

ウキクサ亜科植物を用いた下水処理水からのバイオエネルギー生産

東北大学工学部 学生会員 ○岩野寛

東北大学大学院 正会員 久保田健吾 李玉友

産業技術総合研究所 非会員 玉木秀幸

1. はじめに

現在、途上国では下水や排水が未処理のまま水域環境に放流されており深刻な水質汚染を引き起こしており、下水処理施設の普及は急務の課題である。先進国で広く用いられている活性汚泥法は曝気に膨大な電力を要するため、慢性的に不安定な電力供給事情を有する途上国での運用は難しい。そのような背景から、DHS など途上国向けの省エネルギー型下水処理システムの開発が進んでいるが、その多くが有機物を除去する事はできても窒素・リンの除去は困難な場合が多い。

そこで窒素・リンをエネルギー源として用いる事はできないかと考え、ウキクサ亜科植物に着目した。ウキクサ亜科植物は培養・回収が容易であり、窒素・リンを吸収する事で排水処理が可能、さらにバイオマス生成速度が極めて早いことから近年注目されている。また、ウキクサ亜科植物は家畜飼料としてそのまま用いることが可能な他、ソフトバイオマスであるため、メタン発酵によるバイオエネルギー生産に適していると考えられる。本研究では、ウキクサ亜科植物による排水処理性能の評価、およびメタン発酵によるウキクサ亜科植物のメタンガス生成ポテンシャルを明らかにし、ウキクサ亜科植物を用いた創エネルギー型の排水処理システムについて検討した。

2. 実験方法

2.1 ウキクサ亜科植物を用いた排水処理

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種類を用いた。図-1の装置に下水二次処理水を HRT 1 日となるように供給させ、流入水と流出水の水質 ($\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_2^-\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$) を分析しアオウキクサ、ウキクサの排水処理性能を評価した。実験条件は温度 25℃、照度約 7000 lx (1 日 16 時間照射)とした。

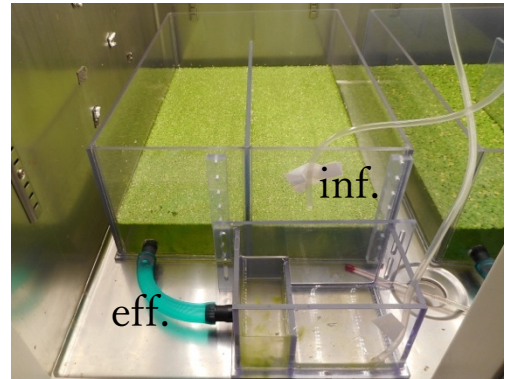


図-1 ウキクサ亜科植物を用いた排水処理装置

2.2 アオウキクサの生分解性試験

生分解性試験は、124 mL のバイアル瓶を用いて中温 (35℃) にて 21 日間行った。投入基質は、アオウキクサと破砕したアオウキクサとした。発生したバイオガスをガスクロマトグラフにより分析し、投入 VS あたりのメタンガス生成ポテンシャルからアオウキクサの分解性の評価をした。また消化汚泥には、HRT 30 日で下水汚泥を処理している消化槽から採取したものをを用いた。

3. 実験結果

3.1 ウキクサ亜科植物を用いた排水処理

図-2 に流入水とアオウキクサ、ウキクサによる処理水の $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_2^-\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ の濃度を示す。アオウキクサ、ウキクサでの処理により $\text{NH}_4^+\text{-N}$ が 32%, 45%減少されたのに対して、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ の濃度が増加した。これはウキクサ亜科植物の根圏に生息している微生物による硝化反応が起きたと考えられる。全体で、アオウキクサでは 14.7%, ウキクサでは 16%の窒素除去に成功した。また、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ の除去率はアオウキクサでは 69%, ウキクサでは 81%と高い除去率を示した。

また、図-3 に本研究でのアオウキクサとウキクサ、その他水生植物や陸生のエネルギー作物のバイオマス生成速度を示す。

キーワード ウキクサ 排水処理 メタン発酵

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科 土木工学専攻
環境保全工学研究室 TEL 022-795-3102

