

第 8e 章

動物飼料としての DDGS の使用

養殖

はじめに

養殖は世界で最も成長の著しい食品生産業界である。長年、魚用の市販飼料の主たるタンパク質源として魚粉が用いられてきた。ところが、世界の魚粉生産量が減少し、魚粉価格が上昇してきたため、魚の栄養担当者は魚粉よりも価格の安い植物性タンパク質源の使用について検討し始めた。旧来より、魚用飼料として用いる場合の植物性タンパク質源は魚粉に劣ると考えられてきた。しかしながら、飼料に 2 種類以上の相互補完的な植物性タンパク質（DDGS と大豆粕）を加えると、飼料中の魚粉のすべてを置換できる可能性がある。そのため、魚の栄養担当者は、飼料コストを抑えることを目的として、価格の高い魚粉を減らすか代替する手段として使用するため、植物性タンパク質源の評価を継続的に進めている。その結果として、タンパク質含有率がある程度高く、リン含有率が比較的低く、魚粉に比べて価格の安い DDGS が世界中の養殖業界で注目を集めることになった。加えて、DDGS には大豆粕（トリプシンインヒビター）や綿実粕（ゴシポール）等の他のタンパク質源に含まれている栄養阻害因子が含まれていない。

世界中の家畜生産および家禽生産と同様に、養殖においても遵守しなければならない環境規制が増加している。養殖場から排出される水に含まれる栄養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。

アメリカナマズ (*Lctalurus punctatus*)

アメリカナマズ用飼料に DDGS を用いた場合の魅力ある利点の一つは、大豆粕（トリプシンインヒビター- Wilson と Poe, 1985; Shiao ら, 1987）や綿実粕（ゴシポール- Jauncey と Ross, 1982; Robinson, 1991）等の他のタンパク質源に含まれている栄養阻害因子が DDGS には含まれていないことである。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ジステラーズ・グレイン・ウィズ・ソリュブルを 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、異なる飼料間で個体体重、生存率、飼料要求率およびタンパク質効率に有意差は認められなかった（表 1）。しかし、DDGS を 20% 配合した飼料を給与した魚の体長はその他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、終了時体重、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
終了時体重、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。異なる飼料間で個体体重、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嗜好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、成長成績、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)。

最近では、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綿実粕、DDGS および合成リジンを使用・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、飼料に合成リジンを添加する場合には、アメリカナマズ用飼料に DDGS を最大 30% まで配合することで、良好な成長成績の達成に役立てることができることを示唆している。

アメリカナマズ用飼料に DDGS を配合することによって得られるこの他の利点として、エドワードジエラ・イクタルリに対する抵抗力の改善という点をあげることができる (Lim ら、2009)。DDGS を 0%、10%、20%、30% および 40% 配合し、さらに合成リジンを添加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。いずれの飼料群でも成長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、水分は下回った。エドワードジエラ・イクタルリに対する抵抗力が増加するのは、対照飼料を給与した魚と比較して、DDGS を配合した飼料を給与した魚ではヘモグロビン値、ヘマトクリット値および血清免疫グロブリン値が上昇するためと考えられる。更に、DDGS を 30% 配合した飼料を給与した魚では、エドワードジエラ・イクタルリ投与後 21 日間抵抗値が上回った。これは DDGS を配合した飼料を給与することによって免疫状態および魚の病気のいくつかに対する抵抗力を向上させる可能性を科学的に証明した初めての試験である。

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を開始する。

Cheng と Hardy (2004a) は、ニジマスに給与する場合の 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が有ることを報告した。粗タンパク質、必須アミノ酸および非必須アミノ酸の見かけの消化率係数はそれぞれ 90.4%、> 90% (スレオニンを除く、87.9%)、> 86% (シスチンを除く、75.9%) 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、最も含有量の少ないアミノ酸 (リジンおよびメチオニン) の含有率が相

