

令和 5 年 5 月 11 日現在

機関番号：10105

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2022

課題番号：19K15948

研究課題名（和文）熱帯の火山灰土壌における簡易リン肥沃度評価方法の構築とジャガイモ生産性の向上

研究課題名（英文）Development of a rapid soil phosphate fertility test and improvement of potato productivity under volcanic ash soils in the tropics

研究代表者

木下 林太郎（Kinoshita, Rintaro）

帯広畜産大学・グローバルアグロメディシン研究センター・助教

研究者番号：70793678

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）：熱帯地域の高地ではバレイショが栽培されているが収量は低い。これらの地域では火山灰土壌が広く分布しており、土壌のリン肥沃度が低いことがバレイショ収量を制限していると考えられた。本研究では、ケニア共和国を対象にバレイショ栽培圃場の土壌特性と肥沃度を調査するとともに、リンの簡易分析方法の確立を目指した。その結果、これらの地域の土壌のリン肥沃度は圃場ごとに大きく異なり、調査地域では約8割の地点で既に適正から過剰であることが明らかとなった。家畜ふん尿の多投入が原因であると考えられた。また、風乾土含水率によるリン酸吸収係数の簡易測定法を確立した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

熱帯の火山灰土壌ではリン肥沃度が低いことが作物収量の制限因子であると考えられていたが、調査対象地域ではリンは適正か過剰な地点が多いことが明らかとなった。リン過剰が作物収量や品質だけでなく、周辺環境に及ぼす影響の評価も重要であると考えられた。土壌のリン固定力は土壌のリン肥沃度に影響を及ぼすため重要である。本研究から、土壌のリン固定力を土壌が風乾後に含む水分含量を評価することで推定可能であることが明らかになった。

研究成果の概要（英文）：Potato is a popular crop to be cultivated in the highlands of the tropics but the yields are low. Volcanic ash soils are wide spread in these areas and low phosphate fertility is thought to be the major cause of low yield. This study assessed soil characteristics and phosphate fertility of the potato growing fields of Kenya. We also developed rapid soil phosphate fertility testing method. The phosphate fertility of potato growing fields were variable depending on the fields and more than 80% of the fields showed optimum to excessive available phosphate. This is likely caused by large inputs of animal manure. We developed a rapid phosphate absorption coefficient testing method using air dry soil moisture content.

研究分野：土壌学

キーワード：土壌 リン肥沃度 バレイショ 熱帯 黒ボク土 リン酸吸収係数 簡易分析法

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

本研究のモデル地域である東アフリカのリフトバレー(大地溝帯)では、起伏に富んだ地形により多様な作物栽培環境が存在し、主食であるトウモロコシや近年消費量が伸びているジャガイモなどの多くが自家消費を目的とする家族単位で生産されている。ジャガイモは単位面積当たり得られるエネルギー量が他の作物に比べ多いだけでなく、ミネラルやビタミンに富むため食糧安全保障にとって重要である。これまで、生産性の向上を目指してハイブリッド種子、化学肥料および化学農薬などの画一的な技術が導入されてきたが、未だ収量は日本の半分程度である(ケニア:16.3 t ha⁻¹; 日本:30.1 t ha⁻¹; FAO, 2017)。

2. 研究の目的

本研究の目的は、ケニア共和国のジャガイモ生産地域における土壌の養分状態を把握するとともに、収量制限因子となっている土壌特性の現実的な評価方法の確立を目指すことである。

3. 研究の方法

1) 調査地域および試料採取

本研究はアフリカ東部のケニア共和国を対象とした。同国は東アフリカで第2位の国内総生産(GDP)を有し、その約25%は農業が占めている。労働人口の約7割が農業に従事している農業大国である。同国西部には東アフリカ大地溝帯が南北に走っており、大地溝帯の左右の高地は比較的冷涼であり、ジャガイモなどの野菜生産が盛んである。本研究は、首都ナイロビ近郊の主要なジャガイモ生産地域であるキアンブ県を対象とした。地域内の3地点において土壌断面調査を行い、地域内の地質、地形、植生および気候が土壌特性に与える影響を明らかにした。ジャガイモが生産されていた26圃場において土壌サンプルを採取するとともに生産者に聞き取り調査を行った。

2) 土壌分析

土壌試料は粒径組成、鉱物組成、全炭素量、全窒素量、養分保持力および可給態養分量の評価に供試された。有効態リン酸は土壌中に含まれるリンの中で植物が吸収可能な画分である。本研究ではトルオーグ法を用いた。リン酸吸収係数は土壌固有のリン固定力の評価であり、値が大きい場合は土壌がリンを吸着または沈殿反応によって固定し、リンの植物への可給性を低下させると考えられている。13.44 mg P₂O₅ ml⁻¹のリン酸反応液を土壌:液比1:2で加え、24時間放置した後、ろ液のリン濃度をモリブデン黄法を用いて発色し、分光光度計(UV mini-1240; Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan)を用いて測定した。

