

種苗生産技術開発研究（ブリ）

莖田 峻希・中島 兼太郎・眞鍋 諒太郎・佐々木 進一*

目 的

ブリは本県における重要な養殖魚種であるが、その種苗は天然資源に依存しており、人工種苗の利用はわずかである。ブリ養殖に人工種苗を導入すると、これまでできなかった卵から稚魚までの期間も人為管理できることから、トータルでトレーサビリティを確保できる。また、人工種苗を用いることで、資源管理の実践を海外の消費者へより強くアピールすることが可能となり、輸出拡大に寄与すると考えられる。そこで、本種の人工種苗を用いた養殖をさらに推進するため、種苗生産技術開発研究をおこなった。

方 法

1 採卵ならびに卵およびふ化仔魚管理

1回次の親魚には、県内の養殖業者から購入後に、当センターの海面生簀で養成したブリ21尾を用いた。親魚は、令和元年11月12日に100kL水槽に陸上げし、9日間の馴致をおこなった後、長日処理（15:00～21:00照明点灯）するとともに水温を19°Cに調整して催熟を開始した。親魚には、当センターで調整したモイストペレット（MP）を給餌した。令和2年1月21日に雌親魚（平均魚体重9.52kg）からカニューレにより卵巣卵の一部を採取し、卵径を測定した後、12尾に黄体形成ホルモン放出ホルモンアナログ（LHRHa）2mgを含むコレステロールペレットを左背筋肉に埋め込んだ。同月23日に雌親魚8尾から採卵、雄親魚7尾から採精し、人工授精した。受精卵は、卵管理ネットで管理し、同月25日に浮上卵のみを分離して、15kL円形水槽1面（15kL①）および500Lアルテミアふ化槽1面に收容した。各雌親魚から得られた浮上卵を50粒ずつビーカーに收容し、21°Cに設定したインキュベーター内で孵化させて、採卵から3日後のふ化率を算出した。

2回次の親魚には、県内の養殖業者から購入後に、当センターの海面生簀で養成したブリ15尾を用いた。親魚は、令和元年11月26日に70kL水槽に陸上げし、9日間の馴致をおこなった後、長日処理（15:00～21:00照明点灯）するとともに水温を19°Cに調整して催熟を開始した。親魚の餌料には、調餌作業の効率化を目的として、MPではなくエクストルーダーペレット（EP）を用いた。EPには、ハマチEPおいかけ一番18（日清丸紅飼料）を用い、ハイビタCプラス（あすかアニマルヘルス）を飼料重量の1～2%添着させてから給餌した。令和2年2月4日に雌親魚（平均魚体重9.33kg）からカニューレにより卵巣卵の一部を採取し、卵径

を測定した後、8尾にLHRHaを2mgずつ打注した。同月6日に雌親魚6尾から採卵、雄親魚7尾から採精し、人工授精した。受精卵は、卵管理ネットで管理し、同月8日に浮上卵のみを分離して、500Lアルテミアふ化槽1面に收容してふ化させ、日齢0で70kLスマ水槽1面（S5）に收容し、2回次の種苗生産試験を実施した。また、各雌親魚から得られた浮上卵を50粒ずつビーカーに收容し、21°Cに設定したインキュベーター内で孵化させて、採卵から3日後のふ化率を算出した。

2 種苗生産

(1) 生産方法

1回次の生産は以下のようにおこなった。收容から開口（日齢3）までは仔魚の沈降死を防止するために強通気とし、開口からは仔魚の摂餌と開鰓を妨げないように弱通気とした。飼育水温は20.0°Cから開始し、取りあげまでに22.0°Cまで昇温した。日齢3からタウリンおよびスーパー生クロレラV12（クロレラ工業）で15時間、さらにバイオクロミス（クロレラ工業）で4時間栄養強化したS型ワムシを、水槽内の密度が5～20個体/mLとなるように給餌した。ワムシの強化剤濃度は、タウリン：500g/kL培養水、スーパー生クロレラV12：50mL/1億個体、バイオクロミス：13g/1億個体とした。日齢20からはバイオクロミス6.5g/100L培養水で4時間栄養強化したアルテミアを、1日に1水槽あたり150万～1,800万個体給餌した。日齢26からは配合飼料を給餌した。配合飼料には、アンブローズ（フィード・ワン）およびおとひめ（日清丸紅飼料）を用いた。日齢3から8まで、開鰓を促すため油膜取り器を設置した。日齢40で、共食い防止を目的として2.5mm、3.0mm、3.5mmおよび4.0mmスリットによる選別をおこない、稚魚を取りあげた。

2回次の生産では、通気、水温およびワムシの給餌については1回次の生産と同様におこなった。日齢18から、1回次と同濃度のバイオクロミスで4時間栄養強化したアルテミアを、1日に500万～3億個体給餌した。また、日齢24から冷凍コペポータを1日に30～500gポンプで給餌した。日齢34からは、1回次の生産と同様に配合飼料を給餌した。日齢36で、共食い防除を目的として、160目合いのモジ網を用いて夜間分槽をおこなった。日齢40で、フィッシュポンプを用いて稚魚を移槽し取りあげた。

(2) 測定項目

ふ化計数を日齢0でおこなった。また、日齢5で夜

間計数をおこない生残率を算出した。1回次は取りあげ時に比色法で個体数の計数をおこない、2回次はフィッシュポンプでの移槽時にフィッシュカウンターを用いて取りあげ尾数を算出した。

日齢0～40まで数日おきに各水槽10～20個体ずつ仔稚魚のサンプリングをおこなった。サンプリングした仔稚魚は摂餌率、開鰓率および平均全長を求めた。摂餌率は、仔魚をスライドガラス上で押しつぶし、生物顕微鏡下で消化管中にワムシ咀嚼器が確認できた個体数の割合で示した。また、同時に、鰓内にガスが確認できた個体の割合を開鰓率とした。平均全長は万能投影機で測定した。

結果および考察

1 採卵

1回次の生産では、卵巣卵の平均卵径が637～764 μm の雌親魚から採卵した。8尾から採卵し、合計75.0万粒の浮上卵を得た。このうち31.3万粒ずつを15kL①とアルテミア水槽に收容したが、15kL①の受精卵が沈降死で減耗したため、アルテミア水槽で孵化した日齢0のふ化仔魚の半数を追加し、残りのふ化仔魚は15kL円形水槽1面(15kL②)へ收容した。2回次の生産では、卵巣卵の平均卵径が696～727 μm の雌親魚から採卵した。6尾から採卵し、合計83.2万粒の浮上卵を得た。このうち60.0万粒をアルテミア水槽に收容した。1回次の採卵では雌親魚1尾当たり9.4万粒の卵が得られ、2回次の採卵では雌親魚1尾当たり13.8万粒の卵が得られた。1回次の平均ふ化率は96.3%、2回次の平均ふ化率は98.3%であった。1回次の平均ふ化率と2回次の平均ふ化率は同程度であったことから、親魚の飼料にハイビタCプラスを添着させたEP飼料を用いることは、ふ化率の観点から問題ないと考えられた。

2 種苗生産

(1) 生産結果

1回次の生産では、日齢0の仔魚数は15kL①が137千尾、15kL②が128千尾であった。日齢5では15kL①が85千尾、15kL②が14千尾であった。日齢40で15kL①は10.4千尾(平均全長20.16mm)、15kL②は3.8千尾(平均全長25.79mm)を取りあげた。取りあげ時の生残率は15kL①が7.7%、15kL②が3.0%であった。

2回次の生産では、日齢0の仔魚数は458千尾、日齢5では246千尾であった。日齢36のモジ網選別で、小サイズをS2に、大サイズをS4に分槽した。日齢47で、S2は41.7千尾(平均全長18.56mm)、S4は55.7千尾(平均全長34.03mm)を取りあげた。取りあげ時の生残率は、両水槽あわせて21.3%であった(表1)。

(2) 測定項目

摂餌率は、15kL①では、日齢3で100%であった。15kL②では、日齢3で78%であり、日齢4で100%に達した。S5では、日齢3で70%であり、日齢4で100%に達した。開鰓率は、15kL①、②ともに日齢4で90%、日齢5で95%であった。S5では、日齢4で50%、日齢5で90%であった。日齢0～10までの平均全長の推移を図1に示す。日齢10での平均全長は、15kL①が5.26mm、15kL②が5.30mm、S5が5.73mmであった。日齢10～40までの平均全長の推移を図2に示す。いずれの水槽においても、餌料がワムシからアルテミアと冷凍コペポダに切り替わる日齢20以降からの成長率が高くなった。成長は、15kL①では日齢19で6.38mm、日齢24で8.51mm、日齢40で20.16mmであった。15kL②では日齢19で6.61mm、日齢24で9.73mm、日齢40で25.79mmであった。同じくS5では、日齢20で7.17mm、日齢24で7.80mm、日齢36で14.69mmであった。

表1 生産結果

生産回次	水槽No.	ふ化計数			夜間計数			取りあげ			
		月日	尾数 (万尾)	日齢	尾数 (万尾)	生残率 (%)	水槽No.	日齢	尾数 (千尾)	全長 (mm)	生残率 (%)
1回次	15kL①	1/26	13.7	5	8.5	62.0	15kL①	40	10.6	20.16	7.7
	15kL②		12.8		1.4	10.9	15kL②		3.9	25.79	3.0
2回次	S5	2/9	45.8	5	24.6	53.7	S2	47	41.7	18.56	21.3
							S4		55.7	34.03	

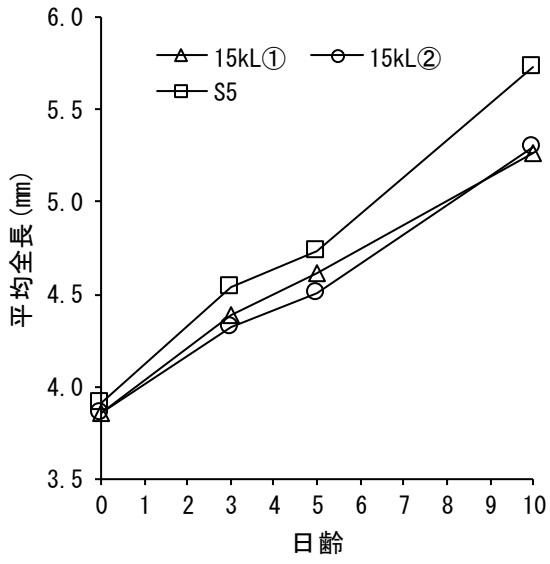


図1 日齢0～10の平均全長の推移

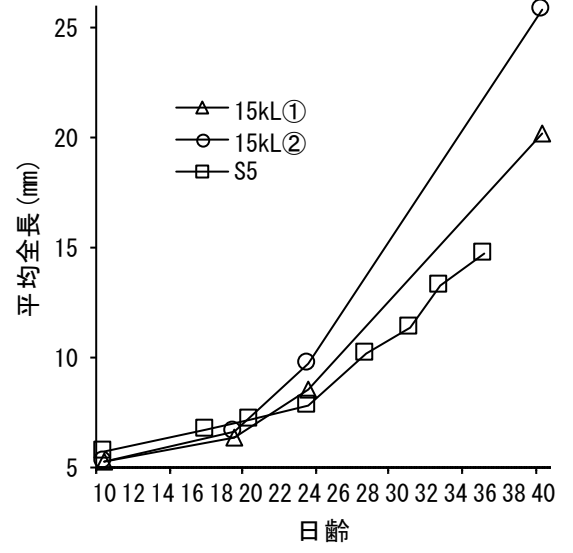


図2 日齢10～40の平均全長の推移

伊予の媛貴海養殖安定化技術開発

中島 兼太郎・眞鍋 諒太郎・佐々木 進一*1・莖田 峻希・水野 かおり・
石井 佑治・川上 秀昌・松原 孝博*2・後藤 理恵*2・斎藤 大樹*2

目 的

本県海面養殖業生産額の3割を占めるブリ類養殖(ブリ、カンパチ等)においては、長引く出荷価格の低迷および飼料用魚粉、燃油、漁業資材等の高騰により、多数の養殖業者が経営不振に陥っており、採算性の高い魚種への迅速な転換が求められている。

当センターでは、クロマグロと同等以上の食味を示し、ブリ類養殖施設をそのまま使用できるスマについて、生産技術開発試験を平成25年度から平成28年度まで実施し、スマの養殖生産に係る親魚養成、採卵、種苗生産、養殖といった一連の工程における基礎的知見の蓄積および実証をおこない、実用化の目途が得られた。

しかしながら、本種の養殖技術に関しては、種苗量産、養殖導入初期の生残性、育成用飼料、疾病対策および出荷手法など多くの課題を残しており、今後、産業に定着させるにはこれらの課題解決が早急に必要である。そこで、これらの課題の解決を目的に、本年度は以下の試験を実施した。なお、出荷技術の開発については、国立大学法人愛媛大学南予水産研究センターに試験を委託して実施した。

方 法

1 種苗量産技術高度化試験

500Lポリカーボネート水槽を3水槽使用し、日齢23のスマ稚魚(平均尾叉長33.9mm、平均魚体重0.43g)を70尾ずつ収容した。飼育水温は23°Cとなるように調整した。試験区①はマグロGF、②はアンブロシア(ともにフィード・ワン株式会社製のマグロ用配合飼料)を、③は生餌(イカナゴ)を、それぞれ1日8回飽食給餌した。試験期間は収容日を含めた10日とし、試験開始から5日経過時に10尾ずつ、終了時に20尾ずつ尾叉長と魚体重を測定した。試験区間の各測定値の差異については、Tukeyの多重比較により検定をおこなった。また、①および②は、給餌量から飼料効率を算出した。

2 養殖用飼料開発試験

8月7日に、平均魚体重210gのスマを5m×5m×5mの海面生簀3面にそれぞれ100~114尾収容した。試験区として、直径4mmのマグロ用EP(4mmEP)を給餌した区(EP1区)、直径5mmと6mmのマグロ用EP(5mmEP、6mmEP)を成長に合わせて給餌した区(EP2区)、栄養剤(SDミライムC-100、バイオ科学社)を1%混ぜたカタクチイワシを給餌した区(生餌区)を1面ずつ設け、

飼育をおこなった。また、水温ロガー(UA-002-08、Onset社)を用いて飼育期間中の水温を測定した。11月3日までは1日3回飽食給餌し、11月6日から12月9日の試験終了までは1日2回飽食給餌した。試験終了時に全供試魚をサンプリングし、尾叉長と魚体重を測定した。また、各飼餌料と魚体の一般成分について、水分は105°C常圧乾燥法、灰分は600°C灰化法、粗タンパク質はケルダール法、粗脂肪はソックスレー抽出法により分析した。

3 養殖実証試験

伊予の媛貴海養殖種苗生産強化事業で生産した種苗のうち、20,000尾を5月7、8日にA社へ、6,000尾を6月1日にB社へ配布した。飼育に関する手法(飼餌料の種類、給餌回数、給餌量および生簀繰り等)は、当センターの指導に基づき各社が決定し、実施した。魚体重は、サンプリングして実測したほか、水中ステレオカメラ映像から尾叉長を測定し、これまでの測定結果から求めたスマの尾叉長と魚体重のアロメトリー式を用いて算出した。配布先の生簀には水温ロガーを設置し、飼育期間中の漁場の5m層の水温を測定した。

4 魚病対策試験

(1) 病原性試験

レンサ球菌症(*Lactococcus garvieae*)およびマダイイリドウイルス病のスマに対する病原性を確認するために、平均体重8.9gのスマを用いて人為感染試験を実施した。レンサ球菌は、*L. garvieae* KG9408株を用いた。攻撃濃度は、 4.3×10^5 、 4.3×10^4 、 4.3×10^3 および 4.3×10^2 CFU/mlとした。マダイイリドウイルスはRSIV KagYT-96株を用い、 5×10^7 、 5×10^5 、 5×10^3 および 5×10^1 コピー/mlとした。これらの攻撃液を供試魚の腹腔内に0.1ml接種し、14日間観察し、スマに対する半数致死濃度(LD50)を算出した。なお、試験期間中の水温は、20.3°Cから21.1°Cであった。

(2) ワクチンの効果試験

レンサ球菌症およびイリドウイルス病に対する市販ワクチンのスマに対する効果を検証するため、市販の連鎖球菌およびイリドウイルス病に対する2価ワクチン(ピシバック注3混、共立製薬)を腹腔内に0.1ml/尾接種した。対照区の個体には、PBSを腹腔内に0.1ml/尾を接種した。20日後に、*L. garvieae* KG9408株 4.8×10^4 CFU/尾またはイリドウイルスRSIV KagYT-96株 5×10^6 コピー/mlを腹腔内に接種し、14日間観察した。試験は2回実施し、供試魚の平均体重は1回目11.5g、

2 回目 3.9g であった。なお、試験期間中の水温は、21.2°C から 22.9°C であった。

5 出荷技術の開発 (愛媛大学委託)

スマの出荷に関する現行の船上作業方法は、1) 釣りによる捕獲、2) 鰓大動脈切断による脱血、3) 頸部脊椎骨および脊髄の切断、4) 氷温希釈海水による冷やし込みにより構成される。同方法は出荷規模の小さい時期に考案したものであり、今後の出荷尾数の増大に対応した方法へと改善する必要がある。現在の問題点として、大量出荷に際して釣りでの出荷では数が揃えられない可能性があること、出荷のたびに生簀単位で餌止めが必要となり、養殖魚全体の成長に悪影響が出ることが懸念されている。そこで、本試験では、大量に水揚げできる出荷生簀を用意し、必要数のスマをあらかじめ生簀へ誘導して取りあげる方法を検討している。

今年度は、昨年度試作した出荷生簀を使用し、取りあげ作業を想定した実証試験をおこなった。試験にあたっては、事前に出荷サイズのスマ 3 尾 (平均魚体重 2.8kg) を収容し、出荷生簀内の行動についても観察した。

結果および考察

1 種苗量産技術高度化試験

終了時における魚体重は、試験区① (マグロ GF) が 2.53g、② (アンブロシア) が 4.30g、③ (生餌) が 2.77g であり、②が有意に重く ($P<0.01$)、試験区①と③の間に有意差はみられなかった ($P>0.05$)。

肥満度は、①が 9.96、②が 9.51、③が 8.87 であり、全ての試験区間で有意差があった (①と②の間は $P<0.05$ 、他は $P<0.01$)。生残率は区を通じて 90~95%と、大きな差はなかった。試験開始から終了までの飼料効率率は①が 125.5%、②が 163.9%であった (表 1、図 1)。

今回の給餌試験の結果では、マグロ GF では生餌と同等、アンブロシアでは生餌以上に成長し、飼料効率はアンブロシアが高かったことから、配合飼料ではアンブロシアが優れることが明らかとなった。配合飼料では、経過日数とともにおおむね飽食給餌量が増加したが、生餌 (試験区③) では 5 日目以降に減少した (図 2)。これは、給餌した生餌の品質や給餌方法に何らかの問題があり、スマの栄養状態が悪くなったことによる可能性がある。このように、生餌は品質管理や給餌方法によってはスマ稚魚に悪影響をおよぼす可能性があるため、稚魚期においては生餌の単独使用は避け、マグロ用配合飼料を使用、または生餌との併用給餌をおこなうことが望ましいと考えられた。

表 1 飼育結果

	①マグロGF	②アンブロシア	③生餌	
魚体重 (g)	開始時	0.43	0.43	0.43
	終了時	2.53 ^a	4.30 ^b	2.77 ^a
肥満度	開始時	1.12	1.12	1.12
	終了時	9.96 ^a	9.51 ^b	8.87 ^c
飼料効率 (%)	125.5	163.9	-	
生残率 (%)	90.0	95.0	93.3	

異なるアルファベット間で有意差あり

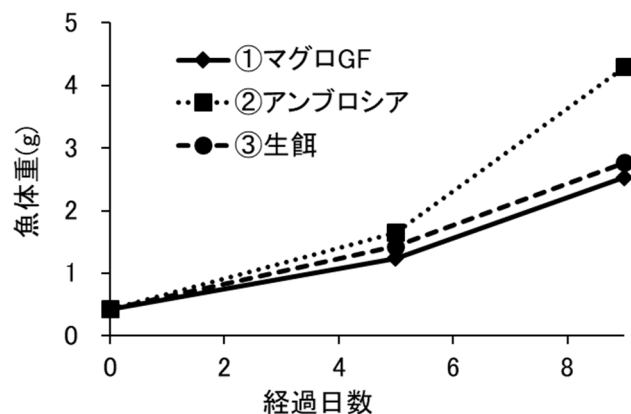


図 1 魚体重の推移

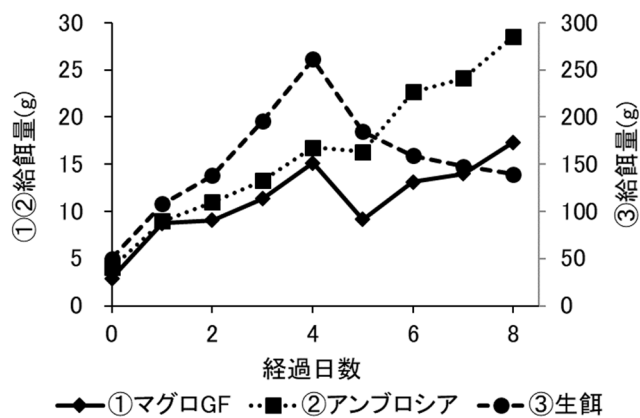


図 2 給餌量の推移

2 養殖用飼料開発試験

飼育期間中の水温は 18.0~28.2°C であった。各 EP は直径が大きくなるにつれ粗タンパク質が低下し、粗脂肪が増加する傾向がみられた (表 2)。

試験終了時の生残率は各試験区で 45.0%~57.0% であり、生餌区、EP1 区、EP2 区の順に生残率が高かった (表 3)。なお、試験魚を収容した 8 月 7 日から約二週間のうちに、搬送・収容のストレスおよび、8 月 14 日から 16 日にかけて通過した台風の影響と思われるへい死が起こっており、これがおさまった 8 月 19 日から試験終了時までの生残率は、試験区を通じて 75.4~

91.9%（この間の生残率は生餌区、EP2区、EP1区の順で高い）であった。

試験終了時の平均魚体重は生餌区が1,224.5±136.1g、EP1区が1,160.4±95.6g、EP2区が982.2±102.0gであった（ $P>0.05$ ）。日間成長率と日間摂餌率において、生餌区が最も高く、EP1区、EP2区の順に低かった。肥満度はEP1区が22.9±1.3と最も高くなり、生餌区では22.4±1.0、EP2区では21.8±0.8であった。増肉係数に関しては、生餌区が高く、EP1区とEP2区は同程度であった。

魚体成分において、粗タンパク質は生餌区が最も高く、EP1区、EP2区は同程度であった（表4）。粗脂肪に関しては、EP1区、EP2区、生餌区の順に高かった。本研究の結果から、マグロ用EPを用いることにより、カタクチイワシに匹敵する高成長が見込め、さらに粗脂肪含量が多いスマを作出できる可能性がある。

表2 各飼餌料の一般組成の乾物換算値（%）

	使用飼料			
	4mmEP	5mmEP	6mmEP	カタクチ
粗タンパク質	57.8	53.3	50.0	72.1
粗脂肪	22.0	23.5	25.8	12.7
粗糖質	12.1	12.2	12.6	1.7
粗灰分	8.0	11.0	11.5	13.5
C/P*	81.3	86.7	93.4	59.7

* (kcal/kg/粗タンパク質%)

表3 各試験区における飼育成績の結果

	試験区		
	EP1	EP2	生餌
生残率(%)	51.5	45.0	57.0
初期魚体重(g)	209.9 ± 34.5		
魚体重(g)	1160.4	982.2	1224.5
±SD	95.6	102.0	136.1
日間成長率(%)	1.11	1.04	1.13
日間摂餌率(%)	2.38	1.88	16.61
肥満度	22.9	21.8	22.4
±SD	1.3	0.8	1.0
増肉係数	3.23	3.22	20.54

平均値±SD(標準偏差)(n=14~40)

表4 各試験区における魚体成分（%）

	EP1区	EP2区	生餌区
水分	56.1	57.7	58.1
粗タンパク質	20.2	20.8	22.1
粗脂肪	21.6	20.0	18.0
粗灰分	1.4	1.5	1.5

3 養殖実証試験

A社では、配布から10日間で約5,700尾のへい死が確認されたが、その原因は不明であった。

魚体重と水温の推移を図3に示した。3月の魚体重は、両社とも約2,300gであり、同等であった。水温はA漁場では17.0~29.4°C、B漁場では16.3~27.6°Cの範囲であり、A漁場の方が平均で1°C高く推移した。今回の養殖試験では、水温の推移に関わらず成長に差がみられなかったが、飼育手法が各社で異なっているため、その要因は明確ではない。今後は、スマの生育至適水温、餌料の種類が成長に与える影響について検討する必要がある。

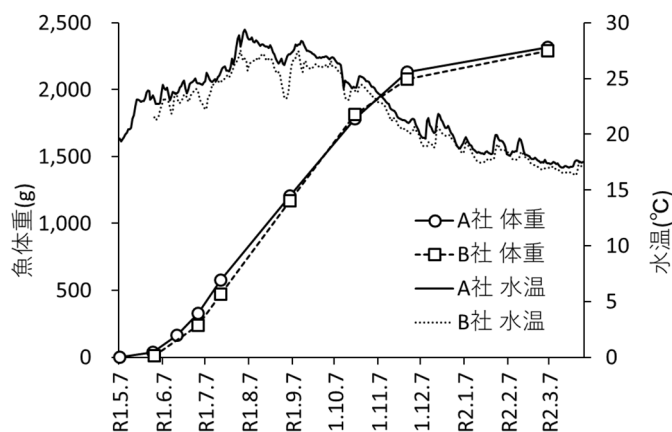


図3 魚体重と飼育水温の推移

4 魚病対策試験

(1) 病原性試験

レンサ球菌症の病原性試験結果を表5に、イリドウイルス病の病原性試験結果を表6に示す。

レンサ球菌症の感染試験では、 4.3×10^2 CFU/尾および 4.3×10^3 CFU/尾接種区で67%、 4.3×10^4 CFU/尾接種区で78%、 4.3×10^5 CFU/尾接種区で100%死亡した。すべての死亡魚から接種菌が再分離された。半数致死濃度は 8.9×10^0 CFU/尾と算出された。

イリドウイルス病の感染試験では、 5.0×10^1 コピー/尾接種区で78%、 5.0×10^3 コピー/尾接種区で67%、 5.0×10^5 コピー/尾接種区で89%、 5.0×10^7 コピー/尾接種区で100%死亡した。半数致死濃度は 3.6×10^1 コピー/尾と算出された。

これらの結果から、レンサ球菌およびイリドウイルスは、スマに対し強い病原性を有し、スマ養殖ではレンサ球菌症およびイリドウイルス病に対する注意が必要であると考えられた。

表 5 レンサ球菌の病原性試験結果

接種濃度 (copy/fish)	供試魚数	死亡率 (%)	LD50 (CFU/fish)
5.0x10 ⁷	9	100	
5.0x10 ⁵	9	89	3.6x10 ¹
5.0x10 ³	9	67	copy/fish
5.0x10 ¹	9	78	

表 6 イリドウイルスの病原性試験結果

接種濃度 (CFU/fish)	供試魚数	死亡率 (%)	LD50 (CFU/fish)
4.3x10 ⁵	9	100	
4.3x10 ⁴	9	78	8.9x10 ⁰
4.3x10 ³	9	67	CFU/fish
4.3x10 ²	9	67	

(2) ワクチンの効果試験

一回目の試験では、免疫期間中の生残率は、ワクチン区 68.0%、対照区 61.3%であった。レンサ球菌による感染試験後の死亡率は、ワクチン区 67%、73%であるのに対し、対照区 100%、67%であった。これらの値から算出した有効率は、20%および 12%であり、ワクチンの効果は認められなかった (表 6)。イリドウイルスによる感染試験後の死亡率は、ワクチン区 100%、87%であるのに対し、対照区 67%、60%であり、ワクチンの効果は認められなかった (表 7)。

2 回目の試験では、免疫後 3 日目からワクチン区および対照区の両区で白点虫症による死亡が続き、6 日目に試験を中止した。

免疫期間中のワクチン区および対照区の死亡率に違いはなく、ワクチン接種の影響による異常および死亡は特にみられなかったことから、スマに注射法でワクチンを投与することは可能であることは明らかになったが、ワクチンの有効性は確認できなかった。今回の試験では、疾病による死亡の他に、共食いや衝突による死亡が混在しており、病原体の影響を正確に判断することが困難な状況であった。用いる水槽のサイズを大きくするなど、試験方法の改善が必要と考えられた。

表 7 レンサ球菌に対する市販ワクチンの効果試験結果

試験区	供試尾数	死亡尾数	死亡率	有効率
ワクチン区1	15	10	67	20
ワクチン区2	15	11	73	12
対照区1	15	15	100	-
対照区2	15	10	67	-

表 8 イリドウイルスに対する市販ワクチンの効果試験結果

試験区	供試尾数	死亡尾数	死亡率	有効率
ワクチン区1	15	15	100	-
ワクチン区2	15	13	87	-
対照区1	15	10	67	-
対照区2	15	9	60	-

5 出荷技術の開発 (愛媛大学委託)

図 4 に試作した出荷生簀の写真を示した。スマを貯留するドーナツ状のプールは良好に形成され (図 4-8)、スマを收容した試験でも個体は平常な状態で遊泳しており、低摩擦布 (サーモン養殖において海水馴致の際に使用する素材) への接触は見られなかった。今回の試作品は低摩擦布に水抜き穴を開けておらず、揚網には 5 名以上の人数を必要とした。このことから、揚網を自動化する工夫とプールから魚をすくい取る方法を開発する必要がある。

総 括

平成 29 年度から令和元年度において、伊予の媛貴海 (スマ) の養殖安定化を目指し、下記の 5 項目の試験を実施した。

種苗量産技術高度化試験：餌料系列の検討をおこない、スマが生餌に餌付くのは全長 26mm 前後であることを明らかにした。また、配合飼料を用いた飼育方法を検討し、スマはマグロ用配合飼料を摂餌し、成長することを確認した。今後は、配合飼料の適正な餌付け方法や給餌時期等を検討し、さらに効率的な量産技術を開発する必要がある。

養殖用飼料開発試験：スマの飼育に適したモイストペレットのマッシュ含有率は 10%程度であることを明らかにした。また、マグロ用 EP を用いた飼育試験を実施し、生餌 (カタクチイワシ) に匹敵する成長が見込めることを明らかにした。しかし、使用したマグロ用 EP は高価格であるため、コストの削減や適正な給餌量の把握が今後の課題である。

養殖実証試験：養殖業者に種苗を配布して、最大で 2 万尾規模での養殖試験をおこなった。最短で養殖開始から半年程度で 2kg まで成長し、市場サイズとなることがわかった。また、水温が 20°C を下回る時期には成長が著しく悪くなることがわかり、スマの成長特性を明らかにした。

疾病対策試験：クロマグロ養殖で問題となっているレンサ球菌症およびイリドウイルス病のスマに対する感受性を確認したところ、スマに対しても病原性を有していることが明らかになった。また、両疾病に対するワクチンの効果試験では、注射法によるワクチン接種

が可能であることは明らかになったが、市販ワクチンの有効性は認められなかった。

出荷技術の開発：愛媛大学に委託して実施した。餌止めの必要がない小型の出荷用生簀を開発した。また、その生簀にスマを誘導する技術を開発し、出荷用生簀か

らスマを傷付けずにすくい上げることに成功した。しかし、揚網に手間がかかるため、自動化等の検討が必要である。



図4 試験作成した出荷生簀の設置と作動確認状況

伊予の媛貴海養殖種苗生産強化事業

中島 兼太郎・眞鍋 諒太郎・佐々木 進一*・莖田 峻希

目 的

養殖スマ「伊予の媛貴海」は、プロモーション活動により全国での知名度は向上したものの、種苗の供給が少なく、養殖期間中のへい死も多いことから養殖生産量は依然として少なく、このことが販路拡大や産業の定着化への大きな障害となっている。今後、スマ養殖を産業として定着させるためには、養殖技術の確立や優良種苗生産体制の構築が必要であるが、特に種苗の量産・供給については、新技術の開発と並行して、産業規模での生産に向けた高度化を迅速に進めていかなければならない。

そこで本事業では、愛育フィッシュ全体のけん引役となる「伊予の媛貴海」を周年にわたって販売出来るよう種苗生産体制を高度化し、優良種苗の安定供給を図る。

方 法

1 極早期種苗生産

親魚として、当センターで要請したスマを用い、4月14日に得られた受精卵200,000粒を円型水槽（S4：水量65kL）に（1R-1）、4月15日に得られた受精卵150,000粒を円型水槽（G2：水量95kL）に収容し（1R-2）、種苗生産を開始した。飼育水温は24.0～26.0℃に設定した。

日齢2から、タウリンで18時間、さらにバイオクロミス（クロレラ工業株式会社製）および冷凍ナンノクロロプシス（K-2、クロレラ工業株式会社製）で5時間栄養強化したS型ワムシを給餌した。日齢7または8からマダイふ化仔魚を、日齢14または15から配合飼

料（鮭心：日清丸紅飼料株式会社製、アンブロシア：フィード・ワン株式会社製）を給餌した。日齢16または17で取りあげ、比色法で計数した後、活魚選別器で選別して中間育成に移行した。

2 早期種苗生産

4月24日に、極早期種苗生産と同じ親魚から得られた受精卵150,000粒を円型水槽（G1：水量95kL）に収容し、種苗生産を開始した（2R）。飼育水温は同じく24.0～26.0℃に設定した。

日齢2から、極早期と同様に栄養強化したS型ワムシを給餌した。日齢8からマダイふ化仔魚を、日齢15から配合飼料（鮭心、アンブロシア）を給餌した。日齢16で取りあげ、比色法で計数した後、活魚選別器で選別して中間育成に移行した。

結 果

1 極早期種苗生産

5月1日に、1R-1を日齢17（全長26.7mm）で20,800尾、1R-2を日齢16（全長24.3mm）で41,500尾取りあげた（表1）。取りあげた種苗は、選別器で分けられたサイズごとに管理し、5月7日に12,000尾（全長50.1mm）、8日に8,000尾（全長50.3mm）、6月1日に3,000尾（全長120mm）を養殖業者に配布した。

