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

與世田兼三,^{1a*} 照屋和久,^{2b} 菅谷琢磨,^{2b} 関谷幸生^{3c}

(2005年9月2日受付, 2006年2月9日受理)

¹鯛水産総合研究センター八重山栽培漁業センター, ²鯛水産総合研究センター上浦栽培漁業センター,
³鯛水産総合研究センター玉野栽培漁業センター

Effects of delayed initial feeding on larval feeding, early survival,
and growth of red spotted grouper *Epinephelus akaara* larvae

KENZO YOSEDA,¹ KAZUHISA TERUYA,² TAKUMA SUGAYA² AND SACHIO SEKIYA³

¹Yaeyama Station, National Center for Stock Enhancement, Fisheries Research Agency, Ishigaki, Okinawa 907-0451, ²Kamiura Station, National Center for Stock Enhancement, Fisheries Research Agency, Kamiura, Oita 879-2602, ³Tamano Station, National Center for Stock Enhancement, Fisheries Research Agency, Tamano, Okayama 706-0002, Japan

This study investigated the effects of delayed initial feeding on the growth, feeding, and survival of early stage red spotted grouper *Epinephelus akaara* larvae in relation to the absorption of endogenous reserves at 26°C. Five different feeding regimes were prepared as follows: No. 1: rotifers fed initially at 0 hours after the onset of feeding (HAOF), No. 2: rotifers fed initially from 6 HAOF, No. 3: rotifers fed initially from 12 HAOF, No. 4: rotifers fed initially from 18 HAOF, and No. 5: starved control. The larvae were fed rotifers (a small Thai strain) at a density of 20 ind./mL except for No. 5. Feeding amounts and survival showed a tendency to be lower when the onset of feeding was delayed. Larval growth showed significant differences between No. 1 and No. 2-4 at 66 HAOF ($p < 0.05$ or 0.01). In contrast, starved larvae (No. 5) showed negative growth from 12 to 66 HAOF. The beginning of the negative growth point coincided with the time of complete oil globule absorption. These results indicate that larval growth was closely related with endogenous reserves, and larvae possess a very short period during which they are resistant to food deprivation. We conclude that their growth and survival are affected if they fail to initially feed within 6 HAOF at 26°C.

キーワード：キジハタ, 初回摂餌, 水温, 生残, 成長, 摂餌開始, 内部栄養

キジハタ *Epinephelus akaara* はハタ科マハタ属に属し、本属の中では全長 60 cm 程度の小型種に類別される。本種は青森県以南から朝鮮半島南部, 中国, 台湾, インド, および太平洋に分布する。¹⁻³⁾ 関西方面ではアコウと称され美味であることから刺身や鍋物の食材として古くから珍重されてきた重要な沿岸漁業資源の一つであるが、近年その漁獲量が激減している。⁴⁾ 本種は美味

で市場での経済価値が高いために、古くから増養殖に関する研究が行われており、これまでに産卵と卵発生および鰭条の発達,⁵⁻¹¹⁾ 種苗生産,¹²⁻¹⁵⁾ および資源添加¹⁶⁻¹⁹⁾ 等に関する報告がある。

福永ら¹²⁾は鯛日本栽培漁業協会玉野事業場 {現; 鯛水産総合研究センター玉野栽培漁業センター} で1989年に4回の生産で平均全長約30 mmの種苗を合計40.3

* Tel : 81-980-88-2136. Fax : 81-980-88-2138. Email : kenzoy@fra.affrc.go.jp

^a 現所属：鯛水産総合研究センター西海区水産研究所石垣支所 (Ishigaki Tropical Station, Seikai National Fisheries Research Institute, Fisheries Research Agency, Okinawa 907-0451, Japan)

^b 鯛水産総合研究センター養殖研究所 (National Research Institute of Aquaculture, Fisheries Research Agency, Oita 879-2602, Japan)

^c 鯛水産総合研究センター北海道区水産研究所 (Hokkaido National Fisheries Research Institute, Fisheries Research Agency, Hokkaido 088-1108, Japan)

万尾（平均生残率 34.1%）生産することに成功した。しかし、それ以降は 20 万尾以上の量産化に成功した機関はなく、その種苗生産技術は低迷してきた。本種は開口時（3 日齢）から 10 日齢前後の間に生じる大きな初期減耗、とりわけ開口前後に生じる仔魚の浮上死亡が量産化を阻む問題とされてきた。^{15,20)} また、萱野、何¹⁴⁾は摂餌に成功しなければ不可逆的な死に至る時期、いわゆる Point of no return (PNR) を解明できなかったものの、開口後の極めて早い時期に PNR が存在すると推察している。一方、Kohn²¹⁾はマハタ属 2 種とマハタ属以外の海産 4 魚種を比較することによってハタ類の初期飼育が困難なのは摂餌に関わる内部骨格の発達が遅く、かつ内部栄養が貧弱で初期の摂餌率が低いことに由来すると結論付けている。また、與世田らは^{22,23)}はスジアラ属のスジアラは 3 日齢の摂餌量と 5 日齢の生残率との間には有意な相関があり、初回摂餌が初期生残と密接に関連していると指摘している。

