

安心・安全な養殖魚生産技術開発事業 - (低コスト飼料・効率的生産手法開発事業)

前野幸二，柳宗悦，村瀬拓也
鶴田和弘，新町静男

【目的】

本県の海面養殖業は，漁業総生産額の約5割を占め，また海面養殖業生産額の約9割はカンパチを含めたブリ類養殖業で占めており，これらは本県において重要な漁業種，魚種となっている。しかし，近年は，養魚用配合飼料の原料の5割強を占める魚粉の価格高騰に伴い，国内の配合飼料価格も上昇しており，このことが養殖経営に大きな影響を及ぼしている。

そこで，養殖コストを削減し経営の安定を図っていくために，本県の主要養殖魚種であるブリ及びカンパチについて，魚粉の配合割合が低く，品質で遜色のない安価な配合飼料の開発と給餌方法の改善による効率的な養殖生産手法について検討を行った。

試験1（カンパチ飼育試験）

【方法】

試験場所

鹿児島県水産技術開発センター地先の海面生簀にて実施した。

供試魚

鹿児島湾内で育成されたカンパチ1歳魚を試験に用いた。試験開始までは，試験飼料1（カンパチ用）を給餌し，予備飼育を行った。

試験飼料

飼料1は，市販の配合飼料と魚粉量が同等程度の魚粉量50%のEP飼料で，それ以外の試験飼料は魚粉低減飼料とし，濃縮大豆タンパク質，大豆油粕，コーングルテンミール等で魚粉を代替するとともに，摂餌性を考慮しオキアミミールを添加，さらに合成タウリンのみ，あるいは合成タウリン及びアミノ酸を添加したEP飼料とし，飼料2は魚粉量を30%に低減し，合成タウリンを0.2%添加した飼料，飼料3は魚粉量を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，飼料4は魚粉量を10%に低減し，アミノ酸を2.2%，合成タウリンを0.4%添加した飼料である。

飼育管理

海面生簀網（3m×3m×3m）8生簀にカンパチ1歳魚（試験開始時約1,460±216g）を各70尾収容した。試験区は，飼料1給餌区を1-1区，1-2区，飼料2給餌区を2-1区，2-2区，飼料3給餌区を3-1区，3-2区，飼料4給餌区を4-1区，4-2区と設定し，平成22年7月29日から11月19日までの114日間飼育した。給餌頻度は，1週間当たり4～5日とし，1日1回，飽食と思われる量まで給餌した。飼料の粒径は，全期間を通して12mmとした。

なお，飼育期間中は，水深1mにてデブタグ（Stow Away Tidbit temploger）を用いて水温を連続測定するとともに，給餌前にDOメーター（YSI Model85）を用いて溶存酸素量を測定した。

魚体測定

魚体測定は，試験開始時，中間時として4週間毎，試験終了時に実施し，全尾数の尾叉長及び魚体重を測定した。

魚体の成分分析

成分分析用として試験開始時に5尾、試験終了時に各区より5尾ずつを任意に取り上げ、魚体は分析に供するまで-30℃にて凍結保管した。凍結した魚体は、凍結状態のままバンドソー（(株)中島製作所製NS0-N8A）で厚さ約1.5cmに薄切りし、これを包丁でおよそ1cm角に裁断後、凍結粉碎機（(株)Retsch製ZM200）で微粉碎し、一般成分及び全リン分析に供した。水分は常圧加熱乾燥法、粗タンパク質はケルダール法、粗脂肪はソックスレー抽出法、灰分は直接灰化法、全リンは比色分析法で行った。併せて、得られた結果を用いて窒素、リンの蓄積率及び負荷量を下記の式により算出した。

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

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

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

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

F:1尾当たりの給餌量(g), Nf:飼料中の窒素含有量(%), Bf:試験終了時の魚体重(g), Bi:試験開始時の魚体重(g)
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(%)
Pbf:試験終了時の魚体リン含有量(%), Pbi:試験開始時の魚体リン含有量(%)
C:増肉係数

さらに、これらとは別に試験開始時に5尾、試験終了時に各区5尾を任意に取り上げ、肝臓とそれ以外の魚体とに分け、タウリン分析用サンプルとした。

なお、タウリン用の試料の磨砕及び分析は、国立大学法人東京海洋大学に依頼した。

血液性状分析

試験開始時に5尾、試験終了時に各区5尾の採血を行った。採血は、尾柄部下部より行い、個体別に生化学自動分析装置（富士フイルム社製DRI-CHEM FDC3500i）を用いて血液性状を測定した。

色調

試験終了時に各区から5尾ずつ任意に取り上げ、活け締めし、冷海水中で脱血処理を60分間行った後、体表及び切り出した切り身の色調を測定した。

測定箇所は、体表は頭部及び胸鰭後端の黄帯上の2か所（図1）とし、切り身は精肉部及び血合肉部とした。切り身は、脱血処理した魚体を三枚に卸したうちの半身の片側背部から幅1cmとなるよう切り出し、表皮を取り除いた。体表は、脱血処理終了後に1回、切り身は、切り出し直後に色彩色差計（ミルタCR-2000）を用いてL*a*b*値を測定した。



図1 体表の測定箇所

なお、L*値は明るさ、a*値は赤色、b*値は黄色を表す指標である。

圧縮強度

圧縮強度に用いた切り身は、色調測定で使わなかった残りの半身から同じように幅1cmに切り出した。さらに中骨を腹側に残すように、また血合肉を含まないように表皮まで切除した背側の精肉部を1尾当たり5枚準備し、これを測定用サンプルとした。この切り身1枚当たり異なる3点について、直径5mmの円盤形プランジャーを装着したレオメーター（株式会社サン科学製RHEO METER CR-500DX）で圧縮強度を測定した。

食味調査

調査前日に1-1区、2-1区、3-1区、4-1区から3尾ずつ取り上げ、活け締めし60分間冷海水中で脱血

処理後，翌日まで5 日の冷蔵庫内に保管した。調査当日，背側を刺身に調理した。対象者は，20～60 歳代の当センター職員，臨時職員及び鹿児島大学の学生ら計37名とした。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 項目について，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，合計点を算出した。

【結果及び考察】

飼育環境

平成22年7月29日から11月19日までの114日間，飼育を行った。飼育期間中を4 週間毎に分け，Ⅰ～Ⅳ期とした。

期間中の水温は，20.0～31.2（平均26.7）で推移した。Ⅰ期は27.8～31.2（平均29.7），Ⅱ期は28.5～29.8（平均29.2）で，試験開始からの約2 ヶ月間は，平均水温が29.5 と高水温の状態にあった。これ以降，水温は徐々に低下し，Ⅲ期は24.3～29.5（平均26.4），Ⅳ期は20.0～24.9（平均21.9）であった（図2）。溶存酸素量は，5.1～6.9mg/l（平均6.0mg/l）で推移した。

