袋形動物輪虫類の増殖に及ぼす環境因子の影響

Effect of Environmental Factors on Growth Characteristics of Rotatoria

林 紀男¹、国安克彦²、稲森悠平³、須藤隆一⁴

¹千葉県立中央博物館／〒260-8682 千葉県千葉市中央区青葉町955-2

²(財)日本環境整備教育センター／〒162-0053 東京都新宿区原町3-33-2

³国立環境研究所／〒305-0053 茨城県つくば市小野川16-2

⁴東北大学大学院／〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉

NORIO HAYASHI¹, KATSUHIKO KUNIYASU², YUHEI INAMORI³, RYUICHI SUDO⁴

¹Natural History Museum and Institute, Chiba

/955-2, Aoba-cho, Chuo-ku, Chiba 260-8682, Japan

²The Japan Education Center of Environmental Sanitation

/33-2, Haramachi 3-chome, Shinjuku-ku, Tokyo 162-0053, Japan

³National Institute for Environmental Studies

/16-2, Onogawa, Tsukuba 305-0053, Japan

⁴Tohoku University, Graduate School,

/Aoba-ku, Sendai 980-8579, Japan

Abstract

Small aquatic rotatoria are the typical micrometazoa found frequently in the activated sludge and bio-film from wastewater treatment system. Effect of environmental factors on growth characteristics of aquatic rotatoria, *Philodina erythrophthalma*, *Rotaria rotatoria*, *Lecane luna* were investigated. Using a sterilized activated sludge as the micrometazoa food, the monoxenic growth rate of small rotatoria, the effects of temperature, pH, phosphate buffer solution concentration, shake stress, food concentration were measured. Optimum temperature of *P. erythrophthalma*, *R. rotatoria*, *L. luna* were 30, 30, 25 °C, respectively. Phosphate buffer concentration which could grow normally were 1/25 M for all rotatoria. The optimum pH values in cultivating the rotatoria ranged from 5 to 9. The endurance of *P. erythrophthalma* and *R. rotatoria* against shake stress was higher than that of *L. luna*.

Key words: Rotatoria, *Philodina erythrophthalma*, *Rotaria rotatoria*, *Lecane luna*, Growth rate, Environmental factor, Temperature, pH, Food, Shake stress, Phosphate buffer,

1. はじめに

袋形動物輪虫類に属する微小な輪虫類は、排水の生物処理施設において活性汚泥および生物膜中にしばしば大量に出現する¹⁾。ろ過摂食者である袋形動物輪虫類は、凝集体摂食者である環形動物貧毛類等との共存条件にお

いて、水質浄化能および発生汚泥量の減量化に大きな役割を果たしている^{2,3)}ことが知られる有用微小動物である。袋形動物輪虫類としては、*Philodina* 属、*Rotaria* 属、*Cephalodella* 属、*Keratella* 属、*Brachionus* 属、*Lepadella* 属、*Colurella* 属、*Lecane* 属などの出現頻度が高い⁴⁾。このうち、本研究で着目した *Philodina* 属、*Rotaria* 属、

Lecane 属では、それぞれ *Philodina erythrophthalma*、*P. roseola*、*P. tranquila*、*Rotaria rotatoria*、*R. elongate*、*R. tardigrada*、*Lecane luna*、*L. ohioensis* などが報告³⁾ されている。

本研究では、活性汚泥法および生物膜法の処理施設において最も出現頻度の高い輪虫類として、*Philodina* 属の *Philodina erythrophthalma*、*Rotaria* 属の *Rotaria rotatoria*、*Lecane* 属の *Lecane luna* に着目し、その生理・生態学的諸特性にかかわる基礎的知見を得ることを目的として実験的検討を行なった。