2 早期種苗生産

5月10日に、日齢16（全長25.6mm）で48,000尾を取りあげた（表1）。取りあげた種苗は、選別器で分けられたサイズごとに管理し、6月1日に3,000尾（全長110mm）、6月3日に2,500尾（全長120mm）を県内の養殖業者に配布した。

表1 種苗生産試験結果

生産 回次	水槽 No.	月日	収容			取りあげ			
			卵数 (粒)	仔魚数 (尾)	ふ化率 (%)	日齢	尾数 (尾)	全長 (mm)	生残率 (%)
1R-1	S4	4/14	200,000	145,000	72.5	17	20,800	26.7	14.3
1R-2	G2	4/15	150,000	93,000	62.0	16	41,500	24.3	44.6
2R	G1	4/24	150,000	198,000	132.0	16	48,000	25.6	24.2

卵数は重量法、仔魚数は柱状サンプリングによる。

スマ育種完全養殖システム開発事業

(革新的技術開発・緊急展開事業 (うち地域プロジェクト))

中島 兼太郎・眞鍋 諒太郎・佐々木 進一*・莖田 峻希

目 的

愛媛県の西南部に位置する宇和海沿岸は、日本有数の養殖魚の産地である。しかし、マダイ、ブリに見られる価格の不安定化や赤潮被害などの問題に加え、人気の高まるクロマグロにおいても人工種苗の供給不足問題などから、養殖業の低迷が続いている。そのため、商品価値の高い新たな魚種の養殖、とりわけ新規マグロ類「スマ」を対象として、最新技術水準の完全養殖システムを樹立する。本研究課題は、国立大学法人愛媛大学、鹿児島大学および国立開発法人水産研究・教育機構と共同で実施した。

スマ養殖の事業化のためには種苗の大量生産技術の開発が必須であり、現在、技術上のボトルネックとなっている餌用の魚類ふ化仔魚の削減・廃止が必要である。そこで、当センターにおいて、「1 ふ化仔魚利用を低減・最適化した大量種苗生産技術開発」と種苗量産化技術を最適化するための「2 種苗生産期・稚魚育成期の減耗防除技術および飼育技術最適化」として2課題を実施した。

方 法

1 ふ化仔魚利用を低減・最適化した大量種苗生産技術開発

(1) 試験区の設定

スマ仔魚への餌仔魚給餌方法として、ふ化仔魚のみを給餌する方法と、スマ仔魚がある程度成長した時点(日齢13以降)で、サイズに合わせた餌仔魚を併用して給餌する方法とを比較検討した。本年度は、イシダイの受精卵から得られたふ化仔魚のみを給餌する区(ふ化仔魚給餌区)と、イシダイ仔魚を種苗生産して適切なサイズに育てたものを途中から併用する区(大型仔魚併用区)を各2面設定し、試験をおこなった。

(2) スマ仔魚生産

愛媛大学南予水産研究センターで養成したスマ親魚10尾から得られた受精卵を、ポリカーボネート水槽4面(容量500L)に1,000粒ずつ収容した。飼育水温は26°Cとした。S型ワムシを初期餌料とし、日齢2から14まで飼育水中のワムシ密度が5個体/mLとなるように1日1回給餌した。ワムシの栄養強化は、濃縮淡水クロレラおよびタウリンで18時間、DHA藻類(バイオクロミス、クロレラ工業)および冷凍ナンノクロロプシス(K-2、クロレラ工業)で4時間おこな

った。また、ふ化仔魚給餌区では、日齢7から18まで、当センターで養成したイシダイ親魚200尾から得られた受精卵をふ化させて、卵重量で20g~1,000g/日給餌した。スマ仔魚の成長に合わせて量を調整しながら、日齢12までは各区のふ化仔魚給餌量をそろえた。大型仔魚併用区では加えて、日齢13からふ化仔魚の給餌量を抑えるとともに、下記(3)の方法で生産したイシダイ大型仔魚を給餌した。この際、ふ化仔魚と大型仔魚の給餌量の合計が、同じ日齢において、ふ化仔魚給餌区の給餌量とほぼ同量となるよう調整した。スマ仔魚が日齢1、6、12、16に達した際に飼育水槽から2L手付きビーカーと手網を用いて10尾ずつ採集し、仔魚の全長、体高を測定した。日齢16に取揚げをおこない、実数計数により生残尾数を求めた。

(3) イシダイ大型仔魚生産

上記と同様にして得られた受精卵90,000粒を、陸上角型水槽1面(容量4.0トン)に収容した。飼育水温は24~26°Cとした。初期餌料としてS型ワムシを使用した。日齢2から飼育水中のワムシ密度が5個体/mLとなるように1日1回給餌した。日齢6以降は10個体/mLになるように1日1回給餌した。ワムシの栄養強化はスマ仔魚で給餌したワムシと同様とした。日齢0、2、6、12、18、20に各飼育水槽から2L手付きビーカーと手網を用いて仔魚を20尾採集し、仔魚の全長、体高を測定した。日齢20からスマの餌料用としてイシダイ仔魚を順次取揚げ給餌し、日齢22ですべてのイシダイ仔魚を取揚げ、給餌した。この時のスマへの給餌量から、重量法により生残尾数を推定した。

(4) スマ仔魚に給餌可能なイシダイ仔魚の日齢の検討

上記(2)でサンプリングしたスマ仔魚について、上顎長を測定し、代田¹⁾の方法にしたがって開口角を90°として口径を算出した。

スマ仔魚の口径と上記(3)で測定したイシダイ仔魚の体高から、イシダイふ化仔魚を摂餌可能なスマ仔魚の日齢を推定した。代田¹⁾にしたがい、摂餌時における開口率を口径の75%とみなして、イシダイ仔魚の体高がスマ仔魚の口径の75%以下ならスマ仔魚が摂餌可能であるとした。

2 種苗生産期・稚魚育成期の減耗防除技術および飼育技術最適化

当センターで生産した日齢19のスマを2.5mm幅の

*現 農林水産部水産局水産課

活魚選別器（以下、選別器）で選別し、選別器から抜けたスマ（平均全長 22.6mm）200 尾を収容した選別区を 2 水槽、同様のスマ 100 尾と選別器に留まったスマ（平均全長 28.9mm）100 尾を混ぜて収容した混合区を 2 水槽設けた。1 日 5 回イカナゴミンチを給餌し、6 日間飼育した。底掃除を毎日午前と午後 1 回ずつおこない、死魚数を確認した。試験終了時に各試験区の生残魚の全長を測定し、スミルノフ・グラブスの検定により外れ値を求めた。開始時の尾数から死魚数と生残数を引いたものを不明数とし、飲み込み型の共食いによるものとした。

結果および考察

1 ふ化仔魚利用を低減・最適化した大量種苗生産技術開発

(1) スマ生産結果

試験期間および試験区を通した平均水温は 25.8°C であった。各試験区における種苗生産結果を表 1 に示した。取揚げ尾数の平均値と標準誤差は、大型仔魚併用区においては 261±26 尾（平均生残率 26.1%）、ふ化仔魚給餌区においては 324±25 尾（平均生残率 32.4%）であった。

各試験区における成長結果を図 1 に示した。日齢 1 における平均全長と標準誤差は 3.51±0.01mm であった。大型仔魚併用区では、日齢 12 に 13.85±0.07mm まで成長し、取揚げ時の日齢 16 には 35.23±1.07mm に達した。ふ化仔魚区でも同様に、日齢 12 に 14.23±0.38mm まで成長し、取り揚げ時の日齢 16 には 35.01±0.16mm に達した。

(2) イシダイ仔魚生産結果

生産期間を通じた平均水温は 25.4°C であった。取揚げ尾数は 5,460 尾（6.1%）であった（表 1）。イシダイふ化仔魚の平均全長と標準偏差は 2.80±0.09mm であり、取揚げ開始時の日齢 20 には 8.45±1.67mm に達した。

(3) スマ仔魚に給餌可能なイシダイ仔魚の日齢の検討

各試験区におけるスマ仔魚の口径とイシダイ仔魚の体高の成長を図 2 に示した。大型仔魚併用区のスマ仔魚の平均口径と標準誤差は、日齢 6 において 0.92±0.02mm、日齢 12 においては 4.42±0.10mm、取揚げ日の日齢 16 には 8.17±0.45mm に達した。ふ化仔魚給餌区のスマ仔魚の平均口径と標準誤差は、日齢 6 において 0.94±0.01mm、日齢 12 においては 4.50±0.06mm、取揚げ日の日齢 16 には 8.15±0.03mm に達した。イシダイふ化仔魚の平均体高と標準偏差は 0.73±0.04mm であった。日齢 2 で 0.56±0.04mm と一旦縮んだ後、それ以降は高くなり、取揚げ時の体高は 2.10±0.52mm であった。

スマ仔魚の口径とイシダイふ化仔魚の体高の比率

が 75%以下になるそれぞれの日齢範囲を図 3 に示した。イシダイふ化仔魚を摂餌可能なスマ仔魚の日齢は 7 以降であった。また、日齢 20 のイシダイ大型仔魚を摂餌可能なスマ仔魚は日齢 12 以降であった。

(4) 大型仔魚の給餌量とふ化仔魚の給餌量

スマ仔魚に対するイシダイ仔魚の給餌量を表 2 に示した。大型仔魚併用区は 2 水槽ともふ化仔魚の給餌量は 664.3g で、大型仔魚の給餌量が 21.0g であった。ふ化仔魚給餌区の 2 水槽のうち 1 つは、スマの生残が良好であったため、餌仔魚が不足気味となり、日齢 13 以降のふ化仔魚の給餌量を多めに調整した。その結果、ふ化仔魚の期間中給餌量はそれぞれ 683.4g と 845.2g となった。

(5) まとめ

本研究では、スマ仔魚の口径とイシダイ仔魚の体高を比較し、給餌時期を決定した後、実際にイシダイふ化仔魚を日齢 7 以降のスマに給餌し、日齢 20 のイシダイを日齢 12 以降のスマに給餌した。その結果、スマの取揚げ時の全長は大型仔魚併用区とふ化仔魚給餌区のどちらも 35mm を越える成長を示した。生残率に関しては、ふ化仔魚給餌区の方が若干高いものの、どちらも 25%を超える生残率であった。このことから、口径と体高の比較により餌料用仔魚の給餌時期を決める手法は、スマの種苗生産に適用可能と考えられる。

本研究では、一部のふ化仔魚の代わりに大型仔魚を給餌することでスマの種苗生産を試みた。大型仔魚併用区の 2 水槽においては、ふ化仔魚の給餌量が 664.3g、大型仔魚給餌量が 21.0g であった。ふ化仔魚給餌区の 2 水槽においては、1 水槽で生残率が高く、給餌量を増やした結果、水槽間でふ化仔魚の総給餌量を同量にできなかった。そこで、給餌量が同程度であった大型仔魚併用区とふ化仔魚給餌区を比較すると、生残率はほぼ同等であり、ふ化仔魚の給餌量を大型仔魚で代替できたと考えられる。両区を比較すると、大型仔魚併用区はふ化仔魚 19.1g を大型仔魚 21.0g で代替したことになる。よって、ふ化仔魚 1g を大型仔魚で補うには大型仔魚が 1.1g 必要であると試算される。

表1 種苗生産結果

試験区	卵数 (粒)	取揚げ			
		日齢	尾数 (尾)	全長 (mm)	生残率 (%)
大型併用 -1	1,000	16	235	36.3	23.5
大型併用 -2	1,000	16	286	34.2	28.6
ふ化仔魚 -1	1,000	16	299	35.2	29.9
ふ化仔魚 -2	1,000	16	349	34.9	34.9
イシダイ 試験区	90,000	20~22	5,460	8.5	6.1

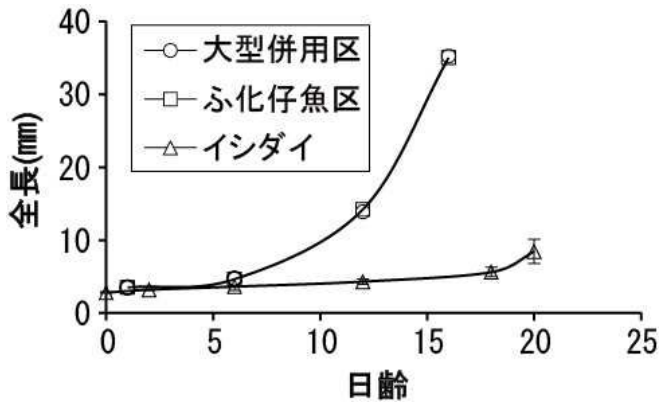


図1 スマとイシダイ仔魚の成長
(バーは標準偏差)

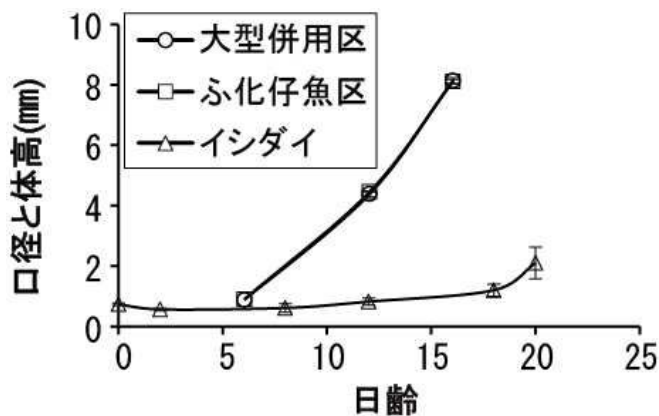


図2 スマの口径とイシダイの体高の推移
(バーは標準偏差)

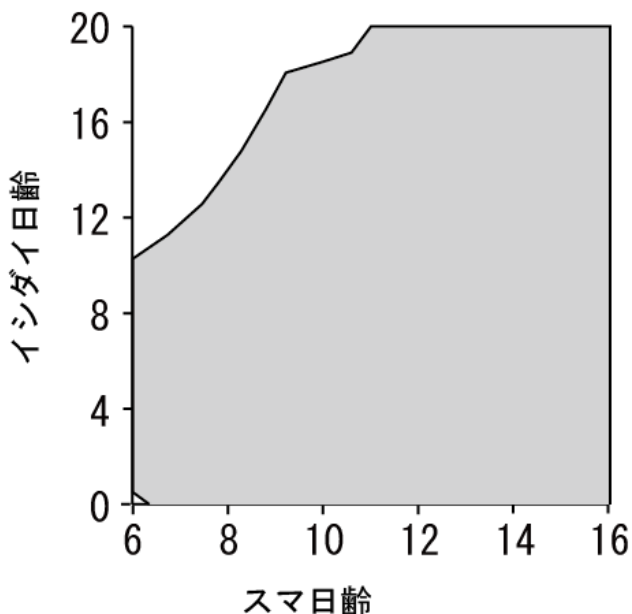


図3 スマの口径とイシダイの体高の関係
(灰色部は各日齢のスマ仔魚が捕食可能なイシダイ仔魚の日齢範囲を示す)

表2 各試験区におけるイシダイ仔魚給餌量
(ふ化仔魚は受精卵の量で示す。大型仔魚は湿重量)

日齢	大型併用		大型併用		ふ化仔魚	ふ化仔魚
	-1	-2	-1	-2	-1	-2
	ふ化 (g)	大型 (g)	ふ化 (g)	大型 (g)	ふ化 (g)	ふ化 (g)
7	1.8		1.8		1.8	1.8
8	3.6		3.6		3.6	3.6
9	13.6		13.6		13.6	13.6
10	31.8		31.8		31.8	31.8
11	31.8		31.8		31.8	31.8
12	40.9		40.9		40.9	40.9
13	40.9	10.0	40.9	10.0	50.0	100.0
14	172.7	10.0	172.7	10.0	181.8	272.7
15	272.7	1.0	272.7	1.0	273.6	294.5
16	54.5		54.5		54.5	54.5
合計	664.3	21.0	664.3	21.0	683.4	845.2

2 種苗生産期・稚魚育成期の減耗防除技術および飼育技術最適化

終了時の生残率は選別区が 6.5 および 18.0%、混合区が 12.5 および 14.0%であった。平均全長と標準偏差は選別区が 28.9 ± 2.86 および 31.0 ± 3.29 mm、混合区が 45.2 ± 7.14 および 45.4 ± 7.69 mm であった。不明率は選別区が 1.0 および 3.5%、混合区が 25.5 および 33.0%であった(表3)。スミルノフ・グラブス検定の結果、選別区-2 で 1 尾 (39.3mm)、混合区-1 で 2 尾 (65.1mm、69.5mm) および混合区-2 で 2 尾 (62.0mm、74.7mm) の外れ値が検出され、トビ個体と判断された。生残尾数に占めるトビ個体の出現率は選別区で 0~7.7% (平均 2.0%)、混合区で 7.1~8.0% (平均 7.5%) であった。

選別区では、試験開始から 2~3 日後に大量死が発生した(図4)。これは、選別器から抜けた個体は全長が小さく餌付かない個体が多く、それらが時間をおいてへい死したためと考えられた。混合区の死亡数は、試験開始から翌日の午前までが選別区に比べて多く、その後減少傾向を示した(図4)。これは、サイズの異なる群を混合した直後より、小サイズに対して捕食、攻撃がおこなわれている可能性を示している。

試験終了時の各試験区のヒストグラムをみると(図5)、選別区と混合区でモードが重ならず、選別区の主群にあたるサイズの個体が混合区にはほとんど生残していなかった。また、混合区では不明率が 26~33%と高かった。このことは、小サイズの個体の多くが飲み込み型の被食を受けていることを示している。

今回の試験結果では、飼育群にサイズ差が生じると、小型個体は速やかに大型個体からの被食を受けること、選別によりサイズを揃えることで、そうした小型個体を生残させることができることなどが示され、適切な

サイズ選別によって飲み込み型の共食いの多くは防除できることが示唆された。

表 3 飼育結果

	收容数 (尾)	生残数 (尾)	生残率 (%)	平均 全長(mm)	不明数 (尾)	不明率 (%)
選別区-1	200	36	18.0	28.9	2	1.0
-2	200	13	6.5	31.0	7	3.5
混合区-1	200	28	14.0	45.2	66	33.0
-2	200	25	12.5	45.4	51	25.5

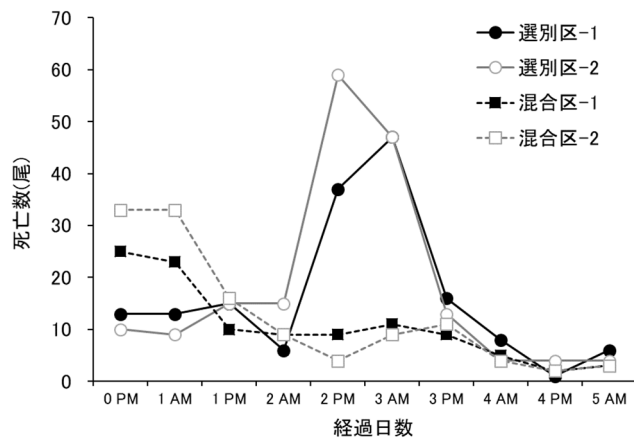


図 4 試験期間中のスマ稚魚の死亡数の推移

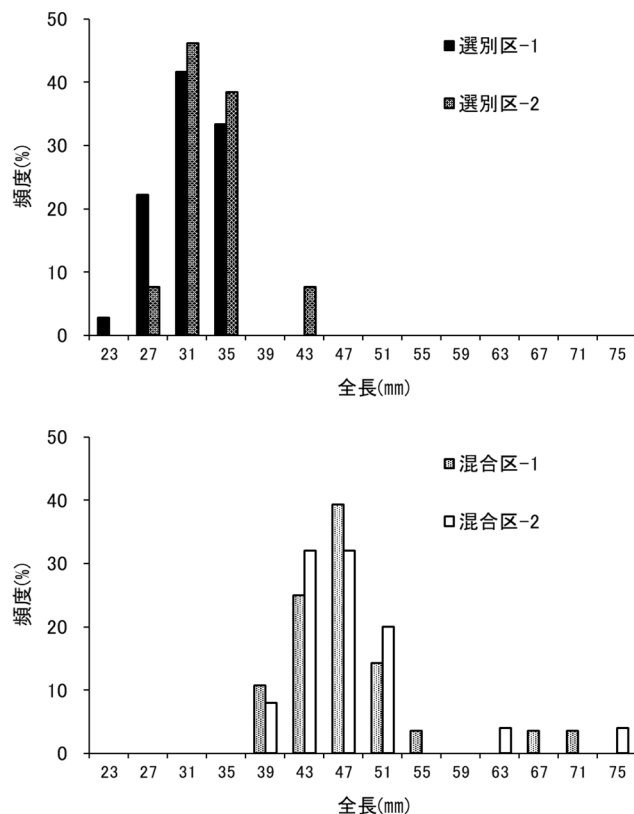


図 5 試験終了時のスマ稚魚の全長組成

総 括

スマ種苗を大量に生産するために、餌料用魚類ふ化仔魚の削減・廃止および種苗量産技術の最適化を目指し、平成 28 年度から本事業を実施した。

ふ化仔魚利用を低減・最適化した大量種苗生産技術開発では、スマ仔魚の成長過程における口径と、イサキ、マダイおよびインダイ仔魚（以降、餌料用大型仔魚）の成長過程における体高を比較し、スマ仔魚が摂餌可能な餌料用大型仔魚の日齢を明らかにした。また、ふ化仔魚単独給餌と、大型仔魚併用給餌での生残率、給餌量を比較し、ふ化仔魚に代替可能な大型仔魚の量を明らかにした。

大型仔魚を併用給餌する利点として、1. 受精卵が安定して得られないときでも、予め仔魚を生産しておくことで対応が可能となる、2. 急激に成長するスマのサイズに合わせ、適当な大きさの仔魚を給餌できる、などが挙げられる。半面、本事業において、ふ化仔魚と代替可能な大型仔魚の量は、顕著に削減できるものではないことが明らかとなった。また、餌用の仔魚を別途種苗生産するため、コストや手間がかかる。そこで、将来スマの生産が大規模化することを見据えた場合、同一水槽内でスマと餌用の仔魚を飼育することで、スマが自身の成長にあわせた餌用の仔魚を選択摂餌できる環境にしておく方法が考えられる。また、さらなるふ化仔魚供給の低減に向けては、人工餌料の早期給餌についても検討をおこなう必要がある。

種苗生産期・稚魚育成期の減耗防除技術および飼育技術最適化では、スマ稚魚 1 尾を生産するために必要なマダイ受精卵の数量を明らかにした。また、取揚げ時に活魚選別器を用いて選別することで、全長モードが異なる群に選別できること、これにより飲み込み型の共食いの多くが防除できることを明らかにした。

最終年度では、選別によりサイズを揃えた場合、小サイズの稚魚群では餌付きの問題などで減耗が大きく、逆に、選別しなかった場合にはそうした減耗分が大サイズ稚魚の餌となり、生残率が変わらず稚魚のサイズ組成が結果として大きくなる場合があることが確認された。しかし、これは選別しなかった場合の各サイズ稚魚の存在割合によって異なり、大サイズ稚魚の多寡により被捕食状況は大きく変わることが予測される。すなわち、本試験において選別群と非選別群の生残率が大きく変わらなかったのは、偶然による要素が強いと考えられる。また、ある程度成長してからの選別では、餌付きの問題が低減される分、選別で抜ける群であっても高生残が見込めるといえる。加えて、水槽内で共食いが頻発することは、防疫的な見地からも問題となる可能性があり、適切な時期にサイズ選別を実施することは、本種の育成にとって重要な工程だと考えられる。

参考文献

1) 代田昭彦：魚類稚仔期の口径に関する研究. 日本水産学会誌 36：353-368 (1970)

スマの味をコントロールする飼育技術開発

(イノベーション創出強化研究推進事業 (応用研究ステージ))

莖田 峻希・中島 兼太郎・眞鍋 諒太郎・佐々木 進一*

目 的

柑橘果皮や柑橘オイルを添加した飼餌料をブリやマダイに給餌することで、身から柑橘の香りがし、血合筋の褐変を抑制することができる。この技術は愛媛県が特許を取得しており、みかんフィッシュとして高い評価を得ている。これまでに、この技術をマグロ類において応用した例は報告されていない。そこで、マグロ類であるスマに、上記の飼餌料を給餌することで、風味や血合筋の変色をコントロールし、みかんスマとして生産することを目的とした。

材料と方法

水産研究センターにおいて、イワシ、配合飼料、飼料添加剤およびフィードオイルを混合した対照飼料と、これに冷凍伊予柑果皮および果皮抽出オイルを餌料重量比でそれぞれ9%と0.1%添加した柑橘餌料を調整した。5m×5m×5mの海面小割2基に、平均魚体重約728gのスマ当歳魚を50尾ずつ収容した(対照餌料区および柑橘餌料区)。区分けから4日間マグロ用EP飼料EDEN d4(フィード・ワン)を給餌し、10月下旬から試験餌料で3週間飼育した。給餌開始から1週間ごとに、各区10尾ずつサンプリングし、採血して血液性状を測定した。測定項目は、赤血球数、ヘモグロビン、ヘマトクリット、赤血球恒数(MCV)、平均ヘモグロビン量(MCH)および平均赤血球ヘモグロビン濃度(MCHC)とした。その後、魚体を解剖し、食味試験および血合筋の褐変抑制効果について調べた。褐変抑制効果は、解剖から24時間後に、色彩色差計(CR-13、コニカミノルタ)を用いて判定した。

結果および考察

試験終了時の平均魚体重は、対照餌料区が801g、柑橘餌料区が804gであった。試験終了時の血液性状を表1に示す。ブリに温州みかんやユズを配合給餌した場合、若干貧血傾向を示すことが報告されている¹⁾。しかし、今回の試験の結果、柑橘餌料区において貧血傾向はみられず、3週間の柑橘餌料の給餌は、スマの成長および健康状態に顕著な影響はないと考えられた。試験終了時の、血合筋の変色度合いについて図1に示す。対照区と比べて柑橘餌料区では、解剖から24時間後の血合筋の色彩値が有意に低く(Mann-WhitneyのU検定、 $p < 0.05$)、褐変が抑制された可能性がある。また、当センター職員による食味試験の結果、柑橘餌料

を給餌してから1週間後には、試験した12名の職員全員が、スマ筋肉から柑橘の香りを認識した。

以上のことから、スマにおいても柑橘成分を添加した餌料を給餌することで、みかんスマの作出が可能であることが分かった。今後、商品サイズとなるスマ成魚を用いて、柑橘成分の最適な添加量や給餌期間等を検討する。

文 献

- 1) 山下浩史・井上久雄・西川 智・小泉喜嗣・喜安宏能：植物性色素等活用商品開発プロジェクト研究 I 柑橘搾汁滓飼料による養殖魚の肉質改善．愛媛県農林水産研究所水産研究センター事業報告 平成21年度：96-97 (2011)

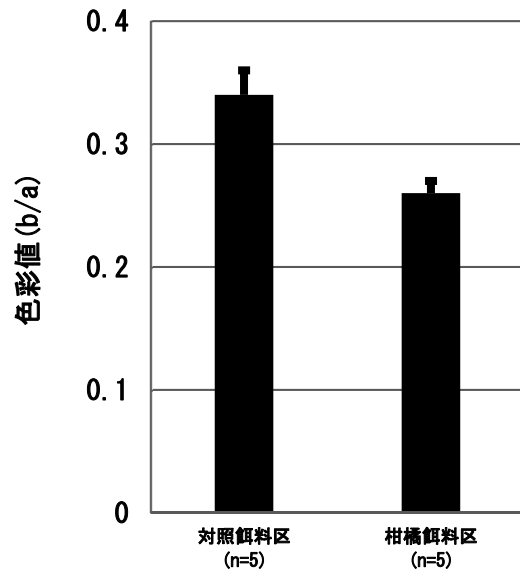


図1 解剖から24時間後の血合筋の色彩値
バーは標準誤差を示す。試験区間は有意差あり(本文参照)

表1 柑橘餌料を3週間給餌したスマの血液性状

	赤血球数 (10^9 cells/mL)	ヘモグロビン (g/100mL)	ヘマトクリット (%)	MCV (fL)	MCH (pg)	MCHC (g/dL)
対照餌料区	4.63±0.41	20.0±1.7	64.1±3.4	139±8	43.2±1.1	0.31±0.02
柑橘餌料区	4.58±0.21	20.4±1.1	69.0±5.2	150±8	44.4±0.8	0.30±0.01

*MCV: 赤血球恒数、MCH: 平均ヘモグロビン量、MCHC: 平均赤血球ヘモグロビン濃度

えひめ産養殖クロマグロ競争力向上事業

眞鍋 諒太郎・中島 兼太郎・佐々木 進一*・莖田 峻希

目 的

クロマグロは国内外で非常に人気の高い魚であり、世界中の海域で乱獲されることにより天然資源が減少している。このため、養殖事業が脚光を浴び、愛媛県のクロマグロ養殖も本格化している。しかし、愛媛県内のクロマグロ養殖は愛南町で平成 17 年から取り組まれたばかりであり、飼育から流通までの工程において技術的に解決しなければならない課題が数多く残っている。本事業では特に、①幼魚期の歩留まりの低さ、②出荷時の「ヤケ肉」の発生という 2 つの課題に着目し、養殖にかかる支援器具や技術の実用化に取り組み、県内ものづくり企業における養殖産業支援事業を創出し、愛媛産養殖クロマグロの競争力向上を図ることを目的とする。

本研究では、マグロ幼魚の「衝突死」防止技術の開発として、視覚と衝突の相関を利用した「衝突死」防止対策の検討に取り組んだ。

方 法

水産研究センターの陸上水槽（容量 40kL）4 面を用いて、LED を水槽の水上部壁面に設置した区（LED 壁面区）、LED をの水中部壁面に設置した区（LED 水中区）、水槽の底面縁辺部から水槽全体を囲むように泡が発生するバブリング区、対照区を設け、各水槽に天然マグロ幼魚（平均全長 266mm、体重 260g）を 10～11 尾ずつ入れて飼育試験をおこなった。

結果および考察

1 か月の飼育期間における生残率は、LED 壁面区と LED 水中区で他の区（バブリング区、対照区）に比べて高い生残率を示した。このことから、マグロの飼育には壁を認識させるための照明が必要であることが示唆された。なお、平成 29 年度のバブリング区では生残率が 10%程度向上した結果が得られているが、本年度はバブリング区において、生残率の向上はみられなかった。本年度はバブリングの量が安定せず、スマが泡を視認できなかったため、生残率の向上がみられなかった可能性が考えられた。

総 括

本事業では、平成 29 年度から令和元年度の 3 年間、マグロ幼魚の「衝突死」防止技術の開発を進めた。平成 29 年度はスマおよびマグロの色彩感覚について

調査し、さらに陸上水槽において LED 照明区、バブリング区、対照区を設けてスマの飼育試験をおこなった。その結果、色彩感覚ではスマ、マグロともに青緑色に反応すること、飼育試験ではバブリング区が 10%程度他の区と比べて生残率が高いことが明らかとなった。平成 30 年度は天然マグロ幼魚を陸上水槽に収容し、LED 照明システム（水中に設置した LED により赤、青、緑色を照射）を設置し、LED の色彩や、点灯方法を変化させ、ビデオカメラにより行動観察をおこなった。その結果、マグロはすべての色彩で暗い領域に寄る行動が観察された。これらの成果と令和元年度の成果をもとに、養殖におけるマグロ幼魚の生残率向上方法として特許を申請した。この方法により、マグロ幼魚の生残率を向上させることが可能となり、さらに愛媛産養殖クロマグロの生産を拡大させ、競争力向上に繋がることが期待される。

*現 農林水産部水産局水産課

低魚粉飼料によるブリおよびマダイの養殖実証試験

(養殖魚安定生産・供給技術開発委託事業)

佐々木 進一*・中島 兼太郎・眞鍋 諒太郎・莖田 峻希・山下 浩史

目 的

国内の魚類養殖では、飼料代がコスト全体の6-7割を占めるうえ、世界的な需要拡大等を背景とした魚粉価格の高騰にともなう配合飼料価格の上昇などにより、養殖業者の経営を圧迫している。このため、本事業では、主要な養殖対象魚種であるブリとマダイについて、養殖経営の健全化のための養殖生産体制の構築に資することを目的に、ブリ飼育試験、マダイ飼育試験およびマダイ養殖実証試験を実施し、低魚粉飼料の開発、養殖用優良家系の作出に関する実証的な技術開発をおこなう。

I ブリ飼育試験

平成30年度は、天然種苗を当歳魚の段階でサイズ選抜して飼育試験をおこない、サイズが大きい群が高成長であった。そのため、本年度は無魚粉飼料を用いたブリ飼育試験(平成29年度実施)で高成長を示した個体を選抜し、それらを親として種苗生産したF1(低魚粉成長選抜群、以下、低魚粉選抜)および、通常飼料(魚粉配合率50%)の給餌で高成長を示した個体を選抜し、それらを親として同様に種苗生産したF1(通常飼料高成長選抜群、以下、通常選抜)を用いて、低魚粉飼料の給餌試験をおこない、選抜魚の有効性を検討した。

方 法

飼育試験は、愛媛県水産研究センター地先の3m×3m×3mの海面小割生簀8面に、2系統(低魚粉選抜、通常選抜)のブリ0歳魚を50尾ずつ収容しておこなった。2019年9月25日から12月17日まで、各小割に試験飼料および対照飼料をそれぞれ1日1回、週6日飽食給餌し、体重測定を試験開始時(9月25日)、11月1日、12月3日および12月18日の計4回おこなった。試験区として、低魚粉選抜-試験飼料、低魚粉選抜-対照飼料、通常選抜-試験飼料および通常選抜-対照飼料の4区を各二面設定した。

試験飼料および対照飼料は、表1に示す配合組成にしたがい作製し、対照飼料区には対照飼料(飼料番号1)を、試験期間を通じて給餌した。試験飼料区には試験区夏期(飼料番号2)および試験区秋期(飼料番号3)の飼料を給餌した。試験区夏期は9月25日から11月30日まで、それ以降は試験区秋期を給餌した。12月18日に、すべての小割より各3尾をサンプリング

