

農地における温室効果ガス発生因子に関する研究

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2024-03-27 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 土井,俊弘 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10291/0002000350

「博士学位請求論文」審査報告書

審査委員 (主査) 農学部 専任教授

氏名 登尾浩助

(副査) 農学部 専任准教授

氏名 小島信彦

(副査) 農学部 専任准教授

氏名 服部俊宏

(副査) 東京農工大学 大学院農学研究院
准教授

氏名 西脇淳子

1 論文提出者 土井 俊弘

2 論文題名 農地における温室効果ガス発生因子に関する研究

(英文題) A study of greenhouse gas emission factors in agricultural land

3 論文の構成

本論文は以下のように6章から構成される。

第1章 序章

第2章 土壌乾燥密度で変化するCO₂, CH₄, N₂O放出量

第3章 δ¹⁵Nを用いた黒ボク土水田土壌中でのN₂O生成経路の特定

第4章 土壌亀裂体積が温室効果ガス放出量に与える影響

第5章 ライシメータ圃場での水管理の違いがガス生成に与える効果

第6章 結論

4 論文の概要

現在危惧されている地球規模での気候変動は、温暖化の原因物質である二酸化炭素(CO₂)、メタン(CH₄)、一酸化二窒素(N₂O)などの温室効果ガスの大気中濃度が上昇することによると考えられている。水田や畑地をはじめとした農耕地土壌は、温室効果ガス放

出源の一つである。

第1章では、従来の温室効果ガスに関する研究を網羅的に文献調査し、研究目的に向けた論理の組み立てを順を追って記述した。水田土壌では湛水後に土壌が還元状態となり、酸化還元電位 (Eh) が-150mV 程度に低下するとメタン生成菌の活動により CH₄ が生成される。土壌中で生成された CH₄ は、主にイネの通気組織を經由して大気中へ放出される。落水により土壌が酸化されるとメタン酸化菌により CH₄ が分解され、CH₄ 放出が抑制される。水田における CH₄ 放出量の抑制には、間断灌漑と中干しが効果的であると考えられている。一方、N₂O の生成経路は主に好気条件下で生じる硝化反応と嫌気条件下で生じる脱窒反応である。中干しや落水時の水田において土壌が好気条件になると N₂O 放出量が大きくなることが報告されているため、CH₄ と N₂O 放出はトレードオフの関係にあることが指摘されている。水田の中干しや間断灌漑ならびに落水によって土壌表面が露出する場合には、イネ通気組織経由のガス移動だけでなく土壌表面-大気間のガス移動もあわせて評価する必要がある。大気圧条件下では拡散移動がガス移動の大部分を占める。土壌中では降雨による体積含水率の増加や乾燥密度が高い耕盤層の存在によってガス拡散量が低下することが報告されている。乾燥密度と地表面からのガス放出量の関係は、好気的条件下の畑地や草地を対象とした研究が報告されているが、水田での研究の報告はほとんどない。粘質土表層では落水による土壌乾燥の進行に伴い亀裂が生じる。亀裂の発達には地下排水性の向上および保水能力の低下を生じさせることが予測される。さらに、土壌亀裂がガス・水移動に与える影響を定量的に評価することは、亀裂を通して移動する炭素・窒素成分の評価をはじめ、水田における物質循環解明の一助になることが期待される。このように水田においては、土壌中の微生物活動や土壌の物理的性質および水管理法といった複数の要因が、ガス生成および大気-土壌間のガス移動に影響をおよぼしていると考えられる。そこで本研究では、農地における温室効果ガス発生因子に関して室内実験および圃場実験を通して調査することとした。

第2章では、土壌乾燥密度の違いが土壌-大気間における CO₂、CH₄ および N₂O 移動に与える影響を明らかにした。3つの異なる乾燥密度に調整した水田土壌を使って非湛水条件下における室内実験を実施した。その結果、乾燥密度が高い土壌で CO₂ および N₂O ガス放出量の積算値が低下する傾向が見られたが、乾燥密度間での有意差はなかった。CH₄ ガス放出量は、すべての乾燥密度で低い値を示した。小さい乾燥密度では気相率が高い状態が実験期間中維持されたことで、土壌中の微生物呼吸により土中 CO₂ ガス濃度が増加したと推察されたが、CH₄ と N₂O 濃度では乾燥密度の違いによる経時的な差異は生じなかった。実験開始後6時間以降は、N₂O 生成の基質となる窒素成分がカラム土壌内で枯渇したことが示唆された。ガスフラックスから算出した相対ガス拡散係数 D_p/D_o (D_p は土壌中のガス拡散係数、 D_o は大気中のガス拡散係数) は、ガス種および乾燥密度への大きな依存性はなかった。本研究で算出した D_p/D_o は既往の研究に比べて小さくなった。既往研究では土壌中でのガス分解・生成が無視できる程度の短時間に D_p/D_o を算出しているのに対して、本研究では長時間に渡る実験に対してガス分解量を考慮しないで D_p/D_o を算出したためと推察された。

第3章では、黒ボク土を供試土壌とし $\delta^{15}\text{N}$ 同位体を利用して土壌水分が N₂O 生成経路に与える影響を明らかにすることを目的とした。黒ボク土は関東以北では水田としても多く利用されている土壌である。土壌水分を間断灌漑、湛水、そして湛水後落水の3条件に