2. 実験方法

2. 1 供試動物

2. 1. 1 供試動物の特徴

供試動物の *Philodina erythrophthalma* Ehrenberg, 1838^{5, 6)}、*Rotaria rotatoria* Pallas, 1766^{5, 6, 7)} および *Lecane luna* O. F. Müller, 1776^{5, 6, 7)} は、袋形動物門 (Aschelminthes) 輪虫綱 (Rotatoria) に属する輪虫である。*P. erythrophthalma* および *R. rotatoria* は二性亜綱 (Digononta) ヒルガタワムシ目 (Bdelloidea) ヒルガタワムシ科 (Philodinidae)、*L. luna* は単性亜綱 (Monogononta) 遊泳目 (Ploima) ハオリワムシ科 (Euchlanidae) に分類される。輪虫類の食物源は細菌類や微細藻類、微小鞭毛虫類などであるが、捕食したこれらの食物を体内の咀嚼板を用いて粉碎することが輪虫綱に共通の特徴である。ヒルガタワムシの仲間は、雄の存在が不明で単為生殖のみが知られ、被甲を持たず足腺 (Pedal gland) が発達しており、ヒル型の匍匐運動を行なうことが特徴である。ハオリワムシの仲間は、雌雄異体であり、ヘテログニー (Heterogony) 生活を行なうことが特徴である。

- (1) *P. erythrophthalma*：体長は最大で650 μm であるが、活性汚泥法や生物膜法に出現する場合、体長200 μm 内外のことが多い。肢には背側に2本、末端に2本の合わせて4本の趾がある。頭部の繊毛環を用いた繊毛運動により強力な水流を起こし、懸濁体の細菌類等を捕食するろ過摂食様式をとる。伸縮自在の細長い体を用いて匍匐するほか、頭盤の繊毛を利用して水中を遊泳する。世界中に広く分布しており、生物膜法や活性汚泥法に出現する頻度が極めて高い種である。
- (2) *R. rotatoria*：体長は300～500 μm で、吻部に一對の眼点を有する。肢には背側に1本、末端に2本の合わせて3本の趾がある。*Philodina* 属と *Rotaria* 属は形態

的にも生態的にも共通点が多く、摂食様式や分布などは *P. erythrophthalma* と同等である。

- (3) *L. luna*：被甲は広卵円形を呈し、背甲長は125 μm 、腹甲長は135 μm 、背甲幅117 μm 、腹甲幅107 μm 、趾は35 μm 、爪は9 μm である。趾の先端部はその外側がえぐりとられたような爪になっている。頭背面に大きな眼点を有する。世界中に広く分布しており、日本でも全国各地から報告されている。

2. 1. 2 供試動物の分離法

供試動物の輪虫類は、生活排水を処理している生物膜法の処理施設から分離したものをを用いた。分離は、倍率7.5～64倍の実体顕微鏡下で菌類、他の微小動物が存在しなくなるまで滅菌水で繰り返し洗浄するビペット洗浄法で行なった。なお、分離した輪虫類は、1/750Mリン酸緩衝液に食物源として滅菌活性汚泥を添加した汚泥懸濁液中で継代培養を行ない実験に供した。

2. 2 増殖特性の評価法

環境因子が輪虫類の増殖に及ぼす影響に関しては、輪虫類の比増殖速度 (μ) から評価した。なお、 μ は次式より算出した⁸⁾。

$$\mu = 2.303 \log (N - N_0) / t - t_0$$

ここで、 N ： t 日目の個体数 (N/ml)

N_0 ：0 日目の個体数 (N/ml)

2. 3 培養条件

輪虫類の増殖特性について、実際の生物処理施設において増殖に影響を及ぼす重要な環境因子である温度、pH、塩濃度、食物源としての細菌の種類、汚泥濃度、攪拌強度に着目して実験を行なった。なお、輪虫類の培養は直径5.6cmのペトリ皿を使用し、そこに食物源とリン酸緩衝液とを合わせて12mlになるようにして、25℃、静置条件下、初期餌密度200mg・ l^{-1} で培養することを基本とした。各実験系では対象となる環境因子のみを変化させ、それぞれの設定条件において実験を行なった。培養初期の輪虫類の接種数は1mlあたり10個体とし、継代培養中のものから対数増殖期にある個体を用いた。全ての培養実験は3系列で行なった。

2. 3. 1 環境因子としての温度

培養温度を5、10、15、20、25、30、35および40℃の8段階に設定した恒温培養器を用いて培養した。

Table 1 Bacterial Strain

<i>Pseudomonas putida</i>
<i>Bacillus cereus</i>
<i>Bacillus subtilis</i>
<i>Escherichia coli</i>
<i>Acinetobacter calcoaceticus</i>
<i>Micrococcus luteus</i>
<i>Klebsiera pneumoniae</i>
<i>Achromobacter cycloclastus</i>
<i>Flavobacterium luteus</i>
<i>Flavobacterium suaveolens</i>
<i>Streptococcus acidominus</i>

