

ナンノクロロプシス培養水槽を濾過沈殿槽として利用した ヤイトハタの循環式種苗生産 (大型ハタ類の採卵・種苗生産技術開発)

木村基文*1, 山内 岬*2, 岸本和雄*3

Recirculating System for Larviculture of Malabar Grouper, *Epinephelus malabaricus*, Using Nannochloropsis culture tanks as Filtration Sedimentation tank

Motofumi KIMURA*1, Misaki YAMAUCHI*2 and Kazuo KISHIMOTO*3

ヤイトハタ種苗生産において海水使用量の低減化による経費節減と水槽底掃除を止めるなど飼育管理の省力化を図るため、種苗生産水槽 30 kL とナンノクロロプシス培養水槽 60 kL を沈殿濾過槽として用いた循環式種苗生産試験を実施した。ヤイトハタの産卵期 4~6 月に月別に 3 回の生産試験を実施し、種苗生産水槽と沈殿濾過槽の水温・溶存酸素濃度・pH・塩分濃度などの水質、種苗の生残率・成長などの飼育状況を調べた。その結果、今回の循環式種苗生産試験では、一般的に行われる掛け流し式の生産と同様に、産卵期初期の 4 月の種苗生産試験において生残率 66%・生産密度 6 千尾/kL と成績が良く、水温の上昇に伴い魚病が発生し生産成績は低下する傾向を示した。ナンノクロロプシス培養水槽では、ユスリカ類幼虫の造巣行動により有機懸濁物が固定され、沈殿濾過槽としての機能を果たすことが確かめられた。

ヤイトハタの種苗生産は、一般的な魚類の種苗生産と同様に新たな海水を注水しながら海水を排水する掛け流し式の生産（以下、「掛流生産」）を行う。本種の種苗生産は、1997~2005 年に屋外 250 kL 大型水槽を使用した大規模生産の技術開発を中心に進み、毎年 20~70 万尾の種苗を生産してきた（金城ほか、1999；中村ほか、2000；大嶋ほか、2001, 2002；多和田ほか、2003, 2004；仲盛ほか、2005, 2006, 2007；木村ほか、2007）。その後、養殖場における初期生残率の低さから、耐病性を備えた養殖用種苗としての健苗性の観点より、飼育水を加温して早期種苗生産を実施する必要性が生じた。屋外水槽には加温設備が整備されておらず早期種苗生産はできないため、屋内の加温施設を利用して小規模かつ安定的に生産できる技術の開発が必要となった。そこで、支所では 2009 年より採水し始めた地下浸透海水（以下、「地下海水」）に着目し（木村、2009）、その清浄性と恒温特性（岸本ほか、2011）を活用した屋内水槽（30・60 kL）での早期種苗生産技術の開発を行った。その結果、地下海水を用いた早期種苗生産の成績は、自然海水を使用した屋外 250kL、屋内 30・60 kL 水槽での成績に比べ、生残率・生産密度とも約 3 倍に向上した（木村、未発表）。しかしながら、地下海水を利用したとしても掛け流しの生産方法では、注水率の調整、未孵化卵・残餌・斃死魚・排泄物を吸い出す底掃除、排水ストレーナの洗浄・交換など多くの飼育管理作業を必要とし、海

水を汲み上げ新たな海水を注水し続けるための電気代や加温に関わる燃料代などの生産経費もかかる。そこで、既存の施設を活用し、種苗生産に使用した海水を再利用することで生産経費を下げ、様々な飼育作業の省力化を試みる実用的な循環式種苗生産（以下、「循環生産」）の試験を行った。さらに、循環式生産で重要な水質維持機能をもつ沈殿濾過槽において海水中の有機塩類の物質循環、沿岸環境に排出する栄養塩類の低減化に影響を及ぼす生物として、アナオサなど海藻類・ユスリカ類など水生昆虫・海水由来のワムシ類・コペポータ類について動態を観察した。

材料及び方法

1) 循環式種苗生産試験施設

生産試験に使用した施設と海水の循環経路を図 1 に示す。魚類の種苗生産水槽を屋内 30kL 八角コンクリート水槽（1 辺 1.67m, 直径 4.0m, 深さ 2.0m : 接水壁面積 40.0 m²）1 面とし、沈殿濾過槽にナンノクロロプシス（以下、「ナンノ」）を培養する屋外 60 kL 角形コンクリート水槽（縦 12.5m, 横 4.5m, 深さ 0.9m : 接水壁面積 87.2 m²）3 面を用いた。生産水槽は、周囲の壁と屋根をコンクリートスレートに囲われ、屋根には採光スレート（ポリカーボネイト）が貼り付けられる。ナンノ水槽周辺には日光を遮る遮蔽物は無く、日の出から日没まで直射日光が照射する日当たりの良い高台に位置する。生産水槽水面と濾過沈殿槽水面の高低差は

*1 E-mail : kimuramt@pref.okinawa.lg.jp , 本所 *2 石垣支所 *3 沖縄県農林水産部水産課

2.9m, 両水槽は水平距離にして16.9m離れていた。

飼育水は30kL水槽底中央の排水管(直径75mm)を通して水位調整管からオーバーフローさせ三角柱状の水位調整管槽(縦0.83m, 横0.82m, 深さ1.44m:体積0.5m³)に蓄えた。その海水を陸上ポンプ(株式会社寺田ポンプ製作所;自吸式樹脂製セルラポンプ CMP3N-60,4R, 定格電圧100V, 出力450W, 全揚程10m, 吐出量110L/分, 口径40mm)を用い, サクションホース(内径26mm, 長さ54m)1本を通してナンノ培養槽50-2に送水した。水位調整管槽にはポンプの空転防止のフロートスイッチを設けた。ナンノ水槽50-2に蓄えた海水は, サイフォンホース(口径50mm, 長さ2~5m)2本を用い隣接する50-4水槽に移送し, 同様に50-4から50-6に移送した。種苗生産水槽への戻りの海水は, 50-6水槽よりサイフォンによりサクシオンホース(内径26mm, 長さ58m)1~2本で移送した。循環水量の調整は, ポンプから送り出す送水ホースと生産水槽への戻り水を注水するホースに各々取り付け付けたバルブの開閉により行った。

水中懸濁物の分離除去は行わず, 紫外線殺菌装置, 泡沫分離装置などの水質管理機器も使用しなかった。

2) 沈殿濾過槽(ナンノクロロプシス培養水槽)

沈殿濾過槽には生産試験の日齢14・15に地下海水を貯めた。沈殿濾過槽での飼育水の攪拌は, 水槽底に設置した塩ビ配管(直径13mm)に開けた直径2mmの穴より水面がわずかに波立つよう空気を微通気した。沈殿濾過槽の濾材は, 1回目の試験ではサンゴ砂(乾燥重量6kg, 粒径0.2~0.6mm), アナアオサ(湿重量122g), 2回目の試験ではアナアオサ(湿重量200g)を50-4水槽に散布した。サンゴ砂は場内陸上に吹き込んだ海岸のサンゴ砂で, アナアオサは支所の沈殿池に自生するもので, とともに地下海水で洗浄して用いた。3回目の試験では, 2回目の試験で使用した水槽を継続使用したため新たな濾材を入れなかった。沈殿濾過槽で増減する水量, 降雨により低下した塩分濃度

