

地下浸透海水を用いた高密度中間育成による ヤイトハタ養殖用種苗の大型化 (県産魚介類の安定供給に向けた生産性高度化事業)

山内 岬^{*1}, 木村基文^{*2}, 岸本和雄^{*3}, 今道智也^{*3}, 上田美加代^{*3}

Mass production trial for fingerlings of Malabar grouper *Epinephelus malabaricus* in land-based tank at higher stocking densities using under-ground sea water

Misaki YAMAUCHI^{*1}, Motofumi KIMURA^{*2}, Kazuo KISHIMOTO^{*3}
Tomoya IMAMICHI^{*3} and Mikayo UEDA^{*3}

ヤイトハタの大型種苗量産に必要な中間育成技術の向上を目的として、石垣支所で取水される地下海水を用いた夏季高水温期の高密度中間育成試験を実施した。平均全長 51.1~77.9mm の種苗(日齢 61~78)を 6,000, 12,000 および 20,000 尾に分け、容量 40kL の屋根付きコンクリート水槽内に設置したナイロンモジ網(容量 11.4kL)に収容し、地下海水と表層海水を混合した飼育用水による掛け流し飼育を行った。26~41 日間の育成により、平均全長 97.0~129.5mm の大型種苗を 19.6~36.1kg/kL の収容密度で取揚げ、生残率は 85.7~99.1%であった。高密度育成期間中の日間増重率は、ヤイトハタ種苗生産事業で生産された同日齢の中間育成魚と比較して有意に高い値を示し(ANCOVA, $p<0.01$)、地下海水の使用によって生じやすい飼育障害(低酸素症、鰭異常等)はいずれも種苗の健全性に影響を与えないレベルであったことから、養殖用種苗としての健苗性を損なうことなく、従来よりも少ない水槽容積で大型種苗を量産できる可能性が示された。

沖縄県の主要な養殖対象種であるヤイトハタは、本県の周辺海域における資源量が少なく、海外のハタ類養殖にみられるような天然種苗の安定的確保が困難なことから、その養殖用種苗のほぼ全てが沖縄県栽培漁業センター(以下、栽培センター)で実施される種苗生産事業によって供給されている。これまで実施された沖縄県水産海洋技術センター石垣支所(以下、石垣支所)や栽培センターにおける親魚養成および種苗生産技術の開発により、安定した採卵技術と着底期までの種苗量産技術が既に確立されているほか、近年では採卵・種苗生産時期の早期化技術の開発にも成功している(木村ほか, 2015)。

しかしながら、養殖経営体が要望する種苗配付サイズまでの養成を行う中間育成においては、30°Cを超える夏季の高水温を主な原因とする飼育環境の悪化、成長不良、またはウイルス性神経壊死症(以下、VNN)を主とした疾病の発生が問題となっており、健苗性の高い種苗を数十万尾単位で量産できる時期は概ね3~6月に限定される(木村ほか, 2009)。現在配付される種苗は、約7割が全長90mm未満であり配付後間もない時期の歩留りが悪く、石垣島の登野城魚類養殖場では飼育開始6カ月後の生残率が平均42.8%にまで低下することが問題視されている(山内ほか, 2013)。一方、全長100mm以上の大型種苗においては、海面養殖場への沖出

し後に生じる各種疾病に対してより高い抵抗性を示し、特に近年多発する外部寄生虫症の耐過において有利と考えられていることから(山内ほか, 2013)、今後、大型種苗の配付要望数増大が予想されている。このような要望に対応するためには、前述した夏季高水温期の中間育成における飼育管理上の課題を解決し、育成期間の延長に伴う生産コスト増に対する技術的改良策を実用化しなければならない。

岸本・木村(2011a)は、石垣支所に整備した海水井戸から生物飼育に適した水質を有する地下浸透海水(以下、地下海水)を小型低出力のポンプによって取水できること、その年間水温が24°C台で安定した恒温性を有することを報告しており、木村ほか(2011)は地下海水を飼育水として利用することで従来の砂ろ過海水のみを用いた掛け流し飼育では実現できなかった中間育成期の飼育環境改善や、高水温対策が可能であると指摘している。また、ヤイトハタと同型のウイルスを原因とするマハタのVNNでは、高水温などの環境ストレスが副次的な発症要因として関与することが報告されており(Fukuda et al., 1996)、地下海水の注水によって高水温ストレスを低減した飼育管理方法の開発も期待されている。

