

タマミジンコの大量培養システムの開発

稲田 善和・中本 崇・牛嶋 敏夫
(内水面研究所)

Development on Mass-culture System of *Moina macrocopa*

Yoshikazu INADA, Takashi NAKAMOTO and Toshio USHIJIMA
(Freshwater Laboratory)

ミジンコは、古くは江戸時代から淡水養魚の餌として用いられている。そして現在でも、コイやキンギョなど春に産卵する魚種の生産にとって必要な生物餌料である。養魚で一般に言われるミジンコとは淡水産プランクトンの枝角類のことで、日本における主要種はタマミジンコ *Moina macrocopa* である。本種は体長300~1,500 μ mで、主に浅い池沼に生息し、春~夏の増殖期には、単為生殖(雌のみ)で仔虫を産出して増え、時として水面が真っ赤になる程爆発的に増殖する。秋には、雄が出現し有性生殖で休眠卵(耐久卵)を作り、それによって冬を越す。また、生息環境が悪くなった時も休眠卵を持つと言われている¹⁾。

今日においても、淡水養魚におけるミジンコの入手法には、土池を用いた昔ながらの施肥培養や、ミジンコの種を入れた池へ餌となる植物プランクトンや酵母などを投入する簡単な給餌培養が用いられている。これは国内有数の食用、錦ゴイの生産をみる本県も例外ではない。

しかし、これらの培養法は、季節的な制約や天候の影響を受けたり、培養密度が不安定で長続きしないため、対象魚種の生産にとって、適時あるいは十分量のミジンコが確保されず、少なからずその制限要因となっている。生産現場では不足するミジンコの代用としてアルテミアのふ化幼生を用いる場合も多いが、淡水では適切な餌料とは言い難い。一方、海面ではアルテミアが魚介類の種苗生産に多用されている。しかし、近年のその価格変動は生産コストを左右する一因となっている。

したがって、タマミジンコを安定的かつ大量に培養できる技術が開発されれば、淡水産はもとより海産魚介類の増養殖にも広く利用される可能性が高い。

本研究では、0.5~1トン程度の小規模タンクで、タマミジンコを周年大量に培養できるシステムの開発を目的としたが、実用化の段階に至ったので報告する。

方 法

1. 開発上の条件の設定

タマミジンコの生物学的な観察と予備実験に基づいて、以下の開発条件を設定した。

条件1 増殖期の本種は水面近くで渦を巻くようなカラムを形成し、水面下の深い部分にはほとんど生息しない。本種を高密度で培養するためには、個体が培養水全体に分散し、増殖できる環境が必要である。

条件2 これまで通常の通気による培養では安定した高い培養密度は得られなかった。これは通気による気泡が本種個体に傷害を与え、正常な増殖を阻害するためであり、これを防ぐ必要がある。

条件3 観察によれば、本種の遊泳速度は約3cm/secである。正常な生理機能が働き、増殖させるためには、培養水の水流をこれ以下に抑制する必要があると考えられる。

条件4 本種を培養水全体で増殖させるためには、それに必要かつ十分な溶存酸素(DO)を万遍なく供給する必要がある。

条件5 給餌によって排泄物を主とする懸濁物(SS)が発生する。これは水質悪化の要因やネットろ過による収穫の障害となるため除去する必要がある。なお、この条件は培養実験中に生じた問題として追加された。