2. 3. 2 環境因子としての pH

培養液の pH を、電気分解法による電解槽（日本インテックアクアケミカル製：TK732）を用いて、pH4.2～9.7の範囲に調整し、培養に供した。

2. 3. 3 環境因子としての塩濃度

pH6.5に調整したリン酸緩衝液の濃度を0～1/25Mの範囲に調整し培養に供した。なお、pHの初期設定をpH6.5としたのは、培養期間中に供試生物の代謝産物等により pH がアルカリ側に変化することを考慮して、培養期間中の pH を中性の7前後に維持するためである。また、供試塩濃度を0～1/25Mの範囲としたのは、原生動物纖毛虫類 *Vorticella microstoma* が塩濃度1/25M以上では増殖不能との知見⁹⁾と比較検討するためである。

2. 3. 4 環境因子としての食物源（細菌）の種類

表1に示す菌株系統保存施設から分譲を受けた細菌および排水の生物処理施設から単離した細菌を培養に供した。細菌は各々30℃で48時間肉汁液体培地で培養し、リン酸緩衝液で3回洗浄し Resting Cell としたものを利用した。

2. 3. 5 環境因子としての食物濃度

生活排水を処理する施設から採取した活性汚泥を高圧蒸気滅菌したものを滅菌活性汚泥として食物源とした。一般的に微生物の増殖において、食物濃度と増殖速度の関係が Monod 式で表されることから、最大の汚泥濃度を膜分離活性汚泥等で観察される20,000mg・l⁻¹に調整し、0～20,000mg・l⁻¹の範囲になるように培養に供した。

2. 3. 6 環境因子としての撹拌強度

回転振盪機及び振幅2.6cmの往復振盪機を用いて、撹

拌強度をそれぞれ0～200rpm および0～3往復・秒⁻¹の範囲に調整し培養を行なった。なお、撹拌強度に関する培養実験は、全て腰高ベトリ皿を用いて実験を行なった。なお、回転振盪と往復振盪の両者を用いたのは、輪虫類に加わる加速度が一定の場合と連続的に変化する場合を比較検討¹⁰⁾するためである。

3. 結果および考察

3. 1 温度の増殖に及ぼす影響

生物活性に及ぼす影響の大きい環境因子としての温度が、輪虫類の増殖速度に及ぼす影響を及ぼすかについて、水温を5℃～40℃の範囲に設定し増殖速度の測定を行なった。なお、ここで使用した輪虫類は、各培養温度で前培養したものである。Fig. 1は輪虫類の増殖に及ぼす温度の影響をアレニウスプロットしたものである。*P. erythrophthalma* の μ は、30℃で最大の0.66・day⁻¹となり、5℃で0.022・day⁻¹と増殖活性が急激に低下する。*R. rotatoria* も μ は30℃で最大の0.66・day⁻¹となることは共通であるが、40℃および5℃の条件での μ はそれぞれ0.06・day⁻¹および0.004・day⁻¹と顕著な低下を示す。また、*L. luna* の μ は25℃で最大の0.19・day⁻¹であり、30℃になると同0.13・day⁻¹と低下することが明らかとなった。各供試輪虫類のアレニウスプロットにおける直線の傾きから活性化エネルギーを算出すると、*P. erythrophthalma* で10℃から30℃の範囲において74.9kJ・mol⁻¹ (17,900cal・mol⁻¹)、*R. rotatoria* で15℃から30℃の範囲において78.8kJ・mol⁻¹ (18,900cal・mol⁻¹)、*L. luna* で15℃から25℃の範囲において82.4kJ・mol⁻¹ (19,700cal・mol⁻¹)であった。これらの結果は、供試輪虫類の中では *P. erythrophthalma* が比較的温度的影響を受けにくいことを示唆するものである。*P. erythrophthalma* と *R. rotatoria* については、最大の至適増殖温度が30℃であり、その際の μ が0.66・day⁻¹であることが共通であった。しかし、*P. erythrophthalma* に比較して *R. rotatoria* では40℃および5℃の条件での増殖活性の低下が著しく、適応温度範囲が狭いことが明らかとなった。*L. luna* では、さらにこの傾向が顕著になり、温度と増殖速度との直線関係が得られる範囲は15℃から25℃に限られることが明らかとなった。これまでに明らかにされている *Paramecium caudatum* で85.8kJ・mol⁻¹、*Vorticella microstoma* で76.6kJ・mol⁻¹、*Tetrahymena pyriformis* で77.0kJ・mol⁻¹などの原生動物^{11,12)} および *Aeolosoma hemprichi* で52.3kJ・mol⁻¹、*Pristina longiseta* で77.4kJ・

