

## 第2章

### 養殖水産動物に対するトウモロコシ発酵たん白質（CFP）の給与

#### 初めに

CFPは養殖水産動物における飼料原料として広く利用されているが、驚くべきことに公表文献は多くない。CFPは養殖水産動物用飼料において優れたエネルギーおよび可消化アミノ酸源であり、ヨーロッパスズキ (*Dicentrarchus labrax*)、ニールティラピア (*Oreochromis niloticus*)、バナメイエビ (*Litopenaeus vannamei*)、タイヘイヨウサケ (*Salmo salar*) 用の飼料における大豆粕および魚粉のすべて、あるいは部分的な置き換えに関する評価が行われている。

#### 養殖水産動物用飼料中の一般的なたん白質源と CFP の栄養組成の比較

豚や家禽用の飼料配合とは異なり、養殖水産動物用飼料において様々な「高たん白」飼料原料について、一般的に使用される魚粉や大豆粕と部分的に置き換えの可能性に関する試験がしばしば行われている。様々な魚種における CFP のエネルギー価およびアミノ酸消化率のデータは大豆粕および魚粉に比べて限られているが、Qui ら (2017) はバナメイエビ (*L. vannamei*) における CFP (NexPro) の乾物 (DM)、エネルギー、粗たん白質 (CP) およびアミノ酸の消化率を大豆粕および魚粉と比較している。表 1 に示すように、CFP の DM 消化率は魚粉より高く、エネルギーおよびアミノ酸消化率は同等であり、CP 消化率は魚粉より低かった。大豆粕の DM、CP、エネルギーおよびアミノ酸消化率は魚粉および CFP より高かった。これらの結果は、CFP はバナメイエビ用飼料中における魚粉と置き換えることが出来るが、大豆粕との置き換えは難しいことを示唆している。

表 1. CFP (NexPro)、大豆粕および魚粉の NIR 分析値、アミノ酸組成、見かけの消化率の比較 ( <i>L. vannamei</i> ; Qiu ら (2017) から改変)			
分析値 (原物)、%	CFP	大豆粕	魚粉
乾物 (DM)	94.77	89.03	92.01
見かけの消化率	69.72	78.51	49.15, 49.45
粗たん白質 (CP)	49.20	44.89	62.78
見かけの消化率	60.58	97.03	67.07, 71.3
粗脂肪	4.31	3.78	10.56
粗繊維	4.29	3.20	0.00
見かけのエネルギー消化率	68.09	82.56	69.77, 67.78
粗灰分	4.87	6.67	18.75
アラニン (Ala)	3.26 (70)	2.04 (94)	3.94 (69)
アルギニン (Arg)	3.26 (77)	3.35 (97)	3.68 (75)
アスパラギン酸 (Asp)	4.05 (73)	5.10 (95)	5.34 (69)
シスチン (Cys)	0.82 (73)	0.62 (91)	0.47 (54)
グルタミン酸 (Glu)	7.49 (68)	8.24 (96)	7.47 (71)
グリシン (Gly)	1.54 (73)	2.04 (95)	4.88 (67)
ヒスチジン (His)	1.42 (76)	1.20 (94)	1.63 (74)

イソロイシン (Ile)	2.18 (71)	2.17 (93)	2.42 (69)
ロイシン (Leu)	5.64 (68)	3.57 (92)	4.21 (71)
リジン (Lys)	2.14 (72)	3.06 (95)	4.67 (77)
メチオニン (Met)	0.83 (74)	0.66 (95)	1.61 (71)
フェニルアラニン (Phe)	2.89 (69)	2.35 (93)	2.39 (65)
プロリン (Pro)	3.58 (68)	2.39 (95)	3.08 (67)
セリン (Ser)	2.53 (75)	1.90 (93)	2.11 (58)
トレオニン (Thr)	2.02 (73)	1.75 (92)	2.41 (66)
トリプトファン (Trp)	0.54 (80)	0.62 (95)	0.62 (80)
チロシン (Tyr)	2.34 (74)	1.64 (95)	1.67 (74)
バリン (Val)	2.73 (72)	2.34 (91)	2.99 (67)

### ヨーロッパスズキ (*Dicentrarchus labrax*)

ヨーロッパスズキへの CFP 給与に関する 2 文献が公表されている (Goda ら、2019; 2020)。最初の文献 (Goda ら、2019) では、体重 7.5 g のヨーロッパスズキ (*D. labrax*) 稚魚に対する CFP を 30、40 および 50% 含む飼料に関する 8 週間の飼養試験が行われている。なお、著者らは、供試した CFP を「高たん白 DDG」と記載しているが、結論部分では製品名である「NexPro」と正しく記載している。各供試飼料は等 CP (45%) および等粗脂肪 (13%) とした。表 2 に示すとおり、CFP を 30、40 および 50% 配合した飼料を給与すると、対照飼料に対して増体量、比成長率および飼料摂取量が改善された。斃死率には各飼料間で差がなく、CFP を 50% 配合した場合には、他の飼料より飼料要求率が改善された。CFP を配合すると、対照飼料に比べて血液・生化学的検査値、総抗酸化能および腸の形態学的測定値が改善され、これらの反応が CFP に含まれる酵母成分が関与している可能性が示唆された。この結果は、ヨーロッパスズキ稚魚用飼料中の大豆粕と部分的に置き換えることにより、CFP を最大 50% 配合すると発育成績が改善され、健康状態に正の影響を与える可能性があることを示している。

