

環境負荷低減技術開発事業*

養殖マダイにおけるリンの要求量及び欠乏症試験

上 出 貴 士 ・ 木 村 創

目 的

養殖漁業に伴う有機物負荷は、影響が生簀周辺に限られるものの工業廃水や都市排水と同等の影響を底泥の動物相に与えることが知られており¹⁾、後背地の環境によっては水域への有機物負荷の大部分を占めることが報告されている²⁾。また、養殖漁場において有機物負荷が環境の浄化能力を超えると水域を富栄養化する。この富栄養化の主な要因は、養殖漁業によって水域に負荷される余剰な窒素やリンであり、これらの削減が大きな問題となっている³⁾。今年度は、養殖マダイのリン要求量およびリン欠乏症を明らかにし、配合飼料中の余剰なリンの削減を図ることを目的とした。

本事業の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状が発現しなかった⁴⁾。Sakamotoら⁵⁾は、飼料中のカルシウムを340mg/100gと一定にし、リン含有量を変化させた場合、680mg/100gのリン含量の飼料を与えた時にマダイの成長と飼料効率が最大とな

ることを報告している。この知見を基にして、本試験では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て異なるリン含量の飼料を作成し、マダイのリン要求量並びにリン欠乏症を明らかにした。

材料および方法

供 試 魚：2003年に種苗生産された平均体重39.0gのマダイを用いた。

試験飼料：飼料組成は表1に、使用したビタミンミックス及びリンフリーミネラルミックスの組成を表2及び表3に示す。また、飼料一般成分及び飼料中のリン含量は表4に示す。飼料中のリン含量を極力減らすために主要タンパク源としてアルコール変性を行ったアルブミンを用いた。また、飼料中のリン含量はリン酸二水素ナトリウムの添加量を変えることで調整した。その結果、飼料中のリン含量は100g飼料中、飼料1で74mg、飼料2で293mg、飼料3で519mg、飼料4で727mg、飼料5で926mg、飼料6で1,140mgとなった。

飼育試験：マダイは飼料1で約3週間予備飼育し

表1 試験飼料の配合組成

組成	飼料1	飼料2	飼料3	飼料4	飼料5	飼料6
卵アルブミン	61	61	61	61	61	61
タラ肝油	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
デキストリン	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
ビタミンミックス	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
リンフリーミネラルミックス	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
L-アラニン	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
L-アスパラギン酸	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
リン酸二水素ナトリウム	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
α-セルロース	5.0	4.0	3.0	2.0	1.0	0.0
カルボキシメチルセルロース	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0

単位はg/100g.

*海面養殖業ゼロエミッション推進対策調査事業費による

た後に試験に供した。20尾ずつを0.25 t FRP角形水槽に收容し、1 試験飼料につき2 試験区の計12水槽を用いた。試験期間は、10月25日から12月15日までの50日間で、毎日8時と16時に飽食給餌した。また、給餌時にはリン欠乏の外見症状を観察するとともに、10日毎に魚体重の測定を行った。斃死魚は給餌後に取り除き、魚体重を測定した。

サンプリング：試験開始時と終了時の各試験区から10尾を無作為に取り上げ、5尾は血液採取後ホモジナイズし、全魚体の成分分析と血液性状分析に、残り5尾は肝臓と脊椎骨の成分分析および血清成分分析に供した。サンプルは全て試験区ごとにプールして分析に供した。また、全魚体及び肝臓サンプルは分析まで-20℃で凍結保存し、脊椎骨はデシケーター中に保存した。

血液処理：血液性状分析個体の採血に使用するシリンジはヘパリン(5000unit)処理し、各個体から約0.5ml採取し、水中の真空採血管に移した。血清成分分析用のシリンジはヘパリン処理を行わず、採取した血液約1.0mlを1.5mlマイクロチューブに移して、-84℃のフリーザーで分析まで保存した。

表2 ビタミンミックス組成

チアミン塩酸	6.0
リボフラミン	20.0
ピリオドキシリン塩酸	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
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
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
ビタミンD ₃	0.0045
ビタミンB ₁₂	0.0090
α-セルロース	374.6865
	(mg)

