

木質バイオマス発電由来バイオ炭の砂丘地農業への 適用可能性に関する研究

環境学部環境学科 金 相烈・荒木 美南・多井 茉優

1. はじめに

本研究は、本学と鳥取市、株式会社とっとり市民電力、株式会社山陰合同銀行の4者による共同提案として採択された、環境省の「脱炭素先行地域プロジェクト」の一環で実施されたものである。本プロジェクトでは、佐治地域等に設置が予定されている木質チップ用超小型ガス化炉から排出される燃焼灰（以下、バイオ炭）を、地域内の農業において土壌改良資材として活用する可能性を検討する。

鳥取県は日本有数の砂丘地帯を有しており、そこでの農業（以下、砂丘地農業）では、らっきょう、ながいも、ぶどう、白ネギなど、砂質土壌に適した多様な作物が栽培されている。砂丘地農業には、通気性や排水性に優れた土壌による作物品質の向上といった利点がある一方で、保水性・保肥性の低さ、地温の急激な変化、土壌の自然肥沃度の低さといった課題が指摘されている。

2. 研究目的と背景

本研究では、上記の課題に対して、木質バイオマス発電由来のバイオ炭が砂丘地農業において有効な土壌改良資材となり得るかを検証することを目的とし、以下の2点について明らかにすることを目的とした。

- I. 鳥取県の砂丘地で農業を営む農家に対してヒアリング調査を実施し、現状の課題やニーズを把握するとともに、バイオ炭導入に対する受容性を探る。また、室内実験により、砂質土壌におけるバイオ炭の水分および養分保持性能を評価する。
- II. 砂とバイオ炭の混合割合を調整した室内栽培実験（ラディッシュを使用）を実施し、バイオ炭施用が砂丘地農業における保水性・保肥性および作物生育に与える影響を基礎的に検討する。

3. 研究方法と結果

3.1 ヒアリング調査による砂丘地農業の課題とバイオ炭導入可能性の検討

砂丘地で農業を営む農家を対象にヒアリング調査を行った結果、共通の課題として「砂質土壌の保水性・保肥性が乏しいために、水やりや施肥の頻度が高く、作業の手間やコストが増大している」という声が挙げられた。そのため、施肥や水管理の効率化に資する資材の導入が望まれている。

バイオ炭の導入可能性に関しては、農家の経営形態によって意見が分かれた。JAの指導下でらっきょうを栽培している農家からは、「JAが定めた施肥や管理方法の体系があるため、農家の独自判断による新資材の導入は難しく、リスクがある」という慎重な意見があった。一方、個人でさつまいもを栽培する農家からは、「収量や品質に悪影響が出ないことが前提だが、作業負担やコスト削減につながるのであれば施用を検討したい」という前向きな意見も得られた。

また、バイオ炭の物理的性状については、「風で飛散しやすい粉状ではなく、粒状が望ましい」との意見が共通して聞かれた。さらに、施用時の効果や持続性、適切な施用量と方法についての関心も高かった。これらのことから、バイオ炭の導入に向けては、農家が安心して施用できるよう、科学的根拠に基づいた効果の証明や適切な施用マニュアルの整備、加えて作業負担やコストの軽減につながるという実証が重要であると考えられる。

3.2 バイオ炭の保水性・養分保持能力評価

3.2.1 実験方法

ペットボトルを利用したカラム（ペットボトルカラム）を作成し、各カラムの中に、異なる配合率（0%、5%、10%）のバイオ炭を含む砂質土壌を充填して実験をおこなった。カラムには、表1のように、川砂の体積（170ml）を基準として、川砂の一部をバイオ炭（5%、10%）に置き換えた砂質土壌を充填した。図1のように、500mlペットボトルの底を切り取り、カラムとして使用した。カラムの底部分にプラスチックフィルターとグラスウールを設置し、ろ過機能を持たせた。底部からは一定量の水溶液が通過できるように製作した。バイオ炭の粒子が細かいため、川砂と全体が混ぜ合わされるように、試料の色が均一になるまでかき混ぜた（写真1）。

表1 各カラムに充填された土壌の構成

カラム番号	バイオ炭配合率（体積）	砂質土壌（川砂）	バイオ炭
カラム①, ②	0%（対照）	170ml(250g)	なし
カラム③, ④	5%	161.5ml(約 237g)	8.5ml(約 1.25g)
カラム⑤, ⑥	10%	153ml(約 225g)	17ml(約 2.5g)

