

【事業報告】

令和5年度 鰹一本釣り漁業に用いる活餌の安定供給技術の開発 (水産海洋研究費(県単独事業))

田村 裕*, 新垣 優志朗¹

Seed production technique of live bait species for Bonito pole and line fishing.

Yu TAMURA*, Yushiro ARAKAKI¹

長日処理によるミズンの産卵期間延長試験を行った。対照区では最も大きなピークが夏季に見られたのに対し、長日区では秋季に見られたことから、長日処理により産卵のピークをずらすことができると示唆された。種苗生産期のコスト削減のため、アルテミアの適正給餌時期の検討を行ったが、試験中のワムシ生産不調によりワムシ給餌量が不足し、アルテミア餌料そのものによる成長や生残率への影響は判断できなかった。また、培養コペポダを用いたワムシ給餌期間の短縮を検討したところ、今回の培養手法では十分量のコペポダが培養できなかったことから、ワムシの代替ではなく、補助的な餌料として使用し、生残率を改善して1尾あたりのコストを削減する方法がよいと考えられた。適正な取揚げサイズの検討を行ったところ、全長29mmと36mmの間で、種苗生産における取上げ時の死亡率が大幅に減少することから、取上げ適期は少なくとも体長36mmに達してからと推定された。日齢115までの、餌料費のみの種苗生産単価を算出したところ、培養コペポダ区(平均全長78.0mm)で16.7円/尾、標準手法区(平均全長60.1mm)で9.4円/尾であった。中間育成期のコスト削減試験を行い、配合飼料の67%の量を単価の安いマッシュと魚卵で代替が可能であることと、太陽光発電を利用して、海面生け簀で自動給餌機による配合飼料の給餌とLEDライトによるプランクトン集集を行うことによって、生け簀での給餌にかかる人件費を削減できる可能性が示唆された。

鰹一本釣り漁業では、漁で使用する活餌の量に漁獲効率が大きく左右されるため、十分量の活餌の確保が極めて重要である。しかし活餌の漁獲量は、資源状態の悪化や、活餌を調達する追込網グループ構成員の高齢化・後継者不足により年々減少しており、活餌が十分調達できずに、一本釣り漁業を廃業する漁船も出てきている。そこで、本研究では活餌の安定供給に向け、活餌として利用可能な魚種の一つであり、種苗生産の比較的容易なミズンを対象種に選定し、活餌の需要が大きい冬春期、夏期に供給する技術と、低コスト中間育成技術の開発を目的とした。2022年度には種苗生産と次世代の親魚養成に成功し、完全養殖が可能となった。2023年度は、供給期間調整のための産卵期間の延長と、生産コスト削減の方法を検討した。

材料及び方法

(1) 採卵時期の延長

先行研究により、ミズンの沖縄島での産卵期は3~8月で、2~3ヶ月で全長約5cm、4~5ヶ月で全長約10cm(6ヶ月で標準長約10cm)になるとされる(Oka and Miyamoto 2015)。種苗生産により、採卵の3ヶ月後に全長5cmの活餌として

供給することを想定した場合、冬春期供給には9~2月頃、夏期供給には4~6月頃に採卵が必要となる。

2022年度の天然の当歳魚を用いた予備試験では、日長が13時間以上となる4月下旬~8月上旬に産卵があり、親魚約100尾での浮上卵量は最大400gであった。

2022年度及び2023年度の試験では、室内30t水槽2面に長日区と自然日長区の2試験区を設定し、2022年産の親魚を、2022年12月15日に約400尾をそれぞれの試験区に收容し、2023年3月23日に100尾をそれぞれに追加收容した。2区ともに、砂濾過海水に地下浸透海水を混合して温度調整(2022年12月15日~2023年3月31日、6月30日~9月22日、2024年1月11~31日に地下浸透海水を添加し、水温が20℃以上・30℃以下となるように調整)を行い、長日区には投光器(500W白熱灯)3基で日長操作(2022年12月15日~5月25日、8月1日~12月27日、1月9~31日・明期13.5時間、6時30分~10時と15~20時に点灯)を行った。なお、朝夕の種苗生産棟内の照度が低いことから、照度条件を揃えるため、自然日長区にも、8~10時、15~18時に同様に点灯を行った(図1)。

水槽中央から水位調整柵までホース(内径38mm 外径

*E-mail: tamuray@pref.okinawa.lg.jp, 石垣支所(現所属: 八重山農林水産振興センター農林水産整備課)

¹現所属: 石垣支所

45mm, ホース口の位置は水面下約 5cm 以内)を設置し, サイフォンで集卵した. 2023 年 2 月 9 日から 12 月 27 日の平日のみ採卵ネットを設置し, 産卵を確認した.

(2) 種苗生産期のコスト削減技術

プランクトン食性であるミズンは, 成魚になってもワムシなどの生産コストの高い生物餌料を摂食するため, 配合飼料への効率的な切り替え時期を検討する必要がある. 2022 年度に, 作業時間と飼料費の両面でワムシの給餌コストが大きな割合を占めていることが分かったため, ワムシの給餌期間や量の削減可能性を検討した. また, 単価の高いアルテミアの適正給餌時期を検討することとした. さらにコスト削減に最も有効な生残率の改善に向けて, 適正取り揚げサイズの検討を行った.

