海産小型ツボワムシの高密度培養における 懸濁物質の定量とその除去

吉村 研治, 臼杵 考志, 吉松 隆夫, 田中 賢二, 石崎 文彬

(1996年12月9日受付)

Quantitative Determination and Separation of Wastes in High Density Culture Medium for Marine Rotifer

Kenji Yoshimura,^{*1} Koji Usuki,^{*2} Takao Yoshimatsu,^{*2}
Kenji Tanaka,^{*3} and Ayaaki Ishizaki^{*3}

In high density culture of rotifer, a large amount of suspended organic matter accumulates in the culture medium. Such wastes are mainly composed of rotifer feces, amictic egg shells, microbes (bacteria, protozoa, fungi etc.), the food organism *Chlorella* and flocks of various sizes are formed and coagulate. The increase of flocks in culture medium causes clogging of the nets in harvesting of rotifer and also causes pollution of the larval rearing tank by providing pathogenic microorganisms. In order to remove the flocks, a filtration unit was developed, which was composed of nylon filtration mats and stainless steel frames to aid mixing of the culture medium. In order to investigate its efficiency, changes in the quantities of rotifer and wastes (the large amount of suspended organic matter) were determined by the centrifuge method.

The culture of rotifer was carried out in two 500 l tanks by the semi-continuous method with or without filtration for five and nine days. While the flocks increased in the culture medium without filtration, the flocks larger than 30 μm could be efficiently removed with filtration and culture was feasible at a rotifer density of 10^4 ind./mL.

キーワード: ワムシの高密度培養, フロック, 接触ろ材, 遠沈法

近年, クロレラ *Chlorella* spp. やナンノクロロプシス *Nannochloropsis* spp. などの微細餌料藻類を濃縮して給餌し, ワムシ *Brachionus* spp. の高密度 (高増殖速度) 培養が行われつつある。¹⁻⁶⁾ 一方で, この高密度培養では従来のワムシ培養に比べ培養系に対する有機物 (餌料) の負荷量 (給餌量) も大きくなるため, 培養水中に餌料藻類やその残滓物, ワムシの卵殻, 微生物 (細菌, 糸状菌, 原生動物など) およびこれらのフロック (凝集体) などのワムシ以外の懸濁物質も増加する。これらの懸濁物質の一部は, ワムシ収穫時にワムシとともに回収ネットに残り, 回収ネットの目詰まりの原因となるばかりでなく, ワムシとともに稚仔魚に給餌されると飼育水槽の汚染や稚仔魚の疾病原因となることが指摘されている。⁷⁾

従来, これらの懸濁物質の除去には, ワムシがろ別 (ろ過) されないために, 比較的空隙の大きいプラスチック製ろ材, カキ殻, キンラン, ビニロックフィルタ, サランロックフィルタなどの接触ろ材を培養水中に投入あるいは懸架し, 主にろ材の吸着 (付着) 作用を利用して懸濁物質を除去する方法が用いられてきた。⁷⁾ しかしながら, これらの接触ろ材ではその除去効果が小さく, またろ材を大量に使用すると培養水のかくはん (酸素の供給) が阻害されるため, 高密度培養水中の懸濁物質の除去には限界があった。したがって, さらに効率的な懸濁物質除去法の開発が, ワムシの高密度培養を行う上での急務の課題であった。

そこで, 本研究では従来のろ材に比べ空隙の小さいエアフィルター^{*4}を用いて, 培養水中のワムシ以外の

^{*1} 福岡県栽培漁業公社 (Fukuoka Mariculture Corporation, Genkai, Fukuoka 811-35, Japan).

^{*2} 九州大学農学部附属水産実験所 (Fishery Research Laboratory, Kyushu University, Tsuyazaki, Fukuoka 811-33, Japan).

^{*3} 九州大学農学部食糧化学工学科 (Department of Food Science and Technology, Kyushu University, Hakozaki, Fukuoka 812, Japan).

