クエおよびマハタ仔稚魚の摂餌日周性と日間摂餌量の推定

岩崎 隆志,^{1*} 井手健太郎,² 照屋 和久,¹ 岡 雅一,³ 浜崎 活幸⁴

(2014年9月4日受付, 2014年12月6日受理)

¹水産総合研究センター西海区水産研究所亜熱帯研究センター,²水産総合研究センター増養殖研究所有種研究センター,³水産総合研究センター西海区水産研究所まぐろ増養殖研究センター, ⁴東京海洋大学大学院Diurnal feeding rhythm and feeding amount in larvae and juveniles of longtooth grouper *Epinephelus bruneus* and sevenband grouper *E. septemfasciatus* during seed productionTAKASHI IWASAKI,^{1*} KENTARO IDE,² KAZUHISA TERUYA,¹ MASAKAZU OKA³
AND KATSUYUKI HAMASAKI⁴

¹Research Center for Subtropical Fisheries, Seikai National Fisheries Research Institute, Fisheries Research Agency, Ishigaki, Okinawa 907-0451, ²Research Center for Aquatic Breeding, National Research Institute of Aquaculture, Fisheries Research Agency, Saiki, Oita 879-2602, ³Research Center for Tuna Aquaculture, Seikai National Fisheries Research Institute, Fisheries Research Agency, Taira-machi, Nagasaki 851-2213, ⁴Graduate School of Marine Science and Technology, Tokyo University of Marine Science and Technology, Minato, Tokyo 108-8477, Japan

To accumulate basic knowledge on the feeding characteristics of larvae and juveniles of longtooth grouper *Epinephelus bruneus* and sevenband grouper *E. septemfasciatus* during seed production, we examined the diurnal feeding rhythm for rotifers and feeding amounts of rotifers and *Artemia* in larvae and juveniles reared in a hatchery. Feeding was not observed under the dark condition in both species. The diurnal feeding rhythm of longtooth grouper changed from one peak at dusk to two peaks at dawn and dusk in accordance with the fish growth, whereas sevenband grouper showed one peak pattern throughout the larval stage. The daily food consumption rates of larvae for rotifers and *Artemia* were estimated to be 52-120% and 41-148% for longtooth grouper and 16-194% and 39-136% for sevenband grouper, respectively. This study could assist the intentional cultivation of rotifer and *Artemia* during seed production of the longtooth grouper and sevenband grouper.

キーワード：クエ, 仔魚, 種苗生産, 摂餌特性, マハタ

クエ *Epinephelus bruneus* およびマハタ *E. septemfasciatus* はハタ科マハタ属に属し, とともに全長1 mを超える大型の岩礁魚であり, 日本では前者は南日本, 後者は琉球列島を除く北海道南部以南に分布する。¹⁾ 両種とも漁獲量が少なく, 市場価値が高いことから, 増養殖対象種として注目されており, 西日本を中心に種苗生産技術に関する研究開発が盛んに行われている。^{2,3)}

一般にハタ類のふ化仔魚は体サイズが小さく, 内部栄養から外部栄養への移行がスムーズに行かなければ死亡することが知られている。⁴⁻⁶⁾ そのため, ハタ類の種苗生産では, 10日齢前後までの初期飼育における適正環

境条件を把握するために, 餌料密度²⁾や餌料サイズ,^{4,7-10)} 照度,^{2,11)} 光周期¹²⁻¹⁴⁾などの飼育環境が仔魚の生残, 成長および摂餌に及ぼす影響について調査されてきた。しかしながら, 飼育初期以降の適正な環境条件については情報が少なく, 特に仔稚魚期の摂餌生態については, キジハタ *E. akaara* において山本¹⁵⁾および萱野¹⁶⁾の日間摂餌量の推定と摂餌日周性に関する報告があるのみで, クエおよびマハタについては報告が見当たらない。

魚類の種苗生産において, 仔稚魚の日間摂餌量や摂餌日周性等の摂餌生態を把握することは, 成長に応じた適正な給餌を可能とし, このことは健全な成長に繋がるだ

けでなく、生物餌料の計画的かつ効率的な生産にも貢献する。実際に、前述のキジハタに加えて、マダイ *Pagrus major*,¹⁷⁾ ヒラメ *Paralichthys olivaceus*,¹⁸⁾ クロダイ *Acanthopagrus schlegelii*,¹⁹⁾ トラフグ *Takifugu rubripes*,²⁰⁾ イシダイ *Oplegnathus fasciatus*²¹⁾ などの種苗生産対象魚においても仔稚魚の日間摂餌量が推定されており、種苗生産技術の向上に寄与している。

