

アメリカ穀物協会 (U.S. Grains Council, 本部:米国ワシントンD.C.)は、2025年8月1日付で、協会名を「アメリカ穀物協会」から「アメリカ穀物バイオプロダクツ協会 (U.S. Grains & BioProducts Council, 略称:USGBC)」へ変更いたしました。これにより、当協会は穀物分野に加え、エタノールなどのバイオプロダクツの国際的な普及をより包括的に推進してまいります。

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.212からの続き)

第13章

水産養殖動物における低脂肪DDGS

レッドクロウ (Red claw crayfish, *Cherax quadricarinatus*)

近年、オーストラリアでは淡水性ザリガニの1種であるレッドクロウの養殖への関心は高まっているが、現在、この種はオーストラリア以外にも、中国、メキシコ等の数か国で商業生産されている。レッドクロウは人工飼料で飼育することが出来、比較的短期間(117日)で急速に発育する(Thompsonら、2004)。この種は、体のサイズがエビより大きく、貯蔵品質に優れており、尾肉がロブスターのような味で風味が良いため、シーフードを好む消費者の人気を得ている。Thompsonら(2006)は、ソルガム、大豆粕、魚粉の代わりにトウモロコシDDGSを18.3または30%配合したCP(粗たん白質)18%または28%の飼料を体重5.75gの稚エビに給与して発育成績等を検討している。その結果、トウモロコシDDGSと大豆粕を併用して魚粉と置換しても飼料要求率、育成率および体成分組成には影響を及ぼすことはなく、DDGSはこの給与プログラムで効果的に使用されている。

サンシャインバス (Sunshine bass, *Morone chrysops* x *M. saxatilis*)

シマスズキ (Striped bass, *M. saxatilis*) とホワイトバス (*Morone*, *M. chrysops*) の雑種であるサンシャインバスは重要な食用魚であるだけでなく、米国におけるレクリエーション・フィッシングの対象魚としても最も人気があるが、ほとんどの魚種と同様に、シマスズ

表9. トウモロコシDDGSをナイルティラピア (*Oreochromis niloticus*)、レッド・ティラピアおよびハイブリッドティラピア (*O. aureus* x *O. niloticus*) 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論文概要

魚体重 (開始 - 終了) g	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 %	体成分組成	引用文献
ナイルティラピア (<i>Oreochromis niloticus</i>)								
21 - 183	52.4	魚粉、大豆粕、家禽副産物、小麦粉、でん粉	168	0 - 10	0.4	50	フィレ肉の色調とアミノ酸組成に影響なし、ω6系脂肪酸が増加	Herath et al., 2016
6.4 - 32.0	17	大豆粕	56	0	0 - 1.0	結晶リジン無添加の際には、アミノ酸バランスを取るために高リジンのトウモロコシたん白濃縮物が使用できる	-	Nguyen and Davis, 2016
0.98 - 14.2	0 - 40	トウモロコシ、大豆粕	84	11	なし	酵素無添加では20%、酵素添加では30%	酵素添加した10および20%では魚体たん白が増加、40%で体脂肪増加	Soltan et al., 2015
6.0 - 28.3	0 - 20	トウモロコシ、魚粉	72	11 - 20	なし	16	効果なし	Gabr et al., 2013
6.0 - 28.3	0 - 20	トウモロコシ、大豆粕	72	20	なし	10	5%以上で魚体たん白が増加し、粗脂肪および灰分が減少	Khalil et al., 2013
27.1 - 286	0 - 15	魚粉	123	0 - 15	なし	15%で経済性が最も良く、11.25%で発育成績が最も良い	全魚体たん白と灰分が減少、脂質とエネルギーが増加	Abdelhamed et al., 2012
18.6 - 35.7	0 - 30	トウモロコシ、大豆粕	84	20	0 - 0.6	30	-	Ibrahim et al., 2012
34.9 - 67.7	0 - 27.5	トウモロコシ、大豆粕	55	5	なし	17.5	-	Schaeffer et al., 2010
6.7 - 11	0 - 40	トウモロコシ、大豆粕	42	5	なし	20	-	Schaeffer et al., 2009
3.8 - 35	28	-	82	10	なし	57-150mg/kgのフィターゼ添加でDDGS配合飼料の増体量および飼料要求率改善	-	Tahoun et al., 2009
2 - 23	0 - 55	トウモロコシ、大豆粕	70	10	0 - 0.4	28 to 55	-	Abo-State et al., 2009
6.7 - 68.6	0 - 60	トウモロコシ、大豆粕	84	8	0.9	60以上	-	Shelby et al., 2008
9.4 - 60.5	0 - 40	トウモロコシ、大豆粕	70	8	0 - 0.4	20 to 40	40%で全魚体たん白が減少	Lim et al., 2007