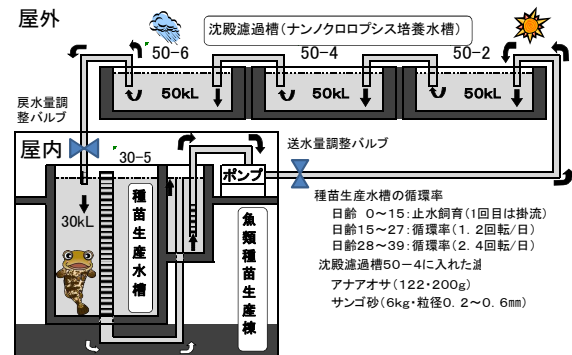


図1 ヤイトハタの循環式種苗生産施設の概略と飼育水循環経路

の調整, 水槽内に混入または発生した植物・昆虫など異物の除去は行っていない。種苗生産水槽から沈殿濾過槽に送

水した海水に含まれたワムシ・アルテミア・排泄物などは全て沈殿濾過槽に受水した。沈殿濾過槽の水質は, 午後1時前後に水槽毎の水温・溶存酸素濃度(以下, DO)・pH・塩分濃度を測定した。水温は水槽壁面の水面下30cmに水温補正後のアルコール棒状水温計を垂下し少数点第一位まで読み取り測定した。DOと塩分濃度をポータブルマルチメーターHQ30d(HACH), pHをポータブルpH計HM-30P(東亜DKK)で測定した。

沈殿濾過槽で増殖したアナアオサは, 1回目の試験終了後に回収し, 湿重量を計量した。沈殿濾過槽の付着物量は, 単位面積(0.0741m²)当たりの付着物を採取し, 10%海水ホルマリンで固定した後キムワイプで水分を吸収し湿重量を測定した。総付着物重量は全体の水槽接水壁面積から算出した。付着物の中に含まれた生物は, 顕微鏡下で観察した後, 付着物と共に10%海水ホルマリンで固定した。ユスリカ幼虫は, 付着物単位重量当たりの個体数と湿重量を把握し, 全体の付着物重量より総個体数・総重量を算出した。

3) 種苗生産試験

卵と種苗

試験に用いた1回目の卵は, 早期産卵開始1カ月後の4月, 2回目を5月, 3回目を6月に採卵した浮上卵であった(表1)。ふ化仔魚数は, ふ化6~9時間後にあたる日齢1の午前中に水槽5カ所よりピーカーで海水を各1L採水し, 仔魚を直径10cmの黒色ネット(目合い0.3mm)で濾し取り計数し, 容積法で算出した。日齢5以降の種苗数は, 5日毎に夜間柱状サンプリング(塩ビVU40:内径45mm)を5カ所で実施し, 採水した約15Lの海水に含まれる種苗数を求め容積法で算出した。なお, 日齢10以降の生残数は, 仔魚が成長するに従い夜間サンプリングから算出した計算値と実際の種苗数に差が出るため, 飼育状況と実際の種苗取上数を考慮して逆算して推定した。仔魚の全長は, 夜間採集標本を10%海水ホルマリンで固定した後, 物理的なダメージの少ない体型の整った個体20尾を万能投影機で拡大し, デジタルノギスで測定した。

種苗の取上は, 日齢40前後に実施した。水槽に堆積した貝化石は底掃除機を用いて吸い出し, 水深30cmまで水位を下げた。その後, 塩ビパイプ枠にアルミサッシ窓枠用防虫ネット(目合い1mm)を貼り付けた囲い網で種苗を囲い込み, プラスチック製のザルで魚体重30g(約300尾)前後を目安に種苗を掬い取った。このザルー一杯当たりの種苗数を計数し, 全杯数より全体数を推定した。

生産試験に投じた餌料の湿重量は, 木村ほか(2007)に従い算出し, 餌料転換率は以下の式で求めた。

$$\text{餌料転換率(\%)} = \frac{\text{種苗重量(kg)}}{\text{餌重量(kg)}} \times 100$$

飼育環境

飼育水は, 1・2回目に地下海水, 3回目に自然海水を使用し(表1), 注水後に水温が25℃台で推移した場合にはポイラーを用いて26℃以上に加温した。飼育水槽水面の粘性を下げるため園芸用の灌水ミニスプリンクラー(ミスト

スプリンクラー13, No.5777: 株式会社カクダイ) から霧状の地下水を1kL/日以下の水量を噴霧した。

飼育水の攪拌は、水槽周囲8個と中央1個に配置したエアストーン (KA-50R) より種苗の成長に応じ配置位置・通気量を変えながら行った。飼育水の循環率は、日齢15で1.2回転/日 (36kL/日)、日齢27で2.4回転/日 (72kL/日) を目安に段階的に引き上げた。ただし、1回目の生産試験では、日齢15まで注水率0.1~1.2回転/日で掛け流し飼育をした後、日齢16の午後より生産水槽と沈殿濾過槽との循環飼育に切り替えた。2・3回目の試験では完全な循環飼育での生産を行った。

排水ストレーナの網は、種苗の成長に応じ日齢3以降目合い0.5mm、日齢25以降1.0mm、日齢35以降1.7mmと交換した。日常的なストレーナの洗浄は実施しなかった。

生産水槽に戻す飼育水は、水槽の注水口にテトロンラッセル (T-280: 目合い0.72mm) の袋網を取り付け、沈殿濾過槽から混入する大型の水生昆虫類・海藻・送水ホース内壁から剥離した付着物などを取り除いた。目合いから漏れる1mm以下の生物は生産水槽に入れた。

底掃除は、1回目の生産試験で日齢1・10・15に実施し、配合飼料給餌後には種苗の取上まで行っていない。2・3回目の生産試験では全く実施しなかった。

水槽照度の調整は、飼育水の透明度が低下したため、採光スレート下の遮光ネットを全開とした。

生産水槽の水質は、午前9時前後に水温・DO・pH・塩分濃度を濾過沈殿槽での測定と同様の機器を用い計測した。

餌料環境

餌料系列は、掛流生産と同じ系列とした (木村ほか, 2009)。ワムシの給餌基準密度は日齢2~5にSS型ワムシを従来の2倍に相当する水槽内密度20個体/mL、日齢5~40にSS・S型ワムシを密度10個体/mLを保つよう午前6~9時に与えた。ワムシの栄養強化は、ハイグレード生クロレラ V12 (クロレラ工業株式会社) を強化量2L/10億個体/日で与えた。アルテミアは、日齢17以降に全長5mm以上に成長した種苗に対して、溶殻卵セット24時間後のアルテミアノープリウスを1日当たり50~100個体/種苗1尾量を午前11時と午後3時に分け与えた。冷凍コペポダは、中国産雅1号 (JCKロウピン貿易) を日齢19~40まで日量100~200gを与えた。投与方法は、約20gの冷凍コペポダを海水1Lに溶かし、1日当たり5~10回海水とともに水槽全体に手撒き散布した。配合飼料は、日齢19より自動給餌機 (ヤマハ: YDF-220BO) を用い、オトヒメ B1 (日清丸紅配合飼料: 粒径0.25~0.35mm)、B2 (0.36~0.65mm)、C1 (0.58~0.91mm) を成長に応じて割合を変え与えた。

