

マダイおよびクロマグロ仔魚飼育水槽内の プランクトン群集構造

中川至純・西田 剛・橋本卓也・那須敏朗・宮下 盛

Planktonic Structures in the Rearing Waters of *Pagrus major* and *Thunnus orientalis* Larvae

Yoshizumi NAKAGAWA¹, Tsuyoshi NISHIDA², Takuya HASHIMOTO²,
Tshiro NASU¹, Shigeru MIYASHITA¹

Planktonic structures in the rearing water of *Pagrus major* and *Thunnus orientalis* were examined quantitatively during the early larval stage. In the *P. major* tanks, survival rates on the final day of rearing (14 days after hatching) were less than 28%. In the early larval stages of *P. major*, biomass ratios of autotrophs/heterotrophs in the rearing waters were less than 0.65. In the *T. orientalis* tank, the survival rate on the final day of the rearing (12 days after hatching) was 14.1%. Heterotrophic plankton dominated in the planktonic community in the rearing waters, except at 4 days after hatching. The composition of microbial components from bacteria, heterotrophic nano-plankton and heterotrophic micro-plankton was 16.6% at 4 days after hatching and increased to 62.3% at 11 days after hatching. A low A/H ratio in the rearing water of larvae means that the rotifer food condition is not good. An increase in microbial components in the plankton community, something that it is difficult to control in rearing waters, means that larval rearing is difficult. The present study suggests that planktonic structures can help explain the survival of larvae and the difficulties of larval rearing.

Key words: planktonic structure, A/H ratio, microbial loop, *Pagrus major*, *Thunnus orientalis*

緒 論

仔魚の初期飼育水には、それぞれに培養された餌料 (*Nannochloropsis* sp., ワムシや *Artemia* ノープリウス幼生) の投入や注入水によって、バクテリアや原生動物をはじめとする様々な種および異なる栄養形態のプランクトンが混入する (Maeda and Hino 1991)。仔魚の飼育水中では、このような生物間で被食-捕食関係がみられ、飼育水槽は、仔魚を頂点とした一つの人為的な生態系を形成している (Nakagawa et al. 2005)。飼育水槽内で増殖したバクテリアは時に仔魚を大量斃死に至らしめる (江口・中瀬 2005)。生産規模で行われたマダイ仔魚飼育の飼育水のモニタリング調査によって、マダイ仔魚の生残には、飼育水中のプランクトン群集構造の変化、特に独立栄養生物と従属栄養生物の生物量比の変化パターンが大きく関与しており、この変

¹ 近畿大学水産研究所白浜実験場 (Fisheries Laboratory, Kinki University, Shirahama, Shirahama, Nishimuro, Wakayama 649-2211, Japan)

² 近畿大学大学院農学研究科 (Graduate School of Agriculture, Kinki University, Nakamachi, Nara, Nara 631-8505, Japan)

化パターンがマダイ仔魚の生物学的環境の指標となる可能性が始めて報告された (Nakagawa et al. 2005)。しかしながら、プランクトン群集構造の変化パターンが仔魚の生物学的環境となることの有効性を明らかにするためには、更なる情報の蓄積および他魚種においてもこの関係を明らかにする必要がある。

本研究では、マダイの初期飼育水槽内のプランクトン群集構造の日変動と生残率との関係を調査し、この評価手法の有効性を検討した。また、この評価手法を用いて、最重要養殖対象魚種であるクロマグロ仔魚のプランクトン群集構造を解析した。

材料および方法

マダイ仔魚飼育 マダイの初期飼育は、2005年5月17日～6月1日に近畿大学水産養殖種苗センター白浜事業場において、200Lポリカーボネイト水槽 (No.1 および No.2) を用いて行われた。供試卵は近畿大学水産養殖種苗センター白浜事業場において自然産卵によって採集された卵を 2.0×10^4 eggs/kL となるように計数して 4.0×10^3 eggs を両水槽に収容した。飼育期間中の1日あたりの交換水率は、30～100%とした。光源には、蛍光灯を使用し、12明期 (6:00～18:00) 12暗期 (18:00～6:00) とした。

