

タマミジンコ (*Moina macrocopa*) の フィードバック飼育に関する 2・3 の試行

山崎 繁久*¹・井田 芳人*²・小川 満也*¹
和田 昭一*³

Observation of Inherent Mechanisms for Water Quality Maintenance in a Feedback Culture System of Zooplankton

Shigehisa YAMASAKI*¹, Yoshito IDA*², Mitsuya OGAWA*¹
and Shoichi WADA*³

Abstract

In order to determine the mechanics involved in the maintenance of water quality in a feedback culture system, several relevant physical and biological parameters were monitored both in the rearing water for zooplankton and in a phytoplankton culture tank.

Moina macrocopa was cultured for 53 days adapting feedback culture method. They were fed with *Chlorella sp.* previously acclimatized to freshwater. During the first 33 days, feedback culture system which involves recycling of rearing water after culturing *Chlorella sp.* was adapted. The routine method which does not involve recycling of water was applied during the last 20 days. $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ and $\text{PO}_4\text{-P}$ concentrations were determined in the culture water. $\text{PO}_4\text{-P}$, dissolved organic P and particle P content were likewise measured in *Chlorella sp.* culture water for five days after inoculation.

In the *M. macrocopa* culture tank, $\text{NH}_4\text{-N}$ and $\text{PO}_4\text{-P}$ concentrations were maintained at the levels of about 1,600 and 54 $\mu\text{g-at} \cdot \text{I}^{-1}$, respectively. However, in the routine treatment, $\text{NH}_4\text{-N}$ tended to increase up to 3,000 $\mu\text{g-at} \cdot \text{I}^{-1}$ and $\text{PO}_4\text{-P}$ up to 90 $\mu\text{g-at} \cdot \text{I}^{-1}$.

In *Chlorella sp.* culture tank, concentration of dissolved P decreased about 11 $\mu\text{g-at} \cdot \text{I}^{-1}$ from 65 to 54 $\mu\text{g-at} \cdot \text{I}^{-1}$, following an increase of *Chlorella sp.* density. However, particle P content increased about 9 $\mu\text{g-at} \cdot \text{I}^{-1}$ from 4.5 to 13 $\mu\text{g-at} \cdot \text{I}^{-1}$. Thus a negative relationship ($r = -0.90$) was observed between *Chlorella sp.* density and dissolved inorganic and organic P while a positive relationship ($r = +0.90$) was shown between *Chlorella sp.* density and particle P. Basing on the results obtained, it can be concluded that water was purified by bio-filtration with *Chlorella sp.* adapting the feedback culture method.

*¹ 鹿児島大学水産学部増殖生理学研究室

(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)

*³ 和田水産

(Wada Fish culture Farm, Kadogawa, Miyazaki, 889-06 Japan)

近年水産増殖の面でも省資源や環境汚染の問題に関心が寄せられるようになってきた。そこで平田 (1978) はシオミズツボムシを用い、その飼育における省資源および環境汚染の問題解決をはかるフィードバック飼育システムを創案した。この飼育は長期間にわたって継続され、その飼育システムの効果が示された (HIRATA *et al.*, 1980)。

今回の実験では、環境の変化に対して、より敏感とされるタマミジンコのフィードバック飼育を試みた。その結果、フィードバック飼育による水質の浄化機構について2・3の知見を得たのでここに報告する。

本文に入るに先立ち、終始御指導をいただいた平田八郎博士に深謝の意を表す。

材料および方法

飼育実験は2回繰り返しておこない、それぞれ53日間継続した。第2回目の実験では、開始後33日間フィードバック操作をおこない、34日目以降は飼育水を交換しない従来の飼育方法に切り換えて、その前後におけるタマミジンコ (以下ミジンコと略称) の成育および水質の変化に注目した。

飼育は、まず、前報 (山崎・平田, 1979) の池底移動通気装置を設置した2.7 t 水槽中でクロレラを培養した。クロレラは淡水に順致した海産クロレラを用い、培養液は屋島メEDIUMとした (平田, 1964)。クロレラ密度がおよそ 1.0×10^6 cells \cdot m⁻³ に増加したところでミジンコを約 0.1 ind \cdot m⁻³ の密度で接種した。

