

## 下水処理水の掛け流し灌漑による飼料用米栽培に関する研究

山形大学農学部 正会員 〇渡部徹, 浦劍, 加来伸夫  
 岩手大学農学研究科 学生員 Pham Duy Dong  
 山形大学農学部 学生員 倉島須美子  
 山形大学農学部 非会員 堀口健一  
 山形大学工学部 正会員 佐々木貴史

## 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家畜飼料の収穫の両立を目指した研究を行ってきた<sup>1)</sup>。平成26年に行った品種「べこあおば」の栽培実験<sup>2)</sup>では、同品種の通常の水田での目標収量(8t/ha)を達成した。その前年の実験と比較して、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。その結果より、①水田灌漑による下水処理水の水質浄化効果、②収穫された飼料用米の収量と栄養特性、③水田に設置した微生物燃料電池による発電効率をそれぞれ明らかとした。

## 2. 方法

## 2.1 実験の概要

水田模型(幅0.6m, 奥行き0.3m)に、山形大学農学部附属農場の水田の表層から採取した土壌を、風乾せずに敷き詰めた(深さ15cm)。土壌の最深部には暗渠を設置した。ここに、灌漑用水として、鶴岡市浄化センター(標準活性汚泥法を採用)で採取した下水処理放流水を、田面あるいは暗渠から連続的に投入した。田面水の水深は、中干し期間(7月末からの1週間)を除き、常に5cmを維持した。この水田模型を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位置、発電の有無に関する異なる条件のもとで、品種「べこあおば」の栽培実験を行った。系列Dは、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。全系列の水田模型には、発電のために微生物燃料電池を設置した。電極にはカーボングラファイトフェルトを使用し、負極は土壌表面から10cmの深さに設置し、正極は田面水に浮かべた。両極間の電位差(抵抗100Ω)を連続計測した。

表1. 6つの系列における実験条件

	系列A	系列B	系列C	系列D	系列E	系列F
灌漑用水	下水処理水	下水処理水	下水処理水	水道水	下水処理水	下水処理水
灌漑水量	2L/d	3L/d	3L/d	-	4.5L/d	4.5L/d
灌漑用水の投入方法	暗渠から	暗渠から	暗渠から	田面から	暗渠から	田面から
化学肥料*	Pのみ	Pのみ	Pのみ	N, P, K	Pのみ	Pのみ
発電	あり	あり	なし	あり	あり	あり

\*基肥として窒素160kg/ha, リン酸160kg/ha, カリウム160kg/ha。追肥として窒素100kg/ha。

系列A, B, Eの間では、灌漑に用いる下水処理水の量が異なる。系列BとCの比較では、水田で発電を行うことによる影響を調べた。系列EとFの比較では、下水処理水を暗渠から投入することによる効果を確認した。系列Dでは、下水処理水ではなく水道水を灌漑に利用し、蒸発散で不足した分だけ随時追加した。この系列では、窒素、リン酸、カリウム肥料のいずれも、通常の水田での飼料用米栽培で推奨される最大量で投入した。他の5系列では、窒素とカリウムは下水処理水から十分な量が供給されるとみなして、リン酸肥料のみを投入した。

## 2.2 水試料および植物体試料の分析

系列Dを除く5系列で、流入水(下水処理水)および放流水(水田からの越流水)の水温, pH, DO, TNを定期的に測定した。流入水には重窒素<sup>15</sup>N(全窒素存在量の3%相当量)を追加し、放流水と実験後の土壌、植物体に含まれる重窒素を測定することで、灌漑のために水田に投入された下水処理水中の窒素のFateを調査した。

収穫された飼料用米については、水分, 粗灰分, 粗タンパク質, 粗脂肪, 粗繊維をそれぞれの標準法で分析した。これ以外の成分を可溶無窒素物(≒炭水化物)とした。

## 3. 結果及び考察

## 3.1 下水処理水の水質浄化

図1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。灌漑され

キーワード: 下水処理水再利用, 飼料用米, 窒素除去, 収量, 栄養特性

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

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、灌漑後の放流水の窒素濃度は明らかに低下し、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、処理水の投入量は系列 E と同じであったが、田面から投入されたために、処理水が土壤に浸透することがなく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、土壤に蓄積するか、水稻に吸収されるか、あるいは大気に拡散する。土壤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。一方で、系列 E のように処理水の投入量を増やすことで土壤中での硝化脱窒の機能を有効に利用できることが分かった。

