

魚粉低減飼料を用いた養殖環境下における カンパチ人工種苗の成長

佐藤洋大¹・横山佐一郎^{2,*}・尤雅²・越塩俊介²・大野隆由³・大野泰史³
村上恵祐⁴・今村昭則⁵・平江多績⁵・松田康弘¹・横尾公重¹

Growth performance of juvenile amberjack *Seriola dumerili* fed a low-fish meal diet under cage culture conditions

Hiromasa SATO¹, Saichiro YOKOYAMA^{2,*}, Ya YU², Shunsuke KOSHIO²,
Takayoshi OHNO³, Yasufumi OHNO³, Keisuke MURAKAMI⁴, Akinori IMAMURA⁵,
Tatsumu HIRAE⁵, Yasuhiro MATSUDA¹ and Kimishige YOKOO¹

Abstract: The development of amberjack *Seriola dumerili* seedlings production has popularized its aquaculture in Japan. However, no information has been disclosed regarding the performance of seedlings after transferring to offshore net cages. In addition, the effect of extruded pellets (EP) with decreased fish meal content on the performance of amberjack has not been clarified. In the present study, artificially produced juvenile amberjack were fed a commercial EP with 2 different fish meal (FM) contents (60% and 40%) for 64 days under cage culture conditions at two different experimental stations (Nejime and Kushima) in southern Kyushu, Japan. At the end of the feeding trial, no differences were observed in growth performance and survival between dietary treatments at either experimental station. Shortly after transferring the juveniles from the hatchery to experimental cages, fish had low levels of blood chemical constituents, such as total cholesterol and triglyceride, however these values increased with time regardless of the FM content in the diet. These results suggest that artificially produced amberjack seedlings could be cultured using EP containing 40% FM under cage culture conditions.

Key words: *Seriola dumerili*; Extruded pellet; Low-fish meal; Growth performance

カンパチ *Seriola dumerili* は、東部太平洋を除く全世界の温帯・熱帯海域に広く分布するアジ科ブリ属の魚類である (落合・田中 1986)。わが国においては、同属のブリ *S. quinqueradiata* と比較して市場価値が高いことから、九州や四国の太平洋沿岸で重要な養殖

対象種となっている (高岡 2005)。近年、我が国の養殖カンパチの生産量は約 4 万 1 千トンを記録し、とりわけ、鹿児島県と宮崎県の南九州における生産量が全国割合の 60% 以上を占めている (九州農政局 2014a, 2014b)。一方、カンパチ養殖用種苗のほとんどは、中

2015年2月5日受付; 2015年11月9日受理.

¹ 松田医薬品株式会社 (Matsuda Pharmaceutical Co., Ltd., Tsukanohara 8, Kochi 780-8508, Japan).

² 鹿児島大学水産学部 (Faculty of Fisheries, Kagoshima University, Shimoarata 4-50-20, Kagoshima 890-0056, Japan).

³ 丸栄水産株式会社 (MARUEI Fishery Corporation, Kushima, Miyazaki 888-0012, Japan).

⁴ 独立行政法人水産総合研究センター研究推進部 (Reserch Management Department, Fisheries Research Agency, Yokohama, Kanagawa 220-6115, Japan).

⁵ 鹿児島県水産技術開発センター (Kagoshima Prefectural Fisheries Technology and Development Center, 160-10, Ibusuki, Kagoshima 891-0315, Japan).

*連絡先 (Corresponding author): Tel, (+81) 99-286-4181; E-mail, yokoyama@fish.kagoshima-u.ac.jp (S.Yokoyama).

国からの輸入天然種苗に依存しており、種苗自体または種苗を輸送する海水を介して、我が国で未発生の疾病を持ち込む可能性が高い（山下ら 2013）。このような状況の中で、2005年に中国で育成し、輸入された天然種苗に *Anisakis* I 型幼虫の寄生が確認され、大きな社会問題となった（Yoshinaga et al. 2006）。これらの対策として、国内生産の人工種苗を養殖用種苗として普及させ、天然種苗の使用を抑制することにより、養殖漁場への外部からの病原体の持ち込みを防除することが考えられる。

これまでに、カンパチ養殖用種苗の国産化を目的とした人工種苗生産に関する技術開発が様々な研究機関で行われ、現在では、毎年一定数の人工種苗生産が可能となっている（虫明 2006）。また、前野ら（2012）は体重200 g のカンパチ種苗を海面いけすに収容し、魚粉を低減したエクストルーデッドペレット（EP）の効果を報告したが、体重100 g 以下の種苗が実際の養殖漁場または養殖規模で育成された事例に関する報告はない。今後、カンパチ人工種苗を普及させるためには、種苗生産技術のみならず、実際の養殖漁場における中間育成時の飼育事例を調査する必要がある。

現在、カンパチ養殖で用いられている飼料は、冷凍カタクチイワシやアジなどの生餌にビタミン類や賦形剤を混合し、成形したモイストペレット（MP）が主流である（小野・中原 2009）。一方、ブリなどの魚種で一般的に用いられる EP をカンパチに用いた場合、摂餌性や成長の面で MP に劣るとされているため、EP の性能を向上させるためには、摂餌促進物質、飼料の物性および形状からの検討が必要である（佐藤 2001）。しかしながら、MP に用いられる冷凍魚は常に価格が変動することに加えて、ロット毎に栄養成分の差が生じた場合、その調整は困難である。さらに、給餌された MP の水中での飛散に起因する養殖漁場周辺の環境負荷が問題となっており（Ruohonen et al. 1998; Yokoyama et al. 2006）、漁場環境保全の観点からも MP と比較して環境水中への有機物負荷の少ない EP への移行が望まれる（水産庁 2013）。しかしながら、EP の主原料である魚粉や魚油の輸入価格は、主産地であるペルーの漁獲枠の削減、および円安の影響で高騰しており、今後も国内の魚類養殖を安定的に遂行するためには、代替原料を用いた魚粉低減飼料の開発と実証的な研究が必要である。

そこで本研究では、カンパチ国産人工種苗の中間育成期における EP 給餌による成長の基礎知見を得るため、南九州のカンパチ養殖漁場で人工種苗と魚粉低減 EP を用いた養殖規模の実証試験を行い、成長と生理に及ぼす影響について検討した。

材料および方法

試験飼料

飼料中のタンパク質源として魚粉を60%、植物性タンパク質源を26%、脂質源として魚油を含むブリ類用市販 EP（はまち育成用タフ120、日本配合飼料）を対照区の飼料（対照飼料）とした。また、対照飼料の魚粉添加量を40%に低減し、植物性タンパク質源の添加量を43%に増加させ、タウリンを添加したブリ類用市販 EP（アンバー TG、日本配合飼料）を魚粉低減区の飼料（試験飼料）とした（Table 1）。本試験に用いた両飼料の粗タンパク含量（CP）、粗脂質含量（CL）および粗灰分含量（CA）をそれぞれケルダール法、ソックスレー抽出法および直接灰化法（550℃、4h）により測定した。これらの一般成分値を基準として、可消化エネルギー量をタンパク5.6 kcal/g、脂質9.4 kcal/g、炭水化物4.2 kcal/g として算出したところ、両飼料共に同等の CP、CL、CA および可消化エネルギー量を示した。

供試魚と飼育方法

公益財団法人かごしま豊かな海づくり協会（鹿児島県垂水市）で生産されたカンパチ種苗に、3種混合ワクチン（イリド・レンサ・ビプリオ混合不活化ワクチン“ビケン”、DS ファーマアニマルヘルス）を接種した後、活魚トラックで鹿児島県南大隅町根占（根占漁場）および宮崎県串間市（串間漁場）へ輸送した（Fig. 1）。根占漁場においては、2013年5月27日に27,000尾の種苗を海上小割いけす（8 m × 8 m × 8 m）

Table 1. General composition and nutrient level of test diets

Ingredient (% dry weight basis)	Fish meal content	
	High (Control)	Low
Fish meal	60	40
Plant proteins ¹	26	43
Others ²	14	17
Total	100	100
Proximate composition (% wet weight basis)		
Moisture	7.6	7.6
Crude protein	47.0	47.7
Crude lipid	17.1	16.8
Crude ash	13.1	11.2
Digestible energy ³ (kcal/g)	5.1	5.2

¹Defatted soybean meal, corn gluten meal, wheat flour and bean curd by-product were mixed and added to each diet.

