

マダイおよびチダイ間交雑魚の外部形態と筋線維直径 —交雑による新タイ科養殖魚種の作出—I—

中村 元二,^{1a*} 坂上 憲晃,¹ 滝井 健二,¹ 浦川 敬一,² 熊井 英水¹

(2000 年 11 月 15 日受付, 2001 年 3 月 13 日受理)

¹近畿大学水産研究所浦神実験場, ²近畿大学水産養殖種苗センター浦神事業場

Morphology and Muscle Fiber Diameter of Artificial Hybrids between Red Sea Bream and Crimson Sea Bream —Development of New Sea Bream Seedlings by Hybridization—I—

Motoji Nakamura,^{1a*} Noriaki Sakajyo,¹ Kenji Takii,¹ Kei-ichi Urakawa,² Hidemi Kumai¹

¹Fisheries Laboratory, Kinki University, Wakayama 649-5145, ²Kinki University Fish Nursery Center, Wakayama 649-5145, Japan

Red sea bream *Pagrus major*, red sea bream ♀ × crimson sea bream *Evynnis japonica* ♂ (F₁), and red sea bream ♀ × F₁ ♂ (RF₁), with body length (BL) of 35~41 cm and 2~5-year-old, and crimson sea bream, with BL of 25~33 cm and 8-year-old, in attempt to develop new sea bream seedlings, were compared with their muscle fiber diameters. These fishes were fed on artificial diets commercially available and reared in net pens settled in the Urakami Bay, near the Peninsula of Shionomisaki. The RSB, RF₁, and F₁ had significantly lower relative head length, caudal peduncle length, body height, and eye diameter to the BL than those of CSB. Relative snout length and head height to body length, lateral line scales, and gill rakers showed an increasing trend in the order of RSB • RF₁, F₁ and CSB. Fiber diameter frequency of white muscle under the tip of dorsal fin also slid to an increasing direction in the order of RSB, RF₁, F₁, and CSB. These results indicate that the backcross RF₁ morphometrically approach to RSB more than F₁ and CSB.

キーワード：マダイ, チダイ, マダイ♀×チダイ♂, マダイ♀×F₁♂ (マダイ♀×チダイ♂), 外部形態, 筋肉線維直径

マダイ *Pagrus major* をはじめとする海産魚類養殖業の安定した生産と経営には、優れた形質の種苗の入手と高効率な養殖技術の確立が必要になる。これまで Murata *et al.*¹⁾ は、成長の優れたマダイの作出を目的に 8 代にわたる選抜育種を行い、成長速度が選抜以前の約 2 倍に達する養殖用種苗を得た。しかし、選抜育種では同一系統内の交配によって近交係数は上昇し、遺伝的浮動による劣性遺伝子の発現が危惧されるし、優れた成長や飼育成績が得られても体型や体表の色調に問題があれば、商品価値を大きく低下させることになる。²⁾ 特に、マダイを長期間網生簀で養殖すると、体表の色調が天然魚に比べて大きく黒化することが知られている。この黒化に対して astaxanthin などのカロチノイド系色素の給

与と、遮光シートによる日射量の低減が有効なことが報告されているが、³⁾ 色調には種々の環境ストレスや生理機構、遺伝形質なども複雑に関連していることから、天然魚と同程度にまでに色揚げするのは難しく、また多大の費用と時間が必要になる。そこで、熊井および中村^{4,5)}そして荒川ら^{6,7)}は、マダイの養殖による色調黒化の問題を育種学的に解決するために、成長が優れたマダイ♀と長期間の養殖でも黒化しにくいチダイ *Evynnis japonica* ♂との交雑魚種 (F₁) を作出した。これらの報告では、F₁ の体表の色調は養殖マダイに比べて優れていたが、成長や飼育成績が劣っていたことから、新タイ科養殖魚種として問題のあることが示された。しかし、F₁ の各測定値に大きなバラツキが認められたので、両

* Tel : +81-739-65-0321, Fax : +81-739-65-0322, E-mail : suikenna@cello.ocn.ne.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)

親魚種を選抜するかあるいは F_1 を戻し交雑することによって、成長、飼育成績、体表の色調が優れた交雑魚が得られる可能性も示唆された。

そこで、本研究では F_1 と戻し交雑種マダイ♀× F_1 ♂ (RF_1) の新タイ科養殖魚としての可能性を再検討するために、浦神実験場で作出してから飼育し、商品サイズにまで達した RF_1 、マダイ、 F_1 およびチダイをそれぞれ取り上げて、外部形態や筋肉線維の直径モードについて比較した。 RF_1 のこれら形質がマダイに類似していれば、新タイ科養殖魚種として一つの条件を満たすものとする。

