

水稻栽培における下水処理水への灌漑用水転換が温室効果ガス排出量に与える影響

秋田工業高等専門学校 学生会員 ○佐々木輪 秋田県立大学 非会員 高階史章
秋田工業高等専門学校 正会員 金主鉉 正会員 増田周平

1. はじめに

近年、下水道資源を農業分野において有効利用する取り組み（BISTRO 下水道）が注目されており、各地で様々な取り組みが行われている。特に下水処理水には窒素・リン・カリウムが豊富に含まれており、作物生産に活用することで、資源循環型農業システムの構築に資すると期待されている。

以上をふまえ、本研究グループでは下水処理水を活用した水稻栽培手法の確立を目指して研究を行っている。しかし、代替肥料としての下水処理水の活用は、メタン(CH₄)や亜酸化窒素(N₂O)などの温室効果ガス(GHG)の排出量が増加する可能性がある。そこで本研究では、水稻栽培における下水処理水の灌漑利用が GHG 排出量へ与える影響を評価することを目的とし、昨年まで慣行農法で使用されていた実水田を下水処理水灌漑に切り替え、栽培試験を行った。

2. 方法

2.1 実験概略

秋田市内に位置する A 農業集落排水処理施設に隣接する水田を利用した。施肥を行わずに下水処理水と農業用水を灌漑した水田(1, 500 m²)を試験区とし、農業用水と化学肥料を用いた慣行栽培の水田(760 m²)を対照区とした。なお対照区の化学肥料(14-14-14)の投入量は 20kg である。2021 年 5 月 15 日に苗を移植し、7 月 4 日から 21 日の間は中干し、その後は農業用水のみで間断灌漑を行い、9 月 27 日に収穫を行った。実験に供した下水処理水と農業用水の水質と、試験区と対照区の水質の経時変化を表 1 に示す。

2.2 測定方法

期間中において、CH₄および N₂O の発生量を計 11 回測定した。測定はチャンバー法により実施した。各実験区において、約 2m 間隔の距離を離れた 3 地点

を選定し、反復とした。各調査点で GHG において、チャンバー法¹⁾を用いて、GHG 排出速度を測定した。具体的には、4 株のイネを覆うようにアクリルチャンバー(30×60×50 cm)をかぶせ、チャンバー内の空気を小型扇風機で攪拌させながら、0 分、10 分、20 分の時間にチャンバー内の空気を採取し、それぞれを真空引き 10mL バイアル瓶に封入した。その後、CH₄は GC-FID、N₂O は GC-ECD により分析を行い、それぞれの気体のフラックスを算出した。フラックスは以下の式により求めた。

$$F = \rho H \left(\frac{273}{T} \right) \times (\text{GHG の濃度増加速度})$$

ここで、 ρ は対象気体の密度(CH₄=0.716 kg/m³, N₂O = 1.978 kg/m³), H はチャンバーの高さ、 T はチャンバー内の平均温度(K)である。

得られたフラックスは温室効果の比較を明確にするため CH₄、N₂O とも二酸化炭素に換算して定量的に表した。このときに用いた地球温暖化係数は、メタンで 28、亜酸化窒素で 265 とした。また、GHG 排出特性について考察するため、各調査点において 2 箇所ずつ酸化還元電位(Eh)を測定すると同時に、窒素成分を主体とした水質項目も分析した。

3. 結果および考察

栽培期間の試験区と対照区の時間経過に伴う GHG 排出速度の経時変化を図 1 に示す。これよりいずれの実験区においても、CH₄の排出速度は N₂O を

表1 試験区および対照区の水質

		5月26日	6月2日	6月10日	6月17日	6月28日	7月1日
pH	試験区	-	8.84	6.87	7.64	7.43	7.46
	対照区	-	7.58	6.9	6.89	6.53	6.85
DTN (mgN/L)	試験区	4.7	0.5	5.7	1.6	1.3	0.5
	対照区	1	1.2	0.2	2.4	1.5	0.7
	農業用水	-	-	1.2	1.1	-	0.4
	処理水	-	-	11.1	20.7	-	16.1

キーワード：下水処理水 水田 温室効果ガス メタン 亜酸化窒素 酸化還元電位

連絡先：〒011-8511 秋田市飯島文京町 1-1 秋田工業高等専門学校 増田周平 E-mail: masuda@akita-nct.ac.jp

大きく上回った。CH₄について、排出速度を実験期間で重みづけした加重平均で比較すると、試験区は1,376 mgCO₂/(m²・h)、対照区は1,106 mgCO₂/(m²・h)となり、試験区の GHG 発生速度が高かった。また、両区ともに7月15日以降にCH₄の排出量が急減した。これは、中干し後に水の供給を緩めたことにより、土壌が好氣的になったためと考えられる。図2はEhとCH₄排出速度との関係を示しており、Ehの増加にともないCH₄排出速度は低下した。Ehが0 mV以下のデータの92%は、湛水期間と中干し期間で記録された。なお、EhとN₂Oの排出速度に関連性は見られなかった。