そこで、本研究では健苗性に優れた大型種苗の低コスト型量産技術の開発を目的として、石垣支所で取水される地下海

*1 E-mail: ymuchimi@pref.okinawa.lg.jp, 石垣支所

*2 沖縄県水産海洋技術センター本所

*3 沖縄県農林水産部水産課

水を用いた夏季高水温期の高密度中間育成試験を実施し、その生産効率と VNN 防除策としての効果について検証した。

材料と方法

供試魚と試験期間

石垣支所で種苗生産した全長 50mm 以上のヤイトハタを供試魚として、2013～2014 年の夏季高水温期に試験を実施した。2013 年は平均全長 77.9mm の種苗（日齢 78）を収容した 6,000 尾収容区と 12,000 尾収容区の 2 区を設け、6 月 25 日から試験を開始し、2014 年は平均全長 51.1mm の種苗（日齢 61）を収容した 20,000 尾収容区のみを設け、6 月 6 日から試験を開始した。供試魚の平均全長が 120mm 以上に達するか、または水質悪化や疾病の発生等により飼育継続が困難になった時点を試験終了時の目安として、可能な限り高い収容密度での中間育成を試みた。

飼育管理条件と水質測定

飼育水槽は、両年ともに屋根付き角形コンクリート水槽（縦 6.0m×横 3.7m×深さ 1.9m、容量 40kL）を使用し槽内に設置したナイロンモジ網（2.8m×2.9m×1.4m、目合 6.25mm、容量 11.4kL）へ供試魚を収容した。飼育水は、石垣支所内の海水井戸（一般さく井井戸、掘削深度 28m）から自給式ヒューガルポンプ（50PSPZ-15033B、SANSO 社製定格消費電力 1.7kW）を用いて浸透取水された地下水（塩分：約 31psu）と、着水槽方式の沖合導水によって川平湾内の水路から直接取水された砂ろ過後の表層海水（約 34psu）を約 1：1 の割合で混合した海水（以下、混合海水）を使用し（図 1）、平均 139～198L/分（換水率 5.0～7.2 回転/日）の注水量で掛け流し飼育を行った。通気は、モジ網固定用の沈子に配管した酸素通気用の分散器（長さ 1m/本、ユニホース社製）計 8 本を用いて水槽内に散気し、やや強曝気となるように通気量を調整した。なお、地下水は溶存酸素量が少ないことから（岸本・木村、2011）、注水口に塩化ビニール樹脂製のパイプ（VP20）を加工したベンチュリー管式インジェクタを取り付け（図 2）、空気吸入による気泡処理を行い、酸素飽和度を 90%以上に改善した上で使用した。モジ網内には、飼育環境ストレスの軽減を目的とし、6,000 尾収容区では容積 0.22m³、12,000 尾収容区と 20,000 尾収容区

では 0.45m³の垂下式シェルター（トリカルネット製）をそれぞれ設置した。水槽底面に堆積した残餌や排泄物の処理は 7 日に 1 回の頻度で実施した自給式ヒューガルポンプ（25PSPZ-2031B、SANSO 社製）による底掃除、または体サイズ測定とともに実施した池換え作業によって行った。各試験区の水質は、台風接近時を除き毎日朝 9 時を目安にポータブル水質計（HM-30P；東亜 DKK 社製、HQ30d；HACH 社製、Cond3110；WTW 社製）を使って水温、pH、溶存酸素量および塩分をそれぞれ測定した。

給餌管理

給餌は、稚魚用 EP 飼料（ノヴァ、日清丸紅飼料社製）またはマダイ育成用 EP 飼料（マーキュリー、日本配合飼料社製）を使用し、台風接近時を除いて毎日 6～18 時の間に自動給餌機（さんし郎 KS-05L、松坂製作所社製）を用いて与えた。給餌機の起動時間は 1 回あたり 15 分間とし、起動回数は 1 日あたり 8～13 回に設定した。給餌機に追加した飼料は毎回 1g 単位で記録し、毎日の目視観察によって試験魚の摂餌活性や水槽底面に堆積した残餌量を確認した後、過不足が生じないように適宜吐出させる給餌量や起動回数を調節した。自動給餌機の設置台数は、6,000 尾収容区で 1 台、12,000 尾収容区と 20,000 尾収容区で 2 台とした。

飼育特性値の算出

体サイズ測定は、試験開始時（2013 年 6 月 25 日、2014 年 6 月 6 日）、14 日後（2013 年 7 月 9 日、2014 年 6 月 20 日）、28 日後（2013 年 7 月 23 日）および試験終了時にあたる 42 日後（2013 年 8 月 5 日）と 26 日後（2014 年 7 月 2 日）に行い、それぞれ無作為に取揚げた各 50 尾の全長と体重を測定した。測定作業は、魚類・甲殻類麻酔剤（FA100、DS ファーマアニマルヘルス社製）を 100ppm に希釈した海水麻酔環境下で行い、形態異常の有無も観察した。測定後は毎回全ての供試魚をタモ網で取揚げ、飼育条件を同一に設定した水槽へ移送した。各測定によって得られたデータをもとに、金城ほか（1999a）に従って日間給餌率、日間増重率および飼料転換効率を算出した。試験開始時の収容尾数と終了時の取揚げ尾数は、コンベア式フィッシュカウンター（大阪 NED マシナリー社製）を用いた自動計数によってそれぞれ

