

効率のよいクルマエビ種苗の中間育成方法について

池脇 義弘 *

Method to improve efficiency for intermediate stage rearing of Kuruma prawn (*Penaeus japonicus*) juveniles

Yoshihiro IKEWAKI *

Rearing experiments were done to improve the intermediate rearing method of Kuruma prawn juveniles. The accommodation density of juveniles was changed to four levels in this experiment. The growth and survival rate were compared between the four rearing tanks. No difference of growth was observed between the rearing tanks. But the survival rates of prawn juveniles were remarkably different associated with rearing density. The higher the accommodation density of juveniles, the lower the survival rate. The decline of survival rate, which follows the mortality of juveniles, was considered to be caused by the accumulation of carcasses of prawn juveniles, leftovers and molts. The maximum permissible accommodation of prawn juveniles was estimated to be about 1kg per m², and it was considered that it became easy for the mortality to happen when the rearing density of juveniles was exceeded this value. So the improvement method in which two times of thinning out are carried out was designed to maintain the accommodation of prawn juveniles under permissible value. This method was thought to be useful for increase in number of juveniles released and the risk diffusion as to the sea ranching of Kuruma prawn.

Key words: Intermediate stage rearing 中間育成 ; Juvenile 種苗 ; *Penaeus japonicus* クルマエビ ; Rearing density 飼育密度

徳島県においてクルマエビ *Penaeus japonicus* の種苗放流は1964年から実施され、本種は栽培漁業の取り組みをもっとも古くからおこなってきた種である。

クルマエビ種苗生産では、種苗生産水槽で効率的に種苗を育成できる限界は全長十数mmとされており、この段階ではまだ潜砂能力を獲得していない。放流後の生残率を向上させるためには、潜砂能力を獲得する体長25～30mmサイズになるまで中間育成するのがよいとされている(倉田1979, 安永1986)。中間育成時における種苗の成長率および生残率を高めることは、種苗放流をより効率的におこなうために非常に重要であるが、徳島県における中間育成時種苗の生残率は非常に低く、20日間程度の育成期間の生残率が10%以下という例も少なくない(徳島県水産課調べ)。

一方で、種苗放流を継続的に実施しているにもかかわらず、最近20年間は本県のクルマエビ漁獲量は減少傾向にあり、農林統計によると1985年に67トンあった漁獲量は2003年には9トンに落ち込んでいる。

このような現状において、クルマエビの中間育成をより効率的に実施することが急務である。本研究は、中間育成の成績を明確に把握しやすい陸上水槽飼育において、より効果的なクルマエビ種苗の中間育成方法を明らかにすることを目的に実施した。中間育成の成績を左右すると思われる要因は多数考えられるが、今回は収容時の密

度に注目し、様々な収容密度でクルマエビ種苗の中間育成試験を実施し、それぞれの条件下での種苗の成長、生残等を比較した。加えて、試験結果から種苗を間引き放流しながら中間育成する方法を検討した。

材料と方法

中間育成試験は、2002年および2003年に徳島県立農林水産総合技術センター水産研究所鳴門分場において、屋内コンクリート製角形水槽(底面2×5m, 水深約0.8m)2面を用いておこなった。飼育水には、UV殺菌海水を使用し、おおよそ5～8回転/日の換水率になるように注水したが、とくに水温調整はせずに自然水温とした。

種苗は、2002年は(財)ひょうご豊かな海づくり協会、2003年は(財)徳島県水産振興公害対策基金加島事業場で生産されたものを用いた。収容時の平均体長はそれぞれ17.4mmおよび15.5mmであった。

育成開始時の収容密度は、2002年は徳島県において、クルマエビ種苗を陸上水槽で中間育成する時の基準としている密度(おおよそ5,000尾/m²)の前後とした。また、2003年試験の収容密度は、2002年試験の半分の収容密度の試験区と、2002年試験終了時の飼育尾数(生残尾数)の試験区の2段階を設定した。実際には、2003年に確保できた供試エビ尾数が予定より少なかったため、前者の試験区を約2,400尾/m²、後者の区をその約2.5分の1の約1,000尾/m²とし、それぞれを「高密度区」および「低密度区」

* 徳島県立農林水産総合技術センター水産研究所 (Fisheries Research Institute, Tokushima Agriculture, Forestry, and Fisheries Technology Center, Hiwasa, Kaifu, Tokushima 779 - 2304, Japan)

Table 1 The summary of the rearing experiments.

