

合成タウリンを添加した魚粉低減飼料給餌によるカンパチの成長

前野幸二・村瀬拓也・平江多績¹⁾・柳宗悦・佐藤秀一²⁾

1) 商工労働水産部水産振興課, 2) 東京海洋大学

要 約

従来の魚粉割合と同等の飼料及び段階的に魚粉割合を低減し、異なる割合で合成タウリンを添加した EP 飼料を用い、カンパチ当歳魚（試験 1）及び 1 歳魚（試験 2, 3）を供試魚とした飼育試験を実施し、尾又長や魚体重、肥満度等の成長指標や窒素、リンを環境負荷指標として魚粉割合の低減化及び合成タウリン添加による成長等改善効果について検証した。その結果、カンパチ当歳魚においては魚粉割合を 40 % に低減した飼料には、従来飼料とタウリン量が同程度になるよう合成タウリンを添加すること、1 歳魚においては合成タウリン無添加の飼料では成長が劣るため、当歳魚と同様、魚粉割合を 20 % 程度に低減した飼料にも従来飼料とタウリン量が同程度になるように合成タウリンを添加することで、魚粉量の低減化と飼料由来の環境負荷量の抑制が可能であると判断された。

海面養殖業は、水産物の安定供給を図る上で重要な役割を担っている。近年、養魚用配合飼料の大部分を占める輸入魚粉の価格は不安定に変動しており養殖経営に影響が出ている¹⁾。そのため、養殖生産コストの大部分を占める餌飼料について改善が求められており、特に、配合飼料中の多くを占める魚粉の配合割合を低減し、かつ漁場環境に配慮した養魚飼料に対する関心が高まっている。しかし、魚粉割合を低減し、魚粉代替蛋白質源の比率を高めた低魚粉飼料や無魚粉飼料では、摂餌状態の悪化や成長停滞、緑肝症の発症等が認められることが報告されている²⁻⁵⁾。

一方、これら低・無魚粉飼料の魚粉代替源として使用される植物性原料にはタウリンが含まれていないこと⁶⁾、無魚粉飼料で飼育したブリの飼育成績は劣り、貧血と緑肝が高率に見られるが、タウリンを添加することで症状が改善されることも報告されている⁷⁾。そこで、合成タウリンを無添加あるいは異なる量で添加した魚粉低減飼料を製造し、カンパチを対象に給餌飼育試験を行い、魚粉割合の低減化及び合成タウリン添加による成長の改善効果について検証した。

なお、本研究は、水産庁委託事業である低コスト飼料・効率的生産手法開発事業（H20 ～ 22）により実施した。

材料及び方法

試験1

カンパチ当歳魚を対象とした魚粉低減飼料の検討

1 飼料

試験飼料の飼料組成及び一般成分を表 1 に示す。試験飼料は 4 種類の EP 飼料で、魚粉割合が従来の飼料と同等程度の飼料 1-1（魚粉 60 %）、魚粉割合を 40 % に低減した飼料 1-2、飼料 1-2 に合成タウリンを 0.15 % 添加した飼料 1-3、飼料 1-2 に合成タウリンを 0.7 % 添加した飼料 1-4 とした。魚粉代替源には、植物性タンパク質原料である大豆油粕、コーングルテンミールを使用した。飼料の一般成分は、常法により分析した。

表 1 試験飼料の飼料組成及び一般成分

試験飼料	1-1	1-2	1-3	1-4
配合割合 (%)				
アンチヨビミール	60.0	40.0	40.00	40.0
大豆油粕		6.5	6.50	6.5
コーングルテンミール		17.5	17.50	17.5
小麦粉	12.0	7.1	6.95	6.4
タピオカデンプン	10.0	10.0	10.00	10.0
魚油	10.0	10.4	10.40	10.4
外添油(魚油)	5.0	5.0	5.00	5.0
ビタミン混合物	2.0	2.0	2.00	2.0
無機質混合物	1.0	1.0	1.00	1.0
リン酸カルシウム		0.5	0.50	0.5
タウリン(合成)			0.15	0.7
合計	100.0	100.0	100.00	100.0
一般成分 (%)				
飼料粒径(5mm)				
水分	2.9	2.7	3.1	4.7
粗タンパク質	43.5	46.0	44.8	45.3
粗脂肪	19.1	19.3	19.5	18.5
灰分	10.5	8.4	8.2	8.0
飼料粒径(8mm)				
水分	4.1	4.5	4.3	5.1
粗タンパク質	44.2	46.0	43.8	45.6
粗脂肪	18.1	16.4	18.3	17.1
灰分	10.6	8.3	11.0	8.2
タウリン (%)	0.35	0.25	0.36	0.82

2 飼育

鹿児島湾内で飼育養成されたカンパチ当歳魚を試験に供し、飼育は鹿児島県指宿市岩本地先（鹿児島県水産技術開発センター）の海面小割生簀（3.6m × 3.6m × 3.0m）で行った。飼料 1-1 で 20 日間予備飼育した平均体重 200g のカンパチ当歳魚を 80 尾ずつ 8 生簀に収容し、平成 20 年 8 月 19 日から 12 月 9 日までの 112 日間飼育した。各飼料区ともに反復区を設け、土・日・祝日を除く 1 日 1 回午前中に飽食まで給餌した。全期間を魚体測定を行った 4 週間毎に区切り、I 期、II 期、III 期、IV 期とした。

3 測定及び分析

開始時（8/19）と終了時（12/9）に全尾数の尾又長及び体重を測定した。また、4 週間毎（9/16, 10/14, 11/11）に一生簀当たり 30 尾の尾又長及び体重を測定した。得られた結果を基に、肥満度を算出するとともに増重量と給餌量から日間増重率、日間給餌率、増肉係数を算出した。また、飼育開始時に 5 尾、飼育終了時に一生簀当たり 5 尾を取り上げ、それぞれの一般成分を常法により、全リン量を比色分析法により測定し、飼料中のリン及び窒素について魚体への蓄積率（以下、リン蓄積率及び窒素蓄積率とする）及び環境への負荷量（以下、リン負荷量及び窒素負荷量とする）を次の (1) ~ (4) 式を用いて推定した。これとは別に飼育開始時に 5 尾、飼育終了時に一生簀当たり 5 尾を取り上げ、これらを肝臓とそれ以外の魚体とに分け、それぞれのタウリン含有量を分析した。

$$\text{リン蓄積率(\%)} = \frac{(Bf \cdot Pbf - Bi \cdot Pbi)}{F \cdot Pf} \times 100 \dots (1)$$

$$\text{窒素蓄積率(\%)} = \frac{(Bf \cdot Nbf - Bi \cdot Nbi)}{F \cdot Nf} \times 100 \dots (2)$$

$$\text{リン負荷量(kg/生産量t)} = \left\{ C \cdot Pf - \frac{(Bf \cdot Pbf - Bi \cdot Pbi)}{(Bf - Bi)} \right\} \times 10 \dots (3)$$

$$\text{窒素負荷量(kg/生産量t)} = \left\{ C \cdot Nf - \frac{(Bf \cdot Nbf - Bi \cdot Nbi)}{(Bf - Bi)} \right\} \times 10 \dots (4)$$

Bf : 試験終了時の体重(g)

Pbf : 試験終了時の魚体リン含有量(%)

Bi : 試験開始時の体重(g)

Pbi : 試験開始時の魚体リン含有量(%)

F : 1尾当たりの給餌量(g)

Pf : 飼料中のリン含有量(%)

Nbf : 試験終了時の魚体窒素含有量(%)

Nbi : 試験開始時の魚体窒素含有量(%)

Nf : 飼料中の窒素含有量(%)

C : 増肉係数

4 統計検定

尾又長、魚体重等の各測定値について、Tukey の多重比較検定法により有意差 ($p < 0.05$) の検定を行った。

試験 2

カンパチ 1 歳魚を対象とした魚粉低減飼料の検討 1

1 飼料

試験飼料の飼料組成及び一般成分を表 2 に示す。試験飼料は 4 種類の EP 飼料で、魚粉割合が従来の飼料と同等程度の飼料 2-1（魚粉 60%）、魚粉割合を 32% に低減し合成タウリンを 0.2% 添加した飼料 2-2、魚粉量を 21% に低減し合成タウリン無添加の飼料 2-3、飼料 2-3 に合成タウリンを 0.28% 添加した飼料 2-4 とした。魚粉代替源には、濃縮大豆タンパク質、大豆油粕、コーングルテンミールを使用し、摂餌促進物質としてペプタイドミールを添加した。飼料の一般成分は、常法により分析した。