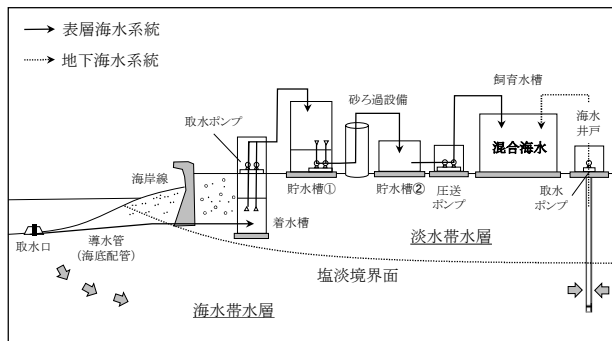


図 1 石垣支所で使用される飼育海水と取水システムの模式図。

表層海水は沖合導水の直接取水によって着水槽から取水ポンプにより、貯水槽①、砂ろ過、貯水槽②を経て、圧送ポンプで各水槽へ供給されるシステムを示し、地下水は掘削深度 28m の一般さく井井戸から取水ポンプのみで供給されるシステムを示す。

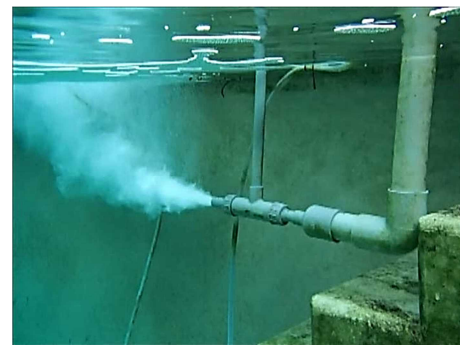


図 2 地下水の注水口に設置したベンチュリー管式インジェクタによる気泡発生状況。取水ポンプからの吐出圧と流速変化を利用して管内部に負圧を生じさせ、吸引した空気と海水を混合し、酸素飽和度を 90%以上に改善することができる。

記録し, 各区の生残率を求めた.

健苗性の評価

高密度育成によって生産した大型種苗の健苗性を評価するため, 各体サイズ測定時に観察された形態異常個体や地下水の原水暴露によって生じやすい鰭異常個体(岸本・木村2011b)の発生率を算出し, 得られた成長特性を砂ろ過海水のみを用いた従来の低密度中間育成における特性値と比較した. 成長特性を示す指標として, 各体サイズ測定時に得られた平均全長と体重および算出した日間増重率を用いることとし, 栽培センターで実施されたヤイトハタ種苗生産事業における中間育成魚の測定結果(木村ほか, 未発表)と比較した. また, 使用した海水の種類と収容密度別に分けた2群(混合海水-高密度育成群, 砂ろ過海水-低密度育成群)から, 各群の日齢と日間増重率の直線回帰を求め, 共分散分析法(ANCOVA)により, 日齢変化による影響を考慮した日間増重率の比較を行った. なお, 比較に用いた栽培センターの中間育成魚は, 水温23.7~29.6°Cの範囲で飼育された2015年1Rと3R種苗であり, いずれも養殖用種苗の出荷によって育成期間中に間引き処理が実施されていない育成群である(付表-1).

結果

飼育環境管理

育成期間中の水質管理作業として, 両年とも計2回の底掃除を行い, 網交換・池換え作業を3回(2013年)または1回(2014年)実施した(表1). 網交換・池換え作業のうち試験開始時に決定した管理スケジュール以外に追加した作業は, 台風接近によって大量の飛散物が水槽内に混入した2013年7月14日の1件のみであった. 両年ともに30°Cを超える飼育水温が記録された日はなく, 同時期に21日間にわたって30°C以上を記録した川平湾内の自然海水温と比べ1.6~2.4°C低い水温であった(図3). 試験期間中の飼育水温と溶存酸素量の平均値は, 12,000尾収容区で28.0±0.7°Cと5.6±0.4mg/L, 低収容区で28.0±0.6°Cと5.9±0.3mg/Lであり, pHはいずれも7.4~7.6の範囲であった(図3).

表1 高密度中間育成試験中に行った主な水質管理作業の内容と実施日.

作業項目/月日 (試験日数)	2013年							2014年				
	6/25	7/2	7/9	7/14	7/23	7/30	8/5	6/6	6/13	6/20	6/27	7/4
網交換・池換え		+	+	+							+	
底掃除			+			+			+			+

生残と成長

2013年は両区ともに試験期間中の大量死や試験魚の不調等は観察されず, 試験終了時の収容尾数は, 6,000尾収容区で5,948尾(生残率99.1%), 12,000尾収容区で11,378尾(94.8%)であった(表2). 両区の平均全長と体重はほぼ同等であり(Welch's t-test, p>0.05), いずれも平均全長120mm以上の大型種苗を取り揚げた. 試験開始時からの日間増重率は, 12,000尾収容区が2.66%, 6,000尾収容区が

表2 高密度中間育成試験の飼育成績.

