

II-576

下水処理水の消毒における *Daphnia* を用いた急性毒性の評価

東京大学工学部 学生員 西本将明

正 員 大垣眞一郎

1. はじめに

現在、国内において下水処理水の消毒には専ら塩素が用いられている。しかし塩素消毒はその残留性から放流水域の生態系への影響が心配される。また、将来ウイルス汚染に関する調査研究が進めば放流水の微生物基準が見直される可能性があり、そうなれば新たな基準の達成のためにより多くの塩素注入が必要となることが予想される。そこで本研究では、実際の下水処理水を用いた塩素消毒における急性毒性の評価をミジンコ (*Daphnia magna*) により行った。

2. 測定方法

生後24時間以内のミジンコを10匹一組で検水中に放ち、一定時間後にその生存数を計数する。検水はガラスシャーレ内に約60ml入れ、恒温機に入れておく。恒温機の設定温度は25℃とした。検水の半数致死濃度 (LC₅₀) を計算する場合は、検水を段階的に希釈したものについて測定し、各濃度の死亡数からプロビットモデルなどにより算出する。希釈水には水道水を活性炭に通したものをを用いた。

3. 実験

(1) 遊離塩素の毒性

塩素消毒による毒性の変化を調べるに当たって、まず遊離塩素の毒性を測定した。消毒剤には次亜塩素酸ナトリウムを用いた。図-1に各時間ごとの死亡率から対数確率紙プロットにより求めた各暴露時間毎のLC₅₀を示す。これによるとLC₅₀は1~2時間にかけて約4mg-Cl/Lから0.4mg-Cl/Lと急激に減少しており、遊離塩素は主にこの当たりの時間帯までに効いてくることがわかる。これより高濃度では極めて短時間で効力を発揮し、低濃度では影響度は格段に下がる。また、暴露時間8時間以上の領域では約0.12mg-Cl/Lに安定しており、この濃度以下であれば影響がないと推定できる。

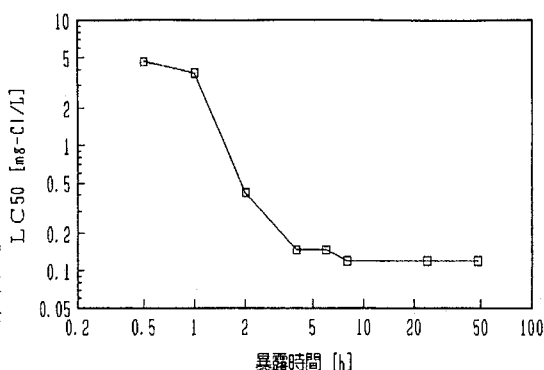


図-1 次亜塩素酸ナトリウムの毒性の特性

(2) 処理水の塩素消毒前後および中和時の毒性の変化

実際の下水処理水を用いて次亜塩素酸ナトリウムにより消毒を行い、その前後の毒性を測定してみた。下水処理水はM処理場の未消毒処理水を孔径5μmのフィルターにより濾過したものを用いた。測定サンプルは、①注入塩素濃度1mg-Cl/Lのもの、②5mg-Cl/Lのもの、③5mg-Cl/L注入後にチオ硫酸ナトリウムにより中和(脱塩素)したもの、そして対照として④塩素注入なしのものである。1mg-Cl/Lという濃度は一般の処理場の注入量を目安としており、したがって5mg-Cl/Lはやや過剰注入であるといえる。消毒条件は塩素注入後15分攪拌で、中和はチオ硫酸ナトリウム添加後さらに15分攪拌した。

結果は図-2の通りである。図には表れていないが、中和サンプルと注入なしのものは24時間影響がなかった。これから、まず消毒前の下水処理水は影響がないこと、消毒後でも中和により残留塩素を排除すれば十分毒性を抑えることができることがわかる。中和により毒性を排除できるということは、残留塩素として現れない有機塩素化合物などの副生成物は、この場合影響しないことを示している。塩素注入1mg-Cl/L