キヤその雑種へのトウモロコシDDGSの給与に関する研究結果は少ない。

表9. トウモロコシDDGSをニルティラピア (*Oreochromis niloticus*)、レッド・ティラピアおよびハイブリッドティラピア (*O. aureus*×*O. niloticus*)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論文概要(続き)

魚体重 (開始-終了) g	DDGS %	置換 原料	試験 期間 (日)	魚粉配 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
2.7 - 68.5	0 - 30	魚粉、大豆粕	70	0 - 8	なし	30	効果なし	Coyle et al., 2004
26 - 120	0 - 100	-	84	0	なし	-	効果なし	Tidwell et al., 2000
0.5 - 11.4	0 - 82	コーングルテンミール、大豆粕	56	0	0.25 - 0.75	なし	-	Wu et al., 1997
0.4 - 20.9	0 - 49	トウモロコシ	56	0	なし	35	-	Wu et al., 1996a
30 - 387	0 - 29	トウモロコシ	196	0 - 6	なし	19	フィレ肉のたん白と灰分は対照飼料と同等だが脂肪含量は減少、香りには差はない	Wu et al., 1996b
30 - 122.4	19 - 29	トウモロコシ、大豆粕	103	0 - 6	なし	29	-	Wu et al., 1994
レッドティラピア								
31.6 - 265.7	0 - 40	大豆粕、米ぬか、ホミニード、肉骨粉、コーングルテンミール	120	0	なし	40以上	-	Suprayudi et al., 2015
190 - 907	0 - 15	トウモロコシ、米ぬか	120	0	なし	15以上	効果なし	U.S. Grains Council, 2006
ハイブリッドティラピア (<i>O. aureus</i> × <i>O. niloticus</i>)								
6.0 - 81.4	0 - 50	大豆粕	56 (試験1)	5	0.0 - 0.27	30以上 (試験1)	-	Chatvijitkul et al., 2016
2.1 - 63.2			84 (試験2)			リジンと脂質添加の場合50以上 (試験2)		
3.7 - 63.5	0 - 32	トウモロコシ、大豆粕	70	8	なし	30	-	Weiker et al., 2014b
1.5 - 6.1	0 - 40	魚粉、小麦	90	3	0.4	40以上	-	U.S. Grains Council, 2007a

最初の研究は、Websterら(1999年)によって行われている。体重15gのサンシャインバス幼魚に対して、魚粉、トウモロコシおよび肉骨粉と置換することによりDDGSを10%配合したCP 40%飼料を8週間給与した。その結果は、DDGSを配合した飼料では、魚肉の成分組成に影響を及ぼすことなく、許容可能な発育成績が得られた。最近では、Thompsonら(2008)が、サンシャインバスの実用的な飼料原料として利用されている魚粉2試料、家禽副産物2試料、大豆粉およびDDGSの乾物、CP、脂質および有機物の消化率を測定している。DDGSのCPおよび有機物消化率(65および17%)は大型ニシン(メンヘーデン)から調整された魚粉(86および89%)と比べて劣った。この報告で使用されたDDGSの品質は明確ではないが、CPおよび有機物消化率が非常に低いことから、品質が劣っていた可能性がある。この結果は、他の様々な魚種用飼料にある程度の量のDDGSを配合すると満足する結果が得られたとするいくつかの研究結果とは対照的であり、優れた発育成績と栄養成分の消化性を確保するためには、高品質のDDGSのみを使用することが重要であることがわかる。

ティラピア (*Oreochromis niloticus*)

ティラピアは、世界中で最も一般的で、経済的にも重要な温水魚である。このため、水産養殖動物に対するトウモロコシDDGSの給与に関する公表文献の多くはティラピアを対象としたものであり(n=23)、表9にこれらの概要を取りまとめた。

