

ウキクサ亜科植物による下水処理水からの健康関連微生物除去の評価

東北大学工学部 学生会員 ○鳩原 翔

東北大学大学院 学生会員 岩野寛 正会員 久保田健吾 李玉友

香川高等専門学校 正会員 多川正

産業技術総合研究所 非会員 玉木秀幸

1. はじめに

途上国では下水処理場など衛生施設の整備が進まず水質汚染が深刻である。先進国で一般的な活性汚泥法は曝気に膨大なエネルギーを消費し、維持管理に技術を要するため途上国での運用が難しい。このような背景から DHS など維持管理が容易で省エネルギー型の下水処理システムの開発が進んでいるが、その多くは窒素・リンの除去が困難である。そこで、窒素・リンを除去するだけでなくエネルギー源としても活用するシステムとして、水生植物による浄化に着目した。中でもバイオマス生成速度が非常に大きく、固液分離が容易であるウキクサ亜科植物に注目した。ウキクサ亜科植物はソフトバイオマスであるためメタン発酵の基質に利用しエネルギー回収ができる他、タンパク質など栄養素を豊富に含むことから家畜飼料としても用いることが可能である。本研究では、ウキクサ亜科植物による下水処理システムの連続運転を行うことで、その処理性能、特に健康関連微生物除去性能を評価した。また 3 つの異なるプロセスで処理された水を用い、栄養塩量とバイオマス生産・処理水質との関係について評価を行なった。

2. 実験方法

実験にはウキクサ亜科植物のアオウキクサ (*Lemna* sp.) と、ウキクサ (*Spirodela* sp.) の 2 種類を用い、供与廃水として最初沈殿池 (初沈) 越流水、活性汚泥処理水、DHS 処理水の 3 種類を用いた。ウキクサ培養槽 (容量 7.4 L) を図 1 に示す。藻類の発生を抑制するため側面や底面を黒く覆っている。実験ではまず、採水後に貯水タンクにて保存しておいた廃水を、ポンプで HRT1 日となるよう培養槽に連続的に流入さ

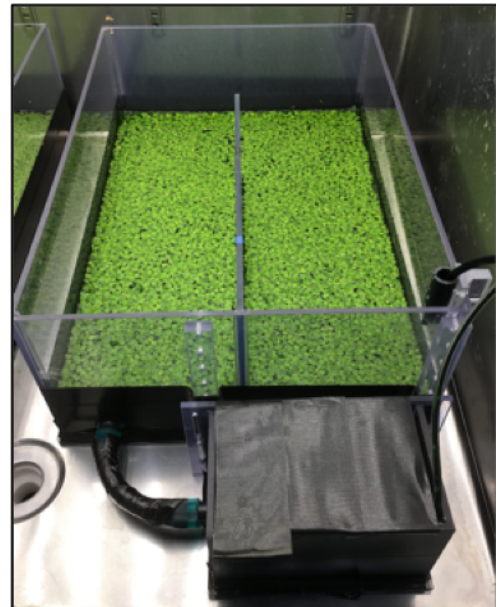


図 1：ウキクサ培養槽

せた。供与廃水は培養槽のコの字型に沿って流れ、培養槽出口に設けたトラップにたまる構造となっている。実験では流入水・流出水、培養槽内 3 地点の水質分析の他、培養槽内のウキクサ亜科植物の湿潤重量を測定した。一定量のウキクサ亜科植物を投入した後、増殖したバイオマスは 1 週間ごとに回収した。水質分析は、大腸菌群数、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 濃度などについて行った。培養槽は温度管理ができるクロマトチャンバー内に設置し、温度 25°C 、照度約 7000 lx (1 日 16 時間照射) を保った。

3. 実験結果および考察

初沈越流水を用いた実験での大腸菌群除去率は平均 1.0 log で、最大 3.4 log を示した。用いた廃水の中で最も多量の 10^5 から $10^6\text{ cfu } 100\text{ ml}^{-1}$ の大腸菌群が流入したが、流出水では最大 $10^3\text{ cfu } 100\text{ mL}^{-1}$ にまで減少した。また、初沈越流水はバイオマス生産においても最も優れており、1 週間で湿潤重量は 30 g から

キーワード ウキクサ亜科植物 下水処理 健康関連微生物

連絡先 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 東北大学大学院工学研究科 土木工学専攻
環境保全工学研究室 TEL 022-795-3102

最大 133 g と 4 倍以上になった。流出水の $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 濃度は 3.7 mg L^{-1} から 1.1 mg L^{-1} まで、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度は 35 mg L^{-1} から 17 mg L^{-1} まで減少した。

