

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

前野幸二, 平江多績, 村瀬拓也, 折田和三, 村田卓也¹
ジェフリー・フレドリック・モリンソン¹, 横山佐一郎¹, 越塩俊介¹

【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より、国内の配合飼料価格も上昇しており、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

水産技術開発センター地先の海面生簀にて実施した(図1)。

供試魚

鹿児島湾内で育成されたカンパチ当歳魚を試験に用いた。試験開始までの3週間は、試験飼料1(粒径5mm)を給餌し予備飼育を行った。

試験飼料

表1に示す組成で、養魚飼料メーカーが作製したEP飼料4種類を用いた。飼料1は、魚粉割合が従来の飼料と同等の魚粉60%飼料で、飼料2は魚粉割合を40%に低減し、その分を植物性タンパク質で代替した飼料、飼料3は、飼料2に合成タウリンを0.15%添加した飼料、飼料4は飼料2に合成タウリンを0.7%添加した飼料である。

飼育管理

海面生簀網(3m×3m×3m)8生簀にカンパチ当歳魚(開始時199.7g)を80尾ずつ収容し、平成20年8月19日から12月9日までの112日間飼育した。試験区は、飼料1給餌区を1・2区、飼料2給餌区を3・4区、飼料3給餌区を5・6区、飼料4給餌区を7・8区と設定し、給餌形態は、土・日・祝日を除く1日1回、飽食であろうと思われる量まで給餌した。飼料は、試験開始時から8週終了時までには粒径5mm、9週目以降は粒径8mmのものを給餌した。

飼育期間中の水温及び溶存酸素は、水深1mにてデータロガー(Stow Away Tidbit temp logger)及びDOメーター(YSI Model185)で測定した。



図1 試験実施場所

表1 配合飼料組成と分析結果

	飼料1	飼料2	飼料3	飼料4
魚粉	60.0	40.0	40.0	40.0
大豆油粕		6.5	6.5	6.5
コーングルテンミール		17.5	17.5	17.5
小麦粉	12.0	7.1	6.95	6.4
ビスオクテンブレン	10.0	10.0	10.0	10.0
ビタミン混合物	2.0	2.0	2.0	2.0
ミネラル混合物	1.0	1.0	1.0	1.0
魚油	10.0	10.4	10.4	10.4
外添油(魚油)	5.0	5.0	5.0	5.0
リン酸カルシウム		0.5	0.5	0.5
タウリン(合成)			0.15	0.7
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
粗灰分(%)	10.5	8.4	8.2	8.0
リン(mg/g, 乾物)	16.6	12.0	15.7	15.0
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
粗灰分(%)	10.6	8.3	11.0	8.2
リン(mg/g, 乾物)	20.7	15.9	15.8	14.4
タウリン(%)	0.35	0.25	0.36	0.82

※分析値は、東京海洋大学による。

リンのみ鹿児島水産技術開発センター

※1 : 鹿児島大学水産学部

魚体測定

試験開始時及び試験終了時には、全数の魚体重と尾叉長を測定した。また、4週間毎に各区30尾の魚体重と尾叉長を測定した。

魚体の成分分析

試験開始時に5尾、試験終了時に各区5尾を取り上げ、分析に供するまで -35°C で凍結保管した。分析前に全魚体を磨砕し、一般成分及び全リンを測定した。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。また、これとは別に試験開始時に5尾、試験終了時に各区5尾を取り上げ、肝臓とそれ以外の魚体とに分け、それぞれのタウリンについて分析した。タウリンについて、試料の磨砕及び分析は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尾から採血し、個体別にドライケムFDC3500i（富士フィルム社製）を用いて血液性状を測定した。

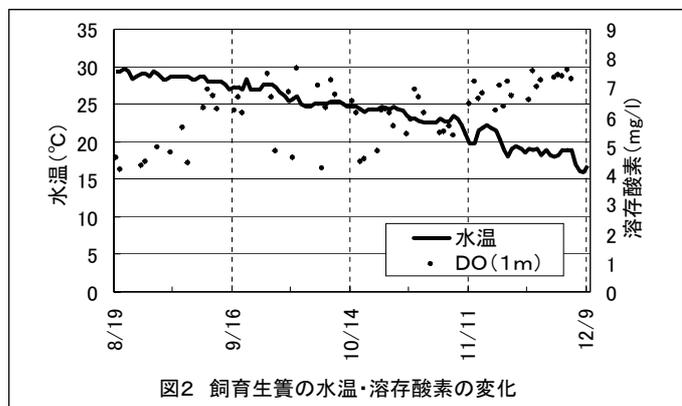
【結果及び考察】

飼育環境

飼育試験は、平成20年8月19日から12月9日までの112日間行った。期間中の水温及び溶存酸素量を図2に示した。

期間中の水温は $15.8\sim 29.7^{\circ}\text{C}$ （平均 24.2°C ）であった。試験開始から4週終了時（Ⅰ期）は $27.0\sim 29.7^{\circ}\text{C}$ （平均 28.6°C ）、5週開始時から8週終了時（Ⅱ期）は $24.7\sim 28.3^{\circ}\text{C}$ （平均 26.1°C ）、9週開始時から12週終了時（Ⅲ期）は、 $20.9\sim 24.7^{\circ}\text{C}$ （平均 23.5°C ）、13週開始時から試験終了時（Ⅳ期）では $15.8\sim 22.2^{\circ}\text{C}$ （平均 19.1°C ）であった。