²Others includes pollack liver oil, vitamins, minerals, carbohydrate sources, binder and other micro nutrients. Taurine was supplemented to low-fish meal diet.

³Digestible energy contents were calculated based on values of proximate contents.

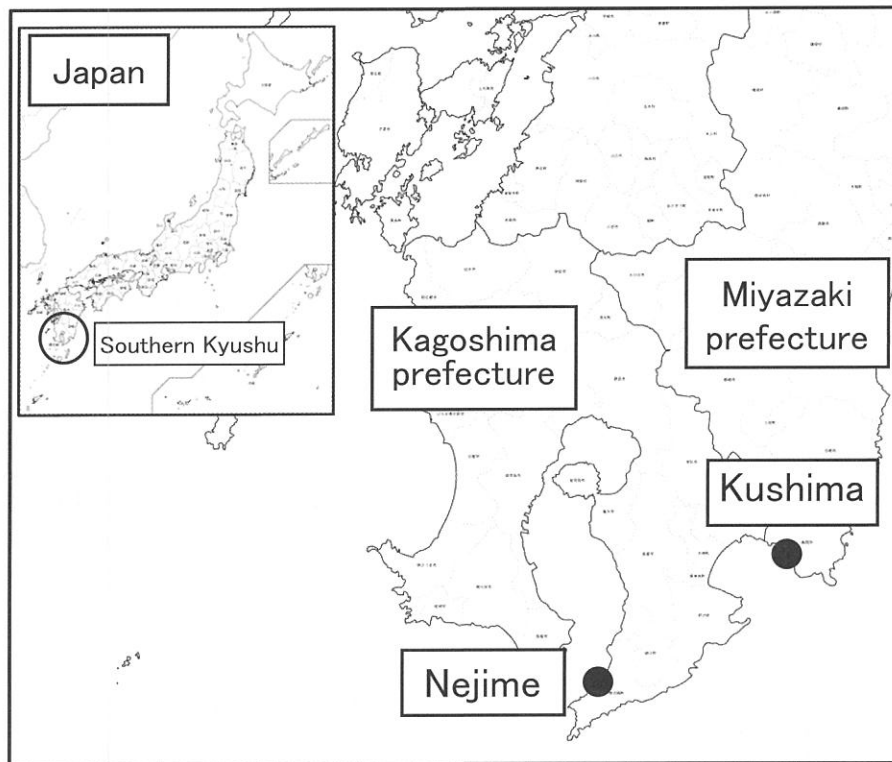


Fig. 1. Location of the experimental stations (Nejime, Kagoshima, and Kushima, Miyazaki).

へ収容し、予備飼育として対照飼料を33日間与えた。また、串間漁場においては、2013年6月25日に40,000尾の種苗を海上小割いけす（8m×8m×8m）へ収容し、予備飼育として対照飼料を12日間与えた。その後、根占漁場では13,500尾、串間漁場では15,000尾ずつの種苗を、隣り合う様に設置した海上小割いけす（8m×8m×8m）2基へ収容し、対照飼料を給餌するいけすを対照区、魚粉を低減した試験飼料を給餌するいけすを魚粉低減区とした。試験開始時における試験魚の平均体重±標準偏差は、根占漁場では対照区95±2.7gおよび魚粉低減区88±5.5g、串間漁場では対照区64g±5.5gおよび魚粉低減区65g±0.6gであった。これらの試験魚に対して、根占漁場では2013年7月11日から9月12日までの64日間、串間漁場では2013年7月16日から9月17日までの64日間、各飼料を与えた。飼育期間中の試験魚には、ハダムシ駆除の目的で2週間毎に淡水浴を施し、淡水浴前日と当日および日曜を除く1日2回、飽食量の各飼料を給餌した。その際、試験魚が水面付近で示していた摂餌行動が観察されなくなった時点で飽食量に達したと判断し、給餌を停止した。飼育期間中の水温を棒状水銀水温計を用い、午前6-7時にいけす内の水深1mで測定した結果、各試験漁場の水温は根占漁場では27.8-30.3℃、串間漁場では23.0-30.5℃を示した（Fig.2）。また、飼育期間中の斃死魚数を記録し、飼育開始時の収容尾数より差し引いて、生残率を算出した。

成長指標

各漁場いずれも、試験開始時から約2週間に1度、測定の前日より絶食させた試験魚を各区30尾ずつ玉網で取り上げ、体重と尾叉長を測定した。魚体の測定値および測定日までの給餌量から、成長指標として肥満度、増重率、日間増重率、日間給餌率および飼料効率を次式により求めた。

$$\text{肥満度} = [\text{体重 (g)} / \text{尾叉長 (cm)}^3] \times 10^6$$

$$\text{増重率 (\%)} = [\text{終了時体重 (g)} - \text{開始時体重 (g)}] / \text{開始時体重} \times 100$$

$$\text{日間増重率 (\%/日)} = [\ln \text{終了時体重 (g)} - \ln \text{開始時体重 (g)}] / \text{試験期間} \times 100$$

$$\text{日間給餌率 (\%)} = [\text{給餌量 (g)} / \text{飼育日数 (日)}] / [\text{試験期間中平均体重 (g)} \times \text{試験期間中平均尾数 (尾)}] \times 100$$

$$\text{飼料効率 (\%)} = [\text{体重 (g)} - \text{開始時体重 (g)}] / \text{総給餌量 (kg)} \times 100$$

血液採取、ヘマトクリット値測定および血液化学成分分析

各漁場いずれも、試験開始時から約2週間に1度、測定の前日より絶食させた試験魚を各区5尾ずつ玉網で取り上げ、2-フェノキシエタノール（400ppm）で麻酔後、ヘパリン処理した1mlプラスチックシリンジ（針サイズ：25G×1）を用いて尾柄部から採血し、

ヘパリン処理したプラスチックチューブに移した。採血した血液については分析まで氷冷下で保存し、その一部について、マイクロヘマトクリット法 (McGovern et al. 1955) によりヘマトクリット値 (Ht) を測定した。残りの血液については遠心分離 (3000 rpm, 4°C, 15分) により血漿を分離し、自動血液分析装置 Spotchem EZ-SP4320 (アークレイ) によりグルコース (Glu) 量, 総コレステロール (T-Cho) 量およびトリグリセライド (TG) 量を自動血液分析装置 Spotchem EZ-SP4320 (アークレイ) を用いて測定した。

比肝重量と魚体一般成分分析

各漁場いずれも、試験開始時から、8月26日 (根占) と8月27日 (串間) を除いて約2週間に1度、測定の前日より絶食させた試験魚を各区5尾ずつ玉網で取り

上げ、2-フェノキシエタノール (400 ppm) で麻酔後、解剖して肝臓重量を測定し、比肝重量 (HSI) を算出した。その後、5尾の魚を一まとめにし、ワーリングブレンダー (ワーリング) を用いて肝臓を含む全魚体をミンチ状に粉碎し、凍結乾燥機 FDU-1000 (東京理科大学機器) を用いて乾燥処理した。魚体の水分含量は凍結乾燥後のサンプル重量を乾燥前の重量より差し引いて求めた。凍結乾燥後のサンプルは粉碎器 WB-1 (大阪ケミカル) を用いて粉碎し、一般成分を試験飼料と同様の方法により測定した。