2 飼育

試験地及び生簀規模は試験 1 と同じとし、試験には鹿児島湾内で飼育養成されたカンパチ 1 歳魚を用いた。飼料 2-1 で 21 日間予備飼育した平均体重 1.4kg のカンパチ 1 歳魚を 50 尾ずつ 8 生簀に収容し、平成 21 年 8 月 11 日から 12 月 1 日までの 113 日間飼育した。試験 1 同様、各飼料区ともに反復区を設け、土・日・祝日を除く 1 日 1 回午前中に飽食まで給餌した。全期間を魚体測定を行った 4 週間毎に区切り、I 期、II 期、III 期、IV 期とした。

表 2 試験飼料の飼料組成及び一般成分

試験飼料	2-1	2-2	2-3	2-4
配合割合 (%)				
アンチョビミール	60.0	32.0	21.0	21.00
濃縮大豆タンパク質		3.0	5.0	5.00
大豆油粕		15.0	19.0	19.00
コーングルテンミール		13.0	20.0	20.00
ペプチドミール		3.0	3.0	3.00
小麦粉	13.0	11.8	9.8	9.52
脱脂米糠	7.0			
タピオカデンプン	7.0	7.0	7.0	7.00
魚油	10.0	11.0	11.2	11.20
ビタミン混合物	2.0	2.0	2.0	2.00
無機質混合物	1.0	1.0	1.0	1.00
リン酸カルシウム		1.0	1.0	1.00
タウリン(合成)		0.2		0.28
合計	100.0	100.0	100.0	100.00
一般成分 (%)				
水分	6.4	4.0	8.0	6.5
粗タンパク質	43.0	44.0	41.1	40.4
粗脂肪	17.1	19.8	16.7	17.0
灰分	10.5	7.9	8.0	6.3
タウリン (%)	0.31	0.32	0.25	0.30

3 測定及び分析

開始時 (8/11), 中間時 (9/8, 10/6, 11/4) 及び終了時 (12/1) に全尾数の尾叉長及び体重を測定し, 肥満度を算出するとともに増重量と給餌量から日間増重率, 日間給餌率, 増肉係数を算出した。また, 飼育開始時に 5 尾, 飼育終了時に一生簀当たり 5 尾を取り上げ, 試験 1 と同様の方法で一般成分及び全リン量を測定した。また, 商品としての品質を確認するため, 飼育終了時に一生簀当たり 2 尾を取り上げ, 体表及び切り身の色調並びに切り身からのドリップ量を測定した。すなわち, 生簀から飼育魚を取り上げ, 直ちに活き締めし, 30 分間冷海水中で脱血処理した魚体を各種測定に用いることとした。体表の色調は, 頭部及び胸鰭後端の黄帯上の 2 カ所を測定箇所とし, 切り身は魚体を三枚に卸した後, 片側背部から幅 1cm で切り出し, 表皮を取り除いた状態の精肉部と血合肉部の色調を測定した。体表は脱血処理後に 1 回, 切り身は 0, 24, 48 及び 72 時間後に色彩色差計 CR-2000 (ミノルタ製) を用いて L 値, a 値及び b 値を測定した。また, 上岡ら⁸⁾の方法により b/a を指標として血合肉部の経時的な変色度を評価した。なお, L 値は明度, a 値は赤色度, b 値は黄色度を示す指標である。ドリップ量は, 色調と同様に処理した切り身をシャーレ内の濾紙に載せ, 食品包装用フィルムで覆い, 5℃にて 24, 48 及び 72 時間保管した後, 切り身重量を測定し, 保管開始時からの差し引き減量をドリップ量とした。

4 統計検定

各測定値について Tukey の多重比較検定法により有意差 ($p < 0.05$) の検定を行った。

試験 3

カンパチ 1 歳魚を対象とした魚粉低減飼料の検討 2

1 飼料

試験飼料の飼料組成及び一般成分を表 3 に示す。試験飼料は 4 種類の EP 飼料料で, 魚粉割合が従来の飼料と同等程度の飼料 3-1 (魚粉 50%), 魚粉割合を 30% に低減し, 合成タウリンを 0.2% 添加した飼料 3-2, 魚粉割合を 20% に低減し, アミノ酸を 1.1%, 合成タウリンを 0.3% 添加した飼料 3-3, 魚粉割合を 10% に低減し, アミノ酸を 2.2%, 合成タウリンを 0.4% 添加した飼料 3-4 とした。魚粉代替源には, 濃縮大豆タンパク質, 大豆油粕, コーングルテンミールを使用し, 摂餌促進物質としてオキアミミールを添加した。飼料の一般成分は, 常法により分析した。

表 3 試験飼料の飼料組成及び一般成分

試験飼料	3-1	3-2	3-3	3-4
配合割合 (%)				
アンチョビミール	50.0	30.0	20.0	10.0
濃縮大豆タンパク質		3.0	5.0	7.0
大豆油粕	9.0	15.0	20.0	25.0
コーングルテンミール		13.0	19.0	24.0
オキアミミール		2.0	2.0	3.0
小麦粉	12.5	12.2	8.2	5.2
脱脂米糠	8.3	3.0	2.0	
タピオカデンプン	7.0	7.0	7.0	7.0
魚油	10.2	10.6	10.9	11.2
ビタミン混合物	2.0	2.0	2.0	2.0
無機質混合物	1.0	1.0	1.0	1.0
リン酸カルシウム		1.0	1.5	2.0
アミノ酸*			1.1	2.2
タウリン(合成)		0.2	0.3	0.4
合計	100.0	100.0	100.0	100.0
一般成分 (%)				
水分	7.3	7.1	8.1	7.4
粗タンパク質	43.2	42.4	43.0	43.9
粗脂肪	8.6	9.0	8.8	8.9
灰分	9.7	6.9	7.1	7.1
タウリン (%)	0.28	0.33	0.36	0.41

*リジン(1):メチオニン(0.5):スレオニン(0.5):トリプトファン(0.2)

2 飼育

鹿児島湾内で飼育養成されたカンパチ 1 歳魚を試験に供した。試験地及び生簀規模は試験 1, 2 と同じとした。飼料 3-1 で 24 日間予備飼育した平均体重 1.5kg のカンパチ 1 歳魚を 70 尾ずつ 8 生簀に収容し, 平成 22 年 7 月 29 日から 11 月 19 日までの 114 日間飼育した。

試験 1, 2 同様, 各飼料区ともに反復区を設け, 土・日・祝日を除く 1 日 1 回午前中に飽食まで給餌した。全期間を魚体測定を行った 4 週間毎に区切り, I 期, II 期, III 期, IV 期とした。

3 測定及び分析

開始時 (7/29), 中間時 (8/26, 9/22, 10/21) 及び終了時 (11/24) に全尾数の尾又長及び体重を測定し, 肥満度を算出するとともに増重量と給餌量から日間増重量, 日間給餌率, 増肉係数を算出した。また, 飼育開始時に 5 尾, 飼育終了時に 1 生簀当たり 5 尾を取り上げ, 試験 1, 2 と同様の方法で一般成分及び全リン量を測定した。得られた結果から試験 1 (1)~(4) 式を用い, リン及び窒素の蓄積率及び負荷量を推定した。これとは別に飼育開始時に 5 尾, 飼育終了時に 1 生簀当たり 5 尾を取り上げ, 肝臓とそれ以外の魚体及び飼料中のタウリン含有量を測定した。得られた結果から飼料中のタウリンの魚体への蓄積率を次の (5) 式を用いて推定した。

$$\text{タウリン蓄積率 (\%)} = \frac{(Bf \cdot Tbf - Bi \cdot Tbi)}{F \cdot Tf} \times 100 \dots (5)$$

Bf : 試験終了時の体重 (g)

Tbf : 試験終了時の魚体タウリン含有量 (%)

Bi : 試験開始時の体重 (g)

Tbi : 試験開始時の魚体タウリン含有量 (%)

F : 1 尾当たりの給餌量 (g)

Tf : 飼料中のタウリン含有量 (%)

