

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*

木村 創 ・ 木下 浩樹

目 的

近年、養殖魚の飼料は生餌からオレゴンタイプペレットにかわり最近ではスチームペレット(DP)、渡邊ら¹⁾によって開発されたエクストルーディペレット(EP)に変わりつつある。この飼料形態の変換により、給餌の際にみられる残餌や餌の流失は改善された。しかし、養殖漁場の環境は悪化の一途をたどり、赤潮・貧酸素水塊の出現や魚病の蔓延に悩まされている^{2, 3)}。この原因としては、養殖魚が排泄する糞や尿から溶出する窒素とリンが想定される⁴⁾。このため、飼料中に含まれる窒素やリンをできるだけ少なくするとともに効率よく魚が吸収できるようにすることが必要となる。

そこで、本年度は共通試験としてマダイ当歳魚を用いて魚粉主体の配合飼料へのリン添加量を変えた試験飼料を作成し、この飼料を用いてリンの適正添加量並びに環境へのリンの負荷量を知ることが目的とした。また、個別試験についてはリンの必要量を知ることが目的に、共通試験で用いたリンを添加しない飼料とリンを最も多く添加した飼料で長期飼育を試みるとともに精製飼料を用いて飼育試験を行った。

1. 共通試験

養殖漁業は生産性を向上させるために過密と過食を基盤として行われてきた結果、漁場環境が悪化し、赤潮や貧酸素水塊の発生、魚病の発生が日常化し、生産性の低下を招いている。この悪化の原因は、養殖魚類の排出する窒素・リンが主な原因といわれて

いる。また、魚価の低迷により養殖業は厳しい経営状況にある。

これらのことから、安価で海域環境に配慮した窒素・リンの含有量の少ない飼料を開発する必要がある。今年度はマダイ当歳魚を用いてリン含有量の異なる配合飼料を作成し、リンの削減試験を実施した。

材料および方法

供試魚：2002年に種苗生産された平均体重50gの当歳マダイ1600尾を8月9日に購入した。その後、8月22日まで市販のEP飼料で育成し、8月23日から9月7日まで共通試験飼料1にて予備飼育した魚を試験に供した。なお、供試魚は8月7日にイリドウィルス病のワクチンを筋肉接種した。

試験飼料：表1～3に示す共通試験用飼料1～4を用いた。各飼料ともミネラルはリンフリーのものを用い、第一リン酸カルシウムの添加量以外は同じ配合組成とした。第一リン酸カルシウムの添加量は飼料1が0g、飼料2が0.8g、飼料3が1.6g、飼料4が2.5gで、リン含有量は飼料1で1.54%、飼料2で1.67%、飼料3で1.84%、飼料4で2.10%となった。試験開始の9月9日から11月上旬までは粒径3mm、それ以降は粒径5mmの試験飼料を用いた。

飼育試験：飼料毎4試験区のDuplicationで合計8区設定し、各区225尾ずつを3×3×3mの海面生簀に収容した。試験飼料1を1区(平均魚体重74.1g)と5区(平均魚体重75.1g)、試験飼料2を2区(平均魚体重74.0g)と6区(平均魚体重73.5g)、試験飼料3を3区(平均魚体重73.2g)と7

*海面ゼロエミッション推進対策事業費による

表1 配合飼料組成並びに分析結果

組成	飼料1	飼料2	飼料3	飼料4
魚粉	50	50	50	50
大豆粕	5	5	5	5
コーン ^o ルテンミール	5	5	5	5
小麦粉	17	16.2	15.4	14.5
澱粉	5	5	5	5
魚油	15	15	15	15
ミネラルミックス	1	1	1	1
第一リン酸カルシウム	0	0.8	1.6	2.5
ビタミンミックス	2	2	2	2
(成分分析結果)				
粗蛋白	49.0	49.1	48.3	47.8
粗脂肪	20.4	20.5	20.5	20.1
灰分	9.2	9.3	9.7	10.6
水分	2.1	1.7	2.8	3.2
リン	1.54	1.67	1.84	2.10

表2 Pフリーミネラルミックス組成

組成		(g)
NaCl	5	
MgSO ₄ · 7H ₂ O	75	
FeC ₆ H ₅ O ₇ · nH ₂ O	13	
トレースメタル	5	
セルロース	3	
計	100	

表3 トレースメタル組成

組成		(mg)
ZnSO ₄ · 7H ₂ O	1,765	
MnSO ₄ · 5H ₂ O	810	
CuSO ₄ · 5H ₂ O	155	
AlCl ₃ · 6H ₂ O	50	
CoCl ₂ · 6H ₂ O	5	
KIO ₃	15	
セルロース	2,200	
計	5,000	

区 (平均魚体重74.4 g), 試験飼料4を4区 (平均魚体重73.7 g) と8区 (平均魚体重73.6 g) に給餌し, 9月9日から試験を開始した。給餌は月曜日から金曜日は朝・夕2回とし, 土曜日は朝1回, 日曜日は無給餌とした。

体重測定は10月7日, 11月6日, 12月13日の3回実施した。測定項目は生簀内における全魚体重量と任意に抽出した30尾について, 個体毎の重量と尾叉長を測定し, 肥満度を計算した。また, 開始時と測定毎に各試験区から任意に5尾を抽出し, その全てを混ぜてスライサーし, 全魚体の一般成分並びにリン量を測定した。水分は常圧加熱乾燥法, タンパク質はケルダール法, 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。全魚体のスライサーは東京水産大学の佐藤秀一教授に依頼するとともに, 分析は(財)日本冷凍食品検査協会で行った。血液性状および血清成分検査は, 開始時と終了時の12月13日に行った。検査項目はヘマトク

リット値, ヘモグロビン量, 赤血球数, タンパク, グルコース, 総コレステロール, トリグリセライド, アルカリフォスフォターゼ活性, アミラーゼ活性, 尿素窒素, GOT活性, GPT活性, カルシウム, マグネシウムおよびリンとした。なお, 血液性状検査結果は試験飼料毎に2区分を1区とみなし平均した数値で示した。

飼育試験によって得られたデータは試験飼料間の平均値の差を比較するため, 一元配置の分散分析を行い, 有為差が認められた場合にはFisherのPLSD Testにより各試験飼料間の有為差検定を行った。有意水準は危険率が5%以下とした。

