

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 20 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21380048

研究課題名（和文）農家・指導員が自信を持って施肥設計できる土壌リン、カリウムの診断法

研究課題名（英文）Reliable testing methods for soil phosphorus and potassium

研究代表者

和田 信一郎（WADA SHIN-ICHIRO）

九州大学・大学院農学研究院・教授

研究者番号：60108678

研究成果の概要（和文）：

植物に利用できるリン（P）評価のため、P 高選択吸着性の合成アカガネアイトをディスク状にした器具を土壌に埋設し、集積する P を抽出定量する方法を開発し、試験した。P の高集積土壌における植物利用性の P の定量法としては従来法である希硫酸抽出法よりも優れていた。K の植物利用性の判定には交換性 K 量と K 選択性および吸着イオンに占める K の電荷分立が有用と考えられたが、土壌によっては非交換体 K も考慮する必要がある。

研究成果の概要（英文）：

A disk incorporating synthetic akaganeite that is highly specific to phosphate (P) was devised and tested. The amount of P taken up by the disk was a better measure for plant-available P in greenhouse soils rich in P than the amount of P extracted by conventional dilute sulfuric acid method. The importance of exchangeable K, selectivity for K and charge fraction of adsorbed K was suggested for evaluating available K. But non-exchangeable K was utilized in some soils.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	9,100,000	2,730,000	11,830,000
2010 年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2011 年度	2,600,000	780,000	3,380,000
年度			
年度			
総計	14,300,000	4,290,000	18,590,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農芸化学・植物栄養学・土壌学

キーワード：土壌診断，カリウム，リン，陽イオン交換反応，表面錯形成反応

1. 研究開始当初の背景

リン（P）、カリウム（K）は植物の多量必須元素であり、高品質作物を多収するためには肥料として供給することが不可欠である。いずれも天然の鉱物資源から製造されるものであり、その資源量は限られている。2005

年頃から、P および K 肥料の価格が高騰し始め、経済的な施肥法の必要性が強く認識されている。一方では、ビニールハウスなどの園芸施設内の土壌では、リンやカリウムが過剰に集積しており、当分は無 P、無 K での栽培をすべきというような指針が出されたりし

ている。

PやKは土壌と強く相互作用するため、土壌に肥料として施用したもののうち一部しか作物には利用できない。作物に利用できる部分を可給態とよぶ。従来から、可給態P、可給態Kの測定は行われてきた。日本ではPはTruog法とよばれる、希硫酸と希硫酸アンモニウムの混合溶液による抽出が一般的であり、Kは1 mol/L酢酸アンモニウムによる繰り返し抽出がによって評価されている。それにもかかわらず、土壌に過剰に集積するほどの施肥が行われた原因のひとつは、既存の可給態P、Kの評価法が、自信をもって施肥設計を行えるほどに信頼できるものでなかったためであると考えられる。このような状況下で、集積圃場における無P、無K栽培が推奨されているのであるが、今度は無施用をどの程度継続するかということもまた自信を持って判断できる状況にはないと思われる。

2. 研究の目的

可給態Pや可給態Kというのは特定の化学形態をしているわけではない。このことは特にPについてあてはまる。このため、Truog法のような化学抽出法によって評価することは難しいという考えがある。それに代わる方法として、陰イオン交換樹脂、陰イオン交換膜などを土壌と接触させることによりリン酸イオンのシンクとして機能させ、土壌から遊離してきたリン酸イオンを補足定量するという方法がすでに提案されている。適当なリン酸イオンシンクを用いれば、植物根と同じように機能することが期待され、土壌のリン酸供給能の確実かつ保守的な評価法になりうると考えられる。しかし現在のところ、この方法あまり利用されていない。それは、陰イオン交換樹脂や陰イオン交換膜のリン酸イオンに対する選択性が低いことが一因である。最近、高選択性吸着剤を用いた、DGTとよばれる方法が開発されているが、吸着器具が精緻すぎ、土壌診断分析には適していない面がある。この研究では、既往のPシンクを用いた評価法の短所を克服し、簡便で信頼性の高い可給態P評価法を開発することを目的とした。

