

**安全・簡便な畑土壌中リン酸の現場型評価法に基づく
施設キュウリ栽培でのリン酸減肥マニュアル**



2014年1月

**(独) 農研機構・中央農業総合研究センター 土壌肥料研究領域
群馬県農業技術センター
神奈川県農業技術センター
高知県農業技術センター**

はじめに

施肥の基本は、作物にとって不足する養分を適時・適量を適切な方法で土壌へ補給することであり、土壌診断をおこなって土壌養分の状態を知ることが、適正施肥の第一歩となります。

2008年の肥料価格の高騰は記憶に新しく、適正施肥があらためて重要となっています。なかでも土壌中に蓄積しやすいリン酸は、これまでの施肥来歴次第では、さらなる施肥による養分補給の必要性が乏しいほどに蓄積している場合もあります。また、今まではリン酸過剰による作物の生理障害は起こりにくいとされてきましたが、近年そのような事例が報告されるようになってきました。施肥に先立って土壌中の可給態リン酸レベルを把握することは肥料コストを低減させるためだけではなく、土壌の健全性を保つためにも不可欠となっています。

土壌養分の状態を把握し施肥に反映させるには、農業現場で即座に診断結果が得られれば理想的です。しかし、現在汎用されている畑土壌中の可給態リン酸測定法は、強酸を含む抽出液を用い振とう機を使って土壌からリン酸を抽出し、強酸や重金属を含む試薬を用いた化学反応を行ってから機器分析を行うもので、設備のない農業現場では実施不可能です。

現場で簡単に評価する方法も提案されてきましたが、色見本と見比べた大まかな判定によることが多いため、せつかく測っても数値化することが難しく、記録に残して経年的な変化をみたり、異なる場所から採った土壌について比較するには不便でした。また、数値化したい場合には安いものでも数万円の吸光度計を用いる必要がありました。

そこで、こうした問題がなく、実験設備のない農業現場でも実施可能な新手法の確立をめざし、平成 21 年度から平成 25 年度に行われた農林水産省委託プロジェクト研究「地域内資源を循環利用する省資源型農業確立のための研究開発2系(平成 23 年度からは、気候変動に対応した循環型食料生産等の確立のためのプロジェクト B 2系)」の一部において試験を実施してきました。このたび、土壌からリン酸を抽出してからそれを分析するまでの全行程にわたって、安全、簡単、低コストに定量できる土壌中水溶性リン酸の測定法を開発しました。また、リン酸施肥量が多く、土壌中に大量のリン酸が蓄積している例が多い施設キュウリを対象として各地の試験場内外でリン酸減肥試験を実施し、この新手法を用いた場合のリン酸減肥の可否を判定するため指標を策定しました。本マニュアルでは、この新手法並びにリン酸減肥指標について、その背景や経緯などを含めてご紹介します。

目次

第Ⅰ章 背景	1
Ⅰ - 1 リン酸肥料価格を巡る現状	1
Ⅰ - 2 施設畑土壌中のリン酸蓄積状況	1
Ⅰ - 3 現状の土壌診断法(リン酸)と新たな現場型評価法の概要・特徴	2
第Ⅱ章 安全・簡便な畑土壌中リン酸の現場型評価法	3
Ⅱ - 1 振とうを行わない水抽出法(不振とう水抽出法)	3
Ⅱ - 2 水抽出液中のリン酸の現場型分析法	5
第Ⅲ章 施設キュウリにおけるリン酸減肥指標	10
Ⅲ - 1 施設キュウリ畑土壌、肥培管理等の栽培概要の現状	10
Ⅲ - 2 現場型評価法におけるリン酸減肥指標	10
Ⅲ - 3 リン酸減肥の効果	13
第Ⅳ章 留意事項等	15
Ⅳ - 1 土壌採取・調製法	15
Ⅳ - 2 診断に用いる試薬・機器の経費と留意点	16
Ⅳ - 3 参考 トルオーグ法で見た場合の施設キュウリの減肥指標	17
Ⅳ - 4 Q & A	20

第 I 章 背景

I - 1 リン酸肥料価格を巡る現状

近年の主要な肥料価格の変化の中で、2008年の値上がりはオイルショック以来の大幅なもので、現在に至るも過去の価格水準までには戻っていません(図1)。

世界の人口増加に応えるための食料増産の必要性や、良質なリン酸肥料原料の地理的偏在性、その有限性といった背景を考えれば、今後もリン酸肥料価格が大きく下落することは想定しにくい状況です。