3) 簡易土壌分析法の構築

現地で実施可能なリン酸吸収係数の分析法を構築するため、試料を30℃の定温オーブンで1週間乾燥させた後に、電子天秤を用いて風乾土質量を秤量した。その後、試料を105℃で24時間乾燥させ、再度秤量した。風乾土に含まれていた水分含量を風乾土含水率(kg kg⁻¹)として算出し、リン酸吸収係数の実測値との関係性を評価した。

ドローン搭載のマルチスペクトルカメラ(Green: 500-620 nm; Red: 550-730 nm; NIR: 770-900 nm; DJI-P4Pro-G-R-NIR; LDP LLC, Carlstadt, USA)を用いて試料の撮影を行った。安定した光源を暗室内に設置し撮影した。各波長の画像データはImage Jソフトウェアを用いて抽出し、分析データとの関係性を評価し、II型回帰直線を用いて推定モデルを構築した。

4. 研究成果

1) ジャガイモ生産現場の実態調査

本研究対象のキアンブ県には、熱帯の赤色土壌の一つであるNitisolsが分布していることが明らかとなった(図1)。この土壌は塩基性の粗面岩を母材としており、土壌中にはカリウム、マグネシウムおよびカルシウムなどの養分が豊富に存在していた。高温かつ多雨条件下では土壌が酸性になり易いが、本研究対象地域のほとんどの地点でpHは6.0から7.0の間であり、酸性の問題は全く見られなかった。土壌中の無機態窒素量は16.2から61.0 mg kg⁻¹であり、面積当たり換算すると約32から120 kg ha⁻¹であると推定された。多収のジャガイモでも窒素吸収量が100 kg ha⁻¹程度であり、肥料や土壌有機物からの窒素供給があることを考慮すると、無機態窒素は過剰傾向であると考えられた。無機態窒素は河川に流入すると水質汚染を引き起こすだけでなく、土壌中の微生物により還元された亜酸化窒素ガスは温室効果ガスである。土壌の無機態窒素



図1 ジャガイモ生産圃場と土壌断面

土壌中の無機態窒素は河川に流入すると水質汚染を引き起こすだけでなく、土壌中の微生物により還元された亜酸化窒素ガスは温室効果ガスである。土壌の無機態窒素

量が過剰な農家は直ちに窒素肥料の投入量を減らす必要がある。有効態リン酸は 43.8 から 1610 mg P₂O₅ kg⁻¹ の範囲であり、平均は 400 mg kg⁻¹ であった。日本のジャガイモ生産における有効態リン酸の適正值が 100 から 300 mg kg⁻¹ であり、本研究の有効態リン酸は過剰から超過剰の地点まで存在した。一方で、有効態リン酸が 100 mg kg⁻¹ 未満の地点も 4 地点あり、圃場ごとにリン肥沃度が大きく異なることが明らかとなった。調査地点のリン酸吸収係数は 800 から 1250 の間であり、土壌のリン固定力は比較的高く、地点によりリン固定力にある程度違いがあった。現地では土壌のリン固定力が高いことを考慮して、リンを多く含む化学肥料(リン酸二アンモニウム)の施用が推奨されている。しかし、聞き取り調査の結果から推奨されている 500 kg ha⁻¹ 以上施用している農家は全体の 2 割程度であることが明らかとなった。一方で、9 割以上の農家は牛ふんや鶏ふんなどの家畜ふん尿を施用していた。鶏ふんはリン酸カルシウム的一种であるフィチン酸カルシウムを多く含み、鶏ふんの施用が確認された地点の有効態リン酸は多い傾向が認められた。過剰な鶏ふんの施用が有効態リン酸の過剰の要因であると考えられた。土壌中に過剰な有効態リン酸が存在すると、作物の他の元素の吸収阻害、病障害の発生率増加、収量の低下および貯蔵性の低下などが引き起こされると報告されている。本研究地域でも同様の問題が発生していると考えられ、土壌の有効態リン酸の適正化が喫緊の課題である。最も有効な対策は不必要な化学肥料および家畜ふん尿の投入を避けることである。しかし、現状では圃場ごとの有効態リン酸およびリン酸吸収係数の評価は難しい。土壌分析が可能な設備は首都ナイロビにしか存在せず、土壌分析や試料の輸送等のコストも高い。現地で実施可能な土壌分析の開発が求められている。