表 2. ヨーロッパスズキ (*Dicentrarchus labrax*) に対して CFP の配合量を高めた飼料を給与した場合の発育成績に及ぼす影響 (Goda ら、2019)

測定項目	CFP 配合量、%			
	0%	30%	40%	50%
開始時体重、g/尾	7.47	7.50	7.50	7.53
終了時体重、g/尾	14.47 <sup>b</sup>	17.20 <sup>a</sup>	17.37 <sup>a</sup>	18.03 <sup>a</sup>
増体量、g/尾	7.00 <sup>b</sup>	9.70 <sup>a</sup>	9.87 <sup>a</sup>	10.50 <sup>a</sup>
比成長率 <sup>1</sup> 、%/日	0.87 <sup>b</sup>	1.39 <sup>a</sup>	1.41 <sup>a</sup>	1.70 <sup>a</sup>
飼料摂取量、g/尾	11.97 <sup>b</sup>	14.17 <sup>a</sup>	13.30 <sup>a</sup>	13.20 <sup>a</sup>
飼料要求率 <sup>2</sup>	1.71 <sup>a</sup>	1.45 <sup>ab</sup>	1.46 <sup>ab</sup>	1.26 <sup>b</sup>
生存率、%	100	100	100	100

<sup>1</sup> 比成長率 =  $100 \times (\text{終了時体重、g} - \text{開始時体重、g}) / \text{飼育期間、日}$

<sup>2</sup> 飼料要求率 =  $\text{増体量、g} / \text{飼料摂取量、g}$

ab 異符号間に有意差あり ( $p < 0.05$ )

Goda ら (2020) によるその後の研究では、CFP を大豆粕と部分的に置き換えて 30、40

および 50%配合した飼料に市販のプロテアーゼを添加して、ヨーロップスズキ稚魚の発育成績、生理学および腸の組織学的反応を評価した。CFP を 50%配合した場合、対照飼料、CFP 30 および 40%配合した飼料に対して終了時体重、増体量、比成長率および飼料要求率が改善された（表 3）。これらの効果は、CFP を 50%配合した場合のたん白効率、たん白生産価、脂質およびエネルギー蓄積率が、対照飼料より改善された結果であり、CFP を 30%および 40%配合した場合でもこれらの指標が改善された（表 3）。前報（Goda ら、2019）と同様に、70 日間の飼育試験期間中にはいずれの飼料においても死亡魚は発生しなかった。プロテアーゼを添加した CFP 飼料を給与すると、血液学、血清生化学、体液性免疫応答および腸の形態の測定値が改善された。これらの結果は、最適な発育成績と健康を得るために、稚魚用の飼料に最大 50%量の CFP を大豆粕と部分的に置き換えて配合できることを示している。

表 3. ヨーロップスズキ (*Dicentrarchus labrax*) 用飼料へのプロテアーゼ添加を伴う CFP (NexPro) 配合量の増加が発育成績と利用効率に及ぼす影響 (Goda ら、2020)

測定項目	CFP 配合量、%			
	0%	30%	40%	50%
開始時体重、g/尾	7.47	7.53	7.43	7.43
終了時体重、g/尾	15.57 <sup>a</sup>	16.80 <sup>ab</sup>	17.07 <sup>ab</sup>	19.28 <sup>b</sup>
増体量、g/尾	8.10 <sup>a</sup>	9.27 <sup>ab</sup>	9.63 <sup>ab</sup>	11.85 <sup>b</sup>
比成長率 <sup>1</sup> 、%/日	1.31 <sup>a</sup>	1.43 <sup>ab</sup>	1.48 <sup>ab</sup>	1.70 <sup>b</sup>
飼料摂取量、g/尾	16.93 <sup>a</sup>	15.57 <sup>b</sup>	14.47 <sup>b</sup>	13.07 <sup>b</sup>
飼料要求率 <sup>2</sup>	2.09 <sup>a</sup>	1.68 <sup>ab</sup>	1.47 <sup>ab</sup>	1.10 <sup>b</sup>
生存率、%	100	100	100	100
たん白効率	1.07 <sup>c</sup>	1.33 <sup>b</sup>	1.48 <sup>b</sup>	1.94 <sup>a</sup>
たん白質生産価、%	11.08 <sup>c</sup>	17.33 <sup>b</sup>	19.78 <sup>b</sup>	26.15 <sup>a</sup>
脂質蓄積率、%	22.42 <sup>c</sup>	26.94 <sup>b</sup>	35.69 <sup>a</sup>	27.82 <sup>b</sup>
エネルギー蓄積率、%	6.72 <sup>d</sup>	7.80 <sup>cd</sup>	10.20 <sup>a</sup>	8.28 <sup>b</sup>

