

## 稚ナマコの成長，生残に及ぼす海藻粉末の併用給餌効果

江口勝久

### The Effects of Combined use of Powdered Algae on the Growth and Survival of Sea Cucumber *Apostichopus japonicus*

Katsuhisa EGUCHI

The effects of compounded feed mainly including powdered algae, which were additionally fed to the juveniles of sea cucumber *Apostichopus japonicus* besides usual diatoms on the rearing plates, were tested in order to develop appropriate rearing techniques. The results of the test in dietary values on a small scale showed that the powdered algae consisted of *Ascophyllum nodosum* (proprietary name is "ARGIN GOLD") was suitable as an additional feed. The results of the practical application test indicated that feeding with the compounded feed including *Ascophyllum nodosum* improved the growth rate by 30 percent and the survival rate by 50 percent compared with that without the compounded feed. It has been found that the rearing of sea cucumber juveniles by using the compounded feed in 2011-2012 was done more efficiently than that without using it in 1990-2003.

キーワード：アルギンゴールド，*Ascophyllum nodosum*，マナマコ種苗生産，付着珪藻，貝化石

マナマコは我が国に分布するナマコ類のうち最も一般かつ重要な食用種である。全国各地で種苗生産が行われ、2009年度においては5～30mmサイズを中心に約430万個体の放流用種苗が生産されている<sup>1)</sup>。当センターにおいては、年によって異なるが、アオナマコ、アカナマコともに数十万個体程度の生産を行っている<sup>2)</sup>。

当センターでは1979年からマナマコの種苗生産技術開発に着手し、浮遊幼生の飼育水槽とは別の水槽で培養した付着珪藻で稚ナマコへ変態（採苗）させ、その後付着珪藻板上で飼育するという方式（採苗方式）を確立した<sup>3)</sup>。この方式により、採卵から4～5ヶ月で体長10mm以上の稚ナマコを10万個体単位で生産することが可能となった。この採苗方式においては、変態基質や採苗後の餌料として用いる付着珪藻の量（細胞密度）や種類が、変態率やその後の成長・生残に影響を及ぼすことが明らかとされている<sup>3)</sup>。よってこれまでは、採苗から付着珪藻を餌料として飼育する60～90日間（1次飼育）においては、いかに良質かつ十分量の付着珪藻を供給するかと

いうことを主眼においた技術の改良を行ってきた。

一方、取り上げ後の2次飼育（採苗後60～90日以降）では、付着珪藻ではなく海藻粉末（商品名：リビックBW，栄研商事）を主体とした飼育を行っている<sup>3)</sup>。また、他の機関でも稚ナマコ飼育初期から海藻粉末を主体的または補助的に使用して飼育を行っている例<sup>4-8)</sup>もあるなど、海藻粉末の稚ナマコに対する餌料としての有効性は既に確認されている。

稚ナマコ飼育餌料として、付着珪藻は海藻粉末に比べ、付着基質を兼ねるため常に摂餌可能な餌料であること、水質を悪化させないこと、給餌作業が必要ないことなどの大きな利点があるが、水温、水質、日照量等の外部要因に影響を受け、量・種組成が生産回次毎に異なる可能性がある。そのため、付着珪藻の良否により、成長や生残が左右され、生産が不安定化する可能性がある。

以上の背景から、成長や生残の安定化や向上を目的とし、1次飼育において、従来の付着珪藻のみを餌料とする飼育方法を改良し、海藻粉末を補助的に使用する飼育

技術の開発を行った。なお、これまでに実績のある海藻粉末のリビック BW（栄研商事）が東日本大震災の影響で製造・販売中止となるという新たな問題が生じたため、本研究ではまず、リビック BW に替わる、餌料価値が高く、安価で、入手が容易な新たな海藻粉末を探索し、その餌料価値について検討を行った。その結果をもとに、量産規模での実用化試験を実施した。さらに、附着珪藻に加え、海藻粉末を併用した飼育結果を過去の附着珪藻のみでの飼育結果と比較した。以上の結果をもとに、稚ナマコ飼育における海藻粉末併用の効果について考察した。