と5 mg-CI/L のものについては、図からそれぞれ暴露時間3.75時間、1.50時間で半減していることが読み取れるが、これを前項図-1に当てはめることにより、これらのサンプルの遊離塩素換算のLC₅₀が得られる。その数値と15分攪拌直後の残留塩素濃度との比較を表-1に示す。

表-1 残留塩素の測定値とその急性毒性（単位 mg-CI/L）

初期塩素 注入濃度	遊離残留 塩素濃度	結合残留 塩素濃度	遊離塩素換算 LC ₅₀ [h]
1.23	0.00	0.58	0.16
5.05	2.80	0.50	1.04

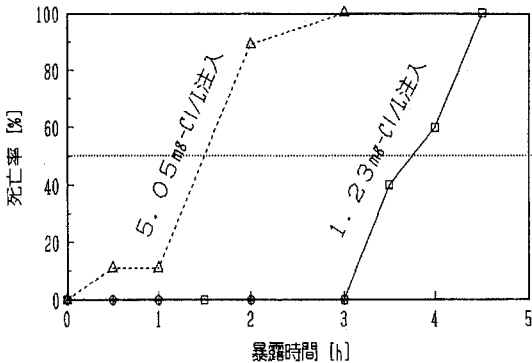


図-2 各サンプルにおける死亡率の変化

まず5 mg-CI/L 注入の方は遊離残留塩素が攪拌後2.80 mg-CI/L であり、換算LC₅₀の1.04 mg-CI/L よりも高い。測定開始後にも遊離塩素が処理水中の被酸化物質により消費されたと思われる。また1 mg-CI/L 注入の方は測定開始直前で結合塩素のみが0.58 mg-CI/L 存在しており、遊離塩素換算で0.16 mg-CI/L の毒性に相当することがわかる。

(3) 再現性に関する実験

今回のような生物検定の場合、再現性の有無が問題となる。ここでは、アンモニアを用いて再現性の確認実験を行った。測定は3回で、測定の間隔はミジンコが十分に世代交代がするように20～30日おいて行った。また、アンモニアは塩化アンモニウムの形で添加した。図-3はその結果であるが、これによると8時間までは良い再現性を示すが、それ以降はLC₅₀のばらつきが大きくなっている。これは、ミジンコそのものの影響により各サンプルのpHに微妙な差が生じ、これが毒性の強いイオン化していないアンモニア(NH₃)の濃度に影響したことによるものと考えられる。各サンプルのpHの測定値は、開始前は希釈水で6.75、最も高濃度の100 mg-N/L溶液で6.80とほとんど一定であったが、各RUNの開始後72時間後では7.5～8.0近辺にランダムに広がっている。全アンモニア濃度に占めるNH₃の割合は文献2)によると、25℃ではpH7.5で1.7%、8.0で5.1%と3倍もの開きがあるので、微妙なpHの変化が大きく測定値に影響することがわかる。

4. まとめ

本研究の範囲では、①消毒前の下水処理水はミジンコ類には影響しないこと、②中和により残留塩素を取り除けば毒性の低減効果が期待できることを確認できた。また、このミジンコによるアンモニアの急性毒性の測定の再現性は8時間以内ではおおむね良いが、それ以上の暴露時間では悪くなることがわかった。

参考文献

- 1) APHA, AWWA, WPCF(1985): Standard Methods 16th ed. p.715-719
- 2) APHA, AWWA, WPCF(1989): Standard Methods 17th ed. p.8.81-8.84

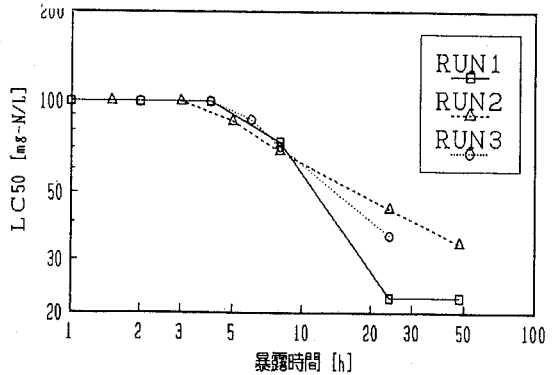


図-3 アンモニアの毒性の再現性