

第 25 章

養殖魚飼料としての DDGS の使用

はじめに

水産養殖は世界で最も成長の著しい食品生産業界の一つである。魚粉はタンパク質含有率が高く、消化率の高いアミノ酸類がバランスよく含まれ、必須脂肪酸の量も非常に多く、消化率の高いエネルギーのみならずビタミンやミネラルも多く含まれるため、長年、大半の養殖用飼料の主要成分として用いられてきた (Abdelghany, 2003)。ところが、魚粉の供給量が減少し、コストが上昇してきたことから、栄養担当者や飼料製造業者らは、植物主体ミールなど、養殖用飼料として用いられている魚粉の一部または全部を置換することができ、価格がより安く品質の高い代替原材料を求めようになってきた。残念ながら、栄養、特にアミノ酸の要求量を満たすために他の原材料を適切な量で配合したり飼料サプリメントを追加したりせず、魚粉を植物主体の原材料と置き換えると、しばしば生育成績が低下する結果となる (Mbahinzirek ら、2001; Sklan ら、2004; Gatlin ら、2007)。しかしながら、2 種類以上の補完的植物タンパク質源 (DDGS および大豆粕) を飼料に加えると、飼料中の魚粉のすべてを置換できる可能性がある。このため、養殖用として代替植物主体原材料を効率よく用いるための最大の課題のひとつが、アミノ酸組成および消化率についての知識を獲得することである。

世界のあらゆる地域の家畜や家禽の生産と同様に、養殖においても増えつつある環境規制を遵守しなければならない。養殖場から排出される水に含まれる成分の中で最も懸念される 2 種類の栄養成分は窒素およびリンである。大豆粕および DDGS には比較的多くのタンパク質が含まれているが、リンの含有率は魚粉の値を大幅に下回る。従って、養殖飼料の魚粉を DDGS および大豆粕で置換すると飼料中の総リン含有率が低下し、養殖場からの排水に含まれるリン濃度も低下することになる。

養殖用飼料としての DDGS の栄養価値

トウモロコシ DDGS はエネルギーおよび可消化リンの含有率が高く、タンパク質含有率が中程度の原材料である。しかしながら、栄養成分の含有率および消化率は供給源によって著しく異なる (Spiehs ら、2002)。DDGS に含まれるエネルギーの大半が比較的含有率の高い粗脂肪に由来しており、残りのデンプン、繊維およびタンパク質のエネルギーへの貢献度は低い。

DDGS の粗脂肪含有率は約 10% (給餌ベース) で、総脂肪の約 55.7、7.8、0.14 % がそれぞれリノール酸、リノレン酸、DHA である。その結果、DDGS のオメガ 6 : オメガ 3 の比率が高くなっている。粗トウモロコシ油を販売することで高い利益が上がるため、過去 2 年間にわたり、50% を超える米国の 207 のエタノールプラントが DDGS 製造に先立ち油の一部の抽出を始めた。そのため、DDGS の粗脂肪含有率はさらにばらつきが大きくなり (5~12%)、低脂肪 DDGS では可消化エネルギー価が減少する結果となっている。

DDGS に含まれるデンプンの含有率は低く、エタノール製造のためのデンプン発酵の程度に依存し、1.1~7.9 % (乾物ベース) の範囲でばらつきがでることがある (Anderson ら 2012)。DDGS に含まれるデンプンが消化可能であるか、消化抵抗性デンプンであるかは明らかになっていない。

DDGS に含まれる粗繊維、ADF (酸性デタージェント繊維)、NDF (中性デタージェント繊維) および TDF (総食物繊維) の平均値はそれぞれ 6.6、11.1、37.6、31.8%で、TDF の大半 (96.5%) が不溶性繊維である (Urriola ら、2010)。中性デタージェント繊維の含有率は DDGS の栄養成分の中で最もばらつきが大きいものの一つだが、この原因がラボ間で分析測定に相当な差があるためか、トウモロコシの繊維含有率自体が供給源の異なる DDGS 間でこれほどまで異なっているためかはわかっていない。魚を対象とした場合の DDGS の繊維消化率は明らかにされていないが、他の単胃動物種を用いた試験では繊維の消化率は相当高い可能性はあるものの、ばらつきが大きいことが示唆されている。下部消化管での発酵能力が極めて低い一部の動物種と比較すると、繊維含有率の高い飼料を利用する能力がすぐれた魚ほど DDGS の配合率が高い飼料で良好な成績が得られると考えられる。

DDGS に含まれる粗タンパク質含有率 (27%) は比較的高いが、魚のアミノ酸要求量と比較するとリジン、メチオニン、スレオニンおよびトリプトファン含有率は相対的に低い。さらに、供給源の異なる DDGS の中でもすべてのアミノ酸のうちでリジンが最も大きなばらつきを示し、供給源によって DDGS 製造工程での加熱の程度が異なることから、リジンの消化率にもばらつきがある。結果として、高タンパク質を必要とする魚用飼料では、相当量の DDGS が配合されている場合結晶性アミノ酸を補う必要がある。ニジマス用飼料では、明らかにされている DDGS 中のアミノ酸の見かけの消化率は比較的高い値であるが (スレオニンを除くすべての必須アミノ酸の値 > 90%)、他の魚種ではアミノ酸消化率は定まっていない (Cheng と Hardy、2004a)。