DOは、 $4.2\sim 7.6\text{mg/l}$ （平均 6.3mg/l ）で推移した（図2）。



飼育成績

飼育成績は、表2に示した。飼育試験開始後2週間は、殆ど疾病等は見られず飼育は順調であった。しかし、この後、約2週間イリドウイルス感染症やハダムシの寄生により、各区でへい死尾数が多い状況が続き、試験終了時における生残率は、飼料1で63.1%、飼料2で78.8%、飼料3で69.4%、飼料4で66.9%となった。

飼育期間中における各飼料別の平均体重の推移を図3に示した。魚粉40%で合成タウリンを0.7%添加した飼料4が最も良く、次いで魚粉の最も多い飼料1であった。魚粉40%で合成タウリン無添加の飼料2は最も劣ったが、飼料間で有意な差は見られなかった。

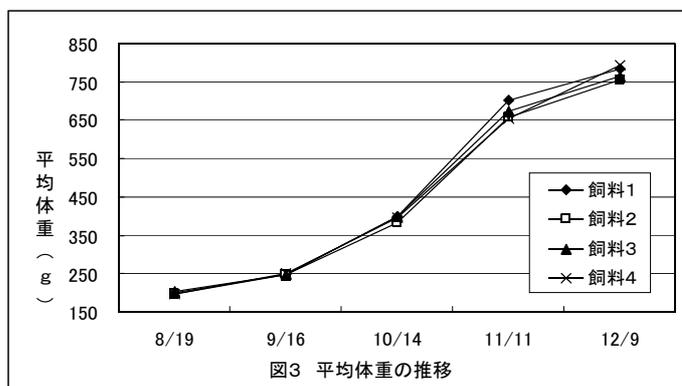


表2 飼育成績

飼育期間	試験区	飼育日数	給餌回数	平均体重(g)		増重率(%)	日間増重率(%)	給餌量(g)	日間給餌率(%)	飼料転換効率(%)	増肉係数	生存率(%)
				開始時	終了時							
I 期 (8/19~9/15)	1-1区	28	17	198.3	249.9	26.0	0.83	9,259	2.15	38.2	2.62	71.3
	1-2区	28	17	200.1	248.3	24.1	0.77	9,473	2.16	35.6	2.81	75.0
	2-1区	28	17	199.7	250.4	25.4	0.71	9,295	2.08	38.7	2.58	77.5
	2-2区	28	17	196.1	243.6	24.2	0.77	9,941	2.10	36.8	2.72	92.5
	3-1区	28	17	201.6	250.4	24.2	0.77	8,881	2.03	37.9	2.64	72.5
	3-2区	28	17	204.6	244.1	19.3	0.63	9,294	2.04	30.8	3.25	81.3
	4-1区	28	17	195.3	253.6	29.9	0.93	9,365	2.16	43.0	2.33	72.5
	4-2区	28	17	202.1	245.9	21.7	0.70	8,606	1.99	35.1	2.85	72.5
II 期 (9/16~10/13)	1-1区	28	18	249.9	408.0	63.3	1.75	9,748	1.89	90.8	1.10	96.5
	1-2区	28	18	248.3	392.6	58.1	1.64	9,892	1.90	84.6	1.18	93.3
	2-1区	28	18	250.4	389.1	55.4	1.57	9,541	1.82	85.0	1.18	88.7
	2-2区	28	18	243.6	375.6	54.2	1.55	10,137	1.59	95.7	1.05	98.6
	3-1区	28	18	250.4	405.0	61.7	1.72	9,257	1.85	91.0	1.10	87.9
	3-2区	28	18	244.1	390.7	60.1	1.68	9,463	1.65	99.9	1.00	98.5
	4-1区	28	18	253.6	400.5	57.9	1.63	9,869	1.89	84.8	1.18	96.6
	4-2区	28	18	245.9	393.8	60.1	1.68	9,832	1.93	85.7	1.17	96.6
III 期 (10/14~11/10)	1-1区	28	18	408.0	693.2	69.9	1.89	15,805	1.99	92.9	1.08	87.3
	1-2区	28	18	392.6	712.1	81.4	2.13	18,511	2.14	96.7	1.04	100.0
	2-1区	28	18	389.1	666.1	71.2	1.92	17,121	2.11	89.0	1.12	100.0
	2-2区	28	18	375.6	650.0	73.1	1.96	20,867	2.02	94.7	1.06	97.3
	3-1区	28	18	405.0	691.5	70.7	1.91	16,850	2.15	86.7	1.15	100.0
	3-2区	28	18	390.7	652.3	67.0	1.83	18,924	2.07	86.4	1.16	95.3
	4-1区	28	18	400.5	652.0	62.8	1.74	17,746	2.21	77.2	1.30	94.6
	4-2区	28	18	393.8	657.2	66.9	1.83	19,052	2.31	77.4	1.29	100.0
IV 期 (11/11~12/9)	1-1区	28	17	693.2	789.6	13.9	0.47	11,163	1.16	40.2	2.49	93.8
	1-2区	28	17	712.1	778.3	9.3	0.32	14,070	1.20	26.3	3.80	100.0
	2-1区	28	17	666.1	774.1	16.2	0.54	14,117	1.27	42.1	2.38	100.0
	2-2区	28	17	650.0	735.8	13.2	0.44	18,197	1.32	33.5	2.99	100.0
	3-1区	28	17	691.5	773.9	11.9	0.40	12,474	1.20	33.4	3.00	98.0
	3-2区	28	17	652.3	758.9	16.3	0.54	15,494	1.29	42.0	2.38	100.0
	4-1区	28	17	652.0	787.8	20.8	0.68	13,921	1.32	51.2	1.95	98.1
	4-2区	28	17	657.2	798.9	21.6	0.70	14,426	1.28	54.5	1.83	98.2
通算 (8/19~12/9)	1-1区	112	70	198.3	789.6	298.2	1.23	45,975	1.33	80.4	1.24	56.3
	1-2区	112	70	200.1	778.3	289.0	1.21	51,946	1.39	75.7	1.32	70.0
	2-1区	112	70	199.7	774.1	287.6	1.21	50,074	1.36	77.4	1.29	68.8
	2-2区	112	70	196.1	735.8	275.2	1.18	59,142	1.50	68.9	1.45	88.8
	3-1区	112	70	201.6	773.9	283.9	1.20	47,462	1.34	78.4	1.28	62.5
	3-2区	112	70	204.6	758.9	270.9	1.17	53,175	1.40	73.5	1.36	76.3
	4-1区	112	70	195.3	787.8	303.4	1.25	50,901	1.40	76.8	1.30	65.0
	4-2区	112	70	202.1	798.9	295.3	1.23	51,916	1.37	77.6	1.29	68.8
尾叉長(cm)	飼料	開始時	I 期	II 期	III 期	IV 期						
	1区	23.5	25.0	28.5	32.8	33.8						
	2区	23.4	25.0	28.4	32.6	33.7						
	3区	23.6	24.9	28.5	32.7	33.9						
肥満度	4区	23.4	25.0	28.7	32.4	34.2						
	1区	15.3	15.8	17.2	19.8	20.1						
	2区	15.3	15.7	16.7	18.9	19.5						
	3区	15.4	15.9	17.1	19.2	19.6						
4区	15.3	15.8	16.8	19.2	19.9							

