

微小藻類の大量培養技術開発研究（要約）

玉城英信・翁長 誠*

本研究の詳細は特定研究開発促進事業、微小藻類の大量培養技術開発研究報告書において水産庁に報告し、報告書は別途に印刷するので、ここではその概要のみを記す。

1. 研究の目的

本県の重要な磯根資源であるタカセガイ、ヤコウガイの種苗生産にはアワビ、サザエで使用されている *Navicula ramosissima* を餌料として用いているが、培養方法、餌料価値についての検討はなされていない。本研究は両種の生物特性と好適餌料を明らかにし、大量培養技術を確立することによって、種苗生産技術の向上を図ることを目的に行った。

2. 材料及び方法

1) 好適餌料の探索

地元産株の分離は水槽壁面、排水口、ヤコウガイとタカセガイの胃内容物、殻表面及び排泄物中から液体培地で素培養後にマイクロペット法と寒天プレート法を併用して行った。また、養殖研究所、鹿児島県、佐賀県から既存の微小藻類を入手した。これらの餌料藻類の餌料価値を比較した。

2) 種苗生産

天然と飼育親貝を用いてヤコウガイとタカセガイの種苗生産を行った。採卵回数はヤコウガイで4回、タカセガイで1回であった。産卵誘発には干出、止水、生殖腺、紫外線照射海水を使用した。

3) 這い上がり防止試験

従来水槽、巡流型-1及び巡流型-2のモデル水槽を作成し、餌料藻類を増殖させた。増殖を確認後、タカセガイ稚貝を各200個体を収容し、水槽の構造による生残率の違いを比較した。

4) 酸素消費量

浮ら（1975）が考案した流水式酸素測定装置を作製し、ヤコウガイとタカセガイのサイズ別、温度別の酸素消費量を測定した。測定は9:00～17:00まで7～9回のサンプルをWinkler法によって定量し、1個体当たりの酸素消費量を算出した。

5) 酸素消費量と行動の日周変化

ヤコウガイとタカセガイの酸素消費量と行動を1時間毎に測定した。酸素消費量はWinkler法を用い、行動の観察は各個体の位置を確認後、各区3分間の観察中に移動、触覚の動き、摂餌行動のあった個体を行動個体とした。

6) 摂餌活性試験

坂田ら（1985）が考案したアビセル板法による摂餌活性物質検索法のヤコウガイ、タカセガイへの適用について検討した。材料はイバラノリ、コケイバラ、カタメンキリンサイ、マクリ、付着珪藻の5種類を用いた。これらの海藻のメタノール抽出物は静岡大学農学部坂田完三教授のご好意により、同大学で作製したものを実験に使用した。ヤコウガイ稚貝は平均殻高19-21mm、タカセガ

*：非常勤職員

イ稚貝は15-16mmを各区50~100個体収容し、2日間は流水下で飢餓状態にしたものを用いた。アビセル板は水槽壁面に設置し、水槽内はチタンヒーターを使用して水温28~30℃になるように調整した。アビセル板挿入後はエアレーションのみの止水とし、翌朝取り出し摂餌活性を判定した。

7) ヤコウガイ稚貝に対する大型海藻類の餌料効果試験

石垣島周辺で採集した緑藻類8種、褐藻類5種、紅藻類16種、顕花植物1種の計31種を2mmの籠に収容し、250Lの屋外FRP水槽の上面に吊り下げて試験を行った。採集された海藻類は淡水に1時間浸漬し、付着物やその他の海藻類を除去後、試験に用いた。重量の測定は海藻を布袋に入れ脱水機でよく水分を切った後に行った。対照区には市販のアワビ用配合飼料を晩1回給餌した試験区を設けた。試験中は常に十分な餌を維持するように適宜新しい海藻を追加した。また、試験は付着珪藻等の他の餌料の発生を抑えるため、次亜塩素酸ナトリウム1000ppmで水槽内と飼育籠を殺菌後、13~17日間と短時間で終了した。餌料効果の高い値が得られた海藻類については2~3回試験を繰り返して行った。餌料価値のランクは対照区より高いものをAランク、低いものをBランク、餌料効果が不明瞭なものをCランクとした。

