

下水一次処理水中のウキクサ亜科植物の生長に影響を与える物質の探索

東北大学 学生会員 ○大谷 堯

東北大学大学院 非会員 岩野 寛, 正会員 久保田 健吾, 李 玉友

東京大学大学院 正会員 栗栖 太, 非会員 石井 淑大

1. はじめに

途上国における水域汚染は悪化の一途を辿っており、下水処理施設の整備・普及は喫緊の課題である。途上国に適したシステムの一つに、水生植物を用いた省エネルギーかつ創エネルギーで維持管理も容易である排水システムがある¹⁾。様々な水生植物を対象に開発研究が進む中で、バイオマス生成速度が極めて高く、回収時の固液分離処理が容易であるウキクサ亜科植物に注目した。生長に伴い栄養塩などを吸収・除去するため排水処理が可能であり、バイオマスは資源として多岐にわたる活用が考えられる。タンパク質や炭水化物を豊富に含むことから家畜飼料などへの活用も可能であり²⁾、またウキクサ亜科植物は難分解性成分が少ないソフトバイオマスであることからメタン発酵基質に適している。バイオマス生産は水中に存在する物質などの影響を受け、収量に変動が生じる。そのような物質に関する知見を深めることは安定したバイオマス生産、ひいてはシステムの普及および維持に寄与する。近年、根圏環境や生長を促進する物質に着目する研究が進んでおり、物質の作用プロセス解明や他の物質の探索が期待される。本研究では下水一次処理水を供与廃水としたウキクサ亜科植物の連続培養実験を行い、排水処理性能の評価および生長に影響を与える物質を探索した。

2. 実験・分析方法

本実験にはウキクサ亜科植物であるアオウキクサ (*Lemna* sp.) とウキクサ (*Spirodela* sp.) を用いた。浄化センターより採水した下水一次処理水を供与廃水とした。培養槽は図1のようなコの字型(幅30 cm、奥行45 cm)をしており、藻類の発生を抑制するため側面および底面を黒色テープで覆い遮光した。連続的に廃水を流入させ、ウキクサバイオマスの生産を行なった。基本条件はHRT1日、温度25°C、照度約8,000 lx(1日16時間照

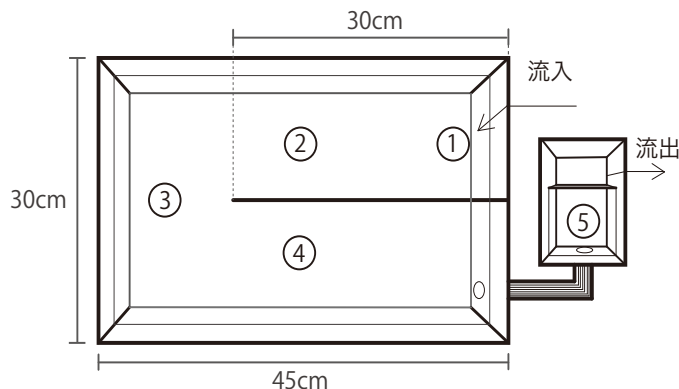


図1:ウキクサ亜科植物培養槽およびトラップ

*①～⑤は試料採用箇所を示す

射)とした。水深は5 cmと10 cmに設定し、培養槽後段にトラップを設けることで水位を調整・維持した。ウキクサ亜科植物を培養槽に投入した日を0日目として、1バッチを7日間とした。

流入箇所を含む5箇所(図1参照)より採水し、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ に対し、下水試験方法に基づいた水質分析を行なった。増殖したウキクサは全て回収し、湿重量を測定した後、水面を覆う一定量(湿重量で30 g)を培養槽に戻した。乾燥重量を測定しバイオマス生成速度の算出を行なった。また採水した試料を孔径0.3 μm のメンブレンフィルターに通過させたのち、夾雑物排除および濃縮のために固相抽出(保持型)を行い、Orbitrap質量分析計(ネガティブイオンモード)を用いて溶存有機物(DOM)の質量分析を行なった。

3. 実験結果と考察

各種水質プロファイリングを行なった結果、次のような結果が得られた。 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ (供与廃水濃度:4.0~6.4 mg/L)は水深・種に関わらず、流入箇所周辺で0.8~3.0 mg/L程度減少し3.0~4.0mg/Lの範囲になった。供与廃水の濃度が低い方が減少量が少ない傾向があった。その後大きな変動は確認できなかった。

キーワード:ウキクサ亜科植物、下水一次処理水、Duckweed

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:022-795-7463 FAX:022-795-7465

また $\text{NH}_4^+\text{-N}$ (供与廃水濃度:27~40 mg/L)は、流れ方向に減少する傾向を示し、*Lemna sp.*では25~28 mg/L程度に、*Spirodela sp.*では20~28 mg/L程度に収束した。 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ は種・水深によらず、ほとんど検出されなかった。ウキクサ亜科植物は優先的に $\text{NH}_4^+\text{-N}$ を吸収することが知られており、今回の結果と一致する。*Lemna sp.*と*Spirodela sp.*で、物質の吸収機構や根圏環境などの違いが水質の挙動に影響したと考えられる。

