

マダコ浮遊期幼生の生残・成長に及ぼすナンノクロ ロプシスの効果および20 m³水槽を用いた飼育事例 について

メタデータ	言語: Japanese
	出版者:
	公開日: 2025-04-24
	キーワード (Ja):
	キーワード (En):
	作成者: 浜崎, 活幸, 福永, 恭平, 吉田, 儀弘, 丸山, 敬悟
	メールアドレス:
URL	所属:
	https://fra.repo.nii.ac.jp/records/2014363

This work is licensed under a Creative Commons
Attribution 4.0 International License.



マダコ浮遊期幼生の生残・成長に及ぼすナンノクロロプシスの効果および 20m³ 水槽を用いた飼育事例について

浜崎 活幸*・福永 恭平*・吉田 儀弘*・丸山 敬悟*

(1990 年 6 月 4 日受理)

マダコの種苗生産に関する技術開発研究は、1961 年から兵庫県および岡山県などの各水産試験場、瀬戸内海栽培漁業協会（現日本栽培漁業協会）伯方島事業場により開始され、実験的には稚ダコまで飼育可能なことが確かめられた¹⁾。しかし、当時は天然プランクトン²⁾、あるいはエビ類の大型幼生³⁾を餌料として使用しており、それらを大量にしかも長期にわたって確保することは困難であることから、沈着稚ダコを大量に生産するまでには至らず⁴⁾、1970 年に技術開発は一端休止された。

一方、瀬戸内海のタコ類の漁獲量は 1961 年をピークに減少傾向を示しており、瀬戸内海関係県および漁業者からマダコ種苗生産技術開発に対する要望が年々高まってきた。そこで、日本栽培漁業協会では 1980 年から玉野、屋島および伯方島事業場において本種の種苗生産技術開発を再開した⁴⁾。

1960 年代には、ふ化ダコの量的確保は容易であったが、日本栽培漁業協会では本種の種苗生産を再開した当初は、健全な親ダコの確保、育成が困難となっており、ふ化ダコの量的確保が困難な状況になっていた。そこで、瀬戸内海各地の親ダコを調査したところ、紀伊水道、豊後水道などの外海域、あるいは少しでも外海域に近いところの親からは、内海域の親よりも容易にふ化ダコが得られることが判明した⁵⁾。一方、原因は明らかではないが、1986 年頃からは、内海産の親ダコからもある程度まとまった量のふ化ダコを入手できるようになった。

このように、ふ化ダコの量的確保が可能になり、ある程度の飼育試験が実行可能になったので、日本栽培漁業協会では、1960 年代に使用された大型動物プランクトンに代わる主餌料として養成アルテミアを使用して飼育技術の開発を行っている。現在まで、マダコ幼生の飼育水中へ養成アルテミアの餌料となる配合飼料などを添加することにより、あるいは栄養強化した養成アルテミアを給餌することによって、養成アルテミアのみを餌料に用いて沈着移行期稚ダコまで飼育可能なことを明らかにしてきた⁵⁻⁸⁾。

本研究では、養成アルテミアのみを餌料に用いて、これまでほとんど検討されたことのないマダコ浮遊期幼生の生残・成長に及ぼすナンノクロロプシスの効果を明らかにするために二つの飼育試験を行った。また、20 m³ 水槽 1 面を使用して約 2.4 万尾の沈着移行期稚ダコを生産することができたのでその結果について報告する。

材 料 と 方 法

親ダコとふ化 親ダコには、1989 年 5 月 18 日に兵庫県明石市林崎漁協より入手した雌 6 尾（卵巣未発達）を用いた。また、水槽内で交接させる目的から雄 7 尾も入手した。親ダコの体重は雌雄 13 尾の平均で 0.9 kg (0.7~1.2 kg) であった。入手した親ダコは、0.5 m³ タンクに収容し、日本栽培漁業協会玉野事業場まで約 2.5 時間かけて自動車で輸送した。親ダコは、屋内に設置した 1.5 m³ FRP 水槽 2 面に収容し、収容した親ダコ尾数と同数のプラスチック製のタコツボ（キョクトウ・レジタ・リーフ L 型産卵用）を投入して産卵まで飼育した。餌料として活きたイシガニ、あるいはアサリを与えた。産卵の終了したタコツボは、親ダコごと別の 1.5 m³ FRP 水槽に移し、ふ化直前まで飼育した。ふ化直前になると 0.7 m³ FRP 水槽に個別に収容し、ふ化させた。親ダコの飼育期間中の平均水温は 23.3°C (17.1~25.9°C) であった。

上述のようにして得たふ化幼生の他に、屋島事業場において飼育された香川県庵治産親ダコよりふ化した幼生も入手し飼育実験に供した。

* 日本栽培漁業協会玉野事業場（〒706 岡山県玉野市築港 5-21-1）

表 1 飼育試験 I の試験区の設定

試 験 区	飼育水へのナンノクロロプシスの添加 ^{*1}	給餌する養成アルテミアのナンノクロロプシスによる栄養強化 ^{*2}
1) ナンノクロロプシス添加	有	無
2) 栄養強化	無	有
3) 対 照	無	無

^{*1} 飼育水中の密度が 100 万細胞/ml になるよう添加

^{*2} 1000 万細胞/ml のナンノクロロプシス中で約 16 時間栄養強化

餌料 今回の飼育にはすべて養成アルテミア (全長 1.5~2 mm) を餌料に用いた。アルテミア卵は、北米産^{*1} のものを用い、0.5 m³ 水槽において 26°C-24 時間でふ化させた。ふ化したアルテミアは 26°C に調温した 12 m³ 水槽に 5~10 個体/ml の密度になるよう収容し、流水飼育 (1 回転/日) を行った。アルテミアの餌料にはアルテミア飼料 No. 4^{*2} を用い、これを 200 目のネットに入れて 100 g/m³/日を目安に 3~5 回飼育水中に懸濁させた。このようにして 4~7 日間養成したアルテミアを収穫し、マダコ幼生飼育水中の密度が 1 個体/m³ になるよう 1 日に 1 度午前中に給餌した。