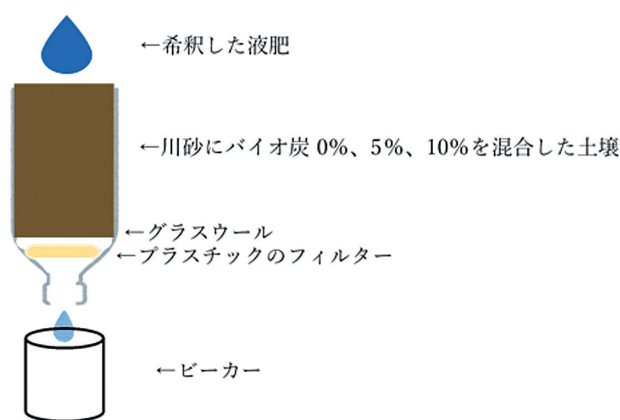


図1 ペットボトルカラムの構成



写真1 カラム実験装置の例

各カラム（①～⑥）に対し、窒素・リン・カリウム（N・P・K）を含む混合肥料の希釈液（初回は100ml、2回目以降は20ml）を上から均等に注入し、カラム上部および受け皿のビーカーには軽く

穴を空けたラップを被せて蒸発を防止した。注入後24時間経過した時点で、カラムを通過した水溶液をろ過し、得られたろ液は冷蔵保存した。この操作を7日間にわたり繰り返し、実験終了後にろ液中の無機イオン濃度をイオンクロマトグラフィー（IC）により測定した。

3.2.2 水分保持特性の評価

バイオ炭の水分保持能力を評価するため、バイオ炭配合率を変えたカラムに液肥を注入し、1滴目が出るまでの時間と20mlが通過するまでの時間を計測した（表2）

表2 水分保持能力を測る実験結果（6回目注入時）

	カラム①, ②	カラム③, ④	カラム⑤, ⑥
1 滴目が出るまでの時間	0 秒 6 8	3 秒 2 1	4 秒 2 9
20ml が通過する時間	2 6 秒 9 5	1 分 5 5 秒 8	3 分 4 5 秒 2

表2で示したように、液肥の注入開始から最初の一滴が滴下するまでの時間および20mlが通過するまでの時間は、いずれも川砂のみの土壌よりもバイオ炭を含む土壌の方が長く、バイオ炭の配合率が高くなるにつれてその傾向が顕著となった。特に20mlが通過するまでの時間においては、バイオ炭5%と10%の間に明確な差が見られ、配合率の増加による影響がより大きく現れた。

これらの結果から、バイオ炭の添加は土壌中における液体の浸透速度を低下させるとともに、保水性を高める効果があると考えられる。すなわち、バイオ炭の配合比率が高まるほど、液体の浸透が緩やかになり、土壌中に保持される水分の持続時間が延長される傾向が確認された。

3.2.3 養分保持特性の評価

図2はアンモニウムイオン（ NH_4^+ ）の保持率の変化を示している。図2に示すように、注入されたアンモニウムイオンに対して、初回から3回目までは約40%が保持されたが、4回目以降は約75%と高い保持率を示した。一方で、バイオ炭を混合していない川砂においても、ほぼ同様の傾向が見られた。

このように保持率が3回目前後で大きく変化した要因としては、初期（1回目～3回目）の段階では、バイオ炭や川砂の表面がまだ水に十分濡れておらず、またイオンとの接触も不十分であったため、吸着サイトが十分に機能していなかった可能性が考えられる。繰り返し NH_4^+ を通過させることで、これらの表面が徐々に馴染み、保持能力が高まったと推察される。

また、バイオ炭の混合による明確な保持効果が確認できなかった理由としては、本実験で用いた

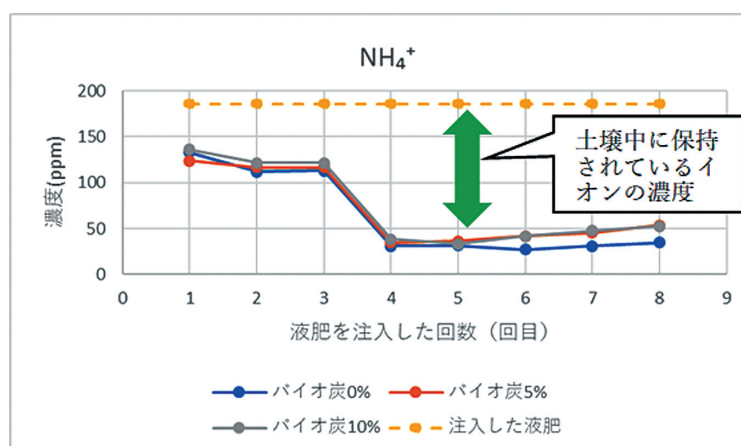


図2 NH_4^+ のイオン濃度の変化

バイオ炭が800℃以上の高温で生成されたものであり、このような高温条件では陽イオン交換容量（CEC）が低下するため、イオン保持への寄与が限定的であった可能性がある。ただし、この点についてはさらなる検討が必要である。

