

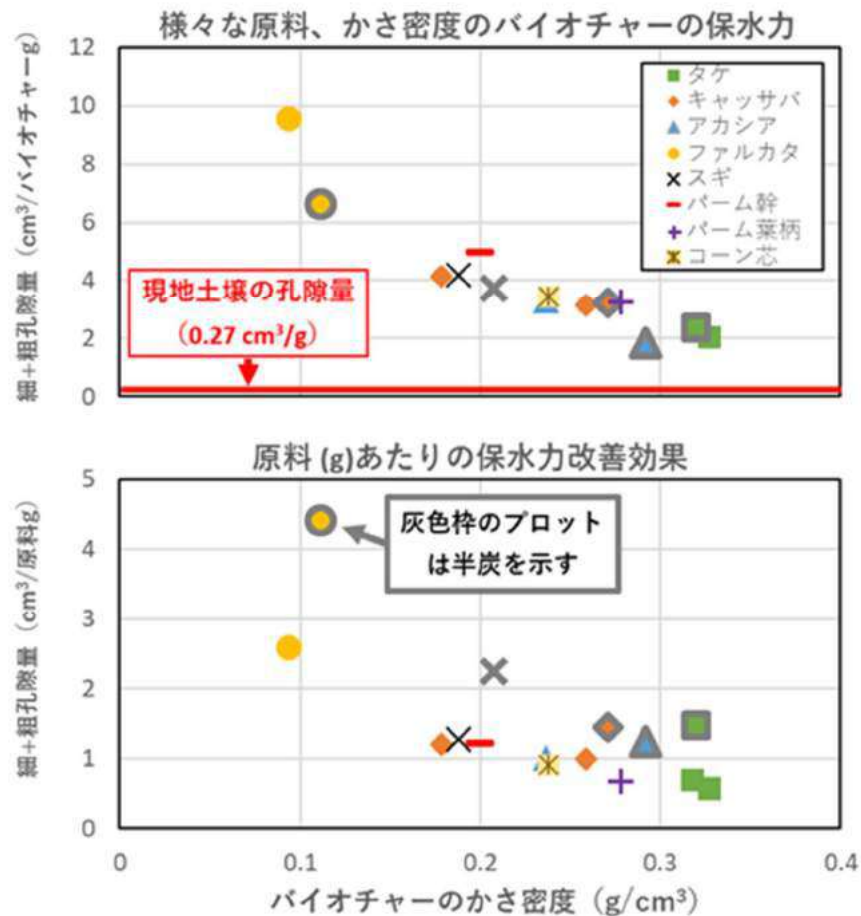


図 6-12 バイオチャーのかさ密度と孔隙量の関係

6.5.2 化学性分析②の結果

(1) 現地土壌、現地炭・半炭の化学性

現地土壌(0～25cm、25～50cm)及び現地未利用バイオマスから作成された炭、半炭の化学性を図 6-13 示す。炭、半炭の交換性陽イオン含有量は、現地土壌と比較して著しく高い値を示した。特にキャッサバは、有効態りん酸、カリウム、カルシウム、マグネシウムのいずれも非常に高い値を示した。他の原料についても、交換性陽イオンは昨年度に測定したアカシア、ファルカタ、スギといった木材よりも高い含有量を示した。現地未利用バイオマスを原料としたバイオチャーの施用は、木材原料のバイオチャーよりも肥料としての効果が期待できる。

pH については、全ての原料でいずれの炭化度においてもアルカリ性の値を示した。これらのバイオチャーは土壌の酸性矯正効果が期待できるものの、特に炭化度の高い炭は現地土壌よりも著しく高い pH を示すため、栽培する作物によっては施用量の調整が必要となる可能性がある。

また、保肥力の指標となる CEC は、同じ原料であれば炭よりも半炭で高い傾向を示した(図 6-13)。現地土壌の CEC が 2.0 cmol(+)/kg 前後で、半炭の 1/5～1/9 程度であるため、半炭は保

肥力改善に効果大と期待できる。原料 1kg あたりの保肥力改善効果は炭よりも半炭で大きく(図 6-14)、原料バイオマスの有効活用という観点からは、半炭を利用することが効果的と考えられた。

