

下水処理水の連続灌漑による飼料用米栽培

山形大学農学部 正会員 ○渡部 徹
岩手大学農学研究科 非会員 Pham Duy Dong
山形大学農学部 学生会員 倉島須美子
山形大学農学部 非会員 加来伸夫

1. はじめに

我々の研究グループでは、耐倒伏性に優れ、多肥栽培が可能な飼料用米の栽培に下水処理水を循環して灌漑利用することで、処理水の水質浄化と水稻の収穫の両立を目指した研究を行ってきた¹⁾。昨年度に行った品種「べこあおば」の栽培実験²⁾では、同品種の通常の水田での目標収量(8t/ha)を達成した。一昨年度の実験と比較して、灌漑に用いる下水処理水量を増加させることで増収が確認された上に、家畜飼料として重要な玄米中のタンパク質含有率も高い値が得られた。

昨年5月からは、水田に供給する下水処理水をさらに増やすことによる増収と玄米中タンパク質の増加を期待して、処理水を水田で循環させずに「掛け流し」で灌漑利用する実験を行った。その結果としての収量と玄米の栄養特性については別に発表する通りである³⁾。本稿では主に、同実験で明らかとなった①水田灌漑による下水処理水の水質浄化効果と②水田に設置した微生物燃料電池による発電に関する結果について報告する。

2. 方法

2.1 実験の概要

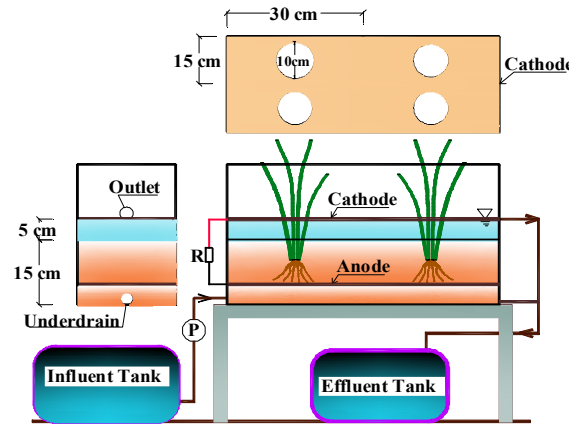
実験に用いた水稻の品種は「べこあおば」である。土壌は山形大学農学部附属農場の水田の表層を採取し、風乾せずに使用した。灌漑用水には、鶴岡市浄化センター(標準活性汚泥法を採用)の下水処理放流水を使用し、水田に連続的に投入した。水田模型と2つのタンクからなる実験装置を6系列用意し、表1に示すように、下水処理水の投入量と投入する位置(図1)、発電の有無に関する異なる条件のもとで栽培実験を行った。系列Dは下水処理水を用いず、清澄な水(水道水)と化学肥料で栽培する通常の水田を想定している。その他の系列での実験条件の詳しい説明は、別発表³⁾を参考にしていきたい。全系列の水田模型に微生物燃料電池(MFC)を設置した。電極には、正極・負極ともカーボングラファイトフェルトを使用した。負極は土壌表面から10cmの深さに設置し、正極は発砲スチロール片を取り付け水面に浮かべた。両極間の電位差(抵抗100Ω)を連続計測し記録した。

2.2 水質の分析

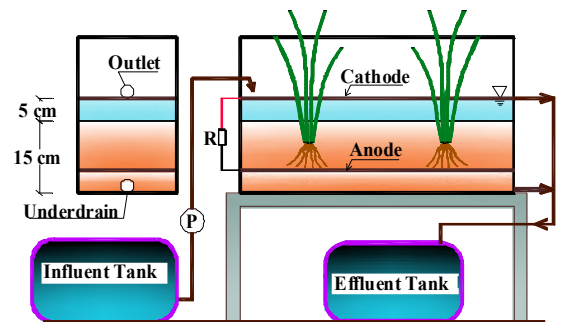
栽培開始時から、流入水タンクおよび放流水タンク内の水温、pH、DO、TN、TOCを定期的に測定した。実験開始時および下水処理水追加時には、処理水中の全窒素存在量の3%に相当する重窒素¹⁵Nを追加し、実験終了後に放流水(実験中も適宜測定)、土壌(実験前も測定)、植物体に含まれる重窒素を測定した。ここで回収されなかった重窒素は、大気に拡散したものと見なした。