結果および考察

飼育成績: 試験期間中の水温変化を図1に示す。10月下旬から11月下旬までは平年より1~2℃低めに推移したが, 他の期間は平年とほぼ同じ水温で推移した。

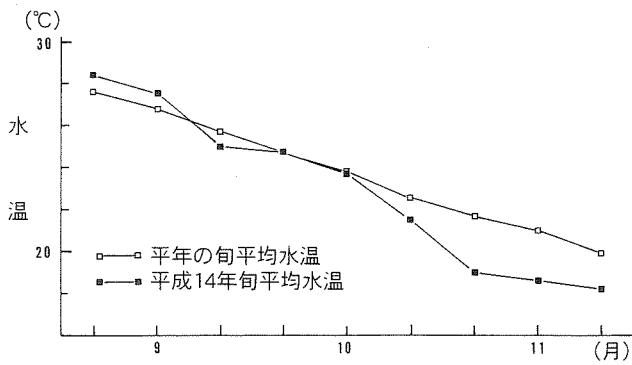


図1 試験期間中の水温変化

本試験ではイリドウイルスのワクチンを接種したにもかかわらず、試験開始から2週間(9月10日～23日)イリドウイルス病による斃死が継続した。この間、飼料をやや控えめに与えたが、試験飼料3を給餌した7区の斃死が最も多く、期間内の斃死率は19.56%となった。10月以降イリドウイルス病による斃死は収まったものの、全期間を通じてみると、試験飼料3を給餌した3区、7区の斃死率が20.89%、19.56%と最も高く、試験飼料4を給餌した4区、8区が12.00%、12.89%と最も低かった。

表4に飼育成績を、図2に各試験飼料別の体重推移を示す。終了時の各試験区の平均体重は、飼料1を給餌した1区172.7g、5区178.1g、飼料2を給餌した2区175.8g、6区177.0g、飼料3を給餌した3区176.7g、7区180.7g、飼料4を給餌した4区176.8g、8区175.7gとなり、飼料別に平均値を比較すると飼料3>飼料2>飼料4>飼料1の順となったが、各試験飼料間に有意差は認められなかつ

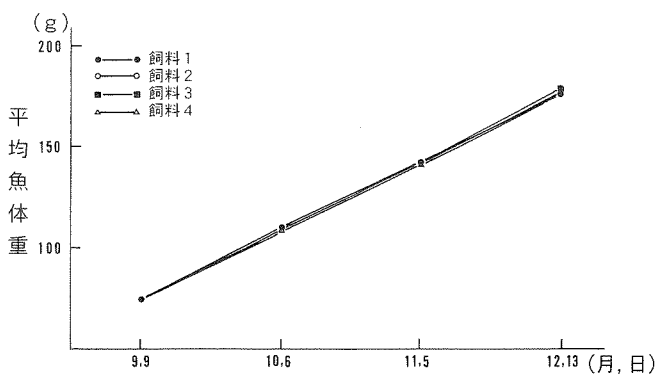


図2 共通試験における飼料別の体重推移 (各飼料の数値は2つの区の平均値で示した)

た。

また、全期間の増重倍率は全ての試験区において2.33～2.43の間にあり、試験飼料別の平均値で比較すると、飼料3が2.42と最も良く、次いで飼料2と飼料3で2.39、飼料1で2.35の順となったが、各試験飼料間では有意差は認められなかった。

全期間の増肉係数は各飼育期間内の比較では有意な差は認められなかったが、全期間を通じてみると、飼料4は飼料1と飼料3、飼料2は飼料1と飼料3との間に有意な差が認められ、飼料2、飼料4は低く、飼料1、飼料3は高くなった。

以上のことから、第一リン酸カルシウムが全く含まれていない飼料1の試験区の成長や増重倍率は他の試験飼料との有意な差は認められなかった。しかし、増肉係数はリンを添加した飼料の方が添加しないものより良好な結果となった。

肥満度並びに魚体成分：魚体の肥満度と一般成分を表5に示す。酒本らの報告⁵⁾では、リン含量の低下とともに全魚体内の水分含量は低下し、脂質含量は増加するとしているが、本試験においてはどの分析項目も試験飼料間に有意な差は認められなかった。

飼育期間ごと並びに全期間を通しての魚体内リン蓄積率を表6に示す。試験飼料間で有意な差が認められたのは、2期(10月7日～11月5日)と全期間を通じた場合であった。終了時における飼料ごとの平均のリン蓄積率は、飼料1が24.79%、飼料2が22.7%、飼料3が20.9%、飼料4が19.72%となり、飼料中のリン含有量が多いほどリンの蓄積率は悪くなる傾向が認められた。

血液性状および血清成分：開始時と終了時の血液性状および血清成分を表7に示す。終了時は開始時と比較して、ヘマトクリット値、赤血球数、血清タンパク、尿素・窒素、アルカリフォスファターゼ活性、GOT活性、GPT活性等ほとんどの検査項目が低下する傾向が認められた。

終了時はヘマトクリット値、ヘモグロビン量、血

表4 共通試験におけるマダイ当年魚の飼育成績

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	斃死率 (%)	
		開始時	終了時								
		1期		9月9日～10月6日			(給餌日数 22日)				
1	1	225	74.1	111.1	2.08	7,751.5	1.50	11,540	1.46	31	13.78
	5	225	75.1	109.1	2.07	7,123.0	1.45	11,450	1.57	31	13.78
2	2	225	74.0	109.3	2.22	7,483.6	1.48	12,290	1.61	26	11.56
	6	225	73.5	109.4	2.20	7,377.5	1.49	11,750	1.57	39	17.33
3	3	225	73.2	106.8	2.20	6,938.4	1.46	11,790	1.65	37	16.44
	7	225	74.4	111.6	2.32	7,551.6	1.50	12,600	1.62	44	19.56
4	4	225	73.7	107.8	2.06	7,195.1	1.46	11,430	1.54	28	12.44
	8	225	73.6	109.2	2.14	7,547.2	1.48	11,980	1.54	26	11.56
		2期		10月7日～11月5日			(給餌日数 23日)				
1	1	186	111.1	139.5	1.86	5,254.0	1.26	13,190	2.46	2	1.08
	5	186	109.1	145.2	1.99	6,642.4	1.33	14,250	2.10	4	2.15
2	2	191	109.3	142.3	1.80	6,303.0	1.30	13,190	2.06	0	0.00
	6	178	109.4	143.0	1.97	5,947.2	1.31	13,450	2.22	2	1.12
3	3	180	106.8	138.8	1.99	5,680.0	1.30	13,370	2.29	5	2.78
	7	173	111.6	143.3	2.07	5,484.1	1.28	14,080	2.50	0	0.00
4	4	189	107.8	140.6	1.80	6,182.8	1.30	13,070	2.05	1	0.53
	8	191	109.2	143.4	1.89	6,515.1	1.31	14,070	2.09	1	0.52
		3期		11月7日～12月13日			(給餌日数 21日)				
1	1	174	139.5	172.7	1.23	5,743.6	1.24	12,600	2.15	2	1.15
	5	172	145.2	178.1	1.36	5,658.8	1.23	14,290	2.47	0	0.00
2	2	181	142.3	175.8	1.18	6,013.3	1.24	12,650	2.07	3	1.66
	6	166	143.0	177.0	1.25	5,644.0	1.24	12,450	2.17	0	0.00
3	3	165	138.8	176.7	1.30	6,158.8	1.27	12,690	2.00	5	3.03
	7	163	143.3	180.7	1.31	6,096.2	1.26	13,140	2.10	0	0.00
4	4	178	140.6	176.8	1.28	6,443.6	1.26	13,780	2.07	0	0.00
	8	180	143.4	175.7	1.16	5,814.0	1.23	12,780	2.13	0	0.00
		全期間		9月9日～12月13日			(給餌日数 66日)				
1	1	225	74.1	172.7	1.57	19,572.1	2.33	37,330	1.87	35	15.56
	5	225	75.1	178.1	1.64	20,445.5	2.37	39,990	1.91	35	15.56
2	2	225	74.0	175.8	1.57	20,512.7	2.38	38,130	1.83	29	12.89
	6	225	73.5	177.0	1.59	20,234.3	2.41	37,650	1.83	41	18.22
3	3	225	73.2	176.7	1.64	19,923.8	2.41	38,560	1.88	47	20.89
	7	225	74.4	180.7	1.65	20,622.2	2.43	39,820	1.88	44	19.56
4	4	225	73.7	176.8	1.55	20,774.7	2.40	38,280	1.78	29	12.89
	8	225	73.6	175.7	1.57	20,675.3	2.39	38,830	1.82	27	12.00