DHS 処理水を用いた実験においては平均 1.4 log の大腸菌群除去率を得て、菌数は $10^3 \text{ cfu } 100\text{mL}^{-1}$ から $10^2 \text{ cfu } 100\text{mL}^{-1}$ まで減少した。また、バイオマス生産も安定しており湿潤重量は 1 週間で 3 倍以上に増えた。DHS 処理水の $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 濃度は 1.5 mg L^{-1} であり、その除去率は 65 % であった。 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ の流入濃度は 5.0 mg L^{-1} と他の 2 廃水と比較して低く、その除去率は 95 % であった。大腸菌群除去率へのウキクサバイオマスの影響を見るために、ウキクサの初期投入量を通常の半分に減らし、水面の被覆率を低下させたところ、大腸菌群除去率は 0.21 log に低下した。処理水質 (N, P) は他の期間と差が見られなかったため、このとき槽内に大量に発生していた藻類の増殖が大腸菌群数の測定に影響を与えたと推察される。初沈越流水と DHS 処理水を用いた実験においては、日数経過と共にバイオマスが生産され、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 濃度、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度共に徐々に減少した (図 2 上参照)。

一方、活性汚泥処理水を用いた実験では、1 週間でバイオマス湿潤重量は 30 g から 65 g 程度まで増加したが、他廃水供与時と比べると劣っていた。またバイオマスの増加がほとんどなくなり、1 週間で 5 g 程度しか増量しない時もあった。この時の大腸菌群除去率は、0.15 log 程度あるいは菌数の増加を示した。以上より、安定したバイオマス生産が大腸菌群除去に必要なことが示唆された。

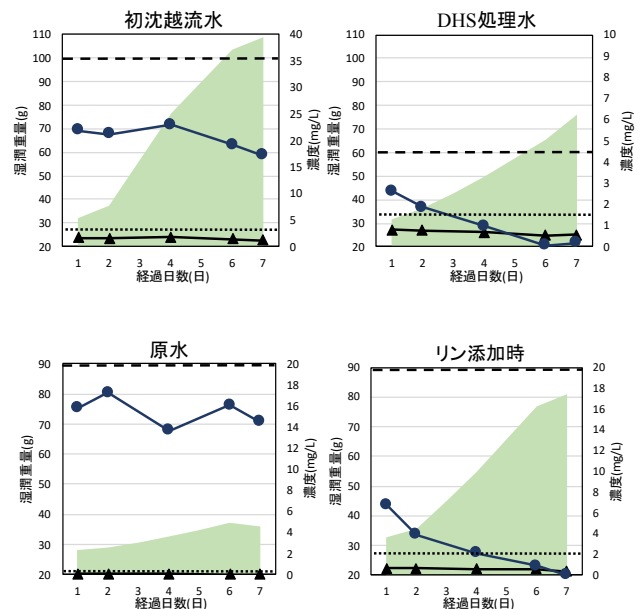
活性汚泥処理水のバイオマス生産が不安定な期間の培養槽内の $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 濃度のプロファイル分析結果から、供与廃水の流下距離が 20 cm の地点において $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ がほとんど検出されなくなったことが分かった。この地点以降ではウキクサ葉状体が黄色く変色し、バイオマス生産不良が顕著であった。流入濃度も 0.2 mg L^{-1} と他廃水と比較して特に低いことから、培養槽内で $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ が枯渇していることが推察される。そこで、検証のために活性汚泥処理水に $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 1.5 mg L^{-1} を添加したところ、無添加時に比べバイオマス生産量は 2.3 倍に増加し、大腸菌群除去率は 0.63 log に、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 除去率は 38 % から 96 % にまで上昇した。また、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ を添加する前後のウキクサの湿潤重量と栄養塩濃度の変化を図 2 (原水、リン添加時)

に示した。 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 添加後はバイオマス生産が安定し、徐々に栄養塩濃度も減少していることがわかる。このことから $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ の不足が原因でバイオマス生産量が減少し、それが大腸菌群除去率の低下に繋がったと考えられる。

また、大腸菌群数が減少した要因として、ウキクサ亜科植物の根などへの付着や根圏微生物の働きだけでなく、水中の SS に付着し沈降したということも考えられる。したがって、本実験で得られたウキクサバイオマス生産の安定という条件がどの程度除去率の向上に寄与しているのか今後検証していく必要があると考えられる。

4. 結論

ウキクサバイオマス生産が安定しており藻類の発生がみられない状況下では、栄養塩除去性能が高く、大腸菌群除去率も高い値が得られた。大腸菌群の効率的な除去のためにはウキクサの生長に十分量の栄養塩の存在と水面の被覆率の高さが重要である。窒素・リンが残存するプロセスと組み合わせることで高い大腸菌群除去能とバイオマス生産能を発揮することができる。



凡例 ●：流出 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、太点線：流入 $\text{NH}_4^+\text{-N}$

▲：流出 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 、細点線：流入 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$

面グラフ：ウキクサ湿潤重量

図 2：バイオマス湿潤重量と栄養塩濃度の経時変化

参考文献

1) 森川正章, 2015, 次世代バイオマス：ウキクサの可能性