さらに, 飼育開始時に 5 尾, 飼育終了時に 1 生簀当たり 5 尾の尾部血管から 22G ステンレス針を付したヘパリン処理済みの注射器を用いて採血を行い, ヘマトクリット値を測定するとともに, ドライケム FDC3500i (富士フィルム社製) を用いて血漿成分を測定した。また, 商品としての品質を確認するため, 体表の色調を試験 2 と同様の方法で測定したほか, 切り身の圧縮強度を測定した。圧縮強度は, 色調の測定同様, 幅 1cm に切り出し, さらに腹骨を除去し, かつ血合肉を含まないよう表皮まで切除した背側の精肉部を試料とした。これを RHEO METER CR-500 DX (株式会社サン科学製) に装着した直径 5mm 円盤形プランジャーを 1mm/sec の速度で進入させて測定した。加えて試験終了時に食味調査を実施した。食味調査に当たっては, 調査前日に各飼料区から 3 尾ずつ取り上げ, 直ちに活け締めし 60 分間冷海水中で脱血処理した後, 翌日まで 5℃ の冷蔵庫内に保管した。調査当日, 背側を刺身

に調理し 20 ~ 60 歳代の当センター職員ら 37 名に提供し, 色やにおいの外観, 歯ごたえ, 脂ののり, うまみ及び総合評価の 5 項目を「非常に良い」, 「良い」, 「普通」, 「やや悪い」, 「悪い」の 5 段階で評価してもらった。評価点は, 非常に良いが +2 点, 良いが +1 点, 普通が 0 点, やや悪いが -1 点, 悪いが -2 点とし, 合計点を算出し各項目を評価した。

4 統計検定

各測定値について, Tukey の多重比較検定法により有意差 ($p < 0.05$) の検定を行った。

結果

試験 1

カンパチ当歳魚を対象とした魚粉低減飼料の検討

1 飼育成績

試験開始後 2 ~ 4 週にかけてイリドウイルス感染症やハダムシ寄生により, 各区でへい死が発生した。終了時の生残率は, 飼料 1-1 で 63%, 飼料 1-2 で 79%, 飼料 1-3 で 69%, 飼料 1-4 で 67% となったが, 統計的な有意差は認められなかった。

飼育期間中の水温と期間毎の日間給餌率の推移を図 1 に示す。期間中の水温は, 15.8 ~ 29.7℃ (平均 24.2℃) であった。各期の日間給餌率は, I 期は 2% 前後であったが, II 期になると 1.5 ~ 1.8% に低下した。III 期には, 1.9 ~ 2.2% に改善したが, 水温低下に伴い IV 期には再び 1.1 ~ 1.3% に低下した。通算の日間給餌率は, 全区で 1.3% 台であった。

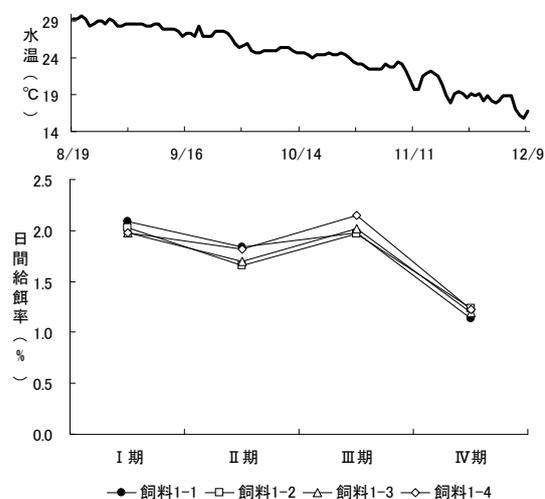


図 1 水温と日間給餌率(乾物換算)の推移

図 2 に平均体重の推移を示す。試験終了時の平均体重は、飼料 1-4>飼料 1-1>飼料 1-3>飼料 1-2 となったが、飼料間で有意な差は見られなかった。

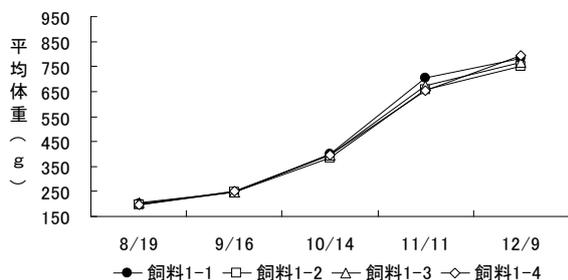


図 2 平均体重の推移

表 4 に飼育成績を示す。尾又長は、飼料 1-4>飼料 1-3>飼料 1-1>飼料 1-2 の順となったが、大きな差異ではなかった。通算の増肉係数は、飼料 1-2>飼料 1-3>飼料 1-1>飼料 1-4 となり、全て 1.3 前後であった。

表 4 飼育成績

試験区	飼料 1-1	飼料 1-2	飼料 1-3	飼料 1-4
飼育日数	112	112	112	112
給餌回数	70	70	70	70
尾数	開始時 80	80	80	80
	終了時 51	63	56	54
平均体重(g)	開始時 199.2	197.9	203.1	198.7
	終了時 783.3	752.4	765.6	793.5
平均尾又長(cm)	開始時 23.5	23.4	23.6	23.4
	終了時 33.8	33.7	33.8	34.1
平均肥満度	開始時 15.3	15.3	15.4	15.3
	終了時 20.1	19.5	19.6	19.9
生残率(%)	63.1	78.8	69.4	66.9
増重率(%)	293.2	280.2	277.0	299.3
日間増重率(%)	1.22	1.19	1.18	1.24
日間給餌率(%)*	1.31	1.38	1.32	1.32
増肉係数*	1.24	1.32	1.27	1.23

*乾物換算

各期の増肉係数と平均水温を図 3 に示す。I 期で若干の差が見られたが、II 期では全区で 1.1 前後を示し、III 期もほぼ同等であった。しかし、水温が 20℃を下回ったIV期は、飼料 1-1 が 3.0 と最も高く、次いで飼料 1-2, 飼料 1-3 の 2.6 で飼料 1-4 は 1.8 と最も優れた。

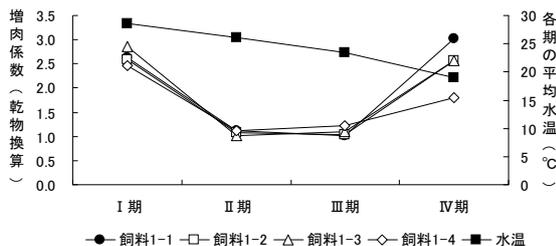


図 3 各期の増肉係数と平均水温

2 魚体成分

魚体の一般成分を表 5 に示す。水分、粗タンパク質、粗脂肪は全ての試験区間で近似していた。粗灰分は、飼料 1-1 と飼料 1-3・1-4 の間で有意な差が認められ ($p < 0.05$), 魚粉 40%飼料区の方が多かった。

表 5 魚体の一般成分

試験区	飼料 1-1	飼料 1-2	飼料 1-3	飼料 1-4
水分 (%)	65.6 a	64.9 a	64.8 a	64.7 a
粗タンパク質 (%)	19.5 a	18.8 a	19.4 a	19.4 a
粗脂肪 (%)	12.7 a	13.2 a	13.3 a	13.2 a
粗灰分 (%)	2.7 a	2.8 ab	2.8 bc	2.9 c
リン (%)	0.60 a	0.64 a	0.68 a	0.74 a
分析魚体の性状(平均)				
体重(g)	2,355	2,326	2,260	2,344
尾又長(cm)	51.2	50.6	50.5	51
肥満度	17.5	17.9	17.4	17.7

1 検体は 5 尾/生簀で 1 飼料区当たり 2 検体の平均値とした
各項目末尾の異なる文字間で有意差があることを示す ($p < 0.05$)

3 リン及び窒素の蓄積率と負荷量の推定

飼料中のリン及び窒素の魚体への蓄積率と環境への負荷量を分析値と給餌量から推定し表 6 に示した。リン蓄積率は飼料間で有意な差はなかったが、飼料 1-4>飼料 1-3>飼料 1-2>飼料 1-1 となり、魚粉 60%飼料より魚粉 40%飼料で高く、また、合成タウリンの添加量が多い飼料区ほど高い傾向にあった。リン負荷量は、魚粉 60%飼料と魚粉 40%飼料の間で有意差が認められ ($p < 0.05$), 魚粉低減飼料区の方が少なかった。窒素蓄積率は、各飼料間で有意な差は認められなかった。窒素負荷量は、飼料 1-1>飼料 1-4>飼料 1-2>飼料 1-3 となり、魚粉量 60%飼料と魚粉量 40%飼料の間で有意差が認められた ($p < 0.05$)。