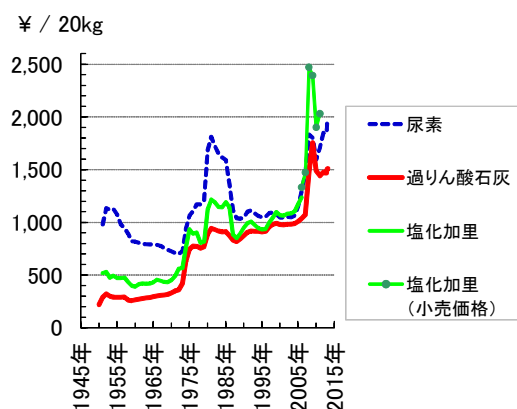


図1 農家の肥料購入価格
(ポケット肥料要覧等から作図)

I - 2 施設畑土壌中のリン酸蓄積状況

作物栽培に欠かせない主要養分のうち、リン酸に関しては、これまでの土づくりや施肥によって畑土壌中に蓄積してきており、施設栽培土壌の場合、可給態リン酸の全国平均値は、35年近く前の時点で既に150mg/100g弱であり、その後も上昇してきました(図2)。

かなり多くの作物について、リン酸を施肥しなくても収穫量に違いがみられない可給態リン酸の上限水準は100mg/100g程度と考えると、今後はこうした土壌蓄積リン酸を土壌診断によって評価し、リン酸減肥につなげていくべきといえましょう。

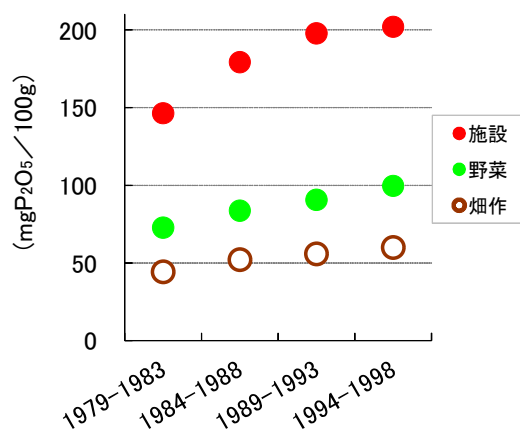


図2 作物区分別の土壌中可給態リン酸の推移
(土壌保全調査事業成績書から作図)

I - 3 現状の土壌診断法(リン酸)と新たな現場型評価法の概要・特徴

図2に示した土壌中可給態リン酸測定における従来法(トルオーグ法)は、まず強酸を含む抽出液及び振とう用の専用機械を用いて土壌からリン酸を抽出し、次に強酸や重金属を含む試薬を用いて化学反応を行ったのち機器分析を行うもので、現場で簡便に活用できるものではありません(図3左パネル)。一方、現場向けの簡便法もこれまでにいくつか実用化されてきましたが、結果を出すには精度はやや劣る目視判定(色見本との比較)によるか、少なくとも数万円の装置を用いて数値化する必要があります。

こうしたことから、農業生産現場において誰でも安全に、簡単に、またコストのあまりかからないように、土壌蓄積リン酸をある程度の精度で把握できる方法を新たに開発し(図3右パネル)、リン酸施肥量が多く、リン酸の土壌への蓄積が著しい施設キュウリを対象にリン酸減肥の指標を示すこととしました。

