

養殖漁場環境保全推進事業 環境負荷低減型配合飼料開発試験*

木村 創 ・ 上出 貴士

1 共通試験

目 的

養殖漁業は生産性を重要視し、過密と過食による飼育を行った結果、漁場環境が悪化し、赤潮や貧酸素水塊の発生、魚病の多発等が日常化し、生産性の低下を招いている。この悪化の原因は残餌や養殖魚類の排泄する糞や尿から溶出する窒素・リンが主な原因といわれている。

2002年から配合飼料中に含まれるリンを削減することを目的に試験を行ってきた。初年度は魚粉を主体とし、リンの添加量を変化させ、リン適正添加量を調べた結果、リンを添加せずとも良好な飼育成績が得られた¹⁾。2003年は魚粉の40%をリン含有量の少ない植物性タンパク質に置き換え、リンの適正添加量を調べた結果、植物タンパクを添加したいずれの区も良好な飼育成績は得られなかった²⁾。2004年は魚粉の30%を植物性タンパク質に置き換え、植物性タンパク質とリンの利用率を高めることを目的にクエン酸を添加して効果を検討した。

材料および方法

供試魚：2004年に種苗生産され、6月4日から6月16日まで当研究所の海面生け簀で市販のEP飼料を用いて育成、6月17日にイリドウィルスワクチンを接種、その後試験飼料2で12日間予備飼育したマダイ当歳魚を試験に供した。

試験飼料：表1に示す共通試験飼料1～4を用いた。試験飼料1は魚粉を主体とした対照飼料で、リンは無添加とした。試験飼料2～3は魚粉の30%を

表1 配合飼料組成並びに分析結果 (%)

	飼料1	飼料2	飼料3	飼料4
魚粉	50	35	35	35
大豆粕	5	10	10	10
コーングルテンミール	5	14	14	14
小麦粉	8.0	8.0	6.0	5.4
タピオカ	15	15	15	15
第一リン酸カルシウム	0	0	0	0.6
ビタミン	2	2	2	2
Pフラーミネラル	1	1	1	1
クエン酸	0	0	2	2
魚油	10	10	10	10
大豆油	4	5	5	5
成分分析結果				
水分 (%)	4.5	6.8	7.3	6.4
粗蛋白 (%)	44.4	42.7	42.7	43.2
粗脂肪 (%)	21.3	23.1	22.4	22.4
粗灰分 (%)	9.35	7.68	7.48	8.12
リン (%)	1.32	1.10	1.09	1.21

リン含有量の低い大豆粕・コーングルテンミールに置き換え、原料由来のリンを0.3%低くしたものである。試験飼料2はリン無添加とし、試験飼料3は佐藤³⁾がリン無添加飼料によるマダイ飼育試験により成長改善が確認されたクエン酸を2%、試験飼料4はクエン酸2%および第一リン酸カルシウム0.6%添加したものである。各飼料のリン含有量は飼料1～4それぞれ13.2mg/g、11.0mg/g、10.9mg/g、12.1mg/gとなった。

飼育試験：4飼料区のDuplicationで計8区を設定し、各区230尾ずつを3×3×3mの海面生け簀に収容した。試験飼料1を1区と5区、試験飼料2を2区と6区、試験飼料3を3区と7区、試験飼料4を4区と8区に給餌し、6月29日から10月19日まで飼育試験を実施した。給餌は飽食給餌とし、月曜日から金曜日は朝・夕2回、土曜日は朝1回、日曜日は無給餌とした。全重測定は4週ごとの7月26日、8月23日、9月21日、10月19日に行い、9月21日を除いた試験開始時と測定日には各区から10尾ずつを

* 養殖漁場環境保全推進事業費による

取り上げ個体毎の尾叉長と体重を測定し、肥満度を算出した。

魚体の成分分析：試験開始時、飼育中間時に当たる8月23日、試験終了時に各試験区から5尾を任意に取り上げ、その全てを混ぜて磨砕し、全魚体の一般成分、全窒素量、全リン量を測定した。水分は常圧加熱乾燥法、タンパク質と全窒素量はケルダール法、脂肪はエーテル抽出法、灰分は直接灰化法、リンは比色分析法で行った。全魚体の磨砕は東京海洋大学の佐藤秀一教授に依頼するとともに分析は(財)食品環境検査協会で行った。

窒素とリンの蓄積率、負荷量の推定：上記分析結果を用いて窒素とリンの蓄積率と負荷量を昨年用いた式²⁾で算出した。なお、飼料中の窒素についてはタンパク質の16%⁴⁾とした。

血液性状並びに血清成分検査：試験開始時と試験終了時に各区から10尾ずつ任意に取り上げ個体毎にヘマトクリット値、ヘモグロビン量、赤血球数の血液性状を測定するとともに血清について測定した。血清成分は総タンパク質、グルコース、総コレステロール、トリグリセライド、アルカリフォスファターゼ、アミラーゼ、尿素窒素、GOT、GPT、カルシウム、マグネシウム、リンについて富士ドライケム3500で測定した。