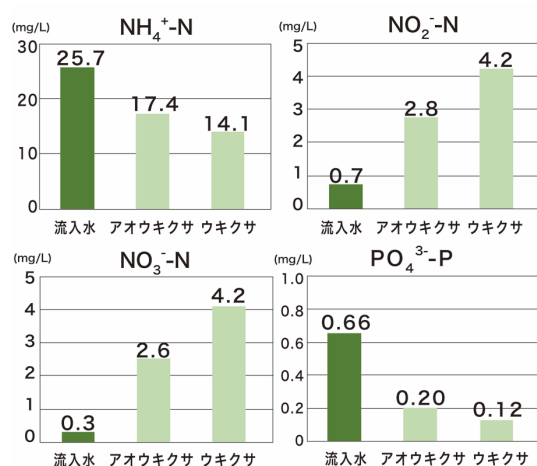


図-2 流入水とアオウキクサ，ウキクサの処理水に含まれる NH₄⁺-N, NO₂⁻-N, NO₃⁻-N, PO₄³⁻-P の濃度

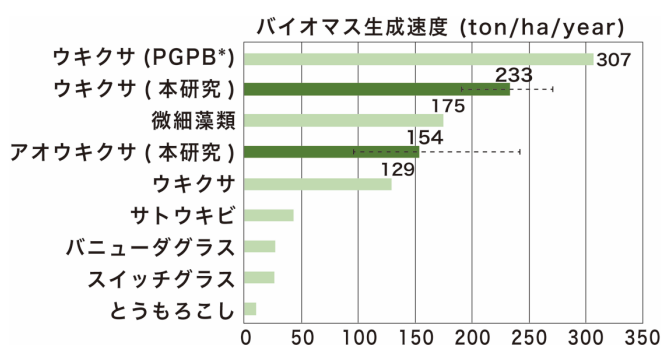


図-3 各エネルギー作物のバイオマス生成速度 (遠山ら, 2016 を参考にして作成。PGPB : Plant Growth-promoting bacteria)

これより，本研究のウキクサ亜科植物のバイオマス生成速度は陸生のエネルギー作物よりはるかに高かった。さらにウキクサに関しては，増殖速度が高いことで有望視されている微細藻類をも凌駕するバイオマス生成速度であった。これは実下水処理水を用いた実験であるため，ウキクサ亜科植物の増殖を促進させるような微生物群衆構造がウキクサ亜科植物の根圏に形成されたと考えられる。今後ウキクサ根圏の微生物群衆構造解析を行い，微生物とウキクサ亜科植物の増殖の関連性を明らかにする必要がある。

3.2 アオウキクサの生分解性試験

基質に用いたアオウキクサの性状は，TS 5.3 (%), VS 4.6 (%), COD 1.32 (g/g-dry weight)であった。アオウキクサのバイアル瓶への投入 COD 量は，0.11 g とした。図-4 にアオウキクサ，破碎したアオウキクサの生分解性試験における VS あたりのメタンガス生成量と投入気質のメタン転換率を示す。どちらも実験開始後 5 日程度まではメタンガス生成速度が高かったが，その後，緩やかな増加となった。

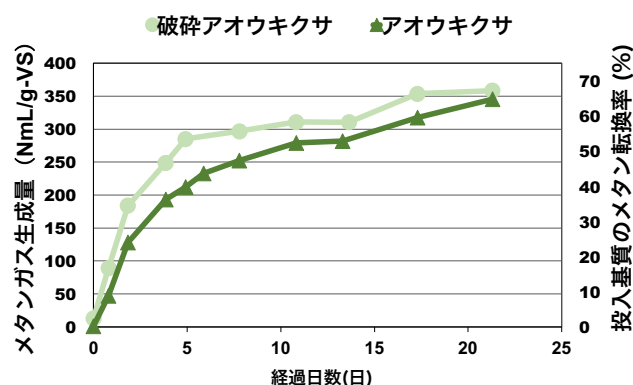


図-4 アオウキクサのメタンガス生成量および投入基質のメタン転換率

破碎したアオウキクサの方が破碎しなかったアオウキクサよりもメタンガス生成速度が早かったが，これは，破碎したことによってアオウキクサの生分解性物質と微生物の接触効率が上がったためだと推察される。一方で，破碎を行わなくとも実験開始後速やかにメタンガス生成がみられたことから，ソフトバイオマスであるアオウキクサは，メタン発酵に適した基質であることが示された。また，実験開始 13 日ほどからアオウキクサおよび破碎したアオウキクサにおいてメタンガス生成速度が再び若干増加した。これはアオウキクサに含まれる難分解性成分が分解されたためだと考えられる。アオウキクサ，破碎アオウキクサのメタンガス生成ポテンシャルはそれぞれ 345, 359 NmL/g-VS となった。また，破碎したアオウキクサは 5 日目まで投入 COD の 55% 分解され，破碎しなかったアオウキクサでも 10 日で約 50% が分解されたことが分かる。最終的に破碎の有無にかかわらず 65% ほどがメタンに転換された。今後，ウキクサ亜科植物のメタン発酵リアクターを作成し，長期運転した時の難分解成分の蓄積の影響やメタン生成の挙動を解析する予定である。

4. 結論

ウキクサ亜科植物により下水二次処理水からの窒素・リン除去に成功した。さらに，本研究のウキクサ亜科植物は非常に高いバイオマス生成速度を示した。また，生分解性試験からアオウキクサは高い生分解性を有し，メタン発酵によるエネルギー生産に適したバイオマスであることが示された。

参考文献

遠山ら，2016，汚水を用いたウキクサバイオマス生産バイオリファイナリーへの応用