2. 通気装置の開発

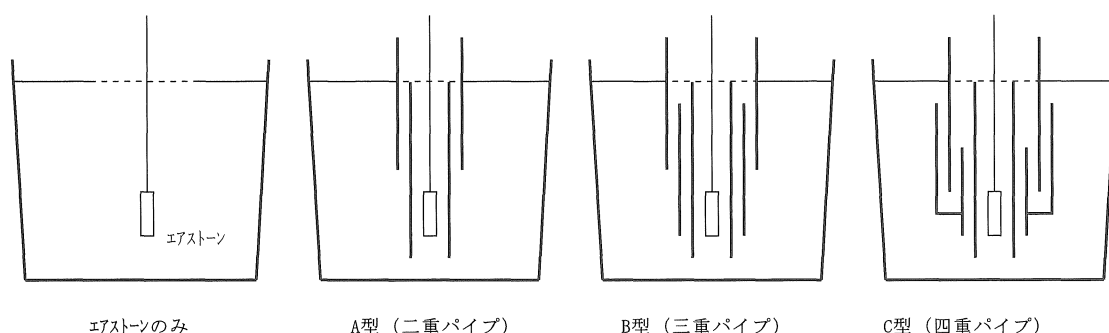


図1 各通気装置の模式図

前記の条件1～4を満たすために、これまで円形タンク内で種々試みた通気法の中で、タマミジンコが最も増殖する二重パイプ構造の通気法を見出した。この通気装置を基本型（以下A型という）として、発展的な改良型である三重パイプ構造（以下B型という）と四重パイプ構造（以下C型という）の通気装置を考案した。

これら3型を100ℓの透明パンライト水槽に見合うように塩ビパイプで試作し、エアストーンのみ通常通気を対照として、同量の通気量で実際の水の動きを経時的に観察した。各通気装置の模式図を図1に示した。観察用の着色剤にはKMnO₄液と濃縮淡水クロレラ液を用いた。また、実用規模として、500ℓ水槽とこれに見合うB型とC型の通気装置を用いて、同様の水流実験を行った。この実験では、上記の着色剤だけでなく、水槽内の部位別の水流を観察するために、二つの染色したタマミジンコ（ホルマリン固定後、ギムザとマラカイトグリーンで染色）をピペットで注入する方法も用いた。

3. 培養実験

供試タマミジンコは'97年に（財）化学物質評価研究機構から譲り受け、内水面研究所で増殖継代したものである。本種についてのこれまでの予備実験で、産出された仔虫が親虫になり、最初の産出が見られるまでの期間を考慮して、培養水温は28℃とし、培養期間は3日間（72時間）とした。餌料には、本種が良く摂餌して再生産も可能であり、かつ餌料密度も高く保てる市販の濃縮淡水クロレラ（㈱クロレラ工業社製）を用いた。培養開始時の種タマミジンコは500μmのポリエチレンネットで採取したもので、終了時にはサイホンで全培養水を抜き取り355μmの同ネットを用いて採集した。いずれの場合もタマミジンコは湿重量を計測し、個体数に換算した。培養中の水質については、水温とともに、D₀、pH、NH₄-N、NO₂-Nを定時に計測した。なお、実験は全て24時間電照下の室内で行った。

500ℓ水槽での培養実験 5基の黒色円形ポリエチレン水槽に通常弱通気と強通気およびA、B、C型の通気装置を設置した。通気量は、弱通気が40cc/sec、強通気360cc/sec、A～C型通気装置は同量で220～370cc/secであった。種タマミジンコは湿重量392～393g（157万個体）とした。

1000ℓ水槽での培養実験 2基の黒色円形ポリエチレン水槽にA型とC型の通気装置を設置して、同様の実験を行った。種の量はそれぞれ1,550g（620万個体）と1,600g（640万個体）であった。ただ、通気量はタマミジンコの酸欠死防止を考慮して、D₀が1ppm以下にならないよう調整した。

4. SS除去実験

数回行った500ℓ水槽での培養実験において、SSの多くが通気によって泡状に形成（泡沫分離）されることが観察された。そこで、A、B、C型の通気装置の上部に排出パイプを取り付けて泡状のSSの除去を試みた。方法として、通気装置の上部を塞ぐ場合と開放状態の場合を比較観察した。

結 果

1. 通気装置の開発

各通気装置を設置した水槽において、KMnO₄液とクロレラ液をそれぞれ水面の中心部に注ぎ、着色水が水槽内を一巡するまでの時間から算出した平均流速を表1に示した。100ℓ水槽においては、エアストーンのみ比べて、各通気装置の流速は大きく抑制され、C型、A型、B型の順に遅くなった。500ℓ水槽においては、水面下のパイプの長さの調整によって、水流を3cm/sec以下に調整することが可能であった。また、図2に示したように、B型では下から上への還流が、C型では上から下への還流が生じるが、染色タマミジンコの動きの観察によって、