統計解析

体重、尾叉長、肥満度、Ht、血液化学成分および体一般成分の測定値は、*F* 検定により等分散性を確認し、Student の *t* 検定により試験区間での有意差を

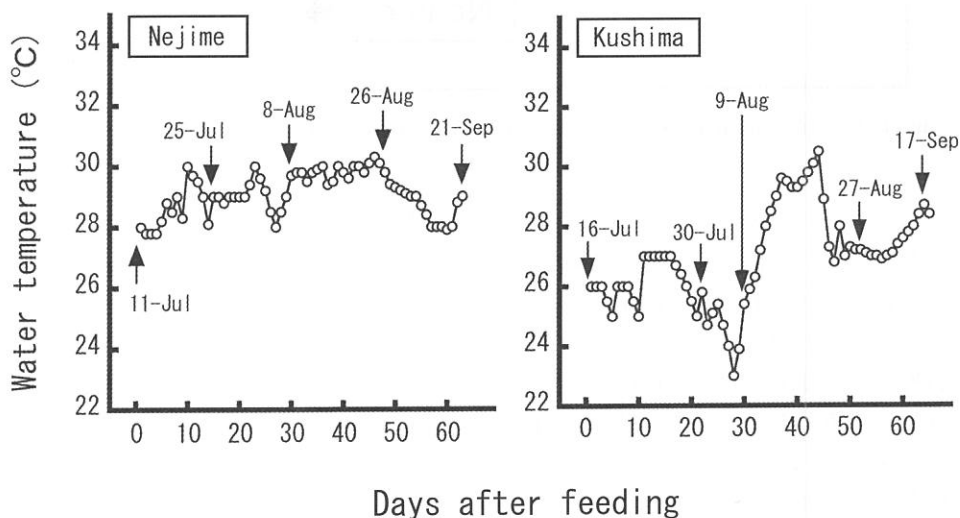


Fig. 2. Water temperature changes in Nejime and Kushima. Arrows indicate dates of sampling.

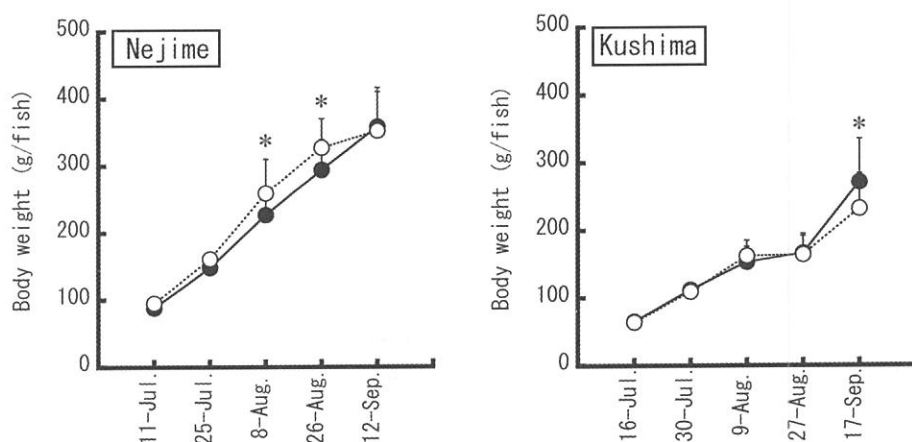


Fig. 3. Changes in the average body weight (●, Low fish meal; ○, Control) at each experimental station (left: Nejime, right: Kushima) during the 64-day feeding period. Values are defined as mean + SD ($n = 30$ fish). An asterisk indicates a significant ($P < 0.05$) difference between dietary treatments.

危険率 5% で検定した。統計解析にはカレイダグラフ Ver.4.1 (Synergy Software) を用いた。なお、測定値はいけす毎の平均値またはいけすより取り上げた個体の平均値 \pm 標準偏差で表した。

結 果

成長成績

両漁場における飼育試験開始から終了時までの平均魚体重の推移を Fig. 3 に示す。根占漁場では試験開始より 4 および 6 週間後に対照区が魚粉低減区よりも有意に高い値を示したが、試験終了時には等しい体重となり、魚粉低減区と対照区との間に統計的有意差は認められなかった。串間漁場では、試験終了時には魚

粉低減区が 271 ± 64 g、対照区が 232 ± 52 g となり、魚粉低減区の平均体重が有意に高かった。また、両漁場における試験開始から 64 日間の尾叉長の推移を測定した結果 (Fig. 4)、試験終了時には、根占漁場では魚粉低減区が 26.8 ± 1.5 cm、対照区が 27.0 ± 1.3 cm となり、魚粉低減区と対照区との間に統計的有意差は検出されなかった。一方、串間漁場では、試験終了時には魚粉低減区が 25.2 ± 1.8 cm、対照区が 23.7 ± 1.8 cm を示し、魚粉低減区は対照区よりも有意に高い値を示した。加えて、両漁場における試験開始から終了時までの肥満度の推移 (Fig. 5) は、根占漁場では試験開始 4 および 6 週間後では魚粉低減区が有意に高かったが、試験終了時では対照区が有意に高い値を示した。また、串間漁場では、試験開始より 6 週間後には対照区と比較

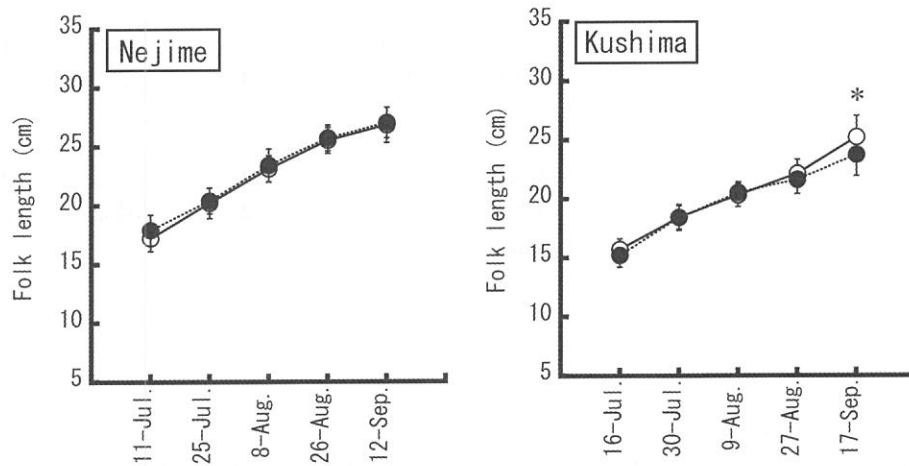


Fig. 4. Changes in the average fork length (●, Low fish meal; ○, Control) at each experimental station (left: Nejime, right: Kushima) during the 64-day feeding period. Values are defined as mean \pm SD ($n = 30$ fish). An asterisk indicates a significant ($P < 0.05$) difference between dietary treatments.

