

マダイ飼料におけるチキンミールの利用

高木 修作, 細川 秀毅, 示野 貞夫, 宇川 正治

(1999年7月30日受付, 1999年11月29日受理)

Utilization of Poultry By-Product Meal in a Diet for Red Sea Bream *Pagrus major*Shusaku Takagi,*¹ Hidetsuyo Hosokawa,*²
Sadao Shimeno,*² and Masaharu Ukawa*³

The utilization of poultry by-product meal (PBM) as a substitute for fish meal (FM) in red sea bream *Pagrus major* diet was evaluated with yearlings and juveniles. Yearling fish weighing 280 g on average, and juvenile fish weighing 54 g on average were fed diets containing 0-59% PBM (replacing 0-100% of FM) for 232 days and 60 days, respectively.

In yearling fish, the growth performance and feed conversion of fish fed diets containing up to 59% PBM were superior or similar to the control fish fed a PBM-free diet. In juvenile fish, the growth performance of fish fed diets containing up to 41% PBM was similar to that of the control fish, but that in fish fed diets containing more than 53% PBM was lower. Feed conversion was similar or slightly decreased by dietary inclusion of up to 41% PBM, but it was inferior in diets with more than 53% PBM.

These results indicate that FM in red sea bream diet could be completely replaced by the inclusion of 59% PBM in yearling fish, and could be replaced up to 70% by the inclusion of 41% PBM in juvenile fish, without supplementation of essential amino acids.

キーワード: マダイ, 飼料, チキンミール, 代替タンパク質, 配合許容量

近年の魚粉需給の逼迫に対処するため、養魚飼料の魚粉に代わるタンパク質源が検索され、各種の植物性および動物性素材が利用できることが明らかとなっている。¹⁾ このうち、動物性の代替タンパク質源は主に畜産廃棄物由来であり、このような低・未利用資源の活用は動物性タンパク質源の有効利用の観点から、今後その重要性は増すと思われる。畜産廃棄物由来の代替タンパク質源としては、ミートミール (MM)、ミートボーンミール (MBM)、フェザーミールおよびチキンミール (PBM) などがあり、我が国の主要な海産養殖魚であるブリ *Seriola quinqueradiata*,^{2,3)} ヒラメ *Paralichthys olivaceus*³⁻⁶⁾ およびトラフグ *Takifugu rubripes*⁷⁾ におけるそれらの利用性が研究されており、著者らもこれまでにブリ飼料へのPBMの配合許容量は30%以上と高く、その利用性はMBM、コーングルテンミール (CGM) およびナタネ油粕より優れていることを報告した。²⁾ またマ

ダイ *Pagrus major* 飼料では、濃縮大豆タンパク質 (SPC)⁸⁾ やCGM⁹⁾ の利用性がブリ飼料のそれに比べて高いとともに、魚の成長に伴って高くなることを観察した。このため、マダイ飼料におけるPBMの利用性もブリに比べて高く、魚の成長に伴って高まるのではないかとと思われる。しかし、マダイ飼料へのPBMの利用性については検討されていない。

そこで本実験では、マダイ飼料におけるPBMの配合許容量を0および1歳魚を用いて検討した。

材料および方法

タンパク質源 ブラウンフィッシュミール (BFM)、PBM およびオキアミミール (KM) の一般成分ならびにアミノ酸組成を Table 1 に示す。PBM は BFM に比べて、粗タンパク質含量が 57.1%、粗脂肪含量が 6.7% と低くて粗灰分が 29.7% と著しく高い。また、ヒスチ

*1 愛媛県水産試験場 (Ehime Prefecture Fisheries Experimental Station, Uwajima, Ehime 798-0104, Japan).

*2 高知大学農学部 (Laboratory of Fish Nutrition, Faculty of Agriculture, Kochi University, Monobe, Nankoku, Kochi 783-8502, Japan).

*3 丸紅飼料株式会社小野研究所 (Ono Research and Laboratory, Technical Service Department, Marubeni Feed Co., Ltd., Ono, Hyogo 675-1355, Japan).

Table 1. Proximate and amino acid compositions of brown fish meal and poultry by-product meal as protein sources, and krill meal used as a feeding stimulant

Protein source:	Brown fish meal* ¹	Poultry by-product meal* ²	Krill meal* ³
Proximate composition (% on dry matter basis)			
Crude protein	75.0	57.1	64.4
Crude fat	9.3	6.7	21.8
Crude sugar	2.2	2.4	1.7
Crude ash	15.4	29.7	10.4
Amino acid/essential amino acids (mg/g)			
Lysine	163	140	145
Tryptophan	20	16	20
Isoleucine	83	77	92
Leucine	148	149	148
Valine	95	94	91
Arginine	114	173	114
Histidine	65	48	40
Threonine	84	85	83
Methionine	59	45	73
Cystine	24	33	25
(Methionine+cystine)	(83)	(78)	(98)
Phenylalanine	80	90	93
Tyrosine	63	50	76
(Phenylalanine+tyrosine)	(144)	(140)	(169)
EAA index* ⁴	100	72.4	95.1

*¹ Brown fish meal was made from horse mackerel as the main raw material, imported from Chile.

*² Poultry by-product meal was produced by Okayama Chanky Broiler Co., Ltd.

*³ Krill meal was produced by Maruha Co., Ltd.

*⁴ Essential amino acid index as 100 for that of a brown fish meal.

ジン, リジン, メチオニンおよびトリプトファンがやや少なく, アルギニンが多い。BFMを基準としたPBMの必須アミノ酸指数(EAA index)は72.4であった。KMはBFMに比べて, 粗タンパク質がやや少なく粗脂肪が多い。また, ヒスチジンおよびリジンがやや少なく, メチオニンおよびフェニールアラニンがやや多い。KMのEAA indexは95.1であった。BFMとKMとの脂肪酸組成は類似していたが(Table 2), BFMに比べてPBMでは, パルミチン酸およびオレイン酸が多く, 高度不飽和脂肪酸(n3HUFA)は含まれていなかった。

試験飼料 1歳魚の飼育試験(試験I)に用いた試験飼料の配合組成および成分組成をTable 3に示す。BFMを50%含む飼料を対照(1区)とし, 粗タンパク質含量が等しくなるようにPBMを18~59%配合してBFM配合率を35~0%に調整した5種類(2~6区)

Table 2. Fatty acid composition of brown fish meal and poultry by-product meal as protein sources, and krill meal used as a feeding stimulant(area %)

Protein source:	Brown fish meal	Poultry by-product meal	Krill meal
C14: 0	7.0	1.4	13.7
C14: 1	0.4	0.3	0.3
C15: 0	0.6	ND*	0.6
C16: 0	18.5	27.7	19.9
C16: 1	7.7	6.0	9.3
C16: 2	1.8	ND	0.7
C17: 0	1.3	0.2	0.4
C17: 1	ND	0.3	ND
C18: 0	5.7	8.0	2.9
C18: 1	11.9	44.7	20.8
C18: 2	1.1	6.4	2.0
C18: 3	0.8	0.3	1.2
C18: 4n3	2.0	ND	3.8
C20: 1	0.8	1.5	1.5
C20: 4	1.7	0.5	0.4
C20: 5n3	13.7	ND	10.6
C22: 1	0.1	ND	0.8
C22: 5	0.5	ND	0.3
C22: 5n3	2.0	ND	0.4
C22: 6n3	18.9	ND	6.4
Saturated	33.0	37.3	37.6
Unsaturated	63.4	59.9	58.5
n3HUFA	34.7	ND	17.4

* Not detected.

