

車力マコガレイ種苗作出試験

杉浦大介

目 的

マコガレイ日本海系群への資源添加を目的とした種苗放流に関して、つがる市車力産のマコガレイ親魚を用いて効率的な種苗生産技術について検討する。

材料と方法

1. 親魚と採卵

種苗生産用の親魚として、2023年3月28日（生産回次1）、同29日（生産回次2）に車力漁業協同組合に水揚げされたマコガレイのうち、試験用に提供された親魚候補（表1）を中山・鈴木¹⁾の方法に従って当研究所に運搬した。

研究所に到着後、中山・鈴木¹⁾に従い、乾導法による人工授精を行い、雌1尾ごとに1枚ずつふ化盆を作成した。雌の成熟度は中山・鈴木¹⁾に従い、採卵の可否および採卵に必要な腹部を圧迫する強度に応じて4段階に区分した（1：弱い圧迫で採卵可、2：少し強めの圧迫で採卵可、3：強い圧迫で採卵可、4：強い圧迫でも採卵不可）。

2. 卵管理

作成されたふ化盆を、0.6 t 角型水槽（水量0.6 t）に垂下して収容した。管理条件は、濾過海水をかけ流し（水温8.5-10.2℃、換水率2回転/日）として、水流を生じさせるため微曝気とした。積算水温が50℃に達した時点で、各ふ化盆から無作為に卵をサンプリングし、万能投影機を用いて受精率を求めた。

積算水温が60℃に到達した時点で、採卵量および受精率の良好なふ化盆を選定し、ふ化盆1枚あたり1基の10 t 円型水槽（水量8 t、以降、飼育水槽と呼ぶ）に収容した。収容時、受精卵を一部抽出して凍結し、PCRによる魚病検査を行った。濾過海水のかけ流し（水温9.9-10.5℃、換水率1回転/日）および微曝気の条件で、ふ化まで管理した。ふ化開始後、換水率を0.5回転/日に低下させた。

ふ化が概ね完了したと判断された後、ふ化尾数の推定のため、日没から約2時間後、飼育水槽3ヶ所に柱状採水器を鉛直に底面まで挿入してふ化仔魚を採集・計数し、密度法によって水槽内の推定総尾数を算出した。

表1. 人工授精に使用した親魚と採卵状況

生産回次	雌雄	個体No.	全長 (mm)	体重 (g)	成熟状態	採卵量 (g)	交配個体	ふ化盆No.	備考
1	♀	1	343	593.0	3	-	-		
		2	349	581.0	3	166.0	♂2	①	
		3	320	526.0	2	111.5	♂2	②	
		4	372	828.0	3	162.0	♂2	③	
		5	352	460.0	1	-	-		運搬中に放卵
		6	272	215.0	4	-	-		
	♂	1	340	420.0	-	-	-		放精済
		2	324	336.0	-	-	♀2-4		
2	♀	1	410	1072.5	3	320.0	♂1	④	
		2	410	1033.5	1	298.5	♂1	⑤	運搬中に一部、放卵
		3	390	775.5	3	158.5	♂1	⑥	
	♂	1	290	299.5	-	-	♀1-3		
2		315	321.0	-	-	-		放精済	

3. 種苗生産

2023年4月4日にふ化盆を飼育水槽に収容し、飼育を開始した。飼育水槽には10t円形水槽(水量8t)を飼育状況に応じて1-3面使用して、調温海水をかけ流して飼育する従来の方法¹⁾で種苗生産を行った。

飼育水温はふ化日に10.4℃だった。その後1日あたり0.5℃の昇温を目安に、注水する濾過海水と調温海水(最高16℃)の割合の調整に加えて、換水率を0.5回転/日から1.3回転/日まで徐々に増加させることにより、11日齢時に14℃まで昇温させた。濾過海水の昇温に従い、飼育水温14℃を維持できる範囲で調温海水の注水率を低下させ、濾過海水が水温14℃に達した時点(53日齢)で、調温海水の注水は終了した。換水率は12-51日齢までは1.0-1.5回転/日、52-60日齢の間は1.8-2.0回転/日、61-71日齢の間は2.0-4.0回転/日とした。仔魚のガス病対策のため、変態・着底の完了(39日齢)まで、注水は活性炭を収容した脱気槽を経由して行った。