給餌は3日令の午後から毎日行った。飼育水には、給餌開始から9日令まで野外で大量培養した *Nannochloropsis* sp. を 3.0×10^5 cells/mL の密度となるように8:30に添加した (3日令のみ13:00に添加)。10日令以降、*Nannochloropsis* sp. の増殖状況が悪くなったため、*Nannochloropsis* sp. の代わりに市販の淡水濃縮クロレラ (生クロレラ V₁₂, 日本クロレラ工業株式会社) を2mL 飼育水に添加した。ワムシの給餌は、9日令までは1日1回、9:30に行い (3日令のみ13:30)、10日令以降は9:30 および13:30に行った。実験期間を通して3～10 ind./mL の密度となるように飼育水にワムシを給餌し、給餌前には、市販の栄養強化剤 (マリングロス, 日清マリンテック株式会社) を用いて高度不飽和脂肪酸を強化した。実験終了時に生残していた全個体数を計数した。

クロマグロ仔魚飼育 クロマグロの初期飼育は、2005年7月22日～8月4日に近畿大学水産養殖種苗センター白浜事業場において、1kLポリカーボネイト水槽を用いて行われた。供試卵は近畿大学水産養殖種苗センター奄美事業場において自然産卵によって採集された卵を 2.0×10^4 eggs/kL となるように希釈倍数法によって飼育水槽に収容した。飼育期間中の1日あたりの交換水率は、50～100%とした。光源には、蛍光灯を使用し、12明期 (6:00～18:00) 12暗期 (18:00～6:00) とした。

給餌は2日令から毎日行った。飼育水には、給餌開始から9日令まで野外で大量培養した *Nannochloropsis* sp. を 1.0×10^6 cells/mL の密度となるように6:00 および12:00に添加した。実験期間を通して4 ind./mL の密度となるように飼育水にワムシを7:00, 10:00, 13:00 および15:00に給餌し、給餌前には、市販の栄養強化剤 (マリングロス, 日清マリンテック株式会社) を用いて高度不飽和脂肪酸を強化した。実験終了時の生残個体数は、5Lビーカーを用いて希釈倍数法で計数された。

飼育水のサンプリング 飼育水のサンプリングは、マダイでは10:30 およびクロマグロでは16:00のそれぞれ給餌1時間後に毎日、あらかじめオートクレーブによって滅菌されたシリコンチューブを用いて採水を行った。物理化学的環境を分析するための試水は500mLビーカーに採水し、水温は棒状温度計、溶存酸素濃度は水質計 Model 83516043 (WTW社)、塩分は塩分計 Cond 315i (WTW社) で測定した。また、各水槽中央部水面約15cm上の照度 (Lx) を照度計 LX-1330D (株式会社カスタム) を用いて測定した。

微生物分析用の試水は50mLのサンプリング容器に採水した。採水後、バクテリアおよびシアノバクテリ

ア、ピコおよびナノプランクトン計数および計測用の試水は20%グルタルアルデヒド溶液（最終濃度1%）で固定し、4℃で保管した。また、マイクロプランクトンおよびワムシの計数および計測用の試水は、酸性ルゴール液（最終濃度2%）で固定した。

従属栄養性バクテリアおよびシアノバクテリアの検鏡 グルタルアルデヒドで固定された試水より、バクテリアおよびシアノバクテリアの密度に応じて分注した5~10 mLの試水に対して、5 µg/mLに調整したDAPI（2,4-ジアミジノ-2-フェニルインドール）を最終濃度で0.5 µg/mLとなるように0.5~1 mL添加し、冷暗所で10分間以上染色した（Porter and Feig 1980）。その後、直径25 cm、孔径0.2 µmの黒色ポリカーボネートメンブレンフィルターで濾過した。この際、脆弱な生物の細胞を破壊しないために、アスピレーターの吸引圧は0.02 MPa以下に調整した。濾過終了後、直ちにフィルターを蛍光顕微鏡用のスライドガラス上にのせ、その上にイマージョンオイルを滴下した後、カバーガラスで封入した。上述の方法で作成したプレパラートは、検鏡時まで-38℃の冷暗所で保管した。

検鏡は、暗室内の落射型蛍光顕微鏡（Nikon ECLIPSE 50i）を用いて1000倍（イマージョンオイル使用）で行った。UV励起光下において、DAPIで染色された生物の核酸は青白い光を発するため、非生物粒子と区別することができる。また、シアノバクテリアはUVで励起すると黄色あるいはオレンジ色の自家蛍光を発する。以上のような特性を利用して計数を行い、バクテリアに関しては20×100 µmの接眼格子内に見える細胞数が合計400細胞以上に達するまで行った。一方、シアノバクテリアは100×100 µmの接眼格子内に見える細胞数を少なくとも50視野以上計数した。得られた計数値は、最終的に飼育水1 mL中の細胞数密度（cells/mL）として表現した。