1) アルテミア適正給餌時期の検討

1t アルテミア孵化槽を改造した水槽を用いてミズンの種苗生産を行い, ユタ産アルテミア (OSI-139, 太平洋貿易) の給餌期間の異なる 3 試験区 (日齢 10-29, 20-39, 30-49) を設定し, 成長・生残を比較した. アルテミア以外の餌料系列はミズンの成長に合わせてワムシ, 冷凍コペポダ (焼 1 号, サイエントック), 配合飼料 (おとひめ (EP B1, B2, C1, C2), 日清丸紅; 粗たん白質 48.0%以上, 粗脂肪 12.0%以上, 粗繊維 2.0%以下, 粗灰分 17.0%以下, カルシウム 2.2%以上, リン 1.7%以上)) を用いた.

2) 培養コペポダ利用によるワムシ給餌時期の短縮

コペポダを屋外水槽で粗放的な方法で培養し, 種苗生産水槽に給餌することにより, ワムシの給餌期間が短縮できるかを検討した.

水深の浅い 50t 屋外水槽 4 面を用い, 培養開始時に各水槽に約 30~40kg の天然アナアオサを投入して有機物と葉上性コペポダを供給した. 微注水・微通気を行い, 緩効性肥料 (くみあい CDU 複合燐加安 S555, 全農) 100g を約 10 日間に 1 回, マッシュ 200g を 1 週間に 1 回投入してコペポダを培養した.

ミズンの種苗生産は 60t 水槽を用いて, 標準手法区 (60t-3) と培養コペポダ区 (60t-1) の 2 試験区を設定し, 成長・生残を比較した. 標準手法区には培養コペポダを給餌せず, ワムシを日齢 1~69 まで給餌した. 培養コペポダ区には, コペポダ培養水槽のコペポダを LED ライトで増集し, 内径 10mm 外径 13mm のシリコンチューブを用いて, サイフォンで飼育水ごと注入した. 注入は卵収容から取り揚げまで常時行った. ワムシは日齢 1~36 まで給餌した. ワムシと培養コペポダ以外の, アルテミア, 冷凍コペポダ, 配合飼料の給餌条件は同じとした.

3) 適正な取り揚げサイズの検討

ミズンは卵径が大きく, 種苗生産は比較的容易であるが, 鱗が剥がれやすくハンドリングに弱いため, 取り揚げ時期が

早すぎると大量に減耗してしまう. そこで, 種苗生産における適正な取り揚げサイズの検討を行うこととした.

2022 年度に, 全長に対する体高の割合と全長との関係を調査したところ, 仔魚は全長 32~33mm を境に体高の発達が緩やかになり, 成魚的体形の稚魚へと変態することが分かっている (田村ほか, 2023). そこで, 2) の試験において, 全長 32~33mm の前後を含む時期 (日齢 71, 79, 93, 114) に取り揚げを行って取り揚げ死亡率を測定した. 種苗生産途中での取り揚げは, 水槽にもじ網を沈め, 魚を追いつ込んで捕獲した. 種苗生産最後の取り揚げは, 水槽の水位を完全に落として, 塩ビパイプとネットで作った追込み網に追いつ込んでから, カゴやザルを使って取り揚げた. 取り揚げた魚は 1tFRP 水槽で 1 週間飼育し, 取揚死亡率を測定した.

(3) 中間育成期のコスト削減技術

1) 魚卵とマッシュの利用

中間育成期のコスト削減技術として, 低コスト餌を用いた陸上水槽での給餌試験を実施した. 餌としては, 本県の種苗生産事業所 (栽培漁業センター) で大量に入手でき, 冷凍保存が可能なヤイトハタ卵と, 配合飼料よりも安価なマッシュ (ブリモイストライト (はまち用配合飼料), 日新丸紅; 魚粉 + オキアミミール 55%, 植物性油粕類 29%, 糟糠類 10%, 穀類 3%, ビタミン類・金属類添加) を使用した. 試験区は卵・マッシュ区と対照区である配合飼料区の 2 区とし, 各区 2 水槽ずつ設定した. 供試魚には (2)②の培養コペポダ利用試験で生産し, 取り揚げ試験に使用後, 2tFRP 水槽で飼育していた魚を用い, 卵・マッシュ区に 252 尾 (平均体重 2.06g) と 249 尾 (同 2.17g), 配合飼料区に 251 尾 (同 2.5g) と 249 尾 (同 2.18g) の魚を収容した. 開始時の日齢は 87~106 で, 試験は 10 月 3 日~12 月 19 日までの 76 日間行った. 餌は試験開始時の魚体重の 5%程度になるように設定し, 試験期間中同じ量を与えた. ヤイトハタ卵の水分量は約 90%と仮定した.

卵・マッシュ区には, 2022~23 年に石垣支所で自然産卵したヤイトハタの冷凍卵を 60g/日, 朝に 1 回手まきした. また, マッシュを 21~27g/日, 3~4 回に分けて手まきした. ただし, 休日は, 配合飼料 (おとひめ C1) を 27g/日, フードタイマー (観賞魚用自動給餌機, ニッソー) で 9 回に分けて自動給餌した.