Year	2002		2003	
	Tank 1	Tank 2	High Density	Low density
Tank name				
Date of the experiment started	2002/7/26		2003/7/25	
Rearing periods	42		46	
Initial mean body length of prawn juveniles (mm)	17.4		15.5	
No. of individuals accommodated	58,700	43,400	24,400	9,800
Initial density of juveniles (/m ²)	5,870	4,340	2,440	980
Removed number of juveniles for thinning out	5,100	4,000		
Mean body length at the termination of experiment (mm)	41.8	40.9	40.5	43.5
Mean body weight at the termination of experiment (g)	0.98	0.95	0.92	1.11
Total weight of prawn juveniles survived (kg)	11.5	10.3	7.4	9.2
Estimated No. of individuals survived	11,700	10,800	8,100	8,200
Final density of juveniles (/m ²)	1,170	1,080	810	820
Survival rate (%)	21.8*	27.4*	33.2	83.7

* Individuals removed for thinning out were excluded from initial accommodated number in this calculation.

と呼ぶこととした。以上の飼育条件の概要を Table 1 に示した。

餌は配合餌料を用い、粒の大きさは、実際の中間育成で使用しているものに準じた。給餌方法については、まず 2002 年の試験が標識放流用の種苗の育成を本来の目的としており、できるだけ大型の種苗を数多く確保する必要性から、飽食状態に近いが飼育環境を悪化させる残餌の発生をできるだけ抑えられる環境を実現させるために、次のような条件を設定した。

- (1) 試験開始時は種苗の収容総重量の約 10% を朝 (9 時頃)、昼 (12 時頃)、夕方 (16 時頃) の 3 回に分けて与え、以後、種苗の成長にあわせて徐々にその量を増やす。
- (2) 夜行性への移行期に入る体長 25 ~ 30 mm 以上 (安永 1986) では、次第に夕方の給餌比率を増加させる。
- (3) 残餌がみられたときは、次の給餌量を減らすか給餌の 1 回休止を実施する。以後、残餌が全くみられなくなるまで給餌量は現状維持か、あるいは、残餌発生が治まらないときは減らす。
- (4) 大量斃死がみられたときは、斃死が止まるまで餌止めを実施する。

また、飼育標識放流用種苗として輸送するため、2002 年試験のみ試験終了前 2 日間は餌止めした。

2003 年の試験も上記の給餌条件を基本とした。ただし、大量斃死や水槽間に顕著な成長の違いがみられないかぎり、高密度区の給餌量は低密度区の 2.5 倍与えることとした。そして、どちらかの区で残餌がみられたときは、その試験区の給餌量を基準として、他方の区を調整した。

飼育期間中は種苗の体長を定期的に測定し、平均体長 40 mm に達した時点で試験を終了した。2002 年の試験では育成種苗を標識放流したので、1 尾ずつ計数して求められた放流尾数と (尾肢切除) 標識ができなかった小型種苗の推定尾数 (平均重量と総重量の比から計算) を加算する

方法で、試験終了時の生残尾数を求めた。また、2003 年の試験では、試験終了時に生残した種苗の総重量を測定し、平均体重 (取り上げ時に無作為に抽出した約 400 尾の平均体重) で除算することにより、終了時の生残尾数を推定した。

なお、今回の試験は、育成開始時の収容密度以外の飼育条件をできるだけ揃えるよう努めたが、前述のように 2002 年の試験には標識放流用種苗の育成という目的があり、コンクリート水槽飼育のクルマエビ種苗でみられる歩脚欠損を防ぐために、試験的に Tank 1 のみ放流前のおよそ 1 週間 (試験開始後 36 日目から) アンスラサイトを敷

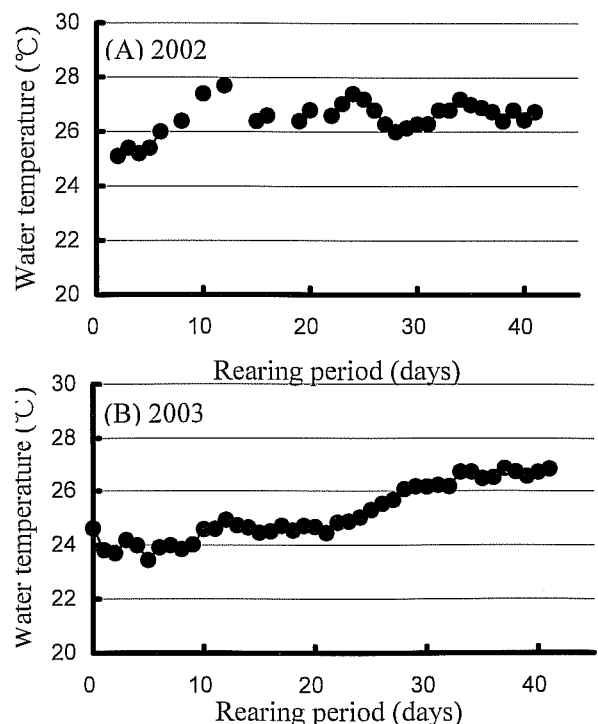


Fig. 1 Changes in water temperature of rearing tanks at 10:00 A.M. (A) The experiment in 2002, (B) The experiment in 2003.

