

## 2021年のヤイトハタ親魚養成と採卵および変性卵塊の摘出 (栽培漁業センター生産事業)

山内 岬\*, 照屋秀之, 立津政吉

ヤイトハタの人工種苗生産に必要な親魚の安定的確保と受精卵の供給を行うため、海面小割生簀及び陸上大型水槽を用いた親魚養成と採卵および正常な放卵を阻害する変性卵塊(堀田ほか, 2003; 木村ほか, 2009)の摘出を行う。また、全長 100mm 以上の大型種苗の配付要望に対応するため、生産時期を早期に実施する必要があることから、飼育環境の人為的制御による自発的な水槽内産卵とホルモン剤投与による排卵誘導および人工授精を行う。

### 材料及び方法

#### (1) 養成方法と産卵確認・卵塊摘出

親魚の養成は、2020年に引き続き、栽培漁業センター地先に設置された海面小割生簀(ポリエチレン製網:縦5m×横5m×丈5m・容量125kL)3面および屋内RC水槽(八角形:幅9.4m×高3.1m・容量200kL)2面を用いて行った。給餌は週2回の頻度で冷凍鮮魚(ムロアジ・ミズン・メアジ・マイワシ・グルクマ等)を中心に飽食量を目安として与え、栄養強化剤の投与は実施しなかった。なお、親魚養成にあたってこれまで慣例的に用いてきたサイズ別の群名称は、親魚の成長や群組成の変更に伴って実際のサイズ差が反映されなくなったことから、成熟サイズに達した親魚群について便宜的にアルファベット順の群名称に変更した。

生簀養成群は、3~4ヵ月毎の網替え作業により通水性を確保しつつ、体表に寄生するハダムシ類の寄生強度に応じて、駆虫が必要な場合は淡水浸漬(原田 1965)を適宜実施した。

周年にわたり陸上養成を行なったA群(旧大群)は、砂ろ過後の表層海水(以下、ろ過海水)による掛流飼育(換水率:0.6~1.0回転/日)または生物ろ過槽(容量20kL)を用いた半閉鎖循環飼育(換水率:0.1~0.2回転/日・ろ過循環率:2.1回転/日)による水質管理を行った。掛流

飼育中は、必要に応じて銅イオン発生装置(吊り下げ型・和光技研社製)による海水殺菌処理(使用電極:無酸素銅板 C1020・銅濃度目標値:30~80 $\mu$ g/L)を実施し、循環飼育中は、銅による有害作用を懸念して無殺菌とした。

2021年1月18日に生簀養成網から屋内RC水槽へ陸揚したB群(旧小群)は、前年同様に掛流飼育による管理を行ない、銅イオン発生装置による海水殺菌処理を適宜実施した。なお、本種の産卵は月齢に同調して行われることから(金城ほか, 1997)、各月の下弦から新月(以下、産卵周期)にかけては、銅イオン発生装置を撤去し、飼育水中への銅の溶出を停止した。

屋内水槽における産卵確認は、A群とB群でそれぞれ行い、各槽の水位調整槽内に設置した採卵ネット(ナイロンメッシュ・目合335 $\mu$ m)への集卵状況から産卵の有無を確認した。本種は分離浮性卵を産出する他の多くの真骨魚類と同様に非同期型の多回産卵魚であり、一産卵期に同一個体が繰り返し産卵を行う。採卵トラップには、水面付近に浮上する卵を効率的に採集するため飼育槽の表層水のみを吸水するように設置したサイフォン管(外径38mm・3本)を使用した。産卵が確認された場合は、ろ過海水を注水した200Lアルテミアふ化槽に全卵を収容し、止水無通気環境下で15分間ほど静置した後、浮上または沈下した卵の湿重量をそれぞれ記録した。また、得られた浮上卵のうち正常な胚胎形成が認められた卵について、無作為に選出した30粒の長径をデジタルノギスで測定し、卵径とした。重量1gあたりの単位卵数は、電子天秤で計量した浮上卵0.4~0.6gを50mLのろ過海水に収容し、十分に攪拌しながら採水した計数サンプル25mLに含まれる卵を万能投影機下で計数し、容積法により求めた。