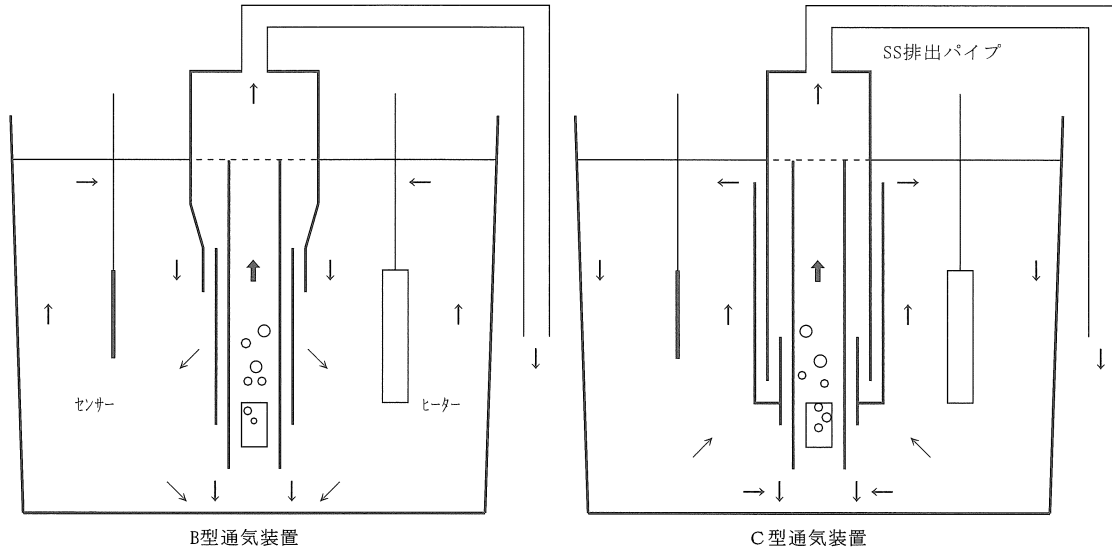


図2 B, C型通気装置による水の流れ

表1 通気装置の違いによる水槽内の平均流速 (cm/sec)

通気装置	KMnO ₄	クロレラ
(100 ℓ 水槽)		
エアストーンのみ	8.6	13.0
A型	2.2	1.4
B型	1.0	0.5
C型	2.9	3.3
(500 ℓ 水槽) *		
B型	2.7	2.3
C型	2.4	2.4

* 3 cm/secになるようパイプを調整

いずれの装置の場合も、通気装置から下向きに吐出される水の流れと還流して中心パイプのエアリフトに吸い込まれる水の流れが衝突することによって、強い通気にもかかわらず、水槽全体の水流は抑制されることが確認された。

2. 培養実験

500 ℓ と1000 ℓ 水槽で行った培養実験の結果を表2に示した。500 ℓ 水槽において、392と393g (157万個体) の種から、弱通気では800g (400万個体) が収穫され、湿重量で種の約2.0倍、個体数では約2.5倍に相当した。強通気では、供試タマミジンコのほとんどが死亡し、給餌に伴うSSの発生とで、収穫自体ができなかった。一方、A型の通気装置では、湿重量で種の約5.5倍、個体数

表2 通気装置の違いによるタマミジンコの培養実験結果

実験水槽	通気装置	種の量 (個体数:密度)	収穫量 (個体数:密度)	給餌量	餌料係数* ¹
	弱通気	392g (157万:3.1個体/cc)	800g (400万:8.0個体/cc)	1,900cc	0.21g/cc
	強通気	393	— * ²		
	A型	392	2,150 (1,075万:21.5)	1,900	0.93
500 ℓ	B型	393	2,850 (1,425万:28.5)	2,800	0.88
	C型	393	2,900 (1,450万:29.0)	2,800	0.89
	A型	1,550 (620万:6.2)	5,500 (2,750万:27.5)	4,000	0.98
1000 ℓ	C型	1,600 (640万:6.4)	7,650 (3,825万:28.6)	5,500	1.11

(註) 種: 1g (湿重量) = 4,000個体 (500 μ mポリエチレンネットで採集)

収穫: 1g (湿重量) = 5,000個体 (355 μ mポリエチレンネットで採集)