N₂Oについて、排出速度の加重平均は、試験区と対照区のいずれにおいても7.6 mgCO₂/(m²・h)となり、両区間での差はみられなかった。ただし表1に示す各区の水質との関係性に着目すると、水田への処理水投入量の上昇時にN₂O排出速度が減少する傾向が見られた。本試験で使用した処理水の窒素化合物の主成分はアンモニア性窒素であり、処理水投入にともなう有機物量の増加および溶存酸素濃度の低下により、硝化反応の停滞によるN₂O生成の抑制、およびN₂O分解の促進が起きたと考えられる。

上記に述べた栽培段階のGHG排出速度をふまえ、対照区と試験区のCO₂排出量を評価した。対照区においては肥料の製造過程で生じるCO₂発生量も計上し²⁾、両区のGHG排出量を単位面積当たりの排出量で示した（図3）。CO₂排出量は試験区で4.052 kgCO₂/m²、対照区で3.283 kgCO₂/m²となり、試験区は対照区の約1.2倍のGHGを排出していた。また、いずれの実験区でもCH₄の排出量の寄与が大きく、98%以上を占めた。なお、対照区における化学肥料の寄与は約0.7%であった。

4. 結論

既往栽培歴が同じ水田の灌漑用水を下水処理水に転換した結果、CH₄発生量の増加を主要因として、GHGが増加した。湛水時のCH₄発生量が高かったことと土壌の酸化還元電位との負の相関をふまえると、土壌のEhをより好氣的に保つように農業用水や下水処理水の流量を制御することで、排出量の低減につながる可能性がある。今後の課題として、水稻の

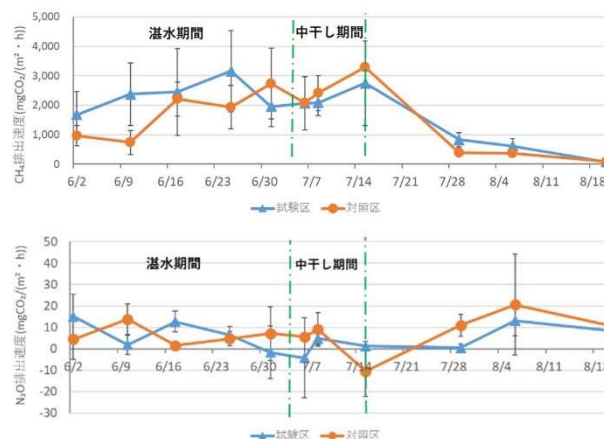


図1 時間経過に伴うGHG排出量変化
(上: CH₄ 下: N₂O)

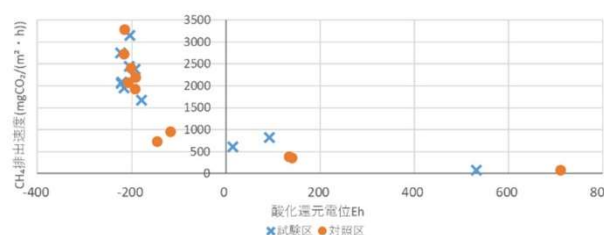


図2 酸化還元電位とメタン排出速度の関係性

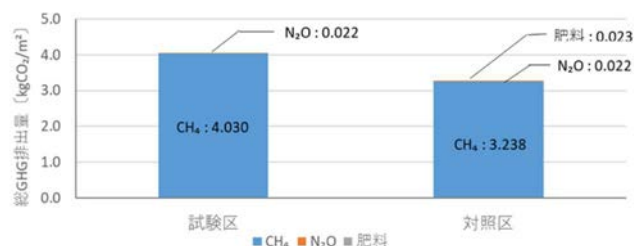


図3 試験区と対照区の総合的なGHG排出量

品質に配慮しつつ、GHGや環境負荷を最小化する下水処理水の最適利用方法を模索していくこと挙げられる。

謝辞

本研究は、公益財団法人住友財団の環境研究助成を受けて実施した

参考文献

- (1) Cecile de Klein and Mike Harvey, Nitrous Oxide Chamber Methodology Guidelines, July 2015
- (2) 農作物のCO₂排出量参考値-農林水産省(URL: https://www.maff.go.jp/j/budget/yosan_kansi/sikkou/tokutei_keihi/seika_h22/kanbou_kankyou_ippan/pdf/60100007_02.pdf)