

積雪寒冷地の遊休農地における緑肥栽培が土壌の二酸化炭素動態および炭素貯留に及ぼす影響

Effects of green manure cultivation on soil carbon dioxide dynamics and carbon sequestration in unused farmland in snowy cold regions

¹加藤千尋・¹藤野真矢・¹木村京平・²佐藤直人・³青木伸輔・⁴小島悠揮

¹Chihiro KATO, ¹Shinya FUJINO, ²Kyohei KIMURA, ²Naoto SATO, ³Shinsuke AOKI, ⁴Yuki KOJIMA

1. はじめに

土壌は地球規模で大気の約 2 倍の炭素を貯留し、温暖化緩和策として土壌の炭素貯留能が期待されている。本研究では、遊休農地における農地利活用として土壌炭素貯留を試みる。

土壌における炭素貯留を促進する方法として土壌への有機物施用が挙げられ、特に緑肥は土壌有機炭素 (SOC) の増加に有利である (Walker et al., 2023)。また、土壌への有機物供給は土壌の団粒安定性を高め、SOC は径が 0.25 mm 以上のマクロ団粒内に優先的に貯留されることが報告されている (Kong et al., 2005)。一方、緑肥栽培が土壌からの温室効果ガス (GHG) 排出量に及ぼす影響について、温暖な気候条件下の水田では多くの測定例があるものの、寒冷地の畑地において土中の CO₂ 動態も含めた検討はほとんど例がない。以上を踏まえ本研究は、積雪寒冷地の遊休農地において緑肥栽培が土壌の CO₂ 動態及び土壌炭素貯留に及ぼす影響を把握することを目的とした。

2. 材料および方法

2.1 研究対象地および土壌モニタリング

本研究は青森県黒石市沖浦厚目内集落 (標高 441 m) の 3 か所の圃場を対象とした。試験区をそれぞれ、「緑肥区」：過去 6 年間、5 月後半にエンバクを播種し翌年春にすきこみを継続、「遊休区」：過去 3 年以上作付けしておらず以前は園芸作物を栽培、「雑草区」：休耕地であり、過去 8 年、年に一度、春季に雑草をすきこんでいる農地である。圃場間の直線距離は、遊休区と緑肥区が約 700 m、緑肥区と雑草区が約 120 m 離れていた。2024 年 6 月～7 月にかけて各圃場において深さ 10 cm と 30 cm に土壌水分・地温・EC センサ (5TE; METER 社)、水ポテンシャルセンサ (TEROS-21; METER 社) および CO₂ 濃度センサ (GMP251; Vaisala) を埋設した。また、同年 8 月 7 日、9 月 5 日、10 月 31 日、11 月 15 日にクロードチャンバー法によって地表面から放出される CO₂ フラックス(以降、「地表面 CO₂ フラックス」と表記) を測定した。なお、チャンバー内の CO₂ 濃度は Trace Gas Analyzer (LI7810; LI-COR Bioscience 社) によって連続測定した。

対象圃場において、2023 年 12 月にライナー採土器 (大起理化工業) を用いて地表面深さ 0–30 cm の土壌試料を採取後、地表面 (深さ 0 cm) から深さ 10 cm ごとに切り分けた。さらに 2024 年 9 月に深さ 0–10 cm の攪乱土壌を採取した。採取した試料は分析日まで実験室にて 4℃で保存し、2 mm ふるい通過後の試料の土粒子密度、土性 (ピペット法)、強熱減量 (550℃, 1 時間) を測定した。また 2024 年 9 月に採取した土壌について 4.75 mm ふるいを通過させた後、Yorder 型土壌団粒分析器 (大起理化工業) に組ふるい (開き目 2.0 mm, 1.0 mm, 0.5 mm, 0.25 mm) を装着し湿式ふるい分けによる団粒分析を行った。その後、0.25 mm ふるい通過分をさらに 0.053 mm ふるいに通し、各サイズの団粒の乾燥質量を求めた。さらに各サイズの団粒をすり潰し、NC アナライザー (Vario Cube EL; Elementar 社) を用い、それぞれの全炭素・全窒素割合を測定した。

3. 結果と考察

3.1 圃場の土壌物理性

緑肥区、雑草区、遊休区の土性はそれぞれ埴壤土、砂質壤土、砂土で、圃場間の距離は数百 m であったが 3 区とも土性が異なった。強熱減量 (kg kg⁻¹) は、緑肥区 (14.9±0.08%) > 雑草区 (12.1±0.09%) > 遊休区 (9.00±0.01%) となり、緑肥すき込みは雑草すき込みと比較して土中の有機物含量を増加させやすい傾向にあるといえる。

なお、3 圃場間で観測期間を通じて地温の差はほとんどなかった。

¹ 弘前大学農学生命学部 Faculty of Agriculture and Life Science, Hirosaki University ² 明治大学農学部 ³ 香川大学農学部

