

タマカイ種苗生産における初期摂餌状況 (大型ハタ類の採卵・種苗生産技術開発)

山内 岬*, 木村基文, 岸本和雄

Feeding conditions in larval rearing of Giant Grouper *Epinephelus lanceolatus*

Misaki YAMAUCHI*, Motofumi KIMURA and Kazuo KISHIMOTO

タマカイ仔魚の生残に適した摂餌条件の検討を目的として、種苗生産初期における仔魚の成長と摂餌状況を調査した。全長は、日齢1で平均 2.14 ± 0.04 mm、日齢2で平均 2.31 ± 0.15 mmに達したが、日齢3~9にかけてはほとんど成長せず、平均 2.94 ± 0.15 mmに達した日齢10以降急激に成長した。口径は、観察個体の60%が開口した日齢2で平均 0.13 ± 0.02 mm、100%が開口した日齢3で平均 0.16 ± 0.02 mmであった。日齢3における仔魚の口径と水槽内のワムシサイズおよび消化管内に含まれるワムシの出現傾向を観察した結果、本種の初期餌料としてSS型ワムシが利用可能であることが明らかとなった。一方、調査を実施した全ての生産水槽で日齢10までの大量減耗が生じたこと、ワムシの摂餌個体率が必ずしもふ化後の日数に比例した増加傾向を示さなかったことから、仔魚の摂餌特性の変化に対応した飼育環境を必ずしも実現できていない可能性が示された。今後は、仔魚の摂餌特性に関する知見をより多く収集し、内部栄養の吸収過程や成長に関する形態学的知見と組み合わせ、最も適した飼育環境条件（水温、塩分、通気量、照度等）を検討する必要がある。

タマカイ *Epinephelus lanceolatus* (Bloch, 1790) は、インド太平洋に分布するハタ科魚類の中で最も大型に成長する種であり、体重 300 kg 以上に達する (Heemsta and Randall, 1993)。資源生物学的特性に関する情報は極めて少なく、食性に関する報告がわずかに存在するのみである (Witzell, 1981)。本種を含むハタ科魚類の多くは、中華料理の高級食材として古くから利用されており、香港を始めとした中華圏での需要が高いことから、近年、東南アジアを中心に養殖が盛んに行われている (Pomeroy et al., 2002; Nguyen et al., 2009)。中でも本種は、その巨大さから単に食材としてだけでなく、宗教的価値や薬理効果を期待した利用、または収容水槽の水質を測るためのパイロットフィッシュとしても利用され、極めて高い市場価格で取引されている (Sadovy, 1998; Lee and Sadovy, 1998)。ハタ類の養殖が盛んな台湾では、2000年に本種の人工種苗を世界で初めて量産することに成功したが、安定した種苗量産技術の確立には至っていない (Chan, 2001; Nguyen et al., 2009)。

沖縄県水産海洋研究センター石垣支所では、本県の特徴ある養殖業を振興するため、大型で成長の早い本種に着目し、人工種苗の生産に向けた技術開発を実施してきた (多和田ほか, 2004; 仲盛ほか, 2005; 狩俣ほか, 2006, 2007, 2009; 狩俣・木村, 2008; 木村ほか, 2010; 岸本ほか, 2010)。その結果、2010年に日本国内で初めて人工授精による大量採卵に成功

し、71.2万尾のふ化仔魚を生産することに成功した (木村ほか, 未発表)。しかし、種苗生産試験を実施した全ての水槽で、日齢10までの大量減耗が生じたことから、初期減耗要因の解明による生残率の改善が種苗の量産化に向けた課題として指摘されている。ハタ類の初期生残は、摂餌開始時期における仔魚の摂餌状況に大きく影響されることが知られており (Yoseda et al., 2006; 與世田ほか, 2006a, 2006b)、マハタ *E.septemfasciatus* やクエ *E.bruneus*、スジアラ *Plectoropomus leopardus* の種苗生産技術開発では、仔魚の摂餌に適した飼育環境を実現することによって、量産化に成功している (照屋・與世田, 2006; 阪倉ほか, 2006; 武部ほか, 2011)。

