

2021年のヤイトハタ種苗生産と二次飼育 (栽培漁業センター生産事業費)

山内 岬*・照屋秀之

県内漁業関係者等から要望のあった2021年(令和3年度)の養殖用及び研究用ヤイトハタ種苗を55,900尾生産し、供給する。

材料及び方法

(1) 一次飼育(種苗生産)

2021年3月13日から8月5日にかけて、栽培漁業センター(以下、栽培センター)で養成中のヤイトハタ親魚から得られた計6,503gの受精卵を一次飼育に供した。3月の生産回次(以下、1R生産)の収容卵は、人工採卵により得られた卵を用い、4月以降の生産回次の収容卵は全て自然産卵で得られたものを用いた(表1)。

生産方法は、木村ほか(2017)による循環式種苗生産を採用し、2021年に整備された環境制御型循環式生物生産システム(岩井ほか, 2022)のうち、飼育槽として屋内のコンクリート製円形水槽(容量50kL)と八角形水槽(容量100kL)、ろ過沈殿槽として自然日照条件下の円形水槽(容量50・100kL×各1面)を使用した。ろ過沈殿槽には、飼育排水に含まれるアンモニア態窒素の硝化を目的にカキ殻や多孔質ろ材(発泡ガラス製)を敷設し、その他栄養塩類を吸収させる目的で少量の緑藻類(アナアオサ)を投入した。外気温の上昇により、循環水が27℃以上に高温化する6月以降は、地下海水を冷媒として用いた水温操作により(岩井ほか, 2022)、本種の適水温帯である26~27℃を目標に適宜循環する飼育水の冷却操作を行なった。また、飼育期間中は一般水質の測定を全水槽で実施するとともに任意に抽出した3飼育槽とろ過沈殿槽内の全アンモニア態窒素、亜硝酸態窒素および硝酸態窒素の溶存濃度をポータブル吸光度計(DR2700, HACH社製)により簡易測定し、循環水中の有害な非解離アンモニアやろ過沈殿槽における硝化作用の状態を推定した。

飼育水槽の注水条件は、卵収容から日齢10前後までは止水またはろ過海水による微注水管理を行い、その後、日間0.3~0.5回転/槽の範囲でろ過沈殿槽と循環させた。循

環率は仔稚魚の生残や水質状況に応じて徐々に増加させ最大2.5回転/槽まで調節した。飼育期間中は、仔魚の浮上斃死や水面油膜の発生および蒸発による水量低下等を防止するため、水面方向に散水されるように設置した小型スプリンクラー(飛半径1~2m・各1基/容量50kL槽)を用いて微量(毎分1~2L)のろ過海水を注水した。各飼育水槽の通気は、壁面付近に長さ1mのユニホースまたはエアストーンを計8カ所、中央付近1カ所にエアストーンを配置した。ストレーナーは水槽中央に設置し、成長や循環率に合わせて網の目合いを変更した。

初回給餌は、仔魚の開口が確認された日齢3の早朝に行いスーパー生クロレラV12(以下、SV12:クロレラ工業製)による24~48時間の栄養強化(250~400mL/億個体/日)を行ったS型ワムシ大分株(以下、ワムシ)を10~20個体/mLの目標密度で与えた。水槽内のワムシ密度は、毎日朝と昼に計数し、飼育水中に残存するワムシの飢餓防止と照度調節および水質改善を目的として、自家培養した濃縮ナンノクロロプシス(細胞密度平均36.5億cell/mL)またはSV12を適量添加した。

仔魚の摂餌により、水槽内のワムシ密度が目標密度を下回った場合は、適宜栄養強化ワムシを追加給餌した。アルテミアは塩素処理により外殻を除去したユタ産アルテミアを使用し、仔魚が全長4mm以上に達した日齢10前後からふ化幼生を与え、日齢25以降は、スーパーカプセルパウダー(クロレラ工業製)による栄養強化(4~7g/千個体)後の養成個体を1~2回/日の頻度で適量を与えた。海産稚魚用配合飼料(銘柄:おとひめ)は、日齢10前後から少量の手撒き給餌を開始し、日齢20以降は、タイマー式自動給餌機(DF-220B:中部海洋開発社製)を水槽容積50kLあたりに1台ずつ設置し仔魚の成長と生残率に合わせて吐出する飼料の量と粒径および頻度を増やした。冷凍コペポダ(雅1, 2号:サイエンテック社製)は、日齢10以降から与え、仔魚の成長に応じて量と回数を増やした。また生産期間中は各槽1日あたり1回の頻度で底質環境の改善