飼育試験 I マダコ浮遊期幼生の生残・成長に及ぼす飼育水へのナンノクロロプシス添加の効果およびナンノクロロプシスで栄養強化した養成アルテミアの餌料価値を明らかにすることを目的とした。

試験区として、表 1 に示したように、飼育水へのナンノクロロプシス添加の有無、給餌する養成アルテミアのナンノクロロプシスによる栄養強化の有無、を組み合わせた 3 区 (ナンノクロロプシス添加区、栄養強化区、対照区) を設けた。

飼育には、明石産親ダコよりふ化した幼生を各区 800 尾使用した。ふ化幼生の飼育水槽への収容は 9 時~10 時に行い、カップを用いて海水ごと幼生をすくい取って行った。

飼育は、7 月 13 日から 7 月 28 日まで 15 日間行った。飼育には屋内に設置した 0.5 m³ 円形黒色ポリエチレン水槽を各区 1 面使用し、飼育開始時から砂ろ過海水による流水飼育 (2 回転/日) を行った。飼育水温は、使用海水の水温が 25°C を越えるまではチタンヒーターにより 25°C を維持するように調節し、25°C を越えてからは調節しなかった。通気はエアストーン (直径 3 cm, 長さ 5 cm) 1 個で微量に調整した。照度および日長の調節は行わなかった。ナンノクロロプシスの添加は、飼育水中の密度が 100 万細胞/ml になるように定量ポンプを使用して 24 時間にわたり連続的に行った。養成アルテミアは給餌に先だて、0.1 m³ パンライト水槽に入れた 1000 万細胞/ml のナンノクロロプシス中に約 16 時間浸漬して栄養強化した。

飼育期間中は毎日 9 時に、水温、pH、養成アルテミア密度およびナンノクロロプシス密度を調べ、サイホンにより底掃除を行い、死亡個体数を計数した。なお、水温は 15 時にも測定した。また、適宜水面照度および塩分を測定した。給餌は水質等の測定後に行った。

幼生の成長は吸盤数⁹⁾ で表し、収容時と終了時には 30 尾、5 日目と 10 日目には 10 尾について測定した。なお、ふ化幼生の吸盤数の測定値は、すべて 4 個であった。飼育期間中の生残数の計数は行わず、収容時と終了時には全数計数を行った。

飼育試験 II マダコ浮遊期幼生の生残・成長に適した飼育水中のナンノクロロプシス密度を明らかにすることを目的とした。

試験区として、以下に示すように飼育水中のナンノクロロプシス密度 (細胞/ml) が異なる 4 区を設定した。

1) 50 万細胞区、2) 100 万細胞区、3) 200 万細胞区、4) 無添加区

飼育には、明石産親ダコよりふ化した幼生を各区 1000 尾使用した。ふ化幼生 30 尾について測定した吸盤数はすべて 4 個であった。飼育は、8 月 1 日から 8 月 16 日まで 15 日間行った。飼育水温の調節は行わなかった。ナンノクロロプシスの添加は、マダコ飼育水中の密度が各試験区所定の密度になるように定量ポンプを使用して 24 時間にわたり連続的に行った。その他の飼育条件および観察・測定事項は飼育試験 I と同様とした。

20 m³ 水槽を用いた飼育事例 飼育は 8 月 2 日から 27 日まで 25 日間行った。ふ化幼生は、屋島事業場から搬入した 70000 尾 (庵治産親ダコよりふ化した幼生。0.3 m³ 水槽を用い自動車により 2 時間かけて玉野事業場まで輸

^{*1} バイオマリン社

^{*2} ニッチク薬品工業株式会社

送した。輸送中は無給餌とし、酸素通気を行った。) および玉野事業場で明石産親ダコよりふ化した 12000 尾, 計 82000 尾を 10 時に屋内に設置した 20 m³ 角型 FRP 水槽 1 面 (実水量 17 m³) に収容した。飼育水には砂ろ過海水を用い, 流水飼育 (2 回転/日) とした。飼育水温は調節しなかった。通気はエアーストーン 9 個を用いて微量に調整した。水槽の上面および側面は遮光幕 (遮光率 90%) で覆った。飼育水中のナンノクロロプシス密度は, 100 万細胞/ml とし, 小型ポンプを用いてナンノクロロプシスを 24 時間連続添加して調節した。

飼育期間中は毎日午前中に自動底掃除機*を用いて底掃除を行い, 死亡個体数を記録した。成長は吸盤数で表し, 飼育期間中 5 日ごとに 30 個体について測定した。なお, 庵治産ふ化幼生の吸盤数の測定値は平均 3.7 個 (3~4 個), 明石産ふ化幼生の吸盤数のそれは, すべて 4 個であった。その他の飼育管理・測定項目は飼育試験 I と同様とした。

表 2 飼育試験 I の結果の概要

試験区	開始 尾数	終了時		生残率 (%)
		尾数	吸盤数*	
1) ナンノクロロプシス添加	800	396	13.9 (0.5)	49.5
2) 栄養強化	800	360	11.2 (1.1)	45.0
3) 対 照	800	461	9.9 (0.3)	57.6

* 30 個体についての平均値 (標準偏差)

結 果

飼育試験 I 飼育結果の概要を表 2 に示した。各試験区の 15 日間の生残率は, ナンノクロロプシス添加区 49.5%, 栄養強化区 45% および対照区 57.6% であり, 対照区の生残率が高かった。一方, 試験終了時の吸盤数の平均値を大きい順に並べて隣