し、外部所見および解剖所見により形態異常や疾病の有無を確認するとともに、半身の筋肉を試験区ごとにプールし、-20°Cで保存した後、成分分析を定法¹⁾によりおこなった。あわせて、血液凝固防止剤として100mMのEDTA-2Na溶液を0.1mL含むシリンジを用いて、各魚体の尾柄部より1.5mLの採血をおこない、血液検査を実施した。

各測定により得られた値について、試験区間でBonferroni法により多重比較検定をおこなった。

表1 試験飼料組成

原料	飼料番号				
	ブリ用飼料			マダイ用飼料(FM15%)	
	対照	試験・夏	試験・秋	試験・夏	試験・秋
	1	2	3	4	5
アンチヨビミール	50.0	25.0	25.0	15.0	15.0
濃縮大豆たんぱく質	0.0	0.0	0.0	3.0	3.0
大豆油粕	3.0	12.5	8.0	16.0	16.0
コーングルテンミール	3.0	18.0	18.0	19.0	19.0
チキンミール	0.0	5.0	5.0	10.0	10.0
フェザーミール	0.0	3.0	3.0	3.0	3.0
小麦粉	10.0	3.0	3.0	7.0	7.0
脱脂米糠	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0
タピオカデンプン	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
魚油	18.0	14.0	23.5	8.0	13.0
パーム油	0.0	5.0	0.0	5.0	0.0
ビタミン混合	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
無機質混合	1.0	2.0	2.0	1.0	1.0
アミプラスZn	0.0	+	+	+	+
リン酸カルシウム	0.0	1.5	1.5	2.0	2.0
アミノ酸(リジン1、メチオニン0.5、トレオニン0.5、トリプトファン0.2)	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0
タウリン(合成)	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0
カツオブエプチド	0.0	0.5	0.5	0.5	0.5
SSF 酵素混合(麹発酵物)液	0	0.2	0.2	0.2	0.2
アスタキサンチン(ppm)	-	-	-	40	40

結果および考察

海面小割生簀周辺3m層における水温は、試験期間中に25.8°Cから18.3°Cに低下した(図1)。

試験開始時の平均魚体重は、低魚粉選抜-試験飼料区は269g、低魚粉選抜-対照飼料区は268g、通常選抜-試験飼料区と通常選抜-対照飼料区は257gであった(表2)。試験終了時の平均魚体重は、低魚粉選抜-試験飼料区は790g、低魚粉選抜-対照飼料区は800g、通常選抜-試験飼料区は777g、通常選抜-対照飼料区は797gであり(表2、図2)、試験区間で有意差はなかった($p>0.05$)。

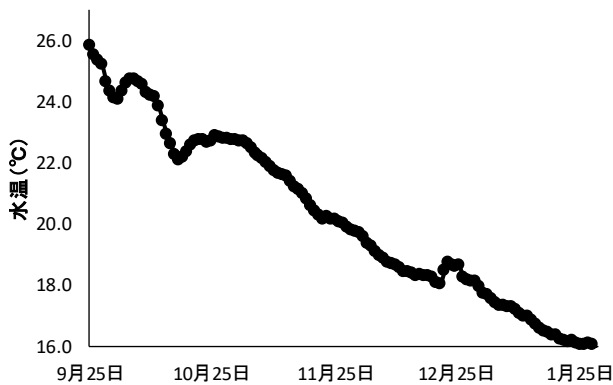


図1 ブリ飼育試験における漁場水温の推移

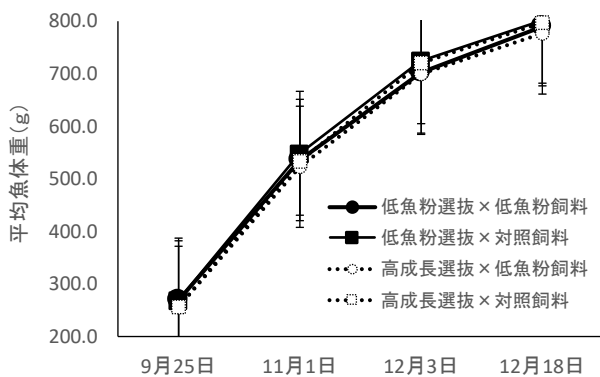


図2 ブリ飼育試験における試験区ごとの平均魚体重の推移（バーは信頼区間）

低魚粉選抜、通常選抜ともに、試験飼料を給餌した区では対照飼料区に比較して増肉係数が0.10~0.15高かったものの、各区は同等に成長し（表2）、魚体重では有意な違いが見られなかった。このことから、0歳魚においては系統や飼料の違いによる成長および摂餌量の差は小さいと考えられる。

昨年度の結果では、当歳魚で大きいサイズを選抜した群が、1歳魚での最終的な平均魚体重が大きく、増肉係数も他群に比べ低い値を示した。本試験で使った試験魚についても、低魚粉選抜の系統において、低魚粉飼料を給餌した場合のコスト削減効果が大きくなることが推察されるため、今後、1歳魚期における成長で系統間に差があらわれるか検討する必要がある。

試験期間中には、飼料中の魚粉削減に起因する成育異常個体は見られず、死亡個体もなかった。また、血液検査結果および血漿性化学性状に有意な違いは見られなかったことから（表3、4）、健康状態に違いはなかったと考えられた。

試験終了時の各試験区の外観所見および解剖所見に特に異常は見られなかった。また、魚粉削減飼料による飼育において散見される肝臓の緑化（ヘム代謝異常に起因する緑肝症状）も観察されなかった。身質の各成分分析値において各試験区で有意な差はなく、0

歳魚では同等の身質成分であると判断された（表5）。

表2 ブリ飼育試験における飼育成績

系統	飼料	尾数	平均魚体重(g)		増重量(g)	増肉係数	日間摂餌率(%)	死亡率(%)
			開始時	終了時				
低魚粉選抜	試験飼料	50	268.5±1.5	790.3±3.1	522	1.89	2.26	0.0
	対照飼料	50	268.0±1.0	800.6±6.9	533	1.79	2.16	0.0
通常選抜	試験飼料	50	256.5±0.5	777.1±5.0	521	1.89	2.32	0.0
	対照飼料	50	256.5±0.5	797.5±8.1	541	1.75	2.17	0.0

平均値±標準偏差(N=6)

表3 ブリ飼育試験における試験魚の血液性状および肝臓重量比

系統	飼料	赤血球数 ($\times 10^4/\text{mm}^3$)	ヘモグロビン含量 (g/100mL)	ヘマトクリット値 (%)	肝臓重量比 (%)
低魚粉選抜	試験飼料	360±124	12.5±4.5	45.2±16	13.9±1.7
	対照飼料	396±103	13.9±3.8	50.1±13	10.6±1.3
通常選抜	試験飼料	420±104	15.1±4.0	53.2±13	11.8±1.5
	対照飼料	458±19	16.8±0.8	58.4±2	11.0±0.9

平均値±標準偏差(N=6)
*すべての項目で試験区間に有意差なし($p>0.05$)

表4 ブリ飼育試験における試験魚の血漿性化学性状

系統	飼料	総タンパク (g/100mL)	グルコース (mg/100mL)	総コレステロール (mg/100mL)	トリグリセリド (mg/100mL)	総ビリルビン (mg/100mL)
低魚粉選抜	試験飼料	3.5±0.1	114±16	372±24	77±36	0.38±0.01
	対照飼料	3.7±0.2	158±12	384±17	103±19	0.50±0.19
通常選抜	試験飼料	3.4±0.2	141±10	346±31	100±33	0.46±0.18
	対照飼料	3.6±0.2	172±13	370±26	99±30	0.45±0.16

平均値±標準偏差(N=6)
*すべての項目で試験区間に有意差なし($p>0.05$)

表5 ブリ飼育試験における各試験魚の身質の成分分析値

成分	低魚粉選抜系統		通常選抜系統	
	試験飼料区	対照飼料区	試験飼料区	対照飼料区
水分	65.6±0.49	67.7±0.03	65.7±0.41	66.7±0.45
粗灰分	1.7±0.02	1.6±0.04	1.5±0.07	1.5±0.00
粗タンパク質	17.4±0.03	19.3±1.86	19.5±1.00	19.9±0.18
粗脂肪	14.5±0.17	10.9±0.59	13.3±0.65	12.4±1.21

平均値(%)±標準偏差(N=2)
*すべての項目で試験区間に有意差なし($p>0.05$)

II マダイ養殖実証試験

愛媛県の主要な養殖魚種であるマダイは、種苗生産技術が確立され、種苗の池入れから出荷まで配合飼料を用いた給餌養殖が普及している。マダイ養殖業者が負担する飼料コストは全体経費の6割以上になり、低コスト化が期待されている。こうした状況のなか、配合飼料の安定供給をはかり、飼料価格の高騰による経費の増大に対処するため、魚粉配合率を15%まで低下させた低魚粉飼料(FM15%)を使用し、マダイ1歳魚を用いて、商品サイズとなる約1kgまでの飼育実証試験をおこなう。

方 法

試験魚には、昨年度に愛媛県水産研究センターで生産し、宇和島市吉田町地先の養殖業者が所有する縦11m×横11m×深さ8mの金網生簀2台にて養成されていたマダイ(低魚粉適応家系F4マダイ)1歳魚を用

いた。それぞれの生簀（試験区、対照区各 12,000 尾）に、2019 年 10 月 10 日から翌 2 月 13 日まで 127 日間、試験飼料と対照飼料を給餌し、定期的に魚体測定をおこないながら飼育した。

試験区には、表 1 に示す配合組成にしたがい試験飼料を作製し、2019 年 10 月 10 日から 12 月 19 日まで夏期用（飼料番号 4）を、それ以降は秋期用（飼料番号 5）を給餌した。対照区には、市販の DP 飼料（タイ HF かぐや P6、8：日清丸紅飼料株式会社製、魚粉配合率 40%）を、試験期間を通じて給餌した。

試験開始時（10 月 10 日）、11 月 12 日、12 月 19 日、1 月 22 日、および 2 月 13 日に、各生簀から無作為に 50 尾を取上げ、個体ごとに魚体重および尾叉長を計測した。両区の各測定値について、t 検定により有意差の有無を確認した。

12 月 19 日に、両区から各 5 尾をサンプリングし、外部所見および解剖所見により形態異常や疾病の有無を確認するとともに、血液凝固防止剤として 100mM の EDTA-2Na 溶液を 0.1mL 含むシリンジを用いて、各魚体の尾柄部より 1.5mL の採血をおこない、血液検査を実施した。得られた各数値については、t 検定により区間の有意差を確認した。

試験終了時に、飼育成績（増重率、増肉係数、死亡率）およびコスト削減率を算出した。コスト削減率については、従来の飼育方法（対照区）と比較し、試験飼料は対照飼料よりも 10%削減になると仮定し、次式から試算した。

「コスト削減率 = 100 - (試験区の増肉係数 × 0.9) / 対照区の増肉係数」

試験生簀の魚病発生状況について、飼育を担当する養殖業者から適宜、聞き取り調査を実施するとともに、同海域周辺の魚病発生状況についても調査した。

結果および考察

養殖場 3m 層の水温は、試験期間中に 24.3°C から 15.3°C に低下した（図 3）。

試験開始時の平均魚体重は、試験区が 751g、対照区は 713g であり、試験終了時の平均魚体重は、試験区が 1,133g、対照区が 1,153g であった（表 6、図 4）。平均尾叉長には期間を通じて有意な差は見られなかったが（図 5）、平均魚体重と肥満度では 11 月 12 日の測定時に試験区が有意に高かった（図 4、6： $p < 0.05$ ）。

試験終了時の両区の平均魚体重の差は 20g と小さく、尾叉長および肥満度の差も小さかったため、試験魚の成長は両区で同等であったと考えられる。試験期間を通じた試験区の平均増重量は対照区の方が 50g 高く、増肉係数は試験区が 1.66、対照区が 1.58 であり、対照区の方が 0.8 低かった（表 6）。

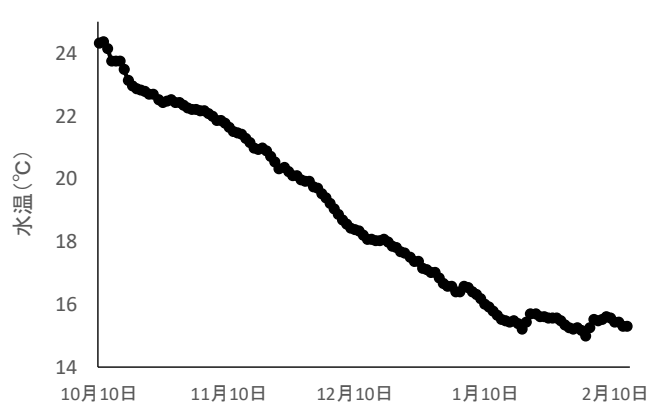


図 3 マダイ養殖実証試験における漁場水温の推移

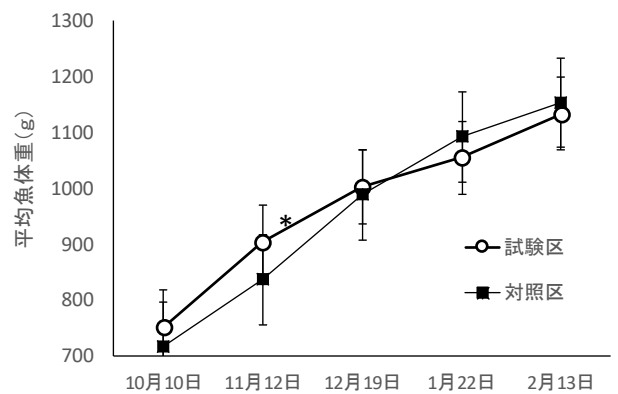


図 4 マダイ養殖実証試験における各試験区の平均魚体重の推移（バーは信頼区間。アスタリスクは区間で有意差あり）

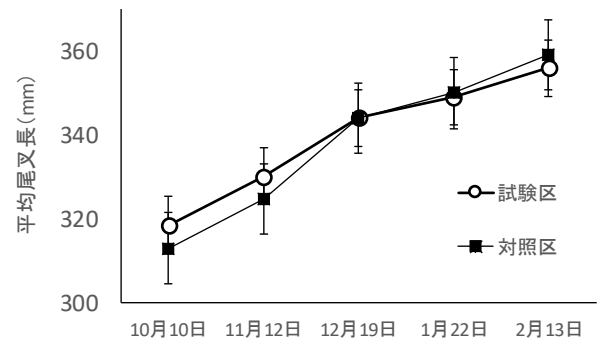


図 5 マダイ養殖実証試験における各試験区の平均尾叉長の推移（バーは信頼区間）

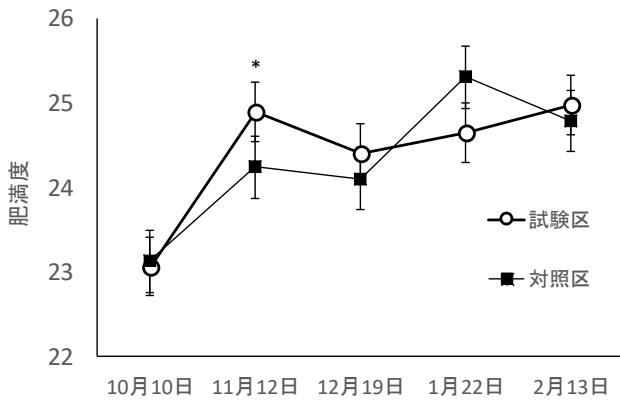


図 6 マダイ養殖実証試験における試験区ごとの肥満度の推移 (バーは信頼区間。アスタリスクは区間で有意差あり)

試験期間中の累積死亡率は、試験区、対照区ともに0.1%以下と少なく(表6)、試験魚の健康状態に問題はなかったと考えられた。死亡原因はおもにエドワジェラ症であったが、魚粉削減が直接起因したとは思われなかった。

血液性状および比肝臓重量には試験区間で有意な差がみられなかったが(表7)、血漿性化学性状に関しては、血漿中の総コレステロール量が試験区で有意に低い結果となった(表8)。低魚粉飼料を給餌したマダイの血漿中総コレステロール量は、魚粉主体の飼料を給餌したものよりも低くなる傾向がある²⁾。本試験も同様に低魚粉飼料で長期間飼育したことで、対照区に比べ低くなったと考えられた。

12月19日にサンプリングした個体の筋肉の成分分析の結果を表9に示す。水分、灰分および粗タンパク質に関しては試験区と対照区で差はなく、粗脂肪に関しては試験区が対照区に比べ有意に高かった($p < 0.05$)。

コスト削減率を試算した結果を表10に示す。本試験における試験区のコスト削減効果は対照区に比べ+5.32ポイントとなった。水温期別にコスト削減率を算出すると、高水温期のコスト削減効果は高く、+9.99ポイントであり、低水温期は-3.26ポイントとなった。本試験で使用した試験飼料は、実際の養殖現場の高水温期において従来の飼育飼料に代替できる可能性が高いことから、今後は魚粉配合率15%の低魚粉飼料の、低水温期での成長改善を検討する必要がある。

表 6 マダイ養殖実証試験における飼育成績

	尾数	平均魚体重(g)		増重量(g)	増肉係数	日間摂餌率(%)	死亡率(%)
		開始時	終了時				
(通期)							
試験区	12,000	751±113	1,133±170	382	1.66	0.53	0.01
対照区	12,000	716±128	1,153±156	437	1.58	0.59	0.00
(高水温期)、10/10~12/19							
試験区		751±113	1,002±135	251	1.74	0.71	0.01
対照区		716±128	988±141	272	1.74	0.78	0.00
(低水温期)、12/20~2/13							
試験区		1,002±135	1,133±170	131	1.57	0.32	0.00
対照区		988±141	1,153±156	165	1.37	0.37	0.00

平均値±標準偏差(N=50)

表 7 マダイ養殖実証試験における試験魚の血液性状および比肝臓重量 (2019/12/19)

	赤血球数 ($\times 10^4 / \mu\text{L}$)	ヘモグロビン含量 (g/100mL)	ヘマトクリット値 (%)	肝臓重量比 (%)
試験区(FM15%)	263.6±38.3	7.7±1.3	32.5±6.3	1.4±0.3
対照区(FM40%)	231.4±11.9	6.7±0.3	26.1±2.2	1.3±0.3

平均値±標準偏差(N=5)

すべての項目で試験区間に有意差なし ($p > 0.05$)

表 8 マダイ養殖実証試験における試験魚の血漿性化学性状

	総タンパク (g/100mL)	グルコース (mg/100mL)	カルシウム (mg/100mL)	総コレステロール (mg/100mL)	トリグリセリド (mg/100mL)	総ビリルビン (mg/100mL)
低魚粉(FM15)	3.20±0.3	60.6±17.6	14.52±0.8	208.2±27.8	325.6±122.8	0.36±0.2
対照(FM40)	2.96±0.5	43.8±7.4	14.16±1.5	262.0±29.0*	365.8±143.2	0.32±0.4

平均値±標準偏差(N=5)

*: 有意差あり ($p < 0.05$)

表 9 マダイ養殖実証試験における試験魚の身質の成分分析値

	試験飼料区	対照区
水分	72.4±1.97	73.4±0.63
粗灰分	1.5±0.07	1.5±0.03
粗タンパク質	21.0±0.83	22.0±0.52
粗脂肪	4.7±1.46 *	2.6±0.65

平均値±標準偏差(N=5)

*: 有意差あり ($p < 0.05$)

表 10 マダイ養殖実証試験のコスト削減効果

試験期間	コスト削減率
高水温期	9.99
低水温期	-3.26
通期	5.32

20°C以上を高水温期、それ以下を低水温期とした

Ⅲ マダイ低魚粉適応系統(F4)を用いた飼育試験

Ⅱと同様の低魚粉適応家系愛媛F4マダイを用いて、低魚粉飼料(FM15%)の有用性と適切な夏期・秋期飼料切り替えのタイミングを確認する。

方 法

飼育試験は、愛媛県水産研究センター地先の3m×3m×3mの海面小割生簀6面でおこなった。各小割に、低魚粉適応家系愛媛F4マダイ1歳魚を45尾収容し、それぞれの小割に9月25日から翌1月29日まで試験飼料および対照飼料をそれぞれ1日1回、週6日飽食給餌し、定期的に体重測定をおこないながら飼育した。

試験区として、試験飼料区①(11月切替え)、試験飼料区②(1月切替え)および対照飼料区の3区を各二面設定した。表1に示す配合組成にしたがい試験飼料を作製し、試験飼料区に試験区夏期(飼料番号4)お

よび試験区秋期（飼料番号 5）の飼料を給餌した。試験飼料区①では、試験区夏期は 9 月 25 日から 1 月 5 日まで、それ以降は試験区秋期を給餌した。

試験飼料区②では試験区夏期は 9 月 25 日から 11 月 30 日まで、それ以降は試験区秋期を給餌した。対照飼料区には、試験期間を通じて対照飼料（市販 DP: タイ HF かぐや P6）を給餌した。

12 月 18 日に、すべての小割より各 3 尾をサンプリングし、各試験区の外部所見および解剖所見により形態異常や疾病の有無を確認するとともに、サンプルの半身の筋肉の成分分析を定法^りによりおこなった。あわせて、血液凝固防止剤として 100mM の EDTA-2Na 溶液を 0.1mL 含むシリンジを用いて、各魚体の尾柄部より 1.5mL の採血をおこない、血液検査を実施した。試験終了時に飼育成績（増重率、増肉係数、死亡率）の算出をおこない、従来の飼育方法（対照区）と比較し、II のマダイ実証試験と同様にコスト削減率を比較した。なお、各測定により得られた値については、試験区間で Bonferroni 法により多重比較検定をおこなった。

結果および考察

地先 3m 層における水温は、飼育期間中に 25.8°C から 15.9°C に低下した（図 7）。

試験開始時の平均魚体重は、試験飼料区①が 652g、試験飼料区②が 665g、対照飼料区が 661g であった。また、試験終了時の平均魚体重は、試験飼料区①が 1,141g、試験飼料区②が 1,189g、対照飼料区が 1,180g であった（表 11、図 8）。試験開始時の平均魚尾又長は試験飼料区①が 311mm、試験飼料区②が 312mm、対照飼料区が 312mm であった。また、試験終了時の平均尾又長は、試験飼料区①が 360mm、試験飼料区②が 361mm、対照飼料区が 363mm であった（表 11、図 9）。平均魚体重および尾又長は各試験区ともに同等の成長を示し、肥満度（図 10）を含め試験区間で有意差はみられなかった ($p>0.05$)。

増肉係数は試験飼料区②が 2.16 と最も低く（表 11）、試験飼料区①と比べ、早く秋期用に切り替えた方が本試験期間ではコストが抑えられると考えられた。血液性状および血漿性化学性状に試験区間で有意な違いは見られなかったことから（表 12、13）、各試験区の健康状態に違いはなかったと考えられた。試験期間中にみられた試験魚の死亡原因はおもにエドワジエラ症であったが、魚粉削減が直接起因したとは思われなかった。

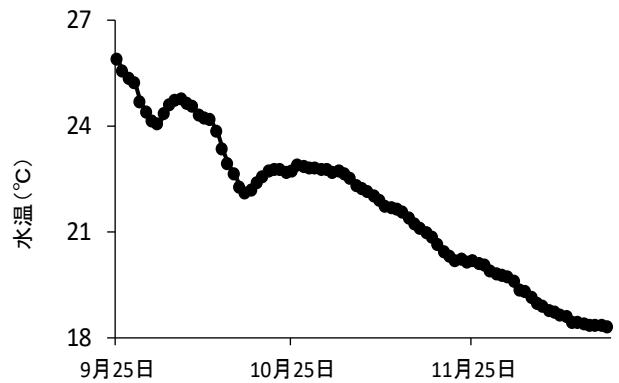


図 7 マダイ飼育試験における漁場水温の推移

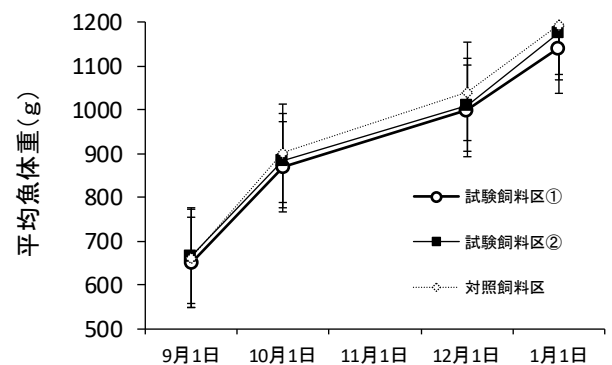


図 8 マダイ飼育試験に各試験区の平均魚体重の推移（バーは信頼区間）

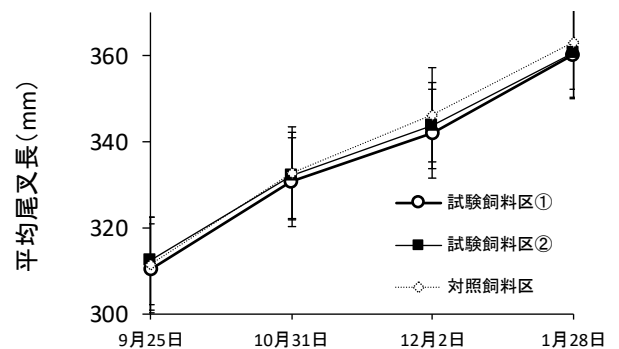


図 9 マダイ飼育試験に各試験区の平均尾又長の推移（バーは信頼区間）

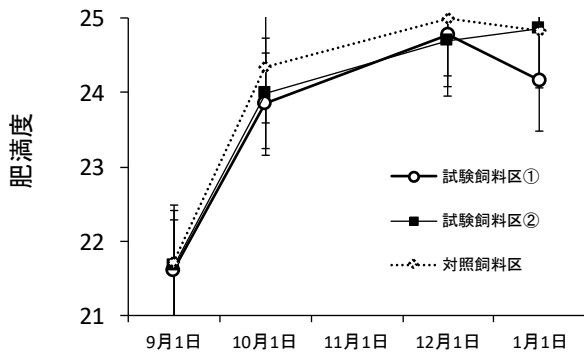


図 10 マダイ飼育試験に各試験区の肥満度の推移 (バーは信頼区間)

表 11 マダイ飼育試験における飼育成績

尾数	平均魚体重(g)		増重量 (g)	増肉係数	日間摂餌率 (%)	死亡率 (%)	
	開始時	終了時					
試験飼料区①	45	651 ± 0.33	1,141 ± 9.18	490	2.29	0.85	3.3
試験飼料区②	45	665 ± 11.33	1,175 ± 2.84	510	2.16	0.78	4.4
対照飼料区	45	662 ± 7.11	1,194 ± 6.18	532	2.29	0.91	0.0

平均値 ± 標準偏差 (N=5)
すべての項目で試験区間に有意差なし ($p > 0.05$)

表 12 マダイ飼育試験における試験魚の血液性状および肝臓重量比

	赤血球数 ($\times 10^4 / \text{mm}^3$)	ヘモグロビン含量 (g/100mL)	ヘマトクリット値 (%)	比肝臓重量 (%)
試験飼料区①	360 ± 124	12.5 ± 4.5	45.2 ± 16	13.9 ± 1.7
試験飼料区②	396 ± 103	13.9 ± 3.8	50.1 ± 13	10.6 ± 1.3
対照飼料区	420 ± 104	15.1 ± 4.0	53.2 ± 13	11.8 ± 1.5

平均値 ± 標準偏差 (N=6)
すべての項目で試験区間に有意差なし ($p > 0.05$)

表 13 マダイ飼育試験における試験魚の血漿性化学性状

	グルコース (mg/100mL)	総タンパク (g/100mL)	総コレステロール (mg/100mL)	トリグリセリド (mg/100mL)	総ビリルビン (mg/100mL)
試験飼料区①	52.5 ± 11.5	3.4 ± 0.4	212 ± 30.5	295 ± 133.9	0.5 ± 0.13
試験飼料区②	51.3 ± 15.2	3.5 ± 0.6	194 ± 45.6	280 ± 148.3	0.5 ± 0.27
対照飼料区	51.3 ± 10.2	3.1 ± 0.6	228 ± 45.5	337 ± 13.5	0.3 ± 0.06

平均値 ± 標準偏差 (N=6)
すべての項目で試験区間に有意差なし ($p > 0.05$)

表 14 マダイ飼育試験における各試験魚の身質の成分分析値 (%)

	試験飼料区①	試験飼料区②	対照飼料区
水分	70.0 ± 1.12	71.1 ± 0.16	72.1 ± 0.45
粗灰分	1.7 ± 0.02	1.4 ± 0.01	1.4 ± 0.00
粗タンパク質	17.0 ± 0.15	16.7 ± 0.47	17.0 ± 0.86
粗脂肪	6.4 ± 0.64	9.7 ± 0.66	7.2 ± 0.43

平均値 ± 標準偏差 (N=2)
すべての項目で試験区間に有意差なし ($p > 0.05$)

表 15 マダイ飼育試験のコスト削減効果

	増肉係数 (通期)	コスト削減率
試験飼料区①	2.29	10.2
試験飼料区②	2.16	15.28
対照飼料区	2.29	-

身質成分では、粗脂肪に関して試験飼料区②で少し高く、試験飼料区①では低い結果となり、他の成分は同等であった (表 14)。

各試験区の増肉係数からコスト削減効果を試算したところ、試験飼料区①では 10.20、試験飼料区②では 15.28 と、試験飼料②の方が 5 ポイント程度高くなった (表 15)。II の実証試験では、高水温期のコスト削減効果が高かったが、今回の結果からも、1 月よりも高水温期の 11 月に切り替えた方がコスト削減効果は高まると推定された。

参考文献

- 1) 安井明美・渡邊智子・中里孝史・淵上賢一編. 日本食品標準成分表 2015 年版 (七訂) 分析マニュアル・解説. 健帛社, 320pp. (2016)
- 2) 青木秀夫・松倉一樹・山下浩史・宮本敦史・清水砂子・金田典久・輿石友彦・佐藤秀一・石田典子. 出荷対象のマダイに対する低魚粉飼料の実用性. 水産増殖, 65 (3), 221-230 (2017)

ニジマス海面養殖安定生産技術開発

(養殖魚安定生産・供給技術開発委託事業)

中村 翠珠*1・武智 昭彦・坂口 秀雄*2

目 的

低水温を好むサケ類の中では、適応水温が比較的広く、高成長のため短期間で出荷が可能なニジマス海面養殖の安定的な産業化に向けて、現在、未解決であるニジマスの海面馴致技術を確立するとともに、高水温耐性や高成長・高生残といったニジマス海面養殖に適した優良家系の作出に向けた試験を実施する。

なお、結果の詳細は、令和元年度養殖業成長産業化技術開発事業のうち(4)サーモン養殖推進技術開発事業(ア サーモン養殖における海水馴致技術の開発と優良個体の選抜) 報告書(令和2年3月)に報告した。

方 法

1 H30年度導入分

(1) 系統別馴致試験

長野県水産試験場で育成したドナ系(1歳魚、平均168g)、長野系(1歳魚、平均160g)、ドナスチ系(1歳魚、平均175g)を用いた。試験区として、高速馴致(4時間で海水濃度0→100%)および低速馴致(27.5時間で海水濃度0→100%)の2区を設定した。

愛媛県水産研究センター栽培資源研究所敷地内の50t屋外円形コンクリート水槽2面(高速馴致区、低速馴致区)内に、それぞれ、生残率評価用生簀網(2m×2m×1.1m)3面および血液サンプリング用生簀網(1m×0.5m×1.1m)12面ずつを設置し、平成30年11月16日に長野県水産試験場より供試された試験魚を生残率評価用生簀網には各系統70~75尾(1系統あたり1面)、血液サンプリング用生簀網には各系統7尾(1系統あたり4面)ずつ収容した。海水馴致試験は平成30年11月26~27日にかけて実施し、各試験区について海水馴致前、海水馴致終了1日後、2日後、7日後の4回、血液サンプリング用生簀網から各系統7尾ずつ生簀網ごと取り出して1,000ppmのフェノキシエタノールで麻酔したのち、4分以内に採血した。採取した血液については、遠心分離して血清を分離させ、血液浸透圧、コルチゾール濃度、グルコース濃度を測定した。

(2) 系統別飼育試験

海水馴致終了7日後に生残した全試験魚を用いて、標準体長、体重を測定後、ピットタグで個体識別後に50t屋外円形コンクリート水槽3面に系統毎に収容し

て試験を開始した。飼育水には紫外線殺菌した砂ろ化海水を用い、純酸素通気ならびにエアレーションを設置し、1日1回、週5回、飽食給餌した。その後、月1回の割合で体重等を測定した。

2 令和元年度導入分

(1) 系統別馴致試験

試験魚には、長野県水産試験場で育成されたニジマス(長野系(1歳魚、平均314g)、長野系海水経験(1歳魚、平均149g)、ドナスチ系(1歳魚、平均386g))および久万高原町で生産されたドナスチ系(2歳魚、平均455g)を用いた。試験区として直接海水(トラックから直接海水に投入)区および通常馴致(6時間で海水濃度50→100%)区の2区を設定した。

愛媛県水産研究センター栽培資源研究所敷地内の50t屋外円形コンクリート水槽4面(直接海水区2面(生残率評価用1面、血液サンプリング用1面)、通常馴致区2面(生残率評価用1面、血液サンプリング用1面))内に、生簀網(2m×2m×1.1m)をそれぞれ3面設置し、令和元年11月20日に長野県水産試験場より供試された試験魚3種類(長野系、長野系海水経験、ドナスチ系)を各種類50尾(1種類あたり1面)ずつ収容した。海水馴致試験は同日から実施し、各試験区について海水馴致前、海水馴致終了1日後、2日後、6日後の4回、血液サンプリング用生簀網から各種類7尾ずつタモ網でサンプリングし、1,000ppmのフェノキシエタノールで麻酔した。採血は、ヘパリンナトリウムで共洗したシリンジを用い、採血後遠心分離して血漿を分離させて冷凍したのち、東京大学に血漿浸透圧測定を依頼した。また、令和元年12月17日に久万高原町産のドナスチ系2歳魚を、コンクリート水槽2面(高速馴致区、通常馴致区)内にそれぞれ設置した生簀網2面に50尾ずつ収容し、前述の手順で海水馴致および採血を実施した。

