

## 第7章

### 養殖水産動物用飼料および産卵鶏用飼料における トウモロコシたん白濃縮物（CPC）の栄養特性および飼料価値

#### 初めに

歴史的に、魚粉は養殖水産動物用飼料に使用される「ゴールド・スタンダード」で、粗たん白質（CP）含量が高い飼料原料であるが、今後も継続的に使用して行くことが難しい状況にある（Naylor ら、2009）。このため、魚粉に代わる適切な飼料原料の探索が不可欠であり、一般的に、穀物、油糧種子および豆類からのたん白濃縮物が有力な代替品であると考えられている。残念なことに、魚粉配合量が少なく、CPC や DDGS などの植物由来の代替たん白質原料の配合量が高く、アミノ酸を含むすべての既知の必須栄養素の要求量が充足されているようにみなされる飼料を給与した場合、特に肉食魚の場合には最適な発育成績やたん白効率が得られない可能性がある（Gomes ら、1995； Davies ら、1997； Refstie ら、2000； Martin ら、2003； Gómez-Requeni ら、2004）。植物性たん白質源を比較的多量に給与した魚類における発育成績の低下には、飼料摂取量の減少；抗栄養因子、アナボリック・ステロイドおよび植物性エストロゲンの供給；未確認の栄養素の不足；必須アミノ酸の不均衡を含むいくつかの潜在的な要因がある（Gatlin ら、2007； Glencross ら、2007； Krogdahl ら、2010）。適切な発育成績が得られない最も可能性が高い要因は、植物主体のたん白質源によってもたらされる可消化アミノ酸の不足である。可消化アミノ酸の不足を是正するためには、CPC などのトウモロコシ併産物を含む植物主体のたん白質源を配合したすべての飼料に結晶アミノ酸を補給する必要がある。さらに、Brezas and Hardy (2020) は、植物主体のたん白原料の原動力は、最終的に発育に影響を及ぼす可能性があるアミノ酸の消化と吸収の同期性と均一性により影響を受ける可能性があることを示唆している。したがって、養殖水産動物用飼料に CPC などの CP 含量が高いトウモロコシ併産物を配合して最適な発育およびフィレ肉の組成を得るためには、魚粉の利用に頼るだけでなく、栄養上の課題は残っているものの、適切な量の合成アミノ酸を補給することで克服出来る可能性がある。

#### AAFCO による CPC の定義

CPC の CP 含量は 80% であり、この点で他のすべてのトウモロコシ併産物と異なっている。乾式粉碎方式のエタノール工場生産されるトウモロコシ発酵たん白質（CFP）や高たん白 DDG（HP-DDG）で用いられる製造工程とは異なり、CPC の製造には独自の湿式粉碎方式が用いられている。CPC は、米国の Cargill Corn Milling 社で生産され Empyreal® 75 という製品名で販売されている。さらに改良されたプロセスを用いて生産されたリジ

ン (Lys) 含量が高くアミノ酸組成が改善された Lysto™という製品も存在する (Yu ら、2013)。CPC は CP 含量が非常に高く、全ての魚種における養分要求量を充足させるために必要な高い飼料中 CP とアミノ酸含量を維持しながら、養殖水産動物飼料中の魚粉 (CP : 64%) を部分的あるいは完全に置き換えることが可能な飼料原料として大きな関心を集めている。米国飼料検査官協会 (AFCO) では、CPC を次のように定義している。

#### 48.89 Corn Protein Concentrate

「CPC は、湿式粉碎方式の工程から得られるたん白質画分を酵素により可溶化して非たん白質成分の大部分を除去したもので、主に胚乳に由来するトウモロコシの乾燥たん白質画分である。トウモロコシのたん白質画分のたん白質含量は乾物換算で 80%以上、でん粉含量は 1%以下でなければならない。製品には「原物換算」で表示されたラベルを付ける必要がある。この画分には、発酵したトウモロコシの抽出物、トウモロコシ胚芽粉およびその他の非たん白質成分を含んではならない。粉塵を減らすために、植物油または AAFCO の公式刊行物 (Official Publication) のセクション 87 で定義しているその他の適切な成分を 3%以下の濃度で添加することができる。防カビ剤を使用する場合は追加成分としてその名称を表示する必要がある。」

