

シオミズツボワムシ (*Brachionus plicatilis*)
の摂餌と成長に及ぼす餌料密度の影響

山崎 繁久*¹・西原 剛臣*²・平田 一郎*¹

Influence of Marine *Chlorella* Density on Food Consumption
and Growth Rate of Rotifer, *Brachionus plicatilis*

Shigehisa YAMASAKI*¹, Takeomi NISHIHARA*²,
and Hachiro HIRATA*¹

Abstract

Optimum food density for rotifer culture was estimated based on both food conversion rate and population growth rate. Five densities of *Chlorella saccharophila* var. *saccharophila*, 0.5×10^6 , 1×10^6 , 3×10^6 , 5×10^6 , and 8×10^6 , cells \cdot ml⁻¹, were prepared for the test series. The densities were maintained by continuous pumping of a concentrated *C. saccharophila* culture with a micro-pump at a constant rate (30 ml \cdot h⁻¹). Food conversion rate was calculated based on caloric content of the rotifer culture. Further, culture performance was also estimated using food conversion times growth rate as index (again based on caloric content). The culture experiments were conducted at 25°C. The highest food conversion rate was observed at 1×10^6 cells \cdot ml⁻¹; however, performance index showed its highest value at 3×10^6 cells \cdot ml⁻¹. It can be concluded that the latter cell concentration is closer to the optimum density of *C. saccharophila* for practical intensive mass culture of rotifer.

最近、魚介類の種苗生産の発展とともに、動・植物プランクトンの培養が盛んにおこなわれるようになってきた。そのプランクトンの大量培養における基本的な問題は、水質保全とエネルギーフローに関連した“生態学的効率”の向上にあると言っても過言ではない。特にシオミズツボワムシ（以下ワムシと略称）は“よく食べ、よく排泄する”¹⁾ので、その量産化をはかるには、生態学的効率の究明が先決である。

本実験は、ワムシ飼育における生態学的効率を知る目的で、餌料密度の相違によるワムシの摂餌および成長を観察した。これらの結果をもとに、それぞれの密度における餌料効率をもとめて餌料エネルギーの利用状態を調べるとともに、ワムシ飼育における適正餌料密度についても検討を加えた。

*¹ 鹿児島大学水産学部増殖生理学講座 (Laboratory of Fish Cultivation Physiology, Faculty of Fisheries, Kagoshima University, Kagoshima, 890, Japan)

*² 日本ビジネスオートメーション (Japan Business Automation Co. Ltd, Sendagaya, Shibuya, Tokyo, 151 Japan)

材料および方法

ワムシの餌料生物は、硫酸など農業用肥料を主体とした培地²⁾で培養した海産クロレラ (*Chlorella saccharophila* var. *saccharophila*)³⁾とした。クロレラは飼育実験に使用するに先立ち、遠心分離によって約 3×10^9 cells/ml に濃縮し、3°C の冷蔵庫内に 3 ~ 4 週間保存した。この操作により、投餌後の水槽内におけるクロレラの自生の抑制を図ると同時に、各実験区における所定の餌料密度の維持にあたって飼育水量の変化を極力おさえることができた。

餌料密度は、 0.5×10^6 、 1×10^6 、 3×10^6 、 5×10^6 、および 8×10^6 cells/ml の 5 段階とした。クロレラ密度は、微量定量ポンプにより、あらかじめ設定した異なる密度のクロレラを 30 ml/h の割合で給餌し、その密度の一定化を図った。

ワムシの飼育は、13 l 容量のスチロール製水槽を用いておこない、飼育水量は 7 l とした。飼育水槽は各実験区毎に 1 個ずつ使用した。いずれの水槽においてもワムシの密度は、毎日、増殖分の収穫により 20 ind/ml とした。また、その収穫時に、飼育水を 30% の割合で新しい海水と交換し、実験区毎に所定のクロレラ密度に調整した。飼育は 5 週間おこない、前半の 3 週間を前飼育とし、後半の 2 週間を本飼育とした。