2日齢からワムシ給餌を終了する41日齢まで、日光は遮光して日中は電灯を点灯し、夜間は消灯した。この期間1日1回、照度低下のため8:30にハイグレード生クロレラV12(クロレラ工業製、以下、HG-V12)を各飼育水槽に200ml添加した。着底前の20日齢時に1回目のサイフォン方式による底掃除を行った。以降、取上げ日(アルテミア給餌の終了日:72日齢)まで残餌等、底面の汚れに応じて適宜、底掃除を行った。

生物餌料として、シオミズツボワムシS型八重山株(以下、Sワムシ)を3-34日齢まで、シオミズツボワムシL型奄美株(以下、Lワムシ)を35-41日齢まで給餌した。また北米ソルトレイク産のアルテミア(アフロディテ、(株)北村)を18-71日齢まで給餌した。配合飼料は19日齢以降、種苗の成長に応じてアンブローズ100、同200および同400(フィード・ワン(株))を給餌した。生物餌料から配合飼料への転換を促進するため、37日齢以降、冷凍コペポダ撻(サイエンテック(株))を給餌した。

Sワムシの餌料および強化剤としてHG-V12を使用し、培養・強化条件は中山・鈴木¹⁾に従った。給餌期間の一部のみ、強化剤としてHG-V12ではなくインディペプラス(サイエンテック(株))を用いた。Lワムシの培養・強化条件は原則として鈴木ほか²⁾に従った。給餌は1日2回9:00と13:00に行い、給餌量はSワムシで500万-2700万個体/回・面、Lワムシで250万-450万個体/回・面とした。

アルテミアの強化剤としてインディペプラスを使用し、ふ化・強化条件は中山・鈴木¹⁾に従った。給餌は初期の18-21日齢と終了前の67-71日齢の間は1日1回、22-66日齢の間は1日2回10:30と14:30に行った。給餌量は70万-1200万個体/回・面とした。

冷凍コペポダは解凍後、洗浄したうえで濾過海水を加え攪拌し、1日1回、15:00頃に給餌した。給餌量は1/24-1/16包装/回・面とした。

配合飼料は、初期は濾過海水中で攪拌後に手撒きで給餌し、種苗の成長に従い自動給餌器による給餌を開始した。手撒き給餌は成長の良好な水槽では70日齢まで、成長の遅い水槽では取上げ(72日齢)までとした。初期の19-32日齢の間は1日2-3回、アンブローズ100を1-4g/回・面とした。36-61日齢の間は1日2-3回、アンブローズ100と同200をそれぞれ1-6g/回・面および1-3g/回・面のよう混合して給餌した。62日齢以降、成長の良好な水槽では前期間の飼料組成にアンブローズ400を1g/回・面だけ追加した。自動給餌器は成長の良好な水槽では55日齢から、成長の遅い水槽では60日齢から稼働させた。自動給餌器には、62日齢まではアンブローズ100・200を比率1:1で収容し、1日4回(6:00、8:30、11:00、13:30)に分けて、成長の良好な水槽では24g/日・槽、成長の遅い水槽では15.2g/日・面を給餌した。63日齢から取上げまで、成長の良好な水槽では給餌器にアンブローズ100・同200・同400を比率3:4:1、2:3:1、2:2:1の順に変化させて収容し、1日4回に分けて、28.8g/日・面から42g/日・面まで段階的に給餌量を増加させた。同期間、成長の悪い水槽ではアンブローズ100・同200・同400の比率を4:4:1、8:4:1、8:5:1の順に変化させ、残餌量に応じて1日3-4回に分けて、11.4-15.2g/日・面を給餌した。

4. 中間育成

2023年6月19日に稚魚を取上げし、中間育成を開始した。換水率は、成長の良好な水槽では3.7-4.0回転/日、成長の悪い水槽では3.4回転/日から開始し、水温の上昇に従い徐々に増加させ、最終的に6.8-7.1回転/日とした。成長に伴う飼育密度の変化に応じて適宜、選別・分槽を行った。