各群の体サイズ測定は、産卵が収束した9~10月に一斉実施し、背部筋肉に埋め込んだPITタグ(Biomark社製)により識別した個体ID別の全長と体重をそれぞれ記録した。また、測定時の腹部触診によって卵巣内に変性卵

\*E-mail: ymuchimi@pref.okinawa.lg.jp, \*現所属: 水産課水産企画班

塊が確認された個体は、堀田ほか(2003)に従い、外科的手法による摘出手術を実施した。なお、切開部の縫合は外科用縫合針を使用して行い、縫合糸として合成吸収系シンセソープ(ポーマル社製)と8号絹糸(富士平工業社製)をそれぞれ卵巣膜と外皮に使用した。

## (2) 人為的操作による水槽内産卵・排卵誘導

### ①環境制御による水槽内産卵誘導

屋内 RC 水槽に収容した A 群について、2021 年 2~4 月採卵を目標とした水温操作を同年 1 月 19 日、人工照明による長日処理を 2 月 2 日から開始し、それぞれ 107 日間と 98 日間にわたって連続操作した。

本種の産卵に関する過去の知見(濱本ほか, 1986; 木村・岸本, 2011)から、排卵とその後の産卵が環境水温の急変により誘起されると仮定し、各月の産卵周期に合わせて人為的な昇温または降温による温度刺激を与えた。水温 24℃以上への昇温操作は、ボイラー温水(設定水温 65℃)を熱媒体とする水槽底面設置のチタンフレキシブルチューブ式熱交換器(幅 250mm×長 2,370mm×高 270mm・外径 25.4mm)を用いて行い、降温操作は一時的な排水操作による水位降下後の注水または換水率の増加により行った。

水槽上部は、気化熱による水面からの放熱や外気の低下による冷却防止を目的に農業用透明ビニル(厚さ 0.1mm)で被覆した。なお、今年度新たに整備したセンター敷地内の地下海水取水井戸設備を活用し、設定水温 24℃未満の昇温または降温操作は、水槽内壁に設置した同熱交換器(幅 25.4mm×長 3,000mm×高 2,050mm 外径 25.4mm)に水温約 24℃の地下海水原水を通水することにより行なった。

長日処理は、保温用ビニルの直上に吊り下げた屋外用投光器(500W 白熱レフ球)計4灯を用いて行った。期間中は、午後 17~21 時にかけて点灯するように自動タイマーを設定し、産卵盛期と考えられる 5~6 月の自然日長と合わせて 14L:10D の明暗周期に調整した。

### ②ホルモン剤投与による排卵誘導と人工授精

2021 年 3 月 8 日に実施した生簀養成群の腹部触診と総排出腔付近の目視による熟度判定において選別した腹部膨満の雌親魚、計 5 尾(体重 10.2~14.8kg)に対し、魚

体重 1kg あたり平均 560IU のヒト絨毛生生殖腺刺激ホルモン(以下、hCG:動物用ゴナトロピン・あすかアニマルヘルス社製)打注による排卵誘導を実施した。また、陸上養成魚のうち、2021 年 3 月 11 日に選別した雌 3 尾(体重 11.0~36.0kg)についても同様に平均 540IU/kg の hCG を打注した。

いずれの個体も打注部位は背部筋肉とし、打注後はろ過海水を注水した屋内 RC 水槽(円形:幅 6.0m×高 2.1m・容量 50kL)へ一時的に収容した。その後、設定水温 25.5℃で加温した流水環境のまま 48~54 時間養生し、腹部圧搾による採卵を試みた。成熟卵の放出が確認された場合総湿重量を記録後、速やかに人工卵巣腔液で洗卵し、同日に陸上養成中の雄親魚から採取した精液を用いて乾導法による人工授精を行った。

浮上卵が得られた場合は、紫外線殺菌海水を掛け流した洗卵槽内で余分な精子や粘液を洗い出し、湿重量を記録後、速やかに屋内 RC 水槽(容量 50, 100kL)へ収容した。ふ化後は、各槽の収容密度に応じてビーカ採水(約 2.5L/槽)または柱状管(採水量:約 15L/槽)による容積法から仔魚の総収容尾数を求め、ふ化率を推定した。

