

令和 5 年 6 月 13 日現在

機関番号：82105

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H03120

研究課題名（和文）アグロフォレストリーはバナナの土壌病害を防止できるのか？

研究課題名（英文）Can agroforestry mitigate soil-borne disease in banana plantation?

研究代表者

藤井 一至 (Fujii, Kazumichi)

国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等

研究者番号：60594265

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,800,000円

研究成果の概要（和文）：インドネシアにおいてバナナの土壌フザリウム病害を抑制できる土壌条件、栽培条件を調査した結果、バナナの病害抵抗性を高めるケイ素の吸収は火山灰土壌、アグロフォレストリーで高まることを解明した。また、病害性を持ちうるフザリウム菌の土壌中の相対割合は、土壌炭素量を増やすアグロフォレストリーで低減できることを解明した。バナナ農園においてアグロフォレストリーは安価な病害対策として有効となることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

東南アジアにおいてバナナは重要な農産品目だが、大規模プランテーションではパナマ病、新パナマ病、黒シガトカ病が発生し、バナナの生産は危機に瀕している。そこで、バナナの病害を抑制できる土壌条件、栽培条件を調査し、バナナの病害抵抗性を高めるケイ素の吸収は火山灰土壌、アグロフォレストリーで高まること、病害性を持ちうるフザリウム菌はアグロフォレストリーで低減できることを解明した。これはバナナの持続的な生産に貢献する知見となる。

研究成果の概要（英文）：We investigated the chemical properties of soil and banana to identify the soil environmental factors and management practices. We found that silicon can increase resistance to pathogens and that silicon uptake by banana could be enhanced in volcanic soils under agroforestry. We also found that *Fusarium* spp. abundance can be reduced under agroforestry practices by increasing soil carbon contents. We found that agroforestry is a cost-effective strategy to mitigate disease risks.

研究分野：土壌学

キーワード：土壌病害 バナナ 土壌酸性化 熱帯林 アグロフォレストリー

1. 研究開始当初の背景

東南アジアにおいてバナナは主食として、あるいは輸出フルーツとして重要な品目である。しかし、大規模プランテーションではパナマ病、新パナマ病、黒シガトカ病が発生し、バナナの生産は危機に瀕している。このうち、パナマ病、新パナマ病は根から感染するカビ *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* (FOC) によって感染する土壌病害である。土壌を介した病害対策には、(1) 肥培管理によってバナナの病害抵抗性を高める、(2) フザリウム菌そのものの増加を抑制する、という二つの手段がある。(1) について、バナナはケイ素集積植物であり、シリカ・クチクラ二重層の形成によってフザリウム菌の侵入を阻害する機能がある。しかし、火山灰性・非火山灰性土壌によってバナナへのケイ素供給力は異なり、抵抗性の強さに影響する可能性がある。(2) については、フザリウム菌は森林に少ないことが知られている。ジャワ島のバナナ生産地に多い屋敷畑はマメ科樹木のアグロフォレストリーが主体であり、樹木の植栽密度を最適化することでバナナ園のフザリウム菌密度を抑制できる可能性がある。

2. 研究の目的

アグロフォレストリーは土壌酸性化を加速する可能性があるが、ケイ酸塩鉱物の風化を通してバナナに必要なケイ酸を供給し、病害抵抗性を高める効果が期待できる。また、土壌有機物量の回復による病原菌と拮抗する微生物群集の多様性を高めることで病害リスクを低減できる可能性がある。そこで本研究では、インドネシアの東ジャワ州、東カリマンタン州のバナナ農園を事例に①アグロフォレストリーによる土壌有機物量と土壌酸性度の変化を調査し、バナナのケイ素吸収促進効果を検証し、②アグロフォレストリーによる土壌微生物群集の変化を調べ、病害抑制効果を検証することを目的とした。

3. 研究の方法

調査地は、非火山灰土壌 (Ultisols) である東カリマンタン州ブキツスハルトのバナナ農園 1 地点 (図 1、BS) のアグロフォレストリー区、バナナ単一栽培区と、火山灰土壌 (Andisols) である西ジャワ州ルマジャンの小規模バナナ農園 3 地点 (図 1、LJ) のアグロフォレストリー区、バナナ単一栽培区を選定した。アグロフォレストリーの樹木は、東カリマンタン州では *Artocarpus* spp. または *Acacia mangium*、東ジャワ州では *Paraserianthes falcataria* であった。バナナの葉および表層土壌 (0-10 cm 深) を採取し、比較した。