全ての測定値はダンカンの新多重範囲検定法(Duncan's new multiple range test, MRT, ダンカン法)により検定し、危険率5%で有為差を判定した。

結果及び考察

飼育成績：飼育期間中の水温変化を図1に示す。試験開始当初から7月下旬までと9月下旬は平年より1.5~1.0℃ほど高めに推移したが、その他は平年並みに推移した。飼育期間中赤潮や魚病の発生による大量斃死は認められなかった。

飼育成績を表2に平均体重の推移を図2に示す。8月23日までの測定では各試験飼料間にマダイの成

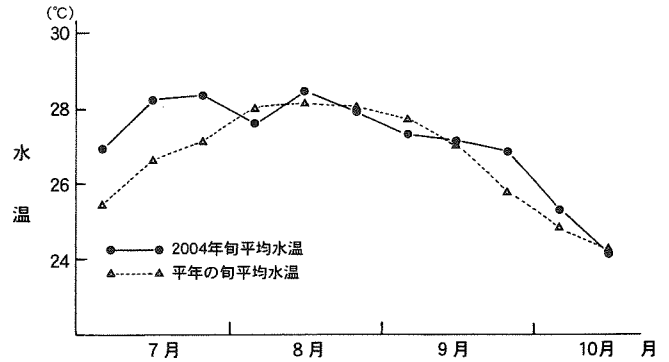


図1 飼育期間中の旬平均水温の推移

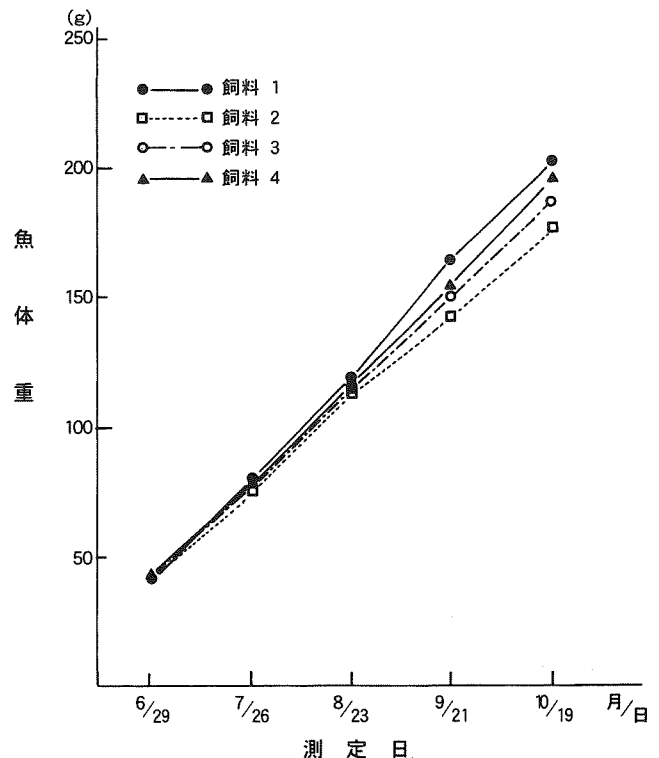


図2 共通試験における飼料別の平均魚体重の推移

長に差はほとんど認められなかったが、9月21日測定時には各試験飼料間に体重差が認められ始めた。試験終了時の各区の平均体重は試験飼料1を給餌した1区が198.1g、5区が205.2g、試験飼料2を給餌した2区が182.5g、6区が168.4g、試験飼料3を与えた3区が186.3g、7区が188.6g、試験飼料4を与えた4区が196.3g、8区が192.5gとなり、統計処理の結果、試験飼料1、3、4の間に有為差は認められず、試験飼料2は他の区より有為小さく(P>0.05)、また試験飼料2と試験飼料3の間では有為差は認められなかった。すなわち、植物タン