<sup>1</sup> 比成長率 = 100 × (終了時体重、g - 開始時体重、g) / 飼育期間、日

<sup>2</sup> 飼料要求率 = 増体量、g / 飼料料摂取量、g

abcd 異符号間に有意差あり (p < 0.05)

### ナイルティラピア (*Oreochromis niloticus*)

CFP に含まれる各栄養成分の様々な養殖水産動物における消化率に関するデータは限られているが、ナイルティラピア (*O. niloticus*) における CFP (ProCap Gold) の有機物 (OM)、総エネルギー (GE)、CP、エーテル抽出物およびアミノ酸消化率が測定されており (未公表)、表 4 に示す結果が得られている。

表 4. ナイルティラピア (*O. niloticus*) 成魚における CFP 2 製品の OM、GE、CP、エーテル抽出物およびアミノ酸の見かけの消化率 (%) (Marquis ProCap の許可を得て改編した未発表データ)

測定値、%	CFP
有機物 (OM)	60.6

総エネルギー (GE)	83.1
粗たん白質 (CP)	83.1
粗脂肪	52.9
必須アミノ酸	
アルギニン (Arg)	93
ヒスチジン (His)	94
イソロイシン (Ile)	93
ロイシン (Leu)	94
リジン (Lys)	89
メチオニン (Met)	89
フェニルアラニン (Phe)	93
トレオニン (Thr)	85
バリン (Val)	92
非必須アミノ酸	
アラニン (Ala)	94
アスパラギン酸 (Asp)	93
グルタミン酸 (Glu)	96
グリシン (Gly)	93
プロリン (Pro)	95
セリン (Ser)	92
チロシン (Tyr)	92

Suehs & Gatlin(2022)は、CFP(ProCap Gold)の栄養価がニルティラピア(*O. niloticus*)稚魚の発育、体組成成分および免疫応答に及ぼす影響を調査している。最初の試験では、大豆粕、大豆たん白濃縮物、メンハーデン魚粉を配合した CP 36%飼料（対照）と、対照飼料中の大豆粕と魚粉と置換して CFP を 7.5、15、22.5、30 および 37.5%置き換えて、すべての飼料中の粗脂肪含量が6%となるように大豆油の添加量を変化させた飼料を用いた。各飼料にティラピア幼魚（開始時体重 10.6 g）を 15 尾×3 水槽ずつ配して 8 週間飼育した。8 週終了時に各水槽から 3 尾を抽出し、肝臓の相対重量、腹腔内脂肪率、フィレ肉収量およびフィレ肉の組成を調査した。また、血液中の好中球酸化ラジカル産生、細胞内および細胞外スーパーオキシドアニオン産生、リゾチーム、総たん白質、総免疫グロブリンおよび抗プロテアーゼ活性を含むいくつかの非特異的免疫応答を測定した。その結果、増体率、飼料効率、生存率、フィレ肉収量（表 5）および体組成（表 6）には飼料間に差はなかった。この結果は、CFP を大豆粕および魚粉と部分的に置き換えてはいるものの、各飼料の CP およびエネルギー含量を同一としたことから予想されたものであった。さらに、最大 37.5%の CFP を配合しても、評価した各非特異的免疫測定値には影響はなかった（データは示していない）。

表 5. 0、7.5、15、22.5、30 および 37.5%の CFP (ProCap Gold) を配合した飼料を給与したニルティラピア稚魚 (*O. niloticus*, 開始時体重 0.25 g) の発育成績、フィレ肉収量、肝臓の相対重量、腹腔内脂肪率および試験期間中の生存率 (Suehs & Gatlin, 2022; Marquis ProCap の許可を得て改編)

測定値	CFP 配合量、%					
	0%	7.5%	15%	22.5%	30%	37.5%

増体率 <sup>1</sup> 、g	383	321	353	376	354	364
飼料効率 <sup>2</sup>	0.85	0.79	0.82	0.87	0.81	0.83
フィレ肉収量 <sup>3</sup> 、%	27.2	27.3	28.5	26.1	26.7	26.7
肝臓の相対重量 <sup>4</sup>	3.09	2.73	3.26	2.92	3.30	3.32
腹腔内脂肪率 <sup>5</sup> 、%	1.10	1.33	0.99	1.13	0.94	1.40
生存率、%	100	97.8	91.1	100	88.9	95.6