配合飼料区には, 毎日配合飼料 (おとひめ C1) を 27g/日, フードタイマーで 9 回に分けて自動給餌した.

月に 1 回各水槽から 20 尾採取し, 全長と体重を測定した. 試験開始時と終了時の体重から日間増重率を求めた.

$$\text{日間増重率} = ((W_1 - W_0) \times 100) / (((W_0 + W_1) / 2) \times d)$$

W_0 : 開始時の体重 (g), W_1 : 終了時の体重 (g),
 d : 日数 (無給餌日を含む)

統計学的には各区の体重変化の比較は, Friedman 検定およびペアワイズ t 検定 (Bonferroni 補正) にて検討し, $p < 0.05$

を統計学的有意差ありとして判定した。統計解析ソフトはR (version 4.3.1) を用いた。

2) 海面生け簀における太陽光発電を利用した自動給餌および蜆集プランクトンの利用

中間育成期の省コスト化に向けて、海面生け簀での中間育成の可能性を検討するため、太陽光発電と蓄電池を用いた自動給餌機で人件費を削減する試験と、LED ライトで蜆集した天然プランクトンを餌として利用する試験を実施した。

太陽光発電機には 20W ソーラーパネル (おたすけソーラーパネル, ネクストアグリ(株)), 12V 鉛バッテリー専用, 最大出力 20W, 最大出力動作電流 1.09A) を用い、蓄電池には 12V マリン用メンテナンスフリーバッテリー (ACDelco) を用いた。3WAY インバーター (大橋産業(株), 入力電圧 DC12V, 出力電圧 AC100V, 定格出力 400W, 出力周波数 55Hz) で 12V を 100V に変換し、デジタルプログラムタイマー (PT70DW, REVEX) を用いて、自動給餌機 (さんし郎 KS-05, 松阪製作所) と 15WLED ライト (大進, AC100V, 1700lm) の給電を制御した。

試験区は自動給餌機区と LED ライト区の 2 区を設けた (図 2)。2m×2m×1.5~2m (目合い 4.2mm または 3mm) のもじ網を使用し、外側に 5m×5m×5m (目合い 50mm) の生け簀網を張って肉食魚の侵入を防止した。

供試魚には (2) 2) の培養コペポダ利用試験で生産した魚を用い、9 月 12 日と 9 月 26 日の 2 回に分けて、培養コペポダ区と標準手法区からほぼ同数ずつになるよう 2 区に収容した。2 回の合計で自動給餌機区に 1028+1093=2121 尾、LED ライト区に 1020+1067=2087 尾を収容した。

自動給餌区については給餌量が魚体重の 10%以上になるよう、毎日 2~3 分×6 回自動給餌機を起動して稚魚用配合飼料 (ノヴァ稚魚 EP-0, 林兼産業, 粒径 1.8mm) を給餌した。また、LED ライト区については、餌は平均 7.8 日 (1~16 日間隔) に 1 回 200g のマッシュを手まきするのみで、LED ライトを蓄電池の電圧を見ながら毎日 30 分×6~9 回 (19~5 時) 点灯した。マッシュの週 1 回の手まきは自動給餌機区にも実施した。

試験期間は 9 月 12 日~12 月 15 日で、終了時の日齢は 160~179 であった。魚の半分数は 9 月 26 日に追加収容した。沖出し 50 日目と 94 日目に網替えと計数、サンプリングによる計測を行い、生残率と日間増重率を計算した。

結 果

(1) 採卵期間の延長

2022 年 12 月 15 日に親魚を水槽に収容した時の平均全長は 66.5±8.6mm (日齢 192) であった。対照区、長日区ともに採卵ネットを設置した 2023 年 2 月 9 日に初回産卵を確認した。対照区では 3 月~5 月, 6~7 月, 10~11 月の 3 回のピークが見られ、最大産卵量は 7 月 2 日の 223.6g であった。長日区ではピークは 3~4 月, 5~7 月, 9~11 月の 3 回で、最大産卵量は 10 月 11 日の 179.5 g であった (図 3)。

(2) 種苗生産期のコスト削減技術

1) アルテミア適正給餌時期の検討

5 月 9 日に 1t-1 (日齢 10-29 区) に 50.0g、1t-2 (日齢 20-39 区) に 50.0g、1t-3 (日齢 30-49 区) に 53.0g の受精卵を収容し、日齢 55 で取り上げて、日齢 86 まで 1tFRP 水槽で飼育した。

給餌時期による成長率や取り揚げ直前までの生残率には明らかな傾向は見られなかったが (表 1, 図 4), 種苗生産後半にアルテミアを給餌した区では (日齢 20-39 区と日齢 30-49 区), 日齢 10-29 区よりも、取上死亡率 (取上から 1 週間以内の死亡率) が低くなる傾向があった (表 1)。

2) 培養コペポダ利用によるワムシ給餌期間の短縮

6 月 18 日~22 日, 26 日~7 月 7 日 (合計 17 日間) に 2 区にそれぞれ受精卵約 20 万個を収容した。日齢 115 で、培養コペポダ区では 4079 尾、標準手法区では 11617 尾を取り揚げた。生残率は標準手法区が 5.9%と培養コペポダ区の 3.1%よりも高く、平均全長は培養コペポダ区が 78.0mm と標準手法区の 60.1mm を上回った (表 2, 図 5)。培養コペポダ飼育水の注入口には多くのミズンが集まり、採餌行動が観察された。