本研究では、種苗生産過程でのクエおよびマハタの仔稚魚を用いて、摂餌の日周性および成長に伴う摂餌量の変化について調査したので、その結果について報告する。

材料と方法

採卵とふ化 試験には、クエ、マハタともに舩水産総合研究センター増養殖研究所上浦庁舎（現：育種研究センター）で養成した親魚から得た受精卵を使用した。クエは2010年4月24日に雌2個体（体重5.2–5.4 kg）と雄3個体（体重6.4–7.8 kg）に、マハタは2010年6月28日に雌4個体（体重2.9–4.9 kg）と雄3個体（体重4.5–6.4 kg）に、それぞれヒト絨毛性性腺刺激ホルモン（ゴナトロピン5000，あすか製薬）を魚体重1 kgあたり600 IUの濃度となるように背部筋肉内に注射し、48時間後に採卵および採精し、乾導法により人工授精した。得られた受精卵については2 L メスシリンダー内に約5分間静置して浮上卵と沈下卵に分離し、浮上卵のみを1 kL アルテミアふ化槽に収容し、水温22°Cで流水条件下（流量約5 L/分）で管理した。人工授精から約20時間後に、1 kL アルテミアふ化槽から受精卵を回収し、疾病防除を目的として遊離塩素濃度0.5 ppmの電解殺菌海水で1分間消毒した。その後、屋内に設置した60 kL コンクリート製水槽にクエは10.2万粒、マハタは29.7万粒をそれぞれ収容し、ふ化まで水温22°Cで管理した。収容翌日にふ化が認められ、ふ化率はクエでは100%、マハタでは40%であった。

仔稚魚の飼育 クエ、マハタ仔魚の飼育は上述の60 kL水槽を用いて行い、前者は65日齢、後者は59日齢まで飼育を行った。飼育水には活性炭で残留オキシダントを除去した電解殺菌処理海水を使用し、クエでは25日齢まで、マハタでは30日齢まで無換水で飼育した。それ以降は飼育水の換水を行い、最初は3 kL/日の注水（換水率5%/日）で飼育日数の経過とともに増加させ、最終的には共に換水率100%/日とした。飼育水温はふ化までは22°Cで、それ以降はチタン製熱交換器を用いて約1°C/日の割合で昇温し、4日齢以降は26°Cを維持した。通気は水槽底面設置した8本の散気管（直径25 mm×1.5–2.0 m，ユニホース，大和実業）と水槽中央に設置したセラミック製エアーストン（AS-200，田中三次郎商店）1個を用いて行った。照明と日長の調整は、蛍光灯（Hf32W×2DP インバータ，松下電工），メ

タルハライドランプおよび白熱灯を用いて行い、05:30に点灯、19:30に消灯の14時間明期とした。また、飼育水面照度の急激な変化を抑えるため、タイマーを用い、照明の点灯は白熱灯，メタルハライドランプ，蛍光灯の順に30分かけて行い、消灯時には点灯時と逆の順番で照明器具を30分かけて徐々に消灯した。水面照度を水槽の端，中央およびその中間の3地点で測定したところ、照明点灯前の05:00は測定限界値（0.1 lx）以下で、点灯開始直後の05:30には 100.8 ± 34.0 lx（平均値±標準偏差），05:40には 271.7 ± 16.1 lx，05:50には $2,566.7 \pm 202.1$ lx，06:00には $1,933.3 \pm 125.8$ lxとなり、以降は19:00の消灯開始まで約2,000 lxを保った。その後、消灯時の19:10では $1,120.0 \pm 183.6$ lx，19:20には 253.3 ± 25.2 lx，19:25には 115.0 ± 37.7 lxとなり、完全に消灯した19:30では測定限界値（0.1 lx）以下となった。

餌料には、クエでは高度不飽和脂肪酸含有淡水クロレラ（スーパー生クロレラ V12，クロレラ工業）で20–28時間栄養強化したS型（3–9日齢）とL型（11–64日齢）のシオミズツボワムシ（以下ワムシ）*Brachionus plicatilis* sp. complexを、マハタでは同様に栄養強化したSS型（2–7日齢），S型（10–11日齢）およびL型（20–52日齢）のワムシを用いた。両種とも05:30と13:00に飼育水中のワムシ密度を計数し、基準密度15個体/mLを下回る場合には、06:00または13:30に追加給餌を行った。なお、飼育水に毎日06:00と15:00にスーパー生クロレラ V12を約10万細胞/mLとなるように添加し、飼育水中のワムシ密度を10個体/mL以上に維持した。また、クエでは30日齢、マハタでは33日齢以降には、市販の栄養強化剤（バイオクロミスパウダー，クロレラ工業）で4時間栄養強化したアルテミア *Artemia* sp.（ソルトレイク産，アイエスシー）を0.1–0.5個体/mLの密度で、1日1回または2回に分けて給餌した。本試験で使用した生物餌料の湿重量は、それぞれ1個体あたりワムシではSS型が 1.18 ± 0.09 μ g，S型が 1.22 ± 0.14 μ g，L型が 3.56 ± 0.16 μ gで、アルテミアでは 21.5 ± 2.48 μ gであった（ $n=3$ ）。なお、各生物餌料の湿重量の測定は以下の方法で行った。まず、水分を十分に切り、ペースト状にした生物餌料の一部を取り、電子天秤（AT201，メトラー）で重量を測定した後、100 mL メスシリンダーに収容し、容量法で個体あたりの湿重量を求めた。生物餌料に加え、クエでは41日齢、マハタでは40日齢以降、配合飼料（アンブローズ400，600，800，日本配合飼料）を仔稚魚の成長に併せて適宜給餌した。また、06:00と20:00に水質改良剤（フィッシュグリーン，グリーンカルチャ）を20 g/kLの割合で散布した。

