

(7) イワガキ養殖技術開発

原 誠二・上奥 秀樹

1 目的

イワガキ *Crassostrea nippona* はイタボガキ科に分類される二枚貝であり、北海道南部から九州までの日本各地に分布する。マガキ *Crassostrea gigas* と同様に冬期に栄養物質を結合組織に蓄えて身入りするが、イワガキは夏の産卵期でも結合組織の一部に貯蔵物質を維持する。加えて、季節風が厳しく冬期に漁獲することが難しい日本海沿岸の漁業事情と重なり、夏期に食用とされている¹⁾。漁家民宿や居酒屋などで利用されており、近年需要が高まっているが、福井県におけるイワガキの天然資源量は減少傾向であると推測されている。これまでにイワガキ養殖に関する研究を行い、県産イワガキ種苗生産技術を開発し、県内海域での成長は先進県と同等であることを示した²⁾。しかし、出荷までに3年以上の長い育成期間を要する点が課題である。育成期間を短縮し、養殖を効率化するために、早期産卵種苗と高成長種苗の生産技術の開発を目指した。

2 方法

1) 種苗生産技術開発

(1) 採卵・採精、孵化

福井県栽培漁業センターで生産したイワガキを親貝として使用した。令和5年7～8月にかけて計3回、切開法の後に生殖腺を海水中にて揉みほぐして採卵・採精を行った。媒精に使用する親貝は、個体の軟体部重量、輸精管または輸卵管の形成具合、卵または精子の量、卵の形状、精子の運動性から判断して決定した。卵は、採卵後1時間海水中に静置した後に媒精に用いた。媒精は、1つの卵の周囲に精子が20～30個程度付着する割合で行った。媒精の10分後に20 μ m目合いのネットを用いて洗卵を行った。その後20L水槽内に300万粒以下の受精卵を静置し、翌日に浮遊したD型幼生を回収した後に、2個体以下/mLの密度で1tパンライト水槽に収容した。

(2) 浮遊幼生飼育

イワガキ幼生の基本的な飼育条件を表1に示す。主に島根県水産技術センターの報告による種苗生産方法³⁾を参考とした。日毎の測定として、ライトを照射しながら目視での幼生の浮遊状態の確認、柱状サンプリング後の幼生数計数、殻長の測定、フックスローゼンタール血球計数盤を用いた残餌量の計数を行った。

(3) 採苗、稚貝飼育

殻長が300 μ m前後となり、眼点が出現した状態の幼生を付着期幼生と呼ぶ。水槽内の浮遊幼生のうち、付着期幼生の割合が30%に達した後に採苗を開始した。採苗器には、中央部に12mmの穴を開けたホタテ貝殻、またはシングルシード養殖用の樹脂製採苗器トレール((株)中村化学工業)を用いた。32枚のホタテ貝殻または樹脂製採苗器の穴に、長さ約3mのロープを通したものを採苗器の連とした。なお、ホタテ貝殻に関しては貝殻同士の間隔が20mmとなるように間にプラスチックスペーサーを入れた。この採苗器の連を1t水槽当たり約40連設置することで、付着期幼生を採苗した。採苗は浮遊幼生がほとんど目視できなくなるまで行い、その後、付着した稚貝の平均殻高が1mm以上になるまで水槽内で飼育した。これらの期間中も給餌、換水は浮遊幼生飼育時と同様の条件で行った。

表 1 イワガキ浮遊幼生の基本的な飼育条件

飼育水	紫外線殺菌海水 海水濃度 80% 水量 1t
水温	エアコンにより約 25～26℃に調整
換水	全量換水を、孵化後 12 日までは 1 回／2 日、それ以降は 1 回/1 日 換水用プランクトンネットの目合いは 40μm もしくは 60μm
餌料	<i>Chaetoceros calcitrans</i> (1 億 cells/mL) ((株) ヤンマーマリンファーム) <i>Chaetoceros gracilis</i> (1 億 cells/mL) ((株) ヤンマーマリンファーム) 幼生の殻長が 120μm を超えるまでは <i>C. calsitrans</i> のみを給餌 水質維持のため、ナンノクロロプシスを 1 日 1 億 cells 添加
給餌頻度	成長に応じて 1～3 回／日
給餌量	成長と残餌量に応じて 50mL～300mL／t・日
飼育期間	眼点出現率が 30%以上となるまで

