

事業名：1 養殖漁業研究事業 (R6-R8)

細事業名：(1-2) 養殖漁業高度化事業 (マサバ)

予算額：

担当：養殖・漁場環境室（松田成史）、鳥取県栽培漁業協会（木下卓哉）

目的

鳥取県内のマサバ陸上養殖事業の安定化及び定着を図るため、成長率が高い養殖手法を検討するとともに、商品化率の低下に繋がる奇形の対策を行う。

成果の要約

1 調査内容

(1) 飼育試験用のマサバ種苗生産（委託）

飼育試験に用いるマサバ種苗は、公益財団法人鳥取県栽培漁業協会（以下「協会」という。）に委託して生産した。

(2) マサバ産卵期終了後の採卵試験（委託）

養殖事業者が要望する種苗供給時期に応じるため、通常の産卵期終了後となる7月から8月の採卵を協会に委託して実施した（目標浮上卵数80万粒）。

親魚に日長処理と地下海水による飼育水の温度調整を施し産卵期を調整し、その後2回の採卵を試みた。1回目は令和6年7月29日に、2回目は同年8月5日にヒト絨毛性ゴナドトロピン（以下「hCG」という。）を親魚に打注して人為催熟を施し、それぞれ翌日に搾出法により得た卵と精子を受精させ、約2日間約19°Cで保持した後浮上卵数を計数した。

(3) 高成長マサバ系統の作出

高成長マサバ系統の作出を目的として、協会、県内マサバ養殖業者、鳥取県栽培漁業センター（以下「センター」という。）が連携して行っている選抜育種の効果を調査した。

(4) 奇形の発生状況及び対策

養殖用種苗の奇形は、魚体サイズが小さいうちは目立たないが成長と共に顕在化し、出荷時に廃棄に繋がるものがある。廃棄魚の増加は、養殖における商品化率及び採算性低下の要因となるため、種苗生産過程で発生する廃棄に繋がるような奇形については、種苗生産時に発生しないようにするか、選別除去などの対策を取ることが望ましい。そこで、次のア～エの項目について調査した。

ア 種苗の奇形の出現率及び成長後の変化

協会が生産した種苗（第7ロット、第8ロット及び第9ロット）をデジタルカメラで魚体の両側面及び上面から撮影し、識別できた奇形種類別に出現率を調べた。さらに種苗時の奇形が成長に伴いどのように変化するのかを見るため、第7ロットについては概ね1歳になるまで育成した後、目視で奇形種類別の出現率を調べた。

イ 鰓の開腔率の向上及び未開腔個体の選別除去技術の開発

北島ら（1977）の報告を始め、多くの無管鰓魚で鰓が未開腔であることは脊椎の異常や仔魚期の沈降死の原因になることが知られている。そこで、鰓が未開腔（以下「未開鰓」という。）の個体を排除することを目的に、第8ロットの種苗生産において、鰓の開腔（以下「開鰓」という。）時期に水面処理をすることによる開鰓率の向上について検討した。水面処理の方法は、従来行われてきたエアフローにより水面の汚れを集める方式に加え、水槽上部に園芸用のミスト散布用ホースを這わせ、水面に微細なミストを当てるこにより水面の汚れを除去する手法を導入した。

また、これまで孵化から日齢9までは夜間照明による恒明状態で飼育をしていたが、開鰓が明暗周期の影響を受ける事例は多数報告されており、服部（2023）の報告によるとマサバも同様の傾向が観察されていることから、今回は、夜間照明を止めて暗期を設けた。

なお、これらの開鰓のための処理（以下「開鰓処理」という。）の効果を検証するため、過去の同時期の

種苗生産で開鰓処理を行わなかった第6ロットの開鰓率と今回の開鰓率を比較した。

ウ 高塩分海水による開鰓個体の選別

開鰓個体は未開鰓個体と比較して比重が低いと仮定し、塩分を調整した海水中で浮上した個体と沈下した個体で両者の選別が可能かどうかを調べた。

供試魚は、協会が生産したマサバ稚魚約50尾を用いた。まず、FA100（成分：オイゲノール、物産アニマルヘルス株式会社製）を1/5,000の濃度で溶解させた海水に供試魚を収容し、約3分間かけて沈静化させた。次に、食塩を加えて塩分濃度をそれぞれ33、36、39、42及び45‰に調整した海水に沈静状態の供試魚を約10尾ずつ入れ、1分間かけて浮上した個体と沈下した個体に分離した。分離後、通常海水（塩分濃度約32‰）に戻し、沈静状態から回復させ斃死の有無を確認した。その後再びFA100で沈静化させ、尾叉長及び体重を測定後、剖検し開鰓の有無を確認した。