(2) 系統別飼育試験

海水馴致終了6日後に生残した全試験魚の標準体長、体重を測定後、ピットタグで個体識別後に50t屋外円形コンクリート水槽4面に種類毎に収容して飼育した。飼育水には紫外線殺菌した砂ろ化海水を用い、純酸素通気ならびにエアレーションを設置し、1日1回、週5回、飽食給餌した。その後、月1回の割合で体測を行った。

結果および考察

*1 現 南予地方局水産課

*2 退職

1 平成 30 年度導入分

(1) 系統別馴致試験

平成 30 年度事業報告に記載のとおり。

(2) 系統別飼育試験

平成 30 年 12 月 5 日～令和元年 5 月 15 日までの 161 日間飼育したところ、試験期間中の通期の瞬間成長率はドナスチ系が最も高く（高速馴致：1.06%、低速馴致 1.00%）、次いでドナ系（高速馴致：1.05%、低速馴致：0.97%）、長野系は最も低かった（高速馴致：0.86%、低速馴致：0.78%）（表 1）。

試験終了時の体重及び通期の瞬間成長率は他 2 系統よりも長野系が有意に低かった（Steel-Dwass、 $p<0.05$ ）。同一系統での馴致方法別の通期の瞬間成長率には有意差はみられなかったが、3 系統ともに低速馴致よりも高速馴致の方が高かった。体重組成は 3 系統ともに、海水馴致後ほとんど成長しない個体が確認され、多峰分布を示した（図 1）。試験開始時体重と通期の瞬間成長率の間には相関はみられなかったが、各月毎の瞬間成長率と 4 月測定時の体重を比較してみると、特にドナ系、ドナスチ系において 1 月測定時の瞬間成

長率と体重の間に最も高い相関がみられ、12 月から 1 月の瞬間成長率が高いほど体重は増加傾向にあった（図 2）。また、低成長率のグループは 2・3 月も同様に瞬間成長率の向上がほとんどみられなかった。

ニジマスの出荷時期である 3 月～5 月の間の長野系は体重及び瞬間成長率が他 2 系統よりも有意に低く、前年度の海水馴致試験においてもほか 2 系統よりも生残率が低かったことから、ドナ系およびドナスチ系が海面養殖により適している系統であると考えられる。また、海水馴致方法の違いによる体重及び瞬間成長率の違いはみられなかったことから、養殖現場においてはより作業負担の少ない高速馴致が適していると推定される。また、ニジマス養殖時の課題である大小差は本試験においても確認され、図 2 において 1 月測定時の瞬間成長率が悪いもの（目安： $<0.5\%$ ）は出荷時期である 4 月時の体重が少なく、3 月まで瞬間成長率の向上がほとんどみられなかったことから、このグループは成長不良個体として早期に選別可能と考えられる。今後も引き続き小個体発生の原因を追究し、効率の良い生産に向けて飼育試験を実施したい。

表 1 系統別飼育試験（平成 30 年 12 月～翌 5 月）の結果

試験区	飼育期間 (日)	生残率 (%)	体重範囲 (g)	平均体重 (g)	瞬間成長率 (%)	飼料効率 (%)	
ドナ系	0	100	132-222	175			
	高速	0-36	100	147-466	303	1.43	146
		0-62	100	147-597	382	1.17	117
		0-89	99	141-526	526	1.14	108
		0-126	97	109-1,384	790	0.95	95
		0-161	89	152-2,044	1,067	1.05	86
		0	100	125-225	170		
	低速	0-36	97	151-441	270	1.21	146
		0-62	97	155-609	337	1.02	117
		0-89	96	160-929	456	0.98	108
		0-126	94	116-1,509	687	0.85	95
		0-161	81	113-1,854	949	0.97	86
長野系		0	100	123-253	164		
	高速	0-37	92	124-332	228	0.82	105
		0-62	92	119-416	265	0.70	100
		0-89	90	120-564	324	0.68	101
		0-124	88	107-871	461	0.68	95
		0-159	67	171-1,121	707	0.86	89
		0	100	126-228	158		
	低速	0-37	96	124-359	213	0.76	105
		0-62	93	119-473	250	0.68	100
		0-89	93	109-611	308	0.66	101
		0-124	91	106-994	452	0.70	95
		0-159	74	114-1,335	650	0.78	89
ドナスチ系		0	100	144-246	186		
	高速	0-36	100	147-501	321	1.42	147
		0-64	99	131-655	406	1.12	122
		0-89	99	123-933	531	1.06	111
		0-125	94	86-1,407	839	0.92	95
		0-160	64	124-1,872	1,138	1.06	82
		0	100	138-221	178		
	低速	0-36	100	152-475	311	1.45	147
		0-64	100	150-622	392	1.12	122
		0-89	99	151-840	517	1.08	111
		0-125	96	139-1,420	797	0.90	95
		0-160	64	110-1,857	1,069	1.00	82

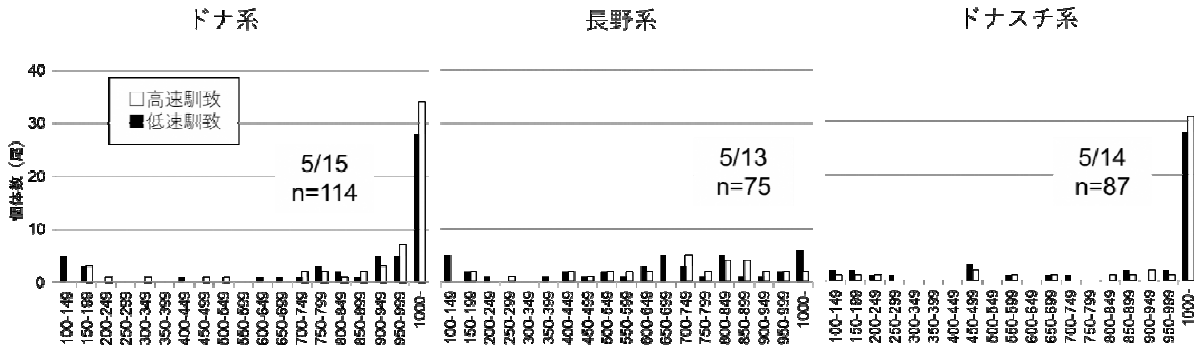


図1 試験終了時（令和元年5月）の各系統の体重

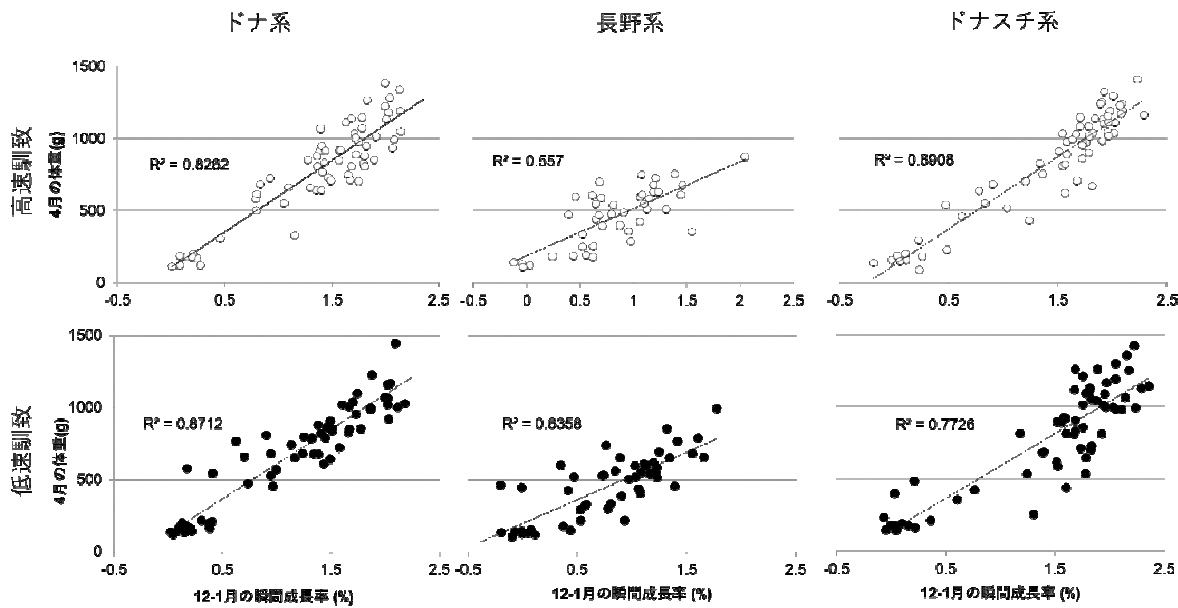


図2 平成30年1月測定時の瞬間成長率と翌4月の体重との関係

2 令和元年度導入分

(1) 系統別馴致試験

海水馴致開始～終了後6日後までの生残率は長野系2種類で低く、特に通常馴致よりも直接海水の方が生残率が低い傾向にあった（図3）。また、馴致後の血漿浸透圧の上昇幅を各種類で比較すると、馴致後6日目の血漿浸透圧上昇幅はドナスチ系2歳魚が特異的に小さかった（図4）。また、馴致前～1・2日目の平均浸透圧上昇量と生残率を比較してみると、上昇幅が高いほど生残率が低い傾向にあった（図5）。

(2) 系統別飼育試験

系統別飼育試験では、12月～翌1月までの通期の瞬間成長率はドナスチ系2歳が最も高く（直接海水：0.77%、通常馴致0.73%）、次いでドナスチ系（直接海水：0.66%、通常馴致：0.75%）、長野系海水経験長野系（直接海水：0.69%、通常馴致0.65%）、そして長野系は最も低かった（直接海水：0.49%、通常馴致：0.40%）（表2）。

瞬間成長率は両試験区ともに、他3種類よりも長野

系が有意に低かったが（Steel-Dwass、 $p < 0.05$ ）、各種類において海水馴致試験区間に有意差はみられなかった。体重組成は4種類ともに、海水馴致後ほとんど成長しない個体が確認され、多峰分布を示した（図6）。

今後も継続して飼育試験を実施するとともに、瞬間成長率の低い個体が発生する原因について、飼育方法等にも着目して検討していきたい。

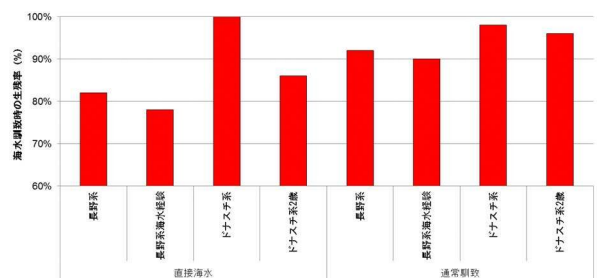


図3 海水馴致開始～終了後6日目までの各試験区・種類ごとの生残率

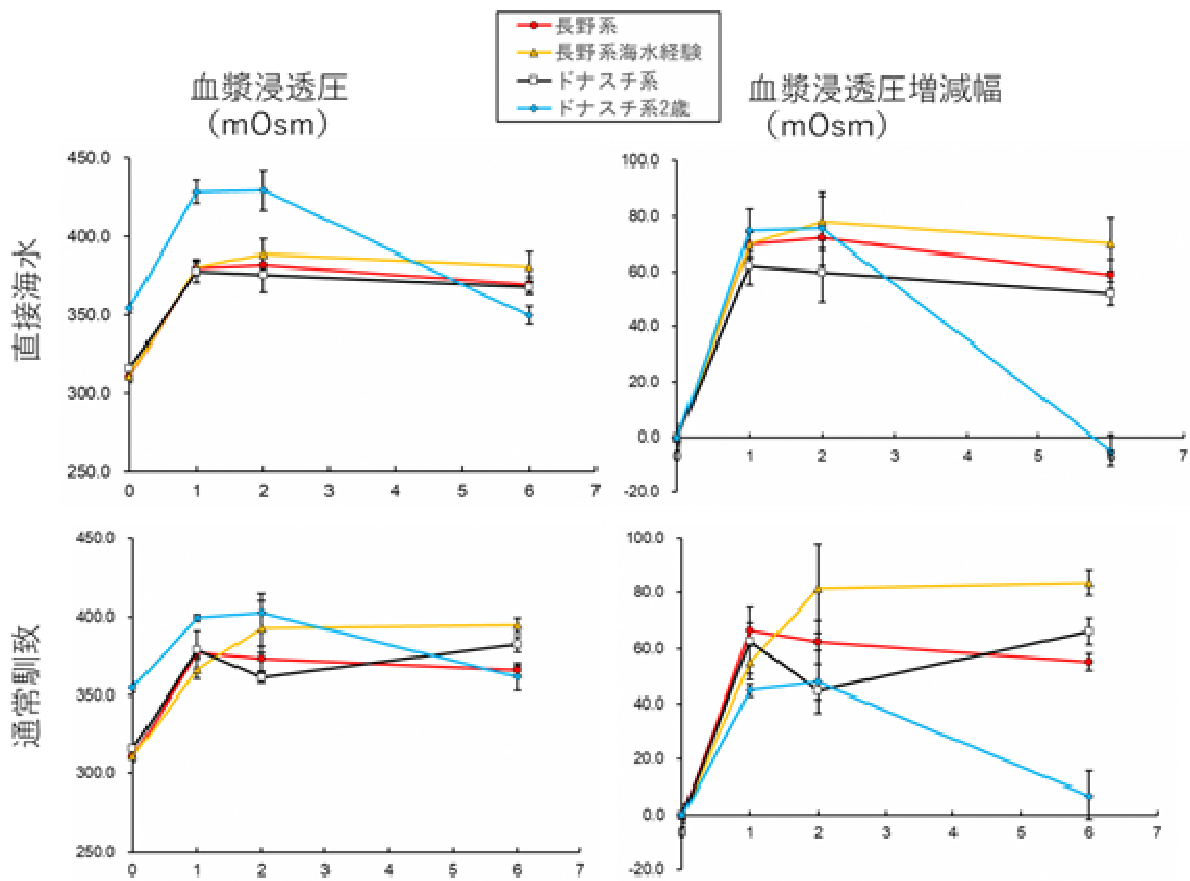


図4 海水馴致前後の各種類の血漿浸透圧とその増減幅

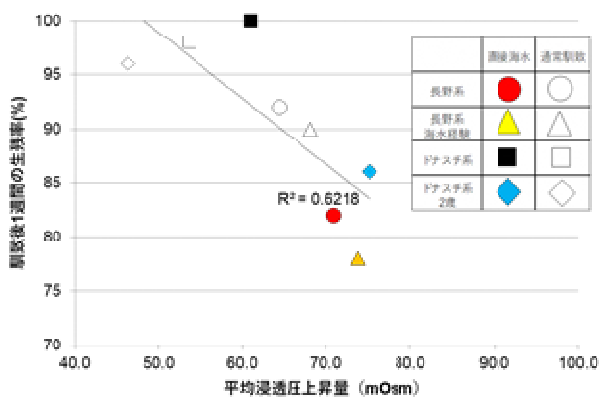


図5 平均浸透圧上昇量と生残率の関係

表2 種類別飼育試験 (11月および12月~翌1月)の結果

試験区	飼育期間 (日)	生残率 (%)	体重範囲 (g)	平均体重 (g)	飼育成長率 (%)	飼料効率 (%)
長野系	直接	0	100	210-410	308	0.49
	0-48	98	208-660	391		
	通常	0	100	220-600	322	
	0-48	99	211-625	401		
長野系 海水馴致	直接	0	100	85-230	146	0.69
	0-48	98	82-356	209		
	通常	0	100	93-255	151	
	0-48	98	94-398	210		
ドナステ系	直接	0	100	277-618	387	0.66
	0-48	95	294-834	538		
	通常	0	100	262-693	385	
	0-48	94	240-1,008	567		
ドナステ系 2歳	直接	0	100	228-694	479	0.77
	0-28	98	303-863	591		
	通常	0	100	238-843	430	
	0-28	98	266-838	524		

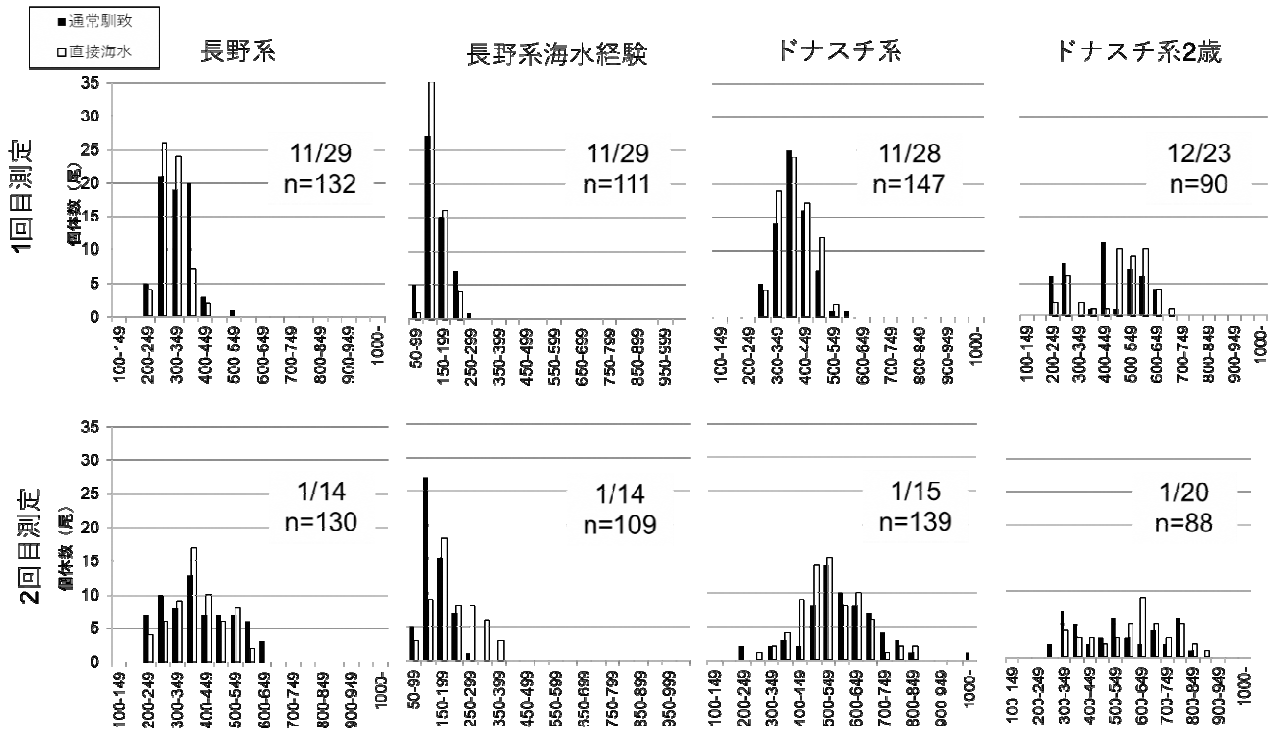


図6 海水馴致後の各種類の体重組成

ニジマス養殖技術開発試験

中村 翠珠*1・武智 昭彦・坂口 秀雄*2

目 的

サーモン需要の高まりに伴い、県内では平成 26 年頃からギンザケ養殖が試みられ、これを受けて栽培資源研究所では、本県に適した養殖方法や成果品の高付加価値化の試験を実施した (H28~30)。ギンザケについては、県内産の種苗供給に一定の目途がついたことから、ギンザケよりも身質が良く、生育水温の上限が高いニジマスの研究に重点を置くこととした。

そこで本事業では、ニジマス養殖の収益性向上を図るため、県内でニジマス種苗を調達できる生産体制づくり、養殖過程で成長差が生じないような海水馴致条

件の検討を行う。

方 法

1 ニジマス全雌種苗生産試験

(1) 紫外線照射強度検討試験

親魚は滑床養魚場 (松野町) のニジマスを用いた。雌性発生のため、ニジマス 2 歳魚の雄 1 尾から精液を 5mL 採取し、精漿液で 50 倍に希釈した後、直径 9cm のシャーレに 10mL 注入して均一化し、振とうしながら表 1 の強度で紫外線照射を行った。卵は、採卵後、カゴに收容し等張液で洗卵、不活化精子とともに等張液中で媒精した。受精卵は自然水温で管理した。

表 1 紫外線照射強度検討試験の方法と結果

試験区	採卵日	親魚	紫外線	供試	発眼数	ふ化数	奇形尾数	発眼率	ふ化率	奇形率
			照射	卵数						
			erg/mm2	粒	粒	粒	尾	%	%	%
1			1,000	354	203	6	6	57.3	1.7	100.0
2			2,500	365	215	13	2	58.9	3.6	15.4
3	12月4日	A	5,000	291	174	13	13	59.8	4.5	100.0
4			10,000	360	203	29	29	56.4	8.1	100.0
5			なし	131	119	33	23	90.8	25.2	69.7
6			1,000	238	130	55	19	54.6	23.1	34.5
7			2,500	248	140	0	0	56.5	0.0	—
8	12月9日	D	5,000	210	133	1	1	63.3	0.5	100.0
9			10,000	280	174	18	9	62.1	6.4	50.0
10			なし	219	208	204	32	95.0	93.2	15.7

※発眼率 = 発眼卵数 / 供試卵数 × 100

※ふ化率 = ふ化数 / 供試卵数 × 100

※奇形率 = 奇形魚数 / ふ化数 × 100

(2) 高温処理水温検討試験

供試卵は、7 尾 (体重 2,001~3,505g) から採取し、雌性発生のための不活化精子は (1) にて 5,000erg/mm² の紫外線を照射したものを使用した。卵は、搾出後、等張液で洗卵し、不活化精子とともに等張液中で媒精したのち、自然水温で管理した。受精開始 10 分後に表 2 のとおり高温条件で第二極体放出阻止処理 (以下、「高温処理区」とする) をおこなった。受精から発眼までの間は滑床養魚場にて管理をおこない、発眼した時点で栽培資源研究所 (以下、「当所」とする) に持ち帰り、卵管理を継続した。

(3) 偽雄作成

供試魚は、(2) で作成したふ化仔魚を用いた。性転換の方法は 17- α -メチルテストステロンの経口投与と

し、1ppm となるよう混合した飼料を 60 日間、1 日 6 回与え、現在飼育を継続している。

2 ニジマス海水馴致試験

(1) 海水馴致時水温検討試験

海水馴致時の環境によってその後の成長に影響があるかどうか検証するため、令和元年 10 月及び 12 月に久万高原町産のニジマス (ドナルドソン×スチールヘッド、2 歳魚) を 10t 八角コンクリート水槽に、試験区① : 60 尾 (平均体重 355g)、試験区② : 50 尾 (平均体重 496g)、試験区③ : 50 尾 (平均体重 496g) ずつ收容し、図 1 のような水温・海水馴致条件で試験を行った。試験区②および③は、海水馴致終了後 1 ヶ月間餌付けを行った後、10t 八角コンクリート水槽 2 面に

各区 28 尾ずつ（平均体重 650g）收容し、令和元年 12 月 25 日から試験を開始した。給餌は週 5 日、フィード・ワン（株）の色揚げ EP 飼料「サーモン・EP パンサー」を飽食させ、現在飼育を継続している。

結果および考察

1 ニジマス全雌種苗生産試験

(1) 紫外線照射強度検討試験

各試験区の発眼率およびふ化率の結果を表 1 に示した。親魚 1 は、対照区のふ化率が低い上にふ化仔魚の奇形率が高く、卵質に問題があったと考えられた。親魚 6 では 5,000erg/mm² と 10,000erg/mm² で 50% に低下したものの、今回の条件下において確実に不活化精子を得るために必要な線量は 5,000erg/mm² 以上と考えられた。

(2) 高温処理水温検討試験

親魚ごとの発眼率およびふ化率の結果を表 2 に示す。親魚により発眼化率やふ化率に違いはあるものの、同親魚内での試験区間では対照区（試験区 15、20、25、30、35、40、45）の発眼化率が最も高かった。一方で、ふ化率については対照区が他試験区と比較して低い場合があるが、これは発眼後運搬した際の発眼卵への影響が親魚で異なるためと考えられた。これを踏まえると、26℃の水温下においては 20 分の処理区が最も正常個体の割合が高い傾向にあることから、5,000erg/mm² の紫外線照射・26℃処理では 20 分浸漬が最も効率の良い全雌作出に取り組めると考えられる。一方で、高温処理を行った際の正常個体作出率は 3~4 割ほどにとどまっており、全雌種苗を得るための方法としては効率の低さが課題となった。

表 2 高温処理の方法と結果

試験区	採卵日	親魚	紫外線	処理	供試	発眼数	ふ化数	奇形	発眼率	ふ化率	奇形率
			照射	水温							
			erg/mm ²	°C	分	粒	粒	粒			
11				自然水温		291	174	13	59.8	4.5	100.0
12			5,000	26	10	228	77	6	33.8	2.6	16.7
13		1		26	20	502	262	10	52.2	2.0	80.0
14				26	30	239	105	5	43.9	2.1	80.0
15			なし	自然水温		131	119	33	90.8	25.2	69.7
16						202	8	0	4.0	0.0	-
17			5,000	26	10	168	25	1	14.9	0.6	100.0
18		2		26	20	535	12	0	2.2	0.0	-
19				26	30	223	4	0	1.8	0.0	-
20			なし	自然水温		181	28	1	15.5	0.6	100.0
21						70	18	2	25.7	2.9	50.0
22			5,000	26	10	114	72	7	63.2	6.1	28.6
23	12月4日	3		26	20	510	427	356	83.7	69.8	25.3
24				26	30	115	90	73	78.3	63.5	43.8
25			なし	自然水温		198	181	105	91.4	53.0	13.3
26						140	63	27	45.0	19.3	100.0
27			5,000	26	10	157	70	45	44.6	28.7	100.0
28		4		26	20	588	295	243	50.2	41.3	89.3
29				26	30	130	43	32	33.1	24.6	96.9
30			なし	自然水温		194	139	70	71.6	36.1	68.6
31						169	68	2	40.2	1.2	0.0
32			5,000	26	10	176	66	28	37.5	15.9	25.0
33		5		26	20	470	164	115	34.9	24.5	37.4
34				26	30	181	59	39	32.6	21.5	66.7
35			なし	自然水温		150	94	81	62.7	54.0	29.6
36						210	133	1	63.3	0.5	100.0
37			5,000	26	10	245	90	3	36.7	1.2	0.0
38		6		26	20	328	256	144	78.0	43.9	19.4
39				26	30	217	127	83	58.5	38.2	34.9
40			なし	自然水温		219	208	204	95.0	93.2	15.7
41	12月9日					235	172	6	73.2	2.6	66.7
42			5,000	26	10	188	156	20	83.0	10.6	65.0
43		7		26	20	751	612	396	81.5	52.7	40.4
44				26	30	246	176	49	71.5	19.9	63.3
45			なし	自然水温		237	215	87	90.7	36.7	34.5

※発眼率 = 発眼卵数 / 供試卵数 × 100

※ふ化率 = ふ化数 / 供試卵数 × 100

※奇形率 = 奇形魚数 / ふ化数 × 100

2 ニジマス海水馴致試験

(1) 海水馴致時水温検討試験

各試験区の海水馴致時の水温推移を図1に示す。生残率は、試験区①～③についてそれぞれ11%、84%、97%と高水温期に導入した試験区①で最も生残率が低かった。また、同時期に導入した試験区②・③では、運搬から馴致まで2日間時間をおくことで生残率が高くなったことから、馴致時のへい死はトラック運搬によるストレスが原因の可能性がある。海水馴致後の成長については、現在飼育試験継続中のため、結果は次年度で報告する。

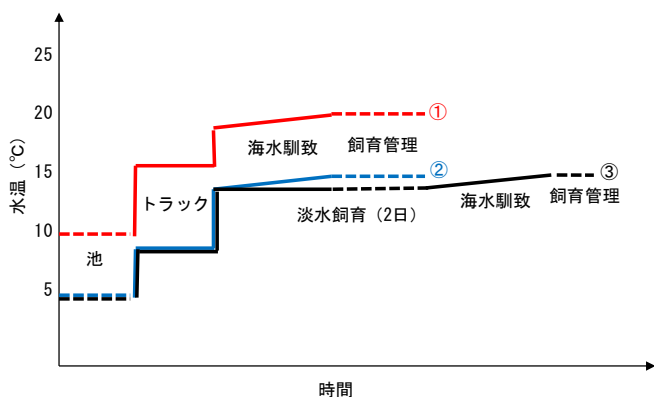


図1 海水馴致前後における試験区①～③の水温推移

魚類の成長促進技術の開発

(ファインバブル利用技術開発事業)

坂口 秀雄*

目 的

ファインバブル (FB)は気泡のサイズにより、マイクロバブル (MB、粒径 $1\mu\text{m}\sim 100\mu\text{m}$) とウルトラファインバブル (UFB、粒径 $1\mu\text{m}$ 以下) に分けることができ、MB は気体溶解作用、物理的吸着作用、洗浄作用があり、UFB は上記の作用に加えて気体封入作用、生理活性向上作用があるとされている。そこで、FB を利用してヒラメなどの養殖対象魚を飼育し、MB の気体 (酸素) 溶解効果や UFB の生理活性向上効果により魚類の成長が促進されるかどうかを試験する。

方 法

1 魚類飼育試験

(1) 試験 1

1,000L 黒色ポリエチレン水槽 (水容量 900L) 4面 に歯切りしたトラフグ 0 歳魚 (平均体重 19g) を 60 尾ずつ収容した。試験区は、1) 酸素 MB 直接区 2) 酸素 MB 間接区 3) 酸素通気区 4) 空気通気区の 4 区を設定した (図 1)。酸素 MB 直接区は、マイクロバブル 1 発生装置 (株式会社ジンノ工業製) に砂ろ過海水 (22L/分、海水供給圧力 0.03Mpa) と酸素 (0.4L/分) を接続し、飼育水槽内で酸素ファインバブルを発生させた。酸素 MB 間接区は、前区の排水を飼育水槽に注入した。酸素通気区は、飼育水槽に砂ろ過海水 (22L/分) を注入し、酸素分散器により酸素 (0.4L/分) を通気した。空気通気区は、飼育水槽に砂ろ過海水 (22L/分) を注入し、エアストーンにより空気 (1.0L/分) を通気した。試験を実施した 7 月 16 日から 9 月 26 日までの間、原則、市販配合飼料 (ひらめ EP F-1 : 日清丸紅飼料株式会社) を朝、夕 1 回ずつ飽食給餌した。

(2) 試験 2

1,000L 黒色ポリエチレン水槽 (水容量 900L) 4面 にギンザケ 1 歳魚 (平均体重 28g) を 30 尾ずつ収容した。試験は淡水を用い、令和 2 年 1 月 27 日から 2 月 28 日まで実施した。試験区および試験方法は、前述の試験 1 と同様とした。配合飼料はひらめ EP F-4 (日清丸紅飼料株式会社) を用いた。

結果および考察

1 魚類飼育試験

(1) 試験 1

試験開始直後から酸素 MB 直接区では飼育水表面に

アク状物質が出現し、トラフグの体表粘液が剥離しているものと考えられたが、平成 29 年度にヒラメで実施した時の様な寄生虫によるへい死は見られなかった。試験中の平均溶存酸素濃度は酸素 MB 直接区が 18.1mg/L、酸素 MB 間接区が 14.5mg/L、酸素通気区が 10.9mg/L、空気通気区が 6.2mg/L で、日間増重率は酸素を使用した 3 試験区が 2.2%、空気通気区が 2.1%であった。海水中では、MB 発生装置は酸素分散器に比べて約 1.5 倍、酸素を溶解する能力が高かった。

(2) 試験 2

酸素 MB 直接区は、海水を用いた時ほど MB による白濁はみられず、水面にアク状物質は出現しなかった。試験中の平均溶存酸素濃度は酸素 MB 直接区が 16.4mg/L、酸素 MB 間接区が 14.7mg/L、酸素通気区が 13.4mg/L、空気通気区が 9.6mg/L で、日間増重率は酸素 MB を使用した 2 試験区が高かった。淡水中では、MB 発生装置は酸素分散器に比べて約 1.2 倍、酸素を溶解する能力が高かった。

総 括

- MB による魚類飼育水の殺菌作用は認められない。
- MB による魚類の成長に及ぼす直接的な効果はみられない。
- 酸素 MB 発生装置は酸素分散器の 1.2~1.5 倍の酸素溶解能力を有している。
- 溶存酸素量が高い方が魚類の摂餌は活発となり成長速度が上昇するため、酸素 FB を使用することにより、少ない酸素使用量で効率良く魚類養殖をおこなうことができる可能性がある。
- 魚を MB に曝露すると、魚種によっては摂餌が不活発になったり、体表粘液が剥離する可能性があるため、魚に直接 MB が当たらないようにして使用することが望ましい。

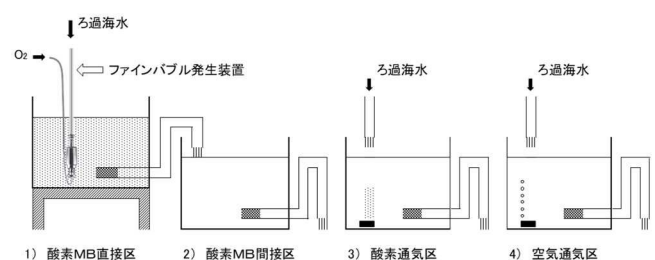


図 1 試験区の水槽構成

表1 魚類飼育試験（試験1）結果

飼育	ファインバブル直接区	ファインバブル間接区	酸素通気区	空気通気区
飼育日数	73	73	73	73
給餌日数	73	72	73	73
水槽容量(L)	900	900	900	900
飼育尾数(尾)	60	60	60	60
終了時の飼育尾数(尾)	45	47	46	52
総給餌量(g)	8019	8421	8259	7060
開始時の平均体重(g)	18.4	18.1	18.7	19.6
終了時の平均体重(g)	180.7 ^a	178.6 ^a	181.7 ^a	149.8 ^b
水温(°C)	21.0-25.9	21.0-25.7	21.0-25.9	21.1-25.9
平均DO(mg/L)	18.1(15.3-20.7)	14.5(12.4-17.0)	10.9(10.0-13.3)	6.2(5.4-7.3)
増重量(g)	7882	8051	8047	7046
1尾当たりの増重率(%)	882	887	872	664
飼料効率(%)	98	96	97	100
増肉係数	1.02	1.05	1.03	1.00
日間給餌率(%)	2.10	2.22	2.13	2.04
日間増重率(%)	2.23	2.24	2.23	2.11