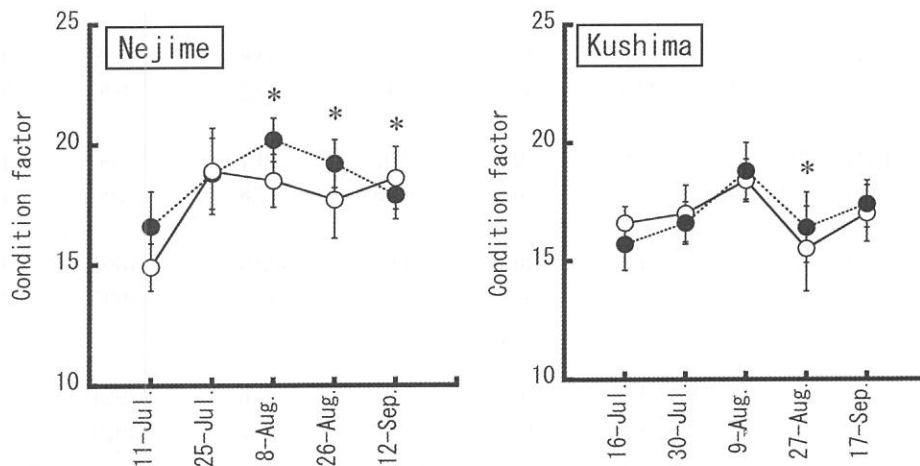


Fig. 5. Changes in the average condition factor (●, Low fish meal; ○, Control) at each experimental station (left: Nejime, right: Kushima) during the 64-day feeding period. Values are defined as mean \pm SD ($n = 30$ fish). An asterisk indicates a significant ($P < 0.05$) difference between dietary treatments.

して魚粉低減区が有意に高い肥満度を示したが、試験終了時の肥満度に試験区間での統計的有意差は観察されなかった。

試験開始より2週間毎に算出した生残率、増重率、日間摂餌率および飼料効率を Table 2 (根占漁場) および 3 (串間漁場) に示す。両試験漁場における試験

Table 2. Growth performances of juvenile amberjack fed test diets at Nejime experimental station

	Body weight (g/fish) ¹		Weight gain ² (%)	SGR ^{2,3} (%/day)	Survival rate ² (%)	Feed given ² (kg)	DFI ^{2,4} (%/day)	FE ^{2,5} (%)
	Initial	Final						
Jul. 11- Jul. 25								
Control	95.0 ± 2.7	160.7 ± 1.2	68.3	3.52	99.3	924	3.58	94.8
Low FM	88.3 ± 5.5	148.3 ± 10.4	67.0	3.47	99.3	983	4.13	80.9
Jul. 26- Aug. 8								
Control	160.7 ± 1.2	259.0 ± 51.2	60.5	3.40	99.8	1386	3.52	94.3
Low FM	148.3 ± 10.4	227.3 ± 30.5	53.1	3.06	99.8	1420	4.04	74.2
Aug. 9- Aug. 26								
Control	259.0 ± 51.2	327.0 ± 43.3	26.1	1.30	99.9	1613	2.29	56.1
Low FM	227.3 ± 30.5	293.7 ± 45.1	29.3	1.44	99.8	1707	2.72	52.1
Aug. 27- Sep. 12								
Control	327.0 ± 43.3	351.7 ± 58.3	6.9	0.46	99.3	1242	1.72	24.2
Low FM	293.7 ± 45.1	358.3 ± 57.9	21.1	1.23	99.4	1352	1.95	61.2
Whole period (Jul. 11- Sep. 12)								
Control	95.0 ± 2.7	351.7 ± 58.3	270.2	2.05	98.4	5165	2.70	65.6
Low FM	88.3 ± 5.5	358.3 ± 57.9	305.8	2.19	98.3	5462	2.86	65.3

¹Values of body weight are indicated as mean ± SD ($n = 30$ fish).

²Each values were observed from single cage.

³Specific growth rate

⁴Daily feed intake

⁵Feed efficiency

Table 3. Growth performances of juvenile amberjack fed test diets at Kushima experimental station

	Body weight (g/fish)		Weight gain ² (%)	SGR ^{2,3} (%/day)	Survival rate ² (%)	Feed given ² (kg)	DFI ^{2,4} (%/day)	FE ^{2,5} (%)
	Initial	Final						
Jul. 16- Jul. 30								
Control	64.3 ± 5.1	109.3 ± 8.1	69.2	3.55	99.4	674	3.47	98.6
Low FM	65.3 ± 0.6	111.7 ± 5.8	71.2	3.63	99.4	660	3.32	105.2
Jul. 31- Aug. 9								
Control	109.3 ± 8.1	162.0 ± 22.7	48.0	3.96	99.6	625	3.10	124.8
Low FM	111.7 ± 5.8	153.0 ± 22.8	35.5	3.12	99.2	620	3.15	95.7
Aug. 10- Aug. 27								
Control	162.0 ± 22.7	164.0 ± 27.9	0.3	0.07	99.1	760	1.75	1.1
Low FM	153.0 ± 22.8	166.0 ± 28.7	6.1	0.45	97.8	795	1.89	17.3
Aug. 28- Sep. 17								
Control	164.0 ± 27.9	232.0 ± 51.7	40.9	1.65	99.6	1865	3.05	52.9
Low FM	166.0 ± 28.7	270.7 ± 64.2*	62.0	2.33	99.2	1995	3.02	74.6
Whole period (Jul. 16- Sep. 17)								
Control	64.3 ± 5.1	232.0 ± 51.7	260.8	2.01	95.6	3924	2.79	62.2
Low FM	65.3 ± 0.6	270.7 ± 64.2*	314.6	2.23	97.7	4070	2.58	71.6

¹Values of body weight are expressed as mean ± SD ($n = 30$ fish) and asterisk indicates significant ($P < 0.05$) difference from the control group.

²Each values were observed from single cage.

³Specific growth rate

⁴Daily feed intake

⁵Feed efficiency

終了時の生残率は、飼料の違いにかかわらず95%以上を示し、飼育期間中の疾病による大量斃死は観察されなかった。また、試験終了時の増重率、日間増重率および給餌量はいずれの漁場においても、魚粉低減区が対照区に比べて高かったが、串間漁場における魚粉低減区の日間給餌率は対照区と比較して、低い値を示した。根占漁場における両試験区の増重率、日間増重率、日間給餌率および飼料効率率は8月9日から飼育終了時にかけて低下する傾向が観察され、特に8月27日以降、対照区は魚粉低減区よりも低い増重率と飼料効率率を示した。一方、串間漁場では8月10日から8月27日に両試験区の増重率、日間増重率、日間給餌率および飼料効率率が低下し、対照区の増重率および飼料効率率は魚粉低減区よりも低かったが、8月28日から飼育終了時にかけて上昇した。

ヘマトクリット値および血液化学成分

試験飼料給餌開始より2週間毎に測定した Ht および血液化学成分 (Tables 4, 5) は、飼育開始時には全ての測定項目で同様の値を示し、飼育期間を通じて Ht に大きな変動は見られなかったが、両漁場における試験開始時の TG および T-Cho は、それ以降の測定値と比べて低い値を示した。根占漁場で魚粉低減飼料を用いて育成されたカンパチは、飼育終了時には対照区と比較して有意に低い血中 Glu を示したが、串間

漁場では試験飼料間での差は見出されなかった。また、串間漁場では飼育終了時での魚粉低減区の TG が対照区よりも低かったが、個体間の変動が大きく、統計的有意差は検出されなかった。

比肝重量

魚粉添加量の異なる飼料を根占および串間漁場でカンパチ人工種苗に与え、2週間毎に HSI を確認した。その結果 (Fig. 6)、根占漁場では飼育開始より6週間後に、串間漁場では飼育開始より2週間後に魚粉低減区が有意に高い HSI を示したが、飼育終了時の HSI は両漁場とも飼料の違いにかかわらず等しかった。また、根占漁場では飼育開始時の HSI が1前後と低かったが、2週目には2前後に上昇し、以降は1.5から2の間で推移した。一方、串間漁場では根占漁場程の変動は見られず、試験期間を通じて1.5の HSI を示した。

体一般組成

両試験漁場において64日間の飼育を経た試験魚の魚体一般成分含量を Table 6 および Table 7 に示す。両試験漁場とも、魚体の水分含量は飼育期間を通じて飼料間で同様の値を示した。また、CA 含量も飼育期間を通じて飼料間での有意差は検出されなかったが、飼育開始時に12%以上を示した CA 含量は、飼育開始より2および4週目に低下し、その後、終了時には再度