いて飼育した。これには歩脚欠損防除以外の目的はなく、実際にこの期間の育成状況から判断すると、本研究の調査目的である生残や成長への影響はほとんどなかったと推察されたので、以下の結果と考察はこのことを考慮せずに記述した。

結果

それぞれの年の試験における、飼育水温の変化を Fig. 1 に示した。2002 年試験では、試験開始から試験開始後 10 日目(以下、10 日目と略記する)の間に 25 ~ 28 °C まで水温が急上昇したが、それ以降はおおむね 26 ~ 27 °C で推移した。一方、2003 年試験では、試験開始時の水温は 24 °C 前後であったが、以降は比較的なだらかに上昇し、終了時には 26 ~ 27 °C に達した。

また、日間給餌量の変化を Fig. 2 に示した。2002 年の試験では 16 日目まで順調に増加させることができたが、それ以降は残餌と残餌に混じって、若干の斃死個体も確認されたので、給餌量はほぼ横ばいの変化となった。また、32 日目に給餌量を減らしたのは、各水槽から数千尾ずつ間引いた (Table 1) ためである。これは、30 日目頃から、脱皮殻が大量に発生し、それが残餌や斃死個体とともに何力所かに集積して溜まり、水質悪化(水の濁り)が見られたために実施した。2003 年試験では給餌量を増加させてゆくと高密度区に残餌が増加する傾向がみられたので、給餌量の増加は緩やかで、20 日目でも 1 日目の 2 倍程度にとどまった (Fig. 2)。20 日目から残餌がみられなくなったので、開始後 25 日目から給餌量を増加させた。増加させた直後は、残餌の発生はみられなかった (Photo. 1) が、28 日目から高密度区に残餌と斃死がみられ、30、31 日目に

大量の残餌と斃死がみられた (Photo. 2)。31 日目に高密度区の餌止めを実施したところ、速やかに斃死が止まったので 32 日目に給餌を再開したが、翌日に再び大量斃死がみられた。その結果、両区の収容密度に見た目では差がわからないほど高密度区の収容尾数が減少した。そこで、33 日目に高密度区で再度の餌止めをおこなった後、34 日目からは高密度区の給餌量は低密度区と同じにした (Fig. 2)。なお、低密度区でも 43 日目以降にまとまった数の斃死個体がみられたりしたが、いずれの区でも斃死個体の共喰いが激しく、斃死尾数を数えることはできなかった。

体長測定の結果は、Fig. 3, 4 に示した。2002 年の試験は放流用種苗の育成という当初の目的の関係で、試験期間前半は、片方の水槽 (Tank 1) の体長のみを測定していた。いずれの試験区でも、種苗の平均体長は開始時に十数 mm であったが、20 日目に約 25 mm (2002 年試験の Tank 2 は未計測)、四十数日目には約 40 mm に達していた。

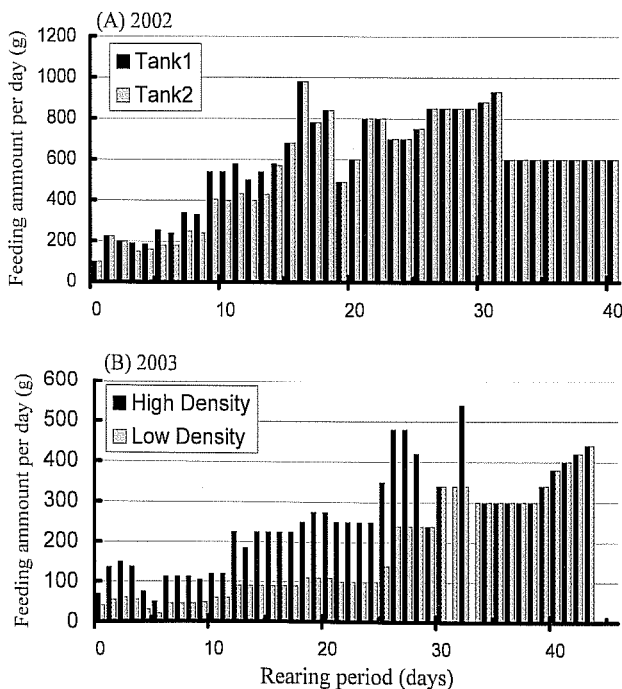


Fig. 2 Change in daily feeding amount of each tank. (A) The experiment in 2002, (B) The experiment in 2003.

