

博士学位論文審査等報告書

審査委員 主査 アンドレ F. クルス

副査 板井章浩

副査 津下誠治

副査 矢内純太

1 氏名： オリヴェイラ ゴメス マテウス

2 学位の種類： 博士（農学）

3 学位授与の要件： 学位規程第3条第3項該当
(論文博士の場合学位規程第3条第4項)

4 学位論文題目

Biochar Induced Changes in Soil Microbial Communities and Activities in a Japanese Apricot Orchard

(ウメ園におけるバイオ炭施用が土壌微生物群集および活性に及ぼす影響)

5 学位論文の要旨および審査結果の要旨

【学位論文の要旨】

別紙に記載

【論文目録】

別紙に記載

【審査結果の要旨】

本研究は、バイオ炭施用および草生栽培の導入が、ウメ (*Prunus mume*) 園ならびにウメ実生における土壌微生物群集と病害抑制にいかなる影響を及ぼすかを検討したものである。実験では、ウメの生育、病原菌防除、土壌微生物の多様性および酵素活性に焦点を当てて、炭資材（籾殻バイオ炭および竹バイオ炭）、アーバスキュラー菌根菌（AMF）、さらに草生栽培植物（バヒアグラスとシロクロパー）からなる諸要素を組み合わせ、導入効果を検証した。その結果、籾殻バイオ炭は植物体バイオマスを増大させることにより、白紋羽病の発生を顕著に低減させることが示された。また、バイオ炭と草生栽培を併用した処理区では、*Mortierellomycota* や *Acaulosporaceae* をはじめとする有益な真菌および AMF が優占しやすい土壌環境が形成された。メタゲノム解析および土壌酵素活性の結果から、バイオ炭施用条件下において、AMF が特定の酵素活性と密接に関連していることが明らかとなった。

Chapter 1 では、序論として次のことを取りまとめている。土壌の生物学的な健全性は、ウメ園における持続的な生産性とレジリエンスを支える基盤である。土壌微生物、とくにアーバスキュラー菌根菌（AMF）を含む細菌や真菌は、分解、養分循環、炭素隔離、および長期的な植物の健全性の維持を制御している。しかし、近代的な管理慣行や土壌劣化により、これらの重要な生態学的機能は脅かされつつある。こうした状況に対し、バイオ炭施用や草生栽培の導入といった統合的アプローチが、収量を維持しつつ微生物バランスを回復させる手段として注目されている。バイオ炭はバイオマスの熱分解によって生成される資材であり、土壌構造や肥沃度、微生物の生息環境を改善するとともに、難分解性炭素を供給し、養分保持能の向上、病原菌の防除、および微生物活性の増進に寄与する。バヒアグラスやシロクロパーのような草生栽培は、地下部の生物多様性を高め、窒素固定を支援し、継続的な有機物供給と根渗出物を通じて土壌団粒構造を強化するとともに、*Rosellinia necatrix* などの病原体の抑制にも寄与する。本論文は、相互に関連する三つの研究から構成されている。第一の研究では、バイオ炭によるウメの生理状態の改善を通じて土壌伝染性病害を低減し得るかどうかを検討した。第二の研究では、バイオ炭と草生栽培を併用することにより、土壌細菌群集構造がどのように変化するかを明らかにした。第三の研究では、同様の併用施用が、有用な真菌および AMF の多様性の促進にもつながるかどうかを評価した。本研究全体は、多年生作物体系における土壌生態工学の発展に資するために、土壌健全性の回復、生産性の維持、および環境変動に対する果樹園のレジリエンス強化に向けた実践的な研究方針を提示することを目的とした。

Chapter 2 では、ウメの生産性において深刻な被害をもたらす *Rosellinia necatrix* によって引き起こされる白紋羽病の防除効果に関して取りまとめた。具体的には、市販の籾殻バイオ炭（Brh）および竹バイオ炭（Bb）を炭資材として用い、AMF およびバヒアグラス（Bg）との単独または併用施用下における白紋羽病の発生制御の可能性について