表2 共通試験におけるマダイ当歳魚の飼育成績

試験 飼料	区	供試 尾数	平均体重 (g)		日間給餌率 (%)	補正増重量 (g)	増重 倍率	給餌量 (g)	増肉係数 (乾物)	斃死 尾数			
			開始時	終了時									
			1期		6月29日~7月26日		(給餌日数 24日)						
1	1	230	42.2	77.4	a	2.41	8,096.0	1.83	a	9,700	1.14	a	0
	5	230	40.4	80.7		2.40	9,168.3	2.00		9,700	1.01		5
2	2	230	41.5	75.2	a	2.41	7,751.0	1.81	a	9,700	1.17	a	0
	6	230	41.7	74.9		2.40	7,636.0	1.80		9,670	1.18		0
3	3	230	42.3	77.8	a	2.28	8,023.0	1.84	a	9,356	1.08	a	8
	7	230	42.6	77.6		2.34	7,927.5	1.82		9,606	1.12		7
4	4	230	42.7	77.9	a	2.40	7,832.0	1.82	a	9,647	1.15	a	15
	8	230	42.6	79.3		2.36	8,257.5	1.86		9,663	1.10		10
			2期		7月27日~8月23日		(給餌日数 23日)						
1	1	225	77.4	115.0	a	2.12	8,403.6	1.49	a	13,346	1.52	a	3
	5	220	80.7	120.1		1.95	8,293.7	1.49		12,091	1.39		19
2	2	225	75.2	113.5	a	2.10	8,617.5	1.51	a	13,400	1.45	a	0
	6	225	74.9	110.0		2.02	7,844.9	1.47		12,559	1.49		3
3	3	212	77.8	114.0	a	1.88	7,674.4	1.47	a	11,553	1.40	a	0
	7	218	77.6	113.8		1.86	7,819.2	1.47		11,643	1.38		4
4	4	210	77.9	115.3	a	1.92	7,797.9	1.48	a	11,547	1.39	a	3
	8	215	79.3	115.6		1.88	7,713.8	1.46		11,660	1.41		5
			3期		8月24日~9月21日		(給餌日数 23日)						
1	1	217	115.0	161.2	a	1.70	9,771.3	1.40	a	14,542	1.42	a	11
	5	199	120.1	165.0		1.55	8,800.4	1.37		12,701	1.38		6
2	2	220	113.5	148.4	a	1.70	7,660.6	1.31	a	14,662	1.78	a	1
	6	217	110.0	133.6		1.65	5,003.2	1.21		12,800	2.38		10
3	3	207	114.0	148.2	a	1.43	6,993.9	1.30	a	11,540	1.53	a	5
	7	209	113.8	150.5		1.42	7,413.4	1.32		11,450	1.43		14
4	4	202	115.3	151.0	a	1.39	7,211.4	1.31	a	11,216	1.46	a	0
	8	205	115.6	154.7		1.38	7,917.8	1.34		11,270	1.33		5
			4期		9月22日~10月19日		(給餌日数 22日)						
1	1	206	161.2	198.1	a	1.20	7,490.7	1.23	a	12,880	1.64	a	6
	5	193	165.0	205.2		1.22	7,638.0	1.24		12,570	1.57		6
2	2	219	148.4	182.5	a	1.19	7,467.9	1.23	a	12,960	1.62	a	0
	6	207	133.6	168.4		1.37	7,029.6	1.26		12,560	1.67		10
3	3	202	148.2	186.3	a	1.27	7,648.1	1.26	a	12,880	1.56	a	2
	7	195	150.5	188.6		1.25	7,334.3	1.25		12,280	1.55		5
4	4	202	151.0	196.3	a	1.25	9,004.8	1.30	a	12,880	1.34	a	6
	8	200	154.7	192.5		1.22	7,522.2	1.24		12,590	1.57		2
			全期間		6月29日~10月19日		(給餌日数 92日)						
1	1	230	42.2	198.1	a	1.69	33,128.8	4.69	a	50,468	1.45	a	35
	5	230	40.4	205.2		1.60	33,701.6	5.08		47,062	1.33		51
2	2	230	41.5	182.5	b	1.70	31,302.0	4.40	a	50,722	1.51	a	16
	6	230	41.7	168.4		1.79	26,733.7	4.04		47,589	1.66		38
3	3	230	42.3	186.3	ab	1.53	30,949.3	4.40	a	45,329	1.36	a	30
	7	230	42.6	188.6		1.55	30,295.0	4.43		44,979	1.38		45
4	4	230	42.7	196.3	a	1.50	32,322.3	4.60	a	45,290	1.31	a	39
	8	230	42.6	192.5		1.52	31,703.9	4.52		45,183	1.33		37

同じ列の上付き文字を持つものは有為差のないことを示す(P>0.05)。

パクを添加したことによる成長不良は昨年同様8月23日以降の水温下降期に現れたものと推察される。試験飼料2にクエン酸と魚粉単独区とほぼ同じ量となるようリン源を添加することにより水温下降期の成長が改善された。しかし、クエン酸単独の添加ではこの効果は薄れる傾向にあった。

成長倍率は5.08~4.04となり、飼料1、飼料4、飼料3、飼料2の順となったが、それぞれに統計的な有為差は認められなかった。また、増肉係数は試験飼料4が1.36と低く、次いで飼料1と飼料3が1.41、飼料2が1.63となったが、統計的に有為差は認められなかった。

以上の結果から魚粉の30%を植物タンパク質に置き換えた飼料にクエン酸とリンを添加することにより水温下降期における成長不良を改善できることが明らかとなった。また、クエン酸の単独添加でもある程度の改善も可能であることが示唆された。