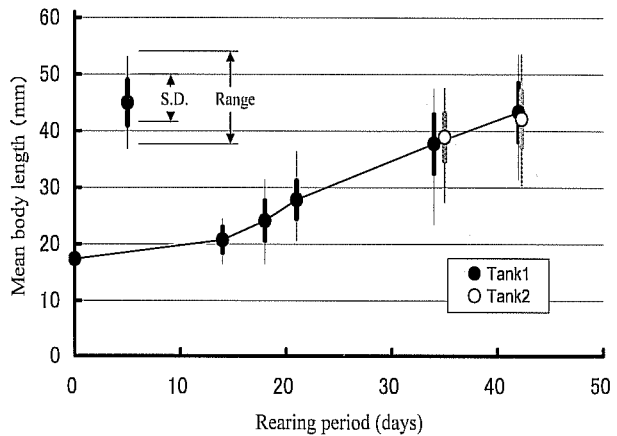


Fig. 3 Mean body length of Kuruma prawn juveniles, the experiment in 2002. Thin lines pass through circles vertically indicate the range of body length measured, and the bold ones indicate the standard deviations.

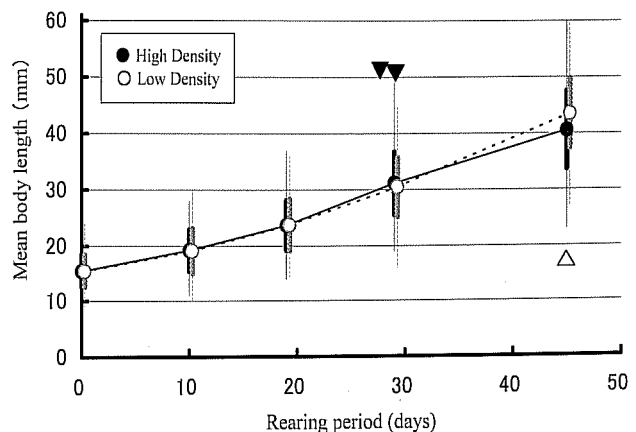


Fig. 4 Mean body length of Kuruma prawn juveniles, the experiment in 2003. Solid circle shows "High Density", and open circle shows "Low Density". The range of body length measured and the standard deviations are indicated by the same way of figure 3. And triangles represent the occurrences of mortality in "High Density" (solid triangles) and "Low density" (an open triangle).

平均体長が 40 mm を超えたので、2002 年試験は 42 日目、2003 年試験は 46 日目に試験を終了し、生残尾数を推定した。推定結果は Table 1 に示し、試験開始時と試験終了時収容密度の関係を Fig. 5 に示した。試験終了時の収容尾数がもっとも高かったのは、2002 年試験の Tank 1 の 1,170 尾 / m²、最も低かったのは、2003 年試験の高密度区と同 810 であった。生残率 (2002 年試験の途中に間引いた数千尾は、試験開始時の収容尾数から除外して計算) の最低値は、2002 年 Tank 1 の 21.8 %、最大値は、2003 年試験低密度区の 83.7 % と 4 倍近い差がみられた。

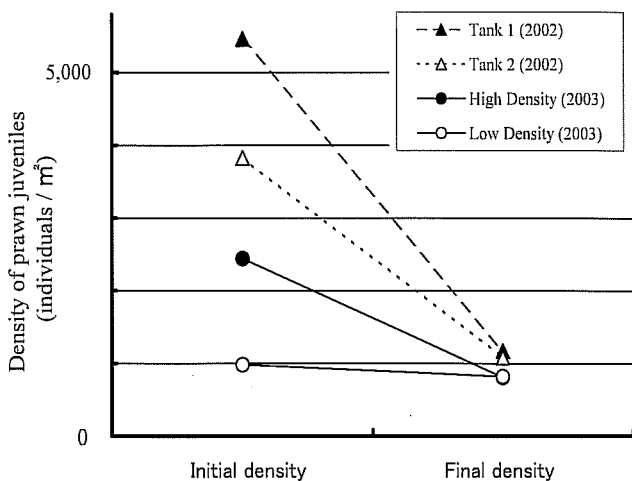


Fig. 5 Relationships between the initial and final density of Kuruma prawn juveniles in each rearing tank.

考 察

今回おこなった飼育実験は、収容密度を変えた場合のクルマエビ種苗の成長や生残の比較を目指したものである。その場合は、厳密に言えば収容密度以外の条件はそろえて実験すべきだが、施設や実験体制などの制約で実現が困難な条件も多く、また、実際の中間育成現場での応用を考えたとき、現場の実態に近い形での育成方法が望ましいと考えて試験をおこなったので、水温や給餌量 (率) の調整などは 4 つの水槽できちんと揃わなかった。

たとえば、2003 年の実験では日間給餌量の増え方が、2002 年の実験に比べて緩やかである (Fig. 2) が、これには 2003 年の水温が低く推移した影響が考えられる (Fig. 1)。しかしながら、飼育種苗の成長過程は極めて類似しており、全ての実験区で、およそ 40 日後に体長 40 mm 余りに成長していた (Fig. 3, 4)。さらに、今回は収容時の密度には最大 6 倍の違いがあり、突然の大量斃死が発生したり (高密度区)、生残率が低下したりした (Tank 1, 2) 水槽もみられたにもかかわらず、すべての実験区で類似した成長過程を示したことは、飼育密度が高すぎると成長が悪くなるという一般的な考え (檜山 1986) に相反するものである。