ハタ類のように初期減耗が大きい魚種では摂餌開始からの回復可能な絶食耐性時間を調べることは、その減耗時期を特定する上で極めて重要である。

そこで、本研究ではキジハタ仔魚の回復可能な絶食耐性時間を把握するため、水温 26℃ の温度条件下で初回摂餌の時間を任意に遅らせてキジハタ仔魚の摂餌、成長、および生残に及ぼす影響を調べたので、ここにその結果を報告する。

材料および方法

親魚と採卵 実験に用いた受精卵は、いずれも海水産総合研究センター玉野栽培漁業センターで養成した親魚から自然産卵で得られたものを供した。キジハタ仔魚の内部栄養の吸収過程を調べた受精卵は 2002 年 7 月 30 日に、また、初回摂餌試験を調べたものは 2003 年 8 月 4 日に得られたものである。後者で得られた卵の平均卵径と標準偏差は $763 \pm 19.3 \mu\text{m}$ ($n=50$)、受精率は 37.3% であった。2003 年における玉野栽培漁業センターでのキジハタの平均受精率は 19.5% となっており、²⁴⁾飼育条件下では受精率が低いのが本種の特徴である。親魚の養成は玉野栽培漁業センターで 50 kL 水槽 1 面を用いて行い、雌雄の内訳は雌 30 尾（体重 0.3~0.7 kg）と雄 10 尾（体重 0.5~0.9 kg）であった。自然産卵で得られた卵は、産卵翌朝に回収し、受精卵と未受精卵（沈卵）に分け、前者の試験では 0.5 kL ポリエチレン水槽 1 面へ 20,000 粒/kL の密度で収容した。後者の試験では、分離した受精卵は二重のビニール袋へ海水とともに 10,000 粒/L の密度で収容して純酸素を封入し、20 L 容量の発泡スチロール箱（実水量 10 L）に梱包して海水産総合研究センター上浦栽培漁業センターまで約 8 時間かけて輸送した。搬入した受精卵は疾病予防の目的で、

0.3 ppm のオキシダント海水中で 1 分間消毒後、500 L アルテミアふ化水槽に収容してふ化を待ち、その水槽で 2 日齢まで流水（水温 23℃、塩分 34 ppt、流量 2.5 L/分）で管理した。2 日齢に、500 L アルテミアふ化水槽で管理していた仔魚を各試験水槽へ全数計数によって 2,500 尾ずつ収容した。

1. 水温 26℃ 条件下のキジハタ仔魚の内部栄養吸収と発育過程

試験区の設定 本試験は水温 26℃ における仔魚の内部栄養吸収と発育過程を調べるために実施した。試験は 50% の個体がふ化した時点から開始し、油球を完全に吸収した時点で試験終了とした。なお、開口時間は 50% の仔魚が開口した時間と定義し、ふ化後の時間を HAH と略記した。なお、本試験での試験開始後の経過時間についてはふ化後 (HAH) を基準として論じる。

仔魚の飼育方法 試験は玉野栽培漁業センターで 2002 年 7 月 30 日~8 月 3 日に実施した。試験水槽の上部に蛍光灯 1 基 (36 W) を設置し、24 時間の恒明条件とした。恒明条件にした理由は光刺激に由来する仔魚の浮上死亡を回避させるためである。¹⁵⁾ 通気量は微量に調整し、試験期間中は止水飼育とした。水温は 0.5-kW のヒーターとサーモスタットを用いて調温し、試験開始時の 23.2℃ から 1 日 1℃ の割合で徐々に加温を行い、設定水温の 26℃ には仔魚の開口 100% 時に到達し、試験期間中の水温は $25.2 \pm 0.9^\circ\text{C}$ であった。キジハタ仔魚を安静状態に保ち、飼育水中のワムシの飢餓を防止する目的で、卵収容時から試験終了時まで、DHA と EPA を生体濃縮した淡水クロレラ（スーパー生クロレラ V12、クロレラ工業）を細胞濃度が 10 万 cells/mL となるように 1 日 2 回（9, 16 時）添加した。S 型ワムシ *Brachionus rotundiformis* タイ株（以下、ワムシ）はスーパー生クロレラ（クロレラ工業、1.5 L/ワムシ 10 億個体）で 6~22 時間の栄養強化後に 2 日齢の 17 時に試験水槽へ 20 個体/mL の基準で与えた。3 日齢から試験終了までは 10 時と 15 時の 1 日 2 回飼育水中のワムシ密度を計数後に基準量の不足分を適宜追加した。