表 6 リン及び窒素の蓄積率と負荷量の推定

試験区	蓄積率(%)		負荷量(kg/生産量t)	
	リン	窒素	リン	窒素
飼料 1-1	18.6±4.3 a	28.9±0.0 a	22.8±1.5 a	77.6±1.0 a
飼料 1-2	30.8±7.1 a	28.5±4.6 a	13.5±2.6 b	76.4±12.0 b
飼料 1-3	32.7±3.8 a	33.7±1.9 a	13.3±0.2 b	61.5±4.1 b
飼料 1-4	35.2±5.6 a	29.1±1.2 a	13.4±0.7 b	76.4±3.7 b
平均±標準偏差				

各項目末尾の異なる文字間で有意差があることを示す ($p < 0.05$)

4 タウリン量

魚体及び肝臓のタウリン量を表 7 に示した。試験終了時の魚体タウリン含有量は、飼料 1-1 では開始時と同程度、飼料 1-3, 1-4 は増加したが、飼料 1-2 は減少した。飼料 1-1 と飼料 1-4, 飼料 1-2 と飼料 1-3・1-4 の間で有意差が認められた ($p < 0.05$)。また、終了時の肝臓タウリン含有量も魚体と同じ傾向を示し、飼料 1-1 は開始時と同程度、飼料 1-3, 1-4 は増加したが、飼料 1-2

だけは減少し飼料 1-1 と飼料 1-4, 飼料 1-2 と飼料 1-3 ・1-4 の間で有意差が認められた ($p<0.05$)。

表 7 魚体及び肝臓のタウリン量

		魚体(mg/100g)	肝臓(mg/100g)
開始時		171.8	108.6
終了時	飼料1-1	178.5±16.1 ab	111.5±7.2 ab
	飼料1-2	161.8± 0.6 a	102.5±1.5 a
	飼料1-3	225.5±17.9 bc	129.8±6.1 bc
	飼料1-4	249.6± 9.8 c	139.1±3.1 c

平均±標準偏差
各項目末尾の異なる文字間で有意差があることを示す($p<0.05$)

試験 2

カンパチ1歳魚を対象とした魚粉低減飼料の検討 1

1 飼育成績

高水温期 (I 期) 初期は, レンサ球菌症等により魚粉低減飼料区でへい死が多数発生したが, II 期に入ると飼料 2-1 でもへい死数が増加し, 終了時の生残率は, 飼料 2-1 で 56%, 飼料 2-2 で 47%, 飼料 2-3 で 42%, 飼料 2-4 で 65% となった。飼料間では有意差はなかったものの, 飼料 2-3 の生残率が最も悪かった。

飼育期間中の水温と期間毎の日間給餌率の推移を図 4 に示す。期間中の水温は, 17.1 ~ 29.0 °C (平均 24.0 °C) であった。期間毎の日間給餌率は, I 期の 1.20 ~ 1.40 % から II 期には 1.34 ~ 1.69 % に上昇したが, 水温低下とともに III 期は 1.29 ~ 1.58 %, IV 期には 0.99 ~ 1.33 % へ低下した。通算の日間給餌率は 1.0 ~ 1.2 % の間で飼料 2-1>飼料 2-4>飼料 2-2>飼料 2-3 の順となったが, 飼料間で有意な差は見られなかった。

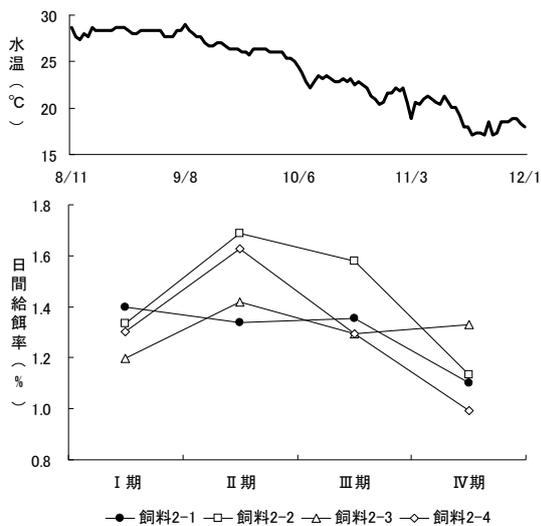


図 4 水温と日間給餌率(乾物換算)の推移

各区の平均体重の推移を図 5 に示す。飼料 2-2 と飼料 2-4 が同等の成長を示し, 次いで飼料 2-1 であった。合成タウリン無添加の飼料 2-3 は他区より劣り, 有意な差が見られた ($p<0.05$)。また, 飼料 2-3 は魚体重だけでなく尾又長及び肥満度も劣った。

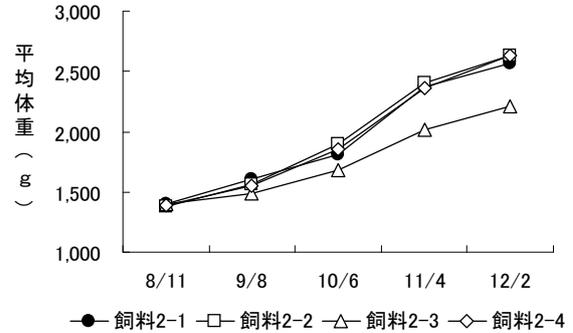


図 5 平均体重の推移

表 8 に飼育成績を示す。増肉係数は, 成長の劣った飼料 2-3 が最も高く, 飼料 2-3>飼料 2-1>飼料 2-4>飼料 2-2 の順となった。

表 8 飼育成績

試験区	飼料2-1	飼料2-2	飼料2-3	飼料2-4
飼育日数	113	113	113	113
給餌回数	68	68	68	68
尾数	開始時 50	50	50	50
	終了時 28	24	21	33
平均体重(g)	開始時 1,401	1,381	1,399	1,384
	終了時 2,566	2,633	2,213	2,637
平均尾又長(cm)	開始時 45.6	45.3	45.6	45.4
	終了時 51.8	52.1	50.4	52.4
平均肥満度	開始時 14.7	14.8	14.7	14.8
	終了時 18.4	18.4	17.2	18.3
生残率(%)	56.0	47.0	42.0	65.0
増重率(%)	83.1	90.7	58.2	90.5
日間増重率(%)	0.54	0.57	0.41	0.57
日間給餌率(%)*	1.18	1.06	1.04	1.10
増肉係数*	2.27	1.91	2.62	1.99

* 乾物換算

各期の増肉係数と平均水温を図 6 に示す。期間毎で見ると開始時から水温が 20 °C 以上で推移した III 期までは, 水温の低下とともに増肉係数の改善が見られたが, 水温が 20 °C を下回った IV 期は成長が鈍化したため増肉係数は上昇した。水温が 20 °C を下回った IV 期においては, 飼料 2-3 が最も高い 4.1, 次いで飼料 2-1 の 4.0, 飼料 2-2 の 3.5 の順となり, 飼料 2-4 は 2.6 と最も優れた。

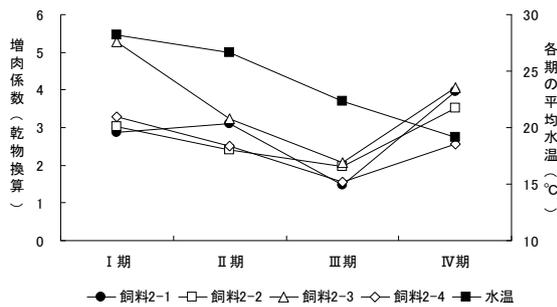


図6 各期の増肉係数と平均水温

2 魚体成分

魚体の一般成分を表9に示す。飼料2-2及び飼料2-4に対して飼料2-3の魚体成分は、水分が多く粗脂肪は少くなっており有意差が認められた ($p < 0.05$)。