表5 共通試験における全魚体の肥満度、一般成分およびリン量

試験 飼料区	試験区	水分 (%)	粗タンパク質 (%)	粗脂肪 (%)	灰分 (%)	リン (mg/g)	肥満度	
								開始時(9月9日)
		67.3	18.3	9.0	4.7	8.60	24.53	
		第1回測定時(10月6日)						
1	1	61.2	17.8	16.5	4.4	8.00	24.83	
	5	61.7	17.6	15.7	4.1	7.80	24.63	
2	2	60.5	18.3	16.3	4.4	8.50	25.14	
	6	60.4	17.9	17.4	4.1	7.70	25.75	
3	3	61.3	18.0	15.3	4.6	8.50	25.14	
	7	59.9	17.9	16.9	4.7	8.20	25.33	
4	4	59.6	18.1	17.3	4.2	7.70	24.19	
	8	59.7	18.4	17.3	4.4	8.00	24.97	
		第2回測定時(11月5日)						
1	1	61.1	18.1	15.9	4.5	8.30	24.16	
	5	60.2	17.8	17.2	4.3	8.10	24.09	
2	2	61.1	17.9	16.6	4.3	8.10	24.42	
	6	60.5	18.4	16.4	4.3	7.90	24.31	
3	3	59.8	17.9	17.1	4.5	8.30	24.17	
	7	61.5	18.0	15.9	4.6	8.00	24.21	
4	4	61.7	17.6	16.5	4.0	7.90	23.30	
	8	60.8	18.0	16.0	4.4	8.20	24.06	
		第3回測定時(12月13日)						
1	1	62.5	17.7	14.6	4.4	8.50	22.60	
	5	61.9	16.8	16.8	4.1	8.30	23.81	
2	2	63.1	16.7	16.0	4.2	8.36	22.65	
	6	61.7	17.4	15.9	4.2	8.10	22.69	
3	3	62.1	17.5	14.9	4.5	8.50	23.18	
	7	61.1	17.4	16.0	4.7	8.40	22.54	
4	4	62.9	16.4	15.6	4.3	8.60	22.82	
	8	61.2	17.4	16.2	4.6	8.50	23.14	

表6 共通試験における各期間並びに全期間の魚体内におけるリン蓄積率

試験飼料	1期 (9/9~10/6)	2期 (10/7~11/5)	3期 (11/6~12/13)	全期間 (9/9~12/13)
1	23.78 ± 2.43 ^a	23.2 ± 1.25	22.96 ± 1.82 ^a	24.79 ± 0.86 ^a
2	19.76 ± 1.27 ^a	20.24 ± 0.64	23.73 ± 2.73 ^a	22.7 ± 1.28 ^{ac}
3	22.43 ± 1.17 ^a	16.04 ± 0.32 ^a	22.08 ± 0.30 ^a	20.91 ± 0.20 ^{bc}
4	16.71 ± 1.45 ^a	17.55 ± 0.10 ^a	21.05 ± 1.77 ^a	19.72 ± 0.40 ^b
平均値 (サンプル数 2尾) ± 標準偏差				
同じ列の上付き文字が同じ試験飼料間には有為差がない (P > 0.05)				

表7 共通試験における血液性状および血清成分

検査項目	単位	開始時 9月8日	終了時(12月13日)			
			試験飼料1	試験飼料2	試験飼料3	試験飼料4
ヘマトクリット値	%	45.4	33.3 ± 3.55 ^a	41.1 ± 3.34	37.5 ± 4.27	33.7 ± 4.07 ^a
ヘモグロビン量	mg/dl	6.3	5.9 ± 0.55 ^{ac}	6.9 ± 0.69	6.0 ± 0.75 ^{bc}	5.7 ± 0.69 ^{ab}
赤血球数	10 ⁴ /mm ³	455.1	367.3 ± 33.31 ^a	387.2 ± 29.27 ^a	379.1 ± 41.36 ^a	380.1 ± 27.05 ^a
血漿タンパク量	g/dl	4.4	3.1 ± 0.27 ^a	3.7 ± 0.41 ^b	3.6 ± 0.37 ^b	3.2 ± 0.42 ^a
グルコース	mg/dl	94.5	61.6 ± 12.26 ^a	67.3 ± 22.87 ^a	57.5 ± 10.60 ^a	57.8 ± 12.85 ^a
総コレステロール	mg/dl	263.6	200.8 ± 35.88 ^a	256.9 ± 45.08 ^b	241.5 ± 25.33 ^b	195.4 ± 29.54 ^a
トリグリセライド	mg/dl	243.1	82.9 ± 22.02 ^a	299.2 ± 121.05 ^a	160.6 ± 72.55 ^a	64.3 ± 12.11 ^a
アルカリフォスファターゼ	U/l	177.0	123.3 ± 31.23 ^a	160.8 ± 45.55 ^a	154.7 ± 78.46 ^{ab}	124.7 ± 49.07 ^{ab}
尿素窒素	mg/dl	7.6	4.1 ± 1.03 ^a	3.5 ± 0.47 ^a	4.1 ± 0.52 ^a	4.2 ± 0.73 ^a
アミラーゼ	U/l	116.0	115.6 ± 59.05 ^a	113.3 ± 36.75 ^a	132.1 ± 25.13 ^a	122.0 ± 44.96 ^a
GOT	U/l	62.9	32.0 ± 13.33 ^a	47.6 ± 26.37 ^a	45.0 ± 36.77 ^a	31.1 ± 20.42 ^a
GPT	U/l	13.4	4.7 ± 2.32 ^a	6.4 ± 3.30 ^a	5.8 ± 5.30 ^a	4.0 ± 1.59 ^a
カルシウム	mg/dl	15.6	13.2 ± 0.66 ^a	14.0 ± 1.08 ^{bc}	14.2 ± 0.55 ^c	13.7 ± 0.62 ^{ab}
マグネシウム	mg/dl	2.9	1.7 ± 0.39 ^a	1.8 ± 0.27 ^a	1.7 ± 0.25 ^a	1.7 ± 0.24 ^a
リン	mg/dl	18.5	13.3 ± 1.30 ^{ac}	14.2 ± 1.94 ^b	13.6 ± 1.29 ^{bc}	12.6 ± 0.90 ^a
平均値(サンプル数 20尾) ± 標準偏差						
同じ行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)						