Kの場合、少なくとも集約栽培下の土壌では、交換性Kが主たる可給態Kの形態である点では研究者の意見は一致している。しかし、Kの土壌からの放出は陽イオン交換反応によるため、栽培期間中に土壌から供給されるKの量は土壌溶液の組成に依存するため、単に交換性Kの量だけでなく、その土壌のK選択性も同時に把握することが有用である。しかし、これまで用いられてきた測定法は土壌診断のための分析法としては複雑すぎる。この研究では、土壌のK選択性を簡便に測定

し、その特性と交換性K量の両方を土壌診断で用いる方法を開発することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) P、Kの集積状況調査及び土壌試料採取

土壌のP、Kの集積状況を把握すること、この研究で用いる土壌試料採取の参考とするため、福岡、熊本および大分県の園芸施設から約200点の土壌試料を採取し、一般理化学性ととともにPおよびKの集積状況を調べた。また施設土壌に集積する可能性のある炭酸塩の定量法の改良や施設土壌のpHの測定法の検討も行った。

(2) 選択的Pシンクを用いた可給態P評価法

まず、P選択性が高く、高容量なP吸着体の選抜を行った。次に、この吸着剤を組み込んだ吸着器具の作成を行った。作成に当たっては、できるだけ簡単にかつ安価に作成できるという点に重点を置いた。また作成した器物の特性を室内試験で評価した。最後に、大分県のコネギ栽培施設に埋設し、P補足量コネギのP吸収量の関係を調べた。

(3) 土壌のK選択性評価法

従来法よりもはるかに簡便な土壌のK選択性を評価するための方法を開発した。この方法では、土壌を特定陽イオンで飽和することなしに、Ca、Mg、K、Naの4種のイオンの共存下で吸着イオン量と平衡溶液のイオン濃度を測定した。

(4) 土壌Kの状態と植物利用性

土壌の交換性K量やK選択性と植物による吸収量との関係を調べるためにホウレンソウを用いたポット試験を行った。またカラム試験によってKの土壌中での移行特性の評価も行った。

4. 研究成果

(1) P、Kの集積状況調査及び土壌試料採取

下図は、採取した土壌試料のTruog法による可給態P含量の分布を示す。この図P₂O₅ではなくPとして表示している。

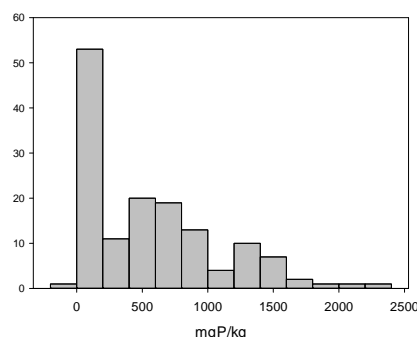


図1. 可給態P含量の分布。

園芸施設土壌に対するTruog法による可給態Pの推奨範囲は約50-200 mg/kg程度である

ことを考えると大部分の土壌では、P が過剰に集積している。また、一部の土壌で測定した全 P 含量は、少ないものでも 1000 mg/kg を超え、大部分は 1000 - 3000 mg/kg の範囲にあったが、中には 10000 mg/kg を超える土壌もあった。

試料のいくつかを選択し、交換性カルシウムイオンを除去した後、pH4.2 の酢酸アンモニウム抽出を行い、抽出される P と Ca を定量した結果では、この抽出によって 400-2000 mg/kg の P が抽出され、抽出 Ca/P モル比は 1.0-3.5 の範囲にあり、大部分は 1.5 近かった。この結果は、これらの土壌にはリン酸カルシウム塩が集積していることを示すと解釈された。

K も集積しており、分析した試料のうち 40% では陽イオン交換容量に占める交換性陽イオン量の割合が 0.05 を超えていた。

研究では、これらの土壌試料の一部を用いた。

施設土壌の P 集積状態とその形態については末尾に示した論文の他に 1 報を取りまとめて投稿予定である。

(2) 選択的 P シンクを用いた可給態 P 評価法

P 吸着等温線を尺度として、P の選択的吸着剤のスクリーニングを行った。研究当初は希土類元素の酸化物を利用した市販の吸着剤を利用する予定であったが、原料の入手難から製造中止になったため、アルミナ、フェリハイドライト、アカガネアイト (Ak) を供試した。その結果、合成の再現性、選択性および吸着容量のいずれの点でも Ak が優れた。採用した合成法は、0.5 mol/L FeCl₃ 溶液に NaOH/Fe 比=2.0 になるように NaOH を投入して 24 時間熟成後、pH を約 7 にして凝集させるという方法である。

