

B-14 バイオ炭および緑肥の土壌混和が水分保持、 温室効果ガス発生に及ぼす影響

○前田 守弘^{1*}・宮本 一機¹・白 文波²・藤原 拓
永禮 英明¹・赤尾 聡史⁴

¹岡山大学大学院環境生命科学研究科 (〒700-8530 岡山県岡山市北区津島中3-1-1)

²中国農業科学院農業環境持続発展研究所 (12, Zhongguancun South St., Haidian, Beijing 100081, China)

³高知大学教育研究部自然科学系農学部門 (〒783-8552 高知県南国市物部乙200)

⁴鳥取大学大学院工学研究科 (〒680-8552 鳥取県鳥取市湖山町南4-101)

* E-mail: mun@cc.okayama-u.ac.jp

1. はじめに

カーボンニュートラル資材を原材料とするバイオ炭は土壌への炭素貯留効果が期待され、保水性や陽イオン交換容量を増加させる土壌改良資材として用いられる¹⁾。一方、バイオ炭施用による亜酸化窒素ガス (N₂O) 発生抑制効果は土壌水分等の環境条件によって変動し²⁾、未解明な点が残されている³⁾。

緑肥を土壌にすき込むと、養分供給に加えて土壌物理性が改善されるため作物増収が期待できる⁴⁾。しかし、緑肥すき込みに伴う N₂O および二酸化炭素 (CO₂) 発生に関する情報は少なく、早急な調査研究が求められる。本研究では、バイオ炭および緑肥の土壌混和が保水性、N₂O および CO₂ 発生に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。バイオ炭の原材料として、農業系廃棄物であるモミガラおよびヤシガラを用いた。また、緑肥として、窒素溶脱量削減に有効なクリーニング作物である飼料用トウモロコシ⁵⁾を供試した。

2. 試験方法

(1) 供試土壌および有機物

土壌は砂質土壌 (マサ土, 園芸用を購入) および水田土壌 (灰色台地土, 2011年11月に岡山県牛窓で採取) を供試した。土壌は風乾後2 mmで篩別したものを用いた。有機物として、モミガラ炭, ヤシガラ炭 (500°C, 60分間焼成), 緑肥 (2011年10月に収穫したトウモロコシ地上部) を使用した。供試土壌および有機物の特性を表-1および表-2に示す。砂質土壌および水田土壌の砂画分はそれぞれ93%, 77%で、両土壌とも粘土画分は少なかった。また、水田土壌で全炭素, 全窒素含有量が高かった。Gilty

培地を用いたMPN法 (最確値法)⁷⁾で測定した脱窒菌数は砂質土壌で高かった。両バイオ炭ともアルカリ性を示し、陽イオン交換容量はモミガラ炭で高かった。

(2) 土壌の保水性変化

有機物混和土壌10 gをろ紙 (5C) にのせ、ろうとから水が滲出するまで蒸留水を添加し、最大保水量に設定した。その後、水分添加によって最大保水量を維持しながら25°Cで静置保存した。土壌含水比は1, 5, 10日後に測定した。10日後の試料についてのみ3反復で行った。

表-1 供試土壌の理化学性

測定項目	砂質土壌	水田土壌
粒径分布 粗砂 (%)	78	42
細砂 (%)	15	35
シルト (%)	6	16
粘土 (%)	1	7
陽イオン交換容量 (cmol _c kg ⁻¹)	6.6	8.0
pH (1:2.5)	8.1	7.7
全炭素含有量 (g kg ⁻¹)	0.0	7.9
全窒素含有量 (g kg ⁻¹)	0.0	0.8
NH ₄ -N 含有量 (mg kg ⁻¹)	0.4	4.1
NO ₃ -N 含有量 (mg kg ⁻¹)	1.6	0.2
脱窒菌数 (MPN g ⁻¹)	240	90

