

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 17 日現在

機関番号：12605

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25850040

研究課題名(和文)半乾燥熱帯アフリカにおけるルーピンを用いた土壌難溶性リン利用技術の開発

研究課題名(英文) Application of P-efficient legumes for utilization of less labile P in dry tropical cropland, Tanzania

研究代表者

杉原 創 (Sugihara, Soh)

東京農工大学・(連合)農学研究科(研究院)・准教授

研究者番号：30594238

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：サブサハラアフリカに分布する強風化土壌では、土壌リンの多くはFe・Al酸化物と結合した通常の植物が利用できない形態(=難溶性リン)で存在する。本研究では、この難溶性リンを効率的に利用可能な植物として注目を浴びている、White lupinを始めとした3種のマメ科作物を対象に、タンザニアに分布する熱帯強風化土壌を用いてポット試験を行い、根圏土壌における難溶性リンの可給化能を評価し、その特性を解明した。この結果、White lupinのみが難溶性無機態リンを多く可給化すること等を解明し、難溶性リン可給化技術の開発に必要な知見が得られた。

研究成果の概要(英文)：Phosphorus (P) deficiency is one of the largest constraints to crop production in tropical Africa, so, it is necessary to better exploit soil P resources through increasing labile soil P using P-efficient plants. The aim of this study was to evaluate the effect of various P-efficient legumes (especially for white Lupin; *Lupinus albus* L.) on fractionated rhizosphere soil P in two contrasting textured soils of Tanzania. We conducted a 30-day pot experiment, where white lupin (WL), cowpea (*Vigna unguiculata* L.; CP) and pigeon pea (*Cajanus cajan* L.; PP) were grown. We observed clear effects of all legumes on the rhizosphere soil P dynamics of all fractions in both soils, except for the labile P fraction in clayey soil. The effect of legume growth on the less labile inorganic P fraction (NaOH-Pi) was different between legumes; WL decreased the NaOH-Pi, while CP and PP increased it. Our results suggest that WL had different P mobilization characteristics from CP and PP.

研究分野：環境土壌学

キーワード：リン 難溶性リン シロバナルーピン 半乾燥熱帯アフリカ 土壌肥沃度

1. 研究開始当初の背景

半乾燥熱帯アフリカにおける飢餓人口は依然増加し続けており、この解決は地球規模での取り組みが必要な喫緊の課題であり (WFP, 2008)、日本からアフリカへの、更なる技術支援の実施も TICAD (2008) で決定されている。貧栄養な土壌が分布する当該地域の収量規定要因にリンがあることは既に知られているが (Sanchez, 2002, *Science* 誌)、近年の世界的なリン肥料価格の高騰により、経済的に困窮する現地農民によるリン肥料の使用は益々困難になっている (FAO, 2010)。

近年、土壌難溶性リンを特異的に吸収できる植物の探索が半乾燥熱帯アフリカで開始され、シロバナルーピン (*Lupinus albus* L.: 以下ルーピン) 等のマメ科作物が有望であることが報告された (Weisskopf et al. 2009, *Plant and Soil* 誌)。しかし、半乾燥熱帯アフリカという土壌・気候条件下におけるルーピンの潜在的リン可給化能や、有機質リン資材としてのルーピン残渣のリン供給特性等が未だに解明されていないため、アフリカにおけるルーピンを利用した農業技術の構築には至っていない。なお、ルーピンによる土壌難溶性リンの可給可能に関しては、黒ボク土壌が分布するために土壌難溶性リンが多い日本でも近年注目を浴びており (Wasaki et al. 2003, *Plant and Soil* 誌等)、日本の農耕地土壌でルーピンが1作期中に吸収するリン量は 8~15kg/ha にもおよび、この量は、タンザニアにおける1作期のトウモロコシ・リン吸収量の約2倍に相当し、当該国の推奨施肥量の半分に相当する。これらのことは、ルーピンを用いた新規農業技術の構築が十分に実現可能であることを示唆している。

2. 研究の目的

上述した研究背景を受け、本研究では、半乾燥熱帯アフリカにおいて『ルーピン栽培による土壌難溶性リンの農業利用技術』の構築に必要な知見を得るために、当地域の土壌・気候条件下でのルーピンが持つ土壌難溶性リンの潜在的可給化能力及びその規定要因の解明を行うことで、ルーピン栽培に基づく土壌難溶性リンの動態を解明し、土壌難溶性リン利用技術を開発することを目的とする。また、現地で既に普及している他のマメ科作物 (ササゲとキマメ) に関しても、土壌難溶性リンの可給化能力を調査することで、今後の技術開発に資することも目的とする。