漿タンパク量, 総コレステロール, トリグリセライド, カルシウム, リンが飼料1, 4区と比較して飼料2, 3区は有為に高い数値を示した。アルカリフォスファターゼ活性は飼料2, 3区に比較して飼料1, 4区が有為に高い数値を示した。このように血液性状からみると, リンを全く添加しない1区とリンを最も多く添加した4区, また2区と3区がよく似た血液性状を示した。この理由は明らかでないが, 血清中のリン量をみる限りではリンを大量に添加してもその添加効果はないものと推察される。飼料2を与えた区は総コレステロール量よりトリグリセライドの方が高い数値を示しており, この飼料を与えた区は何らかの異常があったものと考えられる。しかし, 2期以降は目立った斃死もなく, 成長していることから与えた餌には問題はないと推察される。

2. 個別試験

共通試験で用いた試験飼料は, リンを多く含んだ魚粉を使用していることからリン欠乏症が出にくいと思われる。酒本らによると, 飼料中のカルシウム量を340mg/100gと一定にしリン含有量を変えたとき, 680mg/100gのリン含有量の飼料を与えたマダイが最大の成長速度と餌料効率を示し, 血清中において最も低いCa/P比を示したことが報告されている⁶⁾。しかし, 今まで試験に使用されているマダイは魚体重が100g以下のものが多く, それ以上ではリンの必要量が明らかでない。本試験では, 魚体重が180g以上のマダイを用いてリンが含まれていない卵アルブミンを主なタンパク源としたカゼイン飼料を作成し, リンの必要量並びにリン欠乏症を明らかにすることを目的とした。また, 共通試験で用いている飼料1と飼料4を与えている試験区について冬期飼育を行い, 飼料中に含まれるリンの多少に

よって飼育成績にどのような影響を与えるのかを明らかにすることを目的に試験を実施した。

材料および方法

1) リン欠乏症試験

供試魚：2002年に種苗生産され、7月5日当研究所に搬入し、以後海面生け簀においてEP飼料で飼育したマダイ当歳魚を用いた。

試験飼料：試験に用いた配合飼料組成並びに飼料の一般分析結果とリン含有量を表8に、ビタミン組成を表9に示す。本試験では飼料原料由来のリン含有量を最小限に抑えるため、精製カゼイン飼料中のカゼインの約半量を卵アルブミンに置き換え、ミネラルミックスは共通試験で使用したリンフリーミネラルミックス（表2）を用いた。各飼料中のリン量はリン酸二水素ナトリウムの添加量を変えることにより調整した。その結果飼料中のリンの含有量は100g飼料中、飼料1で429mg、飼料2で762mg、飼料3で941mg、飼料4で1104mgとなった。各飼料は10日分を一度に作成し、使用する前日まで-20℃で冷凍保存し、給餌前夜から冷蔵庫で解凍し給餌した。

表8 試験飼料の配合組成 (g/100g)

組 成	飼料1	飼料2	飼料3	飼料4
カゼイン	30.0	30.0	30.0	30.0
アルブミン	34.0	34.0	34.0	34.0
L-イソロイシン	0.3	0.3	0.3	0.3
L-リジン塩酸塩	0.5	0.5	0.5	0.5
L-メチオニン	0.3	0.3	0.3	0.3
L-シスチン	0.3	0.3	0.3	0.3
L-アルギニン塩酸塩	1.0	1.0	1.0	1.0
L-ヒスチジン塩酸塩水和物	0.3	0.3	0.3	0.3
L-アラニン	1.3	1.3	1.3	1.3
L-アスパラギン酸	1.0	1.0	1.0	1.0
脱酸タラ油	9.0	9.0	9.0	9.0
デキストリン	8.0	8.0	8.0	8.0
ビタミンミックス	2.0	2.0	2.0	2.0
P-フリーミネラルミックス	1.0	1.0	1.0	1.0
リン酸二水素ナトリウム	0.0	1.6	2.4	3.2
α-セルロース	6.0	4.4	3.6	2.8
カルボキシメチルセルロース	5.0	5.0	5.0	5.0
成分分析結果				
乾物成分 (%)	46.1	46.5	46.7	47.1
粗蛋白 (%)	64.4	64.7	64.9	65.2
粗脂肪 (%)	10.5	9.9	10.1	10.2
灰 分 (%)	3.4	4.3	4.8	5.4
糖 質 (%)	7.2	7.5	6.6	6.7
リ ン (mg/g)	4.29	7.62	9.41	11.04

P-フリーミネラルミックスは共通試験で用いた配合組成

飼育試験：試験は生け簀で飼育中のマダイを陸上水槽に移し、精製カゼイン飼料4で1週間予備飼育したものを使用した。試験区は0.9トン容FRP角型水槽に20尾ずつ収容し、4つの区を設定し、11月25日～1月23日の60日間飼育した。給餌は基本的には毎日朝夕の2回としたが、12月27日～1月5日までは隔日給餌とした。各試験区の開始時の平均体重は、飼料1区192.5g、飼料2区181.2g、飼料3区184.4g、飼料4区189.2gであった。飼育期間中の水温は15.0～20.8℃（平均18.3℃）で推移した。

飼育期間中は給餌時にリン欠乏症の有無を観察するとともに、給餌日数の9日もしくは10日毎に各区の魚体重を個体別に測定した。

全魚体・肝臓並びに脊椎骨の成分分析：開始時と終了時の肝比重並びに全魚体・肝臓の一般成分分析を行った。肝重比は個体毎に、全魚体、肝臓の一般成分分析は各区5尾ずつをプールして行った。また、脊椎骨は各区5尾ずつ魚体を蒸煮して分離、個体毎に魚体重に対する脊椎骨重量の比率を求めるとともに、カルシウム、マグネシウム並びにリンの含有量を測定した。脊椎骨については付着物を取り除き、蒸留水で洗浄後、110℃で24時間乾燥し、次にこれを乳鉢で粉碎した。各無機質含量は硝酸および過塩素酸で湿式灰化した後、カルシウムおよびマグネシウムは原子吸光法で、リンはアレン法でそれぞれ分