3) 適正な取り揚げサイズの検討

2022 年度の試験で、ミズンの仔魚は全長 32~33mm で成魚的体形の稚魚へと変態することが明らかとなっている。

今回の試験では、全長 32~33mm の前後を含む時期に取り揚げを行う予定であったが、予定していたよりも成長が早く、取り揚げ時期が遅くなってしまった。そのため、比較的小型のサイズで取り揚げた 2022 年や 1t 水槽での取り揚げ結果も含めて、適正な取り揚げサイズの検討を行った。平均全長 24.8mm (日齢 56:2022 年) で取り揚げた場合の取り揚げ 1 週間以内の死亡率は約 66.3%と高いが、28.2~29.1mm (日齢 55:2023 年) では約 28.9~46.6%, 36.1mm (日齢 71:2023 年) では 4.7%と、取り揚げ死亡率は 29mm と 36mm の間で急激に減少した (図 6)。

4) 種苗生産単価

60t 量産水槽における種苗生産 (日齢 115 まで) から、餌料費のみの種苗生産単価を算出したところ、培養コペポダ区 (平均全長 78.0mm) で 16.7 円/尾、標準手法区 (平均全長 60.1mm) で 9.4 円/尾であった (表 4)。

(3) 中間育成期のコスト削減技術

1) 魚卵とマッシュの利用

試験開始時の各区の平均全長は 60.0~64.5mm であった。試験期間中の体重は配合飼料区が卵・マッシュ区よりも有意に高かった。日間増重率は配合飼料区が卵・マッシュ区よりも平均で 0.27 ポイント高かったが、生残率は卵・マッシュ区の方が平均で 14.1 ポイント高かった。

2) 海面生け簀における太陽光発電を利用した自動給餌および蜆集ブランクtonの利用

自動給餌機区の沖出し 94 日後の生残率は 48.6%, 日間増重率は 1.2%であった。LED ライト区は、網替時のミスで生け簀網のロープが外れ、ほとんどの魚が逃亡したため、沖出し 50 日後に中止した。94 日後の平均体長は自動給餌機区で 71.4 ± 19.0 mm, LED ライト区に残った 13 尾は 76.0 ± 7.4 mm と大きな差はなかった。

3) 中間育成生産単価

海面生け簀における中間育成（日齢 85～179）から計算した、自動給餌区（終了時平均全長 71.4mm）における餌料費のみの中間育成単価は 20.1 円/尾であった（表 4）。

考 察

(1) 採卵期間の延長

今回の試験では、長日処理による産卵期間延長の効果は確認されなかったが、対照区では最も大きなピークが夏季に見られたのに対し、長日区では秋季に見られたことから、長日処理により産卵のピークをずらすことができると考えられる。今後は、年間同じ日長ではなく徐々に長日化することで、秋のピークをもっと高くすることができるかどうかを試してみてもよいと思われる。また、年間同じ日長に設定している長日区にも卵量の季節変動が現れたことから、日長だけでなく、水温や地下浸透海水の影響で産卵が制御されている可能性もあり、精査が必要である。

さらに、今回はどちらの区も 2022 年度よりも産卵量が少ないことから、親魚による食卵が行われた可能性が高い。産卵が行われるのは、既存の知見では 22 時前後という報告がある（鯉島、私信）。長日区では朝 6:30 から点灯しているため、親魚による食卵が対照区よりも長時間行われており、そのせいで見かけの産卵量が少なかった可能性がある。さらに、対照区にも暗幕を設置していなかったため、長日区点灯時は非点灯時よりも 3lux ほど明るくなることが分かっており、食卵の可能性は否定できない。サイフォンによる集卵は時間がかかり、その間に食卵される可能性が高いと考えられるため、オーバーフロー式により効率的に集卵する必要がある。

(2) 種苗生産期のコスト削減技術

1) アルテミア適正給餌時期の検討

水槽内のワムシ密度は日齢 20 頃までは 10 個/1cc を上回っていたが、その後日齢 22～23, 32, 34～35 にワムシの生産不調があり、その間に給餌量が不足した。また、注水の回転数 0.6 頃（日齢 29）からは、給餌したワムシの流出量が多くなり、翌日にはほぼ 0 になる。種苗生産後半にアルテミアを給餌した区では（日齢 20～39 区と日齢 30～49 区）、ワムシが足りない時期にアルテミア給餌により餌量が多くなったことが、活力を増加させ、取上死亡率低下につながった可

能性がある。

2022 年の種苗生産試験において、5%ホルマリン海水で固定した仔稚魚の平均口径を測定したところ、開口した日齢 3（平均全長 5.8mm）には $509\mu\text{m}$ 、日齢 8（平均全長 8.2mm）には $647\mu\text{m}$ 、日齢 13（平均全長 11.6mm）には $913\mu\text{m}$ であった。マダイではホルマリン固定による収縮率が、ふ化仔魚で 15%前後、80 日目の稚魚で 1%程度との報告がある（福原 1979）。今回の標本については収縮率を調べていないが、マダイと同様の 15%の収縮率と仮定し、口径の半分～3/4 サイズの餌を摂餌できるとすると、平均全長が $11.6\text{mm} \div 0.85 = 13.6\text{mm}$ を超える頃に、口径は $913 \div 0.85 = 1074\mu\text{m}$ を超え、全長 400～800 μm のアルテミアふ化幼生や全長 500～1500 μm の冷凍コペポダの一部を摂餌できると考えられる。2023 年の試験では、日齢 9 で平均全長が 13.9mm となったことから、理論的にはその頃からアルテミアふ化幼生を利用することが可能である。一方で、本種は成魚になってもアルテミアを摂食するが、コスト面からはできるだけ早く配合飼料に切り替える必要がある。