日間給餌率については、I 期は1.99~2.16%であったが、II 期は1.59~1.93%に低下した。飼料の粒径を5mmから8mmに切り替えたIII 期には、全体的に給餌量が増加し、1.99~2.31%に改善した。しかし、IV 期には、再び1.16~1.32%に下がった。

通算の日間給餌率は、飼料2が1.43%で最も高く、次いで飼料4が1.39%、飼料3が1.37%、飼料1が1.36%となったが、飼料間で有意な差は見られなかった。

通算の増肉係数では、飼料2が1.37で最も高く、次いで飼料3が1.32、飼料4が1.30、飼料1が

最も低く1.28となったが、飼料間で有意な差は見られなかった。期間毎ではⅠ期で差が見られたが、Ⅱ期では差がなくなった。しかし、水温が20℃を下回ったⅢ期以降、飼料間で差が生じ、Ⅳ期の増肉係数は、飼料1が最も高い3.15となり、次いで飼料2の2.67、飼料3の2.69と続き、飼料4は最も低い1.89となった。これは、Ⅲ期以降において飼料1の給餌率が他と比べて低下したことで、これまで他より優れていた魚体重の増重が低調になる一方、他の区では飼料1を上回る尾叉長の伸び、魚体重の増重等が見られたことから、Ⅳ期の増肉係数の差に繋がったと考えられた。

魚体の成分分析

魚体の成分分析結果を表3に示す。試験開始時は、水分含量が多く粗脂肪含量が少なかった。試験終了時では、全ての試験区で水分含量は減少し、粗脂肪含量は増加したが、飼料の違いによる魚体成分の差は見られなかった。

魚体のリン含有量は、試験開始時の7.86mg/gから試験終了時には5.96~7.45mg/gと減少した。

表3 魚体分析結果

時期	飼料	区	水分(%)		粗タンパク(%)		粗脂肪(%)		粗灰分(%)		リン(mg/g)		窒素(%)	
			分析値	平均	分析値	平均	分析値	平均	分析値	平均	分析値	平均	分析値	平均
開始			73.6	—	18.9	—	4.5	—	3.6	—	7.86	—	3.0	—
16週	飼料1	1	65.7	65.6	19.6	19.5	12.5	12.7	2.7	2.7	5.40	5.96	3.1	3.1
		2	65.6	—	19.3	—	13.0	—	2.7	—	6.52	—	3.1	—
	飼料2	3	65.3	64.9	19.5	18.8	12.6	13.2	2.8	2.7	6.86	6.44	3.1	3.0
		4	64.5	—	18.2	—	13.7	—	2.7	—	6.03	—	2.9	—
	飼料3	5	64.9	64.8	19.7	19.4	13.1	13.3	2.8	2.8	6.32	6.85	3.1	3.1
		6	64.8	—	19.2	—	13.4	—	2.8	—	7.38	—	3.1	—
	飼料4	7	65.0	64.7	19.5	19.4	12.8	13.2	2.9	2.9	6.73	7.45	3.1	3.1
		8	64.4	—	19.3	—	13.7	—	2.9	—	8.16	—	3.1	—

注)湿重量換算による。

次に、16週間の試験期間を通じて得られたリン及び窒素の蓄積率と負荷量を右式により求め、蓄積率を表4、負荷量を表5に示した。

リン蓄積率については、飼料4が最も高く、続いて飼料3、2、1の順となり、魚粉60%区より魚粉40%区で高く、また、合成タウリンの添加量が多いほど蓄積率が高かった。リン負荷量は、魚粉60%区と魚粉40%区の間では有意な差 (Tukey $p < 0.01$) が見られ、魚粉を代替した飼料の方が負荷量は少なかった。窒素の蓄積率については、飼料3が最も高く、飼料4、1、2の順となった。窒素負荷量が最も多かったのは飼料1で、次いで飼料2と飼料4が同等、最も少なかったのが飼料3となったが、大きな差ではなかった。

$$\text{リン負荷量 } (T-P; \text{kg}/\text{生産量}t) = \frac{\left\{ F \times \frac{Pf}{100} - \left(Bf \times \frac{Pbf}{100} - Bi \times \frac{Pbi}{100} \right) \right\} \times 10^6}{(Bf - Bi) \times 10^3} \quad \Lambda \quad (1.1)$$