試験は各区より無作為に取揚げた50尾の測定結果と全成長(1996)に従って算出した各群特性値を示す.

項目/測定日	6,000尾収容区(2013年)							12,000尾収容区(2013年)							20,000尾収容区(2014年)			
	6/25	7/9	7/23	8/5	6/25	7/9	7/23	8/5	6/6	6/20	7/2	7/14	6/6	6/20	7/2	7/14	8/5	
日齢	78	92	106	119	78	92	106	119	61	75	87	99	61	75	87	99		
試験日数	0	14	28	41	0	14	28	41	0	14	26	-	0	14	26	-		
収容尾数	6,000	ND*	ND*	5,948	12,000	ND*	ND*	11,378	20,000	ND*	17,131	14,179	20,000	ND*	17,131	14,179		
生残率(%)	-	-	-	99.1	-	-	-	94.8	-	-	85.7	70.9	-	-	85.7	70.9		
収容密度(kg/L)	4.5	9.0	13.2	19.6	8.9	18.3	27.6	36.1	4.1	14.8	25.3	15.0	4.1	14.8	25.3	15.0		
総重量(kg)	51.3	101.9	150.5	222.9	101.7	208.1	313.2	409.9	47.2	167.9	287.3	341.3	47.2	167.9	287.3	341.3		
形態異常個体発生率(%)	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
鰭膜欠損個体発生率(%) ¹⁾	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
平均全長±SD(mm)	78.4±4.3	99.2±4.9	118.3±7.9	129.7±8.2	77.9±4.3	99.7±4.1	119.4±6.8	129.5±5.4	51.1±6.3	77.0±4.5	97.0±4.9	112.4±5.5	51.1±6.3	77.0±4.5	97.0±4.9	112.4±5.5		
変動係数(%)	5.5	4.9	6.7	6.3	5.5	4.1	5.7	4.2	12.3	5.8	5.0	4.9	12.3	5.8	5.0	4.9		
平均体重±SD(g)	8.5±1.4	17.0±2.6	25.3±4.8	37.5±7.1	8.5±1.3	17.3±2.1	26.7±4.2	36.0±6.0	2.4±0.8	8.9±1.6	16.8±2.6	24.1±4.1	2.4±0.8	8.9±1.6	16.8±2.6	24.1±4.1		
変動係数(%)	16.2	15.4	19.0	19.0	15.4	11.9	15.7	16.6	35.8	17.9	15.5	16.9	35.8	17.9	15.5	16.9		
日間給餌率(%)	4.29	1.96	2.85	2.83	4.29	4.10	2.31	2.31	5.27	3.28	3.12	2.51	5.27	3.28	3.12	2.51		
開始時からの日間給餌率(%)	4.29	2.85	2.81	2.98	4.72	4.10	2.31	2.31	5.27	3.72	3.12	2.51	5.27	3.72	3.12	2.51		
日間増重率(%/day)	4.72	2.81	3.54	3.07	4.72	4.10	2.97	2.66	8.27	5.15	2.98	2.31	8.27	5.15	2.98	2.31		
開始時からの日間増重率(%/day)	4.72	3.54	3.07	3.07	4.72	4.10	2.97	2.66	8.27	5.80	4.32	3.12	8.27	5.80	4.32	3.12		
期間飼料転換効率(%)	110.1	143.4	105.2	115.4	110.1	119.5	132.0	98.6	157.2	157.2	118.8	118.8	157.2	157.2	118.8	118.8		
開始時からの飼料転換効率(%)	110.1	124.1	115.4	115.4	110.1	119.5	124.9	113.6	157.2	157.2	138.6	138.6	157.2	157.2	138.6	138.6		
期間増肉係数	0.91	0.70	0.95	0.87	0.91	0.84	0.76	1.01	0.64	0.64	0.64	0.84	0.64	0.64	0.64	0.84		
開始時からの増肉係数	0.91	0.81	0.87	0.87	0.91	0.84	0.80	0.88	0.64	0.64	0.64	0.84	0.64	0.64	0.64	0.84		

*1 地下水透過水の排水槽によって比る体長異常の初期段階を示す(岸本・木村, 2011b).

*2 未計測のためデータなし.

*3 VAN値は健康の飼育成績(参考データ).