生産水槽に添加する植物プランクトンは、午前9時にナンノ (2,000万細胞/mL) の培養液200Lを培養槽からサイフォンで約20分かけ送水した。午後1時にはハイグレード生クロレラ V12 (0.2L) を淡水1Lで希釈し、ピーカーを用い水槽4カ所に注水した。生産水槽の底質改善は、

貝化石ロイヤルスーパーグリーン (グリーンカルチャー社) 0.3~0.5kgを午後5時に水槽全面に手撒き散布した。

結果及び考察

1) 種苗生産試験

試験経過

生産試験の結果を表1、日毎の経過を表2, 3, 4、試験毎の生残率の推移を図2、仔魚の成長を図3示す。1回目の生産試験での取上尾数は159千個体、生残率66%、生産密度6.1千尾/kLであった。種苗の生残数は、日齢7に157千個体と推定され、日齢10までに約30%の初期減耗がみられた。その後、日齢39の種苗取上まで、水槽内において不活魚・斃死魚は全く観られず生残率66%を維持した。仔魚の成長は、掛流生産での成長と同等の成長を示し、水質悪化などによる成長の停滞は見られなかった。飼育期間中の平均水温は27.1°C、DOは生産初期の7mg/L台から取上時には4mg/L台に低下した。pHは7.3~8.2で推移し、塩分は沈殿濾過槽に降り注いだ降雨の影響で32.2PSUから26.7PSUまで低下した。飼育水の循環は日齢16より始め、日齢19には水槽内の透明度が低下し、底掃除機の走行ラインが見通せなくなった。日齢20より夜間~早朝に水面が泡立ち (図4)、水槽よりあふれ落ちた。発生した泡は午前5時から自動給餌した配合飼料の油分により水面の粘性が減少し、午前10時には消滅した。この泡は日齢39まで日没後に発生し、午前中に消滅するサイクルを繰り返した。近年、陸上水槽での種苗生産や養殖において水質環境管理の目的で泡沫分離装置を用いた水中有機懸濁物の除去が一般的に行われている (山本, 2013)。

表1 ヤイトハタの循環式種苗生産試験の結果

回目(水槽名)	1(30-3)	2(30-2)	3(30-3)	
卵収容日 (年月日)	2012.4.22	2012.5.19	2012.6.18	2012.6.20
収容卵湿重量 (g)	270	220	110	270
卵収容数 (千粒)	460	350	227	595
卵径 (mm)	0.915	0.899	0.874	0.876
卵数 (粒/g)	1,704	2,040	2,065	2,207
孵化率 (%)	52.1	56.6	57.1	
開始時水槽 (kL)	26	26	26	
仔魚収容数 (千尾)	239	254	420	
開始密度 (千尾/kL)	9.2	9.8	16.2	
取上日(廃棄) (年月日)	2012.5.31	2012.6.28	2012.7.4	
日齢	39	40	16	
取上目的	二次飼育		飼育中止	
取上全長範囲 (mm)	19.9~27.1	17.4~23.0	9.0~13.7	
取上平均全長 (mm)	25.2	18.7	5.6(廃棄時)	
推定取上尾数 (千尾)	159.0	62.8	0	
取上密度 (千尾/kL)	6.1	2.4	0	
生残率(仔魚) (%)	66.5	24.7	0	
飼育水温範囲 (°C)	25.4~29.6	25.3~31.5	27.8~31.0	
水温* (°C)	27.1	28.4	28.7	
溶存酸素濃度* (mg/L)	6.0	6.4	6.7	
pH*	7.7	8.1	8.0	
塩分* (PSU)	30.6	29.1	31.7	
飼育海水	地下水	地下水	自然海水	
備考	6/17:VNN		6/28:VNN?	

*: 平均値

ヤイトハタの循環式種苗生産

表2 ヤイトハタ循環式種苗生産試験 1回目の経過 (2012.4.22~5.31)

日齢	水温 (°C)	DO (mg/L)	pH	塩分 (PSU)	循環率 (回転/日)	海水使用量 (kL)	添加量				フムシ		アルテミア ノープリウス (千万)	コペポダ 冷凍 (g)	配合飼料 (kg)	生残数 推定値 (計数值) (万尾)	全長 (mm)	備考
							ナノ (kL)	濃度 (万細胞 /mL)	淡水ク ロレラ (L)	貝化石 (kg)	SS型 (億)	S型 (億)						
0	25.5	7.3	7.8	32.2	0	26									46.0	270g(1,704粒/g)		
1	25.4	7.4	7.9	32.2	0	0									23.9	孵化仔魚計数・底掃除		
2	25.7	7.3	7.9	32.2	0	0	0.3	1,875		0.3	5.6							
3	26.3	7.0	7.8	32.2	0	0	0.25	1,250	0.2	0.3							ストレーナ設置(0.5mm)	
4	26.9	6.8	7.8	32.2	0	0	0.3	2,050	0.2	0.3							加温(26.5°C)	
5	26.6	6.9	7.8	32.2	0.1	3	0.3	1,250	0.3	0.3		2.3						
6	26.1	6.7	7.7	32.3	0.1	1	0.3	2,275	0.2	0.3								
7	25.9	6.6	7.6	31.9	0.2	5	0.3	2,175	0.2	0.3	1.5				15.9		ストーン側面移設	
8	26.3	5.6	7.5	31.7	0.4	11	0.3	2,175	0.2	0.3		2.3			(15.7)	3.4		
9	26.5	6.5	7.6	31.4	0.4	10	0.3	2,300	0.2	0.3	2.8							
10	26.6	6.6	7.5	31.3	0.3	8			0.2	0.3		1.7					底掃除	
11	26.6	6.4	7.3	31.2	0.8	21	0.3	1,675	0.2	0.3	3.0							
12	26.9	6.5	7.3	31.2	0.8	21	0.5	1,950		0.3		3.0						
13	26.5	6.4	7.4	31.2	0.3	8	0.4	1,950		0.2		2.4						
14	26.6	6.4	7.6	31.0	0.9	23	0.5	1,750		0.3	2.0	1.2			15.9			
15	26.8	6.4	7.7	31.0	1.2	31	1.0	1,850		0.3	2.0				(13.9)	5.4	底掃除	
16	26.4	6.2	7.6	31.0	1.2	168			0.3	3.7							閉鎖循環開始	
17	27.2	6.5	7.8	31.0	1.2	0	0.3	2,075		0.3		2.4	0.5					
18	27.1	6.5	8.0	31.0	1.2	0			0.3	3.8		0.4						
19	26.3	6.5	8.2	31.1	1.6	0			0.3	2.7	0.8	43	0.1	15.9			水槽底確認できず	
20	26.7	6.4		31.1	1.6	0			0.5	3.4	0.4	52	0.1	(12.0)	7.7		YDF1台目作動、水面泡立つ	
21	27.0	6.2	8.2	31.3	0.9	0	0.2	2,075		0.5	0.7	0.8	0.7	94	0.1			
22	27.1	6.4	8.1	31.5	1.1	0	0.2	2,175		0.5	2.5		1.0	169	0.1			
23	29.0	5.8	8.1	31.5	1.0	0			0.5	2.8	0.9	164	0.3					
24	28.9	5.2	7.9	30.1	1.0	0			0.5	3.6	1.0	175	0.3				ストレーナ変更(1.0mm)	
25	28.8	5.4	7.9	29.0	1.0	0			0.5	3.1	1.3	168	0.5					
26	27.0	5.3	7.7	28.7	1.0	0			0.5	3.4	0.9	123	0.8					
27	27.1	5.4	7.9	28.8	1.0	0			0.5		3.3	0.9	138	0.6			通気増	
28	27.9	5.8	7.8	28.9	2.3	0			0.5	2.1	1.1	112	1.0	15.9			循環回転増、返水1本追加	
29	27.5	5.3	7.9	28.9	1.7	0			0.5	2.4	1.1	162	1.0	(8.0)	11.7			
30	26.7	5.2	7.9	29.1	2.0	0			0.5	2.0	0.9	165	0.5					
31	27.4	5.2	8.0	29.3	2.2	0			0.5	2.0	0.4	245	1.0					
32	28.5	4.3	8.0	29.4	2.2	0			0.5	2.4	0.4	190	1.5					
33	29.1	4.2	7.9	29.5	2.2	0			0.5	2.3	0.9	187	1.9					
34	29.6	5.1	7.9	29.6	2.2	0			0.3	1.3	1.3	0.8	177	2.0			ストレーナ変更(1.7mm)	
35	29.2	4.7	7.7	29.7	2.2	0	0.25	2,175		0.3	1.1	0.7	245	2.0			水面泡立ち水槽外に溢れる	
36	27.9	4.4	7.4	29.4	2.2	0	0.25	2,175		0.3	2.3	0.8	363	2.0			飼育水琥珀色	
37	26.9	5.3	7.3	27.8	2.2	0			0.3		2.5	0.7	255	2.0				
38	27.7	4.4	7.3	26.7	2.2	0			0.3		2.1	0.6	571	2.0				
39						0									15.9	25.2	底掃除後取上	
合計	27.1	6.0	7.7	30.6		336	6	1,956	2.1	12.5	48	42	17.2	3,798	19.8			
最低	25.4	4.2	7.3	26.7	掛流													
最高	29.6	7.4	8.2	32.3														

