

戻し交雑種マダイ♀×F1(マダイ♀×チダイ♂)♂の成長と栄養素代謝

誌名	日本水産学会誌
ISSN	00215392
巻/号	675
掲載ページ	p. 833-837
発行年月	2001年9月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



戻し交雑種マダイ♀×F₁(マダイ♀×チダイ♂)♂の
成長と栄養素代謝
—交雑による新タイ科養殖魚種の作出—II—

滝井 健二,* 坂上 憲晃, 中村 元二,^a 白川 雅仁, 熊井 英水

(2000年11月15日受付, 2001年3月13日受理)

近畿大学水産研究所浦神実験場

Growth and Nutrient Metabolisms of A New Backcross Sea Bream,
Red Sea Bream ♀ × F₁ (Red Sea Bream ♀ × Crimson Sea Bream ♂) ♂
—Development of New Sea Bream Seeds by Hybridization—II—

Kenji Takii,* Noriaki Sakajyo, Motoji Nakamura,^a Masahito Shirakawa, Hidemi Kumai

Fisheries Laboratory, Kinki University, Wakayama 649-5145, Japan

A new backcross sea bream (RF₁), red sea bream (RSB) *Pagrus major* ♀ × F₁ ♂ (RSB ♀ × crimson sea bream *Evynnis japonica* ♂), and RSB, weighing 107 g on an initial mean body weight, were given a commercial diet at a daily feed intake of 1.2% body weight for 80 days. The RF₁ steadily grew but showed lower final mean body weight, feed efficiency, protein efficiency ratio, apparent protein retention and final gastral and enteral organ-somatic indices than the RSB. The RF₁, on the other hand, had higher apparent lipid retention, hepatosomatic index, lipid contents of abdominal cavity, carcass and hepatopancreas, and enzyme activities of hepatic aspartate aminotransferase, alanine aminotransferase, glucose-6-phosphate dehydrogenase, and fructose-1,6-bisphosphatase on the final day of the rearing period. No significant differences between RF₁ and RSB were found in final hematocrit value, hemoglobin content, plasma total protein level, and blood glucose. These results indicated that RF₁ was characterized by slightly lower growth performance than RSB, due to small digestive organs and excessive amino acid utilization for energy expenditure, gluconeogenesis, and lipid synthesis.

キーワード：マダイ♀×F₁(マダイ♀×チダイ♂), マダイ, 成長, 飼育成績, 代謝酵素活性

養殖漁業を地場産業の一つとして今後とも発展させるには、優良な形質の養殖用種苗を選抜育種あるいは遺伝学的手法によって作出するとともに、高効率で経済的な生産技術の確立と複雑な販売網の簡素化を推進する必要がある。特に、養殖用マダイ *Pagrus major* の形質については、成長、飼育成績、肉質、抗病性などとともに、体表の色調(体色)が優れているのが望ましい。^{1,2)}

以上の観点から、熊井および中村はマダイに代わる新タイ科養殖種として、数代の選抜育種による速い成長のマダイと、養殖しても赤い鮮やかな体色を維持するチダイ *Evynnis japonica* を交雑して、交雑種マダイ♀×チダイ♂(F₁)と戻し交雑種マダイ♀×F₁♂(RF₁)を作出し

た。³⁻⁶⁾しかし、F₁の体表の色調はマダイに比べて優れていたが、成長は劣るとともに大きなバラツキが認められたことから、両親魚種を選抜するかあるいはF₁を戻し交雑することによって、新タイ科養殖魚種として優れた交雑魚を作出できる可能性が示唆された。

以上の観点からまず前報⁷⁾において、F₁およびRF₁の外部形態や筋肉線維直径について検討し、F₁ではマダイとチダイの中間的な形質を、RF₁ではF₁よりさらにマダイに近い形質を示すことが明らかになった。筋線維直径がテクスチャーなど肉質にどの程度関与するかは不明であるが、商品サイズに達したRF₁の形態や肉質はマダイに類似することが示された。

* Tel : +81-735-58-0116, Fax : +81-735-58-1246, E-mail : takii@nara.kindai.ac.jp.