(4) 沖出し、海上飼育

殻高が 1mm 以上となった後、福井県水産試験場海洋資源研究センター（敦賀市浦底）の生簀へ沖出しを行った。その後は無給餌で飼育した。この際、定期的にヒラムシによる食害が発生していないか観察を行った。ヒラムシを発見した場合には淡水浴を行うが、今年度はヒラムシによる食害は見られなかったため、実施しなかった。殻高 10mm 以上となった種苗を、各養殖地へと配布した。

2) 早期採卵技術開発

先行研究において、5～6 月から水温 25℃の加温飼育を約 2 週間行うことにより放卵・放精を誘導できることが確認されている⁴⁾。より早い時期の冬～春に採卵するために、水温 20℃による肥育期間を設けた後に、2 週間 25℃で飼育することによって成熟の誘導を目指した。

福井県海洋資源研究センターの生簀にて飼育した、殻付き重量 50～123g 程度のイワガキを用いて、令和 5 年 2 月 17 日から屋内で飼育を開始した。試験中の餌として、イワガキ 1 個体に対して *C. calcitrans*、*C. gracilis* およびイソクリシスを合計 50 億 cells/day 与え、海水は 2 日に 1 度換水した。ウォーターバス形式で水槽を設置し、ヒーターによって 1 日当たり 2℃ずつ、20℃に達するまで昇温した。20℃での肥育期間は実験区ごとに 0、10、21、42 日とし、肥育期間を終えた個体群を 25℃で 14 日間飼育（成熟誘導）した。また、福井県水産試験場海洋資源研究センターの生簀にて飼育した個体を対照区（自然下個体）とした。成熟度合を評価するために、軟体部重量、生殖巣指数 (GSI) を測定し、輸精管および輸卵管の有無を観察し、生殖腺の顕鏡によって性を判別した。GSI の算出方法は、イワガキによる先行研究に準拠した^{5, 6)}。また、採卵時に生殖腺の一部をブアン固定した後、エタノールにより脱水し、パラフィンに包埋した後に切片を作製し、組織学的観察を行った。加えて、得られた卵と精子を媒精し、孵化幼生を得た。その後、肥育 0、10、21 区の孵化幼生については、プラスチックボードヒーターを用いて水温を 25℃に保ちつつ、前述の種苗生産技術開発の項と同様の方法で生産を行った。生産した個体について、殻高を測定することで成長を追った。

3) 三倍体化技術開発

マガキにおいては、第一極体放出後から第二極体放出が起こるまでの 10 分間（媒精後 15 分～25 分）を 32℃の高水温かつ 10mM カフェインに曝すことで第二極体の放出を阻止し、効率的に三

倍体を作成する手法が確立されている⁷⁾。イワガキは媒精後 18 分で第一極体を放出し、24 分後に第二極体を放出することが調べられているため¹⁾、マガキと同様に、10mM カフェインを溶解した 32℃の海水に媒精後 18 分～24 分の 6 分間浸漬することで倍化处理を施した。採卵や幼生飼育等は、前述の種苗生産技術開発の項と同様の方法で行った。生産した個体について、殻高を測定することで成長を追った。

三倍体化率の検証のために、孵化後 5 日の幼生（数百個体）をカルノア液で固定後、-30℃で保管した。カルノア液を生理食塩水に置換し、バイオマッシャーにより物理的に磨砕し、超音波磨砕機により磨砕した後、40 μm のフィルターを通過させた細胞懸濁液をサンプルとした。細胞懸濁液をヨウ化プロピジウムにより染色した後、Cell Sorter SH800S（Sony）によって蛍光を検出することで、1 細胞当たりの DNA 量を測定した。