真核性ピコおよびナノプランクトンの検鏡 前項と同様に、グルタルアルデヒドで固定された試水より分注した10~30 mLの試水に対して、DAPIを最終濃度で0.5 µg/mLとなるように添加し、冷暗所で10分間染色した。続いて、0.033% (w/v)に調整したプロフラビン（3,6-ジアミノアクリジン）を最終濃度で0.0006%となるように0.2~0.6 mL添加し、冷暗所で5分間染色した（Hass 1982）。その後、直径25 cm、孔径0.8 µmの白色ポリカーボネートメンブレンフィルターで濾過した。この際、脆弱な生物の細胞を破壊しないために、アスピレーターの吸引圧は0.02 MPa以下に調整した。濾過終了後、前項と同様の手順でプレパラートを作成し、検鏡時まで-38℃の冷暗所で保管した。

検鏡は、暗室内の落射型蛍光顕微鏡を用いて行った。UV励起光下において、生物細胞と非生物粒子を区別することができる。また、緑色励起光下において、独立栄養生物は赤色の自家蛍光を発するため、従属栄養生物と分類することができる。さらに、青色励起光下において、プロフラビンによって染色されたタンパク質は黄色からオレンジ色の光を発するため細胞サイズの測定に利用することができる（今井 1984）。

以上の特性を利用して、まず、原核生物と真核生物を区別し、独立栄養生物と従属栄養生物に分類した後、接眼マイクロメーターを用いて細胞サイズを測定した。得られた測定値から細胞の形を回転楕円体として求めた細胞体積を算出し、等積球体直径（Equivalent spherical diameter: ESD）を計算した。そして、ESDが2 µm以下の細胞を独立栄養性ピコ真核生物（Autotrophic pico-eukaryotes: APE）および従属栄養性ピコ真核生物（Heterotrophic pico-eukaryotes: HPE）、ESDが2~20 µmの細胞を独立栄養性ナノプランクトン（Autotrophic nano-plankton: ANP）および従属栄養性ナノプランクトン（Heterotrophic nano-plankton: HNP）に分類し、それぞれについて、接眼格子（100×100 µm）内に見える細胞数を少なくとも50視野以上計数した。50細胞に満たない場合は全細胞数を測定した。50細胞を超える場合はランダムに選んだ約50細胞のサイズを測定し、その平均体積を算出して、炭素量を表す際に用いた。なお、本論文の結果及び考察中では、これらの生物群名を、それぞれAPE, HPE, ANP, HNPと表記した。

マイクロプランクトンおよびワムシの検鏡 酸性ルゴールで固定された試水よりスケールを備えた 50 mL のサンプリング容器に 40 ml 分注し, 24 時間以上静置した後, サイフォンによって 4 mL まで濃縮した。その後, メカニカルピペットによって 1 mL の試水を測り取り, 落射型蛍光顕微鏡を用いて明視野の下で, 100 倍または 200 倍で計数した。珪藻類, 従属栄養性の鞭毛虫類および繊毛虫類は接眼マイクロメーターを用いて, 出現した全細胞について計数し, ランダムに選んだ約 50 細胞のサイズを測定した。続いて, 得られた測定値より細胞の形を回転楕円体として求めた細胞体積を算出し, ESD を計算した。ESD において, 20~200 μm の珪藻類を独立栄養性マイクロプランクトン (Autotrophic micro-plankton: AMP) に分類し, 鞭毛虫類および繊毛虫類は従属栄養性マイクロプランクトン (Heterotrophic micro-plankton: HMP) とした。ワムシは全数を計数し, マイクロメーターを用いて少なくとも 20 個体の全長および体幅を測定した。

各プランクトンの炭素量 従属栄養性バクテリアおよびシアノバクテリアの炭素量は, それぞれ 0.03 pg C/cell (Fukuda et al. 1998) および 0.15 pg C/cell (Waterbury et al. 1986) を細胞数密度に乗じて算出した。

ピコおよびナノプランクトンの炭素量は ESD が 4 μm 未満の細胞と ESD が 4 μm 以上の細胞とに区別し, 炭素量を C , 細胞体積を V として, それぞれ以下に示す換算式を適用して求めた。