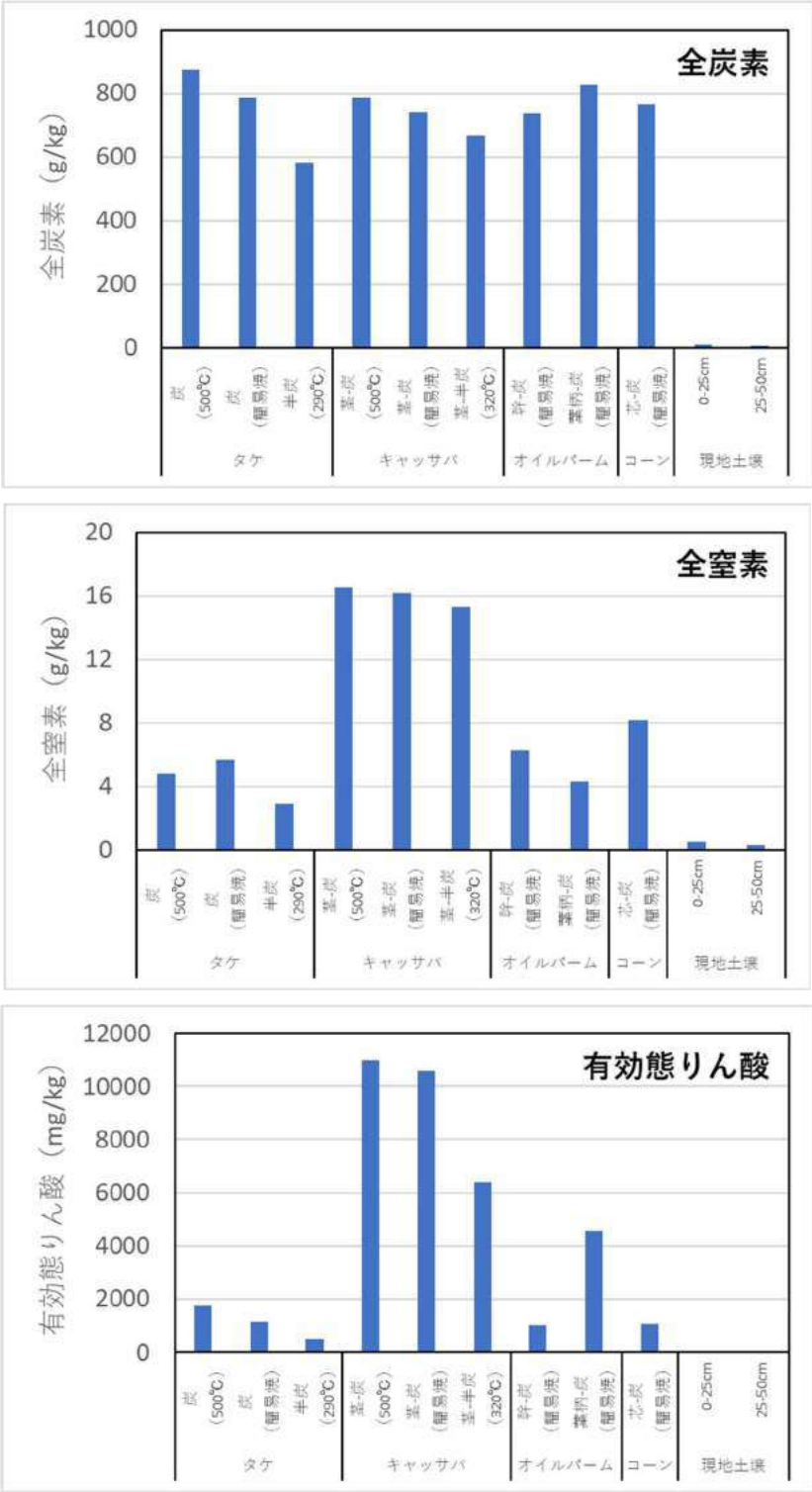


図 6-13 現地土壌及びバイオチャー(炭、半炭)の化学性(1/4)

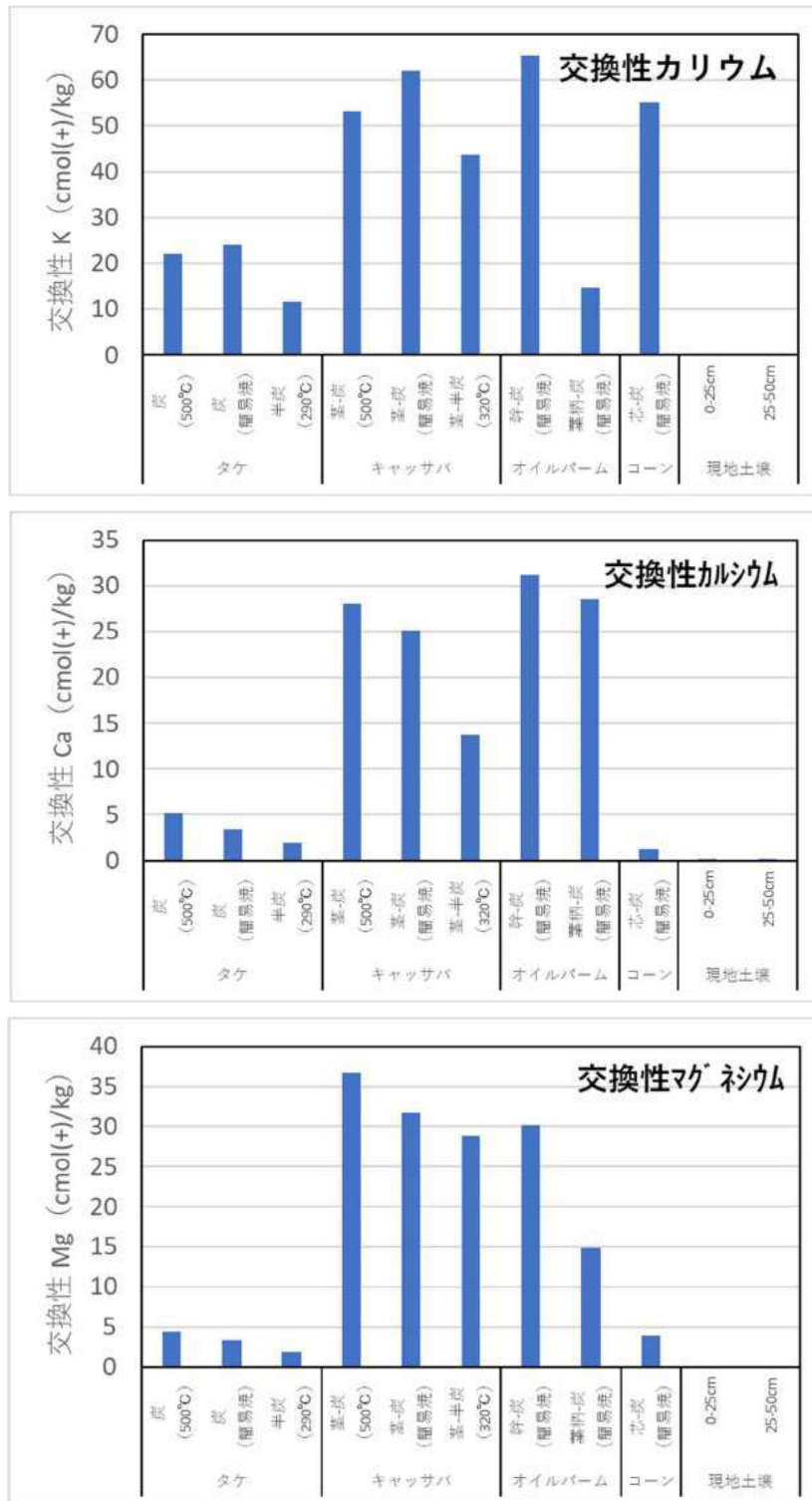


図 6-13 現地土壌及びバイオチャー(炭、半炭)の化学性(2/4)