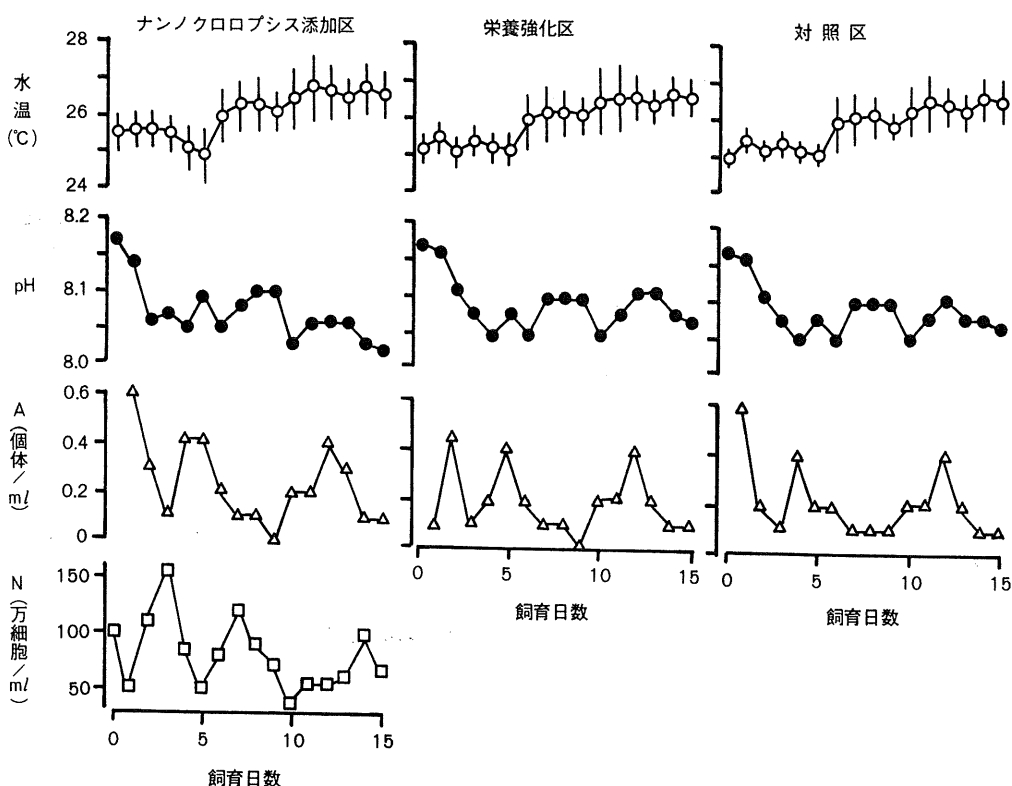


図 1 飼育試験 I の各試験区の水温, pH, 養成アルテミア密度 (A), ナンノクロロプシス密度 (N) の推移

水温は平均値 (O), 9 時・15 時 (バー) の値を示し, その他は 9 時の値を示した。

* ちゅう太くん, 神戸メカトロニクス株式会社製

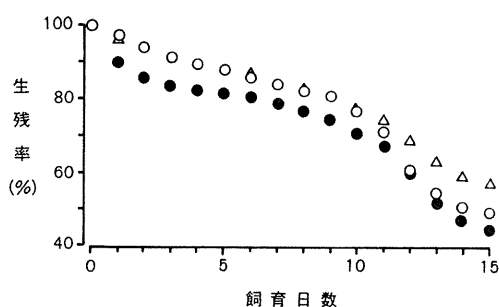


図2 飼育試験Ⅰの各試験区の生残率の推移
○: ナンノクロロブシス添加区
●: 栄養強化区
△: 対照区

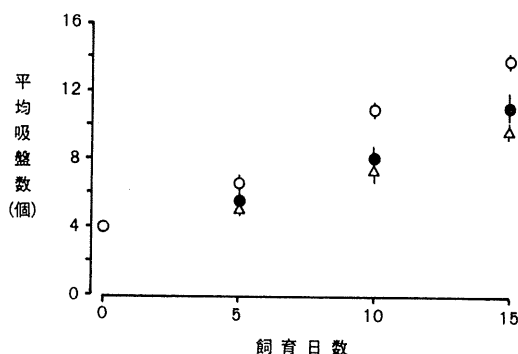


図3 飼育試験Ⅰの各試験区の平均吸盤数の推移
バーは標準偏差を示す。記号は図2に同じ。

除によって得られた死亡個体数の合計値との間に差がみられたため、飼育期間を通して毎日の底掃除の際に死亡個体を発見する可能性は等しいと仮定して、総死亡個体数(収容尾数-取り揚げ尾数)を毎日の底掃除によって得られた死亡個体数に応じて各飼育日に割り振った。なお、飼育途中に吸盤数測定のために間引いた個体は尾数が少ないため死亡として扱った。そのようにして推定した飼育日ごとの生残率を図2に示した。それをみると、飼育10日目までは一定の傾向で減少しているが、それ以降減少傾向が大きくなっていた。