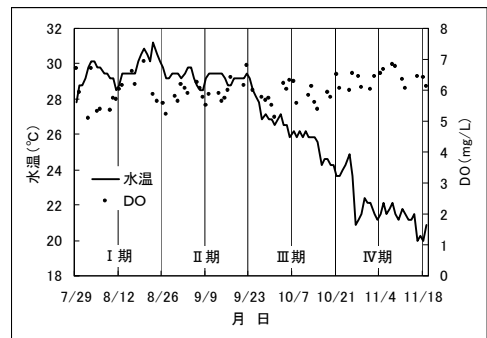


図2 飼育期間中の水温及び溶存酸素量

飼育成績

飼育成績は，表1，表1-2に示した。

飼育開始から2 週間後の8/10から8/11にかけて，2-2区と3-2区で各28尾がへい死した。原因究明のため病理学的検査を行ったが，疾病に起因する事象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，同日が大潮だったこと，九州西方海域を台風4号が通過したこと，へい死が発生した区が配置生簀群の中央に位置していたこと等の要因が重なり，酸欠でへい死したものと推察された。

次に，各飼料別の平均体重の推移を図3に示した。

魚粉50%の飼料1区と魚粉20%の飼料3区及び魚粉10%の飼料4区は，ほぼ同等の成長を示したが，魚粉30%の飼料2区は劣った。この傾向は，尾叉長や肥満度でも同じであった。比肝臓重量については，1.4%～1.5%で差は見られなかった（表1-2）。

日間給餌率は，Ⅰ期が0.69%～0.82%，Ⅱ期が0.83%～1.24%，Ⅲ期が1.35%～1.97%，Ⅳ期が1.21%～1.48%であった。飼料別の通算の日間給餌率は，飼料1区が1.08%，飼料2区が0.88%，飼料3区が1.06%，飼料4区が1.11%であった（図4）。飼料2区の日間給餌率は，飼料1区，飼料4区と比較して有意に低かった（Tukey $p < 0.05$ ）。

増肉係数は，飼料1区が2.81，飼料2区が2.52，飼料3区が2.58，飼料4区が2.53となったが，有意な差ではなかった。

表1 飼育成績

飼育期間	試験区	飼育日数	平均体重(g)		増重率 (%)	日間増重率 (%)	日間給餌率 (%)	飼料転換効率 (%)	増肉係数 (乾物%)	生残率 (%)
			開始時	終了時						
I 期 (7/29~8/25)	飼料1-1	28	1,513.3	1,567.0	3.5	0.12	0.79	15.75	5.83	100.0
	飼料1-2	28	1,484.3	1,516.9	2.2	0.08	0.80	9.72	9.44	100.0
	飼料2-1	28	1,426.4	1,428.8	0.2	0.01	0.70	0.83	108.47	100.0
	飼料2-2	28	1,470.6	1,466.2	-0.3*	-0.01*	0.69	-1.55*	-58.56*	60.0
	飼料3-1	28	1,437.7	1,460.6	1.6	0.06	0.78	7.27	12.30	100.0
	飼料3-2	28	1,482.1	1,446.0	-2.4*	-0.09*	0.82	-10.73*	-8.33*	60.0
	飼料4-1	28	1,424.0	1,449.9	1.8	0.06	0.78	8.28	10.85	100.0
	飼料4-2	28	1,443.9	1,461.0	1.2	0.04	0.74	5.68	15.82	100.0
II 期 (8/26~9/21)	飼料1-1	27	1,567.0	1,629.4	4.0	0.14	0.98	14.72	6.24	92.9
	飼料1-2	27	1,516.9	1,631.8	7.6	0.27	1.03	26.26	3.50	85.7
	飼料2-1	27	1,428.8	1,472.0	3.0	0.11	0.83	13.27	6.82	64.3
	飼料2-2	27	1,466.2	1,551.4	5.8	0.21	0.99	21.02	4.30	88.1
	飼料3-1	27	1,460.6	1,593.6	9.1	0.32	1.08	29.93	2.99	87.1
	飼料3-2	27	1,446.0	1,557.4	7.7	0.28	1.24	22.20	4.03	92.9
	飼料4-1	27	1,449.9	1,607.4	10.9	0.38	1.11	34.29	2.62	94.3
	飼料4-2	27	1,461.0	1,608.4	10.1	0.36	1.11	32.11	2.80	95.7
III 期 (9/22~10/20)	飼料1-1	29	1,629.4	1,996.8	22.5	0.70	1.40	50.00	1.84	95.4
	飼料1-2	29	1,631.8	2,008.1	23.1	0.72	1.54	46.29	1.98	96.7
	飼料2-1	29	1,472.0	1,744.3	18.5	0.59	1.35	43.20	2.09	93.3
	飼料2-2	29	1,551.4	1,858.9	19.8	0.62	1.62	38.48	2.35	97.3
	飼料3-1	29	1,593.6	1,975.6	24.0	0.74	1.66	44.42	2.01	96.7
	飼料3-2	29	1,557.4	1,934.6	24.2	0.75	1.97	37.85	2.36	100.0
	飼料4-1	29	1,607.4	1,946.8	21.1	0.66	1.46	45.02	2.00	95.5
	飼料4-2	29	1,608.4	1,981.0	23.2	0.72	1.47	48.61	1.85	92.5
IV 期 (10/21~11/19)	飼料1-1	30	1,996.8	2,265.3	13.4	0.42	1.21	34.71	2.64	91.9
	飼料1-2	30	2,008.1	2,249.3	12.0	0.38	1.31	28.72	3.20	94.8
	飼料2-1	30	1,744.3	1,989.1	14.0	0.44	1.32	33.07	2.74	88.1
	飼料2-2	30	1,858.9	2,205.5	18.6	0.57	1.32	43.07	2.10	80.6
	飼料3-1	30	1,975.6	2,232.0	13.0	0.41	1.26	32.18	2.78	98.3
	飼料3-2	30	1,934.6	2,241.4	15.9	0.49	1.48	33.12	2.70	94.9
	飼料4-1	30	1,946.8	2,241.5	15.1	0.47	1.25	37.42	2.40	96.8
	飼料4-2	30	1,981.0	2,286.9	15.4	0.48	1.32	36.08	2.49	95.2
通算 (7/29~11/19)	飼料1-1	114	1,513.3	2,265.3	49.7	0.35	1.06	32.89	2.79	81.4
	飼料1-2	114	1,484.3	2,249.3	51.5	0.36	1.11	32.46	2.83	78.6
	飼料2-1	114	1,426.4	1,989.1	39.4	0.29	0.91	31.67	2.86	52.9
	飼料2-2	114	1,470.6	2,205.5	50.0	0.36	0.84	41.72	2.17	41.4
	飼料3-1	114	1,437.7	2,232.0	55.2	0.39	1.12	34.04	2.63	82.9
	飼料3-2	114	1,482.1	2,241.4	51.2	0.36	1.00	35.85	2.49	52.9
飼料4-1	114	1,424.0	2,241.5	57.4	0.40	1.10	35.57	2.53	87.1	
飼料4-2	114	1,443.9	2,286.9	58.4	0.40	1.12	35.49	2.53	84.3	