ティラピアに対するトウモロコシDDGSの給与に関する報告はWuら(1994, 1996, 1997)によるものである。Wuら(1994)の報告では、CGM18%またはDDGS29%を配合したCP32%あるいは36%飼料を体重30gのティラピアに給与すると、魚粉を配合したCP36%の市販飼料を給与したティラピアより増体量が優れた。その後のWuら(1996)の報告では、DDGSを49%まで、CGF(コーングルテンフィード)を42%まで、CGM(コーングルテンミール)を22%まで配合したCP32、36および40%飼料と対照飼料(CP36%)を体重0.4gのティラピア稚魚に8週間給与した。その結果、対照飼料およびDDGS35%配合飼料における増体量が最も優れた。飼料要求率は、対照飼料(1.05)と、DDGSを35%配合したCP40%飼料

(1.13) およびCGFを30%配合したCP40%飼料(1.12)が優れていた。PER(たん白効率)は、対照飼料(3.79)とDDGSを49%配合したCP36%飼料(3.71)およびCGFを42%配合したCP36%飼料(3.35)が優れていた。この結果から、CP32、36および40%で、DDGSを16~49%配合した飼料では、満足できる増体量、飼料要求率およびPERが得られると結論している。

DDGS、CGF、CGM等のトウモロコシ併産物を多く配合してCPが比較的低い水産養殖動物用飼料を調製する場合、アミノ酸欠乏を防ぐために結晶アミノ酸の追加が必要になることがある。特に、リジンは、発育成績への影響が大きい。Wuら(1997)は、54~92%のトウモロコシ併産物をCP28および32%のリジン、トリプトファン添加使用を体重0.5gのティラピア稚魚に対して8週間給与し、リジンとトリプトファンを添加したDDGS82%配合飼料の飼料要求率およびPERは、グルテンフィード67%と全脂大豆26%を配合した飼料およびCP32%の対照飼料と差がなかったと報告している。この結果からすると、適切な量のアミノ酸を添加することにより、ティラピア幼魚用飼料中の魚粉をDDGS、CGFあるいはCGMで全量置換することが出来る。

Tidwellら(2000)によって行われたその後の研究では、淡水エビと複合養殖しているナイルティラピアの発育成績、育成率および体成分組成へのペレット加工の有無の影響を調査した。その結果、DDGS配合飼料をペレット加工すると、未加工のDDGS配合飼料に比べて増体率が高まった。しかし、いずれも、市販飼料を給与した場合の体重、体長および飼料要求率は劣っていた。ペレット加工したあるいは未加工のDDGS配合飼料における発育成績は、市販飼料を給与した場合に比べて劣っていたが、生産費は市販飼料(増体量1kgあたり

0.66ドル)にたいして、大きく削減された(ペレット加工は0.37ドル、未加工の発育成績は0.26ドル)。また、淡水エビの生産量は1,449 kg/haとなり、総産量が81%高まった。このことから、ティラピア養殖の際にDDGSを利用することで生産費の低減が図れ、かつ、淡水エビを同時に飼育することで、温帯域における養殖池の利用効率を高める可能性があると結論している。

Limら(2007)の別の研究では、DDGSを0、10、20および40%配合した飼料と、DDGS 40%配合飼料にリジンを追加した飼料を体重9.4gのティラピア幼魚に連鎖球菌暴露下で10週間給与した。リジン無添加のDDGS 40%配合飼料の増体量、PERおよび全魚体のたん白質量は最も低かったが、リジン添加により増体量およびPERが改善された。なお、DDGS配合飼料を給与しても、連鎖球菌暴露後の累積死亡率および血液背性状の指標には影響は見られなかったことから、発育成績、体成分組成、血液・免疫学的反応、連鎖球菌感染への抵抗性に影響を及ぼすことなく、大豆粕およびトウモロコシの代替としてDDGSを最大20%量まで使用できると結論している。

Abo-Stateら(2009)は、大豆粕の一部あるいはすべてをトウモロコシDDGSで置換し、飼料の0%から100%まで段階的に増量し、フィターゼ添加の有無に関わらず体重2gのナイルティラピアに70日間給与したが、DDGSを0、25および50%配合したフィターゼ添加飼料の増体率および飼料要求率は最も優れていた。

Schaefferら(2009)は、ティラピア用飼料へのDDGSの利用に関する2試験を実施した。最初の試験では、魚粉の一部と置換することによりDDGSを0(対照)、17.5、20、22.5、25および27.5%配合した飼料を体重35gのティラピアに給与したが、見かけの栄養成分消化率には飼料間で差がなかった。増体率およびPERは、DDGSを配合していない対照飼料が最も優れたが、DDGS 17.5%配合飼料の飼料要求率およびPERも満足できる成績であった。2番目の試験では、DDGSを20、25および30%配合した飼料への生菌剤添加の有無に関する検討を行ったが、増体量、飼料要求率およびPERには飼料間で差がなかった。その後、