仔魚の魚体測定とワムシの摂餌日周性および日間摂餌

数の推定 飼育水槽から無作為に 15–20 個体の仔魚を掬い取り, 0.05–0.1 mg/L 濃度の *m*-アミノ安息香酸エチルメタンスルホネートで麻酔した後, 万能投影機 (V-12, ニコン) とデジタルノギス (CD-20PMX, ミットヨ) を用いて仔魚の全長を測定した。仔魚の体重 (湿重量) は, 体表面の水分を濾紙で慎重に拭き取った後に, 電子天秤 (AT201, メトラー) で測定した。

クエおよびマハタ仔魚のワムシの摂餌日周期性および日間摂餌数の調査は両種とも 5 日齢から 5 日間隔で実施し, クエでは 25 日齢まで, マハタでは 30 日齢まで行った。仔魚のワムシ摂餌の日周期性は, 05:00–22:00 (5 日齢のマハタのみ 23:30) まで 30 分から 2 時間間隔で仔魚を採取し, 消化管内のワムシ数を調査することによって推定した。仔魚の消化管内のワムシ数は, スライドガラス上の仔魚をカバーガラスで軽く圧閉し, 生物顕微鏡下でワムシの咀嚼器を計数して求めた。一方, 仔魚のワムシの日間摂餌数は萱野¹⁶⁾の方法に従い, 仔魚が摂餌したワムシの排泄率および消化時間に基づき推定した。まず, 消灯後の消化管内のワムシ数の経時的減少過程を次式で表し, 減少係数および排泄率を求めた。

$$S_t = S_0 \cdot \exp(-R \cdot t)$$

$$E = 1 - \exp(-R)$$

ここで, 萱野¹⁶⁾に従い, S_t は時刻 t における消化管内ワムシ数, S_0 は $t=0$ の消化管内ワムシ数, R を減少係数, E を排泄率とし, 摂餌停止時の 1/10 まで減少するまでに要した時間を消化時間 (ET) と定義した。

続いて, 萱野¹⁶⁾と同様に, Elliott and Persson²²⁾の方法に従い, 次式から日間摂餌数を推定した。

$$Ft = \frac{[S_t - S_0 \cdot \exp(-R \cdot t)] \cdot R \cdot t}{1 - \exp(-R \cdot t)}$$

$$F = \sum_{t=0}^n Ft$$

ここで, F_t は時刻 0 から t までの摂餌数, F を日間摂餌数とし, これにワムシの湿重量を乗じた値を日間摂餌量, さらに日間摂餌量を魚体の湿重量で除した値を日間摂餌率とした。

仔魚のアルテミア日間摂餌数の推定 キジハタでは, 摂餌可能時間と消化時間からアルテミアの日間摂餌量を推定する方法では摂餌量を過大評価する危険性が指摘されている。¹⁶⁾ 我々が 28 日齢のクエ仔魚と 33 日齢のマハタ仔魚について予備調査を行った結果, 両種の仔魚の消化管内で消化が進んだアルテミアを正確に計数することは困難であった。また, アルテミアのようにふ化後しばらくは再生産せず, 正確に計数が行える餌生物の場合には給餌量から残餌量を引いた値を摂餌量とする事例もある。²³⁾ このような理由から, 本研究では, 給餌量から残餌量を差し引く方法で仔魚のアルテミアの日間摂餌量を推定した。調査はクエでは 30 日齢から, マハタで

は 35 日齢から開始し, 前者では 55 日齢まで, 後者では 50 日齢まで 5 日間隔で実施した。照明点灯前の 05:00 に 60 kL 水槽から仔稚魚を 15 個の 2 L 手付きビーカーに 1 個体ずつ移槽した。そこに, 05:30 の照明点灯と同時にふ化後約 20 時間経過した栄養強化していないアルテミアを仔稚魚の成長に応じて 500–5,000 個体を給餌した。給餌後 2 時間毎に 5 mL 駒込ピペットでビーカー内の飼育水を採取してアルテミア密度を計数し, 追加給餌はアルテミア密度が給餌開始時の 1/10 以下になった時点で行った。その後, 19:30 に全てのビーカーに 0.1 mg/L の濃度で *m*-アミノ安息香酸エチルメタンスルホネートを添加して仔稚魚を麻酔した後, ビーカーから取り出し, 上述の方法で全長および体重を測定した。また, ビーカー内に残存したアルテミアの全数計数を行い, この値を総給餌数から差し引いて仔稚魚のアルテミア摂餌数を推定し, 上記のワムシの方法と同様に仔稚魚の日間摂餌量および日間摂餌率を算出した。

結 果

仔稚魚の成長 クエおよびマハタ仔稚魚の全長の推移を Fig. 1 に示した。また, 両種の全長 (L , mm) と体重 (W , mg) の関係を Fig. 2 に示した。全長と体重の関係は, クエでは $W = 0.00039L^{4.028}$ ($r^2 = 0.67$, $n = 360$, $p < 0.001$) で, マハタでは $W = 0.00576L^{3.279}$ ($r^2 = 0.68$, $n = 330$, $p < 0.001$) の関係式で表された。

消化管内ワムシ数の日周変化 クエとマハタの日齢別の消化管内ワムシ数の日周変化を Fig. 3 および Fig. 4 に示した。クエ, マハタ共に照明点灯前の 05:00 ではワムシの摂餌は確認されず, 消化管内のワムシ数は完全に消灯した 19:30 以降には減少に転じた。日中の消化管内ワムシ数の日周変化をみると, クエでは, 5 日齢

Fig. 1 Changes in mean total length of larvae and juveniles of longtooth grouper and sevenband grouper. Vertical bars show the standard deviations.

