

異なる熱分解条件による馬ふんバイオ炭の性質と作物への施用効果

(愛媛大学大学院) ○若井圭吾, 久米崇, 治多伸介

1. はじめに

家畜排せつ物は 75%以上が堆肥化されており¹⁾ 主な処理方法となっている。しかし、家畜排せつ物発生量は地域的に偏在しており、農業形態もさまざまであることから堆肥は地域・季節的に需給のアンバランスが生じている¹⁾。近年は地域の実情に応じて堆肥化の他に炭化など家畜排せつ物の高度利用も行われている²⁾。家畜排せつ物由来バイオ炭³⁾の中でも牛ふんや豚ふん、鶏ふん由来のバイオ炭はその化学性⁴⁾や土壌施用時の作物への影響⁵⁾が研究されている。一方で、馬ふんは繊維質が多く、水分が少ないため扱いやすいが、馬ふんバイオ炭に関する研究は単一熱分解条件での栄養素の測定⁶⁾や複数の熱分解条件で作成されたバイオ炭自体の元素分析⁷⁾に留まっている。そのため、様々な熱分解条件における馬ふんバイオ炭の溶出成分や土壌施用時の肥料効果は明らかではない。そこで、本研究では熱分解温度、時間、方法の違いが馬ふんバイオ炭の溶出成分や土壌施用時の肥料効果に与える影響を明らかにすることを目的とする。

2. 試験方法

2.1. バイオ炭の作成

愛媛大学馬術部の厩舎で採取した馬ふんを 60℃で 72 時間炉乾燥した物を原料とし、20 g を小型プログラム電気炉により熱分解処理を行った。処理温度は 200℃, 250℃, 300℃, 350℃, 400℃, 500℃, 600℃, 700℃に設定し、各温度に対して 1 時間および 2 時間の熱分解処理を行った。また、簡便な方法としてペール缶に原料を詰め外側から焚火で熱する方法でもバイオ炭の作成を行った。処理時間は 1 時間および 2 時間で、ペール缶の内部温度について熱電対を使用してモニタリングした。収率は次式により算定した。

$$\text{収率 (\%)} = \frac{\text{バイオ炭の乾燥重量 (g)}}{\text{原料の乾燥重量 (g)}} \times 100$$

2.2. バイオ炭の化学的分析

各熱分解条件におけるバイオ炭の化学的性質を明らかにするため pH, EC, 水溶性陽・陰イオン含有量を測定した。pH, EC はバイオ炭 1.0 g に蒸留水 20 mL を加え 130 rpm で 90 分往復振とうした後の懸濁液を用い pH 計, EC 計で測定を行った。同懸濁液を各種フィルターでろ過した後、水溶性陽・陰イオンをイオンクロマトグラフィーで測定した。

2.3. 作物栽培による土壌施用効果の検証

栽培試験には後述する分析結果をもとに水溶性イオン含有量が多く、収率が高かった 300℃1 時間、一般的な焚火の温度である 600℃1 時間、簡便な方法で焚火によって 1 時間熱分解したものの 3 条件のバイオ炭を用いた。各種バイオ炭施用、化学肥料施用、土壌のみ (コントロール) の 5 条件でコマツナを栽培した。2 mm ふるいを通過後、風乾させた真砂土と 5 mm ふるいを通過したバイオ炭各 50 g または、化学肥料を 6 号ポットに充填し各条件 5 サンプル、計 25 ポットで試験した。栽培期間は 2024 年 11 月 15 日 ~ 2025 年 1 月 20 日の 67 日間で、1 月 21 日に収穫した。収穫後、各ポット最大株の根長と地上部長を測定した。また、1 ポットにつき 3 株を 70℃で 48 時間炉乾燥した後、1 株ずつの乾物重量を根と地上部それぞれで測定した。コマツナの長さ と乾物重量について有意水準 5% で分散分析を行い、有意差が認められた場合は Tukey 検定を行った。

3. 結果と考察

3.1. バイオ炭の収率

各熱分解条件によるバイオ炭の収率は 250℃以上で 9 ~ 45% を示した (図 1)。先行研究⁴⁾同様、温度・時間の増加に伴い収率は減少した。これは原料中の有機物が揮発したためであると考えられる。焚火による熱分解ではペール缶の内部温度が 500 ~ 700℃の間で推移した。収率は 33% 程度であり、同温度帯の電気炉で作成したものより高かった。

3.2. pH, EC および水溶性イオン含有量

図 2 に示すように作成したバイオ炭の pH は熱分解温度の上昇に伴い 6.8 から 11.4 に上昇し、ほとんどがアルカリ性を示した。これは先行研究⁸⁾と同様、温度