^{*4} 従来の接触ろ材に比べ, 単位容積当たりの表面積が大きく空隙率も高いが, ワムシもろ別される。

懸濁物質を選択的に除去するための装置を試作し、その効果を培養水中の懸濁物質量を測定して調べた。また、懸濁物質量の測定には前報⁹⁾で用いた遠沈による定量法を適用し、その有効性についてもあわせて検証したので報告する。

材料および方法

供試フムシおよび餌料 実験には、福岡県栽培漁業公社で培養しているいわゆるS型フムシ *Brachionus rotundiformis* を用いた。餌料には、市販の濃縮淡水クロレラ *Chlorella regularis* (細胞密度、 150×10^8 cells/ml; PCV, 約 600 ml/l; 以下クロレラと略す) を用いた。

測定方法 培養水中の懸濁物質量の測定には、培養水を遠沈処理 (回転数 4,000 回で 30 分間) したときに形成される沈殿物の遠沈容積 (Packed volume, 以下 PV と略す) を測定する遠沈法⁸⁾を用いた。本研究では、測定 PV 値が単に容積量を表す場合と試料水 1 l あたりに含まれる容積比を表す場合があり、混同を避けるため容積量を示す場合には PV 量 (ml), 容積比を示す場合には PV 濃度 (ml/l) と区別した。

フムシの回収には、塩化ビニールパイプ枠に長方形の袋状 (縦; 40 cm, 横; 50 cm, 深さ; 60 cm) のフムシ回収ネット (ミューラーガーゼ, 目合い; 50 μ m) を吊り下げたものを用いた。回収時には塩化ビニールパイプ枠ごとネットを揺ることによって目詰まりを防いだが、目詰まりした場合には一旦フムシを回収しネットを洗浄した後再度同じ作業を繰り返した。この回収作業の繰り返し回数から除去装置の効果を判定した。

実体顕微鏡と光学顕微鏡を用いて培養水と遠沈管への沈殿物の構成物を調べた。遠沈管からの沈殿物の採取には長針の注射器を用いた。

懸濁物質除去装置 懸濁物質の除去には、Fig. 1 に示すような懸濁物質除去装置 (以下除去装置と略す) を用いた。この装置は、ステンレス製の枠 (内径; 20 cm, 外径; 60 cm, 高さ; 40 cm) にナイロン製のろ材 (日本バイリン社製, 商品名; バイリンマット) を放射状に張ったものである。

実験区分および方法 培養には 500 l 水槽 2 面を用い、一方を水槽の中央底部に除去装置を設置した設置区 (試験区), 他方を非設置区 (対照区) とした。両区ともフムシを 4,000 個体/ml の密度で接種し、翌日からその増殖分を回収する間引き法で培養を行った。設置区では、毎朝フムシ回収後に除去装置を培養槽から取り出して付着物を洗い落とし、再び水槽内に戻す操作を繰り返した。その他の培養方法は前報^{2,3,5)}に準じ、酸素ガス通

Fig. 1. Filtration unit developed for filtering wastes from culture medium of rotifer.

気 (通気速度, 0.02~0.10 vvm) と pH 制御 (設定値 7) を行った。フムシ 1 億個体当たりのクロレラ給餌量 (定量ポンプで給餌) と培養期間を変えて、実験を 2 度実施した。実験 I では両区のフムシ 1 億個体当たりのクロレラ給餌量を 0.25 l/日として 9 日間の培養を行い、培養 3, 6 および 9 日目の両区の培養水をそれぞれ 3 段階の採取量で遠沈管に取り、遠沈処理して培養水の採取量と沈殿物の PV 量の関係を調べた。さらに、毎朝培養水 1 l を取った無処理区 (対照区) と培養水 1 l を 10 μ m または 30 μ m^{*5} ネットでよくろ過・洗浄した後、再びろ過海水で 1 l に戻す処理を行った処理区の計 3 区を設け、これらを遠沈処理して両区の培養水中のサイズ別懸濁物質量を測定した。

実験 II では両区のフムシ 1 億個体当たりのクロレラ給餌量を 0.5 l/日として 5 日間の培養を行ない、両区のフムシ密度と培養水中の懸濁物質濃度を毎朝測定した。設置区では、毎朝除去装置を水槽から取り出した後と洗浄した後に約 5 分間静置してその重さを測定し、その