今回の試験ではワムシ給餌量が不足してしまったことから、アルテミア餌料そのものによる成長や生残率への影響を判断することはできないが、一般論としては、アルテミアの効率的な給餌時期は、餌の要求量が増える種苗生産後半の時期に設定するのがよいと考えられる。

2) 培養コペポダ利用によるワムシ給餌時期の短縮

培養コペポダ区では、日齢 115 に取り上げた際の生残率が標準手法区の 1/2 程度であり、平均全長は 17.9mm 大きかった（表 2）ことから、後半に収容した卵が、まだ成長しきっていない日齢 18～28 にワムシ給餌が停止し、生き残らなかった結果、密度が低くなって成長率が相対的に高くなった可能性が考えられる。

また、培養コペポダの供給量を 7 月 25 日の 10 時 20 分と 8 月 4 日の 19 時 30 分に計測し、推定供給個数を計算したところ、約 60.2 万個/日・水槽であり、十分な量ではなかった。従って、今回の培養手法を用いる場合は、ワムシの代替ではなく、補助的な餌料として使用し、生残率を改善して 1 尾あたりのコストを削減する方法がよいと考えられる。

今回の試験では、陸上水槽で標準手法を用いた場合、4 か月弱で全長 60.1mm 程度に成長し、餌料代 9.4 円/尾で生産することができた。鯉一本釣り漁業の活餌としてはちょうどよいサイズであるが、今回は作業にかかる人件費や電気料金、施設の維持経費を含めたコスト計算を行っていないことから、種苗生産事業として継続して実施するためには、これらを含めて、少なくとも 1 尾 3 円以下に抑える必要がある。また、宮古地区と八重山地区の年間必要量は合計 36t であり、この内の何割かをまかなう必要があることから、現時点では実現可能性は低い。一方、鮪延縄漁業の活餌としては小さすぎるが、培養コペポダ区では 78.0mm にまで成長していたことから、餌量を増やすことで、より大型の種苗を供給することは可能であると推定される。鮪延縄で適当とされる

100mm まで育てて、1 尾 60～70 円で生産ができれば、利用される可能性がある。

3) 適正な取り揚げサイズの検討

全長 29mm と 36mm の間で、取上げ時の死亡率が大幅に減少することから、取上げ適期は少なくとも体長 36mm に達してからと推定される。この結果は令和 4 年度に報告したミズン仔魚の体型変化のサイズと一致しており、本種は変態の前後にハンドリングへの耐性が高まると推定される。仔魚の発達過程の観察から、仔魚の体高が高くなるとともに消化管の前半分が肥大して胃のような器官が出現することが分かっており、この時期に消化吸収能が増大し、ストレス耐性が増していると推察される。今回の知見を参考とし、今後、仔稚魚期の消化器官の発達と消化酵素活性の変化の関連性を明らかにすることで、種苗生産における給餌方法の最適化に役立てることが可能である。

なお、全長 29mm 以下は 1t 小型水槽で排水口から種苗を取り揚げ、36mm 以上は 60t 量産水槽で水位を下げずにもじ網を使って取り揚げた場合と、60t 量産水槽と 1t 小型水槽の両方で水位を下げて、追込み網、カゴ、ザルを使って取り揚げた場合が混在しており、生産手法や取り揚げ手法の違いが死亡率に影響した可能性があることから、今後は手法を統一した試験を行う必要がある。

(3) 中間育成期のコスト削減技術

1) 魚卵とマッシュの利用

成長率と生残率が逆の結果になった理由は不明であるが、配合飼料区では常時フードタイマーを使用していたため、餌が一気に落下して、小型個体にいきわたらず、生残率が低下した可能性がある。その結果、1 個体あたりの餌量が多くなり、成長率が高くなったと考えられる。

今回の結果から、配合飼料の 67%の量をマッシュと魚卵で代替した場合でも、2.5 カ月で 60mm から 90mm 程度まで成長することが明らかになった。

ただし、配合飼料の自動給餌よりも、餌を手まきする卵・マッシュ区で作業量が多いため、他の作業のついでに給餌するなど人件費の削減ができれば、給餌コストの削減方法の 1 つとして利用できる。また、将来的に、かつお節加工残滓などを利用すれば、さらに餌代が削減できると考えられる。

2) 海面生け簀における太陽光発電を利用した自動給餌および蟬集プランクトンの利用

自動給餌機と LED ライトへの給電の制御には当初クオート式のアナログタイマーを使用していたが、インバーターの周波数が 55Hz であったため、毎日 1.5～2 時間のずれが生じた。そこで、デジタル式タイマーに替えたところ、ずれは生じなくなった。このことから、クオート式のタイマーを使用しないか、周波数が 60Hz のインバーターを使用する方がよいと考えられる。