Table 4. Hematocrit and blood chemical constituents of juvenile amberjack fed test diets at Nejime experiment station

Date	Ht ¹ (%)		Glu ² (mg/ dl)		TG ³ (mg/ dl)		T-Cho ⁴ (mg/ dl)	
	Control	Low FM	Control	Low FM	Control	Low FM	Control	Low FM
11 Jul.	38.2 ± 2.9	38.2 ± 3.0	154.9 ± 35.7	179.9 ± 23.4	34.5 ± 6.2	34.9 ± 5.2	186.7 ± 15.9	183.0 ± 23.4
25 Jul.	34.2 ± 1.8	34.2 ± 5.7	160.6 ± 38.1	213.2 ± 63.5	128.0 ± 35.8	164.2 ± 36.4	269.5 ± 36.5	346.7 ± 16.8
8 Aug.	36.5 ± 6.1	35.7 ± 2.5	208.2 ± 35.8	161.0 ± 54.1	78.0 ± 11.5	104.4 ± 37.3	266.8 ± 31.3	265.6 ± 74.2
12 Sep.	40.6 ± 3.3	34.2 ± 1.8	204.4 ± 32.0	148.2 ± 15.8*	131.6 ± 73.3	162.8 ± 54.8	312.0 ± 36.0	343.5 ± 61.5

Values are defined as mean ± SD (*n* = 5 fish). Value with an asterisk indicates significant (*P* < 0.05) difference from the control group.

¹Hematocrit

²Glucose

³Tryglyceride

⁴Total cholestrol

Table 5. Hematocrit and blood chemical constituents of juvenile amberjack fed test diets at Kushima experiment station

Date	Ht ¹ (%)		Glu ² (mg/ dl)		TG ³ (mg/ dl)		T-Cho ⁴ (mg/ dl)	
	Control	Low FM	Control	Low FM	Control	Low FM	Control	Low FM
16 Jul.	38.2 ± 4.6		151.4 ± 21.1		45.7 ± 12.9		211.7 ± 45.1	
30 Jul.	34.0 ± 4.9	31.3 ± 2.6	130.2 ± 30.6	125.0 ± 22.6	90.4 ± 32.8	113.2 ± 23.9	186.6 ± 46.3	213.8 ± 22.6
9 Aug.	34.7 ± 1.5	40.0 ± 2.0	115.0 ± 28.6	106.4 ± 66.1	131.6 ± 33.0	128.6 ± 26.6	264.6 ± 28.6	298.2 ± 66.1
17 Sep.	42.5 ± 3.4	34.9 ± 4.6	125.0 ± 20.3	129.6 ± 12.2	277.5 ± 81.4	149.8 ± 48.5	277.0 ± 73.8	306.4 ± 40.5

Values are defined as mean ± SD (*n* = 5 fish) except values on 16 Jul. Ten fish were collected from control cage as initial sample on 16 Jul.

¹Hematocrit

²Glucose

³Tryglyceride

⁴Total cholestrol

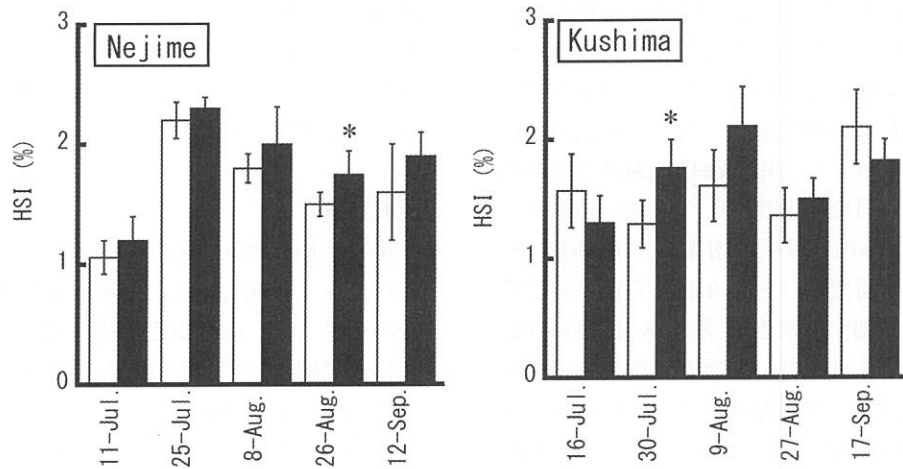


Fig. 6. Hepatosomatic index (HSI) of amberjack juveniles fed a control diet (open column) or low fish meal diet (black column) at each experimental station (left: Nejime, right: Kushima) during the 64-day feeding period. Values are defined as mean \pm SD ($n = 5$ fish). An asterisk indicates a significant ($P < 0.05$) difference between dietary treatments.

Table 6. Moisture contents and proximate compositions of juvenile amberjack fed test diets at Nejime experiment station

Date	Moisture (%)		Crude protein (% dry weight basis)		Crude lipid (% dry weight basis)		Crude ash (% dry weight basis)	
	Control	Low FM	Control	Low FM	Control	Low FM	Control	Low FM
11 Jul.	68.5	70.1	75.4	73.6*	13.2	14.1	12.0	12.3
25 Jul.	68.8	67.3	65.7	66.7	26.4	24.7	8.5	8.5
8 Aug.	63.0	63.0	64.7	60.2	26.4	30.9*	8.5	7.3
12 Sep.	67.7	62.2	58.0	55.3*	21.8	22.8	10.5	10.5

Values are defined as mean of 3 times repeated analysis except moisture (see the text). Values in low FM group with an asterisk indicate significant ($P < 0.05$) difference from control group.

Table 7. Moisture contents and proximate compositions of juvenile amberjack fed test diets at Kushima experiment station

Date	Moisture (%)		Crude protein (% dry weight basis)		Crude lipid (% dry weight basis)		Crude ash (% dry weight basis)	
	Control	Low FM	Control	Low FM	Control	Low FM	Control	Low FM
16 Jul.	65.6	62.9	74.2	69.1	10.2	11.1	12.2	12.7
30 Jul.	68.5	67.6	70.8	74.3	16.2	12.4	8.5	8.6
9 Aug.	67.1	64.4	73.6	69.9*	17.5	16.4	8.4	7.4
17 Sep.	62.5	62.0	64.7	62.1	22.4	20.6	11.0	10.4

Values are defined as mean of 3 times repeated analysis except moisture (see the text). Value in low FM group with an asterisk indicates significant ($P < 0.05$) difference from control group.

上昇した。根占漁場におけるカンパチ魚体の CP 含量は、飼育開始時および飼育終了時に魚粉低減区が対照区と比較して有意に低い値を示した。また、同漁場における CL 含量は、飼育開始より 4 週間後に、魚粉低減区が対照区と比較して有意に高い値を示したが、飼育終了時において統計的有意差は認められなかった。一方、串間漁場における飼育 4 週間後の CP 含量は、魚粉低減区が対照区と比較して有意に低い値を示したが、飼育終了時には同様の値が観察された。また、同

漁場における CL 含量は根占漁場における値程急激に上昇せず、飼育期間を通じて徐々に増加する傾向にあった。

考 察

本研究では、南九州の異なる養殖現場において、カンパチ人工種苗にブリ用飼料として一般的な魚粉レベルの EP (対照飼料) および魚粉低減 EP (試験飼料)