DDGS に含まれるリンの含有率 (0.75%) は他の植物主体原材料の値を上回り、エタノール製造工程ではトウモロコシ発酵の段階でフィチン態リンが大量に放出されるため、単胃動物にとっては非常に消化性率が高くなる (Stein と Shurson、2009)。しかしながら、魚を対象とした場合の DDGS のリン消化率と有効リンの値は定められていない。



DDGS ではリボフラビン、ナイアシン、パントテン酸、葉酸およびコリンを含むビタミン類はトウモロコシ値を約 3 倍上回る (Hertrampf と Piedad-Pascual、2000)。DDGS に含まれるカルシウム、塩素、カリウムといったマクロミネラルは魚の要求量に比して量的に少ないため、補う必要がある (Hertrampf と Piedad-Pascual、2000)。さらに、DDGS に含まれる亜鉛、鉄、マグネシウムおよび

銅の含有率は一般的な魚粉の値を下回るが、こうしたマイクロ栄養素の飼料サプリメントを加えるだけで容易に要求量を満たすことができる。DDGS に含まれるキサントフィルの含有率とバイオア

ベイラビリティ、および魚肉の色に及ぼす影響については利用可能なデータは限られているが、文献で報告されているいくつかの数値から、含有率には 3.5~29.8 mg/kg の範囲で大きなばらつきがあることがわかる。

他の植物主体原材料と比較した場合の DDGS の際立ったメリットの一つは、大豆粕（トリプシン阻害物質；Wilson と Poe、1985；Shiau ら、1987）、菜種粕（グルコシノレートやエルカ酸）および綿実粕（ゴシポール；Jauncey と Ross、1982；Robinson、1991）にみられるような反栄養因子を含まず、他の植物由来飼料原材料と比較して低レベルのフィチン酸塩を含んでいることである。

アメリカナマズ (*Ictalurus punctatus*)

Tidwell ら（1990）は 11 週間にわたる試験を実施し、トウモロコシおよび大豆粕を一部置換して DDGS を 0%、10%、20% および 40% 配合した飼料をアメリカナマズの幼魚に給与した。11 週間の給与期間後、飼料群間で個体体重、生存率、飼料要求率およびタンパク質効率（PER）に有意差は認められなかった（表 1）。しかしながら、DDGS を 20% 配合した飼料を給与した魚の体長は他の群の飼料を給与した魚の値をわずかに下回った。

表 1. 4 種類の配合率でジステラーズ・グレイン・ウィズ・ソリュブル（DDGS）を加えた飼料を給与したアメリカナマズ幼魚の体長、生存率、最終体重、飼料要求率およびタンパク質効率（PER）

	0% DDGS	10% DDGS	20% DDGS	40% DDGS
体長 mm	115.2	114.1	107.4	117.8
生存率%	67.5	70.0	80.0	90.0
最終体重 g	17.3	15.2	13.2	16.5
飼料/増体量	2.85	3.23	3.20	2.60
PER	0.99	0.87	0.88	1.05

Webster ら（1993）が実施した試験では、飼料中のトウモロコシおよび大豆粕を一部置換して DDGS を 0%、10%、20% および 30% の配合率で加えた飼料を生け簀で育てたナマズ幼魚に給与した。飼料群間で個体体重、生存率、飼料要求率、骨付き身の組成、骨付き身の廃棄量（頭、皮、内臓）および骨なし切り身の官能特性に違いは認められなかった。この試験から得られた結果は、生育成績、骨付き身の組成、骨なし切り身の風味に悪影響を及ぼすことなく、DDGS をアメリカナマズ用飼料に最大 30% まで配合することが可能であることを示唆している。従って、DDGS はアメリカナマズ用として受容可能な飼料原材料であると考えられる（Tidwell ら、1990；Webster ら、1991）。

Robinson と Li（2008）がアメリカナマズ用飼料の大豆粕を置換する飼料原材料としての綿実粕、DDGS および合成リジンの使用について評価する 2 件の試験を実施した。DDGS + 大豆粕飼料を給与した魚の増体量は対照飼料を給与した魚の値を上回る（試験 1）か、または同程度（試験 2）で、いずれの試験でも DDGS + 大豆粕飼料を給与した魚の飼料要求率は低くなった。DDGS + 大豆粕飼料を給与した魚の体脂肪は対照飼料を給与した魚の値を上回る傾向がみられた。この試験から得られた結果は、アメリカナマズ用飼料に DDGS を最大 30% まで配合する場合、合成リジンを補給することが良好な生育成績を得るために効果的であることを示唆している。