表10. 様々なトウモロコシの併産物を含む飼料を給与したナイルティラピアの発育成績、育成率、たん白質利用率、全魚体およびフィレ肉の組成 (Herathら、2016から改編)

測定項目	対照	DDGS	トウモロコシたん白濃縮物	コーングルテンミール	高たん白DDG
成長率 (SGR) %	3.56 ^a	3.53 ^a	2.63 ^d	2.75 ^e	3.30 ^b
飼料摂取量 g	84.1 ^a	81.2 ^a	38.8 ^b	40.2 ^b	71.1 ^a
飼料要求率	1.00	1.05	1.10	1.00	1.05
育成率 %	100.0 ^a	97.2 ^a	75.0 ^c	66.6 ^c	80.6 ^c
たん白効率 (PER)	3.20	3.06	2.84	3.10	2.99
たん白質蓄積率 %	49.6 ^a	46.7 ^a	38.4 ^c	42.0 ^c	46.2 ^b
全魚体 %					
水分	69.4	69.7	71.6	70.9	68.9
たん白質	15.5 ^a	15.4 ^a	13.9 ^d	14.6 ^b	16.7 ^a
脂質	8.5 ^a	10.0 ^a	9.6 ^a	9.8 ^a	9.9 ^a
灰分	6.9 ^a	5.7 ^a	5.0 ^a	4.0 ^a	5.4 ^a
フィレ肉 %					
水分	78.2	77.2	78.5	77.9	76.2
たん白質	18.8 ^b	18.3 ^b	18.7 ^b	19.2 ^b	19.8 ^b
脂質	1.6 ^c	3.1 ^a	1.9 ^c	2.2 ^b	2.4 ^b
灰分	1.4	1.3	1.4	1.3	1.2

a-e異符号間に有意差あり (p<0.05)

Schaefferら(2010)は、DDGSを17.5から27.5%配合した飼料を給与した場合の発育成績への応答によるティラピア幼魚におけるより精密な至適DDGS配合量の検討を行なっている。その結果、魚粉を5%含むDDGS配合飼料では、対象とした魚粉15%飼料に比べて増体率が劣った。DDGS配合飼料の中では、20%配合飼料が最も発育成績が優れていた。

これらの研究の結果は、DDGSがティラピア用飼料において非常に経済的な飼料原料であり、十分量のアミノ酸を補給できる場合には、比較的高い配合率での使用が可能であることを示している。

ティラピア用飼料へのDDGSの利用に関する最も有益な情報は、最近、Herathら(2016)によって報告されている。彼らは、魚粉をトウモロコシDDGS(52.4%)、トウモロコシたん白濃縮物(19.4%)、CGM(23.5%)および高たん白DDG(HP-DDG; 33.2%)で置換し、L-リジン(0.4~0.8%)およびDL-メチオニン(0.3~0.4%)を添加した飼料を、体重4.5gの稚魚に給与した。その結果、対照飼料とDDGS 52.4%配合飼料の増体率および育成率が最も優れ、ついで、HP-DDG 33.2%配合飼料の成績が優れていた(表10)。

飼料要求率、PERおよび全魚体の総アミノ酸含量は、飼料間で差がなかった。全魚体およびフィレ肉のCP含量は、HP-DDG配合飼料が最も高く、全魚体およびフィレ肉の粗脂質含量は、DDGS配合飼料が最も高かった。これらの結果は、トウモロコシDDGSはナイルティラピア成魚用飼料中の魚粉全量と置換することが出来、発育成績、育成率、飼料の利用性および全魚体およびフィレ肉の成分組成には影響を及ぼさないことを示している。

DDGS給与による潜在的な健康上の利点

水産養殖動物用飼料へのDDGSの利用は、優れた発育成績、育成率および体成分組成が得られるだけでなく、免疫やある種の疾病への耐性を高める可能性を示す証拠が増えている。Limら(2009)は、DDGSを40%配合した飼料を給与すると、アメリカナマズにおけるエンドワジエラ・イクタルリ感染症(腸内細

表11. 様々な水産養殖魚種におけるDDGSの最大配合割合

魚種	DDGSの最大配合割合 (%)
チャネルキャットフィッシュ	30~40 (+ 結晶アミノ酸)
コイ	15
淡水エビ	40
サバヒー	45
バナメイエビ	40 (+ 結晶アミノ酸)
ニジマス	50
レッドクロー	30
サンシャインバス	10
ティラピア	50 (+ 結晶アミノ酸)