収穫は、ミジンコの密度が 2 ind \cdot m⁻³ 以上になった時点で開始し、終始その密度を維持するように収穫率を調整して毎日おこなった。その際生ずる飼育排水は、別に用意したポリカーボネイト製の 500 l タンクに移し入れ、飼育排水のみでクロレラの培養をおこなった。その培養クロレラおよび培養水は、ミジンコを収穫した後の餌料 (フィードバック・クロレラ) および補給水として飼育槽に返却した。

Table 1. Average and S.D. of water temperature, pH, and DO in a culture system.

Experiment	W. T. (°C)	pH	DO (ppm)
Experiment-I	23.0+2.1	6.4+0.4	7.9+0.6
Feedback treatment in Exp.-II	21.7+2.5	6.4+0.6	8.5+1.0
Routine treatment in Exp.-II	19.2+1.7	6.5+0.2	10.0+0.8

給餌は、上記フィードバック・クロレラの外、飼育水中の餌料密度が 0.1×10^6 cells \cdot m⁻³ 以上を維持するように、食用生酵母を併用した (岡, 1981) (Fig. 1)。

水質は、ミジンコ飼育槽とフィードバック・クロレラ培養槽について調べた。ミジンコ飼育槽では、NH₄-N, NO₂-N および NO₃-N の無機態 N および PO₄-P の 4 項目について、STRICKLAND and PARSONS (1972) の方法に基づいて測定した。水質用のサンプリングは原則として、ミジンコ収穫前の午前10時頃おこなった。