## 結果及び考察

### (1) 群組成と産卵状況および個体管理

親魚養成を行った 5 群計 170 尾の詳細を表 1 と図 1 に示す。A 群については、新たに成熟サイズの雌 1 尾を追加し、産卵実績を有する成熟雄 1 尾と雌 15 尾によるハレム型の群組成を維持した結果、4 月上旬以降、後述する水槽内産卵が確認された。産卵の兆候となる雄親魚の体色変化は、2 月 12 日から観察され、以後、環境制御の人為的操作や月周期に同調して同年 9 月 24 日まで断続的に確認された。

過年度の観察結果から水槽内産卵が未だ確認されていない B 群については、3 月下旬に卵塊摘出後の雌 4 尾を追加し、A 群と同様に雄 1 尾と雌 17 尾の組成で養成したが、雄親魚の体色変化は 4 月 6 日に観察された以外に確認されず、産卵行動は不調であった。収容した雄親魚(ID:2461986)は、前年と同様に産卵期の初期(2021 年 3 月 10 日)に実施した人工採卵時の腹部圧搾により、精液を採取できたことから、成熟した生殖機能を十分に有した状態

表1 親魚養成を実施したヤイトハタの群組成と体サイズ測定結果.

群名	收容先	測定日	收容尾数			体サイズ (平均値)		肥満度	卵塊摘出手術尾数
			成熟雄	推定雄*	雌	全長mm	体重kg		
A群 (旧大群)	200-1	10/13	1	0	15	1,003	25	23	-
B群 (旧小群)	200-2	9/10・10/11	1	1	17	987	23	23	3
C群 (旧天然小群)	生簀網	9/10	1	2	26	919	16	20	3
人工生産大群	生簀網	9/8	1	0	36	847	14	22	-
人工生産小群	生簀網	9/8	0	0	69	711	7	20	-
死亡・処分	-	-	-	-	10	-	-	-	-
合計			4	3	173				6

\*: 生殖突起の有無により判別 (排精未確認)

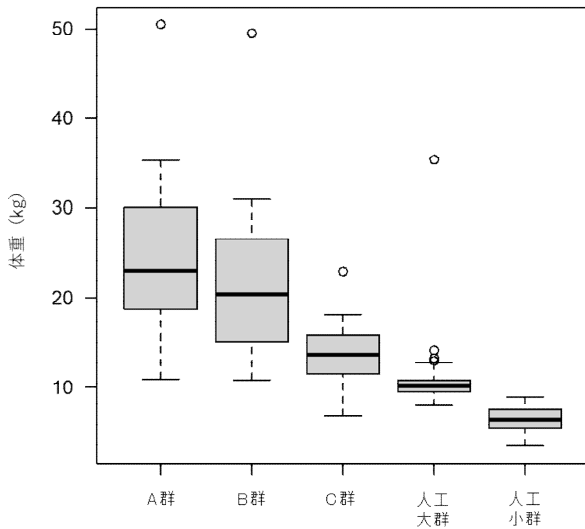


図1 親魚養成を実施したヤイトハタの体重組成. 箱ひげは各群の四分位数, 白点は外れ値を示す.

で産卵期を迎えたものと考えられる.

しかしながら, 本種に特有の体色変化や雌への誘いかけ行動(濱本ほか, 1986)は産卵終期まで一度も活発化することがなく, 同年9月14日に新たに採集した天然個体(推定雄)を收容した後も大きな変化は生じなかった. 過年度に引き続き, 性成熟が雌雄共に確認できていながらも産卵不調となった原因は不明であるが, 10月11日の沖出以降の目視観察では, 3月に複数回にわたって雄親魚の体色変化と活発な雌への誘いかけ行動が確認された.