材料および方法

供試魚 量的形質、消化器官重量、白筋の筋線維直径などは、遺伝的要因だけでなく飼育条件や環境的要因によっても影響を受ける。そこで本研究では Table 1 に示すように年令は異なるが、飼育条件や体長がなるべく類似するものを用いた。すなわち、近畿大学水産研究所浦神実験場で人工受精した後、年齢がそれぞれ 2+, 3+ および 5+ に達した RSB, RF_1 および F_1 と、熊野灘で天然採捕されたのち 11 年間本研究所浦神実験場で飼育した CSB を 5 尾ずつ供試した。なお、いずれも本実験場地先の試験用小割生簀 (4×4×2.5 m) で飼育し、RSB, RF_1 および F_1 は体長 35~41 cm のものを、CSB は体長 25~33 cm のものをそれぞれ供試した。従って、RSB, RF_1 および F_1 の体重は 1,700 g 前後で類似していたが、CSM の体重は 890 g と小さかった。

測定項目 まず、供試魚を即殺して外部形態を測定してから、第一背鰭基部の白筋を Bouin 液で固定し 70% ethanol で保存した。

外部形態として全長、尾叉長、頭長、吻長、上顎長、下顎長、尾柄長、体高、頭高、尾柄高、眼径などを mm 単位で測定した。また、消化器官重量や量的形質として側線鱗数、側線上の横列鱗数、鰓耙数、背鰭および腹鰭の棘・軟条数などを計数した。

Table 1. Fishes*1 and their hybrids*1 used for the present study

	Body length (mm)	Body weight (g)
<i>Pagrus major</i> (RSB)	369 ± 13.1*2	1770 ± 190
<i>Eyynniss japonica</i> (CSB)	291 ± 39.1	889 ± 303
RSB ♀ × CSB ♂ (F_1)	393 ± 14.7	1770 ± 207
RSB ♀ × F_1 ♂	390 ± 12.7	1600 ± 164

*1 The RSB, F_1 , and RF_1 were reared under similar conditions for 2+, 5+ and 3+-year-old after hatching at Fisheries Laboratory, Kinki University, Urugami. The CSB was reared for 11 years at the laboratory after fishing at the Kumano Nada.

*2 Mean ± SD (n=5).

白筋の筋線維直径は Westherley *et al.*⁸⁾の方法に準じて測定した。すなわち、定法により 8–10 μ m の切片を HE 染色し、写真撮影してから画像解析ソフトと解析装置 (デジタイダ: Nikon 社製) で、筋線維断面積を求めて直径を算出した。なお、筋線維直径はいずれの魚種でも 1 尾につき 150 本について測定した。

なお、これらの測定はいずれも秋季に実施し、性による区別は行わなかった。

統計処理 各項目について一元分散分析 ($p < 0.05$) した後、平均値の差異を Duncan's Multiple Range Test で種間の有意差判定 ($p < 0.05$) を行った。⁹⁾

結 果

量的形質および消化器官重量 体長に対する各比部位長、計数的形質および体重に対する比消化器官重値を Table 2 に示す。

比尾差長、比前肛門長、比尾柄高などに種間差や一定の傾向は得られなかった。RSB, RF_1 および F_1 の比頭長、比体高、比眼径などは CSB より有意に低く、逆に、比尾柄長と側線上の横列鱗数は有意に高かった。しかし、RSB, RF_1 および F_1 のこれら測定項目に有意差はなかった。一方、比吻長、比頭高、鰓耙数などは CSB が最も高値で、次いで F_1 および RF_1 ・RSB の順に低下する傾向にあった。消化器官重量についてみると、比肝脾臓重値は RF_1 と F_1 が RSB と CSB より高く、比胃重および比腸重値は CSB が他の 3 魚種より有意に低かった。