次に各区の飼育期間中の平均吸盤数の推移を図3に示した。図3の各区の飼育日数と平均吸盤数の関係を下式を用いて表した。

$$G = a \exp(bT)$$

ここで、 G : 吸盤数の平均値、 T : 飼育日数、 a , b : 定数である。式の各定数を推定するにあたり、上式を自然対数に変換した下式の定数を最小2乗法により求めた。

$$\ln G = \ln a + bT$$

結果を表3に示した。各試験区とも相関は高く、吸盤数の増加傾向を表す定数 b はナンノクロロブシス添加区、

合わせの区間で平均値の差の検定*を行った結果、以下のような関係がみられた。

ナンノクロロブシス添加区 (13.9 個) > 栄養強化区 (11.2 個) > 対照区 (9.9 個)。

ここで、>は危険率1%で有意な差があることを示す。

各試験区の飼育水温、pH、養成アルテミア密度およびナンノクロロブシス添加区のナンノクロロブシス密度の推移を図1に示した。各区とも飼育期間中の水温の変化は同様であり、平均水温(範囲)はそれぞれ 26.1°C ($24.2 \sim 27.7^{\circ}\text{C}$)、 26.0°C ($24.7 \sim 27.5^{\circ}\text{C}$) および 25.9°C ($24.9 \sim 27.3^{\circ}\text{C}$) であった。pHは、飼育3日目まで低下し、それ以降8.1前後で推移していた。飼育10日目以降にナンノクロロブシス添加区においてナンノクロロブシスによる水槽の汚れが顕著になり、他の2区に比べpHが低下していた。養成アルテミア密度は各区とも同様の変化であり、およそ0.2個体/ml前後で推移していた。ナンノクロロブシス添加区の期間中の平均ナンノクロロブシス密度(範囲)は、82万細胞/ml(40万~155万細胞/ml)であった。飼育期間中の水面照度は1900~5000 lx、塩分は32~34‰であった。

飼育試験において生残率の推移を調べることは、生き残りの過程を把握するために重要であると考えられる。そこで、各区の飼育日ごとの生残率を日々の底掃除からの死亡個体数を用いて推定した。但し、収容尾数から試験終了時に全数計数した取り揚げ尾数を引いて求めた総死亡個体数と、毎日の底掃除

* 比較する試験区間でその分散に有意な差がみられたため、Cochran-Cox 法¹⁰⁾によって検定した。すなわち、 $t_{\text{ca1}} = (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) / (s_1^2/n_1 + s_2^2/n_2)^{1/2}$ (ただし、 $s_1^2 = S_1/(n_1-1)$, $s_2^2 = S_2/(n_2-1)$) を求める。そして $t_w(\alpha) = (s_1^2 \cdot t_{n_1-1}(\alpha)/n_1 + s_2^2 \cdot t_{n_2-1}(\alpha)/n_2) / (s_1^2/n_1 + s_2^2/n_2)$ を求め、 $t_{\text{ca1}} > t_w(\alpha)$ であれば帰無仮説 ($H_0: \mu_1 = \mu_2$) を棄却する。ここで、 $(\bar{x}_1, \bar{x}_2)$, (S_1, S_2) , (n_1, n_2) は、それぞれ比較する二つの区の平均値、偏差平方和、標本数であり、 $t_{n_1-1}(\alpha)$, $t_{n_2-1}(\alpha)$ は、それぞれ危険率 α における自由度 n_1-1 および n_2-1 の t -分布の値である。ここでは $\alpha = 0.01$ である。

表 3 飼育試験Ⅰの各試験区の飼育日数と平均吸盤数の関係式 ($G=a \exp (bT)$) の定数

試験区*1	N*2	$\hat{a}$	$\hat{b}$	r^{*3}
1)	4	4.211	0.0848	0.989*
2)	4	3.997	0.0692	0.999***
3)	4	3.911	0.0618	0.991***

*1 表 1 参照

*2 標本数

3 $\ln G$ と T との相関係数 (: $P<0.05$, ***: $P<0.001$)

表 4 飼育試験Ⅱの結果の概要

試験区	開始 尾数	終了時		生残率 (%)
		尾数	吸盤数*	
1) 50 万細胞	1000	433	12.3 (1.1)	43.3
2) 100 万細胞	1000	507	14.3 (1.0)	50.7
3) 200 万細胞	1000	440	12.7 (1.0)	44.0
4) 無 添 加	1000	223	10.6 (1.4)	22.3

* 30 個体についての平均値 (標準偏差)

栄養強化区, 対照区の順に高い値であった。

飼育試験Ⅱ 飼育結果の概要を表 4 に示した。各区の 15 日間の生残率は, 50 万細胞区 43.3%, 100 万細胞区 50.7%, 200 万細胞区 44% および無添加区 22.3% であった。ナンノクロロブシスを添加している区はいずれも無添加区より高い値であり, 100 万細胞区の生残が最良であった。試験終了時の吸盤数の平均値を大きい順に並べて隣合わせの区間で平均値の差の検定* を行った結果, 以下の関係がみられた。

100 万細胞区 (14.3 個) > 200 万細胞区 (12.7 個) = 50 万細胞区 (12.3 個) > 無添加区 (10.6 個)。

ここで, > は危険率 1% で有意な差があることを, = は危険率 5% で差がないことを示す。

各試験区の飼育水温, pH, 養成アルテミア密度およびナンノクロロブシス密度の推移を図 4 に示した。各区とも飼育期間中の水温の変化は同様であり, 平均水温 (範囲) はそれぞれ 27.0°C (25.3~28.5°C), 27.0°C (25.3~28.5°C), 26.9°C (25.3~28.5°C) および 27.0°C (25.3~28.5°C) であった。pH も各区同様の変化を示していたが, 飼育期間の後半では, ナンノクロロブシスの添加量が多い区ほど pH の低下がみられた。養成アルテミア密度は, 各区ともおよそ 0.1 個体/ml 前後で推移していた。ナンノクロロブシス密度は, 所定の密度になるよう調節したが, 各試験区とも飼育 7 日目以降は所定の密度より低く推移した。その原因として, 水槽底, あるいは壁にナンノクロロブシスによって生じた汚れが顕著に認められたことから, 添加したナンノクロロブシスの高水温による枯死が考えられた。ナンノクロ