mol⁻¹、*Nais variabilis*で75.3kJ・mol⁻¹などの環形動物貧毛類¹⁰⁾の活性化エネルギーと比較しても、*L. luna*では温度の影響を受けやすいことが明らかとなった。培養に際しては前培養の温度が大きく影響することが指摘されている¹³⁾ため、本研究では供試輪虫類を実験温度に馴致させて培養試験を行なっているため得られた情報は供試輪虫類の最大値であると考えられる。これまでに *Philodina roseola* については、38℃まで増殖が可能であ

ることが明らかにされている¹⁴⁾が、ここでは *P. erythrophthalma* と *R. rotatoria* については40℃まで、*L. luna* では35℃まで増殖が可能であることが明らかとなった。低温耐性については、いずれの輪虫類も5℃条件下においても生存可能であったことから、生物処理施設においては冬期などの極端に低温となる場合を除き、これらの輪虫類は十分に増殖し浄化に貢献可能であることが示唆された。

Fig. 1 Effect of temperature on growth of Rotatoria

3. 2 pH の増殖に及ぼす影響

生物の生存および増殖には pH が大きな影響を及ぼす重要な因子であることが知られている。Fig. 2 は初期培養液 pH を電気分解法により pH4.2 から pH9.7 に変化させた場合の供試輪虫類の μ を示したものである。*P. erythrophthalma* は、pH4.2 から pH9.7 の範囲で増殖可能であったが、*R. rotatoria* では pH4.2 条件下で増殖できなくなった。*L. luna* では pH9.2 以上のアルカリ性条件下で増殖できなかったが、*P. erythrophthalma* と *R. rotatoria* については pH が 5 以下では、増殖阻害が認められるのに比較して、*L. luna* では酸性条件の影響を全く受けなかった。供試輪虫類の全てにおいて増殖に大きな影響が認められなかったのは、pH5.7 から pH8.2 の範囲であった。環形動物貧毛類では、pH5.0 から pH9.0 の範囲で影響がない¹⁰⁾ことが明らかにされていることか

ら、貧毛類に比較して輪虫類では pH に対する感受性が高いことが明らかとなった。ただし、培養中に供試生物の代謝産物の蓄積等の影響により pH の変動が生じ、初期設定 pH が 4.2 では培養後、*P. erythrophthalma*、*R. rotatoria*、*L. luna* でそれぞれ 6.1、6.2、5.9、初期設定 pH が 9.7 では培養後、*P. erythrophthalma*、*R. rotatoria* でそれぞれ 8.9、8.7 となった。また、原生動物纖毛虫類 *Vorticella microstoma* で報告されている pH への感受性は、至適 pH が 6.5～7.5 であり、pH8.0 以上では斃死することが報告^{9,12)}されている。すなわち、通常の生活排水を対象とした生物処理法において、出現頻度の高い原生動物纖毛虫類 *V. microstoma* と比較すると輪虫類の pH に対する耐性範囲が大きいことが明らかである。このことから pH は、輪虫類の増殖に大きな影響を及ぼす環境因子にはならないことが明らかとなった。