図3に飼料別の肥満度の推移を示す。試験開始当初は21.79であったが、いずれの試験飼料区とも8月23日までは増加傾向が認められ、飼料1が23.22、飼料2が23.44、飼料3が23.57、飼料4が23.21となった。その後、飼料2を除いて24.19~24.65まで

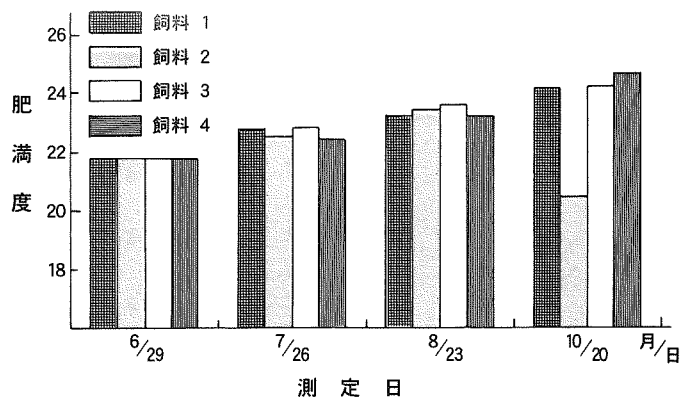


図3 共通試験における飼料別の肥満度の推移

増加したが、飼料2は20.44と減少し、統計的にも他区と比較して有為な差が認められた ($P>0.05$)。これは水温下降期に飼料2区の成長が良くなかったことが原因と推察される。

魚体分析：試験開始時（7月14日）、中間時（8月23日）、終了時（10月19日）におけるマダイの分析結果を表3に示す。開始時は水分が68%と多く、脂質が9%と低い値であったが、試験が進むにつれて水分やタンパク質の値は低くなり、脂質が増加する傾向が認められた。これは水温低下に伴い脂質を蓄えているためと推察された。また、いずれの分析項目においても中間時、終了時とも飼料間での有為

表3 マダイ魚体分析結果

		水分 (%)	タンパク (%)	脂肪 (%)	灰分 (%)	窒素 (g/100g)	リン (mg/100g)	
6月29日	開始時	68.0	17.8	9.0	5.1	2.8	995	
8月23日	飼料1	1区	62.2	17.1	15.6	4.6	2.7	1,020
		5区	61.9	17.1	15.7	4.9	2.7	1,020
	飼料2	2区	61.5	17.1	16.4	4.5	2.7	976
		6区	61.7	17.0	16.2	4.9	2.7	985
	飼料3	3区	62.5	17.1	15.0	4.9	2.7	1,020
		7区	61.9	16.9	15.9	4.1	2.7	954
	飼料4	4区	62.2	16.3	15.8	4.5	2.7	1,020
		8区	62.8	17.1	14.6	4.4	2.7	1,020
10月19日	飼料1	1区	59.7	16.8	18.4	4.3	2.7	1,010
		5区	58.9	16.4	19.9	4.7	2.6	982
	飼料2	2区	59.1	16.2	19.9	4.6	2.6	940
		6区	60.2	17.0	17.5	4.5	2.7	995
	飼料3	3区	61.5	15.9	17.5	4.7	2.5	1,000
		7区	60.0	17.0	17.8	5.1	2.7	994
	飼料4	4区	60.1	16.7	17.9	4.7	2.7	933
		8区	59.7	16.7	18.3	5.0	2.7	991

差は認められなかった。

窒素とリンの蓄積率，負荷量の推定：窒素の魚体への蓄積率を表4に，リンの蓄積率を表5に示す。飼育全期間を通して窒素の蓄積率は22～27%と低かったが，飼料4が27.34%±0.33と最も良く，次いで飼料1と飼料3が25.18%と同じ蓄積率で，魚粉の一部を植物タンパク質に置き換えただけの飼料2

表4 共通試験における各期間並びに全期間における魚体内における窒素蓄積率

試験飼料	6/29～8/23	8/24～10/19	6/29～10/19
1	28.29 ± 2.02 ^a	24.38 ± 0.49 ^a	25.18 ± 0.69 ^a
2	27.43 ± 0.43 ^a	19.20 ± 0.50 ^a	22.43 ± 0.73 ^b
3	29.51 ± 0.64 ^a	22.04 ± 4.00 ^a	25.18 ± 1.60 ^a
4	29.01 ± 0.13 ^a	25.75 ± 0.52 ^a	27.34 ± 0.33 ^a

同じ列の上付き文字を持つものは有為差のないことを示す(P>0.05)。

表5 共通試験における各期間並びに全期間における魚体内におけるリン蓄積率

試験飼料	6/29～8/23	8/24～10/19	6/29～10/19
1	56.57 ± 4.14 ^a	46.65 ± 1.44 ^a	51.67 ± 1.85 ^a
2	62.43 ± 0.66 ^a	44.15 ± 0.35 ^a	51.77 ± 0.97 ^a
3	68.85 ± 6.71 ^a	57.24 ± 5.35 ^a	61.77 ± 1.28 ^b
4	60.94 ± 0.93 ^a	45.48 ± 3.61 ^a	55.48 ± 2.50 ^a