^a 現所属：近畿大学水産研究所中辺路研究分室 (Fisheries Laboratory, Kinki University, Nakahechi Branch, Wakayama 646-1402, Japan)

そこで, 本研究では同一のマダイ雌親魚から得た卵を用いて作出した RF₁ とマダイに, 同一飼料を同じ給餌率になるよう給与して一定期間飼育し, 成長, 飼育成績, 全魚体・肝臓の一般成分, 肝臓の各種代謝酵素活性などから, RF₁ の栄養要求や新タイ科養殖魚種としての高い可能性を確認しようとした。

材料および方法

供試魚および飼育方法 本研究所浦神実験場で採苗・養成したマダイ♀親魚(魚体重約1kg)から完熟卵を搾出して2分し, それぞれにマダイおよび F₁ の精子を用いて人工受精を乾導法で行った。ふ化後は両魚種ともワムシ *Brachionus plicatilis*, *Artemia salina*, 市販配合飼料の順に与えて飼育し, 体重が107gに達した時点で飼育試験に供試した。なお, マダイおよび RF₁ とも屋内 3 m³ 容の FRP 製円形水槽に, それぞれ 50 尾ずつ収容して 3 区ずつ合計 6 試験区を設けた。これらの試験区には共通して, 魚粉主体の市販マダイ用配合飼料(丸紅飼料社製; 水分 9.4%, 粗タンパク質 53.1%, 粗脂質 10.8%, 粗灰分 9.4% および粗糖質 11.9%) を, 魚体重の 1.2% になるよう 1 日 2 回, 1 週間に 6 日給与して 80 日間飼育した。各試験区には毎分 20 l の濾過海水を注水し, 絶えずエアレーションを行った。飼育期間中の水温は 19~28°C の範囲で経時的に徐々に上昇した。

飼育期間中は 20 日毎に魚体重を測定した。飼育開始および終了時には各試験区よりランダムに数尾ずつ取り上げて, 血液性状, 血漿化学成分, 消化器官重量, 腹腔内脂肪重量, 全魚体, 肝臓および第一背鰭基部の白筋の一般成分, 肝臓の glucose-6-phosphate dehydrogenase (G6PDH, EC 1.1.1.49), fructose-1,6-bisphosphatase (FBPase, EC 3.1.3.11), phosphofruktokinase (PFK, EC 2.7.1.11), aspartate aminotransferase (GOT, EC 2.6.1.1), alanine aminotransferase (GPT, EC 2.6.1.2) およびトリプシン様酵素活性を測定した。なお, 酵素反応はいずれも 30°C で実施した。魚体は分析するまで -25°C のフリーザーに, 各種臓器は液体窒素で瞬間凍結してから -80°C のフリーザーに凍結保存した。

分析および統計処理 飼料および全魚体・肝臓・白筋の一般成分は AOAC 法によった。⁸⁾ また, それらの粗糖質および肝臓のグリコーゲン含量は前報⁷⁾ に記した方法で測定した。なお, 全魚体・肝臓・白筋の一般成分については, 3 尾分をプールして分析に供した。ヘパリン処理したシリンジを用いて尾柄部静脈より採血を行った後, ヘマトクリット値 (Ht) は定法によって, ヘモグロビン含量 (Hb), 血漿総タンパク含量, 血糖値などは市販の kit を用いて測定した。⁹⁾ 肝臓の各種酵素活性は水抽出して得た粗酵素液を用いて, 前報に記した

方法で分析した。^{10,11)} また, いずれの酵素活性も, 反応条件下で 1 分間に基質を 1 μ mole 分解あるいは反応生成物を 1 μ mole 合成する速度を 1 unit と定義し, 体重 100 g 当たりの全活性および酵素タンパク 1 mg 当たりの比活性で表示した。酵素タンパク量はケールダール法によった。⁸⁾

得られた結果は一元分散分析によって魚種間の有意差判定 ($p < 0.05$) を行った。

結果

成長および飼育成績 飼育開始および終了時における平均体重, 期間中の各種飼育成績を Table 1 に示す。

期間中の生残率は 95% 以上で種間差はなく, 飼育に当たって重大な問題もなかった。終了時における RF₁ の平均体重, 飼料効率およびタンパク効率は, いずれも比較的優れていたが, 統計的にはマダイより有意に低かった。一方, RF₁ ではマダイに比較してみかけの脂質蓄積率は倍増したが, みかけのタンパク質蓄積率は逆に半減した。

血液性状, 血漿化学成分および消化器官重量 飼育開始および終了時における血液性状, 血漿化学成分および消化器官重量の体重比を Table 2 に示す。

開始時における RF₁ の血糖値が有意に高かったことを除いて, 開始および終了時における血液性状や血漿化学成分に種間差は認められなかった。また, 開始時における比肝臓重値にも種間差は認められなかったが, RF₁ ではマダイに比べて比胃重および比腸重値は有意に低かった。さらに, 終了時における RF₁ の比肝臓重値や比腹腔内脂肪重値はマダイより有意に高く, 逆に, 比胃重や比腸重値は有意に低かった。

