研究論文

殺藻率の測定および藻類に対する紫外線の半数致死照射量

Measurement of Inactivity of Algae and Determination of Fifty Percent Lethal Condition of Ultraviolet Radiation

村上 光正*・村上 惇*

SUMMARY

Ratio of the inactivated algae to the total in a pretreated water is measured using a water-manometer BOD tester. The sample including pretreated algae (10~50mg/ℓ SS) in an incubation bottle was adjusted to the concentration of NaHCO_3 3mM, Na_2CO_3 1~3mM, and diethanolamine 3~10mM and was maintained in a water-incubator at a constant temperature and under 10000 lx. After 1~50 hours, the inactivity was determined by the photosynthesis rate which was read from the manometer as oxygen increase. The manometer error, which was caused by decrease of carbon dioxide in gas phase, can be ignored under conditions of high pH such as pH 8.8~10.0.

The fifty percent lethal condition of ultraviolet radiation was determined by drawing a UV-dose vs inactivity curve. It is to be emphasized that many algae are more tolerant for UV-dose than *E. coli*.

Key Words : Algae Inactivity, Ultraviolet Radiation, Fifty Percent Lethal UV-Dose Condition, Water-Manometer BOD Tester, Photosynthesis Rate

要 旨

水マノメーター方式による BOD テスターを用いて殺藻率を測定した。前処理した検水は NaHCO_3 、 Na_2CO_3 、およびジエタノールアミンがそれぞれ 3 mM、1~3 mM、3~10mM となるように調製し、これを一定温度、10000ルクスでインキュベイトした。1~50時間後、マノメーターの酸素発生量から光合成速度を求め、これから殺藻率を測定した。検水の pH を 8.8~10.0 と高くすることにより、気相の炭酸ガスの減少によるマノメーター誤差を抑えることができた。

紫外線の半数致死照射量は紫外線照射量と殺藻率の関係を求めて決定した。藻類の多くは大腸菌に比べ紫外線に対して耐性のあることが分かった。

キーワード：殺藻率，UV 照射，半数致死紫外線照射量，水マノメータ BOD テスター，光合成速度

1. 緒 言

観賞池等の環境水は窒素・リン濃度が高いため汚濁が激しくその浄化は難しい。近年、種々な方法が提案されるようになったが確立された技術は少ない。その中で紫外線照射法は多エネルギー消費型であるが、100%確実な浄化方法として注目を集めている。この方法はろ過等の他の方法と組み合わせるこ

とによって実用化され、観賞池における主たる浄化法の 1 つになっている。

しかし、紫外線の照射法をさらに発展させるためには省エネルギーの研究が不可欠である。しかしながらその研究に不可欠な殺藻に必要な紫外線照射量などの基礎的研究はあまり行われていない。このような基礎的な研究が進み難い最大の理由は殺藻率の測定が難しいことであると考えられる。

* 姫路工業大学工学部
Mitsumasa MURAKAMI, Atsushi MURAKAMI

1997年12月2日受付
1998年2月24日受理

本報告は、BOD テスターという水マノメーター方式の BOD 測定装置を用いて光合成速度を測ることによって殺藻率を求める方法について述べる。また、これを用いた種々な藻類に対する紫外線の半数致死照射量の測定結果についても報告する。

2. 殺藻率の測定法

2.1 従来の方法

従来、殺藻率は、①藻類の染色反応による生死の判別、②顕微鏡観察による生死藻類のカウント、および③光合成速度の測定、等によって測定されてきた。

①は、エバンスブルー染色法¹⁾があるが、明確に区別することが難しい。

②は理論上藻類の生死は区別できる方法である。しかし、我々の観察によると照射直後の藻類と正常な藻類は、葉緑体の色、形状、原形質流動等のいずれを取っても外見上の差異を見出すことは困難であった。そこで、10日間程度放置して細胞の崩壊を待つて観察する方法が考案されている¹⁾。この方法は確実に照射による効果を検出することができるのであるが、10日間という時間経過は、残存藻類やバクテリアの増殖・死滅等による生態系変化による誤差が大きくなる危惧がある。