同じ列の上付き文字を持つものは有為差のないことを示す(P>0.05)。

が他の飼料より有為に低い22.43%±0.73となった(P>0.05)。

リンの蓄積率についてはいずれの飼料区も50%以上と良好で，飼料3が61.77%±1.28と他の飼料に比較して有為に高く(P>0.05)，次いで飼料4(55.48%±2.50)，飼料2(51.77%±0.97)，飼料1(51.67%±1.85)の順であったが，この試験飼料4，2，1間では有為差は認められなかった。このことから魚粉を植物タンパクに置き換えた場合，クエン酸を添加することによって窒素の蓄積やリンの蓄積を促進するものと推察された。

今回のマダイ養殖に伴う窒素の負荷量を表6に，リンの負荷量を表7に示す。窒素の負荷量は飼料2が平均で89.33±7.86kg/生産量tonと最も高く，次いで飼料1(77.47±5.61kg/生産量ton)，飼料3(75.40±0.67kg/生産量ton)，飼料4(70.92±1.17kg/生産量ton)の順となり，代替えタンパクに植物性タンパクを添加した場合，餌料中の窒素をうま

表6 マダイ養殖における窒素負荷量の推定(6月29日～10月19日)

試験飼料	試験区	総給餌量 F	増肉係数 C	餌料中窒素含量 Nf	終了時魚体重 Bf	開始時魚体重 Bi	終了時魚体窒素 Nbf	開始時魚体窒素 Nbi	窒素負荷量 kg/ton
1	1	237.5	1.45	7.10	198.1	42.2	2.70	2.80	81.433 ^a
	5	230.1	1.33	7.10	205.2	40.2	2.60	2.80	73.500
2	2	225.4	1.51	6.83	182.5	41.5	2.60	2.80	83.772 ^a
	6	225.5	1.66	6.83	168.4	41.7	2.70	2.80	94.889
3	3	210.8	1.36	6.83	186.3	42.3	2.50	2.80	75.865 ^a
	7	216.8	1.38	6.83	188.3	42.6	2.70	2.80	74.922
4	4	215.2	1.31	6.91	196.3	42.7	2.70	2.80	70.090 ^a
	8	213.6	1.33	6.91	192.5	42.6	2.70	2.80	71.748

同じ列の上付き文字が同じ試験飼料間には有為差は認められない(P>0.05)

表7 マダイ養殖におけるリン負荷量の推定(6月29日～10月19日)

試験飼料	試験区	総給餌量 F	増肉係数 C	餌料中リン含量 Pf	終了時魚体重 Bf	開始時魚体重 Bi	終了時魚体リン Pbf	開始時魚体リン Pbi	リン負荷量 kg/ton
1	1	237.5	1.45	1.32	198.1	42.2	1.01	1.00	9.982 ^b
	5	230.1	1.33	1.32	205.2	40.2	0.98	1.00	8.657
2	2	225.4	1.51	1.10	182.5	41.5	0.94	1.00	8.361 ^b
	6	225.5	1.66	1.10	168.4	41.7	1.00	1.00	9.578
3	3	210.8	1.36	1.09	186.3	42.3	1.00	1.00	5.956 ^a
	7	216.8	1.38	1.09	188.3	42.6	0.99	1.00	6.348
4	4	215.2	1.31	1.21	196.3	42.7	0.93	1.00	7.847 ^{ab}
	8	213.6	1.33	1.21	192.5	42.6	0.99	1.00	7.370

同じ列の上付き文字が同じ試験飼料間には有為差は認められない(P>0.05)

く利用できないため負荷量が増加したと推察された。また、リンの負荷量は飼料1が $8.43 \pm 0.82 \text{kg/生産量ton}$ と最も高く、次いで飼料2 ($7.83 \pm 0.62 \text{kg/生産量ton}$)、飼料4 ($6.49 \pm 0.37 \text{kg/生産量ton}$)、飼料3 ($5.00 \pm 0.25 \text{kg/生産量ton}$) となり、魚粉単独飼料や植物タンパクを加えた飼料よりも飼料4の負荷量が少なくなった。

以上のことから魚粉を植物タンパクに置き換えた飼料の場合、クエン酸を添加することによって、添加していない飼料と比較して有為に窒素やリンの負荷量を軽減させることができた ($P > 0.05$)。特にリンの負荷量は魚粉単独飼料の41%と大幅に軽減することができた。

血液性状および血清成分分析：試験終了時における各試験飼料別の血液性状並びに血清成分分析結果を表8に示す。血液性状はいずれの試験項目も飼料間に有為差は認められなかったが、いずれの値も飼料2が高く、飼料4が低い値を示した。血清成分は各飼料間で有為差が認められたのは総コレステロール値が飼料1区で他区に比較して有為に高く、アミーラーゼ活性が飼料4区で他区に比較して有為に低くなった。また、トリグリセライド値は各飼料間で有為差が認められ、飼料1と飼料2が高く、飼料

