

マツカワの養殖技術開発試験事業

鈴木亮・村松里美・高田偲帆^{*1}・伊藤文雄^{*2}・伊藤竜太^{*3}

目的

地域の水産業の生産性・収益向上と新たな優良県産食材の創出を目指して、マツカワ養殖技術を開発する。

材料と方法

1. 親魚養成技術の開発

(1) 親魚養成[N1]

2-6歳魚の人工マツカワ親魚 165尾(表1)に、長さ9.0×幅2.1mm、重さ0.06gの受動無線周波標識(Biomark:小型PITタグBI09.HG.01)を体内に埋め込み、雌雄や年齢など個体識別を行い管理した。標識の読み取りには同社製のPITタグリーダー(POCKET READEREX)を用いた。

1) 飼育環境

2020年5-11月までは30t円型FRP水槽1面で雌雄の区別なく養成飼育した。2020年12月から2021年4月までは、成熟促進及び人工授精のため、小型PITタグの情報を基に雌雄判別(図1)を行い、10t円型FRP水槽2面へ分けて管理した。

飼育水及び水温管理について、水温21℃以上となった2020年7月20日から9月30日までは、18℃調温海水(冷海水)と濾過海水で水温20℃前後になるようかけ流して管理した。そこから2021年2月10日までは濾過海水のみをかけ流し水温を自然降下させ、それ以降は18℃調温海水(温海水)を混合し、2週間かけ2℃昇温させた。また、投げ込み式水温計で水温を測定し記録した。

表1. 人工マツカワ親魚の年齢(年級)と養成尾数

年齢 (年級)	養成親魚					合計
	6歳魚 (2015)	5歳 (2016)	4歳 (2017)	3歳 (2018)	2歳 (2019)	
♀(尾)	3	26	15	27	30	101
♂(尾)	0	8	22	15	19	64
合計	3	34	37	42	49	165

※ 年齢は3月1日起算

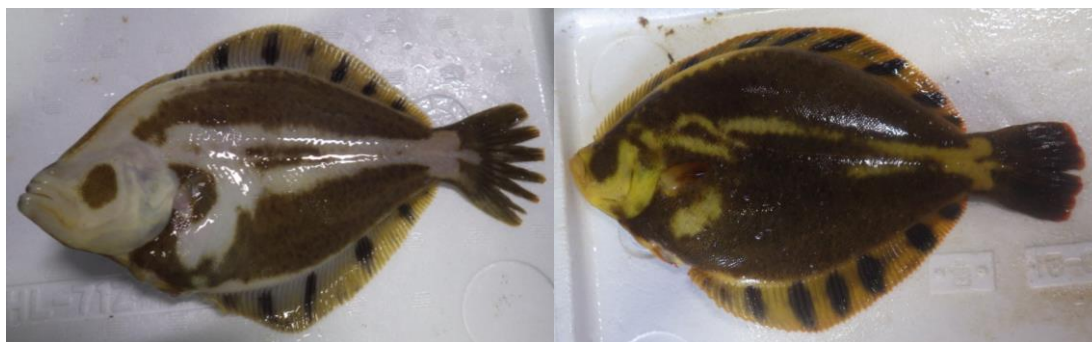


図1. マツカワ親魚の雌雄(左:雌 右:雄)

¹下北ブランド研究所、²龍飛ヒラメ養殖生産組合、³小泊漁業協同組合

2) 餌料

餌料は、配合餌料（フィード・ワン(株)：鱒 EP せせらぎ d8）を飽食給餌した。給餌の際は配合餌料 100g 当たりアスタキサンチン強化剤（図 2 サイエントック(株)：アスタアップ 1.5%TCAC）を 1.4g 添加して栄養強化を行った。強化剤の添加方法は、配合餌料を約 18 時間海水に浸漬し 30 分水切りさせた後、強化剤と共に練り団子状にした（図 3）。

給餌方法は、水温が 20℃以上となる 8-9 月と 8℃以下となる 1-2 月は週 1 日、人工授精終了後 1 か月間は週 3 日とし、それ以外は週 2 日で給餌した。但し、人工授精を行う 2 月下旬から 3 月末までの約 1 か月間は無給餌とした。1 日当りの給餌回数は 2-3 回とした。



図 2. アスタキサンチン強化剤
(サイエントック(株)社製
アスタアップ TCAC1.5%)



図 3. アスタキサンチン強化剤を練り込み団子状にした配合餌料

(2) 人工授精

2021 年 3 月 3 日から 3 月 26 日の 23 日間に、採卵・採精台（図 4）を用いて搾出法で採卵・採精及び人工授精を計 13 回行った。採卵・採精を行った親魚は PIT タグにより個体を識別し記録した。

受精作業として雄個体の採精から行った。搾出法で得られた精子を 10mL のシリンジで吸い取り、10mL スピッツ管に移し替えた後、保冷剤を入れた発砲スチロール内で保管した。精子の活性を確認するため、スピッツ管に移し替えた精子から約 1 μ L 採取し、顕微鏡で観察した。精子の評価基準を全体の活性に応じて 5 段階評価とした（表 2）。必要数の採精及び精子の評価が終わってから、生殖腺が発達した雌個体から卵を搾出し、卵重量を秤量した。本県における人工マツカワの卵径及び卵重量は北海道産マツカワと同じであるため³⁾、以下に示した北海道で用いられている計算式²⁾をもとに、卵重量から卵数を求めた。

計算式

$$1\text{g 当りの卵数 (g / 粒)} = \text{卵径 1.7 mm 以下: } 2.9 \times 10^{-3}$$

$$\text{卵径 1.7 mm 以上: } 4.0 \times 10^{-3}$$

$$\text{卵数 (粒)} = \text{卵重量} / 1\text{g 当りの卵数}$$

人工授精については湿導法を用いて行った。ボールに海水 500mL、精子 0.3-0.6mL を入れ泡立て器を用いて攪拌後、卵を入れて授精させた。マツカワ卵は分離浮遊卵のため、受精卵が水面に浮くことを利用し、授精後に 101% 海水 30L を入れたパンライト水槽に一度収容して受精卵分離を行った。パンライト収容後 5

分間静止させたのち、水面に浮いている受精卵を 100 μ m 目合のネットで回収し、塩素濃度 0.5ppm の電解海水にて消毒し、1t アルテミアふ化槽へ収容した。卵消毒について、電解海水の濃度低下を極力抑えるため、30L パンライト水槽 3 基に電解海水を入れ、掛け流した状態で 1 基あたり 1 分間の計 3 分間消毒を行った。

人工授精で得られた受精卵は 1t アルテミアふ化槽 6 基を用いて、10 $^{\circ}$ C 調温海水を換水量 3.9t/日 で掛け流して管理した。また、受精卵が水槽内を浮遊するようエアレーションを中央に設置した。積算温度 60 $^{\circ}$ C 時に検卵のためサンプリングし生卵（発眼卵）及び死卵を計数することで、生残卵率及び生残卵数を求めた。検卵後は発眼卵を金魚網を用いて掬い、飼育水槽へ収容しふ化まで管理した。卵へのダメージ軽減のため、発眼卵は金魚網で掬い取った後、海水を入れた 1L のボールに移し替え、飼育水槽まで運搬した。ふ化後は柱状サンプリングを行い、容量法を用いてふ化尾数を求めた。

表 2. 精子の評価基準

評価	基準
A	精子全体が活発に動いている
AB	80%程が活発に動いている
B	50%程が活発に動いている
BC	動いているが活性が悪い
C	全く動いていない

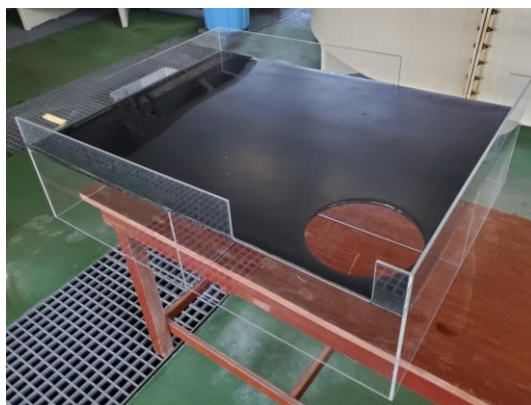


図 4. 採卵・採精台

2. 種苗生産技術の開発

(1) 種苗生産

1) 飼育環境

ふ化した仔魚は 1.5t 角型 FRP 水槽 2 基及び 1t 角型 FRP 水槽 3 基で飼育した。過密を避けるため、30 日齢前後に 30t 円型 FRP 水槽 1 基、10t 円型 FRP 水槽 2 基、5t 円型 FRP 水槽 2 基へ移動し水槽替えを行った。