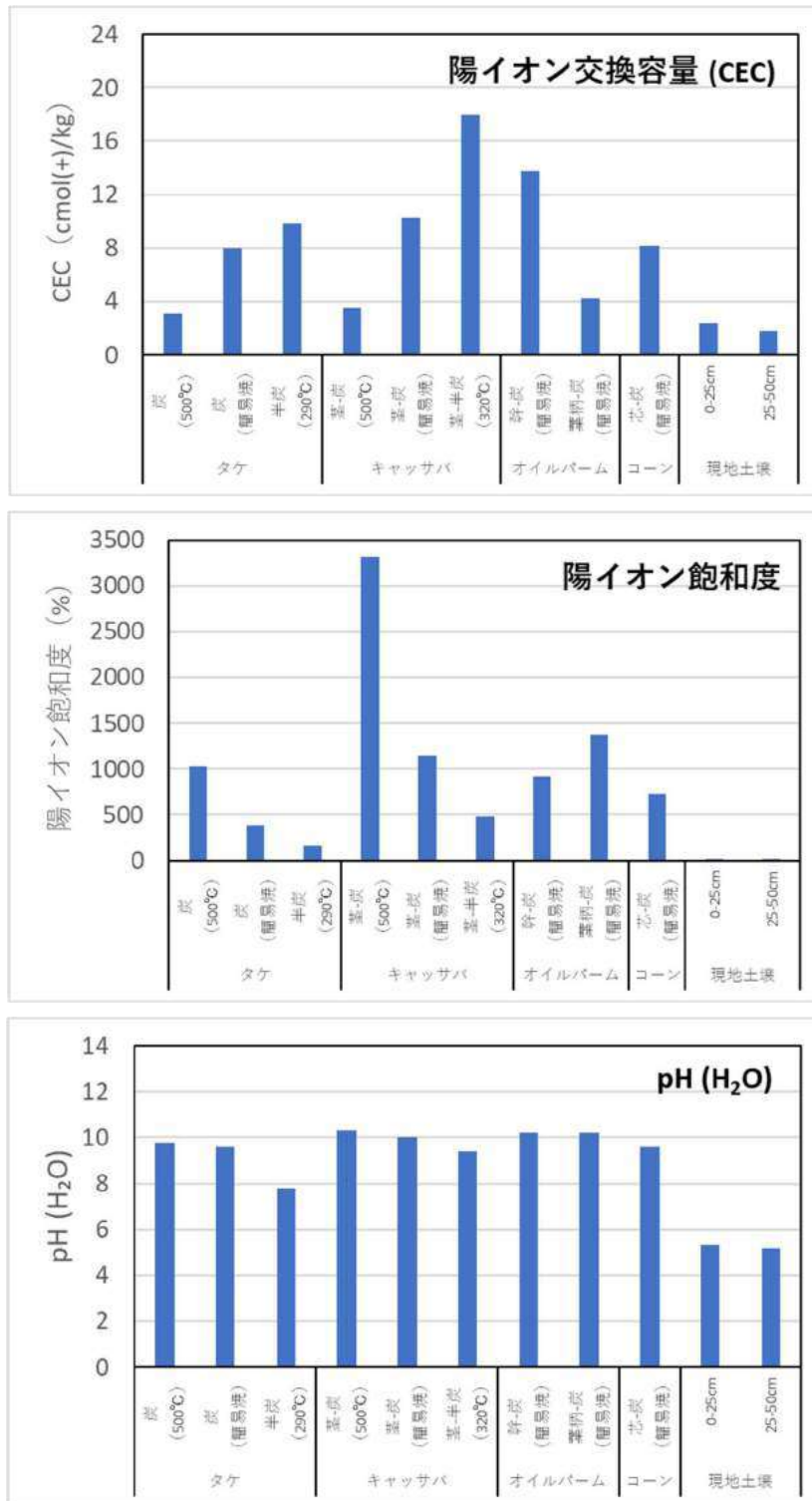


図 6-13 現地土壌及びバイオチャー(炭、半炭)の化学性(3/4)

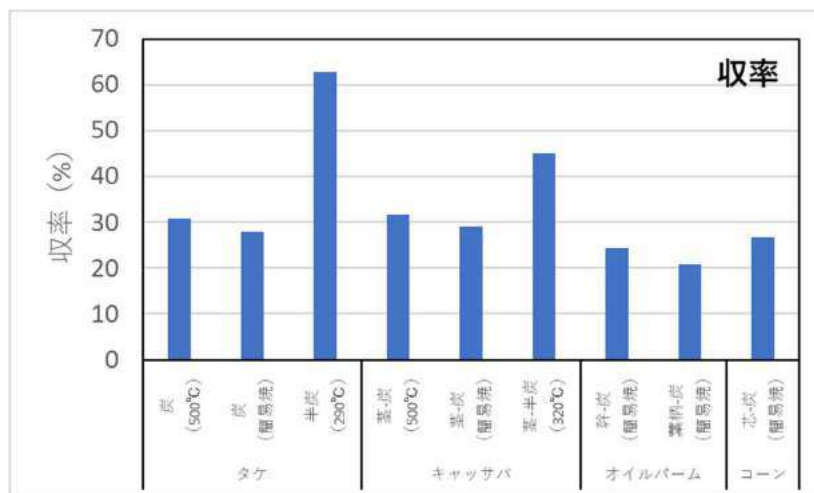


図 6-13 現地土壌及びバイオチャー(炭、半炭)の化学性(4/4)

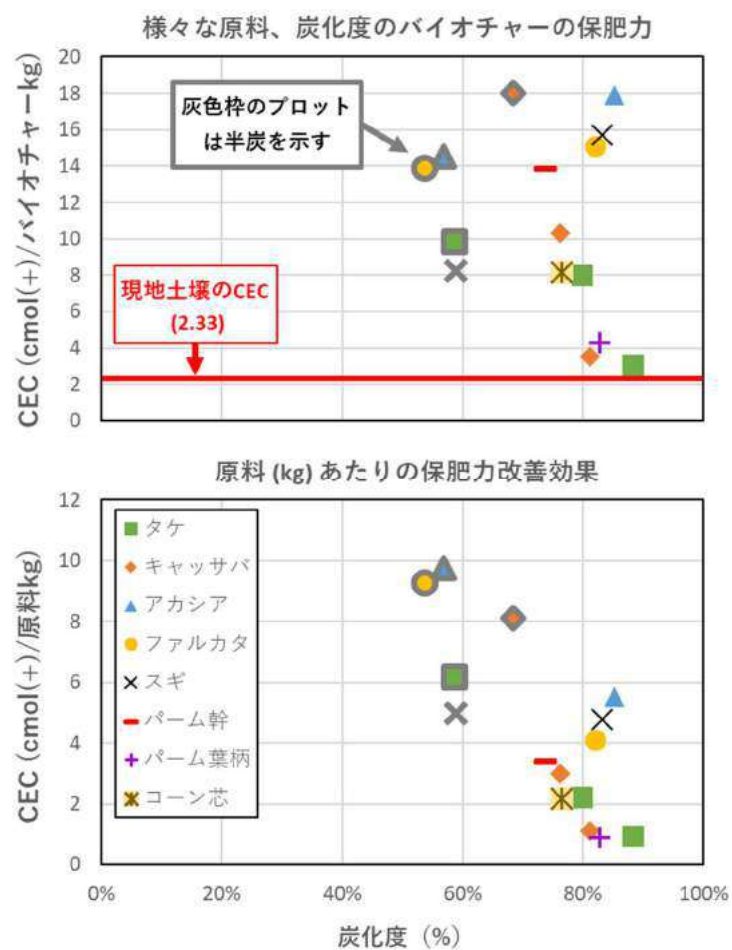


図 6-14 バイオチャーの炭化度と保肥力(CEC)の関係

6.5.3 植栽試験①の結果

(1) 生存率

2019年11月6日から2022年1月29日までの約2.2年間にかけて、植栽木の追跡調査を実施した。計測は1年に3回(乾期前の6月、雨期初めの10月、年度末の3月)行なった。