下図は合成した Ak の P 吸着等温線である。Ak50 mg あたり、約 50 μmol の P を、平衡濃度を 0.5 μmol/L 以下に保ちながら吸着することができた。測定器具に充填する量は約 80 mg であるので、吸着容量は約 80 μmol となる。

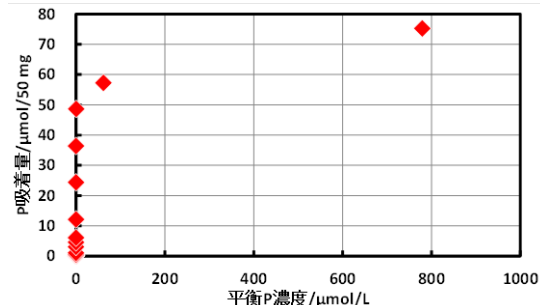


図 2. 合成した Ak の P 吸着等温線。

評価用器具は次のようにして作成した。① 直径 47 mm に切ったろ紙をフィルターホルダーに装着し 80 mg の Ak を含む懸濁液を入

れてる過し、ろ紙上に均一にマウントした。② ろ紙をはずし、直径 50 mm、厚さ 1 mm のアクリル板に乗せ、上から 0.45 μm のメンブランフィルターで覆った。③ 周りをパラフィルムでとめた。(下図参照) 以下この器具を Ak ディスクとよぶ。

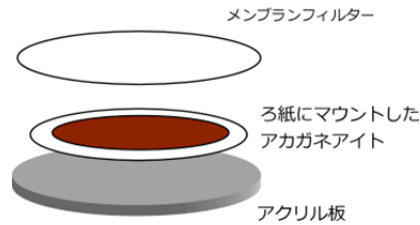


図 3. 評価器具 (Ak ディスク) の構造。

水溶液を用いて Ak ディスクの特性を評価したところ、ディスクへの P 集積速度は溶液の P 濃度と接触時間に比例した。室内で土壌と接触させる実験でも、接触時間と P 集積量は 12 日間程度は比例した。ただし、土壌の場合には、水分含量が高くなると同じ時間でも集積量が多くなった。

大分県のコネギ栽培ビニールハウスのうち、Truog 法による可給態 P 含量の異なる施設 3 つを選び、そのハウスの中に P 施肥量を 4 段階に変えた試験区を作り、ネギ播種後 20 日目から 5 日間 Ak ディスクを埋設し、掘り出して P 集積量を測定した。また 65 日間栽培したネギを収穫し P 含量を測定した。下図は、各試験区における Ak ディスクへの P 集積量測定結果を示す。図の判例に示した施肥 5 などの数値は P₂O₅ として 10 a あたり 5 kg の P を施肥したことを示す。

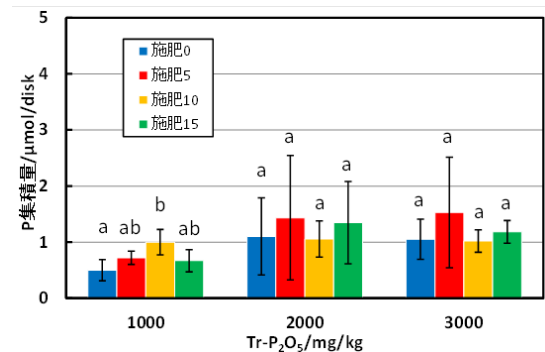


図 4. 可給態 P レベルの異なる施設において、P 施肥レベルを 4 段階として行ったコネギ栽培区画に埋設した Ak ディスクへの P 集積量。

この図からわかるように、従来法による可給態 P₂O₅ 含量が 1000~3000 mg/kg まで変化しても、Ak ディスクに集積した P 量は大きく異ならなかった。特に可給態 P₂O₅ 量が 2000 mg/kg と 3000 mg/kg の施設では Ak ディスクへの P 集積量はほとんど変わらなかった。また、各ハウス内で、P の施肥レベルを変えた場合に