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

と水質安定化を目的に貝化石（ロイヤルスーパーグリーングリーンカルチャ社製）または化石サンゴ（ナグラシ3号コーラルインターナショナル社製）を適量散布した。

（2）二次飼育（中間育成）および種苗出荷

一次飼育で生産した種苗は、同様のコンクリート製50kL水槽に設置したナイロンモジ網（縦2m×横3.5m×丈1.5m：容量10kL・縦4m×横4m×丈1.5m：容量24kL目合：3～5mm）に收容し、循環飼育または無ろ過の表層海水による掛流飼育（換水率：1.0～1.5回転/日）を行った。飼育初期の池替えは3～5日毎を目安に実施し、共食い防止を目的とした大小選別（スリット幅：2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5, 6, 7, 8, 10mm）を適宜実施しながら、成長に合わせて最大17面の網に展開した。循環飼育中は海水使用量の削減と水質の安定性向上を目的とした水槽管理を行うため、適宜底層に堆積した排泄物を底掃除機（かす兵衛、ヤンマー社製）で除去した。掛流飼育中は、各水槽の選別作業毎に收容魚全数を新たな水槽へ池替えし、使用済みの水槽は全排水後、高圧洗浄機による壁・底面の洗浄を行なった。掛流飼育の水槽には海水殺菌を目的として直流安定化電源（AD-8723D、エー・アンド・デイ社製）を本体とした銅イオン発生装置を設置し銅イオン濃度を50～100 $\mu\text{g}/\text{L}$ の範囲で維持した。

二次飼育開始初期の給餌は、主に市販の海産稚魚育成用固形飼料（銘柄：ノヴァ、林兼産業社製）を与え、必要に応じて冷凍コペを適量（約100g/日/網）与えた。その後成長に合わせてマダイ用EP飼料（銘柄：マダイEPメジャー日清丸紅社製）に転換し、全てタイマー式自動給餌機（さんし郎KS-05L・15L、松坂製作所社製）を用いて与えた。給餌機のタイマー設定は、毎日の日の出直後から日没直前までに所定の給餌量が吐出されるように設定した。一次飼育の取揚直後から平均全長50mmまでの日間給餌率は、総魚体重量の10%を目安に調整し、その後成長に合わせて段階的に1～2%まで減少させた。

種苗配付の要望サイズが全長50mm以上の出荷群は、全て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）を使った自動計数と外観判別による形態異常個体の間引き選別を実施した後、各群から無作為に抽出した30尾の体サイズを測定し、水産生産物譲渡規定に基づいて各

要望者へ譲渡（出荷）した。全長50mm未満の出荷群については、間引きやコンベア收容時のハンドリングストレスによって活力低下を引き起こす恐れがあったことから、形態異常個体の間引きは行わず、全数手作業による計数または重量法を用いた推定により、出荷数を把握した。

結果及び考察

（1）一次飼育（種苗生産）

一次飼育における各水槽の生産成績を表1に示した。本年度は6回合わせて4水槽から合計170千尾の種苗を取揚げた。人工授精由来の卵を使用した1R生産は、收容した4水槽中3水槽でふ化異常が観察され、いずれも日齢8までに生産中止となった。また、種苗を取揚げできた1水槽でも日齢22以降に中期減耗が生じ、生産成績は不良であった。自然産卵由来の卵を使用した2R生産以降では、收容した9水槽のうち、3水槽のみ生産に成功した。途中で生産を中止した6水槽は、4水槽が初期生残不良、2水槽が中期減耗によるものであった。初期生残不良は、いずれも循環システムによる管理を始める日齢10までに生じたことから、減耗要因は内部栄養から外部栄養への移行時に何らかの不具合が生じ、活力が著しく低下したことによるものであると考えられる。