以上のような飼育条件と成長との関係については、様々な要因が飼育エビの成長に複雑に影響を与えていると考えられるため、明確な説明をすることはできない。たとえば、成長によいとされる高水温とそれともなう摂餌量の多さも、基礎代謝量の増加や消化不良などによる餌料効率の悪化などを引き起こす可能性もある。成長に悪い影響を与えるとされる高密度飼育にも、餌の流出や餌料に含まれる栄養成分の溶出前に摂餌する機会が増加することで、餌料効率の上昇効果が考えられる。また、生残率の低下や斃死個体の発生にも共喰いによって、生き残った個体の栄養獲得効果があるかもしれない。これらは極端な例えとしても、今回の試験結果からは、育成環境の多少の違いが種苗の成長に大きな差をもたらす現象はみられなかった。

一方で、檜山 (1986) が述べているように、高密度に収容するほど、中間育成時の生残率が低下する傾向は明瞭にみられた (Table 1)。Fig. 5 には、様々な収容密度で育成を開始しても、40 余日後には 1,000 尾 / m² 前後の飼育密度に収束する傾向がみられる。育成終了時の収容種苗の総重量は 7.4 ~ 11.5 kg の範囲にあり、また、大量斃死がみられた 2003 年試験高密度区・30 日目の斃死前の収容重量は、それまでに斃死が無かったと仮定すると (平均重量 0.40 g の種苗が 24,400 尾いたことになるので) 約 9.8 kg になる。実験終了直前に斃死個体が増加し始めた同年低密度区の試験終了時の収容総重量は 9.2 kg であった。これらことから、総重量およそ 10 kg、1 m² あたりに換算すると約 1 kg が、この水槽の限界収容密度 (以下、「限界密度」と記す) と推察された。檜山 (1986) は陸上水槽の 30 mm サイズの収容限界密度を 1,000 ~ 4,000 尾 / m² (0.3 ~ 1.2 kg / m²) と見積もっており、今回の値はその上限値に近い。

2003 年の大量斃死は、摂餌状況などから前日までは順調な育成がおこなわれていたと思われた水槽で、突然発生した。このような突然の大量斃死は、徳島県の陸上水槽による中間育成現場でもこれまでにみられてきた。Photo. 1 は、最初の大量斃死が発生する 4 日前 (26 日目) の水槽の様子である。両区の「混み具合」の差は明瞭になり、高密度区の方には脱皮殻が集まって堆積している場所が、何力所かにみられた (Photo. 1 の赤丸部分)。Photo. 2 は、最初の高密度区での大量斃死が発生したとき (30 日目) の高密度区の水槽内堆積物である。斃死個体に混じって、大量の脱皮殻と糞が含まれていた (糞は、堆積物をサイホンで吸い出したときに、それを受けたザルの目より抜け出していったので、写真には写っていない)。また、Photo. 3 は 2 回目の高密度区での大量斃死 (34 日目) の際の水槽内の様子、Photo. 4 はそのときのサイホンで吸い出した水槽内堆積物である。このときは、斃死個体、脱皮殻、糞に加えて大量の残餌も混じっていた。

以上のような状況から、大量の脱皮殻の発生が大量斃

死の引き金のひとつになっている可能性が推察される。そして、このとき種苗は、潜砂行動が活発化する体長 25 mm 以上 (安永 1979) の個体が大半を占めていた (Fig. 4) ことと考えあわせると、次のような大量斃死に至る過程が考えられる。

- ① 収容エビが大量に脱皮し脱皮殻が水槽の底に集積する。
- ② 脱皮殻が集積する場所はもともと糞や残餌などが溜まりやすい場所であるが、脱皮殻にからみつくようにして、これらのものがより多く集積する

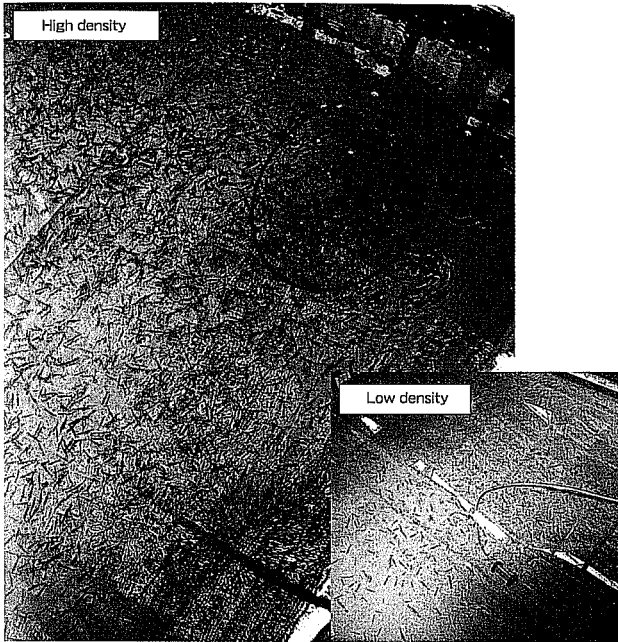


Photo. 1 Appearance of the two tanks. (At 26 days after beginning of the experiment in 2003). The difference in the density of juveniles was remarkable and the red circle indicates feces and molts of prawn juveniles.