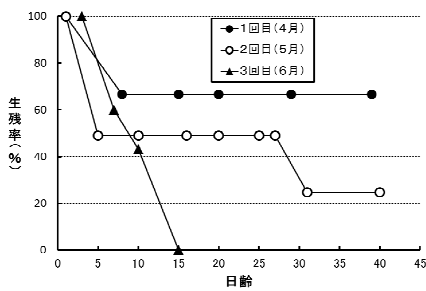


図2 ヤイトハタ循環式種苗生産試験の生残率の推移

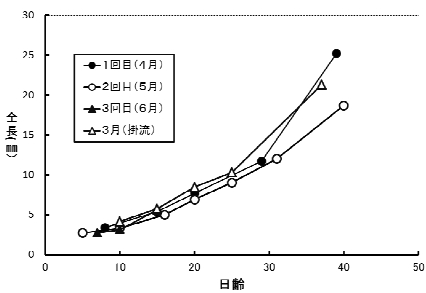


図3 ヤイトハタ循環式種苗生産でのヤイトハタ仔魚の成長



図4 循環式種苗生産水槽 (1回目2012年5月27日午前5時30分) に発生する泡 (水槽中央部)

表3 ヤイトハタ循環式種苗生産試験2回目の経過(2012.5.19~6.31)

日齢	水温 (°C)	DO (mg/L)	pH	塩分 (PSU)	循環率 (回転/日)	海水使用量 (kL)	添加量			フムシ		アルテミア	コペポータ	配合飼料 (kg)	生残数		備考	
							ナanno (kL)	濃度 (万細胞/mL)	淡水ク ロレラ (L)	貝化石 (kg)	SS型 (億)	S型 (億)	ノープリ ウス (千万)		冷凍 (g)	推定値 (計数值)		全長 (mm)
0				31.1	0	26									35.0	220g(2,040粒/g)		
1	25.3	7.3	7.6	31.1	0	0									25.5	孵化仔魚計数		
2				31.1	0	0	0.7	1,600		6.0								
3	25.7	7.0	8.0	31.2	0	0	0.88	1,400										
4	26.7	7.0	7.9	31.2	0	0	0.5	1,500		1.4					12.6	加温(26.5°C)		
5	27.0	6.8	7.9	31.3	0	0	0.5	1,750	0.1	0.5	1.2				(12.6)	2.7	ストレーナ設置(0.5mm)	
6	26.9	6.9	7.9	31.3	0	0	0.6	1,525		0.5								
7	26.8	6.8	7.8	31.3	0	0	0.6	1,200	0.2	0.3	1.3	1.3						
8	26.6	6.9	7.8	31.5	0	0	0.8	1,700		0.3		2.1						
9	26.5	6.7	7.8	31.5	0	0	1.5	1,450		0.3					12.6			
10	26.3	7.0	7.7	31.2	0	0	1.5	1,450		0.3					(10.4)	3.3		
11	26.4	6.6	7.6	31.1	0	0	1.5	1,350	0.1	0.3	2.4							
12	26.6	6.7	7.5	31.1	0	0	0.6	1,650	0.2	0.3								
13	26.6	6.8	7.7	31.0	0	0	1.0	1,475	0.2	0.3		1.4						
14	26.7	6.6	7.6	30.7	0	150	0.6	1,800		0.3	1.8						ストーン側面移設	
15	27.4	6.7	7.7	30.0	1.2	0	0.6	1,520	0.2	0.3	3.9				12.6		循環注水スタート	
16	27.8	6.8	7.8	29.7	1.2	0	0.6	1,750	0.2	0.3	2.3				(8.6)	5.0		
17	28.5	6.9	8.0	29.5	1.2	0	0.6	1,350	0.1	0.3		2.4						
18	29.2	6.6	8.2	29.6	1.2	0	0.8	1,225	0.1	0.3	2.1		0.5					
19	29.3	6.0	8.3	29.7	1.2	0	0.6	1,175	0.2	0.3		0.4	14	0.1	12.6			
20	30.1	5.7	8.4	29.8	1.2	0	0.63	775	0.3	0.3		0.4	60	0.1	(6.4)	6.9	YDF1台目・循環 通気量アップ	
21	30.4	6.6	8.3	30.0	1.2	0	0.6	900	0.4	0.3		0.5	68	0.1				
22	30.9	6.0	8.2	30.3	1.2	0	0.6	925	0.4	0.3	1.6		0.5	98	0.1			
23	29.9	6.5	8.1	28.5	1.2	0	1.1	775	0.2	0.3		2.7	0.4	62	0.1			
24	29.2	6.3	8.1	28.1	1.2	0	0.6	1,400		0.3	3.3	0.4	113	0.1	12.6			
25	28.5	6.3	8.1	27.7	1.2	0	0.6	1,050	0.3	0.3		2.4	0.6	116	0.1	(5.8)	9.0	
26	28.4	6.5	8.2	27.5	1.2	0	0.6	975	0.4	0.3	2.5		0.6	173	0.1		ストレーナ変更(1.0mm)	
27	28.4	6.3	8.2	27.5	2.3	0	0.6	1,250	0.2	0.5		2.5	0.5	125	0.1		不活魚有り	
28	28.3	6.5	8.4	27.7	2.3	0			0.5	2.8		0.8	144	0.1			ふらつき魚多い	
29	29.3	6.1	8.4	27.8	2.3	0			0.5	2.3		0.9	121	0.2			疾病検査(VNN:陽性)	
30	30.7	6.0	8.3	28.0	2.3	0			0.5	2.4		1.0	138	0.2	6.3			
31	30.4	5.9	8.3	28.2	2.3	0			0.5		2.5	0.7	152	0.2	(3.2)	12.0		
32	28.6	6.3	8.3	27.8	2.3	0			0.5			0.7	148	0.2			台風4・5号接近	
33	27.6	6.3	8.3	26.5	2.3	0			0.5			0.8	143	0.4				
34	28.6	6.6	8.3	25.4	2.3	0			0.5			0.7	149	0.3			ストレーナ変更(1.7mm)	
35	29.0	5.9	8.3	25.4	2.3	0			0			0.9	174	0.2			ナノ水槽スミアアリ	
36	30.0	5.7	8.5	25.5	2.3	0			0.3			1.1	218	0.5				
37	30.6	5.4	8.5	25.7	2.3	0			0.3			0.6	172	0.3				
38	31.4	5.2	8.5	25.9	2.3	0			0.3			0.5	214	1.0				
39	30.8	4.8	8.4	26.1	2.3	0			0.3			0.8	199	0.4				
40	31.5	5.7	8.3	26.2	2.3	0									6.3	18.7	底掃除後取上	
合計	28.4	6.4	8.1	29.1		176	20	1,343	3.8	11	35	20	14.3	2,801	5.1			
最低	25.3	4.8	7.5	25.4														
最高	31.5	7.3	8.5	31.5														