3 結果及び考察

1) 種苗生産技術開発

(1) 採卵・採精、孵化

令和 5 年 7～8 月にかけて計 3 回、採卵・採精を実施した。採卵結果を表 2 に示す。

(2) 浮遊幼生飼育

付着期幼生までの飼育結果を表 2 に示す。

表 2 採卵、浮遊幼生飼育結果

採卵 回次	採卵日	卵数 (万粒)	収容した孵化幼生数 (万個体)	収容 槽数	付着期幼生数 (万個体)	生残率	採苗槽数 (槽)
1	7/19	10,000	800	4	130	16.3%	2
2	7/27	5,000	300	2	0	0.0%	0
3	8/14	950	190	1	60	31.6%	1
合計		15,950	1,290	7	190	14.7%	3

(3) 採苗、稚貝飼育

採苗結果を表 3 に示す。3 回次産卵群の採苗率が著しく低い結果となった。この原因として、採苗前に不調であったため付着せずに斃死してしまった可能性がある。

表 3 採苗結果

採卵 回次	採苗開始日	採苗開始 日齢	供試幼生数 (万個体)	付着稚貝数 (万個体)	採苗率	沖出し日
1	8/12～8/15	24～27	130	2.56	2.0%	10/17
3	9/2	19	60	0.17	0.3%	10/17
合計			190	2.7	1.4%	