このように、CPC には主にトウモロコシの胚乳由来のたん白質が含まれているため、他のトウモロコシ併産物と比べて粗繊維と粗灰分の含量が著しく低い。さらに、CPC には CFP が含んでいるような酵母は含まれていない。

#### CPC の栄養特性

CPC の栄養特性に関する公表データは少ないが、Empyreal® 75 に関するいくつかの仕様書と情報がオンラインで入手できる ([https://agripermata.com/brochure/commodity/corn\\_protein\\_concentrate/brochure2.pdf](https://agripermata.com/brochure/commodity/corn_protein_concentrate/brochure2.pdf))。Yu ら (2013) は、2 製品の CPC の成分組成をメンハーデン魚粉、脱皮大豆粕およびコーングルテンミール (CGM) と比較している (表 1)。CPC の CP 含量は、魚粉 (64%)、CGM (65%) および脱皮大豆粕 (50%) よりもはるかに高く、大豆粕および魚粉に比べて Lys およびトリプトファン (Trp) 含量が低い。さらに、CPC および CGM には、イソロイシン (Ile)、バリン (Val) および Trp の利用を妨げるロイシン (Leu) 含量が著しく高い。本ハンドブックの第 1 章において、単胃動物用飼料中におけるすべてのトウモロコシ併産物由来のトウモロコシたん白質のアミノ酸組成の不均衡を管理する手法を概説している。

表 1. 2 製品の CPC の成分組成 (原物値) と、メンハーデン魚粉、脱皮大豆粕およびコーングルテンミール (CGM) の比較 (Yu ら、2013 より引用)

分析値、%	魚粉	脱皮大豆粕	CGM	CPC (Empyreal®) <sup>1</sup>	CPC (Lysto™) <sup>1</sup>
乾物 (DM)	90.61	88.36	91.59	90.16	88.39
CP	64.3	49.9	64.8	79.7	79.8
粗脂肪	10.7	1.19	0.46	2.36	2.58
酸性デタージェント繊維 (ADF)	–	2.83	2.82	9.8	7.5
粗灰分	15.1	5.34	6.63	0.91	0.91
<b>必須アミノ酸</b>					
アルギニン (Arg)	4.99	3.26	2.03	2.11	2.16
ヒスチジン (His)	2.21	1.16	1.30	2.05	1.40
イソロイシン (Ile)	3.10	1.86	2.51	2.36	2.99
ロイシン (Leu)	5.50	3.36	10.04	10.40	11.95
リジン (Lys)	6.04	2.81	1.03	1.37	5.66
メチオニン (Met)	1.47	0.82	1.45	1.77	1.67
フェニルアラニン (Phe)	2.97	2.16	3.88	5.00	4.57
トレオニン (Thr)	3.46	1.56	2.02	2.42	2.19
トリプトファン (Trp)	1.10	NR <sup>2</sup>	0.34	0.55	0.37
バリン (Val)	4.09	1.78	3.03	2.85	3.29
<b>非必須アミノ酸</b>					
アラニン (Ala)	6.45	1.72	5.32	8.26	6.17
アスパラギン酸 (Asp)	6.84	6.55	3.72	3.89	4.10
シスチン (Cys)	0.43	0.88	1.10	1.28	1.27
グルタミン酸 (Glu)	9.70	9.64	12.89	14.20	14.06
グリシン (Gly)	6.05	1.89	1.79	1.84	1.83
プロリン (Pro)	4.48	2.36	5.82	7.42	6.78
セリン (Ser)	3.37	1.95	2.97	3.53	2.78
チロシン (Tyr)	2.50	1.49	3.08	3.74	3.75

<sup>1</sup> Cargill Corn Milling (Cargill, Inc., Blair, NE)

