

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・伊藤翔太郎

1. 共通試験

養殖漁業は過密と過給による飼育に陥りがちで、その結果残餌や魚類の糞・尿から溶出する窒素・リンが原因となって漁場環境が悪化し^{1,2)}、赤潮・貧酸素水塊の発生、魚病が多発し、生産性の低下を招いている^{3,4)}。

本事業は海面魚類養殖における環境負荷低減を図るため、窒素とリンの排出が少ない配合飼料を開発することを目的としている。マダイ・ブリの飼料においてはリンを添加しなくても成長に影響しないことが示唆された⁵⁾。また、魚粉の一部を植物タンパクに置き換えた飼料を使用することによりリンの排出量が削減されるものの⁶⁾、魚の成長も低下させるが、この飼料にクエン酸を添加することによりリンの利用率、飼育成績が改善されることが明らかとなった⁷⁾。このようなことから今年度は魚粉の30%を植物性タンパク質に置き換えた飼料を用いてクエン酸の至適添加濃度を求めることを目的とした。

材 料 及 び 方 法

供試魚：2005年に種苗生産され、6月14日から6月22日まで当研究所の海面生け簀で市販のEP飼料を用いて中間育成後、6月22日にイリドウィルスワクチンを接種、その後試験飼料B(表1)で12日間予備飼育したマダイ当歳魚を用いた。

試験飼料：表1に示す共通試験飼料A～Dを用いた。試験飼料Aは魚粉を50%配合した対照飼料、飼料Bは飼料Aに配合した魚粉の30%をリン含量の低い大豆粕・コーングルテンミールに置き換えた代替タンパク飼料、飼料C、Dは飼料Bにクエン酸

表1 配合飼料組成並びに分析結果(%)

	飼料A	飼料B	飼料C	飼料D
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	7.5	7.0
タピオカ	15	15	15	15
ビタミン	2	2	2	2
Pフリーミネラル	1	1	1	1
クエン酸	0	0	0.5	1.0
魚油	10	10	10	10
大豆油	4	5	5	5
成分分析結果				
3mmサイズ				
水分 (%)	2.1	2.8	2.6	2.5
粗蛋白 (%)	46.3	42.7	42.7	43.2
粗脂肪 (%)	22.3	23.1	22.4	22.4
粗灰分 (%)	9.0	7.7	7.5	8.1
リン(%)	1.33	0.98	0.94	0.98
5mmサイズ				
水分 (%)	4.1	2.3	2.6	1.7
粗蛋白 (%)	44.7	45.3	44.6	44.8
粗脂肪 (%)	20.1	20.6	20.5	20.9
粗灰分 (%)	8.9	7.5	7.3	7.5
リン(%)	1.27	1.05	1.03	1.05

をそれぞれ0.5%、1.0%添加した。

飼育試験：4飼料のDuplicationで8区を設定し、各区260～250尾ずつを海面生け簀(3×3×3m)に收容した。試験飼料Aを1区と5区、試験飼料Bを2区と6区、試験飼料Cを3区と7区、試験飼料Dを4区と8区に給餌し、7月5日～11月21日まで飼育試験を実施した。7月5日～9月10日まで飽食給餌とし、土曜日は朝1回、日曜日は無給餌、他の日は朝夕2回の給餌とした。9月11日～10月20日まではイリドウィルス病による斃死が継続したことから朝1回の制限給餌とした(日曜日は無給餌)。10月21日以降は日曜日を除き、朝1回の飽食給餌とした。全測定はほぼ4週ごとの8月1日、8月29日、9月29日、10月27日、11月21日に行い、試験開始時と中間時の8月29日、試験終了時に

*養殖漁場環境保全推進事業費による

は各区から10尾ずつを取り上げ個体毎の尾叉長と魚体重を測定し、肥満度を算出した。

血液性状並びに血漿成分分析:試験開始時と試験終了時に各区から10尾ずつ無作為に取り上げ、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と血漿成分について測定した。血漿成分は総タンテロール、トリグリセライド、アルカリホスファターゼ、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。

魚体の成分分析:試験開始時、試験中間時の8月29日と試験終了に各区から5尾を無作為に取り上げ、その全てを磨砕し、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日本油脂検査協会で行った。

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魚体への蓄積率と負荷量を下記の式を用いて算出した。

$$N \text{ or } P \text{ 蓄積率 (\%)} = (\text{魚体の } N \text{ or } P \text{ 蓄積量}) / (\text{魚体の } N \text{ or } P \text{ 摂取量}) \times 100$$

$$N \text{ or } P \text{ 負荷量 (T-N or T-P, kg/生産量 t)} = \frac{(Bf \times Nbf \text{ (or } Pbf) - Bi \times Nbi \text{ (or } Pbi)})}{(Bf - Bi)}$$

- F: 1尾当たりの給餌量 (g)
- Nf: 飼料中のN含有量 (%)
- Pf: 飼料中のP含有量 (%)
- Bi: 実験開始時の魚体重 (g)
- Bf: 実験終了時の魚体重 (g)
- Nbi: 実験開始時の魚体N含有量 (%)
- Pbi: 実験開始時の魚体P含有量 (%)
- Nbf: 実験終了時の魚体N含有量 (%)
- Pbf: 実験終了時の魚体P含有量 (%)
- C: 増肉係数

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%で有意差を判定した。

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。試験開始から9月中旬頃までは平年より1~2℃低めに推移したが、それ以降はやや高めに推移した。試験開始直後に斃死が目立ち、飼育開始2週間でいずれの区においても16~36尾の斃死が認められた。これは測定にやや手間取ったことが原因ではないかと考えられる。また、9月10日頃からイリドウィルス病による斃死が目立ち初め、10月20日まで継続し、この期間の各区の斃死尾数は1区38尾、5区11尾、2区22尾、6区41尾、3区17尾、7区14尾、4区41尾、8区42尾となり、飼料B、飼料Dの試験区で斃死が目立った。