Fig. 2 Effect of pH condition on growth of Rotatoria

3. 3 塩濃度の増殖に及ぼす影響

塩濃度も pH と同様に生物の生存および増殖に大きな影響を及ぼす重要な因子であることが知られている。ここではリン酸緩衝液の濃度を 0～1/25M の範囲に調整し培養した。結果は Fig. 3 に示すとおりである。すなわち、*P. erythrophthalma*、*R. rotatoria* および *L. luna* では、供試最大塩濃度である 1/25M における μ がそれぞれ $0.52 \cdot \text{day}^{-1}$ 、 $0.49 \cdot \text{day}^{-1}$ および $0.19 \cdot \text{day}^{-1}$ と正常に増殖可能であった。一方、原生動物纖毛虫類の *Vorticella microstoma* では塩濃度が 1/25M 以上に高まるとほとんど増殖が認められない¹²⁾ こと、環形動物貧毛類の *A. hemprichi* では 1/75M 以上の塩濃度で増殖が完全に阻害され¹⁰⁾、塩濃度耐性の高い貧毛類である *Pristina longiseta* および *Nais variabilis* でも 1/25M 以上の塩濃度で増殖が完全に阻害される¹⁰⁾ ことが明らかにされている。これらの知見から、供試輪虫類は塩濃度耐性が高く、通常的生活系排水を処理する生物処理施設において想定される塩濃度条件では、これらの輪虫類が塩濃度耐性を原因に増殖不能になることはほとんどないことが明らかとなった。

3. 4 食物源としての細菌の種類を増殖に及ぼす影響

菌株系統保存施設から分譲を受けた細菌および排水の生物処理施設から単離した細菌を食物源として得られた増殖に及ぼす影響の結果は Fig. 4 に示すとおりである。すなわち、*P. erythrophthalma* および *R. rotatoria* は、供試細菌の全てを食物源として増殖可能であり、*L. luna* は *Pseudomonas putida*、*Escherichia coli*、*Acinetobacter calcoaceticus*、*Klebsiera pneumoniae*、*Achromobacter cycloclastus* の 5 種の単独細菌を用いた培養で増殖可能であったが、*Bacillus cereus*、*Bacillus subtilis*、*Micrococcus luteus*、*Flavobacterium luteus*、*Flavobacterium suaveolens*、*Streptococcus acidominus* の 6 種の単独細菌では増殖できなかった。これらの結果から、*P. erythrophthalma* および *R. rotatoria* は多種の細菌を食物源とする広食性の可能性が大きいことが明らかとなった。生物処理槽内は混合培養系であり、多種の細菌類が生息し、かつその優占化比率も絶えず変化していることが知られている¹²⁾ が、多種の細菌類を食物源とすることは混合培養系である生物処理槽内に定着する上での必要条件であると考えられる。また、遊泳型の輪虫類である *L. luna* で食物源と

Fig. 3 Effect of phosphate buffer on growth of Rotatoria

Fig. 4 Relationship between variety of bacterial strain as food and growth rate of Rotatoria

ならなかった6種の細菌のうち5種がグラム陽性であり、食物源として好適であった5種全てはグラム陰性であるが、これらの食物に対する選択性は、グラム陽・陰性の他に毒性、凝集性および菌体成分等とのかかわりがあると推定される。供試細菌のうち *Acinetobacter calcoaceticus* は、原生動物の *Vorticella microstoma* および *Histiculus vorax* に対しては好適な食物源とならないことが報告¹⁵⁾ されているが貧毛類や輪虫類では好適な食物源となることが明らかにされた。微小動物の細菌類に対する選択食性の検討については、複数種の細菌の組み合わせなどによる今後更なる知見の集積が必要と考えられる。

3. 5 食物源としての細菌濃度の増殖に及ぼす影響

食物源としての細菌濃度を変化させた場合の輪虫類の増殖特性は Fig. 5 に示すとおりである。この図から *P. erythrophthalma* および *R. rotatoria* らのヒルガタワムシ類では、増殖速度と細菌濃度との間には双曲線関係が得られることが明らかである。この範囲において Monod 式を適用して、Lineweaver-Burk のプロットから最大比増殖速度 ($\mu_{\max}$) および飽和定数 (K_s) を算出すると、*P. erythrophthalma*、*R. rotatoria* および *L. luna* で、それぞれ $\mu_{\max}$ は $0.54 \cdot \text{day}^{-1}$ 、 $0.50 \cdot \text{day}^{-1}$ 、 $0.19 \cdot \text{day}^{-1}$ 、 K_s は $24 \text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 、 $27 \text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 、 $23 \text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ となった。これらの結果は原生動物¹⁰⁾ および微小貧毛類と同様に、細菌濃度が増殖に大きく影響を及ぼすことを示唆するものである。また、高い細菌濃度においても増殖が阻害さ