- ③ 潜砂行動を発現させた種苗が、堆積物中に潜り込む。
- ④ 有機物の分解により、堆積物中が貧酸素になる。
- ⑤ 酸欠により潜っていた種苗が斃死する。
- ⑥ 斃死個体の出現は、それらが分解されることによって、さらに酸欠状態を拡大させる。また、個体数の減少と斃死個体が食べられることで残餌が増加する。
- ⑦ ⑥の状況は酸欠状態になる個体を増加させ、大量斃死が起こる。

酸素の欠乏が実際に起こっていたかどうかについては

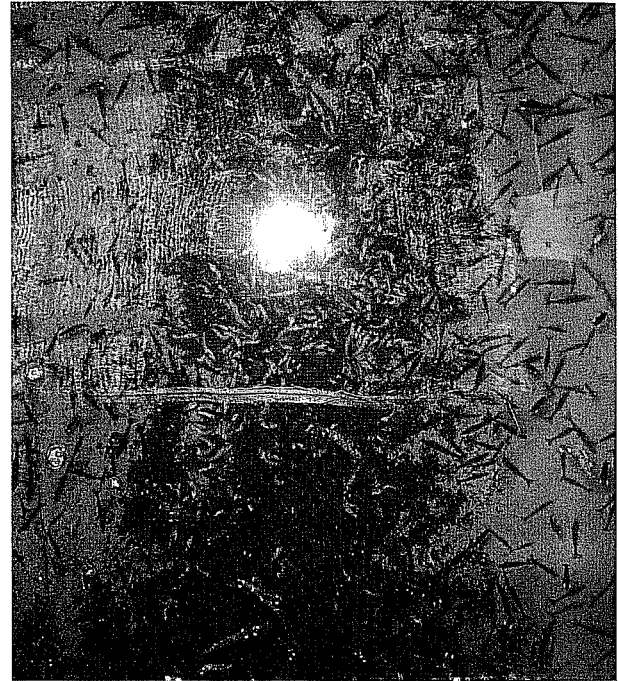


Photo. 3 Deposits that occurred in "High Density" at the 34 days after the beginning of the experiment. These included carcasses of prawn juveniles, leftovers and molts.

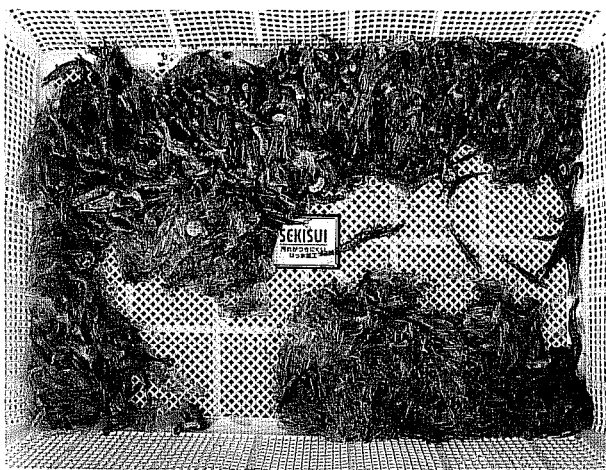


Photo 2. The deposits sucked up from the rearing tank. These occurred in "High Density" at 30 days after the beginning of the experiment. These mainly included carcasses of prawn juveniles and molts.



Photo. 4 The deposits sucked up from the rearing tank. Deposits are the same as those described in photo. 3.