植栽木の生存率に、バイオチャー施用処理(0 kg/m²、0.5 kg/m²、2 kg/m²)間での有意差はなく、どの樹種も80%以上の高い生存率を示した。そのため、植栽木の活着に対するバイオチャーの効果は確認できなかった。

(2) 樹高、地際直径、D²H

植栽木の樹高、幹の基部直径、D²H(地際直径×地際直径×樹高)の成長は、図6-16～図6-18に示す通りである。バイオチャー施用の影響を分析するために、各樹種の最終計測時の樹高、基部直径、D²Hを目的変数として、分散分析及びTurkey HSD法による多重比較を行い、バイオチャー施用処理間での成長量の違いを確認した。

図中のアルファベットは5%水準での有意差を表している。図6-16～図6-18に示したとおり、*Millettia*については、樹高、基部直径、D²Hの全項目、*Terminalia*については基部直径、D²Hでバイオチャー施用区の成長量が有意に大きかった。試験対象樹種5種のうち、これら2種については、バイオチャーの施用が成長量を増加させる効果が確認された。

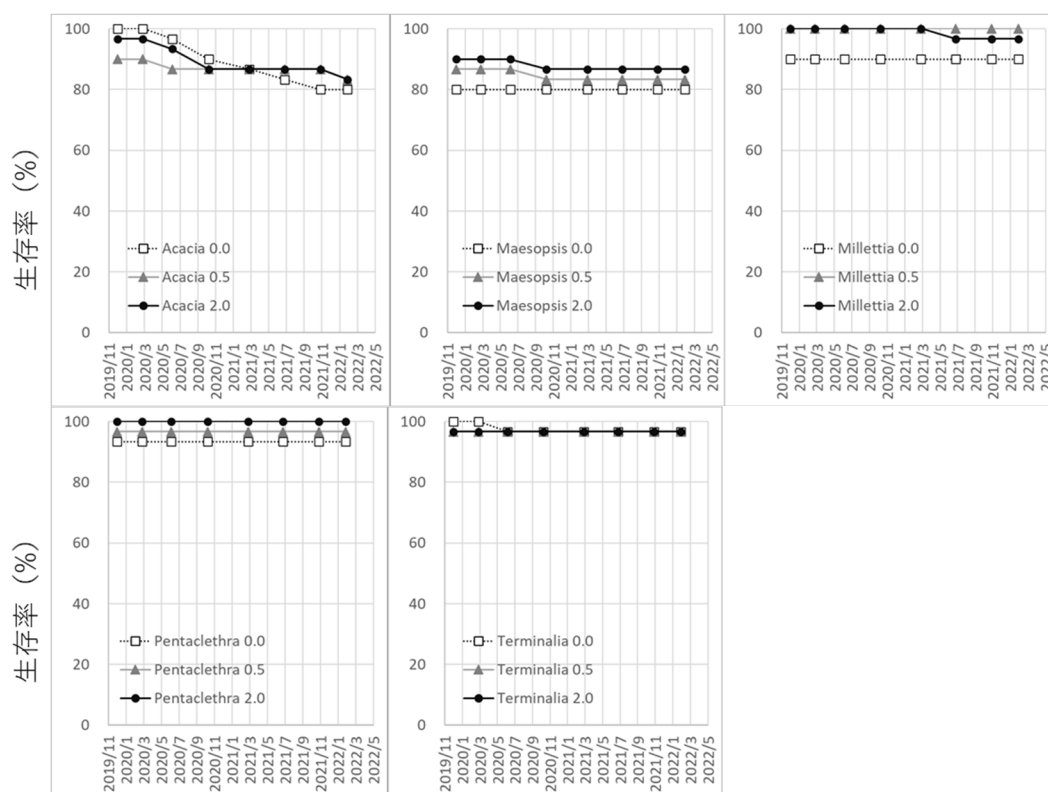


図 6-15 植栽木の生存率

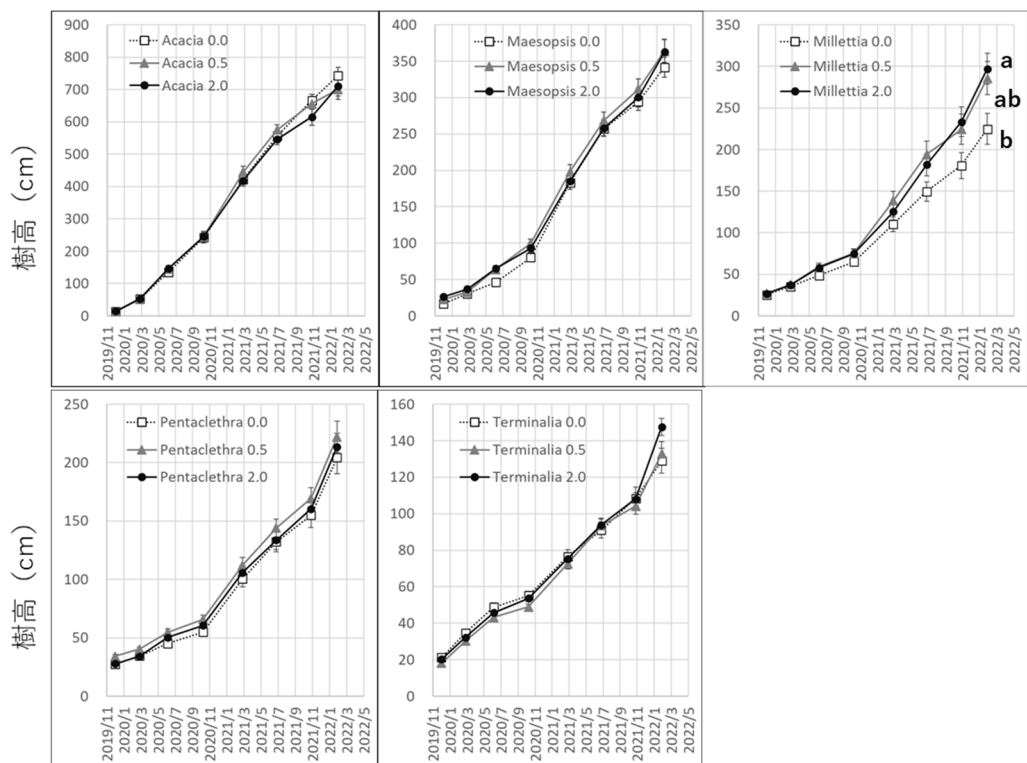


図 6-16 植栽木の樹高成長