の飼料を用いた。各飼料にはフィードオイルを5~6%配合してエネルギー含量を調整し, PBMの高配合に伴う嗜好性の低下を防ぐためKMを10%, 体色改善のため合成アスタキサンチンのカロフィルピンク(ロシュ株式会社製)を0.04%それぞれ配合し, 小麦粉配合量により全量を調整した。

試験飼料の一般成分組成は, PBMの成分組成を反映してPBM配合率の増加に伴い粗灰分含量が増加した。粗タンパク質含量は4区(52%)を除き各飼料ともに48%前後であり, 4~6区の粗脂肪含量は14%程度と1~3区の11%程度よりやや高かった。4区を除き全飼料の可消化エネルギー¹⁰⁾は4100~4200 kcal/kgと類似していた。その必須アミノ酸組成はPBMのアミノ酸組成を反映してPBM配合率の増加に伴って, ヒスチジン, メチオニンおよびリジンの含量が低下してアルギニンおよびフェニールアラニンの含量が増加し, 対照の1区を基準としたEAA indexは95から89へと低下し

Table 3. Composition (%) of test diets used for rearing experiment of yearling red sea bream (Expt. I)

Diet no.:	1	2	3	4	5	6
Brown fish meal	50	35	25	15	5	0
Poultry by-product meal	0	18	30	41	53	59
Wheat flour	27.93	24.93	22.93	20.93	18.93	17.93
Feed oil	5	5	5	6	6	6
Krill meal	10	17.07	17.07	17.07	17.07	17.07
Vitamin mixture*1	3					
Mineral mixture*1	4					
Ethoxyquin	0.03					
Carophyll pink*1	0.04					
Proximate composition (% on dry matter basis)						
Crude protein	48.0	46.0	49.2	52.0	48.3	47.6
Crude fat	11.8	11.5	11.8	14.8	13.8	13.9
Crude sugar	22.4	20.6	18.1	11.9	13.8	13.8
Crude ash	12.4	13.8	15.2	17.9	18.2	18.4
Energy (kcal/kg)*2	4257	4067	4170	4355	4144	4121
C/P ratio*3	88.7	88.4	84.8	83.7	85.7	86.6
Amino acid/essential amino acid (mg/g)						
Lysine	149	143	143	143	137	134
Tryptophan	21	14	19	17	20	19
Isoleucine	86	85	84	83	84	83
Leucine	155	162	157	156	157	158
Valine	100	99	98	97	100	100
Arginine	126	132	137	143	150	154
Histidine	66	56	57	54	48	46
Threonine	86	86	86	86	84	84
Methionine	57	56	55	54	49	48
Cystine	11	16	17	18	23	27
(Methionine+cystine)	(68)	(72)	(72)	(72)	(73)	(75)
Phenylalanine	83	89	87	88	89	91
Tyrosine	59	62	59	62	58	57
(Phenylalanine+tyrosine)	(142)	(151)	(147)	(149)	(148)	(147)
EAA index	100	93.2	94.6	92.3	91.0	88.7
Fatty acid composition (area %)						
Saturated	27.3	27.5	26.9	28.5	27.5	28.3
Unsaturated	70.3	70.0	71.2	69.8	70.8	70.8
n3HUFA	23.3	22.7	23.2	21.7	22.2	21.6

*1 Same as that in the previous paper.⁹⁾

*2 Calculated digestible energy: protein, 5.1; fat, 8.7; sugar, 3.5 kcal/g.¹⁰⁾

*3 Calorie (kcal/kg) to protein (%) ratio.

た (Table 3)。各飼料の n3HUFA 含量は 21.6~23.3% であり, 各飼料ともマダイの必須脂肪酸要求量 (0.5% n3HUFA/diet)¹¹⁾を満たしていた。

0 歳魚の飼育試験および消化率測定に用いた試験飼料 (試験 II) の配合組成は, Table 4 から明らかなように各飼料に酸化クロム・セルロース (1:1) 混合物を 1% 配合し小麦粉を 1% 減らした以外は, 試験 I 飼料の

それと同じであり, 各飼料の一般成分も試験 I 飼料のそれと類似していた。

試験魚および飼育方法 試験 I では, 3 m 角型の生簀に平均体重 280 g 前後の 1 歳魚を 1 区あたり 70 尾ずつ収容し, 試験飼料を 1 日に 2 回, 1 週間に 6 日間飽食給餌して 1996 年 6 月 27 日から 1997 年 2 月 13 日まで 232 日間飼育した。試験期間中の水温は 13.5~27.5°C

Table 4. Composition (%) of diets used for rearing experiment of juvenile red sea bream, and used for digestibility test (Expt. II)

Diet no.:	1	2	3	4	5	6
Brown fish meal	50	35	25	15	5	0
Poultry by-product meal	0	18	30	41	53	59
Wheat flour	26.93	23.93	21.93	19.93	17.93	16.93
Feed oil	5	5	5	6	6	6
Krill meal	10	18.07	18.07	18.07	18.07	18.07
Vitamin mixture	3					
Mineral mixture	4					
Ethoxyquin	0.03					
Carophyll pink	0.04					
Chromic oxide mixture*1	1					
Proximate composition (% on dry matter basis)						
Crude protein	48.8	48.3	47.1	47.2	47.3	46.7
Crude fat	10.6	12.3	12.7	11.5	11.8	12.6
Crude sugar	21.1	17.8	17.2	15.9	14.7	13.9
Crude ash	13.1	14.7	16.0	17.8	18.7	19.7
Energy (kcal/kg)*2	4147	4160	4104	3963	3954	4163
C/P ratio*2	85.0	86.1	87.2	84.1	83.6	89.2

*1 Chromic oxide : cellulose=1 : 1.

*2 See the footnote of Table 3.