* : 酸欠によるへい死に起因する

表1-2 飼育成績

時期	試験区	尾叉長(cm)	魚体重(g)	肥満度	比肝臓重量(%)
開始時		44.8 ± 2.0	1,460 ± 216	16.2 ± 1.0	0.8 ± 0.2
終了時	飼料1-1	50.7 ± 2.7	2,265 ± 385	17.2 ± 1.2	1.4 ± 0.3
	飼料1-2	50.5 ± 2.4	2,249 ± 356	17.4 ± 1.0	1.5 ± 0.2
	飼料2-1	48.9 ± 2.3	1,989 ± 343	16.8 ± 1.2	1.4 ± 0.2
	飼料2-2	50.4 ± 2.3	2,206 ± 332	17.1 ± 1.3	1.5 ± 0.2
	飼料3-1	50.3 ± 2.1	2,232 ± 307	17.4 ± 1.4	1.4 ± 0.2
	飼料3-2	50.3 ± 2.2	2,241 ± 301	17.5 ± 0.9	1.5 ± 0.1
	飼料4-1	50.5 ± 2.6	2,242 ± 363	17.2 ± 1.0	1.4 ± 0.1
	飼料4-2	50.6 ± 2.0	2,287 ± 297	17.6 ± 1.0	1.4 ± 0.2

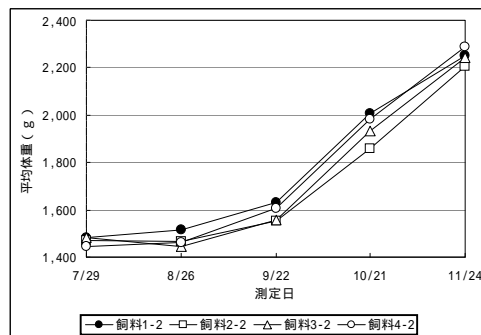
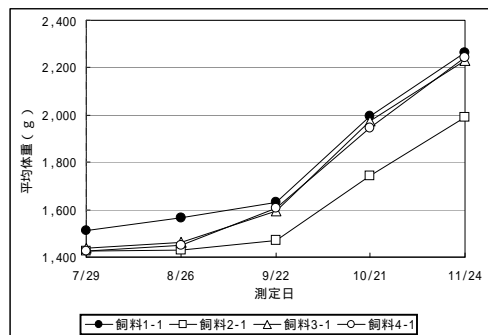


図3 平均体重の推移

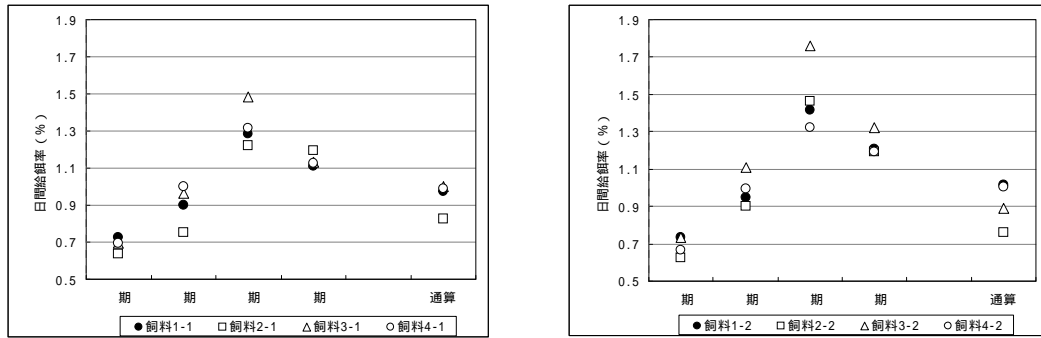


図4 各期における日間給餌率(乾物換算)

魚体成分

魚体の成分分析結果を表2に示す。

試験開始時は、水分70.3%、粗蛋白質18.9%、粗脂肪8.0%であった。試験終了時の水分は65%前後、粗蛋白質は20%前後、粗脂肪は11%前後といずれも差は見られなかった。リン含有率は、飼料1区と飼料2区が同程度で、飼料3区と飼料4区はそれらより低い傾向であった。

表2 魚体分析結果(カンパチ) (単位:%)

時期	試験区	水分	粗蛋白	粗脂肪	粗灰分	窒素	リン
開始時		70.3	18.9	8.0	3.2	3.0	0.40
終了時	飼料1-1	66.4	20.1	10.8	3.3	3.2	0.64
	飼料1-2	66.0	19.0	11.7	3.2	3.0	0.63
	飼料2-1	66.2	19.4	11.2	3.3	3.1	0.74
	飼料2-2	65.6	20.0	11.1	3.4	3.2	0.60
	飼料3-1	65.0	19.4	12.7	2.9	3.1	0.50
	飼料3-2	66.6	20.1	10.9	3.0	3.2	0.48
	飼料4-1	64.8	20.1	11.9	2.8	3.2	0.46
	飼料4-2	64.6	20.0	12.1	3.5	3.2	0.52

窒素、リンの蓄積率及び負荷量

次に、16週間の飼育期間を通じて得られた窒素、リンの蓄積率及び負荷量を表3に示す。

窒素蓄積率については、飼料4区が17.8%と最も高く、次いで飼料1区の15.7%、飼料2区の15.4%、飼料3区の15.0%の順となった。窒素負荷量は有意な差ではなかったが、魚粉低減区でやや低い傾向であった。リン蓄積率は、飼料2区が最も高かった。リン負荷量は、魚粉量が少ない飼料区の方が少ない傾向にあり、特に飼料4区は飼料1区に比べて有意に少なかった (Tukey $p < 0.05$)。