DDGS を 0%、10%、20%、30%および 40%配合し、さらに合成リジンを補給した飼料を等タンパク質ベースで調整された大豆粕およびコーンミール飼料の一部と置換し、ナマズ幼魚（体重 13 g）に 12 週間給与した（Lim ら、2009）。いずれの飼料群でも生育成績および飼料要求率はほぼ同じであったが、DDGS を配合した飼料を給与したナマズの体脂肪は対照飼料を給与した魚の値を上回り、体水分は下回った

同様に、Zhou ら（2010）はナマズ交配種（アメリカナマズ × 青ナマズ *I. Furcatus*）の幼魚に大豆粕とトウモロコシ粕を DDGS で置換した飼料を給与し、DDGS を 30%含む飼料では成長、飼料要求率およびタンパク質保持が良好であることを見いだした。全体として、こうした試験の結果は、生存率、成長および飼料要求率に悪影響を及ぼすことなく DDGS を比較的高い割合（30%）で飼料に配合することが可能であることを示唆している。

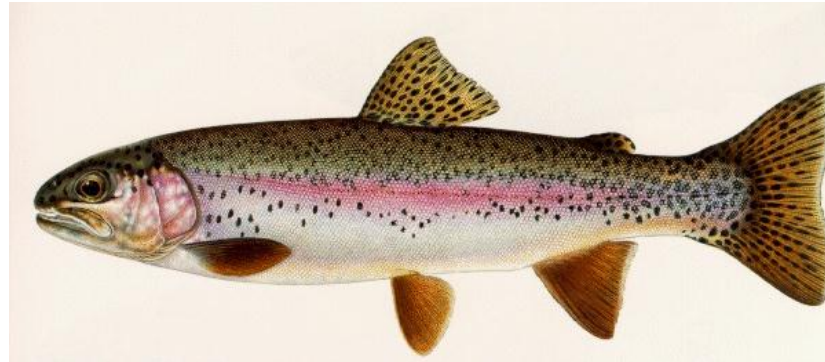


ニジマス (*Oncorhynchus mykiss*)

ニジマス (*Oncorhynchus mykiss*) を初めとする肉食魚の飼料には大量の魚粉が必要とされる（飼料 1 kg 当たり 300 から 500 g）。そのため、魚粉の価格が上昇すると、栄養担当者は魚粉を一部置換する飼料原材料として DDGS 等の代替タンパク質源の評価に着手するようになる。

Cheng と Hardy（2004a）は、ニジマスに給与した場合の DDGS の栄養成分の見かけの消化率係数が高いことを示す未発表データを保有していることを報告した。彼らが評価した異なる供給源に含まれる見かけの消化率係数は粗タンパク質（90.4%）、必須アミノ酸（87.9%のスレオニンを除き>90%）および非必須アミノ酸（75.9%のシスチンを除き>86%）であった。ただし彼らの指摘によれば、DDGS をニジマス用飼料に用いる場合に制限を受ける要素の一つは、リジンおよびメチオニンの含有率が比較的低いことで、これらの値は魚粉に含まれる値を大幅に下回っている。そこで、良好な生育成績を達成するためには、合成のリジンおよびメチオニンを補う必要がある。そのため、

Cheng と Hardy (2004a) は体重 50 g のニジマス用の飼料に含まれる DDGS の栄養価を評価することを目的として、DDGS を 0%、7.5%、15% および 22.5% 配合し、これに合成リジンおよびメチオニンを補給した飼料と補給しない飼料を給与してその影響を見極める 6 週間の給与試験を実施した。本試験の供試魚の生存率はいずれも 100% であった。等窒素および等カロリー・ベースで調製された DDGS を 15% 含んだ、または魚粉の 50% を DDGS で置換した飼料を給与した魚の増体量および飼料要求率は、魚粉主体飼料を給与した魚の値とほぼ同じであった。こうした結果は、合成リジンやメチオニンを補給せずに DDGS を最大 15% まで配合して、あるいは魚粉の最大 50% までを DDGS で置換した飼料を給与することにより、良好な生育成績を達成できることを示唆している。加えて、リジンおよびメチオニンを補給した場合には、ニジマス用飼料に DDGS を 22.5% まで配合、あるいは魚粉の最大 75% まで置換することも可能である。更に Cheng ら (2003) は大豆粕、DDGS および 1.65 g/kg のメチオニン・ヒドロキシル類似体 (MHA) で魚粉の 50% を置換した飼料をニジマス (当初体重 50 g) に給与すると、増体量、飼料要求率、粗タンパク質およびリン保持率は MHA を補給しない同等の飼料を給与した魚の値を大幅に上回ることを示した。



Cheng と Hardy (2004b) は DDGS、フィターゼおよび各種配合率で微量ミネラルのプレミックスを加えた飼料をニジマスに給与した場合に、フィターゼ補給が DDGS に含まれる栄養成分の見かけの消化率係数、生育成績および見かけの栄養保持率に及ぼす影響についても評価