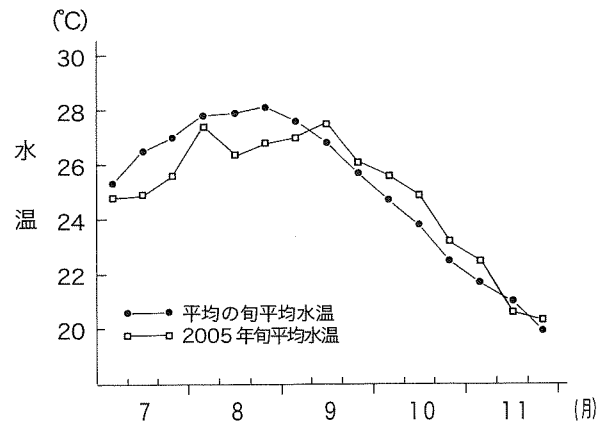


図1 飼育期間中の旬平均水温の推移

飼育成績を表2、飼育期間中の魚体重の推移を図2に示す。今回の試験では全ての飼料間で成長差は認められなかった。試験終了時の各飼料の平均体重は飼料A (146.0g) > 飼料B (144.0g) > 飼料D (139.2g) > 飼料C (137.4g) の順とはなかったが、有意差は認められなかった。

日間摂餌量は嗜好性が高いと考えられる飼料Dが1.32とその他の飼料 (1.16~1.28) と比較してやや高くなる傾向にあった。飼料A, B, Cは短時間で摂餌を終えるが、飼料Dは長時間摂餌が継続することが多かった。

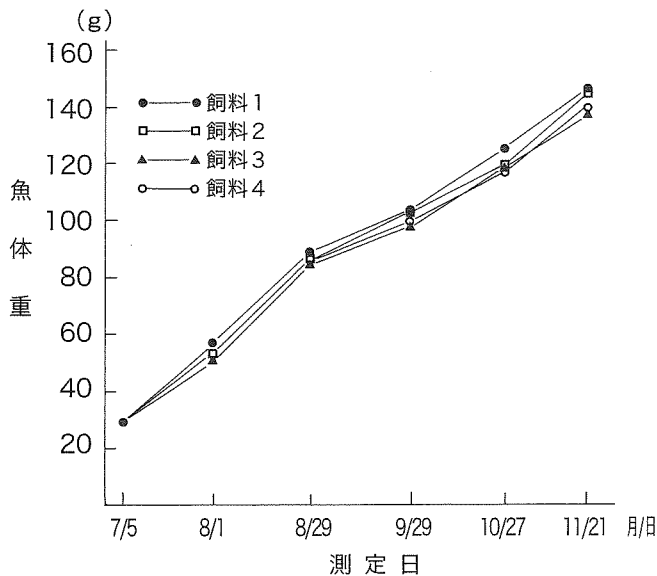


図2 共通試験における飼料別の平均魚体重の推移

試験終了時の増重倍率は平均体重の結果と同様、飼料A (5.04) > 飼料B (5.03) > 飼料D (4.85) > 飼料C (4.69) の順となったが、各飼料間に有意差は認められなかった。

全試験期間を通した増肉係数は飼料A (1.14) < 飼料B (1.18) < 飼料C (1.21) < 飼料D (1.28) の順となったが、飼料間に有意差は認められなかった。

16年度までの飼育結果からすると、魚粉を多く配合した飼料Aが魚粉の一部を植物性タンパク質に置き換えた飼料Bより成長や増肉係数が良好であることが示されているが⁶⁾、今回の試験においてはどの項目においても有意差は認められなかった。これは同じ飼料間において3期以降体重差が出てきたため安定した数値を得ることができなかったうえ、制限給餌を行ったことによりいずれの試験区も成長不良となり、結果として使用した飼料の優劣を明らかにすることができなかった。

表3に飼料別の肥満度の推移を示す。試験開始当初は20.99とやや低めであったが、中間時の8月29日にはいずれの試験区においても増加が認められ、試験終了時には3期以降の摂餌量が低下したこ

とからやや低くなる傾向が認められた。また、飼料間において有意な差はなかった。

血液性状並びに血漿成分分析:血液性状検査結果を表4に血漿成分分析結果を表5に示す。血液性状ではいずれの項目も試験開始時より終了時が高くなり、各飼料間では有意差は認められなかった。しかし、飼料A、飼料Cは同じ飼料間で値に大きな差は認められなかったが、飼料Bや飼料Dでは同じ餌を与えている2区間に大きな差が認められた。血漿成分分析結果においてはクエン酸添加区(飼料C・D区)でグルコースが低く、尿素窒素・アミラーゼ活性が高くなる傾向が認められたが、いずれの分析項目についても飼料間の有意差は認められなかった。リンについてはいずれの飼料区においても試験開始時より低くなった。

魚体の成分分析:魚体の成分分析結果を表6に示す。試験開始時は水分が69.7%とやや高く、脂肪が9.0%、リンが0.76%と低かったが、その後水分は低く、脂肪・リン量は高くなった。飼料別には試験終了時に灰分量が飼料Cで他の3区と比較して平均が6.2%と有意に高かったが、タンパク、脂肪、窒素については有意な差は認められなかった。リンについては中間時、終了時ともに飼料Dがやや低い傾向が認められたが、有意な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:窒素とリンの蓄積率、負荷量を表7, 8に示す。飼育全期間を通した窒素蓄積率は飼料Dが29.09%と最も低く、他の飼料間では差は認められなかった。負荷量は飼料Aが55.63kg/生産量tと最も低く、次いで飼料B、飼料Cと続き、飼料Dが63.78kg/生産量tと最も高かったが、各飼料間で有意な差は認められなかった。

全期間を通したリンの蓄積率は飼料Bが72.08%と最も高く、次いで飼料Cが70.31%、飼料Dが62.75%となり、飼料Aが54.70%と最も低くなった。負荷量は飼料Aが6.47kg/生産量tと最も高く、次いで飼料Dが4.51kg/生産量t、飼料C