分析項目及び方法：分析項目は下記のとおりである。

- 飼料 一般成分(水分, 粗タンパク質, 粗脂質, 粗灰分), 粗糖質, リン
- 全魚体 一般成分(水分, 粗タンパク質, 粗脂質, 粗灰分), リン
- 肝臓 一般成分(水分, 粗タンパク質, 粗脂質, 粗灰分)
- 脊椎骨 一般成分(水分, 粗タンパク質, 粗脂質, 粗灰分), リン, カルシウム, マグネシウム, 亜鉛
- 血液性状 赤血球数, ヘモグロビン量, ヘマトクリット値, 平均赤血球容積, 平均赤血球ヘモグロビン量, 平均赤血球ヘモグロビン濃度
- 血清成分 総タンパク質, トリグリセリド, アルブミン, グルコース, 総コレステロール, カルシウム, リン, リン脂質, 亜鉛
- 脊椎骨レントゲン写真

分析方法については、飼料、全魚体、肝臓、脊椎骨の水分、粗灰分は常圧加熱乾燥法、粗糖質はフェノール硫酸法、粗タンパク質含量はセミマイクロケルダール法、粗脂質含量はエーテル抽出法で行った。リン含量はAllen法で測定し、血液性状は日本電光中四国株式会社のCelltac α MEK-6358を用いた。

表3 リンフリーミネラルミックス組成

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
	(g)

表4 飼料一般成分及びリン含量

	飼料1	飼料2	飼料3	飼料4	飼料5	飼料6
水分 (%)	35.6	35.6	34.5	35.5	35.6	35.6
粗タンパク (%)	36.7	36.3	36.8	36.5	35.9	36.8
粗脂質 (%)	5.5	5.7	5.2	5.0	5.1	4.9
粗灰分 (%)	3.9	4.3	4.5	4.7	5.2	5.5
粗糖質 (%)	10.6	10.7	9.6	8.8	9.0	9.2
リン含量 (mg/100g)	74	293	513	727	926	1140

血清成分は総タンパク質，トリグリセリド，アルブミン，グルコース，総コレステロール，カルシウム，リンの合計7項目を富士ドライケム3500で測定した。リン脂質と亜鉛については和光純薬工業株のテストキットを用いて測定した。

脊椎骨レントゲン写真は，軟X線撮影装置(SOFTEX)を使用して行った。

測定値は，ダンカンの新多重範囲検定法により検定し，危険率5%で有意差を判定した。

結果および考察

飼育結果を表5に示す。生残率は，飼料3区で若干低くなったが，その他の飼料区では良好であった。

試験開始時の平均魚体重は，飼料1区39.0g，飼料2区39.1g，飼料3区39.1g，飼料4区39.1g，飼料5区39.0g，飼料6区39.1gでほとんど差はなかったが，試験終了時には飼料1区から飼料5区まで飼料リン含量の増加とともに大きくなり，飼料5区で最大となった。また，飼料6区では，飼料5区よりも小さくなった(図1)。増重率は，飼料4～6区で飼料1～3区に比べて有意に高くなった。日間給餌率は，飼料4区で最も多くなったが，各試験区間の有意差は認められなかった。日間成長率は，飼料1～5区でリン含量の増加に伴い高くなったが，飼料6区では飼料5区より低くなった。飼料効率率は飼料1～3区で低く，飼料4～6区でリン含量とともに