## 材料および方法

### 実験室規模での餌料試験

餌料試験は室温20℃に保った恒温室で行い、飼育容器は円柱型のポリエチレンカップ（上径φ122mm×下径φ103mm×高さ146mm、有効水量1L）を用いた。飼育水は砂濾過後紫外線殺菌を行った海水を用い、通気は行わなかった。飼育容器毎に10個体のアオナマコ（試験開始時の平均全長±標準偏差=6.30±1.61mm）を収容した。1日おきに飼育水を全量交換し、その際に水温を測定した。試験期間は20日間とし、試験終了後に生残個体数とメントール麻酔後<sup>9)</sup>の全長を測定した。

試験区は無給餌区を1区、餌料種類別に3区を設定し、各試験区で6例、合計24例で試験を行った。使用した餌料は北欧産の大型褐藻である *Ascophyllum nodosum* を原料としたアルギンゴールド（略称 AG, アンデス貿易）、東南アジアのホンダワラ類を原料としたホンダワラミール（略称 HM, アンデス貿易）の2種類であり、それらを単独または併用（等量混合）して使用した。ホンダワラミールはチップ状であるため、乾燥時にミキサーで粉砕した後、目合い250μmの篩で篩落ちたものを使用した。給餌は換水の際に行い、海水中にミキサーで溶解した後に給餌した。給餌量は、給餌総量を一回当たり100mg/水槽とし、単独餌料の場合は100mg、2種類の併用の場合は50mgずつを給餌した。

### 量産規模での実用化試験

餌料試験の結果、餌料価値が高いと判断された海藻粉

末を用いて、それを併用給餌する区と併用給餌しない区の2群を設定し、成長と生残を比較した。

基本的な稚ナマコ飼育の方法は、江口・森<sup>2)</sup>による。飼育水槽は当センターの屋外15m<sup>2</sup>角形コンクリート水槽（長辺9.0×短辺1.5×深さ1.0m）を上部約1/3程度が実効水量となるよう二重底としたものを使用し、内側にポリエチレンネット（100目）を設置した。そこに稚ナマコが附着した附着珪藻板（40×32cm）を約1,000枚（10枚1セットを100セット）設置した。通気管は内径13mmのパイプに3cm間隔で直径1mmの穴を開けたものを水槽長辺に対し、平行に2本設置した。水槽上部に遮光幕（遮光率30～70%）を設置し、天候や稚ナマコのサイズ、附着珪藻の繁茂状況等を勘案し、遮光率を適宜変更した。注水は、試験開始当初の3回転/日から終了時の7回転/日まで適宜増加させた。

海藻粉末に貝化石等の砂粒を混合した方が稚ナマコの成長と生残が向上するという知見<sup>8, 10-11)</sup>をもとに、餌料としては海藻粉末であるアルギンゴールドと貝化石（商品名：フィッシュグリーン、グリーンカルチャア）の同重量混合物（以下配合餌料）を使用した。給餌量は10g/水槽から開始し、その後様子を見ながら適宜増加させ最終的には100g/水槽とした。給餌回数は週2回とした。配合餌料はミキサーで海水中に懸濁させ、水槽内に均一に散布して給餌し、その後2～5時間程度通気と注水を止めて餌料の流出を防いだ。