③の光合成速度を測定する方法は、高等植物に対しては種々提案されているが、藻類に対しては DO 変化を測定する方法が標準である²⁾。しかし、この方法は高度な技術を要するだけでなく、pH や DO が測定中に変化することが問題である。通常藻類が光合成を行う場合は酸素飽和あるいは過飽和となっているが、この測定方法では DO 濃度が零の状態から測定を始めるため、藻類の活性が通常とは異なることになる。光合成速度を酸素飽和で測定するものとして初期はワールブルグ検圧計などが研究されたようである。また、酸素の発生量をマイクロガスメーターを使って体積として測定する方法が提案されている³⁾。しかし、これらの方法は高 pH、高濃度の藻類という条件で、短時間で測定する必要がある、光合成の簡易測定法というべきものである。

2.2 測定原理

本法は、原理的には③の方法であって、測定精度を上げること、および採水した水域とできるだけ同一条件で長時間測定することを目指した。しかし、添加する試薬 1 つを取っても実際の水域と同等の条件にはならない。この場合、影響を及ぼしにくい試薬を最小限添加するような条件を求めることが課題となる。

マノメーター方式の BOD テスター (タイテック, 100F) の概略を図-1 に示す。ふらん瓶に検水を 200 ml 入れて 20°C、5 日間培養し、消費した酸素量を瓶のガス体積の減少として水マノメーターによって測定するものである。発生した炭酸ガスは瓶上部に設置した水酸化ナトリウム溶液で除去している。この方法は測定開始直後から酸素発生量を追跡することができること、および高度な技術を要しないという点に長所がある。

著者らが開発した測定法は、BOD テスター内で有機物分解とは逆に光合成を行わせ、発生した酸素量をガス体積の増加として水マノメーターで測定しよ

図-1 水マノメーター方式 BOD テスターの概略

うというものである。しかし、測定しようとする光合成に必要な H_2CO_3 の供給をどうするかが問題となる。また、pH 変化についても検討しなければならない。

測定に関係する反応系は次のようになる。

H_2CO_3 が光合成に必要である。しかし、これを気相から供給すると、理論的には消費した CO_2 ガスと発生した O_2 ガスは等モルであるからマノメータの目盛りは変化しないことになる。そこで、 CO_2 濃度をできるだけ下げて、気相中の全 CO_2 体積が常にマノメータの許容誤差以下になるようにし、水中の炭酸塩から H_2CO_3 を供給することとした。炭酸塩を入れ、pH を調節して、空気中の CO_2 濃度を測定誤差内に納める条件を検討した。

3. 検水に添加する試薬

3.1 pH

CO_2 ガスは水に溶解し H_2CO_3 と平衡関係を作る。水中では酸性の場合は H_2CO_3 として存在するが、pH が上昇すると HCO_3^- に、さらに上昇すると CO_3^{2-} になる。したがって CO_2 を水中に閉じ込めるためには pH を高くすれば良いが、あまり高くすると藻類の利用すべき H_2CO_3 濃度が減少する。この相反する要求を満たす条件を設定しなければならない。また、藻類の至適 pH にも合致させなければならない。

藻類が増殖した池では通常 pH は 9～10 であり、多くの藻類の至適 pH は 7～10 である。特に藍藻類は pH が高い方が良い種類が多く、*Microcystis* や *Gloeothese* の至適 pH は 10 であり、pH8 以下では全く増殖しない⁴⁾とされる。そこで pH9 近傍に設計すれば、藻類の増殖に好都合である。

3.2 気液平衡

ヘンリーの法則によれば気相の分圧と液相の濃度は比例する。 CO_2 ガス圧力が $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ (25°C) のとき CO_2 は 0.759 l/l (0°C 換算) 水に溶解する。すなわち、 H_2CO_3 濃度は 0.0339 M である。よって濃度 C の時の気相の分圧 P は

$$P = 101300 \cdot C / C_0 = 2.99 \cdot 10^{-6} \cdot C \quad (\text{Pa}) \quad (1)$$

ここで、ふらん瓶内の気相体積は 130 ml である。 CO_2 ガス許容体積を 0.1 ml (すなわち許容誤差を 0.1 ml 以内) とすると、その時の分圧 $P_{\max}$ は $101300 \cdot (0.1/130) \text{ Pa}$ である。最大許容 H_2CO_3 濃度 $C_{\max}$ は

$$C_{\max} = P_{\max} / 2.99 \cdot 10^{-6} = 2.61 \cdot 10^{-5} \quad (\text{M}) \quad (2)$$