表2 魚類飼育試験（試験2）結果

飼育	ファインバブル直接区	ファインバブル間接区	酸素通気区	空気通気区
飼育日数	33	33	33	33
給餌日数	23	23	23	23
水槽容量(L)	900	900	900	900
飼育尾数(尾)	30	30	30	30
終了時の飼育尾数(尾)	30	30	29	30
総給餌量(g)	282	312	248	258
開始時の平均体重(g)	27.6	28.1	28.1	26.7
終了時の平均体重(g)	39.4 ^a	41.3 ^a	38.4 ^a	37.0 ^a
水温(°C)	9.2-13.4	9.1-13.3	9.3-13.3	9.2-13.3
平均DO(mg/L)	16.4(14.0-18.8)	14.7(12.9-16.7)	13.4(11.6-15.5)	9.6(8.6-11.2)
増重量(g)	354	396	313	308
1尾当たりの増重率(%)	43	47	37	38
飼料効率(%)	126	127	126	119
増肉係数	0.80	0.79	0.79	0.84
日間給餌率(%)	1.22	1.30	1.10	1.17
日間増重率(%)	1.07	1.15	0.94	0.98

高水温耐性母貝系統選抜試験

横井 佑亮・小田原 和史

目 的

平成6年に発生したアコヤガイの大量へい死以降、本センターでは、病気に強い貝や巻きの良い貝を選抜育種し、系統化することで母貝の品質を向上させてきた。

アコヤガイの系統は、耐病性があり、高水温に強く、夏期に衰弱しにくい中国由来の中国系と、耐病性や品質に優れた日本系に大別されるが、系統内での選抜育種を繰り返してきたことで、近年、近親交配による貝の弱体化が懸念されるようになった。特に、中国系においては新たな貝を持ち込むことが困難であるため、弱体化が懸念されている。このため、天然海域に生息しているアコヤガイ（天然貝）から中国貝の形質を有するものを選抜し、系統化することが重要である。また、高水温期にはアコヤガイの栄養蓄積状態の指標のひとつである閉殻筋グリコーゲン含量が低下し、加えて、近年、餌となる植物プランクトンの量が低下していることが懸念されることから、高水温のみならず低餌料環境にも強い貝を選抜する技術が求められる。

これまでの研究から、閉殻筋グリコーゲン含量が高いほど、高水温時の生残率が高いことが分かっており、平成28年度までにアコヤガイ血清中の総炭水化物含量（TC）が閉殻筋グリコーゲン含量と正の相関があることを明らかにした。また、平成29年度には天然貝F1と既存の中国貝を交配して、TC高値系統（TC高）、TC低値系統（TC低）、中国×中国系統（中国）の次代3系統を作出した。平成30年度にはTCが親から子に遺伝することを確認した。

今年度はTCによる選抜の有効性を確認するため、次代3系統の生残率と栄養状態を調査した。さらに、真珠養殖試験をおこない浜揚げ真珠の品質を比較した。

方 法

1 屋内生残率（絶食高水温）試験

試験は令和元年6月17日から9月3日の計76日間、当センター屋内の2水槽でおこなった。供試貝には、平成29年4月にTCを指標に選抜した親を用いて当センターで作出、育成した次代3系統（TC高、TC低、中国）を用いた。供試貝3系統を3トン水槽に各120個ずつ（生残率用60個、測定用60個）垂下した。1 μ m フィルターでろ過した水温28 $^{\circ}$ Cの海水をかけ流して無給餌飼育し、毎日生残個数を計数した。試験開始時と終了時に、各30個の血リンパ液を採取してTCを測定するとともに、閉殻筋を取り出し、閉殻筋グリコーゲン含量を測定した。TCおよび閉殻筋グリコー

ゲン含量の測定はアンスロン硫酸法によりおこなった。

2 屋外生残率試験

試験は、宇和海南部である愛南町の2地点（愛南A、愛南B）でおこなった。試験貝は屋内生残率試験と同様の3系統を用い、各56個を令和元年5月27日から11月19日まで垂下して、毎月生残個数を計数した。6月17日に各地点に水温ロガーを垂下し、水温を記録した。試験開始時と終了時に、屋内生残率試験と同様の方法で各30個のTCと閉殻筋グリコーゲン含量を測定した。

3 真珠養殖試験

供試貝は、屋内生残率試験と同様の3系統を各200用いた。宇和島市内の真珠養殖業者1名により令和元年5月に同一ロットのピースを用いて挿核し、令和2年1月に浜揚げをした。浜揚げ真珠を鑑定士が価値の高い1級、価値の低い2級、ほとんど価値の無い3級に分類し、各級の真珠重量および単価係数を算出した。算出にあたり、3系統のうち1番経済的価値の高い1級を100と設定して、その相対値を各級の単価係数とした。各系統の各級における単価計数に、各級の真珠重量を乗じ、その和を各系統における金額指数とした。

結果および考察

1 屋内生残率（絶食高水温）試験

屋内水槽1の生残率を図1、屋内水槽2の生残率を図2に示す。最終的な生残率は2つの水槽で共にTC高が一番高く、次いでTC低、中国となり、2水槽中1水槽で3系統間に有意差が認められた（カイ二乗検定、 $p < 0.01$ ）。試験開始時と終了時のTCを図3、閉殻筋グリコーゲン含量を図4に示す。試験開始時では、いずれも系統間で値に大きな差はみられなかったが、終了時にはいずれの系統も各値は明瞭に低下した。終了時のTCは水槽1で、TC高が最も高く、次いでTC低、中国、水槽2では中国が最も高く、次いでTC高、TC低となった。水槽間で同じ傾向は認められなかったが、中国を除けばいずれの水槽でもTC高の系統が高い値となった。終了時の閉殻筋グリコーゲン含量は水槽1で中国が高く、TC高、TC低はともに低い値を示した。水槽2ではTC低が最も高く、次いでTC高、中国となり、2水槽で同じ傾向は認められなかった。

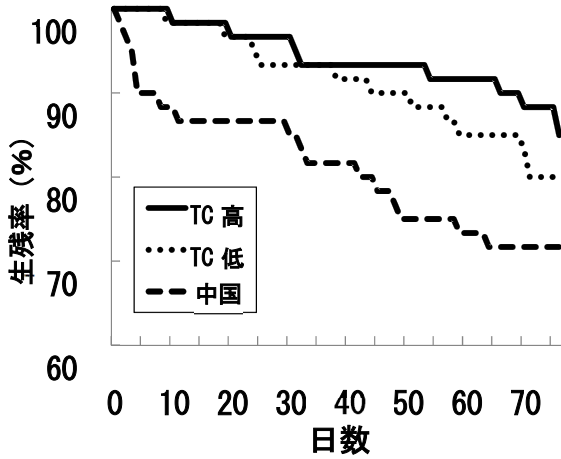


図1 屋内水槽1の生残率

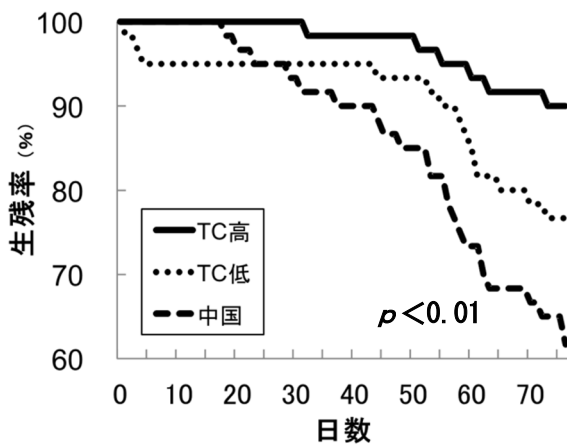


図2 屋内水槽2の生残率

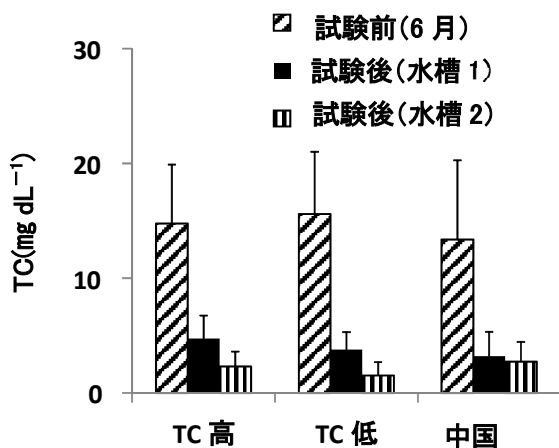


図3 屋内生残率試験の総炭水化合物含量 (TC)

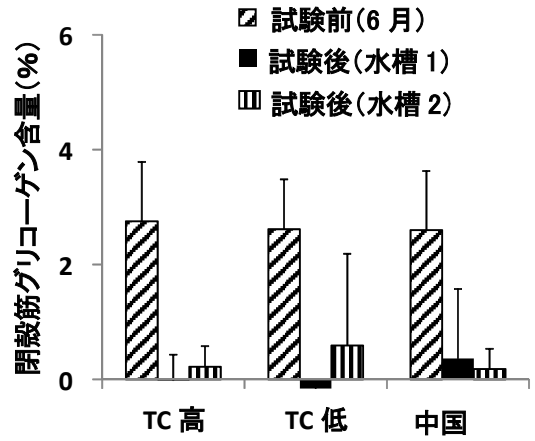


図4 屋内生残率試験の閉殻筋グリコーゲン含量 (マイナスの値は測定誤差による)

2 屋外生残率試験

愛南町2地点の水温の推移を図5に示す。2地点の水温はおおむね同様な値で推移し、アコヤガイの警戒水温である28°Cを上回る水温が確認された。このことから、供試貝に高水温負荷が加わったと考えられた。

生残率の推移について愛南A地点を図6、愛南B地点を図7に示す。最終的な生残率は、有意ではなかったものの2地点共にTC高が一番高く、次いで中国、TC低となった。試験開始時と終了時のTCを図8、閉殻筋グリコーゲン含量を図9に示す。試験終了時のTCにおいては、2地点共にTC低が最も低い結果となった。試験終了時のグリコーゲン含量においても2地点共にTC低が低い結果となった。これらのことから、TCが遺伝する可能性があるという本事業の平成30年度報告を支持していると考えられた。

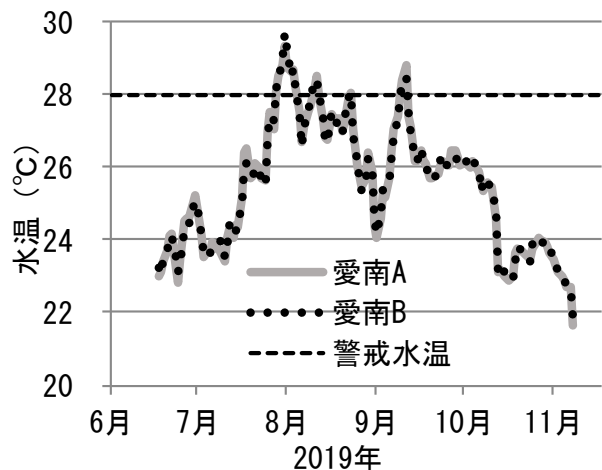


図5 愛南町2地点の水温

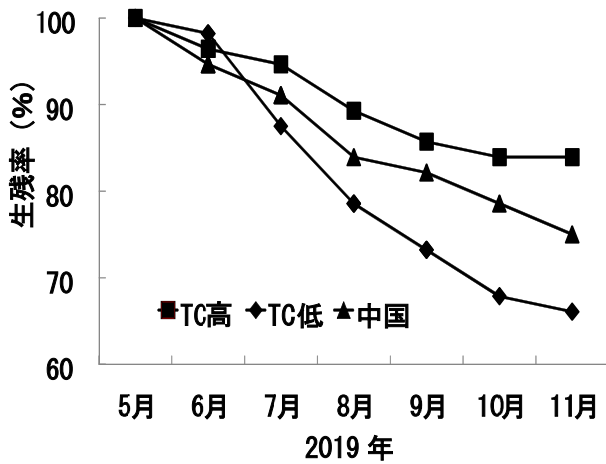


図6 愛南町A地点の生残率

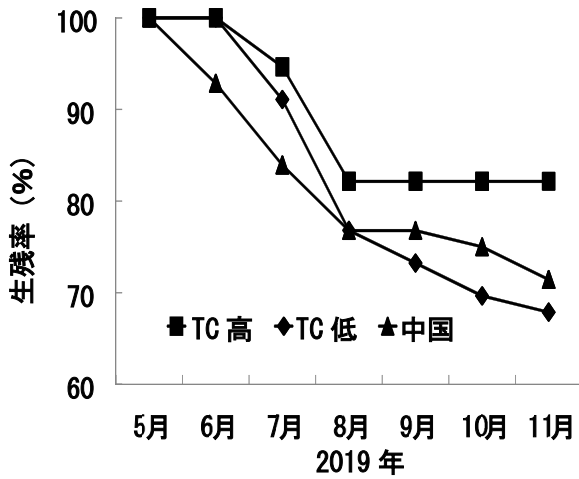


図7 愛南町B地点の生残率

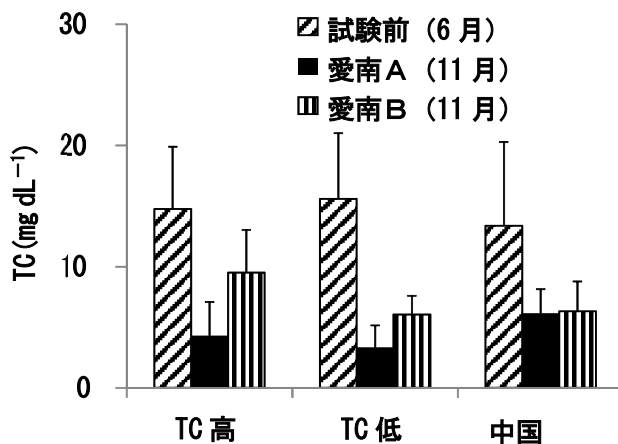


図8 屋外生残率試験の総炭水化物含量 (TC)

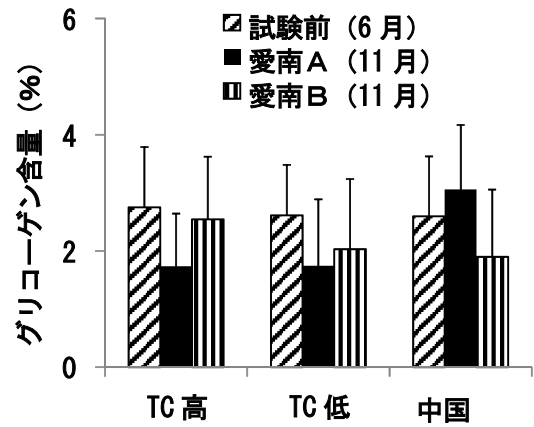


図9 屋外生残率試験の閉殻筋グリコーゲン含量

3 真珠養殖試験

浜揚げした真珠の各系統における各級の単価係数、重量 (g)、合計重量に占める割合および金額指数を表1に示す。

単価係数は、TC 高と TC 低の 1 級が価値で最も高く評価され、値は 100 となったが、中国の 1 級真珠の単価係数は 75.8 と低く評価された。

各系統の合計重量に占める 1 級真珠重量の割合 (製品率) は TC 高が 34% と最も高く、次いで中国、TC 低となった。3 系統内で各級の合計重量に占める割合をクラスカル・ウォリス検定により比較した結果、有意差が認められた ($p < 0.01$)。このことから TC による選抜は真珠品質向上に資すると考えられた。

合計重量は中国で最も高く、次いで TC 高、TC 低となったが、各系統の金額指数は TC 高が最も高く、次いで中国、TC 低となった。これは TC 高の単価係数および製品率が高いことが寄与している。また、TC 高の金額指数は TC 低に比べて、約 62% 高かった。これらのことから、TC による選抜の有用性が確認された。

表1 浜揚げ真珠の単価計数、重量および金額指数

系統		1級	2級	3級	製品率	金額指数	合計重量
TC高	単価係数	100	55.9	2.3	34%	4125.9	65.1
	重量 g (%)	22.1 (34%)	33.9 (52%)	9.1 (14%)			
TC低	単価係数	100	47.9	2.3	15%	2568.2	57.4
	重量 g (%)	8.6 (15%)	35 (61%)	13.8 (24%)			
中国	単価係数	75.8	47.9	1.7	19%	3040.9	74.6
	重量 g (%)	14.2 (19%)	40.3 (54%)	20.1 (27%)			

総 括

閉殻筋グリコーゲン含量が高いほど、高水温時のアコヤガイ生残率が高いことはこれまでに分かっていたものの、個体の閉殻筋を切り出して分析する必要があることから、測定貝を種苗生産の親として使用することができず、選抜育種の障害となっていた。

本事業において、血清中の総炭水化物含量 (TC) が閉殻筋グリコーゲン含量と正の相関があることを明らかにし、親貝を生かしたまま測定できる技術を開発した。また、TC を用いて次代を作出し、昨年度には TC が親から子に遺伝することを確認した。今年度は、屋内生残率 (高水温絶食) 試験および屋外生残率試験の結果より、TC を用いて選抜することで高水温および低餌料環境に強い貝を作出できることを明らかにした。また、真珠養殖試験では、TC の高い親から作出した子は TC が低い親から作出した子に比べ、製品率、合計重量、金額指数が高かった。これらのことから、本技術を用いて選抜育種をすることで、高水温および低餌料環境下においても歩留まりおよび製品率の高い系統を作出でき、真珠養殖業者の収益向上に資すると考えられた。

本試験を実施中の令和元年7月末頃から、宇和海全域でアコヤガイ稚貝の大量へい死が発生し、母貝や挿核貝にもへい死や貝殻の形成異常が認められ、大きな被害をもたらした。このような状況にもかかわらず、本事業で選抜した TC 高値系統の貝は、TC 低値系統の貝や中国貝と比べて生残率が高く、さらに真珠養殖試験において製品率および金額指数が高かった。このことは、大量へい死の原因や今後の拡大、継続性予測が不明な現状において、TC を指標とした選抜育種は、大量へい死しにくく、真珠製品率の高い母貝を作出するために有効な手法となる可能性がある。本事業の結果を受けて、TC を指標に用いた選抜育種を「アコヤガイへい死緊急対策事業」において引き続きおこなう予定である。

優良ピース貝選別技術開発試験

小田原 和史・横井 佑亮・尾崎 良太郎*

目 的

アコヤガイ真珠の品質は真珠層の性状に大きく左右され、このうち色目の価値は、真珠層を構成している結晶層一層の厚さ（結晶層厚）に強く影響を受ける¹⁾。これまで適度な結晶層厚のピース貝を開発し、真珠養殖業者に普及させてきたが、依然としてピース貝貝殻結晶層厚にバラツキがあり、これが真珠の品質を下げる要因になっている。このため本研究では、挿核前に現場でこれらのバラツキを取り除き、優良ピース貝のみ選別できる技術を開発することを目的とする。

事業初年度である今年度は、この目的を達成するために次の4課題について試験をおこなった。1 貝殻内面色と貝殻結晶層厚の関係解明：貝殻結晶層厚を目視で判別するため、貝殻内面の色と貝殻結晶層厚の関係を明らかにする。2 選別指標等の作製：貝殻内面の色と貝殻結晶層厚の関係が分かる指標を選ぶ。3 真珠養殖試験：選別指標等を用いてピース貝を選別し、真珠を試験養殖する。4 ピース貝の種苗生産：親貝を選抜して次代を種苗生産し、ピース貝の選抜育種を進める。

方 法

1 貝殻内面色と貝殻結晶層厚の関係解明

貝殻内面色と貝殻結晶層厚の関係については、貝殻結晶層厚が全く異なるにもかかわらず類似する色が2回現れることが報告されており¹⁾、このことが、目視による貝殻結晶層厚の選別の障害となっている。この現象について、これまでの報告を再度検証するとともに、貝殻結晶層厚が異なるにもかかわらず同じ緑色を呈する、結晶層厚が480nmの左殻と320nmの左殻を各1個用いて、貝殻を傾けた際の内面色をデジタルカメラ（DMC-TZ3、パナソニック）で写真撮影して、その角度との関係を調査した。

調査にあたって、光源の位置、貝殻の置き方、およびカメラの位置のいずれか（またはいずれも）が関係する可能性があったため、この点について事前に試行したところ、光源を屋内天井の蛍光灯とし、貝殻内面を上にして卓上に置き、カメラの位置のみを変えて角度を変える方法が、角度を測定しつつ写真撮影するうえで最も容易な方法であった。そこで、カメラ台を用いてカメラの設置角度を貝殻に対して変化させて写真を撮影し、調査した。

2 選別指標等の作製

当センター保有のアコヤガイ（日本貝、中国貝およびピース貝）満0～3歳、計15系統について、合計1,500個体以上開設し、水洗いした後1週間以上風乾させた。これらの貝殻の真珠層縁辺部の色を既報²⁾の方法により内面真珠層を角度変化させて目視で確認し、選別指標の候補となる貝殻をまず100個選んだ。さらに、この100個の貝殻の結晶層厚を既報¹⁾の方法により計測し、貝殻結晶層厚が上限と下限の各1個を選ぶとともに、光の反射が明瞭な6個を選んで、合計8個を選抜指標とした。これらの選抜指標の色度を分光測色計（CM-700d、コニカミノルタ）で測定してL*a*b*表色系で数値化した。なお、L*値は明度を、a*値、b*値は色度を表し、a*値がプラスで赤色、マイナスで緑色、b*値がプラスで黄色、マイナスで青色を表す。

3 真珠養殖試験

真珠養殖試験をおこなった宇和島市内の真珠養殖業者、挿核日、浜揚日、挿核個数、ピース貝の選別区、ピース貝と母貝の種類および核径を表1に示す。ピース貝の選別区において、各業者の挿核日の前日に、200個のピース貝の中から無作為に20個を抜き取り、無作為区のピース貝とした。無作為区の左殻をパールナイフで切り取って水洗いした後、風乾させて貝殻結晶層厚測定のために保管した。残り180個をパールナイフで開設し、本研究で作製した選別指標を参考に、180個の中で貝殻結晶層厚が厚い20個を「結晶層の厚い選別区」とした。同様に、選別指標を参考に、180個の中で貝殻結晶層厚が薄い20個を「結晶層の薄い選別区」とした。それぞれの左殻は無作為区と同様に保管した。貝肉の付いた3区の右殻を流水で1日間保管し、翌日に真珠養殖業者に持ち込んで挿核をおこなった。A～Cの業者について同じ試験区で挿核した。挿核後に右殻を回収して左殻と同様に保管した。保管した左右殻の結晶層厚を既報¹⁾の方法により計測した。

浜揚げした真珠は、日本真珠振興会に依頼して最も価値の高い1級、価値の低い2級、価値のない3級へ分類し、真珠の重量から1級真珠率を計算した。真珠の価値についても、各区の各級における真珠の欠当りの単価係数を算出した。なお、算出にあたり、C業者の無作為区1級真珠の経済的価値が最も高かったことから、この真珠の単価を100と設定して、その相対値を各区の各級における単価係数とした。

表1 真珠養殖試験方法

業者	挿核日	浜揚日	挿核 個数	ピース貝の選別区	ピース貝	母貝	核径 (mm)
A	H31. 4. 17	R1. 12. 25	200	無作為区			
			200	結晶層の厚い選別区			
			200	結晶層の薄い選別区			
B	H31. 4. 18	R1. 12. 24	200	無作為区	日中 交雑貝 (満2歳)	日本貝 (満2歳)	7. 12~ 7. 24
			200	結晶層の厚い選別区			
			200	結晶層の薄い選別区			
C	R1. 5. 1	R1. 12. 23	200	無作為区			
			200	結晶層の厚い選別区			
			200	結晶層の薄い選別区			

4 ピース貝の種苗生産

令和元年3月に、当センターが保有するピース貝の親貝系統から干渉色選抜貝系統および白色貝系統の2系統を生産した。干渉色選抜系統は、当センターで平成29年3月にふ化した干渉色選抜系統の雌10個体に、平成30年3月にふ化した干渉色選抜系統の雄8個体を交配させた。白色貝系統は、平成30年3月にふ化した白色貝系統の雌84個体に、平成29年3月にふ化した白色貝および平成30年3月にふ化した白色貝の雄合計5個体を交配させた。なお、これらの親貝を選ぶ際には、本事業で作製した選別指標を参考に、貝殻結晶層厚が420~440nm程度の個体を選んだ。種苗生産は既報³⁾により切開法でおこなった。

結果および考察

1 貝殻内面色と貝殻結晶層厚との関係解明

貝殻内面色を構成する反射光の波長と結晶層厚には、 $2d \mu \cos\theta = n\lambda - ①$ (ただし、 μ : 屈折率、 d : 結晶層厚、 θ : 屈折角、 λ : 光の波長、 n : 1、2、3・・・) の関係式があり⁴⁾、また結晶層の代表的屈折率は1.68と報告されている⁵⁾。この式において、結晶層厚 $d = 320\text{nm}$ の貝殻の反射光を計算すると、屈折角 θ が 0° の場合、 $n = 1$ の λ を λ_1 と表記すると、 $\lambda_1 = 1,075.2\text{nm}$ 、 $\lambda_2 = 537.6\text{nm}$ 、 $\lambda_3 = 358.4\text{nm}$ 、 $\lambda_4 = 268.8\text{nm}$ となる。同様に、結晶層厚 $d = 480\text{nm}$ の貝殻の反射光は、 $\lambda_1 = 1,612.8\text{nm}$ 、 $\lambda_2 = 806.4\text{nm}$ 、 $\lambda_3 = 537.6\text{nm}$ 、 $\lambda_4 = 403.2\text{nm}$ となり、結晶層厚が 320nm の貝殻の λ_2 と結晶層厚が 480nm の貝殻の λ_3 は同じ 537.6nm になる。人が目で識別できる色 (可視光) の光の波長は $380\sim 780\text{nm}$ であり、青で $450\sim 500\text{nm}$ 、緑で $500\sim 570\text{nm}$ 、黄で $570\sim 590\text{nm}$ 、赤で $600\sim 760\text{nm}$ であることから⁶⁾、この2つの貝殻はどちらも緑色に近い色を呈することになる。なお、結晶層厚 480nm の貝殻の $\lambda_4 = 403.2\text{nm}$ (紫色) は結晶層厚 320nm の貝殻には存在しないが、分光測色計による $L^*a^*b^*$ 表色系の測定値でも2つの貝殻の色の違いを識別できなかった⁷⁾。一般に、 n が大きくなるにつれて反射光は減衰することが知られていることから、その原因は λ_4 の反射光

が減衰していたからと考えられた。

しかしながら、可視光域で同じ緑色を呈しているも、緑色の次に長い波長は、結晶層厚 480nm の貝殻では $\lambda_2 = 806.4\text{nm}$ 、結晶層厚 320nm の貝殻では $\lambda_1 = 1075.2\text{nm}$ であり、結晶層厚 480nm の貝殻の方でより可視光域に近い。このことが、両者の貝殻を識別する材料になると考えられる。つまり、屈折角が 0° の場合に同じ緑色でも、屈折角を大きくしていくと、①式の $\cos\theta$ は1から0に近づく。その際に、結晶層厚 480nm の貝殻では、緑色の次に長い波長が可視光域により近いため、屈折角が小さくても、次の反射光の波長が可視光域に入り、色を呈するようになると考えられる。色の中で最も長い波長は赤色なので、屈折角が小さくても赤色を呈すると考えられる。一方で、結晶層厚 320nm の貝殻では、緑色の次に長い波長が可視光域から遠いため、結晶層厚 480nm の貝殻に比べて屈折角を大きくしなければ、赤色を呈しないと考えられる。

屈折角をどの程度にすると赤色になるかの考察をおこなうと、赤色の光の波長は $600\text{nm}\sim 760\text{nm}$ であり、結晶層厚 480nm の貝殻では、屈折角が 0° の場合に $\lambda_2 = 806.4\text{nm}$ であるから、 λ_2 が 760nm になる際の屈折角は 19.5° と計算される。さらに、屈折角から反射角を求めると、スネルの法則により、 $n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$ (ただし、 n_1 : 空気の屈折率 1.00、 θ_1 : 反射角、 n_2 : 真珠層の屈折率 1.68、 θ_2 : 屈折角) であるから、反射角は 34.2° と計算される。つまり、光源を真上に置いて貝殻内面を上向きに卓上に置いた場合、貝殻を真上から 34.2° 傾いた状態で貝殻内面を見ると赤色を呈すると計算上では考えられる。同様に、結晶層厚 320nm の貝殻では、屈折角が 0° の場合に $\lambda_1 = 1075.2\text{nm}$ であるから、 λ_1 が 760nm になる場合の屈折角は 45.0° となる。この屈折角から反射角を求めても、反射角は計算できない値となってしまう、貝殻内面を 90° まで傾けても赤色にはならないと計算上では考えられる。つまり理論上では、緑色の内面を呈する貝殻について、約 35° 傾けた際に赤色を呈する貝殻の結晶層厚は 480nm であり、いくら

傾けても赤色にならない貝殻の結晶層厚は 320nm ということになる。

次に、実際に結晶層厚が 480nm の左殻と 320nm の右殻を用いて、理論どおり両者の貝殻を識別できるか調査した。480nm の左殻は、貝殻内面を真上から 30°から 45°傾けて写真撮影した際に赤色を呈していた。一方で、320nm の右殻では 90°まで傾けても赤色を呈することはなかった。これらのことから、おおむね上記の推論は正しいと考えられたが、本試験ではカメラを傾けて貝殻を撮影した際の色を色度として定量的に測定するまでには至らなかった。今後は、グラフィックソフト等を用いて、カメラを傾けて貝殻を撮影した際の色度を定量的に把握し、上記の理論を検証する必要がある。

2 選別指標等の作製

選別指標の貝殻結晶層厚と色との関係を表 2 に示す。貝殻結晶層厚は 263nm~489nm の範囲であった。また、結晶層厚が異なっても、青、緑、黄色など、同様の色が目視で確認された。また紫と赤は判別が難しかった。これらの色を L*a*b*表色系で数値化した場合も、おおむね目視と一致していた。今後は、これらの貝殻を選別指標にしてピース貝の親貝を選別するほか、カメラを傾けて選別指標を写真撮影するなどしてポスターを作成する予定である。

表 2 選別指標の貝殻結晶層厚と L*a*b*値

結晶層厚 (nm)	目視の色	L*値	a*値	b*値
263	紫	59.3	5.2	-26.8
284	青	64.3	-11.7	-18.5
316	緑	70.6	-17.3	1.4
352	黄	71.6	-0.1	4.6
410	赤	60.3	7.3	-12.7
434	青	58.3	-6.7	-13.0
470	緑	69.2	-14.6	-2.3
490	黄	68.6	-7.0	0.2

3 真珠養殖試験

目視選別したピース貝の左殻と、挿核試験後に回収した右殻の貝殻結晶層厚を図 1 に示す。いずれの業者でも、結晶層の厚い選別区で貝殻結晶層が最も厚く、結晶層の薄い選別区で貝殻結晶層が最も薄く、無作為区でその中間となった。このことから、選別指標を用いた貝殻結晶層厚の選別方法によって、ピース貝の貝殻結晶層厚は選別が可能であることが示唆された。また、いずれの区でも左殻と右殻の結晶層厚は似た値となったことから、左殻のみで貝殻を選別した場合でも、右殻の結晶層厚も左殻と似た値になると判断された。

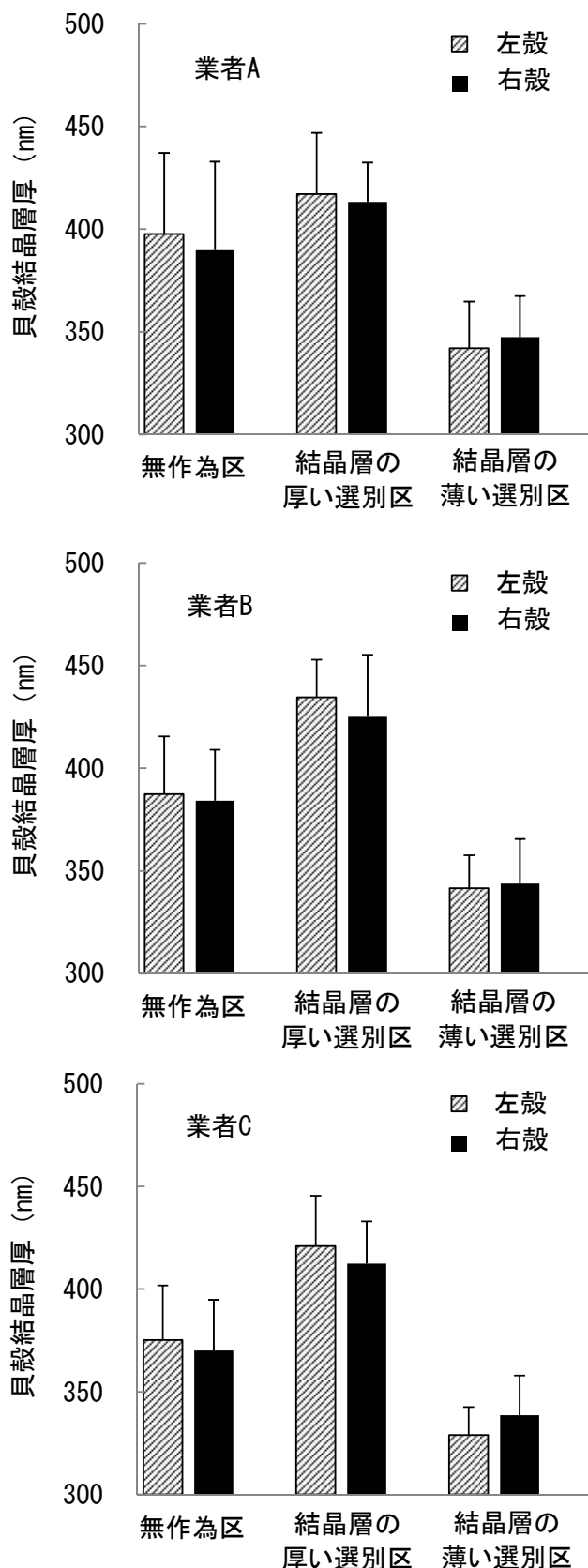


図 1 目視選別したピース貝の貝殻結晶層厚 (縦棒は標準偏差)