3.07%であった(表2). 一方, 2014年に実施した20,000尾収容区では, 飼育開始直後から共食い行動が頻繁に観察され試験開始14日後までに1,031尾の死亡が確認された. また試験開始25日後から極度の摂餌不良とともに網底への横臥や表層付近の緩慢遊泳個体が観察され, 翌日までに344尾の死亡が確認されたことから, 疾病の発生によるものと判断し26日後に試験を終了した. 終了時の体サイズは平均全長97.0±4.7mm, 取揚げ尾数は17,131尾(85.7%), 試験開始時からの日間増重率は5.80%, 累積死亡尾数および不明魚の合計は2,869尾であった(表2). 観察された異常遊泳魚から魚病検査用サンプルとして6尾を採取し, それぞれ摘出し

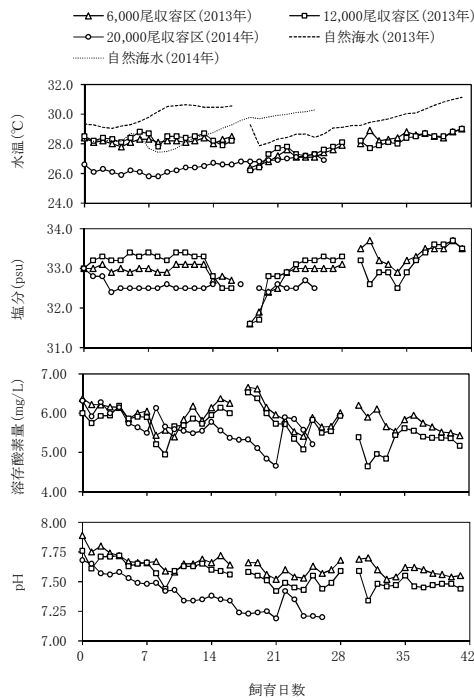


図3 高密度中間育成試験期間中の水質測定結果
 実線は本研究で実施した試験区の各測定値を示し(△:6,000尾収容区, □:12,000尾収容区, ○:20,000尾収容区), 破線は川平湾奥の水深5mに設置したデータロガーによって記録された自然海水の水温変化を示す。

た眼球から RNA を抽出後 (ISOGEN, ニッポンジーン社製) RT-PCR 法による VNN 原因ウイルスの簡易診断を行った結果, 検査を行った全ての個体で陽性反応を示した (仲盛, 私信). VNN の発症が確認された試験区のもの後の病的兆候について観察するため, 試験終了時の体サイズ測定と生残尾数の計数後, ほぼ同等の密度で 2 水槽に分養し, 日間給餌率を 3%以下となるように制限した上で, 引き続き混合海水による掛け流し飼育を行った. 観察期間中の飼育水温は 26.9~28.0°C の範囲で推移し, 注水量は平均 181L/分 (換水率 6.5 回転/日) であった. 発症直後は, 特徴的な浮上転覆と巡回遊泳が収容魚の 1 割程度で毎日発生し, その他の収容魚も大半は網底に横臥した状態であった. 1 日あたり 108~531 尾の斃死が確認され, 斃死が終息した 12 日後までに計 2,952 尾を処分した (表 2).

給餌率と飼料効率

各測定回次における試験開始時からの日間給餌率は, 飼育日数の経過とともに減少し, 2013 年 (日齢 78~119) の 6,000 尾収容区で 4.29~2.66%, 12,000 尾収容区で 4.10~2.66% 2014 年 (日齢 61~87) の 20,000 尾収容区で 5.27~3.72% であった (表 2). 測定期間ごとの飼料転換効率率は, いずれの試験区もほぼ 100%以上の高値で推移し, 試験開始時から終了時までの飼料転換効率率は, 156.0%を記録した 20,000 尾収容区で最も高かった (表 2).

健苗性評価

各体サイズ測定時に観察された形態異常個体の発生率はいずれも 2.0%以下であった (表 2). 地下海水への暴露を原

因として生じたと考えられる鱭異常個体は, 12,000 尾収容区の試験終了時と 20,000 尾収容区の VNN 発症後に観察され, 最大 6.0%に達したものの (表 2), 頭骨周辺の上皮組織の溶解症状は観察されず, 全て鱭膜先端が軽度欠損した個体のみであった.

高密度育成期間中の平均全長と体重は, いずれも栽培センターにおける同日齢の中間育成魚と比較して高い値を示した (図 4). また, 日齢 70~120 における日間増重率 (y) と日齢 (x) 間には両群とも負の相関が認められ, 回帰式は混合海水-高密度育成群で $y = -0.12x + 16.23$ ($R^2 = 0.87$, $p < 0.001$), 砂ろ過海水-低密度育成群で $y = -0.09x + 12.72$ ($R^2 = 0.85$, $p < 0.001$) であった. 両群の回帰式の傾きに差異は認められず, 切片のみが有意に異なったことから, 日間の体重増加量が前者でより高い値を示すことが明らかとなった (図 5; ANCOVA, $p < 0.01$).

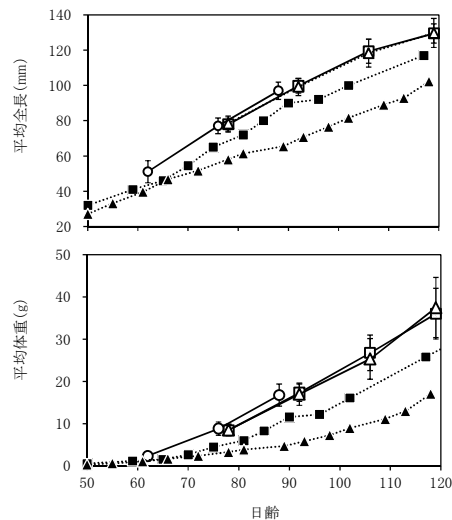


図4 中間育成期におけるヤイトハタ種苗の平均全長と平均体重の変化
 実線は本研究で生産した大型種苗の測定結果を示し(△:6,000尾収容区, □:12,000尾収容区, ○:20,000尾収容区), 破線は栽培魚業センターにおける2015年度ヤイトハタ生産事業の中間育成結果を示す(▲:1R種苗, ■:3R種苗).