となる。

3.3 光合成に必要な炭酸量

今回使用したマノメータの測定目盛りは最大 10 ml であるので、酸素を最大 10 ml 発生させるに十分な炭酸塩を供給しなければならない。ふらん瓶中の水 200 ml 中の全炭酸塩濃度 C_t (H_2CO_3 , HCO_3^- , CO_3^{2-} の総量) は必要量の 3 倍加えたとすると

$$C_t = 3 \cdot 0.01 / 22.4 / 0.2 = 6.69 \cdot 10^{-3} \quad (\text{M}) \quad (3)$$

となる。

3.4 pH の変化

炭酸の解離は 2 段であり、その解離定数は $pK_1 = 6.3$ および $pK_2 = 10.3$ である。ところで、最大炭酸濃度 $C_{\max}$ は $2.61 \cdot 10^{-5} \text{ M}$ であり、必要な全炭酸塩濃度 C_t は $6.69 \cdot 10^{-3} \text{ M}$ である。2 つの解離定数を使って両者を満足する pH を求めると 8.8 以上となる。この値は既に設定した pH9 近傍という条件を満足している。

さて、 HCO_3^- 2 モルは CO_3^{2-} 1 モルと炭酸 1 モルで構成されていると見なすことができる。この炭酸を光合成で消費すると CO_3^{2-} が余剰となって pH は急激に上昇する。したがって何らかの pH 緩衝剤を使う必要がある。しかし、完全に無害で安定な緩衝液は存在しない。そこで種々、pH9 近辺に酸解離定数をもつ試薬を検討し、 $pK = 8.9$ であるジエタノールアミンを使うこととした⁵⁾。この試薬は、化粧品等にも使われており、生物学の実験でよく用いられ、比較的試薬添加の影響が小さい。

3.5 添加試薬濃度

検水に加える物質は NaHCO_3 , Na_2CO_3 , およびジエタノールアミン (塩酸で中和) の最低量である。光合成そのものの研究では活性化成分、たとえば EDTA 等微量成分を添加することも考えられるが、殺藻率の測定の場合は種々の藻類の混合物を測定することも多く、不要な影響を避けるため、これ以外は添加しないこととした。

添加する試薬濃度について著者らは種々実験し、コンピュータ・シミュレーションも行った。表 1 に

表1 検水中の試薬濃度 (単位: mM)

測定条件	I	II	III	IV	V
NaHCO ₃	3	3	3	3	3
Na ₂ CO ₃	1	2	3	4.5	6
ジエタノールアミン	3	6	10	15	20

最終的な添加試薬濃度を示す。全炭酸塩濃度は3～9 mM, ジエタノールアミン濃度は3～20mM, pHは9.1に統一した。添加するジエタノールアミンはpH9.1では61%が塩基となるため, 残りの39%の酸がpHの上昇を抑制する。したがって添加濃度は全炭酸塩濃度以上となる。

一方, 検水にはあらかじめ炭酸塩が含まれている。その濃度はpHが中性の場合, 大気中に含まれる炭酸ガスは360ppmであるから平衡関係にある検水中の濃度は添加濃度に比べると無視できる。したがって, 検水中の炭酸塩濃度は添加濃度で近似できる。ただし, 採水した水がpH10以上で, かつ炭酸は飽和していると考えられる場合は, 中和後曝気して炭酸を放出する必要がある。

pH10以上で実験する場合は, ジエタノールアミンの緩衝能は期待できないので, 別の緩衝液を用いるかNaHCO₃とNa₂CO₃のみ添加する必要がある。また, 低いpHで測定したい場合は, 気相の炭酸ガス濃度を下げ, かつ安定化させるため添加試薬は全炭酸塩2～3 mM, およびジエタノールアミン5～10 mMとし, 酸素発生量も5 mlを越えないようにする。この時のpHの下限は8.5である。

次に塩濃度の増加の影響を検討しておく。イオン種がいろいろなのでイオン強度として考える。淡水域と汽水域の塩濃度の境界は0.5%, 即ちおよそ $\mu = 0.01$ とされている⁶⁾。表1のIIIを考えると, イオン強度 μ の増加量はおよそ0.01であり, 決して低いとは言いがたいが, 淡水藻類に対して行う数日間の実験では塩類濃度は十分に低いものと考えられる。ちなみに, *Scenedesmus obliquus*の培地⁷⁾の例で試算すると, 添加塩類で $\mu = 0.027$, その他イースト抽出物等を加えるので, 最終的には μ は0.03以上の増加となっている。