バナナの葉ケイ酸含量は硝酸湿式分解法 (残渣および溶出液の和) を用い、土壌の可給態ケイ酸量としてリン酸緩衝液 (土液比 1:10)、蒸留水 (土液比 1:5) 抽出法を比較した。また、酸性度の指標として土壌 pH、火山灰混入の指標として酸性シュウ酸抽出ケイ素含量 (Si_0) を求めた。また、ケイ酸含量 ケイ酸カルシウム施肥土壌、炭酸カルシウム施肥土壌、無施肥土壌 (pH3.5, 4.5, 5.5, 6.5, 7.5) におけるバナナのポット栽培試験 (温室, 21 日間) を実施し、バナナの葉および根のケイ酸含量を求めた。

土壌微生物群集については、インドネシアのカウンターパートによって土壌 DNA 抽出、細菌叢は V4 領域、菌叢は ITS 領域特異的なプライマーを用いて PCR、アンプリコンシーケンス解析を行い、細菌、菌叢それぞれについて相対頻度を求めた。また、土壌微生物の群集組成を制御する土壌物理化学条件を解明するため、土壌の表面積を BET 法 (Brunauer-Emmett Teller, Quantachrome Nova 4200e)、粒径組成をレーザー分析法 (Partica LA-960, Horiba) によって求めた。

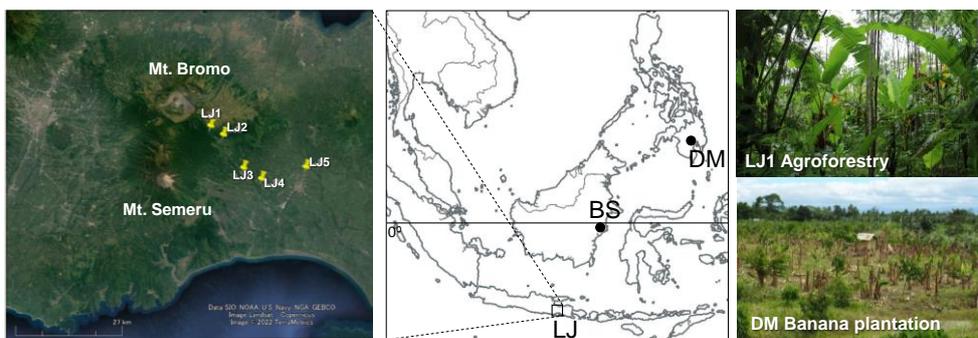


図1. 調査地 (本調査のインドネシア (BS,LJ)、予備調査のフィリピン (DM))

4. 研究成果

インドネシア調査に先立ち、フィリピンにおける予備調査によって健康なバナナでは、パナマ病、黒シガトカ病のバナナよりも葉中のケイ酸含量が高いことを確認した (図 2)。これは病害抵抗性に関してバナナ体内のケイ酸の重要性を示唆している。研究成果は *Soil Science and Plant Nutrition* 誌において発表した。

インドネシアでの本調査の結果、バナナの葉ケイ酸含量、土壌の Si_0 含量、リン酸緩衝液抽出ケイ酸量はいずれも火山灰土壌で非火山灰土壌よりも高い値を示した。土壌の水抽出ケイ素含量は pH とともに増加したが、リン酸緩衝液抽出ケイ素含量及びバナナ葉中のケイ酸含量はシュウ酸可溶ケイ素量 (火山灰特徴) によって強く制御されていた (図 3)。以上から、アグロフォレストリーは 3 か所のうち 2 か所でバナナ葉中のケイ酸含量を増加させた。バナナのケイ素吸収はまず火山灰混入程度 (易風化性鉱物量) に依存し、アグロフォレストリーによっても影響を受けることが示された。