エ 稚魚の大小選別による未開鰓個体除去の可能性調査

協会の種苗生産の場合、通常日齢2から開鰓が始まり次第に開鰓個体は増えていくが、概ね日齢9までには開鰓し終えるため、その後の開鰓率の向上は期待できない。服部(2023)の報告によると、開鰓個体は未開鰓個体に比べ全長が大きい傾向が観察されている。この知見を参考に、大小選別により未開鰓個体の除去が可能かどうかを検証するため、令和6年7月から9月に生産された第8ロットの3水槽（M1, M2及びM3）において、日齢3~9、日齢20~22（1次選別時）及び日齢31（2次選別時）の開鰓率を調査した。また、日齢5~9の個体については、全長と開鰓の関係を調査するため、全長を測定し開鰓の有無を確認した。開鰓の有無の確認は、日齢3~9の個体については、実体顕微鏡下における外部観察により行い、1次及び2次選別時の個体については、水を張ったガラスシャーレに供試魚を入れ、鰓の位置を解剖針で刺突または開腹し、気泡が生じるかどうかを確認し、生じたものを開鰓個体とした。

（5）適正な給餌間隔及び餌料添加物と生殖腺の退縮技術の検討

ア 胃内容物の消失速度調査

マサバの適正な給餌間隔や配合飼料への加水の効果を検討するため、通常の状態の配合飼料（以下「通常餌」という。）と吸水処理を施した状態の配合飼料（以下「吸水餌」という。）を給餌し胃内容物量指数の推移を調査した。供試魚は円形キャンバス水槽（容量約10m³）で平均体重約120gのマサバとし、配合飼料は「さばUフロート5P」（日本農産工業株式会社製）を用い、以下の手順で調査した。

- ① 供試魚は、試験実施前に3日間餌止めした。
- ② 給餌は、配合飼料を飽食給餌した。吸水餌は事前に水：通常餌=1:1（重量比）の割合で吸水させたものを使用した。
- ③ 給餌直後（0h）、1h、2h、4h、8h、12h及び24hに各5個体をサンプリングし、尾叉長、体重及び内臓除去体重を測定した。
- ④ 胃内容物（配合飼料）を摘出し、90°Cで24時間乾燥させ、乾燥重量を測定した。
- ⑤ 胃内容物量指数は、胃内容物乾燥重量/内臓除去重量×100で算出した。

イ 給餌間隔及び餌料添加物の効果調査

マサバの適正な給餌間隔と餌料添加物（養殖業者との共同実施のため、添加物の名称は伏せる。）の効果を検証した。試験は令和6年9月30日開始し、令和7年3月31日現在継続中である。試験にはビニルハウス内に設置された円形キャンバス水槽（容量約10m³）4基を用い、配合飼料の餌料添加物の有りと無しの2パターン、給餌間隔を1時間毎と6時間毎の2パターンを組み合わせて計4試験区を設定した（表1）。供試魚は、第7ロットを継続飼育し、平均体重120~130gに育成したものを用いた。飼育水には地下水を使用し、注水量は120m³/日を維持するよう管理した。給餌は自動給餌器で行い、給餌量は飽食量になるよう調整し、残餌量を毎日測定した。明暗周期は自然日長だが、夜間でも水槽中央の水面付近で10ルクス程度になるようにLED照明を行った。

試験開始後は2週間又は1ヶ月毎に、尾叉長、体重、生殖腺重量及び内臓除去体重を測定した。

表1 給餌間隔及び餌料添加物の効果調査試験区設定

試験区名	餌料	給餌間隔・給餌回数	開始時尾数(尾)	開始時平均体重(g)
NM/6h	配合飼料	6時間・4回	913	125.7
NM/1h	配合飼料	1時間・22回(※)	921	129.6
FA/6h	配合飼料(餌料添加物有)	6時間・4回	921	124.6
FA/1h	配合飼料(餌料添加物有)	1時間・22回(※)	895	117.7

(※) 9時と16時は残餌確認の底掃除をするため、給餌をしなかった。

ウ マサバにおける絶食処理による生殖腺退縮技術の検証

魚は成熟すると成長が停滞し、病気にかかりやすくなるため、成熟を抑制する育成方法が必要である。ブリ(三浦ら, 2011)やマダイ(三浦ら, 2022)では、絶食により生殖腺が退縮することが確認されているため、マサバでも絶食により同様の効果が見られるかどうかを調査し、生産効率の向上に繋がるかどうか検証することとした(令和7年3月31日現在継続中)。供試魚は、(5)イの試験区NM/1h及びFA/1hの試験魚を用いた。令和7年2月21日から給餌を止め、39日間の絶食処理を開始した。今後、体測を行い、給餌を継続している2試験区と生殖腺の状況を比較する。試験開始直後でデータが無いため、結果は次年度報告する。