を64日間給餌して成長、生残、体一般組成および血液成分の変化を調べた。その結果、両試験漁場における飼育試験終了時の成長指標（魚体重、尾又長および生残率）は、両飼料区とも同様の値を示した。したがって、EPをカンパチ人工種苗の中間育成に用いる場合、その組成として、魚粉60%に植物性原料26%を添加したEPの魚粉添加量を40%まで低減し、43%の植物性原料に置き替えた場合でも、成長に有意差は生じないと考えられた。渡邊（2009）はタンパク質源として大豆油粕やコーングルテンミールなどの植物性原料を用い、魚粉添加量を40%に低減したソフトドライペレット（SDP）をブリに与えた場合、魚粉を単一タンパク質源として配合したSDPと等しい増肉係数や生残率を示すと報告しており、ブリと近縁のカンパチにおいても、同程度に魚粉添加量を低減できる可能性が高い。また、各漁場で試験飼料を給餌したカンパチ稚魚の日間給餌率に対照区と比べて顕著な差は生じなかったことから、EPへの魚粉添加率を40%に減少させても、カンパチ稚魚に対する摂餌性は低下しないことも考えられた。

魚粉に代わる植物タンパク質源の利用性に関する研究は、ブリを対象として多数報告されており（示野ら1992a, 1992b, 1993a, 1993b, 1994, 1995, 1996；Masumoto et al. 1996；Nguyen et al. 2011）、処理方法の異なる大豆油粕やコーングルテンミールの組み合わせ、あるいは、いくつかの結晶アミノ酸の添加が、魚粉低減時の成長改善に有効であると言われている。一方、カンパチの配合飼料と栄養要求に関する研究は少ないが、Jover et al. (1999)は魚粉、ミートミール、大豆ミールや小麦粉を添加し、CPを2レベル（45%または50%）に調整し、それぞれ異なるCLレベル（14%および17%）を組み合わせたEPのカンパチ稚魚に対する成長や、飼料の利用性への効果を調べた。その結果、CPが50%の場合に良好な成長が得られたことから、カンパチ用配合飼料の最適なCPはブリの場合と同様の50%程度と推定している。今回の試験に用いた試験飼料は、市販ブリ用EPの飼料組成を基準とし、CP46%およびCL16%となるよう設計されたものだが、対照飼料と比較して、試験期間中の生残率や成長の低下は観察されなかったことから、中間育成サイズのカンパチ人工種苗に対しても実用的な飼料として利用可能であると考えられた。しかし、カンパチはブリと比較してEPの摂餌性が低いこと（佐藤2001）や、飼料の水分含量の違いが成長に影響を与えることも報告されている（Papadakis et al. 2008）。また、ブリにおいても、無魚粉飼料では飼料形態の違いによって成長や摂餌に差が生じると報告されている（Watanabe et al. 2001）。したがって、今後カンパチに特化した配

合飼料を開発するためには、カンパチの栄養要求に加えて、配合飼料の物理的性状とその摂餌や成長への影響を調べる必要があるだろう。

本試験において両試験漁場で用いた人工種苗は、生産ロットの違いにより、初期体重が異なっていた。そのため、根占漁場のカンパチ初期体重は串間漁場の試験魚よりも重かったが、試験漁場間での飼育成績を比較すると、試験終了時の増重率および日間増重率は同様の値を示した。しかし、飼料効率は串間漁場において試験飼料を与えたカンパチ稚魚が最も高い値を示した。一般的に、魚類は育成に適した水温の範囲内であれば、水温の上昇とともに餌料の消化速度は速くなり、摂餌量も増加する。また、飼料成分の消化吸収率やエネルギーの利用効率は、各魚種の最適生息水温付近で最も高くなることが知られている（竹田1980；竹内1991）。下茂ら（2000）は、カンパチの飼育に適した水温の上限は30℃以下であり、その場合は水温が高い程、摂餌が活発になることを報告しているが、魚類は適水温を超える高水温においては、摂餌量が減少し、成長が停滞することも知られている（Imsland et al. 1996）。本試験において、飼育期間中の根占漁場における水温の範囲は27.6–30.3℃であり、水温の変動は大きくなかった。しかしながら、30℃付近の水温が持続した8月8日以降は、両飼料区とも増重率、給餌率および肥満度が低下傾向であった。したがって、30℃付近の水温が継続したことが、飼料への魚粉添加量の違いにかかわらず、カンパチ稚魚の摂餌量を減少させ、成長および肥満度が低下したものと考えられる。一方、串間漁場の水温は試験期間中23.0–30.5℃を示し、8月初頭から後半にかけて、一旦下降した水温が急激に上昇した。串間漁場での8月10日から8月27日におけるカンパチ稚魚の体重増加は両飼料区とも停滞しており、増重率、摂餌率および肥満度は低下傾向であった。魚類の摂餌活性は水温の影響を強く受ける（Kohbara et al. 2003）。また、水温の急激な変化は、育成に適した温度範囲内においても、種々の生理機能に著しい変化を引き起こすことが知られている（板沢1977；土田2002）。これらのことから、串間漁場において8月10日から8月27日において観察されたカンパチ稚魚の成長遅延は、急激な水温の上昇による摂餌量の低下に起因するものと考えられた。

根占漁場で試験飼料を給餌したカンパチの肥満度は、試験中期（8月8日–8月26日）では対照区よりも有意に高かったが、終了時には有意に低い値を示した。また、これにともない試験飼料区の血中Glu濃度は有意に低下していた。魚類において、Gluはグリコーゲンより代謝され、エネルギー源として利用される他、肉食魚のグリコーゲンは糖新生により体タンパクから

合成される傾向が強い。これらの糖代謝応答は飼料脂質含量の影響を受ける(示野ら 1981; 示野 1991)。しかしながら、本試験で使用した試験飼料の粗脂質含量は対照飼料と等しいことから、根占漁場の魚粉低減区に観察された血中 Glu 濃度の低下は、飼料脂質含量の影響とは考えにくい。また、血中 Glu 濃度の低下が観察された時期の、根占漁場における水温は30℃付近で推移したが、同時期の日間摂餌率に両飼料区間での差は見られず、成長指標と血中 Glu 濃度低下の間にも関連を見出せなかった。しかしブリでは、水温の下降が糖代謝酵素活性に影響を与える(示野ら 1992c)ことが知られており、カンパチにおいても水温の変動が糖代謝に影響を与える可能性が高い。加えて、平均水温の異なる養殖漁場(三重県および大分県)におけるブリ稚魚の血漿 Glu 濃度は、漁場間または飼料の魚粉添加量や脂質含量の違いに応じて異なることも報告されている(Aoki et al. 2000)。したがって、今後カンパチ稚魚の血漿 Glu 濃度と魚粉低減飼料の関係を明らかにするためには、平均水温および水温変動と魚粉低減飼料の影響を糖代謝の観点から調べる必要がある。いずれにしても、根占漁場における試験飼料区のカンパチ稚魚に見られた血中 Glu 濃度の低下と、成長および生残率の間に関連は認められなかったことから、魚粉低減飼料の利用は有効と考える。

カンパチの血液成分におよぼす飼料成分および飼育環境の影響に関する知見は乏しいが、成長指標に対する検討と同様に、近縁のブリでは健全性の指標として多数の測定例が報告されている。深田ら(2010)は、魚粉60%添加飼料および魚粉添加量を42%に減少させ、大豆油粕を26%添加した飼料をそれぞれブリ稚魚に与えると、血液中 T-Cho 濃度が低下する現象を見ていることから、ブリ稚魚では植物タンパク質の添加により、血中 T-Cho 濃度が低下することが示唆される。血液中の T-Cho 濃度は魚類の栄養状態を示す一指標と考えられている(舞田ら 1984a, 1984b)他、ブリやニジマスでは細菌感染との関連が指摘されており、低値を示す個体では感染リスクが高くなるとされている(Maita et al. 1998a, 1998b, 2009)。また、魚類血液中の T-Cho 濃度や TG 濃度は栄養状態の低下に伴い減少することが知られている(坂口 1976)。本試験で用いたカンパチ種苗の試験開始時(両飼料給餌前)における T-Cho 濃度(約180 mg/dl)や TG 濃度は低かった(50 mg/dl 以下)ことから、この時点での栄養状態は低下していたと考えられた。同様のことが飼育開始時の比肝重量や体粗脂質含量の低値からも示唆された。一方、両飼料給餌後では、これらの値が上昇し、両飼料区間での差も見られなかったことから、カンパチ人工種苗に魚粉添加量を40%まで低減した

