

出荷時の取り上げは全て手で行い、前もって計数しておき、海藻をクッションにしてコンテナに収容し、無水輸送で行った。

2 結果及び考察

ここでは、これまでの結果の概要を述べると共に、考察において平成7年度から11年度まで実施した、種苗生産から中間育成、出荷までの技術的問題と今後の対策を検討した。

1) 採卵・孵化

これまでの採卵結果は、表1に示した。採卵量は、1回800万粒～2.2億粒で、ほぼ周年にわたって、採卵した。季節毎の採卵を試みた結果でなく、天然の産卵期に合わせ、夏季から秋期に種苗生産した為に春期の事例が少ない結果となった。

採卵の多くが、口器除去法であるが、採卵の難易はあれ、周年採卵は可能なようであった。ただし天然採取個体では、1回の採卵に10個から30個体を要した。その点養成ウニでは、口器除去に抛らない誘発でも、充分量の卵が得られるので、養成の効果は大きい。

天然ウニも、産卵期には誘発で充分量の卵が得られており、新たな作業の加わる養成が必ずしも必要ではない。しかし、台風常襲地帯である当地での、安定採卵の為に天然採取と平行して、養成ウニを保持し仕立てることが必要である。加えて放流通期がまだ明らかでないので、その把握の為からも、周年採卵の態勢が必要と思われる。

親ウニ養成は、生海藻、配合飼料いずれの餌料でも養成出来たので、適宜両法を組み合わせ用いるのが可能である。

採卵は、これまで殆ど口器除去法で行ってきたが、種苗生産の不安定要因の一つに、卵質の関わりが無いかを観るため、平成11年度は全て誘発法を用いた。しかし、生産結果は両法で特に差は無かった。種苗生産には多くの要因が関わるので、結果から卵質が制限要因とはなっていないと考えられた。

口器除去と比較して誘発法は、得たいときに直ぐ卵が得られるものではないが、誘発卵は受精率、孵化率共に高い。口器除去法では、表1には示さなかったが廃棄する卵も多々あるのに対し、今の所、誘発卵ではそれがなかった。

受精率は卵質の他に媒精法とも関連し、11年度は産卵中に媒精し、いずれもほぼ100%の受精率であった。洗卵後の媒精でも100%に達するが、時には受精率が低く廃棄される例もあり、媒精は早めが安全であろう。

洗卵はこれまで主に静置・上澄換水法が行われているが、洗卵作業に時間を要していた。孵化率はネットによる洗卵でも差が無いので、作業の簡素化からはネット洗卵が優ると思われた。また誘発法で産卵水槽の汚れをサイホンで取るだけで、洗卵せずに孵化させた例もあるが、孵化への悪影響は認められなかった。

受精卵は、従来は換水後に孵化槽に収容し、30分に1回程度の攪拌を孵化まで行っていたが、卵を通気攪拌しても、悪影響は認められなかった。

加えて受精前からの早期攪拌でも悪影響は無く、手法の簡便さから通気攪拌で十分と判断される。ポリカーボネート水槽などへの通気は、エアーストーンでの攪拌よりはパイプで横長の通気(パイプ通気)とした方が攪拌効率は高い。