表1. 6つの系列における実験条件

Run Irrigation	A	B	C	D	E	F
Water	TWW			Tap water	TWW	
Flow rate (L/day)	2	3	3	Depend on evaporatio n	4.5	4.5
Flow Direction	Bottom-to-top			No flow	Bottom -to-top	Top- to-top
Water supply	Continuous			As needed	Continuous	
Fertilizer	Phosphorus			N, P, K (for basal); and N (before flowering)	Phosphorus	
MFC Circuit status	Close		Open	Close		



(a) 処理水を暗渠に投入する系 A, B, C, E



(b) 処理水を田面に投入する系 F

図1. 実験装置の概略図

キーワード：下水処理水再利用，飼料用米，水質浄化，窒素除去，発電

住所：山形県鶴岡市若葉町 1-23, Tel: 0235-28-2907, Email: to-ru@tds1.tr.yamagata-u.ac.jp

3. 結果及び考察

3. 1 下水処理水の水質浄化

図2に、灌漑に用いた下水処理水の窒素濃度と、各系列の水田模型からの放流水の全窒素濃度を示す。灌漑する前の処理水の全窒素濃度は 25~40mg/L であった。これに対して灌漑後の放流水は明らかに低下した。放流水の窒素濃度が最も低いのは、下水処理水の投入量が最も少なく (2L/d)、水田内での滞留時間が最も長い系列 A であった。系列 B (3L/d) と E (4.5L/d) を含めて、下水処理水投入量が増えるにつれて放流水の窒素濃度が上昇することが分かった。系列 F では、系列 E と同じく最大量の処理水を投入したにもかかわらず、田面から投入したことで、それが土壌中に行き渡らずに十分な窒素除去が行われなかった。

下水処理水から除去された窒素は、土壌に蓄積するか、水稻に吸収されるか、あるいは大気に拡散する。土壌への蓄積量は系列間でほとんど差がなかった。水稻への吸収量は生長量に依存し、系列 E が最大であった。この系列 E では、処理水とともに水田に投入された窒素のうち 35%が水稻に吸収されていたが、それより多い 50%の窒素が大気に拡散していた。同様に暗渠から処理水を投入する系列 A では水稻に吸収される窒素が 58%, 系列 B では 40% であった。下水処理水投入量が少ない系列ほど、処理水中の窒素が水稻に有効に利用されていた。ただし、処理水の水質浄化を目的とする場合には、系列 F のように処理水の投入量を増やすことで土壌中の硝化脱窒の機能を有効に利用できることが分かった。

TOC 濃度は流入水の 6~8mg/L に対して、放流水ではいずれの系列でも 6mg/L 前後であった。有機物の除去には前述の窒素除去のような系列間での差はなく、栽培期間を通じて除去効率が 30%を超えることはなかった。

3. 2 微生物燃料電池による発電

装置のトラブルのため、実験開始から 8 月まで発電のモニタリングが正確に行われなかった。図3には、簡易復旧した後の 9 月以降の各系列での MFC の起電力の推移を示す。どの系列でも 50mV の起電力が観測されたが、収穫まで一貫して系列 E の起電力が最も大きかった。この理由には、系列 D の下水処理水投入量が最大であり、それが暗渠から投入されることが挙げられる。後者については昨年度の実験²⁾でも同様の結果が得られており、土壌中に設置した陰極に処理水中の有機物が効率的に供給された結果と考えている。ただし、陰極に生息する微生物による有機物の分解では、前節で述べたように処理水中の有機物濃度を低下させるほどの効果はなかった。