以上の観察結果は, 陸上水槽で実施する飼育管理作業に由来する何らかの人為的要因が産卵行動の発現を抑制している可能性を示唆するものである. 特に, 病原性の高い繊毛虫の侵入予防のために使用される銅については魚類に対する種々の毒性のほか, 一部の真骨魚類において味蕾や嗅球および側線といった感覚器官に障害を及ぼすことも知られており, その影響は環境水中に溶存する銅の直接作用によって生じるものとされる(山本, 1979). ヤイ

トハタの産卵成功には, 未解明の生理的, 物理的かつ個体の社会性が介在する非常に複雑な要因が段階的に関与していると考えられることから, 魚類の健全性を害する物質の意図的な混入や長期的暴露は, 例え疾病防除を目的としたものであったとしても必要最小限の使用に留めるべきであろう. また, 環境制御の操作面や飼育手法に違いはあるものの, 同規模の水槽設備や群組成で飼育するA群において活発な産卵が継続的に確認されていることから, 同水槽における騒音や光環境といった物理的環境要因の違いは, 産卵行動の発現に大きな影響を与えていないものと考えられる.

生簀養成中のC群(旧天然小群)については, 引き続き, 生殖突起の形状から雄性化が示唆された推定雄2尾と成熟雄1尾を含む, 計29尾で生簀養成を継続した. その後, 11月5日に次期陸上養成群として屋内RC水槽へ收容した.

生簀養成中の人工生産群については, センター施設内の排水池より回収した雌15尾を新たに加え, サイズ別の仕分けを継続しながら, 引き続き, 次期親魚群としての養成を行なった.

今年度は, いずれの群においても自然性転換による雄性化個体は確認されなかったが, 10月11日に本部沖で採捕された天然魚1尾(体重23.9kg)を新たに導入した. 本個体は, 生殖突起の形状や興奮時の体色変化の具合から雄であることが推察されたものの, 搬入時の確認では腹部圧搾による採精はできなかった. 今後, 精液を採取できる状態へ養成することができれば, 人工種苗の遺伝的多様性を確保する上で重要な個体となるであろう.

既に雄性化が認められている各群の雄親魚については前年に引き続き体色変化や形態的特徴(生殖突起)または放精が確認された. 現状では性行動が安定し, 水槽内産

卵に貢献可能な機能的な成熟雄 1 尾(体重 52.1kg)と放精のみを確認した成熟雄 3 尾(31.7~52.5kg)に加え、生殖突起により雄性化が示唆される推定雄 3 尾(19.8~23.9kg)の計 7 尾の雄親魚を保有している(表 1)。既に種苗量産に必要な個体数を十分確保できているが、正常な水槽内産卵の実績を有する個体はまだ少ないため、引き続き、陸上水槽や海面生簀を用いた養成によって、雄親魚の体色変化や求愛および精子形成の有無を確認しながら、産卵状況について観察する必要がある。

### (2) 卵巣内に残留した変性卵塊の摘出

変性卵塊を有する個体は、B および C 群の雌親魚計 6 尾で認められ、2021 年 10~11 月にかけてそれぞれ 1 尾あたり 33~124g の卵塊を摘出した(表 2)。術後の個体は、全て半屋外の RC 水槽(容量 50kL)に収容し、平均水温 21.6°C(範囲:18.8~24.3°C)の掛流飼育下で養生後、38~41 日目に縫合した開腹部の抜糸と治癒状況の確認を行なった。いずれの個体も開腹部に二次的な感染等は生じておらず、縫合部は全て正常に回復しており、摂餌活性も概ね良好であったことから、それぞれ元の親魚群へ再収容した。

### (3) 水槽内産卵誘導

産卵確認を実施した A・B 群の飼育水温と採卵量および月齢(新月)を図 2 に示す。産卵は、水温操作と長日処理による環境制御を実施した A 群でのみ確認され、2021 年 4 月 4 日(水温 24.4°C・旧暦 2 月 23 日・月齢 21.7)が初回であった(図 3)。これは、2016 年以降では最も早期の産卵確認である。また、総採卵量のうち 55.9%が浮上卵または中性浮力の卵(以下、中性卵)で占められ、正常な胚発生率は 84.7~93.2%であったことから、未受精卵しか確認できなかった過年度の初回産卵と比べて質的な向上が

認められた。また、その後の種苗生産において 79.5%のふ化率が確認され、初回給餌後の摂餌個体の割合は、ふ化 70 時間後に 100%に達し、計 35.8 千尾の種苗を取揚できたことから、種苗生産に十分供与可能な優れた卵質の受精卵を得ることができた。