れることはなく、十分に増殖可能であることが明らかとなった。このことは、生物膜のような圧密化した高濃度条件下でも輪虫類が生息していることから裏づけられる。また、輪虫類が生物膜に優占的に定着しやすいことを考慮すると、高い細菌濃度において輪虫類の増殖活性が最大となることは、細菌の捕食による汚泥減量化と生物膜の更新に寄与していることを示唆するものと考えられる。

3. 6 攪拌強度の増殖に及ぼす影響

振盪強度を回転振盪培養および往復振盪培養各々について最大加速度に換算¹⁰⁾ し、輪虫類の比増殖速度との関係を図示すると Fig. 6 のように示される。この図から *P. erythrophthalma* および *R. rotatoria* では攪拌強度が高まり、最大加速度が一定である回転振盪の0.6Gの場合の μ が各々 $0.52 \cdot \text{day}^{-1}$ 、 $0.50 \cdot \text{day}^{-1}$ 、最大加速度が連続的に変化する往復振盪の0.9Gの場合で μ が $0.52 \cdot \text{day}^{-1}$ 、 $0.48 \cdot \text{day}^{-1}$ と増殖を続けることが可能であるが、*L. luna* では攪拌強度が高まると増殖が阻害され、最大加速度が0.5Gを越える条件下では、増殖が完全に阻害されることが明らかとなった。これは、*L. luna* の摂食様式に起因するものと考えられる。すなわち、*P. erythrophthalma* および *R. rotatoria* らのヒルガタワムシ類は、フロックに趾で付着した状態で頭盤の繊毛環で強力な水流を起こし懸濁体の細菌類を捕食できるのに対し、遊泳型の *L. luna* は遊泳してフロックにかじりつき捕食する摂食様式のため、強攪拌条件下では遊泳能が阻害さ

Fig. 5 Effect of sludge concentration on growth of Rotatoria

Fig. 6 Effect of shake stress on growth of Rotatoria

れるためであると考えられる。実施設において *L. luna* は *P. erythrophthalma* および *R. rotatoria* らのヒルガタワムシ類に比較して、活性汚泥において出現頻度が低く、生物膜において出現頻度が高いのは、攪拌強度への耐性が低いことに起因するものと考えられる。

4. まとめ

生物処理過程に出現する代表的輪虫類 *P. erythrophthalma*、*R. rotatoria* および *L. luna* の、増殖活性に及ぼす環境因子の影響を、被食者としての細菌類および捕食者としての輪虫類の二者を用いた二者培養試験により検討したが、得られた知見は以下のようにまとめられる。

- (1) 水温の至適条件は、*P. erythrophthalma* および *R. rotatoria* では30℃、*L. luna* では25℃前後であり、夏期の高水温時に増殖活性が高まるが、冬期の5℃程度の低水温時にも増殖が十分可能であることが示唆された。
- (2) pH については、*P. erythrophthalma* および *R. rotatoria* では、pH 5以下の酸性条件で増殖に影響が認められ、*L. luna* では、pH 9以上のアルカリ性条件で増殖が阻害された。ただし、pH 5～9の間では大きな影響は認められず、通常的生活排水を処理する生物膜法で認められる pH の範囲内においては、輪虫類の増殖は pH の変化に対して大きな影響をうけることが明らかとなった。
- (3) 塩濃度については、*P. erythrophthalma*、*R. rotatoria* および *L. luna* の増殖に対し、1/25Mの塩濃度まで影響が認められなかった。したがって、通常的生活系排水を処理する生物処理施設において想定される塩濃度条件では、これらの輪虫類は影響を受けることはなく増殖可能であると考えられた。
- (4) 食物源としての細菌の種類は、*P. erythrophthalma* および *R. rotatoria* では、*Pseudomonas putida*、*Escherichia coli*、*Acinetobacter calcoaceticus*、*Klebsiella pneumoniae*、*Achromobacter cycloclastus*、*Bacillus cereus*、*Bacillus subtilis*、*Micrococcus luteus*、*Flavobacterium luteus*、*Flavobacterium suaveolens*、*Streptococcus acidominus* ら供試細菌の全てを食物源として増殖可能であり、*L. luna* では *Pseudomonas putida*、*Escherichia coli*、*Acinetobacter calcoaceticus*、*Klebsiella pneumoniae*、*Achromobacter cycloclastus* の5種の単独細菌を用いた培養で増殖可能であったが、*Bacillus cereus*、*Bacillus subtilis*、*Micrococcus luteus*、*Flavobacterium luteus*、*Flavobacterium suaveolens*、*Streptococcus acidominus* の6種の単独細菌では増殖できなかった。これらの選択食性は食物源としての細菌類の凝集性や菌体成分などによるものであると推定された。
- (5) 食物源としての細菌濃度の影響を、Monod 式の適用できる範囲で計算すると、*P. erythrophthalma*、*R. rotatoria* および *L. luna* で、それぞれ $\mu_{\max}$ は0.54・