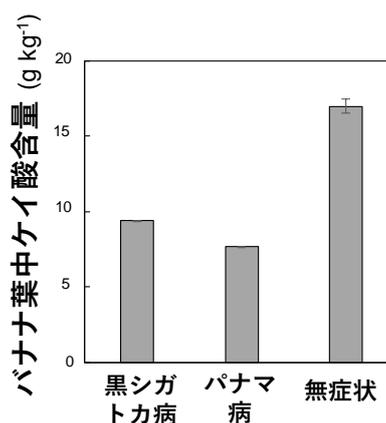


図2. バナナのケイ酸含量と病害

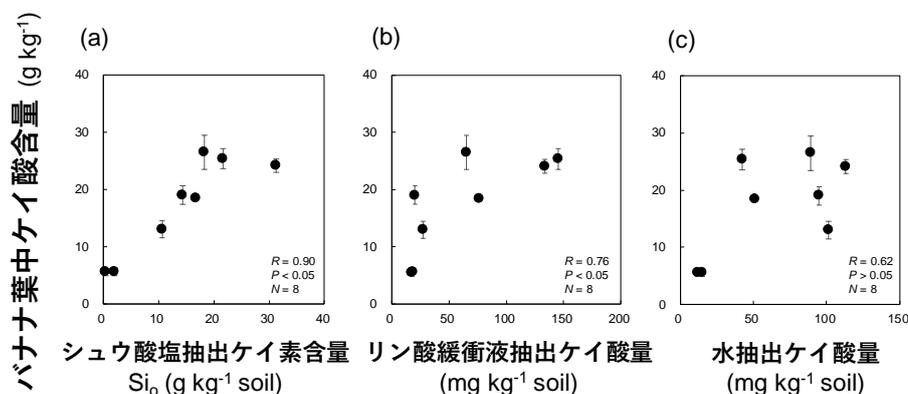


図3. バナナ葉中ケイ酸含量と土壌ケイ素成分との関係

なお、国内の温室におけるポット試験栽培においても、バナナの葉、根のケイ酸集積は酸性条件で抑制されることを確認しており (図 4)、アグロフォレストリーによって酸性化が進行すればケイ酸吸収が逆に抑制される可能性がある。非火山灰土壌では結晶性の高いケイ酸塩鉱物 (カオリナイト等) が卓越し、且つ、酸性であることがバナナのケイ素吸収を抑制したと考えられ、酸性矯正、ケイ酸資材の施用が有効となる。研究成果は土壌肥料学会、*Soil Science and Plant Nutrition* 誌において発表した。

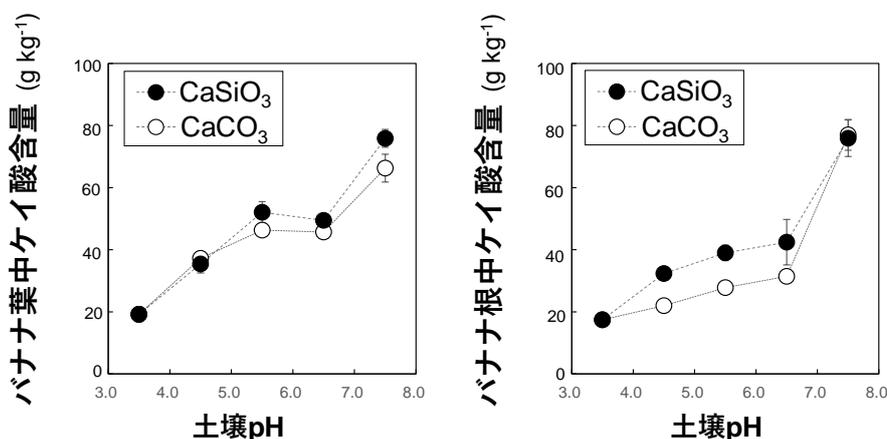


図4. バナナ葉・根中ケイ酸含量と土壌 pH との関係

インドネシアの試験地 (LJ, BS) において、アグロフォレストリー区の土壌では、潜在的な病原菌を含むフザリウム菌 (*Fusarium spp.*) の相対割合が単一栽培区よりも低下することが示された (図 5)。土壌炭素量の低い条件 (5%以下)、相対的に高い pH 条件でフザリウム菌の相対割合が上昇することから (図 6)、アグロフォレストリーによる土壌炭素量の増加が微生物群集の多様性を高め、フザリウム菌の比率を低下させたと考えられる。古細菌は表面積とともに増加することを解明し、拮抗微生物が増加する条件についても特定した。

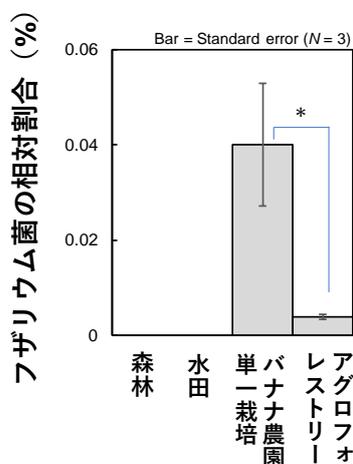
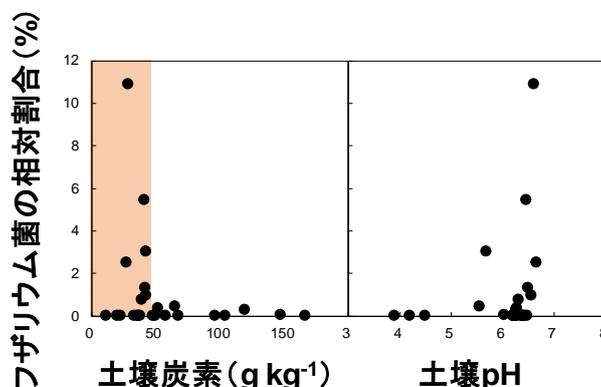