Fig. 2 Relationships between total length and body weight of larvae and juveniles of longtooth grouper and sevenband grouper. Longtooth grouper $W=0.00039L^{4.028}$ ($r^2=0.67$, $n=360$, $p<0.001$), sevenband grouper $W=0.00576L^{3.279}$ ($r^2=0.68$, $n=330$, $p<0.001$).

(平均全長 3.20 mm, 以下同様) から 20 日齢 (6.11 mm) では照明点灯後の 05:30 から増加する傾向を示し, 10:00–14:00 ではほぼ一定となり, その後, 18:00 に前後に不明瞭ながら摂餌のピークを 1 つ持つ一峰型を示した。25 日齢 (7.45 mm) では 09:00 前後と 17:00 前後に不明瞭ながら摂餌のピークを 2 つ持つ二峰型を示した。一方, マハタでは, 照明点灯後の 05:30 から増加の傾向を示し, その後, 日齢ごとに若干の差がみられたものの, 07:00–10:00 の間にピークを迎えると, その後は 19:30 の消灯まではほぼ一定で推移し, 明瞭なピークを示すことなく消灯後は減少するという台形型を示した。

ワムシの排泄率と消化時間 日齢別の消化管内ワムシの減少係数と排泄率はクエでは S 型ワムシを給餌した 5 日齢 (3.20 mm) と 10 日齢 (3.95 mm) では, それぞれ 0.926 と 60.4%, 1.871 と 84.6% であった (Fig. 5)。また, L 型ワムシを給餌した 15, 20, 25 日齢では, それぞれ 1.083 と 66.2%, 1.363 と 74.4%, 1.825 と 83.9% であった (Fig. 5)。S 型ワムシから L 型ワムシへと餌料生物の切り替えが行われた 10 日齢 (3.95 mm) と 15 日齢 (5.15 mm) の間では排泄率の減少が認められたが, 同一の餌料生物ではクエ仔魚は成長とともに排泄率が高くなる傾向を示した。排泄率の変化に伴うクエ仔魚のワムシの排泄時間は 5 日齢 (3.20 mm) が 2.5 時間, 10 日齢 (3.95 mm) が 1.2 時間, 15 日齢 (5.15 mm) が 2.1 時間, 20 日齢 (6.11 mm) が 1.7 時間, 25 日齢 (7.45 mm) が 1.3 時間であった。

一方, マハタの消化管内ワムシの減少係数と排泄率は,

SS 型ワムシを給餌した 5 日齢 (2.69 mm) では 0.526 と 40.9%, S 型ワムシを給餌した 10 (2.97 mm), 15 日齢 (3.74 mm) では, それぞれ 1.141 と 68.1%, 1.110 と 67.1%, L 型ワムシを給餌した 20 日齢 (4.83 mm), 25 日齢 (5.76 mm), 30 日齢 (6.66 mm) では, それぞれ 1.313 と 73.1%, 1.077 と 65.9%, 1.352 と 74.1% であった (Fig. 5)。マハタ仔魚の排泄率は SS 型ワムシを給餌した 5 日齢 (2.69 mm) では 40.9% と他の日齢と比較して低い値を示したが, S 型ワムシを給餌した 10 日齢 (2.97 mm), 15 日齢 (3.74 mm) および L 型ワムシを給餌した 20 日齢 (4.83 mm), 25 日齢 (5.76 mm), 30 日齢 (6.66 mm) では 65.9–74.1% の間で推移し, クエで認められた様な餌料生物の切り替え時の減少や成長に伴う増加は認められなかった。また, マハタ仔魚の排泄時間は 5 日齢 (2.69 mm) では他の日齢と比較して, 4.4 時間と長かったが, 10–30 日齢 (2.97–6.66 mm) では 1.7–2.1 時間とほぼ一定の値を示した。

アルテミア摂餌数 クエおよびマハタ仔稚魚の全長 (L , mm) とアルテミアの摂餌数 (Ar , 個体/仔稚魚) の関係を Fig. 6 に示した。アルテミアの全長と摂餌数の関係は, クエでは $Ar=0.108L^{3.480}$ ($r^2=0.80$, $n=68$, $p<0.001$) で, マハタでは $Ar=0.275L^{3.235}$ ($r^2=0.86$, $n=72$, $p<0.001$) の関係式で表された。