ESD が 4 μm 未満の細胞 (Mullin 1969),

$$C = 0.22 V$$

ESD が 4 μm 以上の細胞 (Strathmann 1967),

$$\text{Log}_{10} C = 0.866 \text{Log}_{10} V - 0.460$$

珪藻類の炭素量は炭素量を C , 細胞体積を V として, 以下に示す換算式を用いて求めた (Strathmann 1967)。

$$\text{Log}_{10} C = 0.866 \text{Log}_{10} V - 0.460$$

鞭毛虫類および繊毛虫類の炭素量は, それぞれ 0.13 pg C/cell (Edler 1979), 0.19 pg C/cell (Putt and Stoecker 1989) を細胞数密度に乗じて算出した。

ワムシの炭素量は, まず, 以下に示した Stemberger and Gilbert の回帰式 (Stemberger and Gillbert 1987) を用いて全長 (TL) から乾燥重量 (DM) を算出した。

$$DM = 3.1 \cdot 10^{-5} TL^{1.574}$$

炭素量は上式によって得られた乾燥重量に 0.48 (Anderson and Hessen 1991) を乗じて求めた。

結 果

マダイ飼育水槽内のプランクトン群集構造 No.1 および No.2 水槽における孵化後 14 日令での仔魚の生残率は 27.5% および 20.9% であった。

仔魚飼育期間中の水温は, No.1 および No.2 水槽では 18.8~21.0°C で変化した。No.1 および No.2 水槽の塩分は 34.0~34.9, 溶存酸素濃度は, 94.7~115.7% の間で変化した。これらの物理化学環境は両水槽間に大きな違いはみられなかった。No.1 の照度は 836~1003 lx, No.2 の照度は 439~487 lx の範囲であった。

No.1 および No.2 水槽におけるプランクトン群集は, 生物量では飼育期間を通して従属栄養性生物が卓越した (Fig. 1)。給餌前までは, バクテリアが卓越し, No.1 では全プランクトン生物量の 64.4~92.1%, No.2 では 76.1~97.3% であった。給餌後のバクテリアの割合は, 両水槽で 24% 以下であった。給餌が開始されてからは, ワムシが最も卓越し, ワムシ生物量の割合は, No.1 では 42.3~66.9%, No.2 では 32.5~69.0% であった。ANP 生物量の割合は, No.1 では 14.5~34.5%, No.2 では 8.3~44.4% であった。No.1 での HMP 生物量

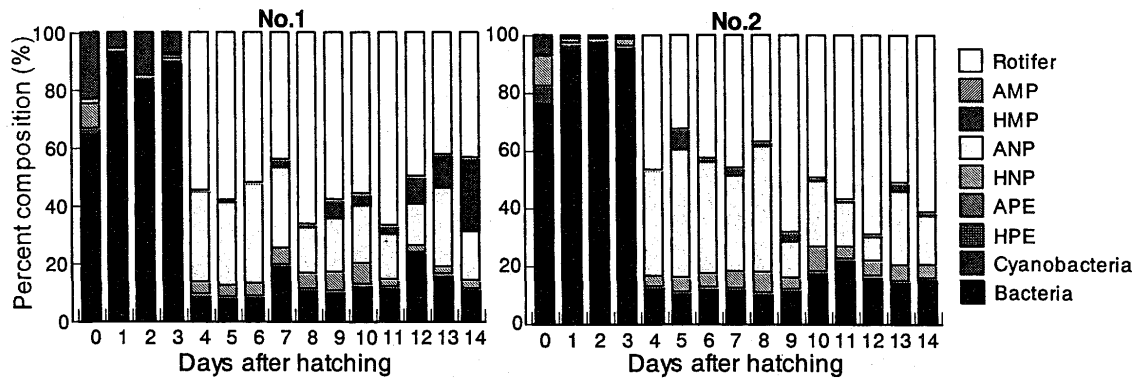


Fig. 1. Percent composition of each plankton in carbon weight to total plankton biomass in the rearing waters at No.1 (left) and No.2 (right) tank during the rearing of *Pagrus major* larvae.