<sup>1</sup> 増体率 = (終了時体重、g - 開始時体重、g) / 開始時体重、g × 100

<sup>2</sup> 飼料効率 = 増体量、g / 飼料料給餌量、g

<sup>3</sup> フィレ肉収量 = フィレ肉重量、g / 体重 100 g

<sup>4</sup> 肝臓相対重量 = 肝臓重量、g / 体重、g × 100

<sup>5</sup> 腹腔内脂肪率 = 腹腔内脂肪重量、g / 体重 g × 100

表 6. 0、7.5、15、22.5、30 および 37.5% の CFP (ProCap Gold) を配合した飼料を給与したニルティラピア稚魚 (*O. niloticus*) の体成分組成 (Suehs & Gatlin, 2022; Marquis ProCap の許可を得て改編)

測定値	CFP 配合量、%					
	0%	7.5%	15%	22.5%	30%	37.5%
水分、%	70.9	72.9	70.9	70.8	71.4	69.9
たん白質、%	17.5	16.8	17.4	17.2	17.2	17.4
脂質、%	7.4	6.5	7.4	7.8	7.0	8.3
灰分、%	3.8	3.7	3.7	3.9	3.9	3.9
たん白効率、%	44.2	40.0	42.4	43.4	40.1	42.5

オーバーン大学で実施された未公表データによると、ニルティラピア稚魚 (体重 7.5 g) を用い、CFP (NexPro) をトウモロコシ濃縮たん白 (CPC) と部分的に置き換えて 0、3.15、6.30、9.45 および 12.60% 配合して 9 週間飼育した場合、増体率、飼料効率および生存率に有意差はなく、CFP の配合量を最大 12.6% まで高めても発育成績を損なうことなく、CPC との置き換えが可能であることを示している (表 7)。

表 7. CFP (NexPro) を 0、3.15、6.30、9.45 および 12.60% 含む飼料をニルティラピア (*O. niloticus*) 幼魚に 9 週間給与した場合の発育成績に及ぼす影響 (オーバーン大学の未公表データ、POET の許可を得て掲載)

測定項目	CFP 配合量、%				
	0%	3.15%	6.30%	9.45%	12.60%
終了時体重、g	80.4	73.1	79.8	79.5	79.5
最終バイオマス、g	1,446	1,405	1,436	1,447	1,447
増体率 <sup>1</sup> 、%	965	880	953	954	936
飼料要求率 <sup>2</sup>	1.23	1.30	1.24	1.23	1.24
生存率、%	90.0	96.3	90.0	91.3	92.5

<sup>1</sup> 増体率 = (終了時体重、g - 開始時体重、g) / 開始時体重、g × 100

<sup>2</sup> 飼料効率 = 飼料料給餌量、g / (終了時体重 - 開始時体重)

## バナメイエビ (*Litopenaeus vannamei*)

Qui ら (2017) は、バナメイエビ (*Litopenaeus vannamei*) の稚エビ用飼料において、CFP (NexPro) を大豆粕あるいは魚粉と大豆粕と置き換えた場合の発育成績に関して 3 試験を行っている。試験 1 では、バナメイエビ (体重 0.18 g、10 尾 / 1 水槽) に対して CFP

を大豆粕と置き換えて 0, 10, 20 および 30%配合して 6 週間飼育した。その結果、増体率および飼料効率には各飼料間で有意差はなかった（表 8）。しかし、試験 2 において CFP を大豆粕と魚粉の一部と置き換えて 10、20 および 30%配合した場合、20 および 30%配合飼料の終了時体重、増体率および飼料効率は、対照飼料（0%）および CFP 10%配合飼料より低下した（表 9）。このため、発育成績（表 10）と体組成成分（表 11）への CFP の最適配合量を決定するために試験 3 を行った。その結果、CFP を 24%配合した場合には増体率および飼料効率が低下したことから、稚エビ用飼料への CFP 配合量の上限は 18% であるとみなされた。CFP の配合割合が高い飼料で発現した発育成績の低下は、CFP のエネルギーおよび CP の消化率（68 及び 61%）が、大豆粕の消化率（83%および 97%）より低く、また、魚粉の CP 消化率（67~71%）より低かったことが影響している可能性が高い。実際に、CFP 中の数種類のアミノ酸の見かけの消化率は大豆粕より低かった（詳細は第 1 章を参照のこと）。稚エビの水分、たん白質、脂質、灰分、マクロおよび微量ミネラルの体組成は飼料間で差がなかったが、CFP を 18 および 24%配合した飼料では鉄および銅含量は対照飼料より高まった（表 11）。これらの結果は、CFP が含む鉄と銅の生物学的利用率は対照飼料中の他の飼料原料より高いことを示唆している。