成長段階別のワムシおよびアルテミアの摂餌量と摂餌率 クエおよびマハタの成長段階別の日間摂餌数に基づいて推定した日間摂餌量および日間摂餌率を Fig. 7 に示した。平均全長 3.20–21.50 mm のクエ仔稚魚の日間摂餌量は 0.12–111.91 mg で, 日間摂餌率は 41.2–148.3% であった。一方, 平均全長 2.69–22.21 mm のマハタ仔稚魚の日間摂餌量は 0.02–154.82 mg で, 日間摂餌率は 15.7–194.3% であった。クエ, マハタ共に 5 日齢のワムシ摂餌時および L 型ワムシからアルテミアに餌料生物が切り替わった時の日間摂餌率が他の日齢と比較して低くなる傾向が認められた。餌料別の日間摂餌率をみると, ワムシについては, クエでは 5 日齢 (3.20 mm) の S 型ワムシ摂餌時 (51.6%) 以外は S 型, L 型に関わらず 100% 前後 (89.8–119.6%) で推移した。一方, マハタでは 5 日齢 (2.69 mm) の SS 型ワムシ摂餌時は低く 15.7% で, 10 日齢 (2.97 mm) と 15 日齢 (3.74 mm) の S 型ワムシ摂餌時は 80% 程度 (82.8, 83.4%) を示した。また, 20–30 日齢 (4.83–6.66 mm) の L 型ワムシ摂餌時の摂餌率は 20 日齢で最も高く 194.3% に達し, 以降は成長に伴い 133.7% まで減少した。アルテミアの日間摂餌率については, クエ, マハタともに給餌当初は 40% 程度であったが, クエでは 40 日齢 (16.33 mm) で 148.3% まで増加し, マハタでは 50 日齢 (16.67 mm) で 136.3% まで増加したが, その後は, それぞれ減少に転じた。

Fig. 3 Diel changes in mean number of rotifers in the gut of longtooth grouper larvae at different days after hatching (DAH). Vertical bars show the standard deviations.

考 察

ワムシ摂餌の日周期性 本研究ではクエおよびマハタの産卵盛期である5-6月頃の自然日周に準じて、05:30に照明の点灯を開始し、19:30には消灯して、14時間の明期と10時間の暗期を設定した。この日周条件下においては、クエ、マハタ共に消化管内のワムシ数の経時的変化に日周期性が認められ、消化管内のワムシ数は両種とも照明点灯前の調査では確認されず、また照明消灯後に減少に転じた (Figs. 3, 4)。クエ、マハタ仔魚が明期に摂餌を行うことは、照屋ら^{13,14)}の報告では10日齢(4.01 mm)までは確認されているが、本研究ではそれ以降の日齢でも調査し、クエ仔魚では25日齢(6.11 mm)まで、マハタ仔魚では30日齢(6.66 mm)まではそのような摂餌の日周期性があることがわかった。摂餌

のピークは、クエでは25日齢(7.45 mm)を除いてはほぼ18:00前後に最大となることが確認された (Fig. 3)。なお、本研究では飼育水中のワムシ密度を10-15個体/mLになるよう管理し、1日に2度、06:00と13:30に追加給餌したが、この給餌時刻と両種仔魚の摂餌ピークには特に関連性は認められなかった。照屋ら¹⁴⁾によれば、自然日長下における3-10日齢(3.04-4.01 mm)のクエ仔魚では、ワムシ摂餌数は摂餌開始から時間の経過と共に増加し、3-4日齢では15:00-17:00頃にピークが認められ、6-10日齢では明瞭なピークは認められないものの13:00-17:00頃にかけて増加し、その後19:00-21:00には急減したと報告されている。本研究とは摂餌のピーク時間に若干のずれがあるものの、摂餌の開始から夕刻にかけて増加する傾向は同じである。一方、3-10日齢のクエ仔魚のトリプシン活性は、摂餌開始後

Fig. 4 Diel changes in mean number of rotifers in the gut of sevenband grouper larvae at different days after hatching (DAH). Vertical bars show the standard deviations.

Fig. 5 Reduction coefficient (circles), egestion rate (bars) and egestion time (diamonds) of larvae of longtooth grouper (open characters) and sevenband grouper (solid characters) at different days after hatching.

の経過時間に伴い指数関数的に増加して19:00頃にピークを迎え、その後21時には急激に低下し、翌朝まで低く推移することが報告されている。¹⁴⁾ これらのことから、自然日長に近い日周条件下においてクエ仔魚は摂餌開始の3日齢から20日齢頃(3.06–6.11 mm)までは日出の明期開始とともに摂餌を開始し、夕刻にかけて摂餌量が増加するとともに最も摂餌活性も高まり、日没後の暗期には摂餌しない日周性を示すものと推察される。一方、25日齢(7.45 mm)のクエ仔魚の摂餌では、09:00と17:00の2回、不明瞭ながら摂餌のピークが確認された(Fig. 3)。萱野¹⁶⁾はキジハタ仔魚の摂餌のピークは6日齢から日出後と夕刻の2回認められ、その傾向は24日齢以降により顕著になることを報告している。さらに162日齢(全長11.4 cm, 体重23 g)から246日齢(体サイズ不明)のクエ稚魚では明期での摂餌

Fig. 6 Relationships between total length and feeding numbers of *Artemia* nauplii in larvae and juveniles of longtooth grouper and sevenband grouper. Longtooth grouper $Ar = 0.108L^{3.480}$ ($r^2 = 0.80$, $n = 68$, $p < 0.001$), sevenband grouper $Ar = 0.275L^{3.235}$ ($r^2 = 0.86$, $n = 72$, $p < 0.001$).