表9 魚体の一般成分

試験区	飼料2-1	飼料2-2	飼料2-3	飼料2-4
水分(%)	63.2 ab	62.0 a	65.4 b	62.0 a
粗タンパク質(%)	19.0 a	19.0 a	19.5 a	19.5 a
粗脂肪(%)	14.9 ab	16.5 a	12.6 b	16.0 a
粗灰分(%)	2.9 a	3.1 a	3.0 a	3.0 a
リン(%)	0.33 a	0.26 a	0.39 a	0.28 a
分析魚体の性状(平均)				
体重(g)	2,651	2,697	2,289	2,603
尾叉長(cm)	52.2	52.4	50.9	51.9
肥満度	18.6	18.8	17.2	18.6

1検体は5尾/生簀で一飼料区当たり2検体の平均値とした
各項目末尾の異なる文字間で有意差があることを示す ($p < 0.05$)

3 色調

体表部位別の b 値を表 10 に示す。全ての飼料区で頭部の方が高値を示す傾向が見られた。また、測定値に有意差は認められなかったが、測定箇所のもいずれも飼料2-2, 2-3, 2-4 の b 値は飼料2-1 の値より高かった。この色調の違いは肉眼でも確認でき、植物性原料の多い飼料区の方が濃い黄色を帯びていた。

表10 体表部位別のb値

部 位	飼料2-1	飼料2-2	飼料2-3	飼料2-4
頭 部	25.5±3.3	35.5±7.3	29.6±10.3	41.4±6.8
胸鰭後端	17.7±7.2	29.5±1.9	28.7± 3.8	31.7±3.8
平均±標準偏差				

次に、切り身の精肉部及び血合肉の色調を表 11 に示す。精肉部の L 値は、飼料間で大きな差異はなかったが、経時的に上昇した。血合肉部の L, a, b 値に大きな差異は見られなかった。また、褐変度を表す b/a は経時的に上昇し、72 時間後で明らかな褐変の度合いとされる 0.8⁸⁾ 前後となったが、飼料間で大きな差異は見られなかった。

4 ドリップ量

切り身を冷蔵保管してから 24, 48 及び 72 時間後の総ドリップ量を図 7 に示した。24 時間後では 3.4 % 前後、48 時間後では 5.0 % 前後、72 時間後では 6.2 % 前後となり、飼料間で有意差は認められなかった。

表11 精肉部及び血合肉の色調

部 位	項 目	経過時間	飼料2-1	飼料2-2	飼料2-3	飼料2-4
精 肉	L	0h	32.4 ± 3.7	28.8 ± 1.1	31.6 ± 1.1	30.1 ± 0.4
		24h	34.5 ± 0.7	32.2 ± 0.7	33.4 ± 0.7	32.5 ± 0.8
		48h	35.8 ± 1.4	33.9 ± 0.8	35.0 ± 0.7	34.2 ± 0.7
		72h	36.6 ± 1.1	34.8 ± 0.8	36.4 ± 1.2	35.4 ± 0.5
	L	0h	45.2 ± 1.7	45.9 ± 1.6	44.1 ± 1.9	46.1 ± 1.6
		24h	46.6 ± 1.4	46.9 ± 2.0	46.7 ± 1.9	47.0 ± 1.3
		48h	48.1 ± 1.6	48.4 ± 2.4	46.9 ± 1.7	48.4 ± 1.5
		72h	47.3 ± 3.5	48.4 ± 1.9	47.5 ± 1.6	49.5 ± 1.6
	a	0h	18.5 ± 1.1	19.2 ± 1.5	17.6 ± 2.6	17.9 ± 2.3
		24h	19.8 ± 1.1	19.5 ± 1.2	19.3 ± 1.1	19.9 ± 1.1
		48h	19.1 ± 1.6	19.3 ± 1.4	19.0 ± 1.3	19.6 ± 0.8
		72h	18.1 ± 3.2	18.1 ± 3.1	17.3 ± 2.6	17.7 ± 1.3
血合肉	b	0h	7.6 ± 0.7	8.2 ± 0.7	6.8 ± 1.2	7.2 ± 0.9
		24h	11.4 ± 0.8	10.7 ± 0.6	10.9 ± 0.8	11.1 ± 0.5
		48h	12.6 ± 1.3	12.3 ± 1.2	11.8 ± 1.2	11.8 ± 0.7
		72h	14.2 ± 1.2	13.6 ± 1.2	13.6 ± 0.7	13.6 ± 0.7
	b/a	0h	0.41 ± 0.04	0.43 ± 0.04	0.39 ± 0.08	0.39 ± 0.04
		24h	0.58 ± 0.05	0.55 ± 0.08	0.57 ± 0.07	0.56 ± 0.05
		48h	0.66 ± 0.06	0.65 ± 0.12	0.62 ± 0.08	0.60 ± 0.07
		72h	0.81 ± 0.20	0.79 ± 0.27	0.81 ± 0.17	0.77 ± 0.13

平均±標準偏差

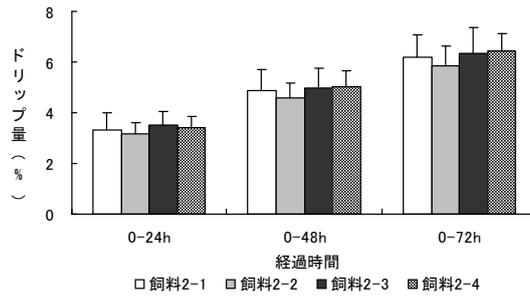


図7 ドリップ量 (平均±標準偏差)

試験3

カンパチ1歳魚を対象とした魚粉低減飼料の検討2

1 飼育成績

試験開始から2週間後である8/10から8/11にかけて、飼料3-2と飼料3-3で各28尾がへい死したため、病理学的検査を行ったが、疾病と判断する原因は確認できなかった。しかしながら、口蓋及び鰓蓋が大きく開いた状態の魚体が多かったため、酸欠でへい死したものと推察した。このへい死のため、終了時の生残率は、飼料3-1で80%、飼料3-2で47%、飼料3-3で68%、飼料3-4で86%となった。

飼育期間中の水温と期間毎の日間給餌率の推移を図8に示す。期間中の水温は、20.0～31.2℃(平均26.7℃)であったが、試験開始から29℃前後の高水温の状態が約2ヶ月継続した。各期の日間給餌率は、I期が0.62～0.72%、II期が0.80～0.95%、III期が1.25～1.49%、IV期が1.10～1.17%であった。通算の日間給餌率は、飼料3-1が0.99%、飼料3-2が0.78%、飼料3-3が0.89%、飼料3-4が0.94%となり、飼料3-2は、飼料3-1、飼料3-4と比較して有意に低かった($p < 0.05$)。

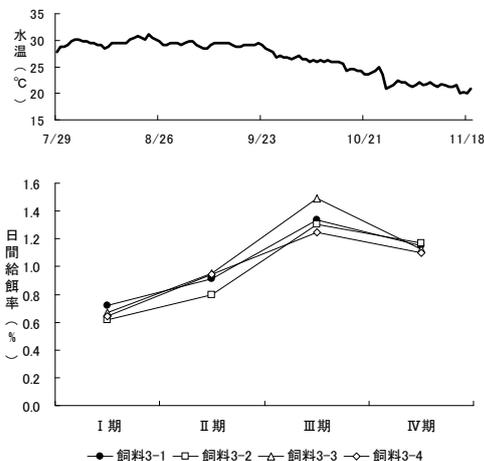


図8 水温と日間給餌率(乾物換算)の推移

各区の平均体重の推移を図9に示す。常にカンパチの摂餌は確認できていたが、高水温が継続していた試験開始からの2ヶ月間は、ほとんど魚体重が増加しなかった。しかし、III期以降は、各区ともに魚体重が増加し飼料3-1 飼料3-3及び飼料3-4は、ほぼ同等の成長を示したものの、飼料3-2の魚体重は、他区より有意に劣った($p < 0.05$)。

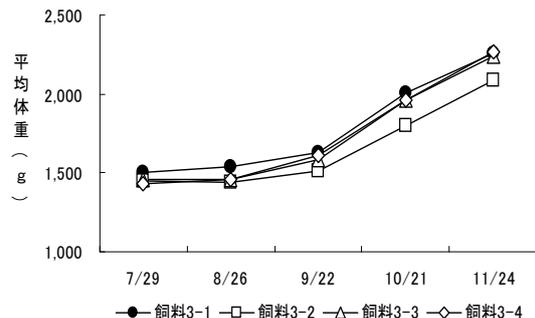


図9 平均体重の推移

表12に飼育成績を示す。増肉係数は、飼料3-1が2.78、飼料3-2が2.46、飼料3-3が2.41、飼料3-4が2.39となり、魚粉低減飼料区が優れる傾向であった。