一方、日齢30以降に中期減耗が生じた3R生産魚（F-2水槽）を魚病検査した結果、ビブリオ spp.が検出された（大嶺私信）。本生産から全面供用した環境制御型循環式生物生産システム（岩井ほか、2022）は、複数の飼育水槽で一つのろ過沈殿槽を共有する設計となっており、循環水は全ての水槽で共通の系統である。各飼育水槽とろ過沈殿槽の循環率が低く循環水の水質が種苗生産に適した状態を維持できた場合は外部攪乱要因の影響を低減できるため、生産の安定化に有利な手法であるが、飼育魚の成長にともない排泄物や有機物の供給量が増加し、循環率が高まるにつれて、安定性が相対的に低下する傾向がある。特に、本年のように生産回次が複数回に及んだ場合は、一次飼育と二次飼育の水がそれぞれろ過沈殿槽内で混合され、再び各水槽へと循環することになるため、疾病防除の観点から好ましくない状況が生じることとなる。

今回の生産におけるろ過沈殿槽内の全アンモニア態窒素の溶存濃度は、水産用水基準（水産資源保護協会、2020）

表1 令和3(2021)年度のヤイトハタ種苗生産結果.

生産回次 水槽名	1R				2R			3R		4R		5R		6R	合計 (平均)
	F-1	F-6	F-7	100-2	F-6	F-7	100-2	F-1	F-2	F-5	F-5	F-10	F-5		
水槽容量 (kL)	55				55			55		55		55		55	
生産方法 (循環/掛流)	循環				循環			循環		循環		循環		循環	
卵収容日 (月日)	3/13				4/4			4/29		6/1		7/7		8/5	
卵由来 (栽七/石垣支所)	栽七				栽七			栽七		栽七		栽七		栽七	
採卵方法 (自然/人工授精)	人工採卵				自然産卵			自然産卵		自然産卵		自然産卵		自然産卵	
収容卵															
湿重量 (g)	525	264	88	809	259	362	590	217	473	860	736	824	1,232	7,239	
収容数 (千粒)	1,173	259	179	790	501	809	1,005	301	809	1,649	1,644	1,655	2,752	13,525	
卵径 (mm)	ND				0.90	0.89	0.89	0.91	0.91/0.87	0.88/0.82	-	-	-	0.87	
gあたり卵数 (粒/g)	ND				1,933	1,940	1,584	1,389	1,389/1,931	1,832/2,053	1,804	2,008	1,816	1,782	
正常胚発生率 (%)	ND				-	-	-	98	98.2/100	99.6/99.0	96.2	100.0	90.9	96.3	
ふ化率 (%)	7.6	4.1	0.0	5.0	79.5	18.4	8.7/35.0	54.1	71.6/20.3	44.4/-	45	75.3	47.6	42.0	
ふ化仔魚収容数 (千尾)	89	11	-	39	398	149	175	163	301	811	740	1,245	1,309	5,430	
開始密度 (千尾/kL)	1.6	0.2	-	0.4	7.2	2.7	1.8	3.0	5.5	14.7	13.5	22.6	24.7	8.2	
取揚成績															
取揚日 (産後) (月日)	4/20	3/17	3/14	3/19	5/11	4/9	5/19・5/26	5/10	6/3	7/6	8/10	7/19	8/12	-	
日齢 (日)	37	3	0	4	37	5	41・48	11	35	35	34	10	7	-	
平均全長 (mm)	20.7	-	-	-	19.0	-	17.6	-	-	14.1	15.2	-	-	17.3	
推定取揚尾数 (千尾)	10.0	-	-	-	35.8	-	83.3	-	-	40.6	<1.0	-	-	169.7	
生産密度 (千尾/kL)	0.18	-	-	-	0.65	-	0.83	-	-	0.74	-	-	-	0.6	
生残率 (%)	-	-	-	-	9.0	-	47.5	-	-	5.0	-	-	-	20.5	
給餌等															
濃縮ナンノ (L)	51.5	3.0	-	9.0	63.0	4.3	126.0	15.5	66.0	70.5	58.0	19.0	10.0	495.8	
淡水クロレラ (L)	4.2	0.2	-	0.8	3.2	0.4	6.9	1.4	2.4	2.0	8.3	0.6	0.4	30.8	
S型ワムシ大分株 ¹ (g)	2,029	135	-	448	3,307	291	8,136	610	5,963	5,413	4,239	600	360	31,531	
ふ化アルテミア ² (g)	545	-	-	-	376	-	1,956	-	1,111	2,601	2,015	-	-	8,604	
養成アルテミア ³ (g)	1,732	-	-	-	3,788	-	6,998	-	2,317	1,077	-	-	-	15,912	
冷凍コペポダ (g)	3,580	-	-	-	5,104	-	-	6	2,794	4,392	2,280	-	-	18,156	
配合飼料 (g)	4,192	-	-	-	7,340	-	27,056	3	2,494	6,680	2,358	-	-	50,123	
貝化石 (g)	10,500	600	-	1,600	10,800	900	22,800	2,700	5,700	9,300	9,300	2,700	1,200	78,100	
化石サンゴ (g)	-	-	-	-	-	-	2,100	-	3,900	3,600	300	-	-	9,900	
一般水質(平均値)															
水温 (°C)	26.1	25.8	25.1	25.8	26.0	25.0	26.1	26.3	26.8	27.2	27.4	27.5	27.0	26.3	
溶存酸素量 (mg/L)	7.05	8.30	8.33	8.08	6.82	7.98	6.38	7.01	6.59	6.56	6.42	6.86	7.07	7.19	
pH (Unit)	7.81	8.05	8.01	7.85	7.73	8.12	7.59	7.99	7.69	7.65	7.79	7.99	8.10	7.87	
塩分 (psu)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
飼育用水	ろ過海水														

