

紫外線消毒された大腸菌の光回復および代謝活性への濁質の影響

The effect of turbidity on photoreactivation and metabolic activation following UV disinfecting *E. coli*

0230112 高田麻以 大瀧雅寛

Mai TAKADA and Masahiro OTAKI

お茶の水女子大学 環境工学研究室

1. はじめに

紫外線消毒は装置が相対的に単純であり、維持管理が容易、薬品投入がないため残留物質が存在しない、また副生成物が生成しにくい等の長所を持つ。このことから、現在日本の上下水道で中心となっている塩素消毒の代替法として検討されている。実プラントへの適用にあたり、処理水中に存在する濁質による透過光の減少・微生物の光回復等の課題が挙げられる。光回復とは紫外線照射によって不活化された細菌が、その後自然光などの可視光照射 (300 nm 以上) を受けると遺伝子損傷が修復されて増殖能を回復するという現象である。また、懸濁物質は吸着能を持ち、それが不活化に影響を及ぼす因子となると考えられる。そこで本研究では、異なる殺菌ランプ下における不活化速度及びその後の光回復の変化に、濁質がどう影響するかについて光回復能を持つ *E. coli* K12(NBRC 3301)を用いて実験を行うこととした。

2. 実験方法

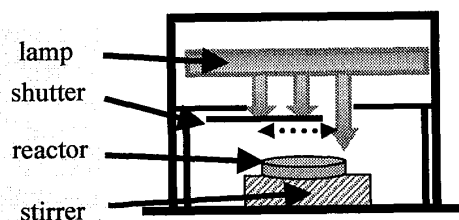


Fig. 1 The schematic diagram of the experiment apparatus

紫外線および可視光照射装置の概略図を Fig. 1 に示す。紫外線光源として低圧ランプ (東芝製 20 W)、パルスキセノンランプ (岩崎電気社製) を用いた。低圧ランプの線量率は約 0.4 mW/cm²、パルスランプの 1 回あたりの線量は 2.35 mJ/cm² に設定した。また可視光光源として蛍光灯 (National 製 15 W) を用いた。光回復に関わる波長 360 nm 光の線量率は約 0.20 mW/cm² とした。モデル濁質として浄水濃縮汚泥 (金町浄水場より分与) を約 260 NTU となる様に希釈して使用した。*E. coli* K12 の高濃度試料 (約 10⁶ CFU/ml) 20 ml を内径 5.4 cm のシャーレに入れ、スターラーで攪拌しながら紫外線および可視光を照射した。

3. 紫外線線量の定量方法

3-1. 不活化率の算定

既存の研究²⁾ から微生物の不活化は照射時間 t における一次反応式で表される事がわかっている。

$$\ln(N_t/N_0) = -k \cdot I \cdot t \quad (1)$$

N_0 : 紫外線照射前の *E. coli* K12 濃度 (CFU/mL)

N_t : 紫外線照射 t (s) 後の *E. coli* K12 濃度 (CFU/mL)

k : *E. coli* K12 の不活化速度定数 (cm²/mJ)

I : 紫外線線量率 (mW/cm²) t : 照射時間 (s)

3-2. 不活化速度係数の理論値の算出方法

Lambert-beer 則と吸光度を用いて次式(2)から理論平均線量率 I_{avg} が算定される。

$$I_{avg} = I_0 \times (1 - e^{-2.3 AL}) / 2.3 AL \quad (2)$$

I_{avg} : リアクター内の平均線量率 (mW/cm²)

I_0 : 液面における線量率 (mW/cm²)

A : 吸光度 (cm⁻¹) L : 光路長 (cm)

4. 光回復の回復過程

光回復における回復過程において、可視光照射時間 t 分後の生存率 S は次式で求められる。

$$S = (S_m - S_0) \times (1 - e^{-\alpha t}) + S_0 \quad (4)$$

S_m : 可視光を十分に当てた後の最終的生存率 (-)

S_0 : 紫外線照射直後 ($t = 0$) の生存率 (-)

α : 光回復速度係数 (1/min)

5. 実験結果

5-1. 低圧ランプによる不活化

Fig.2 に低圧ランプによる *E. coli* K12 の不活化結果を示す。横軸に理論平均線量率 $I_{avg} \times t$ (mJ/cm²)、縦軸に生存率 $\ln(N_t/N_0)$ を示している。

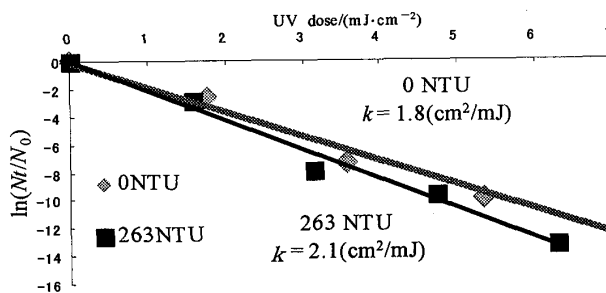
Fig.2 Turbidity effect on *E. coli* K12(NBRC 3301) by LPUV

Fig.2より理論平均線量率×照射時間(mJ/cm²)を横軸とすると、濁質の有無による大腸菌の消毒効率に大きな差は見られなかった。すなわち、*E.coli* K12(NBRC 3301)の紫外線耐性は、濁質の有無に関わらず同様の耐性値を示す事が確認された。