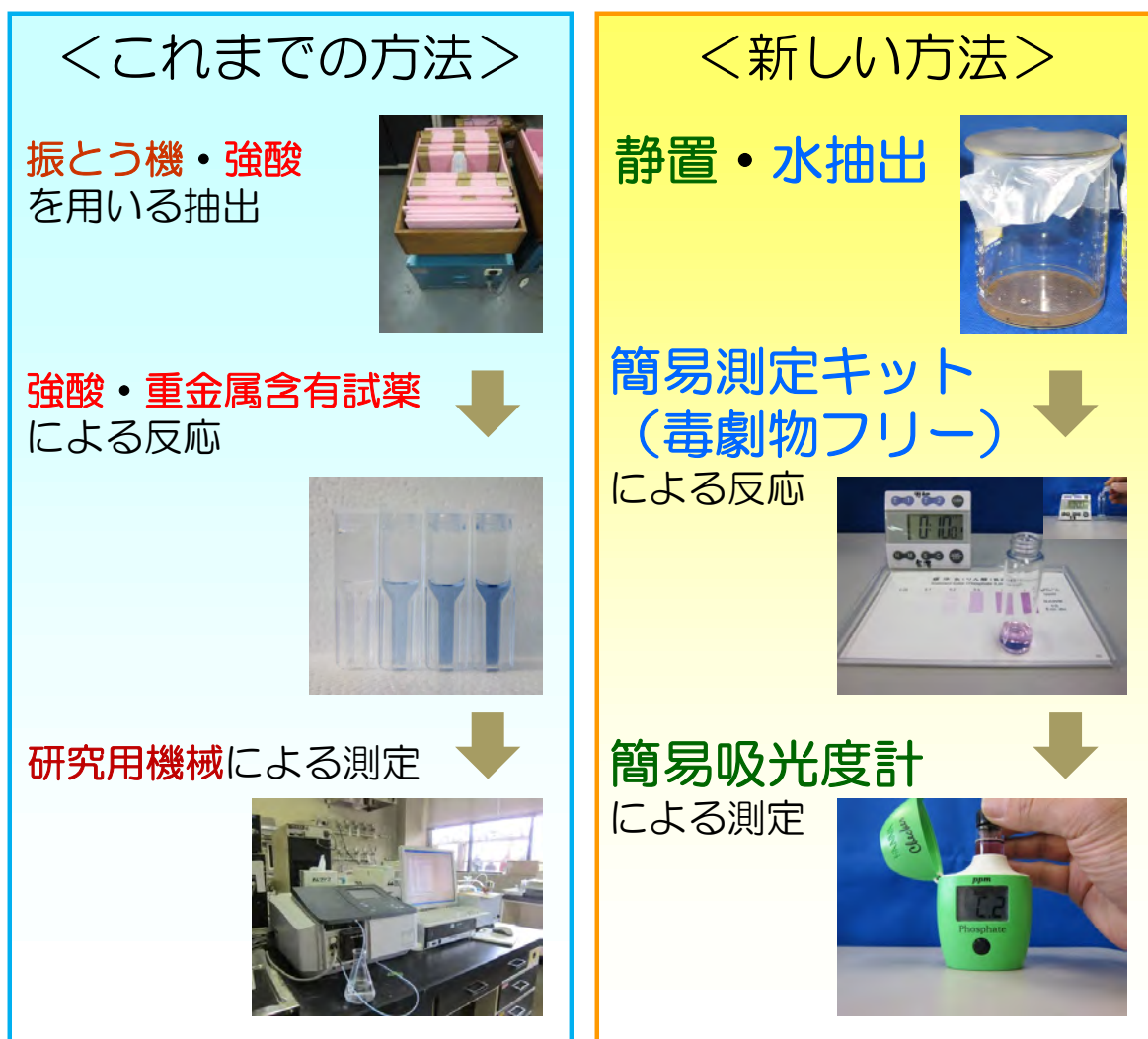


図3 現状の土壌診断法(リン酸)と新たな現場型評価法の概要・特徴

第Ⅱ章 安全・簡便な畑土壤中リン酸の現場型評価法

Ⅱ - 1 振とうを行わない水抽出法(不振とう水抽出法)

農業現場での利用のためには、安全な抽出剤がのぞましく、また、振とう機といった実験機器の利用は避けたいところです。そこで、振とうを行わない水抽出法(不振とう水抽出法)を検討したところ、

☞ 広い容器を用いて、土壌が薄い層になるようにして抽出すれば、振とうを行わなくても、連続的に振とうした場合と同様に水溶性リン酸が抽出される(図4)

☞ 抽出に用いる水の量を少なめにすれば、抽出時間や温度の影響を受けにくくなる

といった特徴が明らかとなり、現場での利用に便利な抽出条件を設定することができました。

この不振とう水抽出法で実際に様々な土壌を用いて測定を行ってみると、トルオーグ法と同様に施設を含めた畑土壌の広範なリン酸蓄積度を反映することを確認しました(図5)。