飼育水は調温海水を掛け流して飼育した。換水率は 0 日齢から 17 日齢までは水槽容積に対して 70%/日、18 日齢から 25 日齢までは 80%/日、26 日齢から取上げまでを 90%/日と成長に合わせて高めていった。飼育水温は収容時に 11 $^{\circ}$ C であったものを、7 日齢までの間に 1 日当たり 0.5 $^{\circ}$ C を目安に 3 $^{\circ}$ C 昇温させ、8 日齢から取上げまでは 14 $^{\circ}$ C で管理した。6 日齢から 35 日齢前後まで、仔魚の壁面への衝突によるへい死軽減のため、飼育水槽に高度不飽和脂肪酸強化濃縮淡水クロレラ（クロレラ工業株：ハイグレード生クロレラ V12（以下、HG 生クロ））を添加した。

マツカワ仔魚は 18 日齢前後から比重が急激に重くなり、水槽底面へ沈下する個体が増加することが知られている²⁾。沈下した個体は摂餌不良や底面の汚れなどによるへい死の要因となることから、エアレーションの通気量を調整し沈下を防止した。また、内径 25mm アクリル管を用いたサイフォン方式で、水槽替えを行う前に底掃除を行った。生物餌料の給餌終了時に取り上げ、重量法により生残尾数を算出した。

2) 餌料

表 3-1 に生物餌料の栄養強化方法、表 3-2 に生物餌料の栄養強化量を示した。

生物餌料として、シオミズツボワムシ（以下、ワムシ）は L 型奄美株を、アルテミアは北米ソルトレイク産（株北村：アルテミア アフロディテ）を使用した。配合餌料はアンブローズ 200・400・600・EP-1（フ

イード・ワン(株)を使用した。

表 3-1. 生物餌料の栄養強化方法

シオミズツボワムシ					アルテミア				
生産回次	1、2、3・4		6、8		生産回次	1、2、3・4		6、8	
強化水温(°C)	14				強化水温(°C)	20			
インディペ (アスタキサンチン強化)					インディペ (アスタキサンチン強化)				
一次強化時刻	16:00		16:00		一次強化時刻	16:00		16:00	
一次強化量	表3-2参照				一次強化量	表3-2参照			
二次強化時刻	翌8:30		翌8:30		二次強化時刻	翌8:30		翌8:30	
二次強化量	一次強化の半分量		一次強化の半分量		二次強化量	一次強化の半分量		一次強化の半分量	
強化時間(h)	17	22.5	17	22.5	強化時間(h)	18.5	22.5	18.5	22.5
インディペRM (高濃度アスタキサンチン強化)					インディペRM (高濃度アスタキサンチン強化)				
強化時刻	翌8:30		-		強化時刻	16:00		-	
強化量	インディペ強化量の10分の1		-		強化量	インディペ強化量の10分の1		-	
強化時間(h)	0.5	4	-		強化時間(h)	18.5	22.5	-	
給餌時刻(午前・午後)	翌9:00	翌13:00	翌9:00	翌13:00	給餌時刻(午前・午後)	翌10:30	翌14:30	翌10:30	翌14:30
* 強化剤正式名称 インディペ: インディペプラス インディペRM: インディペプラスRM									

表 3-2. 生物餌料の栄養強化量

シオミズツボワムシ			アルテミア			シオミズツボワムシ・アルテミア	
強化剤	インディペ		強化剤	インディペ		強化剤	インディペRM
必要量 (千万個体)	培養水量 (L)	強化量 (g)	必要量 (万個体)	培養水量 (L)	強化量 (g)	強化量 (g)	
1.0-2.0	100	15	>1500	100	20		
2.0-3.0	100	20	1500-2000	200	30		
3.0-4.0	200	30	2000-2500	200	40		
4.0-5.0	200	50	2500-3000	300	50	インディペ強化量の 10分の1の量	
5.0-6.0	200	55	3000-3500	300	60		
			3500-4000	400	70		
			4000-4500	500	80		
			4500-5000	500	90		
* 強化剤正式名称 インディペ: インディペプラス インディペRM: インディペプラスRM							

① ワムシ

表 4 に種苗生産期のワムシ給餌量を示した。

粗放連続培養で培養した L 型ワムシを給餌前日に必要量収穫し、200L アルテミアふ化槽に収容した。その後、表 3-1 および表 3-2 に示した方法により、栄養強化剤であるインディペプラス(サイエンティック株: 以下、インディペ)を用いて一次強化し、翌日の給餌 30 分前に前日の半分量で二次強化を行った。また、12 日齢より生産回次 1、2、3・4 において、アスタキサンチンを強化できるインディペプラス RM(サイエンティック株: 以下、インディペ RM)を、二次強化時にインディペと併せて強化してから給餌した。各強化剤は必要量を 14°C 調温海水に入れ、ハンドミキサーで 3 分間攪拌してから添加した。

マツカワ仔魚はふ化後は浮遊しているが、3 日齢頃から沈降し、6 日齢頃からまた浮上し開口となるため、ワムシの給餌は 5 日齢から開始した。給餌頻度は午前と午後に 1 回ずつとした。

表 4. 種苗生産期ワムシ給餌量

区分	生産回次 1		生産回次 2		生産回次 3・4	
	収容尾数 20,000		収容尾数 32,000		収容尾数 30,000	
	水槽規模 (t) 1.5		水槽規模 (t) 1.5		水槽規模 (t) 1.0	
ワムシ種類 (株)	L型 (奄美)		L型 (奄美)		L型 (奄美)	
総給餌量 (億個体)	4.6		5.7		4.9	
1日当りの給餌密度						
平均給餌密度 (cc/個体)	15		19		24	
最大給餌密度 (cc/個体)	23		23		35	
最小給餌密度 (cc/個体)	6		3		10	
強化剤使用量 (g) [インディペ : インディペRM]	759	76	941	94	809	81
給餌期間 (日齢)	6-25	12-25	5-24	12-24	5-25	12-25

区分	生産回次 6		生産回次 8	
	収容尾数 20,000		収容尾数 10,000	
	水槽規模 (t) 1.0		水槽規模 (t) 1.0	
ワムシ種類 (株)	L型 (奄美)		L型 (奄美)	
総給餌量 (億個体)	4.6		3.3	
1日当りの給餌密度				
平均給餌密度 (cc/個体)	22		18	
最大給餌密度 (cc/個体)	30		25	
最小給餌密度 (cc/個体)	10		5	
強化剤使用量 (g) [インディペ : インディペRM]	759	-	545	-
給餌期間 (日齢)	5-25	-	5-22	-

* 強化剤正式名称 インディペ : インディペプラス インディペRM : インディペプラスRM

② アルテミア

表 5 に種苗生産期のアルテミア給餌量を示した。

アルテミアは、乾燥卵を 28℃ の 80% 海水に収容し 45 時間かけてふ化させ、給餌前日に必要量を収穫し、表 3-1 および表 3-2 に示した方法によりインディペ及びインディペ RM で一次強化を行った。翌日の給餌 2 時間前に、前日の半分量のインディペで二次強化を行ってから給餌した。ワムシと同様、各強化剤は必要量を 14℃ 調温海水に入れ、ハンドミキサーで 3 分間攪拌し添加した。給餌頻度は、午前と午後それぞれ 1 回ずつとした。

表 5. 種苗生産期のアルテミア給餌量

区分	生産回次 1		生産回次 2		生産回次 3・4	
	推定尾数 16,000		推定尾数 26,000		推定尾数 25,000	
	水槽規模 (t) 1.5		水槽規模 (t) 1.5		水槽規模 (t) 1.0	
総給餌量 (億個体)	2.1		2.8		3.2	
1日当りの給餌密度						
平均給餌密度 (cc/個体)	5		6		24	
最大給餌密度 (cc/個体)	7		8		35	
最小給餌密度 (cc/個体)	1		1		10	
強化剤使用量 (g) [インディペ : インディペRM]	851	85	1134	113	1296	130
給餌期間 (日齢)	21-50	21-50	21-50	21-50	19-50	19-50

* 強化剤正式名称 インディペ : インディペプラス インディペRM : インディペプラスRM

表 5. 種苗生産期のアルテミア給餌量（続き）

区分	生産回次 6		生産回次 8	
	推定尾数		推定尾数	
	15,000		5,000	
	水槽規模 (t)		水槽規模 (t)	
	1.0		1.0	
総給餌量(億個体)	1.6		0.5	
1日当りの給餌密度				
平均給餌密度(cc/個体)	5		2	
最大給餌密度(cc/個体)	8		2	
最小給餌密度(cc/個体)	2		1	
強化剤使用量(g) [インディペ:インディペRM]	648	-	203	-
給餌期間(日齢)	21-50		22-50	