$$= \left\{ C \times Pf - \frac{(Bf \times Pbf - Bi \times Pbi)}{(Bf - Bi)} \right\} \times 10 \quad \Lambda \quad (1.2)$$

$$\text{リン蓄積率 } (T-P; \%) = \frac{\left(Bf \times \frac{Pbf}{100} - Bi \times \frac{Pbi}{100} \right)}{F \times \frac{Pf}{100}} \times 10^2 \quad \Lambda \quad (1.3)$$

$$\text{窒素負荷量 } (T-N; \text{kg}/\text{生産量}t) = \frac{\left\{ F \times \frac{Nf}{100} - \left(Bf \times \frac{Nbf}{100} - Bi \times \frac{Nbi}{100} \right) \right\} \times 10^6}{(Bf - Bi) \times 10^3} \quad \Lambda \quad (2.1)$$

$$= \left\{ C \times Nf - \frac{(Bf \times Nbf - Bi \times Nbi)}{(Bf - Bi)} \right\} \times 10 \quad \Lambda \quad (2.2)$$

$$\text{窒素蓄積率 } (T-N; \%) = \frac{\left(Bf \times \frac{Nbf}{100} - Bi \times \frac{Nbi}{100} \right)}{F \times \frac{Nf}{100}} \times 10^2 \quad \Lambda \quad (2.3)$$

F: 1尾当たりの給餌量(g)、Nf: 飼料中の窒素含量(%), Pf: 飼料中のリン含量(%), Bf: 実験終了時の魚体重(g), Bi: 実験開始時の魚体重(g), Nbf: 実験終了時の魚体窒素含量(%), Nbi: 実験開始時の魚体窒素含量(%), Pbf: 実験終了時の魚体リン含量(%), Pbi: 実験開始時の魚体リン含量(%), C: 増肉係数

表4 リンと窒素の蓄積率 (%)

飼料	区	リン		窒素	
		分析値	平均	分析値	平均
飼料1	1	15.6	18.6±4.3	28.9	28.9±0.0
	2	21.6		28.9	
飼料2	3	35.8	30.8±7.1	31.7	28.5±4.6
	4	25.8		25.3	
飼料3	5	30.0	32.7±3.8	35.1	33.7±1.9
	6	35.4		32.4	
飼料4	7	31.3	35.2±5.6	30.0	29.1±1.2
	8	39.1		28.2	

注) 平均値±標準偏差

次に、試験終了時のカンパチ魚体及び肝臓のタウリン含量を表6に示した。

試験開始時の魚体タウリン含量は、649.5mg/100gであった。試験終了時は、飼料1で519.6mg/100g、飼料2で461.1mg/gとなり、開始時より減少した。一方、飼料3は開始時と同程度の640.8mg/g、飼料4は706.2mg/gと増加した。飼料1と飼料4、飼料2と飼料3の間で有意な差 (Tukey $p < 0.05$) が見られた。

試験開始時における肝臓タウリン含量は、410.7mg/100gであった。終了時では、飼料1が324.5mg/100g、飼料2が292.3mg/100g、飼料3が368.8mg/100g、飼料4が363.6mg/100gとなり、全ての区で開始時より減少した。飼料1と飼料4、飼料2と飼料3の間で有意な差 (Tukey $p < 0.05$) が見られた。終了時における魚体及び肝臓のタウリン含量は、飼料中のタウリン含量を反映した結果となった。

次に、魚体と肝臓におけるタウリンの蓄積率を表7に示した。タウリン蓄積率は、魚粉60%区の飼料1で107.2%、魚粉40%区では、合成タウリン無添加の飼料2で122.7%、合成タウリンを0.15%添加した飼料3では132.4%と増加する傾向が見られたが、同じ魚粉40%区でも合成タウリンを0.7%添加した飼料4では69.9%と飼料3の約2/3に低下した。

表7 タウリンの蓄積率

飼料	一尾当りの総給餌量 (g)	飼料のタウリン含量 (mg)	開始時 (N=5)				終了時 (各飼料N=10)				タウリン蓄積率 (%)	
			重量 (g)		タウリン (mg)		重量 (g)		タウリン (mg)			
			魚体	肝臓	魚体	肝臓	魚体	肝臓	魚体	肝臓		全魚体
1	749.8	2,590.7					769.4	17.8	3,989.2	57.5	4,046.6	107.2
2	762.6	1,873.5	194.8	1.9	1,265.3	7.8	761.9	16.1	3,515.5	47.2	3,562.7	122.7
3	742.2	2,650.9					739.4	13.8	4,734.5	50.8	4,785.2	132.4
4	770.2	6,316.4					796.8	16.7	5,625.4	65.7	5,691.1	69.9

血液性状

試験開始時及び終了時の血液性状を表8に示す。

試験終了時のヘマトクリット (Ht)、総コレステロール (TCHO)、トリグリセリド (TG)、無機リン (IP)、総タンパク (TP) は、試験開始時より上昇した。グルコース (GLU) は、飼料1、3、4において試験開始時より低下したが、飼料2は上昇した。総ビリルビン (TBIL) は、飼料4だけが試験開始時より上昇したが、他の飼料との有意な差は見られなかった。

表5 リンと窒素の負荷量 (kg/t)

飼料	区	リン		窒素	
		分析値 ^{*1}	平均 ^{*1}	分析値 ^{*2}	平均 ^{*2}
飼料1	1	23.9	22.8±1.5	78.3	77.6±1.0
	2	21.7		76.9	
飼料2	3	11.7	13.5±2.6	67.9	76.4±12.0
	4	15.4		84.9	
飼料3	5	13.5	13.3±0.2	58.6	61.5±4.1
	6	13.2		64.4	
飼料4	7	13.9	13.4±0.7	73.8	76.4±3.7
	8	12.9		79.0	