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	斃死率 (%)			
			開始時	終了時										
			1期		7月5日~7月31日			(給餌日数 23日)						
A	1	260	28.6	56.5	a	2.36	7,030.8	1.98	a	6,992	0.97	a	16	6.15
	5	250	29.3	56.5		2.48	6,460.0	1.93		6,960	1.05		25	10.00
B	2	260	28.3	53.0	a	2.50	6,113.3	1.87	a	7,000	1.11	a	25	9.62
	6	250	29.0	53.0		2.66	5,688.0	1.83		7,180	1.23		26	10.40
C	3	250	29.8	55.2	a	2.48	5,994.4	1.85	a	6,890	1.12	a	28	11.20
	7	260	28.8	51.2		2.52	5,611.2	1.78		7,000	1.22		19	7.31
D	4	260	28.7	52.2	a	2.57	5,687.0	1.82	a	6,980	1.20	a	36	13.85
	8	260	28.7	48.9		2.64	4,979.3	1.70		6,980	1.37		27	10.38
			2期		8月1日~8月29日			(給餌日数 25日)						
A	1	244	56.5	86.5	a	1.88	7,305.0	1.53	a	9,700	1.30	a	1	0.41
	5	225	56.5	90.3		2.00	7,520.5	1.60		9,700	1.26		5	2.22
B	2	235	53.0	83.5	a	2.03	7,167.5	1.58	a	9,700	1.32	a	0	0.00
	6	224	53.0	88.0		2.06	7,822.5	1.66		9,700	1.21		1	0.45
C	3	222	55.2	88.2	a	2.05	7,260.0	1.60	a	9,650	1.29	a	4	1.80
	7	241	51.2	83.8		2.01	7,807.7	1.64		9,660	1.21		3	1.24
D	4	224	52.2	86.6	a	2.10	7,533.6	1.66	a	9,500	1.23	a	10	4.46
	8	233	48.9	83.0		2.15	7,826.0	1.70		9,700	1.21		7	3.00
			3期		8月30日~9月28日			(給餌日数 22日)						
A	1	233	86.5	101.4	a	1.05	3,330.2	1.17	a	6,750	1.98	a	19	8.15
	5	210	90.3	105.8		1.07	3,255.0	1.17		6,750	2.03		0	0.00
B	2	225	83.5	100.0	a	1.05	3,613.5	1.20	a	6,500	1.75	a	12	5.33
	6	213	88.0	105.4		1.06	3,627.9	1.20		6,620	1.77		9	4.23
C	3	208	88.2	98.6	a	1.12	2,163.2	1.12	a	6,700	3.02	a	0	0.00
	7	228	83.8	97.3		1.08	3,024.0	1.16		6,750	2.17		8	3.51
D	4	204	86.6	100.0	a	1.32	2,566.1	1.15	a	7,270	2.76	a	25	12.25
	8	216	83.0	98.5		1.23	3,169.8	1.19		7,000	2.15		23	10.65
			4期		9月29日~10月26日			(給餌日数 22日)						
A	1	204	101.4	119.0	a	0.87	3,423.2	1.17	a	5,440	1.52	a	19	9.31
	5	200	105.8	130.0		0.81	4,706.9	1.23		5,440	1.11		11	5.50
B	2	203	100.0	119.1	a	0.87	3,781.8	1.19	a	5,430	1.40	a	10	4.93
	6	194	105.4	118.2		0.94	2,278.4	1.12		5,360	2.30		32	16.49
C	3	198	98.6	121.0	a	0.91	4,244.8	1.23	a	5,420	1.24	a	17	8.59
	7	210	97.3	114.9		0.86	3,643.2	1.18		5,420	1.45		6	2.86
D	4	169	100.0	116.6	a	1.07	2,672.6	1.17	a	5,320	1.96	a	16	9.47
	8	183	98.5	117.2		1.02	3,244.5	1.19		5,410	1.64		19	10.38
			5期		10月27日~11月20日			(給餌日数 20日)						
A	1	175	119.0	141.4	a	0.95	3,908.8	1.19	a	5,600	1.37	a	1	0.57
	5	179	130.0	150.6		0.86	3,677.1	1.16		5,600	1.47		1	0.56
B	2	183	119.1	142.0	a	0.92	4,167.8	1.19	a	5,600	1.31	a	2	1.09
	6	152	118.2	146.0		1.10	4,170.0	1.24		5,600	1.31		4	2.63
C	3	171	121.0	143.8	a	0.97	3,876.0	1.19	a	5,600	1.41	a	2	1.17
	7	194	114.9	130.9		0.92	3,104.0	1.14		5,600	1.76		0	0.00
D	4	143	116.6	141.1	a	1.20	3,484.7	1.21	a	5,600	1.58	a	2	1.40
	8	154	117.2	137.2		1.14	3,060.0	1.17		5,650	1.82		2	1.30
			全期間		7月5日~11月21日			(給餌日数 112日)						
A	1	260	28.6	141.4	a	1.21	28,719.6	4.94	a	34,482	1.17	a	56	21.54
	5	250	29.3	150.6		1.16	30,476.2	5.14		34,450	1.10		42	16.80
B	2	260	28.3	142.0	a	1.19	29,330.9	5.02	a	34,230	1.14	a	49	18.85
	6	250	29.0	146.0		1.28	27,663.0	5.03		34,460	1.21		72	28.80
C	3	250	29.8	143.8	a	1.22	28,197.0	4.83	a	34,260	1.18	a	51	20.40
	7	260	28.8	130.9		1.24	27,103.7	4.55		34,430	1.24		36	13.85
D	4	260	28.7	141.1	a	1.32	26,778.4	4.92	a	34,670	1.27	a	89	34.23
	8	260	28.7	137.2		1.32	26,467.0	4.78		34,740	1.28		78	30.00

同じ列の同じ上付き文字を持つ試験飼料間には有為差は認められない(P<0.05)

表3 飼育試験における肥満度の推移

		開始時	中間時(8月29日)	終了時(11月21日)
飼料A	1区	20.99 ± 2.21	24.45 ± 1.28	21.72 ± 6.60
	5区	20.99 ± 2.21	24.58 ± 1.06	23.41 ± 1.01
飼料B	2区	20.99 ± 2.21	23.86 ± 2.12	22.99 ± 1.68
	6区	20.99 ± 2.21	23.94 ± 1.36	23.06 ± 1.45
飼料C	3区	20.99 ± 2.21	24.34 ± 1.96	22.89 ± 1.60
	7区	20.99 ± 2.21	24.90 ± 1.49	23.95 ± 6.20
飼料D	4区	20.99 ± 2.21	24.32 ± 1.41	23.35 ± 2.13
	8区	20.99 ± 2.21	22.43 ± 5.07	23.27 ± 1.56