表 1 採卵概要

年 度	年 ・ 月 ・ 日	使 用 ウ ニ	餌 料	採 卵 法	採 卵 雌	採 卵 数 (万)	使 用 卵 数 (万)	受 精 率 (%)	洗 卵	孵 化 法	孵 化 数 (万)	孵 化 率 (%)
7	7, 7, 10	人工種苗 6年5月11日採卵	天然海藻	誘発	1	2280	2280		静置換水	微通気	1888	83
	7, 8, 21	人工種苗 6年11月16日採卵	配合餌料 天然海藻	口器除去 誘発	6 1	4260 60	4260 60		静置換水	微通気	4260 60	100 100
	7, 12, 5	人工種苗 6年5月11日採卵	配合飼料	口器除去 誘発	5 3	4960 2000	4960 400		静置換水	微通気	5456 350	83 85
8	8, 7, 17	天然採取 8年2月7日採取	配合餌料 天然海藻	口器除去	6	9164	5944	83	静置換水 一部ネット	回転翼 通気	4957	83
	8, 11, 28	天然採取 8年2月7日採取	配合餌料 天然海藻	口器除去	3	5670	4440	100	ネット洗卵	回転翼 通気	4440	100
9	9, 8, 5	天然採取 9年7月中旬採取	天然海藻	口器除去	2	5769	4500	87	ネット洗卵	回転翼 通気	3440	87
10	10, 6, 22	天然採取		口器除去	2	2197	2197	89	静置換水	通気	1911	87
	10, 8, 25	天然採取		口器除去	3	2553	2553	98	静置換水	通気	2502	98
	10, 9, 1	天然採取		口器除去	2	805	805	100	静置換水	通気	757	94
	10, 10, 14	天然採取		口器除去	3	3857	3857	97	静置換水	通気	3819	99
	10, 11, 10	天然採取		口器除去	4	5990	5990	95	静置換水	通気	5913	99
	11, 2, 3	人工種苗 6年2月3日採卵	天然海藻	誘発	5	18850	2870	100	ネット洗卵	パイプ通気	2870	100
11	11, 5, 21	天然採取		誘発	3	5381	1609	100	ネット洗卵	パイプ通気	1609	100
	11, 7, 9	天然採取		誘発	2	800	800	100	ネット洗卵	パイプ通気	782	98
	11, 10, 18	天然採取 5月21日、7月8日	天然海藻	誘発	14?	21944	5000	100	ネット洗卵	パイプ通気	5000	100
	12, 2, 16	人工種苗 6年2月3日採卵	天然海藻	誘発	2+	4450	450	100	ネット洗卵	パイプ通気	450	100

2) 浮遊幼生飼育

飼育の概要は表2に示した。途中で廃棄される回次から、50%以上が八腕後期に達する回次まで大きく変動し、幼生飼育は、未だ不安定である。

これまでの結果から幼生を水槽底に沈殿させてしまうと、生産数が少なくなり、飼育水の攪拌が必要と推察される。以前はエアーストーンでの通気攪拌で殆ど生産されなく、回転翼飼育である程度の生産が可能となった。これを証明するのが10年度で、回転翼が故障し、大部分をエアーストーンでの攪拌としたため、生産数は僅かであった。

11年度はパイプ通気法を施したところ、エアーでの攪拌でも生産され、通気による攪拌でも不適當では無いことが証明された。回転翼でも、パイプ通気でも、水槽底の攪拌効率を高め、幼生が水槽底へ沈殿することを防いでいると考えられる。ただし現時点では幼生の沈殿が、なぜ死亡に結びつくのかの理由は不明である。