比較した2群は2011年3月22日に採卵、4月7日に採苗した同じ飼育履歴の群を、5月2日に4水槽に分槽し、分槽後に配合餌料添加区と無添加区を各2水槽設定した。試験開始後も、配合餌料添加の有無以外は当センターで行っている通常の方法<sup>3)</sup>に準じて、ほぼ同様の方法で行った。試験は5月2日（採苗後25日目）から開始し、6月28日（採苗後83日目）で終了した（延べ58日間）。試験開始直後に水槽毎の稚ナマコの個体数、全長を計数・計測し、試験終了後も同様の計数・計測を行った。試験開始前の稚ナマコの個体数は抽出率1%で附着板1枚当たりの稚ナマコ個体数を計数し、その値を水槽全体に引き延ばして推定した。試験終了後の個体数は、水槽全体の個体を取り上げた後、全個体を計数した。全長の計測はメントール麻酔後<sup>9)</sup>に行った。

## 過去の飼育結果との比較

2012年生産は2011年の量産規模での実用化試験の結果を受け、2011年に比べ、配合餌料の給餌開始時期を早め、給餌量・頻度ともに多くした（給餌開始：採苗後15日～、給餌量：60～200 g/水槽、給餌頻度：1～3回/週）。この2012年度の生産結果と、試行的に配合餌料を用いて生産した2011年度の実用化試験結果を、附着珪藻のみで飼育を行っていた過去（1990～2003年）の1次飼育結果（1回目の取り上げまで）と比較した。なお2004～2010年の生産に関しては、一部の飼育データが欠損しているため比較対象としなかった。

比較したのは飼育日数、取り上げ尾数（水槽毎も含む）、生残率、全長の4項目であり、当センターの事業報告書<sup>2, 12-16)</sup>に基づくデータからを引用した。生産結果の良否は、生産年により需要数に変動があり、生産目標が異なるため、取り上げ個体数ではなく、水槽毎の取り上げ個体数、飼育に要した日数、取り上げ時の全長を考慮し、いかに効率的であったかを判断する必要がある。よって比較は、

生産効率指数 = 1水槽あたりの取り上げ個体数（万個体）×平均全長（mm）÷飼育日数（日）

を定義し、その値の大小で比較した。

## 結 果

### 実験室規模での餌料試験

試験期間中の水温は19.8～21.2℃の範囲内であった。

試験結果を表1に示す。試験終了時の平均全長は無給餌区が6.78mm、AG区が10.13mm、HM区が10.16mm、AG + HM区が9.69mmであった。日間成長量（mm/日）

表1 餌料試験結果

| 餌料の種類   | 試験終了時の全長 (mm) | 日間成長量 (mm/日) | 生残率 (%) |
|---------|---------------|--------------|---------|
| 無給餌     | 6.78          | 0.02         | 76.7    |
| AG*     | 10.13         | 0.19         | 86.7    |
| HM**    | 10.16         | 0.19         | 90.0    |
| AG + HM | 9.69          | 0.17         | 86.7    |

\*AG：アルギンゴールド、\*\*HM：ホンダワラミール

は、無給餌区が0.02、AG区が0.19、HM区が0.19、AG + HM区が0.17であった。最終生残率は無給餌区が76.7%、AG区が86.7%、HM区が90.0%、AG + HM区が86.7%であった。

### 量産規模での実用化試験

配合餌料（アルギンゴールド+貝化石）の有無による飼育結果の比較を表2に示す。

表2 配合餌料の有無による飼育試験結果

| 配合餌料の有無 | 平均全長 (mm) |      | 日間成長量 (mm/日) | 個体数 (×10 <sup>4</sup> ) |      | 生残率 (%) |
|---------|-----------|------|--------------|-------------------------|------|---------|
|         | 開始時       | 終了時  |              | 開始時                     | 終了時  |         |
| あり      | 2.4       | 11.6 | 0.16         | 19.9                    | 12.0 | 60.3    |
| なし      | 2.3       | 9.0  | 0.12         | 19.3                    | 7.7  | 39.8    |