注1) 平均値±標準偏差

※1:1-1式による。※2:2-1式による。

表6 魚体及び肝臓のタウリン量 (mg/100gd. b)

時期	飼料	区	魚体	肝臓
開始時			649.5	410.7
試験終了時	飼料1	1区	552.9	339.4
		2区	486.2	309.6
	飼料2	3区	465.5	298.9
		4区	456.7	285.7
	飼料3	5区	605.4	356.9
		6区	676.2	380.8
	飼料4	7区	692.9	390.9
		8区	719.5	396.3

表 8 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(%)	32.0 ± 7.0		45.4 ± 5.2	41.5 ± 4.7	40.7 ± 8.2	49.1 ± 10.5				
GOT(U/L)	44.6 ± 32.2		22.7 ± 15.7	46.2 ± 38.2	67.9 ± 76.2	95.5 ± 85.8				
GPT(U/L)	13.2 ± 6.1		11.0 ± 4.1	14.6 ± 5.6	15.2 ± 4.0	32.8 ± 36.1				
ALP(U/L)	130.0 ± 28.3		131.5 ± 29.1	146.1 ± 21.4	126.7 ± 20.5	134.6 ± 49.4				
GLU(mg/dl)	200.2 ± 64.8		169.1 ± 41.6	248.2 ± 28.4	168.0 ± 44.0	170.6 ± 35.8				
TCHO(mg/dl)	225.6 ± 34.1		361.9 ± 41.5	320.2 ± 43.3	374.2 ± 19.4	392.3 ± 58.4				
TG(mg/dl)	38.4 ± 8.0		69.3 ± 23.0	79.8 ± 23.3	44.4 ± 18.5	65.0 ± 27.7				
TBIL(mg/dl)	0.9 ± 0.5		0.6 ± 0.1	0.6 ± 0.2	0.7 ± 0.2	1.3 ± 1.0				
Ca(mg/dl)*1	15.7 ± 0.6		15.9 ± 0.1	15.9 ± 0.2	16.0 ± 0.1	15.9 ± 0.4				
IP(mg/dl)	8.7 ± 3.3		10.0 ± 2.1	9.3 ± 1.2	9.2 ± 1.9	11.3 ± 2.5				
TP(g/dl)	4.0 ± 0.7		5.5 ± 0.6	5.3 ± 0.6	5.6 ± 0.4	7.2 ± 1.3				

注) 平均値 ± 標準偏差

* 1; ドライケム検出限界(16.0)以上の値は、16.0で集計した。

まとめ

通算の日間給餌率、日間増重率、増肉係数については、飼料間で大きな差は見られなかった。期間別の増肉係数を見ると、水温が20℃を下回った低水温期では、魚粉60%の飼料1に比べ、その他の魚粉40%飼料が優れる傾向を示し、中でも合成タウリンをより多く添加した飼料4が優れていた。また、この期間においては、増重率も他の区より優れていたことから、低水温期においては合成タウリン添加量の違いが成長に影響する可能性も考えられた。飼料への合成タウリン添加量の違いによる魚体及び肝臓のタウリン含量をみると、魚粉40%の場合、0.15%以上添加した飼料3、4で魚粉60%の飼料1を上回る結果となった。合成タウリン添加した区で比較すると、0.15%添加した飼料3では、魚粉60%の飼料1を上回る蓄積率を示すが、0.7%添加した飼料4では、逆に蓄積率が2/3程度に低下した。

今回使用した魚粉40%飼料では、魚粉60%飼料と成長や魚体成分に有意な差は見られなかったことから、魚粉を40%に削減しても成長等に大きな影響はないものと思われた。また、低水温期では、合成タウリン添加区は魚粉60%区と同等以上の成績を示したことから、水温の低い冬場においては、今回の魚粉40%飼料にはタウリンは添加した方が良いと思われた。環境面から見ると、魚粉を減らし植物性原料を使うことでリン負荷量は削減できたものの、窒素負荷量の削減については改善されなかった。

試験 2 (ブリ飼育試験)

【方 法】

試験場所

水産技術開発センター内の陸上水槽にて実施した。

供試魚

試験には、鹿児島湾内で育成されたブリ当歳魚を用い、試験開始時までは市販E P飼料(粒径5mm)にて予備飼育を行った。

試験飼料

試験飼料の組成を表1に示す。飼料1は、魚粉を60%配合したもの、飼料2は魚粉を50%、飼料3は魚粉を40%にし、減じた魚粉分は大豆タンパク、フィッシュソリブル、焼酎粕で代替し、タンパク質含有量を調整したE P飼料とした。

なお、試験に用いたE P飼料は、当センター所有のエクストルーダ(KEX-30(株)栗本鐵工所)にてバレル温度140℃の条件で製造した。飼料の粒径は5mmとした。

飼育管理

1 t 円形FRP水槽12面にブリ当歳魚（試験開始時540.7g）を1水槽当たり19～20尾収容し、平成20年10月29日から12月24日までの57日間飼育した。試験区は、飼料毎に飽食であろうと思われる量まで給餌する区（以下、飽食区とする）と、飽食区の給餌量の80%を給餌する区（以下、制限区とする）の2種類をそれぞれダブルで設定した。すなわち、飼料1給餌区を1・2区、飼料2給餌区を5・6区、飼料3給餌区を9・10区とし、制限区は飼料1給餌区を3・4区、飼料2給餌区を7・8区、飼料3給餌区を11・12区と設定した。

