



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Impact of multiple inter-tillage weeding on greenhouse gas emissions, carbon stock, and yield in organic rice farming paddy fields in Hokkaido [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	浪江, 日和
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(農学)
Dissertation Number	甲第16530号
Issue Date	2025-06-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/95729
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	NAMIE_Hiyori_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称： 博 士（農学）

氏名 浪江 日和

学 位 論 文 題 名

Impact of multiple inter-tillage weeding on greenhouse gas emissions, carbon stock, and yield in organic rice farming paddy fields in Hokkaido

(北海道の有機栽培水田における多数回の中耕除草が温室効果ガス・炭素貯留・収量に与える影響)

1. 背景と目的

二酸化炭素(CO_2), メタン(CH_4), 亜酸化窒素(N_2O)は主要な温室効果ガス(GHG)である。水田は世界の農業由来の CH_4 排出の約 22%, N_2O 排出の 11% を占め, その削減は重要な課題である。一方で, 水田は炭素貯留の大きな可能性を持ち, 地球温暖化の緩和において費用対効果の高い手段の 1 つとされている。また, イネ(*Oryza sativa* L.)は世界人口の約半数の主食であり, 人口増加に伴い食糧需要が大幅に増加することが予想されている。したがって, 収量を維持しつつ GHG 排出を削減しながら土壌への炭素貯留を促進する持続可能な稲作手法の構築が喫緊の課題である。水稻栽培中の多数回の中耕除草(MIW)法は、生育前期に 4 回以上の土壌表面の攪乱と雑草のすき込みを行うことで、無肥料・無農薬の有機栽培でありながら慣行農法に匹敵する収量が得られることがわかっている。さらに、中耕除草に伴う雑草のすき込みは炭素貯留量を向上させる可能性がある。MIW の攪乱に伴う田面水や土壌への酸素供給は CH_4 酸化菌を活性化し CH_4 排出量を大幅に削減する可能性があるが、MIW による収量、GHG 排出量、炭素貯留への影響は明らかになっていない。本研究では、MIW が GHG 排出、炭素貯留、収量に与える影響を解明し、持続可能な有機水田農法への適用可能性を評価することを目的とした。

2. 研究方法

北海道大学北方生物圏フィールド科学センターの試験水田にて調査を行った。年平均気温は 9.2°C , 年降水量は 1146 mm, 年間日照時間は 1718 時間である。土壌タイプは灰色低地土に分類され、品種はななつぼしを用いた。中耕除草の回数別に 0 回区(T0), 2 回/年区(T2), 5 回/年区(T5)の 3 処理区と、農薬・化学肥料を用いた慣行農法(CF)処理区をそれぞれ 3 反復で設けた。CF は圃場の位置が異なるため統計処理には用いず参照とした。

CH_4 ・ N_2O 排出経路に対する MIW の影響を評価する方法を開発するため、2022 年 6 月 10 日から 7 月 13 日、2023 年 6 月 9 日から 7 月 7 日にかけて、拡散・気泡・イネ経路での排出量と MIW による排出の定量化方法を評価した。拡散フラックスは閾値に基づいて正味の拡散フラックスを抽出した。気泡フラックスは気泡トラップ法を用いて測定した。イネフラックスは、総フラックスから拡散と気泡フラックスを差し引いて算出した。MIW による排出の測定には、新たに開発した攪乱機能を備えたチャンバーを用いて測定した。その他、環境因子として地温などの気象要素、草丈・分げつ数、酸化還元電位(Eh), 気泡態・溶存態 CH_4 ・ N_2O 濃度を測定した。

MIW が GHG 排出・炭素収支・収量に与える影響を評価するために、MIW の回数の違いによるそれらへの影響を 2019 年 5 月から 5 年間モニタリングを実施した。GHG(RH(従属栄養性呼吸), CH_4 , N_2O)フラックス, 0-3 cm 深の土壌理化学性(NO_3 , NH_4 , SO_4 イオン濃度など), イネの生育(草丈, 分げつ, 玄米収量, 純一次生産(NPP)など), 5 cm 深の酸化還元反応物質(Fe^{2+} 含量, Eh)を測定した。さらに、GHG 排出への影響を GHG 収支(GHGB), 収量と GHG 排出量の関係を GHG 排出強度(GHGI), 炭素貯留への影響を炭素収支(NECB)を用いて評価した。

