〈論 文〉

***Microcystis viridis* 産成有毒物質の浄水の生物膜法による分解除去**

稲 森 悠 平* 大 野 泰 宏** 彼 谷 邦 光*
 渡 辺 信* 須 藤 隆 一*

Studies on the Removal and Decomposition of *Microcystis viridis* Toxic Substance in the Bio-film Reactor

Yuhei INAMORI*, Yasuhiro OHNO, Kunimitsu KAYA*
 Makoto M. WATANABE* and Ryuichi SUDO***

* National Institute for Environmental Studies, 16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305 Japan

** Faculty of Science, Toho Univ., 2-2-1 Miyama, Funabashi, Chiba 274 Japan

Abstract

This study was conducted for the purpose to make clear the effect of hydraulic retention time (HRT) on the removal and decomposition of *Microcystis viridis* toxic substance cyanoviridin in the bio-film reactor existing small metazoa, and the stability of decomposition of cyanoviridin in the continuous bio-film reactor using high performance liquid chromatography. The results obtained from this study are as follows.

① Toxic substance cyanoviridin was removed more than 70% under short HRT such as 1.5h and more than 90% under long HRT such as 12h ② High removal efficiency of cyanoviridin could be accomplished in the continuous bio-film treatment process for long term. ③ The accumulations of cyanoviridin could not almost be recognized in the bio-film, therefore, it was suggested that cyanoviridin could be decomposed efficiently by biological functions. ④ It was made clear that the bio-film treatment process was effective method to remove the both algal cells and toxic substance cyanoviridin in the water purification process from extremely eutrophied lake water.

Key words: *Microcystis viridis*, toxic substance cyanoviridin, bio-film reactor, hydraulic retention time

1. はじめに

霞ヶ浦などの富栄養化した湖沼では夏季を中心に藍藻類の異常増殖による水の華が形成される。水の華の形成は pH の上昇, 溶存酸素の低下, 魚類の大量へい死, 悪臭, 浄水過程での汙過障害などの問題を誘起する¹⁾。また, これらの藍藻類の中には有毒性の種が存在することが知られており²⁾, *Microcystis* 属については, 7 個のアミノ酸からなる環状ペプチド性有毒物質が数

種単離精製されている^{3),4),5)}。なかでも, 霞ヶ浦などで優占種となっている *Microcystis viridis* は有毒物質シアノビリジン RR を含有していることが明らかにされている^{3),5),6)}。このような有毒藍藻類の異常増殖した汚濁湖沼水を水道水源とする場合, 有毒物質の上水への影響などの問題が生ずる可能性がある¹⁾。そのため, 浄水過程で分解除去する必要がある。ここでは, 最近生物膜法の一つとして普及しはじめてきた接触酸化法における分解除去能に着目した。この生物膜には多種多

* 環境庁国立環境研究所 〒305 茨城県つくば市小野川16-2

** 東邦大学理学部 〒274 千葉県船橋市三山2-2-1

様の微生物が生息しているが、その中でも出現頻度の高い構成微小後生動物である貧毛類 *Aeolosoma hemprichi*、輪虫類 *Philodina erythrophthalma* は有毒 *Microcystis* 属を食物源として捕食し生存・増殖の可能なことが明らかにされている^{7),8)}。しかし、生物膜法における *M. viridis* の有毒物質の分解除去の可能性については調べられていない。

本研究では、上記の点を鑑み、*M. viridis* 懸濁液を細菌・微小動物相から構成された生物膜処理反応槽に連続的に流入させ、有毒物質シアノピリジン RR の分解除去特性について高速液体クロマトグラフィー (HPLC) を用いた定量分析を行い、物質収支の面から評価することを目的として検討を加えた。

2. 方法

2.1 供試藻類

供試藻類としては、国立環境研究所微生物系統保存施設から分譲された有毒株 *M. viridis* (NIES102) を用いた。*M. viridis* は、霞ヶ浦などで初夏を中心として優占種となる藍藻類であり、細胞の大きさは直径 3~7 μm で有毒物質シアノピリジン RR を含有する^{3),5),6)}。培養は、MA 培地⁹⁾ (Table 1) を 121°C、15 分間オートクレーブ滅菌したものを用いて行った。まず 500ml 容の三角フラスコを用い、200ml の MA 培地で前培養を行った後 10l 容の培養ビンを用い、8 l の MA 培地に植え継ぎ、25~28°C、自然光下(黒布による約 10,000lux に光量調整)で、0.22 μm のフィルターを通した無菌空気での通気による大量培養を行った。微小動物との培