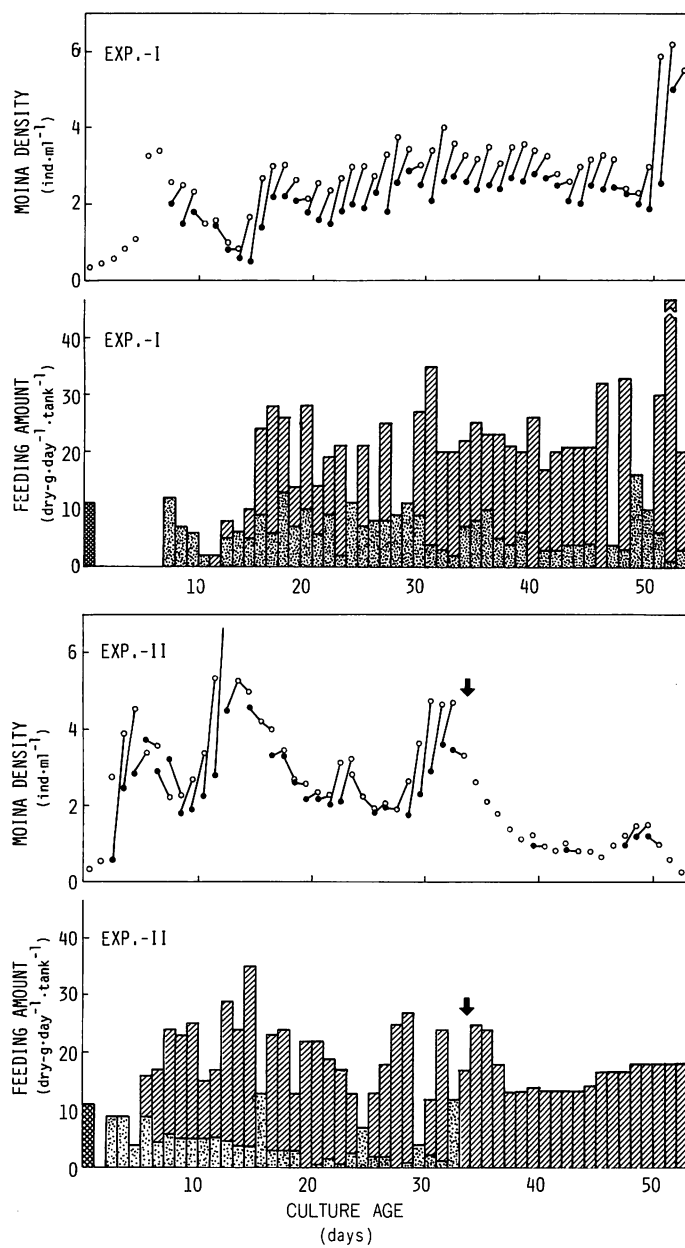


Fig. 1. Zooplankton density and feeding amount of *Chlorella* and baker's yeast in Exp.-I and Exp.-II. Arrows show the time feedback treatment was changed to routine treatment. ■ : *Chlorella* cultured in inorganic medium, ▨ : *Chlorella* cultured in waste water, ▧ : Baker's yeast.

なお、これらミジンコの飼育槽およびクロレラ培養槽は屋外に設置し、常温下で実験をおこなった (Table 1)。また本来は、ミジンコの排泄物である糞の利用はおこなわず、飼育水の排水のみを用いてフィードバック飼育をおこなった。

結果および考察

水質の観察は、実験Ⅱについておこなった。その変化は、ミジンコの密度と呼応するように、従来飼育法に切り換えた時点の前後において大きな相異を示した (Fig. 2)。即ち、 $\text{PO}_4\text{-P}$ および全無機態 N 濃度 (TIN) は、切り換え時まで、それぞれ50~55および2,100 $\mu\text{g-at}\cdot\text{l}^{-1}$

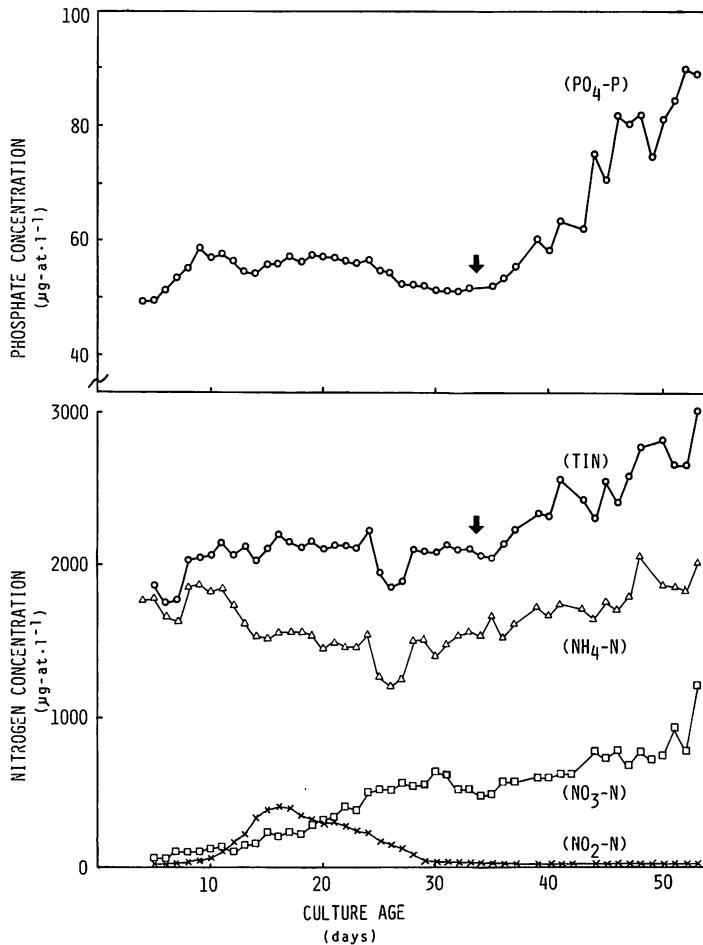


Fig. 2. Feature of $\text{PO}_4\text{-P}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ and total inorganic nitrogen (TIN) in the rearing tank of zooplankton during Exp.-II. Arrows show the time feedback treatment was changed to routine treatment.