そこで、本研究では、タマカイ仔魚の生残に適した摂餌条件を検討することを目的として、種苗生産初期におけるふ化仔魚の摂餌状況を調査した。

材料と方法

1) 供試魚と飼育条件

2010年8月11日と2011年8月31日に実施されたタマカイ親魚の人工授精によって得られた受精卵を、容量30または60 kLの屋内八角形コンクリート水槽へ収容し、ふ化した仔魚を試験に供した。飼育水には、地下浸透海水および紫外線照射による殺菌を行った砂濾過海水を使用し、2010年は水温 $29.1 \pm 0.81^\circ\text{C}$ (平均±標準偏差)、2011年は水温 28.0

*Email : ymuchimi@pref.okinawa.lg.jp

±0.32℃で飼育した。初期餌料としてシオミズソボウムシ *Brachionus plicatilis* sp. complex SS 型（以下 SS 型ワムシ）を日齢 1（2010 年）または日齢 3（2011 年）から給餌し、日齢 10 以降は S 型（以下 S 型ワムシ）も給餌した。飼育水中のワムシ密度は、毎日 7 時と 13 時に計数し、20 個体/mL 以上の密度となるように不足分を適時追加した。

光条件は、両年ともに自然日長とし、飼育水槽内のエアレーションは、ユニークパイプ（外径 26 mm、長さ 100～50 cm、大和実業株式会社製）または角形エアストーン（ストーン径 50 mm、外寸 50×50×170 mm）を用いて各角の底面から約 30 cm 上部と水槽中央部の排水ストレーナー付近の計 9 カ所から微通気した。注水は、日齢 2（2011 年）または 3（2010 年）以降に開始し、10 日で 1 回転/日の換水率となるよう段階的に増加させた。

SS 型ワムシの給餌開始後は、水槽内のワムシに含まれる栄養成分の低下防止および照度調節による仔魚のストレス軽減を目的として、淡水産クロレラ（ハイグレードまたはスーパー生クロレラ V12、クロレラ工業株式会社製）とナンノクロロプシス（1,875～3,038 万 cells/mL）を 1 日 2 回（7、13 時）に分けて飼育水中に適量添加した。

2) 仔魚の全長と上顎長および生産水槽内のワムシサイズの測定

2010 年 8 月 11 日に、30 kL 水槽へ収容した受精卵からふ化した日齢 1～14 の仔魚を、5 L 取手付ビーカーを用いて計 75 尾採集し、5 %海水ホルマリンで固定した。その後、光学顕微鏡（ECLIPSE 90i、Nikon 株式会社製）下で開口状態を観察し、撮影したデジタル画像から画像処理ソフト（Image J ver.1.45s）を用いて 0.01mm 単位で全長と上顎長を記録した。また、上顎長の測定結果から、代田（1970）の方法に従い、仔魚の口径を算出した。

上述の仔魚採集時に飼育水とともに得られたワムシから毎日 13～33 個体を無作為に抽出し、5 %海水ホルマリンで固定後、日齢 2～10 における生産水槽内のワムシサイズの測定に用いた。本種仔魚の摂餌特性に関する情報はなく、仔魚の摂餌する餌料生物のサイズがどの要因で制限されているか不明であることから、ここでは、仔魚の口径がその上限を規定すると仮定し、ワムシサイズの最大値を表す背甲長を測定した。測定は、全長と上顎長の測定方法と同様にデジタル画像を用いて行った。

3) 消化管内に含まれるワムシの出現傾向

2011 年 8 月 31 日に、30 または 60 kL 水槽へ収容した受精卵からふ化した日齢 3～8 の仔魚を、5 L 取手付ビーカーで毎日各槽 17～20 個体ずつ採集し、スライドガラス上で軽く押し潰した後、光学顕微鏡下で消化管内に含まれるワムシの咀嚼器を計数した。咀嚼器が観察されなかった個体は空胃個体とし、日齢ごとの平均摂餌数（消化管内から出現したワムシの総数/全供試個体数）と摂餌個体率（摂餌個体数/全供試個体数）を求めた。

結果

1) 仔魚の成長と口径および生産水槽内のワムシサイズ

仔魚の全長は、日齢 1 で平均 2.14 ± 0.04 mm、日齢 2 で平均 2.31 ± 0.15 mm に達したが、日齢 3～9 にかけてはほとんど成長せず、平均 2.94 ± 0.15 mm に達した日齢 10 以降急激に成長した（図 1）。