Table 1. Composition of MA medium

Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	5	mg
KNO ₃	10	mg
NaNO ₃	5	mg
Na ₂ SO ₄	4	mg
MgCl ₂ ·6H ₂ O	5	mg
β -Na ₂ glycerophosphate	10	mg
Na ₂ EDTA	0.5	mg
FeCl ₃ ·6H ₂ O	0.05	mg
MnCl ₂ ·4H ₂ O	0.5	mg
ZnCl ₂	0.05	mg
CoCl ₂ ·6H ₂ O	0.5	mg
Na ₂ MnO ₄ ·2H ₂ O	0.08	mg
H ₃ BO ₃	2	mg
Bicine	50	mg
Distilled water	100	ml

pH 8.6

養実験に供試する際には、大量培養開始後約 20~30 日経た有毒物質含有量が最も高い対数増殖期ものを、10,000rpm で 5 分間遠心・濃縮し、無菌水で 3 回洗浄したものを希釈・懸濁して用いた。

2.2 供試微小動物

供試微小動物としては、輪虫類 *Philodina erythrophthalma* および貧毛類 *Aeolosoma hemprichi* を用いた。これらは有毒株 *M. viridis* を捕食することにより高い増殖能を示すことが確認されている^{7),8)}。そこで、300ml 容三角フラスコ中の 100ml の無菌水に懸濁させた *M. viridis* を食物源として継代培養した。*P. erythrophthalma* は繊毛環によって微小な食物粒子を集めることにより摂食する濾過摂食者と呼ばれ、体長は 100~500 μm であり、付着生活、遊泳生活をする。通常単為生殖であるが不適環境になると半数性卵が生じ、受精によって耐久性のある休止卵を形成することを特徴としている^{10),11)}。*A. hemprichi* は比較的大きな凝集体を摂食する凝集体摂食者と呼ばれ、体長は 2~5 mm であり、剛毛を有する。虫体は、ぜん運動により匍匐をし、横分裂によって増殖することを特徴とする¹⁰⁾。

2.3 実験装置

微小動物の生息する生物膜法による *M. viridis* およびその含有有毒物質の除去分解能を明らかにするために、Fig. 1 に示すような *M. viridis* 懸濁液貯留槽、ひも状接触材を充填した生物膜反応槽 (300ml)、流出水サンプリング槽 (300ml)、エアポンプ、ベリスタポンプからなる連続装置を用いて実験を行った。生物膜処理反応槽にはベリスタポンプにより *M. viridis* 懸濁液を連続的に流入させるようにした。*M. viridis* 懸濁液には汚濁湖沼水に含まれる成分がおおむね含有されるように、無機塩類 P, Fe, Ca, Mg を含む BOD 希釈水およびグルコース 5 mg $\cdot\text{l}^{-1}$ を添加した。

Fig. 1 Continuous culture system for bio-film treatment process: (S)Magnetic stirrer; (AP)Aeration pump; (M.v.)*M. viridis* suspension; (PP) Peristaltic pump; (B)Bio-film reactor; (SF) Sampling flask

2.4 実験条件

1) 生物膜処理反応槽の異なる HRT における *M. viridis* 分解除去特性

連続培養装置の運転条件は Fig. 2 に示す通りである。本実験では Fig. 1 に示す連続培養装置を 5 系作成し、すべての系に微小動物 *P. erythrophthalma* および *A. hemprichi* を接種し、*M. viridis* 懸濁液濃度を $30 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 、それぞれの水理学的滞留時間 (HRT) を 1.5, 3, 6, 12, 24h に設定して行った。それぞれの系において *M. viridis* の含有する有毒物質シアノビリジンを高速液体クロマトグラフィー (HPLC) により定量分析した。