表5 飼育結果

	飼料1	飼料2	飼料3	飼料4	飼料5	飼料6
開始時平均体重(g)	39.0 ± 0.0	39.1 ± 0.1	39.1 ± 0.1	39.1 ± 0.1	39.0 ± 0.2	39.1 ± 0.1
終了時平均体重(g)	56.3 ± 1.7 ^a	56.5 ± 1.6 ^a	58.7 ± 3.4 ^{ab}	62.4 ± 1.0 ^{bc}	66.3 ± 2.4 ^c	64.0 ± 2.7 ^{bc}
増重率(%)	41.6 ± 6.3 ^a	43.6 ± 3.9 ^a	43.7 ± 0.8 ^a	59.7 ± 3.0 ^b	67.6 ± 1.2 ^b	63.8 ± 6.7 ^b
日間給餌率(%)	1.58 ± 0.0 ^a	1.54 ± 0.2 ^a	1.59 ± 0.3 ^a	1.50 ± 0.1 ^a	1.42 ± 0.0 ^a	1.37 ± 0.1 ^a
日間成長率(%)	0.73 ± 0.1 ^a	0.73 ± 0.1 ^a	0.80 ± 0.1 ^{ab}	0.92 ± 0.0 ^{bc}	1.04 ± 0.1 ^c	0.97 ± 0.1 ^{bc}
飼料効率(%)	44.6 ± 3.9 ^a	47.5 ± 3.1 ^a	47.8 ± 6.6 ^a	61.4 ± 6.8 ^{ab}	71.4 ± 0.6 ^b	71.2 ± 12.5 ^b
生残率(%)	92.5 ± 3.5 ^a	95.0 ± 0.0 ^a	87.5 ± 17.7 ^a	100.0 ± 0.0 ^a	97.5 ± 3.5 ^a	100.0 ± 0.0 ^a

平均値と標準偏差で示す。平均値は5尾の平均値を用いた。なお、終了時は2水槽から各5尾を取り出し平均値を求めた。同じ上付き文字を持つものは有意差のないことを示す(P<0.05)。