飽食区は、それぞれ飽食であろうと思われる量まで給餌し、制限区は飽食区の給餌量を基に、試験魚尾数及び体重を考慮し、飽食給餌区の80%に相当する量を給餌した。飼育期間中、給餌は土・日・祝日を除く1日1回を基本とした。

期間中は、データロガー（Stow Away Tidbit temp logger）、DOメーター（YSI Model 85）を用いて水温及び溶存酸素量を測定した。

なお、本試験は、鹿児島大学に再委託し、水産技術開発センターにて連携を取りながら実施した。

魚体測定

試験開始時と2週間毎及び試験終了時に、全数の魚体重と尾叉長を測定した。

魚体の成分分析

試験開始時に5尾、試験終了時に各区5尾を取り上げ、-35℃で凍結保管後、全魚体を磨砕し、一般成分及び全リンを試験1と同法により測定した。

血液性状分析

試験開始時に5尾、試験終了時に各区5尾から採血し、個別別にドライケムFDC3500i（富士フィルム社製）を用いて血液性状を測定した。

【結果及び考察】

飼育環境

飼育試験は、平成20年10月29日から12月24日までの57日間行った。期間中の水温は、17.3～23.7℃（平均20.4℃）であった。開始時から2週終了時では22.5～23.7℃（平均23.1℃）、3週開始時から4週終了時では19.4～22.5℃（平均21.2℃）、5週開始時から6週終了時では17.6～20.3℃（平均19.4℃）、7週開始時から試験終了時では17.3～18.8℃（平均18.1℃）であった。

DOは、5.6～7.0mg/l（平均6.4mg/l）で推移した（図1）。

飼育成績

飼育成績は表2に示した。

飼育試験終了時の生残率は、飽食給餌区では飼料1が92.5±4%、飼料2が97.5±4%、飼料3が92.1±4%であった。制限給餌区では、飼料1が97.5±4%、飼料2が97.5±4%、飼料3が92.5±4

表1 配合飼料組成と分析結果

成分	飼料1	飼料2	飼料3
魚粉	60	50	40
分離大豆タンパク	0	8	12
フィッシュソリブル	0	3	7
焼酎粕	0	9	18
小麦粉	14	6	2
αデンプン	5	4	2
ビタミン混合物	3	3	3
ミネラル混合物	2	2	2
魚油	13	14	14
セルロース	3	1	0
合計	100	100	100
分析値			
水分(%)	12.4	10.5	8.2
粗タンパク質(%)	49.1	49.2	47.3
粗脂肪(%)	19.5	20.3	21.0
粗灰分(%)	12.2	11.8	11.0
リン(%)	1.64	1.53	1.35

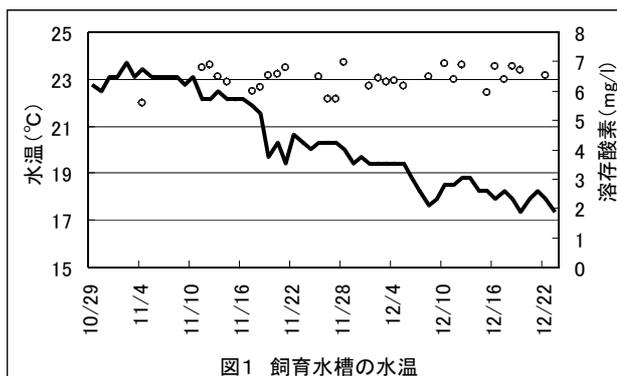


図1 飼育水槽の水温

%と、全ての試験区の生残率に大きな差は見られなかった。

表2 飼育成績 (ブリ)

飼料	給餌	平均体重(g)		増重率 (%)	日間増重率 (%)	総給餌量 (g)	日間給餌率 (%)	飼料転換効率 (%)	増肉係数	生存率 (%)
		開始時	終了時							
1-1区	(飽食)	530.1	862.1	62.6	0.85	10,511	1.39	60.0	1.67	90.0
1-2区	(飽食)	539.4	870.9	61.5	0.84	11,576	1.48	55.8	1.79	95.0
1-3区	(制限)	532.4	772.5	45.1	0.65	9,091	1.25	51.5	1.94	95.0
1-4区	(制限)	537.5	796.9	48.3	0.69	9,313	1.22	55.7	1.80	100.0
2-1区	(飽食)	543.6	862.2	58.6	0.81	11,296	1.39	55.0	1.82	95.0
2-2区	(飽食)	548.0	883.0	61.1	0.84	12,285	1.48	54.5	1.83	100.0
2-3区	(制限)	545.8	771.7	41.4	0.61	9,543	1.27	47.3	2.11	100.0
2-4区	(制限)	532.6	789.1	48.2	0.69	9,442	1.29	53.0	1.89	95.0
3-1区	(飽食)	565.2	824.3	45.8	0.66	9,346	1.28	51.3	1.95	94.7
3-2区	(飽食)	531.4	754.4	42.0	0.61	8,732	1.32	46.0	2.18	89.5
3-3区	(制限)	534.9	729.7	36.4	0.54	7,950	1.13	47.8	2.09	95.0
3-4区	(制限)	547.8	754.9	37.8	0.56	7,915	1.12	49.7	2.01	90.0