2) 生物膜処理反応槽における有毒物質シアノビリジンの除去能の長期安定性

生物膜による有毒物質シアノビリジン除去能の長期安定性を調べるため、すべての系を HRT24h に固定し、流入水および流出水のシアノビリジン濃度を HPLC により経日的に分析し、長期除去能の安定性を調べた。流入水の *M. viridis* 懸濁液濃度は $50 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ とした。

3) 生物膜処理反応槽の有毒物質シアノビリジンの物質収支からみた分解除去特性

長期にわたる連続培養の過程における生物膜処理反応槽における有毒物質シアノビリジンの蓄積の可能性については、系 1、系 2 および系 3 について連続培養開始約 700 日後に連続培養装置を停止して生物膜量、蓄積量などを測定分析し、シアノビリジンの消長を物質収支の点から検討した。なおシアノビリジン総流入量、総流出量については、Fig. 2 に示す実験期間についての平均値の合計として求めた。

2.5 測定法

HPLC の試料は Fig. 3 に示すとおりに作成し、Table 2 の設定のもとで測定した。まずシアノビリジン標準液 ($140 \mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$) をカラムに $20 \mu\text{l}$ 注入し、得られたクロマトグラム (Fig. 4) のチャート面積とシアノ

1		24h	
2		12	
Run No. 3	HRT 24h	6	24h
4		3	
5		1.5	
Days	280	60	360
<i>M. viridis</i>	$50 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$	$30 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$	$50 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$

HRT: Hydraulic Retention Time

Fig. 2 Operational conditions of continuous culture system

ビリジン量との関係から検量線を作成し、つぎに $20 \mu\text{l}$ の試料をカラムに注入して測定されたチャート面積を検量線によって $20 \mu\text{l}$ あたりの濃度を求めた後試水全体の濃度を求め、試水の体積 (l) で割ってシアノビリジン濃度 ($\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$) を求めた。なお、物質収支の測定については 700 日間のシアノビリジン総流入量、総流出量、および 700 日目での量を HPLC により測定し、除去率および蓄積率を計算した。

(1) Method of pretreatment of samples

Addition of 20mM of ammonium acetate to *M. viridis* suspension or effluent of continuous culture system

(2) Method of extraction of cyanoviridin

Washing of SEP-PAK (toxin adsorbent) in order of methanol and distilled water

Passage of (A) and (B) through SEP-PAK and washing of SEP-PAK with distilled water

Elution of toxin adsorbed by SEP-PAK using about 3ml of methanol

Evaporation of methanol at 40°C by aeration pump to dry toxin

Dissolution of toxin in 0.1ml of distilled water and analysis by HPLC

Fig. 3 Preparation procedure of HPLC sample

Table 2. Conditions of HPLC for cyanoviridin analysis

Cyanoviridin standard	$140 \mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$
Column	ODS
Velocity	$3 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$
Wave length for mesurement	239nm
Maximum peak	0.002AUFs
Injection volume of samples	$20 \mu\text{l}$
Carrier	25% acetonitrile 20mM ammonium acetate

Fig. 4 Chromatogram of cyanoviridin standard

3. 結果および考察

3.1 生物膜処理反応槽の異なる HRT におけるシアノビリジンの除去特性

連続培養装置運転開始約300日後からの異なる HRT 下における生物膜処理反応槽内の *P. erythrophthalma* および *A. hemprichi* の個体数の経日変化は Fig. 5, Fig. 6 に示す通りであり, その個体数の割合は Fig. 7 に示す通りである。 *P. erythrophthalma* の個体数はおおむね HRT が 24, 12, 6 h では約 $500\text{N}\cdot\text{cm}^{-3}$, 3, 1.5 h では約 $3000\sim 3500\text{N}\cdot\text{cm}^{-3}$ に維持された。 *A. hemprichi* の個体数は経日的に変動しているが, おおむね $100\sim 300\text{N}\cdot\text{cm}^{-3}$ に維持された。このように HRT の異なるいずれの系においても *A. hemprichi* と *P. erythrophthalma* の両者が常時存在したが, 個体数は HRT の短い系で多く HRT の長い系で少ない傾向にあった。これは, HRT が短いと流入 *M. viridis* 量も多く食物が豊富であり増殖が促進され, HRT が長いと流入 *M. viridis* 量が少なく増殖が低下することを意味している。また, いずれの系においてもシアノビリジンの HPLC による分析を行い, そのクロマトグラムを Fig. 8 に示した。矢印で示した部位がシアノビリジン RR のピークである。このクロマトグラムより求めた生物膜処理反応槽への流入水および流出水のシアノビリジン濃度の分析結果は Table 3 に示す通り