表9 ビタミン組成 (mg/100g飼料中)

ビタミン	
チアミン塩酸塩	6.0
リボフラビン	20.0
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
ビオチン	0.6
葉酸	1.5
p-アミノ安息香酸	40.0
塩化コリン	800.0
シアノコバラミン	0.06
L-アスコルビン酸	200.0
レチノール酢酸塩	0.688
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
α-セルロース	379.1475

析した。

血液性状および血清成分分析：開始時、終了時に各区から9尾ずつを無作為に取り上げ、心臓より採血し共通試験と同様の項目について測定した。

2) 冬期試験

共通試験で飼料1を給餌した1, 5区並びに飼料4を給餌した4, 8区について出来るだけ魚体重のそろった魚を3×3×3mの生け簀1小割に260尾ずつ収容し、試験を開始した。開始時の平均魚体重は飼料1は172.7g, 飼料4は176.8gであった。12月14日から飼育試験を開始し、以後2日に1回の割合で給餌し、3月12日まで行った。全魚体測定を開始時と終了時の2回実施するとともに、終了時には各飼料試験区から10尾ずつ任意に取り上げ、5尾についてはプールし全魚体の一般成分分析を行うとともに、残りの5尾については個体毎に肝重比と骨重量の比率並びに脊椎骨中に含まれるリン、マグネシウム、カルシウム量を分析した。血液性状検査は終了時に共通試験で実施した項目について行った。

飼育試験によって得られた魚体重のデータ並びに血液性状検査結果は、試験飼料間の平均値の差を比較するため、一元配置の分散分析を行い、有為差が認められた場合にはFisherのPLSD Testにより各試験飼料間の有為差検定を行った。有意水準は危険率が5%以下とした。

結果および考察

1) リン欠乏症試験

飼育成績：試験期間中、各区斃死はなく順調な飼育ができた。また、試験期間中にリンの欠乏症による遊泳異常も確認できなかった。飼育期間中の水温は20.7~13.0℃の範囲で推移した。各試験区の飼育成績を表10に、体重推移を図3示す。開始時の平均体重は1区>4区>3区>2区の順であり、終了時には3区246.4g, 2区245.9g, 4区244.3g, 1区242.9gの順となり、各区間に有為差は認められなかった(P>0.05)。肥満度は各区とも開始時より

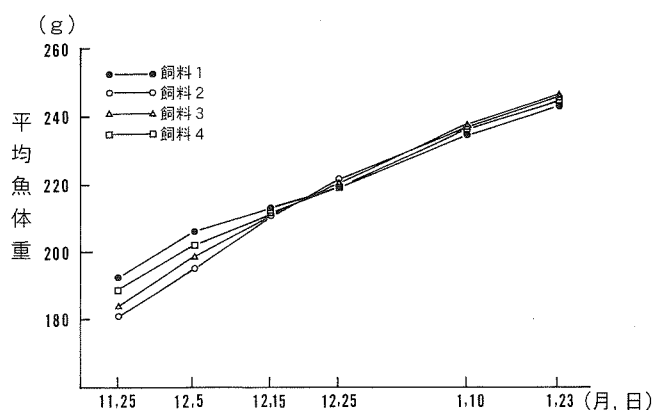


図3 リン欠乏症試験における飼料別の体重推移

終了時の方が低下する傾向が認められたが、終了時における各区间に有為差は認められなかった(P>0.05)。全期間を通じての増重倍率は2区が1.36と最も良く、次いで3区1.34, 4区1.29, 1区1.26の順となった。また、増肉係数は3区が1.76と最も良く、次いで2区1.78, 4区1.97, 1区2.12の順となった。以上のことから、100g飼料中にリンを762~941mg添加することによって飼育成績が向上するが、これより添加量が少ない飼料1区や1,104mgと過剰に添加した飼料4区は飼育成績が低下することが明らかとなった。

全魚体・肝臓および脊椎骨の成分：全魚体、肝臓および脊椎骨の成分を表11に示す。全魚体の水分含量は3区までは62.1~63.2%と大きな違いは認められなかったが、4区は65.6%と大幅に増加した。タンパク質含量は3区までは18.5~18.9%と大きな違いは認められなかったが、4区は17.6%となり大幅に減少した。脂質含量は1区14.5%, 3区13.0%, 4区11.5%とリン含量が低いほど高くなる傾向が認められ、灰分は1区と4区が4.6~4.7%と低く、2区と3区が5.4~6.0%と高くなった。

肝重比は1区1.87%, 2区1.69%, 3区2.01%, 4区1.77%となり、飼料中のリン含量との関係は認められなかった。肝臓中の水分とグリコーゲン量は2区がそれぞれ64.2%, 1.9%と低く、脂質は2区が16.9%と高くなったが、飼料中のリン含量との関係は明確でなかった。

表10 リン欠乏症試験における飼育成績

区	供試尾数	平均体重 (g)		増重量 (g)	増重倍率	給餌量 (g)	増肉係数 (乾物)	肥満度	斃死尾数 (尾)
		開始時	終了時						
		1期		11月25日～12月5日		(給餌日数 10日)			
1	20	192.5	205.9	268.0	1.07	1,100	2.05	22.48	0
2	20	181.2	195.2	280.0	1.08	1,165	2.08	22.83	0
3	20	184.4	199.0	292.0	1.08	1,130	1.93	23.16	0
4	20	189.2	202.2	260.0	1.07	1,088	2.09	22.91	0
		2期		12月5日～12月15日		(給餌日数 10日)			
1	20	205.9	212.8	138.0	1.03	858	3.11	22.61	0
2	20	195.2	210.5	306.0	1.08	980	1.60	23.30	0
3	20	199.0	210.6	232.0	1.06	883	1.90	22.68	0
4	20	202.2	211.0	176.0	1.04	837	2.38	22.79	0
		3期		12月15日～12月24日		(給餌日数 9日)			
1	20	212.8	218.8	120.0	1.03	721	3.00	22.32	0
2	20	210.5	222.1	232.0	1.06	822	1.77	22.85	0
3	20	210.6	220.7	202.0	1.05	786	1.95	22.66	0
4	20	211.0	219.2	164.0	1.04	730	2.23	22.54	0
		4期		12月24日～1月10日		(給餌日数 10日)			
1	20	218.8	234.6	316.0	1.07	993	1.57	22.21	0
2	20	222.1	236.9	296.0	1.07	1,029	1.74	22.56	0
3	20	220.7	238.1	348.0	1.08	1,004	1.44	22.52	0
4	20	219.2	236.3	342.0	1.08	984	1.44	22.15	0
		5期		1月10日～1月23日		(給餌日数 9日)			
1	20	234.6	242.9	166.0	1.04	974	2.93	22.10	0
2	20	236.9	245.9	180.0	1.04	985	2.74	22.35	0
3	20	238.1	246.4	166.0	1.03	866	2.61	22.16	0
4	20	236.3	244.3	160.0	1.03	973	3.04	22.36	0
		全期間							
1	20	192.5	242.9	1,008.0	1.26	4,646	2.30	22.10	0
2	20	181.2	245.9	1,294.0	1.36	4,981	1.92	22.35	0
3	20	184.4	246.4	1,240.0	1.34	4,669	1.88	22.16	0
4	20	189.2	244.3	1,102.0	1.29	4,612	2.09	22.36	0