4. まとめ

飼料用米を栽培する水田への連続灌漑により、処理水中の窒素が高効率で除去された。一方、有機物の除去率は低かった。関連して水田で発生するメタンも分析したが、検出されなかった。次回の栽培実験で再度試みたい。

謝辞：本研究は、国土交通省 GAIA プロジェクトおよび文部科学省地（知）の拠点整備事業の支援を受けた。また、本研究の一部は山形大学東北創生研究所の活動として行われた。

参考文献

1) Muramatsu, *et al.* Water Science and Technology, 72(4), 579-584, 2015. 2) Watanabe *et al.* WEF-EESS Asia-Pacific Wastewater Treatment and Reuse Conference 2015, Singapore, June 28 - July 1, 2015. 3) 倉島ら, 下水処理水灌漑により栽培された飼料用米の栄養特性の評価, 平成 27 年度土木学会東北支部技術研究発表会 (発表予定)。

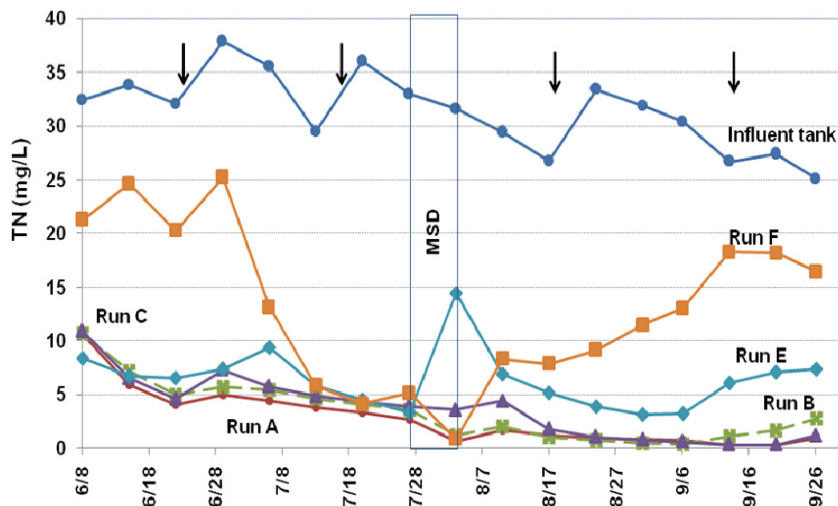


図2. 流入水と放流水の全窒素濃度 (図中の矢印は、流入水タンクに下水処理水を追加した日を示す)

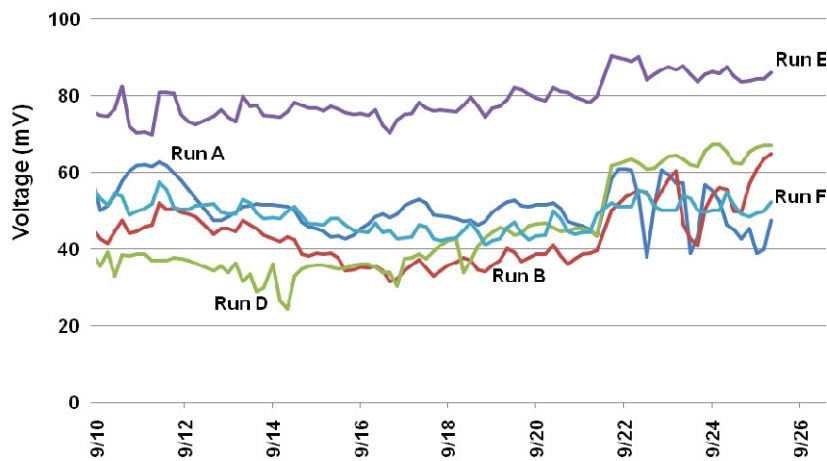


図3. 水田内に設置した MFC による発電 (起電力)