図3はカリウムイオン（ K^+ ）の保持率の変化を示している。図3に示すように、1～3回目の液肥の注入においては、バイオ炭を配合した試料からのみ、注入した液肥のカリウム濃度を上回る K^+ イオンが検出された。これは、バイオ炭自体から多量の K^+ が溶出したことが主要要因と考えられる。

カリウムイオン（ K^+ ）の保持の傾向は、アンモニウムイオン（ NH_4^+ ）と類似しており、保持率の変化に関しても同様の理由、すなわち繰り返しの通液によって表面がイオンに馴染んだことや吸着サイトの活性化などが関与していると推察される。

図4はリン酸イオン（ PO_4^{3-} ）の保持率の変化を示している。図4に示すように、リン酸イオンは1回目にはわずかに溶出が確認されたが、2回目以降はバイオ炭配合の有無にかかわらず、いずれの試料においても保持率はほぼ100%を示した。このように、保持能力自体は非常に高いが、その傾向はアンモニウムイオン（ NH_4^+ ）やカリウムイオン（ K^+ ）と同様の変化パターンを示している。

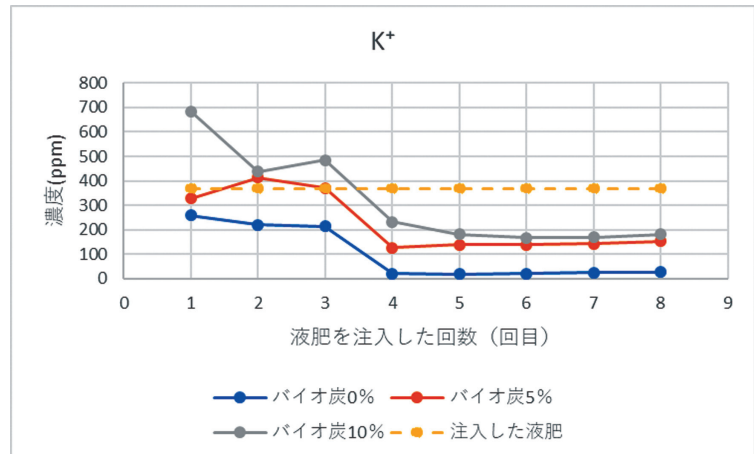


図3 K^+ のイオン濃度の変化

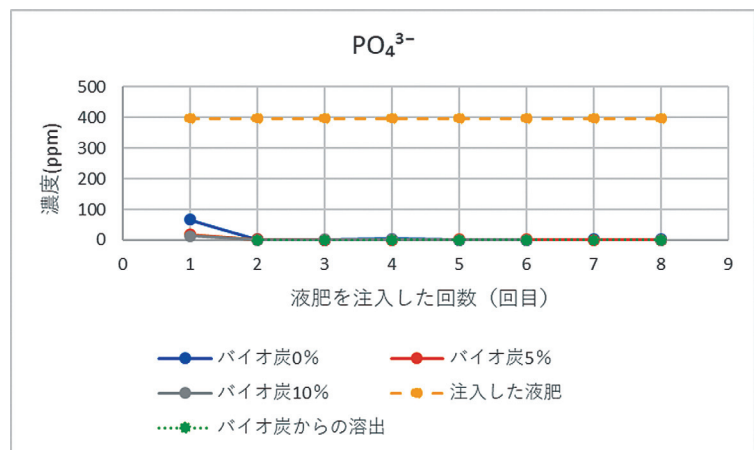


図4 PO_4^{3-} のイオン濃度の変化

3.3 ラディッシュ栽培実験による生育評価

3.3.1 生育状況

写真2はラディッシュの栽培状況をしめしている。各条件につき2つのポットを用意し、左から順に①肥料無・バイオ炭0%、②肥料有・バイオ炭0%、③肥料無・バイオ炭5%、④肥料有・バイオ炭5%、⑤肥料無・バイオ炭10%、⑥肥料有・バイオ炭10%の6条件とした。