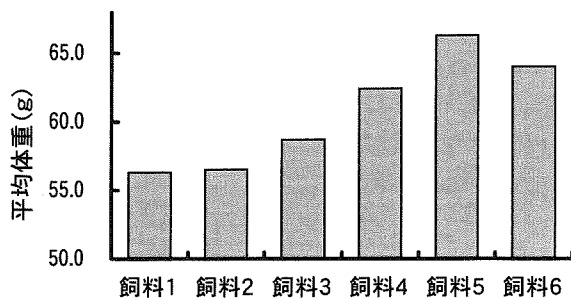


図1 試験終了時の平均魚体重

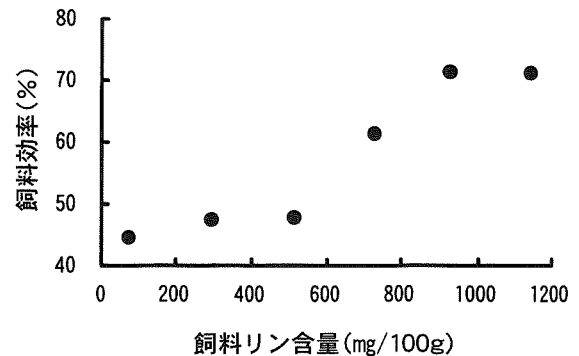


図2 飼料リン含量と飼料効率の関係

表6 全魚体、肝臓及び脊椎骨の一般成分及びリン含量

	開始時	飼料1	飼料2	飼料3	飼料4	飼料5	飼料6
全魚体							
水分(%)	65.9	62.2 ± 5.8 ^a	65.9 ± 0.6 ^{ab}	66.2 ± 0.1 ^{ab}	68.1 ± 2.5 ^{ab}	68.7 ± 0.3 ^{ab}	71.0 ± 3.7 ^b
粗タンパク(%)	19.6	18.2 ± 0.3 ^b	17.7 ± 0.3 ^{ab}	17.8 ± 0.1 ^{ab}	17.8 ± 0.2 ^{ab}	17.5 ± 0.1 ^a	17.6 ± 0.3 ^{ab}
粗脂質(%)	15.3	10.7 ± 0.5 ^{ab}	12.3 ± 2.0 ^b	10.8 ± 0.8 ^{ab}	9.9 ± 0.4 ^{ab}	9.6 ± 0.2 ^a	9.2 ± 0.2 ^a
粗灰分(%)	5.4	4.4 ± 0.1 ^a	4.9 ± 0.9 ^a	4.7 ± 0.3 ^a	4.7 ± 1.4 ^a	3.6 ± 0.1 ^a	5.2 ± 1.2 ^a
リン含量(mg/g)	9.3	7.5 ± 0.5 ^{ab}	8.4 ± 0.6 ^{ab}	10.9 ± 2.3 ^b	6.7 ± 1.2 ^a	9.5 ± 2.2 ^{ab}	10.1 ± 0.6 ^{ab}
HSI(%)	1.49	1.93 ± 0.0 ^a	2.02 ± 0.4 ^a	1.97 ± 0.1 ^a	1.64 ± 0.1 ^a	1.73 ± 0.1 ^a	1.60 ± 0.1 ^a
肝臓							
水分(%)	48.6	58.8 ± 2.0 ^{ab}	55.0 ± 0.4 ^a	57.4 ± 1.7 ^{ab}	57.9 ± 1.0 ^{ab}	59.8 ± 0.8 ^{ab}	61.3 ± 4.2 ^b
粗タンパク(%)	14	12.9 ± 0.3 ^b	10.6 ± 1.4 ^a	11.5 ± 0.4 ^{ab}	12.1 ± 0.4 ^{ab}	11.4 ± 0.6 ^{ab}	11.8 ± 1.3 ^{ab}
粗脂質(%)	18.9	18.5 ± 3.2 ^a	32.2 ± 9.1 ^b	22.6 ± 4.0 ^{ab}	17.5 ± 0.6 ^a	13.8 ± 0.3 ^a	17.6 ± 3.0 ^a
粗灰分(%)	1.4	1.6 ± 0.4 ^a	1.4 ± 0.1 ^a	1.4 ± 0.4 ^a	1.5 ± 0.1 ^a	1.4 ± 0.5 ^a	1.6 ± 0.1 ^a
脊椎骨							
水分(%)	66.3	56.5 ± 8.7 ^a	62.0 ± 0.0 ^a	67.1 ± 15.6 ^a	70.2 ± 3.3 ^a	60.2 ± 1.8 ^a	58.7 ± 1.5 ^a
粗タンパク(%)	29.9	39.5 ± 0.0 ^c	30.9 ± 1.3 ^b	30.5 ± 1.7 ^b	28.0 ± 0.7 ^a	26.3 ± 0.1 ^a	26.6 ± 0.1 ^a
粗脂質(%)	24.1	29.5 ± 3.2 ^a	34.4 ± 0.4 ^b	29.8 ± 0.7 ^a	31.4 ± 0.5 ^{ab}	29.4 ± 0.1 ^a	29.9 ± 0.9 ^a
粗灰分(%)	48.3	30.6 ± 3.3 ^a	33.7 ± 2.9 ^a	40.1 ± 0.3 ^b	40.4 ± 1.3 ^b	42.0 ± 1.0 ^b	41.4 ± 1.2 ^b
P(mg/g)	68.0	57.8 ± 6.7 ^a	64.3 ± 1.3 ^a	73.9 ± 1.5 ^b	73.7 ± 3.5 ^b	79.6 ± 0.9 ^b	78.4 ± 4.4 ^b
Ca(mg/g)	128	97 ± 14 ^a	107 ± 7 ^a	103 ± 6 ^a	111 ± 18 ^a	111 ± 24 ^a	111 ± 0 ^a
Mg(mg/g)	4.5	2.9 ± 0.4 ^a	2.8 ± 0.1 ^a	2.7 ± 0.2 ^a	3.2 ± 0.2 ^a	3.2 ± 0.5 ^a	3.1 ± 0.0 ^a
Zn(mg/g)	0.08	0.05 ± 0.01 ^a	0.05 ± 0.01 ^a	0.05 ± 0.00 ^a	0.05 ± 0.00 ^a	0.05 ± 0.00 ^a	0.05 ± 0.00 ^a

平均値と標準偏差で示す。平均値は5尾の平均値を用いた。なお、終了時は2水槽から各5尾を取り出し平均値を求めた。同じ上付き文字を持つものは有意差のないことを示す(P<0.05)。

に高くなったが、リン含量が926mg/100g以上の飼料5、6区では大きな差はなかった(図2)。

全魚体、肝臓、脊椎骨の分析結果を表6に示す。全魚体の水分含量は飼料中のリン含量の減少とともに減少する傾向がみられた。また、粗タンパク質含量は明瞭な差が認められなかったが、飼料リン含量の減少とともに増加する傾向がみられた。一方、粗脂質含量は、リン含量の最も少ない飼料1を除いて、飼料中のリン含量の減少とともに増加していく傾向が認められた。粗灰分含量とリン含量には差がみられなかった。