※日間増重率(%)=[ln(終了時平均体重)-ln(開始時平均体重)]×100/飼育日数

	飼料	給餌	開始時	2週後	4週後	6週後	8週後
尾叉長(cm)	1	(飽食)	32.3	33.7	34.8	35.5	35.9
	2	(飽食)	32.3	33.4	34.5	35.4	35.9
	3	(飽食)	32.3	33.1	34.0	33.6	33.2
	1	(制限)	32.3	33.3	34.3	34.9	35.3
	2	(制限)	32.5	33.3	34.3	34.9	35.2
	3	(制限)	32.3	33.2	34.0	34.6	35.0
肥満度	1	(飽食)	15.8	17.5	18.1	18.5	18.6
	2	(飽食)	16.1	17.6	17.8	18.9	18.7
	3	(飽食)	16.3	16.6	17.0	17.5	16.9
	1	(制限)	15.8	17.0	17.6	18.0	17.8
	2	(制限)	15.7	16.8	17.0	17.7	17.6
	3	(制限)	16.0	16.4	17.6	17.3	17.1

次に、飼育期間における平均体重の推移を図2に示した。

平均体重は、飼料1及び飼料2の飽食給餌区が優れ、次いで飼料3の飽食給餌区となった。制限給餌区の飼料3は最も劣り、飽食区の飼料1と制限区の飼料3、飽食区の飼料2と制限区の飼料3の間で有意な差が見られた (Tukey $p < 0.05$)。総じて制限給餌区は飽食区に比べて成長が劣った。

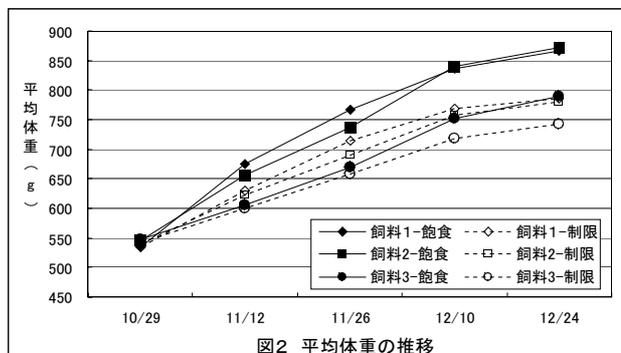


図2 平均体重の推移

平均尾叉長及び肥満度についても、平均魚体重と同じ傾向が見られた。

二元配置分散分析の結果、給餌率及び魚粉添加率の違いは、増重率、肥満度、給餌量において、有意差 ($P < 0.01$) を与える要因となり、魚粉添加率の減少、もしくは給餌率の減少に従って低下する傾向が見られた。

飼料1と飼料2の間において増重率、肥満度は、給餌率の違いに関係なく有意な差は見られなかったが、飼料3は、飼料1及び飼料2と比較して、増重率、肥満度、給餌量は劣った。

増肉係数については、魚粉添加率の違いが有意差 ($P < 0.05$) を与える要因となり、魚粉添加

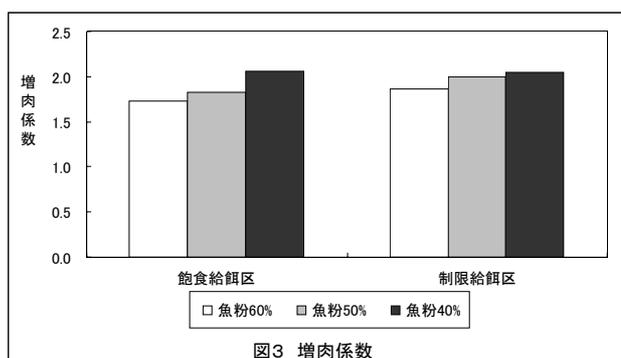


図3 増肉係数

量の低下に従って大きくなる傾向が見られた (図3)。

魚体の成分分析

魚体の成分分析結果を表3に示す。

試験終了時において飽食給餌区では飼料間の差は見られなかった。制限給餌区では、魚粉60%の飼料1に比べて魚粉50%の飼料2、魚粉40%の飼料3の粗脂肪が低い傾向が見られた。リン含有量は、飽食給餌区では魚粉割合が低い程、高くなる傾向が見られたが、制限給餌区では逆に、魚粉割合が低くなるとともにリン含有量も低くなる傾向が見られた。

表3 魚体の成分分析結果

時期	給餌	魚粉割合	水分(%)	粗タンパク質(%)	粗脂肪(%)	粗灰分(%)	リン(mg/g)	窒素(%)
開始時			67.8	19.9	8.1	2.9	4.99	3.2
終了時	飽食	60%	63.9±0.5	19.9±0.5	11.1±0.6	2.5±0.2	4.39±0.17	3.2
		50%	62.9±0.9	19.5±0.6	12.5±0.5	2.5±0.1	4.54±0.39	3.1
		40%	64.0±0.6	20.0±0.5	11.5±0.7	2.9±0.1	4.92±1.07	3.2
	制限	60%	64.0±0.3	19.6±0.0	11.3±0.3	2.8±0.2	5.20±0.39	3.1
		50%	65.1±0.4	20.0±1.1	9.6±0.7	2.9±0.1	5.07±0.60	3.2
		40%	64.8±0.2	20.1±0.1	9.9±0.0	2.6±0.1	4.72±0.38	3.2

注) 湿重量換算による。

次に、8週間の試験期間を通じて得られたリン及び窒素の蓄積率を表4に、負荷量を表5に示す。

リン蓄積率については、飽食給餌区では魚粉割合が低い方が高く、制限給餌区では、逆に魚粉割合が低い方が低くなる傾向が見られたが、有意な差ではなかった。リン負荷量については、給餌量や魚粉割合の違いによる差は見られなかった。

窒素蓄積率については、給餌量や魚粉割合の違いによる差は見られなかった。窒素負荷量については、飽食区では魚粉割合が低い方が高くなる傾向が見られたが、有意な差ではなかった。給餌量の違いによる負荷量に有意な差は見られなかった。

表4 リン及び窒素の蓄積率 (%)