3. 研究結果の概要

1) 好適餌料の探索

地元産の株はサイズや形態によって *Navicula* spp. 6株、*Nitzschia* spp. 1株、*Amphora* sp. 2株、不明1株、藍藻類1株の計11株を分離した。入手した既存株は *Achmanthes biceps*、*Navicula ramosissima*、*Navicula hustediana*、*Nitzschia diuergense*、*Ulvella lens* の計5種であった。

本年度はこれらの微小藻類のうち地元産株11種、*Achmanthes biceps* 及び *Navicula ramosissima* の餌料効果を比較した。その結果、ヤコウガイ餌料効果では対照区の *N. ramosissima* より成長の良かったのは *A. biceps* のみであった。次に高い値を示したのは *N. ramosissima*、*N. spp*-3、*N. spp*-4 の順であった。また、タカセガイでも *A. biceps* 給餌区の成長が最も高い値であった。

2) 種苗生産

ヤコウガイの採卵は5回行われ、使用した貝は延べ75個体、うち9個体の雌の産卵が確認された。産卵数は1,782万個、ふ化幼生数は1,044万個体、平均ふ化率58.6%であった。タカセガイの採卵は1回行われ、使用親貝は20個体で、♀7個体の産卵が確認された。産卵数は370万個、ふ化幼生数は325万個体、ふ化率87.8%であった。

ヤコウガイの生産数は平成4年3月1日に取り上げた結果、稚貝の数は36,671個体、ふ化幼生からの生残率0.65%、平均殻高は7.2mmであった。タカセガイの種苗生産は平成3年11月7日に取り揚げた結果、9t水槽2面で154,684個、ふ化幼生からの生残率8.1%、平均殻幅7.2mmであった。

3) 這い上がり防止試験

生残率は従来の水槽で平均30.8%、巡流型-1で53.0%、巡流型-2では69.3%と巡流型水槽は従来の水槽のに比べて生残率で約2倍程度高い生残率を示した。しかし、生残率の最も高かった巡流型-2の区での生残率でも74.5%と短期間(25日間)に供試個体の約4分の1がへい死したことから、なお一層の改良が必要である。

4) 酸素消費量

a) ヤコウガイの酸素消費量と温度及び体重の関係

設定温度19.9~28.4℃の範囲内の酸素消費量(対数値)と温度が直線関係にあり、酸素消費量は温度の上昇に伴って増加することから、各サイズでの酸素消費量と温度の関係を次の式から求められた。

$$R = A^T \times B \quad (A, B: \text{定数}, T: \text{温度}) \dots\dots\dots 1$$

No.1 体重 2.8 g $R = 1.14604^T \times 0.00329 \quad (r=0.9525)$

No.2 体重 13.4 g $R = 1.10270^T \times 0.00338 \quad (r=0.9573)$

No.3 体重 52.5 g $R = 1.10659^T \times 0.08339 \quad (r=0.9835)$

No.4 体重132.6 g $R = 1.10584^T \times 0.15744 \quad (r=0.9377)$

次に酸素消費量と体重の関係はそれぞれの対数値が直線関係にあることから、各温度での関係式は次の式から求められた。

$$R = k \times W^b \quad (k, b: \text{定数}, w: \text{体重}) \dots\dots\dots 2$$

28.4℃ $R = 0.08866 \times W^{0.72777} \quad (r=0.9962)$

27.5℃ $R = 0.06283 \times W^{0.74525} \quad (r=0.9882)$

26.1℃ $R = 0.05701 \times W^{0.76096} \quad (r=0.9896)$

25.6℃ $R = 0.04302 \times W^{0.79586} \quad (r=0.9903)$

23.5℃ $R = 0.03899 \times W^{0.79318} \quad (r=0.9907)$

22.8℃ $R = 0.03442 \times W^{0.78368} \quad (r=0.9608)$

19.9℃ $R = 0.02559 \times W^{0.80500} \quad (r=0.9973)$

以上の1式と2式をまとめた $R = M \times W^b \times A^T \quad (M, A: \text{定数}) \dots\dots\dots 3$