肝臓では、飼料リン含量の減少とともに、水分含量の減少、粗脂質含量の増加が認められた。しかし、飼料1区では飼料2区に比べて水分含量では高く、粗脂質含量では低くなった。粗タンパク質・粗灰分含量では差がみられなかった。HSI(肝重比)は飼料リン含量の低い試験区で高くなる傾向があったが、有意差はなかった。

脊椎骨では、水分含量は飼料リン含量の減少とともに飼料1~4区の間で減少したが、各試験区間には有意差は認められなかった。粗タンパク質含量は、飼料リン含量の減少とともに増加する傾向があった。

粗脂質含量は飼料2、4区で高くなったが、他の区ではあまり差はなかった。粗灰分含量とリン含量は、飼料1~3区で飼料リン含量の減少とともに減少する傾向が認められた(図3、4)が、飼料4~6区

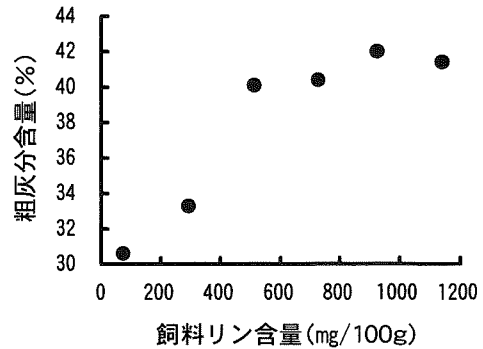


図3 飼料リン含量と脊椎骨の粗灰分含量の関係

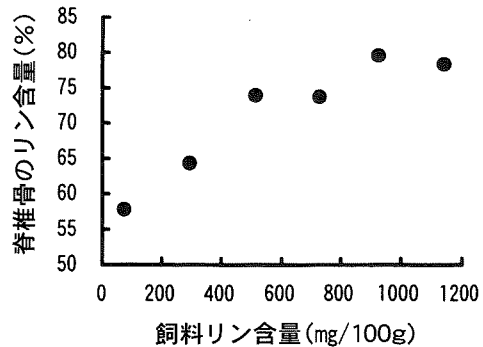


図4 飼料リン含量と脊椎骨のリン含量の関係

では大きな差はみられなかった。カルシウムは飼料1区で低く、飼料4～6区で高くなったが、有意差はみられなかった。マグネシウムは飼料1, 2, 3区で低く、飼料4, 5, 6区で高かったが有意差はみられなかった。亜鉛では試験区間の差が認められなかった。

Sakamotoらは、飼料リン含量の減少に伴って全魚体、背肉、肝臓及び脊椎骨の水分含量の減少と脂質含量の増加することを報告⁶⁾し、リンの欠乏が脂質の吸収を促進させるとしている⁷⁾。今回の試験でも全魚体、肝臓、脊椎骨について同様の結果が得られた。しかし、Sakamotoら⁶⁾は全魚体のタンパク質含量にはほとんど違いがないとしているが、ここでは明瞭ではないものの飼料リン含量の減少とともに粗タンパク質含量が増加し、脊椎骨でも粗タンパク質含量が増加する傾向がみられた(図5)。これらの結果はリンの過剰症としてタンパク質の吸収阻害を示唆するものと考えられる。

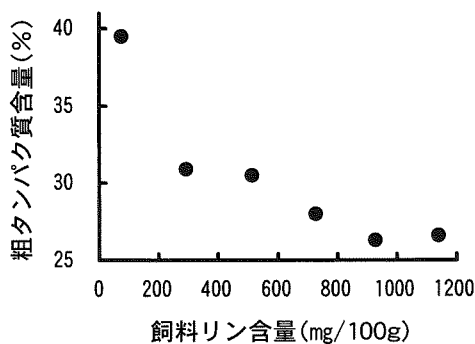


図5 脊椎骨における飼料リン含量と粗タンパク質含量の関係

血液性状分析結果を表7に示す。赤血球数とヘモグロビン量は飼料リン含量の減少とともに増加した。一方、平均赤血球容積は減少する傾向がみられた。平均赤血球ヘモグロビン濃度は、有意差はみられなかったもののいくぶん増加した。一方、平均赤血球ヘモグロビン量には大きな差はみられなかった。また、ヘマトクリット値は飼料リン含量の減少とともに高くなる傾向がみられたが、有意差はなかった。