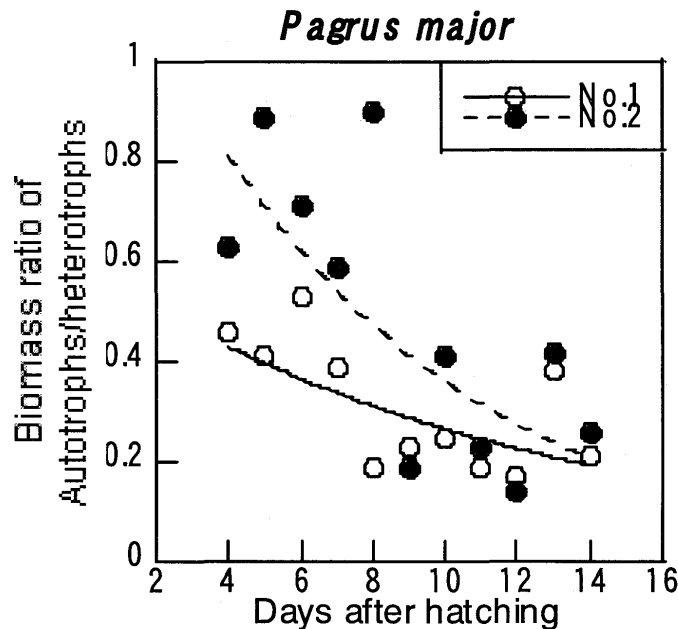


Fig. 2. Changes in biomass ratio of autotrophs/heterotrophs (A/H ratio) in rearing waters at No.1 (open) and No.2 tank (closed) of *Pagrus major* larvae during the rearing periods. Curves show regressions between A/H ratio (Y) and days after hatching (X): No.1 (solid line), $Y = 0.59 e^{-0.08X}$ ($n = 11, r = 0.699, p < 0.05$); No.2 (broken line), $Y = 1.40 e^{-0.14X}$ ($n = 11, r = 0.724, p < 0.05$).

の割合は、給餌開始時から実験終了へ向かって増加し、14日令で最大となり25.4%であった。No.2のHMPは、7日令で最大となり7.1%であった。

独立栄養性生物/従属栄養性生物の生物量比(A/H比)は、給餌が開始されてからの最初のサンプリングでは、両水槽で0.65未満であった(Fig. 2)。飼育期間を通して、A/H比は1未満であり、14日令に向かって減少する傾向がみられた。

クロマグロ飼育水槽内のプランクトン群集構造 実験最終日(孵化後12日令)におけるクロマグロ仔魚の生残率は14.1%であった。

仔魚飼育期間中の水温は、26.2~27.7℃で変化した。塩分は34.0~34.3、溶存酸素濃度は86.1~104.9%の間

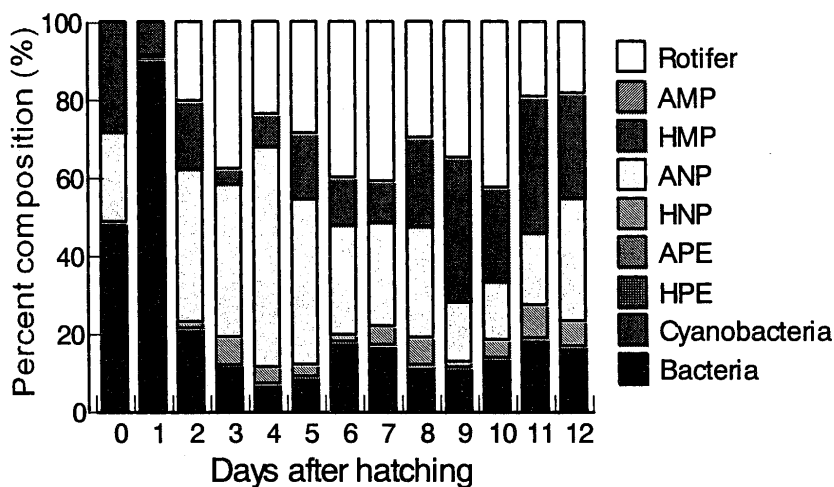


Fig. 3. Percent composition of each plankton in carbon weight to total plankton biomass in the rearing waters during the rearing of *Thunnus orientalis* larvae.