Fig. 5 Change of number of *P. erythrophthalma* in different HRT: (●)HRT24h; (+)HRT12h; (*)HRT6h; (○)HRT3h; (×)HRT1.5h Fig. 6 Change of number of *A. hemprichi* in different HRT: (●)HRT24h; (+)HRT12h; (*)HRT6h; (○)HRT3h; (×)HRT1.5h Fig. 7 Ratio of number of small metazoa existing in bio-film in different HRT: □ *P. erythrophthalma*; ■ *A. hemprichi*

である。これより, 流入水中には約 $10\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ のシアノビリジンが含有されているが, 流出水中には HRT が 24, 12h では約 $0.5\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$, 除去率にして約 95%, HRT

Fig. 8 Chromatogram of influent and effluent in different HRT

が6, 3, 1.5hでは約2~3 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$, 除去率にして約75%が得られている。このことは生物膜の微生物群によって *M. viridis* の有毒物質シアノビリジンを速やかに分解されていることを示している¹²⁾。以上のことから流入 *M. viridis* 量により微小動物の捕食活性は変動すること、および各 HRT に応じた微生物相からなる生物膜が構成され *M. viridis* および含有シアノビリジンの分解除去が行われることが理解できる。

3.2 生物膜処理プロセスにおけるシアノビリジンの除去能の長期安定性

生物膜処理プロセスにおけるシアノビリジンの分解除去特性については、霞ヶ浦水道管理事務所における実施設と同様な HRT 2 h 程度に設定して運転しても十分な除去能が得られることがわかった。このように、異なる HRT での実験で短い HRT でシアノビリジンを分解除去することの可能なことが明らかになったが、*M. viridis* 懸濁液を大量に作成することが困難であったため、*M. viridis* の微生物分解能の長期安定性を明らかにする目的で、HRT24h, 流入水 *M. viridis* 濃度 $50\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ におけるシアノビリジンの分解除去能の変遷について調べた。シアノビリジンの流入量および

Table 3. Removal of cyanoviridin

Samples	$\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$	Removal(%)
Influent	9.74	—
Effluent	24 h	0.53
	12 h	0.59
	6 h	2.29
	3 h	2.25
	1.5 h	2.52
		94.5
		94.0
		76.5
		76.9
		74.1

Table 4. Range of concentration and removal of cyanoviridin in 700d at HRT24h of bio-film treatment

Influent($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$)	25~35
Effluent($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$)	2~4
Removal(%)	88~95

Table 5. Mass balance of cyanoviridin evaluated from total content in influent and effluent

Content	Run No.	1	2	3
Total of influent($\mu\text{g}\cdot 700\text{d}^{-1}$)		6000	6800	7600
Total of effluent($\mu\text{g}\cdot 700\text{d}^{-1}$)		600	800	700
In bio-film($\mu\text{g}\cdot\text{reactor}^{-1}$)		1.6	2.5	1.6

流出量、除去率の平均は Table 4 に示す通りである。本表よりシアノビリジン除去能は大きく変動することなくほぼ安定して90%程度の高い除去能が得られることがわかった。また、生物膜処理反応槽内の微小動物個体数は多少の個体数の変動はあるものの、ほぼ安定して *A. hemprichi* で約 $100\text{N}\cdot\text{cm}^{-3}$, *P. erythrophthalma* で約 $750\text{N}\cdot\text{cm}^{-3}$ が常時存在しており、生物膜内で微小動物が *M. viridis* の捕食・分解に貢献していることが示唆された¹²⁾。なお、このような個体数がそれぞれ維持されることは、*P. erythrophthalma* と *A. hemprichi* は共存でき、かつ *M. viridis* の捕食・分解に貢献していることを示唆するものである。