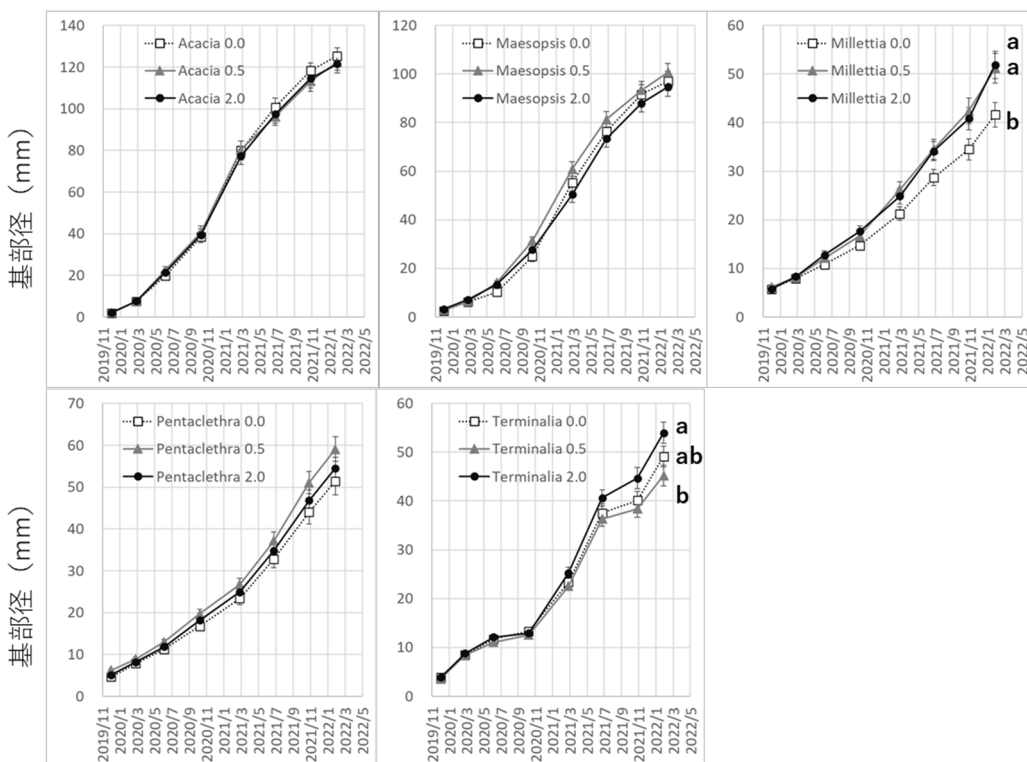


図 6-17 植栽木の幹基部直径の成長

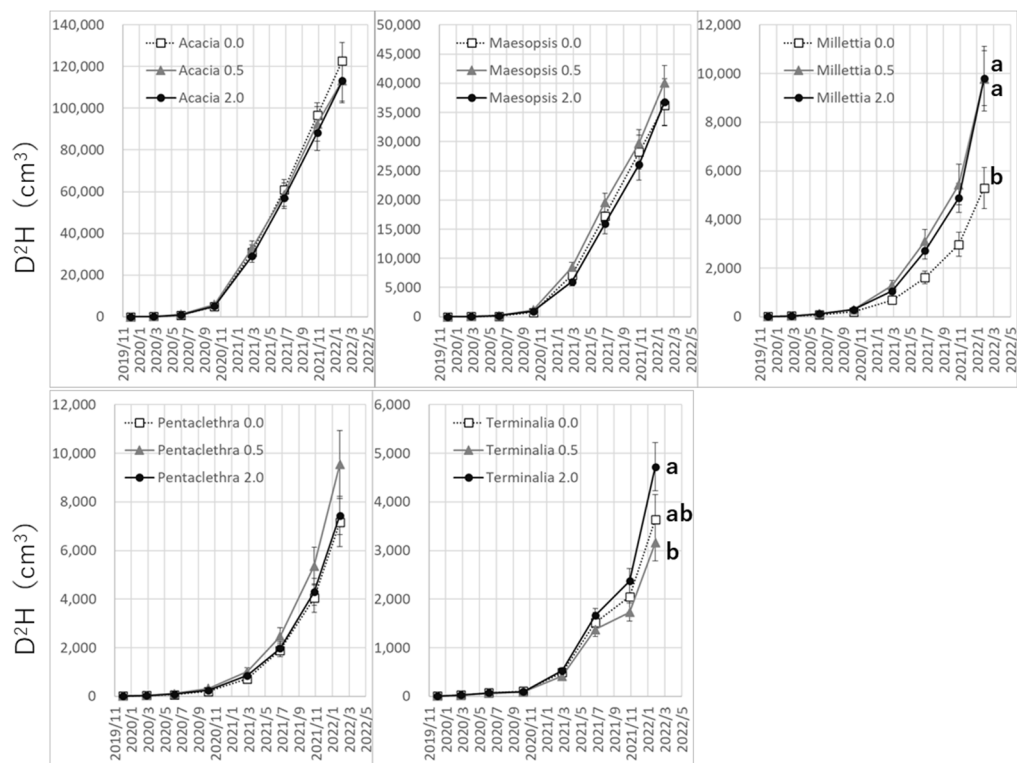


図 6-18 植栽木の D²H の成長

6.5.4 植栽試験②の結果

(1) 生存率

2021 年 3 月 18 日から 2022 年 10 月 12 日にかけて、植栽木(*M. eminii*)の追跡調査を実施した。計測は乾期前の 5 月、雨期初めの 10 月に行なった。

図 6-19 に示すとおり、植栽木の生存率はバイオチャー施用処理区(炭施用および半炭施用、各 2.0 kg/m²)で、施用を行っていないコントロール区よりも有意に低い値を示した(カイ二乗検定、 $p < 0.01$)。バイオチャーの施用区だけでなく、コントロール区の生存率についても 2019 年度植栽地よりも低下していたことから、全体的に 2020 年度の植栽は、2019 年度と比較して条件が悪かったものと考えられた。一つの大きな要因として、植栽時期の影響が考えられる。2019 年度は雨期の初め(11 月初旬)に植栽したが、2020 年度は育苗が遅れたため雨期の終わり(3 月中旬)の植栽となった。これによりバイオチャーを施用し、植栽した後に十分な雨量が得られなかったため、施用したバイオチャーへの吸水が十分に行われず、生存率が低下した可能性がある。

