

下水処理水灌漑で飼料用米を栽培する水田からの温室効果ガス放出と関連微生物群の解析

山形大学農学部	正会員	○渡部 徹
岩手大学大学院連合農学研究科	非会員	Phung Duc Luc
山形大学大学院農学研究科	非会員	宮澤優彰
山形大学農学部	正会員	西山正晃
秋田工業高等専門学校	正会員	増田周平
秋田県立大学生物資源学部	非会員	高階史章
山形大学農学部	非会員	Pham Viet Dung

1. はじめに

我々のグループが提案した下水処理水の連続灌漑による飼料用米栽培では、ベンチスケール実験¹⁾から始まり、パイロットスケール²⁾そして実規模の水田での実証実験を通して、肥料をまったく与えることなく、高タンパクの米を十分な量で収穫できる成果が得られている。一方で、処理水由来の有機物や窒素によって、水田からの温室効果ガス（メタン、亜酸化窒素）の放出増加が懸念される。本研究では、2018年に実施した先行研究³⁾に引き続き、処理水を連続灌漑する水田からの温室効果ガスの放出を調べた。また、温室効果ガス放出に関連する土壌微生物の群集解析も実施した。

2. 方法

2. 1 飼料用米栽培の概要

ベンチスケールの水田模型¹⁾を用いて、飼料用米（品種：べこあおば）の栽培実験を行った。模型には、山形大学附属農場の水田表層から採取した土壌を厚さ 15cm となるように敷き詰め、その最下部に設置した暗渠から下水処理水を連続灌漑した。処理水は鶴岡市内の下水処理場（標準活性汚泥法を採用）からの放流水を用いた。灌漑水量は先行研究³⁾に倣い、稲の生長に合わせて 1.5～4.5L/日で調整した。幼苗を移植後 43 日目から 1 週間は、灌漑を停止し土壌を乾燥させた（中干し）が、他の期間は田面の水深を 5cm に維持した。肥料は一切与えなかった。これを「試験区」として 3 反復の実験を行った。比較のための「対照区」も 3 反復準備し、同じ水田模型と土壌を用いて同品種の飼料用米を栽培した。対照区では、慣行栽培を想定した基肥と追肥を化学肥料で与え、灌漑用水としての水道水を、田面の水深を 5cm に維持するように毎日追加した。

2. 2 温室効果ガスの採取と分析

栽培期間を通して週 1 回の頻度で、チャンバー法⁴⁾を用いて水田から放出されるガスを採取した。そこに含まれるメタンと亜酸化窒素をガスクロマトグラフィーにより分析し、それぞれの放出フラックスを計算した。

2. 3 土壌微生物の群集解析

移植前、中干し直前、中干し直後、出穂期、収穫期のそれぞれで、水田模型の表層と底層の土壌を採取した。その土壌試料から DNA を抽出し、16SrRNA 遺伝子の次世代シーケンス解析により細菌および古細菌を含む微生物群集構造解析を行った。

3. 結果及び考察

3. 1 温室効果ガスの放出フラックス

試験区、対照区の水田からのメタンと亜酸化窒素の放出フラックスを図 1 に示す。メタンについては、試験区、対照区ともに中干しの後から放出が増加した。これは、時間とともに根圏に炭素源が蓄積された結果かもしれない。試験区に比べて対照区のメタン放出が多いことも、対照区で先に水稻が枯れ始め、その分解物が炭素源となったと考えている。亜酸化窒素については、栽培初期に放出のピークがあった。対照区で放出量が多いのは、基肥で与えた窒素量が多かったためであろう。その後は亜硝酸窒素の放出は両区ともに無視できる程度であった。

キーワード：下水処理水、水田、飼料用米、温室効果ガス、土壌微生物、微生物群集解析

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

メタンと亜酸化窒素を合わせた温暖化ポテンシャル（20年間）を求めると、試験区（ $6507 \pm 848 \text{ kgCO}_2\text{-eq/ha}$ ）で対照区（ $26518 \pm 6650 \text{ kgCO}_2\text{-eq/ha}$ ）よりも有意に低く、下水処理水を暗渠から連続灌漑することでこのポテンシャルを75%も削減できた。

3. 2 土壌微生物の群集解析

土壌微生物の群集構造解析の結果として、図2にメタン生成に関わる微生物の割合を示す。メタノサルシナ目が優占していた点は、他の水田土壌を対象にした研究結果と類似している。試験区と対照区に顕著な差が見られたのは出穂期以降の底層であり、試験区ではメタノミクロビウム目などの割合が少なかった。このことが、試験区でメタン発生が少ないこと（図1）に関連があるのかもしれない。

亜酸化窒素はアンモニア酸化と脱窒の両方のプロセスで生成されることが知られている。このうち、アンモニア酸化プロセスに関わる微生物では、ニトロソモナス科細菌とニトロソバエラ属の古細菌が検出された。ただし、試験区、対照区ともにその割合は非常に低く（0.0014%未満）、亜酸化窒素の著しい発生（図1）が認められた栽培初期でもその割合は増えなかった。このことから、アンモニア酸化にともなう亜酸化窒素の生成は少なく、もう1つの脱窒プロセスからの生成が卓越するものと想像される。