*5 あらかじめ、フムシ卵が 30 μ m ネットを通過しないことを確かめた。

差から除去装置のろ材への付着物量を調べた。培養5日目には、培養槽から取り出して5分間静置した除去装置のろ材を絞って付着物を採取し、ろ過海水で100倍に希釈して付着物中に含まれる懸濁物質量、ワムシ個体数および脱落卵数を調べた。ワムシの高密度培養では培養中に大量の発泡がみられ、この泡中にも多くの懸濁物質がみられる。そこで、培養5日目には両区の泡の中に含まれる懸濁物質量、ワムシ個体数および脱落卵数を調べた。泡からは消泡剤（東芝シリコン社製、TSA 737）一滴を入れたビーカーに水槽から溢れ出た泡を取り、よくかくはん・消泡して発泡培養液（約30 ml）を採取した。

結 果

遠沈による定量法の適用

採取量とPV量の関係 設置区（実験Ⅰ）の培養水を遠沈処理すると、その沈殿物はクロレラやその残滓物、ワムシの卵殻および微生物（糸状菌^{*6}や細菌、小型の原生動物）などで構成された緑色の上層（以下緑色層と称す）と主にワムシとその卵で構成された淡褐色の下層（以下ワムシ層と称す）の2層に分類した。これに対し、非設置区（実験Ⅰ）では設置区でみられたような明瞭なワムシ層は形成されなかった。その沈殿物中には設置区で観察されたもの以外に大小の多くのフロックや大型の原生動物が観察され、これらのフロックのうち一部のフロックはワムシ層にも混入していた。両区の培養水の採取量と全沈殿物および沈殿物中の各層（設置区）のPV量との間には、高い比例関係（ $p < 0.001$ ）が認められ（Fig. 2）、これらの関係は培養日数の経過に伴う培養水中の懸濁物質の質や量的な変化にも影響されなかった。

懸濁物質がワムシ層におよぼす影響 設置区（実験Ⅰ）の培養水から10 μm または30 μm 以下の微細な懸濁物質を取り除いて遠沈処理した処理区では、沈殿物は主にワムシの卵殻で構成された白色の上層（以下卵殻層と称す）とワムシ層の2層に分離した。各区（処理区と非処理区）のワムシ層のPV量を比較すると（Table 1）、処理区間のワムシ層のPV量には差がみられなかったが、処理区と非処理区の間には差がみられた。これに対し、非設置区（実験Ⅰ）の培養水から10 μm または30 μm 以下の微細な懸濁物質を取り除いても、沈殿物中には大小のフロックや大型の原生動物が多くみられ、設置区でみられたような明瞭な層は形成されなかった。これらのことから、ワムシ培養水を遠沈処理した場合、培養水中に少なくとも30 μm 以上のフロックが存在するとワムシ層の形成が阻害され、また10 μm 以下の微細な

Fig. 2. Relationship between sample volume and PV ($n=5$) of centrifuged sediments after 3 days, 6 days, and 9 days of semi-continuous culture with (solid line) or without (broken line) filtration (Exp. I).

Open circle, total PV; triangle, PV of rotifer layer; square, PV of wastes layer.

懸濁物質の一部がワムシ層に混入していることがわかった。

ワムシ密度とPV濃度の関係 設置区（実験Ⅱ）のワムシ密度（ X , 個体/ml）と培養水を直接遠沈処理して得られるワムシPV濃度（ Y , ml/l）の関係をFig. 3に示した。両者の関係式は $Y=0.00093 X$ ($r=0.780$, $p < 0.05$)で近似され、ワムシ1個体のPV量はおよそ0.00093 mlと算出された。

除去装置の機能

培養水と沈殿物像の比較 培養4日目（実験Ⅱ）の両区の培養水像と培養水を遠沈処理したときの沈殿物像をFig. 4に示した。設置区の培養水中には、大型のフロックは観察されなかった（Fig. 4, A）。これに対し、

*6 川口栄男助教授（九州大学農学部）に同定を依頼したところ、水生菌の一種であることがわかった。

Table 1. Mean and standard deviation ($n=5$) of PV (rotifer layer) centrifuging culture medium (with filtration) for three treatments (A^{*1}, B^{*2}, and C^{*3}) with static analysis^{**} in each sampling day

Treatments	Culture period (days)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A (ml/l)	6.01±0.14 ^a	6.58±0.14 ^a	5.79±0.18 ^a	6.79±0.23 ^a	5.23±0.12 ^a	6.32±0.27 ^a	6.46±0.24 ^a	5.64±0.24 ^a	6.32±0.23 ^a
B (ml/l)	5.60±0.15 ^b	6.09±0.10 ^b	5.52±0.27 ^b	6.23±0.12 ^b	5.45±0.05 ^a	5.24±0.26 ^b	6.88±0.30 ^a	6.10±0.11 ^b	6.10±0.11 ^a
C (ml/l)	5.45±0.20 ^b	6.36±0.23 ^b	5.53±0.17 ^b	6.10±0.16 ^b	5.16±0.22 ^a	5.71±0.27 ^b	6.78±0.23 ^a	6.30±0.17 ^b	6.38±0.37 ^a

^{*1} Centrifuged culture medium directly.