3.3 生物膜処理反応槽のシアノビリジンの物質収支からみた分解除去特性

生物膜処理反応槽の流入水、流出水、生物膜中のシアノビリジンの生物膜法による消長は、Table 5 に示す通りである。系1では700日間における総流入量が

6000 μg , 総流出量で600 μg であり, これに対し生物膜内の含有量は1.6 μg という結果であった。また, 系2では総流入量が6800 μg , 総流出量で800 μg であり, 生物膜内の含有量は2.5 μg , 系3では, 総流入量が7600 μg , 総流出量で700 μg であり, 生物膜内の含有量は1.6 μg であった。また, 系1, 系2, 系3におけるシアノビリジンの除去率はそれぞれ90.0%, 88.2%, 90.8%であり, 蓄積率はそれぞれ0.03%, 0.04%, 0.02%であった。また, 総流出量と生物膜含有量との合計値が総流入量に比べて著しく低いこともこれらの結果より明らかであり, *M. viridis* は生物膜中の微生物により摂取され有毒物質が効率よく分解されること, 生物膜中の微生物群による濃縮・蓄積はないことが明らかとなった。なお, 藍藻類の溶菌およびこれらの含有する有毒物質の分解に関しては, 細菌, シアノファージが関連していることが報告されている¹³⁾。本実験では微小動物と細菌類の混合培養系であるため, いずれが分解に貢献しているかは明確には言えない。

4. ま と め

本研究は有毒藍藻類 *M. viridis* の微小後生動物輪虫類 *P. erythrophthalma*, 貧毛類 *A. hemprichi* の生息する生物膜処理反応槽における有毒物質の除去分解能の消長を HPLC 分析より評価したものである。得られた成果は以下のようにまとめられる。

- 1) HRT1.5~24hの範囲において, 生物膜を構成する微小動物の個体数はHRTにより変化し, HRTが短い方が食物源としての *M. viridis* の量が多いため微小動物の個体数は高まることがわかった。なおHRTが長くなるほど生物膜処理反応槽におけるシアノビリジン分解能が高まったが, これはHRTが長くなるとそれに応じて流入 *M. viridis* 量が少なくなるため微小動物による捕食・分解および細菌による分解除去が効率的に行われるようになったからだと考えられる。
- 2) HRT1.5hでも75%の除去が得られたことから, *M. viridis* の有する有毒物質シアノビリジンは通常の生物膜処理反応槽のHRTでも生物膜中の微生物群により効果的に分解可能であることがわかった。
- 3) 生物膜処理反応槽によるシアノビリジンの長期的分解除去の安定性についてみた場合, HRT24hの系で平均的に安定して90%程度のシアノビリジン除去能が得られたことから, 長期にわたって除去能に変動のないことが確認された。

4) 生物膜処理反応槽におけるシアノビリジンの物質収支による解析により, シアノビリジンの総流入量に対する総流出量が極めて低かったことから, シアノビリジンは生物膜の微生物群により効率よく除去されることがわかった。

5) 生物膜処理反応槽の生物膜へのシアノビリジンの蓄積率は, 0.02~0.04%と極めて低かったことから, シアノビリジンは微生物的に除去分解されることがわかった。