表-2 供試有機物の特性

測定項目	モミガラ炭	ヤシガラ炭	トウモロコシ
全窒素含有量 (g kg ⁻¹)	20	32	88
陽イオン交換容量 (cmol _c kg ⁻¹)	71	16	-
pH (1:10)	9.4	9.0	5.9
NH ₄ -N 含有量 (mg kg ⁻¹)	0.6	1.3	35.6
NO ₃ -N 含有量 (mg kg ⁻¹)	2.1	0.5	20.6

(3) ガス発生速度および無機態窒素含有量

風乾土壌 10g, 有機物 0.2g を 100mL 容バイアル瓶内で混和した。次いで、土壌水分が最大保水量、硝酸態窒素 ($\text{NO}_3\text{-N}$) 含有量が 100mg N kg^{-1} になるよう調整し、 25°C で静置培養した。培養期間中は土壌水分を毎日調整した。砂質土壌は 1, 5, 10 日後、水田土壌は 1, 3, 5, 10 日後に N_2O および CO_2 発生速度を測定した。実験は各 3 連で行った。ガス採取の前日にバイアル瓶をブチルゴム栓で密閉し、 N_2O および CO_2 濃度の増加分から発生速度を算出した。 N_2O 濃度は ECD 付ガスクロマトグラフィー (島津製作所製: GC8-A), CO_2 濃度は TCD 付 GC8-A で分析した。ガス発生速度は以下の式で求めた。

$$F = \rho_{T=0} \frac{CV}{m} \frac{273}{273+T} \quad (1)$$

ここで、 $F(\text{mg N kg}^{-1} \text{d}^{-1})$: N_2O 発生フラックス、 $\rho_{T=0}(\text{g N m}^{-3})$: 0°C におけるガス密度 (N_2O : $1.25 \times 10^3 \text{ g N m}^{-3}$, CO_2 : $0.536 \times 10^3 \text{ g C m}^{-3}$), $C(10^6 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3} \text{d}^{-1})$: N_2O 濃度変化、 $V(\text{m}^3)$: 気相体積、 $m(\text{g})$: 土壌量、 $T(^\circ\text{C})$: 培養温度である。ガス濃度測定後に、土壌 pH および $\text{NO}_3\text{-N}$, アンモニア態窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$) 含有量を測定した。

(4) 統計処理

有機物処理と無処理における平均値について、エクセルの t -test 関数を用い、 $P=0.05$ で有意差検定を行った。

3. 結果および考察

(1) 土壌保水能

ヤシガラ炭および緑肥の混和によって、両土壌とも最大保水量に相当する含水比が高く推移した (図-1)。含水比は日ごとに減少する傾向にあった。10 日後には、砂質土壌では緑肥処理のみで含水比が有意に高かった ($P < 0.05$)。一方水田土壌では、10 日後に、緑肥とヤシガラ炭処理で含水比が有意に高かった ($P < 0.05$)。モミガラ炭施用によって土壌保水能は向上しなかった。

(2) 土壌 pH および無機態窒素

有機物施用によって両土壌とも pH が上昇し、その傾向は砂質土壌で顕著であった (データ省略)。10 日後の両土壌において、緑肥およびモミガラ炭処理の土壌 pH は無処理土壌よりも高かった ($P < 0.05$)。

異なる有機物添加に伴う土壌 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含有量の変化を図-2 に示す。砂質土壌に緑肥混和した場合、5 日後に $\text{NO}_3\text{-N}$ がほぼ消失した。一方、無処理、バイオ炭処理における $\text{NO}_3\text{-N}$ 含有量の減少は緑肥処理に比べて大幅に小さかった。砂質土壌では緑肥処理によって保水性が高まっており (図-1)、脱窒しやすい条件であったと思われる。全炭素含有量が砂質土壌よりも高い水田土壌では、全処理において、初期土壌に含まれる 100 mg N kg^{-1} の $\text{NO}_3\text{-N}$ が培養 1 日で速やかに減少した。その傾向は緑肥処理にお