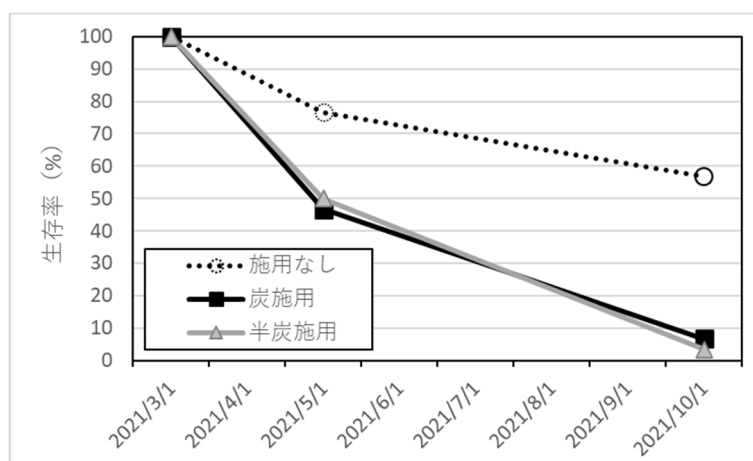


図 6-19 2020 年度植栽区における植栽木の生存率

(2) 樹高、地際直径、 D^2H

植栽木の樹高、幹の基部直径、 D^2H (地際直径×地際直径×樹高)の成長は図 6-20 に示すとおりである。バイオチャー施用処理区は生存率が低いため計測個体数が少なく、有効なデータとは言い難いが、無施用のコントロール区での成長速度は 2019 年度の植栽区画と大きな差はなかった。

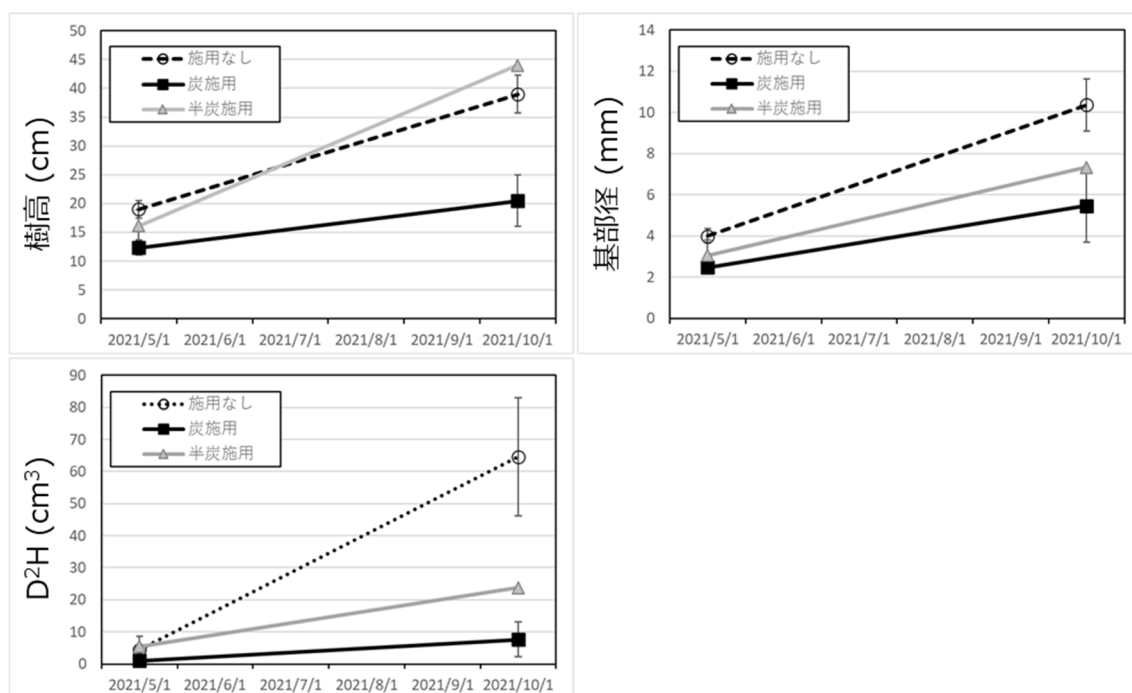


図 6-20 植栽木の樹高、幹の基部直径、 D^2H の成長

6.6 保水性試験②、化学性分析②と植栽試験①、②の結果から示唆されること

本試験において実施した保水性試験、化学性分析及び既存の文献資料から整理した、バイオチャーの原料、焼き加減による性質の違いは、表 6-12 のとおりである。

様々なバイオチャーの性質について、アグロフォレストリーを行うための土壌改良材としてメリットと考えられる項目には○、デメリットと考えられる項目には×、中立的な項目には△を付した。全体的にみて、原料としてはかさ密度の低いものを利用することが有効と思われ、また焼き加減については半炭の利用が有効と考えられた。しかしながら、実際の施用にあたっては、以下の点に留意することが重要となる。

- (1) 土壌や、栽培する植物の特徴に合わせて、改良すべき土壌の性質を検討
- (2) 調達可能な未利用バイオマス資源から最適な原料を選定する
- (3) 目的に合わせた焼き加減、施用量を検討

表 6-12 原料及び焼き加減によるバイオチャーの性質の違い

	原料かさ密度小	原料かさ密度大
半炭 (低炭化度)	○保肥力が高い ○保水力が高い ○原料あたりの効果高い ○土壌中での分解が遅い △pH は酸性 ×大量生産技術がない	○保肥力が高い △保水力はあまり高くない ○原料あたりの効果高い ○土壌中での分解が遅い △pH は酸性 ×大量生産技術がない ×燃料需要と競合
炭 (高炭化度)	△保肥力は低い場合あり ○保水力が高い ◎分解が非常に遅い △pH はアルカリ性	△保肥力は低い場合あり △保水力はあまり高くない ◎分解が非常に遅い △pH はアルカリ性 ×燃料需要と競合

また、現地での植栽試験の結果から、植栽する樹種によって効果が出るものと出ないものがある。施用方法やタイミングによっては、マイナスの効果が出る場合があることが確認され、バイオチャーを利用した土壌改良を行うにあたっては、これらの点にも留意することが必要と考えられた。

6.7 当該技術の普及に向けたコスト試算

(1) バイオチャー施用のコスト及び収益

未利用バイオマスを収集、炭化し、バイオチャーの施用を行うことで、図 6-21 のとおり通常の植栽コスト(575 USD/ha)と比較して、201 USD/ha(施用量 0.5 kg/m²)、739 USD/ha(施用量 2.0 kg/m²)のコストが増化するものと見積もられた。

一方、昨年度の試験から得られた、バイオチャーの施用によるキャッサバ収穫量の増加は表 6-13 のとおり、343 USD/ha(施用量 0.5 kg/m²)、484 USD/ha(施用量 2.0 kg/m²)の収入増につなが