2) 簡易土壌分析法の構築

既存の土壌分析は調整が煩雑かつ危険な試薬、長い分析時間および高価な機材を必要とし、現地で実施することが難しい。リン酸吸収係数の簡易分析を検討した。風乾土含水率は電子天秤と定温オープンがあれば測定することが可能である。本研究の試料でも風乾土含水率を利用することにより高い精度でリン酸吸収係数が推定できることが明らかとなった ($R^2 = 0.65$; RMSE = 78.9)。精度の高い電子天秤がない場合は試料の重量を増やすことで精度を向上することが可能であり、定温オープンの代わりに電子レンジで土壌を乾燥させることも可能である。

3) リモートセンシング技術の応用

既存の土壌分析の代替として、リン酸吸収係数の簡易分析法を構築した。しかし、この土壌分析方法はサンプルを採取して分析を行うため、広域のデータを短時間で取得することは難しい。地域内で変化する土壌特性を把握するためには、多数の土壌サンプルを分析し空間情報をカバーするのではなく、ドローンや人工衛星等の画像データを利用し、効率的に土壌情報の取得を進めなければならない。本研究では人工衛星データを利用する前段階として、ドローン搭載のマルチスペクトルカメラを実験室内で利用して、画像データから土壌分析項目の推定が可能か評価を行った。本研究では、マルチスペクトルカメラの近赤外線反射率とリン酸吸収係数の間に相関関係が確認され、高い精度で推定が可能となったことが明らかとなった(図4)。また、反射率は土壌に含まれる粘土鉱物組成に影響を受けていることも確認された。

本研究から、ケニア共和国キアンブ県のジャガイモ生産圃場では、土壌中の養分の欠乏ではなく過剰が作物の収量を低下させている重要な要因であると考えられた。とくに窒素およびリンの過剰が著しく、化学肥料だけでなく多量の家畜ふん尿の投入が問題であることが明らかとなった。土壌分析結果に基づく適正な施肥を行うため、現地で実施可能なリン酸吸収係数の簡易分析方法を開発した。リン酸吸収係数はドローンで撮影された画像からも推定が可能であった。本研究で開発された簡易分析方法とドローン等の画像データから土壌情報を取得し、ジャガイモ生産における肥培管理の適正化を実現していく必要がある。

ジャガイモ収量および品質の向上と安定化を実現するため、実際に簡易土壌分析法を現地スタッフが利用し安定した分析を行うことができるかフォローアップしていく必要がある。ドローン画像を用いて土壌特性の推定が可能となったことが明らかとなったが、屋外で撮影されたデータで推定モデルを構築できるのか評価が必要である。本研究では、土壌養分の過剰がジャガイモ生育の制限因子になっていると考えられたため、土壌水分の評価に重点を置かなかった。しかし、キアンブ県以外のジャガイモ生産地域では土壌水分が制限因子となっている可能性がある。そのような場所では、降雨後の土壌を経時的にドローンや人工衛星で撮影し、土壌水分の変化をモニタリングして保水力の向上が必要な地点を抽出していく必要があると考えられる。

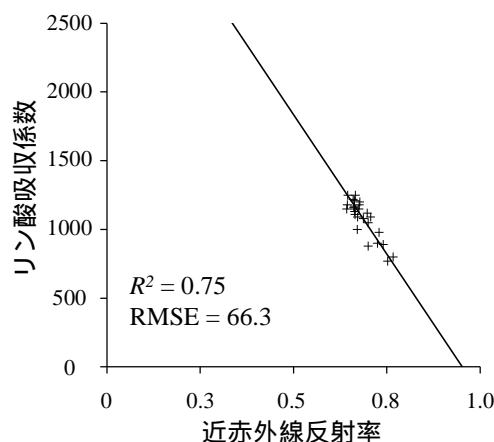


図 2 ドローンマルチスペクトルカメラによるリン酸吸収係数の推定

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 木下林太郎、谷昌幸	4. 巻 91
2. 論文標題 風乾土含水率によるリン酸吸収係数推定法の考案ー北海道十勝地域および上川地域の普通畑土壌への適用ー	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本土壌肥科学雑誌	6. 最初と最後の頁 385-388
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.20710/dojo.91.5_385	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 -

1. 著者名 Rintaro Kinoshita, Chandiona Munthali, Daigo Aiuchi, Kazumitsu Onishi, Hiroshi Koaze, Jiwan Palta, Masayuki Tani	4. 巻 63
2. 論文標題 Properties and classification of soils in Dedza district, central highlands of Malawi	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ペドロジスト	6. 最初と最後の頁 94-101
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.18920/pedologist.63.2_94	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2件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 Rintaro Kinoshita
2. 発表標題 Soil Science as the Backbone to Increased Potato Production
3. 学会等名 Africa-ai-Japan Seminar（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 木下林太郎、Daniel Sila、小嶋浩、谷昌幸
2. 発表標題 ケニアの高地パレイシヨ生産地域における土壌特性と肥沃度からみた生産性向上の可能性
3. 学会等名 日本土壌肥科学会2019年度静岡大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
--	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------