^{*2} Centrifuged culture medium after the removal of particle wastes less than 10 μm .

^{*3} Centrifuged culture medium after the removal of particle wastes less than 30 μm .

^{**} Treatments A-C were designated by a-b for ANOVA. Superscripts shows those treatments in which the mean values are significantly different ($p<0.01$).

Fig. 3. Relationship between rotifer density and PV of rotifer layer during semi-continuous culture with filtration (Exp. II).

Each plot and vertical bars represent mean $\pm$ S.D. ($n=6$).

非設置区の培養水中には、培養初期には比較的壊れ易い不定形のコロニーが多く観察され、培養日数の経過に伴い比較的壊れ難い大型のコロニーや原生動物が多くみられるようになった (Fig. 4, B)。両区の培養水を遠沈処理すると、その沈殿物は設置区では主に糸状菌や細菌などの微生物で構成された半透明の上層 (以下微生物層と称す)、中層 (緑色層) および下層部 (ワムシ層) の3層に分離した (Fig. 4, C)。これに対し、非設置区では実験 I と同様に、設置区のような明瞭なこれらの層は形成されなかった (Fig. 4, C)。

サイズ別懸濁物質 PV 濃度の比較 両区 (実験 I) の培養水中のサイズ別懸濁物質 PV 濃度とワムシ PV 濃度の変化を Fig. 5 に示した。設置区では、培養水から 30 μm 以下の懸濁物質を取り除いたときのワムシ層の PV 量をワムシ PV 濃度とした。非設置区では、ワムシ密度と設置区のワムシ 1 個体の PV 量からワムシ PV 濃度を算出した。設置区の培養水中では、10 μm 以上の懸濁物質 (コロニー) はワムシ (卵を含む) とその卵殻以外

にはほとんど存在しなかった。非設置区では培養初期に 10 μm 以下の微細な懸濁物質が多くみられ、培養日数の経過とともに 30 μm 以上のフロコが増加した。しかし、両区の培養水中には 10~30 μm サイズの懸濁物質はほとんど存在しなかった。

ワムシ密度と懸濁物質量の比較 両区 (実験 II) のワムシ密度と各懸濁物質 PV 濃度の変化を、それぞれ Fig. 6 (設置区) と Fig. 7 (非設置区) に示した。ワムシ密度には除去装置の有無による差はみられなかった。全懸濁物質 PV 濃度は非設置区で多く、培養 3 日目以降は設置区の 2 倍前後で推移した。非設置区のワムシ PV 濃度をワムシ密度とワムシ 1 個体当たりの PV 量 (0.00093 ml) から算出して、両区のワムシ PV 濃度とワムシ以外の懸濁物質 PV 濃度を比較した。ワムシ PV 濃度は設置区では 3.8~8.5 ml/l の範囲、非設置区では 3.8~7.9 ml/l の範囲で推移し、両区に差はなかった。ワムシ以外の懸濁物質 PV 濃度は設置区では 2.5~4.2 ml/l の範囲、非設置区では 6.3~18.7 ml/l の範囲で推移し、非設置区で多くなった。両区の培養水槽 (500 l) 中の全ワムシ PV 量とワムシ以外の全懸濁物質 PV 量の変化を、それぞれのワムシ PV 濃度と全懸濁物質 PV 濃度から算出して Table 2 に示した。

除去装置への懸濁物質付着量 設置区 (実験 II) の除去装置への付着物の重量を Table 3 に示した。設置区では除去装置により毎日 1.9~3.3 kg (培養水 500 l 当たり) の付着物が除去された。培養 5 日目の付着物中の懸濁物質 PV 濃度、ワムシ密度および脱落卵密度を Table 4 に示した。付着物中の全懸濁物質 PV 濃度は 330 ml/l (このうち微生物層が 152 ml/l)、ワムシ密度は 7,100 個体/ml、脱落卵密度は 3,100 個/ml であった。

発泡培養液中の懸濁物質質量 培養 5 日目 (実験 II) の発泡培養液中の懸濁物質 PV 濃度、ワムシ密度および脱落卵密度を Table 4 に示した。発泡培養液中の全懸濁物質 PV 濃度は設置区では 190 ml/l、非設置区では

Fig. 4. Photomicrographs of medium cultured with (A) or without (B) filtration and photograph (C) of centrifuged culture medium with (left) or without (right) filtration on day 4 (Exp. II).