(4) 沖出し、海上飼育

付着稚貝を沖出しした後、令和 6 年 2～3 月に県内の各養殖地へイワガキ種苗を配布した。配布数を表 4 に示す。

表 4 令和 5 年度 イワガキ種苗の希望枚数と配布枚数

	希望種苗数 (枚)	配布数 (枚)	配布地点数
ホタテ	3,100	1,750	-
トレール	1,565	1,045	-
合計	4,665	2,795	29

2) 早期採卵技術開発

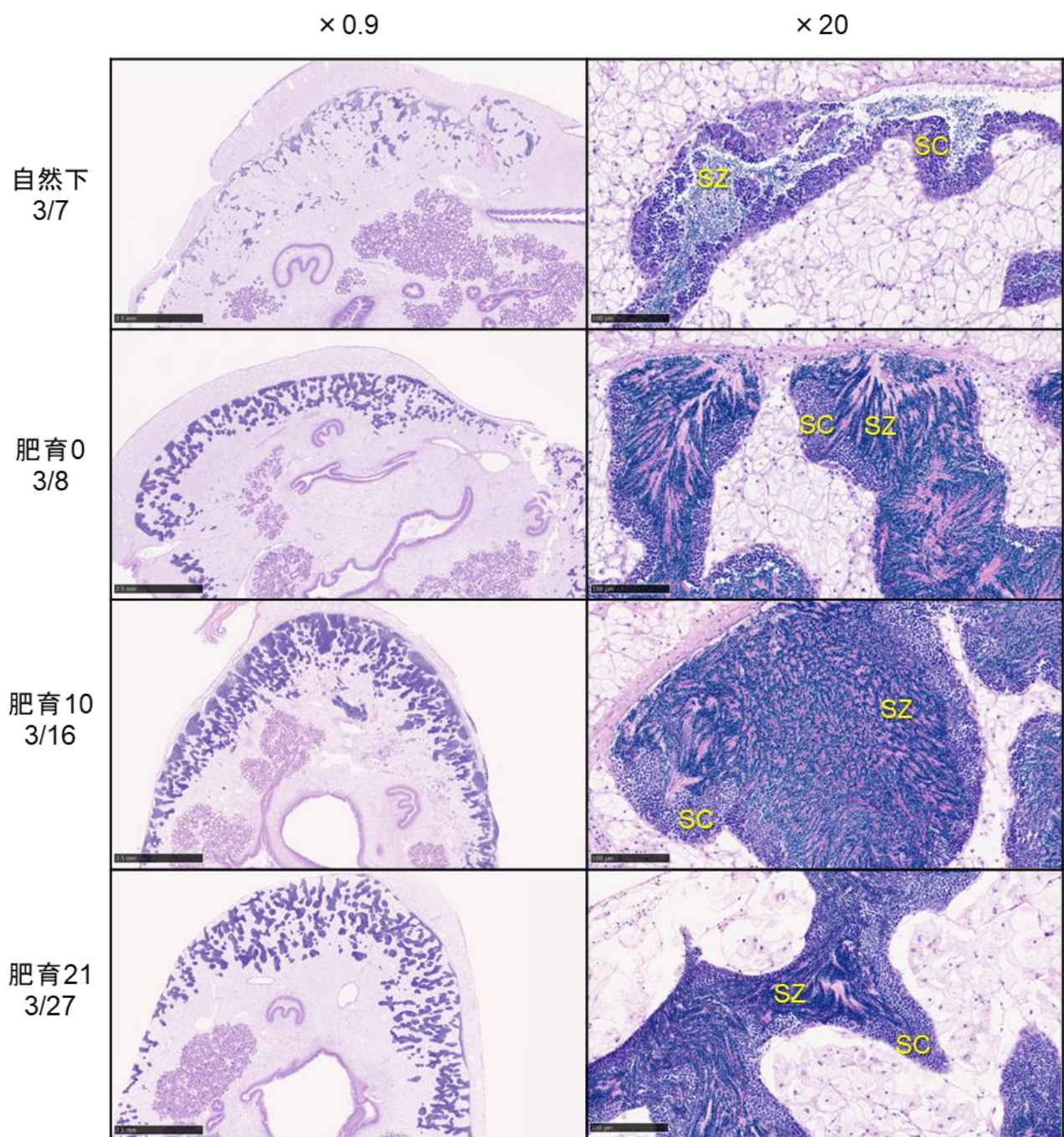
加温飼育をそれぞれ経た後の成熟度合の結果を表 5 に示す。軟体部重量や身入りに対しては、加温飼育による影響は少ないと示された。一方、GSI と輸精管や輸卵管が確認される個体の割合は、肥育期間が長いほど高くなる傾向がみられた。加えて、自然下個体にはメスと判別できる個体（卵が観察できた個体）がいなかったのだが、加温飼育を経ることでメスと判別できる個体が増加した。性比や輸精管・輸卵管の結果から、オスよりもメスの方が成熟に時間を要する可能性が示唆された。これらの個体の組織学的観察の結果を図 1、図 2 に示す。オス、メスどちらにおいても、肥育期間が長いほど、生殖細胞の密度や生殖細胞層の厚みが増す傾向がみられた。生殖細胞のステージとしては、加温飼育していない自然下個体でも精母細胞だけでなく精子が確認できたため、加温は生殖細胞の成熟ステージよりも、細胞数への影響が大きい可能性がある。

加温飼育後のイワガキから採卵を行った結果を表 6 に示す。肥育期間が長いほど 1 個体当たりの卵数は多く得られた。以上の結果から、加温飼育によって人為的に成熟が誘導されたと強く示唆された。

幼生の飼育結果と採苗結果を表 7、表 8 に示す。プラスチックボードヒーターによって水温を 25℃に保ちしながら飼育することで、3～4 月であっても通常通りの成長速度で育成できることが示された。肥育 21 日の区で幼生の生残率が低いのは、飼育中の換水頻度や手技による影響であると推測している。また、その後の平均殻高の推移を図 3 に示す。結果として、親貝の催熟によって 3 月に早期採卵し、7 月時点で配布可能サイズ（殻高 10mm 以上）の種苗を生産することができた。また、その後も通常採卵区と比較して、早期採卵区は有意に高い殻高を維持している。しかし、令和 5 年 7 月には大雨による泥水の流入によって、9 割以上の個体が死亡してしまった。サイズの小さな個体は梅雨時期の影響を受けやすいと推測されるため、安定した早期種苗生産のためには垂下水深を下げる等の対策が求められる。