試料の採取と測定方法 ふ化から試験終了まで 4 時間間隔で試料の採取と測定を行った。各観察時間に採取された各試験区の 20 尾の仔魚は、m-アミノ安息香酸エチルメタンスルホネート（関東化学）で麻酔後にスライドグラスに移し、万能投影機（ニコン V-12）で 50 倍に拡大し、デジタルノギス（ミットヨ）を用いて全長、卵黄長径、卵黄短径、および油球径を 0.1 mm 単位まで測定した。卵黄と油球の体積は Blaxter and Hempel²⁵⁾ に準じ、前者は楕円体として $V = \pi/6 LH^2$ （L は卵黄の長径、H は卵黄の短径）、後者は真円体として $V = 4/3\pi r^3$ （r は油球の半径）の計算式で算出した。

2. 初回摂餌試験

試験区の設定 本試験に入る前に摂餌開始の時間を調べるため、試験区とは別に観察専用の水槽（0.5 kL ポリエチレン水槽）を設け、開口時（3 日齢の 0 時）にワムシを 20 個体/mL の基準で与え、給餌後は 1~2 時間間隔でその水槽から約 50 尾程度の仔魚を採取し、ワムシの摂餌状況を調べた。その結果、3 日齢の 17 時（摂餌開始 0 時間；0 HAOF）に仔魚の摂餌率（仔魚が摂餌した総数を供試個体で割った値）が 50% 以上に到達したため、その時間を摂餌開始の時間と定義し、本試験を開始した。摂餌開始の時間に上述した給餌基準でワムシを与える試験区を対照区（1 区）とし、1 区から 6 時間後にワムシを与える区（2 区）、12 時間後にワムシを与える区（3 区）、および 18 時間後にワムシを与える区（4 区）を設けた。一方、給餌区に対するネガティブコントロールとして無給餌区（5 区）の合計 5 試験区を設定した。6 日齢の 11 時（66 HAOF）に 5 区の試験区では全滅に近い状態であったため、その時点で試験終了とした。2 日齢の収容尾数を試験開始の生残尾数とし、また、6 日齢の全数計数によって算出した仔魚数を試験終了時の生残尾数とした。本試験での試験開始後の経過時間については摂餌開始後（HAOF）を基準として論じる。

仔魚の飼育方法 本試験は上浦栽培漁業センターで 2003 年 8 月 6 日~8 月 10 日に室内の 0.5 kL ポリエチレン水槽 10 面を用いて実施し、各試験区は 2 区ずつ設けた。各試験区の水槽上面には遮光率 99% の寒冷紗を設置した。水槽中央部に蛍光灯 2 基（36 W×2）を設置し、水槽表面で約 2,000 lx 程度の照度が維持できるようにした。これらの蛍光灯を用い、試験開始から試験終了時まで 24 時間の恒明条件とした。各試験区の水面 0 cm の平均水中照度は 1,600~1,800 lx、水面下 30 cm では 710~1,000 lx で推移した。試験開始時から試験終了時までの通気量は 0.25 L/分とし、試験期間中は止水飼育とした。各試験区の溶存酸素は 5.91~6.72 mg/L で推移した。水温は 0.5-kW のヒーターとサーモスタットを用いて調温し、試験開始時（2 日齢）の 24.4°C から 6 時間に 0.5°C の割合で徐々に加温を行い、設定水温の 26°C には 3 日齢の 7 時に到達した。3 日齢から試験終了までは 26°C を維持し、各試験区の平均水温は 24.4~26.7°C の範囲で推移した。淡水クロレラ（スーパー生クロレラ V12, クロレラ工業）の添加方法、ワムシの給餌基準、およびワムシの栄養強化方法は上述した水温試験に準じた。

試料の採取と測定方法 試験開始時から試験終了まで 6 時間間隔で試料の採取と測定を行った。各観察時間に採取された各試験区の 20 尾の仔魚の測定方法は上述した水温試験に準じた。全長を測定した仔魚は、消化管中

のワムシを計数するため、スライドガラスで押しつぶした後、生物顕微鏡下でワムシの咀嚼器のみを計数して仔魚のワムシ摂餌数を求めた。本研究における平均摂餌率は仔魚が摂餌した総数を供試個体で割った値、平均摂餌数は、 $\sum x_i / N$ (x_i は i 番目の個体の摂餌数、 N は観察した仔魚数) で示した。