*¹ クロレラ1cc当たりの増湿重量 (収穫量-種量)

*² 強通気では、死亡個体とSSとで収穫不可

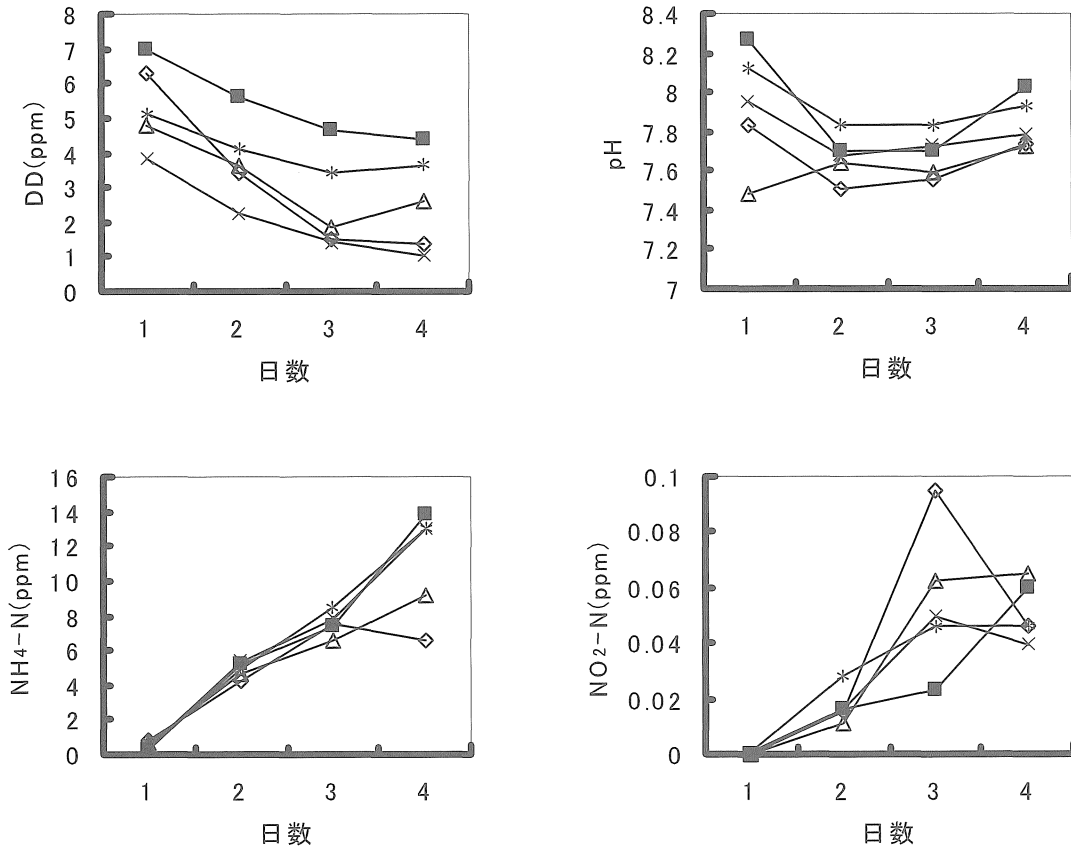


図3 培養実験（500ℓ水槽）中の水質変化
◇弱通気 ■強通気 △A型 ×B型 *C型

で約6.8倍、B型では7.3倍と9.1倍、C型では7.4倍と9.2倍の収穫量が得られた。また、クロレラ1cc当たりの増殖湿重量からみた餌料係数は、弱通気では0.21g/cc、A、B、C型では0.88~0.93g/ccと大きな差はなかった。1000ℓ水槽の実験では、種の量に対する収穫量は、A型では湿重量で3.5倍、個体数では4.4倍、C型ではそれぞれ4.8倍と6.0倍であった。餌料係数は0.98g/ccと1.11g/ccであった。

500ℓ水槽での培養実験中の水質変化を図3に示した。各水槽の実験開始時のDOは通気の違いにより異なったが、減少の程度は弱通気が最も大きく、C型通気装置の場合が最も小さかった。各水槽ともpHには大きな変化はみられなかったが、A型の開始時を除き、開始後一旦低下し、終了時にやや上がる傾向を示した。NH₄-Nは各水槽とも直線的に増加し、弱通気のみ終了時に減少した。NO₂-Nは終了時には、強通気を除き、減少または停滞傾向を示した。