配合飼料は、種苗の成長に従ってアンブローズ100・同200・同400・同600・同800・同EP1の混合比率を変化させ、自動給餌器を用いて1日4-5回に分けて給餌した。水槽ごとの種苗の収容尾数およびサイズに応じて給餌量を変化させた。開始時には、成長の良好な水槽では51-63g/日・面、成長の遅い水槽では23g/日・面とした。1回目の放流（89日齢）前には、成長の良好な水槽では比率60-80g/日・面、成長の遅い水槽では42g/日・面とした。以降、2回目の放流（172日齢）までは、成長の良好な水槽では80g/日・面、成長の遅い水槽では61g/日・面を基準に、残餌量に応じて調整した。3回目の放流（198日齢）前には、90g/日・面とした。

種苗は活魚水槽に収容し、酸素ポンプからエアレーションを行い、つがる市車力地先へ運搬・放流した。

結 果

1. 親魚と採卵

生産回次1において、人工授精に使用した雌（n=3）は全長320-372mm、雄（n=1）は全長324mmだった（表1）。採卵量は111.5-166.0gだった。

生産回次2において、人工授精に使用した雌（n=3）は全長390-410mm、雄（n=1）は全長290mmだった（表1）。採卵量は158.5-320.0gだった。

2. 卵管理

生産回次1、2において、受精率はそれぞれ0-76.6%、64.9-78.0%の範囲にあった（表2）。採卵量および受精率が良好だったふ化盆④、⑤を選定し、種苗生産に使用した。

受精卵の魚病検査結果はふ化盆④、⑤ともに陰性だったが、ふ化盆⑤のみ、マコガレイ型アクアレオウイルスの塩基対数から約15bp離れた位置に反応があった。

ふ化が概ね完了したと考えられた2日齢時に1回目の仔魚の計数を行ったところ、ふ化盆④、⑤由来の仔魚はそれぞれ8万尾および9万尾と算出されたが、これは後の取上げ尾数より少なかった。そのため2-4回目（9-23日齢時）の仔魚計数のうち、中間的な値を示し、かつ取上げ尾数と整合した19日齢時に算出された19万尾および13万尾をふ化仔魚数とした（表2）。ふ化盆④、⑤のふ化率はそれぞれ38.1%および28.3%だった。

表2. 卵管理およびふ化状況

回次	採卵日	採卵～卵管理					ふ化状況		
		ふ化盆	採卵量 (g)	受精率 (%)	受精卵数 (万粒)	水温 (°C)	ふ化日	ふ化尾数 (万尾)	ふ化率 (%)
1	2023/3/28	①	166.0	0	0	8.5-10.2			不使用
		②	111.5	76.6	17.1				
		③	162.0	0	0				
2	2023/3/29	④	320.0	78.0	49.9	8.8-10.9	2023/4/8	19.0	38.1
		⑤	298.5	77.0	46.0		2023/4/8	13.0	28.3
		⑥	158.5	64.9	20.6				不使用

3. 種苗生産

取上げ日までに 9.6 万尾の稚魚が得られた（表 3）。ふ化から取上げまでの全体の生残率は 30%と推定された。

ふ化盆⑤由来の仔魚は、19 日齢時に全長（±標準偏差）が 7.1（±0.39）mm、23 日齢時に全長 7.6（±0.52）mm であり、ふ化盆④由来の仔魚が 19 日齢時に全長 7.2（±0.40）mm、23 日齢時に全長 7.9（±0.47）mm だったのに比べて、成長が若干、遅れる傾向が認められた。24 日齢時には、ふ化盆⑤由来の仔魚では遊泳が不活発で水槽内の水流に対して定位できず、下流へ流されている個体が散見されたため、換水率を 1.5 回転/日から 1.3 回転/日へ低下させた。26 日齢時に顕著な減耗が確認された。29 日齢時には、ふ化盆⑤由来の水槽ではふ化盆④由来と比べて脳が若干、白濁した個体が観察された（図 1）ほか、水槽内の仔魚が僅かとなり、異常な減耗と判断されたため、飼育を中止した。

表 3. マコガレイ種苗生産結果

ふ化盆No.	ふ化仔魚の収容			取り上げた稚魚の状況				生残率 (%)	備考
	収容日*	平均全長 (mm)	尾数 (万尾)	飼育期間	水温 (°C)	平均全長 (mm)	尾数 (万尾)		
④	2023/4/4	5.7	19.0	70	9.8-18.9	-	9.6	50.5	取上げまでに3基の円形10t水槽に分槽
⑤	2023/4/4	5.8	13.0	30	-	-	0	0	29日齢(5/7)までに異常減耗のため全数処分

*角型0.6 t水槽からふ化盆を移動した日.