表2 幼生飼育概要

年度	回次	開始日 月,日	使用水槽	幼生数 万/槽	飼育法	室温 ℃	餌料 *	投餌量 千/ml	換水法	換水率
7	1	7,11	0.5t2槽 1t1槽	21,36 22	回転翼 回転翼	常温 25~27	濃縮キート 濃縮キート	1~15 1~15	ストレーナー	2~3日毎 50~100%
	2	8,22	1t10槽	30-40	回転翼	25~27	濃縮キート	1~15	ストレーナー	毎日 20~40%
	3	12,6	1t10槽	20-100	回転翼	25~27	濃縮キート	1~15	ストレーナー	毎日 20~40%
8	1	7,18	1t10槽	20-57	回転翼	常温	キート	1~6	タモ方式	2~3日毎 40%
	2	11,29	1t4槽	40-80	回転翼	常温	キート	1~10	タモ方式	2~3日毎 40%
9	1	8,6	1t10槽	35-75	回転翼	常温	キート	1~10	タモ方式	2日毎 40~50%
10	1	6,23	1t10槽	135	3個 回転翼	常温	キート	1~20	タモ方式	2~3日毎 40~50%
	2	8,28	1t7槽	90	2個 回転翼	常温	キート	1~20	タモ方式	2~3日毎 40~50%
	3	9,2	1t7槽	48	3個 回転翼	常温	キート	1~20	タモ方式	2~3日毎 40~50%
	4	10,15	1t8槽 アルテミア槽2	103	4個 回転翼	常温	キート	1~20	タモ方式	2~3日毎 40~50%
	5	11,10	1t4槽	76	2個 回転翼	常温	キート	1~20	タモ方式	2~3日毎 40~50%
	6	2,5	1t3槽 アルテミア槽2	70	3個 回転翼	常温	キート	1~20	タモ方式	2~3日毎 40~50%
11	1	5,23	1t9槽	66-106	2個 回転翼	常温	キート 一部ドーナ	1~10	タモ方式	主に2日毎 50%
	2	7,10	1t6槽 0.5t4槽	60-80	2個 回転翼	常温	キート 一部ドーナ	2~20	タモ方式	主に2日毎 50%
	3	10,19	1t20槽	40-80	2個 回転翼	常温	キート 一部ドーナ	6~45	タモ方式	主に2日毎 50%
年度	回次	開始日 月,日	遮光	変態誘発	飼育日数	幼生数 万個体	八腕後期 万個体	後期率 %	稚ウニ数 万個体	採苗率 %
7	1	7,11	晴天5万lx	塩化カリ	23~31 23~31	179	6.4	3.5	3.2	50
	2	8,22	50lx以下	塩化カリ	25~30	306	104.3	34	91.8	88
	3	12,6	50lx以下		14~20	771	0	0		
8	1	7,18	50lx以下	塩化カリ チロキシシ	29~30	459	265.3	57.7	28.4	10.7
	2	11,29	50lx以下	塩化カリ チロキシシ	32	220	59	26.8	1.1	1.8
9	1	8,6	50lx以下	塩化カリ	34~38	463	152.7	32.9	137	89.7
10	1	6,23	50lx以下		28	1350	9	0.6	—	—
	2	8,28	50lx以下		29	1350	9	1.4	—	—
	3	9,2	50lx以下		28	336	18	5.3	—	—
	4	10,15	50lx以下		40	1030	12	1.1	—	—
	5	11,10	50lx以下		43	304	4	1.3	—	—
	6	2,5	50lx以下		49	350	0.1	0.02	—	—
11	1	5,23	20~200lx	一部・海藻	27~48	597	81.8	13.6	—	—
	2	7,10	20~200lx	一部・海藻 チロキシシ	39~63	560	77.1	13.7	50+	64.8+
	3	10,19	20~200lx	一部 チロキシシ	50	1043	—	—	7	—

* キート: *Chaetoceros gracilis* ドーナ: *Dunaliella tertiolecta*

餌料藻の *Chaetoceros* は、濃縮洗浄したもので、培養液を含めて投入したもので幼生の生残率に差が認められない。投餌密度は殆どが初期は ml 当たり千細胞で、後半は1万から2万細胞となっている。八腕後期では明らかに投餌密度の高い回次は生残率が低い傾向を示している。

槽内の餌料密度は、投餌量だけでなく、換水率や、照度、或いは幼生密度等で変化し綿密な比較は行えないが、8年度1回次は後期幼生に達する割合が57.7%と最も高く、その投餌密度は最高でも ml 当たり6千細胞であった。一方投餌密度が2万細胞に達した回次は殆どが生産不能と成っている。

幼生の減耗には幾つかのパターンが観られるが、大きく分けて、長期間の内に、徐々に緩慢に減耗するのと、早ければ1日で全滅する急減とがある。この両パターンは、幼生期の全ステージを通して起こっている。10年度の1回次は13日目に大量減耗があり、11年度の3回次にも9日目には全滅した水槽がある等、初期の大量減耗が時折生じている。しかし無投餌でも幼生は1~2週間以上は生存するので、これらの死亡が飢餓の為とは考えにくく、違いは投餌をしたか否かであり、死亡は投餌によって引き起こされたと考えられる。