配合餌料を給餌した方が成長・生残ともに良好で、日間成長量で見ると成長は約1.3倍、生残率は約1.5倍の向上が認められた。

### 過去の飼育結果との比較

結果を表3に示す。生産効率指数をみると、2012年の

表3 過去の飼育結果（配合餌料の併用給餌無し）との比較

| 生産年度 | 配合餌料の給餌 | 飼育日数 (平均) | 取り上げ個体数 (×10 <sup>4</sup> ) | 水槽毎取り上げ個体数* (×10 <sup>4</sup> ) | 稚ナマコ生残率 (%) | 全長 (mm) | 生産効率指数** |
|------|---------|-----------|-----------------------------|---------------------------------|-------------|---------|----------|
| 2012 | あり      | 72.0      | 100.3                       | 9.1                             | 107.4       | 15.1    | 1.9      |
| 2011 |         | 100.5     | 51.7                        | 4.7                             | 28.8        | 12.2    | 0.6      |
| 平均   |         | 88.5      | 76.0                        | 6.9                             | 68.1        | 13.7    | 1.3      |
| 2003 |         | 109.0     | 57.2                        | 5.7                             | 41.3        | 8.6     | 0.4      |
| 2002 |         | 73.5      | 10.1                        | 0.8                             | 10.9        | 16.4    | 0.2      |
| 2001 |         | 98.0      | 7.9                         | 2.0                             | 4.2         | 30.1    | 0.6      |
| 1996 |         | 96.0      | 11.1                        | 3.7                             | 32.6        | 10.7    | 0.4      |
| 1995 | なし      | 91.5      | 50.0                        | 5.1                             | 23.9        | 10.7    | 0.6      |
| 1994 |         | 86.5      | 62.8                        | 7.1                             | 45.6        | 9.5     | 0.8      |
| 1993 |         | 97.0      | 27.2                        | 5.2                             | 13.3        | 12.8    | 0.7      |
| 1992 |         | 81.2      | 32.4                        | 5.7                             | 28.1        | 12.7    | 0.9      |
| 1991 |         | 100.0     | 23.6                        | 3.6                             | 12.8        | 13.7    | 0.5      |
| 1990 |         | 102.3     | 22.5                        | 4.1                             | 40          | 17      | 0.7      |
| 平均   |         | 93.5      | 30.5                        | 4.3                             | 25.3        | 14.2    | 0.6      |

\* 年度により使用水槽の規模が異なるため、附着板1000枚当たりの個体数とした。

\*\* 生産効率指数 = 水槽毎の取り上げ個体数（万個体）×全長（mm）÷飼育日数（日）

1.9が最も高く、最も低いのは2002年の0.2であった。配合飼料の給餌を始めた2011、2012年ではそれ以前に比べ、その値が高い傾向がみられ、特に2011年の試行結果を受け、給餌量等を増加させた2012年に関しては、他の生産年に比べかなり値が高かった。

## 考 察

### 実験室規模での餌料試験

今回用いた海藻粉末のアルギンゴールド（以下 AG）、ホンダワラミール（以下 HM）ともに無給餌区に比べ、成長、生残とも良好な結果を示し、稚ナマコ餌料としての有効性が認められた。また、この2種で、成長、生残に特に大きな差はみられなかった。しかし、これまでの知見<sup>8, 11, 17)</sup>による稚ナマコ餌料としての有効成分という点では、餌料価値は AG の方が高い可能性があると推定される。すなわち、稚ナマコ餌料の好適条件として挙げられている、タンパク質含量高さ（AG が5～10%、HM が6.1%）、繊維質の含量の少なさ（AG が8%、HM が8.3%）、アミノ酸各成分の含有量の高さ（有効成分とされるアミノ酸の全てで AG の方が含有量多い）の全てにおいて AG が優れている（餌料の各成分はメーカーの表示値を使用）。今回の試験でこの有効成分の差が、試験結果に反映されなかった要因は、小規模かつ短期間の試験であったためという可能性が高いと判断し、餌料価値の面からは AG が優れていると判断した。