M, microbe layer; W, wastes layer; R, rotifers layer.

310 ml/l であり, 非設置区は設置区の約 1.5 倍であった。フムシ密度は設置区では 17,600 個体/ml, 非設置区では 38,800 個体/ml であり, 非設置区は設置区の約 2 倍であった。脱落卵密度は設置区では 4,500 個/ml, 非設置区では 25,000 個/ml であり, 非設置区は設置区

Fig. 5. Daily changes in PV of centrifuged sediments during semi-continuous culture with (A) or without (B) filtration (Exp. I).

Vertical bars on top represent S.D. ($n=5$).

の約 6 倍であった。

除去装置の効果 設置区(実験Ⅱ)では, フムシ回収時に回収ネットが目詰まりすることはなかった。これに対し, 非設置区では培養翌日からネットが目詰まりし, 所定量のフムシを収穫するには 3~4 回に分けて回収・洗浄する必要がある。また, 非設置区の回収後のフムシ中には, 大小のフロックが多く観察された。

Table 3 と Table 4 の測定結果から, 設置区の培養 5 日目に除去装置によって水槽外に取り出された付着物中の全懸濁物質 PV 量はおよそ 860 ml^{*7} と試算された。この量は, 培養 5 日目の培養水中のフムシ以外の懸濁物質 PV 量 (Table 2) のおよそ半分量に相当した。また, その中には 1.8×10^7 個体 (PV 量でおよそ 17 ml) のフムシと 8×10^6 個のフムシ卵が含まれていたものと試算されるが (Table 4), この量は培養 5 日目の水槽中の全フムシ数の 1% 以下であった。

*7 海水の比重を 1 として求めた。

Fig. 6. Daily changes in rotifer density (A) and PV (B) of centrifuged sediments during semi-continuous culture with filtration (Exp. II).

Each plot and vertical bars represent mean + S.D. (n=6).

Vertical bars on top represent S.D. (n=6).

Fig. 7. Daily changes in rotifer density (A) and PV (B) of the centrifuged sediments during semi-continuous culture without filtration (Exp. II).

Each plot and vertical bar represents mean + S.D. (n=6).

Vertical bars on top represent S.D. (n=6).

考 察

遠沈による定量法 設置区の培養水を遠沈処理すると沈殿物が2層あるいは3層に分離したのは、はじめに比重の重いワムシとその卵が、次にクロレラやその残滓物、ワムシの卵殻などが、最後に糸状菌や細菌などの比較的軽い懸濁物質が沈殿したためと考えられる。非設置区で明瞭なワムシ層が形成されなかったのは、非設置区の沈殿物中には大小のフロックが多く観察されたことから、これらのフロックがワムシやその卵の沈降を妨げ、あるいは一部のフロックの比重（沈降速度）が増大しワムシ（卵を含む）とともに沈降したためと考えられる。

今回の実験結果から、ワムシ培養水を4,000回転で30分間遠沈処理することにより培養水中の全懸濁物質量はばかりではなく、培養水中の少なくとも30 μm 以上のフロックを取り除くことにより、ワムシとワムシ以外の懸濁物質量を分別して定量できることがわかった。一方で、この分別定量では10 μm 以下の微細な懸濁物質

（クロレラ細胞³⁾など）とワムシ（卵を含む）とは完全には分別されておらず若干の測定誤差が生じること（Table 1）、これらの微細な懸濁物質を取り除いてもワムシの卵殻（層）がワムシ層におよぼす影響を完全に排除できないことも明らかとなった。しかしながら、これらによる測定誤差は小さい判断されることから、通常のワムシ培養では培養水中から少なくとも30 μm 以上のフロックを除去することにより、このワムシ層のPV量をワムシ卵と死んだワムシも含めたワムシ量（現存量）として利用できると考えられる。ただし、残餌などの微細な懸濁物質が多い場合には測定誤差が大きくなることから、³⁾それらを取り除いて定量する必要がある。