Table 1. Mean body weight and growth performance of RF₁; red sea bream (RSB) ♀ × F₁ (red sea bream ♀ × crimson sea bream ♂) ♂, and RSB fed an artificial diet for 80 days

	RF ₁	RSB
Mean body weight		
Initial	107.0 ± 6.7 ^{*1}	107.0 ± 6.7
Final	181.6 ± 25.9 ^{a*2}	197.3 ± 20.9 ^b
Survival (%) ^{*3}	95.3 ± 3.1	98.0 ± 2.0
Daily feeding rate (%) ^{*3}	1.2 ± 0.0	1.2 ± 0.0
Feed efficiency (%) ^{*3}	53.9 ± 1.7 ^a	61.8 ± 1.7 ^b
Protein efficiency ratio ^{*3}	1.0 ± 0.0 ^a	1.2 ± 0.0 ^b
Apparent retention (%) ^{*3}		
Protein	17.5 ± 1.1 ^a	20.5 ± 0.5 ^b
Fat	73.7 ± 4.0 ^a	39.2 ± 2.1 ^b

^{*1} Mean ± SD.

^{*2} Different superscript letter donate a significant difference with a row ($p < 0.05$).

^{*3} $n = 3$.

Table 2. Hematology, plasma constituent, and relative digestive organ weight to body weight of RF₁*¹ and RSB*¹ fed an artificial diet for 80 days

	Initial		Final	
	RF ₁	RSB	RF ₁	RSB
Hematology* ²				
Hematocrit (%)	30.9±3.2	30.7±3.0	35.2±4.2	35.4±3.9
Hemoglobin (g/100 mL)	9.1±0.9	7.9±0.7	8.9±2.2	9.1±1.2
Plasma constituent* ²				
Total protein (g/mL)	3.3±0.3	3.5±0.2	3.6±0.2	3.7±0.4
Glucose (mg/100 mL)	53.7±5.5 ^{a*3}	45.1±3.2 ^b	44.9±10.1	48.0±8.9
Relative organ weight to body weight (%) ^{*4}				
Hepatopancreas	1.44±0.18	1.48±0.22	1.53±0.25 ^a	1.00±0.11 ^b
Stomach	0.52±0.06 ^a	0.61±0.06 ^b	0.28±0.02 ^c	0.33±0.02 ^d
Intestine	0.88±0.12 ^a	1.45±0.23 ^b	0.96±0.10 ^c	1.10±0.11 ^d
Fat in abdominal			4.56±0.57 ^a	2.74±0.35 ^b

*¹ See in Table 1.*² Mean ± SD (*n* = 6).*³ Different superscript letter donate a significant difference with a row (*p* < 0.05) at initial or final day.*⁴ Mean ± SD (*n* = 5).**Table 3.** Proximate composition (%)^{*1} of whole body, hepatopancreas, and white muscle of RF₁*² and RSB*² fed an artificial diet for 80 days

	Initial		Final	
	RF ₁	RSB	RF ₁	RSB
Whole body				
Moisture	65.4	69.2	63.8	68.4
Crude protein	17.5	17.0	17.4	17.8
Crude fat	12.3	7.6	13.4	7.3
Crude ash	4.6	5.7	5.0	5.8
Hepatopancreas				
Moisture	69.2	68.1	54.6	64.4
Crude protein	15.3	13.0	11.0	13.9
Crude fat	8.4	7.9	25.0	8.3
Crude ash	2.0	1.8	1.2	1.4
Glycogen	2.9	4.0	9.3	6.5
White muscle				
Moisture	73.2	74.6	73.0	74.5
Crude protein	22.3	22.3	21.2	21.2
Crude fat	2.8	2.5	2.9	2.6
Crude ash	1.7	1.6	1.5	1.9

*¹ Pooled samples of 3 fish for whole body analysis and 5 fish for the hepatopancreas and white muscle under the dorsal fin.*² See in Table 1.