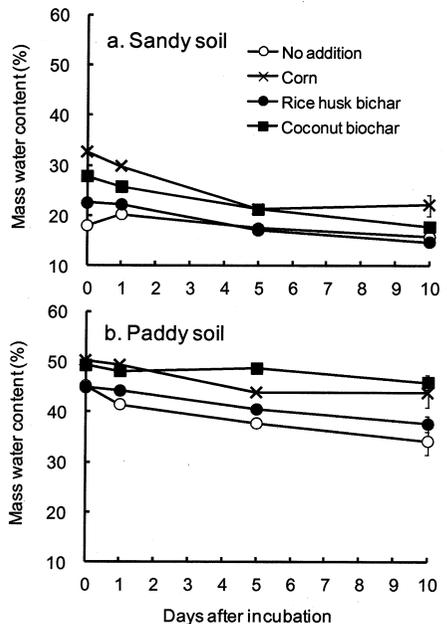


図-1 土壌含水比の変化 (a.砂質土壌, b.水田土壌)

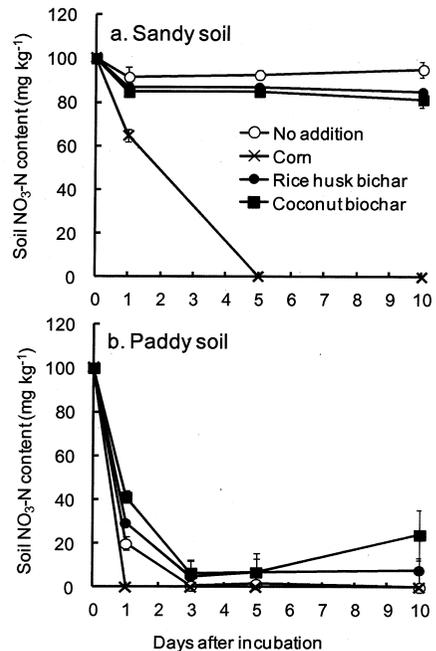


図-2 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含有量の変化 (a.砂質土壌, b.水田土壌)

いて顕著であった。これは緑肥分解に伴う易分解性有機物の供給により脱窒が促進されたためと考えられる。また、モミガラ炭を混和した水田土壌の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含有量は 10 日後に再び 20 mg N kg^{-1} まで上昇した。

砂質土壌では培養期間を通して、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 含有量は 0.3

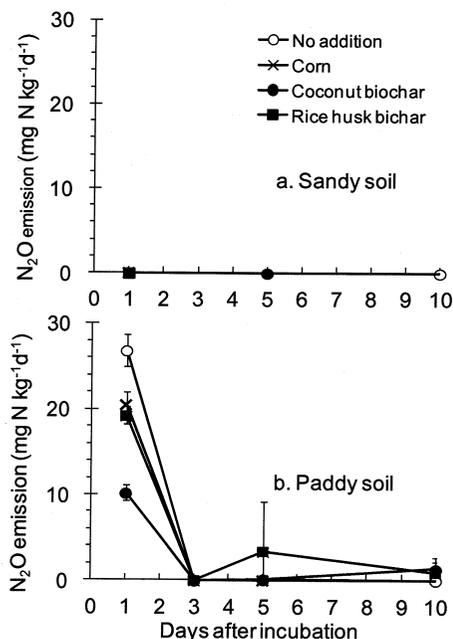


図3 N₂O発生速度の変化 (a.砂質土壌, b.水田土壌)

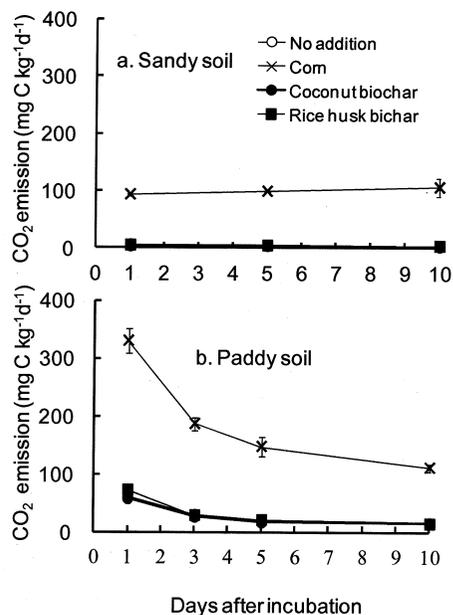


図4 CO₂発生速度の変化 (a.砂質土壌, b.水田土壌)