筋線維直径 白筋の筋線維直径をヒストグラムにして Fig. 1 に示す。なお、CSB については体長 32.7 cm の 1 個体についてのみ測定を行った。

筋線維直径のモードは RSB, RF_1 , F_1 および CSB の順に徐々に増大した。すなわち、RSB および RF_1 では直径 20.0–39.9 μ m の線維が主体であり、次いで RSB では 19.9 μ m 以下のものが、 RF_1 では 40.0–59.9 μ m のものが比較的多かった。しかし、 F_1 では 40.0–59.9 μ m の線維が主体であり、60.0 μ m 以上のものも出現した。さらに、CSB では 60.0–79.9 μ m の筋線維が優占していた。

考 察

本研究では交雑魚の商品としての評価を行うために、チダイを除いて体長 40 cm および体重 1,700 g に近い魚体のものを供試した。チダイの最大成長に関する報告はみあたらないが、本研究所における飼育でも体重 1,000 g を越えるものはめずらしい。また、供試した魚体数も少なかったことから、厳密な魚種間比較を行うのには多少の問題は残るが、量的形質のうち比頭長、比体高、比眼径、比尾柄長、側線上の横列鱗数、比胃重および比腸

Table 2. Morphometric characters and relative digestive organ weight to body weight of RBS*¹, RF₁*¹, F₁*¹ and CSB*¹

	RSB	RF ₁	F ₁	CSB
Relative body length				
Fork length	1.092 ± 0.018* ²	1.080 ± 0.013	1.078 ± 0.008	1.086 ± 0.031
Pre-anal length	0.592 ± 0.009	0.583 ± 0.013	0.587 ± 0.008	0.584 ± 0.020
Head length	0.245 ± 0.011* ^{a*3}	0.235 ± 0.013 ^a	0.244 ± 0.013 ^a	0.263 ± 0.008 ^b
Snout length	0.078 ± 0.010 ^a	0.076 ± 0.008 ^a	0.081 ± 0.003 ^{ab}	0.089 ± 0.005 ^b
Upper jaw length	0.075 ± 0.004 ^a	0.082 ± 0.006 ^{ab}	0.074 ± 0.002 ^a	0.090 ± 0.009 ^b
Caudal peduncle length	0.178 ± 0.017 ^a	0.167 ± 0.014 ^a	0.161 ± 0.010 ^a	0.139 ± 0.005 ^b
Body height	0.397 ± 0.009 ^a	0.382 ± 0.012 ^a	0.390 ± 0.010 ^a	0.437 ± 0.012 ^b
Head height	0.253 ± 0.008 ^a	0.246 ± 0.008 ^a	0.274 ± 0.004 ^b	0.323 ± 0.009 ^c
Caudal peduncle height	0.097 ± 0.001 ^a	0.091 ± 0.006 ^b	0.091 ± 0.002 ^b	0.095 ± 0.003 ^{ab}
Eye diameter	0.063 ± 0.004 ^a	0.061 ± 0.004 ^a	0.061 ± 0.004 ^a	0.073 ± 0.005 ^b
Interorbital width	0.118 ± 0.004	0.122 ± 0.004	0.199 ± 0.005	0.126 ± 0.009
Lateral line scales	56.6 ± 1.1 ^a	54.8 ± 1.8 ^a	59.0 ± 2.1 ^b	59.2 ± 1.6 ^b
Scales above lateral line	8.0 ± 0.0 ^a	8.4 ± 0.5 ^a	7.8 ± 0.4 ^a	7.0 ± 0.7 ^b
Scales below lateral line	15.4 ± 0.6 ^a	14.4 ± 0.5 ^b	15.2 ± 0.4 ^a	15.0 ± 0.0 ^a
Gill rakers	18.2 ± 0.4 ^a	18.8 ± 1.1 ^{ab}	19.8 ± 1.3 ^{bc}	20.2 ± 0.4 ^c
Relative body weight (%)				
Hepatopancreas weight	0.809 ± 0.111 ^a	1.295 ± 0.167 ^b	1.320 ± 0.237 ^b	0.667 ± 0.112 ^a
Stomach weight	0.448 ± 0.005 ^a	0.525 ± 0.095 ^a	0.425 ± 0.151 ^a	0.198 ± 0.038 ^b
Intestine weight	1.127 ± 0.361 ^a	1.190 ± 0.096 ^a	1.051 ± 0.198 ^a	0.458 ± 0.063 ^b

*¹ See in Table 1.*² Mean ± SD (*n* = 5).*³ Different superscript letter denotes significant difference with the same row (*p* < 0.05).