2 結果の概要

(1) 飼育試験用のマサバ種苗生産(委託)

令和6年6月に協会からセンターにマサバ種苗6,000尾(全長60mm)が引き渡された(令和6年4月1日付契約、令和6年7月25日付額の確定)(写真1、2)。



写真1 生産されたマサバ種苗



写真2 種苗の取り揚げの様子

(2) マサバ産卵期終了後の採卵試験(委託)

1回目の採卵では採卵量400万粒から139万粒の浮上卵を得ることができたが、2回目の採卵ではhCG処理の後、採卵までに親魚の斃死が多く発生し、採卵量が249万粒と1回目より少なかったため、得られた浮上卵は74.3万粒となり、目標数量の浮上卵を得ることはできなかった(令和5年4月1日付契約、令和6年11月1日付額の確定)(表2)。養殖業者からは夏場の高水温期を避け、秋の水温が下がった時点での稚魚導入を求められており、8月以降の採卵の安定化が求められる。

表2 マサバ採卵結果

hCG処理日	採卵日	採卵量(粒)	浮上卵量(粒)	浮上卵率
7月29日	7月30日	4,000,000	1,390,000	35%
8月5日	8月6日	2,490,000	743,000	30%

(3) 高成長マサバ系統の作出

本県では、高成長マサバ系統を作出するため、協会が生産した種苗を県内養殖業者が養殖魚として育成し、その中から成長に優れた個体を次世代の親魚として選抜し、採卵・種苗生産を繰り返して育種している。現在3世代目になっているが、選抜効果をより高めるため、2世代目以降は、種苗の選別強化を進め、高成長の種苗を選別して出荷するようになった(表3)。

養殖業者からの報告によると、世代を重ねるごとに大幅に成長が良くなり、出荷までの期間が短縮されているため、選抜育種の効果は着実に発揮されてきていると考えられる。今後も高成長に向けた育種を継続していく必要があるほか、年々上昇する水温に対応するため、高水温耐性系統の作出についても検討が必要である。

表3 協会のマサバ種苗生産時の選別状況

ロット	種苗出荷時期	世代	種苗生産時の選別状況
第1ロット	令和2年6月	1	-
第2ロット	令和3年3月	1	-
第3ロット	令和4年3月	1	-
第4ロット	令和4年9月	2	下位30%以上除去
第5ロット	令和5年4月	2	下位50%以上除去
第6ロット	令和5年9月	2	下位50%以上除去
第7ロット	令和6年3月	3	下位50%以上除去
第8ロット	令和6年9月	3	下位50%以上除去
第9ロット	令和7年3月	3	下位50%以上除去

(4) 奇形の発生状況及び対策

ア 種苗の奇形の出現率及び成長後の変化

協会の生産した種苗で確認された奇形を図1に示すように6種類に分類し、生産ロット別の奇形種類別出現割合を表4に示した。種苗生産時に最も多く発生した奇形は頭部陥没で、生産ロットによる違いはあるものの、いずれも半数以上の個体で観察されたが、飼育1年後の調査ではほぼ消失したため、飼育及び出荷上の影響は少ないものと思われる。

次いで、短軀及び狹頭の奇形の出現率は、いずれも少なく、1年後のサンプルでは更に低下していた。しかしこの結果は、短軀及び狹頭が骨格異常を伴う奇形であるため正常に戻ったとは考えにくく、サンプリング誤差か成長不良による減耗などが原因だと思われる。

さらに、下顎異常については、正常個体と比較して下顎が短いため摂飢能力に影響が出る可能性が考えられたが、供試魚全体 (n=240) の平均体重が227gであったのに対し、下顎異常個体 (n=6) のそれは251gであったため、下顎の異常が摂飢に与える影響は少ないものと思われた。また、比較的に目立たない奇形のため養殖生産上の問題は現在のところ報告されていない。