なお, イオン強度増加による酸平衡の影響⁸⁾は炭酸濃度を下げる側であり, 測定誤差の点では問題が無いことを確認した。

4. その他の測定条件

4.1 光源と光強度

実験室内で恒温槽を用いる場合, 光源とその照度が問題となる。藻類の実験では光源は通常普通の蛍光灯を用いる⁷⁾が, キセノンランプかハロゲンランプ⁸⁾, キセノンランプ⁹⁾などが使われることもある。このように光源は特に特定されていない。

照度は藻類によって異なり, 強すぎると障害を起こす。*Microcystis*, 珪藻等では1000ルクス程度, 緑藻では10000ルクス程度が目安となる^{7,9,10)}。AGP試験においては*Selenastrum capricornutum*, *Chlorella ellipsoidea*, *Chlorella vulgaris*は4000ルクス, *Microcystis aeruginosa*と*Microcystis flos-aquae*は1000ルクスとしている^{11,12)}。また, 波長によっても最適照度は変わるはずであるが, それについての研究はあまり見られない。

測定する場合, 藻類が繁殖している自然条件が最もよいであろうが, 光源が異なるので最適照度を決めるのは簡単ではない。文献, 自然条件等を勘案して決定することになる。

本実験では, 鑑賞池で緑藻の汚濁が激しい夏期を考え, 水槽の両面から各2本の20W 蛍光灯で照射し, 10000ルクスとした。

4.2 温度

至適水温は, 藻類によって異なる。珪藻で18～30°C, 緑藻の場合は30～35°C, 藍藻になると34～40°Cであるという⁴⁾。また, 藍藻のある種は至適水温が35.2°Cと云われている。同じ緑藻でも冬期と夏期では種類が異なることは著者らも経験したところである。

このように至適水温が異なるのであるから種々な検水に対して設定温度を変える必要がある。通常問題となる湖沼の藻類においては春秋の場合は15～20°C, 夏期は25～30°C程度で設定すればよいと考える。

4.3 攪拌

JISのBOD測定法ではふらん瓶の検水は混合しないが, 本法は攪拌する必要がある。藻類の中には*Microcystis*のように細胞内に気泡を生じて浮上するものがある。また, 多くの藻類は沈降して藻膜という膜状構造を生成する¹⁰⁾。さらに, この藻膜は日光が当たると酸素気泡を発生し浮上するようになる。

したがって, 本測定には攪拌は欠かすことができ

ない。回転数はSSとして分散する程度、たとえば300rpm程度で良いと考える。

4.4 酸素濃度の補正

使用したふらん瓶は330mlで、検水を200ml入れる。水温が変化すると気相の体積が増減するのでできるだけ検水を多くするのがよい。しかし、その場合、酸素が発生すると酸素分圧が上昇することによる誤差も大きくなる。

そこで、液相を200ml、20°Cの条件で酸素が10ml発生した時の誤差を検討する。気相の酸素は26mlから36mlに増加する。酸素の最終濃度は20%から25.7%になる。20°Cの時飽和DOは9.6mg/lである。最終DOは12.3mg/l、検水200mlでは0.41mlの酸素が余分に溶解することになる。即ち-4.1%の誤差を生じる。同様に25°Cでは-3.8%の誤差である。読取值 x' に対する補正值 x は

$$\begin{aligned} x &= (9.6 * ((26 + x') / (130 + x')) / 0.2) \\ &\quad * (0.2 / 32 * 22.4 * 273 / 293) \\ &\approx 1.041x' \quad (\text{at } t_L \text{ } 20^\circ\text{C}) \end{aligned} \quad (4)$$

また、ふらん瓶の大きさと検水量が変わった場合、検水 a ml、気相 b mlとすると、近似補正式は

$$x = (1 + 0.0267a/b)x' \quad (\text{at } t_L \text{ } 20^\circ\text{C}) \quad (5)$$

$$x = (1 + 0.0247a/b)x' \quad (\text{at } t_L \text{ } 25^\circ\text{C}) \quad (6)$$