* 強化剤正式名称 インディペ:インディペプラス インディペRM:インディペプラスRM

③ 配合餌料

表 6 に種苗生産期の配合餌料給餌量を示した。

配合飼料を成長に合わせ粒径を大きくし、アルテミア給餌開始から 40 日齢までは手撒きで 1-3 回/日、それ以降 50 日齢までは自動給餌器 6-9 回/日の頻度で給餌した。

表 6. 種苗生産期の配合餌料給餌量

区分	生産回次 1						生産回次 2						生産回次 3・4					
	推定尾数(尾)						推定尾数(尾)						推定尾数(尾)					
	16,000						26,000						25,000					
給餌方法	手まき給餌			自動給餌			手まき給餌			自動給餌			手まき給餌			自動給餌		
給餌期間(日齢)	25-40		41-50				24-40		41-50				22-40		41-50			
給餌回数(回)	1-3		6-9				1-3		6-9				1-3		6-9			
配合餌料種類	100	200	アンプ ⁺ ロース [*]		800	EP-1	100	200	アンプ ⁺ ロース [*]		800	EP-1	100	200	アンプ ⁺ ロース [*]		800	EP-1
給餌量(g)	40	63	245	146	-	5	40	64	201	159	-	10	47	133	228	72	-	-
総給餌量(g)	499						474						480					

区分	生産回次 6						生産回次 8					
	推定尾数(尾)						推定尾数(尾)					
	15,000						5,000					
給餌方法	手まき給餌			自動給餌			手まき給餌			自動給餌		
給餌期間(日齢)	21-40		41-50				22-40		41-50			
給餌回数(回)	1-3		6-8				1-2		6			
配合餌料種類	100	200	アンプ ⁺ ロース [*]		800	EP-1	100	200	アンプ ⁺ ロース [*]		800	EP-1
給餌量(g)	71	60	224	88	-	-	32	94	78	35	-	-
総給餌量(g)	443						239					

3) 高濃度アスタキサンチン強化による高密度飼育試験

表 7 に高密度飼育試験の概要を示した。

生物餌料の強化剤に高濃度アスタキサンチン強化剤インディペ RM を用いて高密度飼育試験を行い、取上げ時に生残尾数及び生残率、奇形率を算出し、その効果を比較検討した。

各生産回次のアスタキサンチン強化レベルは、インディペとインディペ RM を併せて強化を行った生産回次 1、2、3・4 が高レベル、インディペのみで強化を行った生産回次 6、8 が従来レベルとした。飼育密度

については、種苗生産において1t当たり仔魚の収容密度は1万尾が基本とされているなか、各生産回次の飼育密度は生産回次1が1.3万尾/tと従来レベル、生産回次2が2.1万尾/tと中位レベル、生産回次3・4が3.0万尾/tと高位レベル、生産回次6が2.0万尾/tと中位レベル、生産回次8が1.0万尾と従来レベルとした。

表7. 高密度飼育試験の概要

生産回次	1	2	3・4	6	8
飼育水槽(トン)	1.5	1.5	1	1	1
収容尾数(万尾)	2	3.2	3	2	1
飼育密度(万尾/t)	1.3	2.1	3.0	2.0	1.0
アスタキサンチン強化剤 インディベ				○	○
インディベ+インディベRM	○	○	○		
飼育密度レベル	従来	中	高	中	従来
アスタキサンチン強化レベル	高	高	高	従来	従来

* 強化剤正式名称

インディベ: インディベプラス インディベRM: インディベプラスRM

(2) 中間育成

1) 飼育環境

種苗生産で得られた稚魚を30t円型FRP水槽2基、10t円型FRP水槽2基、5t円型FRP水槽2基、1.5t角型FRP水槽2基、1t角型FRP水槽1基で70日間の中間育成を行い、養殖用種苗とした。

飼育水は14℃調温海水をかけ流すことで飼育水温を14℃に維持し、濾過海水の水温が14℃となった68日齢以降は濾過海水を掛け流し管理した。換水率は飼育開始時を100%/日とし、成長とともに徐々に400%/日まであげた。

稚魚の成長に応じて、適宜分槽や選別を行った。養殖に不向きな小型個体、有眼側が白色化する白化個体、眼位が左右逆転した逆位や変態途中で眼位が頭部中央で停止した眼位異常等、異常個体の出現率を求めた。底面の汚れの程度に応じて、適宜内径25mmの亚克力管を用いサイフォン方式で底掃除を適宜行った。

2) 餌料

表8に中間育成期の配合餌料給餌量を示した。

餌料は配合餌料とし、アンブローズ200、400、600、800、EP-1・2、鱒EPせせらぎd2・d3(フィード・ワン(株))を、飼育稚魚の全長に応じて粒径を変え使用した。給餌方法は自動給餌器を用いて9回/日の頻度で給餌した。

表8. 中間育成期の配合餌料給餌量

区分	生産回次		中間育成		収容尾数(尾)		76,000
	自動給餌						
給餌回数(回)	9						
給餌期間(日齢)	59-77	59-90	61-110	64-118	82-118	91-118	111-118
配合餌料種類	アンブローズ				鱒EPせせらぎ		
	400	600	800	EP-1	EP-2	EP-2	EP-3
給餌量(g)	5,330	14,285	23,980	27,190	10,800	11,300	2,900
総給餌量(g)	95,785						

3. 養殖技術の開発

(1) 竜飛地区

陸上養殖施設における事業規模での成長特性を把握するため、外ヶ浜町竜飛地区の陸上養殖施設において、出荷目標である平均体重 800g に達するまで飼育を行った。

1) 2020 年産

2020 年産養殖用種苗については、2020 年 7 月 2 日に当研究所から 10 千尾を運搬以降、継続して飼育を行っている。

飼育環境は 15t 角型コンクリート水槽へ飼育密度 25kg/m²になるよう成長に合わせ適宜分槽及び選別して収容し、飼育水は水温変動が少ない青函トンネルの湧水を使用し、9t/h で掛け流した。

給餌毎の給餌量及び飼育水の水温を測定し記録した。また、月 1 回の魚体測定として無作為に 30 尾をサンプリングし、全長の測定及び体重の秤量を行った。へい死魚は全てカウントし、生残率を算出した。

餌料は配合餌料（鱒 EP せせらぎ）を成長に合わせ粒径を大きくし、給餌頻度は 1 日 2 回とし毎日飽食給餌とした。

2) 2021 年産

2021 年 7 月に 2021 年産養殖用種苗 13 千尾を運搬し、飼育を行った。

飼育環境は 15t 角型コンクリート水槽へ、飼育密度 25kg/m²になるよう成長に合わせ適宜分槽及び選別して収容し、飼育水は青函トンネルの湧水を 9t/h で掛け流した。

給餌毎の給餌量及び飼育水の水温を測定し記録した。また、月 1 回の魚体測定として無作為に 30 尾をサンプリングし、全長の測定及び体重の秤量を行った。但し、飼育水温が 20℃を上回る 7-8 月の 2 か月間は魚体への負荷軽減のため、魚体測定を行わなかった。へい死魚は全てカウントし、生残率を算出した。

餌料は配合餌料（鱒 EP せせらぎ）を成長に合わせ粒径を大きくし、給餌頻度は 1 日 2 回とし毎日飽食給餌した。

(2) 小泊地区

水温変化の大きい条件での成長特性を把握するため、中泊町小泊地区の陸上養殖施設において、出荷目標である平均体重 800g に達するまで飼育を行った。

1) 2020 年産

2020 年産養殖用種苗については、2020 年 10 月 8 日に当研究所から 500 尾を運搬以降、継続して飼育を行っている。

飼育環境は 5t 円型 FRP 水槽へ収容し、飼育水は港内からポンプアップした海水を簡易ろ過したものを 6t/h でかけ流した。

給餌毎の給餌量を記録し、1 日 4 回自記式水温計 (Onset: ティドビット V2) で飼育水の水温を記録した。月 1 回の魚体測定として無作為に 30 尾をサンプリングし、全長の測定及び体重の秤量を行った。但し、魚体への負荷軽減のため、飼育水温が 20℃を上回る 7-9 月の 3 か月間は魚体測定を行わなかった。へい死魚は全てカウントし、生残率を算出した。