-:未測定または該当なし.



図 1 29 日齢時のマコガレイ後期仔魚（左：ふ化盆④由来、右：ふ化盆⑤由来） スケール：1 mm
 発育段階は南³⁾に準拠

4. 中間育成

放流は 3 回に分けて行った。3 回目の放流までの生残率を表 4 に、放流の各回次におけるサイズと尾数を表 5 に示す。1 回目の放流時には種苗サイズが小さく、活魚水槽からホースを介して漁港内へ放流した。2-3 回目の放流では、バケツを用いて漁港横の砂浜汀線付近に放流した。

1 回目の放流（89 日齢）は取上げから 17 日後であり、その間に小型種苗を中心に、減耗が継続して発生

した。89日齢時の種苗の平均サイズは、当日に放流した小型群で全長16.3mm、飼育を継続した大型群で全長21.0mmであり、その前数日間の飼育水温は19℃台から20℃台の範囲にあった。94日齢の分槽時、大型群は全長27.4mm、小型群は全長18.2mmであり、その前数日間の飼育水温は19℃台から20℃台の範囲にあった。

表4. マコガレイ中間育成結果

開始時の状況			終了時の状況			生残率 (%)
開始日	平均全長 (mm)	尾数 (万尾)	終了日	平均全長 (mm)	生残尾数 (万尾)	
2023/6/19	-	9.6	2023/10/25	58.0	0.4	4.2

飼育水温は7月27日(110日齢)から9月21日(166日齢)までの間、一部の期間を除いて25℃を上回った。そのうち8月25日(139日齢)から9月15日(160日齢)の間は継続的に26℃を上回った。最高水温は8月28日(142日齢)の27.3-27.8℃だった。種苗の急激な減耗は確認されなかったが、8月中旬から9月上旬には残餌または排泄物による水槽底面の汚れが多かったため、底掃除の頻度を週2回程度に増加させた。

2回目の放流時(172日齢)の放流群のサイズは全長36.7mmであり(表5)、この前数日間の水温は23℃台から24℃台の範囲にあった。

3回目の放流時(198日齢)の放流群のサイズは全長58.0mmであり(表5)、この前数日間の水温は17℃台から19℃台の範囲にあった。

表5. マコガレイ放流結果

放流月日	平均全長 (mm)	放流尾数 (万尾)
2023/7/6	16.3	1.2
2023/9/27	36.7	0.1
2023/10/25	58.0	0.4

考 察

生産回次1において、ふ化盆①、③の受精率が0%となった要因は、採卵量は多かったものの、ふ化盆に卵を厚く塗り過ぎたため、海水に接していない内側の卵へ溶存酸素の供給が不足したことが考えられる。生産回次2におけるふ化率は、2022年度の結果¹⁾(ふ化率74.4-90.6%)より低かった。夜間の仔魚計数結果が日ごとに安定しなかった要因として、水槽内の仔魚の分布が偏っており、採取位置によって計数結果に影響した可能性が考えられる。

ふ化盆⑤由来の仔魚の異常減耗の要因として、親魚から垂直感染した何らかのウイルス病の可能性が考えられる。他方、マコガレイ仔魚は遊泳力が乏しく⁴⁾、水量8トンで換水率1回転/日以上では流速が速すぎた可能性もある。濾過海水の水温が14℃より低い時期に、換水率の増加は昇温の一つの手段ではあるが、仔魚の生残率向上のためには換水率は1回転/日未満に抑え、コスト面の許容範囲内で調温海水を用いることが望ましい。