参 考 文 献

- 1) Falconer, I.R., Runneger, M.T.C., Buckley, T., Huyn, V.L. and Bradshaw, P. (1989) Using activated carbon to remove toxicity from drinking water containing cyanobacterial blooms, *Journal American Water Works Association*, **81**, 102~105.
- 2) Gorham, P.R. and Carmichael, W.W. (1979) Phicotoxins from blue-green algae, *Pure and Applied Chemistry*, **52**, 165~174.
- 3) 渡辺信 (1989) アオコの毒性に関する研究の現状と課題, 水質汚濁研究, **12**, 750~756.
- 4) Krishnamurthy, T., Szafraniec, L., Hunt, D.F., Shabanowitz, J., Yates, J.R., Hauer, C.R., Carmichael, W.W., Skulberg, O., Codd, G.A. and Missler, S. (1989) Structural characterization of toxic cyclic peptides from blue-green algae by tandem mass spectrometry, *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*, **86**, 770~774.
- 5) Kaya, K. and Watanabe, M.M. (1990) Microcystin compositions of an axenic clonal strain of *Microcystis viridis* and *Microcystis viridis*-containing waterblooms in Japanese freshwaters, *Journal of Applied Phycology*, in press.
- 6) 楠見武徳 (1988) アオコの生産する毒性物質, 化学と生物, **26**, 149~151.
- 7) 稲森悠平, 須藤隆一, 松本太, 戸張邦夫 (1987) 微小動物の生存, 増殖に及ぼす有害藻類 *Microcystis* 属の影響, 第21回水質汚濁学会講演集, 247~248.
- 8) 稲森悠平, 花里孝幸, 渡辺信, 須藤隆一, 堂園浩次 (1987) *Microcystis viridis* の微小動物による分解, 第24回日本水処理生物学会講演要旨集, 30.
- 9) 田宮博, 渡辺篤 (1971) 藻類実験法, 455pp., 南光堂, 東京.
- 10) 須藤隆一, 稲森悠平著 (1983) 図説生物相からみた処理機能の診断, 304pp., 産業用水調査会, 東京.
- 11) 水野寿彦 (1980) 淡水プランクトン図鑑, 351pp., 保育社, 東京.
- 12) 稲森悠平, 須藤隆一, 彼谷邦光, 渡辺信, 大野泰宏, 青山莞爾 (1989) *Microcystis viridis* の生産する有毒物質シアノビリジンの生物膜処理プロセスにおける消長, 第24回水質汚濁学会講演集, 167~168.
- 13) 藤田善彦, 大城香 (1989) ラン藻という生きもの, 134pp., 東京大学出版会, 東京.

粒状活性炭流動床型嫌気性反応器による石炭ガス化廃水の処理特性のモデル化に関する研究

津野 洋* Makram T. Suidan**

* 京都大学工学部 ** University of Illinois, 土木工学科

〈水質汚濁研究 Vol.13 No.8 (1990) pp.515～524〉

粒状活性炭流動床型嫌気性反応器は、生物学的分解可能な有機物のみならず高濃度の生物分解阻害有機物や難分解性有機物を含む廃水を処理するために開発途上にある。この反応器による石炭ガス化実廃水の処理機構のより良い知見を得、その際の設計操作用因子の検討に資するために、活性炭吸着および付着微生物による分解の両機構を組み込んだ簡単な数理モデルを提示した。この簡単なモデルにより、廃水の希釈度、GAC 取り替え速度、流入水 COD 負荷および滞留時間のような操作用因子の種々の条件下で行われた実験での放流水中溶解性 COD 濃度、GAC 媒体単位量当りの COD 吸着量および一日当りのメタン生成量の時間的变化を良くシミュレートし得ることが示された。そして、各操作条件における各状態変数間の定性的および定量的関係や卓越する機構についての有用な知見が示された。

*Microcystis viridis*産成有毒物質の浄水の生物膜法による分解除去

稲森 悠平* 大野 泰宏** 彼谷 邦光* 渡辺 信* 須藤 隆一*

* 環境庁国立公害研究所（現 国立環境研究所） ** 東邦大学理学部

〈水質汚濁研究 Vol.13 No.8 (1990) pp.525～530〉

微小後生動物の存在する生物膜法における藍藻類 *Microcystis viridis* およびその含有する有毒物質シアノビリジンの分解除去能について、水理学的滞留時間 (HRT) がいかなる影響を及ぼすか、また分解能が長期的に安定して継続するのかどうかを解明するために、生物膜処理システムとして連続培養装置を用い、分析法として高速液体クロマトグラフィーによる評価実験を行った。

その結果、有毒物質シアノビリジンは、HRT1.5h で70%以上、HRT12h 以上では90%以上除去されること、生物膜処理装置を長期にわたって運転しても安定して高い除去能が得られ、かつ流入水のシアノビリジンを100%とした場合、生物膜内にはシアノビリジンは0.02%しか蓄積されず、効率よく分解されることが明らかになった。このことより、生物膜法は有毒藍藻類の異常増殖した湖沼水中の藻体および有毒物質を浄水工程前段において分解除去するための有効な手段になることが確認できた。