表12 飼育成績

試験区	飼料3-1	飼料3-2	飼料3-3	飼料3-4
飼育日数	114	114	114	114
給餌回数	66	66	66	66
尾数	開始時 70 終了時 56	開始時 70 終了時 33	開始時 70 終了時 48	開始時 70 終了時 60
平均体重(g)	開始時 1,499 終了時 2,257	開始時 1,449 終了時 2,084	開始時 1,460 終了時 2,236	開始時 1,434 終了時 2,264
平均尾叉長(cm)	開始時 45.0 終了時 50.6	開始時 44.7 終了時 49.6	開始時 44.8 終了時 50.3	開始時 44.6 終了時 50.5
平均肥満度	開始時 16.3 終了時 17.3	開始時 16.2 終了時 16.9	開始時 16.1 終了時 17.5	開始時 16.1 終了時 17.4
生残率(%)	80.0	47.1	67.9	85.7
増重率(%)	50.6	43.9	53.1	57.9
日間増重率(%)	0.36	0.32	0.37	0.40
日間給餌率(%)*	0.99	0.78	0.89	0.94
増肉係数*	2.78	2.46	2.41	2.39

*乾物換算

2 魚体成分

魚体の一般成分を表 13 に示す。水分 65 %前後, 粗タンパク質 20 %前後, 粗脂肪 11 %前後で近似していた。

表13 魚体の一般成分

試験区	飼料3-1	飼料3-2	飼料3-3	飼料3-4
水分(%)	66.2 a	65.9 a	65.8 a	64.6 a
粗タンパク質(%)	19.6 a	19.7 a	19.8 a	20.0 a
粗脂肪(%)	11.3 a	11.2 a	11.8 a	12.0 a
粗灰分(%)	3.2 a	3.4 a	2.9 a	3.1 a
リン(%)	0.64 a	0.67 a	0.49 a	0.49 a
分析魚体の性状(平均)				
体重(g)	2,355	2,326	2,260	2,344
尾叉長(cm)	51.2	50.6	50.5	51.0
肥満度	17.5	17.9	17.4	17.7

1検体は5尾/生費で一飼料区当たり2検体の平均値とした

各項目末尾の同じ文字間で有意差がないことを示す($p>0.05$)

3 リン及び窒素の蓄積率と負荷量

リン及び窒素の蓄積率と負荷量の推定を表 14 に示す。リン蓄積率は, 飼料 3-2 が高かったが有意な差ではなかった。リン負荷量は, 魚粉量が低い飼料区の方が少ない傾向にあり, 特に飼料 3-4 は飼料 3-1 に比べて有意に低かった ($p<0.05$)。窒素蓄積率は, 飼料 3-4 でやや高かった。また, 窒素負荷量は魚粉低減飼料区でやや低い傾向であったが, いずれも有意な差ではなかった。

表14 リン, 窒素の蓄積率及び負荷量の推定

試験区	蓄積率(%)		負荷量(kg/生産量t)	
	リン	窒素	リン	窒素
飼料3-1	22.2±1.7 a	15.7±2.3 a	37.7±0.9 a	178.1± 5.9 a
飼料3-2	24.8±5.8 a	15.4±2.0 a	30.4±4.3 ab	153.9±38.1 a
飼料3-3	15.0±2.6 a	15.0±0.9 a	31.0±1.1 ac	162.5± 9.5 a
飼料3-4	18.5±3.4 a	17.8±0.1 a	28.0±1.1 bc	162.5± 0.7 a

平均±標準偏差

各項目末尾の異なる文字間で有意差があることを示す($p<0.05$)

表16 血液性状

項目	単位	開始時	終了時			
			飼料3-1	飼料3-2	飼料3-3	飼料3-4
ヘマトクリット(Ht)	%	43.6 ± 6.1	54.5 ± 2.2 a	47.6 ± 5.5 b	43.0 ± 5.0 bc	38.9 ± 6.2 c
アスパラギン酸アミノトランスフェラーゼ(GOT/AST)	U/L	83.6 ± 31.8	36.0 ± 26.5	49.9 ± 49.4	51.1 ± 4.0	36.1 ± 32.2
アラニンアミノトランスフェラーゼ(GPT/ALT)	U/L	17.8 ± 4.4	11.0 ± 2.2	12.3 ± 8.9	11.2 ± 4.0	9.0 ± 3.0
総コレステロール(TCHO)	mb/dl	257 ± 17	300 ± 40 a	250 ± 44 b	265 ± 27 ab	251 ± 41 b
トリグリセリド(TG)	mb/dl	63.0 ± 9.5	99.2 ± 51.3	120 ± 59	86.6 ± 32.7	73.4 ± 36.1
総ビリルビン(TBIL)	mb/dl	0.54 ± 0.13	0.38 ± 0.11	0.37 ± 0.12	0.32 ± 0.06	0.32 ± 0.06
無機リン(IP)	mb/dl	9.9 ± 2.7	7.4 ± 0.5 a	7.7 ± 0.9 a	7.3 ± 0.4 a	6.4 ± 0.7 b
総蛋白(TP)	g/dl	4.4 ± 0.3	5.1 ± 0.6	5.0 ± 0.9	5.1 ± 0.4	4.6 ± 0.5

開始時n=5, 終了時n=10/飼料

平均±標準偏差

各項目末尾の異なる文字間で有意な差があることを示す($p<0.05$)

4 タウリン量及び蓄積率

魚体及び肝臓のタウリン含有量と蓄積率を表 15 に示す。開始時における魚体のタウリン含有量は, 163.5mg/100g であった。終了時では, 飼料 3-1 のみが 144.3mg/100g と開始時を下回ったが, 魚粉低減飼料区では 170.9 ~ 201.4mg/100g に増加しており, 飼料 3-1 より有意に高かった ($p<0.05$)。開始時における肝臓のタウリン含有量は, 371.0mg/100g であった。終了時では飼料 3-1 が 365.9mg/100g と開始時を下回ったが, 魚粉低減飼料区では 440.3 ~ 480.5mg/100g で魚体と同様に飼料 3-1 より有意に高い値を示した ($p<0.05$)。また, 魚粉低減飼料区のタウリン蓄積率 (16.6 ~ 23.2 %) は高くなる傾向が見られ, 特に, 飼料 3-4 は飼料 3-1 より有意に高かった ($p<0.05$)。

表15 魚体及び肝臓のタウリン量と蓄積率

試験区	魚体(mg/100g)	肝臓(mg/100g)	蓄積率(%)
開始時	163.5	371.0	-
飼料3-1	144.3±3.2 a	365.9±17.7 a	12.2±1.4 a
飼料3-2	170.9±4.5 b	440.3± 9.6 b	17.4±2.6 ab
飼料3-3	176.0±4.1 b	471.4± 3.5 b	16.6±3.0 ab
飼料3-4	201.4±8.7 c	480.5±21.7 b	23.2±2.1 b

平均±標準偏差

各項目末尾の異なる文字間で有意差があることを示す($p<0.05$)

5 血液性状

血液性状を表 16 に示す。ヘマトクリット値は, 魚粉割合の低い飼料区ほど低い値を示した。GOT, GPT は開始時より低下した。飼料 3-2, 3-4 の総コレステロールは, 飼料 3-1 と比較して有意に低かった ($p<0.05$)。飼料 3-4 の無機リンは, 他区より有意に低かった ($p<0.05$)。トリグリセリド, 総ビリルビン, 総蛋白は, 有意差は認められなかった。

6 色調

体表部位別の b 値を表 17 に示す。頭部と胸鰭後端では、頭部の方が高い値を示す傾向にあり、これは試験 2 と同じ結果であった。部位毎の頭部では、飼料 3-3、飼料 3-4 の値が高い傾向にあり、胸鰭後端では、飼料 3-1 に対して飼料 3-4 が有意に高かった ($p < 0.05$)。