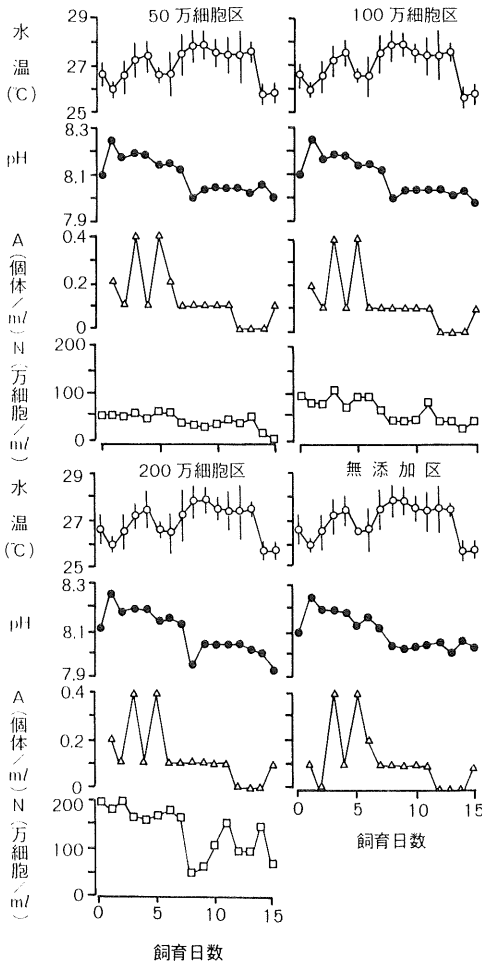


図 4 飼育試験Ⅱの各試験区の水溫, pH, 養成アルテミア密度 (A), ナンノクロロブシス密度 (N) の推移
記号は図 1 に同じ。

* 比較する試験区間でその分散には有意な差がみられなかったため, 以下のように検定した¹⁰⁾。すなわち, $t_{cn1} = (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) / \{ (S_1 + S_2) / (n_1 + n_2 - 2) \}^{1/2} / \{ (n_1 + n_2) / (n_1 n_2) \}^{1/2}$ を求め, $t_{cn1} > t_{n_1 + n_2 - 2}(\alpha)$ であれば, 帰無仮説 ($H_0: \mu_1 = \mu_2$) を棄却する。ここで, $(\bar{x}_1, \bar{x}_2)$, (S_1, S_2) , (n_1, n_2) は, それぞれ比較する二つの区の平均値, 偏差平方和, 標本数であり, $t_{n_1 + n_2 - 2}(\alpha)$ は, 危険率 α における自由度 $n_1 + n_2 - 2$ での t -分布の値である。ここでは $\alpha = 0.05$ ないし 0.01 である。

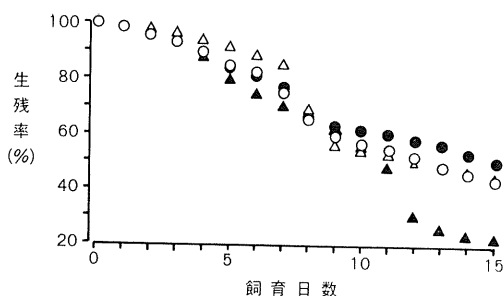


図 5 飼育試験Ⅱの各試験区の生残率の推移
○: 50 万細胞区, ●: 100 万細胞区,
△: 200 万細胞区, ▲: 無添加区

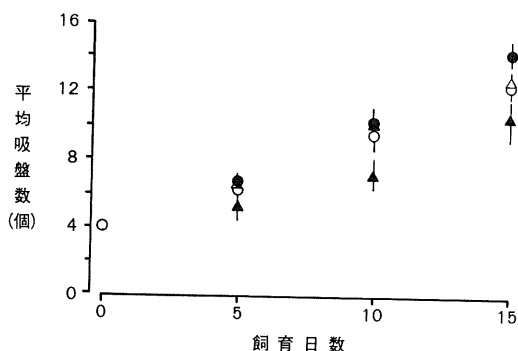


図 6 飼育試験Ⅱの各試験区の平均吸盤数の推移
バーは標準偏差を示す。記号は図 5 に同じ。

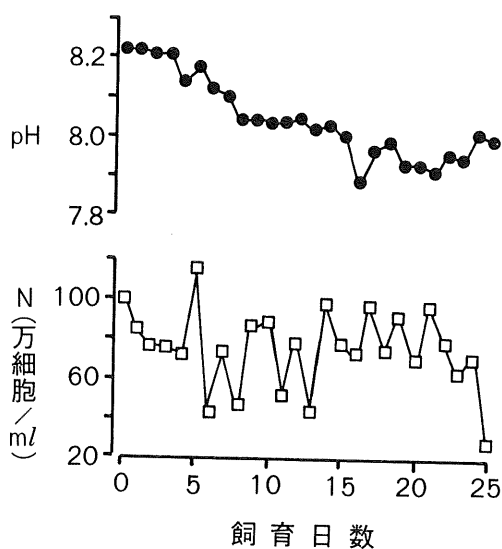
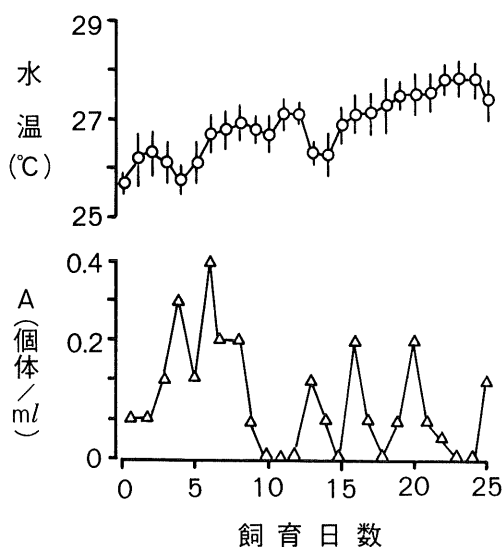