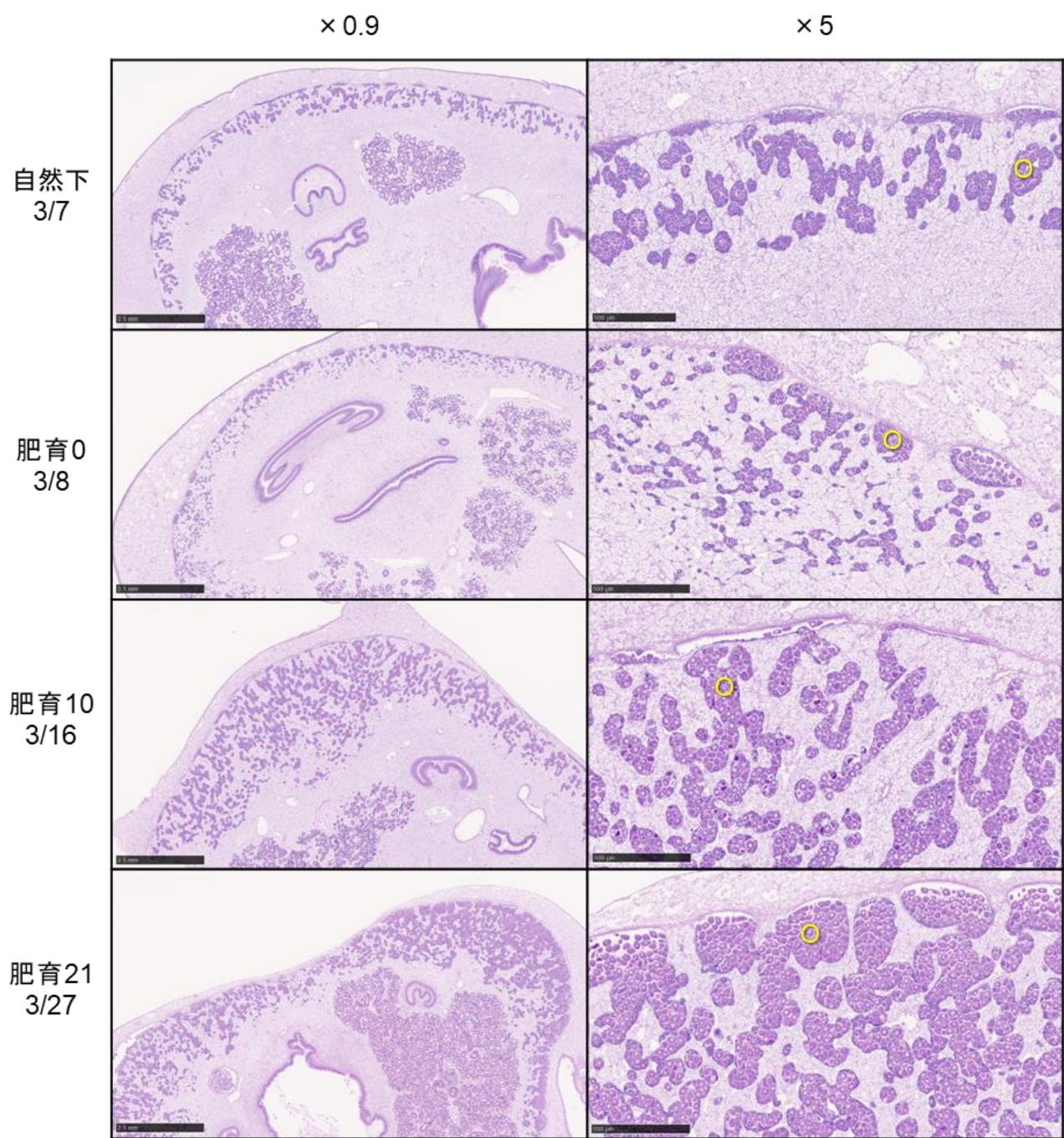
表 5 加温飼育後のイワガキの成熟度合

日付	条件	総重量 (g)	軟体部 重量(g)	身入り (%)	GSI(%)	性比 (♂ : ♀ : 不明)	輸精管 の形成(%)	輸卵管 の形成(%)
3/7	自然下	86.1	17.8	20.5%	13.8%	4 : 0 : 5	0.0%	0.0%
3/8	肥育 0+ 成熟 14	78.6	14.2	18.3%	22.6%	7 : 3 : 1	0.0%	0.0%
3/16	肥育 10+ 成熟 14	79.2	14.8	18.6%	27.9%	5 : 6 : 1	20.0%	0.0%
3/27	肥育 21+ 成熟 14	78.9	14.8	18.7%	27.5%	4 : 5 : 0	50.0%	20.0%
4/18	肥育 42+ 成熟 14	85.0	14.2	16.3%	31.8%	4 : 8 : 0	100.0%	25.0%



SC, spermatocyte(精母細胞); SZ, spermatozoa(精子); Scale bar, 2.5mm(×0.9) or 100μm(×20).

図 1 加温飼育後のイワガキの生殖腺（オス）



O, oocyte(卵母細胞); Scale bar, 2.5mm(×0.9) or 500μm(×5).