表17 体表部位別の b 値

部 位	飼料3-1	飼料3-2	飼料3-3	飼料3-4
頭 部	23.0±8.8 a	21.9±3.5 a	31.2±4.3 a	31.0±7.8 a
胸鰭後端	17.4±3.5 a	18.5±4.0 ab	19.6±5.5 ab	25.6±4.1 b

平均±標準偏差

各項目末尾の異なる文字間で有意差があることを示す ($p < 0.05$)

7 圧縮強度

図 10 に切り身精肉の圧縮強度を示す。飼料 3-2 は有意に高い値であった ($p < 0.05$) が、飼料 3-3 及び飼料 3-4 の値は、僅かながら飼料 3-1 の値より高かった。

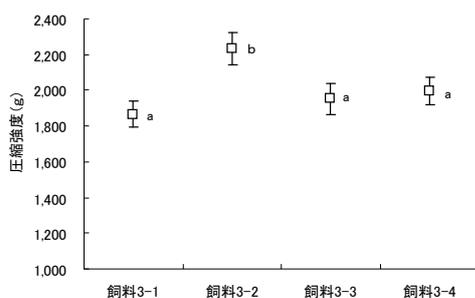


図10 切り身精肉の圧縮強度

異なる文字間で有意な差があることを示す ($p < 0.05$)

8 食味調査

食味調査の結果を図 11 に示す。外観では飼料 3-2、歯ごたえ及び脂ののりは飼料 3-3、うまみでは飼料 3-4 が他よりも高い評価であった。また、総合評価では、飼料 3-4 が最も評価が高く、飼料 3-2 と飼料 3-3 が次点で続いた。脂ののりについては、外観、歯ごたえに比べて評価が低かった。

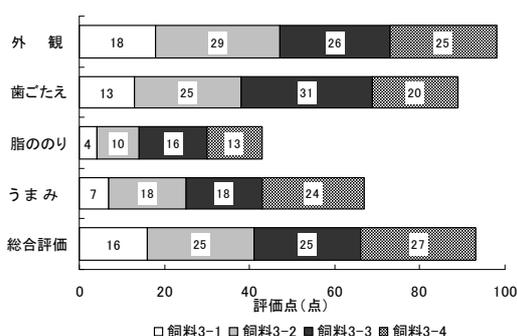


図11 食味調査結果

考 察

試験 1

カンパチ当歳魚を対象とした魚粉低減飼料の検討

試験 1 では、魚粉割合を 40 % に低減した場合の合成タウリン添加量について検討した。

Ⅱ期において低下した日間給餌率はⅢ期で上昇した (図 1) が、この要因としては、魚体の成長に伴い飼料粒径を 5mm から 8mm に切り替えたことで、全体的に給餌量が増加したためと思われる。試験期間中の日間給餌率は、いずれも 1.3 % 台で飼料間に大きな差異はなかった (表 4) ことから、今回の魚粉量や合成タウリン添加量の多寡は、カンパチ当歳魚の餌食いには影響しなかったと判断される。魚粉量 40 % 飼料における魚体性状の比較では、尾叉長、体重ともに飼料 1-3、1-4 が飼料 1-2 を上回った (図 2, 表 4)。また、飼料 1-3 と飼料 1-4 の比較では、尾叉長、体重ともに飼料 1-4 が優れ、その増重率は飼料 1-1 をも上回る結果であった (表 4)。これらのことから、魚粉量を 40 % に低減した場合、合成タウリンを添加することで成長の改善効果が得られるが、その添加量の多寡が成長改善の程度に影響するものと考えられる。増肉係数についても僅かではあるが、合成タウリンの添加量が多い区の方が低く、優れていた (表 4)。Ⅳ期における増重率や増肉係数は、飼料 1-1 に比べ、魚粉量を 40 % に低減した飼料区が優れる傾向を示していた。中でも合成タウリンをより多く添加した飼料 1-4 の増肉係数は優れていた (図 3)。このことから、水温が 20 °C を下回るような低水温期においては、合成タウリンの添加量を増やすことにより成長を改善できる可能性が示唆される。

魚体の一般成分は、飼料間でその値は近似していた (表 5) ことから、魚粉量を 40 % に低減しても魚体成分には影響を及ぼさないものと判断される。

リン及び窒素負荷量については、いずれも飼料 1-1 とそれ以外の魚粉量 40 % 飼料との間で有意差が認められ (表 6)、魚粉低減飼料区の負荷量が少なかった。特に、魚粉低減飼料区のリン負荷量は、飼料 1-1 の約 60 % と推定された。このことから、リン及び窒素の負荷量は、飼料中の魚粉量を低減することで抑制できることが示唆される。

飼料 1-2 の魚体及び肝臓のタウリン量は、試験開始時や飼料 1-1 と比較していずれも低い値を示した (表 7) ことから、飼料 1-2 はタウリン量不足が推察される。

試験 2

カンパチ 1 歳魚を対象とした魚粉低減飼料の検討 1

試験 2 では、より多くの給餌量を必要とする 1 歳魚を対象とし、魚粉低減化と合成タウリンの添加効果について検討した。

試験期間中の日間給餌率は、1.0 ~ 1.2 % の間で飼料 2-1>飼料 2-4>飼料 2-2>飼料 2-3 となり、飼料間で有意な差は認められなかった (表 8)。尾叉長、体重、肥満度といった成長指標は、魚粉量を 21 % に低減し合成タウリン無添加の飼料 2-3 はいずれも劣った (図 5, 表 8)。飼料 2-2 は、飼料 2-1 と同等以上の成長を示し、また、成長の劣った飼料 2-3 に合成タウリンを添加した飼料 2-4 は、飼料 2-1 と同等以上の成長を示した (表 8) ことから、合成タウリン添加によって成長改善の効果が得られたものと考えられる。このことから、魚粉量を 21 % に低減した場合、合成タウリン添加の必要性は高いと判断される。

一方、高水温期初期 (I 期) においてレンサ球菌症等によるへい死が魚粉低減飼料区で発生したが、II 期に入ると飼料 2-1 でもへい死数が増加した。このへい死発生時期のずれが魚粉量を低減した影響かは当飼育試験では明らかにはできなかった。

通算の増肉係数は、飼料 2-2 が 1.9、飼料 2-4 が 2.0、飼料 2-1 が 2.3、飼料 2-3 が 2.6 となった (表 8) が、水温が 20 °C を下回った IV 期においては、飼料 2-1 に比べ、魚粉低減飼料が優れる傾向を示していた (図 6)。この傾向は、当歳魚を供試魚として実施した試験 1 でも同様に確認しており (図 3)、水温が 20 °C を下回るような低水温期においては、合成タウリンを添加した魚粉低減飼料を給餌することで増肉係数を改善できる可能性が示唆される。

魚体中の粗脂肪量については、飼料 2-1, 2-2, 2-4 (14.9 ~ 16.5 %) と比較し、魚粉量を 21 % に低減し合成タウリン無添加の飼料 2-3 (12.6 %) は有意に低かった (表 9)。低魚粉・無魚粉飼料によりブリを飼育すると、飼料中の魚粉量低減とともに筋肉中の粗脂肪量が低下することが報告されている⁴⁾ ことから、同様の結果となったと考えられる。

色調については、魚粉低減飼料区の体表の黄帯色が強まること色彩色差計による測定結果 (表 10) に加え、肉眼でも確認できた。魚粉代替タンパク質源としてコーングルテンミールを添加することにより、ブリの特徴である側線の黄色色素が明瞭になると報告されている^{9,10)} ことから、今回のカンパチにおいても同様

のことが発現したのと考えられる。一方、筋肉への着色が懸念されたが、精肉及び血合肉の L 値, a 値, b 値, b/a 値はいずれの飼料区でも近似した値を示すとともに経時的な変化も類似していた (表 11)。また、切り身からのドリップの発生量についても大きな差異は見られなかった (図 7) ことから、魚粉量を 32 % あるいは 21 % に低減しても体表の黄帯色が強まる以外に影響は少ないものと判断される。

試験 3

カンパチ 1 歳魚を対象とした魚粉低減飼料の検討 2

試験 2 の結果より魚粉量 21 % でも合成タウリンを添加することで対照飼料と同等の成長が得られたことから、試験 3 では魚粉割合の低減化とともに不足が懸念される必須アミノ酸と合成タウリン添加による、より実用的な魚粉低減飼料の検討を行った。