表4 試験終了時における血液性状検査結果

		ヘマトクリット値 (%)	ヘモグロビン量 (g/dl)	赤血球数 (10 ⁴ /mm ³)	
開始時		29.3 ± 2.94	3.59 ± 0.62	259.6 ± 28.74	
終	飼料A	1区	37.4 ± 6.97 ^a	7.19 ± 0.50 ^a	351.8 ± 85.00 ^a
		5区	39.1 ± 3.79	7.64 ± 0.58	360.3 ± 35.25
了	飼料B	2区	35.1 ± 3.07 ^a	7.46 ± 0.92 ^a	364.0 ± 26.14 ^a
		6区	29.5 ± 4.09	5.90 ± 0.93	332.6 ± 29.71
時	飼料C	3区	33.8 ± 3.33 ^a	7.27 ± 1.23 ^a	328.3 ± 35.90 ^a
		7区	36.7 ± 5.64	7.69 ± 1.49	330.3 ± 84.04
	飼料D	4区	35.0 ± 3.74 ^a	7.18 ± 1.44 ^a	372.1 ± 49.22 ^a
		8区	31.2 ± 3.91	7.56 ± 1.93	354.0 ± 34.44

同じ列の同じ上付き文字を持つ試験飼料間には有為差は認められない(P<0.05)

表5 試験終了時における血漿成分分析結果

		血漿タンパク量 (mg/dl)	グルコース (mg/dl)	総コレステロール (mg/dl)	トリグリセライド ^a (mg/dl)	尿素・窒素 (mg/dl)	アミラーゼ ^a (U/l)	
開始時		2.7 ± 0.28	73.6 ± 18.35	156.6 ± 13.59	168.0 ± 15.76	5.0 ± 0.37	50.2 ± 14.32	
終	飼料A	1区	3.9 ± 0.51 ^a	88.4 ± 34.26 ^a	312.0 ± 45.13 ^a	165.9 ± 40.62 ^a	4.2 ± 0.67 ^a	123.2 ± 45.74 ^a
		5区	3.7 ± 0.54	64.7 ± 12.93	285.7 ± 83.32	179.6 ± 58.51	5.0 ± 0.64	135.7 ± 57.03
了	飼料B	2区	3.7 ± 0.25 ^a	62.8 ± 11.46 ^a	244.1 ± 42.02 ^a	148.1 ± 41.37 ^a	4.6 ± 0.94 ^a	128.8 ± 56.62 ^a
		6区	3.4 ± 0.29	96.3 ± 37.96	205.0 ± 38.08	170.6 ± 62.83	5.4 ± 0.74	105.3 ± 26.05
時	飼料C	3区	4.1 ± 0.33 ^a	56.3 ± 12.37 ^a	236.9 ± 29.97 ^a	173.7 ± 80.18 ^a	5.3 ± 0.96 ^a	137.0 ± 58.20 ^a
		7区	4.2 ± 0.38	54.5 ± 13.57	286.7 ± 41.03	139.5 ± 52.00	5.3 ± 1.26	172.9 ± 89.02
	飼料D	4区	3.9 ± 0.55 ^a	53.6 ± 6.35 ^a	236.3 ± 42.53 ^a	119.7 ± 32.64 ^a	5.7 ± 1.02 ^a	147.3 ± 55.53 ^a
		8区	3.8 ± 0.25	56.4 ± 8.46	224.7 ± 20.14	154.9 ± 42.69	5.8 ± 1.32	114.4 ± 36.58

		アルカリホスファターゼ ^a (U/l)	GOT (U/l)	GPT (U/l)	カルシウム (mg/dl)	マグネシウム (mg/dl)	リン (mg/dl)	
開始時		128.4 ± 44.43	41.8 ± 16.04	10.4 ± 1.67	11.9 ± 0.83	2.0 ± 0.48	20.1 ± 2.20	
終	飼料A	1区	164.2 ± 57.45 ^a	43.7 ± 23.08 ^a	14.1 ± 1.09 ^a	14.0 ± 0.57 ^a	1.7 ± 0.17 ^a	15.3 ± 4.37 ^a
		5区	150.6 ± 41.54	41.7 ± 15.84	9.0 ± 7.30	15.0 ± 0.73	2.0 ± 0.13	12.7 ± 1.20
了	飼料B	2区	169.6 ± 59.70 ^a	42.6 ± 25.43 ^a	9.4 ± 4.60 ^a	13.7 ± 1.00 ^a	2.0 ± 0.42 ^a	13.2 ± 1.24 ^a
		6区	166.5 ± 66.26	35.6 ± 14.80	8.0 ± 4.00	13.4 ± 0.47	1.8 ± 0.28	13.5 ± 0.80
時	飼料C	3区	137.6 ± 24.54 ^a	47.8 ± 19.80 ^a	10.4 ± 4.75 ^a	14.1 ± 1.03 ^a	1.7 ± 0.17 ^a	12.8 ± 1.22 ^a
		7区	220.9 ± 76.01	41.7 ± 15.84	10.1 ± 3.35	14.1 ± 0.52	2.0 ± 0.13	14.3 ± 1.67
	飼料D	4区	135.6 ± 71.95 ^a	38.9 ± 19.40 ^a	12.3 ± 6.67 ^a	14.4 ± 0.65 ^a	2.0 ± 0.42 ^a	13.3 ± 1.64 ^a
		8区	104.5 ± 46.15	33.0 ± 14.13	11.3 ± 4.57	14.2 ± 0.41	1.8 ± 0.28	11.9 ± 1.41

同じ列の同じ上付き文字を持つ試験飼料間には有為差は認められない(P<0.05)