4は低い値となった。リンについては各飼料間で有為差は認められなかったが、飼料中のリン含有量が多いほど高くなる傾向が認められた。

2 個別試験

目 的

魚粉と大豆絞り粕を主タンパク源とした飼料に対するリンの適正な添加量を明らかにし、飼料中の余剰なリンの削減を試みる。

材料および方法

供試魚：平均魚体重7.0gのマダイを用いた。

試験飼料：飼料組成は表9に示し、使用したビタミン組成およびリンフリーミネラルミックスを表10および表11に示す。飼料中のリン含量は KH_2PO_4 をそれぞれ0, 1, 2, 3, 4g/100g添加することで、飼料間のリン含量に差をつけた。

飼育試験：マダイ30尾を30ℓ円形水槽に収容し、1月12日から50日間飼育した。給餌は9時と16時の1日2回飽食量を与え、日曜日は無給餌とした。また、給餌時にはリン欠乏の外見上の症状の観察を行った。また、試験開始時及び飼育10, 23, 36, 43,

表8 共通試験終了時における血液検査結果

検査項目	単位	試験開始時		試験終了時			
				飼料1	飼料2	飼料3	飼料4
ヘマトクリット値	%	36.3 ± 3.19	33.6 ± 4.52 ^a	33.5 ± 3.90 ^a	31.2 ± 3.34 ^a	33.6 ± 3.10 ^a	
ヘマトクリン量	mg/dl	4.9 ± 0.67	5.7 ± 0.85 ^a	5.7 ± 0.80 ^a	6.1 ± 0.60 ^a	6.1 ± 0.81 ^a	
赤血球数	$10^4/\text{mm}^3$	318.9 ± 28.55	346.2 ± 31.75 ^a	332.6 ± 29.95 ^a	319.9 ± 28.90 ^a	335.3 ± 19.14 ^a	
血漿タンパク量	g/dl	4.1 ± 0.32	3.8 ± 0.37 ^a	3.8 ± 0.38 ^a	3.5 ± 0.30 ^a	3.4 ± 0.28 ^a	
グルコース	mg/dl	98.6 ± 32.29	60.5 ± 12.41 ^a	68.4 ± 19.08 ^a	73.1 ± 23.97 ^a	64.9 ± 12.56 ^a	
総コレステロール	mg/dl	327.2 ± 75.74	328.5 ± 42.55 ^b	237.3 ± 42.38 ^a	240.1 ± 36.10 ^a	229.6 ± 23.04 ^a	
トリグリセライド	mg/dl	496.2 ± 184.39	382.3 ± 147.94 ^a	286.7 ± 90.06 ^b	204.9 ± 59.29 ^c	138.7 ± 31.81 ^d	
アルカリホスファターゼ	U/l	199.8 ± 60.82	164.5 ± 91.96 ^a	141.5 ± 53.01 ^a	111.2 ± 38.27 ^a	116.9 ± 35.63 ^a	
尿素窒素	mg/dl	9.4 ± 2.17	5.7 ± 1.78 ^a	7.3 ± 2.67 ^a	7.5 ± 1.86 ^a	7.3 ± 2.27 ^a	
アミラーゼ	U/l	115.4 ± 37.76	152.5 ± 53.20 ^a	131.7 ± 40.20 ^a	120.7 ± 46.40 ^a	86.3 ± 31.98 ^b	
GOT	U/l	30.1 ± 10.08	31.7 ± 9.37 ^a	34.3 ± 16.98 ^a	31.2 ± 19.46 ^a	35.1 ± 13.69 ^a	
GPT	U/l	9.8 ± 2.90	8.3 ± 3.96 ^a	7.7 ± 6.14 ^a	6.9 ± 3.77 ^a	6.9 ± 2.74 ^a	
カルシウム	mg/dl	15.0 ± 0.54	14.0 ± 0.60 ^a	13.8 ± 0.55 ^a	13.2 ± 0.70 ^a	13.2 ± 0.58 ^a	
マグネシウム	mg/dl	2.8 ± 0.39	2.1 ± 0.45 ^a	2.1 ± 0.40 ^a	1.6 ± 0.35 ^a	1.8 ± 0.28 ^a	
リン	mg/dl	19.2 ± 2.41	14.3 ± 0.92 ^a	12.0 ± 1.01 ^a	12.9 ± 1.49 ^a	13.5 ± 1.08 ^a	

表中の数字は20尾の平均値±標準偏差

同じ行の上付き文字を持つものは有為差のないことを示す ($P > 0.05$)。

表9 個別試験飼料の配合組成 (g/100g)