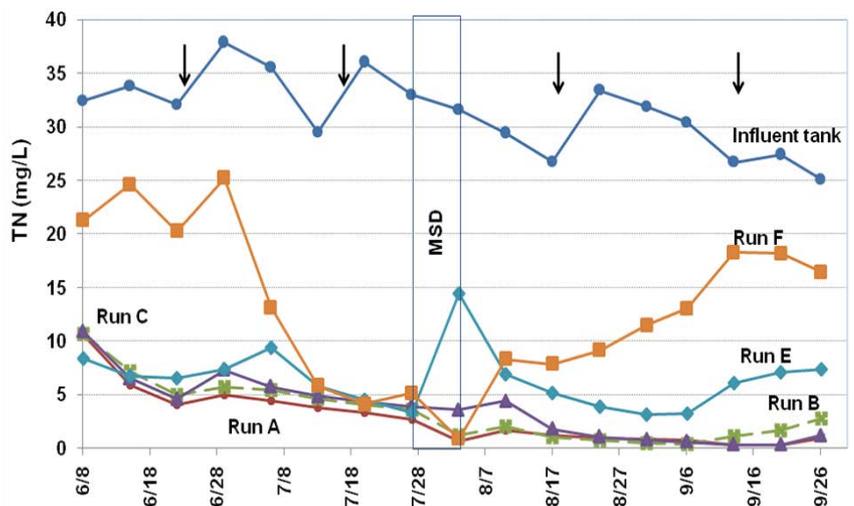


図 1. 流入水と放流水の全窒素濃度 (矢印は流入水タンクに下水処理水を追加した日, MSD は中干し期間をそれぞれ示す)

### 3. 2 水稻の収量と栄養特性

各系列における収量を表 2 に示す。系列間に有意差はなかったが、その傾向をもとに考察する。下水処理水投入量が最も多い系列 E と F の収量は系列 D よりも多く、十分な量の下水処理水を灌漑することで通常の水田よりも高い収量をあげられる可能性がある。系列 E と F の比較では、暗渠からの下水処理水投入によって収量が増加した。系列 B と C の比較では、発電を行わない系列 B で収量が多かった。

表 2 には、各系列で収穫された玄米の各栄養素の含有率も示す。粗タンパク質は、先行研究の最高値 8.8%<sup>2)</sup> に比べて大幅に増加した。掛け流しで出穂後も窒素濃度の高い処理水を灌漑したことで、玄米に多くの窒素が運ばれタンパク質として蓄積されたのであろう。粗脂肪と可溶無窒素物は標準値を若干下回っていたが、下水処理水の掛け流し灌漑で栄養価の高い飼料用米が得られた。通常の水田を想定した系列 D でも高い収量とタンパク質含有率が得られたが、この結果を得るためには食用米栽培の 2 倍量の施肥が必要であり、コスト高で実現困難な栽培といえる。

表 2. 収量と栄養成分 (4 株の平均値で、異なるアルファベットは系列間の有意差を示す)

	標準値*	系列A	系列B	系列C	系列D	系列E	系列F
収量(t/ha)	8.0	8.3 a	7.3 a	8.4 a	8.3 a	9.0 a	8.6 a
粗タンパク質(%)	8.8	11.6 a	12.2 ab	12.2 ab	11.7 ab	13.1 b	11.6 a
粗脂肪(%)	3.2	2.5 a	2.6 a	2.4 a	2.4 a	2.5 a	2.5 a
可溶無窒素物(%)	85.6	83.6 a	82.7 a	82.8 a	83.5 a	82.4 a	83.6 a

\* 通常の水田で栽培される同品種の標準値(収量は目標値)

### 3. 3 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 月まで電力計測が正確に行われなかった。9 月以降はどの系列でも約 50mV の起電力が観測されたが、収穫まで一貫して系列 E の起電力が最大であった。この理由には、系列 E 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ていたことが挙げられる。暗渠からの処理水投入による発電の促進は先行研究<sup>2)</sup>と共通しており、土壤中の負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。

### 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、かつ高タンパク質の飼料用米が十分量収穫できた。次回の栽培実験では、水田から発生するメタンや、リン施肥の必要性について検討したい。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.