図5.フザリウム菌の相対割合



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件／うち国際共著 5件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Fujii Kazumichi, Toma Takeshi, Sukartiningsih	4. 巻 465
2. 論文標題 Comparison of soil acidification rates under different land uses in Indonesia	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plant and Soil	6. 最初と最後の頁 1~17
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s11104-021-04923-y	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Fujii Kazumichi, Makita Naoki, Kamara Mouctar, Kuttim Martin, Sugita Shinya	4. 巻 464
2. 論文標題 Plasticity of pine tree roots to podzolization of boreal sandy soils	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plant and Soil	6. 最初と最後の頁 209~222
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s11104-021-04928-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Fujii Kazumichi, Funakawa Shinya, Hayakawa Chie, Kosaki Takashi	4. 巻 498
2. 論文標題 Effects of clearcutting and girdling on soil respiration and fluxes of dissolved organic carbon and nitrogen in a Japanese cedar plantation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Forest Ecology and Management	6. 最初と最後の頁 119520~119520
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.foreco.2021.119520	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Kazumichi Fujii, Takeshi Toma, Sukartiningsih	4. 巻 未定
2. 論文標題 Comparison of soil acidification rates under different land uses in Indonesia	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plant and Soil	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s11104-021-04923-y	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Chuwongpanich W, FUJII K, INAGAKI Y, Hayakawa C, Chittamart N	4. 巻 未定
2. 論文標題 Effects of sugarcane substrate inputs on microbial biomass and nitrogen availability in tropical sandy soils of northeast Thailand.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Soil Science and Plant Nutrition	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00380768.2020.1870095	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Fujii, K., Nakada Y, Umezawa K, Yoshida M, Shibata M, Hayakawa C, Inagaki Y, Hangs R.	4. 巻 未定
2. 論文標題 A comparison of lignin-degrading enzyme activities in forest floor layers across a global climatic gradient.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Soil Ecology Letters	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s42832-020-0042-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計7件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 藤井一至、新井和菜、磯部一夫、小松健、早川智恵、Arief Hartono
2. 発表標題 バナナ農園のケイ酸供給能力に対する土壌タイプおよび共存植生の影響
3. 学会等名 日本土壌肥料学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤井一至、早川智恵、稲垣善之、舟川晋也、小崎隆
2. 発表標題 リター分解速度および土壌中の溶存有機炭素フラックスに対する気候の影響
3. 学会等名 JPGU
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kazumichi Fujii
2. 発表標題 Effects of land use change on organic matter turnover and soil acidity in tropical forests
3. 学会等名 Forest degradation and ecological restoration in East Asia (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kazumichi Fujii
2. 発表標題 Estimating potential soil water retention using soil physicochemical properties
3. 学会等名 International Conference Forest and Landscape Restoration of Post-Mining Sites (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤井一至、松本建速、西田泰民
2. 発表標題 馬高遺跡周辺の森林土壌特性と火焰型土器の胎土組成への影響
3. 学会等名 日本ペドロロジー学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤井一至、金谷 整一、手塚 賢至
2. 発表標題 屋久島の7300年間の土壌酸性化を推定する
3. 学会等名 JPGU
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤井一至
2. 発表標題 高校地理科目における土壌教育内容の問題点と改善案
3. 学会等名 日本土壌肥料学会（招待講演）
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Kazumichi Fujii	4. 発行年 2021年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 395
3. 書名 Soils of Japan	

〔産業財産権〕

〔その他〕

藤井一至のホームページ https://sites.google.com/site/fkazumichi/
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	小松 健 (Komatsu Ken) (60451837)	東京農工大学・(連合)農学研究科(研究院)・准教授 (12605)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	早川 智恵 (Hayakawa Chie) (10725526)	宇都宮大学・農学部・助教 (12201)	
研究分担者	磯部 一夫 (Isobe Kazuo) (30621833)	東京大学・大学院農学生命科学研究科（農学部）・助教 (12601)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関