を維持していた。しかし、その後、両者とも急激な上昇を示し $\text{PO}_4\text{-P}$ が $90 \mu\text{g-at}\cdot\text{l}^{-1}$ 、また TIN は $3,000 \mu\text{g-at}\cdot\text{l}^{-1}$ へといずれも約1.5倍の増加となった。それに歩調を合わせて、ミジンコの密度も、 $3 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-1}$ から $0.1 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-1}$ へと下降した (Fig. 1)。この変化の期間中における $\text{PO}_4\text{-P}$ と TIN 濃度の関係は、Fig. 3 の如く約16の傾斜を持つ直線回帰を示した。動・植物プランクトン内に存在する N および P の原子比は、およそ 16:1 となることが報告されている (小山, 1973)。従って、このミジンコ飼育水における $\text{PO}_4\text{-P}$ および TIN の上昇は、飼育水中での動・植物プランクトンを含む有機物の分解によるものと推察できる。

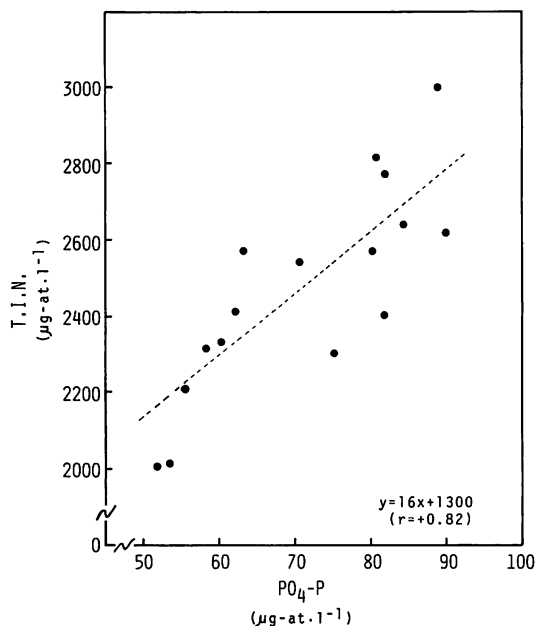


Fig. 3. Relationship between concentration of $\text{PO}_4\text{-P}$ and total inorganic nitrogen during the routine treatment in Exp.-II.

一方、フィードバック・クロレラ培養水中の P の動態は Fig. 4 に示した通りである。 $\text{PO}_4\text{-P}$ と溶存態有機 P を合わせた濃度は、約 3 日間に $65 \mu\text{g-at}\cdot\text{l}^{-1}$ から $54 \mu\text{g-at}\cdot\text{l}^{-1}$ へと約 $11 \mu\text{g-at}\cdot\text{l}^{-1}$ 減少した。他方粒子状 P の濃度は $4.5 \mu\text{g-at}\cdot\text{l}^{-1}$ から $13 \mu\text{g-at}\cdot\text{l}^{-1}$ へと約 $9 \mu\text{g-at}\cdot\text{l}^{-1}$ の増となり、前者の溶存態 P の減少量とほぼ同程度であった。クロレラ密度とこれら両者の相関を検討したところ、クロレラ密度と溶存態 P との間には負の相関 ($r = -0.90$)、および粒子状 P との間には正の相関 ($r = +0.90$) がみられた (Fig. 5)。従って、クロレラ培養水中では、クロレラによる水の浄化、言い換えれば生物浄化がおこなわれていることがわかる。

こうして生産された、フィードバック・クロレラの量は、総投餌量に対するその割合 (フィードバック率) で、28.1%および20.6%を占めた (Table 2)。つまり、今回の飼育