で推移した。

試験Ⅱでは、1飼料あたり2基の500 l容ポリカーボネート水槽に平均体重54 g前後の0歳魚を、1基あたり20尾ずつ収容して濾過海水を毎分約3 l注水し、試験飼料を1日に3回飽食給餌して1997年2月11日から4月11日まで60日間飼育した。試験期間中の水温は12.8~24.5°Cで推移した。

測定項目 試験Ⅰでは毎月1回、各区から無作為に30尾を取り上げ、麻酔したのち個別に体重を測定した。試験終了時には各区5尾の血液性状、血漿成分、緑肝発症状況および比肝臓値(HSI)を既報と同様の方法⁹⁾で調べるとともに、肝臓および全魚体の一般成分を定法により分析した。¹²⁾

試験Ⅱでは、20日毎に麻酔して個別に体重を測定した。飼育37~39日目に220 l容採糞水槽6基に各水槽10尾の魚をそれぞれ収容して24時間採糞した。¹³⁾1飼料2水槽分の糞をプールして分析用試料とし、見かけのタンパク質消化率(APD)を測定した。¹⁴⁾試験終了時には試験Ⅰと同じ項目を同様の方法で測定した。

測定結果の検定 試験Ⅰでは平均体重、HSI、血液性状および血漿成分について、試験Ⅱでは飼育成績、HSI、血液性状および血漿成分について Duncan の多範囲検定法¹⁵⁾により平均値の差を検定した。

結 果

試験Ⅰ PBM配合率の増加に伴う嗜好性の低下はみられず、全区の摂餌は活発で順調に成長した。成長は41%PBM配合の4区で最も優れていたが、その他のPBM配合区でも対照の1区と近似した成長曲線がみられた(Fig. 1)。2~5区(18~53%PBM配合)の平均増重量は495~555 gと1区のそれ(471 g)より高く、無魚粉の6区(59%PBM配合)でも443 gと1区のそれよりやや低い程度であった(Table 5)。日間増重率(Y)とPBM配合率(X)の間には、 $Y = -3.1 \cdot 10^{-5} X^2 + 0.001925X + 0.386985$ ($r = 0.702$)の回帰式が得られ、部分代替区の日間増重率は無代替区のそれよりむしろ高く、全量代替区のそれは無代替区のそれとほぼ等しくなることが分かった(Fig. 2)。飼料効率にも日間増重率と同様な傾向がみられた。各PBM添加区では、一部の例外を除いて無添加区と同等のタンパク質効率やエネルギー効率が認められた。なお、各区のへい死率は7%以下と低く、また平均日間摂餌率および平均日間エネルギー摂取量も比較的近似していた。

全魚体ならびに肝臓の一般成分、および栄養成分の見かけの蓄積率をTable 6に示す。全魚体の一般成分では、無魚粉の6区の水分会および粗脂肪を除くと、全区の水分会、粗タンパク質、粗脂肪および粗灰分の含量はそ

れぞれ 66~67, 17~18, 11~12 および 3.5~4.1% であり, それらの区間差は小さかった。肝臓の一般成分では, PBM 配合の 2~6 区の粗脂肪含量は 10~13% と 1

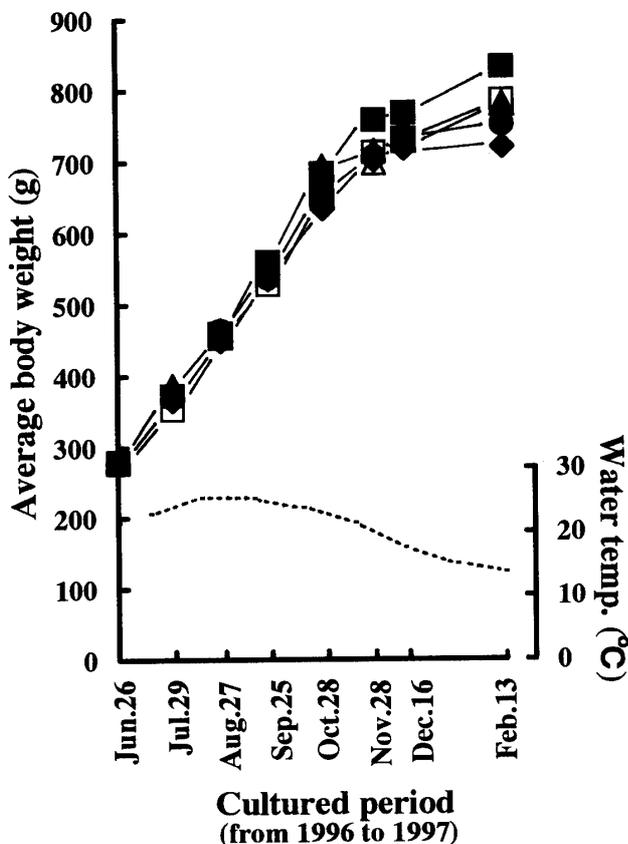


Fig. 1. Changes in average body weight of yearling red sea bream fed test diets for 232 days.

Diet contained 0% (●), 18% (▲), 30% (△), 41% (■), 53% (□), and 59% (◆) poultry by-product meal (Expt. I).

区の 8.7% に比べて高く, また 4~6 区 (41% 以上 PBM 配合) のグリコーゲン含量は 0.8~1.7% と 1~3 区の 4% 前後に比べて明らかに低かったが, 水分, 粗タンパク質および粗灰分の含量はそれぞれ 68, 12~14 および 1.5% 程度と近似していた。PBM 配合の 2~6 区のタンパク質蓄積率は 16.6~20.1% と 1 区の 17.6% と同等かむしろ高く, 脂肪およびエネルギー蓄積率にも同様の傾向がみられた。

緑肝発症率, HSI, 血液性状および血漿成分含量を Table 7 に示す。緑肝が PBM 配合区で 20~60% みられた。血液性状では, 各区の赤血球数およびヘモグロビン量は近似していたが, PBM 配合の 2~6 区のヘマトクリット値が 1 区のそれより高く一部区間に有意差 ($p < 0.05$) がみられた。2~6 区の平均赤血球ヘモグロビン濃度 (MCHC) は 1 区のそれに比べて有意に低く ($p < 0.05$), 平均赤血球容積 (MCV) にも一部の区間で有意差がみられた ($p < 0.05$)。血漿成分含量では 6 区のアルブミンとコレステロール含量, 5 および 6 区のトリグリセリド含量が 1 区のそれらに比べて有意に低かった ($p < 0.05$)。タンパク質やグルコースの含量にも一部の区間に有意差 ($p < 0.05$) がみられたが, PBM 配合率との関連性は認められなかった。

試験 II 各区の平均体重の推移を Fig. 3, 飼育成績を Table 8 に示す。試験開始時には PBM 高配合区の摂餌がやや不活発であったが, その後は改善し全区の平均日間摂餌率は 1.5% 前後と類似しており, PBM 配合に伴う嗜好性の低下は認められなかった。5 および 6 区へのい死は 2 水槽のうち 1 水槽のサンプリング時の事故によるものであり, PBM 配合の影響ではない。

増重量は PBM 配合量とともに低下する傾向にあった

Table 5. Growth performance and feed utilization of yearling red sea bream (Expt. I)*1

Diet no.:	1	2	3	4	5	6
Average body weight (g)						
Initial	280 ± 21 ^a *2	281 ± 21 ^a	284 ± 20 ^a	277 ± 19 ^a	279 ± 21 ^a	277 ± 20 ^a
Final	751 ± 96 ^{ab}	781 ± 103 ^b	779 ± 94 ^b	832 ± 74 ^c	785 ± 83 ^{bc}	720 ± 100 ^a
Average weight gain (g)	471	500	495	555	506	443
Daily growth rate (%)	0.39	0.41	0.40	0.43	0.41	0.38
Feed efficiency (%) *3	48.4	52.5	50.2	57.4	52.3	46.7
Protein efficiency ratio *3	0.99	0.88	0.98	0.90	0.92	1.02
Energy efficiency (%) *3	8.79	7.76	8.30	7.55	7.91	8.80
Daily feed intake (%)	0.81	0.79	0.80	0.75	0.79	0.82
Daily energy intake (kcal/100 g BW/day)	3.46	3.21	3.33	3.26	3.28	3.37
Mortality (%)	0	7	3	0	0	0

*1 Yearling fish weighing 280 g on average were fed to satiation on the test diet for 232 days in net cage.