も、Ak ディスクへの P 集積量はあまり変わらなかった。

コネギの P 含有率は可給態 P_2O_5 含量が 1000 mg/kg のハウスでは 0.91-1.15% で、施肥量との相関はなかった。2000 mg/kg のハウスでは 1.25-2.00%、3000 mg/kg のハウスでは 0.96-1.03% であった。いずれも施肥量との関係は明瞭ではなかった。全区画のネギの P 含量は $1.17 \pm 0.29\%$ と非常に狭い範囲になった。以上の結果は、P の集積土壌では従来法による可給態 P 量レベルが異なってもネギによる P 吸収量は異ならなかった。Ak ディスクへの P 吸収量もまたネギによる吸収量と同じく、従来法による可給態 P 量や施肥 P レベルに係らず比較的一定であった。これらの結果から、Ak ディスクは P 集積土壌における P の植物への利用性の尺度としては従来法よりも優れていることは明らかである。

ただしこの研究の期間中には、最適な埋設時間や、Ak ディスクを用いた室内実験による可給態 P 評価法を確立することはできなかった。

栽培試験を研究期間ギリギリまで行ったため、この研究の結果はまだ現在取りまとめ中であり、取りまとめ結果は 1 報の論文として投稿する予定である。

(3) 土壌の K 選択性評価法

土壌試料を 1 種の陽イオンで飽和しない K 選択性を測定する方法は次の様なステップからなる。① 土壌試料をイオン濃度 0.4 mol/L の Ca, Mg, K, Na の塩化物塩の混合溶液で 1 回洗浄する。② 遠心分離して溶液を捨て、水を加えて平衡させる。③ 平衡溶液を遠心分離してイオン組成を測定する。④ 吸着イオンを抽出して測定する。

この方法により従来法で、従来法で必要とされた 15~27 回の遠心分離操作を 5 回に減らすことができた。図 5 はこの方法を粘土鉱物組成の異なる 3 点の土壌試料に適用して得られた結果の一部である。ここでは Ca-K 交換反応の選択係数のみを示す。白抜き記号は従来法による結果。黒塗りはこの研究で得られた結果である。縦軸は選択係数の対数値、横軸は吸着イオンに占める K の電荷分率 (E_K) である。

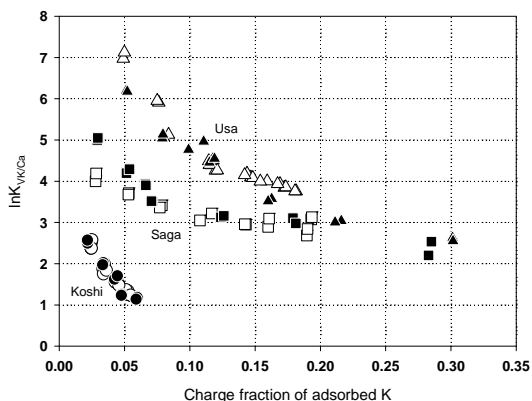


図 5. 改良法と従来法で測定した Ca-K 交換反応の選択係数と吸着イオンに占める K の電荷分率との関係。白ぬきは従来法。塗りつぶしはこの研究で開発した改良法。Koshi 試料のみ黒ボク土。

Usa 試料と Koshi 試料では両社は一致しているが、Saga 試料では従来法による選択係数値がやや小さかった。この結果に意味があるかどうかについてはさらに確認する必要があるが、もし差があるとすれば、土壌環境とは大きく異なる状態に土壌をさらず飽和処理を行う従来法を見直す必要があることになる。

この結果は 1 報の論文としてまとめ、投稿中である。

(4) 土壌 K の状態と植物利用性

粘土鉱物組成の異なる 3 点の土壌試料を用い K の施肥レベルを変えてハウレンソウ栽培のポット試験を行った結果では、まず可給態 K の形態として交換性 K のみに注目するのは必ずしも妥当でないという結果が得られた。