表3 魚体分析結果、蓄積率及び負荷量

区	窒素				リン			
	蓄積率(%)		負荷量(kg/生産量t)		蓄積率(%)		負荷量(kg/生産量t)	
	分析値	平均	分析値	平均	分析値	平均	分析値	平均
飼料1-1	17.4	15.7±2.3	173.9	178.1±5.9	23.4	22.2±1.7	37.0	37.7±0.9
飼料1-2	14.1		182.2		21.0		38.4	
飼料2-1	14.0	15.4±2.0	180.8	153.9±38.1	28.9	24.8±5.8	33.4	30.4±4.3
飼料2-2	16.8		126.9		20.7		27.3	
飼料3-1	15.7	15.0±0.9	169.2	162.5±9.5	16.8	15.0±2.6	31.7	31.0±1.1
飼料3-2	14.4		155.8		13.1		30.2	
飼料4-1	17.9	17.8±0.1	162.0	162.5±0.7	16.1	18.5±3.4	28.7	28.0±1.1
飼料4-2	17.7		163.0		21.0		27.2	

注) 平均値±標準偏差

試験終了時のカンパチ魚体及び肝臓のタウリン含量並びに魚体へのタウリン蓄積率を表4に示す。

開始時における肝臓を除く魚体のタウリン含量は、163.5mg/100gであった。終了時では、飼料1区のみが144.3mg/100gと開始時を下回ったが、魚粉低減区では170.9mg~201.4mg/100gと増加していた。

試験開始時における肝臓のタウリン含量は、371mg/100gであった。終了時では魚体同様、飼料1区が365.9mg/100gと開始時を下回ったが、魚粉低減区では440.3mg~480.5mg/100gと開始時より増加し

ていた。飼料中のタウリン含量は、飼料 1 が0.28%、飼料 2 が0.33%、飼料 3 が0.36%、飼料 4 が0.41%であったが、魚体、肝臓ともにタウリン含量は、飼料中の量を反映して魚粉低減飼料区で多くなる傾向が見られた。タウリン蓄積率についても、飼料 1 区が12.2%と最も低く、魚粉量が少なくなるにつれて、タウリン蓄積率は高くなる傾向が見られた。

表4 魚体及び肝臓のタウリン量と魚体のタウリン蓄積率

区	タウリン量(mg/100g w.b.)				タウリン蓄積率(%)	
	魚 体		肝 臓			
開始時	163.5	163.5	371.0	371.0	—	—
飼料1-1	146.6	144.3±3.2	353.4	365.9±17.7	13.2	12.2±1.4
飼料1-2	142.1		378.4		11.2	
飼料2-1	167.7	170.9±4.5	433.5	440.3±9.6	15.6	17.4±2.6
飼料2-2	174.0		447.1		19.2	
飼料3-1	179.0	176.0±4.1	473.9	471.4±3.5	18.7	16.6±3.0
飼料3-2	173.1		468.9		14.5	
飼料4-1	195.2	201.4±8.7	495.8	480.5±21.7	21.7	23.2±2.1
飼料4-2	207.5		465.1		24.6	

注) 平均値±標準偏差

血液性状

試験開始時及び終了時の血液性状を表5に示す。

試験終了時において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。総ビリルビンは差が見られなかった。飼料 2、4 区の総コレステロールは、飼料 1 区と比較して有意に低かった (Tukey $p<0.05$)。

表5 血液性状分析結果

項目\時期	開始時(n=5)		終了時							
			飼料1(n=10)		飼料2(n=10)		飼料3(n=10)		飼料4(n=10)	
Ht(%)	43.6 ± 6.1	6.1	54.5 ± 2.2	2.2	47.6 ± 5.5	5.5	43.0 ± 4.9	4.9	38.9 ± 6.2	6.2
GOT(U/L)	83.6 ± 31.8	31.8	36.0 ± 26.5	26.5	49.9 ± 49.4	49.4	51.1 ± 44.1	44.1	36.1 ± 32.2	32.2
GPT(U/L)	17.8 ± 4.4	4.4	11.0 ± 2.2	2.2	12.3 ± 8.9	8.9	11.2 ± 4.0	4.0	9.0 ± 3.0	3.0
TCHO(mg/dl)	257.4 ± 16.6	16.6	300.3 ± 39.5	39.5	250.4 ± 44.1	44.1	265.4 ± 26.9	26.9	250.9 ± 40.9	40.9
TG(mg/dl)	63.0 ± 9.5	9.5	99.2 ± 51.3	51.3	119.6 ± 59.0	59.0	86.6 ± 32.7	32.7	73.4 ± 36.1	36.1
TBIL(mg/dl)	0.5 ± 0.1	0.1	0.4 ± 0.1	0.1	0.4 ± 0.1	0.1	0.3 ± 0.1	0.1	0.3 ± 0.1	0.1
IP(mg/dl)	9.9 ± 2.7	2.7	7.4 ± 0.5	0.5	7.7 ± 0.9	0.9	7.3 ± 0.4	0.4	6.4 ± 0.7	0.7
TP(g/dl)	4.4 ± 0.3	0.3	5.1 ± 0.6	0.6	5.0 ± 0.9	0.9	5.1 ± 0.4	0.4	4.6 ± 0.5	0.5

注) 平均値±標準偏差

色調

体表の色調について、測定部位毎の b^* 値を図5に示した。

部位 1 (頭部) と部位 2 (胸鰭後端) では、部位 1 の方が高い値を示す傾向にあった。部位毎に見ると頭部では、飼料 3 区、飼料 4 区の値がわずかに高く、胸鰭後端では、飼料 1 区に対して飼料 4 区が有意に高い結果となった (Tukey $p<0.05$)。

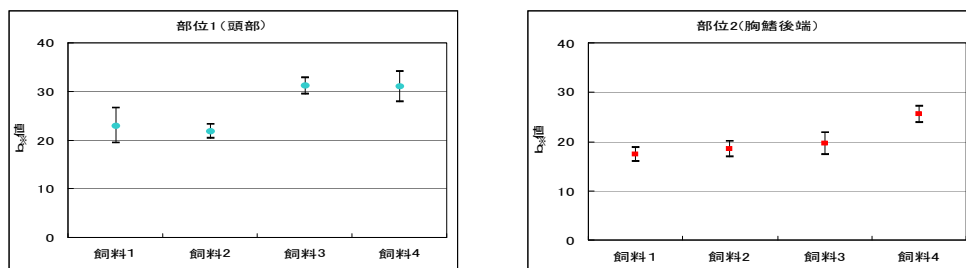


図5 体表の部位毎における b^* 値

次に、切り身精肉部の b^* 値を図6に、血合肉部の a^* 値及び b^* 値を図7に示した。

精肉部の b^* 値は、飼料 4 区が最も高く、次いで飼料 2 区、飼料 3 区、飼料 1 区の順となり、飼料 2 区と飼料 4 区は他より高かった。また、血合肉部の a^* 値は、飼料 4 区と飼料 3 区で他区より高い値を示した (Tukey $p<0.05$)。また b^* 値も、飼料 4 区と飼料 3 区で高い値を示した (Tukey $p<0.01$)。