全魚体、肝臓および白筋の一般成分 飼育開始および終了時における全魚体、肝臓および白筋の一般成分を Table 3 に示す。

まず全魚体に注目すると、開始および終了時のいずれにおいても、RF₁ではマダイに比べて水分含量は低く粗脂肪含量は高い傾向にあった。開始時における肝臓

についてみると、各成分に種間差は認められなかったが、終了時における水分と粗脂肪含量は先の全魚体に類似して、RF₁ではマダイよりそれぞれ減少および増加した。しかし、白筋の一般成分に種間差や一定の傾向は得られなかった。

肝臓の各種酵素活性 飼育開始および終了時における肝臓の G6PDH, FBPase, PFK, GOT, GPT およびトリブシン様酵素活性を比活性および体重 100 g 当たりの全活性で Fig. 1 に示す。

開始時における酵素活性には、いずれの活性表示法でも有意な種間差は認められなかった。しかし、終了時における各種酵素活性を全活性で比較すると、RF₁ではマダイに比べて FBPase, PFK, GOT, GPT およびトリブシン様酵素活性が有意に高かった。しかし、比活性でみると RF₁ の G6PDH 活性のみがマダイより有意に高かった。

考 察

チダイの成長はマダイに比較して遅いことが知られている。¹³⁾ 熊井および中村^{3,4)}や荒川^{5,6)}らはこれまで F₁ や RF₁ を飼育し、F₁ は親魚種であるマダイとチダイの中間的な成長を、RF₁ はマダイに類似する成長を示すことを報告したが、生餌あるいは配合飼料との併用で生簀飼育したもので、本研究のように水槽飼育下で配合飼料のみを与えて詳細な飼育成績を求めたものでなかった。

飼育期間中における生残率はいずれも 95% 以上で問題はなく優れていた。一方、終了時における RF₁ の平均体重はマダイのその 92% であり、統計学上では有意な種間差が認められたが、実際の養殖に際してはそれ