*1: 65.0g/億個体 *2: 1,690g/1,000万個体 *3: 2,590g/1,000万個体.

表2 令和3(2021)年度のヤイトハタ二次飼育結果.

生産回次	一次飼育		二次飼育											サイズ選別数				
	飼育日数	生産数 (千尾)	飼育日数	育成数			処分数		減耗数			給餌量			生残率 ²			
			日数	最大	配付	余剰	形態異常	小型	生産調整	斃死	疾病	共食 ¹	EP	DP	合計	(%)	(尾)	
1-1	37	10.0																
2-1	37	35.8	62~218	118,800	58,805	771	475	0	0	27,314	0	31,342	734	-	19	753	50.5	204
2-3	41・48	83.3	(100~256)															
4-1	35	40.6																

*1: 共食=最大育成数- (配付+余剰+形態異常+小型+斃死+疾病) *2: 生残率= (生産数+形態異常+小型) / (最大育成数-生産調整) *100.

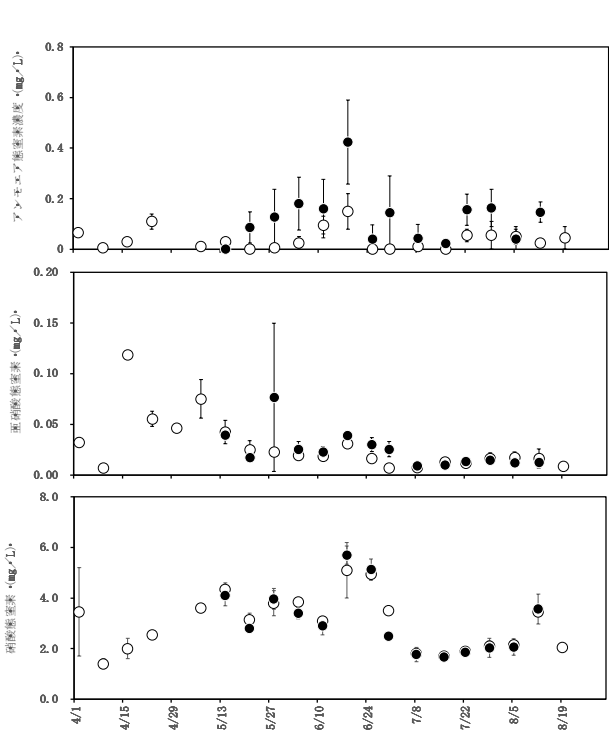


図1 ヤイトハタ循環式種苗生産における三態窒素濃度の変化。白点はろ過沈殿槽、黒点は飼育水槽の平均値を示す。それぞれの誤差範囲は標準偏差を示す。

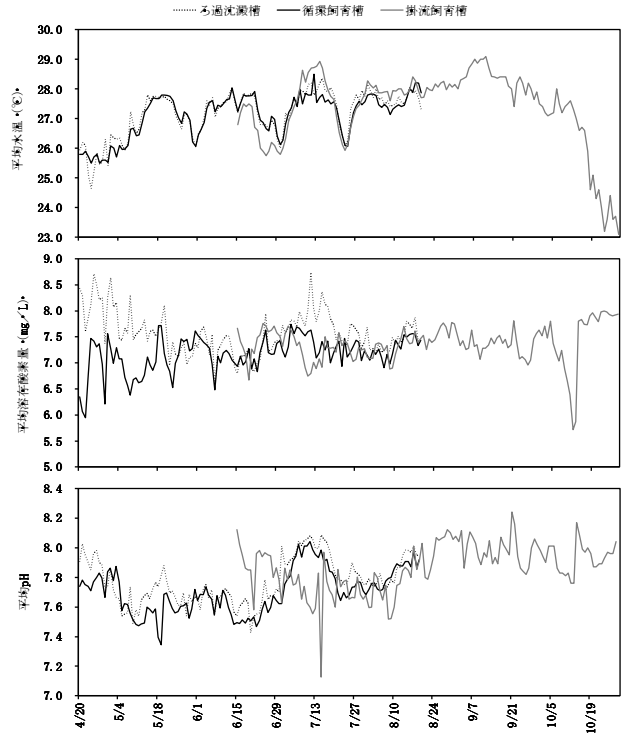


図2 ヤイトハタ循環式種苗生産における二次飼育期間中の一般水質の変化。

における海域の基準値 (0.44mg/L・水温 30°C・塩分 30psu・pH8.0) を下回っており (図 1), 毒性が生じる可能性は軽微であったことから, 一次飼育中の仔魚への影響は少なかったものと考えられる. 従って, 確認された中期減耗の主要因はビブリオ病を発症した二次飼育水の混入から水平感染が生じたものと推定され, 実際, 後述する二次飼育中の死亡魚が最も多かった時期と 3R 生産魚の減耗时期はほぼ一致していた.

今後の対策方法としては, 可能な限り一度の生産回次で要望数を満たすだけの種苗を全て取り揚げ, 同時に二次飼育へ移行させること, 止むを得ず一次飼育と二次飼育を並行する場合は, 一次飼育への循環水の供給口に紫外線殺菌装置等を設置することがあげられる. 銅イオン殺菌装置については副次的に生じる銅化合物が, ろ材等に吸着され長期に渡って残存する可能性があり, 仔魚へ与える毒性の観点から循環経路内への設置は厳禁である.