	飼料1	飼料2	飼料3	飼料4	飼料5
ブラウン・フィッシュ・ミール	30	30	30	30	30
ソイ・ビーン・ミール	42	42	42	42	42
タラ肝油	9	9	9	9	9
ホワイト・デキストリン	6	6	6	6	6
ビタミンミックス	2	2	2	2	2
P-フリーミネラルミックス	2	2	2	2	2
KH ₂ PO ₄	0	1	2	3	4
α-セルロース	5	4	3	2	1
CMC	4	4	4	4	4
計	100	100	100	100	100

表10 個別試験飼料に用いたビタミン組成 (mg)

チアミン塩酸	6.0
リボフラミン	20.0
ピリドキシン塩酸	4.0
ニコチン酸	80.0
パントテン酸カルシウム	28.0
イノシトール	400.0
ピオチン	0.6
葉酸	1.5
P-アミノ安息香酸	40.0
塩化コリン	800.0
L-アスコルビン酸	200.0
コレカルシフェロール	0.0045
α-トコフェロール	40.0
メナジオン	4.0
βカロテン	1.2
D ₃	0.0045
B ₁₂	0.0090
α-セルロース	374.6865

表11 個別試験飼料に用いたリンフリーミネラルミックス組成 (g)

NaCl	4.35
MgSO ₄ ·7H ₂ O	13.7
クエン酸鉄	2.97
乳酸カルシウム	32.7
AlCl ₃ ·6H ₂ O	0.018
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0.357
MnSO ₄ ·5H ₂ O	0.08
CuCl	0.011
KI	0.017
CoCl ₂ ·6H ₂ O	0.105
αセルロース	46.28
計	100.588

50日目に魚体重の測定を行った。

分析項目：飼料：一般成分（水分，粗灰分，粗タンパク質，粗脂質），全窒素，リン。

全魚体：一般成分（水分，粗灰分，粗タンパク質，粗脂質），全窒素，リン。

結果および考察

飼料成分：飼料の成分分析結果を表12に示す。水分は36.0~36.5%，タンパク質は27.5~28.0%，脂質は10.0~10.1%，全窒素は4.4~4.5%で試験区間における違いはみられなかった。一方，灰分は5.5~7.6%となり，飼料1で最も低く，飼料4で最も高くなった。リン含量は飼料1で754mg/100gと最も低くなったが，要求量である617mg/100g²⁾を上回っていた。

表12 試験飼料の成分分析結果

		飼料1	飼料2	飼料3	飼料4	飼料5
水分	g/100g	36.0	36.2	36.0	36.2	36.5
タンパク質	g/100g	27.8	27.9	28.0	27.6	27.5
脂質	g/100g	10.0	10.1	10.0	10.1	10.0
灰分	g/100g	5.5	6.0	6.6	7.2	7.6
全窒素	g/100g	4.4	4.5	4.5	4.4	4.4
リン	mg/100g	754	897	1120	1220	1320

飼育成績：飼育成績を表13に，各試験区の平均魚体重の推移を図4に示す。平均魚体重や増重量では5区が最も大きかったが，成長倍率や日間増重率は2区が最も良く，4区が最も悪くなった。従って，試験区間における成長の違いはみられなかった。また，頭部の変形や脊椎骨の湾曲などの骨格異常はいずれの試験区でも観察されなかった。これは全ての試験飼料においてリン要求量を満たしていたことが原因と考えられる。