表4 ヤイトハタ循環式種苗生産試験3回目の経過(2012..6.18~7.4)

日齢	水温 (°C)	DO (mg/L)	pH	塩分 (PSU)	循環率 (回転/日)	海水使用量 (kL)	添加量			フムシ		アルテミア	コペポータ	配合飼料 (kg)	生残数		備考	
							ナanno (kL)	濃度 (万細胞/mL)	淡水ク ロレラ (L)	貝化石 (kg)	SS型 (億)	S型 (億)	ノープリ ウス (千万)		冷凍 (g)	推定値 (計数值)		全長 (mm)
0	28.6			34.3	0	26									22.7	110g(2,065粒/g)227千粒		
1	28.6	7.1	8.2	34.3	0	0												
2	28.2	7.2	8.1	34.3	0	0									7.0	270g(2,207粒/g)595千粒追加		
3	27.9	7.0	8.1	34.1	0	0	0.6	1,625	0.2	0.3	3.0			42.0		底掃除・ストレーナ設置(0.5mm)		
4	27.8	6.7	7.0	33.7	0	0	0.6	1,075	0.2	0.3	1.5							
5	27.8	6.5	8.0	33.4	0	0	0.6	1,250	0.2	0.3								
6	28.0	6.5	8.6	33.2	0	0	0.6	1,275	0.2	0.3					25.2		水槽茶色	
7	28.3	6.8	7.8	32.8	0	0	1.3	1,575		0.3	3.0			(25.2)	2.7		早朝計数	
8	28.5	6.8	7.6	32.6	0	0	1.2	925	0.2	0.3								
9	28.5	6.7	7.6	32.5	0	0	1.2	1,275	0.2	0.3	3.9				18.2		ストーン側面移設	
10	28.9	6.7	7.8	31.5	1.2	150		0.4	0.3					(18.2)	3.1		計数・循環開始(2回目海水)	
11	29.4	6.9	8.3	28.6	1.2	0		0.4	0.3		3.8							
12	29.5	6.7	8.3	27.8	1.2	0		0.4	0.3		2.4							
13	29.8	6.6	8.3	27.7	1.2	0		0.4	0.3		1.9							
14	31.0	6.8	8.4	27.9	1.2	0		0.2	0.3		2.9							
15	28.2	6.4	8.4	31.5	1.2			0.2	0.3		2.7							
16					1.2			0.2							0.0	5.6		仔魚見られず飼育中止
合計	28.7	6.7	8.0	31.7		176	6	1,286	3.4	3.8	14	11						
最低	27.8	6.4	7.0	27.7														
最高	31.0	7.2	8.6	34.3														

今回の試験で見られた泡は泡沫分離装置で発生する泡と似ており、この発生が繰り返されるなら、生産水槽において有機懸濁物を泡にからめ直接除去することが可能となる。飼育水の色は、種苗取上時には透明な琥珀のような黄色となった。飼育水の臭いは、生産水槽、濾過沈殿槽とも腐敗臭はせず、やや酸味があった臭いがわずかにする程度で、掛流生産と同等の状況であった。種苗取上時の底掃除で吸い出された貝化石は灰色から黒色になり水槽底では部分的に還元層を形成していたものと推察された。この試験での種苗の活力は、囲い網から逃避した種苗の多さ、取上時の斃死魚の少なさなどから判断して、掛流生産での種苗より活力が良好と思われた。今後は、循環生産魚の特性を確かめるため両生産方法の違いによる種苗活力の相違を把握する必要がある。

2回目の生産試験での取上尾数は62千個体、生残率24%、生産密度2.4千尾/kLであった(表1)。飼育期間中の平均水温は28.4℃、DOは、生産初期の7mg/L台から取上時には5mg/L台に低下した(図5、表3)。pHは、7.5~8.5で推移し、塩分濃度は降雨の影響で31.1PSUから25.4PSUまで低下した。飼育状況は、日齢26までは1回目の生産試験と同様に経過したが、日齢27より水流に流される個体が散見され、日齢33にかけ水中を漂う斃死魚も観察された。後日、沖縄県水産海洋技術センターにおいて日齢29の不活力個体を検査し、ウイルス性神経壊死症と診断された。飼育水温は、日齢17より28.5℃を超え、日齢22には30.9℃に達した。日齢27前後には隣接する60-4水槽で二次飼育中のヤイトハタでウイルス性神経壊死症が発生しており、今回の疾病はその水槽から水平感染

したものと考えられた。その後、配合飼料の給餌量を減らすなどの飼育管理を継続し、日齢40に62千尾を取り上げた。観察状況から日齢27~40の間に水槽内に生残していた種苗約120千尾のうち約半数に相当する60千尾の種苗が斃死したものと推察された。生残数をみると、日齢5までに約50%の初期減耗がみられた後、日齢25まで約50%を維持し、最終的に日齢30から種苗取上にかけウイルス性神経壊死症により25%に減少した(図2)。仔魚の成長をみると、日齢30までは掛流生産の種苗と同等の成長を示した(図3)。しかし、ウイルス性神経壊死症を発症した日齢27から配合飼料の給餌量を約1/2量に抑えたため、日齢30以降に成長は停滞し、日齢40の取上時には1回目の生産魚の平均全長に比べ約6.5mm小型であった。種苗の活力は、1回目の種苗に比べ取上後の斃死魚が多く不良と判断された。生産水槽での泡の発止、飼育水の黄色化は1回目と同様であった。