血清成分分析結果を表8に示す。飼料リン含量の増加とともに総タンパク質、アルブミンが減少する傾向がみられ、リンの過剰によるタンパク質の吸収阻害が示唆された。また、トリグリセリドは飼料リン含量の低下とともに増加する傾向がみられたが、有意差は認められなかった。前述したようにリンの欠乏は脂質の吸収を促進するといわれているが、今回の結果はこのことを示唆していると考えられる。リン含量は飼料リン含量の減少とともに減少する傾向が認められた。グルコース、総コレステロール、カルシウム、リン脂質、亜鉛では変化は認められなかった。

Sakamotoら^{4, 5)}によると飼料リン含量の増加に伴う血清中の無機リン含量の増加と脊椎骨の灰分含量の増加から、血清中のリン含量の上昇が骨組織の石灰化を促進するとしているが、ここでも同様の結果が得られた(図6)。また、低いリン含量の餌を与え続けると、骨が脆くなり、石灰化が充分に行われないとし、この原因は骨組織への脂質の蓄積であるとしている⁶⁾。しかし、飼料リン含量の低下に伴う脊椎骨への脂質の明瞭な蓄積は確認できなかった。

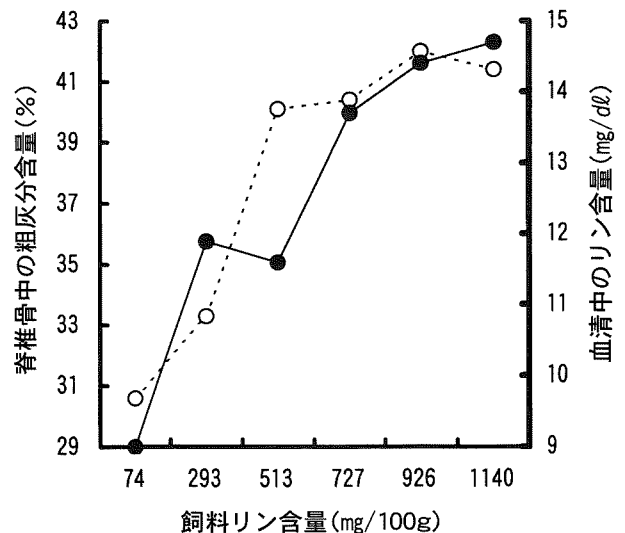


図6 飼料リン含量と脊椎骨の粗灰分、血清中のリン含量の関係

○：脊椎骨中の粗灰分含量(%)
●：血清中のリン含量(mg/dl)

表7 血液性状分析結果

	開始時	飼料1	飼料2	飼料3	飼料4	飼料5	飼料6
赤血球数	286.8 ± 25.1	302.3 ± 3.5 ^{ab}	318.1 ± 8.1 ^b	294.8 ± 17.6 ^{ab}	275.7 ± 14.0 ^a	276.8 ± 15.3 ^a	271.9 ± 24.2 ^a
RBC (10 ⁴ /μl)							
ヘモグロビン量	14.8 ± 0.6	14.7 ± 0.0 ^c	15.1 ± 0.4 ^c	13.7 ± 0.1 ^b	13.5 ± 0.3 ^{ab}	13.1 ± 0.3 ^{ab}	13.0 ± 0.4 ^a
HGB (g/dl)							
ヘマトクリット値	40.1 ± 4.1	39.5 ± 3.3 ^a	40.2 ± 2.5 ^a	39.2 ± 0.7 ^a	38.7 ± 1.6 ^a	39.9 ± 3.2 ^a	36.9 ± 1.9 ^a
HCT (%)							
平均赤血球容積	139.8 ± 12.2	129.8 ± 9.6 ^{ab}	126.2 ± 4.8 ^a	132.1 ± 4.7 ^{ab}	140.1 ± 0.7 ^{ab}	142.0 ± 4.2 ^a	136.6 ± 6.2 ^{ab}
MCV (fL)							
平均赤血球ヘモグロビン量	52.0 ± 4.4	48.6 ± 0.5 ^a	47.4 ± 0.1 ^a	47.6 ± 1.1 ^a	49.0 ± 1.3 ^a	47.4 ± 1.7 ^a	48.6 ± 2.7 ^a
MCH (pg)							
平均赤血球ヘモグロビン濃度	37.3 ± 4.2	37.7 ± 3.2 ^a	38.0 ± 1.5 ^a	36.2 ± 0.2 ^a	35.5 ± 1.0 ^a	34.1 ± 2.5 ^a	35.9 ± 0.5 ^a
MCHC (g/dl)							