図 7 20 m³ 水槽を用いた飼育事例の水温, pH, 養成アルテミア密度 (A), ナンノクロロプシス密度 (N) の推移
記号は図 1 に同じ。

表 5 飼育試験Ⅱの各試験区の飼育日数と平均吸盤数の関係式 ($G=a \exp (b T)$) の定数

試験区* ¹	N* ²	$\hat{a}$	$\hat{b}$	r^{*3}
1)	4	4.156	0.0761	0.992**
2)	4	4.160	0.0851	0.996**
3)	4	4.229	0.0781	0.988*
4)	4	3.907	0.0646	0.997**

*¹ 表 3 参照

*² 標本数

³ $\ln G$ と T との相関係数 (: $P < 0.05$, **: $P < 0.01$)

ロブシスを添加した区の飼育期間中のナンノクロロプシスの平均密度 (範囲) は, それぞれ 41 万細胞/ml (4 万~60 万細胞/ml), 69 万細胞/ml (31 万~108 万細胞/ml) および 139 万細胞/ml (51 万~200 万細胞/ml) であった。飼育期間中の水面照度は 2000~4300 lx, 塩分は 32~34‰ であった。

次に飼育試験Ⅰと同様に毎日の底掃除からの死亡個体数から推定した生残率の推移を図 5 に示した。それをみると, ナンノクロロプシスを添加している区では飼育 7~9 日目に, 無添加区では 9 日目以降に大きな減耗がみられた。

次に各区の飼育期間中の平均吸盤数の推移を図 6 に示した。飼育日数 (T) と平均吸盤数 (G) の関係式を飼育試験Ⅰと同様に求めて表 5 に示した。各試験区とも飼育日数と平均吸盤数の自然対数値の間には, 高い相関が認められた。

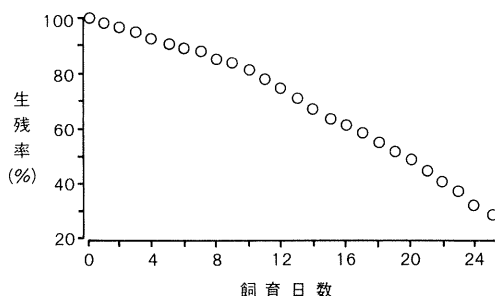


図 8 20 m³ 水槽を用いた飼育事例の生存率の推移

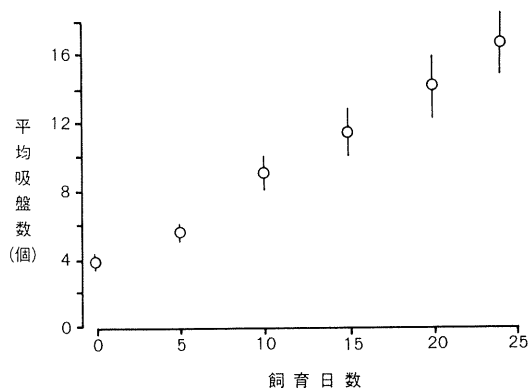


図 9 20 m³ 水槽を用いた飼育事例の平均吸盤数の推移
バーは標準偏差を示す。

20 m³ 水槽を用いた飼育事例 飼育は 25 日間行い、23700 尾の幼生を取り揚げた。生存率は 28.9% であった。ほとんどの幼生は、水槽の底、あるいは壁に着いたり離れたりする沈着移行期²⁾の幼生であった。飼育終了時の平均吸盤数 (標準偏差, 範囲) は、16.6 個 (1.98, 14~21 個) であった。

飼育期間中の水温, pH, 養成アルテミア密度およびナンノクロロブシス密度の推移を図 7 に示した。飼育期間中の平均水温 (範囲) は 26.9°C (25.6~28.1°C) であった。pH については飼育 8 日目までの低下が著しく、8 日目以降 7.9~8.0 の範囲にあった。養成アルテミア密度はおおよそ 0.2 個体/ml 前後で推移していた。ナンノクロロブシス密度は増減が激しかったが、平均密度 (範囲) は 76 万細胞/ml (29 万~117 万細胞/ml) であった。飼育期間中の水面照度は 1000~3500 lx, 塩分は 32~35‰ であった。

毎日の生存率を飼育試験と同様に求めて図 8 に示した。それをみると、飼育 8 日目以降に減少傾向が大きくなっていた。

次に飼育期間中の平均吸盤数の推移を図 9 に示した。飼育試験と同様に飼育日数 (T) と平均吸盤数 (G) の関係を求めた結果、次のように表された。

$$G = 4.332 \exp(0.0587T) \quad (N=6, r=0.980, P<0.001)$$

考 察

飼育試験 I では、ナンノクロロブシス添加区、栄養強化区、対照区の順に成長が良かった (表 2, 図 3)。従って、ナンノクロロブシスによって栄養強化された養成アルテミアは、マダコ浮遊期幼生の成長を促進する効果があると考えられる。また、ナンノクロロブシス添加区が栄養強化区よりも成長が良かったのは、飼育水中のナンノクロロブシスによって養成アルテミアの栄養の富化状態が高く維持されることによるものと考えられる。

ところで、飼育試験 I の終了時の生存率をみると、その順位は成長のそれと異なっていた (表 2, 図 2, 3)。このように生存率の良い試験区と成長の良い試験区が異なった場合には、生存率と成長のどちらを優先するかによって飼育結果の評価が分かれる。そこで、飼育結果を評価する試みとして、ここでは以下のように考えた。