図2 加温飼育後のイワガキの生殖腺（メス）

表 6 早期採卵結果

採卵日	条件	総卵数 (万粒)	メス 1 個体当たり の卵数(万粒)	孵化幼生数 (万個体)	孵化率 (%)
3/8	肥育 0+成熟 14	115	38	65	56.5%
3/16	肥育 10+成熟 14	930	186	500	53.8%
3/27	肥育 21+成熟 14	2833	567	1780	62.8%
4/18	肥育 42+成熟 14	16019	2002	1787	11.2%

表 7 早期採卵後の浮遊幼生飼育結果

条件	収容した孵化幼生数 (万個体)	収容槽数 (槽)	付着期幼生数 (万個体)	採苗槽数 (槽)	生残率
肥育 0+成熟 14	65	1	30	1	46.2%
肥育 10+成熟 14	300	2	120	2	40.0%
肥育 21+成熟 14	300	2	55	1	18.3%

表 8 早期採卵個体の採苗結果

条件	採苗開始 日	採苗開始 日 齢	供試幼生数 (万個体)	付着稚貝数 (万個体)	採苗率	沖出し日
肥育 0+成熟 14	3/22	14	30	1.71	5.7%	4/19
肥育 10+成熟 14	4/1~4/2	16~17	120	3.47	2.9%	4/19
肥育 21+成熟 14	4/11	15	55	0.93	1.7%	4/26
計			205	6.11	3.0%	