表6 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)	
7/5	開始時	69.7	16.8	9.0	4.4	2.7	760	
8/29	飼料A	1区	63.0 ^a	17.1 ^a	14.9 ^a	4.8 ^a	2.7 ^a	840 ^a
		5区	62.0	17.1	16.0	4.8	2.7	860
	飼料B	2区	62.7 ^a	16.4 ^a	16.2 ^a	4.5 ^a	2.6 ^a	810 ^a
		6区	62.3	16.7	16.7	4.2	2.7	780
	飼料C	3区	62.9 ^a	16.4 ^a	16.2 ^a	4.3 ^a	2.6 ^a	830 ^a
		7区	62.3	16.5	16.6	4.5	2.6	840
	飼料D	4区	63.1 ^a	17.0 ^a	15.5 ^a	4.3 ^a	2.7 ^a	780 ^a
		8区	62.4	17.1	15.7	4.7	2.7	800
11/21	飼料A	1区	63.4 ^a	17.1 ^a	14.0 ^a	5.4 ^a	2.7 ^a	840 ^a
		5区	62.6	16.9	16.2	4.2	2.7	790
	飼料B	2区	62.2 ^a	17.0 ^a	15.7 ^a	4.9 ^a	2.7 ^a	850 ^a
		6区	62.1	16.8	16.3	4.5	2.7	820
	飼料C	3区	59.9 ^a	17.2 ^a	16.6 ^a	6.3 ^b	2.8 ^a	870 ^a
		7区	61.6	16.7	15.6	6.0	2.7	850
	飼料D	4区	61.7 ^a	17.1 ^a	16.2 ^a	4.8 ^a	2.7 ^a	800 ^a
		8区	62.1	16.7	16.2	4.7	2.7	790

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 共通試験における窒素負荷量の推定

試験 期間	試験 飼料	試験 区	飼料中		終了時	開始時	終了時	開始時	蓄積率 (%)	負荷量 kg/ton	
			総給餌量 F	増肉係数 C	窒素含量 Nf	魚体重 Bf	魚体重 Bi	魚体窒素 Nbf			魚体窒素 Nbi
1~2期 7月5日 ~ 8月29日	A	1	66.37	1.12	7.41	86.5	28.6	2.70	2.70	30.77 ^a	55.99 ^a
		5	70.89	1.14	7.41	90.3	29.3	2.70	2.70	30.34	57.47
	B	2	67.47	1.19	6.99	83.5	28.3	2.60	2.70	28.73 ^a	57.69 ^a
		6	71.37	1.18	6.99	88.0	29.0	2.70	2.70	30.89	55.48
	C	3	70.68	1.18	7.01	88.2	29.8	2.60	2.70	28.91 ^a	57.23 ^a
		7	66.91	1.18	7.01	83.8	28.8	2.60	2.70	28.76	57.24
	D	4	69.54	1.17	7.06	86.6	28.7	2.70	2.70	30.75 ^a	55.60 ^a
		8	68.64	1.23	7.06	83.0	28.7	2.70	2.70	29.18	59.84
3~5期 8月30日 ~ 11月21日	A	1	83.33	1.13	7.05	141.4	86.5	2.70	2.70	32.14 ^a	56.66 ^a
		5	87.21	1.07	7.15	150.6	90.3	2.70	2.70	33.78	51.65
	B	2	82.30	1.18	7.25	142.0	83.5	2.60	2.60	35.14 ^a	54.22 ^a
		6	92.28	1.19	7.25	146.0	88.0	2.70	2.70	30.84	60.73
	C	3	89.27	1.19	7.14	143.8	88.2	2.60	2.60	35.03 ^a	53.08 ^a
		7	80.41	1.27	7.14	130.9	83.8	2.60	2.60	30.51	59.76
	D	4	99.67	1.34	7.17	141.1	86.6	2.70	2.70	27.68 ^a	63.68 ^a
		8	93.07	1.28	7.17	137.2	83.0	2.70	2.70	28.81	64.39
全期間 7月5日 ~ 11月21日	A	1	148.63	1.17	7.28	141.4	28.6	2.70	2.70	30.89 ^a	58.18 ^a
		5	150.44	1.10	7.28	150.6	29.3	2.70	2.70	32.81	53.08
	B	2	145.35	1.14	7.12	142.0	28.3	2.60	2.70	32.44 ^a	55.42 ^a
		6	161.03	1.21	7.12	146.0	29.0	2.70	2.70	30.44	59.15
	C	3	152.61	1.18	7.08	143.8	29.8	2.60	2.70	32.86 ^a	57.81 ^a
		7	142.27	1.24	7.08	130.9	28.8	2.60	2.70	30.02	62.07
	D	4	160.88	1.27	7.12	141.1	28.7	2.70	2.70	29.29 ^a	63.42 ^a
		8	157.19	1.28	7.12	137.2	28.7	2.70	2.70	28.89	64.14

同じ列の同じ上付き文字を持つ試験飼料間には有為差は認められない(P<0.05)

表8 共通試験におけるリン負荷量の推定

試験 期間	試験 飼料	試験 区	総給餌量 F	増肉係数 C	餌料中	終了時	開始時	終了時	開始時	蓄積率 (%)	負荷量 kg/ton
					リン含量 Pf	魚体重 Bf	魚体重 Bi	魚体リン Pbf	魚体リン Pbi		
1~2期 7月5日 ~ 8月29日	A	1	66.37	1.12	1.330	86.5	28.6	0.83	0.76	57.78 ^a	6.25 ^a
		5	70.89	1.14	1.330	90.3	29.3	0.86	0.76	58.94	6.08
	B	2	67.47	1.19	0.982	83.5	28.3	0.81	0.76	69.87 ^b	3.33 ^b
		6	71.37	1.18	0.982	88.0	29.0	0.78	0.76	66.67	3.69
	C	3	70.68	1.18	0.937	88.2	29.8	0.83	0.76	76.31 ^c	2.40 ^c
		7	66.91	1.18	0.937	83.8	28.8	0.84	0.76	77.28	2.24
	D	4	69.54	1.17	0.982	86.6	28.7	0.78	0.76	67.20 ^{bd}	3.59 ^{bd}
		8	68.64	1.23	0.982	83.0	28.7	0.80	0.76	66.40	3.87
3~5期 8月30日 ~ 11月21日	A	1	83.33	1.13	1.270	141.4	86.5	0.84	0.83	56.29 ^a	6.46 ^a
		5	87.21	1.07	1.270	150.6	90.3	0.79	0.86	49.77	7.12
	B	2	82.30	1.18	1.050	142.0	83.5	0.85	0.81	77.24 ^b	2.90 ^b
		6	92.28	1.19	1.050	146.0	88.0	0.82	0.78	68.47	3.90
	C	3	89.27	1.19	1.030	143.8	88.2	0.87	0.83	73.22 ^b	2.82 ^b
		7	80.41	1.27	1.030	130.9	83.8	0.84	0.84	64.34	4.09
	D	4	99.67	1.34	1.050	141.1	86.6	0.80	0.78	57.85 ^c	5.02 ^c
		8	93.07	1.28	1.050	137.2	83.0	0.79	0.80	56.62	5.69
全期間 7月5日 ~ 11月21日	A	1	148.63	1.17	1.300	141.4	28.6	0.84	0.76	55.14 ^a	6.61 ^a
		5	150.44	1.10	1.300	150.6	29.3	0.79	0.76	54.25	6.33
	B	2	145.35	1.14	0.984	142.0	28.3	0.85	0.76	75.98 ^b	2.49 ^b
		6	161.03	1.21	0.984	146.0	29.0	0.82	0.76	68.18	3.56
	C	3	152.61	1.18	1.016	143.8	29.8	0.87	0.76	72.83 ^b	3.00 ^b
		7	142.27	1.24	1.016	130.9	28.8	0.84	0.76	67.79	3.84
	D	4	160.88	1.27	0.984	141.1	28.7	0.80	0.76	63.67 ^a	4.39 ^c
		8	157.19	1.28	0.984	137.2	28.7	0.79	0.76	61.82	4.62