表11 リン欠乏症試験における全魚体、肝臓および脊椎骨の成分

部位並びに検査項目	開始時 (11月25日)	終了時 (1月23日)			
		1区	2区	3区	4区
全魚体					
水分 (%)	62.3	62.1	63.2	62.3	65.6
タンパク質 (%)	18.5	18.9	18.5	18.6	17.6
脂質 (%)	14.5	14.7	12.4	13.0	11.5
灰分 (%)	5.9	4.6	6.0	5.4	4.7
肝臓					
肝重比 (%)	1.21	1.87	1.69	2.01	1.77
水分 (%)	65.1	69.9	64.2	72.3	71.3
脂質 (%)	17.0	12.5	16.9	10.6	11.6
グリコーゲン (%)	0.8	2.3	1.9	2.2	2.5
脊椎骨					
骨重比 (%)	0.73	0.87	0.89	0.78	0.78
カルシウム (mg/g)	72.8	57.9	64.5	69.3	64.5
マグネシウム (mg/g)	0.65	0.44	0.54	0.49	0.55
リン (mg/g)	97.8	84.2	94.8	95.0	104.5
Ca/P比	0.74	0.69	0.68	0.73	0.62

全魚体と肝臓は5尾プールして分析
脊椎骨は5尾毎に脱脂せず分析し平均値を表示

骨重比は開始時より増加し、終了時には飼料1区と2区、飼料3区と4区が同じ数値となり、飼料中のリン含有量が少ない区ほど骨重比は少なくなる傾向にあった。Satoらは飼料中の各種ミネラルを減じてマダイを飼育した結果、脊椎骨中のCa/P比は

いずれの場合も2/1となることを報告している⁷⁾。本試験では、Ca/P比は1以下になるとともにマグネシウム量も低くなったが、これは分析に当たって脊椎骨中の脂肪分を排除しなかったためと考えられる。骨重比を除いて各分析項目ともに終了時には開

始時より値が低くなった。飼料中のリン含有量と分析結果を比較すると、脊椎骨中のカルシウムとリンは飼料中のリン含量が高いほど高くなる傾向が認められたが、マグネシウムは明瞭な相関は認められなかった。

血液性状および血清成分：開始時と終了時の血液性状および血清成分を表12に示す。開始時に比較して終了時には、各飼料区とも赤血球数、血漿タンパク量、アルカリフォスファターゼ活性が増加傾向に、また総コレステロール量、尿素窒素、アミラーゼ活性、カルシウム量、リン量が減少する傾向が認められた。トリグリセライドは飼料1区、4区では減少し、飼料2区、3区では増加した。

終了時の値を各飼料間で比較すると、ヘマトクリット値、ヘモグロビン量、赤血球数、グルコース量、総コレステロール量、アミラーゼ活性、GOT活性では有為差は認められなかった。アルカリフォスファターゼ活性、GPT活性は飼料1区が他の区より有為に高く、血漿タンパク量とカルシウム量は飼料1区と飼料2、3区との間で、尿素窒素量は飼料2区と4区との間で有為差が認められた。トリグリセライド量は飼料1区と飼料4区、飼料2区と飼料3区の間で有為差は認められず、マグネシウム量

は飼料1区と4区の間では有為差は認められなかった。リン量については飼料1区が他の区より有為に低くなった。

飼料中のリン量が至適と推察される飼料2、3区のトリグリセライド量は、飼料1区や4区と比較して3倍以上の数値となるとともに、総コレステロール量より多く、この傾向は共通試験でも観察されているがその理由は不明である。リン量は1区は他の区より有為に低くなったが、他の区間では有為差は認められず、ある量以上リンを飼料に添加しても血清中に含まれるリンには限界があると推察される。本結果から、リン含有量の最も少ない飼料1区では、アルカリフォスファターゼ活性とGPT活性が他の区より有為に高く、リン量が有為に低いことから問題があると思われるが、それ以外の試験区では問題ないと考えられる。

以上のことから、リン含量が最も少ない1区と最も多い4区は増肉係数が他の試験区より悪く、また1区は血液性状でもやや問題があることから、飼料100g中429mgのリンではマダイを飼育するには少ないと推察される。しかし、今回の試験では、コイやニジマス等で観察されている成長不良や骨格異常などのリン欠乏症⁸⁾を示すような症状は観察できな

表12 リン欠乏症試験における血液性状および血清成分

検査項目	単位	開始時 (11月25日)	終了時 (1月23日)			
			1区	2区	3区	4区
ヘマトクリット値	%	30.6	33.2 ± 3.40 ^a	31.9 ± 3.28 ^a	32.2 ± 4.26 ^a	34.2 ± 2.81 ^a
ヘモグロビン量	mg/dl	5.8	5.6 ± 0.66 ^a	5.6 ± 0.56 ^a	5.7 ± 0.53 ^a	5.9 ± 0.30 ^a
赤血球数	10 ⁴ /mm ³	290.9	324.2 ± 28.80 ^a	306.0 ± 30.92 ^a	322.6 ± 24.83 ^a	333.3 ± 26.40 ^a
血漿タンパク量	g/dl	3.0	3.8 ± 0.19 ^b	3.0 ± 0.22 ^{ac}	3.2 ± 0.26 ^{ac}	3.2 ± 0.45 ^{bc}
グルコース	mg/dl	63.0	60.0 ± 8.15 ^a	54.7 ± 12.19 ^a	60.7 ± 11.69 ^a	55.6 ± 11.15 ^a
総コレステロール	mg/dl	168.5	140.1 ± 12.76 ^a	142.0 ± 13.64 ^a	127.4 ± 32.33 ^a	149.4 ± 24.36 ^a
トリグリセライド	mg/dl	95.4	50.7 ± 15.50 ^a	155.6 ± 45.74 ^b	187.9 ± 98.06 ^b	45.2 ± 22.70 ^a
アルカリフォスファターゼ	U/l	83.3	129.1 ± 46.50 ^a	98.0 ± 33.80 ^b	97.2 ± 25.68 ^b	85.2 ± 18.54 ^b
尿素窒素	mg/dl	5.4	4.1 ± 0.69 ^{ab}	4.6 ± 1.17 ^{ab}	4.0 ± 0.55 ^{abc}	3.4 ± 0.49 ^{ac}
アミラーゼ	U/l	81.4	41.7 ± 27.46 ^a	64.0 ± 35.73 ^a	45.1 ± 16.44 ^a	39.6 ± 24.60 ^a
GOT	U/l	29.3	45.9 ± 38.38 ^a	23.9 ± 17.89 ^a	23.3 ± 17.76 ^a	32.9 ± 15.50 ^a
GPT	U/l	6.1	6.7 ± 3.54 ^a	3.4 ± 1.74 ^b	3.8 ± 2.05 ^b	5.1 ± 2.03 ^b
カルシウム	mg/dl	13.7	12.8 ± 0.29 ^{ab}	12.5 ± 0.43 ^a	12.4 ± 0.60 ^a	13.3 ± 1.10 ^b
マグネシウム	mg/dl	1.3	1.3 ± 0.09 ^a	1.1 ± 0.03 ^b	1.2 ± 0.05 ^c	1.3 ± 0.12 ^a
リン	mg/dl	14.1	7.7 ± 0.81 ^a	9.4 ± 0.93 ^b	10.4 ± 1.36 ^b	10.3 ± 1.96 ^b