これら 3 試験の結果をまとめると、CFP は優れた植物性たん白質源であり、稚エビ（*Litopenaeus vannamei*）用飼料において大豆粕と置き換えて 30%まで、または、大豆粕および魚粉と置き換えて 18%まで配合しても、発育成績に影響を及ぼさなかった。しかし、これらの試験で用いた CFP のエネルギーおよびアミノ酸の消化率は、大豆粕よりも低かった。

表 8. 試験 1 において CFP (NexPro) を 0、10、20 および 30%配合した飼料を稚エビ (*L. vannamei*、体重 0.18 g) に 6 週間給与した場合の発育成績への影響 (Qui ら、2017 より引用)

測定項目	CFP 配合量、%			
	0%	10%	20%	30%
終了時体重、g	3.4	3.5	3.1	3.1
最終バイオマス、g	28.0	31.7	29.0	29.4
増体率 <sup>1</sup> 、%	1,724.4	1,894.9	1,679.8	1,827.8
飼料要求率 <sup>2</sup>	2.44	2.35	2.62	2.58
生存率、%	84.0	92.0	94.0	94.0

<sup>1</sup> 増体率 = (終了時体重、g - 開始時体重、g) / 開始時体重、g × 100

<sup>2</sup> 飼料効率 = 飼料料給餌量、g / (終了時体重 - 開始時体重)

表 9. 試験 2 において CFP (NexPro) を 0、10、20 および 30%配合した飼料を稚エビ (*L. vannamei*、体重 1.24 g) に 7 週間給与した場合の発育成績への影響 (Qui ら、2017 より引用)

測定項目	CFP 配合量、%			
	0%	10%	20%	30%
終了時体重、g	9.9 <sup>a</sup>	9.2 <sup>a</sup>	8.0 <sup>b</sup>	7.7 <sup>b</sup>

最終バイオマス、g	225.8	204.6	191.4	199.0
増体率 <sup>1</sup> 、%	684.8 <sup>a</sup>	644.7 <sup>ab</sup>	554.9 <sup>bc</sup>	519.4 <sup>c</sup>
飼料要求率 <sup>2</sup>	1.61 <sup>a</sup>	1.72 <sup>a</sup>	2.05 <sup>b</sup>	2.12 <sup>b</sup>
生存率、%	76.7	73.3	80.0	85.8

<sup>1</sup> 増体率 = (終了時体重、g - 開始時体重、g) / 開始時体重、g × 100

<sup>2</sup> 飼料効率 = 飼料料給餌量、g / (終了時体重 - 開始時体重)

abc 異符号間に有意差あり (p < 0.05)

表 10. 試験 3 において CFP (NexPro) を 0、6、12、18 および 24% 配合した飼料を稚エビ (*L. vannamei*、体重 0.25 g) に 6 週間給与した場合の発育成績への影響 (Quiら、2017 より引用)

測定項目	CFP 配合量、%				
	0%	6%	12%	18%	24%
試験終了時体重、g	5.1 <sup>ab</sup>	5.4 <sup>a</sup>	5.1 <sup>a</sup>	4.6 <sup>ab</sup>	4.3 <sup>b</sup>
最終バイオマス、g	41.9	46.8	46.2	41.5	37.6
増体率 <sup>1</sup> 、%	1,837.7 <sup>ab</sup>	2,065.7 <sup>a</sup>	1,854.2 <sup>ab</sup>	1,776.2 <sup>ab</sup>	1,593.5 <sup>b</sup>
飼料要求率 <sup>2</sup>	1.81 <sup>b</sup>	1.67 <sup>b</sup>	1.74 <sup>b</sup>	1.94 <sup>ab</sup>	2.14 <sup>a</sup>
生存率、%	82.5	87.5	90.0	90.0	87.5

<sup>1</sup> 増体率 = (終了時体重、g - 開始時体重、g) / 開始時体重、g × 100

<sup>2</sup> 飼料効率 = 飼料料給餌量、g / (終了時体重 - 開始時体重)

ab 異符号間に有意差あり (p < 0.05)

表 10. 試験 3 において CFP (NexPro) を 0、6、12、18 および 24% 配合した飼料を稚エビ (*L. vannamei*、体重 0.25 g) に 6 週間給与した場合の体組成成分への影響 (Quiら、2017 より引用)