2022 年度の試験では、30W の LED ライトを使用したと

ころ、12 月頃に天候不順で電圧不足になってしまったことから、今年度は蓄電池電圧を測定し、機械とライトの起動を定期的に確認した。自動給餌機区では、1 日 18 分の給餌機起動で試験期間中に電圧の不足はなかった。LED ライト区では、今年は 15W の LED ライトを用いたところ、9～10 月は 1 日 4.5 時間使用で電圧不足なし、11～12 月は曇天が続いた時に 1 日 3～3.5 時間使用でやや電圧が不足することがあったが、ライトが点灯しないほど低下することはなかった。

自動給餌機区の沖出し 94 日後の生残率は 48.6%となり、これまでに陸上水槽で継続飼育した場合と比べてかなり低い値となった。沖出し後の網の中で死亡個体が多く見られたことから、沖出し時のハンドリング負荷（取り揚げによる体表のすれ、バケツリレーや船舶輸送中の酸欠）が減耗の大きな要因と考えられる。さらに、試験終了後のサイズが極端に二極化していたことから、沖出し直後の餌の粒径が大きすぎて、小型の魚が餌を食べられずに斃死したのではないかと考えられる。粒径の小さい餌は生け簀で自動給餌すると湿気で機械が詰まりやすいが、給餌機に乾燥剤を入れるなどにより、さらに粒径の小さい餌の使用を検討する必要がある。また、今回はもじ網の交換頻度を抑えるために、網の目合いを 4.2mm とし、網から抜けることのない全長 50mm で沖出ししたが、ハンドリング負荷に耐えうるよう、さらに大きいサイズで沖出しすることも検討する必要がある。

LED ライト区は、網替時のミスで魚が逃亡してしまったため、沖出し 50 日後に中止したが、残っていた魚は成長が見られたことから、LED ライトによるプランクトン蟬集と 7～8 日に 1 回の給餌で、一定数の生存は可能と考えられる。しかし、北日本におけるマダラやハタハタの半粗放的生産でも、天然プランクトンのみに依存して無給餌で飼育できる密度には限度があり、市販飼料の補助的給餌が必須であるとされている（友田ら 2016）ことや、大きな流入河川が少なく、年間通して水温の高い沖縄周辺海域の環境条件を考慮すると、本県においても、天然プランクトンの利用は配合飼料の自動給餌との組み合わせによる省コスト・省力化の手段とすることが現実的であろう。

今回、太陽光発電を利用して自動給餌と LED ライトでのプランクトン蟬集を行うことによって、生け簀での給餌にかかる人件費を削減できる可能性が示された。今後、実用化に向けては、人件費、光熱水費、原価償却費を含めた生産コストを算出するとともに、生残率を大幅に改善することにより、さらに生産単価を下げる必要がある。

謝 辞

本研究を行うにあたり、水産海洋技術センター石垣支所の職員及び臨時職員の皆様には餌料培養や飼育作業に多大なるご協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表します。

文 献

福原修, 1979: ホルマリン固定によるマダイ卵稚仔の収縮について。水産増殖 27(3), 129–136。

Oka S., Miyamoto K., 2015: Reproductive biology and growth of bluestripe herring *Herklotsichthys quadrimaculatus* (Rüppell, 1837) in the northernmost waters. J. of Applied Ichthyology. 31, 709–713.

友田努, 久門一紀, 渡邊研一, 荒井大介, 小磯雅彦, 手塚信

弘, 堀田和夫, 栗田博, 2016: 海上網生簀における天然プランクトンを用いたマダラの半粗放的種苗生産. 水産増殖 64(1), 109–119.