平均値 (サンプリング数 9尾) ± 標準偏差
 同じ行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13 冬期試験における飼育成績 (12月14日～3月12日)

試験 飼料	供試 尾数	平均体重 (g)		肥満度		日間給餌率補正増重量 (%)	増重 (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	開始時	終了時						
1	260	172.7	205.3	22.81	19.36	0.42	8,296.7	1.19	18,400	2.17	11
4	260	176.8	196.9	23.28	19.40	0.41	5,195.9	1.11	18,200	3.43	3

かった。これは精製タンパク質であるカゼインに含まれているリンが予想より多かったことに起因している。来年度はリンが全く含まれていない卵アルブミン含有量を多くし、リン欠乏症の再現を試みる予定である。

2) 冬期試験

飼育成績：飼育成績を表13に示す。試験飼料1区の斃死が11尾とやや多いが、魚病等の発生もなく順調な飼育ができた。終了時の平均魚体重は飼料1区が205.6g、飼料4区が196.9gとなり、有為に飼料4区の成長が劣った ($P>0.05$)。増重倍率、増肉係数ともに飼料1区は1.19、2.29となり、飼料4区より良好な結果となった。以上のことから、冬期の飼育では飼料中に過剰なリンを添加することは魚の成長を阻害すると推察される。

全魚体・肝臓および脊椎骨の成分：全魚体、肝臓および脊椎骨の成分を表14に示す。全魚体を開始時と終了時で比較すると、水分が4%前後、タンパク質が0.4%前後増加するが、脂質は4%ほど減少した。しかし、終了時に飼料1区と飼料4区の間に差

表14 冬期試験における全魚体、肝臓および脊椎骨の成分

部位並びに検査項目	開始時(12月14日)		終了時(3月12日)	
	飼料1区	飼料4区	飼料1区	飼料4区
全魚体				
水分 (%)	61.9	61.2	65.0	65.2
タンパク質 (%)	16.8	17.4	17.3	17.7
脂質 (%)	16.8	16.2	12.1	12.5
灰分 (%)	4.1	4.6	5.4	5.9
肝臓				
肝重比 (%)	—	—	1.38	1.31
水分 (%)	—	—	68.0	69.2
脂質 (%)	—	—	15.5	16.3
グリコーゲン (%)	—	—	0.7	2.6
脊椎骨				
骨重比 (%)	—	—	0.98	0.99
カルシウム (mg/g)	—	—	65.6	65.9
マグネシウム (mg/g)	—	—	0.49	0.61
リン (mg/g)	—	—	95.5	96.2
Ca/P比	—	—	0.69	0.69

全魚体と肝臓は5尾ずつ分析し、脊椎骨は5尾毎に分析し、平均値を表示

が認められる分析項目はなかった。肝臓や脊椎骨については、飼料1区と飼料4区の間で差が大きく認められたのは、肝臓中のグリコーゲン量と脊椎骨中のマグネシウム量であった。

血液性状および血清成分：開始時と終了時の血液性状および血清分析結果を表15に示す。終了時の各検査項目の数値は、開始時と比較すると全てで値が低下した。開始時にはトリグリセライドとカルシウム量で有為差が認められたが、終了時にはヘマトクリット値と血漿タンパク量で有為差が認められた。血清中のリンは餌料中のリン量が異なるものの有為差は認められなかった。

以上、個別試験ではリンの欠乏症試験と冬期試験を行い、飼育成績をみるとともに、全魚体、肝臓、脊椎骨の分析を試みた。両者の試験に利用した飼料中に含まれているリン含有量をみると、リン欠乏症試験に用いた飼料では飼料1、2、3、4でそれぞれ100g中429mg、726mg、941mg、1104mg、また冬期試験に用いた飼料1は1540mg、飼料4は2100mgとなった。欠乏症試験と冬期試験では飼育方法、飼料の形態や魚の前歴も異なるが、参考として飼料中のリン含有量とそれぞれの分析結果をグラフ化し、図4に示す。