勿論疾病の可能性もあるが、このような急減や高餌料密度での死亡等を考え合わせると、現在餌料としている *Chaetoceros* に原因があると推測される。だがこれまでも *Chaetoceros* で生産が行われていることから、餌料価の不足は考え難い。そこで何らかの有害作用を及ぼす物質・要素の存在が疑われる。幼生の沈殿は、シラヒゲウニ幼生が本来持っている習性とは考え難く、幼生の活力不足により結果的に沈殿するものであろう。この活力不足も、餌料藻の害作用に起因するものと推察される。

この原因の究明は今後の課題であり、当面の対策は餌料密度を下げることで考えられ、餌料密度は飼育後半でも、高くても ml 当たり1.5万細胞以下にするのが無難であろうと思われる。

11年度は、これまでと種々手法を変えてあり、生産された1、2回次の結果を表3に示した。また表4には各年度の生産概要を示した。表2から八腕後期に達したのは、7年度3回次の0%から、最も高いので8年度2回次の57.7%である。これ等の回次の中には前述の要因分もあろうが、幼生死亡のもう一方のパターンである、緩慢な減少分では、幼生の初期成長が悪い事例が多い。

これらをよく観察すると、水槽中に十分に餌料藻があるにも拘わらず、胃内容物は乏しく摂餌不良の状態が見られる。顕微鏡下では、口の入り口付近に珪藻が多数絡まり、胃への取り込みが妨げられているのが観察される。餌料の取り込み不足が、幼生の活力等に原因があるのか、或いは珪藻等の形状など餌料藻に原因があるのかは明らかではない。しかし、同一卵からの幼生でも、生残率が大きく異なることから、大半は後者に起因すると推察される。

初期の餌料取り込み不良対策は、摂餌しやすい藻類の併用で、ある程度の改善は可能であろうと考えた。表3の11年度の1回次の1t-3, 5, 8, 9槽、2回次の1t-1, 3, 6槽は初期に *Dunaliella* を併用給餌した。11年度の初期発育は、*Chaetoceros* 単独給餌区より *Dunaliella* 併用区が揃っていた。11年度の試験では、濃縮ナンノクロロプシス、海洋酵母、生クロレラ V12 を単独給餌した水槽では殆ど成長せず2~3週間で死亡した。また *Dunaliella* で八腕期に達する個体はあったが、又棘形成には到らなかった。

これまでに当地で餌料価値の認められたのは、珪藻以外では、*Dunaliella* の他に、*Pavulova lutheri*、当地で分離した鞭毛藻の一種（未同定）があり、広い意味での鞭毛藻類であった。いずれも、それのみでは稚ウニまでは成長し得ないが、飼育の初期の併用餌料としては使用可能であろう。

表3 11年採苗・取り上げ概要 *

1 回 次	1 t 槽 No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
	収容数・万	74	85	53	69	74	53	75	58	56	
	屋外槽 No.	2.75t-1	2.75t-2	2.75t-3	2.75t-4	2.75t-5	2.75t-6	2.75t-7	2.75t-8	2.75t-9	
	収容数・万	9.8	10	22	20.3	20.1	15	25	15	4.5	
	叉棘個体数・万	8.7	10	6	13.3	12.3	8	11	8	5	
	収容日	6, 18	6, 21	6, 22	6, 23	6, 23	6, 24	7, 4	7, 4	7, 9	
	幼生状態	2万個体 変態可	底に変態 態中多	底に変態 態中多	管足 8.6万	叉棘個 体のみ	管足 4 万	一部稚 ウニ	一部稚 ウニ	全 稚 ウニ	
	取り上げ日	8/23-26	9/16	9/7	9/20		9/3	9/8	9/20	9/21	
	取り上げ数	11488	3948	1897	5672	0	110	3335	7514	18105	
	2 回 次	1 t 槽 No.	1	1	2	2	3	3	4	5	6
収容数・万		60	60	80	80	60	60	60	80	60	60+
屋外槽 No.		2.75t-1	2.75t-2	2.75t-3	2.75t-4	2.75t-5	4t-1	2.75t-6	4t-2	4t-3	4t-4
収容数・万		4.3	4.3	7.5	7.5	8.4	8.4	2.6	2.8	17.6	13.7
収容日		8, 17	8, 17	8, 18	8, 18	8, 27	8, 27	8, 27	8, 27	9, 10	9, 10
幼生状態		稚ウニ 管足半	稚ウニ 管足半々	殆ど 稚ウニ	殆ど 稚ウニ	稚ウニ 3.2万	稚ウニ 3.2万	稚ウニ 1万	稚ウニ 0.7万	殆ど 稚ウニ	殆ど 稚ウニ
取り上げ日		9/27- 11/16	10/14- 12/4	9/27- 11/16	10/14- 12/4	10/9- 11/17	11/9- 11/15	11/9- 11/15	11/17	11/19	11/19
取り上げ数		15740	5383	10181	11796	3736	2978	4582	363	400	240