<sup>2</sup> データなし

## ナイルティラピア (*Oreochromis niloticus*) に対する給与試験の概要

養殖水産動物用飼料への CPC の利用に関する公表文献における対象魚のほとんどはナイルティラピア (*Oreochromis niloticus*) である。最初の研究は Herath ら (2016a) によって行われており、CPC (配合割合 : 19.4%)、HP-DDG (同 33.2%)、CGM (同 23.5%) あるいは DDGS (同 52.4%) を魚粉 (同 21.8%) と完全置換した等窒素飼料をナイルティラピア (*Oreochromis niloticus*) 稚魚 (体重 4.5 g) に 12 週間給与した場合の発育成績と体成分組成に及ぼす影響を調査している。魚粉を 21.8% 配合した対照飼料および DDGS を 52.4% 配合した飼料では、全ての飼料中で比成長率、飼料摂取量、たん白質蓄積率および生存率が最も優れた (表 2)。これに対して、CGM および CPC を配合した飼料では、比成長率、熱成長率、飼料摂取量、たん白質蓄積率および生存率が最も低かった。CGM および CPC 飼料を給与されたティラピアのたん白質蓄積率の低下は、全魚体の CP 含量の低下を反映していたが、フィレ肉の CP 含量には反映されなかった (表 2)。トウモロコシ併産物を配合した飼料では、対照飼料に比べて全魚体の粗脂肪含量が高く、粗灰分含量が低かったが、測定された各体指標への影響はみられなかった。この結果は、ナイルティラピアの稚魚用飼料中の魚粉を様々なトウモロコシ併産物で完全置換すると、発育成績、全魚体およびフィレ肉の組成に様々な影響を及ぼすことを示している。供試したトウモロコ

シ併産物中で、DDGS は発育成績および体成分組成が最も優れたが、CPC は発育成績が最も劣った。

表 2. トウモロコシ併産物を配合した飼料を 12 週間給与したニルティラピア ( <i>Oreochromis niloticus</i> ) の発育成績、魚体成分およびフィレ肉の色調 (Herath ら、2016a から引用)					
測定値	対照	HP-DDG <sup>1</sup>	DDGS <sup>2</sup>	CGM <sup>3</sup>	CPC <sup>4</sup>
発育成績					
比成長率、%	3.56 <sup>a</sup>	3.30 <sup>b</sup>	3.53 <sup>a</sup>	2.75 <sup>c</sup>	2.63 <sup>d</sup>
体積膨張率	1.21 <sup>a</sup>	1.06 <sup>c</sup>	1.16 <sup>b</sup>	0.81 <sup>d</sup>	0.76 <sup>e</sup>
飼料摂取量、DM g	84.05 <sup>a</sup>	71.05 <sup>a</sup>	81.20 <sup>a</sup>	40.2 <sup>b</sup>	38.80 <sup>b</sup>
飼料要求率	1.00	1.05	1.05	1.00	1.10
たん白効率	3.20	2.99	3.06	3.10	2.84
たん白質蓄率、%	49.62 <sup>a</sup>	46.17 <sup>ab</sup>	46.70 <sup>ab</sup>	42.02 <sup>bc</sup>	38.42 <sup>c</sup>
生存率、%	100.0 <sup>a</sup>	80.6 <sup>bc</sup>	97.2 <sup>ab</sup>	66.6 <sup>c</sup>	75.0 <sup>c</sup>
全魚体組成、% (原物値)					
水分	69.4	68.9	69.7	70.9	71.6
たん白質	15.5 <sup>b</sup>	16.7 <sup>a</sup>	15.4 <sup>b</sup>	14.6 <sup>c</sup>	13.9 <sup>d</sup>
脂質	8.5 <sup>b</sup>	9.9 <sup>a</sup>	10.0 <sup>a</sup>	9.8 <sup>a</sup>	9.6 <sup>a</sup>
灰分	6.9 <sup>a</sup>	5.4 <sup>c</sup>	5.7 <sup>b</sup>	4.0 <sup>e</sup>	5.0 <sup>d</sup>
フィレ肉の組成、% (原物値)					
水分	78.2	76.2	77.2	77.9	78.5
たん白質	18.8 <sup>b</sup>	19.8 <sup>a</sup>	18.3 <sup>b</sup>	19.2 <sup>b</sup>	18.7 <sup>b</sup>
脂質	1.6 <sup>c</sup>	2.4 <sup>b</sup>	3.1 <sup>a</sup>	2.2 <sup>b</sup>	1.9 <sup>bc</sup>
灰分	1.4	1.2	1.3	1.3	1.4
体指数					
内臓指数 <sup>5</sup>	10.8	11.6	12.9	12.1	12.8
肝臓指数 <sup>6</sup>	3.0	2.1	2.7	2.2	2.0
フィレ肉収量 <sup>7</sup> 、%	30.4	30.8	32.4	31.9	28.3
状態係数 <sup>8</sup>	2.0	2.0	2.0	1.8	1.9

abcde 異付号間に有意差あり (p<0.05)