飼料	魚粉割合	給餌	リン	窒素
1	60%	飽食	12.0 ± 2.1	23.3 ± 0.3
2	50%		13.4 ± 3.6	20.8 ± 1.9
3	40%		15.9 ± 14.0	20.7 ± 0.0
1	60%	制限	18.3 ± 3.2	20.6 ± 1.2
2	50%		16.3 ± 5.0	20.6 ± 2.0
3	40%		14.3 ± 5.6	21.2 ± 1.0

注) 平均値±標準偏差

表5 リン及び窒素の負荷量 (kg/t)

飼料	魚粉割合	給餌	リン ^{※1}	窒素 ^{※2}
1	60%	飽食	24.9 ± 1.9	104.3 ± 4.9
2	50%		24.1 ± 1.2	113.8 ± 3.5
3	40%		23.2 ± 5.7	123.8 ± 9.6
1	60%	制限	24.9 ± 0.4	116.7 ± 8.1
2	50%		25.2 ± 0.5	124.9 ± 6.7
3	40%		23.8 ± 2.2	122.4 ± 4.9

注1) 平均値±標準偏差

※1: 1-1式による。

※2: 2-1式による。

血液性状

試験開始時及び終了時の血液性状を表6に示す。

試験終了時におけるGOT及びGPTは、給餌量の違いが有意な差となる要因 (P<0.05) として検出され、制限給餌区では飽食給餌区より低い傾向が見られた。ALPは、魚粉割合の違いが有意な差となる要因 (P<0.01) として検出され、魚粉割合の低下に伴い上昇する傾向が見られた。

表6 血液性状分析結果

項目\時期	開始時(N=5)	終了時(各飼料N=10)											
		飼料1(飽食)		飼料2(飽食)		飼料3(飽食)		飼料1(制限)		飼料2(制限)		飼料3(制限)	
GOT(U/L)	101.8 ± 105.7	100.0 ± 96.0	90.6 ± 106.1	99.7 ± 122.2	74.6 ± 81.5	51.8 ± 48.8	63.3 ± 64.7						
GPT(U/L)	14.2 ± 11.5	17.3 ± 8.2	14.2 ± 5.5	14.3 ± 6.6	14.7 ± 6.0	10.4 ± 3.4	10.9 ± 3.5						
ALP(U/L)	176.4 ± 159.1	97.0 ± 23.5	123.4 ± 30.1	125.8 ± 58.4	75.4 ± 25.9	97.0 ± 24.5	141.6 ± 55.2						
GLU(mg/dl)	189.6 ± 38.2	163.1 ± 13.9	157.1 ± 25.9	162.6 ± 16.0	160.0 ± 33.1	159.3 ± 27.8	147.4 ± 17.8						
TCHO(mg/dl)	254.0 ± 69.6	343.3 ± 27.3	373.3 ± 33.6	348.4 ± 34.9	348.5 ± 71.4	362.4 ± 55.5	375.1 ± 49.5						
TG(mg/dl)	71.0 ± 26.3	94.7 ± 58.3	205.3 ± 143.3	76.4 ± 22.7	80.9 ± 37.6	113.8 ± 65.2	98.1 ± 35.4						
TBIL(mg/dl)	1.0 ± 0.8	0.7 ± 0.3	0.7 ± 0.2	0.6 ± 0.3	0.6 ± 0.3	0.6 ± 0.2	0.5 ± 0.2						
Ca(mg/dl)*1	15.4 ± 1.0	16.0 ± 0.0	16.0 ± 0.0	15.9 ± 0.4	16.0 ± 0.0	16.0 ± 0.0	15.7 ± 0.4						
IP(mg/dl)	7.1 ± 1.1	6.4 ± 1.0	6.2 ± 0.6	6.2 ± 1.5	6.3 ± 1.0	6.1 ± 0.9	6.7 ± 0.7						
TP(g/dl)	4.5 ± 0.8	4.5 ± 0.7	4.6 ± 1.0	4.6 ± 0.9	4.3 ± 0.6	4.3 ± 0.6	5.2 ± 0.8						

注) 平均値±標準偏差

まとめ

給餌率（飽食，制限給餌）と魚粉添加率（魚粉60%，50%，40%）の違いは，増重率，肥満度及び給餌量においては，有意な差を与える要因となり，給餌率の減少，もしくは魚粉添加率の減少に伴い，これらの値が低下する傾向が見られた。飽食区において魚粉40%の飼料3は，飼料1及び飼料2と比較して，増重率，肥満度，給餌量が劣ったのに対して，魚粉60%の飼料1と比較して魚粉50%の飼料2の増重率，肥満度，給餌量については，有意な差は見られなかったことから，魚粉割合は飼料2の50%までは削減できることが示唆された。また，増肉係数は給餌率の違いではなく，魚粉割合の違いが有意な差を与える要因となり，魚粉割合が低くなるに伴い上昇する傾向が見られたことから，今回の試験飼料の場合の給餌方法としては飽食給餌区の80%程度にしても大きく影響しないものと思われた。また，環境負荷への点をリン・窒素負荷量でみると，魚粉割合を低くし代替源を添加した場合，リン負荷量は削減するが，窒素負荷量は増加する傾向が見られた。負荷量と給餌率との関係では，総じて制限給餌を行った場合に比較して飽食給餌した方が負荷量は少なかった。

以上から，今回のブリ当歳魚の試験からは，魚粉を大豆タンパク，焼酎粕，フィッシュソリュブルで代替した場合，飼料中の魚粉割合は50%程度までは低減できる，また，増重率などの指標からみた成長状況や環境負荷の点からは，制限給餌はせずに飽食給餌することが必要であると示唆された。

なお，本事業の結果は，別途，「平成20年度持続的養殖生産・供給推進委託事業報告書」として，水産庁へ提出した。