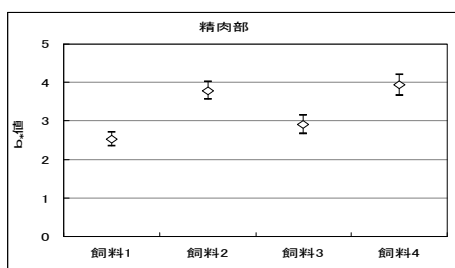


図6 精肉部のb*値

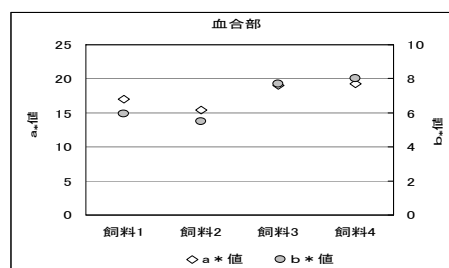


図7 血合肉部のa*値とb*値

圧縮強度

魚粉量の違いによる身質(歯ごたえ)への影響を把握するため、圧縮強度を測定した。得られた結果を基に、飼料1区の圧縮強度を100として表し、図8に示した。

その結果、魚粉低減飼料区の圧縮強度は、魚粉50%の飼料1区より高い値を示し、特に、魚粉30%の飼料2区は、飼料1区の約1.2倍の値を示した。飼料3区と飼料4区は、ほぼ同じ値であった。

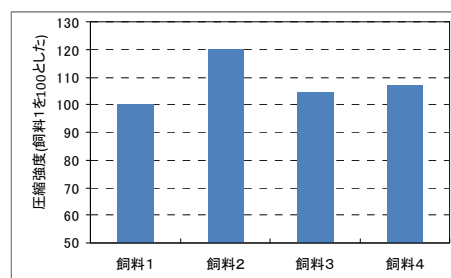


図8 破断強度(飼料1を100とした)

食味調査

食味調査の結果を図9に示した。

外観では飼料2区、歯ごたえ及び脂ののりは飼料3区、うまみでは飼料4区が他よりも高い評価であった。また、総合評価では、飼料4区が最も評価が高く、飼料2区と飼料3区が同評価で続いた。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。

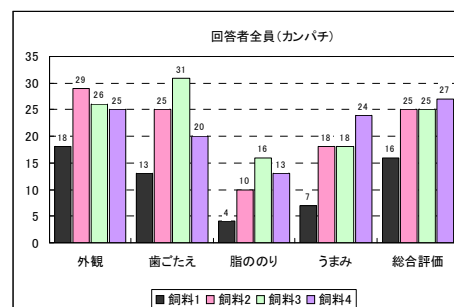


図9 食味調査結果(回答者全員)

まとめ

今回は、魚粉量50%の飼料1、魚粉量を30%に低減し、合成タウリンを0.2%添加した飼料2、魚粉量を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、魚粉量を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4を用いて、カンパチ1歳魚の飼育試験を実施した。

その結果、飼料1、3、4区はほぼ同等の成長を示したが、飼料2区は尾叉長、魚体重等の成長指標で劣った。成長指標の劣った飼料2区の日間給餌率を見ると、他区と比較して低いものとなったが、この原因としては、高水温が継続した～期終了までの餌食いが、他と比べて特に低調だったことが影響したものと思われた。例年と比べ試験前半の海水温は1～2高く推移しており、各区ともに餌食いが低調だったが、特にこの時期における飼料2区の餌食いが低調であったことが、その後、海水温下降期における成長に悪い影響を及ぼしたものと思われた。また、魚粉量のより少ない飼料3区や飼料4区では、高水温が継続している期間でも飼料2区以上の日間給餌率が確保できていたため、飼料2区を上回り、飼料1区と同等の成長を示す結果につながったと思われた。このことから、飼料2区でも他区と同等の日間給餌率が確保できていれば、それらと遜色のない成長が得られたものと思われた。体表等の色や物性等の品質面では、魚粉量を低減しても魚粉50%区と同等以上の評価が得られた。しかし、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ことから、これらについては改善の余地があると思われた。また、魚粉低減飼料では、日間給餌率の低下が成長に影響を及ぼすことが示唆されたため、今後は、高水温期等におけるより効率的な給餌方法や給餌率向上の検討が必要と思われた。

試験2（ブリ飼育試験）

【方法】

試験場所

鹿児島県水産技術開発センター地先の海面生簀にて実施した。

供試魚

鹿児島湾内で育成されたブリ1歳魚を試験に用いた。試験開始までは試験飼料1（ブリ用）を給餌し、予備飼育を行った。

試験飼料

飼料1は、市販の配合飼料と魚粉量が同等程度の魚粉量50%のEP飼料で、それ以外の魚粉低減飼料は、濃縮大豆タンパク質、大豆油粕、コーングルテンミール等で魚粉を代替するとともに、摂餌性を考慮しオキアミミールを添加し、さらに合成タウリンのみ、あるいは合成タウリン及びアミノ酸を添加したEP飼料とし、飼料2は、魚粉量を30%に低減し、合成タウリンを0.2%添加した飼料、飼料3は、魚粉量を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、飼料4は、魚粉量を10%に低減し、アミノ酸を2.2%、合成タウリンを0.4%添加した飼料である。

飼育管理

海面生簀網（3m×3m×3m）4生簀にブリ1歳魚（試験開始時1,833±223g）を各80尾収容した。試験区は、飼料1給餌区を1区、飼料2給餌区を2区、飼料3給餌区を3区、飼料4給餌区を4区と設定し、平成22年7月22日から11月16日までの118日間飼育した。給餌頻度は、1週間当たり4日とし、1日1回、飽食と思われる量まで給餌した。飼料の粒径は、全期間を通して12mmとした。また、飼育期間中は、試験1と同じ方法で水温と溶存酸素量を測定した。