菌科に属するグラム陰性短桿菌の *Edwardsiella ictalur* が引き起こす)への耐性が改善されることを報告している。しかしながら、Limら(2007)が行ったナイルティラピアを用いた試験では、DDGSを40%配合した飼料は連鎖球菌に対する血液学および免疫学的反応を改善しなかった。同様に、Shelbyら(2008)は、DDGSの給与はナイルティラピアの免疫機能または耐病性に影響しなかったとしている。Aydin and Gumus(2016)は、ニジマス稚魚に対してDDGSを30%まで配合した飼料を給与した際に、罹患魚は発生せず、血液学および生化学的な反応に影響はなかったとしている。これら、公表されているいくつかの肯定的な影響の要因となっているのは、DDGSには、全体の約10%を占める酵母由来の生理活性化合物(マンナン、β-グルカン、スクレオチド)による可能性が推察されている(Shurson, 2018)。DDGSにおけるこれらの化合物の含有量に関しては限られたデータしか公表されていないが、DDGSのβ-グルカン含有量は約21.2%と推定されている(Kimら, 2008)。Ringoら(2012)は、酵母のβ-グルカンの様々な魚種に対する給与に関する14の公表文献をレビューし、病原体耐性、成長性能および育成率の改善が見られることを報告している。

DDGS配合飼料のエクストルーダー加工

繊維濃度が比較的高いDDGSの配合量が多い場合、ペレット加工を行う水産養殖動物用飼料ではペレット耐久指数を高く保つことが難しくなる。

DDGS配合飼料のエクストルーダーとペレットの品質に影響を及ぼす最も重要な要因は、ダイの形状、温度、含水率、スクリーウの速度であると推察している。ペレットの耐久性や単位密度の向上には、各種結着剤の添加が効果的で、その結果、DDGSを60%配合した浮き餌を特定の条件下で生産すると、単位密度値が0.24~0.61g/cm³、ペレット耐久性が96~98%の範囲の製品を製造することが出来る(Chevananら, 2007; 2009)。DDGSを含む水産養殖動物用飼料のペレット加工に関する包括的なレビューは16章で詳述する。

結論

水産養殖動物用飼料で使用されている魚粉の代替えとして植物主体原料を使用するには、世界の水産養殖産業からは大きな関心を寄せられており、その結果、水産養殖動物用飼料へ

のトウモロコシDDGSの使用量が増加している。様々な水産養殖動物用飼料へのDDGSの至適配合割合に関する研究は限られているが、最近の研究では、十分な発育成績、育成率および肉質を達成しつつ、飼料のコストを大幅に削減できることが示されている。DDGSの配合量は、一般に繊維の使用能力が高い種ほど

高いが、置換する原料の種類や、他のたん白質原料(例えば魚粉)の量によって異なる。DDGSは、CP含量が適度に高いにもかかわらず、可消化リジン含量が比較的低いことから、DDGSの配合割合が高い場合には、可消化アミノ酸の要求量を充足させるためにリジン、メチオニンおよびその他のアミノ酸の添加が必要になる場合がある。高たん白質の水産養殖動物用飼料では、アミノ酸添加が適切に行われなかった場合には、DDGSの配合量が制限される可能性がある。DDGSの脂質含量が比較的高いと、一部の魚種では全魚体の粗脂肪含量が増加する可能性があるが、DDGSに含まれているトウモロコシ油はDHAが比較的低く、EPAを含んでいないため、魚油を添加することで、十分な必須脂肪酸を担保することができる。水産養殖動物用飼料においてDDGSを使用する他の利点は、利用可能なリンの含量が比較的高いため、リンの排泄が減少することであり、抗栄養因子についての懸念はなく、免疫学的利益をもたらす可能性がある。加工条件を適切に保てば、高品質のペレットを製造することが出来る。公表されている文献のデータに基づいて、様々な水産養殖動物種におけるDDGSの最大配合量を表11に示した。これらの何報かでは、評価に用いたDDGSの品質と栄養組成の詳細が示されているが、特に配合割合が高い場合には、栄養成分の消化率を高く保つために色調が明るい、黄金色のDDGSは、使用する必要がある。

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 & BIOPRODUCTS COUNCIL

アメリカ穀物バイオプロダクツ協会

〒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/>