Fig. 7 Daily feeding amount (circles) and daily feeding rate (bars) of larvae and juveniles of longtooth grouper (open characters) and sevenband grouper (solid characters) at different days after hatching.

行動が維持されているが、その後の 274–336 日齢（体サイズ不明）では暗期での摂餌行動に変化することが報告されている。²⁴⁾ これらのことより、クエの摂餌行動は仔魚期から稚魚期には明期を通じて摂餌を行い、摂餌パターンは、20 日齢（6.11 mm）以前には夕方不明瞭ながら摂餌のピークを持つ一峰型であるが、その後はキジハタと同様に朝夕に 2 回不明瞭ながら摂餌のピークを持つ二峰型を示し、その後 300 日齢前後まで成長すると摂餌生態が変化して暗期での摂餌行動に移行するものと推察される。

一方、マハタ仔魚の消化管内のワムシ数は、照明点灯後から指数関数的に増加し、07:00–10:00 の間にピークを迎えると、その後は消灯時刻の 19:30 まではほぼ

一定量で推移し、消灯後は減少に転じる台形型を示した（Fig. 4）。摂餌開始からピークまでの時間は日齢によって若干の相違が認められたが、ワムシ給餌期間を通じて同様な摂餌パターン傾向が示され、クエ仔魚の 20 日齢（6.11 mm）以降で示された二峰型への変化は認められなかった（Fig. 4）。しかし、マハタ稚魚を用いた自発摂餌システムでの摂餌の日周リズムでは²⁵⁾ クエ稚魚と同様に朝、夕のいわゆる「まずめ時」に摂餌のピークがあることが報告されていることから、マハタの摂餌パターンも仔魚から稚魚期にかけて成長と共に二峰型へと変化する可能性もある。

本研究の結果、クエでは 20 日齢（6.11 mm）まで、マハタでは 30 日齢（6.66 mm）までのワムシ給餌期間中は、摂餌の日周性は不明瞭ながら摂餌のピークを持つ一峰型または摂餌のピークを持たない台形型を示した。キジハタでは、萱野¹⁶⁾は、24 日齢（11.27 mm）以降の顕著な二峰型への変化は仔稚魚の消化管の発達とともに、「食い貯め」が可能になったためであると推察している。Kato *et al.*²⁶⁾ は、クエの消化器官の発達について調査をしており、16 日齢の preflexion 期では、咽頭歯や食道の粘液細胞が分化するとともに、腸管の形成が終了し、さらに 25 日齢（12.31 mm）を稚魚への移行期とし、胃腺や幽門垂の形成が始まる時期であると報告している。このことから、クエ仔魚については、20 日齢前後において、消化器官が劇的に発達する時期であると考えられ、消化器官の発達に伴い、20 日齢以降、摂餌生態が一峰型から二峰型へと変化するものと推測される。今回の試験では、仔魚の消化管や消化能力に関して、調査を行っていないことから、今後はマハタも含めて、仔稚魚の摂餌生態の変化と消化管および消化能力の関係について詳細に調べる必要があるが、少なくとも上述のワムシ給餌期間中の両種の仔魚については、昼間は常に摂餌する必要があるものと考えられる。従って、この期間中の仔魚に対しては、常に一定以上の餌料密度を維持し、いつでも仔魚が摂餌できる餌料環境を整えることが重要であると考えられる。両種の種苗生産においては、ヒラメのいわゆる「ほっとけ飼育」^{27,28)} と同様に、ワムシ給餌期間中は止水または換水率を抑えた低換水方式で飼育を行う事例がある。²⁹⁾ 日中に常に摂餌を行う必要がある両種の仔魚期においては、飼育水中の餌料密度を一定以上に維持するために、換水を抑制した飼育方法は、両種の仔魚の摂餌生態に適しており、有効な飼育手法であるものと考えられる。

ワムシおよびアルテミアの日間摂餌率 キジハタのワムシとアルテミアに対する日間摂餌率は、山本¹⁵⁾が行った試験では、平均全長 3.9 mm と 9.9 mm の仔魚でそれぞれ 30.1% と 28.2%、萱野¹⁶⁾が行った試験では、同 2.76–15.35 mm の仔稚魚で 28.3–153.1% と推定されて