除去装置の機能 本実験では、除去装置によるサイズ別懸濁物質の除去効果を培養水から10 μm または30 μm 以下の微細な懸濁物質をネットで取り除く方法で調べた。この方法では、これらの目合いではこされない壊れ難いフロック、ワムシ（卵を含む）とその卵殻、比較

的大型の原生動物^{*2}の量が測定されたと考えられる。非設置区において培養初期に10 μm 以下の懸濁物質が多く観察されたが、この中には培養水のろ過・洗浄操作により崩れたフロック片も多く含まれていたと判断される。両区とも10~30 μm サイズの懸濁物質がほとんど

Table 2. Total amounts of rotifers^{*1} and wastes^{*2} in the 500 l tanks with or without filtration (Exp. II)

Culture period (days)	Culture with filtration	
	Total amounts of rotifers in culture tank (PV, l)	Total amounts of wastes in culture tank (PV, l)
0	1.9	—
1	3.3	1.5
2	4.3	1.3
3	2.9	2.5
4	3.2	2.1
5	2.6	1.6

Culture period (days)	Culture without filtration	
	Total amounts of rotifers ^{*3} in culture tank (PV, l)	Total amounts of wastes in culture tank (PV, l)
0	1.9	—
1	2.9	3.2
2	3.9	6.0
3	2.8	8.7
4	3.9	7.5
5	2.3	9.4

^{*1} Calculated with the PV of rotifers.

^{*2} Calculated with the PV of wastes (including *Chlorila*).

^{*3} Calculated with the rotifer density and the PV of a rotifer (0.00093 ml/l).

存在しなかったのは、ワムシにより摂餌¹⁰されたためと考えられる。

今回の実験結果から総合的に判断すると、ワムシの培養水中ではクロレラやその残滓物などの懸濁物質は、はじめは比較的壊れやすい不定形のフロックを形成するが、これらは徐々に成長して壊れ難い大型のフロックに変化すると考えられる。これらのフロック化には、ワムシの排泄や水槽壁に形成された微生物膜の剥離よりも培養水中の浮遊性微生物（バクテリアフロック）による吸着凝集作用が大きく働いているものと考えられる。¹¹今回用いた除去装置は、培養水中の少なくとも30 μm 以上の比較的大型の懸濁物質の除去に高い効果があり、その中でもこのフロックを選択的に除去していることがわかった。この高い除去効果には、ろ材（エアフィルター）の吸着（付着）作用や抑留作用よりもろ材の空隙細孔によるろ別作用（物理的ろ過機能）が大きく働いているものと考えられ、¹¹またその選択性はワムシ（原生動物）の運動性¹²に起因しているものと考えられる。一方で、本実験とは別に行った強通気（空気通気）下での同様の実験では、除去装置によりワムシも多く除去され

Table 3. Total amounts of the culture medium^{*1} filtered with filtration in the 500 l tank (Exp. II)

Culture period (days)	Total amounts of medium ^{*1} removed with filtration (kg)
1	1.9
2	3.3
3	2.8
4	2.0
5	2.6

^{*1} Including rotifers, eggs, wastes and *chlorella*.

Table 4. Compositions of the culture medium obtained from filtration mat and foam generated on the surface of culture medium (Exp. II)

	Culture with filtration		Culture without filtration
	Filtration mat	Foam	Foam
Viable rotifers (ind./ml)	3,800 $\pm$ 866	3,283 $\pm$ 1,038	1,933 $\pm$ 377
Dead rotifers (ind./ml)	3,250 $\pm$ 1,093	14,366 $\pm$ 2,158	36,900 $\pm$ 8,869
Released rotifer eggs (ind./ml)	3,083 $\pm$ 775	4,533 $\pm$ 980	25,883 $\pm$ 4,161
Total PV of centrifuged sediment ^{*1} (ml/l)	330 $\pm$ 17	193 $\pm$ 4	311 $\pm$ 13

All data (mean $\pm$ S.D., $n=6$) were obtained after 5 days of culture.

^{*1} Including the PV of microbe layer.