今回調査した奇形種類は、成長に従い消失するものと考えられ、出荷先の養殖生産における影響は少ないと考えられた。

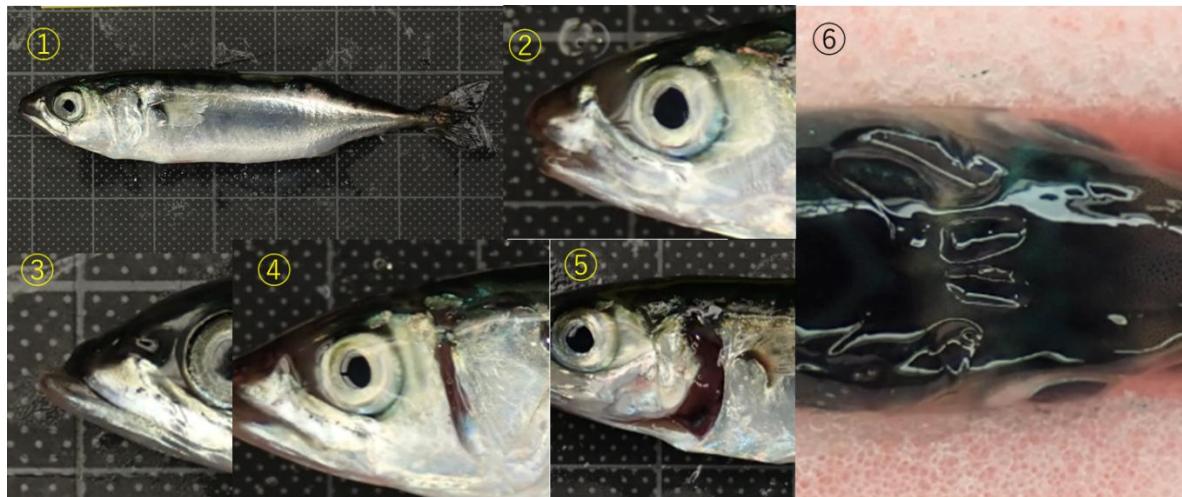


図1 マサバ種苗で確認された奇形の種類

1短軀：脊椎の異常が原因で体幹部が短い個体、2下顎異常：通常より下顎が短い個体、3狹頭：上顎が短く下顎が突出しているように見える個体④鰓蓋亀裂：鰓蓋の前方側に亀裂が入る個体、⑤鰓蓋欠損：鰓蓋が無く、鰓が外部に露出している個体、⑥頭部陥没：頭部に浅い凹みがある個体。

表4 生産ロット別奇形種類別出現率

生産ロット	生産時期	調査尾数	奇形種類別出現率				
			短軀	下顎異常	紹頭	鰓蓋亀裂	鰓蓋欠損
第7ロット (1年後)	R6.1-3月	77	2.6%	2.6%	1.3%	5.2%	1.3%
		240	1.3%	2.9%	0.0%	0.0%	0.0%
第8ロット	R6.7-9月	80	0.0%	0.0%	0.0%	2.5%	0.0%
第9ロット	R7.1-3月	40	0.0%	5.0%	0.0%	0.0%	100.0%

イ 開鰓率の向上及び未開鰓個体の選別除去技術の開発

第6ロット、第8ロット及び第9ロットの日齢9時点での水槽別の鰓の開鰓率を表5に示した。なお、第7ロットについては、移行期で処理が曖昧であったこともあり、比較から除外した。

ミスト無し・夜間照明有りの第6ロットでは、開鰓率が、86%と高い水槽もあれば34%と低い水槽もあり、水槽間差が大きく安定しなかった。結局、第6ロットのM3は開鰓率が低かったため、生産魚を途中で廃棄することとなった。一方、ミスト有り・夜間照明無しの第8ロット及び第9ロットではいずれも約70-100%の開鰓率を示し、第8ロットより第9ロットの開鰓率がより高くなり、水槽間のばらつきも小さくなつた。これらのことにより、ミスト有・夜間照明無しの条件で効率的に開鰓を促すことが出来ることが分かった。この手法と後述する選別技術を併用することにより、より高い開鰓率の種苗を生産することが可能となつた。

表5 生産ロット別水槽別開鰓処理別の日齢9時点での開鰓率（種苗生産時期）

水槽	ミスト無・夜間照明有		ミスト有・夜間照明無
	第6ロット (R5.7-9)	第8ロット (R6.7-9)	第9ロット (※) (R7.1-3)
M1	67%	94%	90%
M2	85%	69%	100%
M3	34%	73%	95%

(※) 協会の報告を参照

ウ 高塩分海水による開鰓個体の選別

塩分濃度33~45%の高塩分海水に供試魚（平均全長：110mm、平均体重：11.4g）を入れ、開鰓の有無を調べたところ、浮上または沈下に関わらずすべての個体で開鰓が確認された。