溶存酸素濃度が測定できていないので不明である。しかしながら、クルマエビ種苗の飼育水槽内に発生した堆積物を除去すると底面に硫化水素が発生したと思われる黒変箇所が見られることが多く、局所的な酸素欠乏が起こっている可能性は十分考えられる。

なお、上記①から③については、大量給餌により底に積もった餌の中に種苗が潜り込むことが、酸欠から始まる大量斃死の引き金になることも想定される。また、脱皮直後の個体そのものが水槽内の条件悪化に弱い可能性もあり、今後の検討が必要である。

上記の過程は、餌止めして水槽から堆積物が無くなったことにより、速やかに斃死が治まったという今回の実験でみられた現象も説明できる。そして、いかにして有機物の大量堆積を防ぐかが、クルマエビ種苗の生残率向上に重要な要因と考えられた。水槽の構造や注水・エアレーション法の改良、細心の注意を払った給餌などがその対策として考えられるものの、実際の間育て現場では、その実現を徹底させることは困難であろう。それ以外の対策で、実現が容易なものとして、まず、種苗の収容密度を低くすることが考えられる。しかしながら、収容密度を低

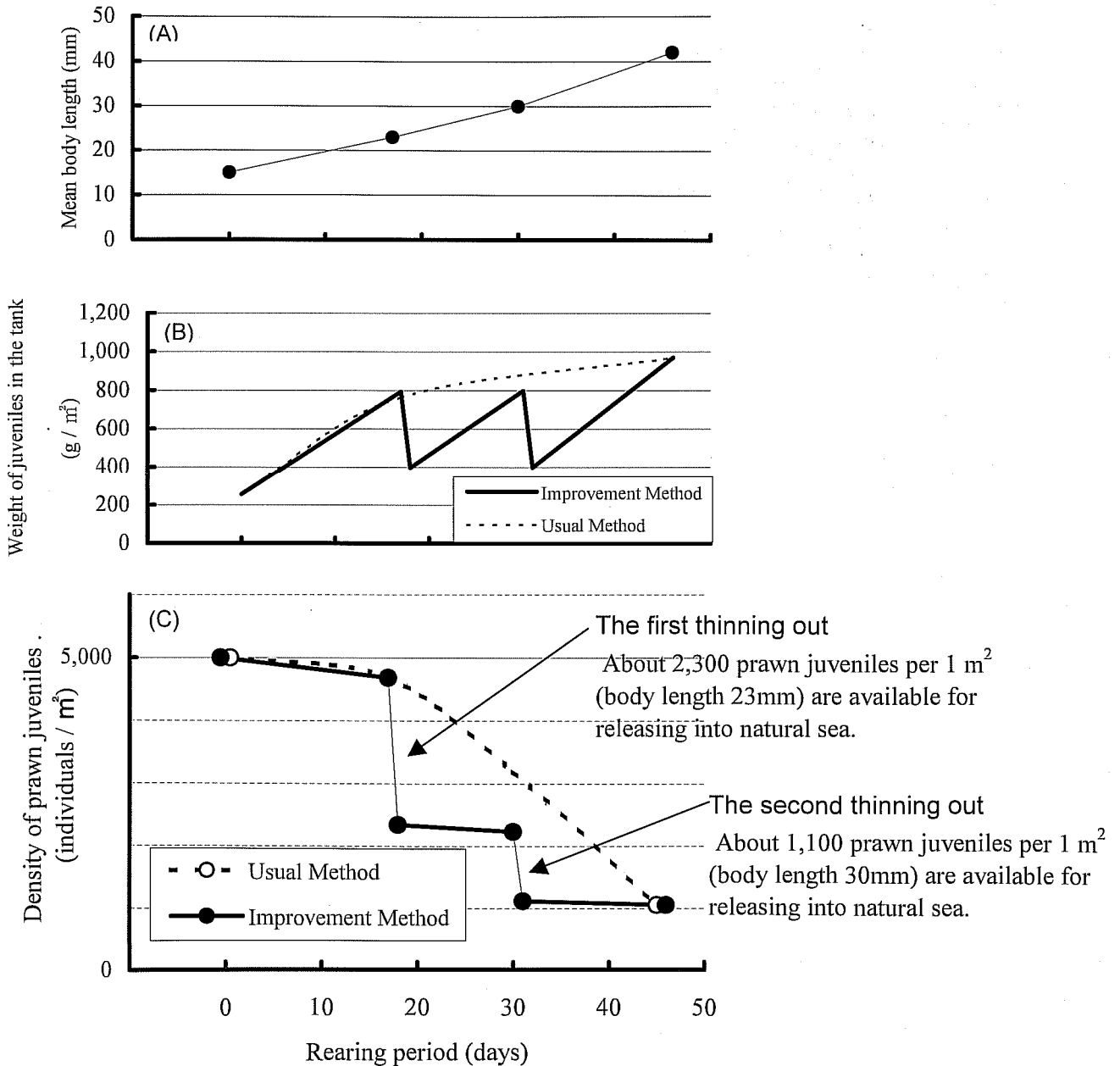


Fig. 6 Pattern diagrams to compare the usual method and the improvement method for breeding prawn juveniles. Two times of thinning out are carried out in the improvement method.

The top graph (A) shows growth in length.

The middle graph (B) shows the change in weight of juveniles. The solid line indicates the improvement method and the broken line indicates the usual method.

The bottom graph (C) shows the change in number of juveniles. The solid line with the solid circles indicates the improvement method and the broken line with the open circles indicates the usual method.