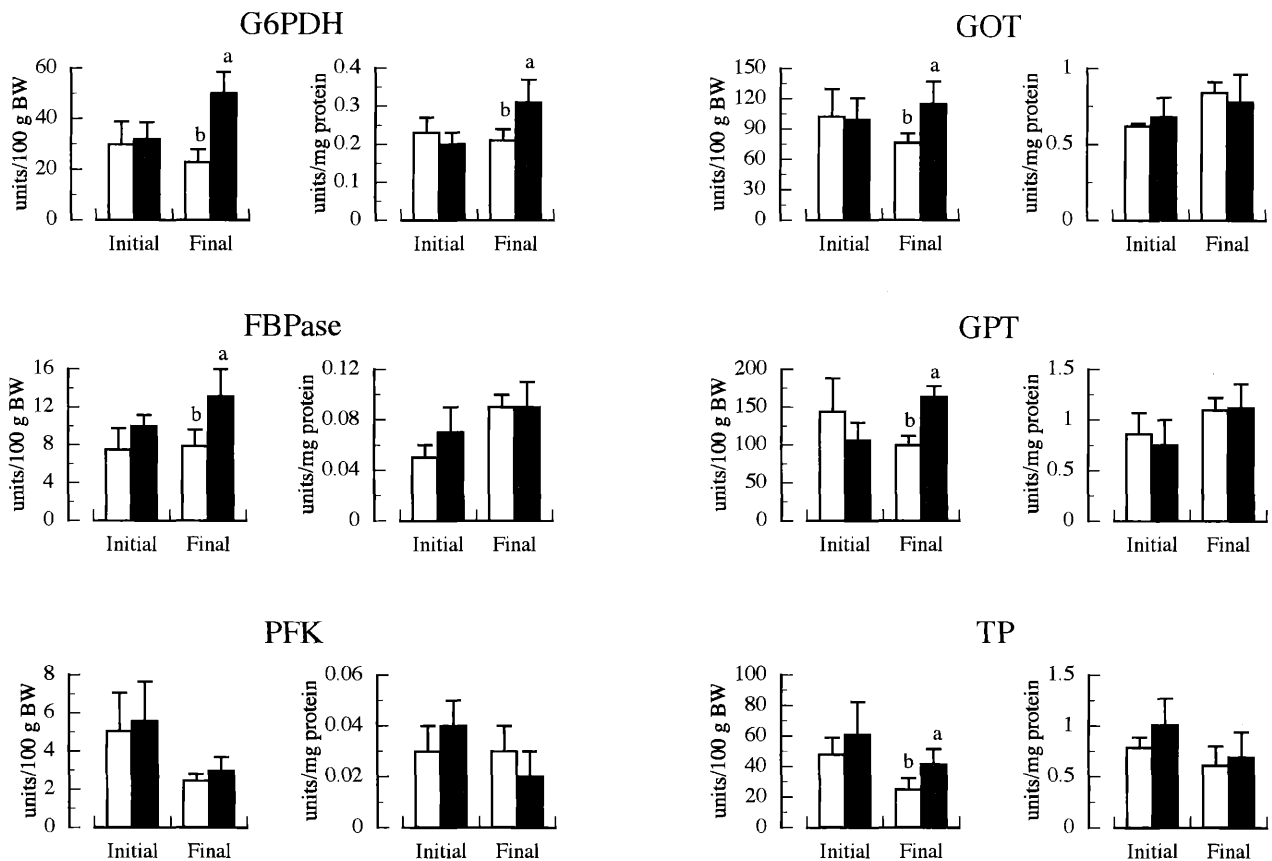


Fig. 1. Hepatopancreatic glucose-6-phosphate dehydrogenase (G6PDH), fructose bisphosphatase (FBPase), phosphofruc-tokinase (PFK), aspartate aminotransferase (GOT), alanine aminotransferase (GPT), and tryptic proteinase activities of RF₁* (■) and RSB* (□) on the initial and final day of the 80-day-feeding trial. Mean ± SD (n = 5). Different superscript letter on bars donates significant difference between the fishes. *See in Table 1.

ほど劣るものでないのかもしれない。また、本研究では astaxanthin を全く含まない配合飼料を与えたにもかかわらず、RF₁ の体表の色調はマダイより優れていた。村田¹⁴⁾は海産養殖魚の品種改良に関する研究で、交雑魚カンパチ *Seriola dumerili* ♀ × ヒラマサ *Seriola aureovittata* ♂ が両親魚種より優れた成長を示したことを除いて、他のタイ科、イシダイ科およびブリ科の8交雑魚では、成長はいずれも両親魚種の間であったことを報告している。また、これまでコイ科、サケ科あるいはチョウザメ科やドジョウ属の魚類でも交雑魚が作出され、一部に雑種強勢や雑種致死・崩壊が認められたが、成長に関しては両親魚種の間接的形質をとることが多く示されている。¹⁵⁾ マダイあるいはタイ科魚類の育種を進めるのに当たっては、鈴木が指摘したように、¹⁶⁾ まず、未知の因子型から成る混合雑団をいくつかの系統に分離し、次いで、それら系統間の交雑による F₂ および後代における多数の因子型から、種々の合目的な形質を選択するという過程が重要になるであろう。優れた成長や色調のマダイと F₁ をそれぞれ選抜して戻し交雑や遺

伝子操作を進めれば、さらに養殖に適した形質やバラツキの少ない新タイ科養殖魚種を作出することは充分に可能であろう。

チダイおよび RF₁ の栄養素およびエネルギー要求が不明であることから、本研究では粗タンパク質含量が 53.1% の市販マダイ用配合飼料を、1日当たり体重の 1.2% になるように給与した。マダイに比べて RF₁ の飼料効率、タンパク効率、みかけのタンパク質蓄積率、比消化器官重値などは低く、逆に、RF₁ のみかけの脂質蓄積率、肝臓の粗脂質含量、腹腔内脂肪重量、肝臓の G6PDH、FBPase、GOT および GPT 活性などは有意に高かった。これらの結果は RF₁ とマダイでは栄養素要求やエネルギー要求量の種間差に基づくのかもしれない。脂質蓄積率、肝臓の粗脂質含量、肝臓の各代謝酵素活性などを踏まえると、RF₁ ではマダイに比べてアミノ酸の脱アミノ反応や、糖新生と脂質合成が活性化されていたので、おそらく RF₁ のタンパク質要求性はマダイより低いのであろう。ちなみに、G6PDH は脂質合成に欠かせない NADPH を産生する酵素であり、

FBPaseは糖新生経路の律速酵素の一つである。¹⁷⁾なお、これらの酵素活性は単位体重当たりの全活性で比較して種間差が認められたが、比活性でみるとG6PDHを除いて大きな差異はなかった。魚種間における代謝能や代謝パターンを論議する場合は、比活性よりむしろ全活性に注目すべきであろう。一方、マダイは脂質をエネルギー源として多く消費し、代わりにタンパク質を効率よく蓄積して優れた成長を維持することが報告されている。¹⁷⁾RF₁およびチダイの栄養要求やエネルギー収支、さらには代謝機能について解明することは、今後の交雑育種を進めるにあたって重要な意義を持つと考える。