統計処理 各試験区間の平均全長と仔魚 1 尾当たりの摂餌数の差は、一元配置の分散分析で有意差が認められた場合に限り、多重比較検定（Scheffe 法）を用いて有意差の検定を行った。有意水準は 5% とし、有意差が認められた値についてのみは 1% で再度検定を行った。また、各区の生残率については、Steel-Dwass 法で有意差を調べ、有意水準は 5% とした。1~4 区の各観察時間のワムシ摂餌率の全体平均とワムシ摂餌数の全体平均との相関はスピアマンの順位相関で調べ、有意水準は 1% とした。

Fig. 1 A: Yolk absorption in newly hatched larva of red spotted grouper *E. akaara* at 26°C. Closed and open arrows indicate the onset of mouth opening and feeding, respectively. B: Oil globule absorption in newly hatched larva of red spotted grouper *E. akaara*. C: Growth in total length of red spotted grouper *E. akaara* larvae from hatching to the end of the experiment.

Table 1 Some selected aspects examined on early stage of *E. akaara* at 26°C

Total length (mm)			Volume of yolk sac ($\times 10^{-4}$ mm ³)			Volume of oil globule ($\times 10^{-4}$ mm ³)			Time (h) from hatching to				Time (h) from onset of feeding to
Hatching	Mouth opening	Onset of feeding	Hatching	Mouth opening	Onset of feeding	Hatching	Mouth opening	Onset of feeding	Mouth opening	Onset of feeding	Exhaustion of endogenous nutrition	Exhaustion of endogenous nutrition	Exhaustion of endogenous nutrition
1.58 $\pm$ 0.03	2.27 $\pm$ 0.05	2.30 $\pm$ 0.04	1144.8 $\pm$ 168.4	21.2 $\pm$ 4.3	15.4 $\pm$ 4.1	26.5 $\pm$ 3.5	2.4 $\pm$ 0.3	1.0 $\pm$ 0.5	56	71	92	21

Fig. 2 Changes in feeding incidence of red spotted grouper *E. akaara* larvae fed rotifers between No. 1 and No. 4. Negative control of No. 5 is starved.

結 果

1. 水温 26°C 条件下のキジハタ仔魚の内部栄養吸収と発育過程

ふ化時の仔魚 ($n=20$) の全長 (平均 $\pm$ 標準偏差) は 1.58 ± 0.03 mm, 卵黄と油球体積は $1,144.8 \pm 168$ mm³ と $26 \pm 4 \times 10^{-4}$ mm³ であった。卵黄が油球よりも早く吸収され, 前者はふ化 25 時間後にふ化時に比べて約 75% が, ふ化 44 時間後には同様に 5% 以下まで, さらにふ化 76 時間後で完全に吸収された (Fig. 1A)。一方, 後者はふ化 40 時間後にふ化時に比べて 75% が, ふ化 68 時間後には同様に 5% 以下まで, さらにふ化 92 時間後で完全に吸収された (Fig. 1B)。仔魚の開口は, ふ化 56 時間後, また, 摂餌開始はふ化 71 時間後に観察され, さらに摂餌開始から油球を完全に吸収するまでの時間は 21 時間であった (Table 1)。仔魚の全長はふ化からふ化 12 時間後までは時間当たり 0.01~0.03 mm の成長率を示したが, それ以降から試験終了までは 0.00~0.01 mm と緩やかな成長率を示した (Fig. 1C)。

2. 初回摂餌試験

キジハタ仔魚のワムシ摂餌率の推移 5 区を除く給餌開始 6 時間後の各試験区の平均摂餌率を調べたところ, 1 区は 50%, 2 区は 5%, 3 区は 25%, および 4 区は 45% となった (Fig. 2)。1~4 区の各観察時間のワムシ摂餌率の全体平均と後述するワムシ摂餌数の全体平均との相関を調べたところ, 両者の間には有意な相関 ($p <$

Fig. 3 Diurnal changes in average number of rotifers in the gut of red spotted grouper *E. akaara* larvae between No. 1 and No. 4. Negative control of No. 5 is starved. Closed arrow and bars indicate the initial feeding time and standard deviation, respectively.

0.01) が認められ, ワムシ摂餌率はワムシ平均摂餌数と連動して変動していた。

Table 2 Effects of delayed initial feeding on survival and growth of red spotted grouper *E. akaara* larvae at the end of experiment