3回目の生産試験では日齢10まで生残率は約40%と順調に経過したが、循環飼育を始めた直後に生残数が激減し飼育を取止めた(図2、表1、4)。この斃死の原因は、2回目の生産試験に使用した沈殿濾過槽を洗浄することなく海水とともに3回目の試験に使用したため日齢14にかけウイルス性神経壊死症を発症したものと考えられた。

循環生産の生産性

今回の生産試験において生産試験別に与えた餌料の総重量を表5、種苗1尾当りに投じた餌料の総重量を表6に示す。1回目の生産試験では、投じた餌料の総重量33kgに対して取り上げた種苗の総魚体重は44kgとなり、餌料転換率は133%であった。ヤイトハタの種苗生産において

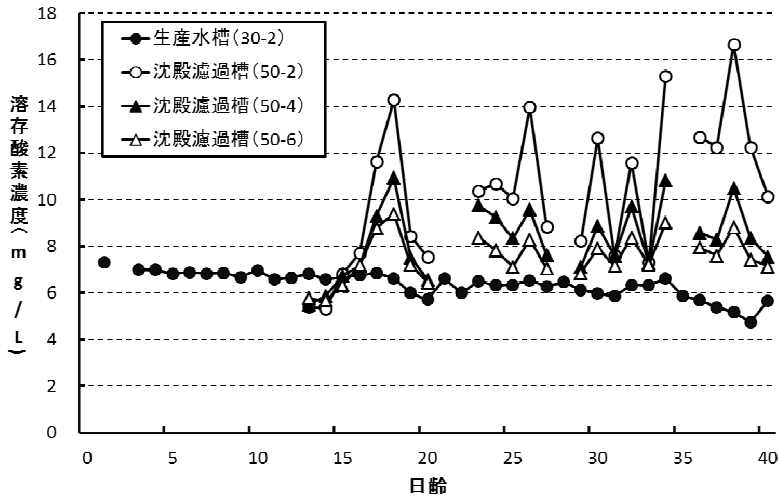


図5 循環式種苗生産試験(2回目)における生産水槽と沈殿濾過槽の溶存酸素濃度推移
表5 ヤイトハタの種苗生産毎に与えた植物プランクトン・餌料の総重量

生産試験(回目)	海水総使用量(kL)	生産数(千尾)	総魚体重量(kg)	植物プランクトン			生物餌料						人工餌料		
				ナンクロロプス密度(万細胞/mL)	添加量(kL)	淡水クロレラ(L)	ワムシ		アルテミアノプリウス		冷凍コペポーダ(kg)	配合飼料(kg)	餌料合計(kg)		
							SS型(億)	S型(kg)	数量(億)	湿重量(kg)				数量(億)	湿重量(kg)
1	336	159	44	1,956	6	2	48	3.1	42	3.1	1.7	2.9	4	20	33
2	176	63	7	1,343	20	4	35	2.3	20	1.5	1.4	2.4	3	5	14
合計	512	222	51		26	6	83	5.4	62	4.5	3.1	5.3	7	25	47

表6 ヤイトハタ種苗1尾当たりの生産に必要な生物餌料と人工餌料

生産 試験	海水 使用量	平均 全長	平均 体重	生物餌料								人工餌料			
				ワムシ				アルテミア				冷凍コペ ポータ	配合飼料	餌料 合計	餌料転 換率
				SS型		S型		ノブリアス		数量	湿重量				
				数量	湿重量	数量	湿重量	数量	湿重量						
(回目)	(L)	(mm)	(g)	(千)	(mg)	(千)	(mg)	(千)	(mg)	(mg)	(mg)	(%)			
1	2.1	25.2	0.27	30	19.7	26	19.3	1.1	18.3	23.9	125	206	133		
2	2.8	18.7	0.11	56	36.5	32	23.2	2.2	38.0	44.6	81	223	51		
平均	2.3	23.4	0.22	37	24.5	28	20.4	1.4	23.9	29.8	112	211	110		

与えた餌料の総重量と生産魚体重の関係は、屋外 250kL 水槽を使用した 1997~2006 年の自然海水の掛流生産では餌料転換率は 15.6~34.5% (木村ほか, 2007), 2010~2012 年の地下水の掛流生産での転換率は 21~56% であり、生産成績の良い事例で与えた餌重量 2 に対し生産した種苗の魚体重 1 であった。

1997~2012年のヤイトハタ種苗生産65回の生残率と生産密度の関係を図6に示す。1997~2009年の自然海水での掛流生産のうち飼育を中止した生産30事例を除いた54事例、2009~2012年の地下水での掛流生産9事例、今回の循環生産試験の3事例の結果を表7に示した。1997~2009年の生産成績は、平均生残率9.2%、平均生産密度1,136個体/kLであった。この間の生産では飼育中止例が多く、安定的な種苗生産と生産密度の高度化においては技術開発の余地が残されていたものと考えられた。2009~2012年には、生産水槽、生産時期、餌料系列、生物餌料の給餌量の見直しに加え、地下水を使用することにより生産成績は向上し、平均生残率32.6%、平均生産密度3,470個体/kLと従来の約3倍に達し、安定的な早期高密度種苗生産技術はある程度確立したものと見える。今回、新たな循環式生産方法として1回目の試験の結果をみると生残率・生産密度とも従来の掛流生産の最優良生産事例と同等の成績であった(図6)。しかしながら、2回目の結果は生残率・生産密度とも地下水での掛流生産の平均的な成績以下の結果となり、3回目の試験では種苗の生産にまで至らなかった。熱帯性魚類の種苗生産では、一般的に産卵期初期の卵を用いた種苗生産の成績が良く、水温の上昇に伴い卵質の悪化・疾病の発生などにより生産成績が低下する傾向を示す。今後、ヤイトハタの産卵期中盤6月以降に種苗生産する必要性が生じた場合には、ウィルス性神経壊死症などの感染を防ぐため、先ず隣接する水槽から水平感染

の危険性を排除する必要がある。その上で、飼育水温を28℃以下に下げたため地下水での掛流生産を行うか、飼育水を地下水で冷却しながら循環生産を行うなど新たな生産技術の開発によりこの課題は克服できる。

生産経費の削減と省力化

1997~2012年の年度別に種苗1個体(全長22mm, 体重0.2g)の生産に使用した海水量の推移を図7に示す。掛流生産での海水使用量は、1997~2006年に実施した大規模水槽(250kL)において25~75L/個体であった。その後、2009~2012年に実施した小規模水槽(30・60kL)での早期種苗生産において15~25L/個体に減少した。今回の循環生産では2~3L/個体と使用量を大幅に下げることができた。今回の試験では、生産水槽容積30kLに対して沈殿濾過槽容積150kLに設定したため、種苗1個体の生産に使用した海水量は2L以上になった。今後は沈殿濾過槽において、生物の生態的作用を活用した沈殿濾過機能を人為的に強化する技術を開発し、沈殿濾過槽を小さくすれば海水使用量をさらに減らすことができる。