3. SS除去実験

通気装置の上部に開放状態で排出パイプを取り付けただけでは、泡状のSSはパイプから排出されず、上部から溢れるだけであった。一方、装置上部を塞ぐ形にすると（図2参照）、通気による内圧によって泡状SSがパイプを通じて水槽外へ押し出されるのが確認された。また、この泡状SSの中には生きたタマミジンコは観察されなかった。このSS除去によって、355μmネットでの収穫時間は短くなったが、ネットを通過する仔虫の数も多くなった。

考 察

通気装置の開発に当たって、3cm/sec以下のゆっくりとした流速で、かつDOを十分供給するために、様々な手法を試みたが、効果的な方法はなかなか見出せなかった。試行錯誤の中で、パイプ一筒だけの通気にもう一筒のパ

パイプを重ねることによって、強通気をしても水流が早くならず、タマミジンコを飛躍的に増殖できることを発見した。この二重パイプで増殖が可能となった要因は、①強通気によって十分なD₀が供給されること。②エアリフトで生じた上向き水流が外側のパイプによって下向きに吐出され、水槽内に下から上への還流を作ると同時に、エアリフトに吸い込まれようとする水流とぶつかるために、全体の流速が抑制されること。③ゆっくりとした流速および水流の衝突部分で、エアリフトに吸い込まれるタマミジンコが少ないこと、の3点が考えられた。前述したように、この二重パイプ方式を基本型（A型）として、更に安定したD₀供給と流速を得るために、三重と四重パイプ構造のB、C型通気装置を考案し、水流の実験を行った。100ℓ水槽の実験では、B型の平均流速が最も遅くなった。しかし、遅すぎるとは培養水へのD₀の供給も遅いことを意味する。この遅い流速の要因は外側の二筒の長さによるものであり、実際に500ℓ水槽の実験では、タマミジンコの遊泳速度よりやや遅い流速への調整が可能であった。これまで一部で行われているように、エアストーンのみで流速を抑制して培養しようとする、微弱な通気にせざるを得ず、D₀の供給が不足するばかりか、滞水部分（死水）も生じることになると考えられる。事実、500ℓ水槽での培養実験において、弱通気ではD₀の減少も早く、収穫量も二重パイプのA型通気装置の1/3以下となった。他方、強通気による培養では、タマミジンコ自体がほとんど死亡した。これは、D₀こそ高く維持されるが、水槽内の流速が極めて早く、個体の多くが通気泡に巻き込まれて傷害を受けたためと推定された。三重、四重パイプのB、C型通気装置の培養では、A型より更に多くの収穫が得られ、改良型としての効果を示した。両者を比較すると、C型の方がB型よりもD₀の減少程度は小さく、収穫量もやや多くなり、実用化にふさわしいと考えられた。培養中のその他の水質面では、pHはB型では7.95～7.72、C型では8.12～7.83の範囲であり、NH₄-Nは両型ともほとんど同様に13ppmまで直線的に増加した。初期の培養実験では酸によるpH調整も行っていたが、これらのpH値とNH₄-N濃度でもタマミジンコの動きに異常はみられず、本種は非解離のアムモニアの毒性には比較的強く、pHの調整は不要と考えられた。NO₂-Nは両型とも0.05ppmまで上昇したが、この濃度もタマミジンコにはほとんど影響しなかったと推定された。また、これらの水質変化によっても、休眠卵を持った個体はごく僅かであったことから、水質環境としては本種に不適ではなかったと考えられた。1000ℓ水槽での培養実験では、A型、