^{*2} ただし、大型の原生動物は設置区では除去装置の付着物中に多く観察されたが、培養水中にはみられなかった。

たことから（データ未記載）、その除去効果や除去物の選択性にはろ材の形状（表面積や空隙率など）、培養水の流速（通気によるかくはん強度）、フムシの活力（原生動物ではその遊泳力）などが大きく影響するものと考えられ、その適正な使用条件については今後の検討を要する。

発泡培養液中にも培養水中より多くの懸濁物質やフムシ（卵を含む）が含まれていたが、これらは泡沫分離作用により分離・濃縮¹³⁾されたものと考えられる。今回の実験からはその量を推定することはできないが、培養中大量の発泡がみられたことから通気による泡沫分離作用も培養水中の懸濁物質に大きく関与しているものと考えられる。

今回開発した除去装置では、培養水のかくはん（酸素の供給）を阻害することなく、またろ材が閉塞しないだけの十分量を培養槽内に設置することが可能となり、 10^4 個体/ml レベルでの実用的なフムシ培養を行うことができた。さらに、この培養水を遠沈処理することにより、培養水中のフムシ（卵を含む）とフムシ（卵を含む）以外の懸濁物質の分別定量が可能であった。この遠沈による定量法（容積測定法）には分別性や塩分（水分含量）により測定誤差が生じることや、生物的特性（生死や世代など）を捉えることができないなどの欠点もあるが、⁸⁾ 測定が簡単・迅速でしかも一度に多くの試料を正確に測定ができることや、培養系内の多くの情報（パラメーター）を把握できる利点もあり、今後フムシ培養の工程管理（制御）に役立つものと考えられる。

謝 意

本研究を行うに当たり、多くのご助言を頂いた北島

力先生（元九州大学附属水産実験所教授）と萩原篤志先生（長崎大学水産学部教授）に深く感謝します。

文 献

- 1) 吉村研治, 宮本義次, 中村俊政: 濃縮淡水クロレラ給餌によるフムシの高密度大量培養. 栽培技研, **21**, 1-6 (1992).
- 2) 吉村研治, 北島 力, 宮本義次, 岸本源次: 濃縮淡水クロレラ給餌によるシオミズツボフムシの高密度培養における増殖阻害要因について. 日水誌, **60**, 207-213 (1994).
- 3) 吉村研治: フムシ高密度培養のシステム化に関する研究. 博士論文, 九州大学, 福岡, 1995, pp. 7-118.
- 4) 中尾 崇・萩原篤志: 空気通気によるフムシの高密度培養と短時間栄養強化. 水産の研究, **14**, 67-70 (1995).
- 5) K. Yoshimura, A. Hagiwara, T. Yoshimatsu, and C. Kitajima: Culture technology of marine rotifers and implications for intensive culture of marine fish in Japan. *Mar. Freshwater Res.*, **47**, 217-222 (1996).
- 6) Fu, Y., A. Hada, T. Yamashita, Y. Yoshida, and A. Hino: Development of continuous culture system for stable mass production of the marine rotifer *Brachionus*. *Hydrobiologia*, (in press).
- 7) 伏見 徹: 大量培養法, 「初期餌料生物—シオミズツボフムシ」(福所邦彦, 平山和次編), 恒星社厚生閣, 東京, 1989, pp. 118-134.
- 8) 吉村研治, 臼杵孝志, 吉松隆夫, 田中賢二, 石崎文彬: 遠沈法によるフムシの定量. 水産増殖, **45**, 171-177 (1997).
- 9) 吉村研治, 岩田 剛, 田中賢二, 北島 力, 石崎文彬: 非解離アンモニア抑制のための pH 制御によるシオミズツボフムシの高密度培養. 日水誌, **61**, 602-607 (1995).
- 10) 宇城正和, 日野明徳: シオミズツボフムシの微生物補食とその意義. 海洋, **22**, 20-27 (1990).
- 11) 佐野和生: 水産養殖と水, サイエンス社, 東京, 1985, pp. 49-190.
- 12) 小島貞男: 用水排水ハンドブック(1), 産業調査会, 1976, pp. 781-805.
- 13) 吉村研治・大森庸子・吉松隆夫・田中賢二・石崎文彬: 海産小型フムシ *Brachionus rotundiformis* の高密度培養における好通気法. 日水誌, **62**, 879-903 (1996).