餌料は配合餌料（鱒 EP せせらぎ）を成長に合わせ粒径を大きくし、給餌頻度は 1 日 2 回とし毎日飽食給餌とした。

2) 2021 年産

2021 年 7 月に 2021 年産養殖用種苗 2.1 千尾を運搬し、飼育を行った。

飼育環境は 5t 円型 FRP 水槽へ収容し、飼育水は港内からポンプアップした海水を簡易ろ過したものを 6t/h でかけ流した。

給餌毎の給餌量を記録し、1日4回自記式水温計で飼育水の水温を計測した。月1回の魚体測定として無作為に30尾をサンプリングし、全長の測定及び体重の秤量を行った。但し、魚体への負担軽減のため、飼育水温が20℃を上回る7-9月の3か月間は魚体測定を行わなかった。へい死魚は全てカウントし、生残率を算出した。

餌料は配合餌料（鱒 EP せせらぎ）を成長に合わせ粒径を大きくし、給餌頻度は1日2回とし毎日飽食給餌とした。

結 果

1. 親魚養成技術の開発

(1) 親魚養成

表 9-1 にマツカワ雌親魚の養成飼育結果、表 9-2 にマツカワ雄親魚の養成飼育結果、表 10 にマツカワ親魚年齢別の採卵・採精尾数（率）、図 5 に親魚養成中の水温の推移について示した。

養成期間中のへい死は8月が1尾、9月が9尾、10月が7尾、11月が2尾の計19尾と高水温期にへい死が多く見られ、雌雄別では雌が11尾、雄が8尾であった。へい死率は年齢（年級）別で4歳魚（2017）が最も高く、雌40.0%、雄27.3%であった。4歳魚を除けば雌雄の差はあまりなく、高齢魚ほどへい死率は高い傾向にあった。

養成した親魚146尾から人工授精に用いた親魚は雌35尾、雄40尾の計75尾であった。年齢別の採卵率は5歳魚（2016）で56.5%、4歳魚（2017）で22.2%、3歳魚（2018）で57.7%、2歳魚（2019年）で13.3%であった。採精率は5歳魚42.9%、4歳魚68.8%、3歳魚78.6%、2歳魚78.9%であった。2022年の人工授精は、昨年と比べて6日遅い2022年3月3日に1回目を行い、3月30日までに計13回の人工授精を行った。3月30日以降は、人工授精は行わず採卵のみとし、4月14日までに計4回の搾出を行った。

表 9-1. マツカワ雌親魚の養成飼育結果

						単位：尾
年齢 (年級)	6歳魚 (2015)	5歳 (2016)	4歳 (2017)	3歳 (2018)	2歳 (2019)	合 計
♀養成尾数	3	26	15	27	30	101
へい死	1	3	6	1	0	11
合 計	2	23	9	26	30	90
へい死率(%)	33.3	11.5	40.0	3.7	0.0	

※ 年齢は3月1日起算

表 9-2. マツカワ雄親魚の養成飼育結果

						単位：尾
年齢 (年級)	6歳魚 (2015)	5歳 (2016)	4歳 (2017)	3歳 (2018)	2歳 (2019)	合 計
♂養成尾数	0	8	22	15	19	64
へい死	0	1	6	1	0	8
合 計	0	7	16	14	19	56
へい死率(%)	0.0	12.5	27.3	6.7	0.0	

※ 年齢は3月1日起算

表 10. マツカワ親魚年齢別の採卵・採精尾数（率）

単位：尾

養成親魚							採卵・採精親魚						
年齢 (年級)	6歳魚 (2015)	5歳 (2016)	4歳 (2017)	3歳 (2018)	2歳 (2019)	合計	年齢 (年級)	6歳魚 (2015)	5歳 (2016)	4歳 (2017)	3歳 (2018)	2歳 (2019)	合計
♀	2	23	9	26	30	90	♀	0	13	2	15	5	35
♂	0	7	16	14	19	56	♂	-	3	11	11	15	40
合計	2	30	25	40	49	146	合計	0	16	13	26	20	75
							採卵率	0.0%	56.5%	22.2%	57.7%	16.7%	38.9%
							採精率	-	42.9%	68.8%	78.6%	78.9%	71.4%

※ 年齢は3月1日起算

※ 養成親魚の尾数は2021年3月1日での尾数

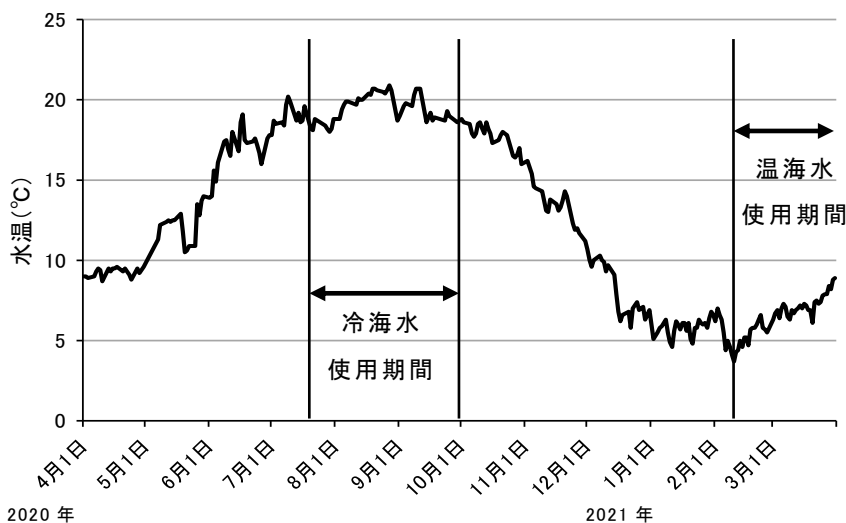


図 5. 親魚養成中の水温の推移

採卵した雌親魚の個体別及び年齢別の人工授精結果は、

(2) 人工授精

表 11 に人工授精結果、表 12 に雌親魚の個体別及び年齢別の人工授精結果について示した。

13 回の採卵で計 12,780.7g、3,194 千粒の卵から、人工授精により 1,462 千粒の受精卵を得た。平均受精率は 50.6%であった。平均生残卵率は 35.8%で、287 千粒の生残卵を得た。生残卵 287 千粒から平均全長 5.79mm のふ化仔魚 157 千尾（ふ化率 52.3%）を得た。287 千粒のうち、234 千粒は当研究所の試験用、53 千粒は「新たな栽培・養殖魚種の増養殖体制構築事業」のマツカワ種苗量産技術移転に係る飼育試験用として、青森県栽培漁業振興協会へ発眼卵で提供した。

適正な排卵周期で採卵できた個体の受精率を 70%以上とすると、その個体数は 2 歳魚で 2 尾、3 歳魚で 3 尾、5 歳魚で 2 尾であった。排卵周期をやや外した個体の平均受精率を 50.6%前後とすると、その個体数は 3 歳魚で 3 尾、4 歳魚で 1 尾、5 歳魚で 4 尾であった。2 歳魚の No. 2、3 歳魚の No. 9、5 歳魚の No. 13、16、17 は、受精率が低く、適正な排卵周期より早く搾出した卵や、遅く搾出した過熟卵であったと判断した。

年齢別の平均卵数、平均受精率は 2 歳魚は 56.3 千粒で 60.3%、3 歳魚は 110.6 千粒で 60.8%、5 歳魚は 223.1 千粒で 48.7%であり、若齢魚では卵数は少ないが受精率が高く、高齢魚では卵数は多いが受精率は低い結果となった。

表 11. 人工授精結果

生産回次	授精日 (採卵日)	採卵・採精尾数 (♀:♂ 尾)	採 卵		受精卵			生残卵		ふ 化			備考
			重量(g)	卵数(千粒)	重量(g)	卵数(千粒)	受精率(%)	卵数(千粒)	生残卵率(%)	平均全長(mm)	尾数(千尾)	ふ化率(%)	
1	2021/3/3	4:4	875.3	218.9	475.8	118.9	54.4	38.1	32.0	5.56	20.0	52.5	水総研 試験用
2	2021/3/4	3:3	481.1	120.2	392.3	98.0	81.5	50.1	51.1	5.72	32.0	63.9	水総研 試験用
3	2021/3/6	4:5	822.3	205.5	289.0	72.2	35.1	33.7	46.7	5.96	15.0	44.5	水総研 試験用
4	2021/3/7	3:4	395.7	98.9	271.9	67.9	68.7	40.0	58.9	5.96	15.0	37.5	水総研 試験用
5	2021/3/10	4:4	1015.6	253.9	672.3	168	66.2	-	-	-	-	-	廃棄
6	2021/3/11	5:5	1022.7	255.6	678.4	169.5	66.3	52.9	31.2	5.40	20.0	37.8	水総研 試験用
7	2021/3/13	5:4	936.2	234.0	383.0	95.7	40.9	-	-	-	-	-	廃棄
8	2021/3/14	5:5	539.8	134.9	303.9	75.9	56.3	19.3	25.4	6.17	10.0	51.8	水総研 試験用
9	2021/3/17	4:4	1039.2	259.8	391.8	97.9	37.7	14.6* ¹	14.9	-	10.0	68.5	県栽培協会 へ提供* ²
10	2021/3/22	5:3	1724.7	431.1	595.3	148.8	34.5	-	-	-	-	-	廃棄
11	2021/3/26	5:4	1671.7	417.9	593.7	148.4	35.5	38.8	26.1	-	35.0	90.2	県栽培協会 へ提供* ²
12	2021/3/29	5:5	843.7	210.9	502.4	125.5	59.5	-	-	-	-	-	人工授精 のみ
13	2021/3/30	6:6	1412.7	353.1	303.3	75.8	21.5	-	-	-	-	-	人工授精 のみ
合計 (平均)			12780.7	3194.7	5853.1	1462.5	(50.6)	287.5	(35.8)	(5.79)	157	(52.3)	