バイオマス生成速度は乾燥重量換算で、*Lemna sp.*で平均 14.4 ton/ha/year、*Spirodela sp.*で平均 15.1 ton/ha/yearと算出された。*Spirodela sp.*では水深の大きい方が小さい方と比べて 1 割程度増加した一方、*Lemna sp.*では明らかな差は見られなかった。

バイオマスの増加にもかかわらず、培養槽における水質プロファイルで、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ や $\text{NH}_4^+\text{-N}$ の濃度は流入箇所周辺での減少した後、大きな変動が見られないことを示していた。ウキクサが生長すると栄養塩の吸収に伴い濃度のが減少すると考えられることから、ウキクサバイオマスの生長が流入箇所周辺でより活発に行われていた可能性が示唆された。そこで $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ や $\text{NH}_4^+\text{-N}$ といった栄養塩の他に、ウキクサ亜科植物の生長に影響を与える物質が存在し、その物質が流入箇所周辺で消費されたことで、そこ以外でのウキクサ亜科植物の生長速度が低下、結果として水質プロファイルで $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ の減少が見られなかったと考えた。

物質を検討するにあたり、本研究では DOM に着目した。DOM は生態系構造(植物プランクトン・微生物群集構造)の変化に深く関係しており、水系生態系に大きな影響を及ぼしていると考えられている³⁾。ある既往の研究では、酵母由来のマンナンが*Lemna sp.*の生長に影響する報告もあり、DOM が生長に直接作用している可能性がある。またウキクサ亜科植物の根圏において生長を促す微生物群の存在が知られており、その微生物群にDOMが作用し、最終的にウキクサの生長に影響を与えている可能性も考えられる。

そこで処理水に含まれる DOM を Orbitrap 質量分析計を用いて分析した。あるバッチにおける処理水から得られた精密質量数および検出強度の分析データに対し、主成分解析を行なった結果を図 2 に示す。供与廃水および処理水で検出成分の特徴・性質にまとまりが確認され、また種によって挙動に違いが見られた。供与廃水における検出成分のうち、一部成分は*Spirodela sp.*の培

養では検出されず、また両種の処理水から新たな検出成分も確認された。供与廃水中の成分の分解により生じた、またはウキクサ亜科植物あるいはその根圏微生物により生成されたものと考えられる。根圏における微生物群集構造解析によると、*Lemna sp.*と*Spirodela sp.*で差異が見られ、根圏微生物の有機物分解能力・活性の違いによって成分の挙動および検出成分に種間差が生じた可能性がある。

4. 結論

本研究では、バイオマスが増加するにも関わらず、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ が一定幅の濃度に収束することが確認された。ウキクサ亜科植物の種によって水中に存在する成分の挙動が異なることも確認され、生長に影響を与える物質および程度は種によって異なる可能性が示唆された。今後、根圏微生物に影響を与える可能性のある DOM の候補を、質量分析で得た精密質量数や関連文献を参考に調査し、その物質添加の比較実験によってバイオマス生産への影響評価を行う予定である。

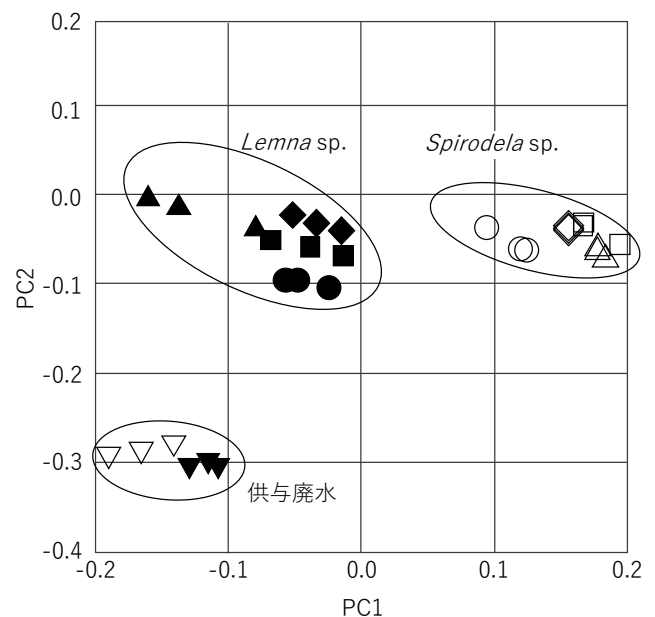


図 2:あるバッチにおける DOM 質量分析データの主成分解析結果

黒色塗りつぶし:*Lemna sp.* 白抜き:*Spirodela sp.*

参考文献

- 1) 岩野寛ら、2018、第 52 回日本水環境学会年会 P.65
- 2) 森川正章ら、2015、次世代バイオマス:ウキクサの可能性
- 3) 今井章雄ら、2012、湖沼における有機物の循環と微生物生態系との相互作用に関する研究