図 6 は、K の施肥量と施肥後の交換性 K 量の関係を示す。2 点の試料では、施肥した K のぶんだけ交換性 K 量が増加しているが、1 点の試料では施肥しても交換性 K は全く増加しなかった。この資料は花崗岩由来土壌であり、パーミキュライトを含んだ。栽培期間中に雲母やパーミキュライトから非交換体 K が供給されるという報告はあるが、すでに農地として利用されている土壌に施肥した K が直ちに交換性 K として定量されない形態になったことは意外であり、可給態 K の尺度としてもつばら交換性 K を利用するという当初の研究方針は見直さざるを得なかった。

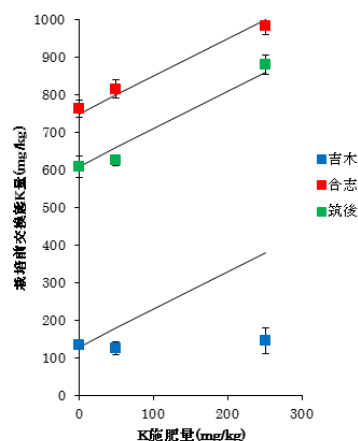


図 6. ハウレンソウ栽培に用いた土壌試料の K 施肥量とそれによる交換性 K 量の変化。

このポット試験では、植物根への K の移動量を拡散および移流という機構別に定量し

た。また、Kの給源として、交換性Kと非交換性Kを分別定量したが、K施肥に応じて交換性Kが増加した土壌では、移流と拡散の両方の機構によりKが供給されており、吸収Kの起源はほとんど交換性Kであった。一方、施肥Kが非交換体化された土壌では輸送機構はほとんど拡散であり、吸収Kの半分程度が非交換体起源であった。

これとは別に、鉱物組成の異なる土壌試料を充填したカラムを用いた溶脱試験の結果によると、カラムからのKの溶脱されやすさは、アロフェンや腐植物質を主要陽イオン交換体とする黒ボク土で大きく、層状ケイ酸塩鉱物を主体とする土壌で小さかった。これは図5に示すように、黒ボク土ではK選択性が低いことと対応している。また図5に示すように、K選択係数は E_K が大きくなると急減する。このことからKの移動性の尺度としては E_K を利用することができると考えられる。図7は200 mm降雨に相当する水を添加した場合のKの流出量と土壌の初期 E_K の関係をプロットしたものである。この図から、黒ボク土を除く土壌では、層位鉱物組成の差異に係らず E_K との間に高い相関があることがわかる。

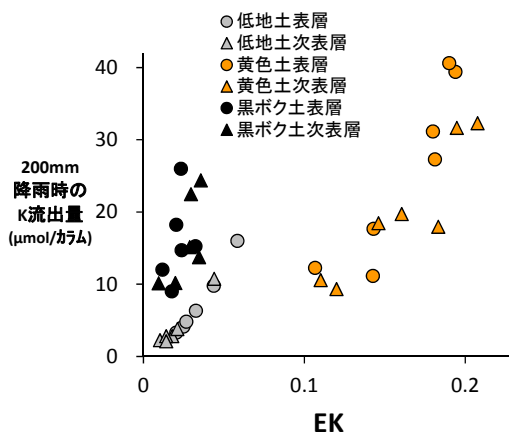


図7. カラム試験から推定した、降雨200 mm時のカラムからのK流出量と土壌の初期 E_K の関係。

これらの研究結果から次のようなことが推測できる。K集積土壌で無K栽培すると、当初は交換性Kのみが利用され、交換性K量は減少する。この結果 E_K も低下する。 E_K がある水準まで低下すると交換性Kに加えて非交換体Kも溶出する。これはまだ仮説にすぎないが、K集積土壌におけるK削減時には、交換性K含量だけでなく E_K にも注意すべきと考えられる。

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7件)