ることから、施用量 0.5 kg/m^2 ではキャッサバ収穫 1 回、 2.0 kg/m^2 ではキャッサバ収穫 2 回目以降（収穫増が 1 回目と同水準で持続すれば）で、通常植栽よりも利益が大きくなるものと考えられた。ただし、昨年度の試験では試験期間の都合上、約 1 年で収穫を行なった。試験地周辺でのキャッサバの育成期間は通常 1～1.5 年程度、収量は 12 ton/ha 程度であるため、上記の収穫増、収入増はやや過小な評価となっている。

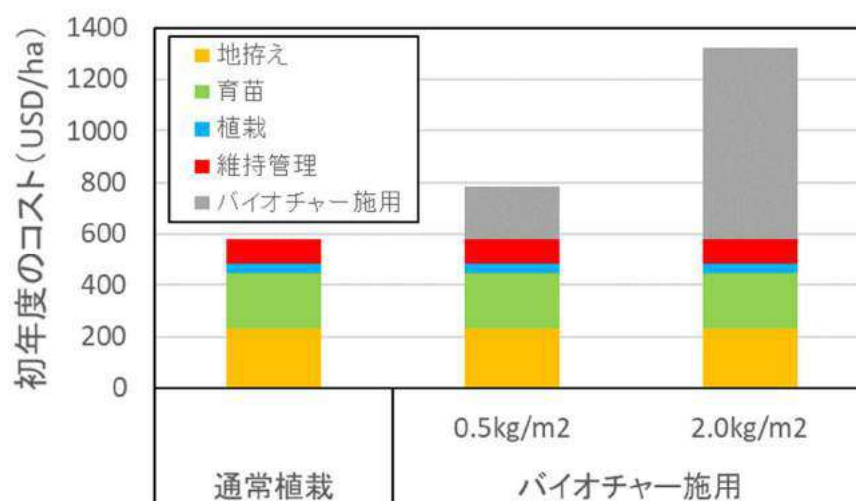


図 6-21 バイオチャー施用のコスト試算

表 6-13 バイオチャー施用によるキャッサバ収穫量及び収入

	通常植栽	バイオチャー施用 (0.5 kg/m^2)	バイオチャー施用 (2.0 kg/m^2)
キャッサバ収量 (ton/ha) (2020 年データに基づく)	6.7※	8.9※	9.8※
キャッサバ葉の収量 (束)	168	223	245
収入 (USD/ha)	1,046	1,389	1,529

※試験期間の都合上、やや短い期間で収穫を行なった。試験地周辺での通常植栽でのキャッサバの収量は 12 ton/ha 程度である。

(2) 木材利用によるコスト及び収益

現地 NGO の協力の下、木材の利用によって生じるコスト及び得られる収益について情報収集を行った。対象とした樹種は、アカシア (*A. mangium*) 1 種、在来樹種は植栽試験で対象とした 4 種としている。アカシアに関しては、主に製炭に係るコスト及び炭の販売価格について情報収集を行った。在来種 4 種に関しては、①それぞれの樹種についてどのように利用しているのか、②いつ頃から利用可能であるのか、③販売価格はどれくらいなのかについて情報収集を行った。

製炭に係る作業内容及びそれぞれの作業に必要な作業員数について、表 6-14 に示す。ここで、作業員単価は 1 日あたり 3,000 CDF、ヒアリング時のレート(1,650 CDF/USD)で換算すると 1 日あたり 1.82 USD となる。製炭に係る作業コストは、1 ha(アカシアの植栽本数 700 本)あたり 132 人日、約 240 USD と推計される。

本プロジェクトで対象としたイビ村及びその周辺では、伏せ焼きによりアカシア材 100 kg から 20% にあたる 20 kg の炭が得られる。現地では 60 kg を 1 袋として販売しており、販売価格はイビ村及びその周辺で 1 袋 9～12 USD、キンシャサでは 1 袋 20～21 USD である。アカシアは通常 7 年伐期で、1 ha あたり 400 袋程度の木炭が得られるとされ、仮に単価 12 USD/袋で売れば 4,800 USD/ha の収入となる。

次に、在来樹種 4 種の利用について表 6-15 に示す。*Millettia* 及び *Pentaclethra* は植栽後 3 年目から、*Maesopsis* については 4 年目から食用イモムシの収集に利用している。建築材としての利用は *Millettia* 及び *Maesopsis* の植栽後およそ 20 年目から行われる。*Terminalia* については植栽後 40 年目から建築材として利用可能であり、材として利用するためには長期間の育林が必要となる。それぞれの在来樹種の材としての販売価格については、表 6-16 に示す。

表 6-14 アカシアの製炭に係る作業内容及び作業員数

作業内容	作業員数	作業コスト(USD)
伐採	8	14.6
枝打ち、玉切り	24	43.7
搬出、集積	24	43.7
窯入れ	24	43.7
検査	4	7.3
窯出し	24	43.7
調整・袋詰	24	43.7
計	132	240.4

表 6-15 在来樹種の利用目的と利用可能開始年

樹種	利用目的	利用可能開始年
<i>Millettia laurentii</i>	● 食用イモムシの収集 ● 梁材 ● 建築材	● イモムシの収集:3 年目～ ● 梁材及び建築材:18～60 年
<i>Pentaclethra eetveldiana</i>	● 食用イモムシの収集 ● 薪	● イモムシの収集:3 年目～
<i>Terminalia superba</i>	● 建築材	● 40 年目から利用可能
<i>Maesopsis eminii</i>	● 食用イモムシの収集 ● 板材	● イモムシの収集:4 年目～ ● 板材:20 年

表 6-16 在来樹種の利用目的ごとの販売単価

樹種	利用目的	販売単価
<i>Millettia laurentii</i>	● 食用イモムシの収集 ● 梁材 ● 建築材	● 食用イモムシ(乾燥前):0.5 USD/kg ● 食用イモムシ(乾燥後):1.5 USD/kg ● 梁材:5 USD/本 ● 建築材:300 USD/m³
<i>Pentaclethra eetveldiana</i>	● 食用イモムシの収集 ● 薪	● 食用イモムシ(乾燥前):0.5 USD/kg ● 食用イモムシ(乾燥後):1.5 USD/kg ● 薪 2.5 USD/束
<i>Terminalia superba</i>	● 建築材	● 350 USD/m³
<i>Maesopsis eminii</i>	● 食用イモムシの収集 ● 板材	● 食用イモムシ(乾燥前):0.5 USD/kg ● 食用イモムシ(乾燥後):1.5 USD/kg ● 板材については価格不明