を実施した。様々な割合でフィターゼを添加した (1 kg 当たり 0、300、600、900 および 1200 FTU) DDGS 飼料 (飼料配合率 30%) の見かけの消化率係数は、乾物で 49% から 59%、粗脂肪で 79% から 89%、粗タンパク質で 80% から 92%、総エネルギーで 51% から 67%、アミノ酸で 74% から 97%、ミネラルで 7% から 99% の範囲となった。15% の割合で DDGS を飼料に配合し、リジン、メチオニンおよびフィターゼを補給し、更に様々な割合で微量ミネラルのプレミックスを補給しても、微量ミネラル補給のない飼料を除き、すべての飼料群で増体量、飼料要求率、生存率、体組成および見かけの栄養成分保持率に差は認められなかった。こうした結果は、フィターゼがほとんどのミネラルの放出に有効であり、ニジマス用飼料にフィターゼを添加すれば微量ミネラルの補充量を低減させることが可能であることを示唆している。

Stone ら (2005) は押出成形加工処理がコーングルテンミールおよびトウモロコシ DDGS を含むニジマス用飼料の栄養価に及ぼす影響を評価し、飼料中の魚粉の置換程度は DDGS 対コーングルテンミールの比率に依存することを見いだした。彼らの試験結果は、こうしたトウモロコシ併産物の飼料配合率が 18% 以下の場合には、生育成績に悪影響をおよぼすことなく、実際に給与する飼料に含まれる魚粉の約 25% を置換することが可能であることを示唆している。加えて、トウモロコシ DDGS およびコーングルテンミールが配合された飼料を押出成形加工してもコールドペレット飼料ほどの効果がないことも明らかになった。

ティラピア (*Oreochromis niloticus*)

ティラピア (*Oreochromis niloticus*) は世界中で最も人気のある温水養殖魚である。Wu ら (1994) の報告では、コーングルテンミール (18%) またはトウモロコシ DDGS (29%) が配合され、粗タンパク質含有率が 32% または 36% の飼料をティラピア (当初体重 30g) に給与した結果、増体量は魚粉が配合された粗タンパク質 36% の市販配合飼料を給与した魚の値を上回った。その後の試験で、Wu ら (1996) は DDGS を最大 49% まで配合した飼料、コーングルテンフィードを 42% まで配合した飼料、またはコーングルテンミールを 22% まで配合した飼料を、粗タンパク質含有率 32%、36% または 40% で、以前の試験で用いたものより小型のティラピア (当初体重 0.4 g) に 8 週間給餌し、生育反応を評価した。8 種類の飼料の中で最も増体量が上昇したのは、タンパク質 36% の市販対照飼料およびタンパク質 40% で DDGS を 35% 配合した飼料であった。最も飼料要求率が高かったのは対照飼料 (1.05) とタンパク質含有率が 40% の 2 飼料で、この 2 飼料は DDGS を 35% 配合した飼料 (1.13) およびコーングルテンフィードを 30% (1.12) 配合した飼料であった。最もタンパク質効率 (増体重/タンパク質摂取量) が高かったのは、対照飼料 (3.79) ならびにタンパク質含有率が 36% の 2 飼料で、これらは DDGS を 49% 配合した飼料 (3.71) とコーングルテンフィードを 42% 配合した飼料 (3.55) であった。これらの結果から研究者らは、32%、36% および 40% のタンパク質を含み、タンパク質含有率が 16%~49% の高タンパク質エタノール併産物を含む飼料をティラピア稚魚に給与すると、良好な増体量、飼料要求率およびタンパク質効率を得られると結論付けた。

養殖魚飼料に DDGS を使用する場合には、トウモロコシ併産物 (DDGS、コーングルテンフィード、コーングルテンミール) および合成アミノ酸を高率で配合した低タンパク質飼料が良好な生育成績達成に役立つか否かを知ることもまた大変重要である。Wu ら (1997) は 28% または 32% のタンパク質、合成のリジンおよびトリプトファンを含み、トウモロコシ併産物を 54%~92% 配合した飼料を 8 週間にわたってティラピア稚魚 (当初体重 0.5 g) に給与して生育成績を評価した。タンパク質含有率が 28% で DDGS を 82% 配合し、合成リジンおよびトリプトファンを添加した飼料、またはコーングルテンフィードを 67% および大豆粉を 26% 配合した飼料を給与した魚の飼料要求率 (1.76 vs. 1.43) およびタンパク質効率 (1.82 vs. 2.21) とタンパク質含有率が 32% の対照飼料 (FCR=1.25、PER=2.05) を給与した場合の値との間に有意差は見られなかった。これらの結果から、合成アミノ酸を補給して DDGS および他のトウモロコシ併産物を効率的に使用すれば、ティラピア幼魚用飼料については植物性原材料だけで調製して魚粉すべてを置換できる可能性のあることが示唆される。