今回の試験において省力化した飼育管理作業は、底掃除・排水ストレーナの洗浄・注水率の増水調整・照度の調整・飼育魚の観察・ワムシの早朝投餌などであった。今回の試験実施期間は、支所では養殖用ヤイトハタの二次飼育期間に当たり20万尾以上の種苗を飼育し、毎日選別・計数・出荷などの作業を繰り返す最も忙しい時期で、掛流生産では時間を割り当てることはできなかった。このような状況で、生産試験に関わる時間を切り詰め、種苗を生産できたことは循環式種苗生産での省力化を証明したものと考えられる。循環生産方法は掛流生産と全く異なる生産方法であるため、従来の掛流生産方法に必要な飼育管理技術や緊急を要する斃死対応など経験的に積み上げられた技術を選択的に継承し、新たな生産方法での再現性を確かめつつ、

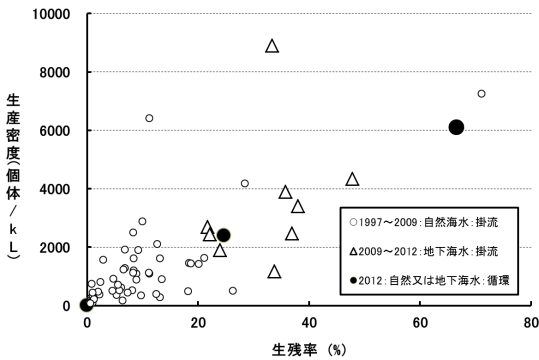


図6 ヤイトハタ種苗生産の生残率と生産密度の関係

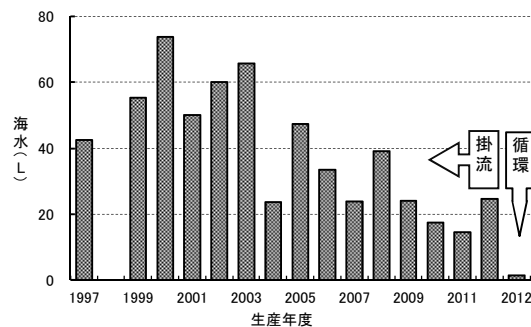


図7 ヤイトハタ種苗1尾(全長22mm, 体重200mg)の生産に使用した海水量(種苗取上サイズを統一した場合の推定値)

表7 ヤイトハタ種苗生産の掛け流し生産と循環式生産の生残率・生産密度の比較

生産方法 海水種類	掛け流し		循環	
	自然海水 1997~2009	地下海水 2009~2012	地下海水 2012	自然海水 2012
生産回数(廃棄数)	54(30)	9(0)	2(0)	0(1)
生産密度 (尾/kL)	最低	57	1,173	2,414
	最高	7,255	8,904	6,115
	平均	1,136	3,470	4,265
生残率* (%)	最低	0.4	21.7	24.7
	最高	71.1	47.8	66.5
	平均	9.2	32.6	45.6

*: 廃棄例を除いて算出

この生産の特性を明らかにする必要がある。

2) 沈殿濾過槽

植物相と溶存酸素濃度

沈殿濾過槽での2回目生産試験におけるDOの推移を図5に示す。沈殿濾過槽には、生産水槽に添加したナンノが循環水とともに運び込まれる。ナンノの密度は徐々に増加し、最高密度65万細胞/mLに達し、DOは晴天の午後1時には日齢18にかけ14mg/Lに上昇した。その後、沈殿濾過槽においてワムシの密度が10個体/mL以上に増加すると、ナンノ濃度は減少に転じ、日齢20にかけDOも低下した。日齢24以降ナンノが見られないにもかかわらずDOは天候の影響を受けながら6~16mg/Lの範囲で増減を繰り返した。この試験では日齢14の6月2日に元種として植え継いだアナアオサは消滅し、日齢35の6月23日よりスジアオノリが目視で観察され始めた。1回目の生産試験において、日齢16の5月8日に元種として植え継いだアナアオサ120gは、種苗取上時5月31日に湿重量12.9kgに増殖した。沈殿濾過槽のDOが上昇した原因の一つは、循環飼育開始初期には生産水槽に添加後沈殿濾過槽に運ばれたナンノ、その後は1回目の試験では濾材として増殖したアナアオサ、2回目の試験では混入したスジアオノリなどの光合成作用によるもので、沈殿濾過槽の植物及び動物相の遷移と密接に関係しているものと推察される。

動物相

沈殿濾過槽では海水由来の生物としてユビナガチビワムシ、コペポータ類など、陸域環境由来の生物としてユスリカ類の幼虫などが自然発生的に増殖した。ユビナガチビワムシは川平湾周辺に棲息する種であり、現在の支所にあたる沖縄県水産試験場八重山支場(1986)においてハマフエフキやマダラハタ仔魚の消化管内容物として確認され、魚類の初期餌料としての培養研究が行われた。また、コペポータ類は、台湾における種苗生産で重要な初期餌料として培養されている。支所では2003年のヤイトハタ種苗生産より台湾産冷凍コペポータを利用し始めた(仲盛ほか, 2005)。現在、冷凍コペポータは種苗生産においてワムシから配合飼料への餌料系列切り替え時のつなぎ補給餌料、二次飼育初期に栄養補給餌料として使用している(木村ほか, 2012)。先に報告したように、1回目の生産試験では餌料転換率が133%を超えた。このことは、沈殿濾過槽において増殖したワムシ類、投与した餌以外に発生したコペポータ類などの生物が循環水とともに生産水槽に運ばれ仔

魚により餌として摂餌され、総魚体重の増加につながったものとも考えられる。淡水魚のワカサギにとってユスリカの幼虫や蛹は秋期の急成長時に欠かせない餌として報告されている(竹内ほか, 1982)。海産魚類にとってユスリカ幼虫が餌として栄養的に満足できるものかどうかの知見は見当たらない。今後、与えた餌料・沈殿濾過槽の生物相・種苗の胃内容物の関係を確認し、循環生産での餌料環境を明らかにすることで、新たな餌生物の開発も期待できる。

栄養塩の動態

1回目の生産試験において沈殿濾過槽の壁際水面下に卵を内包する寒天状のユスリカ類の卵塊が多数観察された。壁面に付着したユスリカ類幼虫の巣などの湿重量は52kg、ユスリカ類幼虫の湿重量は4kg、総個体数は600万個体以上と推定された。ユスリカ類幼虫は、本県のナンノ・珪藻類の培養において、培養密度を低下させる生物として問題となる。一方で、陸水環境ではユスリカ類幼虫は、水中の有機懸濁物中の栄養塩類を吸収し、成虫となって水域外に持ち出す水域の浄化者としての生態的地位を持つことが知られている(岩熊, 1990)。今回、沈殿濾過槽ではユスリカ類の幼虫が、ワムシ・排泄物・ナンノなどの水中懸濁物や堆積物などを造巢材料として寄せ集め巣を作り、蛹化したのち羽化し成虫となり空中に飛散した。水槽の上空では、多量のトンボ類・ツバメ類が飛び交い頻繁に摂餌行動を繰り返した。今回の試験では海水中のアンモニア態窒素、亜硝酸態窒素、亜硝酸態窒素濃度の精密な測定を実施していない。しかし、簡易的なバックテストを用いた分析で、栄養塩類濃度は、生産水槽から循環させた飼育水が最初に入る50-2水槽で最も高く、次いで50-4、更に50-6と水槽を移るにつれ段階的に低下したことを確認している。沈殿濾過槽の中で発生・増殖した動植物は、飼育水と共に運ばれてきた栄養塩類を吸収し、水域外に拡散或いは生物体として固定させたことは明らかで、栄養塩の蓄積を軽減させる浄化作用があるものと考えられる。