*2 All values are means of 30 fish. Figure in the same line with different superscripts are significantly different ($p < 0.05$).

*3 Same as that described in the previous paper.⁸⁾

が、2~4区の平均増重量は53~50gと1区のそれ(58.8g)よりやや低い程度であったのに対して、5および6区のそれは約42gと1区のそれより有意に低かった($p < 0.05$)。日間増重率(Y)とPBM配合率(X)の間には、PBM配合41%以下の1~4区では $Y = -0.00269X + 1.166071$ ($r = 0.691$)、PBM配合41%以上の4~6区では $Y = -0.00923X + 1.452202$ ($r = 0.843$)の回帰式が得られ、その交点は43.8%となった(Fig. 4)。2区の飼料効率は76.2%と1区の78.4%とはほぼ同

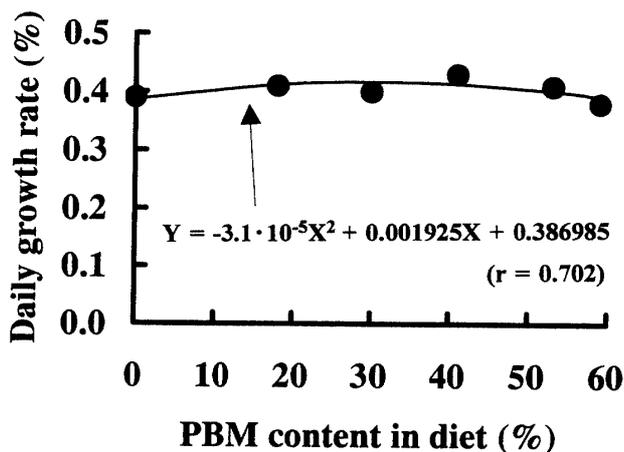


Fig. 2. Relationship between dietary poultry by-product meal (PBM) content with daily growth rate of yearling red sea bream fed the test diets (Expt. I).

等であったが、3および4区のそれは70%前後と1および2区のそれより有意に低く($p < 0.05$)、5および6区のそれは64.0および61.3%とさらに劣った。タンパク質効率およびエネルギー効率にも類似の区間差がみられた。

APD, 全魚体の一般成分および栄養成分の蓄積率をTable 9に示す。APDはPBM配合率の増加に伴って95.5%から88.3%へと徐々に低下した。全魚体の一般成分組成では、粗脂肪含量がPBM配合率の増加に伴って11%から8%へと低下し、1区と5および6区間に有意差($p < 0.05$)が認められた。しかし、全区の水分、粗タンパク質および粗灰分の含量はそれぞれ68, 18および4%前後であり、一部区間に有意差($p < 0.05$)が認められたが、PBM配合率との関連性はみられなかった。各栄養成分の見かけの蓄積率はPBM配合率の増加に伴って低下し、4~6区のタンパク質、2~6区の脂肪および3~6区のエネルギーの見かけの蓄積率は1区のそれらより有意に低かった($p < 0.05$)。

緑肝発症率, HSI, 血液性状および血漿成分含量をTable 10に示す。緑肝が3および6区でそれぞれ10および20%みられた。HSIはPBM配合率の増加に伴い低下し、5および6区のHSIは1.1~1.2%と1区の1.6%に比べて有意に低かった($p < 0.05$)。血液性状および血漿成分含量にはPBM配合に伴う大きな区間差はみられなかった。

Table 6. Proximate composition of whole body and hepatopancreas, and apparent nutrient retention of yearling red sea bream at the end of the experiment I

Diet no.:	1	2	3	4	5	6
Proximate composition of whole body (% on wet matter basis)*1						
Moisture	66.7	66.3	65.5	66.4	65.7	64.2
Crude protein	17.5	17.6	17.1	18.2	17.4	16.9
Crude fat	11.3	12.5	12.5	11.7	11.3	14.2
Crude ash	3.7	3.9	3.6	4.1	3.9	3.5
Proximate composition of hepatopancreas (% on wet matter basis)*1						
Moisture	69.6	67.1	67.9	69.8	69.6	68.6
Crude protein	12.7	11.9	12.2	14.1	13.5	13.2
Crude fat	8.7	12.8	11.3	9.6	10.8	11.6
Glycogen	3.5	4.4	4.9	0.8	0.8	1.7
Crude ash	1.3	1.5	1.4	1.5	1.7	1.4
Apparent nutrient retention (%) *2						
Protein	17.6	20.0	17.5	20.1	18.9	16.6
Fat	46.6	57.0	52.7	46.0	43.1	47.9
Energy	21.3	25.6	23.5	25.8	23.6	23.8

*1 A pooled sample of 5 fish.

*2 Same as that described in the previous paper.⁸⁾

Table 7. Incidence of green liver, hepatosomatic index (HSI), hematological and hemochemical characteristics of yearling red sea bream at the end of the feeding experiment I

Diet no.:	1	2	3	4	5	6
Green liver (%)	0	60	20	40	60	20
HSI (%)	1.5±0.3 ^{bc} *1	1.7±0.2 ^c	1.5±0.0 ^{bc}	1.2±0.2 ^a	1.3±0.2 ^{ab}	1.3±0.2 ^{ab}
Hematological characteristics						
Hematocrit (%)	32.4±2.6 ^a	34.4±2.9 ^{abc}	36.1±2.1 ^c	34.5±2.5 ^{abc}	34.9±1.9 ^{bc}	33.6±2.0 ^{ab}
Hemoglobin (g/100 ml)	10.0±0.7 ^a	10.0±0.9 ^a	10.4±0.5 ^a	10.3±0.9 ^a	10.2±0.7 ^a	10.0±0.7 ^a
Red blood cell (×10 ⁴ cells/mm ³)	309±24 ^a	312±33 ^a	322±17 ^a	319±29 ^a	314±25 ^a	309±25 ^a
MCH (pg)*2	32.6±0.8 ^a	32.2±1.1 ^a	32.4±0.9 ^a	32.2±0.9 ^a	32.5±0.9 ^a	32.2±1.0 ^a
MCHC (%) *2	31.0±0.6 ^b	29.1±1.3 ^a	28.9±0.6 ^a	29.7±0.8 ^a	29.1±0.9 ^a	29.6±0.6 ^a
MCV (μm ³)*2	105±3 ^a	111±8 ^b	112±5 ^b	109±4 ^{ab}	112±5 ^b	109±4 ^{ab}
Hemochemical characteristics						
Protein (g/100 ml)	3.6±0.2 ^{ab}	3.6±0.3 ^{ab}	3.7±0.3 ^b	3.6±0.2 ^{ab}	3.5±0.2 ^{ab}	3.4±0.3 ^a
Albumin (g/100 ml)	2.2±0.1 ^b	2.3±0.1 ^b	2.2±0.1 ^{ab}	2.2±0.1 ^b	2.2±0.1 ^b	2.1±0.1 ^a
A/G ratio*2	1.7±0.3 ^b	1.6±0.2 ^b	1.4±0.1 ^a	1.6±0.2 ^b	1.7±0.2 ^b	1.7±0.2 ^b
Cholesterol (mg/100 ml)	213±22 ^b	208±25 ^b	212±28 ^b	199±46 ^b	190±21 ^{ab}	166±16 ^a
Triglyceride (mg/100 ml)	106±42 ^c	115±33 ^c	103±18 ^{bc}	93±28 ^{abc}	76±14 ^{ab}	70±18 ^a
Glucose (mg/100 ml)	40±5 ^a	43±7 ^{ab}	48±5 ^b	42±3 ^a	42±3 ^a	44±6 ^{ab}
BUN (mg/100 ml)*2	3.8±0.9 ^a	4.1±0.5 ^a	4.2±0.4 ^a	3.9±0.7 ^a	4.3±0.5 ^a	4.3±0.6 ^a