⁴ 岐阜大学工学部 キーワード：緑肥、温室効果ガス、耐水性団粒、炭素貯留、耕作放棄地

3.2 土中 CO₂ 動態

図 1 に月別平均土中 CO₂ 濃度の比較を示す。遊休区の深さ 30 cm は、センサ不具合により欠測となった。雑草区の土中 CO₂ 濃度は深さ 10 cm, 30 cm において、それぞれ緑肥区の 1.7~2.5 倍, 2.0~2.7 倍であった。また、遊休区の深さ 10 cm の土中 CO₂ 濃度も緑肥区を上回っていた。図 2 に地表面 CO₂ フラックスの比較を示す。有意差は認められなかったが、9 月から 11 月のいずれの測定日も緑肥区の地表面 CO₂ フラックスが小さくなる傾向があった。これは、緑肥区の土中 CO₂ 濃度が他試験区と比較して低かった結果 (図 1) と矛盾しない。土壌呼吸のうち根呼吸について、エンバクには雑草抑制効果が知られており (農研機構, 2020), 緑肥区は雑草区と比較すると明らかに雑草が少なかった。雑草区, 遊休区では密生する雑草により、緑肥区と比較して根呼吸速度が高かった可能性がある。

3.3 耐水性団粒径分布および各画分における炭素量

耐水性団粒試験の結果、マクロ団粒 (0.25 mm 以上) の割合は雑草区 (76.8%) > 緑肥区 (59.7%) > 遊休区 (43.9%) であった (データ非掲載)。図 3 に、各区、各画分の (a) 全炭素割合、(b) C/N 比を示す。全炭素割合は、すべての画分で緑肥区が最も高く、遊休区の約 3.2 倍、雑草区の約 1.6 倍となった。緑肥区では全炭素割合が最も高いのは 0.053~0.25 mm のミクロ団粒であった。また、マクロ団粒のうち 2 mm 以上の画分の全炭素割合も大きかった (図 3 (a))。C/N 比は遊休区が最も低く、雑草区と緑肥区は 11~12 程度と値が類似していた。緑肥区は全炭素割合が高いため、地力として重要な全炭素および全窒素量を維持できているといえる。他方、C/N 比は、すべての区において団粒径が大きいほど高い傾向があり、マクロ団粒に優先的に炭素が貯留されている可能性が示唆された。

4. まとめ

緑肥栽培圃場は、遊休農地や雑草のみをすき込む休耕地と比較すると、地表面から放出される CO₂ フラックスが小さくなる傾向にあった。また、緑肥をすき込むことによって、雑草のみをすき込む場合よりも土壌の強熱減量や全炭素量は増加し、炭素貯留効果が確認された。耐水性団粒試験の結果、本対象地においては、全炭素割合が最も高いのはミクロ団粒の画分である一方、C/N 比は団粒径が大きいほど高くなる傾向があった。

参考文献 : Kong et al. (2025) Soil Sci. Soc. Am. J., 69:1078–1085;
Walker et al. (2023), Appl. Soil Ecol.; 187: 104836
農研機構 (2020) https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/134374.html

謝辞 : 本研究は科研費 (基盤(C)24K09121) の支援を受けて実施しました。研究の遂行にあたり、黒石市企画課および農林課にご協力いただきました。また、現地試験圃場の土地所有者・関係者の皆様には、圃場の利用や栽培管理で便宜を図っていただきました。ここに記し謝意を表します。

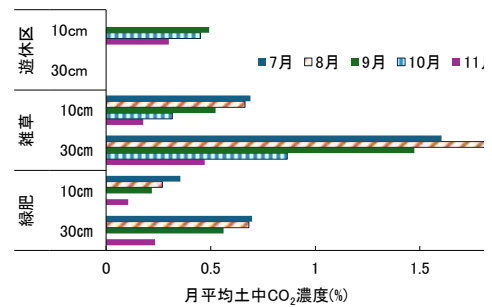


図 1 月別平均土中 CO₂ 濃度

Fig.1 Average monthly soil CO₂ concentrations

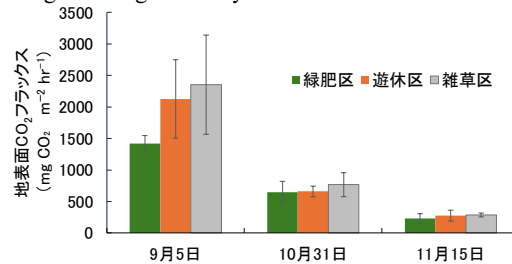


図 2 地表面から放出される CO₂ フラックス
Fig.2 Measured soil CO₂ flux emitted from the soil surface

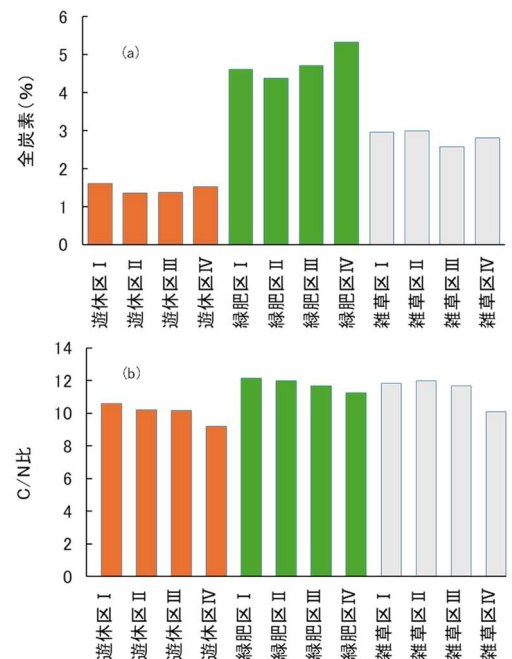


図 3 団粒径画分ごとの全炭素割合(a)および C/N 比(b)。ただし、I: 2 mm 以上, II: 1~2mm, III: 0.25~1mm, IV: 0.053~0.25mm の径の団粒径画分を表す。

Fig.3 Total carbon content (a) and C/N ratio (b) for each particle size fraction.