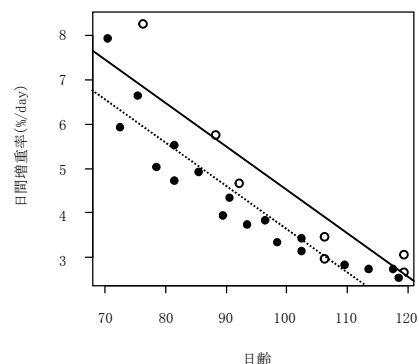


図5 日間増重率と日齢の関係
 ○は本研究の結果(混合海水-高密度育成群:4.1~36.1kg/kL)を示し, ●は比較とした梶苗センターの中間育成結果(自然海水-低密度育成群:収容密度範囲:0.8~8.6kg/kL)を示す。

考察

ヤイトハタでは, 人工種苗の量産に成功した当初より, 収容密度の違いがその後の生残率や成長に影響を及ぼすことが報告され, 砂ろ過海水のみを用いて実施された中間育成試験では, 平均全長 71.1mm の種苗を最大 480 尾 (3.1kg) /

kLの密度で収容し, 113.7mmの大型種苗 474尾 (11.1 kg) /kLを 98.8%の生残率で取り揚げている(金城ほか, 1999b). 本研究における試験終了時の収容密度 (19.6~36.1kg/kL) は, それよりも2~3倍の高密度であり, 通常の種苗生産事業で目安としている収容密度 (5~6kg/kL) の3~6倍に相当する. 今回得られた飼育特性値のうち, 健苗性を示す最も総合的な指標である生残率と成長がともに優れていたことは(表2, 図5), 各試験区の飼育環境条件がヤイトハタの中間育成環境として, 未だ好適な範囲内であることを示しており, 地下海水使用時に生じやすい飼育障害(低酸素症, 鰭異常等)による影響も, 表層海水と混合することで大幅に抑制できることが実証された. また, 共食い行動抑制のための飼育管理作業(サイズ選別, 分槽等)を一切実施しない場合であっても, 比較的高い生残率を達成可能であること, 従来よりも数倍の高密度育成下でも7日毎の底掃除や14日毎の池換え・網交換作業といった通常の間育成で実施されるものと同程度の作業量だけで, 著しい水質環境の悪化や成長不良等の発生を予防できることが確認された.

以上の結果は, 地下海水を飼育水の一部として混合することが, 夏季高水温期における中間育成時の環境改善策として極めて有効な手法であること示しており, 養殖用種苗としての健苗性を損なうことなく, より少ない水槽容積で大型種苗の量産を計画的に実施できる可能性を示すものである. 本研究では, 大型種苗の生産原価に関わる試算や管理努力に関する比較対象を設けていないものの, 設備投資の少ない地下海水を利用する高密度育成環境の実現によって, 従来の中間育成において最も経費を必要とした取水設備の稼働コストや人的な管理努力量を大幅に削減できる可能性が示されたとと言える.

一方, 試験開始時の体サイズを小型化し, 収容尾数を増加させた20,000尾収容区では, 共食いによる斃死を完全には防除することができず, 累積死亡個体に占める不明魚の数は52.1%にまで達した. 種苗生産における共食いは, 群内の体サイズ組成のばらつきが大きいほど助長されることが知られ, 飼育対象種が有する何らかの種内関係の結果, 社会的順位等の影響によって生じると考えられている(倉田, 1975). 本研究では, 平均全長77.9mm(変動係数5.5%)で試験を開始した2013年の日中観察では, ほとんどの魚がシェルター内に蟄集し, 攻撃行動や共食いはほぼ観察されなかったのに対し, 平均全長51.1mm(変動係数12.3%)で開始した2014年は特に飼育開始初期においてシェルターへの蟄集が少なく, 頻繁な攻撃行動と共倒れによる斃死が観察された. 試験開始時の選別強度の不足がこれらの共食い行動を助長した原因だと推察されるが, 近縁のチャイロマルハタ稚魚を対象とした実験では, 平均全長23.1~30.1mmの稚魚の共食い行動がシェルターの有無(竹下・征矢野, 2008)や水槽色および照度(Takashita and Soyano, 2008)によっても影響されることが報告されている. 今後, ヤイトハタにおいても同様の実験を行い, 共食い行動の抑制を目的とした飼育器材(シェルター, 水槽, 遮光幕等)の適正使用方法について

育成魚の成長段階に応じた検討を行う必要がある.