<sup>1</sup> HP-DDG = 高たん白 DDG

<sup>2</sup> DDGS = ディスチラーズ・グレイン・ウィズ・ソリュブル

<sup>3</sup> CGM = コーングルテンミール

<sup>4</sup> CPC = トウモロコシたん白濃縮物

<sup>5</sup> 内臓係数 = 100 × 内臓重量 (g)/体重 (g)

<sup>6</sup> 肝臓係数 = 100 × 肝臓重量 (g)/体重 (g)

<sup>7</sup> フィレ肉収量 = 100 × フィレ肉重量 (g)/体重 (g).

<sup>8</sup> 状態係数 = 100 × 体重 (g)/魚体積 (cm<sup>3</sup>)

Herath ら (2016b) は、その後に行われた長期飼育試験において、ニルティラピア (*Oreochromis niloticus*、体重 21g) を用いた 24 週間の飼養試験中の発育成績、フィレ肉の色調および組成に対するトウモロコシ併産物主体飼料の影響について検討している。この試験で用いた飼料は、魚粉を 10% 配合した対照飼料と、魚粉を含まずに HP-DDG (33.2%)、DDGS (52.4%)、CGM (23.5%) あるいは CPC (19.4%) を配合して飼料中のたん白質の 50% 量を置き換えた試験飼料 4 種類である。魚粉を含む対照飼料、HP-DDG および DDGS を配合した飼料では、CGM および CPC を配合した飼料に比べて平均増体量、比成長率、平均飼料摂取量、たん白効率が優れ、飼料効率および生存率が高まった (表 3)。

しかし、フィレ肉の明るさ (L\*)、赤色度 (a\*)、黄色度 (b\*)、CP および総アミノ酸含量には各トウモロコシ併産物の影響はなかった。CGM を配合した飼料におけるフィレ肉の粗脂肪および粗灰分含量は最も高かったが、フィレ肉の脂肪酸組成は飼料により異っていた。この結果は、HP-DDG または DDGS を、魚粉を含まない飼料に飼料中 CP の 50% 量まで配合しても、発育成績やフィレ肉の色調への悪影響はないが、CGM および CPC を配合した飼料では発育成績に悪影響を及ぼすことを示している。

表 3. トウモロコシ併産物を配合した飼料を 24 週間給与した場合のナイルティラピア ( <i>Oreochromis niloticus</i> ) の発育成績、体指数およびフィレ肉の色調 (Herath ら、2016b より引用)					
測定値	対照	HP-DDG	DDGS	CGM	CPC
<b>発育成績</b>					
平均増体量、g	162.2 <sup>a</sup>	160.7 <sup>a</sup>	161.4 <sup>a</sup>	88.3 <sup>b</sup>	74.9 <sup>b</sup>
比成長率、%	1.27 <sup>a</sup>	1.26 <sup>a</sup>	1.27 <sup>a</sup>	0.96 <sup>b</sup>	0.90 <sup>b</sup>
平均飼料摂取量、g/尾	216.2 <sup>a</sup>	222.2 <sup>a</sup>	225.5 <sup>a</sup>	148.8 <sup>b</sup>	124.1 <sup>b</sup>
飼料要求率	1.33 <sup>b</sup>	1.38 <sup>b</sup>	1.40 <sup>b</sup>	1.72 <sup>a</sup>	1.66 <sup>a</sup>
たん白効率	2.31 <sup>a</sup>	2.12 <sup>a</sup>	2.30 <sup>a</sup>	1.69 <sup>b</sup>	1.68 <sup>b</sup>
生存率、%	97.2 <sup>a</sup>	97.2 <sup>a</sup>	97.2 <sup>a</sup>	91.7 <sup>a</sup>	52.7 <sup>b</sup>
<b>体指数</b>					
腹腔内脂肪率	1.99	2.22	1.50	2.02	1.34
肝臓指数	2.70 <sup>b</sup>	2.70 <sup>b</sup>	1.93 <sup>c</sup>	3.45 <sup>a</sup>	2.30 <sup>bc</sup>
内臓指数	9.33	10.92	9.44	11.62	11.50
フィレ肉収量	28.16	27.52	27.34	27.14	26.37
状態指数	2.01 <sup>a</sup>	1.83 <sup>c</sup>	1.89 <sup>bc</sup>	1.94 <sup>b</sup>	1.87 <sup>bc</sup>
<b>フィレ肉の色調</b>					
L*	47.8	48.0	47.8	41.5	41.8
a*	1.3	0.7	1.2	1.8	2.3
b*	3.2	2.3	2.3	1.3	2.2
彩度 <sup>1</sup>	3.5	2.4	2.7	1.9	3.3
色相角 <sup>2</sup> 、°	67.5	74.0	54.5	53.6	43.3
ΔE <sup>3</sup>	0	1.11	0.97	6.61	6.22