4 月上旬の産卵周期では、計 6 回の産卵が確認され、5 月に量・回数ともに盛期を迎えた後、やや終息する傾向が見られたが、7 月上旬に再度活発な産卵が確認され、9 月まで続いた。過年度に比べて月周期性が改善しつつあり特に雄親魚の体色変化は、下弦から新月にかけて明瞭に同調する傾向が認められた。A 群の産卵がおよそ6ヵ月間にわたって確認されたのは、2016 年以降であり、計 42 回の産卵確認は過去最多の結果であった。総採卵量は、計 40.9kg に達し、そのうち種苗生産に供与可能な浮上卵と中性卵は、17.2kg(約 3,200 万粒)であった。平均卵径は、初期から終期にかけてやや減少し、単位卵数は確認日ごとに大きく変動した(図 3)。昨年に引き続き、過去最多の産卵実績であったことから、採卵用親魚群として健全な飼育環境を構築・維持できたものと考えられる。

一方、採卵した受精卵に占める浮上卵と中性卵の割合は、産卵日によって 4.4~80.5%の範囲で増減しており月別産卵量も 0.07~15.9kg と変動が大きかった。引き続き、沈下卵の割合を減らすための質的な改善が課題であるとともに、大型種苗の生産に有利な 2~4 月の早期採卵においては、さらなる卵量増が種苗の安定供給を図る上で必要不可欠である。

雄親魚の性行動は、飼育水温 24.7°Cから断続的に観察され、初回の体色変化が確認された直後から一部の雌親魚で卵成熟に伴う腹部膨満が認められた。その後、水温 23~25°Cを維持しつつ 11 日間にわたり掛流飼育への切り替えを行い、再度、15 日間の循環飼育の後、再び掛流飼育に切り替えた 3 日後に初回産卵が確認された。この

表2 卵巣内の卵塊摘出手術を行ったヤイトハタ親魚と抜糸時の経過日数および卵塊重量。

個体番号	識別ID	手術日	抜糸日	抜糸までの経過日数	卵塊重量(g)	飼育水温(°C)	採集日(生産年度)	養成年数*	体サイズ測定日	全長(mm)	体重(kg)
1	C0A0774	2021/10/29	2021/12/9	41	115	21.6	ND	-	-	ND	ND
2	96F2078	2021/10/29	2021/12/9	41	89	21.6	2006/10/10	15.0	2021/10/11	988	23.7
3	1BC59B4	2021/10/29	2021/12/9	41	124	21.6	2006/10/26	14.3	2021/2/25	ND	17.2
4	96914FD	2021/11/1	2021/12/9	38	33	21.6	2006/10/10	15.0	2021/10/11	938	18.0
5	96F221C	2021/11/1	2021/12/9	38	42	21.6	2012/-/-	9.0	2021/9/10	946	16.6
6	96B2016	2021/11/1	2021/12/9	38	74	21.6	2012/12/27	8.7	2021/9/10	990	19.9

\*: 採集日から体サイズ測定日までの年数

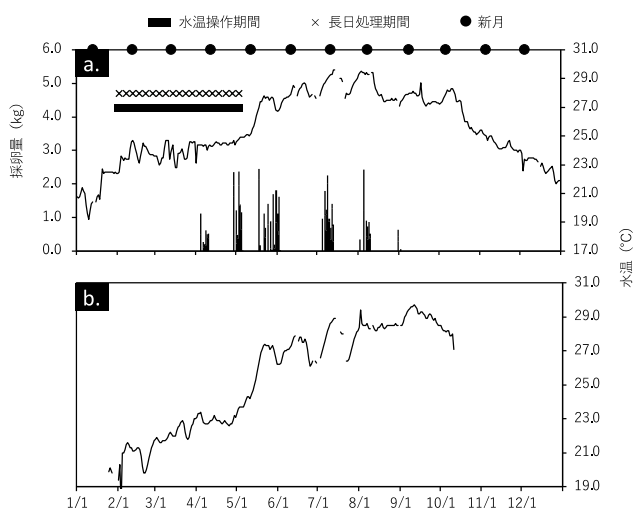


図2 ヤイトハタの採卵量と飼育水温および日長・水温制御期間。  
 a. : ヤイトハタA群 (旧大群: 循環飼育期間2021/1/18-3/5, 3/17-31, 4/15-10/12, 11/2-12/8, 12/28-31・左記以外は掛流飼育管理) b. : ヤイトハタB群 (旧小群: 掛流飼育期間2021/1/18-10/11・左記以外は生簀養成管理)。棒グラフは採卵量を示し、折線は飼育水温を示す。