*1 地震の影響でアンドン転倒で流失により生残卵が減

*2 県重点事業「新たな栽培・養殖魚種の増養殖体制構築事業」マツカワ種苗産産技術移転に係る飼育試験用として青森県栽培漁業振興協会へ提供。

表 12. 雌親魚の個体別及び年齢別の人工授精結果

No.	個体No.	年齢 (年級)	採卵 回数	採 卵		受精卵				備考
				総重量 (g)	総卵数 (千粒)	総重量 (g)	総卵数 (千粒)	Min-Max 受精率(%)	平均 受精率(%)	
1	9013	2歳魚 (2019)	2	203.8	50.9	140.8	35.2	62-80	71.4	
2	9033	2歳魚 (2019)	1	80.5	20.1	27.5	6.8	34	34.2	授精無し採卵2回 計3回の採卵
3	304201	2歳魚 (2019)	3	392.3	98.0	318.2	79.5	37-94	75.4	
4	357343	3歳魚 (2018)	5	1082.5	270.6	516.67	129.1	28-80	45.4	
5	357466	3歳魚 (2018)	1	118.8	29.7	103.4	25.8	87	87.0	
6	358387	3歳魚 (2018)	1	159.5	39.8	131.45	32.8	82	82.4	授精無し採卵3回 計4回の採卵
7	358799	3歳魚 (2018)	4	507.6	126.9	404.91	101.2	62-96	80.2	
8	373727	3歳魚 (2018)	1	120.3	30.0	66.33	16.5	55	55.1	授精無し採卵3回 計4回の採卵
9	377054	3歳魚 (2018)	3	481.8	120.4	159.28	39.8	26-40	33.4	授精無し採卵2回 計5回の採卵
10	377632	3歳魚 (2018)	4	628.1	157.0	260.04	65.0	30-56	41.7	授精無し採卵1回 計5回の採卵
11	303100	4歳魚 (2017)	3	432.0	108.0	285.3	71.3	55-75	65.9	
12	357010	5歳魚 (2016)	2	315.8	78.9	260.5	65.1	49-99	74.1	
13	357095	5歳魚 (2016)	4	1577.6	394.4	442.3	110.5	24-34	27.7	
14	357515	5歳魚 (2016)	3	302.0	75.5	154.8	38.6	35-81	53.7	
15	358067	5歳魚 (2016)	6	2154.4	538.6	1073.1	268.2	15-82	44.9	
16	358739	5歳魚 (2016)	3	950.0	237.5	376.2	94.0	18-49	36.9	授精無し採卵1回 計4回の採卵
17	359113	5歳魚 (2016)	3	1342.3	335.5	345.7	86.4	3-44	25.3	授精無し採卵1回 計4回の採卵
18	359165	5歳魚 (2016)	1	307.9	76.9	142.9	35.7	46	46.4	授精無し採卵1回 計2回の採卵
19	378000	5歳魚 (2016)	4	963.6	240.9	555.0	138.7	50-77	58.6	
20	379226	5歳魚 (2016)	1	121.5	30.3	86.4	21.5	71.0	71.1	授精無し採卵1回 計2回の採卵
21	-	2歳魚 (2019)	-	1112.5	278.1					採卵のみ (2尾合計)
22	-	3歳魚 (2018)	-	6471.0	1617.5					採卵のみ (8尾合計)
23	-	4歳魚 (2017)	-	148.0	37.0					採卵のみ (1尾合計)
24	-	5歳魚 (2016)	-	4907.0	1226.7					採卵のみ (4尾合計)

2. 種苗生産技術の開発

(1) 種苗生産

表 13 に種苗生産結果（高密度飼育試験結果）、図 6 に種苗生産期における水温の推移について示した。

ふ化仔魚 112 千尾を用いて種苗生産を行い 50 日齢で取上げた結果、生産回次 1 では平均全長 16.3mm、14.0 千尾の稚魚が得られ、生残率は 70.0%であった。生産回次 2 では平均全長 16.0mm、23.7 千尾の稚魚が得られ、生残率は 74.1%であった。生産回次 3・4 では平均全長 15.8mm、75.3 千尾の稚魚が得られ、生残率は 75.3%であった。生産回次 6 では平均全長 15.8mm、13.5 千尾の稚魚が得られ、生残率は 67.5%であった。生産回次 8 では平均全長 15.9mm、3.0 千尾の稚魚が得られ、生残率は 30.0%であった。

高濃度アスタキサンチン強化を行った生産回次 1, 2, 3・4 は飼育密度に関係なく生残率は 70%以上と高水準で安定して生産できた。それに対し、これまでと同様のアスタキサンチン強化レベルで生産した生産回次 6, 8 の生残率は、飼育密度が中位で 67.5%、従来レベルで 30.0%と、飼育密度に関係なくバラつきが見られた。また、奇形率及び小型個体出現率については高濃度強化群で 5.3%、21.3%に対し、従来強化群では 5.1%、25.4%と差異は見られなかった。

表 13. 種苗生産結果（高密度飼育試験結果）

生産回次	ふ化仔魚の収容					取上げた稚魚						試験区
	ふ化日	水槽規模	平均全長 (mm)	尾数 (千尾)	強化剤 (略称)	飼育期間 (日齢)	平均全長 (mm)	尾数 (千尾)	生残率 (%)	奇形率 (%)	小型個体 (%)	
1	2021/3/11	角型1.5t 円型10t	5.56	20.0	インディペ ⁺ インディペRM	50	16.3	14.0	70.0	-		①
2	2021/3/12	角型1.5t 円型10t	5.72	32.0	インディペ ⁺ インディペRM	50	16.0	23.7	74.1		21.3	②
3	2021/3/14	角型1t 円型5t	5.96	15.0	インディペ ⁺ インディペRM	50	15.8	22.6	75.3	5.3		③
4				15.0								
6	2021/3/19	角型1t 角型1.5t	5.40	20.0	インディペ ⁺	50	15.8	13.5	67.5		25.4	④
8	2021/3/22	角型1t	6.17	10.0	インディペ ⁺	50	15.9	3.0	30.0	5.1		⑤
合計 (平均)			(5.76)	112			(16.0)	76.8	(63.4)			

* 強化剤正式名称
インディペ：インディペプラス インディペRM：インディペプラスRM

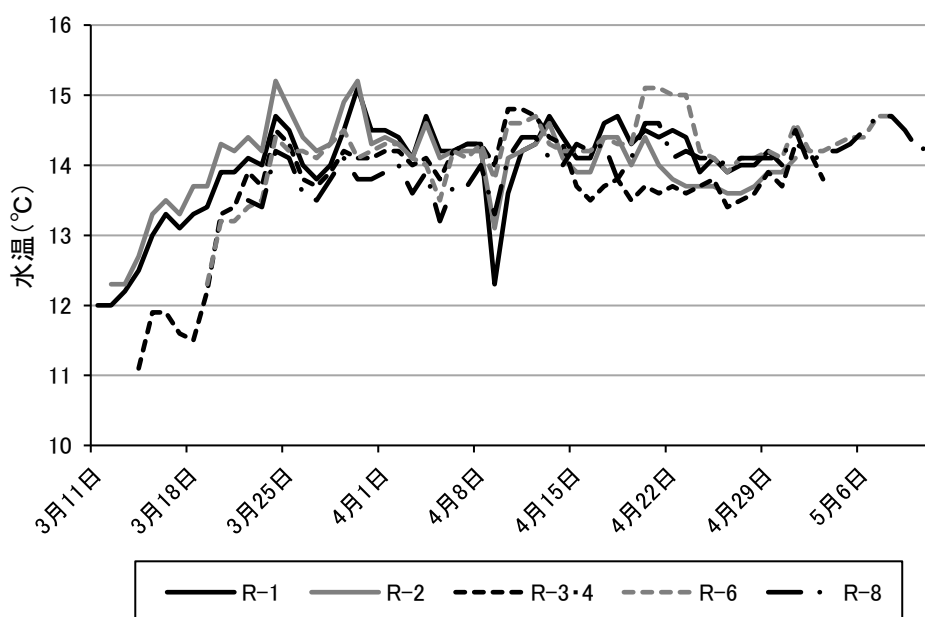


図 6. 種苗生産期における水温の推移

(2) 中間育成

表 14 に中間育成結果、表 15 に養殖用種苗の出荷概要、図 7 に中間育成期における水温の推移について示した。

種苗生産で得られた稚魚 76.8 千尾を各水槽に收容し、中間育成した結果、生残率 86.6% で 66.5 千尾を生産した。これは 2020 年産の生残率 76.2% と比べ、高い結果であった。