また、HM はチップ状であるため量産規模で大量に粉碎粉末を作成するのは手間がかかる。価格については、AG が300円/kg程度、HM が200円/kg程度と AG の方が高いが、実際の量産規模でも使用量は少なく、価格は大差ないと判断した。以上より、成長と生残に差はないという結果を得たが、有効成分の量や扱いやすさ、価格の面を総合的に考察し、量産規模での稚ナマコの餌料としては AG の方が適していると判断した。

### 量産規模での実用化試験

実際に量産規模で実証試験を行った結果からは、成長、生残ともに向上し、配合飼料の給餌効果があったと判断された。観察結果では、配合飼料を給餌した翌日には、配合飼料主体の糞が付着板上に多く確認され、稚ナ

マコは活発に摂食していたものと推定された。

配合飼料の給餌によるデメリットとして水質の悪化が懸念されたが、試験期間を通して水槽替え、底掃除等の必要もなく、順調に飼育することができた。また、週に2回程度の給餌作業があるが、まとまった人数や時間を要する作業ではない。また、価格も非常に安価である。よって付着珪藻に加え、配合飼料を併用給餌する大きなデメリットは無いと判断された。

### 過去の飼育結果との比較

過去との比較をみると、生産効率指数は配合飼料給餌区で高い傾向があった。特に2011年の試行結果を受け、給餌開始時期を早め、給餌量、給餌頻度を増加させた2012年に関しては、それ以前の飼育結果を大幅に上回る飼育結果が得られた。給餌量・頻度を増加させたことによる水質悪化や底掃除・水槽替え等の手間が必要となることはなかった。また、水槽毎の成長や生残にばらつきも少なかったことから、単年度の結果であるが、ある程度の再現性はあると判断している。今後は2012年の給餌方法を基準とした生産を行う予定である。また、本研究はアオナマコを対象としたが、アカナマコについても同様な飼育成績向上が見られており、アカナマコについても有効な方法であると考えられる。

これまで当センターの稚ナマコ1次飼育（1回目の取り上げまで）では、飼育期間が採苗から90日前後、取り上げ個体数5万個体/水槽、平均全長10mm程度を目安としていた。2012年の飼育事例を参考にすれば、配合飼料を併用給餌することにより、飼育期間70日前後、取り上げ個体数10万個体/水槽、平均全長15mm程度を目安とした効率的な生産を行うことが可能となる。

本研究により、アルギンゴールドの稚ナマコ餌料としての有効性が示され、付着珪藻に加え、それを併用給餌することで、稚ナマコ飼育における成長、生残が大幅に向上することが明らかとなった。これまでに実績のあるリビック BW と餌料価値は比較できないが、リビック BW は *Ascophyllum nodosum* とワカメの混合物、アルギンゴールドは *Ascophyllum nodosum* の単体と両者で内容成分に差が少ないこと、アルギンゴールドを使用した2012年の生産結果では十分な向上結果が得られたこ

と、現状では他に容易に入手可能で安価な海藻粉末はほとんど無いことを併せると、現状では稚ナマコ用の餌料としてはアルギンゴールドがリビック BW の代替餌料として適すると考えられる。

本研究はリビック BW の製造・販売中止を受け、限られた時間の中で代替となる海藻粉末を探索しなければならない状況下で行った。そのため、餌料の成分や海藻粉末に混合した貝化石等の砂粒の影響については十分な検証を行っていない。また、コスト面での問題はありますが、稚ナマコ用の初期餌料は国内メーカーより複数販売されている。さらに、本研究が対象とした *Ascophyllum nodosum* が属するヒバマタ目は検討されていないが、6種の海藻粉末（ウミトラノオ *Sargassum thunbergii*、コバモク *Sargassum polycystum*、アマモ *Zostera marina*、オオバアオサ *Ulva lactuca*、マコンブ *Laminaria japonica*）のナマコ餌料としての評価を行った例<sup>18-19)</sup>では、嗜好性ではマコンブが、成長性ではマコンブとオオバアオサが適するとの結果を得ている。