表3 過去4年間に於けるヤイトハタ親魚の採卵実績。

	2018	2019	2020	2021
最大収容数 (尾)	22	12	12	16
総採卵量 (g)	2,528	4,019	33,137	40,894
浮上卵	6	711	17,652	10,761
中性卵	-	17	0	6,477
沈下卵	2,522	3,291	15,485	23,656
浮上卵卵径 (mm)	-	0.92	0.89	0.86
単位卵数 (粒/g)	-	1,926	1,967	1,875

間、飼育水温の変動幅は 24.0°Cを平均値として概ね±1.0°Cの範囲に収まっており(図 4)、±2.0°Cを超えて操作した過年度に比べて少ない変動幅で産卵を導くことができた。循環飼育から掛流飼育への切り替え時に実施した換水作業に伴う水位降下の際には、排水直後から雄親魚の体色変化や雌への誘いかかけ行動が高い確率で観察されており、飼育方法の切り替えに伴う物理的な環境変化が産卵誘導の刺激として関与した可能性が示唆される。

#### (4) 排卵誘導と人工授精

hCG による排卵誘導の結果、打注した 8 尾中 3 尾から成熟卵の放出が確認された(表 4)。圧搾したほとんどの個体で 48 時間後の採卵量が多い傾向が見られたが、十分な量の hCG を打注したにも関わらず全く腹部が膨満せず、排卵を誘導できない個体が複数確認された。今回実施した打注前の選別では、親魚へ与

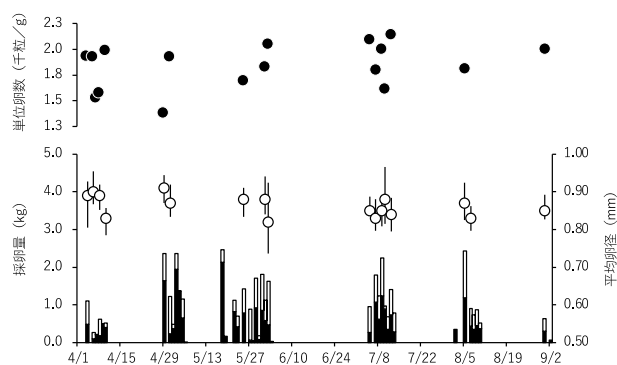


図3 ヤイトハタA群の採卵量と浮上卵の卵径および単位卵数の変化。上段は単位卵数を示し、下段の白点は平均卵径、棒グラフの白色は浮上卵と中性卵、黒色は沈下卵の採卵量をそれぞれ示す(誤差範囲は各卵群の卵径の最大値と最小値)。

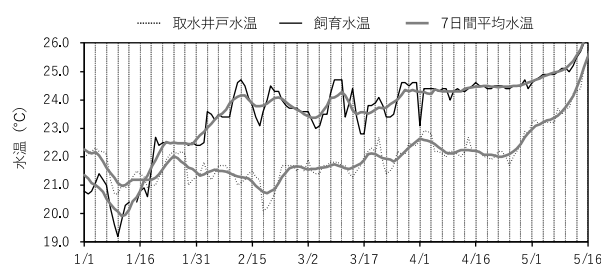


図4 水温操作を実施したヤイトハタA群の取水井戸水温と飼育水温の変化。

えるストレス軽減を目的として卵巣卵の熟度判定を実施せず、腹部触診と目視による判定のみで打注個体を抽出した。結果的に、排卵誘導が不調であったことから、卵が未熟であった可能性が高い。

採卵量は計 3.5kg (浮上卵率: 50.3%) であり、そのうち 1.7kg (約 2,400 万粒) の浮上卵を種苗生産に供した。しかし、その後のふ化率や仔魚の活力は極めて低く、量産につながる結果は得られなかった。また打注後 2~10 日後に採卵に供した親魚のうち、3 尾(体重 11.0~36.0kg) の死亡が確認された。

ヤイトハタを含む大型ハタ類におけるホルモン剤を用いた人工採卵技術は、未だ解決すべき課題が多く残されており、親魚の選別基準だけでなく排卵後の極度に膨満した腹部から効率よくストリッピングを行う方法や採卵後の卵・ふ化管理といった基本的行程にも改善の余地が残されている。

特に、ホルモン打注後の親魚の死亡は、成熟までの養成に長期間を要する本種の育成コストや雄性化個体の予測が困難な現状を勘案すると、安定した生産体制の構築に大きなリスクと時間的な後退を生じさせるも

表4 hCGを用いたヤイトハタの排卵誘導と人工授精による採卵結果.