値が大きければ飼育結果の評価にプラスに考える要因として、生存率、種苗の大きさおよび質、逆に値が小さければプラスに考える要因として、飼育管理労力 (底掃除、餌料培養など) などが考えられる。そして、前者を分子に後者を分母にとると、分子を大きくできる技術ほど、あるいは分母を小さくできる技術ほど、優れた生産技術ということになる。そして野中ら¹¹⁾が言うように、このような考え方に基づいて組み立てた指数は飼育技術の評価基準にすることができそうである。野中ら¹¹⁾は、この考え方を次のように模式化して示している。

$$\text{評価指数} = (\text{生産数}) (\text{大きさ}) (\text{健康度}) (\text{施設・機材の利用効率}) / (\text{生産数の変動}) (\text{生産経費})$$

上式に示されたもの以外にも組み込みたい要素はあるし、また、問題によっては上式の要素をやや異なった視点からとらえたい場合もある。何れにしても、この指数の分子、分母にどれだけの評価要素を導入できるかは、その

表 6 飼育試験Ⅰの評価指数 (PEI)

試 験 区	PEI ($\times 10^3$)
1) ナンノクロロブシス添加	10.0
2) 栄養強化	7.8
3) 対 照	8.0

表 7 飼育試験Ⅱの評価指数 (PEI)

試 験 区	PEI ($\times 10^3$)
1) 50 万細胞	8.1
2) 100 万細胞	9.3
3) 200 万細胞	8.5
4) 無 添 加	6.0

問題についての理解の程度と、個々の要素についてどれだけの情報が蓄積されているかによって決まる。換言すれば、問題についての理解度と情報の有無が、上式の評価基準の質を決めると言ってよいであろう。

今回のマダコの実験の場合、上式の評価指数に組み込む要素の数は極めて限られている。ここでは、種苗の質は、現在のところ評価のしようがないので種苗の大きさに含めて考えざるを得ない。また、毎日の飼育管理に必要な努力量は試験区間で差はないものとし、さらに飼育に要する経費の差についても考慮しなかった。結局、今回の試験で飼育成績の評価に使えるものは、一定の飼育期間における生残と成長に関するデータである。この二つの要素は何れも上式の分子に位置すべきものと判断される。そこで著者が持ち合わせている情報に基づいて今回のマダコの飼育成績を評価する尺度としては、野中ら¹¹⁾の考え方を簡略化して、次式のように、飼育開始日から終了日までの毎日の（生残）と（成長）の積の総和を指数として用いることとした。

$$PEI = (\sum S_i G_i)$$

ここで、PEI: 評価指数 (Productivity Evaluating Index), S_i : ある飼育期間の i 日目における生残率 (%), G_i : 同飼育期間の i 日目における種苗の平均的大きさである。ここで、 S_i としては前述の毎日の底掃除から推定した生残率を利用できる。 G_i としては飼育日数と吸盤数の関係式から飼育日ごとの平均吸盤数を計算して利用することとする。

ここで、上式により計算した飼育試験Ⅰの PEI を表 6 に示した。計算された PEI をみると、ナンノクロロブシス添加区が最も高く、栄養強化区と対照区では大差はなかった。このことから、さしあたり、ナンノクロロブシスの飼育水への連続的な添加は、マダコ浮遊期幼生の飼育に効果的であると判断した。

ここで用いた PEI は、飼育試験Ⅰにおいて、生残の良い試験区と成長の良い試験区が異なったために、その結果をどう合わせ判断するかという背景のもとで、飼育成績について総合判断をするための当面の判断基準である。但し、すでに議論したように（生残 $\times$ 成長）値は飼育成績の判断基準としては極めて未熟なものである。今後さらに情報を蓄積し、より質の良い判断基準の確立を図りたい。

飼育試験Ⅱでは、ナンノクロロブシスを添加している区は、生残・成長とも無添加区より結果が良かった（表 4, 図 5, 6）。ここで、飼育試験Ⅰと同様に PEI を計算し、表 7 に示した。それをみると、ナンノクロロブシスを添加している区は無添加区より高い値であり、ナンノクロロブシスの添加効果がうかがえる。ナンノクロロブシスを添加した区の中では 100 万細胞区が最も高い値であった。50 万細胞区、200 万細胞区で値が低くなった要因として、前者ではナンノクロロブシスの密度が低かったために強化したアルテミアの栄養状態が維持できなかった、あるいは後述のように水中照度が適正ではなかったことが考えられ、後者ではナンノクロロブシスの添加量が多く水質悪化を招いた、あるいは水中照度が適正ではなかったこと、などが考えられる。ナンノクロロブシスの適正密度については、水温など環境条件によって異なると考えられ、今後飼育試験を繰り返すことによって適正密度を決定する必要がある。

ところで、飼育試験Ⅰ・Ⅱのナンノクロロブシスを添加していない対照区は、実施時期を除けばほぼ同一の条件で行ったものであるが、生残率が著しく異なった（表 2, 4）。その差が何に起因するのか明らかではないが、飼育試験に設定した以外の条件が入り込んでいる可能性を示唆するものである。今後さらに飼育試験を繰り返すことによってその条件を確認する必要がある。

20 m³ 水槽を用いた飼育事例では、25 日間飼育を行い 23700 尾の沈着移行期幼生を取り揚げた。前述したように、過去のマダコ種苗生産では、天然プランクトンやエビ類の大型幼生を餌料として用いていたことから、大規模な飼育を試みるまでには至らなかった¹⁾。今回の 20 m³ 水槽を用いた飼育事例から、ナンノクロロブシスを飼育水へ添加し、餌料として養成アルテミアを用いることで規模の大きい飼育を試みることも可能になると考えられる。

以上のように、マダコ浮遊期幼生飼育においてナンノクロボシスの飼育水への連続添加は有効であると考えられ、その効果の一つとして、餌として与えた養成アルテミアの富化された栄養状態の持続を指摘できる。マダコ浮遊期幼生は visual feeder であり、摂餌にとって適正な照度は 300 lx 前後であることが知られている¹²⁾。このことから、ナンノクロボシスを飼育水へ添加することによって水中照度が適正に保たれ、摂餌環境を良くしたと考えることもできる。