適正種苗の内訳は養殖用種苗 18.4 千尾、親魚候補が 0.5 千尾、養殖用に用いなかった種苗 36.5 千尾の計 55.6 千尾と、適正種苗の作出率は 83.3% であった。こちらも 2020 年産の作出率 73.9% と比べ、高い結果であった。養殖用種苗 18.4 千尾のうち、13.0 千尾を竜飛地区、2.1 千尾を小泊地区、1.5 千尾を佐井地区及び泊地区、0.3 千尾を奥戸地区に出荷した。異常個体の内訳は、小型個体が 4.7 千尾、眼位異常個体が 0.5 千尾、体色異常個体が 0.2 千尾、眼位と体色の両方異常な個体が 0.2 千尾で計 5.6 千尾と、出現率は 8.4% であった。これまでの出現率 20% 台と比べ低い結果であった。異常個体の割合については、これまでと同様であった。

出荷別の詳しい結果については、以下のとおりである。竜飛地区の陸上養殖施設における事業規模での成長特性を把握するため、ふ化からの飼育期間 118 日の平均全長 77.2mm、体重 7.5g の種苗 13.0 千尾を 2021 年 7 月 5 日に出荷した。水温変化の大きい条件での成長特性を把握するため、ふ化からの飼育期間 120 日の平均全長 77.2mm、体重 7.5g の種苗 2.1 千尾を、2021 年 7 月 7 日に小泊地区の陸上養殖施設へ出荷した。

他地域における成長特性を把握するため、ふ化からの飼育期間 126 日の全長 78.2mm、平均体重 7.2g の種苗 1.5 千尾を 2021 年 7 月 13 日に佐井地区の陸上施設へ出荷した。また、「新たな栽培・養殖魚種の増養殖体制事業」の一環として、ふ化からの飼育期間 205 日の全長 127.2mm、平均体重 27.2g の種苗 1.5 千尾を 2021 年 9 月 30 日に泊地区、ふ化からの飼育期間 211 日の全長 126.8mm、平均体重 33.0g の種苗 0.3 千尾を 2021 年 10 月 6 日に奥戸地区の陸上施設へ出荷した。

表 14. 中間育成結果

中間育成開始		中間育成終了								
尾数 (千尾)	内訳	適正種苗			異常個体 ^{*1}			生産 尾数 (千尾)	へい死 尾数 (千尾)	生残率 ^{*2} (%)
		尾数 (千尾)	合計 (千尾)	作出率 (%)	内訳	尾数 (千尾)	出現率 (%)			
76.8	養殖用種苗	18.4	55.4	83.3	小型個体	4.7	8.4	66.5	15.9	86.6
					眼位異常	0.5				
	余り種苗	36.5			体色異常	0.2				
	親魚候補	0.5			眼位+体色 異常	0.2				

*1 異常個体：養殖には不向きな小型個体、眼位が左右逆転した逆位や変態途中で眼位が頭部中央で停止した眼位異常個体、有眼側の体色異常、眼位と体色の両方異常な個体。

*2 生残率：異常個体も含んでの生残率。

表 15. 養殖用種苗の出荷概要

養殖用種苗の作出						
出荷日	飼育日数 (日)	試験区分	試験地	平均全長 (mm)	平均体重 (g)	尾数 (千尾)
2021年7月5日	118	事業規模養殖試験	竜飛地区	77.2	7.5	13.0
2021年7月7日	120	水温変化の大きい 条件での成長特性	小泊地区	77.2	7.5	2.1
2021年7月13日	126	他地域における 成長特性	佐井地区	78.2	7.2	1.5
2021年9月30日	205	県主導事業	泊地区	127.2	27.2	1.5
2021年10月6日	211	県主導事業	奥戸地区	126.8	33.0	0.3

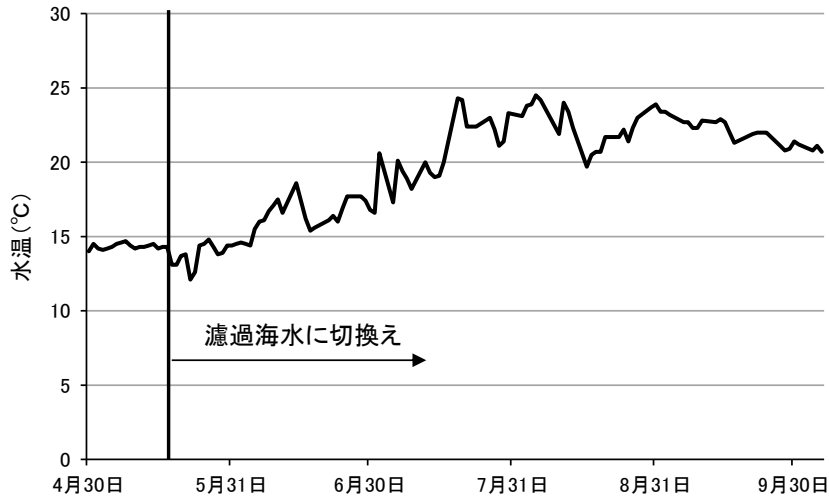


図 7. 中間育成期における水温の推移

3. 養殖技術の開発

(1) 竜飛地区

1) 2020 年産

図 8 に竜飛地区における 2020 年産の平均全長の推移、図 9 に竜飛地区における 2020 年産の平均体重の推移、図 10 に竜飛地区における 2020 年産の平均肥満度の推移、図 11 に竜飛地区における水温の推移(2020 年産)、図 12 に竜飛地区における 2020 年産の日間給餌率の推移を示した。

竜飛地区における 2020 年産の生残率は 92.9% で、出荷目標サイズ 800g になるまでに要した養殖期間は、1 年 5 か月間であった。出荷目標に達した時点でのサイズは、平均全長 380.6mm、平均体重 838.5g、平均肥満度 15.0% であった。これまでの同様に養殖を開始してから全長及び体重は右肩上がりに成長していたが、肥満度については成長とともに低下する傾向にあった。2019 年産と比べると約 2 か月間分の成長の遅れが見られた。その要因として、日間給餌率が基準といていた 2018 年産と比べ、12 月、4 月を除き低かったことが成長の鈍化に繋がったと考えられた。