次いで、開鰓個体の塩分濃度別の浮上率を図2に示した。浮上率は、塩分濃度が高くなるに従い上昇したが、45%と高濃度になっても90%に留まり、開鰓個体がすべて浮上しなかつた。そのため今回の試験では、塩分濃度によってマサバ種苗の開鰓個体を選別できるかどうかは評価することができなかつた。

高塩分海水による開鰓個体の選別を可能にするには、当該塩分濃度で未開鰓個体の大多数が沈下するということが前提であり、運用には未開鰓個体が浮上、又は沈下する塩分濃度の確認が別途必要である。

なお、今回の試験では、いずれの塩分濃度でも斃死する個体は無く全ての個体が沈静状態から回復したが、45%以上の高塩分海水に大量の種苗を曝すことは危険であり、運用は現実的ではないと考えられた。

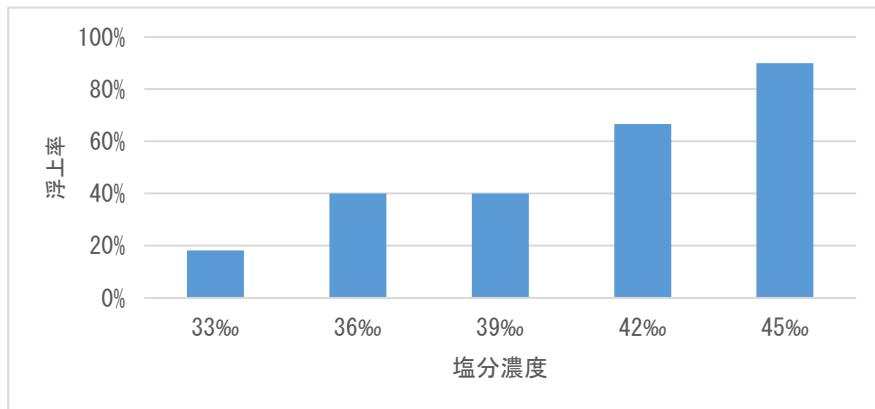


図2 開鰓個体の塩分濃度別浮上率

ホエイ稚魚の大小選別による未開鰓個体の除去の可能性調査

第8ロットの種苗生産の水槽別の開鰓率の変化の推移を図3に、日齢5~9にかけての開鰓個体と未開鰓個体の平均全長の推移を図4に、M2の2次選別時の開鰓、未開鰓別の全長について図5に示した。なお、M1は開鰓率が100%だったため、M3は選別の小個体群が他と混ざったことにより検証できなかったため、いずれも結果から除外した。

開鰓は、M1及びM2は日齢4から、M3は日齢3から始まり、日齢7~9にかけてM1は約90%、M2及びM3は70~80%で推移した。その後M1及びM3の開鰓率は、1次選別時に大きく低下、2次選別時に再び上昇し、M1は100%、M2及びM3も90%以上と高い値となった。また、いずれの水槽でも開鰓個体の方が未開鰓個体より平均全長が大きかった（図5）。M2の2次選別時の開鰓、未開鰓個体のサイズを比較したところ、未開鰓個体の75%の値が開鰓個体の中央値及び平均値とほぼ一致しており、サイズ選別により飼育群の開鰓率を向上させることができると考えられた。

ところで、1次選別時にM1及びM3で開鰓率が下がった原因について検証したところ、今回行った水中での解剖による調査手法では、稚魚が飽食状態であると鰓が圧迫されて気泡が確認できない場合があり、結果として開鰓率を低く評価することになったためと推察された。そのため、稚魚のサンプリングは給餌状態を考慮する必要があることが分かった。