*1 All values are means of 5 fish (green liver and HSI) and 10 fish (hematological and hemochemical characteristics). Figures in the same line with different superscripts are significantly different ($p < 0.05$).

*2 Same as that described in the previous paper.⁹⁾

考 察

マダイ 0 歳魚 (初期平均体重 54 g) では, 飼育成績, 体脂肪量, 見かけのタンパク質蓄積率および HSI は PBM 配合量とともに低下する傾向にあったが, 18~41%PBM 配合の 2~4 区の成長は対照の 1 区のそれと統計的な有意差がなかった。また, 2~4 区の見かけの脂質やタンパク質の蓄積率にも成長や飼料効率と同様な区間差が認められ, 2~4 区の血液性状および血漿成分にも PBM 配合の悪影響がみられなかった。一方, PBM を 53% 以上配合した 5 および 6 区の成長および飼料効率は, 対照の 1 区のそれらに比べて有意に劣った。これらのことから, 0 歳魚用飼料における PBM 配合許容量は 41% 程度, 魚粉代替率は 70% 程度と判断される。

既報のマダイ 0 歳魚における数種代替タンパク質源の配合許容量は, SBM が 25~30% (魚粉代替率 33~61%),^{16,17)} SPC が 27% (魚粉代替率 50%),⁸⁾ CGM が 15% (魚粉代替率 30%),⁹⁾ 濃縮ナタネタンパク質 (RPC) が 10% (魚粉代替率 17%),¹⁸⁾ 粉末麦芽タンパク質 (MPF) が 30% (魚粉代替率 30%)¹⁹⁾ および酵母 (*Saccharomyces cerevisiae*) が 34% 以上 (魚粉代替率 57% 以上)²⁰⁾ と報告されており, PBM の利用性は

SBM, SPC, CGM, RPC および MPF のそれより優れ, 酵母のそれと同程度かやや優れていると推察される。ブリ飼料においても PBM の利用性は MBM, CGM およびナタネ油粕のそれより優れていると報告されている。²⁾

マダイ 0 歳魚では PBM を 53% 以上配合 (魚粉代替率 90%) すると飼育成績が劣った。PBM の高配合に伴う飼育成績の低下は silver seabream *Rhabdosargus sarba*²¹⁾ および chinook salmon *Oncorhynchus tshawytscha*²²⁾ でも報告されており, その原因として silver seabream では PBM 配合による飽和脂肪酸の増加および必須アミノ酸の不足が, chinook salmon では飼料の嗜好性低下が指摘されている。本試験では PBM 配合による飼料の嗜好性低下はほとんどなく, 各飼料には高度不飽和脂肪酸 (n3HUFA) の多い KM を 10% およびフィードオイルを 5~6% 添加しているため, マダイの必須脂肪酸要求量 (0.5% n3HUFA/diet)¹¹⁾ を満足していた (Table 3)。したがって, 飼料の嗜好性低下と n3HUFA 不足がマダイ低成長の主原因とは考えられず, むしろそのアミノ酸組成およびタンパク質消化率が関連すると思われる。

魚粉に比べて各種代替タンパク質では, アミノ酸組成が劣ることが知られており,²³⁾ 本実験に用いた PBM で

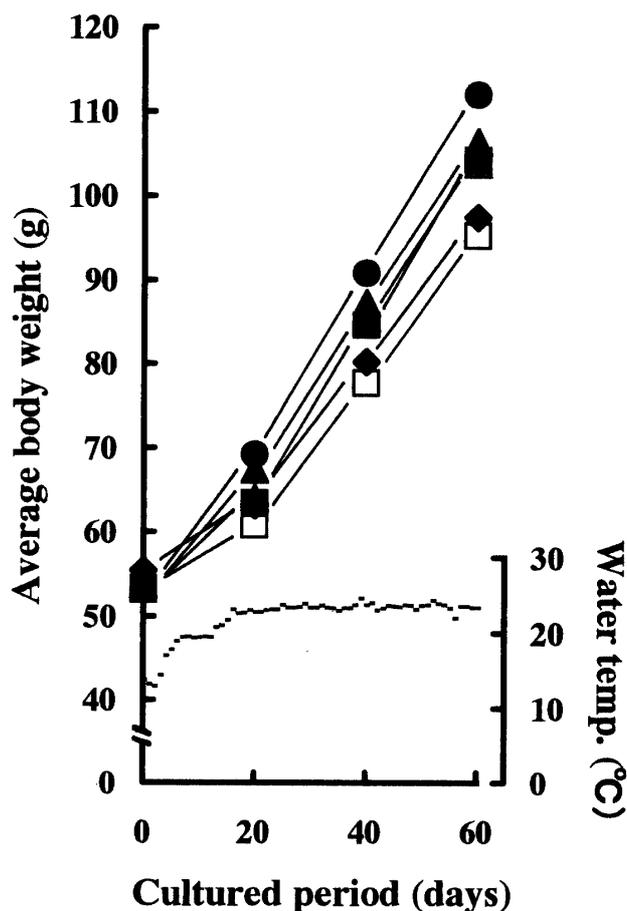


Fig. 3. Changes in average body weight of juvenile red sea bream fed test diets for 60 days.

Diet contained 0% (●), 18% (▲), 30% (△), 41% (■), 53% (□), and 59% (◆) poultry by-product meal (Expt. II).