重値などは、チダイとマダイ・RF₁・F₁との間に有意な差異が認められ、両交雑魚種の表現型はチダイよりマダイに近かった。一方、比吻長、比頭高、鰓耙数、白筋の筋繊維直径などはチダイが大きく、次いでF₁およびRF₁・マダイの順に低下する傾向にあった。荒川および吉田⁶⁾もF₁の外部形態について調べ、比頭長、比体高、比眼窩長、比吻長および比上顎長はマダイより低いことを報告した。比頭長、比体高および比眼窩長に関して、本研究と異なる結果が得られた理由は不明であるが、鈴木¹⁰⁾が指摘したように、それぞれの飼育環境にたまたま適合した個体が生存し、必ずしも交雑種F₁の全ての形質を反映していない可能性が考えられる。いずれにしても、RF₁の外部形態がマダイにより類似していたことから、実際の流通商品として大きな問題のないことが示唆された。

一方、これまで報告されたタイ科魚類間の雑種第1代の外部形態についてみると、マダイ♀×クロダイ *Acanthopagrus schlegelii* ♂¹¹⁾とマダイ♀×ヘダイ *Sparus sarba* ♂¹²⁾では、いずれも雄親魚の形質が優勢であったことが報告されている。しかし、クロダイ♀×ヘダイ ♂¹³⁾では両親魚種の中間的形質が出現している。また、本研究や荒川ら⁷⁾の報告から、F₁は両親魚の中間型を示すことが示唆されている。Taniguchi and Fujita¹⁴⁾は肝臓酵素のアイソザイムパターンからタイ科魚類の

遺伝学的距離を求め、クロダイ、ヘダイおよびマダイの相互間では1.3–1.4と比較的遠いのに対して、マダイとチダイでは0.4で近いことを示した。魚住および田畑¹⁵⁾はヒラメ *Paralichthys olivaceus* の量的形質の遺伝率を推定し、仔稚魚期の成長は母性効果による影響が大きく、白化率も親魚の影響を受けると考えられるが、母性効果は非常に低値であることを示唆した。また、Shikano *et al.*¹⁶⁾はグッピー *Poecilia reticulata* の塩分耐性に、雑種強勢が認められたことを報告している。今後はタイ科魚類間における遺伝的距離、量的形質の遺伝率の推定、雑種強勢などの関連性を詳細に検討し、交雑育種のための有益な指針を得る必要があろう。

Weatherley *et al.*⁶⁾は魚類の成長と筋肉線維の直径との関連性について調べ、成長期には線維の肥大と加入があることから、線維の直径モードは低値を維持するが、最大体長に近づくのに伴って加入は停止して肥大だけが進み、線維の直径モードは増大することを示唆した。体長がほぼ等しいマダイと交雑種間で比較すると、マダイとRF₁の筋肉線維の直径モードに顕著な違いは認められなかったが、F₁では直径40 μm以上の線維の割合が増加した。また、チダイの体長は他の魚種に比べて短かったが、筋肉線維の直径モードはF₁よりさらに増大した。これらの結果は、交雑種F₁の最大体長はマダイとチダイの両親魚種の中間であり、戻し交雑種RF₁の最