となる。但し、 a/b は0.75~4.5の範囲でなければならない。

5. 光合成速度を用いた殺藻率の測定

5.1 測定方法

ふらん瓶に検水200mlを入れ、 NaHCO_3 3mM、 Na_2CO_3 3mM、ジエタノールアミン10mMとなるように試薬を加える。pHを確認して $20 \pm 0.1^\circ\text{C}$ の恒温槽にセットする。1時間放置してふらん瓶の温度を20°Cとした後、蛍光灯を用いて恒温槽の横から10000ルク

図-2 紫外線照射実験の装置概略

スで照射する。このような条件において1—50時間の酸素発生量を測定する。

殺藻率 δ は、原水の酸素発生量を x_0 ml、処理後の検水の酸素発生量を x mlとすると

$$\delta = (1 - x/x_0) * 100 \quad (7)$$

5.2 紫外線の半数致死照射量の測定法

殺藻するのに必要な紫外線照射量を定義しておく必要がある。殺藻率増加/照射量増加の比は殺藻率50%の時最も高い——即ち最も感度が高いと推察される。そこで、指標として藻類に対する紫外線の半数致死照射量を用いることとした。

半数致死照射量を決定するためには、照射量を変えた検水を複数用意し、殺藻率と照射量の関係を求め近似曲線を作る。この曲線の殺藻率50%に相当する照射量を半数致死照射量とする。

次に上記測定法を紫外線照射に利用した場合について述べる。紫外線照射の方法を図-2に示す。容器はランプ方向に細長いトレイ形状とした。照射強度は検水のSS濃度と水深によって変化する。図-3は照射強度とSS濃度および水深との関係を調べる実験装置である。藻類で汚濁した池水を、底が石英ガラスである平らな浅い容器に入れてその上部から紫外線をあて、容器の下部で直達光と散乱光の総量を紫外線強度計(トプコン、UVR-1)を用いて測定した。測定結果を図-4に示す。これによると原水はわずか2cmの水深においても70%に低下する。そこでトレイにSS50mg/l以下の池水を1cmになるように入れた。

なお、照射時間が長い場合藻類が沈殿して藻膜を作り、照射不十分になることがある。著者らの経験によれば図-2のように小さい容器では池水によつ

図-3 紫外線透過率測定実験の装置概略

図一4 池水を透過した紫外線の強度
姫工大鑑賞池の水 (SS 53mg/ℓ)

図一5 酸素発生量と pH の関係
○: 試薬無添加, △: NaHCO_3 14mM + Na_2CO_3 1.4mM, 200ℓ水槽 (SS 26mg/ℓ, 優先種 *Gleocystis gigas*)

では数分以内で藻膜ができることがあった。本実験では通常の場合 0, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 1200 s とした。

なお、照射装置全体は、3mmの透明アクリル板で囲い、紫外線が体に当たらないようにした。

6. 結果と考察

6.1 測定条件

6.1.1 酸素発生と pH の関係

池水そのままと池水に重炭酸塩液 (NaHCO_3 と Na_2CO_3 をそれぞれ 14mM, 0.14mM) を添加した検水による酸素発生と pH の関係を比較した結果を図一5に示す。この pH8.9 の池水の場合、炭酸塩液が無添加では最大酸素発生量は約 5 mℓであり、炭酸塩類が不足していた。この時 pH は 10.8 まで上昇している。また別の実験では最高 pH は 11.4 まで上昇し

た。一方炭酸塩液を添加した検水は pH9.7 で納まっている。しかし、pH の上昇は緩和されるとしてもその緩衝作用は限られる。

そこで、さらにジェタノールアミンを添加した場合を検討した。表2は表1の条件で測定した結果である。ジェタノールアミンは pH を安定させ、かつ毒性が無いことを示している。しかし、別の実験では 20mM のジェタノールアミンは酸素発生量を 1/3 に抑制した。以上の結果より、ジェタノールアミンは 3–10mM とするのが適当である。

6.1.2 酸素消費と酸素発生

検水は藻類によって酸素を発生する一方、藻類の暗呼吸および検水中のバクテリアによって酸素を消費する。したがってその酸素消費部分を加えて、これを酸素発生量とするのが原理的には正しい。