はヒスチジンやメチオニンが少なく、EAA index も劣っていた。それを反映してPBMを59%配合した6区の飼料では無添加飼料に比べて、ヒスチジンとメチオニンはそれぞれ70および84%と少なく、EAA indexも89と劣っていた (Table 3)。マダイにおけるPBMの制限アミノ酸はまだ検討されていないが、PBMやMMの制限アミノ酸として、chinook salmonではメチオニンとフェニールアラニンが、²⁴⁾ニジマス *Oncorhynchus mykiss*ではメチオニン、リジンおよびトリプトファンが²⁵⁾報告されているので、PBMのアミノ酸組成が高配合区の低成長に関連すると考えられる。

アミノ酸組成に加えてAPDもPBM配合量とともに96%から88%に低下した (Table 9)。本実験では、タンパク質以外の消化率を測定できなかったが、タンパク質消化率の低下に伴ってエネルギー消化率も低下すると考えられる。結局、PBM高配合に伴う0歳魚の成長低下はアミノ酸組成およびタンパク質消化率の低下に起因すると推察される。

一般に、畜産廃棄物由来の代替タンパク質源の品質は原料の履歴および製造工程により異なる。²⁶⁾Dongら²⁴⁾によると6種類のPBMの粗タンパク質含量は55.5~73.8%、粗脂肪は11~23%および粗灰分は10~19%といずれも大きく異なっている。また、ニジマスにおけるAPDも64.4~77.7%と顕著に異なる。chinook salmonでは、由来の異なる2種類のPBMにおけるAPDは84.9および74.4%と大きく異なり、その原因として原料の鮮度およびPBMの粗灰分含量の差異が指摘されている。²²⁾さらに、MMやMBMのAPDは粗灰分量の増大に伴い低下すると報告されているので、²⁵⁾本

Table 8. Growth performance and feed utilization of juvenile red sea bream (Expt. II)*1

Diet no.:	1	2	3	4	5	6
Average body weight (g)						
Initial	53.4±0.1	53.5±0.1	53.8±0.1	53.1±0.3	53.3±0.8	55.4±0.2
Final	112.2±1.8 ^b *2	106.5±0.7 ^{ab}	103.9±5.1 ^{ab}	104.4±2.0 ^{ab}	95.5±1.9 ^a	98.1±4.9 ^a
Average weight gain (g)	58.8±1.7 ^b	53.0±0.6 ^{ab}	50.2±5.1 ^{ab}	51.2±1.7 ^{ab}	42.2±1.1 ^a	42.7±4.7 ^a
Daily growth rate (%)	1.18±0.02 ^c	1.10±0.01 ^c	1.06±0.07 ^{abc}	1.08±0.02 ^{bc}	0.95±0.01 ^{ab}	0.92±0.07 ^a
Feed efficiency (%)	78.4±0.1 ^d	76.2±1.5 ^d	71.0±0.1 ^c	69.0±0.7 ^{bc}	64.0±1.2 ^{ab}	61.3±3.1 ^a
Protein efficiency ratio	1.61±0.00 ^c	1.58±0.03 ^c	1.51±0.00 ^{bc}	1.46±0.02 ^b	1.35±0.03 ^a	1.31±0.07 ^a
Energy efficiency (%)	18.9±0.0 ^d	18.3±0.4 ^{cd}	17.3±0.0 ^{bc}	17.4±0.2 ^{bc}	16.2±0.3 ^{ab}	15.5±0.8 ^a
Daily feed intake (%)	1.52±0.04 ^a	1.46±0.01 ^a	1.49±0.10 ^a	1.57±0.02 ^a	1.44±0.05 ^a	1.47±0.03 ^a
Daily energy intake (kcal/100 g BW/day)	6.29±0.15 ^a	6.07±0.05 ^a	6.12±0.41 ^a	6.22±0.06 ^a	5.71±0.20 ^a	5.82±0.13 ^a
Mortality (%)	2.5±2.5 ^a	2.5±2.5 ^a	0.0±0.0 ^a	0.0±0.0 ^a	12.5±7.5 ^a	15.0±10 ^a

*1 Juvenile fish weighing 54 g on average were fed on test diet at satiation for 60 days in 500 l aquaria.

*2 All values are means of duplicate tanks containing 20 fish each. Figures in the same line with different superscripts are significantly different ($p < 0.05$).

実験に用いたPBMは、粗灰分含量から高品質・高消化性素材とは考えられず、PBM配合率の増加に伴いAPDが低下したと思われる。

1歳魚(初期平均体重280g)の飼育成績は、魚粉の一部をPBMで代替した飼料区では対照飼料区よりむしろ優れ、魚粉の全量をPBMで代替した無魚粉飼料区でも対照飼料区と同等であった。また、全ての代替区の血液性状や体成分も無代替区と同様であったことから、PBMによる魚粉の全量代替が可能と判断された。既報

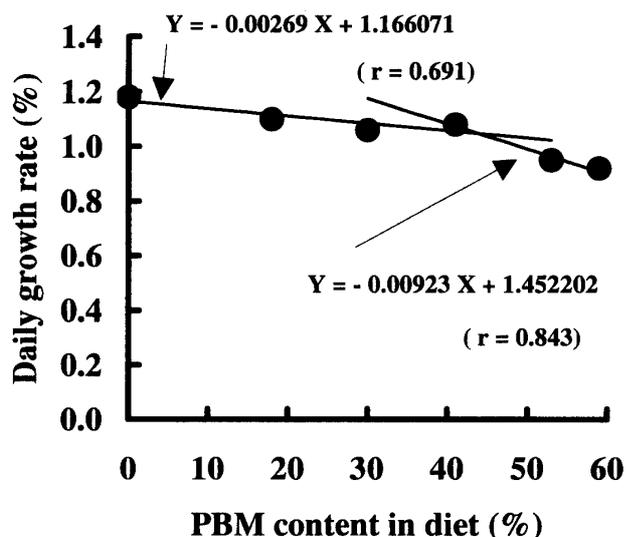


Fig. 4. Relationship between dietary poultry by-product meal (PBM) content with daily growth rate of juvenile red sea bream fed the test diets (Expt. II).

の1歳魚における代替タンパク質の配合許容量は、SPCが50% (魚粉代替率90%)、⁸⁾CGMが36% (魚粉代替率70%)⁹⁾であったことから、PBMはこれら素材より優れていると推察された。この原因としては、PBMは必須アミノ酸組成が比較的優れており、トリプシンインヒビター等の抗栄養因子を含まないこと、粗タンパク質含量が比較的高くて粗糖質含量が低いいため、飼料中の糖質含量を高めることなくタンパク質含量を高く維持できたこと、およびPBM配合率の増加に伴う嗜好性の低下がみられなかったことなどが考えられる。

マダイのPBM利用能は0歳魚に比べて1歳魚で著しく高く、代替タンパク質の利用能は魚の成長により向上することが分かった。同様の結果がマダイ^{8,9)}の他に、ブリ²⁷⁾やニジマス²⁸⁾でも報告されており、魚の成長に伴うアミノ酸要求量の低下が主原因と思われる、今後の飼料開発において有用な知見である。

マダイ1歳魚では、血中コレステロール含量がPBM配合率の増加に伴って低下した。CGMの利用性試験でも血中コレステロール含量が同様に低下し、しかもその低下率は両試験でほぼ等しかった。⁹⁾魚粉は血中コレステロールを増加させるのに対して、²⁹⁾食物繊維は血中コレステロールを低下させる³⁰⁾ことが知られているが、マダイの上記両試験における血中コレステロール低下率が類似していたこと、またマダイの腸管は比較的短く食物繊維の作用を受けにくいことから、コレステロールの低下には食物繊維より魚粉の影響が大きいと推察される。血中コレステロールは抗病性や緑肝発症との関連性も示唆されていることから、^{9,31)}*4,*5 代替タンパク質を

Table 9. Apparent protein digestibility (APD), proximate composition of whole body, and apparent nutrient retention of juvenile red sea bream at the end of the experiment II