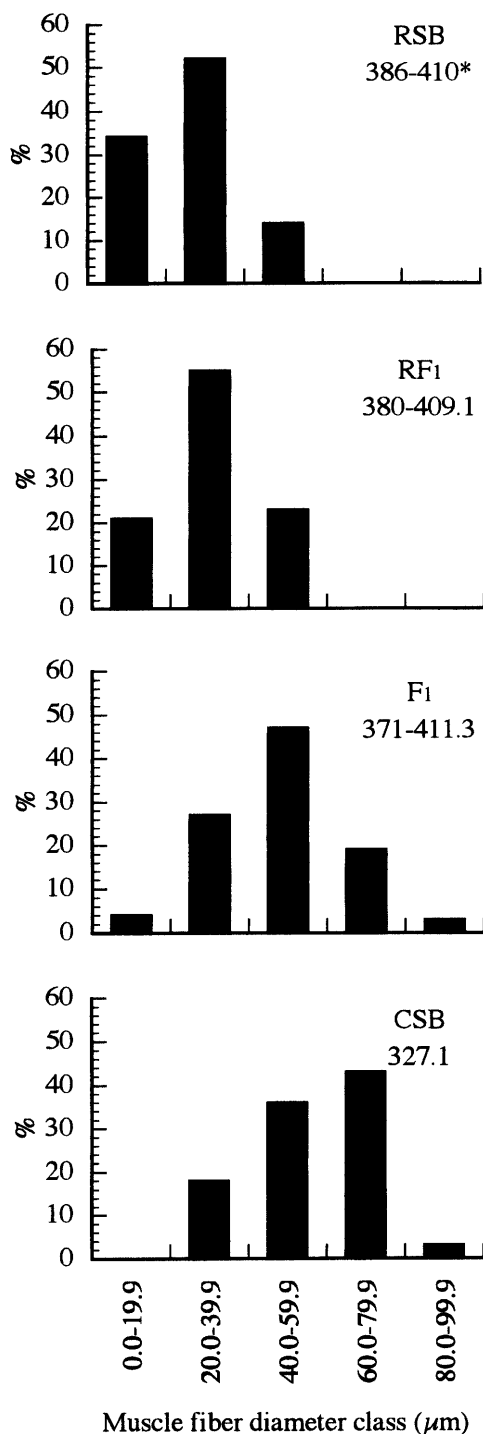


Fig. 1. Fiber diameter frequencies of dorsal white muscle under the first dorsal fin of RBS,*² RF₁,*² F₁*² and CSB.*² The diameter was measured by the method of Weatherley *et al.*⁽⁶⁾

*¹ Range of body length.

*² See in Table 2.

大体長はマダイに近付くことを示唆している。さらに、筋線維の直径が筋肉のテクスチャーにどのように影響するかは不明であるが、RF₁とマダイで顕著な差異がなかったことから、商品サイズにおける筋肉の物性にも大きな問題がないと推察された。

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ならびに学生各位にご助力を賜った。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) 今田 克. III. 水産養殖へのカロテノイドの応用. 7. マダイ・甲殻類. 「水産学シリーズ 25 水産食品のカロテノイド」(日本水産学会編) 恒星社厚生閣, 東京, 1978; 108-122.
- 3) 片山輝久. II. 水産動物のカロチノイド代謝. 「水産学シリーズ 25 水産食品のカロテノイド」(日本水産学会編) 恒星社厚生閣, 東京, 1978; 41-59.
- 4) 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要旨集, 1973; 75.
- 5) 熊井英水, 中村元二. 交雑魚マダ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.
- 6) 荒川敏久, 吉田範秋. マダイ・チダイ交雑種幼稚仔と人工採苗マダイの成長, 生残および外部形態の比較. 長崎県水産試験場研究報告 1986; **12**: 27-35.
- 7) 荒川敏久, 北島 力, 山下金義, 池田昭義, 飯村秀夫. マダイ (雌)・チダイ (雄) 交雑魚の成長と外部形態. 長崎県水産試験場研究報告 1988; **14**: 31-35.
- 8) Weatherly AH, Gill HG, Lobo AF. Recruitment and maximal fibers diameter of axial muscle fibers in teleosts and their relationship to somatic growth and ultimate. *J. Fish Biol.* 1988; **33**: 851-859.
- 9) Harter HL. Critical value for Duncan's new multiple range tests. *Biometrics* 1960; **16**: 671-685.
- 10) 鈴木 亮. 種育学的にみた魚類の交雑. 日水誌 1966; **32**: 677-688.
- 11) 村田 修, 宮下 盛, 那須敏朗, 熊井英水. 交雑魚マダイ×クロダイの成長, 外部形態および環境ストレス耐性. 水産増殖 1995; **43**: 145-151.
- 12) 村田 修, 宮下 盛, 那須敏朗, 熊井英水. 交雑魚マダイ×ヘダイの成長, 外部形態および環境ストレス耐性. 水産増殖 1995; **43**: 475-481.
- 13) 原田輝雄. マダイとクロダイの人工交配について. 昭和 39 年度日本水産学会秋季大会講演要旨集, 1964; 26.
- 14) Taniguchi N, Fujita M. Genetic divergence and systematic in sparid fish from Japan. *Indo-Pacific Fish Biology* 1986; 849-858.
- 15) 魚住香織, 田畑和男. ヒラメ仔稚魚の量的形質に関する遺伝率の推定. 水産増殖 1999; **47**: 49-54.
- 16) Shikano T, Nakadate M, Fujio Y. An experimental study on strain combinations in heterosis in salinity tolerance of the guppy *Poecilia reticulata*. *Fisheries Sci.* 2000; **66**: 625-632.