



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Investigation on soil carbon loss mitigation through organic fertilizer application and enhanced rock weathering
Author(s)	YANG, Yilin; 楊, 倚麟
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(農学)
Dissertation Number	甲第16686号
Issue Date	2025-12-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k16686
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/98660
Type	doctoral thesis
File Information	YANG_Yilin_review.pdf, 審査の要旨 https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/



学 位 論 文 審 査 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博 士（農学） 氏名 楊 倚麟

審査担当者 主 査 教 授 当 真 要
副 査 教 授 信 濃 卓 郎
副 査 教 授 濱 本 昌 一
副 査 講 師 倉 持 寛 太 郎

学 位 論 文 題 名

Investigation on soil carbon loss mitigation through organic fertilizer application and enhanced rock weathering
(有機肥料投入と風化促進技術による土壌炭素損失緩和策に関する研究)

本論文は欧文 186 頁，図 33，表 15，8 章からなり，参考文献 1 編が付されている。

21 世紀中に世界平均気温の 1.5～2.0℃の上昇が予測される中、温室効果ガス削減が急務となっている。土壌は重要な炭素プールであり、陸地と大気間の CO₂ 交換量の 25%を占め、土壌炭素損失の緩和が重要な二酸化炭素除去 (CDR) 戦略として注目されている。土壌炭素損失緩和策は主に二つに分類される。第一は有機炭素施用による土壌炭素貯留の向上だが、既存の土壌炭素の損失リスクがあり、炭素源となる有機資材の炭素貯留効率に関する研究は依然として少ない。第二は風化促進技術 (ERW) などの大気中 CO₂ 再固定・安定化だが、緩和量の定量的研究は十分ではない。本研究では、2 種類の土壌管理方法 (有機質肥料施用と ERW) による土壌炭素損失緩和量を定量化・比較し、実用化技術の科学的根拠の提供を目的とした。具体的には、(I) 有機資材の相違が炭素収支に及ぼす影響、(II) ERW による緩和量の定量化と適用環境の検討、を行った。

有機質肥料施用を評価するために、北海道大学静内研究牧場のリードカナリー採草地の多湿黒ボク土を用い、無施肥 (NF)、化学肥料 (IF)、堆肥 (M)、スラリー (S) と消化液 (D) 区を 3 反復で 25℃の好気条件下で 91 日間暗所培養した。圃場実用量に基づき有機資材を風乾土壌に混和し、CO₂、N₂O、NO、CH₄ 排出量および理化学性を計 14 回測定した。培養終了時、土壌有機態炭素 (SOC)、易酸化有機炭素 (LOC)、難分解性有機炭素 (ROC)、バイオマス炭素 (MBC)、水溶性有機炭素 (WSOC) を分析した。投入炭素量に対する分解炭素の割合を炭素分解率 (CDP)、純炭素蓄積の割合を炭素貯留効率 (CBE) として炭素動態を評価した。その結果、全有機肥料区で SOC は NF 区より有意に増加したが、増加量は炭素投入量に比例せず、M 区は S 区や D 区より有意に小さかった。M 区の持続的な N₂O 排出パターンと相関解析から CO₂ フラックスと土壌特性間の相関が弱まったことが示され、堆肥粒子の局所的な嫌気環境の形成が示唆された。CBE は D 区が S 区より有意に高く、スラリー中の炭素は嫌気発酵による易分解性炭素の事前分解のため土壌施用後の急激な分解が抑制され、持続的な炭素貯留への寄与が示された。以上から、消化液は炭素投入量が少ないが、最低の CO₂ 排出と最高の貯留効率を示し、炭素損失緩和に最適と考えられた。

ERW 評価のため、2023 年 5 月から 9 月にかけて北海道大学 FSC 研究農場の圃場にて玄武岩粉施用区 (B) (150 t ha⁻¹) と無施用区 (NB) をそれぞれ 3 反復で設けダイズを栽培した。さらに、各区画の中に植栽区と裸地区を設けた。栽培期間中、各裸地区の CO₂ フラックス (F_{CO2}) と植栽区で大豆の光合成を含めた CO₂ 交換量 (NEP)、15 cm 深土壌の理化学性、5 cm 深地温、体積含水率 (VWC)、光量子強度を測定した。F_{CO2} と NEP は地温、VWC と光量子強度を説明変数とするモデルを構築した。非根域と根域での ERW による CO₂ 吸収量を ERWs と ERWp と定義し、ERWs は B 区と NB 区の裸地区の F_{CO2} の差、ERWp は B 区と NB 区の植生区からの NEP の差から ERWs を引いて求めた。さらに、作物

純一次生産（NPP）と収穫持出量（E）を分析し、表層土壌からの炭素溶脱量（L）は土壌溶液の炭素濃度と浸透水量から求めた。炭素収支（NBP）は炭素輸入（NPP、ERWs、ERWp）から炭素輸出（ R_h 、L、E）の差で求めた。その結果、調査期間中で B 区の pH は NB 区より有意に高く、玄武岩粉施用による土壌 pH の改善効果が示された。B 区と NB 区の F_{CO_2} に有意差がなく、ERWs の日累積量と pH や VWC との負の関係から、非根域での ERW による CO_2 吸収が pH 上昇や降水に伴う微生物呼吸の促進で相殺された可能性がある。根域での有意な CO_2 吸収により ERWp の累積量は有意な正の値を示し、特に作物根からの分泌物が多いとされる子実肥大期と成熟期の平均累積量が他の時期より高かった。風化過程で利用可能となった金属イオン供給による作物生育の促進や、根分泌物と金属イオンの結合による岩石溶解促進との相互促進効果が主要因と考えられた。NBP の結果から、玄武岩粉施用により $0.79 \text{ Mg C ha}^{-1}$ 程度の炭素損失緩和効果が示された。以上の結果から、玄武岩粉施用による生態系の炭素ロス緩和効果は主に根域での CO_2 吸収であり、発達した根系を持つ作物栽培体系での ERW の応用が期待された。

以上の研究は、有機質肥料の利用と ERW の炭素損失緩和効果を同一枠組みで比較し、資材×環境×時期が効果を規定することを明らかにし、短期的な土壌への固定には消化液の施用、植栽圃場の継続的な炭素ロス削減は ERW が適していることが示された。本研究における異なる炭素資源に着目した土壌炭素貯留・損失の評価とメカニズムの解明は、今後益々重要性が増す農業分野における CDR 技術の発展と実用化に重要な知見を提示するものと評価できる。

よって、審査員一同は、楊 倚麟が博士（農学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと認めた。