Exp. No.	Delay of initial feeding (Hours)	Number of larvae		Survival rate (%)	Mean total length $\pm$ SD (mm)	
		Initial 2DAH	Final at 69 HAOF		Initial at 0 HAOF	Final at 69 HAOF
1-1	0	2,500	687	27.5		
1-2		2,500	329	13.2	(<i>n</i> = 20)	(<i>n</i> = 60)
Mean				20.3	2.38 ± 0.06^a	2.67 ± 0.17^a
2-2	6	2,500	221	8.8		
2-2		2,500	94	3.8	(<i>n</i> = 20)	(<i>n</i> = 60)
Mean				6.3	2.39 ± 0.05^a	2.55 ± 0.12^b
3-1	12	2,500	185	7.4		
3-2		2,500	210	8.4	(<i>n</i> = 20)	(<i>n</i> = 60)
Mean				7.9	2.39 ± 0.07^a	2.59 ± 0.13^b
4-1	18	2,500	77	3.1		
4-2		2,500	53	2.1	(<i>n</i> = 20)	(<i>n</i> = 53)
Mean				2.6	2.36 ± 0.05^a	2.52 ± 0.14^b
5-1	—*	2,500	0	0.0		
5-2		2,500	3	0.1	(<i>n</i> = 20)	
Mean				0.1	2.35 ± 0.08^a	—

DAH and HAOF are expressed as days after hatching and hours after onset of feeding, respectively.

Mean values in the same column with different superscript are significantly different ($p < 0.05$ or 0.01).

* No food

仔魚 1 尾当たりのワムシ平均摂餌数の比較 各試験区間における仔魚 1 尾当たりの平均摂餌数の違いを見るために、有意差の検定を行った。その結果、摂餌開始 30 時間後では 1 区が 4 区に比べて有意に多く ($p < 0.05$)、同 36 時間後では 1 区が 3 区と 4 区に比べて有意に多く摂餌していた ($p < 0.01$)。さらに、摂餌開始 48 時間後では 1 区が 2~4 区よりも有意に ($p < 0.01$)、同 54 時間後では、2 区が 3 区よりも有意に ($p < 0.01$)、2 区が 4 区よりも有意に ($p < 0.05$) 多く摂餌していた。このように、仔魚 1 尾当たりのワムシ平均摂餌数は、1 区が 2 区~4 区に比べて有意に多く摂餌する傾向があった (Fig. 3)。

試験期間中における仔魚 1 尾当たりの平均摂餌数の多寡は各試験区間で上述したように有意差が認められたが、そのピークはいずれも 23 時に観察され、また、摂餌の日内変動は各試験区間で同様なパターンを示した。

成長と生残 試験開始時と試験終了時の各試験区間における平均全長の有意差の検定を行ったところ、前者では各試験区間で有意差は認められなかった ($p > 0.05$)。しかし、後者では、1 区が 2 区よりも有意に ($p < 0.01$) に、また、1 区が 3 区よりも有意に ($p < 0.05$)、さらに 1 区が 4 区よりも有意に大きかった ($p < 0.01$, Table 2)。一方、無給餌とした 5 区の成長は摂餌開始 12 時間後 (12 HAOF) を境として試験終了まで負の成長を示し、試験区の中で最も劣った (Fig. 4)。

試験終了時 (66 HAOF) の平均生残率は、1 区が 20.3%、2 区は 6.3%、3 区は 7.9%、および 4 区は 2.6

Fig. 4 Growth of red spotted grouper *E. akaara* larvae under different feeding conditions. Symbols and bars indicate the mean values of the total length and standard deviation, respectively. Different letters represent significant difference among No. 1-4. (one-way ANOVA, Scheffe's test, $a > b$).

% となった。これに対して、無給餌とした 5 区では 0.1 % となり、各試験区間で有意差は認められなかったものの、初回摂餌の時間が遅れることによって生残率が低下する傾向が認められた (Table 2)。

考 察

キジハタ仔魚の内部栄養は卵黄が油球よりも速やかに吸収される傾向があり、前者はふ化 44 時間後にふ化時

に比べて5%以下まで、さらに、ふ化76時間後で完全に吸収された (Fig. 1A)。後者はふ化68時間後には同様に5%以下まで、さらにふ化92時間後で完全に吸収された (Fig. 1B)。仔魚の開口は、ふ化56時間後に、また、摂餌開始はふ化71時間後に観察された (Table 1)。摂餌開始時における仔魚の卵黄と油球は、前者がふ化時に比べて体積で1.3%、後者は同様に3.8%と僅かながらも残存していた。ふ化から内部栄養を吸収するまでの成長を見ると、卵黄と油球の残存割合がそれぞれ50.8%と72.9%となったふ化12時間後までは時間当たり0.01~0.03 mmの成長率を示したが、それ以降から試験終了までは0.00~0.01 mmと緩やかな成長率を示した (Fig. 1C)。