飼育水温は 25°C、塩分濃度は 20‰ S とした。また、飼育槽の照明は白色蛍光灯を用いて平均 500 lux の照度を保ち、その明暗時間帯は 15L : 9D とした。

ワムシの摂餌率および増殖率の計算は、それぞれ式 1 および 2 によりおこなった。また、餌料効率は、摂餌率および増殖率の熱量換算値を求めた後、式 3 に従って算出した。

$$\text{式 1} \quad \text{ワムシの摂餌率} = (\text{給餌量} - \text{残餌量}) / (\text{ワムシの総数})$$

$$\text{給餌量} = (\text{設定餌料密度} \times 7,000 \text{ ml}) + (\text{ポンプ給餌用クロレラ密度} \times 30 \text{ ml/h} \times 24 \text{ h})$$

$$\text{残餌量} = \text{収穫直前の餌料密度} \times (7,000 \text{ ml} + 30 \text{ ml/h} \times 24 \text{ h})$$

$$\text{ワムシの総数} = \{ (20 \text{ ind/ml} \times 7,000 \text{ ml}) + \{ \text{収穫直前のワムシ密度} \times (7,000 \text{ ml} + 30 \text{ ml/h} \times 24 \text{ h}) \} \} / 2$$

$$\text{式 2} \quad \text{増殖率} = \{ (24 \text{ 時間あたりのワムシ密度の増加}) / (20 \text{ ind/ml}) \} \times 100$$

$$\text{式 3} \quad \text{餌料効率} = (\text{増殖率の熱量換算値} / \text{摂餌率の熱量換算値}) \times 100$$

$$\text{増殖率の熱量換算値} = \text{増殖率} \times \text{ワムシ 1 尾の平均乾重量} \times \text{単位重量あたりのワムシの熱量}$$

クロレラおよびワムシの熱量は、ポンプ熱量計で測定し、それぞれ 14×10^{-9} cal/cell、および 4,700 cal/dry-g を上記計算に用いた。また、ワムシの平均乾重量は、飼育実験終了時に 0.5×10^6 、 1×10^6 、 3×10^6 、 5×10^6 、および 8×10^6 cells/ml の餌料密度の各実験区で測定した値の 0.37、0.35、0.54、0.42、および 0.41 $\mu\text{g}/\text{ind}$ を適用した。それらの測定は 3 回繰り返した。

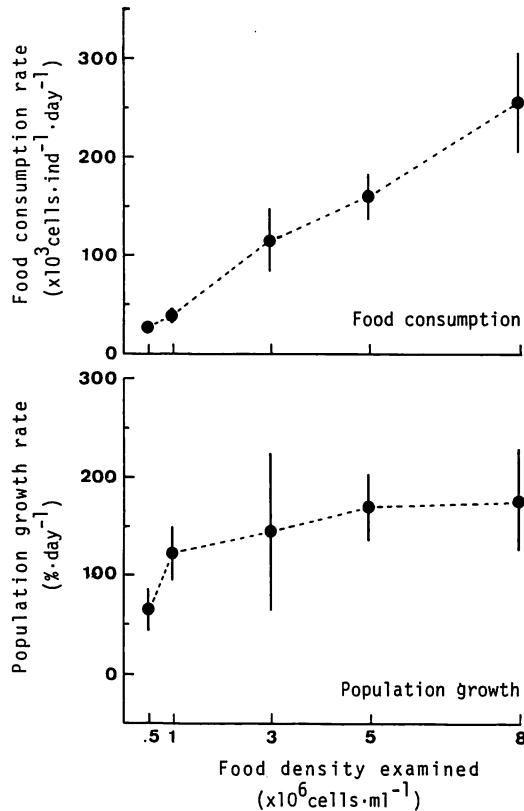


Fig. 1. *Chlorella* consumption by and population growth rate of rotifer cultured at 25°C and different food densities. Mean (dots) and standard deviations (vertical bars) calculated from 14 samples in each treatment.