Tidwell ら (2000) は、生け簀で淡水エビとともに複合養殖したナイル・ティラピアにペレット加工した DDGS およびペレット加工していない DDGS を給与し、ティラピアの成長率、生存率および体組成についての評価を実施した。ペレット加工した DDGS 飼料を給与したティラピアの成長率はペレット加工していない DDGS を給与した魚の値を上回ったが、市販のナマズ用飼料を給与した魚の個体体重、個体体長、成長率および飼料要求率は、ペレット加工の有無に関わらず、DDGS を給与したティラピアの値を上回った。市販飼料を給与したティラピアの成長率は、ペレット加工の有無に関わらず、DDGS を給与したティラピアの値を有意に上回ったが、生産コスト (増体量 \$0.66/kg) も有意に上回った (DDGS 飼料ではペレット加工していない飼料で増体量 \$0.26/kg、ペレット加工した飼料で \$0.37/kg)。エビの収率は 1,449kg/ha で、ティラピアを加えて複合養殖をすることによって池全体の生産性は 81% 上昇した。この研究者らは、DDGS 飼料を給与することによって経済的にティラ



ピアを成長させることができ、温帯気候下での養殖池における淡水エビの生産という点からも、ティラピアとの複合養殖が池全体の効率改善に役立つ可能性がある」と結論付けた。

ナイル・ティラピア幼魚（体重 9.4 g）に大豆粕およびコーンミールの一部を置換して DDGS を 0%、10%、20%および 40%配合した飼料、ならびに DDGS を 40%配合しかつ合成リジンを補給した飼料を 10 週間給与し、さらに *Streptococcus iniae* を投入した（Lim ら、2007）。増体量、タンパク質効率、全魚体中タンパク質および飼料要求率の値が最も低かったのは DDGS を 40%配合した飼料を給与したティラピアであったが、DDGS を 40%配合し、かつ合成リジンを補給した飼料を給与したティラピアでは増体量およびタンパク質効率の改善が認められた。DDGS 配合飼料を給与しても、最初の斃死が起こるまでの日数、菌投与後 14 日間の累積斃死率ならびに血液学および免疫学的なパラメータには変化が認められなかった。本試験の筆者らは、生育成績、体組成、血液学的反応、免疫学的反応および *Streptococcus iniae* 感染への耐性に影響を及ぼすことなく、飼料に DDGS を最大 20%まで配合して大豆粕およびコーンミールを一部置換することが可能であると結論付けた。

Abo-State ら（2009）は 0~100%まで段階的に増加させた割合で大豆粕を DDGS と置換し、フィターゼを添加した飼料と添加しない飼料とをナイル・ティラピア（当初体重 2 g）に給与し、DDGS を 0%、25%および 50%を配合し、かつフィターゼを添加した飼料を給与した場合に、最も優れた成長率と飼料要求率が得られることを見いだした。Schaeffer ら（2009）は 2 件の試験を実施してティラピア（当初体重 35 g）飼料としての DDGS の使用について評価した。魚粉を部分的に置換して DDGS を 0%、17.5%、20%、22.5%、25%および 27.5%配合した飼料を給与しても飼料群間に見かけの消化率の違いは観察されなかったが、増体量、飼料要求率およびタンパク質効率（PER）は DDGS 0%飼料を給与したティラピアで最も高くなった。ただし、飼料要求率および PER については、DDGS17.5%配合飼料の場合にこれを上回る値となった。2 回目の試験では、DDGS を 20%、25%、および 30%配合し、プロバイオティクスを添加した飼料としない飼料をナイル・ティラピアに給与し、いずれの飼料でも増体量、飼料要求率および PER に差のないことを見いだした。

こうした試験の結果は、DDGS が非常に経済性の高いティラピア飼料原材料となり得ること、また、適切なアミノ酸補給を行えば、比較的高い割合で飼料に配合しても良好な結果を得られることを示唆している。

サンシャインバス (*Morone chrysops* x *M-saxatilis*)

近年 Thompson ら（2008）が実施した試験では、サンシャインバスの実用飼料に用いられている 2 種類の魚粉、2 種類の家禽副産物ミール、大豆粕および DDGS に含まれる乾物、タンパク質、脂肪および有機物の消化率評価が実施された。DDGS 給与群のタンパク質（65%）および有機物（17%）の見かけの消化率係数が最も低く、メンヘーデン魚粉給与群のタンパク質および有機物の消化率係数が最も高かった（それぞれ 86%と 89%）。本試験で用いられた DDGS の品質については明記されていないが、本試験で観察されたタンパク質および有機物の消化率の低さから DDGS の品質も低いものと推察できる。本試験の結果は、飼料に DDGS を配合することで良好な成績を得たとする先に実施された他の魚種を対象とする複数の試験の結果とは対照的であり、満足のいく生育成績および栄養成分の消化率を得るためには、養殖用飼料には品質のよい供給源の DDGS のみを使用する必要のあることを示唆している。

淡水エビ (*Macrobrachium rosenbergii*)

淡水エビを対象とした DDGS 配合飼料の給与試験が複数実施されている。最初の試験では、Tidwell ら (1993a) が DDGS を 0%、20% および 40% 配合した 3 種類の等窒素飼料 (粗タンパク質 29%) のいずれかを淡水稚エビ (0.66 g) に給与した。飼料群間で平均収率 (833 kg/ha)、生存率 (75%)、個体体重 (57 g) および飼料要求率 (3.1) に差は認められなかった。こうした結果により、DDGS を実際の飼料に最大 40% まで配合して、19,760/ha の密度で養殖されたエビが良好な成績を達成できることが示された。