なお、本試験は国立大学法人鹿児島大学に一部再委託し、当センターにて連携を取りつつ実施した。

魚体測定

試験開始時、中間時の4週間毎、試験終了時に実施し、全尾数の尾叉長及び魚体重を測定した。また、終了時には緑肝症の有無を確認するため、各区から任意に8尾を取り上げ、魚体から肝臓を摘出し、重量を測定するとともに目視観察した。

魚体の成分分析

成分分析用として試験開始時に5尾、試験終了時に各区より8尾ずつを任意に取り上げ、分析に供するまで-30℃にて凍結保管した。凍結した魚体は、試験1と同じ方法で一般成分、全リン分析を行うとともに窒素及びリンの蓄積率、負荷量を算出した。

血液性状分析

試験開始時に8尾、試験終了時に各区8尾の採血を行った。方法、測定機器等は試験1に準じた。

色調

試験開始時に各区から5尾ずつ任意に取り上げ、活け締めし、60分間冷海水中で脱血処理した魚体の体表及び切り出した切り身の色調を色彩色差計で測定した。サンプル作製、測定箇所、測定機器等は全て試験1と同じとした。

食味調査

調査前日に各区から3尾ずつ取り上げ、活け締めし60分間冷海水中で脱血処理後、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た。対象者は、20歳代から60歳代の当センター職員、臨時職員及び鹿児島大学の学生ら計22名とした。評価項目、評価点数等については、試験1と同じとした。

【結果及び考察】

飼育環境

平成22年7月22日から11月17日までの118日間、飼育を行った。飼育期間を4週間毎に分け、Ⅰ期とした。

水温は20.9～31.2（平均27.2）で推移した。Ⅰ期は27.8～30.2（平均29.4）、Ⅱ期は28.5～31.2（平均29.6）で、試験開始からの2ヶ月間は平均水温が29.5と高水温の状態にあった。Ⅲ期は25.9～29.5（平均27.4）、Ⅳ期は20.9～25.9（平均22.8）であった。溶存酸素量は、5.1～7.6 mg/l（平均6.1mg/l）で推移した（図10）。

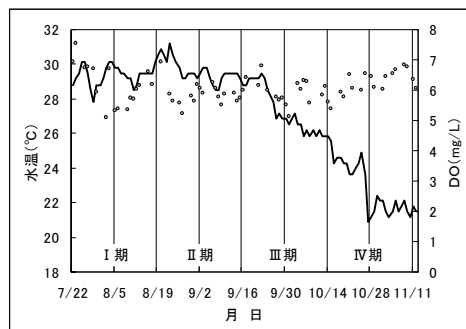


図10 飼育期間中の水温及び溶存酸素量

飼育成績

飼育成績は、表6に示した。

試験終了時における生残率は、飼料1区、飼料2区ともに83.8%、飼料3区が80.0%であった。期間中、最もへい死が多かったのは飼料4区で生残率は66.3%であった。へい死した魚体について、病理学的検査を実施した結果、原因の殆どがノカルジア症であった。

次に、平均体重の推移を図11に示した。魚粉50%の飼料1区が最も優れ、その次が魚粉30%の飼料2であったが有意な差ではなかった。一方、飼料3、4区は、飼料1区に比べて有意に劣った（Tukey $p < 0.05$ ）。尾叉長は、各区とも55cm前後で差は見られなかったが、飼料2～4区の肥満度は、飼料1区に比べて有意に低かった（Tukey $p < 0.01$ ）ことから、魚粉低減区の魚体はスリムな体型であったことが窺えた。緑肝症の有無を確認するため、各区から任意に8尾を取り上げ、魚体から肝臓を摘出し、重量を測定するとともに目視観察したが、緑肝症を呈する魚体はなく、比肝臓重量も1.1%～1.2%と飼料間で差は見られなかった（表6-2）。

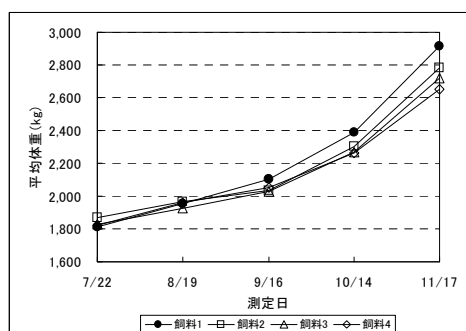


図11 平均体重の推移

表6 飼育成績

飼育期間	試験区	飼育 日数	平均体重(g)		増重率 (%)	日間増重率 (%)	日間給餌率 (%)	飼料転換効率 (%)	増肉係数 (乾物%)	生残率 (%)
			開始時	終了時						
Ⅰ期 (7/22～8/18)	飼料1	28	1,812.9	1,956.9	7.9	0.27	1.56	17.49	5.18	97.5
	飼料2	28	1,867.8	1,967.5	5.3	0.19	1.54	12.02	7.64	100.0
	飼料3	28	1,827.9	1,927.5	5.4	0.19	1.56	12.17	7.38	100.0
	飼料4	28	1,824.3	1,958.5	7.4	0.25	1.58	16.07	5.53	88.8
Ⅱ期 (8/19～9/15)	飼料1	28	1,956.9	2,100.3	7.3	0.25	1.90	13.29	6.82	88.5
	飼料2	28	1,967.5	2,033.5	3.4	0.12	1.86	6.35	14.46	86.3
	飼料3	28	1,927.5	2,028.1	5.2	0.18	1.93	9.43	9.52	92.5
	飼料4	28	1,958.5	2,049.5	4.7	0.16	1.84	8.80	10.10	88.7
Ⅲ期 (9/16～10/13)	飼料1	28	2,100.3	2,386.9	13.6	0.46	1.66	27.53	3.29	97.1
	飼料2	28	2,033.5	2,300.3	13.1	0.44	1.71	25.66	3.58	98.6
	飼料3	28	2,028.1	2,269.0	11.9	0.40	1.67	24.01	3.74	93.2
	飼料4	28	2,049.5	2,261.8	10.4	0.35	1.57	22.38	3.97	87.3
Ⅳ期 (10/14～11/16)	飼料1	34	2,386.9	2,916.9	22.2	0.59	1.49	39.54	2.29	100.0
	飼料2	34	2,300.3	2,783.1	21.0	0.56	1.58	35.34	2.60	98.5
	飼料3	34	2,269.0	2,722.5	20.0	0.54	1.53	34.85	2.58	92.8
	飼料4	34	2,261.8	2,653.8	17.3	0.47	1.53	30.61	2.90	96.4
通算 (7/22～11/16)	飼料1	118	1,812.9	2,916.9	60.9	0.40	1.49	26.61	3.41	83.8
	飼料2	118	1,867.8	2,783.1	49.0	0.34	1.52	21.90	4.19	83.8
	飼料3	118	1,827.9	2,722.5	48.9	0.34	1.58	21.06	4.26	80.0
	飼料4	118	1,824.3	2,653.8	45.5	0.32	1.47	21.42	4.15	66.3