餌料転換の補助のため、冷凍コペポダを給餌したが、マコガレイ稚魚の胃内容物から冷凍コペポダは確認されなかった。アルテミアの給餌量が十分に多かったことや、冷凍コペポダを給餌する際、投光器を点灯しなかった影響が考えられた。

取上げから1回目の放流までの小型種苗の減耗は、生物餌料から配合飼料への餌料転換が間に合わなかったためと考えられる。種苗の損失を抑えるためには、取上げ後、可能な限り速やかにサイズ選別および

分槽を行い、種苗サイズに適合した配合飼料を給餌することが有効と考えられた。

2022年度の結果¹⁾と比べて、2023年度は最終回の放流尾数は多かったものの、種苗サイズは小型だった。第一には2023年度の取上げ後の飼育密度が相対的に高かった影響が考えられるが、その他に2023年夏季には飼育水に用いた濾過海水の水温が高かった影響も考えられる。瀬戸内海産の親魚由来のマコガレイ人工種苗を用いた飼育実験⁵⁾によると、標準体長21 mmでは水温8-20℃の範囲では12-14℃における成長が良好であり、標準体長31 mmおよび46 mmでは水温12-22℃の範囲では20℃における成長が良好だった。車力産親魚を用いた本研究において、89日齢以降は飼育下における成長のための最適水温を上回る条件が継続していたと考えられる。大型の種苗の方が成長に最適な水温が高い⁵⁾ことから、濾過海水の水温が高くなる取上げ以降においても高い成長速度を得るためには、変態・着底までの飼育水温および密度の調整により、初期の成長速度を確保することが望ましい。

マコガレイ稚魚の分布域における水温の上限は瀬戸内海で22℃⁵⁾、岩手県大槌湾で24℃⁶⁾等、海域ごとに記録が異なる。また成魚は周防灘において、水温26℃を上回る海域にはほとんど分布しない⁷⁾。飼育実験⁸⁾によると、標準体長40-54 mmでは、摂餌量は水温20℃、24℃で多いが、餌料転換効率は水温24℃より20℃の方が高い。2023年夏季の飼育環境は水温25℃を上回る期間が長く、マコガレイ稚魚の成長にとっては不適な範囲にあったと考えられる。本研究では夏季に給餌量を減らさず、底掃除の頻度を増加させたが、水温25℃以上では成長を期待せず、減耗が生じない範囲で給餌量を減らすことにより、水質を良好に保ち、種苗へのストレスを軽減することにつながるかもしれない。

文 献

- 1) 中山凌・鈴木亮 (2024) 車力マコガレイ種苗作出試験 -親魚・採卵・卵管理-。2022年度青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告, 390-393.
- 2) 鈴木亮・中山凌・伊藤文雄・伊藤竜太・松山誠 (2024) マツカワの漁港内における海面養殖技術開発試験事業。2022年度青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告, 365-372.
- 3) 南卓志 (1981) マコガレイの初期生活史。日本水産学会誌, 47(11), 1411-1419.
- 4) 中神正康・高津哲也・中屋光裕・高橋豊美 (2001) 函館湾におけるマコガレイ仔稚魚の時空間分布。水産海洋研究, 65(3), 85-93.
- 5) Tomiyama T, Kusakabe K, Otsuki N, Yoshida Y, Takahashi S, Hata M, Shoji J, Hori M (2018) Ontogenetic changes in the optimal temperature for growth of juvenile marbled flounder *Pseudopleuronectes yokohamae*. Journal of Sea Research, 141, 14-20.
- 6) 阿部孝祐・後藤友明 (2020). 2017年と2018年におけるマコガレイ当歳魚の分布と成長。東北底魚研究, 40, 23-29.
- 7) 和田宗一郎 (2023) 生息南限海域に分布するマコガレイの生態に関する研究。大分県農林水産研究指導センター研究報告, 8, 1-49.
- 8) Kusakabe K, Hata M, Shoji J, Hori M, Tomiyama T (2017) Effects of water temperature on feeding and growth of juvenile marbled flounder *Pseudopleuronectes yokohamae* under laboratory conditions: evaluation by group- and individual-based methods. Fisheries Science, 83, 215-219.