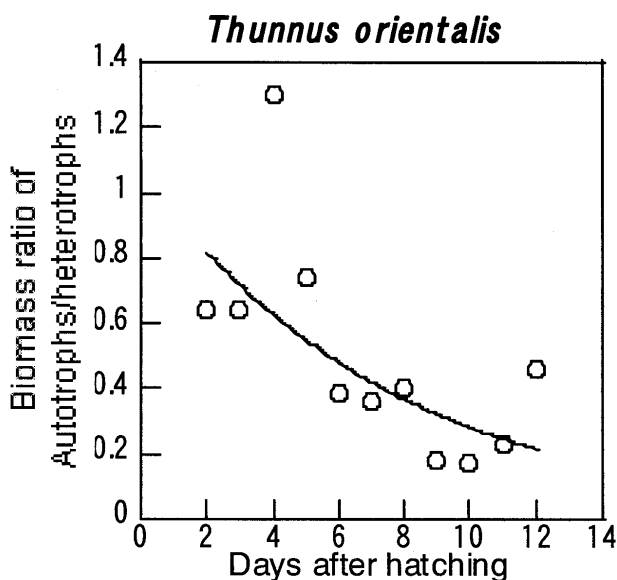


Fig. 4. Changes in biomass ratio of autotrophs/heterotrophs (A/H ratio) in rearing waters of *Thunnus orientalis* larvae during the rearing periods. Curve shows regression between A/H ratio (Y) and days after hatching (X): $Y = 1.07 e^{-0.13X}$ ($n = 12, r = 0.653, p < 0.05$).

で変化した。水槽表面の照度は 3430~3740 lx の範囲であった。

クロマグロ水槽におけるプランクトン群集は、孵化後 4 日令を除き従属栄養性生物が卓越した (Fig. 3)。給餌開始前は、バクテリアが卓越した。給餌開始後、ANP 生物量の割合は 14.9~56.5% の範囲で変化し、4 日令に最大となった。ワムシの割合は 18.2~40.9% の範囲で変化した。HMP の割合は、3 日令に 4.0% と最小であった。その後飼育の経過に伴って HMP の割合は増加し、11 日令に 35.0% と最大になり、全プランクトン群集の中で卓越した。バクテリア、HNP および HMP を合わせた微生物ループ構成生物の生物量の割合は、4 日令に最も小さく 16.6% であった。その後微生物ループ構成生物の割合は飼育の経過に伴って増加し、11 日令に最大となり 62.3% となった。

給餌開始時の A/H 比は 0.64 であった (Fig. 4)。A/H 比は 4 日令で 1.30 と最大となり、その後 12 日令に向

かって減少した。2日令から12日令までのA/H比を指数関数式で近似すると、A/H比は、2日令から緩やかに減少する傾向がみられた。

考 察

プランクトン群集構造の生物学的環境の指標性 本研究におけるNo.1およびNo.2水槽のマダイ仔魚の孵化後14日令での生残率は、28%未満と低い値であった。両水槽のA/H比は、給餌開始時で0.65未満であり、その後も1を越えることは無く、8日令以降では0.4未満であった。仔魚の初期飼育水槽を仔魚を頂点とした一つの生態系として捉えた研究は、Nakagawa et al. (2005)しかない。本研究で得られたA/H比の変化パターンは、Nakagawa et al. (2005)の生残率の低いNo.2水槽の変化パターンと類似していた。

マダイ飼育水槽の場合、低いA/H比は、飼育水中のワムシの餌料密度が相対的に低く、飼育水中のワムシの栄養価が減少することを意味する(Nakagawa et al. 2005)。本研究における独立栄養性生物の主体は、飼育水槽に投入された*Nannochloropsis* sp.である。*Nannochloropsis* sp.は、飼育水槽中のワムシの栄養価(ω -3系高度不飽和脂肪酸(ω -3HUFA))の維持に影響する(吉松ら1995)。餌料として給餌されるワムシの ω -3HUFAが仔魚の生残に大きな影響を及ぼすことは明らかにされている(Watanabe et al. 1989; Takeuchi et al. 1990; Watanabe 1993)。以上のことから、本研究のマダイ仔魚の低い生残率は、栄養価の高い餌を摂餌し続けることができなかつたことに由来すると考えられる。Nakagawa et al. (2005)の実験と比べると水槽の規模や仔魚の環境が異なるが、飼育水中のプランクトン群集構造の把握は、その後の仔魚の生残および生物学的環境の指標となることが考えられる。

クロマグロ仔魚飼育水におけるプランクトン群集構造 給餌開始時(2および3日令)のA/H比は0.64であったが、ワムシの餌料環境としてANP/ワムシの比を計算すると、1.0から1.9であった。これは、Nakagawa et al. (2005)の生残率の低い水槽に比べて高い値であった。本研究でモニタリングしたクロマグロ飼育水槽内のワムシの餌料環境は、本研究のマダイの結果およびNakagawa et al. (2005)の結果と比較してより好適であった可能性がある。