その後実施された試験で、Tidwell ら (1993b) は池で養殖されている淡水稚エビ (0.51 g) 用飼料に含まれる魚粉の一部を大豆粕および DDGS で置換した場合の影響を評価した。3 種類の配合は粗タンパク質含有率が 32% で、魚粉配合率が 15%、7.5% または 0% となるように調製した。魚粉は一定の割合の DDGS (40%) および各種割合の大豆粕で置換した。飼料群間で平均収率、生存率、個体体重および飼料要求率に差は見られなかった。彼らは、魚粉を大豆粕および DDGS で置換することによって、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の飼料中含有率が上昇し、アスパラギン酸、グリシン、アルギニンおよびリジンの含有率が低下することを見いだした。魚粉を大豆粕および DDGS で置換すると飼料中の脂肪酸組成も変化する。16:0、18:2n-6 および 20:1n-9 の含有率が増加し、14:0、16:1n-7、18:1n-9、18:3n-3、20:5n-3、22:5n-3 および 22:6n-3 の含有率が低下した。こうした結果は、温帯地域の池で養殖される淡水エビ用飼料に用いられる魚粉の一部または全部を大豆粕および DDGS で置換することが可能であることを示唆している。Coyle ら (1996) は、稚エビ (> 2g) は DDGS を直接摂取することができ、DDGS は飼料としてだけでなく池の肥料として、二役を担える可能性のあることを示した。

パシフィックホワイトシュリンプ (*Litopenaeus vannamei*)

アラバマ州西部の内陸部の低塩分水系において、エビ用飼料に配合されている魚粉 (10%) を家禽ミール、ピーミールまたは DDGS を用いて重量ベースで置換した場合の数値を調べる試験が実施された (Lim ら、2009)。飼料群間で成長率、生存率および飼料要求率の差は認められず、家禽ミール、ピーミールおよび DDGS は低塩分水系で養殖されるエビのタンパク質源として、効果的に魚粉を代替することが可能であることが示唆された。

DDGS の潜在的な健康メリット

養殖用飼料に DDGS を加えることで、魚類の免疫状態および一部の病気に対する耐性の改善に効果を発揮すると考えられる。Lim と同僚ら (2009) はアメリカナマズに DDGS を 40% 配合した飼料を給与することによって、*Edwardsiella ictaluri* への耐性獲得につながることを示したが、これは恐らくヘモグロビンおよびヘマトクリット値、総血清免疫グロブリンならびに投与 21 日後の抗体価が上昇するためと考えられる。同様に、Lim ら (2007) はナイル・ティラピア (*Oreochromis niloticus*) に DDGS を 40% 配合した飼料を給与して、*Streptococcus iniae* への耐性が改善することを見いだした。研究者らは、DDGS のおおよそ 4~7% を占める生物活性を有する酵母由来化合物がこうしたプラス反応に貢献する要素であると推測している。DDGS に含まれるこうした化合物の含

有レベルについて発表されているデータは限定的であるが、DDGS の β -グルカン含有率は約 8% である。

DDGS 飼料の押出成型加工処理

一般に、DDGS に高率で含まれる繊維は厄介で、特に DDGS の配合率が高い場合に問題となる。研究者らは、押出成型加工やペレット加工される DDGS 飼料の品質に最も影響を及ぼす要素が金型の形状、温度、含水率およびスクリー速度であると見極めた。数種の結合剤を添加するとペレットの耐久性および単位密度が改善される。特殊な条件下で製造することのできる DDGS を 60% 配合した浮き餌は単位密度が $0.24 \text{ g/cm}^3 \sim 0.61 \text{ g/cm}^3$ で水に浮き、耐久値が 96~98% の範囲である (Chevanan ら、2007 ; 2009)。

まとめ

養殖用飼料としての DDGS の使用は限定的であるが、良好な成績を達成し、飼料コストを低減する目的で大量に用いられる可能性は存在する。DDGS の飼料配合率は繊維の利用能が高い魚種で最も高くなるが、置換原材料の種類および飼料に配合する他のタンパク質源（例えば、魚粉）の量に依存して変化する。DDGS の粗タンパク質含有率はある程度高いが、リジン、メチオニンおよびその他のアミノ酸類の含有率は比較的低いため、DDGS を高率で配合する場合には要求量を満たすために、こうしたアミノ酸を補給する必要がある。高タンパク質養殖飼料では、適切なアミノ酸補給原材料を添加しない場合、DDGS の配合率は低くなると考えられる。DDGS にはリノール酸が多く含まれるが、その他の必須脂肪酸は少ない。養殖用飼料に DDGS を配合するメリットとして、可消化リンの優れた供給源であること、栄養阻害要因について心配する必要のないこと、免疫上の恩恵が受けられること、適切な押出成型加工処理条件を用いることにより高品質ペレットを製造することが可能であることができる。アメリカナマズおよびティラピアには 20~40%、ニジマスには 15% の DDGS を飼料に配合して効果的に用いることができる。養殖用飼料としての DDGS のメリットおよび限度をより明確に規定し、最適な飼料配合率を確定するためには更なる試験が待たれる。