いる。また、他の海産魚の日間摂餌率については、平均全長 3.92–16.97 mm のマダイ（ワムシ、ティグリオプス *Tigriopus japonicus*）で 39.8–70.3%¹⁷⁾ 17–45 日齢のヒラメ（ワムシ、アルテミア）で 40.4–192.5%¹⁸⁾ 平均全長 4.9–11.4 mm のクロダイ（ワムシ）で 79–167%¹⁹⁾ 同 5.36–18.09 mm のトラフグ（ワムシ、アルテミア）で 57–89%²⁰⁾ 同 3.93–6.9 mm のイシダイ（ワムシ）で 48–116%²¹⁾ と推定されている。今回の試験で推定されたクエおよびマハタの日間摂餌率は、キジハタおよび他の海産魚種と同程度の値であったが、マハタの 5 日齢（2.69 mm）の仔魚では、日間摂餌率が 15.7% と低い値を示した。マハタ種苗生産においては、飼育初期の 10 日齢頃まで 24 時間連続照明で飼育することで摂餌可能時間が長くなり、自然日長条件よりも仔魚の成長、生残が改善されることが知られており¹³⁾ 現在、マハタの種苗生産関係機関では一般的に 24 時間連続照明で初期飼育が行われている。今回の研究では、自然日長条件下での日間摂餌率について検討したが、24 時間連続照明の様なさらに長日条件下で飼育試験を行った場合には低日齢のマハタ仔魚の摂餌可能時間は延長され、日間摂餌量および日間摂餌率は今回の値よりも高い値になるものと考えられる。

仔稚魚の日間摂餌率は成長に伴い変化することが様々な魚種で報告されている。例えば、キジハタの日間摂餌率は成長と共に増加する。¹⁶⁾ ヒラメのワムシに対する日間摂餌率は成長（17–24 日齢）と共に増加するが、¹⁸⁾ アルテミアを餌とした場合成長（18–45 日齢）に伴い減少し、¹⁸⁾ この成長に伴う日間摂餌率の減少はクロダイ仔稚魚でも認められている。¹⁹⁾ また、マダイやトラフグの仔稚魚の日間摂餌率は成長に伴う大きな増減を見せず、それぞれ 50% 程度（ワムシ、36.6–70.3%；ティグリオプス、47.3–62.5%）と 70% 程度（ワムシとアルテミア、57–89%）となっている。^{17,20)} 本研究のクエ、マハタの成長に伴う日間摂餌率の推移をみると、ワムシ給餌期はクエでは 5 日齢（3.20 mm）の 51.6% を除いて、ほぼ 100% 前後（89.8–119.6%）で推移し、大きな増減は認められなかった。一方、マハタでは、5 日齢（2.69 mm）の SS 型ワムシ摂餌時は低く 15.7%、10 日齢（2.97 mm）と 15 日齢（3.74 mm）の S 型ワムシ摂餌時は 80% 程度（82.8, 83.4%）、20–30 日齢（4.83–6.66 mm）の L 型ワムシ摂餌時は 20 日齢で最も高く 194.3% で、以降は成長に伴い 133.7% まで減少し、餌料の種類や成長と共に増減の仕方が変化した。また、アルテミアを餌料とした場合はクエ、マハタとも成長に伴い日間摂餌率は一度増加した後、クエでは 40 日齢（16.33 mm）から、マハタでは 50 日齢（16.67 mm）から減少に転じた。このような経時的な日間摂餌量の変化は餌料の消化時間や栄養価¹⁸⁾ 仔稚魚の発育に伴う消化管の発達³⁰⁾ や消化酵素

活性の増大³¹⁾ など、様々な要因が影響するものと考えられている。

本研究では、クエおよびマハタの成長に伴うワムシおよびアルテミアの日間摂餌量を推定した。これにより、両種の種苗生産において、適正な給餌量を予測することが可能となり、給餌管理の改善につながることを期待できる。クエおよびマハタの種苗生産においては、照屋ら²⁾ が指摘しているように、飼育初期の飼育水中のワムシ密度が仔魚の摂餌状況や生残および成長にとって特に重要であり、初回摂餌時には仔魚の飽食量以上のワムシ給餌により高密度を維持する必要があるが、本研究で得られた仔魚の日間摂餌量からワムシの減少数を推定し、必要となるワムシの追加給餌量を予測することにより、計画的な餌料培養に貢献できると考えられる。今後、クエとマハタの種苗生産過程における給餌管理手法を確立するには、今回検討しなかった配合飼料を給餌した場合の仔稚魚の摂餌生態を明らかにする必要がある。

謝 辞

親魚養成と採卵にご尽力いただいた舩水産総合研究センター増養殖研究所上浦庁舎の職員各位に厚くお礼申し上げます。本研究を行う上で有益な助言をいただいた、増養殖研究所養殖生産システム部の松成宏之氏に深謝する。また、とりまとめに際し、有益な助言を頂いた舩水産総合研究センター西海区水産研究所亜熱帯研究センターの小磯雅彦氏に感謝の意を表する。