3. 結果と考察

気泡態 CH_4 の存在は、気泡とイネ経路に影響を与えており、溶存態 CH_4 の多くが拡散経路で排出される傾向があった。高攪乱下(T5)では、MIW 経路の CH_4 排出を促進し、イネ経路からの排出を一時的に抑制した。一方で、MIW 経路の栽培期の総 CH_4 排出量への寄与は 3-8% と小さかった。 N_2O は主に溶存態で存在し、拡散経路を介して大気へ排出されていた。高攪乱下(T5)では、田面水および土壌中の N_2O 生成を促進する傾向にあり、さらに T5 における MIW 時の N_2O 排出量は栽培期の約 30% を占め、重要な排出経路であることが示唆された。

2022 年のみ MIW 区において総 GHG 排出の低下傾向が観察された。高攪乱が田面水や土壌中の N_2O 生成を促進する傾向が認められたが、総 GHG 排出への寄与は小さかった。一方、MIW による田面水の酸化は拡散経路での CH_4 排出量を抑制しただけでなく、物理的攪乱によって土壌中の気泡が破壊され、酸化された田面水中で CH_4 が消失した結果、イネ・気泡経路での CH_4 排出量も減少した。この CH_4 排出量の減少が、総 GHG 排出の低下に寄与したと考えられた。

GHGB は $\text{T0} < \text{T5} < \text{T2}$ の順で高く、RH および CH_4 排出量と有意な正の相関を示した。T2 および T5 では GHG 排出に異なる影響を与えたが、全体として MIW は GHG 排出を促進する傾向があった。T2 では雑草のすき込みと水管理の組み合わせにより栽培期の RH 排出量が増加した。また、T5 では酸素の利用効率が高まり、酸化還元電位が大きく変動することで嫌気環境が形成され CH_4 排出量が増加していた。MIW による攪乱は微生物の活性、とくに硫酸塩還元菌および鉄還元菌を活性させ、RH および CH_4 の基質となる有機酸の分解を促進した可能性が示唆された。

MIW 回数の増加により収量が増加する傾向があった。しかし、T5 の収量は北海道の平均値に匹敵せず、気候や土壌条件の違いが影響した可能性がある。GHGI は、 $\text{T5} < \text{T0} < \text{T2}$ の順で低く、MIW による増収効果が収量あたりの GHG 排出を低下させる傾向を示した。

NECB では $\text{T0} < \text{T5} < \text{T2}$ の順で炭素損失量が増加した。MIW は RH および CH_4 排出量を増加させ、炭素損失を加速させた可能性がある。また、NECB と RH は全処理区で有意な負の相関を示した。この回帰式の傾きは $\text{T5} < \text{T2} < \text{T0}$ であり、MIW の回数増加は RH 排出を促進し、NECB を低下させる可能性を示唆した。

4. 結論

MIW に起因する CH_4 排出は高濃度の気泡 CH_4 放出により総 GHG 排出増加の要因と考えられたが、実際にはほとんど寄与していなかった。さらに、総 GHG 排出が低下した 2022 年度の解析では、MIW により田面水の酸化強度が向上し CH_4 の酸化が促進することで、拡散、イネ、気泡の各経路による CH_4 排出が抑制される可能性が示された。しかしながら、MIW は RH および CH_4 排出を増加させ、総 GHG 排出の増加リスクを高める可能性がある。MIW の回数増加は CH_4 排出量が増加した一方で収量が向上したことから、MIW が増収と GHGI 低下に寄与する可能性が示唆された。また、栽培期における RH および CH_4 排出量の増加により、MIW は炭素損失のリスクを高めた。これらのことから、MIW の効果を最大限に引き出すためには、水管理の改善や難分解性有機物としてのバイオ炭の活用などの工夫が必要と考えられる。さらに、MIW に伴う酸素供給が RH や CH_4 の基質となる有機酸の分解に関与する硫酸塩還元菌および窒素固定能や CH_4 削減効果が期待されている鉄還元菌の活性を高める傾向が観察されたことから、MIW と酸化鉄の添加を組み合わせることで、さらなる収量増加と CH_4 排出削減が期待される。