同じ列の同じ上付き文字を持つ試験飼料間には有為差は認められない(P<0.05)

が3.42 kg/生産量tとなり、飼料Bが3.03kg/生産量tと最も低くなった。リンの蓄積率は飼料A・D、飼料B・Cのそれぞれ間では有意差は認められなかったが、この両者では飼料B・Cが有意に高くなった(P<0.05)。また、負荷量も飼料B・Cは他の飼料に比較して低くなった(P<0.05)。このことから魚粉の配合率の高い飼料よりも植物タンパクを併用した飼料は蓄積率が改善されるとともに負荷量が低くなることが明らかとなった。また、クエン酸の添加量については0.5%が1%より蓄積率が高くなるとともに負荷量も少なくなる傾向が認められた。

2 個別試験

養殖業は生産性を高めるために高密度飼育を行う

傾向があるが餌料効率の低下、成長不良、魚病発生
の長期化による高死亡率等の弊害が報告されている。本試験ではマダイ当歳魚の至適密度を把握することを目的として飼育密度別試験を行った。

材料及び方法

供試魚：共通試験に用いたマダイ当歳魚を用いた。

飼育試験：海面生け簀(3×3×3m)内に通常業者が養殖を開始する時とほぼ同様の500尾を収容したI区、749尾を収容したII区を設定した(高密度試験区)。試験開始時の平均体重はI、II区それぞれ29.2g、30.2gで、表9に示す成分内容の市販配合飼料を与えた。また、低密度区は共通試験

表9 配合飼料分析結果 (%)

	試験飼料A 市販飼料	
水分	3.1	7.3
粗蛋白	45.5	47.6
粗脂肪	21.2	13.1
粗灰分	9.0	13.2
窒素	7.3	7.6
リン	1.3	1.5

で実施した1生け簀当たり250尾収容し、飼料を与えた5区のデータを用いた。7月5日～9月10日までは飽食給餌とし、土曜日は朝1回、日曜日は無給餌とし、他の日は朝・夕2回の給餌とした。9月11日～10月20日まではイリドウィルス病により斃死が継続したことからこの期間は朝1回の制限給餌とした。10月21日以降は日曜日を除く朝1回の飽食給餌とした。魚体重の測定はほぼ4週間毎の8月1日、8月30日、9月29日、10月27日、11月21日に行い、試験開始と8月30日、試験終了時には

各区から10尾ずつを取り上げ個体毎に尾叉長と体重を測定し、肥満度を算出した。

血液性状並びに血漿成分分析:試験開始時および試験終了時に各区から10尾ずつ無作為に取り上げ、個体別の血液性状・血漿成分について測定した。測定項目・測定方法については共通試験と同じとした。

窒素とリンの蓄積率・負荷量の推定:試験開始時・8月30日・試験終了時に各区から5尾無作為に取り上げ、全ての全魚体を磨砕し、一般成分、全窒素量、全リン量を測定した。測定方法及び窒素とリンの蓄積量・負荷量の算出は共通試験と同一した。

結果及び考察

飼育成績:飼育成績表10、魚体重の推移を図3に示す。試験開始直後5区やI区で斃死が多く、飼育開始2週間で25～28尾の斃死が認められた。ま

表10 密度別飼育試験における飼育成績

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		7月5日～7月31日		(給餌日数 23日)				
5	250	29.3	56.5	2.48	6,460.0	1.93	6,960	1.05	25	10.00
I	500	29.2	59.5	2.91	14,725.8	2.04	18,260	1.15	28	5.60
II	749	30.2	59.7	2.73	22,036.5	1.98	26,660	1.12	4	0.53
		2期		8月1日～8月29日		(給餌日数 25日)				
5	225	56.5	90.3	2.00	7,520.5	1.60	9,700	1.26	5	2.22
I	472	59.5	105.7	2.83	21,760.2	1.78	34,500	1.47	2	0.42
II	745	59.7	102.4	2.53	31,726.1	1.72	47,650	1.39	4	0.54
		3期		8月30日～9月28日		(給餌日数 22日)				
5	210	90.3	105.8	1.07	3,255.0	1.17	6,750	2.03	0	0.00
I	460	105.7	128.3	1.13	10,158.7	1.21	19,150	1.75	21	4.57
II	731	102.4	122.0	1.28	13,357.4	1.19	31,670	2.20	99	13.54
		4期		9月29日～10月26日		(給餌日数 22日)				
5	200	105.8	130.0	0.81	4,706.9	1.23	5,440	1.11	11	5.50
I	429	128.3	147.3	0.99	7,692.3	1.15	16,640	2.01	47	10.96
II	622	122.0	144.2	1.05	13,625.8	1.18	26,020	1.77	17	2.73
		5期		10月27日～11月21日		(給餌日数 20日)				
5	179	130.0	150.6	0.86	3,677.1	1.16	5,600	1.47	1	0.56
I	372	147.3	174.1	1.04	9,956.2	1.18	16,750	1.56	1	0.27
II	595	144.2	164.4	1.03	11,998.8	1.14	25,500	1.97	2	0.34
		全期間		7月5日～11月21日		(給餌日数 112日)				
5	250	29.3	150.6	1.16	30,476.2	5.14	34,450	1.10	42	16.80
I	500	29.3	174.1	1.52	68,283.4	5.94	105,300	1.43	99	19.80
II	749	28.3	164.4	1.58	96,255.1	5.81	157,500	1.52	126	16.82