3. 研究の方法

半乾燥熱帯アフリカの典型的な気候・土壌を有し、土壌リンの挙動に関する知見が既にある (Sugihara et al., 2012)、タンザニア・モロゴロ県・ソコイネ農業大学内で下記実験

を行った。

粘土質で Fe・Al 酸化物が多い土壌 (粘土質) と、砂質で Fe・Al 酸化物が殆どない土壌 (砂質) を用いて 30 日間のポット栽培試験を実施した。処理区としてルーピン (White lupin (WL))、ササゲ (CP)、キマメ (PP) のマメ科作物 3 種を栽培した区と無植栽区を設けた (4 処理: 各 5 連)。栽培後、各作物根に付着した根圏土壌および無植栽区の土壌 (Ctrl) を採取し、Hedley 連続抽出法による形態別リン量、土壌 pH 等を測定したほか、植物体が吸収したリン量も測定した。

これに加えて、窒素施用区ならびに硫黄施用区もそれぞれのマメ科作物に対して設けた。窒素施用区は、窒素が十分存在する条件下においてマメ科作物が難溶性リン可給化能を向上するかどうかに関する検証のために、硫黄施用区は、硫黄施肥によりマメ科作物の窒素固定能が向上するといわれていることから、硫黄施肥により窒素・リン循環が改善するかどうかに関する検証のために、それぞれ設けた。

Hedley 連続抽出法とは、土壌中に存在するリンを植物への可給度毎に評価する手法として良く使用される方法である。具体的には、同じ土壌を用いて、水 (イオン交換樹脂を使用) 抽出、NaHCO₃ 抽出、NaOH 抽出、HCl 抽出を連続的に行い、抽出した溶液中のリン濃度を、無機態リンと有機態リンとに分けて測定する。また、残差として残った土壌中の全リンも測定を行う。この中で、水抽出と、NaHCO₃ 抽出で測定されるリンは可溶性が高く、可給態リンとして評価されており、NaOH 抽出、HCl 抽出で測定されるリンと、残差中のリンは可溶性が低く、難溶性リンとして評価されている。

4. 研究成果

(1) 3 種のマメ科作物のリン吸収能

植物体リン量は、粘土質で WL>CP>PP、砂質で CP>PP>WL となった。

表 1. タンザニアにおけるポット栽培による植物の重量、リン濃度、リン吸収量に関するデータ

土壌	植物体バイオマス量 (g pot ⁻¹)		リン濃度 (mg P g ⁻¹)		リン吸収量 (mg P pot ⁻¹)	
	地上部	根	地上部	根		
砂質土壌	WL	0.40c	0.12b	2.46a	3.40a	1.37c
	CP	1.13a	0.62a	2.27b	3.25a	4.60a
	PP	0.79b	0.46ab	1.78b	1.93b	2.28b
粘土質土壌	WL	0.60b	0.17	3.97a	4.40a	3.11a
	CP	0.98a	0.33	0.73b	1.49b	1.21b
	PP	0.77ab	0.23	1.08ab	1.10b	1.10b

このことから、粘土質土壌ではルーピンのリン可給化能が非常に高い一方で、砂質土壌では、ルーピンよりもカオピーの方がリン可給化能が高いことが明らかになった。この理由として、砂質土壌では、カオピーが地上部、地下部ともに非常に良く成長しており、植物体のリン濃度もそれなりに高いことが原因であると考えられる。この結果は、土壌中のリンが少ない砂質土壌では、植物体の成長量の多寡も、土壌難溶性リン可給化技術を開発する際に重要な要因となることを示している。

(2) 砂質土壌におけるリン挙動

可給態の無機態リンは全ての植栽区で増加し、可給態の有機態リンはルーピンでのみ減少した。可給度の低い NaOH 抽出画分の無機態リンは、ルーピンにおいてのみ、有意な減少が観測された。この結果は、ルーピンのみが、この画分の難溶性リンを可給化していることを示しており、ルーピンが持つ高い難溶性リン可給化能がこの熱帯強風化土壌（砂質土壌）においても通用することを示している。