クロマグロ仔魚飼育水槽におけるプランクトン群集構造では、微生物ループ構成生物(バクテリア、HNPおよびHMP)の生物量の割合は飼育の経過に伴って増加し、11日令には全プランクトン生物量の62.3%に至った。微生物ループ構成生物に対する繊毛虫類の割合は、最大で57.1%と卓越した。これは、マダイ飼育水槽に比べて非常に高い生物量であった。一般に繊毛虫類の増殖能は細胞体積に反比例し、水温に比例して高くなる(Müller and Geller 1993)。クロマグロ仔魚飼育水槽における繊毛虫類の高い生物量は、クロマグロの飼育水温が26.2~27.7℃と高いことに由来していると考えられる。一方、ワムシの培養槽では、繊毛虫類の増加はワムシの急減現象の原因の一つである(Cheng et al. 2004)。ワムシは、仔魚の餌として飼育水槽に投入されるため、ワムシと共に繊毛虫類も飼育水槽へ混入し、増加する(Cheng et al. 2004)。また、増殖活性の低いワムシを給餌したとき、マダイ仔魚の生残率は、活性の高いワムシで飼育した時よりも低くなる(友田ら2004)。これらのことから、飼育水槽中の繊毛虫類の増加は、飼育水槽中のワムシの状態に影響を与え、結果として仔魚の生残にも影響する可能性が考えられる。

クロマグロの飼育水槽では、飼育の経過に伴って、微生物ループの構成生物の割合がマダイ仔魚飼育水槽と比べて高くなった。これは、飼育水槽内で効率よくワムシ-クロマグロ仔魚(*Nannochloropsis* sp.-ワムシ-クロマグロ仔魚)へエネルギーまたは栄養が伝わっていない可能性を含んでいる。微生物ループのコント

ローンは難しく、プランクトン群集構造の定量的な解析からも、クロマグロ仔魚の飼育が難しいことが理解できる。今後、クロマグロ仔魚の生残率の向上を目指すためには、クロマグロ仔魚飼育水槽内のエネルギーフローの解明およびクロマグロ仔魚の摂餌生態、また飼育水槽内で増加する微生物ループ構成者のコントロール技術の開発を行う必要がある。

要約

マダイおよびクロマグロ仔魚の初期飼育期間中に飼育水中のプランクトン群集構造が定量的に調査された。マダイ仔魚飼育水槽 (No.1 および No.2) では、実験最終日 (孵化後 14 日令) での生残率は、28%未満であった。給餌開始時の独立栄養性生物/従属栄養性生物の生物量比 (A/H 比) は、0.65 未満と低く、飼育期間を通して従属栄養性生物が卓越した。クロマグロ仔魚飼育水槽では、実験最終日 (孵化後 12 日令) での生残率は、14.1%であった。孵化後 4 日令を除いて、従属栄養性生物が飼育水中で卓越した。バクテリア、従属栄養性ナノプランクトンおよびマイクロプランクトンから成る微生物ループ構成生物は、孵化後 4 日令では 16.6%であったが、その後飼育の経過に伴って増加し、11 日令には 62.3%に至った。仔魚飼育水槽において低い A/H 比は、飼育水中のワムシの餌料環境が好適ではないことを意味する。また、飼育水中の微生物ループ構成生物をコントロールすることは難しく、飼育水中の微生物ループ構成生物の増加は、仔魚飼育が困難であることを意味する。飼育水中のプランクトン群集構造の解析が仔魚飼育の難しさやその後の仔魚の生残を説明することができる可能性が、本研究によって示唆された。

謝辞

本研究を行うにあたり、御協力をいただいた近畿大学水産養殖種苗センター白浜事業場の職員各位および従業員各位に厚く感謝申し上げます。本研究を行う機会を与えてくださった近畿大学水産研究所所長熊井英水教授ならびに同副所長村田 修教授に心よりお礼申し上げます。本論文は、文部科学省 21 世紀 COE プログラム「クロマグロ等の魚類養殖産業支援型研究拠点」研究拠点形成等補助金および COE 萌芽研究助成金の支援を受けて行われた研究成果である。