過去に行われたナンノクロボシスをマダコの飼育水へ添加した二、三の飼育試験では、ナンノクロボシスのマダコ幼生の生残・成長に及ぼす効果は明確にされなかった。それらの試験では、マダコ幼生の餌料として適さないアルテミアノープリウスが使用されていた⁹⁾。また、養成アルテミアを使用した例では、養成アルテミアの給餌密度は 0.1 個体/ml 程度 (数値として示されていないが、総給餌個体数と飼育日数より計算した) であった¹³⁾。それに対し、今回の飼育では、マダコふ化幼生が最も摂取り易い大きさの養成アルテミア (全長 1.5~2 mm⁶⁾) を使用した。また、養成アルテミアの給餌密度を現在のところ適正と考えられる 1 個体/ml⁶⁾とした。この二点もナンノクロボシスの効果が現れた要因であると考えられる。

飼育試験 I, II および 20 m³ 水槽を用いた飼育事例の生残率の推移をみると、それが飼育途中に変化しているのが注目された (図 2, 5, 8)。生残率には種々の要因が相互に影響していると考えられ、単純に一つの要因のみを取り上げることはできないが、今回の飼育期間中の水温の変化に注目してみる (図 1, 4, 7)。飼育試験 I では、水温は飼育 6 日目以降徐々に上昇しており、飼育 10 日目以降は 27°C を越え、その頃から生残率の低下傾向が大きくなっていた (図 1, 2)。飼育試験 II では、飼育 7~9 日目にかけて水温が急に 28°C を越え、生残率の低下傾向が大きくなっていた (図 4, 5)。20 m³ 水槽での飼育では、減少が大きくなるのは飼育 8 日目からであり、水温が 27°C を越える時期であった (図 7, 8)。

以上に述べたように、飼育試験 I, II および 20 m³ 水槽における飼育とも、生残率の減少傾向が顕著になるのは飼育水温が 27~28°C へ上昇する時期であった。マダコふ化幼生の高水温耐性を調べた伊丹ら¹⁴⁾は、マダコ幼生は 27~28°C で異常を示すことを報告している。このように高水温はマダコ幼生に悪影響を及ぼすと考えられる。今後は、飼育試験によって適正水温を明らかにする必要がある。

今回の飼育試験においては、飼育水へナンノクロボシスを添加した区の結果が良かったと判断され、また、20 m³ 水槽を用いた飼育事例では、養成アルテミアのみを餌料に用いて、ナンノクロボシスを添加することによって数万尾の沈着移行期幼生を生産することができた。以上の考察を整理してみると、水作り用のナンノクロボシスと、餌料としての養成アルテミアを組み合わせることで大規模な飼育も実行可能になると考えられ、今後は、上述した問題点の検討を行い、さらに沈着移行期以降の飼育手法について検討する必要がある。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、種々の有益な助言をいただいた当協会須田 明常務理事ならびに古澤 徹第一技術部長に心からお礼を申し上げます。本研究は計画から取りまとめまで屋島・伯方島・玉野事業場で構成するマダコ種苗生産技術開発検討会の各位のお世話になった。また、当協会北田修一調査課長には評価指数について議論いただいた。ここに記して感謝の意を表します。

文 献

- 1) KOHZO ITAMI (1975) The Seto Inland Sea Octopus Fisheries Mainly Based on the Development of Resource Culture Techniques. *Bull. Hyogo Pref. Fish. Exp. Stn.*, 15: 109-118.
- 2) 岡山県水産試験場 (1966) マダコ種苗生産技術研究. 昭和 40 年度指定試験研究報告: 1-16.
- 3) 伊丹宏三・井沢康夫・前田三郎・中井晃三 (1963) マダコ稚仔の飼育について. *日水誌*, 29 (6): 514-520.
- 4) 日本栽培漁業協会 (1985) 昭和 59 年度日本栽培漁業協会事業年報, III—3 種苗生産技術の開発, M-1 マダコ: 235-241.
- 5) 今村茂生 (1990) マダコ種苗生産技術の現状. 採集と飼育, 52 (8): 339-343.
- 6) 日本栽培漁業協会 (1988) 昭和 61 年度日本栽培漁業協会事業年報, III—3 種苗生産技術の開発, M-1 マダコ: 259-266.
- 7) ——— (1989) 昭和 62 年度日本栽培漁業協会事業年報, III—3 種苗生産技術の開発, M-1 マダコ: 223-227.

- 8) ————— (1990) 昭和 63 年度日本栽培漁業協会事業年報, III—3 種苗生産技術の開発, M-1 マダコ: 258-265.
- 9) ————— (1983) 昭和 57 年度日本栽培漁業協会事業年報, III—3 種苗生産技術の開発, I-1 マダコ: 251-255.
- 10) 石居 進 (1975) 生物統計学入門. 培風館, 東京: 161-167 pp.
- 11) 野中 忠・柳瀬良介 (1986) アワビの種苗生産過程についての検討—I, 種苗生産成果の評価法. 栽培技研, 15 (2), 123-128.
- 12) 伊丹宏三 (1971) マダコふ化稚仔の摂餌について—I. 明るさの影響. 兵庫水試報告, 11: 1.
- 13) 日本栽培漁業協会 (1987) 昭和 60 年度日本栽培漁業協会事業年報, III—3 種苗生産技術の開発, M-1 マダコ: 239-241.
- 14) 伊丹宏三・中井晃三・前田三郎・井沢康夫 (1962) マダコ種苗生産技術研究. 昭和 36 年度指定試験研究報告: 1-32.