EP を給餌しても、血液中 T-Cho 濃度および比肝重量の低下と、それに伴う生理状態に変化は生じないことが考えられた。同様に、試験終了時の魚体一般成分量に両飼料間での有意差は見られなかったことから、試験飼料の給餌は中間育成期のカンパチ人工種苗に、対照飼料と同等の体一般組成をもたらすと考えられた。しかしながら、根占漁場における試験開始より4週目の魚体 CL 含量や終了時の CP 含量、また串間漁場における4週目の CP 含量には、飼料間で有意な差が見られた。この原因は不明だが、水温など、育成環境の変化が飼料の利用性に影響を与えることも考えられるため、今後はカンパチ中間育成場の飼育環境を把握し、それに応じた飼料組成を検討する必要があるだろう。

以上の結果より、南九州の養殖現場において、魚粉低減飼料を用いたカンパチ国産人工種苗の導入と中間育成の可能性が示された。

要 約

カンパチ種苗の中間育成期における成長に魚粉低減 EP のおおよそ基礎知見を得るため、南九州の異なる養殖漁場(根占および串間)で、カンパチ人工種苗に魚粉60%添加市販 EP および魚粉添加量を40%に低減し、植物性原料に置き替えた市販 EP を64日間給餌し、成長、生残、血液化学成分および体一般組成を調べた。その結果、両試験漁場における飼育試験終了時の成長指標(魚体重、尾叉長、肥満度および生残率)は、両試験飼料区とも同様の値を示した。試験開始時のカンパチは血液中総コレステロールやトリグリセライド量が低かったが、飼育開始後は上昇し、両試験飼料区間での大差も認められなかった。また、魚体の一般成分量は飼料間で同様であった。これらの結果から、EP をカンパチ人工種苗の中間育成に用いる場合、その魚粉添加量は40%まで低減可能であることが示唆された。

謝 辞

本研究は、養殖用人工種苗導入推進事業(水産庁)の一環として実施した。ここに記して感謝の意を表す。また、本研究を行う上で有益なご助言を頂いた、かごしま JF 販売株式会社の原口欣一代表取締役社長には深く感謝申し上げる。

文 献

Aoki, H., Y. Sanada, M. Furuichi, R. Kimoto, M. Maita, A. Akimoto, Y. Yamagata and T. Watanabe (2000) Partial or

- complete replacement of fish meal by alternated protein sources in diets for yellowtail and red sea bream. *Suisanzoshoku*, **48**, 53-63.
- 深田陽久・河相光太郎・田所大二・森岡克司・益本俊郎 (2010) マルソウダ加工の際に廃棄される煮熟水のブリ幼魚用飼料への添加効果. 日水誌, **76**, 1035-1042. [Fukada, H., K. Kawai, D. Tadokoro, K. Morioka and T. Masumoto (2010) Effects of bullet tuna *Auxis rochei* broth-supplemented diet on growth performance in yearling yellowtail *Seriola quinqueradiata*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **76**, 1035-1042 (in Japanese with English abstract).]
- Inslund, A. K., L. M. Sunde, A. Folkvord and S. O. Stefansson (1996) The interaction of temperature and fish size on growth of juvenile turbot. *J. Fish Biol.*, **49**, 926-940.
- 板沢靖男 (1977) 呼吸. 魚類生理学概論 (田村 保編), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 1-33.
- Jover, M., A. Garcia-Gomez, A. Tomas, F. De la Gandara and L. Perez (1999) Growth of mediterranean yellowtail (*Seriola dumerili*) fed extruded diets containing different levels of protein and lipid. *Aquaculture*, **179**, 25-33.
- Kohbara, J., I. Hidaka, F. Matsuoka, T. Osada, K. Furukawa, M. Yamashita and M. Tabata (2003) Self-feeding behavior of yellowtail, *Seriola quinqueradiata*, in net cages: diel and seasonal patterns and influences of environmental factors. *Aquaculture*, **220**, 581-594.
- 九州農政局 (2014a) 第60次宮崎農林水産統計年報. 熊本, p. 184.
- 九州農政局 (2014b) 第60次鹿児島農林水産統計年報. 熊本, p. 222.
- 前野幸二・村瀬拓也・平江多績・柳 宗悦・佐藤秀一 (2012) 合成タウリンを添加した魚粉低減飼料給餌によるカンパチの成長. 鹿水技研報, **3**, 21-33.
- 舞田正志・塩満捷夫・池田彌生 (1984a) 血液検査による養殖ブリの健康診断例. 日水誌, **50**, 1991-1998. [Maita, M., K. Shiomitsu and Y. Ikeda (1984a) Practical use of hemochemical assessment in cultured yellowtail. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, **50**, 1991-1998 (in Japanese with English abstract).]
- 舞田正志・塩満捷夫・池田彌生 (1984b) 血液検査からみたクライモグラフによる養殖ブリの健康診断. 日水誌, **51**, 205-211. [Maita, M., K. Shiomitsu and Y. Ikeda (1984b) Health assessment by the climogram of hemochemical constituents in cultured yellowtail. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, **51**, 205-211 (in Japanese with English abstract).]
- Maita, M., H. Aoki, Y. Yamagata, S. Satoh, N. Okamoto and T. Watanabe (1998a) Plasma biochemistry and disease resistance in yellowtail fed a non-fish meal diet. *Fish Pathol.*, **33**, 59-63.
- Maita, M., K. Satoh, Y. Fukuda, H. K. Lee, J. R. Winton and N. Okamoto (1998b) Correlation between plasma component levels of cultured fish and resistance to bacterial infection. *Fish Pathol.*, **33**, 129-133.
- Maita, M., J. Maekawa, K. Satoh, K. Futami and S. Satoh (2009) Disease resistance and hypocholesterolemia in yellowtail *Seriola quinqueradiata* fed a non-fishmeal diet. *Fish. Sci.*, **72**, 513-519.
- Masumoto, T., T. Ruchimat, Y. Ito, H. Hosokawa and S. Shimeno (1996) Amino acid availability values for several protein sources for yellowtail (*Seriola quinqueradiata*). *Aquaculture*, **146**, 109-119.
- McGovern, J. J., A. R. Jones and A. G. Steinberg (1955) The hematocrit of capillary blood. *New Engl. J. Med.*, **25**, 308-312.
- 虫明敬一 (2006) カンパチ人工種苗の大量生産と養殖技術の高度化への挑戦. 日水誌, **72**, 1158-1160. [Mushiake, K. (2006) Challenges to mass seed production of amberjack *Seriola dumerili* juveniles and improvements of rearing techniques for aquaculture. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **72**, 1158-1160 (in Japanese).]
- Nguyen, H. P., P. Khaoian, H. Fukada, T. Nakamori, H. Furuta and T. Masumoto (2011) Effects of different soybean proteins on lipid digestion and growth of yellowtail *Seriola quinqueradiata*. *Fish. Sci.*, **77**, 357-365.
- 落合 明・田中 克 (1986) 新版魚類学 (下). 恒星社厚生閣, 東京, pp. 814-815.
- 小野征一郎・中原尚知 (2009) 魚類養殖業の現状と課題. 水産増殖, **57**, 149-164. [Ono, S. and N. Nakahara (2009) Current conditions and issues in the fish aquaculture industry. *Aquacult. Sci.*, **57**, 149-164 (in Japanese with English abstract).]
- Papadakis, I. E., S. Chatzifotis, P. Divanach and M. Kentouri (2008) Wearing of greater amberjack (*Seriola dumerilii* Risso 1810) juveniles from moist to dry pellet. *Aquacult. Int.*, **16**, 13-25.
- Ruohonen, K., J. Vielma and D. J. Grove (1998) Comparison of nutrient losses into the water from rainbow trout culture based on fresh Baltic herring, moist and dry diets. *Aquacult. Int.*, **6**, 441-450.
- 坂口宏海 (1976) 絶食時におけるハマチの血液, 肝すい臓の化学成分などの変化について. 日水誌, **42**, 1267-1272. [Sakaguchi, H. (1976) Changes of biochemical components in serum, hepatopancreas and muscle of yellowtail starvation. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, **42**, 1267-1272 (in Japanese with English abstract).]
- 佐藤成一 (2001) 高水温期のカンパチ当歳魚におけるエクストルーダ処理固形配合飼料と生餌主体餌料の成長および餌料効率. 大分海水研調研報, **3**, 13-18. [Satoh, K. (2001) Comparisons of extruded pellet and mainly-raw-fish moist pellet on the growth and feed efficiency of young amberjack in high temperature period. *Bull. Oita Inst. Mar. Fish. Sci.*, **3**, 13-18 (in Japanese).]
- 示野貞夫 (1991) 魚介類の糖質とその代謝. 水産生物化学 (山口勝己編), 東京大学出版会, 東京, pp. 66-67.
- 示野貞夫・細川秀毅・竹田正彦・高山三圭・福井章夫・佐々木広治 (1981) 飼料脂質に対するハマチ肝臓酵素の適応. 日水誌, **47**, 63-69. [Shimeno, S., H. Hosokawa, M. Takeda, S. Takayama, A. Fukui and H. Sasaki (1981) Adaptation of hepatic enzymes to dietary lipid in young yellowtail. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, **47**, 63-69 (in Japanese with English