魚体成分：魚体の成分分析結果を表14に示す。水分やタンパク質，脂質，全窒素ともに飼料成分と同様，試験区間に差はみられなかった。灰分について

表13 個別試験における飼育成績結果

試験区		1	2	3	4	5
尾数 (尾)	開始時	30	30	30	30	30
	1期終了時	28	30	28	30	30
	2期終了時	28	30	28	30	30
	3期終了時	28	28	27	30	30
	4期終了時	28	28	27	30	30
	5期終了時	27	28	26	30	29
総魚体重 (g)	開始時	214.8	204.1	234.2	253.4	248.5
	1期終了時	262.0	247.8	237.2	284.4	272.3
	2期終了時	315.1	281.6	299.4	344.3	326.2
	3期終了時	346.0	331.0	363.0	388.0	403.0
	4期終了時	380.0	390.0	395.0	440.0	455.0
	5期終了時	394.7	412.9	410.4	455.2	463.1
平均体重 (g)	開始時	7.2	6.8	7.8	8.4	8.3
	1期終了時	9.4	8.3	8.5	9.5	9.1
	2期終了時	11.3	9.4	10.7	11.5	10.9
	3期終了時	12.4	11.8	13.4	12.9	13.4
	4期終了時	13.6	13.9	14.6	14.7	15.2
	5期終了時	14.6	14.7	15.8	15.2	16.0
斃死率(%)		10.0	6.7	13.3	0.0	3.3
給餌量 (g)	1期	89.1	78.3	80.3	85.3	75.4
	2期	118.5	103.5	101.9	125.4	99.7
	3期	111.4	131.3	124.49	126.3	129.5
	4期	81.6	94.2	88.1	95.7	96.8
	5期	69.9	85.3	79.2	79.9	87.8
	通期	470.5	492.6	473.99	512.6	489.2
増重量 (kg)	1期	47.2	43.7	3.0	31.0	23.8
	2期	53.1	33.8	62.2	59.9	53.9
	3期	30.9	49.4	63.6	43.7	76.8
	4期	34.0	59.0	32.0	52.0	52.0
	5期	14.7	22.9	15.4	15.2	8.1
	通期	179.9	208.8	176.2	201.8	214.6
日間増重率 (%)	1期	2.96	2.15	0.91	1.28	1.02
	2期	1.42	0.98	1.78	1.47	1.39
	3期	0.72	1.77	1.75	0.92	1.62
	4期	1.17	2.05	1.06	1.57	1.52
	5期	0.93	0.71	0.95	0.42	0.64
	通期	1.34	1.45	1.33	1.12	1.24
日間給餌率 (%)	1期	4.13	3.85	3.78	3.52	3.22
	2期	3.16	3.01	2.92	3.07	2.56
	3期	2.59	3.28	2.89	2.65	2.73
	4期	2.81	3.27	2.91	2.89	2.82
	5期	2.25	2.66	2.46	2.23	2.39
	通期	2.97	3.09	2.81	2.84	2.68
成長倍率 (%)	1期	130.7	121.4	108.5	112.2	109.6
	2期	120.3	113.6	126.2	121.1	119.8
	3期	109.8	125.9	125.7	112.7	123.5
	4期	109.8	117.8	108.8	113.4	112.9
	5期	107.7	105.9	107.9	103.5	105.3
	通期	204.2	216.8	202.2	179.6	192.8

表14 魚体成分分析

		開始時	飼料1区	飼料2区	飼料3区	飼料4区	飼料5区
水分	g/100g	73.7	74.9	74.2	73.4	73.2	74.4
タンパク質	g/100g	16.5	15.3	15.8	15.6	15.7	15.3
脂質	g/100g	5.1	4.9	5.4	5.7	5.7	5.3
灰分	g/100g	4.6	4.8	4.5	5.2	5.3	4.9
全窒素	g/100g	2.6	2.4	2.5	2.5	2.5	2.4
リン	mg/100g	870	860	830	900	960	910

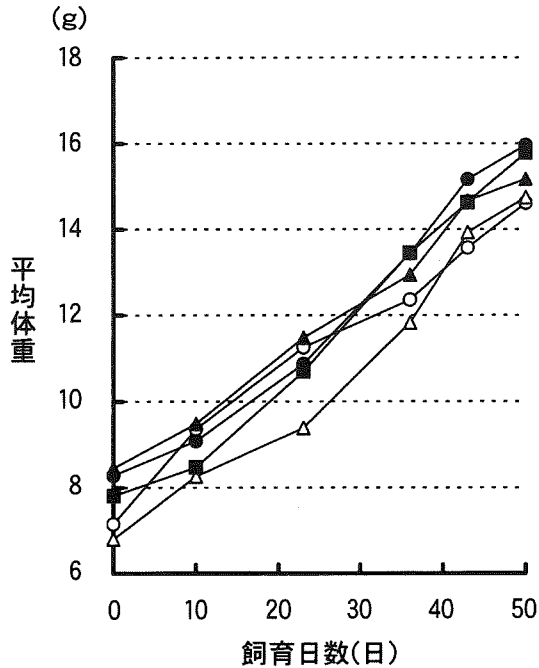


図4 個別試験における各試験区の平均魚体重の推移

○:1区, △:2区, ■:3区, ▲:4区, ●:5区,

も試験区間では明瞭な差は認められなかった。リン含量は飼料中のリン含量が多い試験区において魚体におけるリン含量が増加する傾向がみられた。魚体成分においても試験区間の明瞭な差が認められなかったが、飼料のリン含量が全てマダイの要求量を満たしていたことが原因と考えられる。

文 献

- 1) 木村創, 木下浩樹(2004) : 海面養殖業ゼロエミッション推進対策調査事業—環境負荷低減型配合飼料開発試験—. 平成14年度和歌山県農林水産総合技術センター水産試験場増養殖研究所, 35, 51—62.
- 2) 木村創, 上出貴士(2005) : 海面養殖業ゼロエ

ミッション推進対策調査事業—環境負荷低減型配合飼料開発試験—. 平成15年度和歌山県農林水産総合技術センター水産試験場増養殖研究所, 36, 50—57.

3) 佐藤秀一(2005) : 養殖漁場環境保全推進委託事業報告書(環境負荷低減技術開発), 9—26.

4) 荻野珍吉(1980) : 魚類の栄養素の対する要求。「魚類の栄養と飼料」(荻野珍吉編), 恒星社厚生閣, 東京, 111-149.