結 果

ワムシの摂餌率および増殖率の結果は Fig. 1 に示した。摂餌率は餌料密度に対して比例的に増加したが、増殖率は放物線的な増加を示した。つまり摂餌率は、餌料密度が $0.5 \times 10^6 \text{ cells/ml}$ のとき $27 \times 10^3 \text{ cells/ind/day}$ であったが、その密度が $8 \times 10^6 \text{ cells/ml}$ に増加した場合のそれは、 $255 \times 10^3 \text{ cells/ind/day}$ となり、 $1 \times 10^6 \text{ cells/ml}$ の餌料密度の上昇につきほぼ一様に $30 \times 10^3 \text{ cells/ind/day}$ の割合で増加した。

一方増殖率は、餌料密度の増加とともに上昇したが、その上昇傾向は低餌料密度で高く、餌の高密度化とともに横ばい状態となった。すなわち 0.5×10^6 および $3 \times 10^6 \text{ cells/ml}$ の餌料密度における増殖率は、それぞれ 31 および 119%/day で、その間の増加は約 3.8 倍を示した。しかし、 $8 \times 10^6 \text{ cells/ml}$ においては 144%/day で、 3×10^6 から $8 \times 10^6 \text{ cells/ml}$ の間での増加は約 1.2 倍にすぎなかった。

Table 1. Food conversion and growth rate of *Brachionus plicatilis* represented by proportional values to the highest value obtained in the series of culture experiment at 25°C. Original values were calculated based on caloric content.

	Food densities tested ($\times 10^6$ cells \cdot ml $^{-1}$)				
	0.5	1	3	5	8
Food conversion rate (FC) (proportional value)	0.55	1.00	0.85	0.58	0.33
Growth rate (GR) (proportional value)	0.17	0.49	1.00	1.02	0.92
Index (FC \times GR)	0.09	0.49	0.85	0.59	0.30

餌料効率、および増殖率の熱量換算値は、一連の餌料密度の実験区における最高値を1とし、それに対する比率を求めて Table 1 に示した。餌料効率は、 1×10^6 cells/ml の密度で最高値を示し、以下 3×10^6 、 5×10^6 、 0.5×10^6 、および 8×10^6 cells/ml の順にそれぞれ、0.85、0.59、0.55、および0.33となった。その傾向は、 1×10^6 cells/ml にピークを有し、低餌料密度に偏った山状を呈した。それに対して餌料効率および増殖率の双方に重みを置いた両者の積は、 3×10^6 cells/ml の密度で最高の0.85となり、以下 5×10^6 、 1×10^6 、 8×10^6 、および 0.5×10^6 cells/ml の順にそれぞれ、0.59、0.49、0.30、および0.09であった。それらの値は、 3×10^6 cells/ml でピークを示す正規分布曲線状を示した。

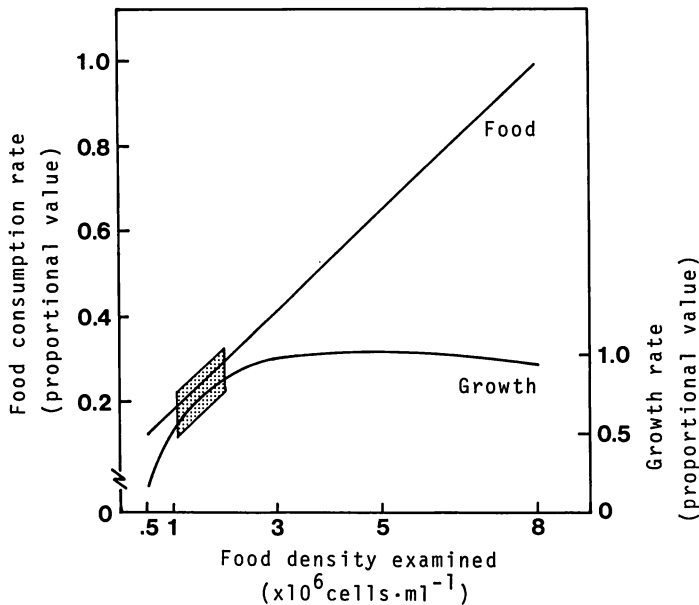


Fig. 2. Comparison of profiles for food consumption and growth rate, indicating the area of most efficient energy transfers.