共食い行動と同じく, 2014年にのみ障害が発生したVNNについては, これまでヤイトハタで報告されてきた発症水温(木村ほか, 2013)と比べて1.2~3.6°C低い, 平均26.5°Cの飼育水温で発症が確認された. VNNの発症に影響を与える環境要因として, 高水温だけでなく, 過食やハンドリングによるストレスが指摘されているほか(木村ほか, 2007)キジハタでは水温16°Cでの発症も確認されている(Tanaka et al., 1998). 本研究では, 給餌機の吐出量を増加する操作を行った翌日(2014年7月1日)に異常遊泳個体が初めて観察されたことから, 過食によるストレスの増大が発症を引き起こした可能性が高い. 発症後の経過観察では, 飼育環境の改善や制限給餌によって2週間程度で症状の終息が確認されたものの, 発症後の累積死亡尾数は, 試験開始時の収容尾数の16.5%にまで達した. 以上の結果は, 地下海水の混合によって, 飼育水温の上昇を抑制しただけでは, 本症の防除策として必ずしも十分な対策とならない場合があることを示しており, 今後, 発症に影響を与える要因の特定とその影響を抑制するための飼育環境調節および適正給餌方法について検討しなければならない.

ただし, ヤイトハタは, VNNの発症によって深刻な被害が生じやすい他のマハタ属魚類(山下, 2013)と比較して原因ウイルスに対する感受性がそれほど高くないと考えられており(中村・知名, 2011), 発症後の不顕化も比較的早く起こることがこれまでの種苗生産実績からも知られている(木村ほか, 2007). 本研究においても, VNNによる斃死が終息した後に生残した感染前過魚は, その後, ほぼ全ての個体が発症前と同程度まで活力を取り戻し, 異常遊泳行動を示す個体はほとんど観察されなくなった. PCR法を用いて過去に実施された天然魚のVNN感染状況調査では, 石垣島で採集した50種130個体のうち, 80.8%(47種105個体)で陽性反応が検出され, 周辺の離島(波照間島, 鳩間島, 小浜島, 黒島, 西表島)でも採集個体の48.2%(31種79個体)が陽性であったことから, 本県の沿岸域に感染魚が常在している状況が推察されており(玉城ほか, 2010), 飼育環境の人為的操作によって発症の抑制に成功し, ウイルスフリーの種苗(SPF; Specific Pathogen Free)を生産できたとしても沖出し直後に感染する可能性が極めて高い. 従って, 養殖用種苗としての健苗性と沖出し後の発症予防および養殖場周辺の未感染魚等に対する影響を考慮した場合, 陸上水槽で養成中の中間育成期に, 何らかの方法でVNN原因ウイルスに対する免疫を獲得させることが最も効果の高い防除策となる可能性があるため, 今後, このような特定の疾病に対して耐性を有する種苗(SPR; Specific Pathogen Resistance)の作出に関する研究にも取り組む必要がある.

文献

- Fukuda Y., Nguyen H. D., Furuhashi M., Nakai T. 1996. Mass mortality of cultured Sevenband grouper, *Epinephelus septemfasciatus*, associated with Viral