脱窒能を有する微生物は細菌・古細菌ともに非常に多い（60属以上）上に、今回の群集構造解析のような分子生物学的手法による脱窒菌の分類は現在でも難しい。今後、機能遺伝子の定量を行うことで、脱窒プロセスからの亜酸化窒素の生成について考察を深めたい。

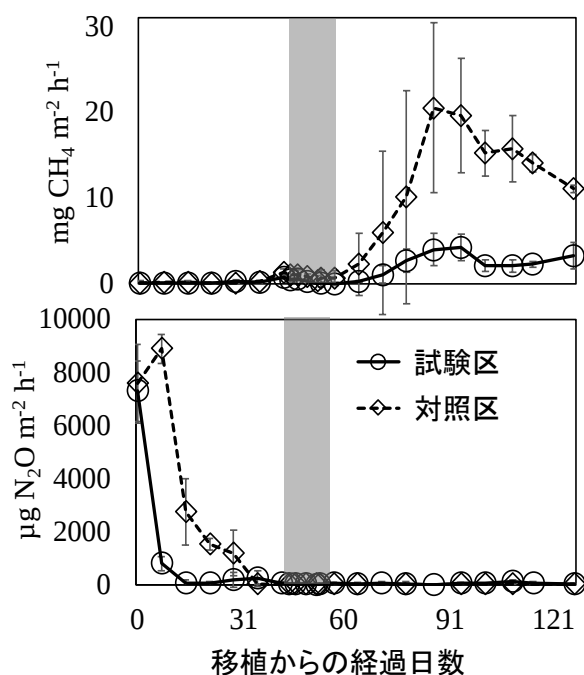


図1 試験区、対照区の水田からのメタンと亜酸化窒素の放出フラックス（グレーの期間に中干しを実施した）

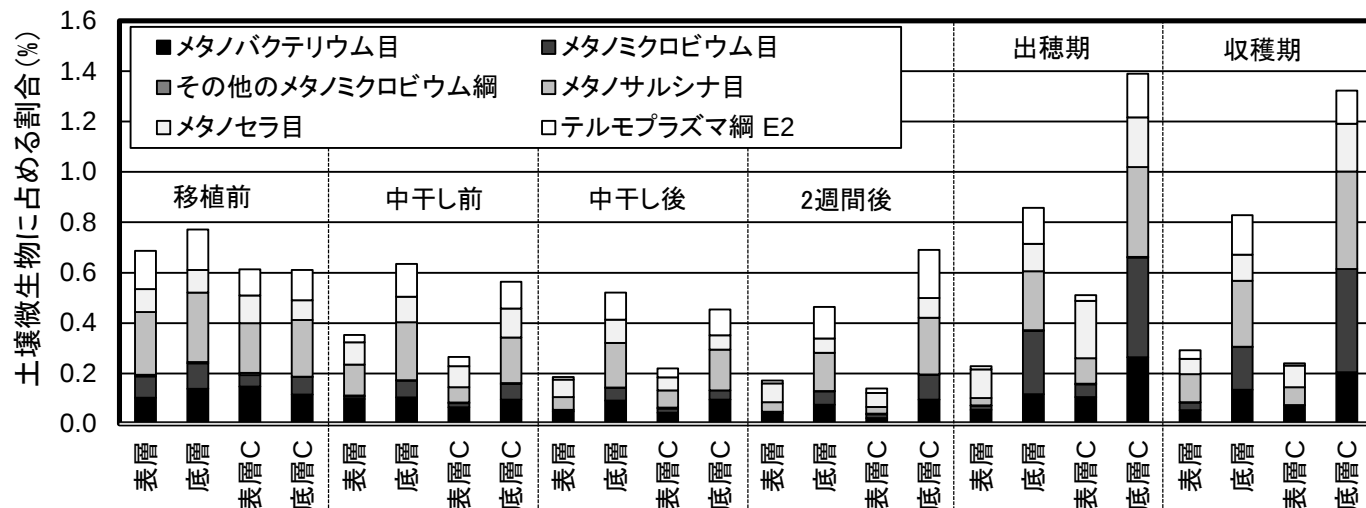


図2 水田土壌微生物のうちメタン生成菌が属することが知られている目や綱の微生物の割合（表層と底層が試験区の結果、表層Cと底層Cが対照区の結果である）

謝辞:本研究は、国土交通省下水道応用研究の支援を受けて実施した。ここに感謝の意を表する。

参考文献 1) 例えば, Pham et al. *Water Sci. Tech.: Water Suppl.*, 18(4), 1183-1195, 2017; 2) Tran et al. *Paddy Water Environ.*, 17, 507-513, 2019; 3) Phung et al. 12th IWA International Conference on Water Reclamation & Reuse, Berlin, 2019; 4) Minamikawa et al. *Guidelines for measuring CH₄ & N₂O emissions from rice paddies by a manually operated closed chamber method*. NIAES, Japan, 2015