表6-2 飼育成績

時期	試験区	尾叉長(cm)	魚体重(g)	肥満度	比肝臓重量(%)
開始時		51.5 ± 1.7	1,833 ± 223	13.4 ± 0.8	0.7 ± 0.1
終了時	飼料1	55.0 ± 1.9	2,917 ± 388	17.5 ± 1.2	1.1 ± 0.2
	飼料2	55.0 ± 1.8	2,783 ± 340	16.6 ± 1.3	1.2 ± 0.2
	飼料3	54.9 ± 1.7	2,723 ± 363	16.4 ± 1.4	1.1 ± 0.2
	飼料4	54.7 ± 1.9	2,654 ± 388	16.2 ± 1.4	1.2 ± 0.2

※比肝重量n=16

日間給餌率は，Ⅰ期が1.54%～1.58%，Ⅱ期が1.84%～1.93%，Ⅲ期が1.57%～1.71%，Ⅳ期が1.49%～1.58%であった。通算の日間給餌率は，飼料1区が1.49%，飼料2区が1.52%，飼料3区が1.58%，飼料4区が1.47%となり，飼料2区及び飼料3区でやや高かった(図12)。

通算の増肉係数は，飼料1区が3.41とやや優れ，魚粉低減飼料区では，飼料2区が4.19，飼料3区が4.26，飼料4区が4.15であった。

魚体の成分分析

魚体の成分分析結果を表7に示す。

試験開始時は，水分70.1%，粗蛋白質22.3%，粗脂肪3.0%であった。試験終了時の水分は飼料2，3区が55%前後で他区よりやや少なかった。粗蛋白質は20%前後で差は見られなかった。粗脂肪は飼料2区が最も高く18.8%，次いで飼料1区が17.2%，飼料3区が17.0%，飼料4区が15.7%であった。飼料3区の粗脂肪は，飼料2区と比べて有意に少なく(Tukey p<0.01)，また，飼料4区は飼料1，2区に比べて有意に少なかった(Tukey p<0.01)。リン含有率は，飼料1区が0.80%で最も高く，飼料中の魚粉割合が少ない飼料区ほど低くなり，飼料4区が0.58%と最も低かった。タウリン含有率は，低魚粉飼料区で多くなる傾向であった。

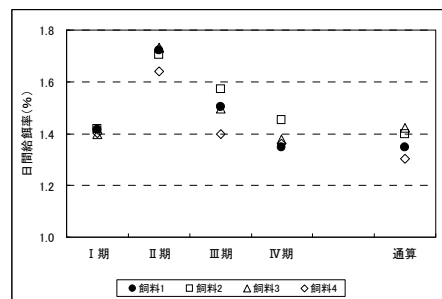


図12 各期毎の日間給餌率(乾物換算)

表7 魚体分析結果(グリ)

(単位:%)

時期	区	水分	粗蛋白質	粗脂肪	粗灰分	窒素	リン	タウリン
開始時		70.1	22.3	3.0	3.6	3.6	0.73	0.00
終了時	飼料1	57.0	20.5	17.2	2.8	3.3	0.80	0.00
	飼料2	54.4	19.5	18.8	2.8	3.1	0.72	0.00
	飼料3	55.1	20.2	17.0	2.8	3.2	0.70	0.00
	飼料4	58.9	20.0	15.7	2.9	3.2	0.58	0.00

窒素，リンの蓄積率及び負荷量

次に，窒素，リンの蓄積率及び負荷量を表8に示す。

窒素蓄積率は，飼料1区が高く，低魚粉飼料区は7%前後であった。窒素負荷量は，飼料1区が低かった。リン蓄積率は，飼料4区は4.2%と低かったが，それ以外は11%前後であった。リン負荷量については，低魚粉飼料区の方が飼料1区よりやや低い傾向であった。

表8 窒素，リンの蓄積率及び負荷量

区	窒素		リン	
	蓄積率(%)	負荷量(kg/生産量t)	蓄積率(%)	負荷量(kg/生産量t)
飼料1	10.8	236.0	12.4	62.4
飼料2	6.6	306.9	10.5	60.3
飼料3	7.8	302.8	11.3	51.7
飼料4	7.2	294.2	4.2	55.4

注)平均値±標準偏差

血液性状

次に血液性状分析結果を表9に示す。

試験終了時において，ヘマトクリット値は，飼料中の魚粉中の魚粉割合の低下とともに低くなる傾

向が見られた。また、総コレステロール(TCHO)、尿素窒素(BUN)、中性脂質(TG)及び総蛋白(TP)についても、似た傾向を示した。総ビリルビン(TBIL)は、飼料4で高い値を示した。

表9 血液性状分析結果

項目\時期	開始時(n=8)	終了時(各n=8)							
		飼料1		飼料2		飼料3		飼料4	
Ht(%)	41.6 ± 5.1	44.8 ± 3.1	39.0 ± 5.5	33.0 ± 8.8	34.5 ± 7.8				
GOT(U/L)	308.0 ± 307.7	18.7 ± 7.4	219.0*	129.8 ± 194.0	59.8 ± 63.6				
GPT(U/L)	54.0 ± 11.3	検出されず		13.0*	11.0*	25.0*			
TCHO(mg/dl)	298.4 ± 24.1	355.1 ± 16.7	303.7 ± 31.1	258.0 ± 57.6	263.1 ± 49.6				
Glu(mg/dl)	200.4 ± 21.2	132.8 ± 18.5	144.3 ± 27.3	136.0 ± 21.1	140.0 ± 18.5				
BUN(mg/dl)	15.0 ± 2.7	18.1 ± 4.0	15.6 ± 2.4	15.0 ± 4.2	12.6 ± 1.8				
TBIL(mg/dl)	0.3 ± 0.1	0.2 ± 0.0	0.3 ± 0.1	0.4 ± 0.3	0.8 ± 0.6				
TG(mg/dl)	60.4 ± 30.0	101.3 ± 59.6	69.8 ± 21.3	53.3 ± 18.5	44.1 ± 7.0				
IP(mg/dl)	7.4 ± 1.3	6.1 ± 0.5	5.8 ± 0.6	7.1 ± 3.2	6.0 ± 0.8				
Ca(mg/dl)	15.1 ± 0.7	13.8 ± 0.5	13.6 ± 0.8	11.8 ± 2.5	12.6 ± 1.5				
TP(g/dl)	3.5 ± 0.4	3.9 ± 0.4	3.5 ± 0.4	3.8 ± 0.6	3.4 ± 0.5				