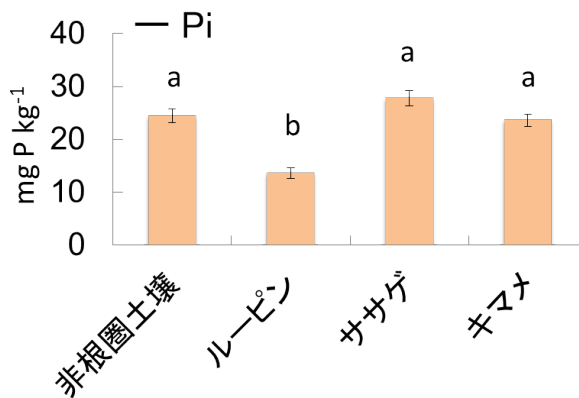


図 1. 砂質土壌で栽培された各種マメ科作物の根圏土壌から NaOH で抽出した無機態リン含量。

この一方で、可給度の低い NaOH 抽出画分の有機態リンに関しては、ルーピン、ササゲ、キマメの全てにおいて増加が観測された。この原因に関しては、現段階では不明なものの、おそらくは根圏土壌周辺で増殖した土壌微生物バイオマスリン由来のものを、この画分で評価している可能性が高いと思われる。今後、さらに研究を行うことで明らかにしたいと考えている。

(3) 粘土質土壌におけるリン挙動

可給態の無機態リンはキマメを除く全ての植栽区で増加した。一方で可給態の有機態リンは全ての植栽区において、顕著な変動は観測されなかった。次に、可給度の低い NaOH 抽出画分の無機態リンは、砂質土壌と同様に、ルーピンにおいてのみ、有意な減少が観測された。

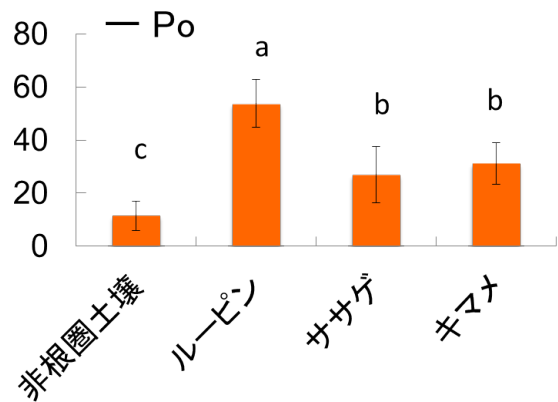


図 2. 砂質土壌で栽培された各種マメ科作物の根圏土壌から NaOH で抽出した有機態リン含量。

この結果は、ルーピンのみが、この画分の難溶性リンを可給化していることを示しており、ルーピンが持つ高い難溶性リン可給化能が、当該地域の熱帯強風化土壌（粘土質土壌）においても通用することを示している。

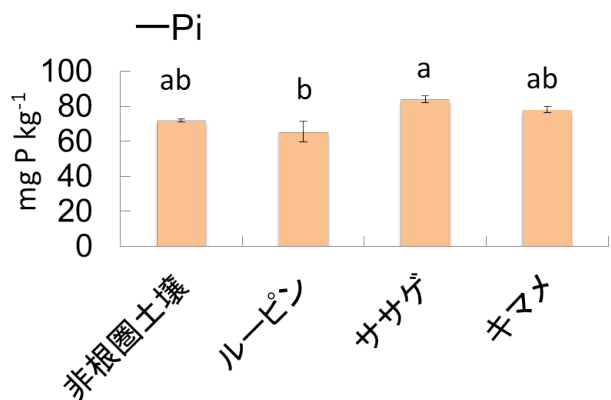


図 3. 粘土土壌で栽培された各種マメ科作物の根圏土壌から NaOH で抽出した無機態リン含量。

この一方で、可給度の低い NaOH 抽出画分の有機態リンに関しては、砂質土壌と同様に、ルーピン、ササゲ、キマメの全てにおいて増加が観測された。この原因に関しては、現段階では不明なものの、おそらくは根圏土壌周辺で増殖した土壌微生物バイオマスリン由来のものを、この画分で評価している可能性が高いと思われる。今後、さらに研究を行うことで明らかにしたいと考えている。

(4) まとめ

近年、土壌難溶性リンを特異的に可給化するマメ科作物として注目を浴びているルーピンは、サブサハラアフリカに分布する熱帯強風化土壌（砂質土壌と粘土質土壌）においても、顕著に難溶性リンを可給化していることを明らかにした。