最近になって食生活の欧米化が急速に進んでいる。しかし、肉食を中心とする栄養素の多量摂取は、先進国型疾病構造への転換すなわち脳卒中、心疾患、高血圧などの成人病の発生と深く関わっている。¹⁸⁾食塩摂取量が多いこれまでの日本型の食生活にも多少の問題はあるが、養殖漁業が魚食を中心にした好ましい食生活パターンの推進に貢献できれば、成人病予防を踏まえた公衆栄養活動をより推進できると考えるのは、著者らだけではないであろう。そのためには、これまでの大型高級魚だけを対象にする養殖から、核家族・小家族化を考慮した小型で廉価な商品開発も必要になる。本研究で供試したRF₁の成長や飼育成績はマダイに比べて若干劣っていたが体表の色調が優れていた。おそらく、長期間の飼育ではRF₁とマダイとの成長差がさらに拡大すると考えられるので、小型商品としてRF₁を生産流通させることも今後の魚類養殖産業に必要な手段の一つかもしれない。

謝 辞

本研究を実施するのに当たって、近畿大学水産研究所浦神実験場教職員および学生各位にご助力をいただいた。ここに記して感謝の意を表します。

文 献

1) Murata O, Harada T, Miyashita S, Izumi K, Maeda S,

- Kato K, Kumai H. Selective breeding for growth in red sea bream. *Fisheries Sci.* 1996; **62**: 845-849.
- 2) Watanabe T. Intensive marine farming in Japan. In: Shepherd J, Bromage N (eds) *Intensive Fish Farming*, BSP Professional Books, Oxford, 1988; 239-267.
- 3) 熊井英水, 中村元二. マダイとチダイの人工交配とふ化仔魚の飼育. 昭和48年度日本水産学会春季大会講演要旨集, 1973; 75.
- 4) 熊井英水, 中村元二. 交雑魚マチダイの戻し交雑について. 昭和52年度日本水産学会秋季大会講演要旨集, 1977; 75.
- 5) 荒川敏久, 吉田範秋. マダイ・チダイ交雑種幼稚仔魚と人工採苗マダイの成長および外部形態の比較. 長崎県水産試験場報告 1986; **12**: 27-35.
- 6) 荒川敏久, 北島 力, 山下金義, 池田昭義, 飯村秀雄. マダイ(雌)・チダイ(雄)交雑魚の成長と外部形態. 長崎県水産試験場報告 1988; **14**: 31-35.
- 7) 中村元二, 坂上憲晃, 滝井健二, 浦川敬一, 熊井英水. マダイおよびチダイ間交雑魚の外部形態と筋繊維直径. 日本誌 2001; **67**: 829-832.
- 8) AOAC. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 14th ed., Arlington, VA, 1984; 1-1141.
- 9) Takii K, Ukawa M, Nakamura M, Kumai H. Suitable sugar level in brown fish meal diet for tiger puffer. *Fisheries Sci.* 1995; **61**: 837-840.
- 10) 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大豆タンパクの利用. 水産増殖 1997; **45**: 547-553.
- 11) Takii K, Shimeno S, Takeda M. The effect of feeding stimulants in diet on some hepatic enzyme activities of eel. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1986; **52**: 2132-2134.
- 12) 滝井健二, 中村元二, 高岡 治, 古田晋一, 熊井英水. ふ化後におけるマダイ稚仔魚の各種酵素活性の変化. 水産増殖 1992; **40**: 291-296.
- 13) 落合 明, 田中 克. チダイ. 「魚類学 下」, 恒星社厚生閣, 東京, 1986; 750-757.
- 14) 村田 修. マダイ *Pagrus major*. 「最新海産魚の養殖」(熊井英水編著), 湊文社, 東京, 2000; 89-108.
- 15) 村田 修. 海水養殖魚の品種改良に関する研究. 近畿大学水産研究所報告 1998; **6**: 1-101.
- 16) 鈴木 亮. 育種学的にみた魚類の交雑. 日本誌 1966; **32**: 677-688.
- 17) Furuichi M. Studies on the utilization of carbohydrate by fishes. *Rep. Fish. Res. Lab. Kyushu Univ.* 1983; **6**: 1-59.
- 18) 大柴恵一. 国民の栄養状態. 「公衆栄養学」(田中平三編) 南江堂, 東京, 1995; 33-39.