測定項目	CFP 配合量、%				
	0%	6%	12%	18%	24%
水分、%	77.98	77.45	77.40	76.64	75.90
たん白質、%	75.18	73.00	72.60	73.90	73.90
脂質、%	5.62	5.88	6.81	6.29	6.92
灰分、%	11.43	11.70	11.58	11.70	11.55
カルシウム、%	2.97	3.33	3.09	3.41	3.40
リン、%	1.08	1.06	1.01	1.03	1.02
ナトリウム、%	1.06	1.15	1.10	1.10	1.09
カリウム、%	1.38	1.45	1.41	1.39	1.38
塩素、%	0.87	0.90	0.88	0.88	0.88
マグネシウム、%	0.26	0.29	0.27	0.29	0.28
鉄、mg/kg	13.53 <sup>b</sup>	16.40 <sup>ab</sup>	16.05 <sup>ab</sup>	15.70 <sup>ab</sup>	18.68 <sup>a</sup>
銅、mg/kg	66.53 <sup>b</sup>	69.68 <sup>bc</sup>	73.93 <sup>abc</sup>	84.85 <sup>a</sup>	80.58 <sup>ab</sup>
亜鉛、mg/kg	73.28	76.13	74.18	75.13	75.48
マンガン、mg/kg	2.23	3.55	2.75	3.20	3.90

abc 異符号間に有意差あり (p < 0.05)

Guo ら (2019) も、バナメイエビの稚エビ (体重 0.36 g) 用飼料で、CFP (NexPro) を魚粉あるいは CPC と置き換えた場合の発育成績への影響に関する 8 週間の飼育試験を行っている。表 12 に示したように、平均体重、体重増加、飼料要求率および生存率には各飼料間で差はなかった。しかし、CFP を魚粉と 20% 置き換えた場合、0 および 10% 置き換えた場合より最終バイオマスが減少し、飼料要求率も低下した。これらの結果は、CFP

がバナメイエビにおいて優れたたん白質源であり CPC の最大 20%、または、魚粉の最大 15%と置き換えても発育成績を損なうことがないことを示している。

表 12. CFP を CPC または魚粉と部分的に置き換えて配合割合を高めた飼料を 56 日間給与した場合のバナメイエビ稚エビにおける発育および生存率 (Guo ら、2019 より引用)

測定項目	飼料の種類							
	CPC	CPC	CPC	CPC	魚粉	魚粉	魚粉	魚粉
	0% CFP	10% CFP	15% CFP	20% CFP	0% CFP	10% CFP	15% CFP	20% CFP
バイオマス、g	225	227	230	221	240 <sup>b</sup>	235 <sup>b</sup>	230 <sup>ab</sup>	216 <sup>a</sup>
平均体重、g	7.49	7.64	7.88	7.50	8.05	7.90	7.88	7.38
増体量、g	7.13	7.28	7.52	7.14	7.68	7.54	7.52	7.02
増体率、%	1,997	2,032	2,106	1,996	2,104	2,093	2,106	1,920
飼料要求率	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4 <sup>a</sup>	1.4 <sup>a</sup>	1.5 <sup>ab</sup>	1.6 <sup>b</sup>
生存率、%	100	99.2	97.5	98.3	99.2	99.2	97.5	97.5

ab 異符号間に有意差あり (p<0.05)

### タイヘイヨウサケ (*Salmo salar*)

Burton ら (2021) は、CFP を大豆粕と置き換えて 0、5、10、15 および 20% 配合した飼料をタイヘイヨウサケ (体重 304 g、5 尾/水槽) に 12 週間給与した場合の発育成績、飼料中のたん白質の利用性および温室効果ガス (GHG) 排出量に関する影響を調査している。CFP (NexPro) を 5、10、15 および 20% 配合した飼料における大豆粕との置換割合は、それぞれ 12.9、25.8、37.9 および 50.8% であった。CFP を 10% 配合した場合の最終体重および飼料摂取量は CFP を 20% 配合した場合より増加した (表 13)。しかし、飼料要求率およびたん白効率には飼料間に差がなかった。

表 13. CFP (NexPro) を大豆粕の一部と置換して 0、5、10、15 および 20% 配合した飼料を 12 週間給与したタイヘイヨウサケ (体重 304 g) の発育成績に及ぼす影響 (Burton ら、2021 から引用)

測定項目	CFP 配合量、%				
	0%	5%	10%	15%	20%
開始時体重、g	295.0	301.9	305.7	304.7	305.0
終了時体重、g	720.0 <sup>ab</sup>	701.1 <sup>ab</sup>	752.1 <sup>a</sup>	690.8 <sup>ab</sup>	663.7 <sup>b</sup>
増体量、g	425.0	399.2	446.4	386.1	358.7
飼料摂取量、g/尾	411.9 <sup>a</sup>	370.5 <sup>ab</sup>	414.4 <sup>a</sup>	377.8 <sup>ab</sup>	348.3 <sup>b</sup>
飼料効率	0.98	0.93	0.93	0.97	0.97
たん白効率、%	19.8	23.1	23.0	22.1	26.0

ab 異符号間に有意差あり (p<0.05)