浜揚げした真珠の 1 級真珠率を図 2 に示す。業者によって、1 級真珠率の最も高かった区は異なった。一方、1 級真珠率の最も低かった区は共通しており、結

晶層の薄い選別区であった。このことから、ピース貝の中から貝殻結晶層が 350nm 以下の個体を挿核に用いると、真珠の製品率が下がることが示唆された。

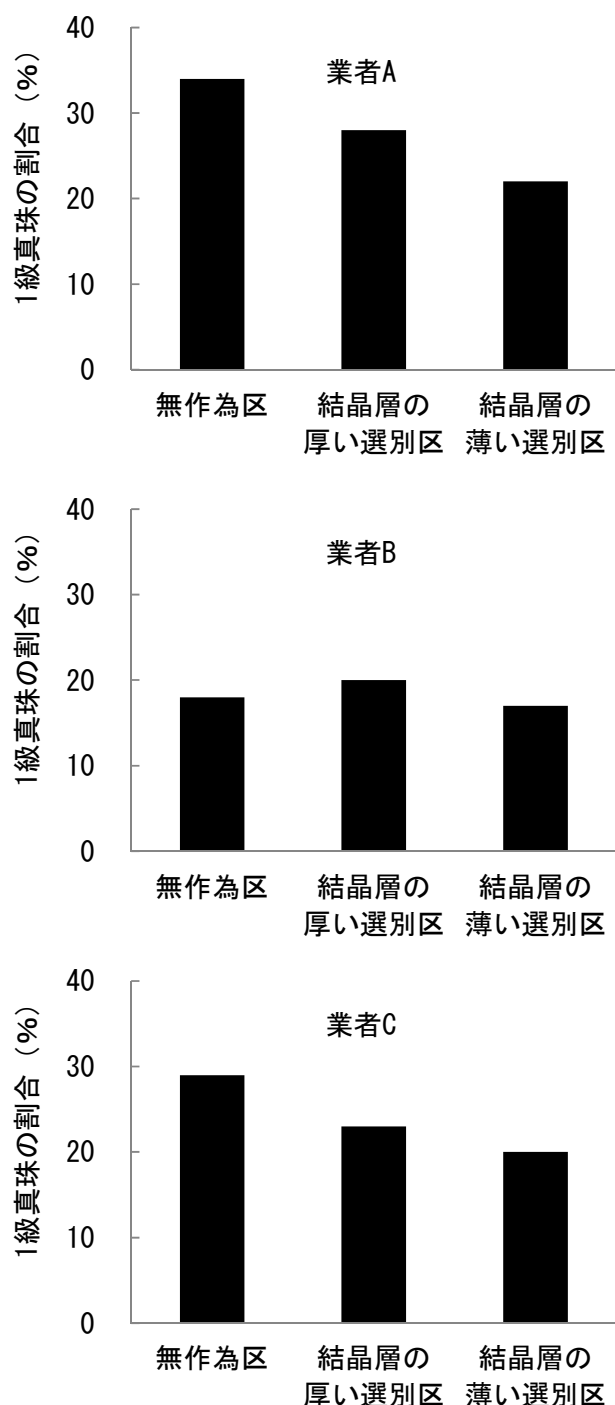


図2 試験区毎の1級真珠の割合

浜揚げした真珠の単価指数を表3に示す。単価指数の高かった試験区は業者によって一定していなかった。このことから、本試験による選別方法では単価指数は大きく変わらないことが示唆されたが、今後真珠の結晶層厚を測定したうえで、これを含めて考察する必要がある。

表3 真珠養殖試験の真珠の単価指数

業者	試験区	単価指数		
		1級真珠	2級真珠	3級真珠
A	無作為区	77.4	26.4	0.0
	結晶層の厚い選別区	81.1	34.0	0.0
	結晶層の薄い選別区	71.7	41.5	0.0
B	無作為区	84.9	41.5	3.0
	結晶層の厚い選別区	77.4	37.7	1.9
	結晶層の薄い選別区	67.9	34.0	1.3
C	無作為区	100.0	43.0	3.4
	結晶層の厚い選別区	79.2	37.7	0.8
	結晶層の薄い選別区	86.8	43.4	1.9

4 ピース貝の種苗生産

3月末現在で、ふ化させた2系統の浮遊幼生を各系統につき約1,000千個体飼育管理している。今後は、これら2系統のピース貝を屋内で付着稚貝まで育成し、その後屋外に垂下して飼育管理する予定である。

参考文献

- 1) 小田原和史・尾崎良太郎・高木基裕：非破壊で真珠層結晶層厚を計測したピース貝と真珠の特徴. 水産技術 9 (1): 9-20 (2017)
- 2) 小田原和史・尾崎良太郎・高木基裕：アコヤガイ貝殻真珠層結晶層厚の遺伝と成長に伴う特性. 日本水産学会誌 84 (2): 221-232 (2018)
- 3) 小田原和史・曾根謙一・薬師寺房憲・久枝弘幸・伊藤冬樹：アコヤガイ種苗生産. 愛媛県農林水産研究所水産研究センター事業報告 平成22年度: 125 (2012)
- 4) 内田洋一・上田正康：真珠の層状構造と iridescence に就て. 生理生態 1-3: 171-177 (1947)
- 5) 小松博・鈴木千代子：真珠の上半球と下半球における光の干渉現象—「オーロラ効果」について. 宝石学会誌 24 (1-4): 29-37 (2004)
- 6) 化学大辞典編集委員会：化学大辞典2 縮刷版. 共立出版株式会社. 東京: 375 (1980)

耐病性及び真珠品質評価を利用したアコヤガイ育種技術の開発

(革新的技術開発・緊急展開事業 (うち先導プロジェクト))

小田原 和史・横井 佑亮・尾崎 良太郎*

目 的

近年、アコヤガイ赤変病の病原体由来だと考えられる遺伝子配列が、メタゲノム解析等の手法により発見された¹⁾。このことから、赤変病の病原体の調査をさらに進めるとともに、関係機関と連携して、耐病性に関するDNA マーカーを開発することにより、アコヤガイの耐病性育種を高度化することが可能になると考えられる。加えて、真珠層を構成する層状構造の一層の厚さ(結晶層厚)を非破壊で計測することが近年可能になり²⁾、ピース貝の貝殻結晶層厚が真珠品質に強く影響を与えることが明らかになったことから³⁾、貝殻結晶層厚と遺伝マーカーの関係を把握し、真珠品質にも考慮した貝の選抜をおこなう必要がある。そこで今年度は、昨年度に親貝を選抜して生産した、アコヤガイ赤変病に耐病性のあることが期待されるF1世代(選抜区F1)と、既存の方法により選抜した親貝から生産したF1世代(対照区F1)の生残率を調査し、比較した。また、平成28年度に貝殻真珠層結晶層厚で選抜して生産したF1世代をピース貝に用いて、昨年度養殖試験した真珠について、真珠の結晶層厚と真珠の価値との関係を調査した。

なお、本研究は国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構生物系特定産業技術研究支援センターによる「革新的技術開発・緊急展開事業(うち先導プロジェクト)」の支援を受けておこなった。また、本試験における詳細な試験の内容は、同事業の構成員別研究成果報告書に記載した。

方 法

アコヤガイ赤変病に対する耐病性獲得を目指した選抜技術と育種素材の開発のため、日本貝から血リンパ中のスピロヘータ門細菌の数(病原体数:定量PCRにより測定)を基準に選別し、平成30年5月に次代をふ化させて愛媛県愛南町に垂下した貝を選抜区F1とした。また、日本貝から既存の選抜方法で親を選抜して平成30年4月にふ化させ、愛南町に垂下していたF1を対照区F1とした。令和元年6月から、選抜区F1と対照区F1の各56個を供試貝として毎月1回生残個数を計数し、生残率を計算した。

真珠品質の向上を目指した選抜技術と育種素材の開発のため、平成28年に貝殻真珠層結晶層厚で親貝を選抜して生産したF1の6系統(結晶層が厚い3系統、結晶層が薄い3系統)をピース貝に用いて昨年度試験養殖し、生産した浜揚げ真珠について、平成31年3月に真珠鑑定士に持ち込んで鑑定をおこない、価値の高い1級

真珠、価値の低い2級真珠、価値のない3級真珠に分類し、試験区毎に1、2級真珠の単価指数を算出した。また、試験区毎の単価指数を平均して真珠の単価指数の平均値を算出した。さらに、平成31年4月に1級および2級真珠の結晶層の厚さを既報²⁾の方法で測定して平均値を算出した。なお、真珠の試験養殖方法の詳細は昨年度の事業報告書に記載した。

結果および考察

選抜区F1と対照区F1の生残率を図1に示す。7月までは生残率に差はなかったものの、8月以降に選抜区F1で生残率が高い傾向であった。フィッシャーの直接確率計算法で解析したところ、8月以降に両者に有意差($p < 0.05$)が認められ、病原体数で親貝を選抜すれば、既存の方法による選抜よりも、F1の夏季における生残率が高いことが示唆された。

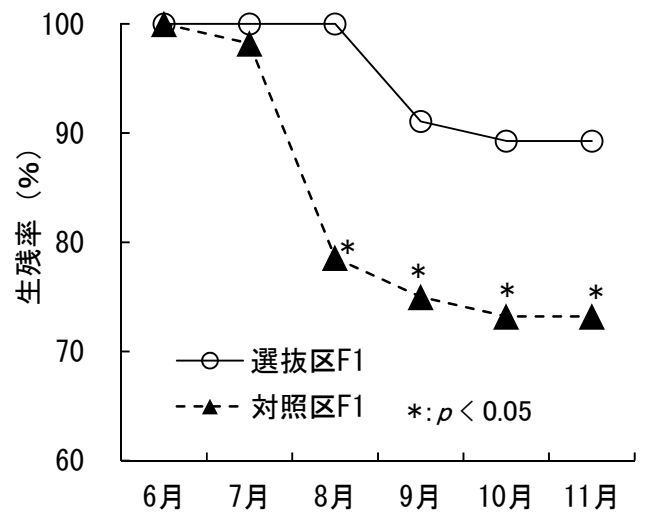


図1 選抜区F1と対照区F1の生残率

貝殻結晶層の厚い3系統のF1および貝殻結晶層の薄い3系統のF1をピース貝に用いて挿核し、平成30年12月に浜揚げした真珠に関して、真珠の単価指数の平均値と真珠の結晶層厚の平均値との関係を図2に示す。真珠の結晶層厚の平均値が370nm付近を境として、それより結晶層が薄くなると真珠の単価指数の平均値は有意に低下し(ピアソンの相関係数の検定、 $r = 0.889$ 、 $p < 0.05$)、同様に、結晶層厚の平均値が370nm付近より厚くなっても真珠の単価指数の平均値は有意に低下した(同、 $r = 0.901$ 、 $p < 0.05$)。既報²⁾において、5個の真珠の平均結晶層厚が372nmの単価指数を100とすると、平均結晶層

厚が 304nm の単価指数は 26、平均結晶層厚が 430nm の単価指数は 66 であったと報告されており、真珠の結晶層厚が真珠の単価指数に強く影響を与えること、加えて平均結晶層厚が 370nm 程度で真珠の単価指数が最大になることが、今回の結果によっても再確認された。

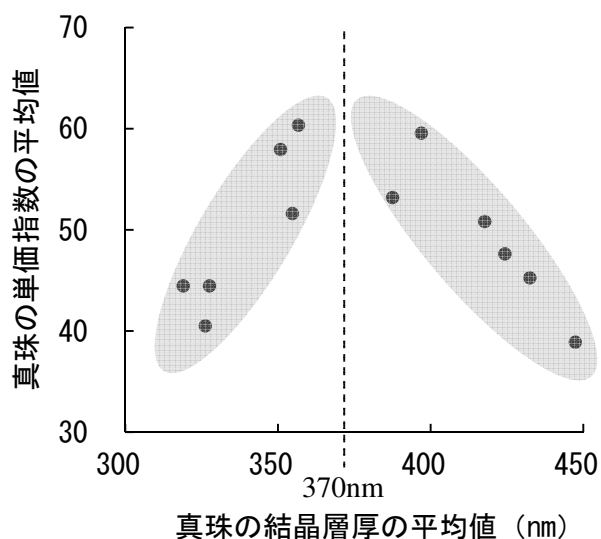


図2 真珠の結晶層厚の平均値と真珠の単価指数の平均値との関係

参考文献

- 1) Matsuyama T, Yasuike M, Fujiwara A, Nakamura Y, Takano T, Takeuchi T, Satoh N, Adachi Y, Tsuchihashi Y, Aoki H, Odawara K, Iwanaga S, Kurita J, Kamaishi T, Nakayasu C: A Spirochaete is suggested as the causative agent of Akoya oyster disease by metagenomic analysis. PloS ONE 12 (8): 1–23 (2017)
- 2) 小田原和史・尾崎良太郎・高木基裕：非破壊で真珠層結晶層厚を計測したピース貝と真珠の特徴. 水産技術 9 (1): 9–20 (2017)
- 3) 小田原和史・尾崎良太郎・高木基裕：結晶層厚の異なるピース貝家系が真珠の結晶層厚および品質に与える影響. 日本水産学会誌 83 (6): 981–995 (2017)

アコヤガイへい死緊急対策事業

伊藤 冬樹・小田原 和史・横井 佑亮・鈴木 健二*・滝本 真一・渡邊 昭生・川上 秀昌・石井 佑治

目 的

高水温、低餌料環境でも高生残が期待できる貝の選抜技術を現場に普及する。また、より環境に順応できる強い貝の選抜育種や生残率向上を図るための技術を検討する。

方 法

平成 27 年度から今年度まで 5 年間おこなった高水温耐性母貝系統選抜試験において、アコヤガイ血清中の総炭水化物含量（以下、TC）による親貝の選抜が、高水温、低餌料環境における次代の生残率の向上に有効であることが示唆された。また、TC によって選抜した TC 高値系統は、今年度にあコヤガイ稚貝の大量へい死が確認された母貝の養殖場においても既存の中国貝系統と比べて生残率が高かった。このことから、県下のアコヤガイ種苗生産関係者に TC による選抜技術の指導をおこなうとともに、強い貝づくりのため、以下の A～C 系統を TC によって選抜して強い貝の親貝候補とした。A 系統：高水温耐性母貝系統選抜試験においてこれまで選抜された、平成 29 年産の TC 高値系統。B 系統：当センターが保有する平成 30 年産のアコヤガイ 6 系統のうち、貝殻の変形の割合が最も少なかった日本貝系統。C 系統：今年度のアコヤガイ稚貝大量へい死の際に、へい死率が 3 割程度と比較的低かった平成 31 年ふ化の民間企業産交雑貝。A 系統は、令和元年 11 月に母集団 300 個を外形によって 201 個まで目視選抜した後、12 月に TC を測定した。B 系統も同様に、母集団 1,000 個を 114 個まで目視選抜した後に TC を測定した。C 系統は、母集団 500 個を 191 個まで目視選抜した後に令和 2 年 2 月に TC を測定した。

TC の測定は次のとおり実施した。貝の閉殻筋から注射針（23G×60mm）で血リンパ液約 0.2mL ずつを採取し、96well プレートに収容した後、4°C に冷却した遠心機で 3,000rpm、10 分間遠心分離した。得られた上清 0.01mL を 96well プレートに分注し、アンスロン硫酸（硫酸 3 溶+水 1 溶）を 0.2mL 加え、95°C に加温した恒温機内で 40 分間反応させた。反応後、室温に 3 分間静置し、マイクロプレートリーダー（Labsystems Multiskan MS-UV、ThermoFisher 社）を用いて 620nm の吸光値を測定した。なお、検量線として粉末グリコーゲン（和光純薬）の 1mg、0.5mg、0.25mg、0.125mg を蒸留水 1mL で希釈した溶液を検体と同様の方法で測定した。

結果および考察

TC の選抜技術指導は、令和元年 12 月に下灘漁業協同組合ふ化実行委員に対しておこない、翌 3 月に愛南町海洋資源開発センターの職員に対しておこなった。

TC を測定した 3 系統は、A 系統で $60.4 \pm 36.6 \text{mg L}^{-1}$ （平均値±標準偏差）、B 系統で $102.4 \pm 20.2 \text{mg L}^{-1}$ 、C 系統で $75.9 \pm 27.1 \text{mg L}^{-1}$ であった（図 1）。系統間で有意な差は認められたものの（Steel-Dwass 検定、 $p < 0.01$ ）、貝の年齢が異なることから、系統間での比較は単純にはできないと考えられた。なお、来年度に種苗生産をおこなう予定である。このため、系統ごとに、TC 高値の雌雄を各 5 個体程度抜き取って、貝の個体が識別できるようにポケットネットに順番に並べ、現在当センターの基地筏に垂下して育成管理をおこなっている。

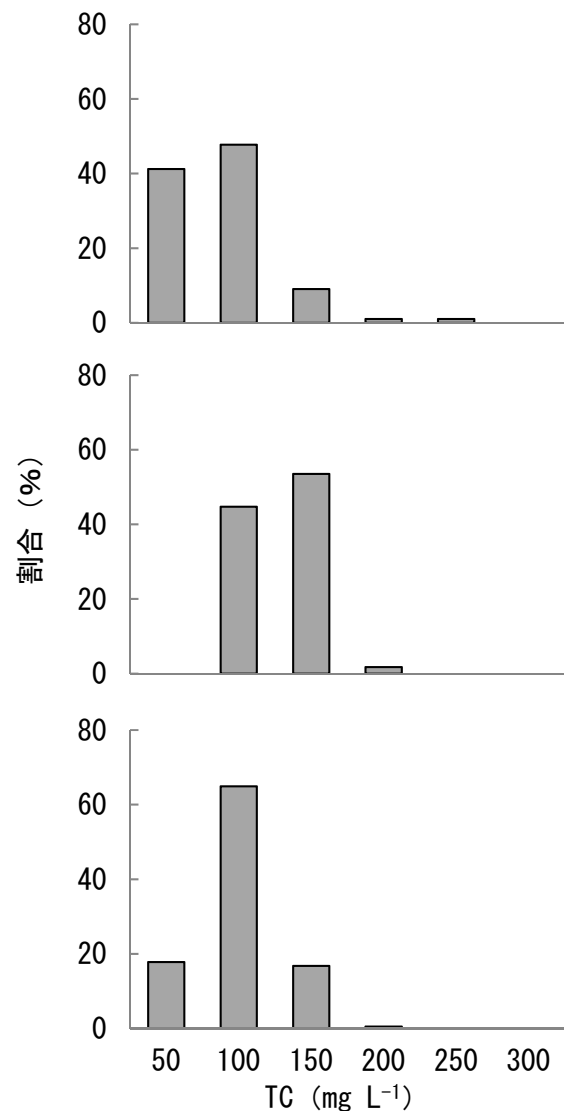


図 1 各アコヤガイ系統における血清中総炭水化物含量の頻度分布

*現 南予地方局八幡浜支局水産課

ヒジキ藻場造成高度化技術開発試験

藻場を構成する褐藻類の一種であるヒジキは近年高値で取り引きされており、天然海域におけるヒジキ藻場の造成は、藻場機能の拡大に加えて漁業者の収入増加につながるものとして大いに期待されている。当所では、平成26年度から28年度までの3年間、「ヒジキ増産技術開発試験」を実施し、粘着性物質を用いたヒジキ受精卵・幼胚の漁場添加技術の開発に取り組んだほか、岩盤清掃や母藻添加を継続しておこなうことでヒジキ収量が増加することを確認したが、試験区に

よっては波浪等、環境要因の影響と思われるヒジキ幼体数の減少や生育状況の差が認められた。本試験は、ヒジキの好適な生育環境条件を把握して造成適地を選定し、ヒジキ受精卵または幼胚（以下、「受精卵」とする）を、コンクリートブロックに種付けして培養したヒジキ種苗（以下、「人工種苗」とする）、特に、概ね50mm以上に生育したヒジキ種苗（以下、「大型種苗」とする）を添加することにより実効性の高いヒジキ藻場造成を実施するための手法について検討する。

I 人工種苗移植技術開発試験

吉村 小輝

目 的

移植後の人工種苗の生残率を向上させるため、大型種苗を作出するための管理方法を検討し、作出した大型種苗を天然ヒジキ藻場や藻礁へ移植するための技術を開発する。

方 法

1 人工種苗移植技術開発試験

人工種苗の管理方法や移植に適した時期について検討をおこなった昨年度の試験結果を基に今年度は、当初の目標である年度内に大型ヒジキ種苗（概ね50mm以上）を作出することが可能であるか実証試験をおこなった。

(1) 種付け

種付けは、昨年度同様、屋外に設置したFRPレースウェイ水槽（1.5×5m、以下、「陸上水槽」とする）でおこなった。水深50cm程度で砂ろ過海水を掛け流しとし、海水が適度に循環するようにエアレーションを設置した陸上水槽の底にコンクリートブロックを静置して、ヒジキ母藻を、コンクリートブロックを覆うように収容した。種付け期間中、水槽底に内装壁用タイル（45×45mm）の裏面を上にして静置し、タイルに付着した受精卵を計数することでコンクリートブロックに付着した受精卵数を推計した。種付け終了後は母藻を取り除き、受精卵が付着したコンクリートブロックを水深35～40cmに調整した別の水槽に収容した。

(2) 種付けした人工種苗の管理

収容したコンクリートブロックは、種付け12～24日後、伊予市森漁港内（図1）に設置した筏から水深25cmに垂下して管理した。昨年度の結果をふまえ、管理期間中は付着した雑海藻や堆積した浮泥を適宜除去した。また、毎月1～2回除去作業をおこなった後、ヒジキの主枝が伸長した株数（以下、「株数」とする）を計

数するとともに、同一株のうち最も長かった主枝の長さ（以下、「主枝長」とする）を測定して平均値を求めた。

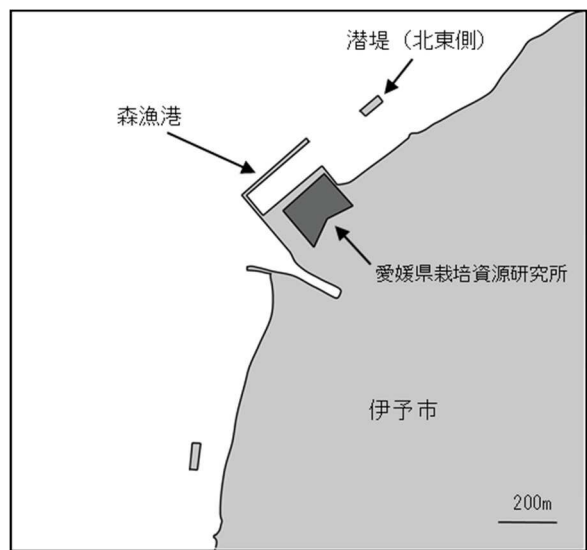


図1 伊予市森港内図

(3) 人工種苗漁場移植試験

1) 平成30年度種苗移植試験

平成30年度に種付けして作出した人工種苗を、平成30年8月、12月および平成31年3月に、大洲市長浜町喜多漁港砂坊堤（図2）の東斜面、北斜面および西斜面に移植しており、その後の生長、生残を比較、解析をおこなった。

2) 令和元年度（平成31年度）種苗移植試験

令和元年度（平成31年度）に種付けして作出した人工種苗を、平成30年度の移植試験結果を基に、時期を令和元年8月、10月および12月とさらに絞り込み、同漁場である大洲市長浜町喜多漁港砂坊堤の東斜面と

西斜面に移植し、その後の生長、生残の比較をおこなった。



図2 大洲市長浜町喜多漁港砂坊堤図※1

結果および考察

1 人工種苗移植技術開発試験

(1) 種付け

種付けは4回おこなった。

1回目は、令和元年6月21日に伊予市森港の防波堤で採取した半成熟のヒジキ母藻 6.35 kgを陸上水槽

に収容して、6月24日から種付けを開始した。受精卵の放出を確認し、7月12日に母藻を取り除いて種付けを終了した。付着した受精卵数は、コンクリートブロック(200×100×60mm)1基あたり31,260粒であった。

2回目は、6月18日に、大洲市長浜町青島で採取した半成熟のヒジキ母藻 9.64kgを用いて6月26日から種付けを開始した。受精卵を確認後、7月12日に種付けを終了し、付着した受精卵数は、コンクリートブロック(200×100×60mm)1基あたり15,260粒であった。

3回目は、7月2日に、大洲市長浜町今坊地先で採取した成熟した母藻 7.53kgを用いて種付けを開始したが、受精卵が確認されず、7月24日まで種付けを続けたものの、母藻が腐敗したため種付けを中止した。なお、母藻の腐敗により、測定用タイル上に種苗以外の付着物が多く、受精卵数は計測不能であった。

4回目は、2回目と同様の大洲市長浜町青島で採取した母藻約 4.96kgを用いて8月2日に種付けを開始し、8月13日終了した。付着した受精卵数は、コンクリートブロック(200×100×60mm)1基あたり56,200粒であった。(表1)。

表1 ヒジキ受精卵種付け結果

表1 ヒジキ受精卵種付け結果

	母藻		開始日	終了日	基質	結果(粒/cm ²)	
	採取場所	使用量					
第1回目	伊予市森港	6.35kg	R1.6.24	R1.7.12	コンクリートブロック※1 タイル※2	20基 2枚	31,260
第2回目	長浜町青島	9.64kg	R1.6.26	R1.7.12	コンクリートブロック※1 タイル※2	20基 2枚	15,260
第3回目	長浜町今坊	7.53kg	R1.7.12	R1.7.24	コンクリートブロック※1	20基	腐敗のため測定不能
第4回目	長浜町青島	4.96kg	R1.8.2	R1.8.13	コンクリートブロック※1	15基	56,200

※1 200×100×60mm

※2 95×95×6mm

(2) 種付けしたコンクリートブロックの管理

試験は、1・2回目に種付けした人工種苗(コンクリートブロック13基)を令和元年8月6日に筏に垂下して開始し、翌年の3月31日まで実施した。13基とも毎月1~2回(雑海藻・浮泥の多いときのみ2回)、付着した雑海藻をピンセットで除去し、浮泥などを可能な限り洗い流した後に筏に戻した。昨年度は、試験開始初期および終期のほか、雑海藻の多い時期のみの除去作業であったが、今年度は、種苗の保護効果を高める目的で、

漁場に移植するまで、1回/月の頻度で定期的におこなった。

上記の方法で管理したコンクリートブロックのうち6基を漁場移植試験に使い、他のコンクリートブロックのうち6基については、そのまま筏での管理を継続し、12月(測定可能サイズまで生長するため)から毎月、雑草除去後に株数・主枝長の測定をおこなった。

令和元年12月~令和2年3月までの測定値を図3に示す。

図3は各コンクリートブロックをブロック1~6として月ごとの主枝長平均値の推移を表しており、いずれのコンクリートブロックも、前述の採苗および管理方法により順調に生長していることが分かる。また、6基中3基で主枝長平均50mm以上であり、他の3基でも主枝長平均37mm以上となったことから、当初の目標である、年度内に大型ヒジキ種苗(概ね50mm以上)を安定的に作出することが可能となった(図3)。

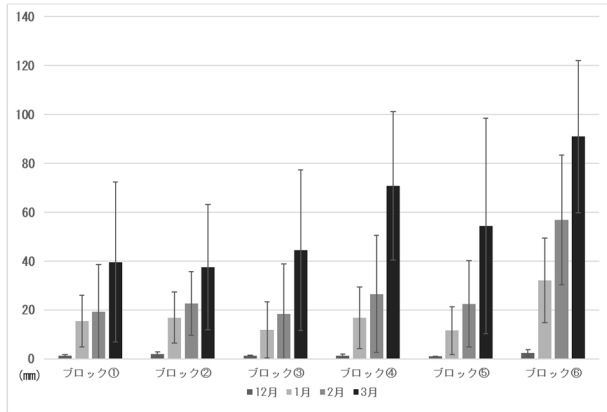


図3 月ごとの主枝長平均の推移

(3) 人工種苗漁場移植試験

1) 平成30年度種苗移植試験

移植試験には、平成30年度、2回目に種付けし、管理した人工種苗を使用した。人工種苗は、大潮または中潮の干潮時、水中ポンド(コニシ株式会社 E380)を用いてコンクリートブロック(190×190×100mm)ごと砂坊堤に固定した。平成30年8月は27日に北斜面、29日に東斜面、30日に西斜面に移植した(以下、「8月北区」「8月東区」「8月西区」とする)。平成30年12月は25日に北斜面、26日に東斜面および西斜面に移植した(以下、「12月北区」「12月東区」「12月西区」とする)。

平成31年3月は9日に東斜面および西斜面に固定し(以下、「3月東区」「3月西区」とする)、北斜面へは平成31年3月8日に人工種苗を移植したが、3月9日に、コンクリートブロックが剥離していたため、持ち帰って伊予市森漁港内に設置した筏から水深25cmに垂下して管理した後、3月21日に再度、北斜面に移植した(以下、「3月北区」とする)。その後主枝長が伸び出した11月から毎月1回ヒジキの株数を計数し主枝長を計測した。昨年の3月までの結果は、平成30年度愛媛県農林水産研究所水産研究センター事業報告「ヒジキ藻場造成高度化技術開発試験」に記載されており、平成31年3月21日計数時の人工種苗の株数は、8月添加の西区・東区で主枝が伸長したヒジキ株数が12月・3月添加と比べて多い傾向がみられている。また、平成31年3月における主枝長の平均値は、8月移植は区により値に大きな差があるものの、11月以降継続して平均値が大きくなった。12月と3月移植では区により移植後に平均値が小さくなった*3。以上の昨年度の結果に加えてヒジキの収穫期である3・4月を含めた平成31年4月

~令和元年6月までの主枝長の測定結果および生長率の表を示す。

令和元年5月17日における主枝長の平均値は、8月西区が443.6mm、8月北区が254.0mm、8月東区が210.7mmで、平成31年3月測定時に比べて生長率は、8月西区が213%、8月北区が212%、8月東区が366.5%と生長していた。12月西区は64.8mm、12月北区は120.53mm、12月東区は171.05mmで、平成31年3月測定時に比べて生長率は、12月西区は197%、12月北区は315%、12月東区は302%と8月移植も12月移植もともに2ヶ月ではほぼ倍以上の生長率となった。3月西区は20.87mm、3月東区は67.08mmで平成31年3月測定時に比べて生長率は、3月西区は42%、3月東区は120%とあまり生長していない結果となった(図4・表2)。

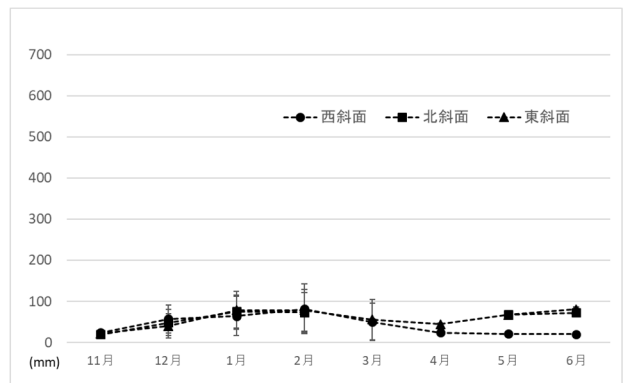
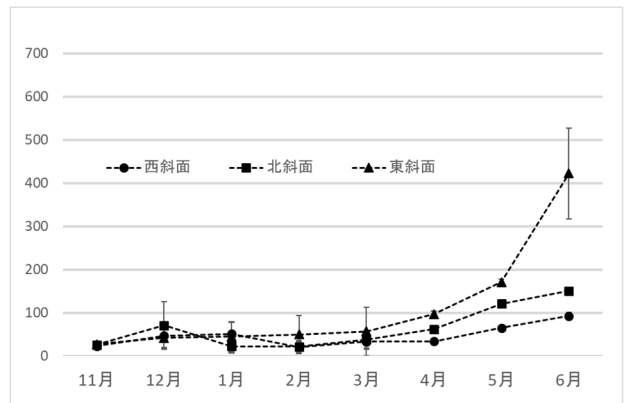
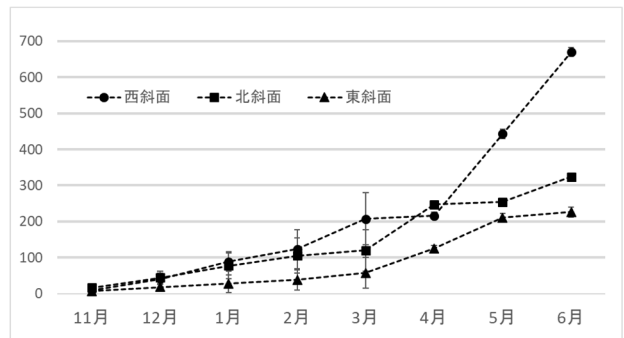


図4 主枝長の平均値変動(平成30年度種苗移植試験 上段:8月移植、中段:12月移植、下段3月移植)

表2 ブロックごとの3月から5月の生長率

3月～5月の成長率		
8月移植	西区	213.7 %
	北区	350.4 %
	東区	366.6 %
12月移植	西区	197.0 %
	北区	315.0 %
	東区	302.5 %
3月移植	西区	41.8 %
	東区	119.6 %

2) 令和元年度種苗移植試験

移植試験には、令和元年度、2回目に種付けした*2人工種苗を使用した。人工種苗は、大潮または中潮の干潮時、水中ボンド（コニシ株式会社 E380）を用いてコンクリートブロック（200×100×60mm）ごと砂坊堤に固定した。コンクリートブロックに関しては、平成30年度移植時に今坊北区でボンドが外れてブロックの転倒が確認されたため、令和元年度種付けでは、昨年度の約半分の大きさの半分のコンクリートブロックに変更し、波に対する抵抗が小さくなるようにした（190×190×100mm→200×100×60mm）。また、移植区画に関しても波浪の強い北区を除いて、西区と東区のみとした。移植時期に関しては、平成30年度の結果より、3月移植ブロックは、他の時期の移植と比較して生長が劣っていたため、令和元年度の移植時期は8月・10月・12月とした。