- day⁻¹、0.50・day⁻¹、0.19・day⁻¹、Ks は24mg・l⁻¹、27mg・l⁻¹、23mg・l⁻¹となり、細菌濃度が増殖に大きく影響を及ぼすことが明らかとなった。
- (6) 攪拌強度の影響については、*P. erythrophthalma* および *R. rotatoria* では、最大加速度が連続的に変化する往復振盪の0.9Gの場合でも増殖を続けることが可能であるが、*L. luna* では攪拌強度が高まると増殖が阻害され、最大加速度が0.5Gを越える条件下では、増殖が完全に阻害されることが明らかとなった。

【参考文献】

- 1) 須藤隆一：環境浄化のための微生物学、講談社サイエンティフィク、230 (1983)
- 2) 稲森悠平、林紀男、西村修、須藤隆一：微小後生動物の水質浄化における役割、水、36 (8)、16-25 (1994)
- 3) Inamori, Y., Kuniyasu, Y., Hayashi, N., Ohtake, H. and Sudo, R.: Monoxenic and Mixed Cultures of Small Metazoa *Philodina erythrophthalma* and *Aelosoma hemprichi* Isolated from a Wastewater Treatment Process, Applied Microbiology and Biotechnology, 34, 404-407 (1990)
- 4) 須藤隆一、稲森悠平：図説生物相からみた処理機能の診断、産業用水調査会、321 (1983)
- 5) 小島貞男、須藤隆一、千原光雄：環境微生物図鑑、講談社、776 (1995)
- 6) 鈴木實訳：淡水指標生物図鑑、北隆館、301 (1991)
- 7) 水野寿彦：日本淡水プランクトン図鑑、保育社、353 (1964)
- 8) 須藤隆一：環境微生物実験法、講談社サイエンティフィク、294 (1989)
- 9) Sudo, R. and Aiba, S.: Mass and Monoxenic culture of *Vorticella microstoma* isolated from activated sludge, Water Reserch, 7, 615-619 (1973)
- 10) 国安克彦、林紀男、稲森悠平、須藤隆一：環形動物貧毛類の増殖に及ぼす環境因子の影響、日本水処理生物学会誌、33 (4)、207-214 (1997)
- 11) 稲森悠平：水環境の基礎と応用、産業用水調査会、219 (1993)
- 12) 須藤隆一：廃水処理の生物学、産業用水調査会、639 (1977)
- 13) Thormar, H.: Effect of Temperature on the Reproduction Rate of *Tetrahymena pyriformis*, Experimental Cell Research, 28, 269-273 (1962)
- 14) Schaefer, E. D. and Pipes, W. O.: Temoerature and the Toxicity of Chromate and Arsenate to the Rotifer, *Philodina roseola*, Water Research, 7, 1781-1788 (1973)
- 15) Curds, C. R. and Vandyke, J. M.: The Feeding Habits and Growth Rates of Some Fresh Water Ciliates Found in Activated Sludge Plant, Journal Applied Ecology, 3, 127-132 (1966)

(受付 1998. 5. 7)

(受理 1998. 6. 29)