本測定法では、ふらん瓶を遮光材で覆って酸素の消費量を同時に測定することができた。この場合 pH を 9 程度とする場合、発生した炭酸は液中にあるので、気相に水酸化ナトリウムを置く必要はない。覆いを色々検討したところ、内面を塗料で黒色としたアルミホイルが最も適当であることが分かった。

有機物やバクテリアが多いと考えられる強く汚濁した金魚水槽（浄化器がなく、水も変えない飼育条件）の水を検水とし、紫外線照射した後、暗呼吸と光合成による酸素発生量（実際には暗呼吸分が減じられている）を 24 時間で測定した。その結果、照射するしないにかかわらず、暗呼吸量は 0.65–0.90 mℓ であるのに対して酸素発生量の最大（紫外線照射せ

表2 試薬と pH および酸素発生量の関係

測定条件	原水	I	II	III	IV	V
初期 pH	9.23	9.11	9.12	9.08	9.06	9.09
最終 pH (2日後)	10.71	9.19	9.15	9.07	9.03	9.04
酸素発生量 [mℓ]						
1h	0.15	0.15	0.15	0.10	0.15	0.15
2h	0.15	0.25	0.20	0.20	0.25	0.20
4h	0.55	0.60	0.55	0.50	0.60	0.55
8h	0.75	0.90	0.90	0.85	0.90	0.90
24h	1.50	1.70	1.85	1.70	1.80	1.70
50h	2.40	2.40	2.60	2.55	2.70	2.60

照度: 10000 lx, 温度: 15°C, SS: 21.0mg/ℓ

ず)は約10mlであった。このように暗呼吸量は最も大きいと思われる検水であっても短時間の測定ではそれほど大きくないことが分かった。

以上の結果より、殺藻率の測定に本法を用いる場合、暗呼吸を無視して酸素発生量を測定しても大きな誤差にはならないと判断した。

6.1.3 光合成時間

本法は光合成や暗呼吸の様子を、一度に多数の検水を、濃縮することなく、長時間観察することができる。しかし、紫外線等による殺藻率を測定する場合は誤差の最も少ない時間を選ぶ必要がある。

図-6は紫外線照射時間を変えた検水(炭酸塩を添加した条件)の酸素発生量を測定した結果である。図-6によると初期の方が酸素発生速度は高いようであるが、検水によっては逆に8時間以降次第に高くなるものもあった。また、時間が長くなり過ぎると藻類の増殖や死滅した藻類の分解などを考慮する必要が出てくることも考えられる。したがって、SS濃度は10mg/l以下で藻類濃度が低い場合は、測定時間を長くするのではなく、試料水を遠心機で濃縮し、これを検水とするのが適当であろう。

6.2 紫外線の半数致死照射量

薬品等の場合、急性中毒は半数致死濃度を測定する。これと同様に、紫外線における半数致死照射量を測定したのである。この値の大小は直ちに紫外線の藻類に対する影響の度合いを示す指標となる。

図-7に *Noctoc* を優先藻類とする池水のデータを示す。光合成時間が2時間までは酸素発生量が少なく、測定誤差が大きく出ているためスムーズな線で近似することができない。24時間では一本の直線に乗っている。これから半数致死照射量として $2 \text{ mW} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$ が得られる。図-8は *Microcystis aeruginosa* の例である。この藻類は日光が当たると気泡を体内に発生させて浮上凝集するため紫外線照射が均一に行えなかったが、結果は明瞭なS曲線であとめられた。

このようにして得られた半数致死照射量の結果を表3に示す。一般に、藻類はバクテリアよりも紫外線に弱いと云われることもあるが、表1の結果は明らかにバクテリアよりも耐性がある。たとえば、鹿島田らの大腸菌の報告¹³⁾において、図から著者らが数値を読み取ったところ、半数致死照射量はおおよそ $1.5 \text{ mW} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$ であった。*Noctoc* は同等かそれ以上の耐性があり、その他の藻類はさらに約10—100倍耐え

図-6 紫外線を照射した検水の酸素発生量

東洋大付属姫路高校南の池水 (SS 28mg/l, 優先種 *Nostoc*)

図-7 紫外線照射量と殺藻率

検水は図-6に同じ

図-8 紫外線照射量と殺藻率

天満大池の水 (SS 34mg/l, 優先種 *Microcystis aeruginosa*)