(3) コスト削減のための課題

バイオチャーの施用を行うことで増加するコストは、①原料バイオマスの収集、②炭焼き、③粉碎、④施用の 4 項目である。これらのコストを低減するためには、以下のような取り組みが有効と考えられる。

- ①収集 : 今回の試算ではバイオチャー施用コストの 64%を占めた。生活の中で自然に集まる原料(トウモロコシ芯、キャッサバ茎など)を利用することで、コストを削減できるものと考えられる。
- ②炭焼き: 日常生活の一部として燃料生産のための炭焼きは行われているため、そのような活動に併せて土壌改良用のバイオチャーも作成できれば、省力化、コスト削減につなげることができる。
- ③粉碎 : 今回の資産では施用コストの 22%を占めた。多量のバイオチャー粉碎は、人力では労力がかかるため、チップパーや車両の利用等、何らかの機械化を検討する必要がある。
- ④施用 : 地拵えのついでに行うような、一貫作業システムで作業を行えば、手間を減らすことができるものと思われる。

また、施用量を最小限とすること、効果の持続時間の長いバイオチャーを用いることも、コストを削減するために非常に重要である。

6.8 試験対象国における技術普及説明会

今年度は、技術普及説明会に変えて、本事業成果を整理した普及啓発資料を作成し、現地関係者に配布した。配布先の一覧は、表 6-17 のとおりである。

表 6-17 普及啓発資料の配布先

	資料配布先
1	環境省 次官
2	環境省 森林総局
3	環境省 植林局
4	環境省 森林エネルギー技術局
5	環境省 調査・計画局
6	環境省 持続的開発局
7	環境省 CN-REDD+(REDD+国家調整ユニット)
8	農業省 調査・計画局
9	国家 REDD+ 基金(FONAREDD) 事務局
10	GI-Agro(現地 NGO)

6.9 実証試験の総括と今後の展開

本試験の総括として、現地植栽試験では、2019 年度に植栽した一部の樹種において、バイオチャーの施用による成長増の効果が確認された。また、間作したキャッサバについても、大きな収穫増がみられた。一方、2020 年度の植栽試験地では、バイオチャーの施用区で植栽木の生存率の低下が認められ、施用の方法やタイミングによっては、バイオチャーの施用が負の効果を発揮する可能性も示唆された。

室内試験においては、バイオチャーの施用により、土壌の化学性、物理性を改善可能であることが確認された。ただし、バイオチャーの性質は原料、焼き加減等により異なるため、栽培したい樹木や農作物に合わせた施用を検討する必要があるものと考えられた。

今後の展開としては、コンゴ民主共和国やカメルーン国での JICA 事業において、バイオチャー施用の試験が計画されている。

6.10 成果品、学会・展示会等における公表及び技術の利活用状況

特になし。

6.11 参考文献

【引用、参考文献】

Anne M. and Amos W. (2016) Agrofresty Tree Seed Training Handbook A Handbook for Community Facilitators.

Behrendt H., Megevand C., Sander K. (2013) Deforestation Trends in the Congo Basin. *Wood-based Biomass Energy*. World Bank, Washington, DC.

<https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/23698> License: CC BY 3.0 IGO.”

- Climate-Data.org. (2020) Kinshasa Weather by Month // Weather Averages. <https://en.climate-data.org/africa/congo-kinshasa/kinshasa/kinshasa-408/>
- Dewitte O. et al., (2013) Harmonization of the soil map of Africa at the continental scale. *Geoderma*, 211-212: 138-153.
- FAO (2015) World reference base for soil resources 2014: International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Update 2015. *World Soil Resources Reports*, 106. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO (2016) *Global Forest Resources Assessment 2015. Second edition*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Fern K. (2020) Tropical Plants Database. 2020-03-02. <http://tropical.theferns.info/>
- Glaser B. et al. (2002) Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal - a review. *Biology and Fertility of Soils*, 35: 219-230.
- Hunt J. et al. (2010) The Basics of Biochar: A Natural Soil Amendment. *Soil and Crop Management* 30. Dec. 2010.
- Kameyama K. et al. (2017) Biochar Amendment of Soils According to their Physicochemical Properties. *Japan Agricultural Research Quarterly* 51 (2): 117-127.
- Ogawa M., Okimori Y. (2010) Pioneering works in biochar research, Japan. *Australian Journal of Soil Research* 48: 489-500.
- Peel M. C. et al. (2007) Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 11: 1633-1644.
- Projet MAKALA (2010) Guide pratique avec les acacias, produire du makala dans son champ
- Seino T. (1998) Intermittent Shoot Growth in Saplings of *Acanthopanax sciadophylloides* (Araliaceae). *Annals of Botany*, 81(4): 535-543.
- Tyukavina A. et al. (2018) Congo Basin forest loss dominated by increasing smallholder clearing. *Science Advance*. 4 (11): eaat2993. DOI: 10.1126/sciadv.aat2993.
- UNEP (2008) Africa: Atlas of Our Changing Environment. Division of Early Warning and Assessment (DEWA) United Nations Environment Programme (UNEP) P.O. Box 30552 Nairobi 00100, Kenya.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019) *World Population Prospects 2019: Highlights*. ST/ESA/SER.A/423.
- 岩田幸良、宮本輝仁、亀山幸司 (2014) バイオ炭混入による砂質土壌の物理性の変化－保水性・透水性・肥料成分の移動への影響について－. *農村工学研究所技報*. 第 215 号:113-121.
- 佐野寛、本庄孝子 (2011) バイオマス半炭化の原理と効用. *高温学会誌*. 37 巻 2 号:43-49.
- 久馬ら (2001) 熱帯土壌学. 名古屋大学出版会.
- 真下育久 (1961) 土壌の理化学性: 吸収板による簡単な pF 値の測定とこれによる土壌水および孔隙の区分. *森林立地*. 3(1):32-34.

【ヒアリング情報】

Kwilu 州 農業省(2017 年 3 月 2 日)農業省の取り組み、農業セクターの活動に関する情報収集.

環境省 植林・園芸局(2019 年 5 月 15 日)植林技術、コスト、樹種に関する情報収集.

GI-Agro(現地 NGO)(2019 年 5 月 16 日)植林技術、コスト、樹種に関する情報収集.

環境省 森林整備インベントリ局(2019 年 5 月 16 日)樹種に関する情報収集.

GI-Agro(現地 NGO)(2019 年 7 月 27 日)トレファクション、在来種に関する情報収集.

GI-Agro(現地 NGO)(2020 年 1 月 27 日)植林コストに関する情報収集.

GI-Agro(現地 NGO)(2021 年 2 月 25 日)苗木基準に関する情報収集