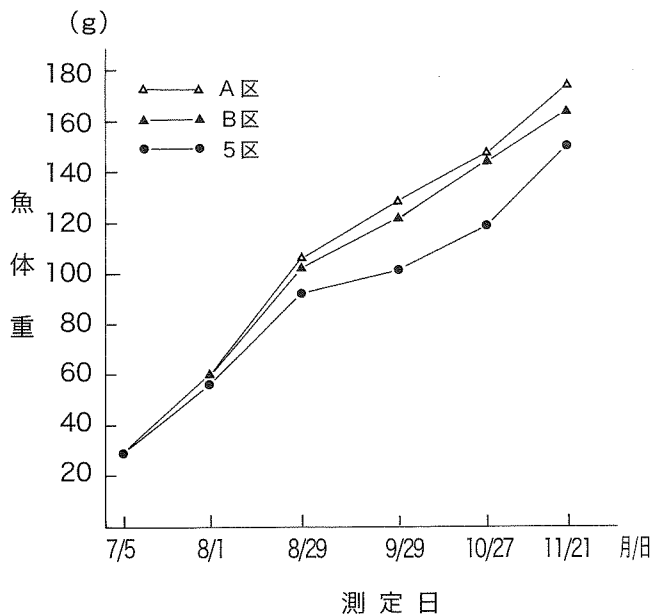


図3 密度別飼育試験における魚体重の推移

た、9月10日頃から密度の高いI区、II区でイリドウィルス病による斃死が目立ち初め、10月20日まで継続し、この期間の斃死尾数は5区12尾、I区68尾、II区116尾となり、収容密度の高い区ほど斃死が多くなる傾向が認められた。試験終了時の各試験区における平均体重はI区174.1g、II区164.4g、5区150.6gとなり、養殖業者が実施している収容密度がマダイの成長には適していると考えられた。

増重倍率についてはI区5.94、II区5.81、5区5.14の順となり、成長と同じ傾向であったが、I区とII区に大きな差は認められなかった。増肉係数については餌が異なるものの5区1.10、I区1.43、II区1.52の順となり、共通試験で用いた飼料Aが最も良く、市販飼料を用いた区では収容密度の高い区ほど悪い結果となった。

表11に肥満度の推移を示す。試験開始当初は20.71～21.26とやや低めであったが、中間時の8月29日にはいずれの試験区においても増加が認められ、試験終了時にはやや低下する傾向が認められた。終了時における肥満度は5区が23.41、II区23.04、I区22.05となり、飼料Aが最も良く、市販飼料では高密度区の方が高くなった。

血液性状並びに血漿成分分析：試験開始時と試験終了時における血液性状検査結果を表12に、血漿成分分析結果を表13に示す。血液性状についてはいずれの項目も試験開始時より数値は高くなるとともに試験終了時には各区で差は認められなかった。血漿成分についてもグルコース、GOT、リンは開始時より終了時の方が低くなる傾向が認められたが、他の項目については高くなった。試験終了時における各区の値は5区が尿素窒素、GPT、マグネシウム以外の項目においてI、II区より常に高い値が得られた。

表11 密度別飼育試験における肥満度の推定

	開始時	中間時(8月29日)	終了時(11月21日)
5区	20.99 ± 2.21	24.58 ± 1.06	23.41 ± 1.01
I区	20.71 ± 3.07	24.90 ± 1.16	22.05 ± 1.02
II区	21.26 ± 3.16	24.70 ± 1.31	23.04 ± 4.83

表12 試験終了時における血液性状検査結果

	ヘマトクリット値 (%)		ヘモグロビン量 (mg/dl)		赤血球数 (10 ⁴ /mm ³)	
開始時	29.3 ± 2.94	3.59 ± 0.62	259.6 ± 28.74			
終了時 5区	39.1 ± 3.79	7.64 ± 0.58	360.3 ± 35.25			
了 I区	33.5 ± 3.98	7.03 ± 0.87	348.2 ± 43.23			
時 II区	34.2 ± 2.44	7.06 ± 0.87	377.1 ± 43.87			

表 13 試験終了時における血漿成分分析結果

	血漿タンパク量 (mg/dl)	グルコース (mg/dl)	総コレステロール (mg/dl)	トリグリセリド (mg/dl)	尿素・窒素 (mg/dl)	アミラーゼ (U/l)
開始時	2.7 ± 0.28	73.6 ± 18.35	156.6 ± 13.59	168.0 ± 15.76	5.0 ± 0.37	50.2 ± 14.32
終 5区	3.7 ± 0.54	64.7 ± 12.93	285.7 ± 83.32	179.6 ± 58.51	5.0 ± 0.64	135.7 ± 57.03
了 I区	4.0 ± 0.29	61.8 ± 15.59	280.2 ± 43.65	148.2 ± 61.99	4.2 ± 0.57	150.2 ± 50.59
時 II区	3.7 ± 0.35	74.3 ± 17.38	239.8 ± 42.41	113.4 ± 31.47	4.8 ± 0.89	102.0 ± 59.13

	アルカリフォスファターゼ (U/l)	GOT (U/l)	GPT (U/l)	カルシウム (mg/dl)	マグネシウム (mg/dl)	リン (mg/dl)
開始時	128.4 ± 44.43	41.8 ± 16.04	10.4 ± 1.67	11.9 ± 0.83	2.0 ± 0.48	20.1 ± 2.20
終 5区	150.6 ± 41.54	41.7 ± 15.84	9.0 ± 7.30	15.0 ± 0.73	2.0 ± 0.13	12.7 ± 1.20
了 I区	102.1 ± 27.42	31.6 ± 14.73	12.2 ± 8.12	13.5 ± 0.62	1.8 ± 0.32	13.1 ± 1.27
時 II区	112.4 ± 39.85	29.4 ± 15.47	9.3 ± 2.12	13.0 ± 0.38	1.9 ± 0.35	12.7 ± 1.10