表3 藻類に対する紫外線の半数致死照射量

優 先 種	SS [mg/ℓ]	半数致死照射量 [mW・s/cm ²]
<i>Microcystis aeruginosa</i>	34.0	150
<i>Nostoc</i>	28.0	2
<i>Oscillatoria</i>	12.0	30
<i>Coelastrum reticulatum</i> (<i>Gleocystis gigas</i>)	40.8	100
<i>Pediastrum</i>		
<i>Oscillatoria</i>	22.0	60
<i>Volvox</i>		
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	11.4	140
<i>Golenkinia radiata</i> (<i>Micractinium pusillum</i>)	12.0	110
<i>Closterium</i>	15.5	100
<i>Cosmarium</i>		
<i>Pleodrina</i>	14.0	40

られることは明らかである。

また、藍藻と緑藻を比較すると細胞膜の強さから後者の方がより耐性があると考えられるが、*Noctoc*, *Oscillatoria* の 藍 藻 と *Coelastrum reticulatum*, *Scenedesmus quadricauda*, *Closterium*・*Cosmarium* の緑藻を比較すると、そのとおりであることが分かる。しかし、*Microcystis aeruginosa* は *Scenedesmus quadricauda* と同レベルの耐性を示している。これは先に述べた凝集によって紫外線を遮ることで耐性を得ているものと推察される。

7. 結 言

- (1)水マノメーター方式の BOD 測定装置 (BOD テスター) を使って、光合成速度を測定し、これから殺藻率を正確に求める方法を開発した。
- (2)測定原理は、pH を 8.8 以上とし光合成に消費される炭酸を水中のみで供給することによって酸素の発生量を正確に水マノメーターで読み取るものである。また、緩衝液としてジエタノールアミンを

添加し pH の変動を押さえた。

- (3)この方法は、pH がほぼ藻類の至適条件で一定であり、かつ溶存酸素飽和で測定できるという点において原理的に従来の DO メーターを使った方法より正しい値を与えるものである。
- (4)さらに、本法は、測定が容易で、多数の検水を同時に、そして時間経過を追って測定できるという利点がある。殺藻率の測定のみならず、藻類の活性の研究に役立つものである。
- (5)この殺藻率の測定法を応用して、紫外線の半数致死照射量を求めた。その値は藻類によって異なる。藻類は紫外線に対して大腸菌よりはるかに耐性があった。また、藍藻は緑藻よりダメージを受け易いが、*Microcystis aeruginosa* は緑藻に負けない耐性があった。

参 考 文 献

- 1) Z. Kawabata, K. Sasaki, Y. Iseri and M. Ochiai : Effect of ultraviolet radiation on the survival of the dinoflagellate *Peridinium bipes* causing freshwater red tide in reservoirs, Jap. J. Water Treat Biol. 26(2) pp.17-22 (1990), および著者からの私信
- 2) 加藤 栄・吉田精一：「植物生物学講座17 植物生理学 [III]」, p.150-154, 丸善, 1983
- 3) 高沖 武：光合成・呼吸・酸酵ガスの測定法, 遺伝, 34(2) 37-42 (1980)
- 4) C. M. Palmar 著, 桑原麟児訳：「用排水藻類学」, p.110-111, 産業用水調査会, 1974
- 5) D. D. Perrin and Boyd Dempsey 著, 辻 啓一訳：緩衝液の選択と応用—水素イオン・金属イオン—, pp.58-64, pp.127-149, 講談社, 1981
- 6) 秋山 優・有賀祐勝・阪本 充・横浜康継編集：「藻類の生態」, p.347, 内田老鶴圃, 1986
- 7) 江上信雄・勝見允行：「実験生物学講座1 生物材料調製法」, p.235-261, 丸善, 1982
- 8) 日本生物工学会編：「生物工学実験書」, p.184, 培養館, 1992
- 9) 土木学会衛生工学委員会編「環境微生物工学研究法」, p.325-332, 技報堂出版, 1993
- 10) 村上光正：「池・水槽浄化の仕方」, p.76, パワー社, 1995
- 11) 日本水質汚濁研究協会編：「湖沼環境調査指針」, p.198, 公害対策技術同友会, 1982
- 12) 「下水試験法」, p.491, 日本下水道協会, 1984
- 13) 鹿島田浩二・神子直之・山本和夫・大垣眞一郎：紫外線照射処理における光回復の評価, 水環境学会誌, 18, 44-50 (1995)