本システムにおける新鮮なる過海水の使用は, 水槽上部に設置した小型スプリンクラーからの注水のみであり, 1日当たりの使用量は 1.4~2.8kL, 取り揚げまでに 38 日間を要した場合は約 53~106kL である. これは, 仮に 50kL 水槽で 100 千尾の種苗を取り揚げた場合, 種苗 1 尾当たり 2~4L の海水コストで生産できる計算となり, 過去に実施されたヤイトハタの掛流生産時 (25~75L) に比べるとそのコスト削減効果はかなり大きく (木村ほか, 2017), 環境負荷の低減や種苗生産施設の安定した運用を図る上で極めて貢献度の高い生産方法である. しかし, 最も重要な役割を担う過沈殿槽については, 硝化細菌による水質浄化作用だけでなく, アナアオサや他の有用生物による浄化の機序が未だ解明されていない. また, これまでの生産履歴から本手法で生産した種苗の活力は, 従来の掛流生産時の種苗に比べて高く, 取揚作業時に死亡する小型魚の割合も少ないことから, 明らかな種苗性の向上が認められるものの活力向上の原因については解明されていない. 引き続き生産種苗の質的評価を行いながら, 本システムの利点と更なる安定化のための技術開発を行い, 掛流生産に比べて環境負荷の少ない持続的な手法として確立する必要がある.

(2) 二次飼育 (中間育成) および種苗出荷

二次飼育期間中の生産成績を表 2, 期間中の循環飼育に

おける三態窒素の溶存濃度の変化を図 1, 一般水質の変化を図 2 にそれぞれ示した. 飼育日数は, 218 日間に及び期間中は計 204 回の大小選別を実施した. 期間中に与えた給餌量の合計は 753kg であった. 飼料種別の重量内訳は, EP (単価: 346~437 円/kg) が 97.0% 冷凍コペ (単価: 2,000 円/kg) が 2.5% であった. また出荷魚の総重量は 811kg であったことから, 出荷魚 1.0kg あたりの生産に要した飼料は 0.93kg と推定され, 共食いで被食された個体も数多く存在した可能性が示唆された.

出荷選別作業中に間引いた形態異常魚と小型魚を含む出荷魚の生残率は 50.6% であった.