令和元年8月は、29日に西・東両斜面（以下、「8月西区」「8月東区」とする）に、同年10月は、27日に西・東両斜面（以下、「10月西区」「10月東区」とする）に、同年12月は、16日に西・東両斜面（以下、「12月西区」「12月東区」とする）にそれぞれ移植し、主枝長が伸び始めた12月から毎月1回の頻度で、ヒジキ株数の計数のほか主枝長を計測し、その結果を図5に示す。

同年12月に最後の基質を移植した時点での平均主枝長の計測結果は、8月東が5.00cm、西が5.28cm、10月東が3.37cm、西が2.90cmであり、12月まで伊予市森港の筏で管理していた12月移植東が2.40cm、西が1.7cmとなった。昨年度の結果と同様に8月に移植した基質の生育が最も良い結果となった。しかし、その後2・3月におこなった計測では、3月時点で、8月東が2.64cm、西が0.56cm、10月東が2.26cm、西が0.65cm、12月東が1.00cm、西が1.66cmとなり、移植時よりもほとんどの基質で、無生長もしくは短縮するといった結果となった。

また、基質上の株数に関しても、それぞれ移植時に比べて大きく減少しており、移植時の20%以下となった基質も多くみられた。なお、ヒジキの生長過程途中の3月までの測定値ではあるが、全体的にどの時期に移植

した基質に関しても移植後からの大きな生長は認められなかった。

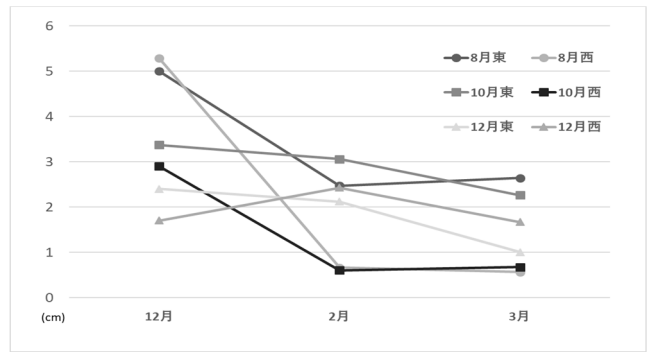


図5 主枝長の平均値変動 (令和元年度種苗移植試験)

表3 移植時からの基質ごとの残株比率

8月移植	東	10.93%
	西	16.95%
10月移植	東	59.66%
	西	17.24%
12月移植	東	79.35%
	西	7.10%

総括

当初の試験目的である移植後の人工種苗の生残率の向上を図るための、大型種苗の作出とその管理技術を確立した。

種付け時期は、母藻の収穫適期が採取場所によって異なるものの6月下旬～8月上旬であり、水槽内で基質に安定的に種苗を定着させることが可能となった。

また、発芽後の育苗については、水槽より管理が容易な海上筏を利用する方法により、大型種苗（約50mm）を付着させた基質の作製が、年度内に安定してできるようになった。

大型種苗の漁場への移植により天然ヒジキ藻礁での増殖が可能である。また、種苗サイズが50mm満たない生長途中の基質を移植した場合でも、その後の生長が確認されていることから、当初の想定よりも早い時期に移植することが可能ではないかと考えられる。

しかしながら、令和元年度に関しては、平成30年度とは異なる試験結果となり、ヒジキの生育には、その年の気象・海象が強く影響する可能性が示唆されたことから、今後も、移植した人工種苗の生育に関するデータ収集を続ける予定である。

参照

*1: 国土地理院 地理院地図より

*2: 平成30年度愛媛県農林水産研究所

水産研究センター事業報告

ヒジキ藻場造成高度化技術開発試験参照

*3: 同上内

ヒジキ藻場造成高度化技術開発試験 図5・6参照

II ヒジキ藻場造成高度化技術開発試験

中村 翠珠*

方 法

1 天然ヒジキ生育場環境比較調査

(1) 平成 30 年度調査分

天然海域のヒジキの生育場所別の形態特性を詳細に調査するため、ヒジキの生息密度が異なる大洲市長浜町今坊3ヶ所(以下、「今坊西」、「今坊北」、「今坊東」とする)、伊予市高野川栈橋2ヶ所(以下、「高野川南」、「高野川北」とする)、大洲市長浜町青島の北側自然海岸2ヶ所(以下、「青島北1」、「青島北2」とする)および南側漁港内1ヶ所(以下、「青島南」とする)、計8ヶ所を調査箇所とした(図1)。

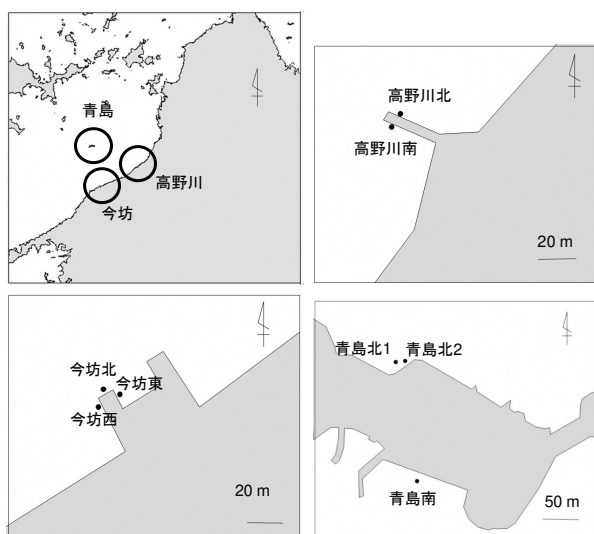


図1 調査地点と各地点の試験箇所

各調査地点にはデータロガー(Onset Computer社、HOBOペンダントロガーシリーズ、UA-001-64)を設置し1時間おきに水温を記録した。ヒジキの形態については、20cm×20cm角でヒジキの坪刈りを平成30年10月～翌7月に実施し、実験室に持ち帰ったのち、主枝長、主枝径および乾燥重量(以下、「D.W.」とする)を測定した。主枝長に関しては測定後平均値化した。

(2) 令和元年度調査分

大洲市長浜町今坊3ヶ所(以下、「今坊西」、「今坊北」、「今坊東」とする)を調査箇所とし(図1)、令和元年10月～翌3月にかけて1)と同様の方法で調査を実施した。

2 ヒジキ好適波浪条件調査

(1) 平成 30 年度調査分

平成30年8月～翌7月にかけてデータロガー(Onset Computer社、HOBOペンダントG Logger)を方法1の1)に記載の各調査箇所に設置し、10分おきに加速度を記録した。ロガーに記録された加速度データは、各

月ごとの全データの上位1%の平均値を月別平均加速度として抽出した。

(2) 令和元年度調査分

令和元年8月～翌3月にかけて昨年度と同様の方法で調査した。

結果および考察

1 天然ヒジキ生育場環境比較調査

(1) 平成 30 年度調査分

平成30年8月から翌7月の今坊2及び青島北2における水温を図2に示した。今坊及び高野川各箇所、青島北及び南がそれぞれほぼ同じ水温だった。各地点の最高水温は26.2～27.8℃、最低水温は11.0～11.5℃で推移した。通期の主枝長およびD.W.をみると(図3)、高野川では3～4月頃に最大値となるが、青島南では5月、青島北では7月と調査箇所により最大値となる時期が異なった。本調査箇所におけるヒジキ収穫時期は主に3～5月であり、その後も伸長が続いていることが確認されたが、今坊および高野川では3月以降、青島では5月以降に雑海藻等の付着物がみられることから、製品の品質を考慮した収穫時期としては現在の収穫時期が適していると考えられた。

(2) 令和元年度調査分

令和元年8月から翌3月の水温を図2に示した。最高水温は25.7℃、最低水温は12.2℃と昨年度より低く推移した。一方で、2月のD.W.は今坊西、北、東でそれぞれ33.2mm、5.2mm、30.5mmと、平成30年度試験の同時期(それぞれ0mm、12.1mm、11.1mm)と比較して西、東で高く、北で低かった(図4)。

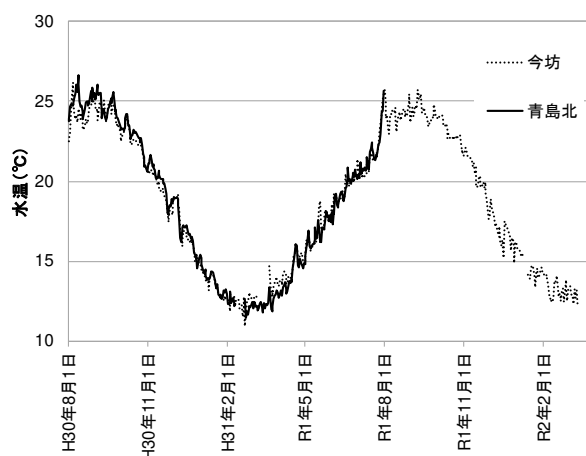


図2 各地点における水温

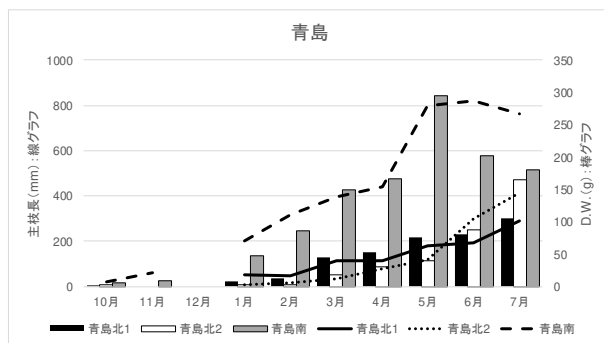
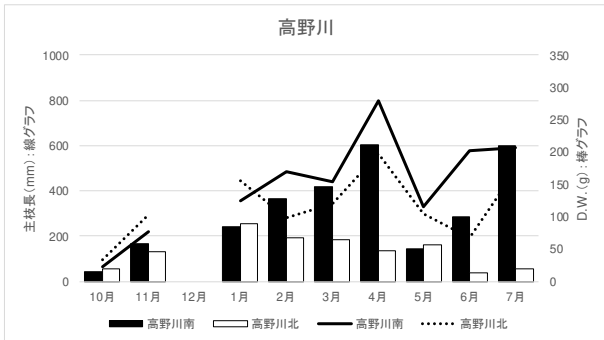
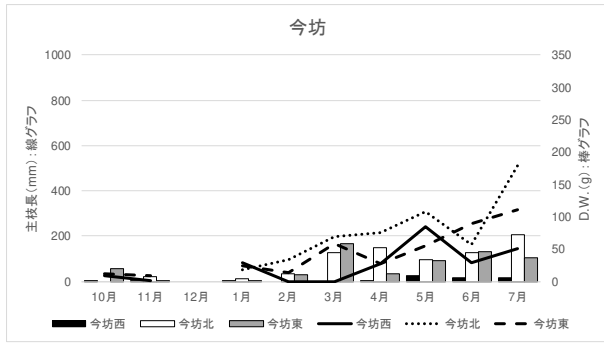


図3 各地点におけるヒジキの主枝長とD.W.

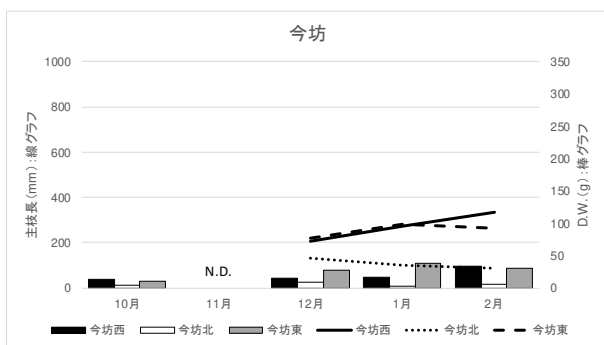


図4 各地点におけるヒジキの主枝長とD.W.

2 ヒジキ好適波浪条件調査

(1) 平成30年度調査分

加速度ロガーに記録された加速度データについて、各箇所における月毎の上位1%の平均加速度を図5に示した。なお、データロガーが流失したため、高野川南と北では平成30年9月および令和元年7月が、今坊北では平成30年12月～翌1月のデータは欠測となっ

た。月毎の平均加速度は各箇所によって季節変動があり、今坊では夏期～秋期の平均加速度よりも冬期の方が高く、高野川では冬期も平均加速度が低い傾向がみられた。青島南では通年ほぼ一定で、低く推移した。ここで、各地点の8月～翌7月の全データの平均加速度（以下、「総計」とする）が1.5以上のグループ（今坊西、北、東および青島北1、2）と1.5未満のグループ（高野川南、北および青島南）に分け、季節をヒジキの生長と照らし合わせて8～9月（付着時期）、10～翌1月（生長低迷期）および2月～5月（生長期）に分類し、各調査箇所の4月の主枝長との相関係数を表1に示した。これを見ると、総計が1.5未満の箇所では、主枝長、D.W.ともに通年平均加速度と正の相関となったが、総計が1.5以上の調査箇所では10～翌1月の冬期に主枝長、DWともに平均加速度と負の相関がみられた。これらのことから、波が穏やかな地点（総計1.5未満）では通年平均加速度が高いほどヒジキの主枝長及びD.W.共に大きくなるが、波が強い地点（総計1.5以上）では冬期の平均加速度が高ければヒジキの主枝長及びD.W.が小さくなると考えられた。この要因については本調査では結論が得られないことから、室内実験や閉鎖環境における実験を実施し検討する必要があるが、ヒジキ等の海藻は様々な環境要因により生長が左右されると考えられるため、再現性のある試験実施は難しいと思われる。

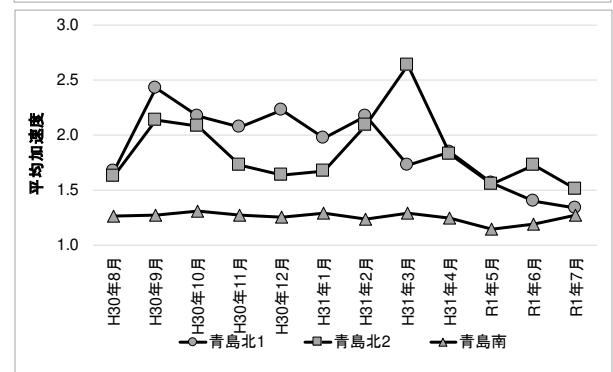
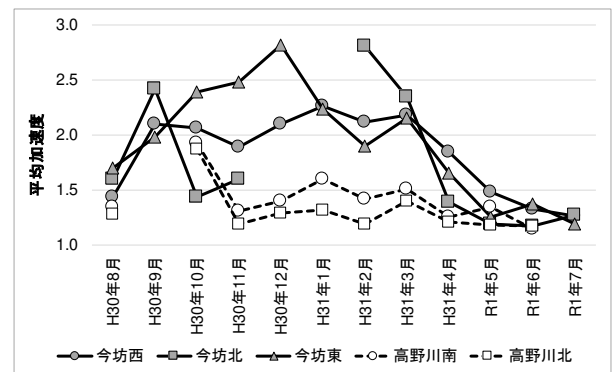


図5 各調査地点の月毎の平均加速度（上：今坊および高野川、下：青島および潜提

(2) 令和元年度調査分

加速度ロガーに記録された加速度データについて、各箇所における月毎の平均加速度を図6に示した。なお、データロガーが流失したため、今坊北では令和元年9～12月、今坊東では令和2年1月のデータが欠測となった。今坊西は平成30年度調査と同傾向を示したが、今坊東では令和元年8～10月の平均加速度が1.5未満となり、平成30年度調査よりも低くなった。本調査は令和2年7月まで調査予定である。

表1 各箇所のヒジキの4月主枝長およびD.W.と平均加速度の相関係数

総計 < 1.5	上位1%の平均加速度の平均値		
	8-9月	10-1月	2-3月
長さ	0.988	0.985	0.971
D.W.	0.565	0.268	0.635

※高野川南、北、青島南

総計 ≥ 1.5	上位1%の平均加速度の平均値		
	8-9月	10-1月	2-3月
長さ	0.660	-0.711	0.187
D.W.	0.980	-0.563	0.174

※今坊西、北、東および青島北1、北2

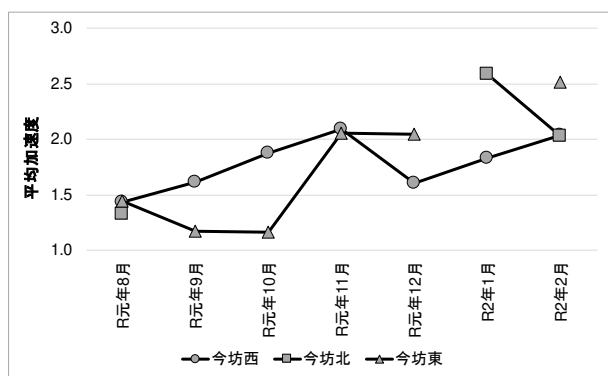


図6 各調査地点の月毎の平均加速度（上：今坊および高野川、下：青島および潜堤）

総括

天然海域のヒジキの生育場所別の形態特性及び波浪状況を調査するため、平成28年から令和元年度にかけて、ヒジキの生息密度が異なる大洲市長浜町今坊3ヶ所（以下、「今坊西」、「今坊北」、「今坊東」とする）、伊予市高野川棧橋2ヶ所（以下、「高野川南」、「高野川北」）、大洲市長浜町青島の北側自然海岸2ヶ所（以下、「青島北1」、「青島北2」とする）および南側漁港内1ヶ所（以下、「青島南」とする）、伊予市森漁港南側の潜堤（以下、「潜堤（沖側）」、「潜堤（中央）」、「潜堤（陸側）」）の3地点、計11ヶ所で調査を行った。

堤（陸側）」の3地点、計11ヶ所で調査を行った。

1 天然ヒジキ生育場環境比較調査

平成29～30年度の調査では、主枝長は青島南で116cmと他調査箇所よりも有意に長く（SteelDwass, $p < 0.05$ ）、今坊北は茎の太さが2.4mmと全箇所でも最も太かった。各箇所におけるヒジキの形態は多様化しており、潜堤（中央）および潜堤（陸側）は分岐枝がほとんどない一方で、青島北および青島南では茎・枝ともに大型だった。また、収穫時期のヒジキのD.W.は、主枝長が長いほど重くなる傾向にあった。平成30年～令和元年度の調査では、通期の主枝長およびD.W.をみると、高野川では3～4月頃に最大値となるが、青島南では5月、青島北では7月と調査箇所により時期が異なった。本調査箇所におけるヒジキ収穫時期は主に3～5月であり、その後も伸長が続いていることが確認されたが、今坊および高野川では3月以降、青島では5月以降に雑海藻等の付着物がみられることから、製品の品質を考慮した収穫時期としては現在の収穫時期が適していると考えられた。

2 ヒジキ好適波浪条件調査

月毎の上位1%の平均加速度は各箇所によって季節変動があり、今坊では夏期～秋期の平均加速度よりも冬期の方が高く、高野川では冬期も平均加速度が低い傾向がみられた。青島南では通年ほぼ一定で、低く推移した。潜堤を除く8箇所において、8月～翌7月の平均加速度総計が1.5以上のグループと1.5未満のグループに分け、季節をヒジキの生長と照らし合わせて8～9月（付着時期）、10～翌1月（生長低迷期）および2月～5月（生長期）に分類し、4月の主枝長との相関係数を調査したところ、総計が1.5未満の箇所では、通年、長さ、D.W.ともに平均加速度と正の相関となったが、総計が1.5以上の調査箇所では10～翌1月の冬期に、長さ、D.W.ともに平均加速度と負の相関がみられた。これらのことから、今回調査した伊予灘においては、波が穏やかな地点（総計1.5未満）では通年平均加速度が高いほどヒジキの収穫量が多くなるが、波が強い地点（総計1.5以上）では冬期の平均加速度が高ければヒジキの収穫量が少なくなると考えられた。

高水温期ノリ養殖安定化技術開発試験

渡部 祐志・塩田 浩二・関谷 真一

目 的

瀬戸内海の中央部に位置する燧灘は、県内で唯一のノリ養殖漁場であるが、近年、その生産量は大きく減少している。養殖ノリ減産の要因として、秋季から冬季の海水温上昇による育苗期から本養殖初期の葉体生育不良があることから、高水温時において安定生産が可能な種苗の開発とともに、養殖漁場における海況の変化を把握し、安定的なノリ養殖技術の確立を目的とする。

方 法

1 高水温耐性株の選抜育種

(1) カキ殻糸状体の作出

優良株選抜試験に用いるため、平成31年1月（平年差+1℃）に燧灘西部ノリ漁場で選抜採取した、生長が良く色の黒い葉体から得られたフリー糸状体を元に、殻胞子の大量放出が可能なカキ殻糸状体の作出に取り組んだ。

湿重量 0.02g のフリー糸状体を栄養強化海水である SWM-III 改変培地（組成：表1参照）200ml とともに家庭用ミキサーに 40 秒ほどかけ、糸状体を 100~300 μ m に細断した。細断したフリー糸状体は SWM-III 改変培地ごと、カキ殻（内面を上）を並べた深底シャーレに収容し、液量はカキ殻表面が浸かる程度を目安とした。収容後は、水温 18℃、照度 50~100lx、明期：暗期=12h：12h の条件下で、2 週間培養した。

表1 SWM-III 改変培地の組成

SWM-III 改変培地			
海水*		1000ml	
A液		2ml	
B液		2ml	
A液		B液 (PI-Metal)	
DW	1000ml	DW	1000ml
NaNO ₃	85g	H ₃ BO ₃	6.184g
Na ₂ HPO ₄	7.1g	MnCl ₂ · 4H ₂ O	1.089g
Na ₂ EDTA	5.58g	ZnCl ₂	54.5mg
FeCl ₃ · 6H ₂ O	0.19g	CoCl ₂ · 6H ₂ O	2.38mg
pH	7.5	CuCl ₂ · 2H ₂ O	0.017mg

*0.6 μ mろ過し、沸騰直前まで煮沸滅菌したもの

培養開始から 2 週間経過した時点で、糸状体が着生したカキ殻表面を煮沸滅菌したタワシを用いて軽く磨き、400ml の SWM-III 改変培地を入れた 500ml ビーカーに移し替え、照度を 500~600lx に上げて、さらに 1 ヶ月間培養を続けた。

(2) 優良株選抜試験

(1) で得られたカキ殻糸状体から殻胞子を放出させて採苗し、高水温下で培養した後、生育状況の良い葉体の選抜をおこなった。多くの候補株を得るため、選抜は 2 回実施した。

1) 選抜試験 1

水温 26℃で 1 ヶ月以上培養したカキ殻糸状体を面積 4cm² 程度の小片に加工した後、煮沸滅菌したタワシで表面をよく磨き、1L 三角フラスコに 1ml/L の濃度になるよう調整した SWM-III 改変培地 1L とともに内面を上にして収容し、培養液が十分に循環する程度のエアレーションをかけつつ、水温 18℃、照度 6,500lx、明期：暗期=12h (8:00~20:00)：12h (20:00~8:00) の条件で 6 日間培養した。

培養 6 日目に、カキ殻糸状体小片を煮沸した軟らかいスポンジで軽く磨いたうえで、換水した 1L 三角フラスコに再収容し、翌日 9:00 まで同条件で培養を続けた。

採苗は、翌日（18℃で培養してから 7 日目）の朝 9:00 から開始した。採苗中は、水温 18℃、照度 6,500lx の条件下で、2ml/L の濃度に調整した SWM-III 改変培地を入れた 1L 三角フラスコに 4cm の採苗糸（ファイゼル 100 2号）を 21 本投入し、糸が 1 分間にフラスコ内で上下に 20 回転する程度のエアレーションをかけて管理した。続いて、このフラスコ内の SWM-III 改変培地に 20 秒浸漬したカキ殻糸状体小片を取り出してから、5 分間経過した時点で採苗糸のうち 1 本を検鏡し、芽付きを確認した。なお、上記の操作を繰り返すことにより、芽付きが 30 個/cm に調整した。

種付けした採苗糸 21 本のうち検鏡した 1 本を除く 20 本を、2ml/L 濃度の SWM-III 改変培地入りの 1L 三角フラスコ 5 個に 4 本ずつに分けて収容し、それぞれ 18℃、22℃、24℃、26℃、28℃の水温で採苗時と同程度の通気をしながら培養試験をおこなった。

なお、培養期間は、最も高水温さらされる時間が長く、その後の葉体の生長にも悪影響が出る可能性が高いとされる育苗期間に合わせて 2 週間とし、その他の培養条件については、照度 6,500lx、明期：暗期=12h：12h として、1 回/週の頻度で換水をおこなった。

2) 選抜試験 2

より強い高水温耐性候補株を得るため、選抜試験 1 と同じ株を用いて、さらに温度条件を厳しく設定し、改めて選抜試験を実施した。

本試験における採苗糸への芽付きは 28 個/cm であった。採苗から試験終了までの基本的な培養方法は試験 1 と同様であるが、次のとおり一部を変更した。採苗糸の

本数を各試験区 4 本から 5 本に増やし、採苗とその後の培養には 1L 丸底フラスコを使用した。さらに、温度帯については 18℃、26℃、28℃、30℃の 4 区に変更し、選抜方法についても、すべての葉体で形態異常がみられることから形状ではなく、発芽し 2 週間残存した葉体ほど高水温耐性がある可能性が高いと判断し、残存した葉体を高水温耐性候補株として確保した。

なお、試験 1 の 28℃区において、わずかに残存していた葉体が試験開始後 1 週間から 2 週間の間にすべて死滅したことから、28℃以上の高水温下で 2 週間以上生存させることは難しいと考え、本試験では 1 週間経過した時点で、28℃区の採苗系 3 本と 30℃区の 5 本を 18℃培養へと変更した。

2 養殖漁場環境調査

西条地区のノリ養殖漁場 9 地点 (図 1) において、令和元年 10 月中旬から毎週 1 回漁場環境調査を実施し、水温、塩分を多項目測定装置 (JFE アドバンテック社製) で測定、表層水の栄養塩 (DIN (NH₄-N、NO₂-N、NO₃-N)、PO₄-P) を TRAACS 800 (BRAN+LUEBBE 社製) で分析、表層水中の珪藻密度の計数をおこなった。また、ノリ養殖関係漁業協同組合から持ち込まれた海水も同様に測定し、測定結果について、「ノリ養殖漁場栄養塩速報」として取りまとめ、本研究所ホームページへの掲載と、ノリ養殖関係漁協および関係機関への FAX での広報をおこなった。

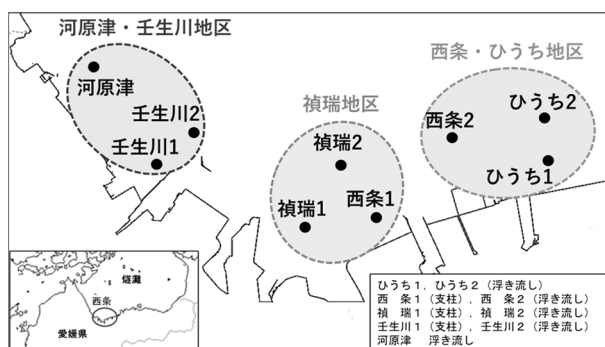


図 1 調査定点

結 果

1 高水温耐性株の育種選抜

(1) カキ殻糸状体の作出

培養容器を 500ml ビーカーへ移し替え、照度を 500~600lx に上げてから 2 週間後 (作出開始から 1 ヶ月後) にはカキ殻に穿孔した糸状体を目視で確認できるようになった (図 2)。

これらの糸状体は、培養 1 ヶ月目に再度カキ殻表面の磨きと換水をおこない、水温 26℃、照度 1,000lx、明期:暗期=13h:11h に条件を変更したうえで、優良株選抜試験に供するまで、1 回/月の頻度で磨きと換水をおこないながら培養を続けた。



図 2 糸状体が穿孔したカキ殻

(2) 優良株選抜試験

1) 選抜試験 1

2 週間の培養による各試験区の葉体の生育状況を表 2 に示した。

今回の試験では、三角フラスコを用いて採苗したため、均等に採苗できなかった可能性があるが、伸長した葉体の枚数は、18℃区が最も少なかった。

培養水温の異なる 5 つの試験区のうち、形状 (くびれの有無と数) を指標とし、22℃帯から形態異常の見られなかった 18 枚の葉体を目視で選抜し、水温 18℃、照度 6,500lx、明期:暗期=12h:12h の条件下で、葉体が 1 分間に 20 回転する程度のエアレーションをかけてさらに 2 週間培養した。また、培養 1 週間経過時には採苗系から葉体を外し、葉体が 1 分間に 13.5 回転する程度にエアレーションをかけて培養を続けた。最終的には、培養に供した葉体の中から、生長の良い葉体 2 枚を選抜し (図 3)、フリー糸状体を作成するため同条件下で成熟するまで培養を続けた。

なお、24℃および 26℃区についてはすべての葉体に形態異常がみられ、28℃区については培養開始後 1 週間の時点で数枚の葉体が確認できたが、2 週間後にはすべて死滅した。

表 2 選抜試験 1 結果

試験区	葉数 (枚)	葉長 (mm)	葉幅 (mm)
18℃	14	0.98	0.18
22℃	45	3.19	0.48
24℃	20	1.99	0.25
26℃	17	0.68	0.12
28℃	0	-	-

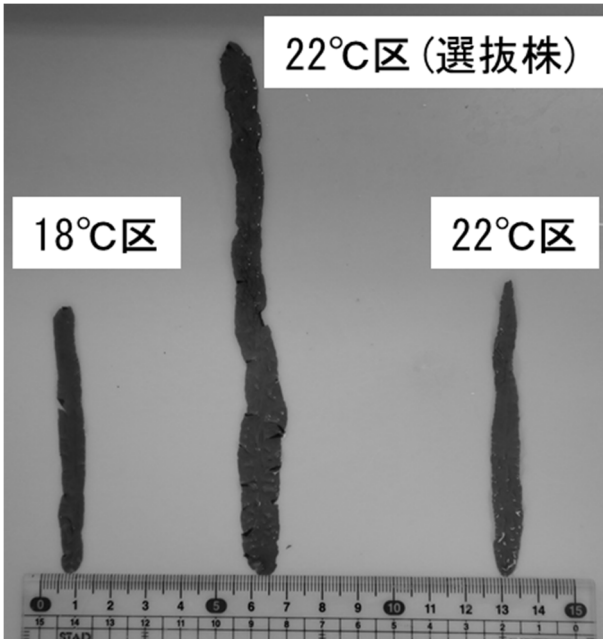


図3 18°Cで2週間培養後の両試験区葉体（左、右）および最終的に選抜した葉体の1枚（中央）

2) 選抜試験 2

2週間の培養による各試験区の葉体の生育状況を表3に示した。

26°C区からは、66枚の葉体を得られ、このうちの52枚を回収した。この52枚の葉体のうち25枚を18°C培養に変更し、フリー糸状体を作成するために成熟するまで培養を続けることとし、残りの27枚は13枚と14枚に分け、それぞれ26°Cと24°Cで培養試験を継続した。

28°C区については、培養温度を18°Cに下げた区からは3枚の葉体を得ることができ、フリー糸状体を作成するため培養を続けたが、28°Cでそのまま2週間培養した区についてはすべて死滅した。

なお、30°C区についてはすべて死滅した。

表3 選抜試験2結果

試験区	葉数 (枚)	葉長 (mm)	葉幅 (mm)
18°C	127	0.87	0.17
26°C	66	0.93	0.09
28°C→18°C	3	0.47	0.07
28°C	0	-	-
30°C→18°C	0	-	-

2 養殖漁場環境調査

ノリ養殖漁場の水温は、西条市沿岸のすべての漁場において調査期間中、平年より高めで推移した(図4)。特に1月第4週から2月第1週にかけては平年差+約2.5°Cで推移するなど、今漁期はここ数年の中でも特に高水温で推移し、葉体生育不良が発生しやすい状況であった。

珪藻細胞数は、西条市沿岸のすべての漁場において調査期間中1000cells/mlを超えた漁場はみられず、栄養塩濃度の上昇・低下に伴い、14~819cells/mlの間で増減

を繰り返した(図5)。

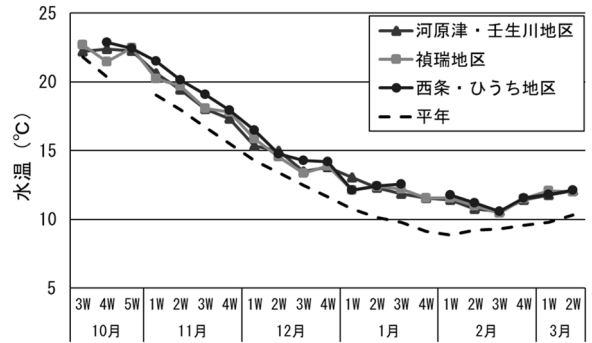


図4 西条地区ノリ養殖漁場の水温の推移

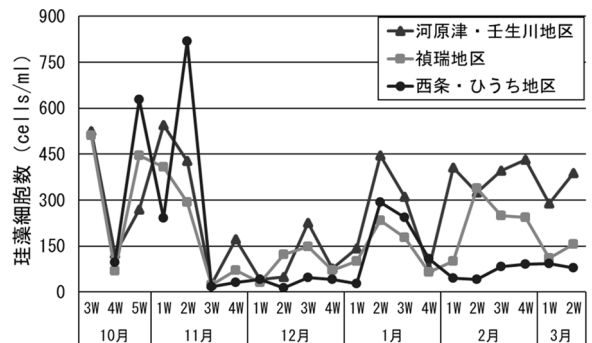


図5 西条地区ノリ養殖漁場の珪藻細胞数の推移

調査期間中の栄養塩濃度は、河原津・壬生川地区においては、降雨による河川水の流入に伴う一時的な上昇、珪藻の増殖に伴う低下を繰り返しながら、漁期中2/3の期間は、ノリの色落ちが発生する $3.5\mu\text{M}$ 以下の濃度で推移した。禎瑞、西条・ひうち地区については、一時的な上昇・低下は同様にみられたが、漁期中2/3の期間は $3.5\mu\text{M}$ を上回って推移した(図6)。