文献

- Anderson, T. and D. O. Hessen (1991) : Carbon, nitrogen, and phosphorus content of freshwater zooplankton. *Limnol. Oceanogr.*, **36**, 807-813.
- Cheng, S. H., S. Aoki, M. Maeda and A. Hino (2004) : Competition between the rotifer *Brachionus rotundiformis* and the ciliate *Euplotes vannus* fed on two different algae. *Aquaculture*, **241**, 331-343.
- Eidler, L. (1979) : Recommendations for marine biological studies in the Baltic sea. *The Baltic Marine biologists Publ.*, **5**, 1-38.
- 江口 充・中瀬玄徳 (2005) : 魚類種苗の生産における飼育水の細菌群集構造の変動. 平成 15・16 年度 COE 中間成果報告書, 近畿大学, pp. 59-62.
- Fukuda, R., H. Ogura, T. Nagata and I. Koike (1998) : Direct determination of carbon and nitrogen contents of natural

- bacterial assemblages in marine environments. *Appl. Environ. Microbiol.*, **64**, 3352-3358.
- Hass, L. W. (1982) : Improved epifluorescence microscopy for observing planktonic micro-organisms. *Ann. Inst. Oceanogr., Paris*, **58**, 216-266.
- 今井一郎 (1984) : 周防灘における海洋細菌の粒子径組成と現存量. 南西水研報, **17**, 183-196.
- Maeda, M. and A. Hino (1991) : Environmental Management for Mass Culture of the Rotifer, *Brachionus plicatilis*. Rotifer and Microalgae Culture Systems. Proceedings of a U.S.-Asia Workshop. The Oceanic Institute, Honolulu. pp. 125-134.
- Müller, H. M. and W. Geller (1993) : Maximum growth rates of aquatic ciliated protozoa: the dependence on body size and temperature reconsidered. *Arch. Hydrobiol.*, **126**, 315-327.
- Mullin, M. M. (1969) : Production of zooplankton in the ocean: the present status and problems. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, **7**, 293-314.
- Nakagawa, Y., M. Eguchi, G. Nakase, T. Hashimoto and S. Miyashita (2005) : Changes in planktonic structure in rearing water during the intensive larviculture of *Pagrus major*. Proceedings of Larvi'05-4th Fish & Shellfish Larviculture Symposium. European Aquaculture Society, Special Publication, **36**, 356-359.
- Porter, K. G. and Y. S. Feig (1980) : The use of DAPI for identifying and counting aquatic microflora. *Limnol. Oceanogr.* **25**, 943-948.
- Putt, M. and D. K. Stoecker (1989) : An experimentally determined carbon: volume ratio for marine "oligotrichous" ciliates from estuarine and coastal waters. *Limnol. Oceanogr.*, **34**, 1097-1103.
- Stemberger, R. S. and J. J. Gillbert (1987) : Rotifer threshold food concentrations and the size-efficiency hypothesis. *Ecology*, **68**, 181-187.
- Strathmann, R. R. (1967) : Estimating the organic carbon content of phytoplankton from cell volume or plasma volume. *Limnol. Oceanogr.*, **12**, 411-418.
- Takeuchi, T., M. Toyota, S. Satoh and T. Watanabe (1990) : Requirement of juvenile red seabream *Pagrus major* for eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids. *Nippon Suisan Gakkaishi* **56**, 1263-1269.
- 友田 努・小磯雅彦・桑田 博・陳 昭能・竹内俊郎 (2004) : 増殖ステージが異なるシオミズツボウムシのマダイ仔魚に対する餌料価値. 日水誌, **70**, 573-582.
- Watanabe, T. (1993) : Importance of docosahexaenoic acid in marine larval fish. *J. World Aquacult. Soc.*, **24**, 152-161.
- Watanabe, T., T. Takeuchi, T. Arakawa, K. Imaizumi, S. Sekiya and C. Kitajima (1989) : Requirement of juvenile striped jack *Longirostris delicatissimus* for n-3 highly unsaturated fatty acids. *Nippon Suisan Gakkaishi* **55**, 1111-1117.
- Waterbury, J. B., S. W. Watson, F. W. Valois and D. G. Franks (1986) : Biological and ecological characterization of the marine unicellular cyanobacterium *Synechococcus*. In: Platt, T., Li, W.K. (Eds.), *Photosynthetic Picoplankton*. Dept. Fish. Oceans, Ottawa, pp. 71-120.
- 吉松隆夫・林 雅弘・戸田淳次・古市政幸・北島 力 (1995) : メナダ仔魚の必須脂肪酸要求と飼育槽へのナンクロロプシス添加効果, 日水誌, **61**, 912-918.