今後は、アルギンゴールドをリビック BW の代替餌料としつつ、これまでの知見を参考にしながら、さらに適した餌料種類や餌料の各成分、貝化石等の砂粒の影響等について詳細な検討を加え、稚ナマコ飼育に適した餌料の探索を行う。

## 文 献

- 1) 水産庁・水産総合研究センター・全国豊かな海づくり推進協会 (2012)：平成21年度栽培漁業種苗生産，入手・放流実績（全国），8-12.
- 2) 江口勝久・森 勇一郎 (2013)：種苗量産技術開発事業 (2) マナマコの種苗生産. 平成23年度佐玄水振セ業報, 70-74.
- 3) 伊藤史郎 (1995)：マナマコの人工大量生産技術の開発に関する研究. 佐裁セ研報, **4**, 1-87.
- 4) 池田善平, 植木範行, 草加耕司. 稚ナマコ用餌料「リビック BW」の適性投与量について. 岡山水試報 (1992)： **7**：53-55.
- 5) 有江康章. 粉末海藻で飼育した稚ナマコの成長と生残. 福岡水技研報 (1993)： **1**：113-120.
- 6) 畑中宏之 (1996)：マナマコ種苗の中間育成における適正給餌量の検討. 栽培技研, **25**(1)：11-14.
- 7) 酒井勇一, 近田靖子 (2009)：マナマコ人工種苗の陸上育成マニュアル. 北海道立栽培水産試験場, 97pp.
- 8) 小林俊将, 山口 仁, 根田幸三. 稚ナマコ飼育のための配合飼料の研究. 岩手水技セ研報 (2011)： **7**：15-18.
- 9) 畑中宏之・谷村健一 (1994)：稚ナマコの体長測定用麻醉剤としての menthol の利用について. 水産増殖, **42**：221-225
- 10) 木原 稔・田本淳一・星 貴敬 (2009)：水槽内のマナマコ摂餌行動におよぼす砂粒の影響. 水産技術, **2**(1)：39-43.
- 11) Liu Y, Dong SL, Tian XL, Wang F, Gao QF. (2009): Effects of dietary sea mud and yellow soil on growth and energy budget of the sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka). *Aquaculture*. **286**：266-270.
- 12) 佐賀県栽培漁業センター (1993)：マナマコの種苗生産（平成2～4年度）. 佐裁セ事報 平成元～4年度, 34-40.
- 13) 伊藤史郎・川原逸郎・江口泰蔵 (1994)：マナマコの種苗生産（平成5年度）. 佐裁セ事報 平成4～5年度, 32-46.
- 14) 川原逸郎・江口泰蔵・伊藤史郎 (1995)：マナマコの種苗生産（平成6年度）. 佐裁セ事報 平成5～6年度, 31-38.
- 15) 伊藤史郎・中牟田弘典・江口泰蔵 (1996)：マナマコの種苗生産（平成7年度）. 佐裁セ事報 平成6～7年度, 31-41.
- 16) 大隈 斉・真崎邦彦・江口泰蔵 (1997)：マナマコの種苗生産（平成8年度）. 佐裁セ事報 平成7～8年度, 31-43.
- 17) Sun, H., Liang, M., Yan, J. and Chen, B. (2004): Nutrient requirements and growth of the sea cucumber, *Apostichopus japonicus*. *Advances in sea cucumber aquaculture and management* FAO FISHERIES TECHNICAL PAPER 463.
- 18) Xia, F., Zhao, P., Chen, Y., Li, Y., Liu, S., Zhang, L., Yang, H. (2012): Feeding preferences of the sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka) on various seaweed diets. *Aquaculture*, **344-349**：205-209
- 19) Xia, F., Yang, H., Li, Y., Liu, S., Zhou, Y., Zhang, L. (2012): Effects of different seaweed diets on growth, digestibility, and ammonia-nitrogen production of the sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka). *Aquaculture*, in press.