*3・4回次を除く

稚ウニ変態前の八腕後期幼生にも、叉棘を形成し、発育の進んだ個体から順次死亡していく特徴的な死亡が観察される。その一因として、採苗時に塩化カリやチロキシンの使用で変態率が高まることから、変態ホルモンの不足が考えられる。これらは餌料から取り込まれるとされており、当面は給餌密度を高めると共に、害作用が出ないよう換水率を高める等の対策を試みる必要がある。これらの薬品について、使用結果から未だ疑問が有り、使用方法は今後さらに検討が必要と考えている。

3) 採苗・稚ウニ飼育

採苗は、附着珪藻を増殖させた屋外槽に八腕後期幼生を移す方法が主であるが、平成11年度には一部、幼生飼育槽でそのまま変態させ、稚ウニを屋外槽に移した。表4に各年度の生産結果概要を示した。八腕後期幼生から稚ウニへの変態率でみると塩化カリウムやチロキシンの変態誘因がかなり効果を上げている。しかし稚ウニから第1回剥離数をみると、変態数の割には剥離数はかなり少ない。

11年度の飼育槽内変態の1回次の好事例1t-9では、5万個体の八腕後期幼生から、海藻での誘発で4.5万個体の変態稚ウニが得られ、18,105個体の剥離個体を得た。率にすると変態率90%、剥離率40.2%であった。一方チロキシンの用いた2回次の1t-6・8の事例では、28.8万個体の稚ウニ収容に対し、台風来襲の被害もあったが、取り上げは640個体（一部他水槽分を含む）に止まった。チロキシン等の用い方は未だ今後の検討課題であるが、強制的な変態誘発では、十分な体制とはなり得ず、その後の生残に悪影響があると推察される。

11年度の幼生飼育槽内変態は、一つには、生育差の大きい幼生を順次変態させ、トータル変態率を高めるのを試みたものである。チロキシン処理において、未だ十分に発育してない幼生は稚ウニに変わらず、突起部が無くなり、全体に丸みを帯びた形状に変わる。強制的な一斉変態は十分に生育した幼生には、ある程度の変態幅を広げることになるが、その他の幼生にはむしろ害を及ぼすと考えられる。採苗には発育差を考慮した手法が必要であろう。

稚ウニ飼育期間中では、これまでも大雨や台風の後には死亡が目立った。11年度には9月22～23日の台風18号の後、2～3日間注水の濁りがとれず、その後一週間ほどで大量に死亡した。死亡数は最も多い水槽で、5万個体程度と見積もられた。11年度の稚ウニ水槽は2.75t槽は屋根付きであるが、4t槽は露天であった。死亡原因は飼育水の低塩分化や泥の混入が原因と推察される。

4) 中間育成・出荷

表4に第1回目剥離数、最終取り上げ数を示した。第一回剥離後に、再度稚ウニ飼育槽に戻すものや、中間育成まで一貫して同じ水槽で行ったものもあり、一概に比較は出来ないが、中間育成での生残率は概ね22%～78%であった。

剥離は直接手による方法と、塩化カリを用いる方法があり、生残率が最も高かったのは9年度の、塩化カリによる剥離であった。しかし11年の手による剥離は、8年の塩化カリの剥離より生残率は高く、このことから剥離手法よりもウニのサイズや中間育成の管理等の影響が大きいと考えられる。