口径は、観察個体の 60 %が開いた日齢 2 で平均 0.13 ± 0.02 mm、100 %が開いた日齢 3 で平均 0.16 ± 0.02 mm であった。その後、日齢の経過とともに増大し、開口後 8 日（日齢 10）で平均 0.38 ± 0.03 mm に達した（図 2）。仔魚の全長（TL）と口径（MS）には正の相関が確認され、以下の式で表された。

$$MS = 0.43 \text{ TL} - 0.86$$

$$R^2 = 0.65 \text{ (TL : } 2.24 \sim 3.15 \text{ mm, } n=54, p<0.001)$$

また、日齢 2～10 における飼育水槽内のワムシの背甲長は平均 150 ± 15 μm であり（図 3）、日齢 2 の平均 137 ± 12 μm から日齢 8 の平均 160 ± 15 μm の間で変動した（図 4）。観察した全ての個体が開いた日齢 3 における飼育水槽内のワムシの平均背甲長（ 144 ± 12 μm）は、仔魚の平均口径（ 160 ± 2 μm）よりも小さかった（図 2, 3）

2) 仔魚のワムシ摂餌数と摂餌個体率

消化管内のワムシ摂餌数の計数結果から、日齢 3 の仔魚が平均 2.0～2.9 個体のワムシを摂餌していることが確認され日齢 8 で平均 13.4～17.1 個体に増加した（図 5）。また、摂餌個体率は、日齢 3 で平均 80 %と比較的高い値を示したがその後 41～100 %の範囲で変動し、必ずしもふ化後の日数に比例した増加傾向を示さなかった（図 5）。

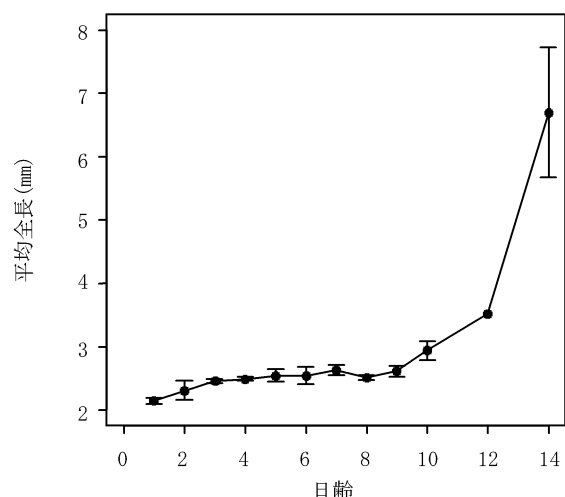


図 1 平均全長の経日変化 (n=75)。誤差範囲は標準偏差を示す。

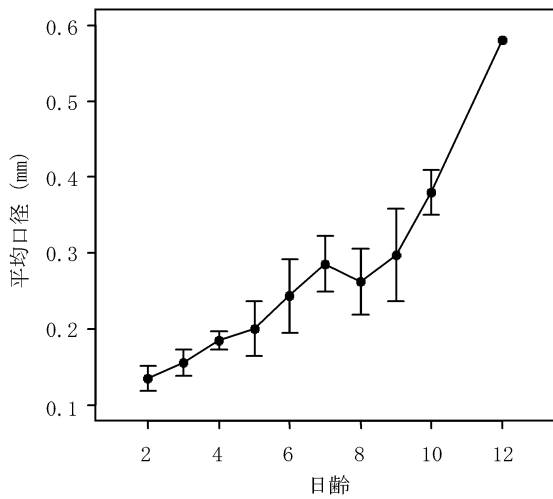


図2 平均口径の経日変化 (n=75). 誤差範囲は標準偏差を示す.

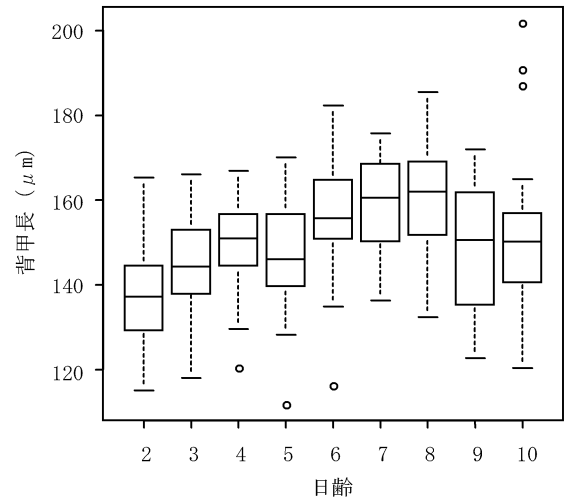


図4 水槽内のワムシ背甲長組成の経日変化 (n=211). 箱ひげは四分位数と最大値, 最小値を示し, 白点は外れ値を示す.