C型とも、500ℓ水槽の場合に比べて、種量に対する増殖倍率は低くなったが、餌料係数はやや高くなった。これは相対的に密度が約2倍と多い種量に対してD₀供給量と給餌量が少なかったためと考えられ、適正なD₀量と給餌量であれば、収穫量は更に増加し得ることを示唆している。泡沫分離と内圧を利用したSSの除去は自動的で、水質悪化を来さず、かつネットによる収穫を容易するため、培養装置としてシステム化する上で効果的であると考えられた。ただ、このSSと収穫時間に配慮して、355μmの採集ネットを用いたが、ネットを抜ける小さい仔虫は採集できなかった。したがって、実際の培養量は表2に示した収穫量より多く、中でも収穫直前の個体密度はもっと高いものであったと推定される。今後は産出直後の仔虫（体長300μm）も採集できる方法への改良が必要であろう。

以上の結果から、0.5トンや1トンの円形タンクにB型やC型の通気装置を設置し、十分な通気を行い、クロレラを適切に給餌すれば、タマミジンコの大量培養は可能であることが明らかとなった。また、四季を通じて培養実験が行えたことから、周年必要時の培養も可能であると考えられた。ただ、培養方式としては、水質変化でみられたようにNH₄-Nが直線的に増加しており、予備実験の観察では産仔した親虫は死亡する個体が多いことから、連続培養ではなく、当面は植え継ぎ（バッチ）培養が適していると考えられた。したがって、タマミジンコの培養装置としてシステム化するに当たって、毎日収穫するためには、3日を要する培養期間から、3水槽を設置して一日ずつずらして培養する必要がある。

ちなみに、本研究に基づいて、平成12年に、C型通気装置を設置した3水槽と送気装置（エアコンプレッサー）および電熱加温装置から成る培養システムを構築し、職務発明として特許が申請された。平成13年には、実用モデルの試作とその実験を経て製品化され、公開実験を行った後市販されるに至っており、以後更に改良研究を進めている。

前述したように、タマミジンコの大量培養技術は、淡水産魚類の増養殖に広く利用される可能性がある。従来の淡水魚類の生産安定に大きく役立つばかりでなく、周年培養できることで、これまでの培養法では時期的にも量的にも本種の確保が難しく、利用に限界があったアユなど春産卵以外の有用種や希少種の増養殖にも役立つであろう。他方、培養されたタマミジンコにはDHAやEPAといった高度不飽和脂肪酸の栄養強化も可能であり²⁾、アルテミアに代わる海産魚類の生物餌料として利用さ

れる可能性もある。あるいは、開発された本培養システム自体が海産枝角類（例えば *Diaphanosoma celebensis* ³⁾）の大量培養に応用されるかも知れない。

要 約

- 1) 本研究では、0.5～1トン程度の小規模タンクで、淡水魚類の主要生物餌料であるタマミジンコを周年大量に培養できるシステムの開発を目的とした。
- 2) 開発条件として、①本種が培養水全体に分散し、増殖できること②通気泡による本種への傷害を防ぐこと③水流を本種の遊泳速度（3 cm/sec）以下に抑制すること④培養水全体に十分なD0を供給すること⑤排泄物を主とするSSを除去すること、の5条件を設定した。
- 3) ①～④の条件を満たす二重パイプ構造の通気法を見出した。これを基本型として、水流実験を行い改良型の三重、四重パイプ構造の通気装置を作製した。
- 4) 500と1000ℓ水槽を用い、これら3型の通気装置と通常の弱通気、強通気による3日間の培養実験を行

ったところ、三重、四重パイプの通気装置で大量培養が可能であった。

- 5) 条件⑤については、通気装置の上部を塞ぎ排出パイプを取り付けることによって、泡沫分離されるSSが内圧によって排出される方法を開発した。
- 6) 四重パイプの通気装置を設置した3水槽とエアコンプレッサーおよび電熱加温装置からなる実用的な大量培養システムを開発した。

文 献

- 1) 代田昭彦：水産餌料生物学，恒星社厚生閣，東京，1975，pp411-421.
- 2) 岡彬・鈴木規夫・渡辺武：アユ仔稚魚体脂質脂肪酸組成に及ぼすタマミジンコ脂肪酸の影響．日本水産学会誌，48巻，8号，1159-1162（1982）.
- 3) 瀬川進・梁元鐸：室内培養における汽水産枝角類 *Diaphanosoma celebensis* の成長、脱皮、再生産および濾水速度．日本プランクトン学会報，第37巻，第2号，145-155（1990）.