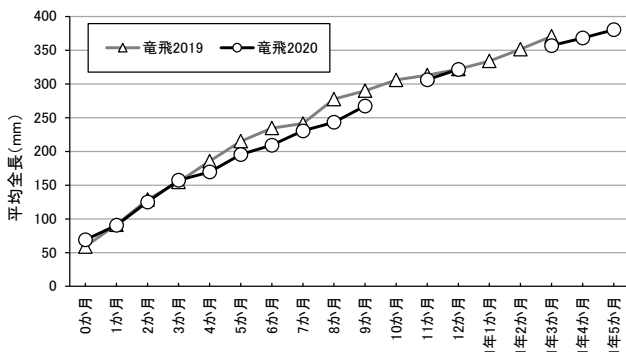


図 8. 竜飛地区における 2020 年産の平均全長の推移

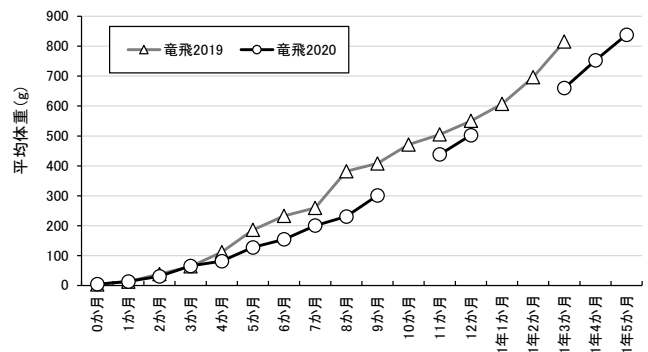


図 9. 竜飛地区における 2020 年産の平均体重の推移

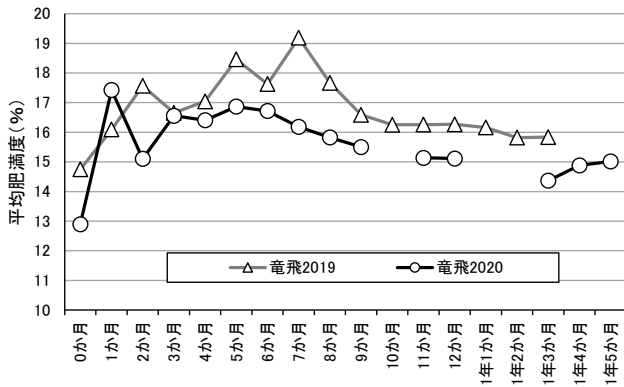


図 10. 竜飛地区における 2020 年産の平均肥満度の推移

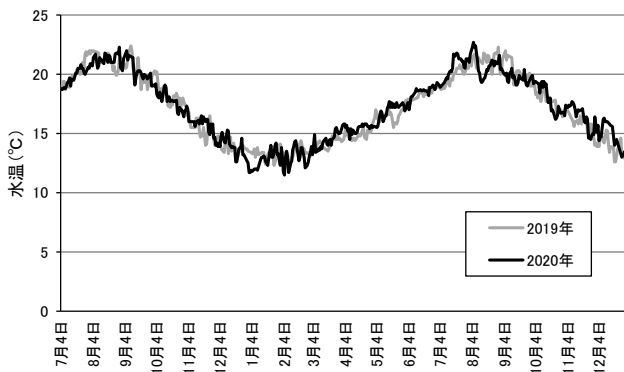


図 11. 竜飛地区における水温の推移(2020年産)

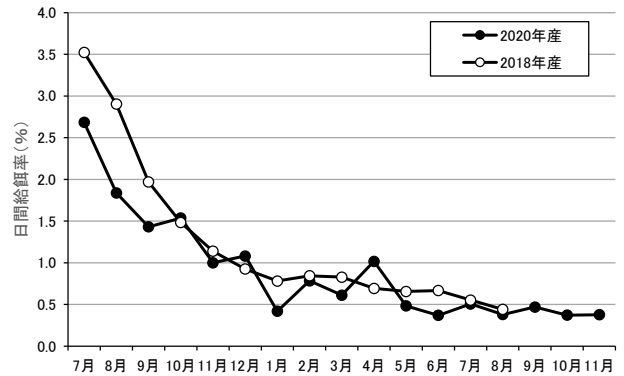


図 12. 竜飛地区における 2020 年産の日間給餌率の推移

2) 2021 年産

図 13 に竜飛地区における 2021 年産の平均全長の推移、図 14 に竜飛地区における 2021 年産の平均体重の推移、図 15 に竜飛地区における 2021 年産の平均肥満度の推移、図 16 に竜飛地区における水温の推移(2021 年産)を示した。

竜飛地区における 2021 年産の 2022 年 2 月末までの平均全長は 274.1mm、平均体重は 342.6g、平均肥満度は 16.5%であった。同時期の 2020 年産と比較したところ、平均全長で 30.8mm、平均体重で 111.9g、平均肥満度で 0.5%と、成長が良い結果となった。

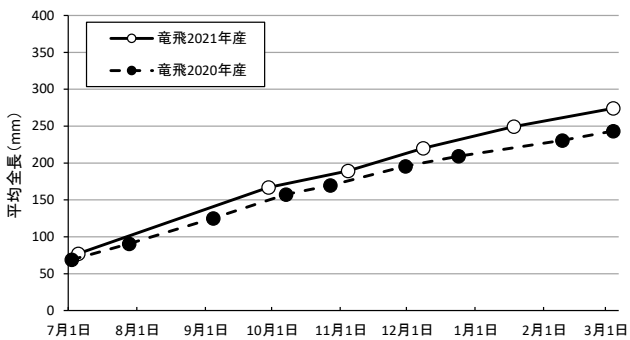


図 13. 竜飛地区における 2021 年産の平均全長の推移

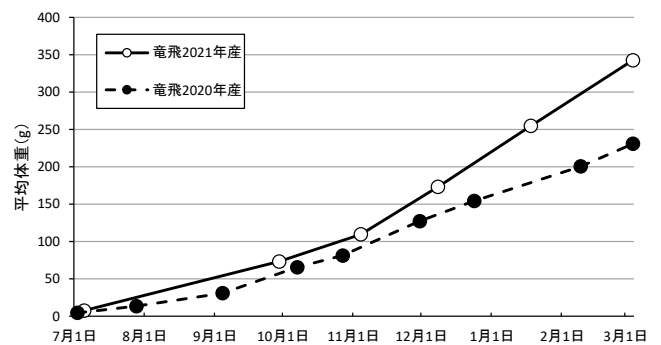


図 14. 竜飛地区における 2021 年産の平均体重の推移

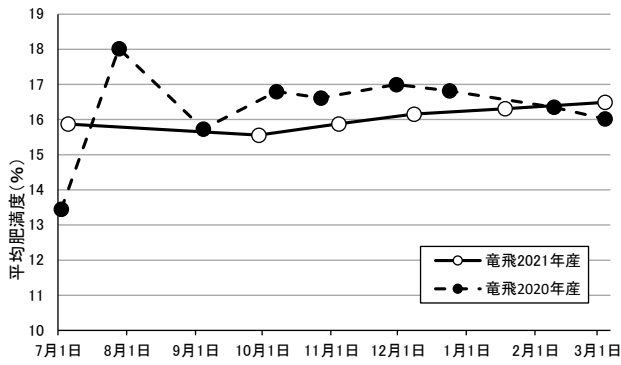


図 15. 竜飛地区における 2021 年産の肥満度の推移

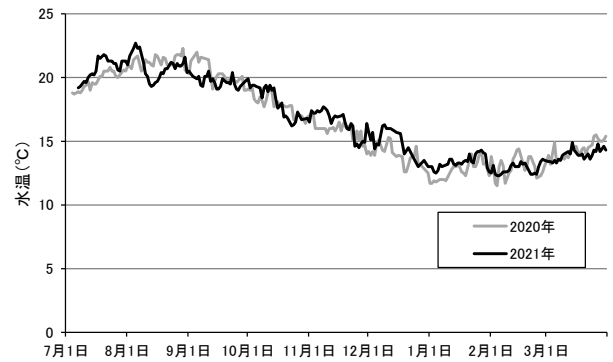


図 16. 竜飛地区における水温の推移 (2021 年産)

(2) 小泊地区

1) 2020 年産

図 17 に小泊地区における 2020 年産の平均全長の推移、図 18 に小泊地区における 2020 年産の平均体重の推移、図 19 に小泊地区における 2020 年産の平均肥満度、図 20 に小泊地区における水温の推移 (2020 年産) を示した。

水温変化が大きい条件で養殖試験を行った小泊地区では、これまでと同様に高水温期にへい死が起こったが、生残率は 80.0%であった。2020 年産の出荷目標サイズ 800g になるまでに要した養殖期間は、1 年 2 か月間であった。出荷目標に達した時点でのサイズは、平均全長 352.2mm、平均体重 797.0g、平均肥満度 18.1%であった。竜飛地区と比べ肥満度が高く、肉厚な個体が多いのが特徴的であった。また、2018 年産と同様に低水温期及び高水温期に成長停滞が見られた。