- abstract).]
- 示野貞夫・細川秀毅・久門道彦・益本俊郎・宇川正治 (1992a) プリ稚魚飼料に対する大豆油粕の配合. 日水誌, **58**, 1319-1325. [Shimeno, S., H. Hosokawa, M. Kumon, T. Masumoto and M. Ukawa (1992a) Inclusion of defatted soybean meal in diet for fingerling yellowtail. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **58**, 1319-1325 (in Japanese with English abstract).]
- 示野貞夫・細川秀毅・山根玲子・益本俊郎・上野慎一 (1992b) ハマチに対する大豆油粕栄養価の加熱時間に伴う変化. 日水誌, **58**, 1351-1359. [Shimeno, S., H. Hosokawa, R. Yamane, T. Masumoto and S. Ueno (1992b) Change in nutritive value of defatted soybean meal with duration of heating time for young yellowtail. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **58**, 1351-1359 (in Japanese with English abstract).]
- 示野貞夫・四方崇文・細川秀毅 (1992c) ハマチ肝臓の糖代謝酵素活性および脂質含量の季節変化. 水産増殖, **40**, 201-206. [Shimeno, S., T. Shikata and H. Hosokawa (1992c) Seasonal variations of carbohydrate metabolizing enzyme activity and lipid content in liver of cultured yellowtail. *Suisanzoshoku*, **40**, 201-206 (in Japanese with English abstract).]
- 示野貞夫・美馬孝好・山本 修・安藤嘉生 (1993a) プリ稚魚の成長, 飼料効率および体成分に及ぼす発酵大豆油粕添加の影響. 日水誌, **59**, 1883-1888. [Shimeno, S., T. Mima, O. Yamamoto and Y. Ando (1993a) Effects of fermented defatted soybean meal in diet on the growth, feed conversion, and body composition of juvenile yellowtail. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **59**, 1883-1888 (in Japanese with English abstract).]
- 示野貞夫・美馬孝好・今永哲生・東丸一仁 (1993b) プリ飼料に対する大豆油粕, ミートミールおよびコーングルテンミールの併用添加. 日水誌, **59**, 1889-1895. [Shimeno, S., T. Mima, T. Imanaga and K. Tomaru (1993b) Inclusion of combination of defatted soybean meal, meat meal, and corn gluten meal to yellowtail diets. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **59**, 1889-1895 (in Japanese with English abstract).]
- 示野貞夫・美馬孝好・木下浩樹・岸 聡太郎 (1994) プリ稚魚飼料に対する粉末麦芽タンパク質の配合. 日水誌, **60**, 521-525. [Shimeno, S., T. Mima, H. Kinoshita and S. Kishi (1994) Inclusion of malt protein flour to diet for fingerling yellowtail. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **60**, 521-525 (in Japanese with English abstract).]
- 示野貞夫・金高佳夫・Toni Ruchimat・宇川正治 (1995) プリ稚魚に対する各種大豆タンパク質栄養価の評価. 日水誌, **61**, 919-926. [Shimeno, S., Y. Kanetaka, T. Ruchimat and M. Ukawa (1995) Nutritional evaluation of several soy proteins for fingerling yellowtail. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **61**, 919-926 (in Japanese with English abstract).]
- 示野貞夫・細川秀毅・益本俊郎・Toni Ruchimat・岸 聡太郎 (1996) プリ飼料に対する大豆油粕, 麦芽たん白およびミートミールの併用効果. 日水誌, **62**, 243-247. [Shimeno, S., H. Hosokawa, T. Masumoto, T. Ruchimat and S. Kishi (1996) Addition of combined defatted soybean meal, malt protein flour, and meat meal to yellowtail diet. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **62**, 243-247 (in Japanese with English abstract).]
- 下茂 繁・秋本 泰・高浜 洋 (2000) 海生生物の温度影響に関する文献調査. 海生研報, **2**, 1-351. [Shimo, S., Y. Akimoto and H. Takahata (2000) Bibliographical study of the thermal effects on marine organisms. *Rep. Mar. Ecol. Res. Inst.*, **2**, 1-351 (in Japanese with English abstract).]
- 水産庁 (2013) 養殖業の現状と課題. p. 35.
- 高岡 治 (2005) カンパチ. 水産増殖システム 1 海水魚 (熊井英水編), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 31-43.
- 竹田正彦 (1980) 魚類の摂餌. 魚類の栄養と飼料 (荻野珍吉編), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 12-26.
- 竹内俊郎 (1991) 消化と栄養. 魚類生理学 (板沢靖男・羽生 功編), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 67-101.
- 土田修二 (2002) 沿岸性魚類の温度選好に関する実験的研究. 海生研報, **4**, 11-66. [Tsuchida, S. (2002) Experimental study on temperature preference of Japanese marine fish. *Rep. Mar. Ecol. Res. Inst.*, **4**, 11-66 (in Japanese with English abstract).]
- 渡邊 武 (2009) 新しい養魚飼料. 改訂 魚類の栄養と飼料 (渡邊 武編), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 356-357.
- Watanabe, T., H. Aoki, K. Watanabe, M. Maita, Y. Yamagata and S. Satoh (2001) Quality evaluation of different types of non-fish meal diets for yellowtail. *Fish. Sci.*, **67**, 461-469.
- 山下亜純・倉田 修・高木修作・和田新平 (2013) 中国におけるカンパチ稚魚の育成に関する情報. 魚病研究, **48**, 63-65.
- Yokoyama, H., K. Abo and Y. Ishihi (2006) Quantifying aquaculture-derived organic matter in the sediment in and around a coastal fish farm stable carbon and nitrogen isotope ratios. *Aquaculture*, **254**, 411-425.
- Yoshinaga, T., R. Kinami, K. A. Hall and K. Ogawa (2006) A preliminary study on the infection of anisakid larvae in juvenile greater amberjack *Seriola dumerili* imported from China to Japan as mariculture seedlings. *Fish Pathol.*, **41**, 123-126.