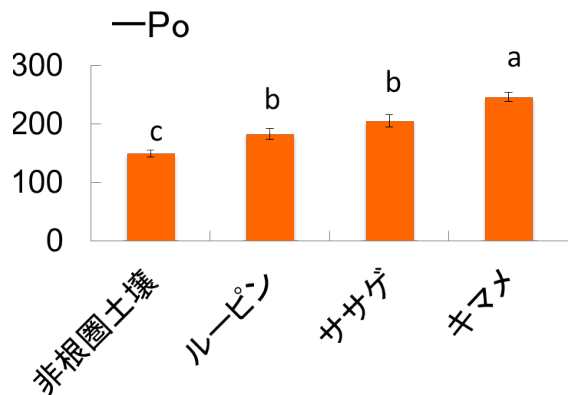


図 4. 粘土質土壌で栽培された各種マメ科作物の根圏土壌から NaOH で抽出した有機態リン含量。

特に、他のマメ科作物（ササゲとキマメ）との比較から、ルーピンは NaOH で抽出される無機態リンを特に可給化していることが、本研究から明らかになった。このことは、類似の土壌・気候環境下において、土壌中に存在する無機態の難溶性リンの可給化に、ルーピンの栽培が有効であることを示している。またこの成果により、現地で普及している、安価だが可溶性が低いために施肥効率が非常に低いことが問題となっているリン鉱石（すなわち難溶性の無機態リンの塊）の効果的利用に際しても、ルーピン栽培が有効であることを示唆している。

この一方で、植物体のリン吸収量という観点から検討を加えた場合、土壌中の全リン含量が多い粘土質土壌ではルーピンが顕著に高かった一方で、土壌中の全リン含量が低い砂質土壌ではルーピンよりもササゲ、キマメの方がリン吸収量が高かったことから、土壌特性によって、土壌難溶性リンの可給化に効果的なマメ科作物が異なる可能性も新たに示された。この理由としては、砂質で酸化鉄・アルミニウム含量が少ないためにそもそも難溶性リンが少ない砂質土壌では、ササゲ・キマメの高い植物成長量のほうがリンの可給化に寄与していることが考えられる。今後の研究では、これらの点にも留意しつつ進めることで、当該地域の気候・土壌特性に応じた難溶性リン可給化技術の構築を行う必要があることが判った。

なお、窒素施用区ならびに硫黄施用区に関する結果は、両土壌および全てのマメ科作物において、顕著な違いは観測できなかった。このことから、窒素、硫黄の施肥は難溶性リンの可給化に大きな影響を与えない可能性が示唆された一方で、今回実施した栽培試験の生育期間が 30 日間と比較的短かったことも顕著な影響が観測されなかった原因として考えられたため、今後さらに踏み込んで検討する必要があると考えられた。

これらの研究成果を基に、今後はルーピンに加えて現地マメ科作物（ササゲ、キマメ）

も選択肢にいたうえで、土壌難溶性リンの可給化を実現する技術を開発するとともに、これらマメ科作物の栽培がリン鉱石の可溶化・可給化に与える影響についても研究をすすめることで、当該地域の食糧増産に貢献していきたいと考えている。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計 2 件)

Nishigaki T, Sugihara S, Kilasara M, Funakawa S. (2016) Surface runoff generation and soil loss under different soil and rainfall properties in the Uluguru mountains, Tanzania. Land Degradation and Development. In press. (査読有)

Sugihara S, Tomita Y, Nishigaki T, Kilasara M, Wasaki J, Funakawa S. (2016) Effects of different phosphorus-efficient legumes and soil texture on fractionated rhizosphere soil phosphorus of strongly weathered soils. Biology and fertility of soils. 52, 367-276. (査読有)

〔学会発表〕(計 3 件)

Sugihara S, Funakawa S, Nishigaki T, Kilasara M, Kosaki T. (2015) Evaluation and improvement of soil carbon, nitrogen and phosphorus dynamics in Tanzania. 28th Soil Science Society of East Africa. Morogoro, Tanzania. 23-27 Nov. 2015. 【基調講演】

Sugihara S, Tomita Y, Nishigaki T, Kilasara M, Wasaki J, Funakawa S. (2015) Different P uptake characteristics of three legumes in two contrasting soil texture croplands of Tanzania. 12th International conference of East and South East Asian Federation of Soil Science. Nanjing, China. 18-21 Sep. 2015.

杉原創、富田祐太郎、西垣智弘、Method Kilasara、和崎淳、舟川晋也 (2015 年) 熱帯強風角状においてマメ科作物が根圏土壌のリンの存在形態に与える影響の解明 ~ White lupin, Cowpea, Pigeon pea の比較から ~ , 日本土壌肥料学会、京都大学(京都府京都市)、2015 年 9 月 9-11 日

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

個人の研究紹介 HP

<https://sites.google.com/site/sugihara0901/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

杉原 創 (SUGIHARA, Soh)

東京農工大学・大学院農学研究科・准教授

研究者番号：30594238