て検証した。*in vitro* 実験の結果、両バイオ炭施用は病原菌の菌糸伸長を抑制せず、むしろ籾殻バイオ炭の多施用は菌糸伸長を助長した。一方、*in vivo* 実験では、バイオ炭施用により病徴が有意に軽減され、籾殻バイオ炭と AMF 接種を組み合わせることで白紋羽病の発病抑制の程度はさらに高まった。ウメに AMF を接種によって生育促進効果が認められたが、バイオ炭と併用することによって AMF の接種効果はさらに高まった。さらに、葉中の窒素およびリン含量の上昇も籾殻バイオ炭と AMF の併用によって認められた。一方で、菌根感染率は AMF 単独区と比較して AMF と籾殻バイオ炭を併用した区で低下する傾向にあり、これは葉中リン濃度の上昇に起因する可能性が高い。以上より、自然条件下において籾殻バイオ炭はウメにおける白紋羽病の発生を効果的に抑制し得る資材であると結論付けた。

Chapter 3 では、ウメ園におけるバイオ炭と草生栽培の併用が、土壤細菌群集構造および酵素活性に変化をもたらすことを明らかにした。籾殻バイオ炭の施用は土壤腐植含量を顕著に増加させた。一方で、バヒアグラスおよびシロクロバーを導入した草生栽培は、土壤微生物の多様性を高めた。籾殻バイオ炭の施用によって、*Bradyrhizobiaceae* をはじめとする、養分循環や有機物分解に関与する有益な細菌群が有意に増加したものの、酵素活性は上昇せず、酵素活性の顕著な増強は主として草生栽培または竹バイオ炭の施用によってもたらされた。これらの結果から、草生栽培あるいはバイオ炭から得られる効果は一樣ではなく、両者の併用であっても、土壤細菌群集や酵素活性に異なる変化をもたらす可能性が示唆された。

Chapter 4 では、ウメ園における、バイオ炭と草生栽培の併用が土壤真菌および AMF 群集の構造と機能に及ぼす影響を検討した。18 ヶ月間の調査の結果、一部の統合施用区および単独草生栽培施用区において、有益な真菌および AMF の多様性と存在量が顕著に増加した。とくに シロクロバーの草生栽培と籾殻バイオ炭施用を統合することによって *Mortierellaceae* (真菌) および *Acaulosporaceae* (AMF) の存在量が増加した。相関解析の結果、AMF 各科の存在量と複数の土壤酵素活性との間に関連が認められ、さらに *Mortierellaceae* と土壤酵素活性、および推定された土壤代謝機能との間に高い相関が示された。

Chapter 5 では、本研究内容を総括した。結論として、バイオ炭はウメ実生における白紋羽病の症状を *in vivo* で軽減し得る資材であることが示された。圃場試験においては、草生栽培とバイオ炭の組み合わせにより、土壤微生物群集構造および酵素活性が変化した。これらの変化は一樣ではなく、特定の細菌・真菌および AMF のグループにおいて限定的に認められた。とくに、一部の草生栽培およびそれらとバイオ炭の併用は、*Mortierellomycota* および *Acaulosporaceae* の存在量を増加させた。加えて、籾殻バイオ

炭または 竹バイオ炭 施用下では、AMF 群集組成の変化がプロテアーゼ、インベルターゼ、アリルサルファターゼ活性など土壌酵素活性の変動と関連していた。これらの知見は、今後、バイオ炭と草生栽培を導入することで、土壌微生物群集およびそれと結びついた酵素活性を系統特異的に制御し得ることを示すものである。

以上、本論文はバイオ炭の施用によるウメ園における土壌微生物群集と酵素活性の優位性を立証し、限定的ではあるが短期間で影響する新しい理論を提案した。以上より、本論文は博士論文の要件を満たすものであると評価できる。

6 最終試験の結果の要旨

本論文の内容は、令和8年2月6日16時より稲盛記念会館視聴覚室で行われた公開博士学位論文発表会において発表された。発表後の質疑応答では、ウメ園におけるバイオ炭施用および草生栽培導入が土壌の微生物群集構造、酵素活性、白紋羽病抑制に及ぼす影響の解釈や解析手法、今後の展開について意見・助言が示された。申請者はこれらの指摘に基づき、微生物群集と酵素活性の関連や併用効果の記述を中心に論文内容を修正し、再審議の結果、妥当と認められ合格と判定された。