CFP の配合量を高めても、魚体の DM、たん白質、アミノ酸 (データは示していない)、脂質および灰分量には影響はなく、たん白質の蓄積速度および効率にも影響はなかった (表 14)。また、CFP の配合量は前部フィレ肉の明度 (L\*)、黄色味 (a\*) および赤色味 (b\*) には影響を及ぼさなかったが、後部フィレ肉の色度にはわずかながら相違がみられ

た（表 14）。CFP の消化率が高いことに起因する可能性がある血漿中の P および Mg 濃度の上昇以外には、ほとんどの血液生化学的検査値に差はなかった。CFP の配合割合の増加に対応して総細胞数および血中血球容積が増加した（データは示していない）。組織の炎症の指標であるクレアチンキナーゼ濃度は各飼料間で近似していた。病理組織学的検索においても、腸炎および他の腸障害を示す所見は認められず、ほとんどの遠位腸管でも固有層および粘膜下組織の炎症所見は見られなかった（データは示していない）。これらの結果は、CFP は銀化が始まった後のタイヘイヨウサケ (*Salmo salar*) におけるたん白質およびエネルギー源として優れており、体組成、たん白質および脂質の利用性、フィレ肉への色素沈着および腸の組織像には影響を及ぼさないことを示唆している。ただし、CFP の配合割合を 15% 以上に高めた場合には発育成績が低下する可能性がある。

表 CFP (NexPro) を大豆粕の一部と置換して 0、5、10、15 および 20% 配合した飼料を 12 週間給与したタイヘイヨウサケ (体重 304 g) の発育成績に及ぼす影響 (The Center for Aquaculture Technologies, 2019 による未公表データを POET の許可を得て掲載)

測定項目	CFP 配合量、%				
	0 %	5 %	10%	15%	20%
DM、%	37.1	37.2	38.0	37.8	37.0
たん白質、%	18.8	18.4	18.5	18.7	19.0
たん白蓄積速度、mg/°C、日	45.4	41.4	47.6	41.1	41.1
たん白効率、%	19.8	23.1	23.0	22.1	26.0
脂質、%	17.1	17.5	18.4	18.0	16.8
脂質蓄積速度、mg/°C、日	50.7	50.7	62.6	51.9	43.3
脂質効率、%	59.0	50.4	58.7	54.5	50.5
灰分	1.7	1.7	1.8	1.8	1.8
色調					
前部フィレ肉					
L*	60.0	56.5	56.9	56.3	56.0
a*	7.9	8.0	7.7	7.9	7.9
b*	17.2	17.5	17.2	17.2	17.0
後部フィレ肉					
L*	54.9 <sup>ab</sup>	54.7 <sup>b</sup>	55.5 <sup>ab</sup>	55.7 <sup>a</sup>	54.6 <sup>b</sup>
a*	9.1	9.6	9.1	9.2	9.5
b*	18.8	19.1	18.8	18.6	18.5

ab 異符号間に有意差あり (p<0.05)

アイダホ大学水産養殖研究所のハガーマン養魚実験場で別の試験が行われ、タイヘイヨウサケの稚魚の発育成績に及ぼす (ProCap Gold) の栄養価を測定している。各飼料の CP 含量は 43%、粗脂肪含量は 20% とし、CFP を対照飼料の大豆粕の一部と置き換えた 5 飼料 (飼料 1 (対照) : 大豆粕 22% および CFP 0%、飼料 2 : 同 16.5% および 5.5%、飼料 3 : 同 11.0% および 10.9%、飼料 4 : 同 5.5% および 16.4%、飼料 5 : 同 0% および 21.9%) を用い、体重 21 g のタイヘイヨウサケに 12 週間飽食給餌した。その結果、すべての飼料で生存率は 100% であり、CFP の配合割合の増加に伴う発育成績への有意な影響

はなかった（表 15）。

表 15. CFP (ProCap Gold) の配合割合を高めた場合のタイヘイヨウサケ ( <i>Salmo salar</i> ) の発育成績に及ぼす影響 (アイダホ大学の未公表データ、2022 から引用)					
測定項目	CFP 配合量、%				
	0 %	5.5%	10.9%	16.4%	21.9%
開始時体重、g/尾	21.4	21.5	21.5	21.6	21.4
終了時体重、g/尾	169.4	165.3	161.6	168.6	165.2
増体率、%	691.1	668.9	653.6	682.3	673.0
比成長率、%/日	2.47	2.42	2.40	2.45	2.43
飼料摂取量、g/尾	147.1	143.3	142.6	150.8	146.3
飼料要求率	1.00	0.99	1.02	1.03	1.02
生存率、%	100	100	100	100	100