飼料 3-1, 3-3, 3-4 はほぼ同等の成長を示したが、飼料 3-2 は日間給餌率が低く、尾叉長、体重等の成長指標でも劣った (図 9, 表 12)。試験前半 (I, II 期) の海水温は、例年より 1 ~ 2 °C 高く推移しており、各区ともに餌食いが低調であった。しかし、魚粉量のより少ない飼料 3-3 や飼料 3-4 では、高水温が継続している期間でも飼料 3-2 以上の日間給餌率を維持しており、このことが飼料 3-1 と同等の成長を示す結果に繋がったものと考えられる。一方、飼料 3-2 は他区と比較してこの時期の餌食いがより低調であった (図 8) ことが、水温下降期における成長にも悪影響を及ぼし、成長が劣ったものと考えられる。ほぼ同じ時期及び供試魚サイズで実施した試験 2 で用いた飼料 2-2 (魚粉量 32%, 合成タウリン 0.2 % 添加) の成長や日間給餌率は、対照飼料 (飼料 2-1) と同等以上を示していた (図 4, 5, 表 8) ことから、従来の飼料と遜色のない成長を得るためには、餌食いの維持が重要であると考えられる。

魚体の一般成分の分析値は、飼料間で近似していた (表 13)。分析に供するため任意に抽出した魚体は、一生簀当たりで 5 尾、一飼料当たり 2 生簀設定したため計 10 尾であった (5 尾を 1 検体として一飼料区当たり 2 検体)。全尾数測定による飼料 3-2 の平均体重は他区より有意に劣っていた (図 9, 表 12) が、一般成分分析に供した各区の平均体重は 2.3kg 前後であった (表 13)。このことから、飼料 3-1 と同等の成長を示した飼料 3-3, 3-4 はもとより、成長の劣った飼料 3-2 でも他区と遜色なく成長した魚体については、魚粉低減飼料

は魚体成分には影響を及ぼさないものと考えられる。また、今回分析に供した飼料 3-2 の魚体は、同区全尾数の平均体重(約 2.1kg)を上回っており(表 12, 13)、同区平均魚体サイズの一般成分値と異なる可能性もあることから、さらなる検討が必要と考えられる。

窒素負荷量については、飼料 3-1 より魚粉低減飼料区でやや低い結果となったが、飼料間で有意差は認められなかった(表 14)。しかし、リン負荷量については、飼料 3-1 より魚粉低減飼料区で少なく、特に飼料 3-4 は飼料 3-1 に比べて有意に低く(表 14)、魚粉低減飼料区のリン負荷量は、飼料 3-1 の 75%~83%と推定された。このことから、魚粉低減飼料による窒素負荷量低減化の効果は小さいが、リン負荷量については、飼料中の魚粉量を低減することで抑制できることが示唆される。

魚体及び肝臓のタウリン含有量は、いずれも魚粉低減飼料区で多く(表 15)、これは飼料中のタウリン量を反映したものであると考えられる。

魚粉低減飼料区の魚体表等の色調や物性等の各種測定値は、飼料 3-1 と同等以上の値が得られ(表 17, 図 10)、また食味調査での歯ごたえや総合的な評価でも魚粉低減飼料に優位性が見られたが、脂ののりやうまみ等については全体的に評価が伸びなかった(図 11)ことから、これらの食味については消費者の嗜好を考慮した上で飼料組成を含めた改善の余地が残されている。

総合考察

以上の結果より、カンパチ当歳魚においては魚粉量を 40%に低減した飼料には、従来の飼料(魚粉量 60%)よりタウリン量が少なければ、同程度になるよう合成タウリンを添加する必要があると判断される。カンパチ 1 歳魚においては、魚粉量を 21%に低減し合成タウリン無添加の飼料では成長が劣るため、当歳魚と同様、従来の飼料(魚粉量 60%)とタウリン量が同程度になるように合成タウリンの添加が必要で、さらに魚粉量を 10%まで低減した場合、従来の飼料(試験 3 では魚粉量 50%)以上のタウリン量になるよう合成タウリンを添加し、かつアミノ酸を添加することで、従来の飼料と同等の成長が得られるものと考えられる。また、魚粉低減飼料は、特に、漁場環境へのリン負荷量の低減化に繋がること示唆される。

品質面においては、従来飼料と同等の成長が得られた魚粉低減飼料区の魚体であれば、外観や歯ごたえ等

でも遜色のない評価が得られるものと判断される。試験 2 の魚粉低減飼料区ではレンサ球菌症等によるへい死が高水温期初期(I 期)に発生し、II 期に入ると飼料 2-1 でもへい死数が増加したが、この発生時期のずれが魚粉量を低減した影響かは当飼育試験では明らかにはできなかったため、魚粉量と抗病性との関係の解明が必要である。また、試験 3 の前半で経験した長期間継続する高水温期(30℃以上)においては、給餌してもほとんど成長しなかった(図 9)ことから、このような高水温期に対処できる飼料組成や給餌方法の検討も必要である。魚体の脂ののり具合や旨みの増強などは、消費者の嗜好を考慮した上での検討課題である。その一方で、試験 1, 2 の水温が 20℃を下回る時期において、魚粉低減飼料区の増肉係数が対照飼料より低く、優れる傾向が見られた(図 3, 6)。このような低水温期では餌食いが落ち、配合飼料中の魚粉量低減による養殖生産コストの抑制効果は、給餌量が多い適水温期より小さくなるが、通年での養殖生産コスト低減のためには低水温期における魚粉低減飼料の検証も必要である。

謝辞

カンパチの飼育管理及び魚体測定に協力して頂いた新町静男氏はじめ当センター安全食品部の方々及び食味調査に協力して頂いた当センター職員の方々、並びにご協力頂いた鹿児島大学水産学部関係各位に心から感謝申し上げます。

文献

- 1) 渡邊武. 「改訂魚類の栄養と飼料」(渡邊武編) 恒星社恒星閣, 東京. 2009; 4-8.
- 2) 「平成 21 年版漁業白書」(水産庁編), 2009. <http://www.jfa.maff.go.jp/j/kikaku/wpaper/h21/index.html>: 63
- 3) 舞田正志, 青木秀夫, 山形陽一, 渡邊哉子, 佐藤秀一, 渡邊武. 無魚粉飼料を給餌したブリに見られた緑肝症について. 日本水産学会誌 1997; 63(3): 400-401.
- 4) Aoki H, Sanada Y, Furuichi M, Kimoto R, Maita M, Akimoto A, Yamagata Y, Watanabe T. Partial or complete replacement of fish meal by alternate protein sources in diets for yellowtail and red sea bream. *Suisanzoshoku* 2000; 48(1): 53-63.

- 5) Aoki H, Watanabe K, Satoh S, Yamagata Y, Watanabe T. Use of non-fish meal diets for yellowtail: second trial. *Suisanzoshoku* 2000 ; **48**(1) : 73-79.
- 6) 青木秀夫. 「改訂魚類の栄養と飼料」(渡邊武編) 恒星社恒星閣, 東京. 2009 ; 387.
- 7) Takagi S, Murata H, Goto T, Ichiki T, D M Munasinghe, Endo M, Matsumoto T, Sakurai A, Hatate H, Yoshida T, Sakai T, Yamashita H, Ukawa M, Kuramoto T. The green liver syndrome is caused by taurine deficiency in yellowtail, *seriola quinqueradiata* fed diets without fishmeal. *Aqua-culture Science* 2005 ; **53**(3) : 279-290.
- 8) 上岡康達, 西川清文, 岡弘康. ガス制御包装による水産物の品質保持に関する研究(II). 愛媛工試報告 1980 ; **18** : 42-50.
- 9) Watanabe T, V Viyakarn, Aoki H, Tuda H, Sakamoto H, Maita M, Satoh S, Takeuchi T. Utilization of alternative protein sources as substitute for fish meal in a newly developed soft-dry pellet for yellowtail. *Suisanzoshoku* 1994 ; **42**(3) : 499-506.
- 10) 棚野元秀, 長野泰三, 佐藤秀一, 白鳥勝, 植田豊. ブリ養殖現場で確認した低魚粉飼料へのタウリン添加効果. 水産増殖 2009 ; **57**(4) : 595-600.