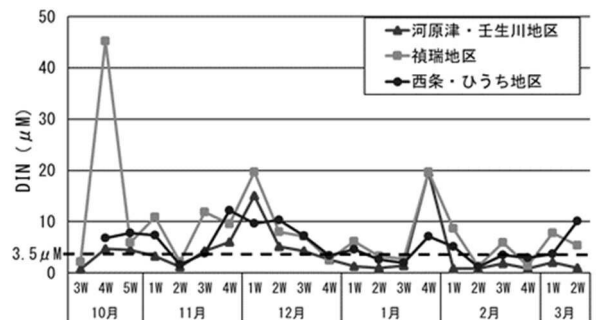


図6 西条地区ノリ養殖漁場の栄養塩濃度の推移

アオノリ漁場生産力回復実証試験

(漁場環境改善推進委託事業)

渡部 祐志・塩田 浩二・高島 景

目 的

燧灘西部において、3月のクロノリ養殖終了後に引き続き営まれているアオノリ養殖は、販売単価が非常に高く、重要な養殖業となっている。しかしながら、近年の栄養塩の低下により、クロノリと同様に品質の低下や生産量の減少が大きな問題となっている。そのため、本試験ではアオノリ養殖場がある燧灘西部において、詳細な調査により漁場生産力低下に対する栄養塩低下の影響を明らかにすることと、本研究所で開発したクロノリ養殖漁場への栄養塩添加手法をアオノリ養殖に応用する技術を開発し、養殖アオノリの増産と品質向上を目的とする。

なお、結果の詳細は、平成31年度漁場環境改善推進委託事業(栄養塩からみた漁場生産力回復手法の開発)成果報告書(令和2年3月)に、本県ほか4機関の水産試験研究機関が合同で報告した。

方 法

1 アオノリ養殖漁場モニタリング

西条地区のアオノリ養殖漁場9地点(図1)において、平成31年4月3日から毎週1回漁場環境調査を実施し、水温、塩分をAAQ175(JFEアドバンテック社製)で、表層水の栄養塩(DIN(NH₄-N、NO₂-N、NO₃-N)、PO₄-P)濃度をTRAACS 800(BRAN+LUEBBE社製)で分析し、表層水中の珪藻プランクトン密度の計数をおこなった。なお、測定結果については「アオノリ養殖漁場栄養塩情報」として取りまとめ、アオノリ養殖関係漁業協同組合(以下、漁協と略記)や関係機関へFAXで情報提供するとともに、本研究所ホームページにも掲載し広報した。

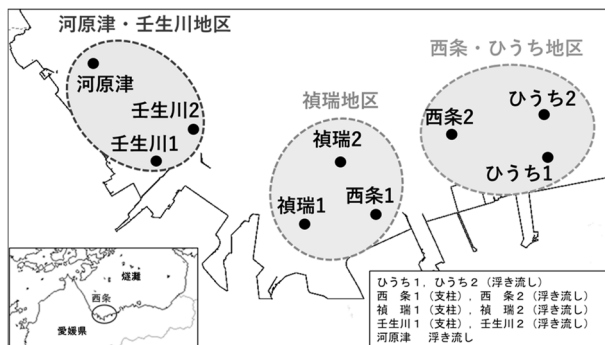


図1 調査定点

2 施肥による栄養塩供給技術の実証試験

(1) 栄養塩添加技術開発

供給する栄養源は、平成26年度から29年度に実施した「燧灘西部ノリ養殖場における施肥による栄養塩供給技術実証試験」によりクロノリの生長に効果が確認され、安価な8-8-8化成肥料(昭見産業株式会社製、保証成分:アンモニア性窒素:8%、リン酸:8%、カリ:8%)を用いた。今回の試験は、壬生川漁協管内(愛媛県西条市)の支柱式アオノリ養殖漁場(図2)において実施し、対照区を含む5試験区を設定し、施肥による栄養塩添加効果と、被せ網、敷網による栄養塩滞留効果や食害防止効果を検証した(表1)。なお、試験には、平成30年12月下旬に支柱漁場岸側の干潟で天然採苗され、翌31年3月上旬から育苗されてきたアオノリ養殖網5枚を供し、期間は、平成31年4月16日から4月25日までの10日間とした。

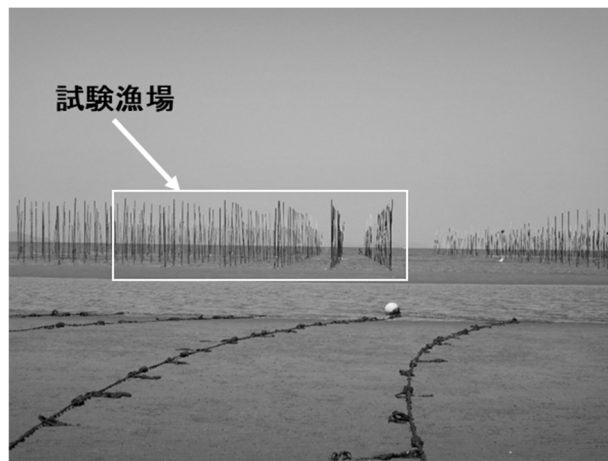


図2 西条市壬生川地区の試験漁場

表1 試験区

	被せ網	敷網	8-8-8化成肥料
対照			
1	○		
2	○		○
3		○	○
4		○	

漁場への栄養塩供給は施肥袋によりおこなった。施肥袋は500gの肥料を不織布と水切りネットで包み、栄養塩の急速な溶出を抑制するため、これを上下2カ所に直径2.5mmの孔を開けたポリエチレン袋に収容して作成した。さらに養殖網に垂下するため、これをネットに入れ、浮子とブランチハンガーを取り付けた(図3)。試験は、アオノリ網1枚につき10mを試験

区として設定し、1区あたり20個の施肥袋をブランチハンガーにより垂下した。なお、昨年度の栄養塩溶出試験の結果から、2.5mm孔の溶出抑制袋では10日前後までアンモニア態窒素の残留が認められたことから、試験期間中は、施肥袋の交換はおこなわなかった。

また、魚類などの食害を防除するため、養殖網の上下に目合い9mmのポリエチレン製ネットで作成した被せ網と敷網を設置した。

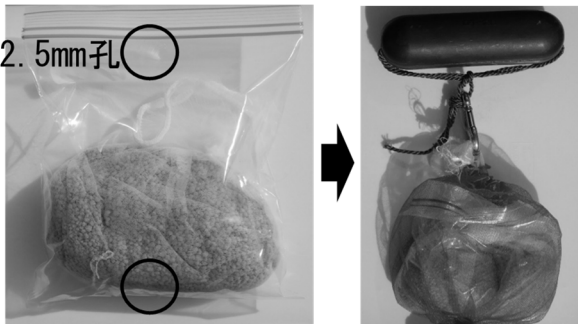


図3 施肥袋

試験区配置図を図4に示した。

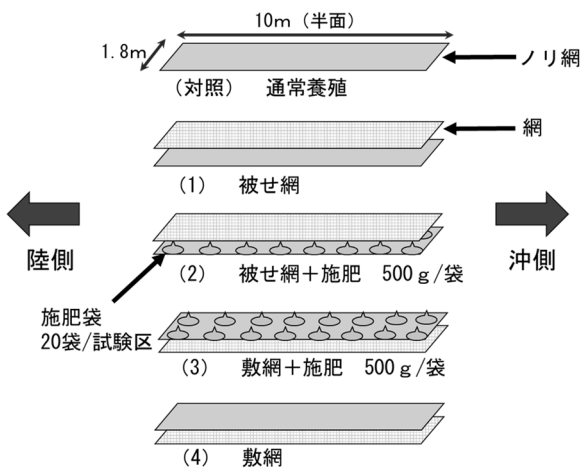


図4 試験配置図

収穫はコドラート(34×45cm)を用い、試験アオノリ養殖網10mにつき3か所を摘採し、湿重量を養殖網1枚(1.8×21m)当たりの湿重量に換算した。また、葉緑素計(コニカミノルタ社製SPAD-502Plus)により各試験区の葉体色調を測定した。さらに収穫したアオノリは洗浄、乾燥後に愛媛県漁業協同組合連合会(以下県漁連と略記)のアオノリ等級検査員により製品としての等級評価を受けた。

(2) アオノリ食害調査

昨年度の調査でボラが養殖アオノリをつつく様子が観察されたため、アオノリ養殖漁場で採捕されたボラとカモについて、消化管内容物を調査した。

結 果

1 アオノリ養殖漁場モニタリング

平成31年3月第2週から令和元年5月第1週までの燧灘西部アオノリ養殖漁場における水温の推移を図5に示した。

この間、各地区の漁場とも水温は11.5~17.9℃の範囲で推移し、3月の水温は西条市沿岸のすべての漁場において、平年(昭和56年~平成22年)に比べ0.5~1.3℃高く、4月以降では4月第2週と第4週に平年を0.9~2.3℃上回った。他の時期はおおむね平年並みであった。

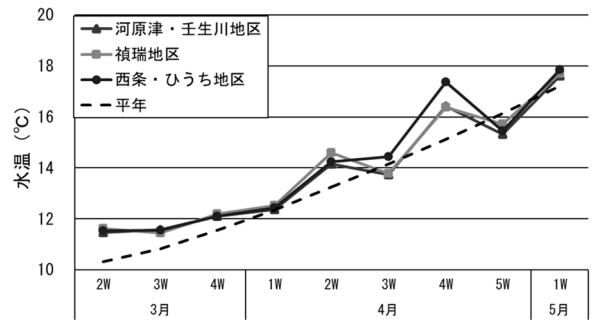


図5 アオノリ養殖漁場水温の推移

平成31年3月第2週から令和元年5月第1週の珪藻細胞数の推移を図6に示した。

3月第2週は、237~437cells/mlで、その後減少したが、4月第3週には再び176~474cells/mlに増加した。

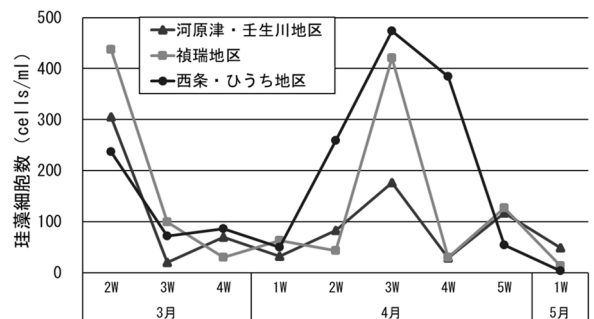


図6 アオノリ養殖漁場珪藻細胞数の推移

平成31年3月第2週から令和元年5月第1週の栄養塩濃度(DIN)の推移を図7に示した。

3月第2週は各地区とも1.0~2.0μMと低い濃度であったが、禎瑞地区と西条・ひうち地区では、珪藻細胞数の減少とともに3月第4週にかけて4.0~9.4μMまで上昇した。珪藻細胞数が増加した4月第3週以降は各地区とも2.0μM未満に低下し、5月第1週にはおおむね漁期終了となった。

2 施肥による栄養塩供給技術の実証試験

(1) 栄養塩添加技術開発

平成31年4月25日に試験を終了し、各試験区のアオノリ養殖網1枚(1.8×21m)当たりの湿重量に換算した収穫量を図8に示した。

結果は、対照区（施肥なし・網なし）の26.5 kgに対して、試験区4（施肥なし・敷網あり）が34.6 kgで、約1.3倍の収量であったが、他は試験区1（施肥なし・被せ網あり）20.9 kg、試験区2（施肥あり・被せ網あり）19.2 kg、試験区3（施肥あり・敷網あり）22.9 kgと、いずれも対照区より収量は少なかった。これらにより、支柱漁場における敷網・被せ網、施肥によるアオノリ収量への明確な効果はみられなかった。

昨年度の浮き流し漁場における試験では、敷網なし区と比較して、敷網あり区で収量が約10倍に増加するなど、栄養塩滞留や食害防止の効果が認められたが、今回の支柱漁場での試験では明確な効果は認められず、今後さらに検討する必要があると考えられた。

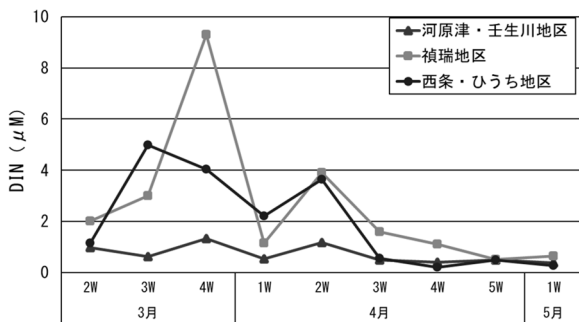


図7 アオノリ養殖漁場栄養塩濃度の推移

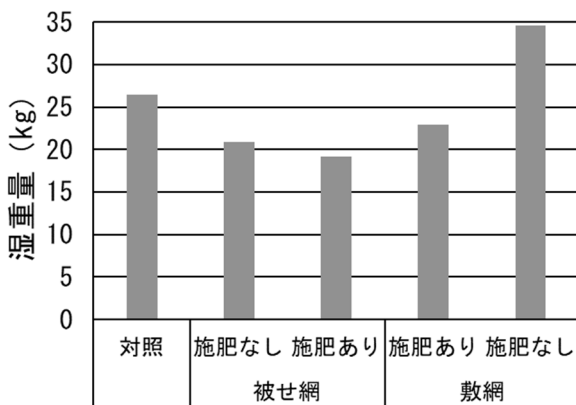


図8 試験区別の湿重量 (網1枚当たり)

これら各試験区のアオノリ葉体のSPAD値測定結果（無作為に採取した葉体6~7枚の計20カ所の平均値）を図9に示した。SPAD値は施肥なし区で2.6、3.2と、対照区の4.2より低い値であった。しかし、施肥区では5.5、4.8と対照区より、それぞれ高い値であった。

県漁連アオノリ等級検査員による評価を表2に示した。検査によると、SPAD値の測定値に関わらず対照区が5等で最も低い評価であった。一方、最も高い評価はSPAD値が最も高かった試験区3（施肥あり・被せ網）の3等上（2等に近い3等）で、施肥と被せ網による栄養塩滞留の効果により、色調の改善と品質向上につながったと考えられた。

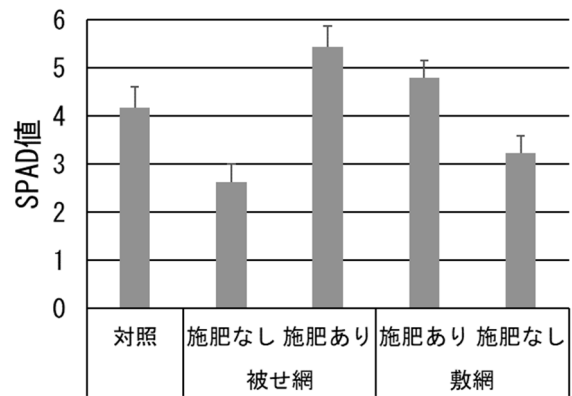


図9 試験区別 SPAD 値

表2 試験区別のアオノリ乾燥品等級

試験区	対照	被せ網		敷網	
	網なし	施肥なし	施肥あり	施肥あり	施肥なし
SPAD値	4.2	2.6	5.5	4.8	3.2
等級	5等	4等	3等上	3等	3等

(2) アオノリ食害調査

禎瑞地区のアオノリ支柱漁場で平成31年4月下旬に採捕されたボラと、同じく禎瑞地区のアオノリ浮き流し漁場で31年2月下旬に採捕されたヒドリガモについて、冷凍保存していたサンプルを5月下旬に、その消化管内容物を調査した。

その結果、ボラは全長582mm、体重1538gで、胃内容物はすべてアオノリであり重量は0.3gであった。ヒドリガモは体重801gで、胃から5.7g、腸から12.1gの固形内容物が確認され、これを水で懸濁したところ、すべてアオノリであった（図10）。採捕場所がいずれもアオノリ養殖漁場であることから、ボラやカモによる養殖アオノリの食害は発生していると考えられ、何らかの対策が必要である。



図10 ヒドリガモの胃内容物

サメを用いた高機能抗体作製技術開発

(AMED 創薬等ライフサイエンス研究支援基盤事業)

武智 昭彦・中村 翠珠*

目 的

サメを用いることにより従来の技術では難しい、小さく優れた特性を持つ抗体（ナノボディ）を作製できることが知られている。サメのナノボディは、創薬や臨床検査における課題を解決できることが期待されているが、サメの捕獲や飼育環境が整っておらず研究は進んでいなかった。

そこで本研究では、ナノボディ作製の実用化に向けた技術開発を目的に、愛媛大学で開発されたコムギ無細胞タンパク質合成系を用いて生産した抗原を用いて、エイラクブカを免疫した。

方 法

用いたエイラクブカは、北条市漁業協同組合（底びき網漁）から入手し、10トンFRP製レースウェイ水槽または10トンコンクリート製八角水槽に収容して、ろ過海水掛け流しで飼育した。入手後、陸上水槽に馴致して初期斃死がなくなり、配合飼料への餌付きが確認できた後に免疫試験に供した。餌料は、餌付け初期のみ冷凍エビを与え、餌付いた後は配合飼料（EP）を1回/日、投餌した。なお、29年度試験において冬期の加温により、斃死が抑制できたことから、元年度も12月下旬から飼育水の加温（設定温度17.5℃）をおこなった。

免疫試験は、5月9日から翌3月5日の間に計12回、46尾に愛媛大学が用意した各種抗原を筋肉に接種した（表1）。通常2週間毎に、免疫および採血（1ml程度）し、抗体価の上昇が確認できた個体は、次回測定時に全採血をおこなった後、脾臓を摘出してRNA抽出用サンプルとした。免疫および採血時は、500ppm 2-フェノキシエタノールで麻酔した。また、飼育中に斃死または斃死直前のサメについては、全採血と脾臓摘出をおこない、愛媛大学へサンプル提供した。なお、免疫処理したサメは、背鰭に装着したイラストマー蛍光標識により個体識別した。

結 果

飼育結果を表1に、飼育期間中の水温を図1に示した。

5月9日から翌年3月5日までの間に免疫した46尾のうち、抗体価の上昇が確認された9尾から脾臓を摘出し、抗体価が上昇しなかった10尾については、飼育を中止した。

なお、10月17日以降に免疫した24尾のうち19尾

の飼育を継続しており、年度末までに脾臓を摘出した個体はない。

免疫開始時の体重の目安を800g以上としたことから、免疫方法に由来すると考えられる3尾の斃死を除いた飼育期間中の斃死は5尾であり、生残率は89%と昨年度より高くなった。

飼育水温は、25.8℃から15.2℃の間で推移し、12月27日から17.5℃に加温した。抗体価の上昇が確認されるまで健全に飼育を継続するには、成長率を指標にすると20℃以上を維持する必要があると考えられるが、現状の掛け流し方式では加温コストが過大となる。

表1 飼育結果

日付	免疫		脾臓摘出		継続飼育中(3/19現在)			生残率 (%)	備考
	尾数	平均 体重(g)	尾数	飼育 日数	尾数	平均 体重(g)	飼育 日数		
H30.10.30	3	730	0		0			0	
5/9	2	750	1	119	0			0	1尾免疫できず飼育中止
6/20	3	756	2	119	0			0	静注個体が斃死
7/5	3	581	1	90	0			0	2尾免疫できず飼育中止
7/18	7	672	1	77	0			0	静注個体が斃死
8/1	3	876	0		0			0	
9/5	4	726	0		0			0	4尾免疫できず飼育中止
10/17	7	1,121	3	154	4	1,171	154	57	
11/7	2	1,362			2	1,363	133	100	
11/28	2	1,015			0			0	
12/26	1	1,489			1	1,236	84	100	
2/20	7	959			7	996	28	100	
3/5	5	955			5	938	14	100	
計	46	938	8		19				元年度分のみ



図1 飼育期間中の日平均水温の推移

アサリ増養殖技術生産性向上試験

渡部 祐志・塩田 浩二・高島 景

目 的

近年、瀬戸内海のアサリ資源は激減しており、本県においてもアサリ生産量が減少し、県内のアサリ漁場はほとんど消失している。

このような中、本研究所では減耗要因やその対策について調査・研究し、小規模ではあるが、袋網などを用いた移植技術を開発した。そこで、これら技術を応用しながらアサリ餌料環境改善のための施肥や施設の規模拡大による増養効果を検証し、生産性の向上を図り、アサリ増殖技術の実用化および漁場の再生を目指す。

方 法

1 袋網による移植・施肥試験

昨年度実施の袋網を用いた施肥試験において、袋網1つ当たり100gの肥料の添加による餌料環境改善効果が確認できた。しかし、この際使用していたΦ5mmの溶出孔を施した施肥袋は、溶出の持続が2週間と短く、頻繁に施肥袋の交換をおこなう必要があった。そこで今年度は、施肥による餌料環境改善効果を得つつ、施肥袋の交換頻度を減らすことを目的に、施肥袋に施した溶出孔の大きさの違いによる溶出効果持続性の比較試験を実施した。

愛媛県西条市内高須干潟において、施肥をおこなわない対照区を含む3試験区を設定し、交換頻度月1回の施肥による袋網内の餌料環境改善効果を検証した。施肥には8-8-8化成肥料（昭見産業株式会社製、保証成分：アンモニア性窒素：8%、リン酸：8%、カリ：8%）を用いた。肥料100gを不織布と水切りネットで包み、溶出孔を開けたポリエチレン製袋に収容して施肥袋を作成し、これらを袋網内の底面に設置した。

1回目の試験は、対照区、Φ2.5mm区、Φ5.0mm区の3試験区で、令和元年6月1日から同年7月30日までの約2か月間おこなった。令和元年6月1日に平均殻長9.4mmのアサリ稚貝300個体と砂利を収容した袋網を設置し、施肥を施した2区については1か月ごとに施肥袋の交換をおこなった。

2回目の試験は、対照区、Φ1.5mm区、Φ2.0mm区の3試験区で、令和元年10月24日から同年12月25日までの約2か月間おこなった。令和元年10月24日に平均殻長26.8mmのアサリ100個体と砂利を収容した袋網を設置し、施肥を施した2区については1か月ごとに施肥袋の交換をおこなった。

2 被覆網による移植規模拡大試験

昨年度実施した被覆網試験において、1×5mの被覆網試験への移植規模の拡大が十分可能であることが明らか

かになったが、網の埋没防止用に取り付けた合成浮子に付着したフジツボと被覆網が波浪等により擦れ、網の破損とそれに伴いアサリが流出する問題が起きた。そこで今年度は、浮きにフジツボが付着しないよう改良を加え、これを被覆網に取り付け、再度移植規模拡大試験をおこなうこととした。

令和元年6月3日に平均殻長9.4mmのアサリ稚貝を、1160個/m²の密度で目合い4mmの1×5m被覆網に収容した被覆網区を用い、対照区（自然環境下の天然アサリ稚貝：密度は被覆網区と同じ1160個/m²）と合わせ、試験を実施した。網の埋没防止用の浮きにはフジツボの付着を抑制するため表面をテープで加工した発砲スチロール製フロートを使用した。試験は令和元年6月3日から翌2年3月23日までおこなった。

2 成貝放流・追跡調査

愛媛県西条市内高須干潟において、天然アサリの減耗原因を解明するため、アサリ成貝の放流をおこない、追跡調査を実施した。

令和元年5月29日に高須干潟において、平均殻長34.9mmのアサリ成貝を70個/m²の密度で4m²区画2カ所に放流し、1~2週に1回程度の追跡調査をおこなった。

結 果

1 袋網による移植・施肥試験

1回目の試験において、袋網内のアサリは試験開始時の平均殻長9.37mmから、2か月後（令和元年7月30日）には対照区19.7mm、Φ2.5mm区20.2mm、Φ5.0mm区18.0mmとなり、有意差は認められなかったもののΦ2.5mm区が最も成長が良かった（図1）。同試験区は、生残率については他の2区に比べ約15%高く（図2）、アサリの活力の指標となるグリコーゲン含量においても比較的高めであったことから（図3）、月1回の施肥によりアサリの成長、生残が向上したと考えられる。

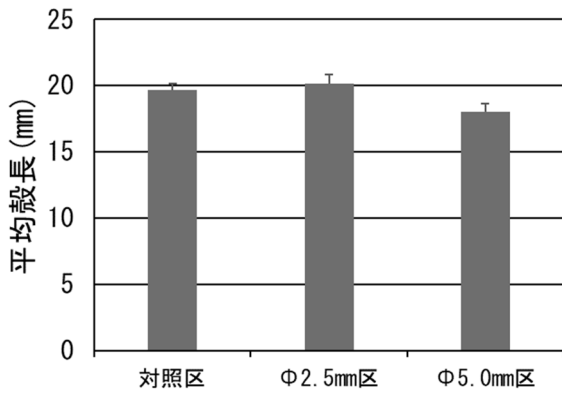


図1 試験区別平均殻長 (1回目)

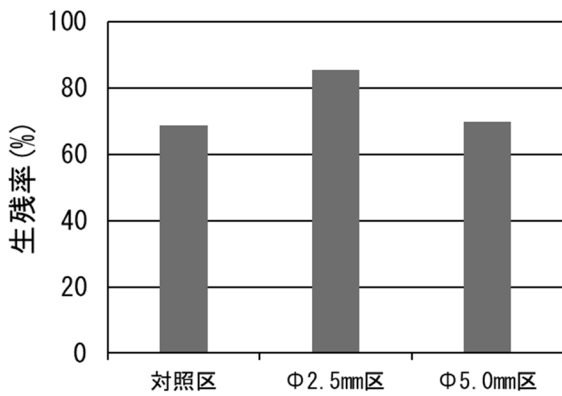


図2 試験区別生残率 (1回目)

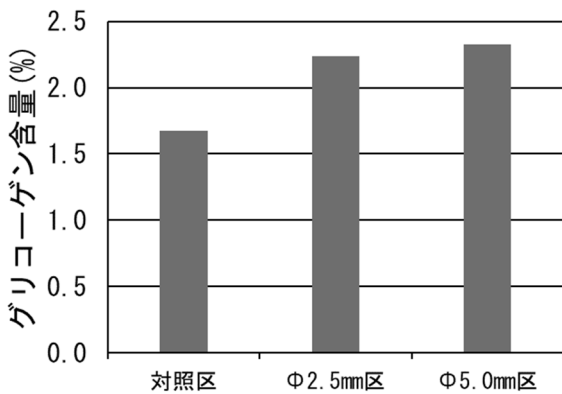


図3 試験区別グリコーゲン含量 (1回目)

2回目の試験では、対照区に加え、1回目よりさらに径を小さくしたΦ1.5mm区、Φ2.0mm区で比較をおこなったところ、袋内のアサリは試験開始時の平均殻長26.8mmから、約2か月後(令和元年12月25日)には対照区26.5mm、Φ1.5mm区25.5mm、Φ2.0mm区26.7mmとなり、有意差は認められなかったものの、Φ2.0mm区が最も成長が良かった(図4)。同試験区の生残率については3区の中で最も低くなったが(図5)、最も高いΦ1.5mm区との生残数の差はわずか9個で、大きな差ではなかった。またグリコーゲン含量については、餌料が比較的多く、産卵期よりも前である夏季に実施した1回

目の試験結果に比べると3区とも大きく低下していたがΦ2.0mmが最も高かった(図6)。以上よりΦ2.0mm区においては1回目の試験同様、月1回の施肥によりアサリの成長、生残が向上したと考えられる。

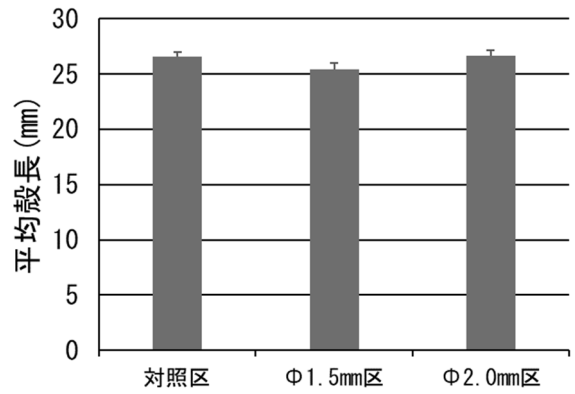


図4 試験区別平均殻長 (2回目)

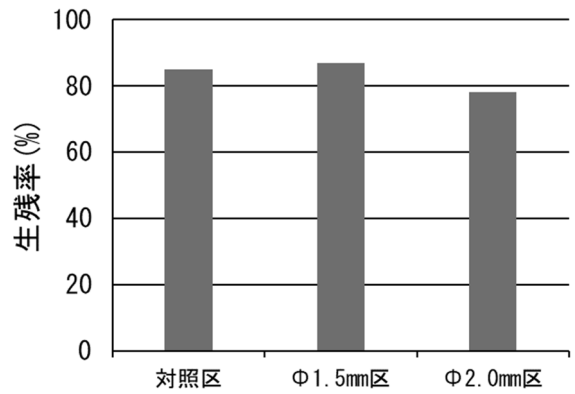


図5 試験区別生残率 (2回目)

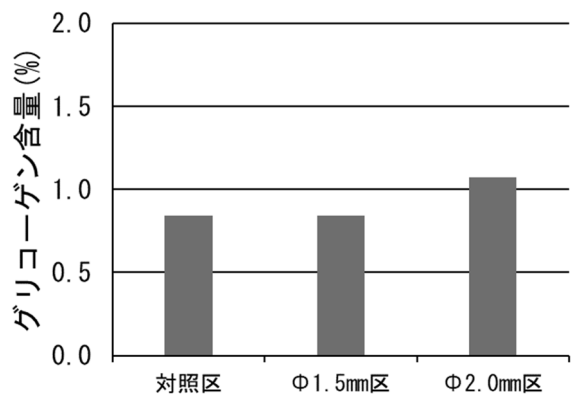


図6 試験区別グリコーゲン含量 (2回目)

2度にわたる試験の結果から、Φ2.0~2.5mmの溶出孔を施した施肥袋(化成肥料100g)を用いることで1回の施肥により1か月程度効果が持続することが示唆された。

2 被覆網による移植規模拡大試験

被覆網区、対照区の生残率の推移を図7に示す。被覆

網区が試験終了時の令和2年3月23日に28.4%であったのに対して、対照区では試験開始約3か月後には1.6%に大きく減少し、約7か月後の令和元年12月18日には0%となり、被覆網による減耗の抑制が認められた。これにより、現状では被覆網がなければアサリ稚貝は生残出来ないことを確認した。

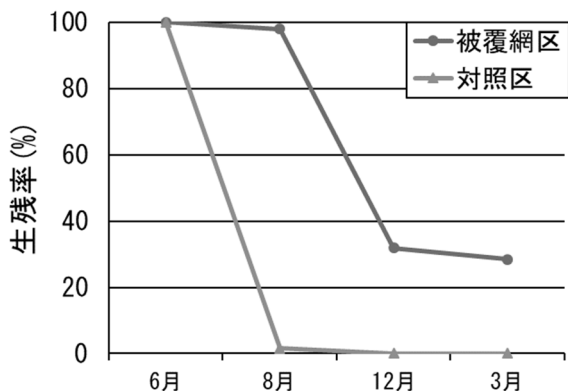


図7 各試験区生残率の推移

次に試験期間中の被覆網区アサリの平均殻長の推移を図8に示す。試験開始時に9.4mmであったものが、約10か月後には28.9mmに成長した。

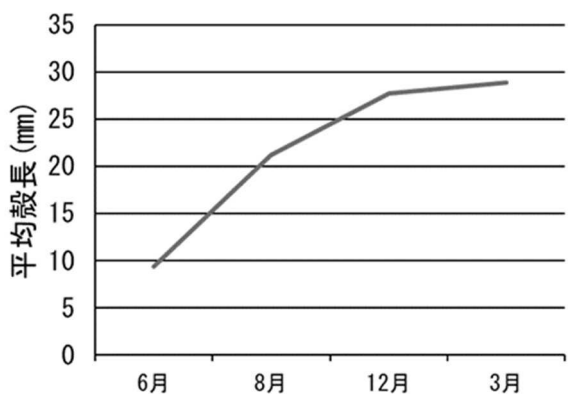


図8 被覆網区平均殻長の推移

最後に被覆網区のグリコーゲン含量について図9で示す。被覆網区のグリコーゲン含量は、8月から翌年3月にかけて上昇し、試験終了時には2.5%であった。前述の袋網試験と比べて12月の値が高かったが、試験期間および場所が異なるので直接の比較は困難であった。このため来年度、再検証を試みる。

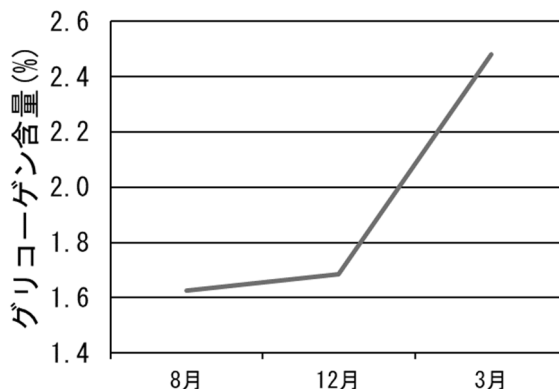


図9 被覆網区グリコーゲン含量の推移

また、8月には台風に伴う波浪により被覆網の破損およびアサリの流出が発生した。フロートにより逆に波浪の影響を大きく受けたのではないかと考え、フロートを取り除いた改良版被覆網に移し替えたところ、その後、数度の台風の通過もあったが、試験終了まで破損することはなかった。

3 成貝放流・追跡調査

放流時(令和元年5月29日)に70個/m²であった密度は、追跡調査のたびに数を減らし、8月16日の調査以降、0個/m²となった。この原因については不明である。追跡調査時にはアサリは15cm以上の深さに潜っていたため、追跡調査時にかなり深くまで砂を掘る必要があった。このように、育成したアサリを干潟に放流しても、わずか2か月ほどで生残が確認できないなど、放流したアサリの収穫は難しく、放流は有効ではないことが示唆された。来年度はカメラを用いて減少原因の特定を試みる。