対的に低いことで、これらの値は魚粉に含まれる値を大幅に下回っている。そのため、良好な成長成績を達成するためには、合成リジンおよびメチオニンを添加する必要がある。

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添加した飼料と添加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% 含む飼料、あるいは魚粉の 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、これは、合成リジンおよびメチオニンを添加せずに 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して良好な成長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添加した場合には、ニジマス用飼料に DDGS を最大 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 およびメチオニン・ハイドロキシル類似体 (MHA) 1.65 g/kg で魚粉の 50% を置換した飼料をニジマス (開始体重 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 を添加しない同等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、フィターゼ添加が DDGS に含まれる栄養成分の見かけの消化率係数、成長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%、粗脂質で 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添加し、更に様々な割合で微量ミネラルのプレミックスを補充しても、微量ミネラル補充のない飼料を除き、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、フィターゼは大半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・ジスチラーズ・ドライド・グレインが含まれた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割合は 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副産物の飼料配合率が 18% 以下の場合には、成長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・ドライド・ジスチラーズ・グレインおよびコーングルテンミールが配合された飼料の押出成形加工処理はコールドペレット飼料に比べて利点のないことも明らかになった。

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。異なる飼料間で平均収率 (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を示した。

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。異なる飼料間で、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の濃度が増加し、14:0、16:1n-7、18:1n-9、18:3n-3、20:5n-3、22:5n-3および22:6n-3の濃度が低下した。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すべてを大豆粕および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では、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ための試験が実施された（Limら、2009）。異なる飼料間で成長率、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（pea meal） 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。

ティラピア (*Oreochromis niloticus*)

ティラピア (*Oreochromis niloticus*) は世界中で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%の飼料を開始体重 30g のティラピアに給与した結果、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（開始体重 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（5,320%増）およびタンパク質 40%で DDGS を 35%配合した飼料（5,100 %増）であった。最も飼料要求率が高かったのは対照飼料（1.05）ならびに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 2 飼料は DDGS を 49 %配合した飼料（3.71）または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、タンパク質含有率が 16%から 49%の高タンパク質エタノール併産物とタンパク質含有率が 32%、36%および 40%の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に結びつく結論付けた。

養殖魚飼料に DDGS を使用する場合には、トウモロコシ由来エタノール併産物（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成長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、合成リジンおよびトリプトファンを含み、エタノール併産物を 54%から 92%配合した飼料を 8 週間にわたってティラピア稚魚（開始体重 0.5 g）に給与して成長成績を評価した。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) を給与した魚の値との間に統計的有意差は見られなかった。これらの結果から、DDGS および他のエタノール併産物に合成アミノ酸を添加することで、ティアピア幼魚用飼料を植物性原材料だけで調製し、魚粉をすべて植物性飼料原材料に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、生存率および魚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の体重、体長、比成長速度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。市販の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、生産コストも有意に (増体量1kg当たり\$0.66) 上回った (ペレット加工していないDDGS 飼料では増体量1kg当たり\$0.26、ペレット加工したDDGS 飼料では増体量1kg当たり\$0.37)。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して結論付けた。

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追加した飼料を 10 週間給与し、*Streptococcus iniae* を投与した (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、かつ合成リジンを追加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、第一斃死までの日数、菌投与後 14 日間の累積斃死率ならびに血液学的パラメータおよび免疫学的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、成長成績、体組成、血液学的反応、免疫学的反応および *Streptococcus iniae* の感染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。

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および有機物の見かけの消化率係数が最も低く (それぞれ 65%と 17%)、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、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考えられ、この試験結果は複数の動物種を対象とした他の給与試験の結果とは一致しない。

まとめ

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には、各栄養成分の消化率が高くなるよう、明るい黄金色の DDGS を用いるべきである。

表 2. 現時点での魚種別DDGS最大飼料配合率の改訂推奨値

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添加なし
マス	最大 22.5%	合成リジンおよびメチオニンの添加あり
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サプリメント添加なし
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添加あり

References

- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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 co-products 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.