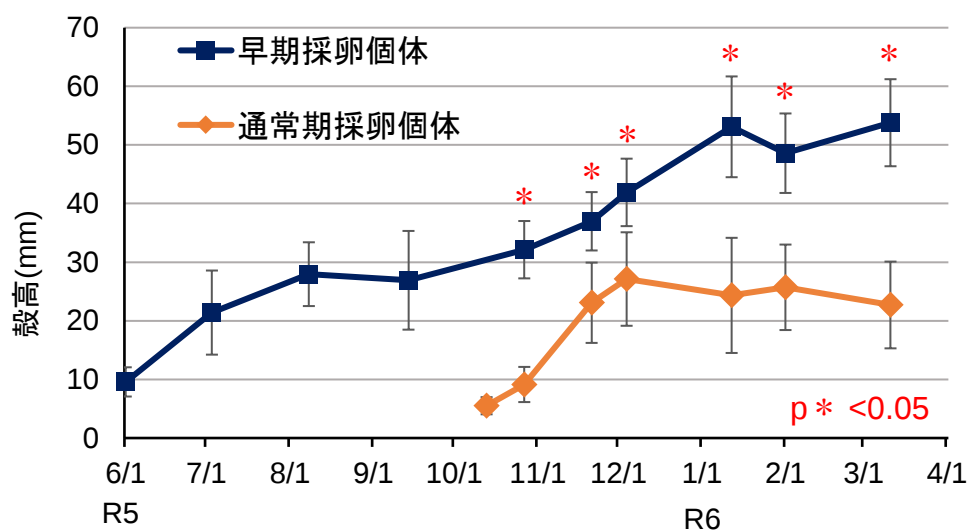


図 3 早期採卵個体の平均殻高の推移

3) 三倍体化技術開発

令和4年度に固定した、孵化後5日の幼生サンプル（数十個体分）を用いて三倍体化率の検証を行った結果を図4に示す。1細胞当たりのDNA量として、通常飼育区と比べて、三倍体化処理を施した区は約1.5倍の位置にピークを示しており、多くの細胞が三倍体化していると示唆された。よって、三倍体化処理によって三倍体を誘導することができたと推測された。

また、令和4年度に生産した⁷⁾、三倍体化処理後の個体群の平均殻高の推移を図5に示す。令和6年2月以降、三倍体化処理後の個体群が通常飼育区に比べて有意に値が高くなった。よって、三倍体化処理後の個体群は成長が早い可能性がある。

前述の種苗生産技術開発の項と同様の時期に採卵を行い、方法に記載した通り三倍体化処理を施すことで孵化幼生を得た。その後、通常期の種苗生産と同じ方法で飼育することで、三倍体化処理を施したイワガキ種苗を生産した。生産結果、採苗結果、種苗配布数について表9、10、11に示す。