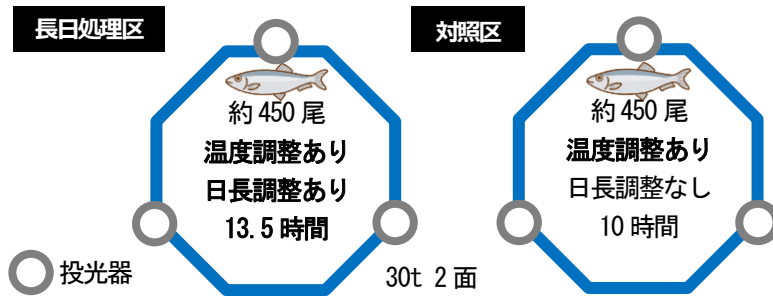


図1 採卵期間の延長試験における長日処理区と対照区

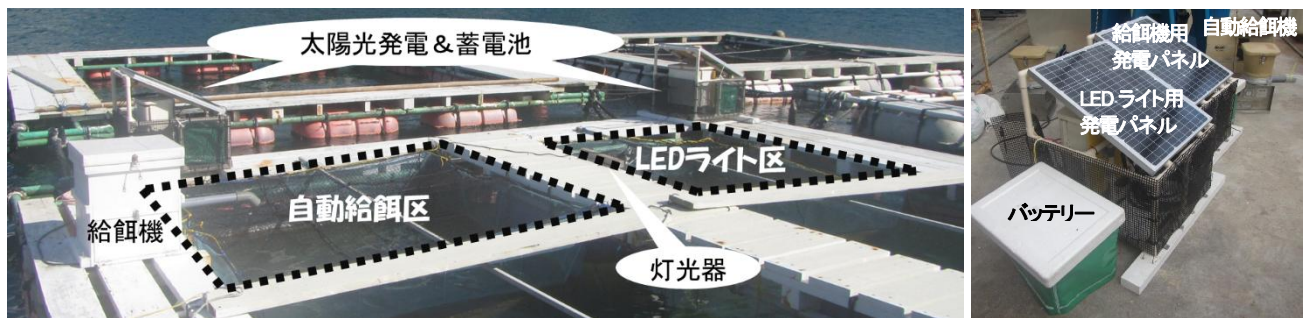


図2 海面生け簀における中間育成省コスト化試験 (左) と太陽光発電パネルと蓄電池 (右)

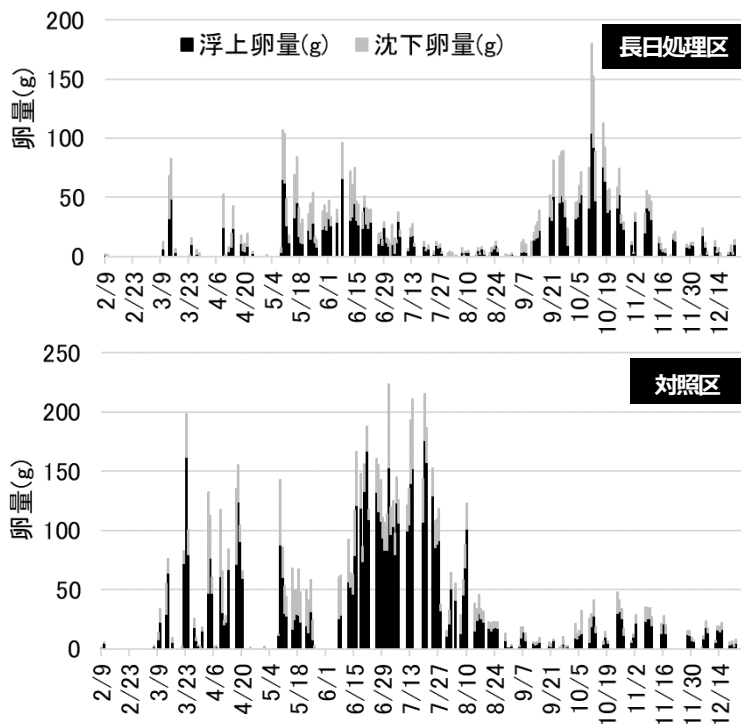


図3 長日処理区、対照区の浮上卵量と沈下卵量 (30t 水槽)

表1 アルテミアの給餌時期が異なる3区における種苗生産結果 (1t 水槽)

	アルテミアDPH10-29	アルテミアDPH20-39	アルテミアDPH30-49
卵収容日	2023/5/9		
総卵数(量)	6,845 (50g)	6,845 (50g)	7,294 (53g)
取り揚げ数	913 (日齢55, 13.3%)* ¹	794 (日齢55, 11.6%)* ¹	876 (日齢55, 12.0%)* ¹
取揚時平均全長	28.95 ± 3.76mm	28.21 ± 3.92mm	29.12 ± 3.36mm
取揚死亡率* ²	46.6%	28.9%	29.7%

*1: 取り揚げ時死亡魚を加える. *2: 取り揚げ日から1週間以内の死亡率

表2 培養コペポダ区と標準手法区における種苗生産結果 (60t 水槽)

	培養コペポダ区	標準手法区
餌条件* ¹	培養コペ約60.2万個/日 ワムシ給餌DPH1~36	培養コペなし ワムシ給餌DPH1~69
卵収容日	6/18~22、26~7/7 (計17日間)	
総卵数(量)	197,521 (1069.5g)	197,420 (1069.0g)
生残率 (ふ化数から)	日齢16 6.0%	日齢16 10.6%
取り揚げ数	4,079 (日齢115, 3.1%)* ²	11,617 (日齢115, 5.9%)* ²
平均全長	78.0 ± 7.5 mm	60.1 ± 10.4 mm

*1: アルテミア、冷凍コペポダの条件は同じ.

*2: 取り揚げ試験数(1回目300尾、2回目280尾、3回目300尾)を加える.

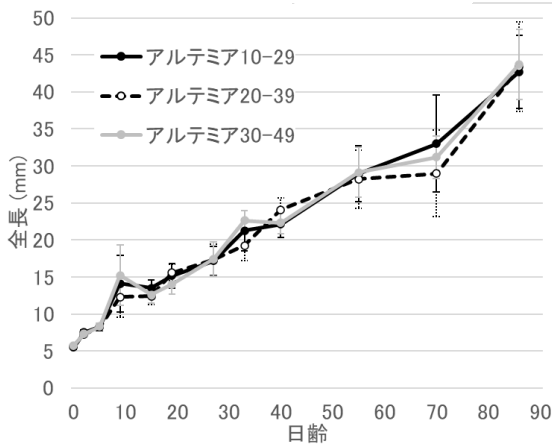


図4 アルテミアの給餌時期が異なる3区の平均全長 (1t 水槽)