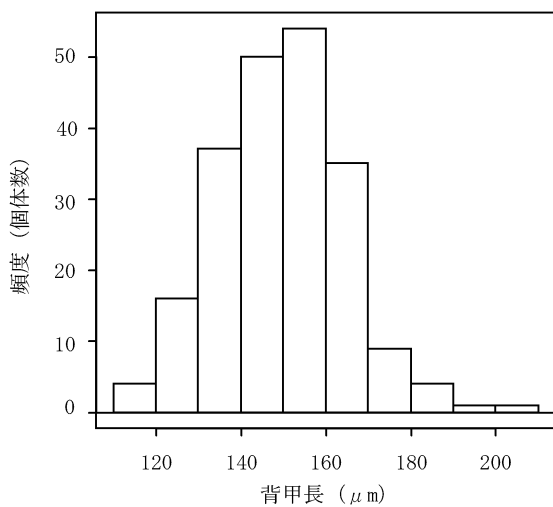


図3 水槽内のワムシ背甲長組成 (n=211).

考察

上顎長の測定結果より算出したタマカイ仔魚の口径と水槽内のワムシサイズを比較した結果, SS 型ワムシが十分摂餌可能なサイズであることが確認され, その消化管内からは摂餌されたワムシも確認できたことから (図 2・5), 本種の初期餌料として SS 型ワムシが利用可能であることが明らかとなった. キジハタ *E.akaara*, マハタ, スジアラでは, 摂餌開始初期に小型のワムシを選択的に摂餌することが報告されており, SS 型ワムシの給餌が初回摂餌の成功率とその後の生残に有効であるとされている (萱野・何, 1997; 與世田ほか, 2003a; 田中ほか, 2005). 本研究で得られた水槽内のワムシサイズは, 日齢 3 の平均 $137 \pm 12 \mu\text{m}$ から日齢 8 の平均 $160 \pm 15 \mu\text{m}$ にかけて緩やかに増加傾向を示しており (図 4), その原因として, 仔魚の摂餌行動によって小型個体が選択的に摂餌された可能性と, 給餌したワムシが水槽内で成長した可能性の 2 通りの事象が想定される. また, 仔魚の形態的な発達過程や消化管内から出現するワムシサイズの詳細を把握しなければ, 仔魚の摂餌行動がどのような要因で制限されているかを特定することができない. 今後は

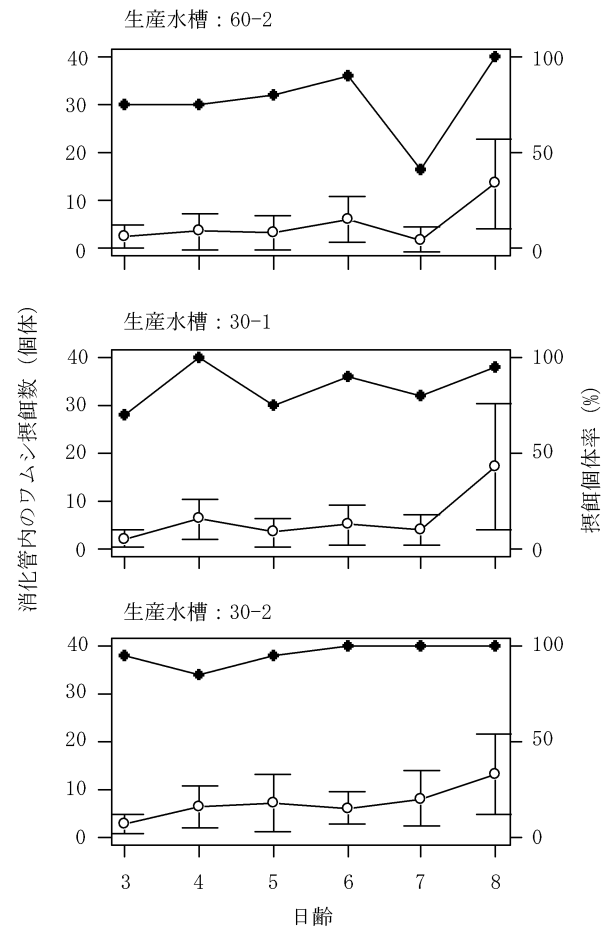


図5 消化管内のワムシ摂餌数の経日変化. 誤差範囲は標準偏差を示す. 白点は平均摂餌数を示し, 黒点は摂餌個体率の変化を示す.