CFP 配合割合の増加に伴い脂質の消化率が大幅に改善されたが、DM、CP およびエネルギー消化率には影響はなかった（表 16）。この結果は、CFP (ProCap Gold) のタイヘイヨウサケにおける脂質消化率が高く（97.2%）、DM、CP およびエネルギー消化率は、それぞれ 67.5%、88.7% および 76.8% であったことに起因しており、CFP は消化率が優れた飼料原料であり、タイヘイヨウサケ稚魚用飼料に 22% 配合しても発育成績および生存率に影響を与えることはないことを示している。

表 16. CFP (ProCap Gold) の配合割合を高めた場合のタイヘイヨウサケ ( <i>Salmo salar</i> ) における DM、CP、脂質およびエネルギーの見かけの消化率 (%) (アイダホ大学の未公表データ、2022 から引用)					
測定項目	CFP 配合量、%				
	0 %	5.5%	10.9%	16.4%	21.9%
DM	69.9	68.3	69.1	69.7	69.8
CP	88.3	87.5	87.3	87.6	87.4
脂質	95.7 <sup>a</sup>	95.9 <sup>ab</sup>	96.7 <sup>bc</sup>	97.5 <sup>c</sup>	97.3 <sup>c</sup>
エネルギー	78.6	78.2	78.1	78.4	78.5

abc 異符号間に有意差あり ( $p < 0.05$ )

## 結論

ヨーロッパスズキ (*Dicentrarchus labrax*) 稚魚用飼料で CFP を大豆粕と部分的に置き換えて最大 50% 配合すると発育成績が改善され、健康状態にも正の影響を及ぼす可能性がある。ナイルティラピア (*Oreochromis niloticus*) では、CFP を最大 37.5% 配合した場合に最適な発育成績とフィレ肉の組成を得ることが出来る。CFP は稚エビ (*Litopenaeus vannamei*) 用飼料中の大豆粕と部分的に置き換えて最大 30% まで、あるいは、大豆粕および魚粉と部分的に置き換えて最大 18% まで配合しても発育成績に悪影響を及ぼす恐れがない優れた植物性飼料原料であるが、CFP のエネルギーおよびアミノ酸消化率は変動す

る可能性があり、大豆粕より低い場合がある。タイハイヨウサケを用いた2つの飼育試験結果からはタイハイヨウサケにおける最適な最大配合割合が異なることが示唆されるが、1試験の結果では CFP の配合割合を最大 22%としても発育成績や飼料摂取量に低下させることなく利用可能であることが示されている。

## 引用文献

- Auburn University. Evaluation of corn fermented protein as a partial replacement for corn protein concentrate in diets for juvenile Nile tilapia (7.5 g initial body weight) on growth performance during a 9-week feeding period. (Unpublished data provided with permission from POET) .
- Burton, E., D. Scholey, A. Alkhtib, and P. Williams. 2021. Use of an ethanol bio-refinery product as a soy bean alternative in diets for fast-growing meat production species: A circular economy approach. *Sustainability* 13:11019. <https://doi.org/10.3390/su131911019>
- Goda, A. A. S., T. M. Srour, E. Omar, A. T. Mansour, M. Z. Baromh, S. A. Mohamed, E. El-Haroun, and S. J. Davies. 2019. Appraisal of a high protein distillers dried grain (DDG) in diets for European sea bass, *Dicentrarchus labrax* fingerlings on growth performance, hematological status and related gut histology. *Aquaculture Nutrition* 25:808–816. <https://doi.org/10.1111/anu.12898>
- Goda, A. M. A. -S., S. R. Ahmed, H. M. Nazmi, M. Z. Baromh, K. Fitzsimmons, W. Rossi, Jr., S. Davies, E. El-Haroun. 2020. Partial replacement of dietary soybean meal by high-protein distiller's dried grains (HPDDG) supplemented with protease enzyme for European seabass, *Dicentrarchus labrax* fingerlings. *Aquaculture Nutrition* 26:842–852.
- Guo, J., J. Reis, G. Salze, M. Rhodes, S. Tilton, and D. A Davis. 2019. Using high protein distiller's dried grain product to replace corn protein concentrate and fish meal in practical diets for the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *J. World Aquac. Soc.* 50:983–992. <https://doi.org/10.1111/jwas.12606>
- The Center for Aquaculture Technologies. 2019. Effect of NexPro on weight gain, nutrient utilization, fillet color, blood plasma biochemistry and gut physiology of post-smolt Atlantic salmon. Unpublished report provided with permission from POET.

Qui, X., H. Tian, and D.A. Davis. 2017. Evaluation of a high protein distiller' s dried grains product as a protein source in practical diets for Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture* 480:1-10. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.07.038>

Chapter 2. Feeding Applications of Corn Fermented Protein Co-Products in Aquaculture Diets 12

Suehs, B.A. and D.M Gatlin III. 2022. Evaluation of a commercial high-protein distillers dried grain with solubles (DDGS) product in the diet of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) . *Aquaculture Nutrition*, In press.