最近の研究試験に基づいた DDGS の最大飼料配合率を表 2 に示した。こうした科学報告書のいずれも DDGS の出所や品質に言及していないが、特に配合率が高い場合は、各栄養成分の消化率を最大にするために、明るいゴールデンカラーの DDGS を用いるべきである。

表 2. 現時点での魚種別 DDGS 最大飼料配合率の推奨値

魚種	% DDGS	注釈
ナマズ	最大 30%	
マス	最大 15%	合成リジンおよびメチオニンの補給なし
マス	最大 22.5%	合成リジンおよびメチオニンの補給あり
サケ	最大 10%	
淡水エビ	最大 40%	飼料中の魚粉の一部またはすべてを置換可能
エビ	最大 10%	飼料中の魚粉相当量を置換可能
ティラピア	最大 20%	高タンパク質飼料 (40% CP) で合成リジンなどの補給なし

ティラピア 最大 82% 低タンパク質飼料 (28% CP) で合成リジンおよびトリプトファンの補給あり

References

- Abdelghany, A.E. 2003. Partial and complete replacement of fish meal with gambusia meal in diets for red tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. mossambicus*. *Aquaculture Nutrition* 9:145-154.
- Abo-State, H.A., A.M. Tahoun, and Y.A. Hammouda. 2009. Effect of replacement of soybean meal by DDGS combined with commercial phytase on Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings growth performance and feed utilization. *American-Eurasian J. Ag. And Env. Sci.* 5:473-479.
- Anderson, P.V., B. J. Kerr, T. E. Weber, C. Z. Ziemer, and G. C. Shurson. 2012. Determination and prediction of energy from chemical analysis of corn co-products fed to finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 90:1242-1254.
- Cheng, Z.J., R.W. Hardy, and M. Blair. 2003. Effects of supplementing methionine hydroxyl analogue in soybean meal and distiller's dried grain-based diets on the performance and nutrient retention of rainbow trout [*Oncorhynchus mykiss*(Walbaum)]. *Aquaculture Research* 34:1303-1310.
- Cheng, Z.J. and R.H. Hardy. 2004a. Effects of microbial phytase supplementation in corn distiller's dried grains with solubles on nutrient digestibility and growth performance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *J. Appl. Aquacult.* 15:83-100.
- Cheng, Z.J. and R.W. Hardy. 2004b. Nutritional value of diets containing distiller's dried grain with solubles for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *J. Appl. Aquacult.* 15:101-113.
- Chevanan, N., K.A. Rosentrater, and K. Muthukumarappan. 2007. Twin screw extrusion processing of feed blends containing distillers dried grains with solubles. *Cereal Chemistry* 84:428-436.
- Chevanan, N., K. Muthukumarappan, and K.A. Rosentrater. 2009. Extrusion studies of aquaculture feed using dried distillers grains with solubles and whey. *Food and Bioprocess Technology* 2:177-185.
- Coyle, S., T. Najeeullah, and J. Tidwell. 1996. A preliminary evaluation of naturally occurring organisms, distiller by-products, and prepared diets as food for juvenile freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*). *J. Appl. Aquacult.* 6:57-66.
- Gatlin, D.M., III, F.T. Barrows, P. Brown, K. Dabroski, T.G. Gaylord, R.W. Hardy. 2007. Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: a review. *Aquaculture Research* 38:551-579.
- Hertrampf, J.W and F. Piedad-Pascual. 2000. Distillery by-products. In: *Handbook on Ingredients for Aquaculture Feeds*, pp. 115-124. Boston, MA. Kluwer Academic Publishers.
- Jauncey, K., and B. Ross. 1982. *A guide to tilapia feeds and feeding*. University of Stirling, Institute for Aquaculture, Stirling, UK.
- Lim, C., J.C. Garcia, M. Yildirim-Aksoy, P.H. Klesius, C.A. Shoemaker and J.J. Evans. 2007. Growth response and resistance to *Streptococcus iniae* of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, fed diets containing distiller's dried grains with soluble. *J World Aquac. Soc.* 38(2):231-237.
- Lim, C., M. Yildirim-Aksoy, and P.H. Klesius. 2009. Growth Response and Resistance to *Edwardsiella ictaluri* of Channel Catfish, *Ictalurus punctatus*, Fed Diets Containing Distiller's Dried Grains with Solubles. *J. World Aquac. Soc.* 40(2):182-193.
- Mbahinzirek, G.B., K. Dabrowski, K.J. Lee, D. El-Saidy, and E.R. Wisner. 2001. Growth, feed utilization and body composition of tilapia fed cottonseed meal-based diets in a recirculating system. *Aquaculture Nutrition* 7:189-200.
- Robinson, E.H. 1991. Improvement of cottonseed meal protein with supplemental lysine in feeds for channel catfish. *J. Appl. Aquacult.* 1 (2):1-14.