タマカイ仔魚の摂餌選択性と摂餌行動の制限要因に関する情報を収集し, 初期餌料としての SS 型ワムシの有効性についてさらに検討する必要がある.

一般的に, ハタ類のふ化仔魚は他の海産魚に比べて小さく主に口器などの内部骨格の発達と内部栄養吸収の観点から種苗生産をする上での技術的難易度が高いと言われている (Kohno et al., 1997). また, ハタ類の絶食耐性時間

(Yamashita and Aoyama, 1986) は、種によって大きく異なっており、スジアラやキジハタでは、摂餌開始後 4~6 時間以内に初回摂餌に成功しないと其後の成長停滞や生残率の低下が生じる (與世田ほか, 2006a, 2006b)。これまでに報告されている他のハタ類仔魚の摂餌開始時期は、全て日齢 2~3 であり (多和田, 1989; 北島ほか, 1991; Masuma et al., 1993; 萱野・何, 1997; Sawada et al., 1999), タマカイ仔魚の摂餌開始時期も、本研究により開口個体が観察された日齢 2 から全ての観察個体が開口した日齢 3 の間であることが推測された。しかし、本研究では、経過時間ごとの開口個体の出現率や内部栄養の吸収過程を観察しなかったため、仔魚の初回摂餌に関わる時系列情報が無く、絶食耐性時間に関する考察ができなかった。一方、本研究を実施した生産試験における仔魚の生残率は、日齢 1 から給餌を開始した 2010 年と、日齢 3 に給餌を開始した 2011 年で大きく異なっており、特に日齢 10 に至るまでの生残率に違いがみられた (木村ほか, 未発表)。これらの結果は、タマカイ仔魚の絶食耐性時間が、スジアラやキジハタと同様に極めて短く飢餓に対する耐性が弱い魚種である可能性を示唆している。今後、タマカイ仔魚の初回摂餌や飢餓耐性時間に関する基礎的知見の収集を行い、仔魚の内部栄養吸収の観点から初回給餌時期を適正化する必要がある。

本研究により、タマカイ仔魚の初期摂餌状況に関する基礎的知見として、ふ化仔魚の成長や口径の経日変化と初期餌料としての SS 型ワムシの利用可能性および摂餌数の経日変化を把握することができたものの、試験を実施した全ての水槽で、日齢 10 までに大量減耗が生じたことから解析に必要な標本数を十分に採集することができなかった。種苗生産工程におけるハタ類の初期減耗の多くは、不適切な飼育条件による仔魚の浮上死 (Yamaoka et al., 2000) や沈降死 (平田ほか, 2009) と、それに伴う初回摂餌の失敗によって生じるものと推察されており、仔魚の摂餌に適した環境要因の把握が種苗の量産化を実現する上で極めて重要である。日齢 3 におけるタマカイ仔魚の平均全長 (2.45 mm) は、種苗生産が実施されている他のハタ類の中でも最も小さいキジハタ (2.30 mm) に次ぐ大きさであることから (與世田ほか, 2006b)、種苗生産を行うための技術的難易度が特に高い魚種であると考えられ、生産水槽内における通気や照度条件などの物理的環境要因のわずかな違いが、仔魚の摂餌行動に大きな影響を与える可能性がある。また、本研究で観察された摂餌個体率の変動は、仔魚の成長にともなって変化すると考えられる摂餌特性に対応した飼育環境を必ずしも実現できていないことに起因すると推測される。近年、種苗生産技術が確立しつつあるマハタ、クエ、スジアラでは、光周期や水槽内の流場を制御することにより、仔魚の成長と生残を大幅に改善することに成功していることから (與世田ほか, 2003b; 照屋・與世田, 2006; 照屋ほか, 2008a, 2008b; 阪倉ほか, 2006; 武部ほか, 2011)、タマカイにおいても、これらの魚種と比較可能な摂餌特性に関する知見をより多く収集し、仔魚の内部栄養の吸収過程や成長に関する形態学