くすることは、大量斃死が発生しなくても、結果的に(中間育成後の)放流種苗の尾数を減らすことにつながる懸念がある。そこで、今回の実験で使用した水槽を例として、育成効率の高い収容密度調整法を考えてみた。

実験水槽では約 1 kg/m^2 が限界密度と考えられたので、育成密度はそれを超えないようにする必要がある。たとえば、体長 40 mm の種苗なら重量がおよそ 0.9 g になるので、 $1,100 \text{ 尾/m}^2$ になる。しかしながら、限界密度以下なら種苗の成長は変わらない (Fig. 3, 4) ので、限界密度の範囲内で、できるだけ数多く収容するほうが効率的である。

そこで、最初は、種苗が成長すれば限界密度を超えるのを承知で多めに種苗を収容し、限界密度に達する度に育成種苗の何割かを間引いて放流することを繰り返す方法を検討してみた。Fig. 6 にその一例を示した。従来の方法と比較するために、最初の収容密度は現行と同じ $5,000 \text{ 尾/m}^2$ で 40 余日の育成をおこない、平均体長 40 mm の種苗を育成する条件に設定した。また、途中の間引きは安全を考慮して、限界密度の 8 割 (0.8 kg/m^2 ; 以下、「目標密度」とする) でおこない、目標密度に達するたびに育成種苗の半分を間引いて放流することとした。なお、限界密度以下での育成種苗の生残率は、 2003 年試験の低密度区の値 0.996 (日) をあてはめた。

Fig. 6(A) に示した今回の実験結果から想定された平均体長の変化を元に計算すると、 17 日目と 30 日目でそれぞれ目標密度に達し、第 1 回目の間引きで平均体長 23 mm の種苗が 1 m^2 あたり約 $2,300$ 尾、第 2 回目の間引きで平均体長 30 mm の種苗が 1 m^2 あたり約 $1,100$ 尾放流できる。その後も飼育を続けると、 46 日目に平均体長 42 mm の種苗が 1 m^2 あたり $1,000$ 尾得られるが、このとき約 1 kg/m^2 と限界密度に達しており (Fig. 6B)、これは間引きせずに飼育する従来の中間育成方法で得られる種苗の数に相当する (Fig. 6C)。したがって、(間引き放流を含む) 改良された育成方法では、間引き放流分の種苗 (今回の実験で使用した水槽は 10 m^2 なので、 1 水槽あたり体長 23 mm 種苗 $23,000$ 尾、体長 30 mm 種苗 $11,000$ 尾) が、従来の方法に比べて放流尾数に上乗せできる。また、複数回に分けて放流を実施することは危険分散にもつながり、種苗放流の効果向上が期待される。

要 約

- (1) 収容時の密度を $820 \sim 5,400 \text{ 尾/m}^2$ までの 4 段階に設定してクルマエビ種苗を飼育し、その成長や生残を比較した。
- (2) すべての試験区で、体長十数 mm で収容した種苗が 40 余日後に平均体長 40 mm に達し、収容密度の違いによる成長差はみられなかった。
- (3) 種苗の生残率は、収容密度の違いによる影響を大きく受けた。最も高密度の試験区で 21.8% 、最も低密度の試験区では 83.7% となり、 4 倍近い差がみられた。
- (4) 種苗の突然の大量斃死は、脱皮殻、糞、残餌が水槽に大量に堆積したことによって引き起こされることが示唆された。
- (5) 水槽の限界収容密度は、今回の実験で用いた水槽では約 1 kg/m^2 と計算された。その値に達すると、大量斃死発生の危険性が高まると推察されたことから、収容密度を限界密度以下に保てるように種苗を間引き放流しながら育成する方法を検討した。
- (6) この方法は、放流種苗数の増加や危険分散効果などにより、従来の中間育成方法よりも効率的であると考えられた。

謝 辞

今回の試験をおこなうにあたり、クルマエビの飼育管理の手伝いをしていただいた、徳島県立農林水産総合技術センター水産研究所鳴門分場の職員ならびに臨時職員の方々にお礼を申しあげる。

文 献

- 倉田 博: 第 1 章クルマエビの生活 3 . 生活史と発育, さいばい叢書 1 「クルマエビ栽培漁業の手引き」(クルマエビ栽培漁業の手引き検討委員会編). (社) 日本栽培漁業協会, $3-33$ pp. (1986).
- 檜山 節久: 第 4 章手法別中間育成のやり方 4 . 陸上水槽, さいばい叢書 1 「クルマエビ栽培漁業の手引き」(クルマエビ栽培漁業の手引き検討委員会編). (社) 日本栽培漁業協会, $137-148$ pp. (1986).
- 安永 義暢: 日本海沿岸におけるクルマエビ種苗放流技術開発のための基礎的研究. 日水研報告, 30 , $67-96$ (1979).