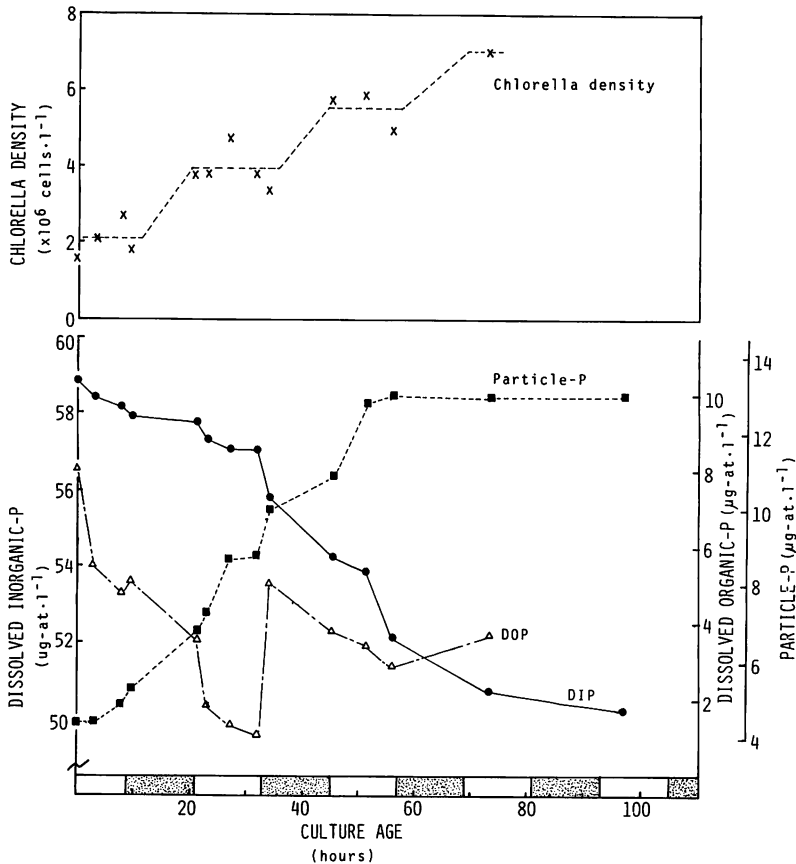


Fig. 4. Concentration of several types phosphorus and *Chlorella* density in *Chlorella* culture tank.

では総投餌量の28.1%および20.6%が節約できたことになる。入力としての投餌をもとにした飼料転換効率は、実験ⅠおよびⅡでそれぞれ32.2%および35.9%と高い値となった。一方、実験Ⅱの従来法による実験期間のそれは6.9%と低い値を示した。

一般に動物の飼育では、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が最も重視され、その濃度の変化に注意が払われている。今回のフィードバック飼育水中の $\text{NH}_4\text{-N}$ は平均 $1,600 \mu\text{g-at} \cdot \text{l}^{-1}$ とかなり高い値であったが、pHが 6.4 ± 0.6 と期間を通じて安定していたこともあり、ミジンコの増殖に及ぼす影響は認められなかった。また、ミジンコの密度が急激に減少した実験Ⅱの従来法飼育期間でも、ミジンコの減少を引き起こす程の水質の変化は観察されなかった。平田(1967)の報告によれば、食用生酵母の単一餌料投与は栄養のアンバランスをもたらすので、この減少はフィードバック・クロレラの供給を中止したために生じたとも考えられる。

ところで、HIRATA *et al.* (1980)のシオミズツボムシを用いたフィードバック飼育実験では、その飼育水中の $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度がほぼ $110 \mu\text{g-at} \cdot \text{l}^{-1}$ で安定した。また今回の実験では、それが $50 \mu\text{g-at} \cdot \text{l}^{-1}$ を示した。従って排泄・分解による栄養塩の増加と、クロレラによる