的知見と組み合わせて、最も適した飼育環境条件 (水温、塩分、通気量、照度等) を検討する必要がある。

文献

- Chan P., 2001: Taiwan grouper hatchery production in 2000, SPC Live Reef Fish Information Bulletin 8, 32-33.
- 代田昭彦, 1970: 魚類稚仔魚の口径に関する研究. 日本水産学会誌 36(4), 353-368.
- Heemsta P. C., Randall J. E., 1993: FAO Species catalogue. Groupers of the world (Family Serranidae, Subfamily Epinephelinae): An annotated and illustrated catalogue of the grouper, rockcod, hind coral grouper and lyretail species known to date. FAO Fisheries synopsis No. 125, Volume 16. Rome, FAO, 382 p.
- 平田喜郎, 浜崎活幸, 照屋和久, 虫明敬一, 2009: マハタおよびクエ仔稚魚の成長に伴う体密度の変化. 日本水産学会誌 75(4), 652-660.
- 狩俣洋文, 仲盛淳, 仲本光男, 呉屋秀夫, 福德学, 2006: タマカイの種苗生産技術開発試験. 平成 16 年度沖縄県水産試験場事業報告書 66, 156-159.
- 狩俣洋文, 木村基文, 仲本光男, 呉屋秀夫, 2007: タマカイの種苗生産技術開発試験. 平成 18 年度沖縄県水産海洋研究センター事業報告書 68, 197-200.
- 狩俣洋文, 木村基文, 2008: タマカイの親魚養成 (ハタ科の新規養殖適種選定試験). 平成 19 年度沖縄県水産海洋研究センター事業報告書 69, 113-115.
- 狩俣洋文, 木村基文, 仲本光男, 2009: タマカイの親魚養成と小型魚の育成 (ハタ類の新規養殖適種選定試験). 平成 20 年度沖縄県水産海洋研究センター事業報告書 70, 73-76.
- 萱野泰久, 何玉環 1997: キジハタ仔魚の初期摂餌と成長. 水産増殖 45(2), 213-218.
- 木村基文, 岸本和雄, 狩俣洋文, 太田格, 2010: 沖縄海域における 2001~2009 年度のタマカイ親魚養成経過 (ハタ類の新規養殖適種選定試験). 平成 21 年度沖縄県水産海洋研究センター事業報告書 71, 45-55.
- 岸本和雄, 狩俣洋文, 木村基文, 中村将, 2010: タマカイ人為性転換雄と正常雌との交配による稚魚の大量生産技術の開発 (大型ハタ類の性転換・性成熟研究). 平成 21 年度沖縄県水産海洋研究センター事業報告書 71, 40-44.
- 北島力, 高屋雅生, 塚島康生, 荒川敏久, 1991: マハタの卵内発生および飼育による仔稚魚の形態変化. 魚類学雑誌 38(1), 47-55.
- Kohno H., Ordonio-Aguilar R. S., Ohno A., Taki Y., 1997: Why is grouper larval rearing difficult?: an approach from the development of the feeding apparatus in early stage larvae of the grouper, *Epinephelus coioides*. Ichthyological Research 44(3),

267-274.