- nervous necrosis. *Fish Pathology* 31(3): 165–170.
- 金城清昭, 中村博幸, 大嶋洋行, 仲本光男 1999a. ヤイトハタの養殖試験Ⅱ (海産魚類増養殖試験). 沖縄県水産試験場事業報告書 平成9年度: 160–164.
- 金城清昭, 中村博幸, 大嶋洋行, 仲本光男 1999b. ヤイトハタの中間育成密度試験 (海産魚類増養殖試験). 沖縄県水産試験場事業報告書 平成9年度: 155–159.
- 木村基文, 狩俣洋文, 玉城勝行, 須永純平, 仲盛 淳, 仲本光男, 呉屋秀夫 2007. ウイルス性神経壊死症に感染したヤイトハタの飼育経過 (ヤイトハタ種苗生産事業). 沖縄県水産海洋研究センター事業報告書 平成18年度: 227–230.
- 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種苗生産・二次飼育・出荷 (ヤイトハタ種苗生産事業). 沖縄県水産海洋研究センター事業報告書 平成20年度: 174–178.
- 木村基文, 岸本和雄, 仲本光男 2011. 2010年度の養殖ヤイトハタ種苗の二次飼育・出荷. 沖縄県水産海洋研究センター事業報告書 72: 93–96.
- 木村基文, 岸本和雄, 山内 岬, 仲本光男 2013. 2012年度の養殖用ヤイトハタ種苗の二次飼育・出荷. 沖縄県水産海洋研究センター事業報告書 74: 119–124.
- 木村基文, 狩俣洋文, 山内 岬 2015. ヤイトハタの人工種苗生産技術開発と養殖技術開発. *海洋と生物* 37(2): 136–144.
- 岸本和雄, 木村基文 2011a. 沖縄県水産海洋研究センター石垣支所敷地内で取水された地下浸透海水の性状. 沖縄県水産海洋研究センター事業報告書 72: 78–81.
- 岸本和雄, 木村基文 2011b. 地下浸透海水を使用したヤイトハタの養殖特性. 沖縄県水産海洋研究センター事業報告書 72: 53–61.
- 倉田 博 1975. 第Ⅱ章 飼育条件と発育-3. 環境条件. 稚魚の摂餌と発育. 日本水産学会. 東京, 恒星社厚生閣, 水産学シリーズ8: 45–56.
- 中村博幸, 知名真智子. 2011. ウイルス性神経壊死症 (VNN) を耐過したヤイトハタからの養殖期間中におけるウイルス (NNV) 保有状況. 沖縄県水産海洋研究センター事業報告書 72: 82–84
- Takeshita A., Soyano K. 2008. Effects of light intensity and color of rearing tank on cannibalism in the juvenile Orange-spotted grouper (*Epinephelus coioides*). *Aquaculture Science* 56(2): 175–180.
- 竹下 朗, 征矢野清 2008. チャイロマルハタ稚魚の斃死に及ぼす水槽内構造物の影響. *水産増殖* 56(2): 255–256.
- 玉城英信, 木村基文, 狩俣洋文, 太田 格 2010. 石垣島周辺海域における天然魚及び養殖魚のウイルス性神経壊死症 (VNN) の感染状況-Ⅱ (養殖魚類の魚病対策試験). 沖縄県水産海洋研究センター事業報告書 平成21年度: 62–67.
- Tanaka S., Aoki H., Nakai T. 1998. Pathogenicity of the Nodavirus detected from diseased Sevenband grouper *Epinephelus septemfasciatus*. *Fish Pathology* 33(1): 31–36.
- 山内 岬, 木村基文, 岸本和雄, 知名真智子, 仲盛 淳 2013. 海面養殖開始初期のヤイトハタに寄生する単生類とその害作用について. 沖縄県水産海洋研究センター事業報告書 74: 83–91.
- 山下浩史 2013. マハタのウイルス性神経壊死症のワクチン開発に関する研究. 愛媛県農林水産研究所水産研究センター研究報告 第1号 (通巻第14号): 1–55.

付表-1 沖縄県栽培漁業センターにおける2015年度生産種苗の中間育成結果(木村基文, 未発表; 日齢50~120未滿を抜粋).

飼育日数	日齢	日付	水温(°C)	飼育数(尾)	平均全長(mm)	平均体重(g)	日間増重率(%/day)	日間給餌率(%)	収容密度(kg/kL)
1R種苗									
9	50	4/11	25.5	25,500	27.1	0.4	11.7	6.5	0.8
14	55	4/16	23.5	23,500	33.2	0.6	10.1	14.7	0.9
20	61	4/22	24.4	24,400	39.6	1.1	8.3	5.8	1.0
25	66	4/27	23.3	23,300	46.8	1.7	7.1	6.3	1.1
31	72	5/3	24.4	24,400	51.7	2.4	6.0	4.9	1.6
37	78	5/9	23.9	23,900	58.1	3.3	5.1	3.1	2.2
40	81	5/12	24.4	24,400	61.4	3.9	4.8	3.8	2.6
48	89	5/20	25.7	25,700	65.5	4.7	4.0	2.8	3.1
52	93	5/24	24.4	24,400	70.7	5.9	3.8	0.8	3.8
57	98	5/29	24.6	24,600	76.6	7.3	3.4	3.9	3.9
61	102	6/2	25.6	25,600	81.7	9.0	3.2	3.5	4.7
68	109	6/9	25.8	25,800	89.0	11.1	2.9	3.7	6.1
72	113	6/13	27.0	27,000	92.8	13.0	2.8	3.2	4.1
77	118	6/18	28.0	28,000	102.2	17.1	2.6	4.4	3.4
3R種苗									
5	50	7/8	29.6	12,514	32.0	0.6	22.3	6.7	0.4
14	59	7/17	28.1	12,504	41.0	1.2	10.5	5.3	0.8
20	65	7/23	28.8	12,487	46.0	1.6	7.9	5.0	1.0
25	70	7/28	28.7	12,438	54.5	2.7	7.0	2.4	1.7
30	75	8/2	29.1	7,400	65.0	4.5	6.2	4.2	1.7
36	81	8/8	28.4	7,378	72.0	6.0	5.3	7.2	2.2
40	85	8/12	29.1	7,376	80.0	8.3	4.9	5.2	3.1
45	90	8/17	29.4	7,375	90.0	11.6	4.4	3.7	4.3
51	96	8/23	29.7	6,678	92.0	12.2	3.9	4.3	3.3
57	102	8/29	28.8	6,678	100.0	16.1	3.5	3.7	5.4
72	117	9/13	27.9	6,678	117.0	25.8	2.8	4.1	8.6