注) 平均値±標準偏差

注) * : 1個体だけから検出された値

色調

体表は、頭部及び胸鰭後端部の黄帯上の2カ所を測定し、測定部位毎のb*値を図13に示した。

部位1(頭部)と部位2(胸鰭後端)では、部位1の方が高い値を示した。部位別でみると頭部では、飼料4区の値が他区に比べて有意に高く(Tukey p<0.05)、胸鰭後端では飼料中の魚粉量が少なくなるとともに値が高くなり、魚粉量の最も少ない飼料4区は、飼料1区に比べて高く、有意な差が見られた(Tukey p<0.01)。

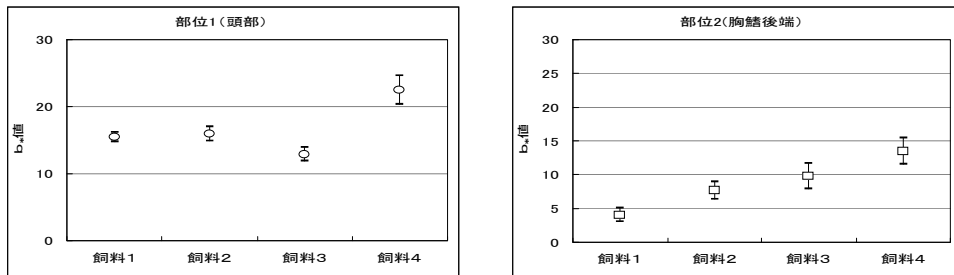


図13 体表における部位毎のb*値

次に、切り身のうち精肉部のa*値を図14に、血合肉部のa*値及びb*値を図15に示した。

精肉部のb*値に飼料間の差は見られなかった。a*値は、飼料1区が最も高く、魚粉量が少なくなるとともに値は低くなり、飼料3区と4区は飼料1区と比べて有意に低かった(Tukey p<0.01)。また、血合肉部のa*値は、飼料間で差は見られなかったが、血合肉部のb*値は、飼料3区と飼料4区でやや高い傾向であった。

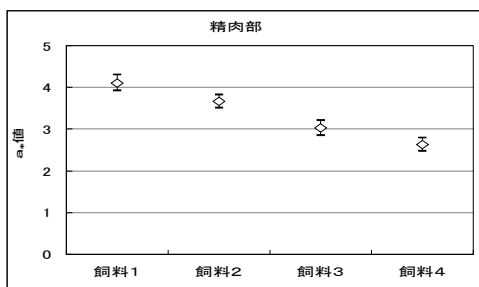


図14 精肉部のa*値

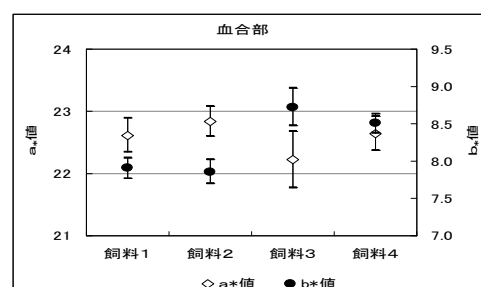


図15 血合肉部のa*値とb*値

食味調査

食味調査の結果を図16に示した。

外観では飼料4区，歯ごたえでは飼料3区及び飼料4区，脂ののりでは飼料4区の評価が高かった。外観，歯ごたえ，脂ののりについて評価の高かった区は，いずれも低魚粉飼料区であった。一方，うまみについては，魚粉50%の飼料1区が他よりも高い評価であった。総合評価では，飼料3区と飼料4区が他区よりも高い評価を得た。脂ののりは，全体的に外観，歯ごたえ及びうまみといった項目に比べて，全体的に評価が低かった。

まとめ

今回は，魚粉量50%の飼料1，魚粉量を30%に低減し合成タウリンを0.2%添加した飼料2，魚粉量を20%に低減し，アミノ酸1.1%，合成タウリン0.3%を添加した飼料3，魚粉量を10%に低減しアミノ酸2.2%，合成タウリン0.4%添加した飼料4を用いて，ブリ1歳魚の飼育試験を実施した。

その結果，尾叉長は，飼料間で成長差は見られなかった。しかし，有意な差ではなかったものの魚体重では，魚粉50%の飼料1区が魚粉30%の飼料2区より優れており，また，魚粉20%の飼料3区及び魚粉10%の飼料4区の魚体重については，飼料1区に比べて有意に劣っていた（Tukey $p < 0.01$ ）。これは，平均水温が29.5 という高水温が継続した試験開始時からの約2ヶ月間において，日間給餌率には差が見られなかったものの，低魚粉飼料区では飼料転換効率が低かったため増重に結びつかなかったことが影響したものと思われる。一方，飼料2区と飼料3区を比較してみると，ほぼ同等の増重率を示していたことから，合成タウリンとアミノ酸の添加割合や種類等の改善で，魚粉30%から20%への低減化は可能と思われた。

試験期間中のへい死原因の大半はノカルジア症であった。各区の生残率を見ると，飼料1区と飼料2区は84%で差は見られなかったが，飼料3区では80%，飼料4区では66%となった。特に，魚粉10%の飼料4区の生残率が低かったことから，魚粉量10%といったような低魚粉飼料の場合，抗病性への対応を考慮した飼料組成等をする必要があると思われた。

体表や切り身の色については，魚粉量を低減したことによる悪影響は見られなかったが，うまみや脂ののりについては，カンパチと同様に他の項目に比べて評価が伸びなかったことから，改善の余地があるものと思われた。また，今年度のように高水温の期間が長期化した場合は，過酷な環境に対応しうる飼料組成や給餌方法等の検討が必要と思われた。

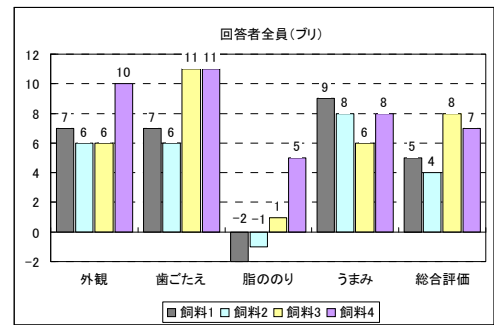


図16 食味調査結果(回答者全員)

なお，本事業の結果は別途，「平成22年度持続的養殖生産・供給推進委託事業（低コスト飼料・効率的生産手法開発事業）報告書」として，水産庁へ提出した。