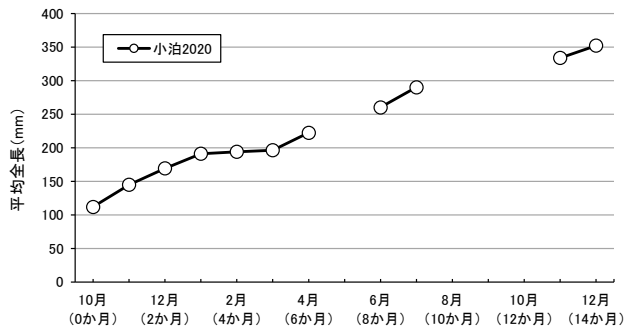


図 17. 小泊地区における 2020 年産の平均全長の推移

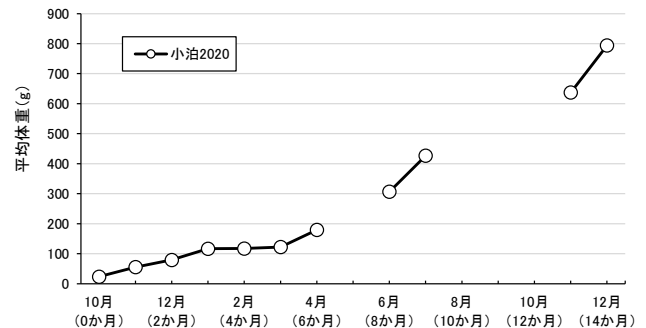


図 18. 小泊地区における 2020 年産の平均体重の推移

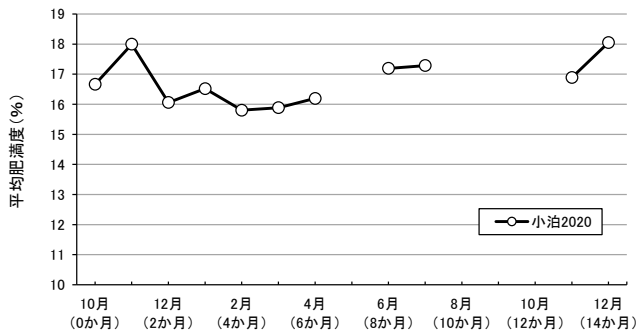


図 19. 小泊地区における 2020 年産の平均肥満度の推移

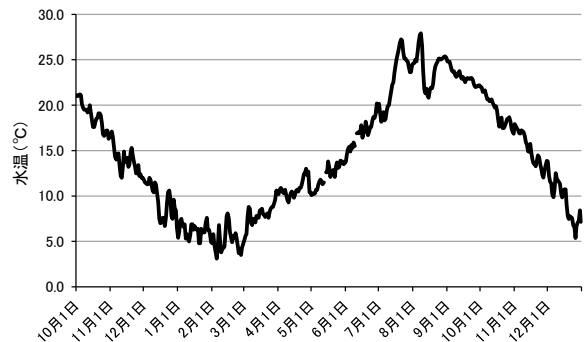


図 20. 小泊地区における水温の推移 (2020 年産)

2) 2021年産

図 21 に小泊地区における 2021 年産の平均全長の推移、図 22 に小泊地区における 2021 年産の平均体重の推移、図 23 に小泊地区における 2021 年産の平均肥満度の推移、図 24 に小泊地区における水温の推移（2021 年産）を示した。

小泊地区における 2021 年産の 2022 年 3 月末までの平均全長は 238.0mm、平均体重は 229.1g、平均肥満度は 16.9%であった。同時期の 2020 年産と比較したところ、水温推移は同じ傾向であったが、平均全長で 15.6mm、平均体重で 49.7g、平均肥満度で 0.7%と、成長が良い結果となった。

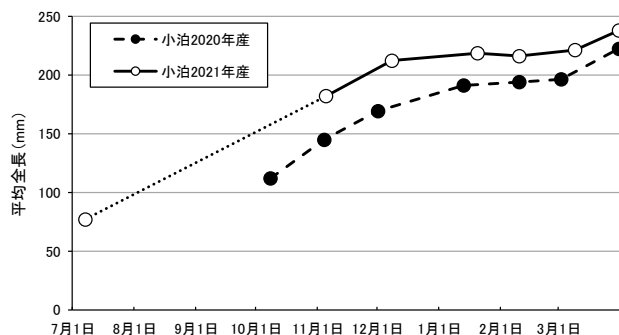


図 21. 小泊地区における 2021 年産の平均全長の推移

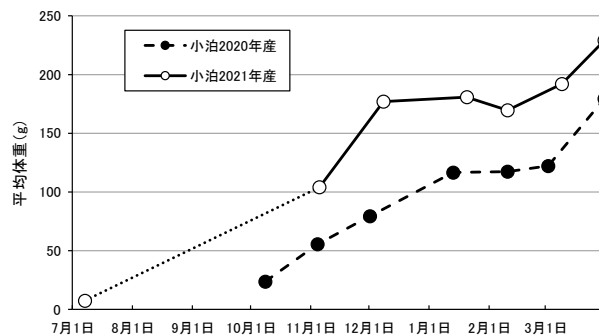


図 22. 小泊地区における 2021 年産の平均体重の推移

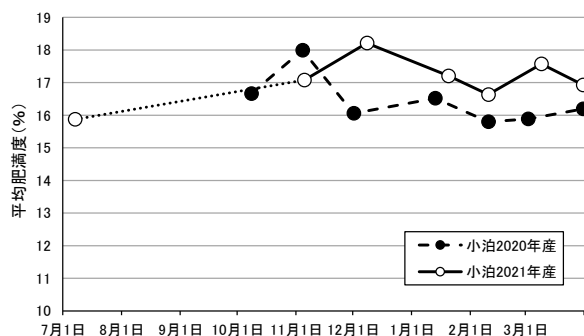


図 23. 小泊地区における 2021 年産の平均肥満度の推移

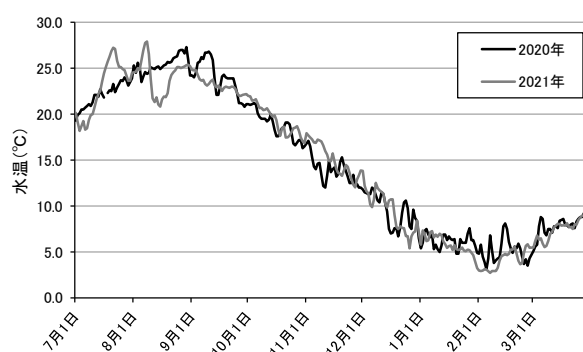


図 24. 小泊地区におけるの水温の推移（2021 年産）

考 察

1. 親魚養成技術の開発

アスタキサンチン強化により、高齢魚である 5 歳魚からも採卵が可能となり、採卵可能な年齢層が 2-5 歳魚に広がった。高齢魚が主体となった 2021 年の平均受精率は 50.6%と、5 歳魚を含んでいない 2020 年の 64.3%を下回ったように、高齢魚から得られた卵の受精率は低いというデメリットはあった¹⁾。しかし、1 個体あたりの平均採卵数（平均受精卵数）は 2 歳魚で 56.3 千粒（40.5 千粒）、3 歳魚で 110.6 千粒（58.6 千粒）、5 歳魚で 223.1 千粒（95.4 千粒）と、高齢魚ほど多く、最終的に得られた受精卵数も多かった。また、高齢魚から得られた卵及びふ化仔魚は大型であり、小型のふ化仔魚は初期減耗の原因になる²⁾ ことを考慮すると、これは大きなメリットと考えられた。引き続きアスタキサンチンの効果を実証する必要がある。

2. 種苗生産技術の開発

アスタキサンチン強化により、種苗の生残率は70%台と安定し、奇形率もこれまでと同様に低く、効果が期待できた。また、昨年同様に30日齢時点での水槽替えを行うことで、生残率を落とすことなく、小型水槽での種苗生産が可能であると実証された。引き続き高濃度アスタキサンチン強化による種苗生産を行いデータを集積する必要がある。

3. 養殖技術の開発

竜飛地区での事業規模による実証試験では、目標体重800gになるまでに1年5か月を要し、これまでの1年2か月より3か月間長かった。その原因として、給餌の量とタイミングが挙げられる。2018年産の魚体重あたりの給餌率は7月3.5%、8月2.9%、9月2.0%、10月1.5%、11月1.1%、12月0.9%であったが、2020年産は10月と12月を除いてそれよりも低い給餌率であった。養殖開始から12月までの餌料効率が高い時期の餌不足で成長の鈍化が起こったものと考えられる。2021年産は2018年産と同程度の給餌率で養殖し、2022年2月末現在の魚体重は2018年産と同程度となっている。養殖技術の効率化を図るため、事業規模による実証試験を引き続き実施する必要がある。

小泊地区ではこれまでの飼育経験から次の対策を講じることで高水温期のへい死を軽減できることがわかった。2020年産の生残率は2018年産と同様に80%台で、竜飛地区以外でもマツカワ養殖が可能であると考えられた。

①残餌及び排泄物の処理などの衛生管理の徹底

②安静に飼育を行うなどの飼育管理の徹底

③養殖開始から12月まで及び翌4月から6月までが餌料効率の高い時期であることを踏まえて、6月末までに1尾あたり積算で500gの餌料を与え、体重400g以上にすること

引き続き水温変化が大きい地区である小泊地区において飼育試験を行う必要がある。

文 献

- 1) 鈴木亮・村松里美・高田偲帆・伊藤文雄・伊藤竜太(2022) マツカワの養殖種苗生産技術開発事業. 青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告, 2019年度, 438-455.
- 2) 北海道におけるマツカワ栽培漁業研究の現状(2005). 北海道立水産試験場.
- 3) 鈴木亮・村松里美・松田忍・小向貴志・伊藤文雄・伊藤竜太(2021) マツカワの養殖種苗生産技術開発事業. 青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告, 2019年度, 503-522.