窒素とリンの蓄積率・負荷量の推定：魚体分析結果を表 14 に、窒素とリンの蓄積率・推定負荷量を表 15、表 16 に示す。試験終了時の魚体分析については灰分や水分では各区で大きな差はなかったが、5区はタンパク質の分析値が低く、脂肪の分析値が高くなった。これは飼料に含まれる脂質量が飼料Aでは市販飼料より多かったことによると推察された。飼育全期間を通した窒素蓄積率は5区32.81%、I区25.29%、II区23.85%となり、高密度区の蓄積率が最も悪かった。負荷量はII区が87.07kg/生産量tと最も多く、次いでI区80.28kg/生産量tとなり、5区が53.03kg/生産量tと最も少なかった。密度別にみると、収容密度の少ない区ほど窒素蓄積率が高く、負荷量が低くなる傾向が認められたが、市販飼料を用いたI、II区間では大きな差は認められなかった。すなわち、試験飼料Aを与えた5区は成長がやや不良であったも

の市販飼料と比較すると窒素蓄積率を高めるとともに負荷量を大幅に削減できることが明らかとなった。

飼育全期間を通したリンの蓄積率は窒素と同じように5区が54.25%と最も高く、次いでI区37.06%、II区32.46%となった。負荷量についても窒素と同じようにII区が14.83kg/生産量tと最も高く、次いでI区12.89kg/生産量t、5区が最も少なく6.33kg/生産量tとなった。リンにおいても市販飼料では密度を変えることにより負荷量を大幅に削減することはできなかったが、試験飼料Aを用いることにより負荷量を大幅に削減することができた。

以上のことから市販飼料では飼育密度を低くすることにより若干ではあるが、窒素やリンの蓄積率を高めるとともに負荷量を低下させることに効果はあるが、成長・増肉係数・負荷量を総合的に考えると

表 14 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)
7月5日	69.7	16.8	9.0	4.4	2.6	760
8月29日	5区	62.0	17.1	16.0	4.8	860
	I区	62.3	17.7	15.4	4.3	810
	II区	63.7	17.6	13.5	5.0	880
	5区	62.6	16.9	16.2	4.2	790
11月21日	I区	62.1	18.1	15.2	4.4	840
	II区	63.4	17.9	14.3	4.4	790

表 15 密度別試験における窒素負荷量の推定

試験区	餌料中			終了時	開始時	終了時	開始時	蓄積率 %	負荷量 kg/ton
	総給餌量 F	増肉係数 C	窒素含量 Nf	魚体重 Bf	魚体重 Bi	魚体窒素 Nbf	魚体窒素 Nbi		
7月5日～8月29日									
5	71.0	1.09	7.41	90.3	29.3	2.70	2.60	33.78	53.29
I	108.8	1.32	7.60	105.7	29.2	2.80	2.60	26.64	71.55
II	99.5	1.28	7.60	102.4	30.3	2.80	2.60	27.74	68.44
8月30日～11月21日									
5	87.2	1.07	7.15	150.6	90.3	2.70	2.60	34.03	51.65
I	123.5	1.46	7.60	174.1	105.7	2.80	2.60	25.79	80.41
II	123.8	1.69	7.60	164.4	102.4	2.80	2.60	22.59	97.89
7月5日～11月21日									
5	71.0	1.09	7.28	150.6	29.3	2.70	2.60	32.81	53.08
I	108.8	1.32	7.60	174.1	29.2	2.80	2.60	25.29	80.28
II	99.5	1.28	7.60	164.4	30.3	2.80	2.60	23.85	87.07

表 16 密度別試験におけるリン負荷量の推定

試験区	餌料中			終了時	開始時	終了時	開始時	蓄積率 %	負荷量 kg/ton
	総給餌量 F	増肉係数 C	リン含量 Pf	魚体重 Bf	魚体重 Bi	魚体リン Pbf	魚体リン Pbi		
7月5日～8月29日									
5	71.0	1.09	1.30	90.3	29.3	0.86	0.76	58.94	6.08
I	108.8	1.32	1.50	105.7	29.2	0.81	0.76	38.90	11.51
II	99.5	1.28	1.50	102.4	30.3	0.88	0.76	44.90	9.90
8月30日～11月21日									
5	87.2	1.07	1.33	150.6	90.3	0.79	0.86	49.77	7.12
I	123.5	1.46	1.50	174.1	105.7	0.84	0.81	37.35	13.04
II	123.8	1.69	1.50	164.4	102.4	0.79	0.88	23.51	18.94
7月5日～11月21日									
5	71.0	1.09	1.27	150.6	29.3	0.79	0.76	54.25	6.33
I	108.8	1.32	1.50	174.1	29.2	0.84	0.76	37.06	12.89
II	99.5	1.28	1.50	164.4	30.3	0.79	0.76	32.46	14.83

試験飼料 I のような飼料を用いることが最も良いと推察される。

文 献

1) Per O.J.Hall, Ola Holby, Sven Kollberg and Matts-Ola Samueleson(1992):Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm. IV Nitrogen. *Mar. Ecol.Prog. Ser.*,89,81-91.
 2) Ola Holby and Per O.J.Hall(1991): Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm. II Phosphorus. *Mar. Ecol.Prog.*

Ser.,70,263-272.

3) 代田昭彦 (1990) : 養殖場の汚染と被害の現状, 海面養殖と養魚場環境 (渡邊競編) 恒星社厚生閣, 東京, pp.11-27.

4) 門谷 茂 (2000) : 養殖漁場の環境と管理, 有害・有毒赤潮の発生と予知・防除 (石田祐三郎・本城凡夫・今井一郎編) 日本水産資源保護協会, 東京, pp.236-256.

5) 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報告, 35, 51-62.

6) 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報告, 36, 50-57.

7) 木村 創・上出貴士 (2005) : 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. 平成 16 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, 37, 37-45.