全魚体

水分：リン含量941mg以下の飼料では大きな差は認められなかったが、1104mg以上では65%以上と高くなった。

タンパク質：タンパク質含量はリンの含有量とともに漸減し、1104mg以上では17%台となった。

脂質：飼料中のリン含有量が多くなるほど脂質含量が低下する傾向が認められた。

灰分：飼料中のリン含有量との相関は認められなかった。

表15 冬期試験における血液性状および血清成分

検査項目	単位	開始時(12月14日)		終了時(3月12日)	
		飼料1区	飼料4区	飼料1区	飼料4区
ヘマトクリット値	%	33.0 ± 3.77	33.7 ± 4.07	23.3 ± 3.46	29.0 ± 5.13 ※
ヘモグロビン量	mg/dl	6.0 ± 0.58	5.7 ± 0.69	5.4 ± 0.85	5.4 ± 0.75
赤血球数	10 ⁴ /mm ³	363.6 ± 36.59	380.1 ± 27.05	343.3 ± 25.81	339.8 ± 39.50
血漿タンパク量	g/dl	3.1 ± 0.27	3.2 ± 0.42	3.0 ± 0.27	2.6 ± 0.37 ※
グルコース	mg/dl	63.2 ± 14.00	57.8 ± 12.85	62.6 ± 12.00	61.6 ± 12.00
総コレステロール	mg/dl	197.9 ± 37.33	195.4 ± 29.54	163.2 ± 18.37	170.3 ± 21.84
トリグリセリド	mg/dl	87.6 ± 30.31	64.3 ± 12.11 ※	61.1 ± 28.06	77.0 ± 55.06
アルカリフォスファターゼ	U/l	120.2 ± 33.52	124.7 ± 49.07	80.6 ± 20.08	82.2 ± 17.92
尿素窒素	mg/dl	4.0 ± 1.05	4.2 ± 0.73	3.8 ± 0.74	4.7 ± 4.67
アミラーゼ	U/l	111.0 ± 61.22	122.0 ± 44.96	47.0 ± 13.18	43.6 ± 21.76
GOT	U/l	39.4 ± 36.23	31.1 ± 20.42	20.6 ± 16.47	31.8 ± 14.76
GPT	U/l	5.0 ± 2.91	4.0 ± 1.59	3.3 ± 1.57	3.9 ± 1.66
カルシウム	mg/dl	13.2 ± 0.66	13.7 ± 0.62 ※	13.0 ± 0.41	12.7 ± 1.15
マグネシウム	mg/dl	1.7 ± 0.44	1.7 ± 0.24	1.6 ± 0.23	1.5 ± 0.44
リン	mg/dl	13.4 ± 1.43	12.6 ± 0.90	9.3 ± 0.49	9.0 ± 0.81

平均値(サンプル数 10尾) ± 標準偏差

※試験飼料間で有意差が認められた項目 (P>0.05)

肝臓

肝重比：941mg以上の飼料ではリン含有量の増加とともに減少する傾向が認められた。

水分：飼料中のリン含有量との相関は認められなかった。

脂質：飼料中のリン含有量との相関は認められなかった。

グリコーゲン量：飼料中に1540mg含まれている区が特に高い値となったが、リン含量との相関は認められなかった。

脊椎骨

カルシウム含量：429mgで最も低く、941mgまでは増加し、1104mg以上では65mg前後で一定となった。

マグネシウム含量：429mgで最も低く、それ以上では明瞭な差は認められなかったが、2100mgで最も高くなった。

リン含量：429mgで最も低く、1104mgで最も高くなったが、他の区では94~96mgであった。

Ca/P比：941mgの区が最も高く、1104mgで低くなったが、総じて0.7前後で推移した。

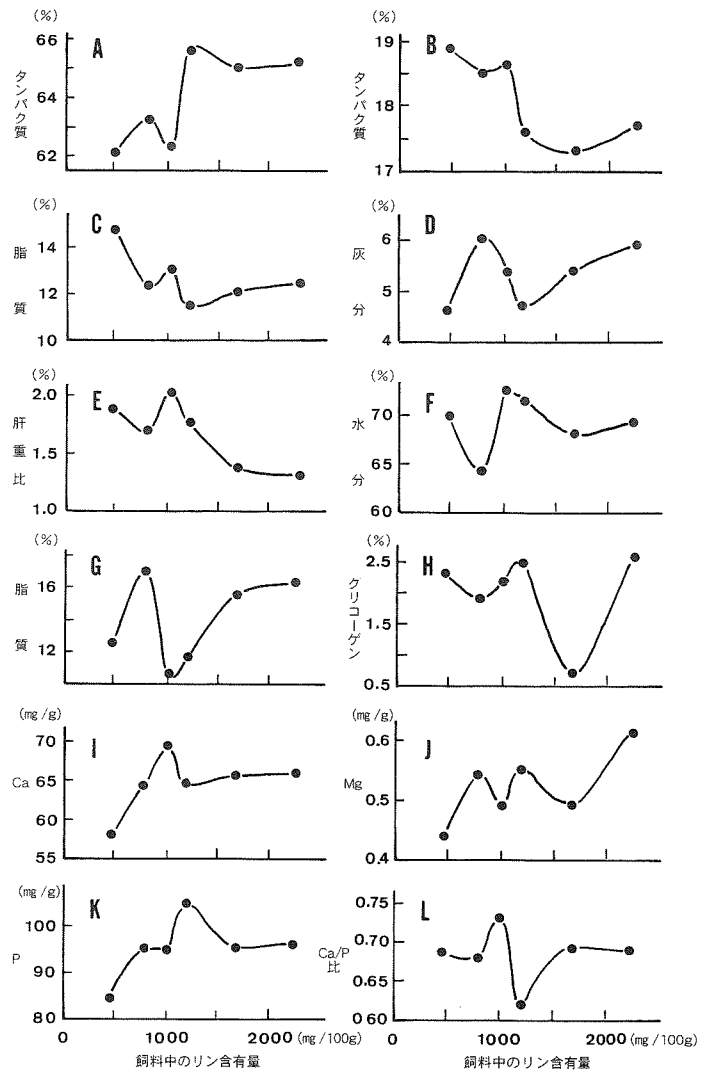


図4 飼料中のリン含有量と各種成分との関係
A~D全魚体成分 E~H臓器成分 I~L脊椎骨

文 献

- 1) Takeshi Watanabe, Hiroshi Sakamoto, Masaharu Abiru, and Juntaro Yamashita (1991): Development of New Type of Dry Pellet for Yellowtail. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 57(5), 891-897.
- 2) 竹内照文, 小久保友義, 内田卓志 (1997) : 田辺湾における *Gymnodinium mikimotoi* の増殖域の環境特性と本種赤潮の発生環境. 日本水産学会誌, 63(2), 184-193.
- 3) 竹内照文, 芳養晴雄, 嶋本有志, 田中俊充 (2002) : 田辺湾南部の養殖漁場における環境の推移と魚病発生状況. 和歌山県農林水産総合技術センター研究報告, 3, 11-16.
- 4) 平田八郎 (1994) : 環境調和型養殖システムの必要性—その理論と実際. 養殖, 31(11), 60-64.
- 5) Syuichi Sakamoto and Yasuo Yone (1978) : Effect of Dietary Phosphorus Level on Chemical Composition of Red Sea Bream. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, 44(3), 227-229.
- 6) Syuichi Sakamoto and Yasuo Yone (1973) : Effect of Dietary Calcium/Phosphorus Ration upon Growth, Feed Efficiency and Blood Serum Ca and P Level in Red Sea Bream. *Bull. Japan. Soc. Sic. Fish.*, 39(4), 343-348.
- 7) S.Satoh, R.Ishida, T.Takeuchi, T.Watanabe and T. Saikai (1998) : Necessity of Mineral Supplement to Fish Meal Based Red Sea Bream Feed. *Suisanzoushoku*, 46(4), 535-540.
- 8) 荻野珍吉 (1980) : 無機質. 「魚類の栄養と飼料」, (荻野珍吉編), 恒星社厚生閣, 東京, pp.236-241.