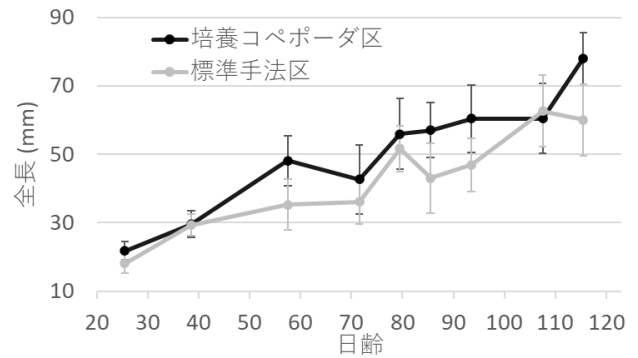


図5 培養コペポダ給餌区と標準手法区の平均全長 (60t 水槽)

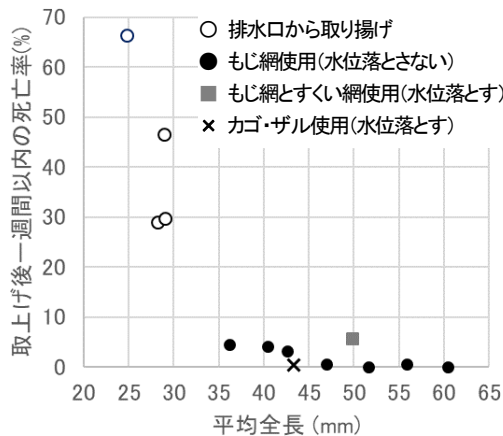


図6 取り揚げ時の平均全長と取り揚げ後1週間以内の死亡率

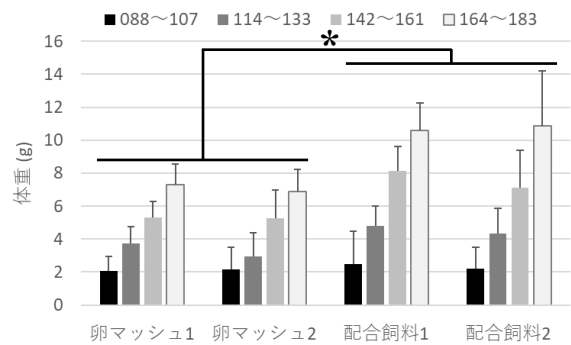


図7 卵マッシュ区と配合飼料区の体重変化

*: $p < 0.05$, ペアワイズ分析 Bonferroni 補正

表3 海面生け簀における自動給餌機区とLEDライト区の成長と生残

	自動給餌機区	LEDライト区
試験期間	9/12(追加収容9/26)～12/15	
沖出し数	1028+1093	1020+1067
50日後生残率(%)	55.1	ND
94日後生残率(%)	48.6^{*1}	ND
開始時平均全長/体重	50.0±11.5mm / 1.2±0.8g	
終了時平均全長/体重	71.4±19.0mm / 4.4±3.9g	76.0±7.4mm / 4.2±1.3g
	(94日後)	(50日後) ^{*2}
日間増重率(%)	1.2	2.2

*1: 50日後のサンプリング数105尾を除く

*2: 50日後に網に残っていた全数13尾の平均

表4 種苗生産期と中間育成期の生産単価

I 種苗生産期(日齢0～115)

培養コベポータ区(60t-1)

	貝化石(g)	V12(L)	ワムシ(億個)	アルテミア(万個)	冷凍コベポータ(g)	おとひめB1(g)	おとひめB2(g)	おとひめC1(g)	おとひめC2(g)	ノヴァ0号(g)	プリモイスト(g)	合計	生産数
使用量合計	27,000	17.7	125.7	5,642.1	5,510	5,125	7,150	4,950	3,050	5,050	23,163		6,621.5
餌料単価(¥)	0.3	720.5	168.3	0.6	2.6	1.9	1.8	1.7	1.6	0.7	0.5		
餌料費(¥)	7,989	12,753	21,157	3,413	14,546	9,753	12,726	8,271	4,996	3,314	11,657	110,575	
生産単価(¥/尾)													16.7

標準手法区(60t-3)

	貝化石(g)	V12(L)	ワムシ(億個)	アルテミア(万個)	冷凍コベポータ(g)	おとひめB1(g)	おとひめB2(g)	おとひめC1(g)	おとひめC2(g)	ノヴァ0号(g)	プリモイスト(g)	合計	生産数
使用量合計	27,000	21.5	218.2	5,642.1	5,510	7,682	6,357	4,832	2,800	2,900	23,613		13,933.4
餌料単価(¥)	0.3	720.5	168.3	0.6	2.6	1.9	1.8	1.7	1.6	0.7	0.5		
餌料費(¥)	7,989	15,455	36,731	3,413	14,546	14,619	11,314	8,074	4,586	1,903	11,883	130,514	
生産単価(¥/尾)													9.4

II 中間育成期(日齢85～179)

自動給餌区(海面生け簀)

	ノヴァ0号(g)	プリモイスト(g)	合計	生産数
使用量合計	28,740	1,600		980
餌料単価	0.66	0.50		
餌料費(¥)	18,858	805	19,663	
生産単価(¥/尾)				20.1