- Lee C., Sadovy Y., 1998: A taste for live fish: Hong Kong's live reef fish market. *Naga, The ICLARM Quarterly* 21(2), 38-42.
- Masuma S., Tezuka N., Teruya K., 1993: Embryonic and morphological development of larval and juvenile Coral trout, *Plectropomus leopardus*. *Japanese Journal of Ichthyology* 40(3), 333-342.
- 仲盛淳, 狩俣洋文, 仲本光男, 呉屋秀夫, 大浜幸司, 2005: タマカイ親魚養成 (タマカイ種苗量産養殖技術開発試験). 平成 15 年度沖縄県水産試験場事業報告書 65, 173-174.
- Nguyen T. T. T., Davy F. B., Rimmer M. A., De Silva S. S., 2009: Use and exchange of genetic resources of emerging species for aquaculture and other purposes. *Reviews in Aquaculture* 1(3-4), 260-274.
- Pomeroy R., Agbayani T., Toledo J., Sugama K., Slamet B., Tridjoko, 2002: The status of grouper culture in Southeast Asia. *SPC Live Reef Fish Information Bulletin* 10, 22-26.
- Sadovy Y., 1998: Marketing and monitoring live reef fishes in Hong Kong, an update *SPC Live Reef Fish Information Bulletin* 4, 47-51.
- 阪倉良孝, 荻原篤志, 塩谷茂明, 2006: 水槽内の流場制御によるマハタ仔魚飼育. *日本水産学会誌* 72(2), 267-270.
- Sawada Y., Kato K., Okada T., Kurata M., Mukai Y., Miyashita S., Murata O., Kumai H., 1999: Growth and morphological development of larval and juvenile *Epinephelus bruneus* (Perciformes: Serranidae). *Ichthyological Research* 46(3), 245-257.
- 武部孝行, 小林真人, 浅見公雄, 佐藤琢, 平井慈恵, 奥澤公一, 坂倉良孝, 2011: スジアラ仔魚の沈降死とその防除方法を取り入れた種苗量産試験. *水産技術* 3(2), 107-114.
- 田中由香里, 坂倉良孝, 中田久, 荻原篤志, 安元進, 2005: マハタ仔魚のワムシサイズに対する摂餌選択性. *日本水産学会誌* 71(6), 911-916.
- 多和田真周, 1989: マダラハタの卵内発生と仔稚魚期の形態変化. *水産増殖* 37(2): 99-103.
- 多和田真周, 仲盛淳, 狩俣洋文, 仲本光男, 道清勇介, 2004: タマカイの親魚養成. 平成 14 年度沖縄県水産試験場事業報告書 64, 169.
- 照屋和久, 與世田兼三, 2006: クエ仔魚の成長と生残に適した初期飼育条件と大量種苗量産試験. *水産増殖* 54(2), 187

-194.

- 照屋和久, 與世田兼三, 岡雅一, 西岡豊弘, 中野昌次, 森広一郎, 菅谷琢磨, 浜崎活幸, 2008a: 光周期がマハタ仔魚の生残, 成長および摂餌に及ぼす影響. *日本水産学会誌* 74(4), 645-652.
- 照屋和久, 與世田兼三, 藤井あや, 黒川優子, 川合真一郎, 岡雅一, 西岡豊弘, 中野昌次, 森広一郎, 菅谷琢磨, 浜崎活幸, 2008b: 光周期がクエ仔魚の生残, 成長および摂餌に及ぼす影響. *日本水産学会誌* 74(6), 1009-1016.
- Witzell W. N., 1981: Predation of juvenile green sea turtles *Chelonia mydas*, by a grouper, *Promicrops lanceolatus* (Pisces: Serranidae) in the kingdom of Tonga, South pacific. *Bulletin of Marine Science* 31(4), 935-936.
- Yamaoka K., Nanbu T., Miyagawa M., Isshiki T., Kusaka A., 2000: Water surface tension-related deaths in prelarval red-spotted grouper. *Aquaculture* 189, 165-176.
- Yamashita Y., Aoyama T., 1986: Starvation resistance of larvae of the Japanese sand eel *Ammodytes personatus*. *Nippon Suisan Gakkaishi* 52(4), 635-639.
- Yoseda K., Dan S., Sugaya T., Yokogi K., Tanaka M., Tawada S., 2006: Effects of temperature and delayed initial feeding on the growth of Malabar grouper (*Epinephelus malabaricus*) larvae. *Aquaculture* 256(1-4), 192-200.
- 與世田兼三, 浅見公雄, 福元麻衣子, 高井良, 黒川優子, 川合真一郎, 2003a: サイズの異なる 2 タイプのワムシがスジアラ仔魚の初期摂餌と初期生残に及ぼす影響. *水産増殖* 51: 101-108.
- 與世田兼三, 團重樹, 藤井あや, 黒川優子, 川合真一郎, 2003b: 異なった日周条件がスジアラ仔魚の初期摂餌, 初期生残および消化酵素活性に及ぼす影響. *水産増殖* 51, 179-188.
- 與世田兼三, 照屋和久, 山本和久, 浅見公雄, 2006a: 異なる水温と初回摂餌の遅れがスジアラ仔魚の摂餌, 成長, および生残に及ぼす影響. *水産増殖* 54(1), 43-50.
- 與世田兼三, 照屋和久, 菅谷琢磨, 関谷幸生, 2006b: 初回摂餌の遅れがキジハタ *Epinephelus akaara* 仔魚の摂餌, 成長, および生残に及ぼす影響. *日本水産学会誌* 72(4), 702-709.