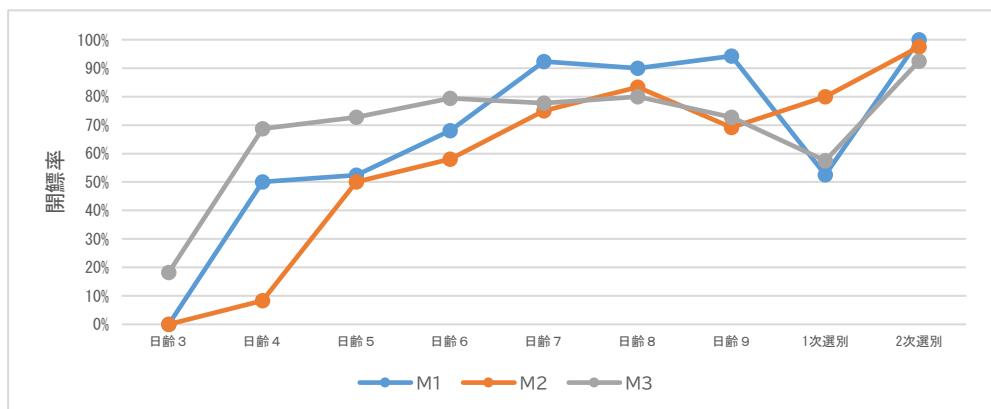


図3 水槽別開鰓率の推移

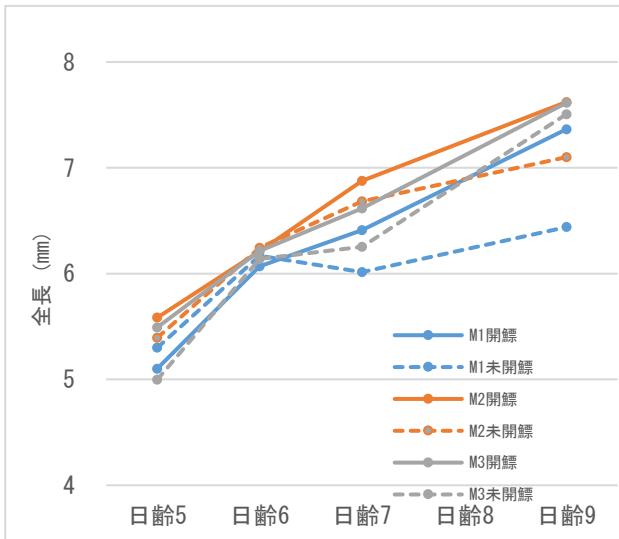


図5 日齢5~9にかけての開鰓個体と未開鰓個体の平均全長の推移

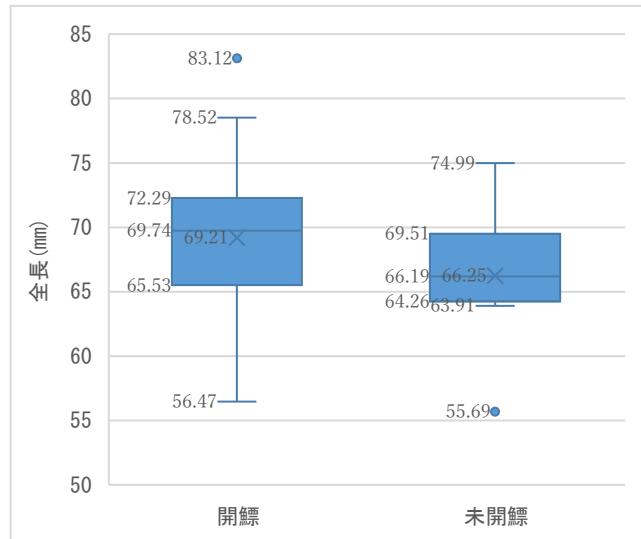


図6 M2における2次選別時の開鰓、未開鰓個体別の全長

(5) 適正な給餌間隔及び餌料添加物と生殖腺の退縮技術の検討

ア 胃内容物の消失速度調査

通常餌区及び吸水餌区の胃内容物量指数を図7に示した。通常餌区では摂餌後、約2時間まで胃内容物量指数の増加が見られ、その後減少に転じ、6時間後は初期値の3/4程度、12時間後は同1/4程度まで減少し、24時間後にはほぼ消失した。一方、吸水餌区では通常餌区で見られた摂餌後の胃内要物の増加は見

られなかった。なお、通常餌区で見られた摂餌後の胃内容物量指数の増加は、1個体の摂餌、消化としては、本来、不自然な現象であるため、今回の結果は、経時採取した個体差が反映されたものと考えられる。また、通常餌区のグラフを2時間前にずらすと、吸水餌区の推移とほぼ一致することから、通常餌は摂餌から消化が進行するまでに給水餌よりも時間がかかることが示唆される。したがって、予め吸水させた配合飼料を給餌することで摂餌から消化にかかる時間を短縮することができ、一日当たりの給餌回数、給餌量を増加することが可能になると考えられる。ただし、飼料転換効率が向上するかどうかは長期飼育による成長の比較が必要である。また、通常餌区でも6時間後には1/4程度は胃から消失していることを考慮すると、6時間に1回給餌する場合、飽食量の1/4程度が適量の上限であると考えられた。