設定した 1/2000 アールワグネルポットの地表面に硫酸アンモニアを窒素量 $8.8 \text{ kg } 10 \text{ a}^{-1}$ 相当施与した。実験期間中に放出した N_2O の窒素安定同位体比 ($\delta^{15}\text{N}$) と窒素安定同位体位置優先順位 (SP 値)、および表層土壌中の $\text{NH}_4^+ \cdot \text{NO}_3^-$ 濃度の時間変化を測定した。その結果、間断灌漑条件下では、 N_2O 生成量はわずかであったが、硝化による生成が脱窒に比べて優勢であった。湛水条件下では、湛水開始から 24 時間にかけては硝化による生成量が大きく、その後 24 時間から 144 時間にかけては硝化よりも脱窒による生成量が大きくなった。落水条件下では、脱窒よりも硝化の方が N_2O 生成量が大きくなった。 $\delta^{15}\text{N}$ と SP 値には有意な負の線形関係があった。この関係は、軽い窒素原子 (^{14}N) は重い窒素原子 (^{15}N) に比べて酸素原子の隣に位置し易い傾向があることを示している。黒ボク土で線形回帰式の傾きが他の土壌に比較して大きいことは先行研究と同様であった。

第 4 章では、水田土壌での亀裂形成がガス放出量に与える影響を明らかにすることを目的としたライシメーター実験を行なった。灰色低地土を充填したライシメーターを湛水し、その後の落水によって生じた亀裂の大きさと温室効果ガスフラックスの関係を明らかにした。 CO_2 と N_2O ガスの積算フラックスは、土壌亀裂の体積の増加とともに増加した。 CH_4 ガスは土壌が乾燥しているため放出は見られなかった。 CO_2 と N_2O ガスフラックスの増加は亀裂体積の増加によってガス移動経路が増加したことに加えて、土壌中の微生物呼吸が促進されたためと推察した。

第 5 章では、水管理の違いによる水稻栽培が温室効果ガス放出に与える影響を明らかにするためにライシメーター実験を行なった。間断灌漑を取り入れたイネ強化栽培法 (SRI) による従来の水稻栽培は、熱帯地方のインディカ種では増収の報告が多いが、温帯地方のジャポニカ種では減収になることが報告されている。ところが SRI 法の先行研究のうち、中干しまでの湛水とその後の間断灌漑を組み合わせた複合間断灌漑によってジャポニカ種のキヌヒカリで増収することを報告した例がある。本実験では、複合間断灌漑 SRI 法によってジャポニカ種のコシヒカリを栽培し、温室効果ガス放出量および収量を中干しと常時湛水を組み合わせた慣行農法と比較した。複合間断灌漑 SIR 法では、乳苗移植後 26 日までは湛水状態を維持し、その後は中干し後の湛水時期を除いて 2 日間断灌漑を継続した。既往の研究と同様に CH_4 および N_2O ガスフラックスが土壌酸化還元電位、地温、生育状況に大きく影響を受けることがわかった。 CO_2 を基準とした温暖化係数を使った温室効果ガス総放出量は、複合間断灌漑 SRI 法で慣行農法と比較して約 87% 小さくなった。玄米単位面積当たりの収量は複合間断灌漑 SRI 法で慣行農法と比較して 5% 程度高くなった。これらの傾向は、キヌヒカリを使った既往の研究結果と同様であった。したがって、複合間断灌漑を取り入れた SRI 栽培は、温帯地域の中部日本においてジャポニカ種を使った場合でも、温室効果ガス放出量の抑制と収量向上の両立が可能な水田管理であると考えられる。

第 6 章では、第 2 章から第 5 章までの実験で得られた結果をまとめた。土壌物理性および水管理は、土壌中のガス生成経路とガス移動経路に効果を及ぼした。これらの結果からコメ収量を維持しつつ温室効果ガス放出量を低減した持続的な水田水管理法が可能であると考えられた。

5 論文の特質

従来、土壌中のアンモニウムイオンと硝酸イオンの濃度と窒素安定同位体比と地表面における N_2O ガスフラックス測定から N_2O 生成系路の推定がされてきたが、本研究は N_2O ガス中の窒素安定同位体の酸素原子との結合位置を測定することにより、土壌水分量の変化によって硝化過程と脱窒過程が複雑に組み合わさって N_2O ガスが生成されていることを明らかにした画期的な研究である。また、土壌中で生成された温室効果ガスが土壌間隙を通して大気中へ放出される量が土壌の乾燥密度と乾燥ひび割れの大きさによって制御されていることを定量的に明らかにした。さらに、複合間断灌漑 SRI 法を使うと温帯地域においてもジャポニカ種キヌヒカリと同様にコシヒカリの増収と水田からの温室効果ガス放出量削減が可能であることを実験的に示した。従来は定性的にしか取り組んで来られなかった農地における温室効果ガス放出メカニズムに着目した本研究の意義は大きく、その一端を明らかにしたことが本論文の特質である。今後の研究の方向性を示した挑戦的かつ先駆的な研究成果である。

6 論文の評価

本論文を構成する各章のうち、第2章と第3章の内容は著者が筆頭著者としてまとめて既に学術誌に掲載許可済みである。また、第4章と第5章の内容も学術誌への投稿準備中であるので、全体として完成度と新規性の高い論文であると評価できる。内容の新規性、獨創性、将来への発展性、農業及び環境分野への貢献等を総合的に判断して、極めて高く評価することができる。

7 論文の判定

本学位請求論文は、農学研究科において必要な研究指導を受けたうえ提出されたものであり、本学学位規程の手続きに従い、審査委員全員による所定の審査及び最終試験に合格したので、博士（農学）の学位を授与するに値するものと判定する。

以 上

主査氏名（自署） 登 辰 浩 助