毎日の死魚回収で死亡が確認された個体は, そのうち 23.0% と少なく大半が死魚を回収できなかったことから, 共食いによる死亡が主な減耗要因であると推察された. 特に, 2R 以降の生産において飼育開始 30 日以内の頻繁な後追い行動と共倒れによる斃死魚が確認され, 高い減耗率を示した (図 3). また, 1 日あたり 1 千尾を超える大量の死魚が計 4 日間で確認され, 魚病検査の結果, ビブリオ spp. が検出された (大嶺, 私信).

共食いは, 本種の二次飼育における最も主要な減耗要因であり, 選別作業の間隔を短くすることである程度低減できるとされるが, その生残率は高くても 70% 程度が限界である. また, 選別作業時には必ず前日の餌止め措置が必要な上, 当日は小割網の回収と選別機への移槽作業等によってハンドリングストレスが生じる. 従って, 現行の手法では選別強度を高めるほど稚魚の摂餌機会は減少し, 成長速

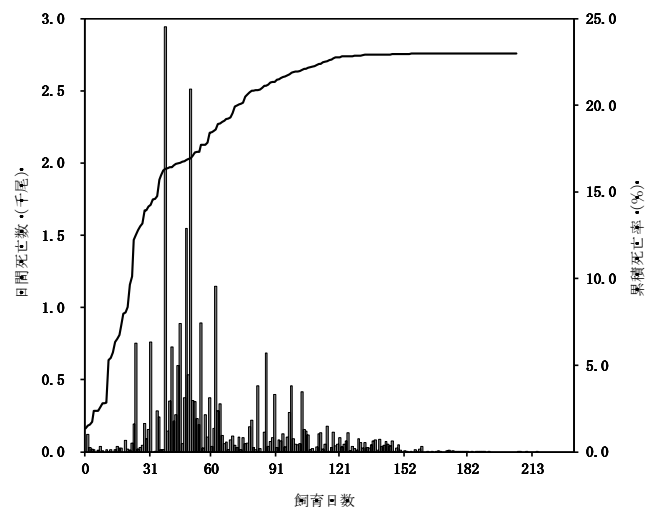


図 3 令和 3 (2021) 年度ヤイトハタ二次飼育における死亡魚の発生状況. 棒グラフが日間死亡数を示し, 折れ線が累積死亡率を示す.

度に負の影響が生じる恐れが高いことから、今後はより高い生残率と成長速度を実現可能な新たな選別手法の開発が求められている。

ビブリオ spp.による大量死が生じた期間は、いずれも循環飼育を主とした水槽管理を実施しており、1日あたりの海水使用量は掛流飼育を併用した前年の生産に比べて20分の1以下に削減した時期である。各飼育槽の底面に堆積した排泄物は、定期的な底掃除作業によりある程度除去し、全アンモニア態窒素の溶存濃度のモニタリングを通して基準値を下回っていることを確認していたが、育成魚のビブリオ保菌量等は確認しておらず今回実施した換水頻度の減や水槽洗浄作業の減による水質管理がビブリオ病の発症にどのような影響を与えたか不明である。一般的にビブリオ属菌は、他の多くの条件性病原菌と同様に環境水中に常在すると考えられ、その感染成立と流行は宿主の抵抗力によって決定される(小川・室賀, 2012)。対策としては、飼育環境の改善が基本であることから、極端な換水減や排泄物の残存が環境水中の菌量増加の一助となり、発症を招いた可能性は否定できない。

今後は、循環飼育による二次飼育の適正な換水量や水槽洗浄作業の頻度を検証しつつ、各種の条件性病原菌を防除可能な至適環境の維持とコスト削減を両立した飼育管理手法の検討が必要である。

2021年のヤイトハタ種苗の配付は2021年6月23日～10月18日にかけて行い、平均全長26～149mmの種苗を59,600尾、県内漁業関係者等に対し供給した。

文 献

- 岩井憲司, 木村基文, 山内 岬, 2022: 環境制御型循環式生物生産システムの整備について. 沖縄県栽培漁業センター事業報告書 31, 74-77
- 木村基文, 山内 岬, 岸本和雄, 2017: ナンノクロロプシス培養水槽をろ過沈殿槽として利用したヤイトハタの循環式種苗生産. 沖縄県水産海洋技術センター事業報告書 76, 126-134
- 室賀清邦 2012: 細菌病「改訂・魚病学概論, 初版」(小川和夫, 室賀清邦編), 恒星社厚生閣, 東京, 55-77.