abc 異付号間に有意差あり (p < 0.05)

<sup>1</sup> 彩度 = 色の濃さ

<sup>2</sup> 色相角 = 0° は赤色、90° は黄色

<sup>3</sup> ΔE = 対照飼料と比較した全体的な色の違い

Herath ら (2016a, b) による CPC を魚粉と置き換えて 19.4% 配合した飼料を給与した場合の報告とは対照的に、Khalfia ら (2017) はナイルティラピア (*Oreochromis niloticus*) の稚魚に対して配合割合がより低い等カロリー・等窒素飼料 (配合量: 0、5、10 および 19%) を給与した試験を行っている。CPC を 5 および 10% 配合した飼料の発育成績には差がみられず、いずれも CPC を 19% 配合した飼料より優れていた。さらに、フィレ肉の収量と体組成には、使用感で差がなかった。興味深いことに、対照飼料では胃の大きさがわずかに小さく、電子顕微鏡による検索の結果、CPC を配合した飼料を給与した場合より胃壁が薄かった。さらに、CPC を 10 および 19% 配合した飼料では、対照および CPC を 5%

配合した飼料に比べて総好気性細菌数と大腸菌群数が減少した。この結果は、ティラピア稚魚用飼料に対して CPC を最大 10%まで配合することで、魚粉の 53%までを置き換えることが可能であり、発育成績と体組成には悪影響を与えないことを示している。

Ng ら (2019) は、レッドハイブリッドティラピア (*Oreochromis sp.*) の発育成績、栄養素の利用性、腸の形態および皮膚の色に対する魚粉と CPC の置き換えによる効果について、ごく最近報告を行っている。魚粉の 0、25、50、75 および 100%量を CPC で置換した 5 種類の等 CP (35%)、等脂質 (粗脂肪: 1%) 飼料を、3 反復群のティラピア (体重 10.33 g) に対して 63 日間給与した。その結果、レッドハイブリッドティラピア用飼料の魚粉の 50%量を CPC で置き換えても、発育、飼料効率、ヘマトクリット値、状態指標および腸の形態には悪影響はみられなかったが、魚粉の 75 または 100%量を CPC で置き換えた場合には負の効果が発現した。さらに、CPC を魚粉と完全置換した場合に CPC 中に存在するカロテノイドにより皮膚の黄色度が高まった。回帰分析を行った結果、CPC の魚粉との最適置換量は、体重増加率を指標とした場合に 25%、飼料効率を指標とした場合に 33%、たん白効率を指標とした場合に 29%だった。この結果は、CPC を単一の植物性たん白源として使用して、レッドハイブリッドティラピア用飼料に魚粉の 50%量まで置き換えることが出来ることを示唆している。

#### バナメイエビ (*Litopenaeus vannamei*) に対する給与試験の概要

様々なステージのバナメイエビ (*Litopenaeus vannamei*) の発育成績に及ぼす CPC の配合量を検討するために、3 水槽を用いた給与試験および養殖池を用いた試験が行われている (Yu ら、2013)。最初の水槽を用いた試験では、稚エビ (体重 0.52 g) に対して、CGM を 8%配合した飼料と、CPC を 6.5 または 13.0%配合した飼料を 6 週間給与した。2 回目の水槽を用いた試験では、稚エビ (体重 0.36 g) に対して、CPC を 0、4、8 および 16%配合し、CPC を等窒素換算で大豆粕と置き換えるために L-Lys を補給した飼料と、CPC を 9.7%配合し L-Lys の補給量をより高めた飼料を 10 週間給与した。3 回目の水槽を用いた試験では、CPC を 0、4、8 および 16%配合した飼料を稚エビ (体重 0.128 g) に 44 日間給与した。最初の 2 試験では、終了時体重、体重増加、飼料要求率および生存率に有意差はなかった。試験 2 の終了時におけるエビの DM および CP 含量には差はなく、CPC の配合水準間でたん白蓄積率に差はなかった。しかし、試験 3 では、CPC を 8 および 12%配合した飼料における最終的なバイオマス量、終了時体重および飼料効率は、CPC を 0 および 4%配合した飼料に比べて低下した。