Diet no.:	1	2	3	4	5	6
APD (%)	95.5	93.6	93.1	91.6	90.7	88.3
Proximate composition of whole body (% on wet matter basis)*1						
Moisture	67.5±0.2 ^{ab}	67.1±0.9 ^a	68.0±0.0 ^{ab}	68.3±0.8 ^{ab}	69.2±0.6 ^{ab}	69.7±0.8 ^b
Crude protein	17.7±0.1 ^{ab}	17.5±0.2 ^a	18.4±0.1 ^b	18.1±0.4 ^{ab}	18.1±0.2 ^{ab}	18.0±0.2 ^{ab}
Crude fat	11.0±0.7 ^b	10.3±1.3 ^{ab}	9.9±0.1 ^{ab}	9.6±0.2 ^{ab}	8.1±0.4 ^a	8.5±0.3 ^a
Crude ash	3.7±0.0 ^a	3.9±0.0 ^{ab}	4.1±0.2 ^{ab}	4.0±0.1 ^{ab}	4.4±0.2 ^b	4.3±0.3 ^{ab}
Apparent nutrient retention(%)						
Protein	28.5±0.2 ^c	27.6±0.2 ^{bc}	27.8±0.1 ^{bc}	26.4±0.4 ^b	24.5±0.8 ^a	23.6±1.0 ^a
Fat	81.2±5.4 ^d	63.3±7.0 ^c	55.1±0.4 ^{abc}	57.5±1.5 ^{bc}	43.7±1.1 ^{ab}	41.5±3.8 ^a
Energy	35.1±1.1 ^c	32.6±1.7 ^{bc}	31.1±0.2 ^b	30.6±0.2 ^b	26.3±0.2 ^a	25.7±1.6 ^a

*1 All values are means of duplicate pooled samples containing 5 fish per each dietary group. Figures in the same line with different superscripts are significantly different ($p < 0.05$).

*4 渡邊 武: 潜在的マイワシ代替餌料調査—無魚粉及び低魚粉飼料の開発—. 平成5年度魚類養殖対策事業報告書, 水産庁, 1994, pp. 135-163.

*5 渡邊 武: 潜在的マイワシ代替餌料調査—無魚粉及び低魚粉飼料の開発—. 平成6年度魚類養殖対策事業報告書, 水産庁, 1995, pp. 145-170.

Table 10. Incidence of green liver, hepatosomatic index (HSI), hematological and hemochemical characteristics of juvenile red sea bream at the end of the feeding experiment II

Diet no.:	1	2	3	4	5	6
Green liver (%)	0±0 ^a *1	0±0 ^a	10±0 ^a	0±0 ^a	0±0 ^a	20±0 ^b
HSI (%)	1.6±0.1 ^b	1.6±0.1 ^b	1.4±0.1 ^{ab}	1.3±0.1 ^{ab}	1.2±0.1 ^a	1.1±0.1 ^a
Hematological characteristics						
Hematocrit (%)	44.9±0.3 ^a	42.0±1.6 ^a	43.1±2.2 ^a	44.0±2.6 ^a	41.5±3.6 ^a	42.6±7.1 ^a
Hemoglobin (g/100 ml)	10.9±0.1 ^a	10.6±0.6 ^a	10.4±0.1 ^a	10.3±0.1 ^a	10.2±0.1 ^a	10.1±0.1 ^a
Red blood cell (×10 ⁴ cells/mm ³)	364±1 ^a	356±12 ^a	353±6 ^a	347±4 ^a	348±8 ^a	345±1 ^a
MCH (pg)*2	30.0±0.1 ^a	29.8±0.8 ^a	29.4±0.2 ^a	29.8±0.5 ^a	29.5±0.9 ^a	29.1±0.3 ^a
MCHC (%) *2	24.5±0.0 ^a	25.5±0.6 ^a	24.4±1.0 ^a	24.0±1.2 ^a	25.0±2.4 ^a	24.4±3.8 ^a
MCV (μm ³) *2	124±1 ^a	118±1 ^a	123±5 ^a	128±9 ^a	120±9 ^a	123±21 ^a
Hemochemical characteristics						
Protein (g/100 ml)	4.2±0.0 ^a	4.0±0.3 ^a	4.1±0.4 ^a	4.2±0.1 ^a	4.0±0.4 ^a	4.3±0.7 ^a
Albumin (g/100 ml)	2.4±0.1 ^a	2.3±0.0 ^a	2.5±0.1 ^a	2.5±0.1 ^a	2.4±0.1 ^a	2.5±0.3 ^a
A/G ratio*2	1.4±0.0 ^a	1.4±0.2 ^a	1.6±0.2 ^a	1.5±0.1 ^a	1.5±0.2 ^a	1.5±0.2 ^a
Cholesterol (mg/100 ml)	241±15 ^a	217±1 ^a	238±22 ^a	230±5 ^a	198±17 ^a	216±64 ^a
Triglyceride (mg/100 ml)	110±10 ^a	112±3 ^a	118±13 ^a	105±10 ^a	118±18 ^a	116±12 ^a
Glucose (mg/100 ml)	57±2 ^a	55±0 ^a	64±12 ^a	65±9 ^a	66±10 ^a	64±3 ^a
BUN (mg/100 ml)*2	6.2±0.0 ^a	6.9±0.7 ^a	7.3±0.9 ^a	7.0±0.0 ^a	7.2±0.8 ^a	7.5±0.5 ^a

*1 All values are means of duplicate samples containing 5 fish per each dietary group. Figures in the same line with different superscripts are significantly different ($p < 0.05$).

*2 Same as that described in the previous paper.⁹⁾

多用した低・無魚粉飼料の開発にあたっては、コレステロールの生理作用や飼料組成との関連性について今後検討する必要がある。

以上の結果から、PBMはマダイ飼料の代替タンパク質として有用であり、0歳魚では魚粉の70%、1歳魚では魚粉の全量を代替できることが分かった。このように、PBMはマダイ飼料の魚粉代替タンパク質源として優れているが、粗灰分の多い代替タンパク質源の多用は、タンパク質消化率を低下させるばかりでなくリンの排泄をも増加させ、窒素およびリンによる漁場の汚染負荷を助長することになる。²²⁾したがって、実用飼料の配合設計においてはSBM、CGMなどの植物性代替タンパク質源との併用^{32,33)}により、粗タンパク質、粗糖質および粗灰分を適量に維持するとともに嗜好性も改善すれば低魚粉飼料の開発が可能になると思われる。また、PBMの品質は原料の履歴や製造法により異なるので、^{22,26)}今後飼料原料としての品質基準を明らかにするとともに、高品質PBMの製造技術を開発すれば、その利用性はさらに拡大するであろう。

謝 辞

本研究は、水産庁委託による魚類養殖対策調査事業・高品質配合飼料開発試験により行われたものである。ま

た、本研究を行うに当たり、浅井クミ子氏、三善圭子氏ならびに田中 元氏からは、飼育管理にご協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表する。