写真2 ラディッシュの生育状況

このうち、肥料を施さなかったポット（①、③、⑤）では、栄養分をほとんど含まない川砂を使用しているため、植物の生育はほとんど見られず、葉が弱ったり成長が停滞する様子が確認された。一方、肥料を施したポット（②、④、⑥）では植物の成長が確認され、肥料の供給によって生育が促進されたと考えられる。これらの結果から、川砂のような養分に乏しい砂地においては、植物栽培における定期的な施肥および追肥が不可欠であることが示唆された。

3.3.2 重量測定と考察

表3は、ラディッシュの平均重量の測定結果を示している。肥料を施用しなかったポットでは、バイオ炭の混合率にかかわらず実の形成が見られなかったため、表には肥料を施用したポットの結果のみを示した。

バイオ炭を0%および5%混合した土壌では、ラディッシュの重量に大きな差は認められなかったものの、平均値では5%混合の方がわずかに高かった。一方で、バイオ炭を10%混合した土壌では、平均重量が著しく低下し、生育が大きく阻害されたことがわかった。

これらの結果から、バイオ炭の混合率が5%程度であれば植物の生育に悪影響を与えず、場合によっては成長を促進する効果が期待できる。一方で、10%のような高濃度での混合は、植物の成長を抑制する可能性があると考えられる。なお、今回の実験では、バイオ炭施用による土壌pHの顕著な上昇は確認されなかったことから、適切な混合率であれば、pHの変動による悪影響は限定的であると推察される。

表3 ラディッシュの重量測定結果

試料	重さ(g)	重さの平均(g)
肥料有、バイオ炭0%①	5.23	5.36
肥料有、バイオ炭0%②	4.65	
肥料有、バイオ炭0%③	5.89	
肥料有、バイオ炭0%④	6.14	
肥料有、バイオ炭0%⑤	4.40	
肥料有、バイオ炭0%⑥	5.84	
肥料有、バイオ炭5%①	4.14	5.67
肥料有、バイオ炭5%②	6.97	
肥料有、バイオ炭5%③	3.38	
肥料有、バイオ炭5%④	5.83	
肥料有、バイオ炭5%⑤	8.01	
肥料有、バイオ炭10%①	0.6	1.45
肥料有、バイオ炭10%②	1.46	
肥料有、バイオ炭10%③	2.29	

写真3、4、5はそれぞれの条件におけるラディッシュの実の様子を示している。



写真3 肥料有りバイオ炭0%



写真4 肥料有りバイオ炭5%



写真5 肥料有りバイオ炭10%

成長阻害の原因としては、高配合による水分過剰保持による根の酸素不足、養分吸着による可用性低下、微生物環境の変化などが考えられる。今後は、異なる作物や長期試験を通じて、これらの要因について詳細な検討を行う必要がある。

4. 結論と今後の課題

本研究では、鳥取県の砂丘地農業において、木質バイオマス発電由来のバイオ炭が有効な土壌改良資材となり得るかを、ヒアリング調査および室内実験により検討した。

ヒアリング調査の結果、農家が共通して認識する課題は、砂質土壌の保水性・保肥性の低さに起因する頻繁な水やり・施肥による作業負担やコストの増大であった。また、バイオ炭導入への関心は高いものの、導入の可否は農家の経営形態により意見が分かれた。導入に向けては、施用効果の科学的実証やマニュアル整備が重要である。

実験結果からは、バイオ炭の配合率が高いほど、水分の浸透が遅くなり、保水性が向上することが確認された。これにより、バイオ炭には砂質土壌の水分保持能力を高める効果があると考えられる。一方、養分保持については、バイオ炭を施用した川砂のポットと、バイオ炭を施用していない川砂のポットで養分保持能力や水分保持能力の変化を比較した結果、両者において同様の傾向が見られた。特に、バイオ炭施用ポットにおいては、予想されていたような土壌改良効果（特に養分保持能力の向上）は確認できなかった。これは、高温で処理したバイオ炭の陽イオン交換容量（CEC）が低下したことが原因と考えられる。このため、バイオ炭による土壌改良効果が十分に発揮されなかった可能

性が示唆される。

今後の課題としては、バイオ炭の陽イオン交換容量（CEC）などの物理化学的特性を詳細に確認し、川砂単独とバイオ炭施用時で効果に差が見られなかった原因を明らかにするために追加実験を行うとともに、異なる土壌条件下での効果検証や、農家への導入に向けた情報提供とマニュアル整備が必要である。