個体ID	打注日 (個体数)	hCG打注量 (IU/尾)	体重 (kg)	採卵量 (g)				単位卵数 (粒/g)	平均卵径 (mm)	ふ化率 (%)	打注履歴
				1回目 (48時間後)		2回目 (51時間後)					
				浮上卵	沈下卵	浮上卵	沈下卵				
C0A079F		10,000	15.8	0	0	-	-	-	-		
81E0629	2021/3/8 (n=5)	5,000	8.5	0	0	-	-	-	-		
C64C75B		6,500	10.9	0	0	-	-	-	-		
CEC23DD		7,500	13.5	0	0	-	-	-	-		
C66982A		9,000	14.6	0	0	-	-	-	-		
968FBCC		7,500	15.0	0	489	79	90	1,912	0.84	-	初回 (卵塊摘出個体)
2468700	2021/3/11 (n=3)	17,500	36.0	525	755	14	82	2,951	0.84	7.6	2020/3/23
CE9ED0B		7,000	11.0	1,073	178	74	153	979	0.88	4.1-5.0	2020/3/24
合計 (平均値)		(8,750)	(16.7)	1,598	1,422	167	325	(1,947)	(0.85)	-	-

のと言える。死亡した個体を解剖すると、極度に発達した卵巣が腹腔内で他の臓器を圧迫しており、排卵後の卵が卵巣腔内に多く残存したり、出血を伴った卵巣薄板上に成熟期の卵が多量に残存したりするなどの様子が観察される。このような障害は、ストリッピング時の圧搾不良によるもののほか、ホルモン剤使用による最終成熟（吸水）とその後の排卵が人為的な搾出のタイミングと一致していないことによっても生ずると考えられ、体重 20kg 以上の大型個体ほど採卵成功を導くまでの技術的な課題が多く残されている。

養成歴の長い親魚を有効活用する観点からも、人工採卵に供する親魚は体重 20kg 未満のより小型の成熟個体を選別し、搾出するタイミングの見極めや絞り出すための力加減、麻酔処理、圧搾時のハンドリング等、ホルモン剤の種類や投与量の検討など基本的な技術の開発を実施する必要がある。

文献

木村基文, 狩俣洋文, 仲本光男, 呉屋秀夫:2009, 2008 年度のヤイトハタの親魚養成・採卵と種苗生産の餌料培養結果, 沖縄県水産海洋研究センター事業報告書, 平成20年度, 169-173.

木村基文, 岸本和雄:2011, 飼育環境制御によるヤイトハタ産卵開始時期の早期化, 沖縄県水産海洋研究センター事業報告書, 72, 48-52.

金城清昭, 中村博幸, 大嶋洋行, 仲本光男:1997, ヤイトハタの親魚養成と採卵(海産魚類増養殖試験), 沖縄県水産試験場事業報告書, 平成7年度, 135-138.

原田輝雄.:1965, ブリの増殖に関する研究—特にいけす網養殖における餌料と成長との関係—, 近畿大学農学部紀要, No.3, 1-275.

濱本俊策, 眞鍋三郎, 春日公, 野坂克己:1986, ヤイトハタ *Epinephelus salmonoides* (LACÉPÈDE) の水槽内産卵と生活史, 栽培技研, 15(2), 143-155.

堀田卓朗, 今泉均, 河野一利, 山崎哲男:2003, クエ卵巣内に残留した卵塊の摘出と成熟への影響, 栽培技研, 31(1), 1-4.

山本義和:1979, 水生生物と重金属[1]銅編(尾崎久雄監), 株式会社サイエンティスト社, 東京, 207pp.