平均値と標準偏差で示す。平均値は5尾の平均値を用いた。なお、終了時は2水槽から各5尾を取り出し平均値を求めた。同じ上付き文字を持つものは有意差のないことを示す(P<0.05)。

表8 血清成分分析結果

	開始時	飼料1	飼料2	飼料3	飼料4	飼料5	飼料6
総タンパク質	3.8	4.0 ± 0.2 ^c	4.2 ± 0.1 ^c	4.1 ± 0.1 ^c	3.9 ± 0.2 ^{bc}	3.6 ± 0.0 ^{ab}	3.5 ± 0.1 ^a
(g/dl)							
トリグリセリド	286.4	443.0 ± 62.5 ^a	423.2 ± 42.4 ^a	432.1 ± 96.0 ^a	367.0 ± 0.7 ^a	333.9 ± 21.7 ^a	346.9 ± 90.0 ^a
(mg/dl)							
アルブミン	1.0	1.1 ± 0.0 ^b	1.1 ± 0.0 ^b	1.0 ± 0.1 ^{ab}	1.0 ± 0.1 ^{ab}	1.0 ± 0.0 ^{ab}	0.9 ± 0.0 ^a
(g/dl)							
グルコース	91.0	46.4 ± 10.4 ^{ab}	32.5 ± 5.5 ^a	38.6 ± 1.6 ^{ab}	36.1 ± 10.8 ^{ab}	33.6 ± 2.9 ^a	51.9 ± 5.5 ^b
(mg/dl)							
総コレステロール	243.6	197.2 ± 7.0 ^a	189.1 ± 18.2 ^a	228.0 ± 51.3 ^a	199.4 ± 3.4 ^a	184.9 ± 3.8 ^a	188.3 ± 17.7 ^a
(mg/dl)							
カルシウム	18.8	18.9 ± 0.3 ^a	18.3 ± 1.0 ^a	18.5 ± 0.6 ^a	19.0 ± 0.7 ^a	18.4 ± 0.0 ^a	18.5 ± 0.0 ^a
(mg/dl)							
リン	12.6	9.0 ± 0.7 ^a	11.9 ± 0.4 ^b	11.6 ± 0.6 ^b	13.7 ± 0.6 ^c	14.4 ± 0.4 ^c	14.7 ± 0.3 ^c
(mg/dl)							
リン脂質	887.3	606.6 ± 7.0 ^a	667.0 ± 0.6 ^a	630.5 ± 117.2 ^a	697.2 ± 8.8 ^a	653.9 ± 39.8 ^a	641.1 ± 82.4 ^a
(mg/dl)							
亜鉛	711.7	1180.2 ± 598.8 ^a	950.5 ± 121.1 ^a	855.9 ± 140.1 ^a	1040.6 ± 375.8 ^a	761.3 ± 57.3 ^a	1121.7 ± 401.3 ^a
(μg/dl)							

平均値と標準偏差で示す。平均値は5尾の平均値を用いた。なお、終了時は2水槽から各5尾を取り出し平均値を求めた。同じ上付き文字を持つものは有意差のないことを示す(P<0.05)。