養殖池を用いた試験 (Yu ら、2013) では、稚エビ (体重 0.023 g) を 16 の養殖池に収容し、CPC を 0、4、8 または 12%配合した飼料を出荷前までの 16 週間給与した。表 3 に示したとおり、最終体重、収量、飼料要求率、生存率および生産量に差がなかった。し

かし、飼料への CPC 配合量の増加に伴い、飼料費が大幅に削減された結果、CPC を 8 および 12% 配合した場合のエビの体重 1 kg あたりの飼料費は、CPC を 0 および 4 % 配合した場合に比べて低かった。この結果は、稚エビ用飼料に対して CPC を最大 12% まで配合することで発育成績に影響を及ぼすことなく、生産されるエビ 1 kg あたりの飼料費を大幅に削減できることを示している。

表 3. CPC 配合量を高めた飼料をバナメイエビ (*Litopenaeus vannamei*) に対して 16 週間給与した場合の発育、飼料費および生産価 (Yu ら、2013 より引用)

測定値	0% CPC	4 % CPC	8 % CPC	12% CPC
終了時体重、g	20.51	17.48	17.17	18.71
収量、kg/ha	5,008	5,190	5,421	5,440
飼料要求率	1.38	1.34	1.27	1.29
生存率、%	64.9	77.6	83.6	75.9
飼料費、\$	791 <sup>a</sup>	716 <sup>b</sup>	651 <sup>c</sup>	598 <sup>d</sup>
飼料費/エビ収量kg	1.60 <sup>a</sup>	1.39 <sup>ab</sup>	1.20 <sup>b</sup>	1.11 <sup>b</sup>
生産価、\$	2,107	1,808	1,844	2,018

<sup>abcd</sup> 異付号間に有意差あり (p < 0.05)

### 産卵鶏に対する給与試験の概要

産卵鶏用飼料に CPC を配合した場合の産卵成績および卵の品質への影響を評価するための試験結果が 1 報公表されている (Herrera ら、2019)。産卵鶏 (64 週齢、体重 2.05 kg) に対して、CPC を 0、0.5、1.0、1.5、2.0 および 2.5% 配合した等エネルギー (2,850 kcal/kg) ・等 CP (15%) 飼料を 10 週間給与した。CPC の配合量の増加に伴い、増体量、飼料摂取量、飼料効率、産卵数、卵量および卵重に二次曲線的な応答が認められた。CPC の配合量を増加させると、飼料摂取量、飼料効率、卵殻厚と破断強度および卵黄色調は直線的に高まった。しかし、卵白高とハウユニットには CPC の配合割合の増加による影響は見られなかった。この結果は、産卵鶏用飼料に CPC を最大 2.5% まで配合すると産卵成績が改善されることを示している。

### 結論

CPC は、養殖水産動物および家禽用飼料において魅力的な代替原料である。ニールティラピア (*Oreochromis niloticus*) とバナメイエビ (*Litopenaeus vannamei*) 用飼料への CPC の使用を評価するため研究が実施されており、CPC を最大 10% 配合、ティラピア用飼料中の魚粉を最大 50% まで置換、あるいは、バナメイエビ用飼料に最大 12% 配合した場合に、十分な発育成績と魚体あるいはフィレ肉の組成を得ることが出来る。また、産卵鶏用飼料に対して CPC を最大 2.5% 配合すると産卵成績と鶏卵の品質が改善されることを示されている。