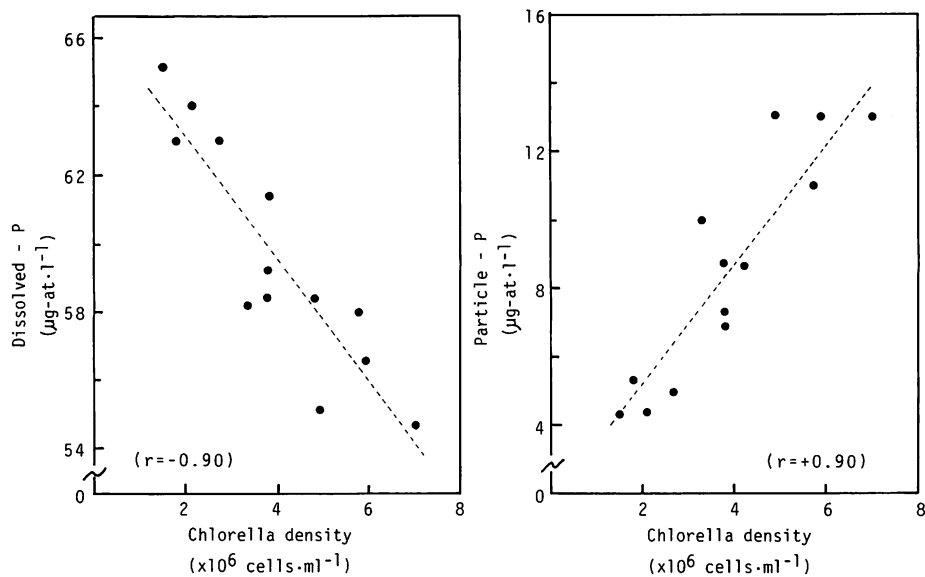


Fig. 5. Relationship among Chlorella density, dissolved P, and particle P in Chlorella culture water continued for five days.

Table 2. Energy budget (kcal) in culture system.

	Feeding amount					
	Baker's yeast and <i>Chlorella</i> as input (A)	<i>Chlorella</i> feedback (B)	Subtotal (C)	Harvesting (D)	S.S. in waste water (E)	Feaces (F)
Exp.- I	3,926	1,534	5,460	1,261	491	382
Feedback treatment in Exp.-II	2,261	612	2,873	819	230	95
Routine treatment in Exp.-II	1,632	0	1,632	113	38	95

	Food conversion rate D/C (%)	Feedback rate B/C (%)	Food conversion rate omitted <i>Chlorella</i> feedback D/A (%)
Exp.- I	23.1	28.1	32.2
Feedback treatment in Exp.-II	28.5	20.6	35.9
Routine treatment in Exp.-II	6.9	0	6.9

吸収のバランスは一応保たれているものの、海洋のそれと比較すると極端に高い値であり、植物プランクトンの生産力は多分に残されたままである(杉浦, 1970)。今後、この栄養塩を十分に利用できるような効率の良い植物プランクトン培養法を検討することも、フィードバック飼育システム内の恒常性を維持する上で重要な課題であろう。

引用文献

- 平田八郎 (1964) : 屋島事業場における餌料生物の培養. 栽培漁業ニュース, No. 2, 4.
- 平田八郎・森保樹 (1967) : 食用イースト給餌によるしおみずつばわむしの培養. 栽培漁業, 3, 36-40.
- 平田八郎 (1978) : フィードバック養殖法の原理とその開発への試行. 養殖, 169, 34-37.
- HIRATA, H. and S. YAMASAKI (1980) : Steady-state zooplankton community in a feedback culture system. *Micr. Ecol. Res.*, Simpo. Ser. 52, 402-415.
- 小山忠四郎 (1973) : 生物地球化学. “海洋生化学”, 39-162 (東海大学出版会, 東京).
- 岡 彬 (1981) : 淡水産ミジンコの培養. 養殖, 18(7), 66-68.
- SOLÓRZANO L. and J. H. SHARP (1980) : Determination of total dissolved phosphorus and particulate phosphorus in natural waters. *Limnol. Oceanogr.*, 25, 754-758.
- STRICKLAND, J. D. H. and T. R. PARSONS (1972) : “A practical handbook of sea water analysis (2nd ed.)”, 49-52, 71-80 (Bull. Fish. Res. Bd. Can., Ottawa).
- 杉浦吉雄 (1970) : 栄養塩. “海水の化学”, 269-295 (東海大学出版会, 東京).
- 山崎繁久・平田八郎 (1980) : 池底移動通気装置による飼育老廃物の分解について. 鹿大水紀要, 29, 267-273.