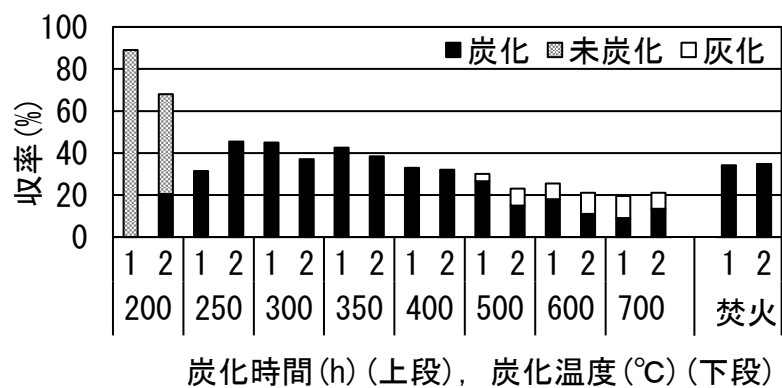


図 1. 異なる熱分解条件による馬ふんバイオ炭の収率

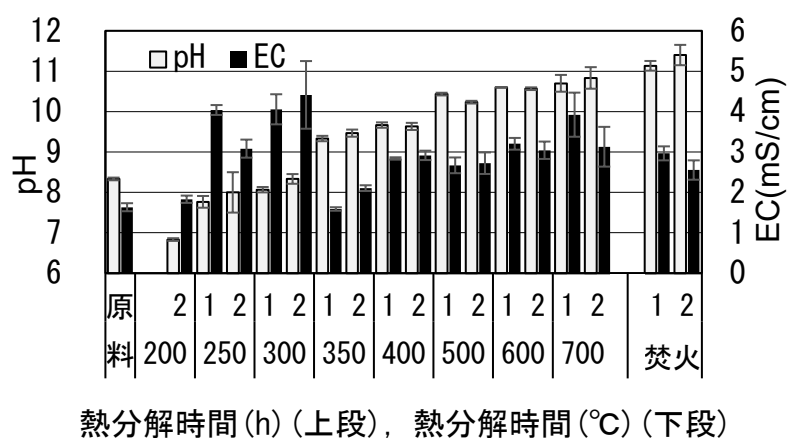


図 2. 異なる熱分解条件による馬ふんバイオ炭の pH・EC (エラーバーは標準誤差を示す (n = 3))

上昇に伴いカルボキシ基などの酸性官能基が減少したためであると考えられる。EC は 350°C以上の条件で温度上昇とともに増加する傾向があった (図 2)。これは牧ら⁹⁾が述べているように、収率減少に伴い無機塩類の含有率が相対的に増加したためであると考えられる。しかし、250°Cおよび 300°Cで熱分解を行ったバイオ炭の EC (3.08 ~ 4.41 mS/cm) は 350°C以上で熱分解を行ったバイオ炭の EC と比べて高い値を示したが、原因は不明であった。全試料の総水溶性イオン含有量は 30.9 ~ 133.3 mg/g DW (DW : Dry Weight) で、 PO_4^{3-} 、 Na^+ 、 K^+ が多くを占めた (図 3)。 NH_4^+ は一部試料で検出されたが、 NO_3^- は検出されなかった。水溶性リンは 12.30 ~ 76.82 mg/g DW で他畜種 (0 ~ 50 mg/g DW)^{4) 5)}と比較しても馬ふんバイオ炭には多く含まれていることが明らかになった。

3.3. 土壌施用効果の検証

図 4 にコマツナの根および地上部の長さおよび乾燥重量を示す。長さについて分散

分析の結果、根長 ($p = 8.58 \times 10^{-5}$)、地上部長 ($p = 6.56 \times 10^{-8}$)、で有意差が見られた。多重比較検定の結果、根長は肥料とコントロールの間および 600°C1h とコントロール、300°C1h、焚火 1h との間に、地上部長は肥料とその他の条件との間に、それぞれ有意差がみられた。乾燥重量では根重量と地上部重量の両方で肥料とその他の条件