文 献

- 1) 瀬能 宏. ハタ科. 日本産魚類検索—全種の同定 第2版 (中坊徹次編), 東海大学出版会, 東京. 2000; 690–731.
- 2) 照屋和久, 與世田兼三. 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 2006; **54**: 187–194.
- 3) 土橋靖史, 栗山 功, 黒宮香美, 柏木正章, 吉岡 基. マハタの種苗生産過程における仔魚の活力とその生残に及ぼす水温, 照明およびフィードオイルの影響. 水産増殖 2003; **51**: 49–54.
- 4) 萱野泰久, 何 玉環. キジハタ仔魚の初期摂餌と成長. 水産増殖 1997; **45**: 213–218.
- 5) Yoseda K, Dan S, Sugaya T, Yokogi K, Tanaka M, Tawada S. Effects of temperature and delayed initial feeding on the growth of Malabar grouper (*Epinephelus malabaricus*) larvae. *Aquaculture* 2006; **256**: 192–200.
- 6) 與世田兼三, 照屋和久, 菅谷琢磨, 関谷幸夫. 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 2006; **72**: 702–709.
- 7) 川辺勝俊. アカハタ仔魚の初期餌料としてのいわゆる S 型ワムシの有効性. 水産増殖 1999; **47**: 403–408.
- 8) 升間主計, 竹内宏行. スジアラ仔魚の 3 タイプのワムシに対する摂餌選択性. 栽培漁業技術開発研究 2001; **28**: 69–72.
- 9) 與世田兼三, 浅見公雄, 福本麻衣子, 高井良幸, 黒川優子, 川合真一郎. 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 2003; **15**: 101-108.
- 10) 田中由香里, 阪倉良孝, 中田 久, 萩原篤志, 安元進. 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 2005; **71**: 911-916.
- 11) Yoseda K, Yamamoto K, Asami K, Chimura M, Hashimoto K, Kosaka S. Influence of light intensity on feeding, growth, and early survival of leopard coral grouper (*Plectropomus leopardus*) larvae under mass-scale rearing conditions. *Aquaculture* 2008; **279**: 55-62.
- 12) 與世田兼三, 團 重樹, 藤井あや, 黒川優子, 川合真一郎. 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 2003; **51**: 179-188.
- 13) 照屋和久, 與世田兼三, 岡 雅一, 西岡豊弘, 中野昌次, 菅谷琢磨, 浜崎活幸. 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 2008; **74**: 645-652.
- 14) 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 光一郎, 菅谷琢磨, 浜崎活幸. 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 2008; **74**: 1009-1016.
- 15) 山本章造. キジハタ仔魚の摂餌日周性の検討ならびに日間摂餌量の推定. 日本水産学会誌 2008; **62**: 399-405.
- 16) 萱野泰久. 飼育条件下におけるキジハタ仔稚魚期の摂餌生態と成長の変化. 水産技術 2009; **2**: 31-38.
- 17) 北島 力, 福所邦彦, 岩本 浩, 山本博敬. マダイ稚仔のシオミズツボワムシ摂餌量. 長崎県水産試験場研究報告 1976; **2**: 105-112.
- 18) 安永義暢. ヒラメ稚仔の摂餌生態と成長. 東海区水産研究所研究報告 1971; **68**: 31-43.
- 19) 岡内正典, 尾城 隆, 北村章二, 辻ヶ堂 諦, 福所邦彦. クロダイ仔稚魚の日間ワムシ摂餌量. 養殖研究所研究報告 1980; **1**: 39-45.
- 20) 北島 力, 林田豪介. トラフグ仔稚魚のワムシおよびアルテミア幼生日間摂餌量. 長崎県水産試験場研究報告 1984; **10**: 41-48.
- 21) 福所邦彦. イシダイの種苗生産に関する基礎的研究. 長崎県水産試験場論文集 1977; **6**: 173.
- 22) Elliott J. M, Persson L. The estimation of daily rates of food consumption for fish. *J. Anim. Ecol.* 1978; **47**: 977-991.
- 23) 山下 洋. エネルギー収支. 「水産学シリーズ 83. 魚類の初期発育」(田中 克編), 恒星社厚生閣, 東京. 1991; 71-85.
- 24) 島 隆夫. ハタ類の自発摂餌行動. 「水産学シリーズ 128. 魚類の自発摂餌—その基礎と応用」(田畑満生編), 恒星社厚生閣, 東京. 2001; 35-42.
- 25) 栗山 功, 宮本敦史, 田中真二, 土橋靖史. 自発摂餌システムを用いたマハタ養殖の試み. 三重県水産研究所研究報告 2011; **20**: 9-22.
- 26) Kato K, Ishimaru K, Sawada Y, Mutsuro J, Miyashita S, Murata O, Kumai H. Ontogeny of digestive and immune system organs of larval and juvenile kelp grouper *Epinephelus bruneus* reared in the laboratory. *Fish. Sci.* 2004; **70**: 1061-1069.
- 27) 高橋庸一. ヒラメ種苗生産における生物餌料の軽減と飼育作業の簡素化. 水産増殖 1990; **38**: 23-33.
- 28) 高橋庸一. ヒラメの種苗生産マニュアル—「ほっとけ飼育」による飼育手法 (栽培漁業シリーズ No. 4), (社)日本栽培漁業協会, 東京. 1998.
- 29) 森 広一郎, 岩崎隆志. クエの防疫対策と効率的種苗生産にむけて. 豊かな海 2013; **30**: 15-17.
- 30) 田中 克. 消化器官. 「水産学シリーズ 8. 稚魚の摂餌と発育」(日本水産学会編), 恒星社厚生閣, 東京. 1975; 7-23.
- 31) 川合真一郎. 消化酵素. 「水産学シリーズ 8. 稚魚の摂餌と発育」(日本水産学会編), 恒星社厚生閣, 東京. 1975; 30-40.