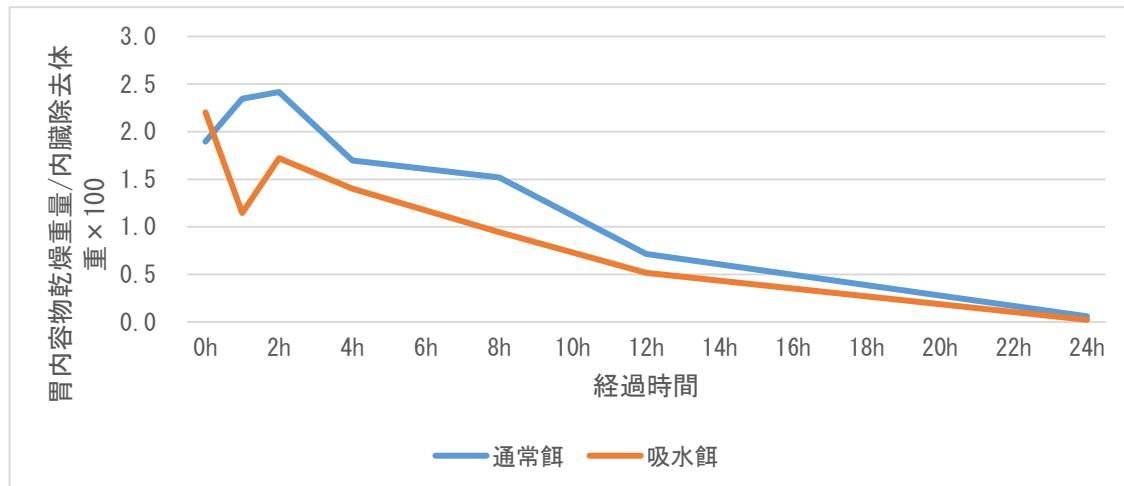


図7 通常餌区及び吸水餌区の胃内容物量指数の推移

イ 給餌間隔及び飼料添加物の効果調査

各試験区の平均体重の推移を図8に示した。1月21日の測定時にNM/6h区で突出して値が大きくなったものの、その後の測定で下がっていることから、サンプリングで偶然大型個体を多く選んでしまった可能性が高いと考えられた。そのため、試験区毎の2月25日の測定の値を用い、給餌間隔の違い及び飼料添加物の有無について各試験区間で成長を比較したところ有意差は無かった(t -test $P>0.05$)。また、各試験区の摂餌率の差も小さく、飼料添加物の有無は各試験区の摂餌率にはほとんど影響しなかった(図9)。

次いで、各試験区の飼育成績を表6に示した。同じ飼料試験区同士の給餌間隔による増肉係数の差は見られなかつたが、飼料添加物の有無については、添加されている2試験区の方が無添加の2試験区に比べて増肉係数の値が低く、飼料添加物により飼料効率が向上した可能性がある。

以上ことから、給餌間隔については、1時間でも6時間でも差が無いことから、飼育管理上、効率的な間隔で給餌すれば良いと思われる。また、当該飼料添加物の利用は、成長には影響しないものの飼料効率がよくなることから、費用面での効果が期待できると考えられる。