3式の最小二乗法の定数と各測定結果より求めた値を重回帰分析の結果、次の式が得られた。

$$R = 0.00311 \times W^{0.7733} \times 1.11513^T \quad (r^2=0.9894, F=1173, df=25)$$

この式から Q_{10} を求めると2.973であった。一般に、生物の Q_{10} は2~3の範囲が多いことから、ヤコウガイのこの値は妥当な値であった。

b) タカセガイの酸素消費量と温度及び体重の関係

タカセガイでもヤコウガイと同様に設定温度20.0~27.8℃の範囲内の酸素消費量(対数値)と温度が直線関係にあり、酸素消費量は温度の上昇に伴って増加することから、各サイズでの酸素消費量と温度の関係をヤコウガイと同じ式から求めた。

$$R = A^T \times B \quad (A, B: \text{定数}, T: \text{温度}) \dots\dots\dots 1$$

No.1 体重 1.5 g $R = 1.11481^T \times 0.00342 \quad (r=0.9708)$

No.2 体重 6.9 g $R = 1.11076^T \times 0.01308 \quad (r=0.9799)$

No.3 体重 85.5 g $R = 1.11222^T \times 0.05748 \quad (r=0.9851)$

No.4 体重246.5 g $R = 1.16369^T \times 0.03531 \quad (r=0.9957)$

酸素消費量と体重の関係は、それぞれの対数値が直線関係にあることから、各温度での関係式を下記の式(2)から求めた。

$$R = k \times W^b \quad (k, b: \text{定数}, W: \text{体重}) \dots\dots\dots 2$$

27.8°C $R = 0.06006 \times W^{0.67509}$ ($r = 0.9939$)
25.7°C $R = 0.04992 \times W^{0.63892}$ ($r = 0.9845$)
23.0°C $R = 0.03142 \times W^{0.66770}$ ($r = 0.9876$)
20.0°C $R = 0.02961 \times W^{0.60998}$ ($r = 0.9414$)

1式と2式をまとめた $R = M \times W^b \times A^T$ (M, A : 定数) $\dots\dots\dots 3$
3式の最小二乗法の定数と各測定結果より求めた値を重回帰分析の結果、次の式が得られた。

$$R = 0.00240 \times W^{0.64792} \times 1.12475^T \quad (r^2 = 0.9916, F = 767, df = 13)$$

この式から Q_{10} を求めると3.204であった。一般に、生物の Q_{10} は2~3の範囲が多いことから、タカセガイのこの値はやや高い値であった。

5) 酸素消費量と行動の日周変化

ヤコウガイの酸素消費量の相対変動は各個体群によって若干のバラツキがあるものの夜間に高く、日中は低い傾向にあった。日中は殆ど行動せず、夕方18:00以降から索餌行動を開始し、翌朝の6:00頃まで続く、明瞭な夜行性を示した。これらのことから、酸素消費量が夜間上昇した原因の一つに行動による代謝量の増加が挙げられると推察された。タカセガイの酸素消費量の相対変動及び行動はヤコウガイほど明瞭な夜行性は示さなかったが、夜間に高く、日中は低い傾向が伺われた。

6) 摂餌活性試験

本年度使用した海藻はヤコウガイ稚貝に対する餌料価値の高い餌料であったことから、アビセル板の結果でも全体的に活性を示す傾向が得られた。反応はヤコウガイの方が明瞭にできる傾向であったが、大型海藻類を摂餌しないと考えられているタカセガイが大型海藻類の抽出物に反応したことは非常に興味深い。

7) ヤコウガイ稚貝の対する大型海藻類の餌料効果試験

海藻類は緑藻類8種、褐藻類6種、紅藻類16種、海産顕花植物1種類の計31種であった。各海藻類は緑藻類、褐藻類、紅藻類、顕花植物の順にコード番号を付け表1に示した。

a) 高水温期の海藻類の餌料効果

使用した海藻は緑藻類8種、褐藻類5種、紅藻類13種、顕花植物1種の計27種であった。日間体重の増加率の高いのは緑藻類ではアナアオサ、スジアオノリと紅藻類のピロードガラガラ、シマテングサ、オゴノリ科の3種(モサオゴノリ、リュウキュウオゴノリ、ユミガタオゴノリ)、コケイバラ、カタメンキリンサイ、マクリ、ソゾsp.の計11種で、最も高いのはシマテングサ、次いでピロードガラガラ、カタメンキリンサイの順であった。