文 献

- 1) 中山 寛：養魚飼料の現状と課題、「新しい養魚飼料—代替タンパク質の利用—」(渡邊 武編), 恒星社厚生閣, 東京, 1994, pp. 11-22.
- 2) 示野貞夫, 益本俊郎, 藤田 卓, 美馬孝好, 上野慎一: プリ飼料における魚粉の代替タンパク質源. 日水誌, 59, 137-143 (1993).
- 3) 寺田昌司: 海水魚用ドライペレットにおける代替タンパク質の利用—II, 「新しい養魚飼料—代替タンパク質の利用—」(渡邊 武編), 恒星社厚生閣, 東京, 1994, pp. 97-108.
- 4) K. Kikuchi, T. Furuta, and H. Handa: Utilization of feather meal as a protein source in the diet of juvenile Japanese flounder. *Fisheries Sci.*, 60, 203-206 (1994).
- 5) K. Kikuchi, T. Sato, T. Furuta, I. Sakaguchi, and Y. Deguchi: Use of meat and bone meal as a protein source in the diet of juvenile Japanese flounder. *Fisheries Sci.*, 63, 29-32 (1997).
- 6) T. Sato and K. Kikuchi: Meat meal as a protein source in the diet of juvenile Japanese flounder. *Fisheries Sci.*, 63, 877-880 (1997).
- 7) 宇川正治, 滝井健二, 中村元二, 熊井英水: トラフグ用シングルモイストペレットに対する各種蛋白源の利用. 水産増殖, 44, 511-516 (1996).
- 8) 高木修作, 細川秀毅, 示野貞夫, 舞田正志, 宇川正治,

- 上野慎一：マダイ用飼料における濃縮大豆タンパク質の利用. 水産増殖, 47, 77-87 (1999).
- 9) 高木修作, 細川秀毅, 示野貞夫, 宇川正治：マダイ用飼料におけるコーングルテンミールの利用. 日水誌, 66, 417-427 (2000).
 - 10) K. Takii, K. Konishi, M. Ukawa, M. Nakamura, and H. Kumai: Influence of feeding rates and energy flow in tiger puffer and red sea bream. *Fisheries Sci.*, 63, 355-360 (1997).
 - 11) M. Fujii, H. Nakayama, and Y. Yone: Effect of ω 3 fatty acids on growth, feed efficiency and fatty acid composition of red sea bream (*Chrysophrys major*). *Rep. Fish. Res. Lab., Kyushu Univ.*, No. 3, 65-86 (1976).
 - 12) 岡本 浩, 岡本 奨, 武藤聡雄：食品栄養実験 (広田望編), 地球社, 東京, 1981, 319p.
 - 13) T. Watanabe, V. Viyakarn, H. Kimura, K. Ogawa, N. Okamoto, and N. Iso: Utilization of soybean meal as a protein source in a newly developed soft-dry pellet for yellowtail. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 58, 1761-1773 (1992).
 - 14) 古川 厚, 塚原宏子：養魚餌料消化試験の指標物質としての酸化クローム湿式定量法について. 日水誌, 32, 502-506 (1966).
 - 15) 石井 進：生物統計学入門, 培風館, 東京, 1989, 290p.
 - 16) 宇川正治, 滝井健二, 中村元二, 熊井英水：マダイ用配合飼料に対する大豆油粕の利用. 水産増殖, 42, 335-338 (1994).
 - 17) H. Aoki, T. Watanabe, H. Tsuda, and H. Sakamoto: Use of defatted soybean meal as substitutive protein source for fish meal in a newly developed high energy diet for red sea bream. *Suisanzoshoku*, 44, 345-351 (1996).
 - 18) K. Takii, E. Kita, M. Nakamura, H. Kumai, and T. Yagi: Evaluation of rapeseed protein concentration as protein source of diet for red sea bream. *Fisheries Sci.*, 65, 150-154 (1999).
 - 19) T. Yamamoto, T. Unuma, T. Akiyama, and S. Kishi: Utilization of malt protein flour in the diets for fingerling red sea bream. *Fisheries Sci.*, 62, 59-63 (1996).
 - 20) K. Takii, T. Maoka, M. Seoka, T. Kondo, M. Nakamura, H. Kitano, and H. Kumai: Preliminary assessment of dietary yeast, *Saccharomyces cerevisiae*, protein for red sea bream. *Suisanzoshoku*, 47, 71-76 (1999).
 - 21) A.-F. M. El-Sayed: Evaluation of soybean meal, spirulina meal and chicken offal meal as protein sources for silver seabream (*Rhabdosargus sarba*) fingerling. *Aquaculture*, 127, 169-176 (1994).
 - 22) L. G. Fowler: Poultry by-product meal as a dietary protein source in fall chinook salmon diets. *Aquaculture*, 99, 309-321 (1991).
 - 23) J. Pongmaneerat：淡水魚における代替タンパク質の利用, 「新しい養魚飼料—代替タンパク質の利用—」(渡邊武編), 恒星社厚生閣, 東京, 1994, pp. 54-70.
 - 24) F. M. Dong, R. W. Hardy, N. F. Haard, F. T. Barrows, B. A. Rasco, W. T. Fairgrieve, and I. P. Forster: Chemical composition and protein digestibility of poultry by-product meals for salmonid diets. *Aquaculture*, 116, 149-158 (1993).
 - 25) T. Watanabe and J. Pongmaneerat: Quality evaluation of some animal protein sources for rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 57, 495-501 (1991).
 - 26) 杉橋孝夫, 岡本昌幸：原料, 「配合飼料講座上巻」(配合飼料講座編纂委員会編), チクサン出版社, 東京, 1984, pp. 127-265.
 - 27) K. Takii, S. Shimeno, M. Nakamura, Y. Itho, A. Obatake, H. Kumai, and M. Takeda: Evaluation of soy protein concentrate as a partial substitute for fish meal protein in practical diet for yellowtail. *Proc. Third Int. Symp. on Feeding and Nutr. in Fish Toba Aug. 28-Sept. 1, 1989*, pp 281-288.
 - 28) T. Murai, H. Ogata, A. Villaneda, and T. Watanabe: Utilization of soy flour by fingerling rainbow trout having different body size. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 55, 1067-1073 (1989).
 - 29) N. J. Goulding, M. J. Gibney, T. G. Taylor, and P. J. Gallagher: Reversible hypercholesterolaemia produced by cholesterol-free fish meal protein diets. *Atherosclerosis*, 49, 127-137 (1983).
 - 30) 吉田 昭：食物繊維の栄養機能, 「非栄養素と生体機能」(吉田 昭, 杉本悦郎編), 光生館, 東京, 1987, pp. 5-55.
 - 31) M. Maita, H. Aoki, Y. Yamagata, S. Satoh, N. Okamoto, and T. Watanabe: Plasma biochemistry and disease resistance in yellowtail fed a non-fish meal diet. *Fish Pathol.*, 33, 59-63 (1998).
 - 32) H. Aoki, T. Watanabe, M. Furuichi, and H. Tsuda: Use of alternative protein sources as substitutes for fish meal in red sea bream diets. *Suisanzoshoku*, 45, 131-139 (1997).
 - 33) H. Aoki, M. Furuichi, V. Viyakarn, Y. Yamagata, and T. Watanabe: Feed protein ingredients for red sea bream. *Suisanzoshoku*, 46, 121-127 (1998).