考 察

Fig. 2 は、各実験区における摂餌率および増殖率の熱量換算値を、最高値が1となる相対比率に直して図示したものである。摂餌率は餌料密度が高くなるにつれて一様に上昇するのに対し、増殖率の上昇速度は急激に低下して高餌料密度域での上昇は停止する。つまり、餌料密度がある限度を越えると、餌料の消費量が多くなるにもかかわらずワムシの増殖率はほぼ一定値に留まり、餌料中のエネルギーの浪費率が高くなる。エネルギーの浪費は、消化管内における餌料の消化率の減少にも起因する⁴⁾と言われており、この未消化分の餌料は飼育水中に排泄されて水質の悪化をももたらす。従って、餌料エネルギーの浪費を少なくすることはワムシ飼育における第1条件と言ってよい。

また同時に、ワムシの大量培養では、飼育槽の単位容積あたりの生産量も重要な問題とされる。前述の結果から、高餌料効率の餌料密度は高増殖率のそれと必ずしも一致しないことが明らかとなったので、本報では、その両要素を兼ね備えた指標として、餌料効率と増殖率の積を求めて比較した。その結果 3×10^6 cells/ml の餌料密度で最大値を示し、その付近の密度がバッチ式飼育等、ワムシの量的確保を主眼とする集約的飼育法に対する適正餌料密度と推定される。

今回は餌料として、大量培養および餌料価値の面から現在最も優れている⁵⁾とされる海産クロレラを用いたが、補助餌料として盛んに使用されている酵母類⁶⁾や、新規餌料種のテトラセルミス⁷⁾についても、ワムシに対するその生態学的効率の検討が必要である。一方水中において繁殖したバクテリアがクロレラとともに摂取されることも推察されている^{8, 9)}ので、ワムシに対するその効果の検討も今後の課題である。

文 献

- 1) 平田八郎 (1980) : シオミズツボワムシの作り方。養殖, 17(3), 35-38.
- 2) 平田八郎 (1964) : 屋島事業場における餌料生物の培養 (その1)。栽培漁業ニュース, No.2, 4.
- 3) TSUKUDA, O., T. KAWAHARA, and H. TAKADA (1974) : Good growth of *Chlorella saccharophila* on the basis of dry weight, under NaCl hypertonic condition. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, 40, 1007-1013.
- 4) 中村亮八郎 (1977) : “新飼料学 (上)”, 102-106 (チクサン出版社, 東京).
- 5) 平山和次 (1983) : “シオミズツボワムシ—生物学と大量培養”, 52-68 (恒星社厚生閣, 東京).
- 6) 平田八郎・森 保樹 (1967) : 食用イースト給餌によるシオミズツボワムシの培養。栽培漁業, 5, 36-40.
- 7) 福所邦彦 (1984) : ワムシ培養餌料としてのテトラセルミス。養殖, 21(7), 104-109.
- 8) HIRATA, H., M. USHIRO, and I. HIRATA (1982) : Ecological succession of *Chlorella saccharophila*, *Brachionus plicatilis*, and autogenous bacteria in culture water. *Mem. Fac. Fish., Kagoshima Univ.*, 31, 153-160.
- 9) 安田公昭・多賀信夫 (1980) : 餌料細菌を用いるシオミズツボワムシの培養。日水誌, 46, 933-939.