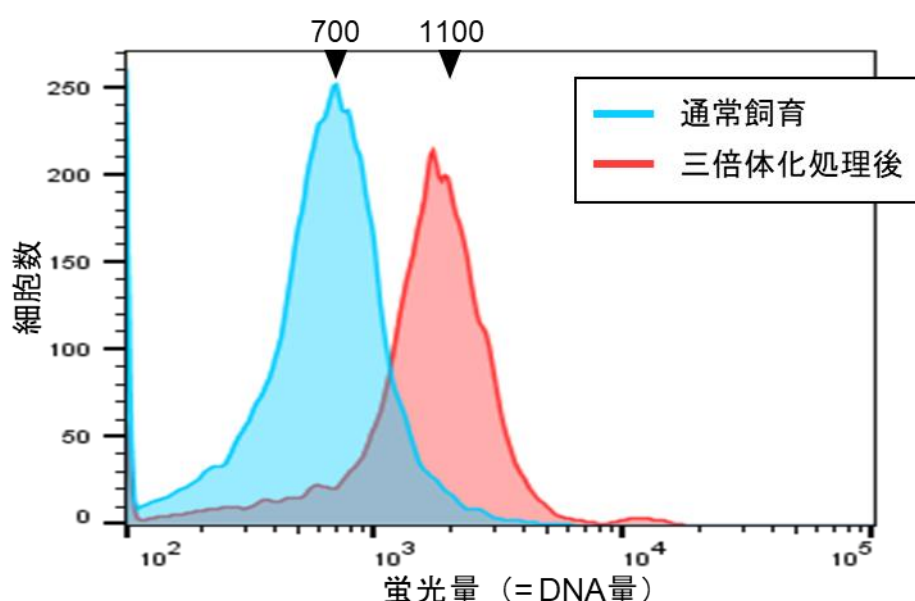


図4 フローサイトメトリーによるDNA量分析（孵化後5日幼生）

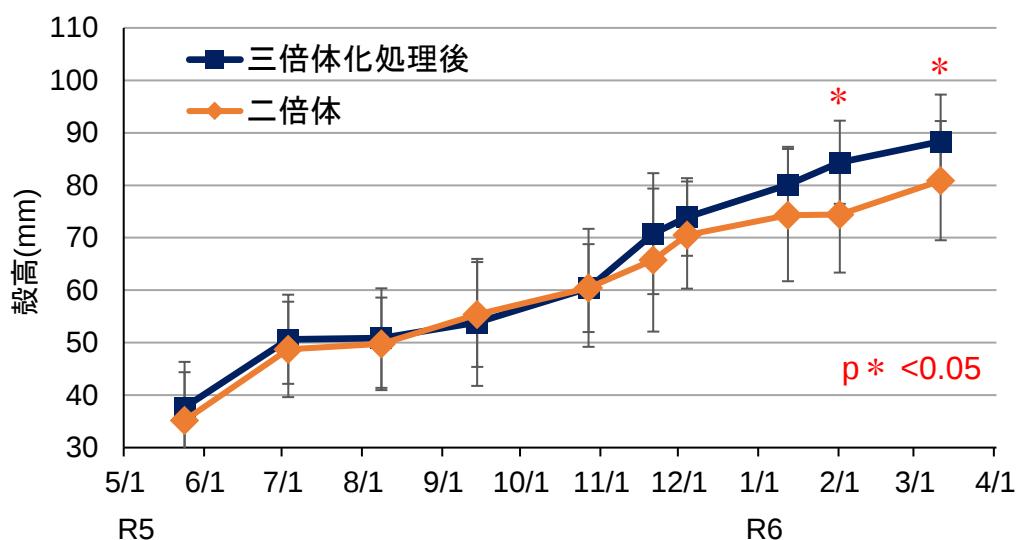


図5 三倍体化処理後の個体群の平均殻高の推移

表 9 三倍体化処理個体の採卵、浮遊幼生飼育結果

採卵 回次	採卵日	卵数 (万粒)	収容した孵化幼生数 (万個体)	収容 槽数	付着期幼生数 (万個体)	生残率	採苗槽数 (槽)
1	7/19	5,000	400	2	0	0.0%	0
2	7/27	5,000	140	1	0	0.0%	0
3	8/14	2,150	500	3	220	44.0%	3
合計		12,150	1,040	6	220	21.2%	3

表 10 三倍体化処理個体の採苗結果

採卵 回次	採苗 開始日	採苗開始 日齢	供試幼生数 (万個体)	付着稚貝数 (万個体)	採苗率	沖出し日
3	9/1～9/2	18～19	220	9.01	4.1%	10/18

表 11 令和 5 年度 三倍体化処理イワガキ種苗の希望枚数と配布枚数

	希望数 (枚)	配布数 (枚)	配布地点数
ホタテ	5,210	2,860	-
トレール	890	890	-
合計	6,100	3,750	28

4 参考文献

- 1) 森勝義 (2005) : 水産増養殖システム 3 貝類・甲殻類・ウニ類・藻類. 恒星社厚生閣
- 2) 原誠二、上奥秀樹 (2023) : イワガキ養殖技術開発. 令和 4 年度福井県水産試験場報告
- 3) 島根県水産技術センター栽培漁業部 (現: 島根県栽培漁業センター) (2009) : イワガキ種苗生産マニュアル. 種苗生産及び施設管理マニュアル
- 4) 田中雅幸, 今西 裕一, 藤原正夢 (2009) : イワガキ早期種苗生産のための親貝加温飼育の有効性 (短報). 京都府立海洋センター研究報告, 第 31 号
- 5) 道家章生、宗清正廣、辻秀二、井谷匡志 (1998) : 狭湾西部海域におけるイワガキの生殖周期. 栽培漁業技術開発研究, 第 26 巻 2 号
- 6) 高杉朋孝、松元則男、今吉雄二、小湊幸彦 (2017) : 有用介類種苗生産試験Ⅱ (イワガキ養殖試験). 平成 28 年度 鹿児島県水産技術開発センター事業報告書
- 7) 赤繁悟、楠木豊 (1996) : 人為三倍体マガキの作出条件および三倍体幼生の生残. 広島県水産試験場研究報告, 第 19 号