5-2. 低圧ランプによる光回復

既存の研究²⁾によれば360 nm光を指標と出来る事がわかっている。Fig.3に低圧ランプによる光回復結果を示す。横軸に理論平均線量率 $I_{avg} \times t$ (mJ/cm²)、縦軸に生存率 $\ln(N_t/N_0)$ を示している。

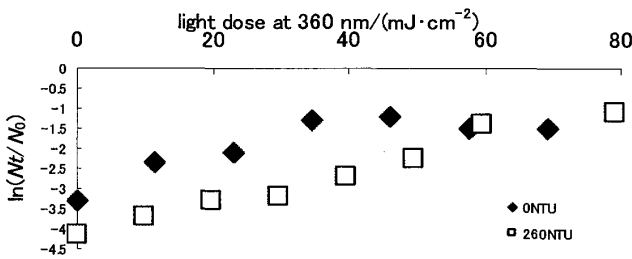


Fig.3. Photoreactivation of *E.coli* following UV inactivation

低圧ランプによって紫外線消毒された *E.coli* K12(NBRC 3301)は、濁質に関わらず可視光による光回復反応が起こった。光回復速度係数 α は、0 NTUにおいて0.023 (1/min)、260 NTUでは0.006 (1/min)となった。濁質によって線量率が低くなった場合、線量率の減少率以上に光回復速度係数 α が小さくなっている。この理由としては、濁質の共存下によって光回復の抑制に寄与したか、光回復の速度は線量率に比例しなかったためと考えられた。

5-3. パルスランプによる不活化

Fig.4にパルスランプによる *E.coli* K12の不活化結果を示す。

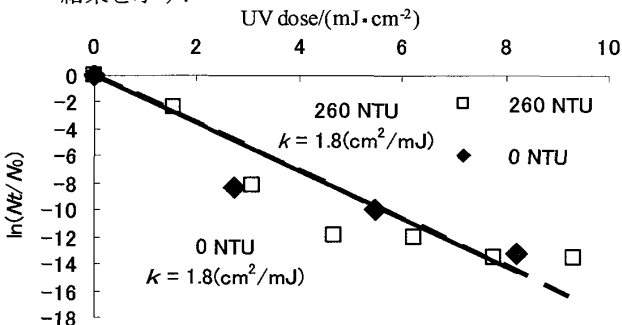


Fig.4 Turbidity effect on *E.coli* K12 by Pulsed Xe lamp

Fig.4において、吸光度より算出した理論平均線量率×照射時間(mJ/cm²)を横軸に表すと、濁質の有無に関わらず不活化速度係数 k は一致した。即ち、

パルスランプにおいても、紫外線耐性値は一致する事が確認された。

5-4. パルスランプによる光回復

Fig5にパルスランプによる光回復結果を示す。

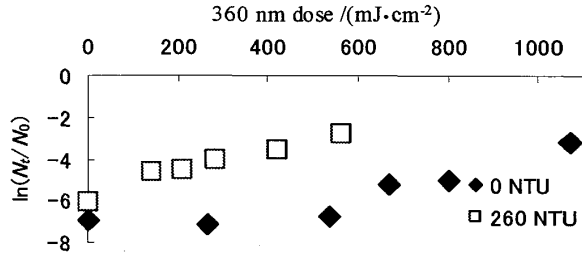


Fig5. Photoreactivation of *E.coli* following UV inactivation

パルスランプにおいても、*E.coli* K12(NBRC 3301)は光回復を行うことが確認された。光回復速度係数 α を求めると、0 NTUにおいて0.0017、260 NTUでは0.006となり、濁質なしの場合、低圧ランプよりパルスランプにおける光回復速度が著しく小さいことが確認された。既存の研究⁴⁾においてもパルスランプにおける光回復速度は低圧ランプより小さいことが確認されている。パルスランプは可視光領域にも広い波長スペクトルを持ち、相対照射エネルギーも高い値を示しているため、大腸菌が不活化されたと同時に光回復反応が起こっている事がひとつの要因であると考えられる。しかし、濁質が共存するとその様なパルスランプの効果が見られなくなることもわかった。

6. まとめ

大腸菌の不活化において、低圧ランプおよびパルスランプに関わらず、不活化速度はほぼ一定となった。

また光回復において、濁質共存下ではランプによる違いが見られなかったが、濁質なしの場合、パルスランプを用いて紫外線消毒を行う事で、その後の光回復が抑制された。

7. 参考文献

- 1) 澤村なつみ 様々なランプによる紫外線消毒および光回復現象への濁質の影響, 平成16年度卒業論文, 2005
- 2) 大瀧雅寛, 鹿島田浩二, 石渡享, 赤井田悟史, 大垣眞一郎: 紫外線照射処理および紫外線-光触媒処理における細菌の光回復, 環境工学研究論文, 第34巻, 1997
- 3) 鹿島田浩二, 大瀧雅寛, 山本和夫, 大垣眞一郎: 紫外線消毒における光回復, 用水と廃水 vol. 38 No. 5, 1996
- 4) 奥田敦子 Pulsed Xe ランプ及び低圧UVランプによる消毒処理の効果比較及び実処理への適用, 平成13年度修士論文, 2002