mg N kg⁻¹以下で推移した(データ省略)。一方、緑肥処理を除く水田土壌では、NH₄-N含有量が培養1日後から上昇し、3日後、5日後には約40 mg N kg⁻¹に達した。しかし10日目にNH₄-Nはほぼ消失した。これは、水田土壌に含まれる有機物の無機化によってNH₄-N含有量が一時増加するものの、その後硝化によってNO₃-Nに変化したものと考えられる。これはモミガラ炭で10日後におけるNO₃-N含有量の増加と対応している。

(3) N₂OおよびCO₂発生速度

砂質土壌ではN₂Oはほとんど発生しなかった(図-3)。一方水田土壌では、試験開始から1日後にN₂O発生速度が最大となった。また、緑肥およびバイオ炭を水田土壌に混和すると、この時期のN₂O発生速度が有意に低下した($P < 0.05$)。水田土壌ではNO₃-N含有量が1日目に激減しており(図-2)、NO₃-N減少量に対するN₂O発生量の比は、無処理33%、緑肥20%、ヤシガラ炭17%、モミガラ炭27%であった。また、N₂O発生量は初期土壌に含まれるNO₃-N含有量の1~3割弱に相当した。

両土壌におけるCO₂発生は緑肥処理で顕著に高かった(図-4)。砂質土壌のCO₂発生速度の平均は99 mg C kg⁻¹ d⁻¹で、10日間の積算発生量は概ね1 g C kg⁻¹に達する。これは施用トウモロコシ(C含有量438 g kg⁻¹)、C添加量8813 mg C kg⁻¹の11%に相当する。水田土壌は全炭素含有量が高いため、無添加、バイオ炭施用においてもCO₂発生がみられたが、有意差はなかった($P > 0.05$)。

4. 結論

ヤシガラ炭および緑肥を土壌混和すると保水性が向上した。水田土壌では、バイオ炭および緑肥混和によって初期のN₂O発生速度が有意に低下した。CO₂発生速度は緑肥によって増加したが、バイオ炭では増加しなかった。

謝辞: 本研究はJST, CRESTの研究助成により実施した。日本植生グループ本社の林聡氏、横山理英氏にはバイオ炭を制作していただいた。高知大学近藤圭介氏にはトウモロコシを提供いただいた。この場を借りて感謝します。

参考文献

- Clough T.J. and Condon L.M.: Biochar and the Nitrogen Cycle: Introduction, *Journal of Environmental Quality*, Vol. 39, pp. 1218-1223, 2010.
- Yanai Y., Toyota K. and Okazaki M.: Effects of Charcoal Addition on N₂O Emissions from Soil Resulting from Rewetting Air-Dried Soil in Short-Term Laboratory Experiments, *Soil Science and Plant Nutrition*, Vol. 53, pp. 181-188, 2007.
- Clough T.J., Condon L.M., Kamman C. and Müller C.: A Review of Biochar and Soil Nitrogen Dynamics, *Agronomy*, Vol. 3, pp. 275-293, 2013.
- 農業・生物系特定産業技術研究機構編: 最新農業技術事典, pp. 2003, 農文教, 2006.
- 前田守弘, 仲宗根安弘, 岡本啓史, 浅野裕一, 藤原拓, 永禮英明, 赤尾聡史: クリーニングクropp導入によるナス施設栽培休閑期における栄養塩溶脱負荷の削減, 土木学会論文集G (環境), Vol. 68, pp. III_103-III_111 (2012)
- 近藤圭介, 藤原拓, 大年邦雄: クリーニングクroppによるハウス土壌集積窒素の除去に関する基礎的検討, 環境工学研究論文集, Vol. 46, pp. 313-319, 2009.
- 土壌微生物研究会編: 土壌微生物実験法, pp. 411, 養賢堂, 2011.
- 農林水産バイオリサイクル研究「システム化サブチーム」: バイオマス利活用システムの設計と評価, pp. 267, 三祥印刷, 2006.