餌料の減少率は緑藻類のタマバロニア、クビレズタ、褐藻類のオキナワモズク、カゴメノリ、ウスユキウチワ、紅藻類のシマテングサ、オゴノリ科の3種、コケイバラ、マクリ、ソゾsp.の12種であったが、成長から考えて減少の見られた緑藻類、褐藻類は摂餌による減少よりも自然減耗によるものが大きいと考えられた。

Table 1. The list of marine algae used for feeding experiments.

DIVISION	Family	Species	Code No.	Japanese name	Exp.No.			
CHLOROPHYCEAE	Ulvales	Ulva pertusa Kjellman	1	ウラボシ	VI			
		Enteromorpha prolifera (Muller) J. Agardh	2	シシアオリ	V			
		Cladophoraceae	Cladophora sp.	3	シダクサ	III		
		Valoniaceae	Valonia aegagropila C. Agardh	4	ウラボシ	III		
		Codiaceae	Halimeda opuntia f. cordata Barton	5	ウラボシ	II		
			Codium intricatum Okamura	6	ウラボシ	III		
		Caulerpaceae	Caulerpa serrulata var. serrulata f. lata (Weber van Bosse) Tseng	7	ウラボシ	IV		
			Caulerpa lentillifera J. Agardh	8	ウラボシ	IV		
		PHAEOPHYCEAE	Chordariales	Cladosiphon okamuranus Tokida	9	ウラボシ	II	
				Scytosiphonaceae	Hydroclathrus clathratus (C. Agardh) Howe	10	ウラボシ	II
Dictyotales	Padina minor Yamada			11	ウラボシ	III		
	Dictyota patens J. Agardh			12	ウラボシ	I		
Fucales	Turbinaria ornata J. Agardh			13	ウラボシ	II		
	Cystoseiraceae			Hormophysa cuneiformis (Gmelin) Silva	14	ウラボシ	VI	
RHODOPHYCEAE	Nemalionales			Galaxaura fasciculata Kjellman	15	ウラボシ	II	
				Gelidiales	Gelidium acerosa (Forsskal) Feldmann et Hamel	16	ウラボシ	IV
					Halymenia floresia (Clemente) C. Agardh	17	ウラボシ	IV
				Rhizophyllidaceae	Portieria hornemanni (Lyngbye) Silva	18	ウラボシ	I
		Polyidaceae	Rhodopeltis borealis Yamada	19	ウラボシ	V		
			Cryptonemiales sp.	20	ウラボシ (仮称)	III		
		Gracilariaceae	Gracilaria coronopifolia J. Agardh	21	ウラボシ	IV		
			Gracilaria eucheumoides Harvey	22	ウラボシ	II		
		Hypneaceae	Gracilaria arcuata Zanardini	23	ウラボシ	III		
			Hypnea pannosa J. Agardh	24	ウラボシ	IV		
Solieriaceae	Hypnea charoides Lamouroux	25	ウラボシ	I				
	Eucheuma gelatinum (Esper) J. Agardh	26	ウラボシ	IV				
Rhodomelaceae	Digenea simplex (Wulfen) C. Agardh	27	ウラボシ	III				
	Laurencia sp.	28	ウラボシ	I				
Dasyaceae	Dasya sp.	29	ウラボシ	I				
	Acrosoriumceae	Vanvoorstia coccinea J. Agardh	30	ウラボシ	I			
MARINE PHANEROGAMS	Hydrocaritaceae	Thalassia hemprichii Ascherson	31	ウラボシ	V			