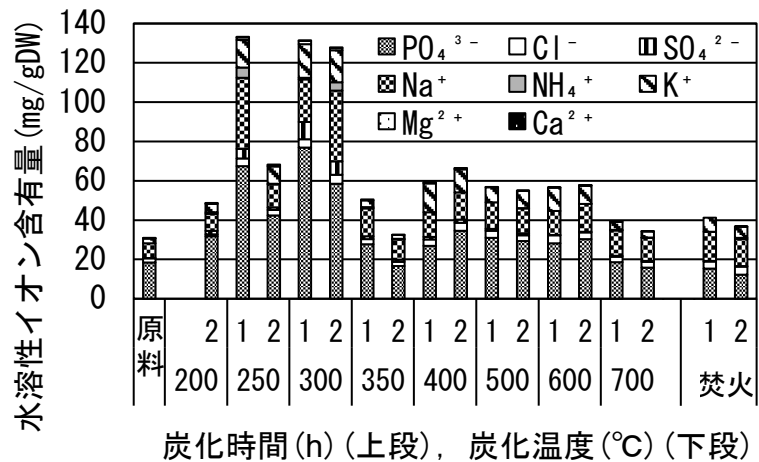


図 3. 異なる熱分解条件による馬ふんバイオ炭の水溶性イオン含有量

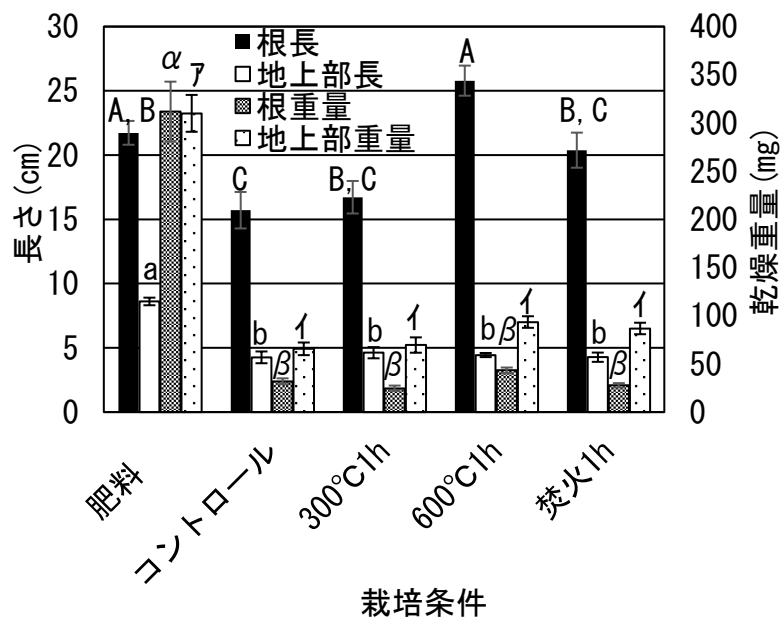


図 4. 異なる栽培条件におけるコマツナの長さ ($n = 5$) および乾燥重量 ($n = 15$) (エラーバーは標準誤差を示す。また、図中の異なる文字は有意差があることを示す)

の間でのみ有意差が確認された。根長において 600°C1h と肥料以外の 3 条件との間に有意差がみられたのは、根の伸長にはリンが有効であり、馬ふんバイオ炭に含まれる水溶性のリンが作用した結果であると考えられる。一方、根重量においてはバイオ炭施用条件で有意に大きいものはなかった。これは、窒素が不足すると根の分岐が減少することが報告¹⁰⁾されており、馬ふんバイオ炭は窒素に乏しいため根の総量が少なくなったと考えられる。

4. まとめ

馬ふんバイオ炭はアルカリ性であることから、酸性土壌に施用することで pH 矯正が期待できる。また、水溶性のリンとカリウムには富むが窒素が乏しいため、家畜堆肥との併用で化学肥料に近い効果が得られると考えられた。また、十分に熱分解された馬ふんバイオ炭は収率が 50%以下であり軽量化されるため、貯蔵や運搬が容易になり広範囲で利用が可能となる。よって、家畜排せつ物需給のアンバランスを解消する方法になりうると考えられた。

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 (21H0369, 23K21797) の助成を受けて実施した。

参考文献

- 1) 愛媛県 (2021), オンライン, 入手先<<https://www.pref.ehime.jp/uploaded/attachment/50687.pdf>>
- 2) 農林水産省畜産局畜産振興課 (2024), オンライン, 入手先<<https://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/attach/pdf/index-184.pdf>>
- 3) 農林水産省農産局農業環境対策課 (2024), オンライン, 入手先<<https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/attach/pdf/biochar-1.pdf>>
- 4) 久保田幸, 亀山幸司, 北川巖, 岩田幸良 (2023), 農業農村工学会論文集, 317, II_41-II_51
- 5) 真行寺孝, 松丸恒夫 (2007), 日本土壌肥料科学雑誌, 第 78 巻, 第 4 号 355-362
- 6) Md Zahangir Hossain, Md Mezbaul Bahar, Binoy Sarkar, Scott Wilfred Donne, Peter Wade, Nanthi Bolan (2021), *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **155**, 10543
- 7) Stefano Catro, Olli Dahi (2021), *Cleaner Engineering and Technology*, **4**, 100181
- 8) Waled Suliman, James B. Harsh, Nehal I. Abu-Lail, Ann-Marie Fortuna, Ian Dallmeyer, Manuel Garcia-Perez (2016), *Biomass and Bioenergy*, **84**, 37-48
- 9) 牧浩之, 河野哲, 永井耕介 (2009), 日本土壌肥料科学雑誌, 80, 257-262
- 10) Hanma Zhang, Andrea Jennings, Peter W. Barlow, Brian G. Forde (1999), *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **96**, 6529-6534