~59%、粗脂肪:79~89%、CP:80~92%、総エネルギー:51~67%、アミノ酸:74~97%、ミネラル:7~99%の範囲であった。DDGSを15%配合し、リジン、メチオニンおよびフィターゼを添加した飼料に様々なレベルの微量ミネラルプレミックスを添加した場合、微量ミネラルプレミックス無添加飼料を除き、増体量、飼料要求率、育成率、体組成および栄養成分の見かけの蓄積率には差がなかった。この結果は、フィターゼが多くミネラルの放出に効果的であり、ニジマス用飼料にフィターゼを添加することで、微量ミネラル添加量を減らすことができることを示唆している。

その後、Stoneら(2005)は、ニジマス用飼料へのCGMとトウモロコシDDGS配合の影響について検討し、飼料中の魚粉との置換率は、使用するCGMに対するDDGSの比率に依存することを明らかにしている。この報告では、CGMとトウモロコシDDGSを組み合わせることで、発育成績に影響を与えることなく魚粉の約25%を置換出来ることを示唆している。あわせて、トウモロコシDDGSとCGMを配合した飼料の加熱ペレット加工は、非加熱ペレット加工に比べて効果がないことも報告している。

ニジマス用飼料におけるトウモロコシDDGSの利用に関する最新の報告は、Overlandら(2013)によるヒマワリ粕、ナタネ粕、エンドウ豆たん白の代替としてDDGSの25または50%配合した場合の影響調査である。DDGSを50%配合した試験飼料は、魚粉と植物性たん白質原料を配合した対照飼料と、対照飼料と試験飼料を1:1の割合で混合した飼料(DDGS配合率:25%)に比べて、増体量および飼料摂取量が増加し、飼料要求率が改善され、エネルギー消化率が高まる傾向を示したが、CP、ほとんどのアミノ酸およびリンの

消化率は飼料間に差はなかった。また、実際、DDGSを50%配合した飼料の給与により、対照飼料に比べてエネルギーとリンの蓄積量が高まり、窒素の蓄積量は、対照飼料およびDDGS25%配合飼料に比べて窒素の蓄積量が高まった。さらに、DDGSを配合した飼料を給与しても、食餌を与えても、遠位腸管重量、腸内の酵素活性、血漿代謝産物には影響がなかった。これらの結果は、トウモロコシDDGSを、これまで使用されていた植物主体の飼料原料と代替して使用した場合に、ニジマスに適したエネルギー、CPおよびリンの供給源であることを示している。

(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 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/>