ここで、これまでに調べられたハタ類4種とキジハタ仔魚の内部栄養吸収過程を比較してみたい (Table 3)。ふ化時のサイズは *E. fuscoguttatus*²¹⁾ が最も小さく、ついでキジハタとなっているが、卵黄と油球の体積は本種が一番小さい。しかし、ふ化から内部栄養を完全に吸収するまでの時間は *E. fuscoguttatus*²¹⁾ と同様にキジハタが92時間と長いのが特徴である。これに対して、スジアラ属のスジアラはふ化時のサイズが3番目に小さく、卵黄と油球の体積は2番目に大きいものの、²⁶⁾ ふ化から内部栄養を完全に吸収するまでの時間は64時間とハタ類5種の中では最も短い。また、摂餌開始から内部栄養を完全に吸収するまでの時間はキジハタが21時間で、残りのマハタ属3種では20~28時間と大差ないが、スジアラのみは僅か4時間であった。與世田ら²⁶⁾はスジアラのように外部栄養に切り替わる前に開口時点で既に内部栄養を完全に吸収する特徴を持つ魚種は飼育条件下では初期生残の見地から不利であると論じている。Yamashita and Aoyama²⁷⁾は初回摂餌の時間を任意に遅らせて仔魚がある一定の飢餓条件後に発育できるかどうかを調べ、飢餓に耐えうる時間を回復可能な絶食耐性時間と定義し、イカナゴでは卵黄の吸収時期は生残に対して危機的なものではないと結論付けている。

そこで、筆者らはキジハタ仔魚の回復可能な絶食耐性時間を調べたところ、給餌群の1~4区では全ての試験区で試験開始時よりも大きくなっていたが、試験終了時の平均全長は1区が2区よりも有意に ($p < 0.01$) に、また、1区が3区よりも有意に ($p < 0.05$)、さらに1区が4区よりも有意に大きかった ($p < 0.01$, Table 2)。また、試験終了時の平均生残率も1区が20.3%、2区は6.3%、3区は7.9%、および4区は2.6%となり、初回摂餌の時間が遅れることによって成長の停滞と生残率の低下が顕著であった (Table 2)。今回の試験で給餌群間の平均生残率は統計的な有意差が認められていない。これは2日齢時に全数計数によって試験水槽へ収容した

Table 3 Comparison of some selected aspects examined of early stage larvae of five reared groupers

Species	WT (°C)	Total length (mm)			Volume of yolk sac ($\times 10^{-4}$ mm ³)			Volume of oil globule ($\times 10^{-4}$ mm ³)			Time (h) from hatching to		Time (h) from onset of feeding to exhaustion of endogenous nutrition	
		Hatching	Mouth opening	Onset of feeding	Hatching	Mouth opening	Onset of feeding	Hatching	Mouth opening	Onset of feeding	Mouth opening	Onset of feeding		
<i>E. akara</i> ¹	26	1.58 ± 0.03	2.27 ± 0.05	2.30 ± 0.04	1145 ± 168	21 ± 4	15 ± 4	26 ± 4	2 ± 0.3	1 ± 0.5	56	71	92	21
<i>E. malabaricus</i> ²	26	1.84 ± 0.10	2.83 ± 0.10	2.77 ± 0.14	2996 ± 833	31 ± 9	26 ± 17	45 ± 8	6 ± 2	2 ± 2	56	68	86	20
<i>E. coioides</i> ³	26.5–28.8	1.69	—	—	1354	13	5	34	5	2	—	70	98	28
<i>E. fuscoguttatus</i> ⁴	26.0–29.5	1.34	—	—	1687	7	3	36	1	0.4	—	69	94	25
<i>P. leoparatus</i> ⁵	26	1.64 ± 0.10	2.65 ± 0.12	2.59 ± 0.13	2078 ± 256	9 ± 3	—	40 ± 4	1 ± 1	—	56	60	64	4

¹, Present study

², Yoseda *et al.*⁽²⁸⁾

³, Kohno⁽²¹⁾

⁴, Kohno⁽²¹⁾

⁵, Yoseda *et al.*⁽²⁶⁾

際のハンドリングの影響による仔魚の減耗があったものと推察された。各測定時間の給餌群の平均摂餌率と仔魚1尾当たりのワムシ平均摂餌数との間には有意な相関が認められ ($p < 0.01$), また, 給餌群の各試験区の摂餌のピークは初回摂餌の時間が異なっているもほぼ一致していたのは注目に値する (Fig. 2, 3)。このような摂餌の日内変動は, ヤイトハタ²⁸⁾でも観察されており, キジハタでもかなり初期の段階から摂餌リズムを有することが推察された。一方, ネガティブコントロールとして飢餓条件とした5区の成長は摂餌開始12時間後を境として試験終了まで負の成長を示した (Fig. 4, Table 2)。この負の成長へ転じた時間 (12 HAOF) はふ化後89時間に相当し, 上述した水温試験の結果に基づくと, 内部栄養 (油球) を完全に吸収した時間 (92 HAH) にほぼ一致していた。また, 3区では5区で負の成長へと転じた摂餌開始12時間後に初回給餌を行っているにも拘わらず, 1区に比べると成長が有意に劣り ($p < 0.05$), かつ, 生残も半分以下まで低下していた。この現象は, キジハタの他にヤイトハタ²⁸⁾とスジアラ²⁶⁾でも観察されており, この時間が上述したハタ類3種の回復可能な絶食耐性時間の転換期であると考えられる。今回の時間設定では摂餌開始6時間後から成長に有意差が生じていることから, もう少し早い段階に本種の回復可能な絶食耐性時間が存在する可能性は否定できず, 今後の試験結果を待ちたい。