- 1) Than, A. A., Shoji, K., Mori, Y. and Wada, S. -I. (2009) Is pH of greenhouse soils measured adequately? J. Fac. Agr. Kyushu Univ. 54, 499-503. 査読無
- 2) 久保寺秀夫・和田信一郎 (2010) 黒ボク土の硝酸態窒素保持能は全炭素、pH(H₂O)および Al_o から推定できる. 九州沖縄農業研究成果情報 24, 341-342. 査読無
- 3) Than, A. A. and Wada, S. -I. (2010) Determination of carbonate content of soils and clays by using CO₂ detector tube. — Improvement of the method and some applications—. Clay Sci. 14, 141-146. 査読有
- 4) Kubotera, H. and Wada, S. -I. (2010) Factors influencing nitrate retention in 3 Andisol profiles in Kyushu, Japan. Proc. of the 19th WCSS, symposium 2.4.2, 66-69. 査読無
- 5) Than, A. A., Araki, M., and Wada, S. -I. (2010) Evaluation of five extraction methods for available phosphorus in intensively fertilized greenhouse soils. J. Fac. Agr. Kyushu Univ. 56, 87-92. 査読無
- 6) Nga, N. T. H., Ienaga, Y., Mori, Y. and Wada, S. -I. (2012) Effect of mineralogy of suspended materials on performance of weathered volcanic ash-based flocculant. Clay Sci. 受理済. 査読有
- 7) Mori, Y., Yoshida, M. and Wada, S. -I. (2012) Effect of soil characteristics and potassium application rate on the plant absorbable potassium form and transport mechanism in soil. J. Fac. Agr. Kyushu Univ. 受理済. 査読無

[学会発表] (計10件)

- 1) 森裕樹・和田信一郎 低カリウム飽和度におけるカルシウム-カリウム交換反応の選択係数. 日本土壌肥料学会九州支部春季例会, 2009年5月14日, 佐賀大学.
- 2) Than, A. A. ・ 荒木雅登・和田信一郎 Phosphorus status of some cultivated soils in Fukuoka prefecture, 日本土壌肥料学会九州支部春季例会, 2009年5月14日, 佐賀大学.
- 3) 和田信一郎 最新の土壌学の進歩を土壌診断に. 日本土壌肥料学会, 2010年9月7日, 北海道大学.
- 4) Kubotera, H. and Wada, S. -I. Factors influencing nitrate retention in 3 Andisol profiles in Kyushu, Japan. 19th World congress of soil science, 2010年8月5日, オーストラリアブリスベン市コンベン

- ションセンター.
- 5) 和田信一郎・森裕樹・吉田美奈子 イオン飽和処理を伴わない Ca-K 交換反応選択係数測定法.
 - 6) 後藤かおり・佐野雅俊・和田信一郎 アカガネアイトディスクを用いた可給態リン酸の評価. 日本土壤肥料学会, 2011年8月8日, つくば国際会議場.
 - 7) 和田信一郎 養分の保持・供給からみた土壤の働き. 日本土壤肥料学会, 2011年8月10日, つくば国際会議場.
 - 8) 久保寺秀夫・新美洋・和田信一郎 土壤カラムに投入した硝酸およびカリウムイオンの保持と溶脱に関する因子. 平成23年度九州農業研究発表会専門部会, 2011年10月31日, 那覇市八汐荘.
 - 9) 久保寺秀夫・和田信一郎 土壤タイプと有機物施用履歴の異なる畑土壤におけるカリウムイオンの溶脱性. 日本土壤肥料学会. 2012年9月4日, 鳥取大学(講演申込み済)
 - 10) 後藤かおり・佐野雅俊・和田信一郎 土壤リンの移動性評価のためのアカガネアイトディスクの開発. 日本土壤肥料学会. 2012年9月4日, 鳥取大学(講演申込み済)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

和田 信一郎 (WADA SHIN-ICHIRO)
九州大学・大学院農学研究院・教授
研究者番号: 60108678

(2) 研究分担者

久保寺 秀夫 (KUBOTERA HIDEO)
独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・九州沖縄農業研究センター・主任研究員
研究者番号: 30355648
森 裕樹 (MORI YUKI)
九州大学・大学院農学研究院・助教
研究者番号: 90404061

(3) 研究協力者

AYE AYE THAN
九州大学・生物資源環境科学府・博士課程学生
後藤かおり (GOTO KAORI)
九州大学・生物資源環境科学府・修士課程学生
佐野 雅俊 (SANO MASATOSHI)
大分県農林水産研究指導センター・主任研究員