餌料効果 (FCE) は紅藻類のビロードガラガラ、カタメンキリンサイが著しく高く、次にシマテングサ、モサオゴノリ、リュウキュウオゴノリの順に高い値であった。相対成長量はシマテングサが最も高く、次にカタメンキリンサイ、マクリ及びビロードガラガラ、モサオゴノリとコケイバラの順に高い値であった。相対成長量が1を越えたのはこの6種にユミガタオゴノリ、リュウキュウオゴノリを加えた紅藻類の8種だけであった。ヤコウガイ稚貝に対する餌料価値は緑藻類、褐藻類に比べ高いと考えられる。しかし、短期間での試験の結果から求めたものであることから、ビロードガラガラが餌料価値が最も高く、体重の相対成長量もよい結果であるが、この海藻の中心部は石灰質を多く含んでおり、実際に稚貝が餌料として利用できるのは海藻表面のみに限定されることから、長期的には餌料価値は下がるものと思われた。

b) 低水温期の海藻類の餌料効果

使用した海藻は褐藻類1種、紅藻類7種の計8種であった。日間体重増加率は紅藻類のモサオゴノリ、コケイバラ、シマテングサ、イバラノリ、ダジアsp.の順に高く、餌料効果ではモサオゴノリ、シマテングサ、コケイバラ、イバラノリ、ダジアsp.の順であった。体重の相対成長量はモサオゴノリ、コケイバラ、イバラノリ、シマテングサ、ダジアsp.の順に高かった。褐藻類のコモンアミジは自然減少が著しい上、餌料価値はかなり低い値であった。冬期の試験からも紅藻類の餌料効果が高い傾向が伺われた。

c) 大型海藻のヤコウガイ稚貝に対する餌料効果

高水温期と低水温期での日間成長量から低水温での成長が著しく低下することが伺われる。低水温期では対照区での成長の低下によって、海藻類の相対成長量は低水温期の方が高い値を示したが、実際の成長は高水温期の方が良かった。高水温期と低水温期でのシマテングサとモサオゴノリまたはコケイバラの順位が異なったが、大型海藻類の餌料効果をランク分けするとこの3種ともAランクの海藻であることが誤差の範囲であると考えられた。

体重の相対成長量と餌料価値から考えて、今まで使用した海藻類をランク分けすると次のようになる(表2)。

以上、今までに述べたようにAランクに分けられた大型海藻類は7種、全て紅藻類であった。Bランクはアオサ科のアナアオサ、スジアオノリの緑藻類2種とオゴノリ科のリュウキュウオゴノリ、ユミガタオゴノリ、フジマツモ科のソゾsp. 及びダジア科のダジアsp. の紅藻類4種の計6種であった。Cランクには緑藻類6種、褐藻類6種、紅藻類5種、顕花植物1種の計18種であった。Cランクの紅藻類のうちホソバナミノハナとカラゴロモは特有な香りの強い海藻であり、ガラガラモドキは石灰質の硬い海藻であった。ヤコウガイ稚貝に対する大型海藻類の餌料効果は緑藻類、褐藻類に比べて、紅藻類中に餌料価値が高い種類が多いと考えられた。

Table 2. Ranking of the dietary value of seaweeds occurring on the Pacific coast of Okinawa for *Trubo marmoratus* into four grades based on their relative growth indices of weight gain.

Grade of dietary value	Code No. of algae
A	No.15, No.16, No.21, No.24, No.25, No.26, No.27,
B	No. 1, No. 2, No.22, No.23, No.28, No.29
C	No. 3, No. 4, No. 5, No. 6, No. 7, No. 8, No. 9, No.10, No.11, No.12, No.13, No.14 No.17, No.18, No.19, No.20, No.30, No.31,

謝辞
 本研究を行うにあたって、ご指導頂いた中央水産研究所の浮永久博士、養殖研究所の前田昌調博士、伊藤克彦博士、巻貝類の摂餌活性についてご指導とご協力頂いた静岡大学農学部坂田完三博士、海藻類の分類は沖縄県水産試験場主任研究員の勝俣亜生氏、種苗生産は沖縄県水産試験場八重山支場主任研究員の大城信弘氏、沖縄県栽培漁業センター主任研究員の村越正慶氏にご指導とご協力頂いた。本研究は水産庁の特定研究開発促進事業によって行ったもので研究を実施するにあたっては当支場長の久貝一成氏、海老沢明彦研究員をはじめ、職員の方々に特段のご高配頂いた。ここに感謝の意を表す。