## 引用文献

- AAFCO. 2020. Association of American Feed Control Officials - Official Publication. Champaign, IL.
- Brezas, A., and R.W. Hardy. 2020. Improved performance of a rainbow trout selected strain is associated with protein digestion rates and synchronization of amino acid absorption. *Sci. Rep.* 10:4678. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61360-0>
- Davies, S.J. and P.C. Morris. 1997. Influence of multiple amino acid supplementation on the performance of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), fed soya based diets. *Aquaculture res.* 28:65-74.
- Gatlin, D.M., III, F.T. Barrows, P. Brown, K. Dabrowski, T.G. Gaylord, R.W. Hardy, E. Herman, G. Hu, Å. Krogdahl, R. Nelson, K. Overturf, M. Rust, W. Sealey, D. Skonberg, E.J. Souza, D. Stone, R. Wilson, and E. Wurtele. 2007. Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: a review. *Aquaculture Res.* 38:551-579. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2007.01704x>
- Glencross, B.D., M. Booth, and G.L. Allan. 2007. A feed is only as good as its ingredients - A review of ingredient evaluation strategies for aquaculture feeds. *Aquaculture Nutr.* 13:17-34.
- Gomes, E.F., P. Rema, and S.J. Kaushik. 1995. Replacement of FM by plant protein in the diet of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): Digestibility and growth performance. *Aquaculture* 130:177-186.
- Gómez-Requeni, P., M. Mingarro, J.A. Calduch-Giner, F. Médale, S.A.M. Martin, D.F. Houlihan, S. Kaushik, and J. Pérez-Sánchez. 2004. Protein growth performance, amino acid utilization and somatotropic axis responsiveness to FM replacement by plant protein sources in gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Aquaculture* 232:493-510. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00532-5](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00532-5)
- Herath, S.S., Y. Haga, and S. Satoh. 2016a. Potential use of corn co-products in fishmeal-free diets for juvenile Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Fish Sci.* 82:811-818. <https://doi.org/10.1007/s12562-016-1008-6>
- Herath, S.S., Y. Haga, and S. Satoh. 2016b. Effects of long-term feeding of corn co-product-based diets on growth, fillet color, and fatty acid and amino acid composition of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture* 464:205-212. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.06.032>
- Herrera, A., M. Ortiz, H. Torrealba, and C.H. Ponce. 2019. Effects of corn

protein concentrate levels on egg production and egg quality parameters of commercial layers. *J. Anim. Sci.* 97 ( Suppl. 3 ) :345. <https://doi.org/10.1093/jas/skz258.688>

- Khalifa, N.S.A., I.E.H. Belal, K.A. El-Tarabily, S. Tariq, and A.A. Kassab. 2017. Evaluation of replacing FM with corn protein concentrate in Nile tilapia *Oreochromis niloticus* fingerlings commercial diet. *Aquac. Nutr.* 24:143–152. <https://doi.org/10.1111/anu.12542>
- Krogdahl, Å., M. Penn, J. Thorsen, S. Refstie, and A. Bakke. 2010. Important antinutrients in plant feedstuffs for aquaculture: An update on recent findings regarding responses in salmonids. *Aquaculture Res.* 41:333–344.
- Martin, S.A.M., O. Vilhelmsson, F. Médale, P. Watt, S. Kaushik, and D.F. Houlihan. 2003. Proteomic sensitivity to dietary manipulations in rainbow trout. *Biochim. Biophys. Acta.* 1651:17–29. doi:10.1016/s1570-9639(03)00231-0
- Naylor, R.L., R.W. Hardy, D.P. Bureau, A. Chiu, M. Elliott, A.P. Farrell, I. Forster, D.M. Gatlin, R.J. Goldberg, K. Hua, and P.D. Nichols. 2009. Feeding aquaculture in an era of finite resources. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 106:15103–15110. Doi:10.1073/pnas.0905235106
- Ng, W.-K., T.-C. Leow, and R. Yossa. 2019. Effect of substituting fishmeal with corn protein concentrate on growth performance, nutrient utilization and skin coloration in red hybrid tilapia, *Oreochromis* sp. *Aquaculture Nutr.* 25:1006–1016. <https://doi.org/10.1111/anu.12918>
- Refstie, S., Ø. Korsøen, T. Storebakken, G. Baeverfjord, I. Lein, and A. Roem. 2000. Differing nutritional responses to dietary soybean meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 190:49–63. doi:10.1016/S0044-8486(00)00382-3
- Yu, D., X. Fang, Y. Zhou, M. Rhodes, and D.A. Davis. 2013. Use of corn protein products in practical diets for the Pacific White shrimp. *Avances En Nutrición Acuicola.* <https://nutricionacuicola.uni.mx/index.php/acu/article/view/62>