淡水魚の飼育では、給餌した餌と排泄物に由来した飼育水中の栄養塩類を野菜類などの水耕栽培で吸収させた後、飼育水を再び魚の飼育に利用するアクアポニックスシステムが開発されている。海産魚の種苗生産・養殖では陸上水槽において飼育水を完全に再利用する閉鎖式循環飼育の技術が普及しつつある(山本, 2013)。この飼育方法は飼育水中の有機懸濁物などをフィルター・泡沫分離装置などで物理的に除去し、水中の栄養塩類を硝化細菌の働きにより魚類に影響の少ない硝酸に置き換えている。この技術は最

最終的に栄養塩類を飼育環境の外に排出する。今回の生産試験では、濾過沈殿槽での生物生態的な凝集、空中への拡散量を正確に把握していない。今後は、種苗の摂餌量と排泄量、ユスリカ類を含めた生物の栄養塩吸収量と拡散量、アナオサなど海藻類の栄養塩吸収量を確かめる必要がある。さらに、沈殿濾過槽の生物生態遷移と DO の関係を正確に把握することにより、配合飼料の給餌・沈殿濾過槽での炭酸同化、栄養塩類の空中拡散など物質循環の収支が明らかになるであろう。将来的には、ヤイトハタが配合飼料を摂餌・消化・吸収した後、排泄物として飼育水に放出した窒素分を沈殿濾過槽に受け、生物を利用して有機物を吸収し、炭酸同化作用を利用し直接的あるいは間接的にヤイトハタの摂餌可能な生物に再変換できれば、これまで外部環境に排出していた栄養塩を餌として再利用することが可能となる。今回の 1 回目の試験のように餌料転換効率を飛躍的に上げることが期待できる。

種苗生産方法から見据えた展開

本種の種苗生産は、第 1 期として大規模屋外水槽

文 献

- 岩熊敏夫, 1990: 水源水域における底生動物の水質に及ぼす影響。公害と対策 (26), 210-216.
- 金城清昭, 中村博幸, 大嶋洋行, 仲本光男, 1999: 大型水槽によるヤイトハタの種苗量産。平成 9 年度沖縄県水産試験場事業報告書, 142-148.
- 木村基文, 狩俣洋文, 仲本光男, 呉屋秀夫, 2007: ヤイトハタの種苗生産・二次飼育・配布。平成 18 年度沖縄県水産海洋研究センター事業報告書, 219-226.
- 木村基文, 2009: 石垣島で採水される地下浸透海水の性状と利活用。平成 21 年度 2 月沖縄県水産海洋研究センターニュース, 第 15 号.
- 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。平成 20 年度沖縄県水産海洋研究センター事業報告書 (70), 174-178.
- 木村基文, 岸本和雄, 山内 岬, 仲本光男, 2012: 2011 年度の養殖用ヤイトハタ種苗の二次飼育・出荷。平成 23 年度沖縄県水産海洋研究センター事業報告書 (73), 63-66.
- 岸本和雄, 木村基文, 2011: 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。平成 22 年度沖縄県水産海洋研究センター事業報告書 (72), 78-81.
- 仲盛 淳, 狩俣洋文, 仲本光男, 呉屋秀夫, 2005: ヤイトハタ種苗生産事業。平成 15 年度沖縄県水産試験場事業報告書, 169-172.
- 仲盛 淳, 狩俣洋文, 仲本光男, 呉屋秀夫, 2006: ヤイト

(250kL) を用いた掛流生産技術の開発, 第 2 期として地下水を用いた屋内小型水槽 (30・60kL) で行った集約的な掛流早期種苗生産技術の開発, そして第 3 期として生産コストの削減と省力化を図る循環式種苗生産技術の開発を実施している。これは、飼育水の循環にとどまらず、栄養塩類をも循環させる循環式種苗生産技術の開発を模索する新たな試みである。

今回の試験では飼育管理の省力化を含め、飼育経過の把握を目的に実施したため、全ての試験で種苗の取上にまで至っていない。今後は、夏季の種苗生産においても地下水を活用し経費をかけずに水温を下げるなど、ある程度の飼育管理を行うことで安定した生産技術になるであろう。本県には、海水中で増殖する昆虫類、飼育水の溶存酸素濃度を上げるサンゴやシャコガイ類など様々な生態機能を持つ多種多様な生物が棲息している。それら生物の能力を活用した水質管理方法を開発することで、他種の種苗生産、さらには陸上養殖においても複合養殖として活用できる技術に繋がるものと考えられる。

- ハタ種苗生産事業。平成 16 年度沖縄県水産試験場事業報告書, 149-155.
- 仲盛 淳, 狩俣洋文, 仲本光男, 呉屋秀夫, 2007: ヤイトハタ種苗生産の概要(ヤイトハタ種苗生産事業)。平成 17 年度沖縄県水産試験場事業報告書, 200-203.
- 沖縄県水産試験場八重山支場, 1986: ユビナガチビワムシの培養試験。昭和 61 年度特定研究開発促進事業 初期餌料の培養技術開発研究報告書 沖水試資料 112. 7-16.
- 大嶋洋行, 仲盛 淳, 岩井憲司, 仲本光男, 2001: ヤイトハタの大型水槽による種苗量産試験 II。平成 11 年度沖縄県水産試験場事業報告書, 142-145.
- 大嶋洋行, 仲盛 淳, 勝俣亜生, 仲本光男, 呉屋秀夫, 2002: 2000 年度ヤイトハタ種苗生産の概要。平成 12 年度沖縄県水産試験場事業報告書, 170-171.
- 竹内勝巳, 沖野外輝夫, 1982: 諏訪湖におけるワカサギ (*Hypomesus transpacificus nipponensis*) の成長と食性。環境科学の諸断面, 三井嘉都夫 (著) 土木工学社, 17-22.
- 多和田真周, 仲盛 淳, 勝俣亜生, 仲本光男, 2003: ヤイトハタ種苗生産。平成 13 年度沖縄県水産試験場事業報告書, 151-153.
- 多和田真周, 仲盛 淳, 狩俣洋文, 仲本光男, 2004: 2002 年度ヤイトハタ種苗生産。平成 14 年度沖縄県水産試験場事業報告書, 163-165.
- 山本義久, 2013: 閉鎖循環システム開発と欧州の閉鎖循環式養殖研究の現状。平成 23 年度栽培漁業技術研修 テキスト集 省力化・省エネ化・低コスト化に役立つ増養殖技術。全国豊かな海づくり推進協会。