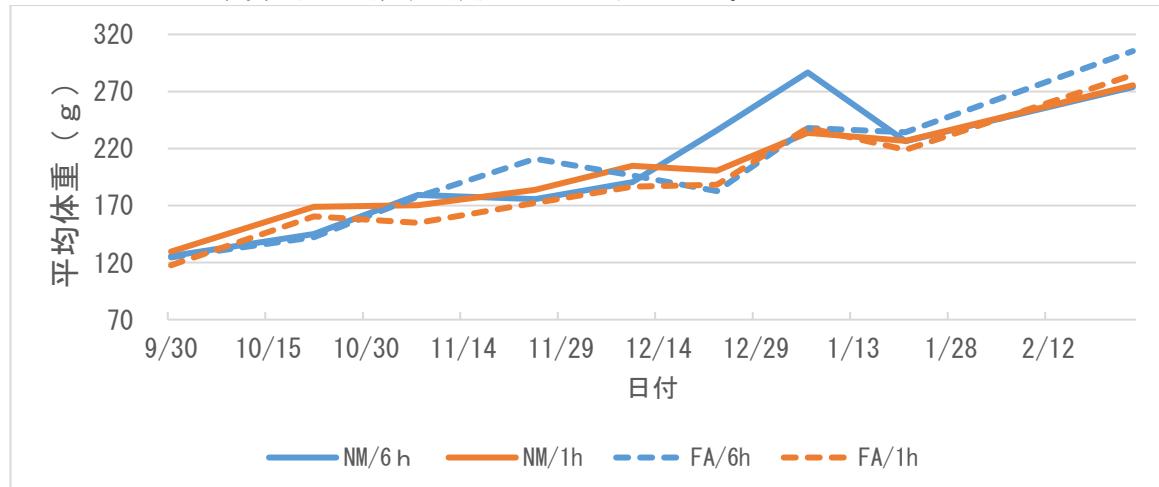


図8 各試験区の平均体重の推移

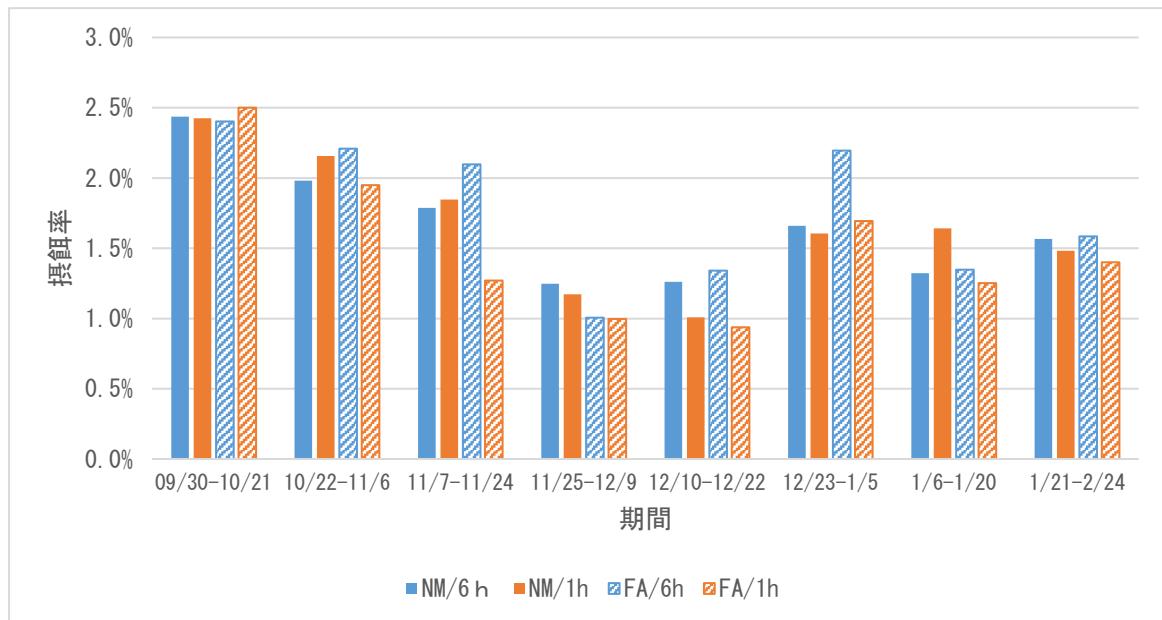


図9 各飼育区の飼育期間別の平均摂餌率

表6 各試験区の飼育成績

項目	NM/6 h	NM/1h	FA/6h	FA/1h
初期重量(g) : (a)	114,764	119,362	114,757	105,342
最終測定時(2/25)重量(g) : (b)	139,192	144,650	157,075	131,492
サンプリング重量(g) : (c)	54,615	53,068	51,364	50,330
斃死重量(g) : (d)	10,890	10,261	12,245	14,027
生産重量(g) : (e=(b-a)+c+d)	89,933	88,617	105,927	90,508
摂餌量 (給餌量-残餌量) (g) : (f)	346,343	351,216	360,358	280,527
増肉計数 (f/e)	3.85	3.96	3.40	3.10

参考文献

- 北島力・岩本浩・藤田矢郎 (1977) : 人工採苗マダイにおける鰓の未発達と脊柱屈曲の関係. 長崎水試研報 (3) , 23-32.
- 服部亘宏 (2023) : マサバの仔稚魚飼育に関する研究. 近畿大学水産研究所報告, 23, 28-127.
- 三浦猛, 大津有稀, 三浦千恵美, 三浦仁嗣 (2022) : 絶食によるマダイ養殖の効率化. アクアネット 25(7) 20, 22-27.
- 三浦猛, 三浦千恵美, 三浦仁嗣 (2011) : 養殖ブリの産卵リスクとその制御のための給餌管理～制限給餌による成熟抑制と成長停滞の解消～. アクアネット 14(1) 52-59.
- 田村眞一 (2018) : B級品の発生を抑制、FCR も向上「3週間の餌止め」でブリの生産効率アップ. アクアネット 21(12) 4-7.