これまでに冷水性魚類の回復可能な絶食耐性時間については, 大西洋ニシン *Clupea harengus*,²⁵⁾ plaice *Pleuronectes platessa*,²⁹⁾ grunion *Leuresthes tenuis*,³⁰⁾ イカナゴ *Ammodytes personatus*²⁷⁾ などで調べられており, いずれも回復可能な耐性時間がふ化後5日以上あり, 飢餓に対して強い魚種であることが報告されている。一方, 暖水性の魚種の中でサワラ *Scomberomorus niphonius* 仔魚³¹⁾ は, 4~6日齢までに初回摂餌を行うと90%以上が生残するが, それが1日齢遅れると生残率が20%まで急激に低下する。Houde³²⁾ は lined sole *Achirus lineatus*, bay anchovy *Anchoa mitchilli*, および sea bream *Archosargus rhomboidalis* の3魚種を試験に供し, これらの critical period はふ化後2.5~3.5日にあると推察しており, いずれもふ化数日間後に大きな減耗が生じるのが特徴である。上述した魚種に比べて, キジハタはスジアラ²⁶⁾と同様に摂餌開始から僅か6時間の間に初回摂餌に成功しないと初回摂餌後の成長遅滞や生残率の低下が顕著であり, 飢餓に対する耐性が極めて弱い魚種と位置づけることができる。換言すれば, この時期に如何に効率良く摂餌できるような飼育環境を整えるかがハタ類飼育の最も重要な飼育のポイントである。飼育環境を整える上で飼育水温の設定は重要な要因であり, 本試験で用いた26℃の水温はふ化率が高く, また

仔魚の奇形率が低いとされ,⁶⁾ さらに, 過去に福永ら¹²⁾ が40万尾の量産に初めて成功した飼育水温である。近年は摂餌開始 (3日齢)~5日齢までの摂餌に拘わる水中照度, 通気方法, およびワムシの餌料密度などを改善することによって, 開口後の摂餌量が増加し, 最終的に取り揚げ時の生産量と生残率が向上している。^{33,34)} これは與世田ら^{22,23)} がスジアラで指摘したように, 初回摂餌の重要性を裏付けている。

本研究により, キジハタ仔魚の初期減耗は摂餌開始から僅か6時間の間に何らかの摂餌不良によって生じている可能性が高いことが明らかになった。従って, 本種仔魚の初期減耗を回避するには, 深夜に開口する場合も想定して, 夜間の電照を行い, 速やかにかつ適正な量の餌料を摂餌できるような飼育条件を構築することが最も重要である。

謝 辞

本研究を行うにあたり, 独立行政法人水産総合研究センター上浦栽培漁業センターの岡 雅一場長, 並びに職員諸氏に協力をいただき, 厚くお礼申し上げます。また, 京都大学フィールド科学教育研究センター長 田中 克博士には有益なご助言をいただき, 衷心より御礼申し上げます。

文 献

- 1) 片山正夫. ハタ科. 「日本産魚類大図鑑解説」(益田 一・荒賀忠一・上野輝彌・吉野哲夫編) 東海大学出版会, 東京. 1984; 126-127.
- 2) 瀬能 宏. ハタ科. 「日本産魚類検索 全種の同定 第二版」(中坊徹次編) 東海大学出版会, 東京. 1993; 690-717.
- 3) 益田 一, 小林安雅. 「日本産魚類生態大図鑑」東海大学出版会, 東京. 1994; 109-114.
- 4) 中国四国農政局統計情報部. 平成11年岡山県漁業の動き, 岡山農林統計協会, 岡山. 2001; 47.
- 5) 鶴川正雄, 樋口正毅, 水戸 敏. キジハタの産卵習性と初期生活史. 魚類学雑誌 1996; 13: 156-161.
- 6) 萱野泰久, 尾田 正. キジハタ卵の発生に及ぼす水温の影響. 水産増殖 1991; 39: 309-313.
- 7) 萱野泰久, 水戸 敏. キジハタの卵発生及びふ化仔魚の生残に及ぼす塩分の影響. 栽培技研 1993; 22: 35-38.
- 8) 萱野泰久. キジハタ養成親魚の産卵量の経年変化. 栽培技研 1996; 25: 47-52.
- 9) 萱野泰久, 何 玉環, 原 隆, 福永丈人. 年齢組成の異なるキジハタ親魚群の自然産出卵の卵質. 水産増殖 1998; 46: 213-218.
- 10) Okumura S, Okamoto K, Oomori R, Nakazono A. Spawning behavior and artificial fertilization in captive reared spotted grouper, *Epinephelus akaara*. *Aquaculture* 2002; 206: 165-173.
- 11) Kusaka A, Yamaoka K, Yamada T, Abe M, Kinoshita I. Early development of dorsal and pelvic fins and their supports in hatchery-reared red-spotted grouper, *Epinephelus akaara* (Perciformes: Serranidae). *Ichthyological Research* 2001; 48: 355-360.