表9 脊椎骨湾曲及び頭部変形魚の出現率

	飼料1	飼料2	飼料3	飼料4	飼料5	飼料6
脊椎骨湾曲率(%)	48.8 ± 9.5 ^c	34.2 ± 3.7 ^{bc}	30.0 ± 14.1 ^{bc}	15.0 ± 7.1 ^{ab}	7.6 ± 3.4 ^a	7.5 ± 3.5 ^a
頭部変形率(%)	27.2 ± 8.7 ^b	15.8 ± 0.0 ^{ab}	11.7 ± 2.4 ^a	10.0 ± 7.1 ^a	10.0 ± 7.1 ^a	5.0 ± 0.0 ^a

平均値と標準偏差で示す。平均値は5尾の平均値を用いた。なお、終了時は2水槽から各5尾を取り出し平均値を求めた。同じ上付き文字を持つものは有意差のないことを示す(P<0.05)。

脊椎骨湾曲個体の比率と頭部変形個体の出現比率を表9に示す。脊椎骨湾曲個体の比率は、飼料リン含量の増加に伴い減少した。出現比率は飼料1～3区で30.0～48.8%と高く、飼料4～6区では15.0%以下になった。飼料1, 3区では第11-12椎骨が、飼料2区では第12-13椎骨が台形に変形し、背面方向への湾曲がみられた。しかし、腹面や側面への湾曲はみられなかった。頭部変形個体の出現比率は、飼料1区と有意差がなかったのは飼料2区のみで、

飼料リン含量の増加と共に減少する傾向がみられた。また、飼料リン含量の高い試験区で脊椎骨湾曲・頭部変形個体がみられたが、これは予備飼育期間中にリン含量の最も少ない飼料1を与えたために骨格のリン欠乏症状が発現したものと推察される。

今回の試験から得られた一連の結果から、マダイ稚魚におけるリン要求量は飼料3 (513mg/100g) と飼料4 (727mg/100g) の間にあると判断できる。この結果を基に折線分析法 (Broken line analysis)

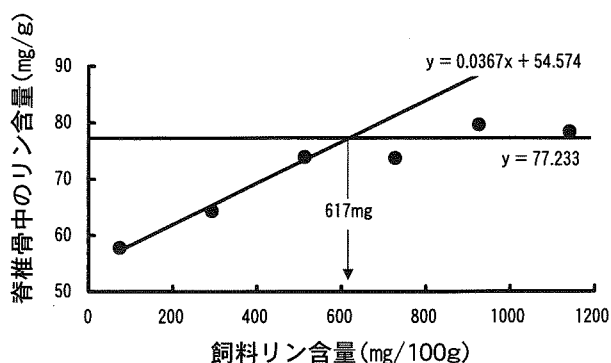


図7 飼料リン含量と脊椎骨中のリン含量の関係

でリンの要求量を求めた(図7)。その結果、マダイ稚魚におけるリンの要求量は617mgであると推定できる。

参 考 文 献

- 1) Brown, J.R., R.J.Gowen and D.S.McLusky (1987) : The effect of salmon farming on the benthos of a Scottish loch. *J.Exp.Mar.Biol.Ecol.* 109. 39-51.
- 2) 伊藤克彦 (1996) : 海面養殖における漁場環境とその問題点. 養殖(臨時増刊)環境対策マニュアル. 33-36.
- 3) 畑 幸彦 (1986) : 漁業からみた閉鎖性海域の窒素・リン規制 (日本水産学会編). 恒星社厚生閣, 東京, PP155.
- 4) 木村創・木下浩樹 (2002) : 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報告, 35 : 51-62.
- 5) Syuichi Sakamoto, Yasuo Yone (1973) : Effect of Dietary Calcium/Phosphorus Ratio upon Growth, Feed Efficiency and Blood Serum Ca and P Level in Red Sea Bream. *Bull.Japan.Soc.Sci.Fish.*, 39(4):343-348.
- 6) Syuichi Sakamoto, Yasuo Yone (1978) : Effect of Dietary Phosphorus Level on

Chemical Composition of Red Sea Bream. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, 44(3):227-229.

7) Syuichi Sakamoto, Yasuo Yone (1980) : A Principal Source of Deposited Lipid in Phosphorus Deficient Red Sea Bream. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, 46(10):1227-1230.