中間育成では、時折大量斃死が起こった。7年度には、81、540個体を24籠で中間育成を行ったが、不稔性アナアオサを給餌した1槽が全滅するなど、最終取り上げは21、000個に止まった。10年には出荷用に取り上げ一時ストックした籠で2～3日で大量斃死が起こり1.5万個体から5千個体余に減じた。11年度にも5千個体収容の籠で、3日間で千個体に減ずるなどがあった。

これらには、取り扱いのダメージもあろうが、海藻毎移し、殆どダメージが無いと思われる場合も起こっている。これまでの傾向として、大量死は飼育籠に多量に海藻が入っている場合、及び水槽底に著しく残餌や排泄物が堆積している場合に認められている。海藻では痛んだ海藻やアオサを投餌したときに死亡が多い。

これらの現象から海藻が多過ぎて、籠内の水通しが悪くなり、酸欠を招いた可能性が高く、特にアナアオサはその形状から水通しを妨げやすいと考えられた。また水槽底の汚れは、酸素を消費し、さらに有毒な硫化水素を発生させたと考えられる。対策として中間育成では、海藻量を抑え、通気・通水を良くし、水槽の汚れは早めに取り除く必要がある。

中間育成は、8～9年度に海上生け簀での育成と、9年度には配合餌料での育成も行われた。8年度の海上飼育は殻径6.3mmから21.6mmまでで生残率12.8%、9年度は6.9mmから8.6mmまでで53.5%であったので、生け簀も工夫によって養成可能であると判断された。加えて9年度の配合餌料飼育では、6.9mmから11mm余までで、籠飼育は5.3%の生残率であったが、水槽飼育では67.3%であり、配合餌料での養成も可能であることが判明した。

これまでの試験結果では、中間育成の餌料藻としてはヒジキが最も優れているが、生産期が冬場の一時期に限られ、生産量も極めて少ない。次いでホンダワラ類が挙げられるが、季節により生産量にむらがあり供給出来ないことも多い。又現在のウニ生産数でもそれに供給する海藻類の入手に難があり、今後のウニ量産を賄う程の生育は望めない。また配合餌料の使用も可能であるが、頻繁な水槽掃除が必要となり、餌料コストも高い。これらの打開策の一つとして、稚ウニ飼育槽でそのまま放流サイズまで養成することが考えられる。

稚ウニ飼育槽で引き続き養成した9年度の4t槽(6㎡)7槽では、殻径9.3mmで4.38万個体を取り上げ、生産密度は0.5千個体/㎡～3.8千個体/㎡で平均1.3千個体/㎡であった。これからすると、殻径10mmであれば、飼育密度を千個体/㎡程度に下げることにより、槽内で発生する餌料に少量の追加を行うだけでも生産は可能と思われる。

出荷は、無水で海藻と共に行ったが、特に悪影響は認められなかった。しかし出来るだけ平面的な収容とした為、かなり多くの容器を要したので、今後本格的な大量輸送にはさらに工夫が必要である。

表4 種苗生産結果(平成7年~11年)

年度	7	8	9	10	11 *
幼生飼育方法	回転翼	回転翼	回転翼	一部回転翼 エアストーン	パイプ通気 一部回転翼
① 幼生数・万	1256	679	464	4000	2200
② 八腕後期・万	108	324	153	54	166
③ 稚ウニ・万	95	43.2	137	-	69.7
変態誘発法	塩化カリ	塩化カリ チロキシン	塩化カリ	一部塩化カリ	一部海藻 一部チロキシン
④ 第一回剥離・万	11.5	17.1	9.9	1.2	10.7
⑤ 取り上げ数・万	3.76	6.35	7.72	0.27	5.57
後期幼生率 ②/①%	8.5	47.7	32.9	1.3	7.5
稚ウニ変態率 ③/②%	87.9	13.3	89.5	-	41.9
第1回剥離率 ④/③%	12.1	39.5	7.2	-	15.3
最終取り上げ率 ⑤/①%	0.29	0.93	1.66	0.006	0.25

*11年度は暫定値