- 12) 福永恭平, 野上欣也, 吉田儀弘, 浜崎活幸, 丸山敬吾. 日本栽培魚漁業協会・玉野事業場における最近のキジハタ種苗生産量の増大と問題点について. 栽培技研 1990; **19**: 33-40.
- 13) 萱野泰久, 丁 達相, 尾田 正, 中川平介. キジハタ稚魚に対する至適給餌頻度. 水産増殖 1990; **38**: 319-326.
- 14) 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.
- 15) Yamaoka K, Nanbu T, Miyagawa M, Isshiki T, Kusaka A. Water surface tension-related deaths in prelarval red-spotted grouper. *Aquaculture* 2000; **189**: 165-176.
- 16) 萱野泰久, 林 浩志, 田中丈裕, 片山敬一. 瀬戸内海白石島海洋牧場に生息する魚類の生活様式とキジハタ放流魚の生態. 栽培技研 1998; **27**: 27-34.
- 17) 萱野泰久. 人工漁礁域に蟄集するキジハタの食性. 水産増殖 2001; **49**: 15-21.
- 18) 奥村重信, 津村誠一, 丸山敬吾. 水槽実験によるキジハタ幼魚保護礁の素材評価. 日水誌 2002; **68**: 186-191.
- 19) 奥村重信, 津村誠一, 丸山敬吾. 野外放流実験による二種類のキジハタ幼魚保護実験礁の比較. 日水誌 2003; **69**: 57-64.
- 20) Okumura S. Seed production of grouper in Japan. The proceedings of the Second International Seminar on Fisheries Science in a Tropical Area, 1997; 97-102.
- 21) Kohno H. Early life history features influencing larval survival of cultivated tropical finfish. In: De Silva, S. S. (eds) *Tropical Mariculture*. Academic Press, London. 1998; 72-110.
- 22) 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; **51**: 101-108.
- 23) 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.
- 24) 津村誠一. 7 玉野事業場 1. 地域型底層性魚類の成熟・産卵促進技術の開発 (キジハタ). 平成 15 年度日本栽培漁業協会事業年報, 日本栽培漁業協会, 東京. 2003; 80-81.
- 25) Blaxter JHS, Hempel G. The influence of egg size on herring larvae (*Clupea harengus* L.). *J. Cons. Int. Explor. Mer* 1963; **28**: 211-240.
- 26) 與世田兼三, 照屋和久, 山本和久, 浅見公雄. 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 2006; **54**: 43-50.
- 27) Yamashita Y, Aoyama T. Starvation resistance of larvae of the Japanese sand eel *Ammodytes personatus*. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1986; **52**: 635-639.
- 28) 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.
- 29) Wyatt T. Some effects of food density on the growth and behavior of plaice larvae. *Mar. Biol.* 1972; **14**: 210-216.
- 30) May RC. Effects of delayed initial feeding on larvae of the grunion, *Leuresthes tenuis*. *Fish. Bull.* 1971; **69**: 411-425.
- 31) Shoji J, Aoyama M, Fujimoto H, Iwamoto, Tanaka M. Susceptibility to starvation by piscivorous Japanese Spanish mackerel *Scomberomorus niphonius* (Scombridae) larvae at first feeding. *Fish. Sci.* 2002; **68**: 59-64.
- 32) Houde ED. Effects of temperature and delayed feeding on growth and survival of larvae of three species of subtropical marine fishes. *Mar. Biol.* 1974; **26**: 271-285.
- 33) 津村誠一. 7 玉野事業場 3. 地域型底層性魚類の種苗生産技術の開発 (キジハタ). 平成 15 年度日本栽培漁業協会事業年報, 日本栽培漁業協会, 東京. 2003; 80-81.
- 34) 津村誠一, 高野世嗣, 小畑泰弘, 與世田兼三. II. 健全な種苗の飼育技術の開発. キジハタの初期飼育における貝化石の添加効果. 栽培漁業センター技報第 1 号, 独立行政法人水産総合研究センター, 東京. 2004; 45-48.