- Robinson, E.H. and M.H. Li. 2008. Replacement of soybean meal in channel catfish, *Ictalurus punctatus*, diets with cottonseed meal and distiller's dried grains with solubles. *J. World Aquac. Soc.* 39(4):521-527.
- Schaeffer, T.W. 2009. Performance of Nile tilapia and yellow perch fed diets containing distillers dried grain with soluble and extruded diet characteristics. M.S. Thesis. South Dakota State University, Brookings, SD.
- Shiau, S.Y., J.L. Chuang, and G.L. Sun. 1987. Inclusion of soybean meal in tilapia (*Oreochromis niloticus* x *O. aureus*) diets at two protein levels. *Aquaculture* 65:251-261.
- Sklan, D., T. Prag, and I. Lupatsch. 2004. Apparent digestibility coefficients of feed ingredients and their prediction in diets for tilapia *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus* (*Teleostei, Chichlidae*). *Aquaculture Research* 35:358-364.
- Spiehs, M.J., M.H. Whitney, and G.C. Shurson. 2002. Nutrient database for distiller's dried grains with solubles produced from new ethanol plants in Minnesota and South Dakota. *J. Anim. Sci.* 80:2639-2645.
- Stein, H. H., and G. C. Shurson. 2009. BOARD-INVITED REVIEW: The use and application of distillers dried grains with solubles in swine diets. *J Anim Sci* 87: 1292-1303.
- Stone, D.A.J., R.W. Hardy, F.T. Barrows, and Z.J. Cheng. 2005. Effects of extrusion on nutritional value of diets containing corn gluten meal and corn distiller's dried grain for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *J. Appl. Aquacult.* 17:1-20.
- Thompson, K.R., S.D. Rawles, L.S. Metts, R. Smith, A. Wimsatt, A.L. Gannam, R.G. Twibell, R.B. Johnson, Y.J. Brady, and C.D. Webster. 2008. Digestibility of dry matter, protein, lipid, and organic matter of two fish meals, two poultry by-product meals, soybean meal, and distiller's dried grains with solubles in practical diets for sunshine bass, *Morone chrysops* x *M-Saxatilis*. *J. World Aquac. Soc.* 39(3):352-363
- Tidwell, J.H., C.D. Webster, and D.H. Yancey. 1990. Evaluation of distillers grains with solubles in prepared channel catfish diets. *Transactions of the Kentucky Academy of Science* 51:135-138.
- Tidwell, J.H., C.D. Webster, J.A. Clark, and L.R. D'Abramo. 1993a. Evaluation of distillers dried grains with solubles as an ingredient in diets for pond culture of the freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii*. *J. World Aquacult. Soc.* 24:66-70.
- Tidwell, J.H., C.D. Webster, D.H. Yancey, and L.R. D'Abramo. 1993b. Partial and total replacement of fish meal with soybean meal and distiller's by-products in diets for pond culture of the freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*). *Aquaculture* 118:119-130.
- Tidwell, J.H., S.D. Coyle, A. VanArnum, C. Weibel, and S. Harkins. 2000. Growth, survival, and body composition of cage cultured Nile tilapia *Oreochromis niloticus* fed pelleted and unpelleted distillers grains with solubles in polyculture with freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii*. *J. World Aquacult. Soc.* 31:627-631.
- Urriola, P.E., G.C. Shurson, and H.H. Stein. 2010. Digestibility of dietary fiber in distillers coproducts fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 88:2373-2381.
- Webster, C.D., J.H. Tidwell, and D.H. Yancey. 1991. Evaluation of distillers grains with solubles as a protein source in diets for channel catfish. *Aquaculture* 96:179-190.
- Webster, C.D., J.H. Tidwell, L.S. Goodgame, and P.B. Johnsen. 1993. Growth, body composition, and organoleptic evaluation of channel catfish fed diets containing different percentages of distiller's grains with solubles. *The Progressive Fish-Culturist* 55:95-100.
- Wilson, R.P., and W.E. Poe. 1985. Effects of feeding soybean meal with varying trypsin inhibitor activities on growth of fingerling channel catfish. *Aquaculture* 46:19-25.
- Wu, Y.V., R.R. Rosati, D.J. Sessa, and P.B. Brown. 1994. Utilization of protein-rich ethanol coproducts from corn in tilapia feed. *Journal of American Oil Chemists Society* 71:1041-1043.
- Wu, Y.V., R.R. Rosati, and P.B. Brown. 1996. Effect of diets containing various levels of protein and ethanol coproducts from corn on growth of tilapia fry. *J. Agric. Food Chem.* 44:1491-1493.
- Wu, Y.V., R.R. Rosati, and P.B. Brown. 1997. Use of corn-derived ethanol coproducts and synthetic lysine and tryptophan for growth of tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry. *J. Agric. Food Chem.* 45:2174-2177.

Zhou, P., W. Zhang, D.A. Davis, and C. Lim. 2010. Growth response and feed utilization of juvenile hybrid catfish fed diets containing distiller's grains with solubles to replace a combination of soybean meal and corn meal. *N. Amer. J. Aquaculture* 72:298-303.