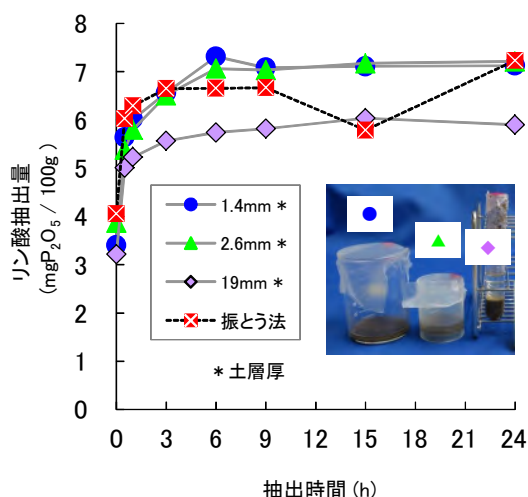


図4 不振とう水抽出法における土層厚がリン酸抽出経過へ及ぼす影響

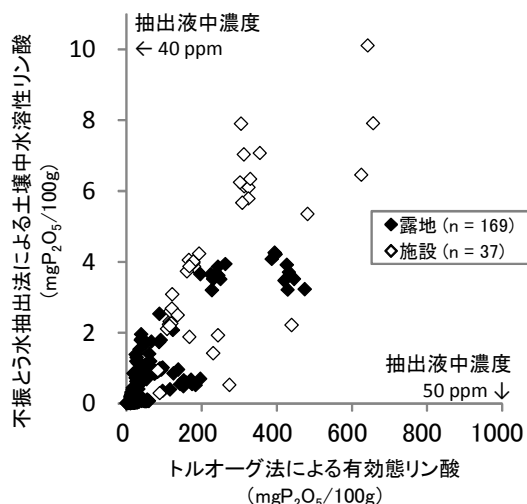


図5 トルオーグ法と不振とう水抽出法で評価した土壌リン酸の関係

そのポイントなどを以下にまとめます。

- ① 土壌に精製水を加え、6～18時間静置してリン酸を抽出します。
- ② 理化学機器を使わず、インターネット販売などで入手可能な道具のみで実施可能です。
- ③ 毒・劇物薬品を使用しないので、廃液処理の必要はありません。
- ④ (特にリン酸蓄積の進んだ)畑土壌を対象としています。
- ⑤ 抽出時に土壌と水の層の両方とも薄くする必要があります。
- ⑥ この抽出法に対する温度・時間の影響は比較的少ないですが、ここでは 25℃・6時間の条件で抽出した試験結果を中心に示しています。

【器具など】

- 試料(風乾細土* 4g)

* 風乾細土とは、採取した土壌を自然乾燥または40℃程度までの通風乾燥を行い、2mmの篩を通過した試料のことをいいます。 → IV - 1「留意していただきたいこと」参照。

- はかり(最小表示0.1gのキッチンスケールなど) 1台
- 時計 1台
- 抽出容器(200mLビーカーなど、平底で土層厚を1～3mm(こできるもの) 試料数
- 精製水(試料数 × 10mL + α)
- サランラップなど(抽出中の乾燥防止のふた)
- ろ紙(試料数 × 1枚、No.5C φ90(mm)推奨)
- ろ液を受ける容器(50mLビーカーなどφ45(mm)程度の容器) 試料数
- スポイトなど(精製水10mLを試料へ添加するためのもの) 1本

【手順】

- ① 抽出容器に測定する試料の名前を書いたラベルを貼る。
- ② 風乾細土 4.0 gをはかり、抽出容器へ入れる。
- ③ カップやスポイトを用いて精製水 10mL (または 10g)を加える。
- ④ 水と土を緩やかに混ぜ*、ラップなどでふたをする。

* 長時間混合する必要はありませんが、土壌試料が水をはじくことがあり、その場合は水と試料が馴染むまでは混合して下さい。

- ⑤ 25℃前後の部屋に、6～18時間静置する(右写真)。



- ⑥ ろ過を行い(右写真)、ろ液を回収する。

⇒ II - 2「水抽出液中のリン酸の現場型分析法」へ進む。



II - 2 水抽出液中のリン酸の現場型分析法

土壌分析の現場利用に向けた安全性の確保にあたり、抽出段階での抽出剤のみでなく、分析段階の試薬についても考慮する必要があります。不揮発性の硫酸を用いている点では抽出段階でのトルオーグ法も同様ですが、従来の分析法(モリブデン青法)ではこれよりもはるかに濃厚な硫酸やアンチモンを含有する混合薬品を用いており、劇物としての扱いが必要となります。そこで、市販の毒劇物フリーのリン酸簡易測定キット(以下、酵素法。)の利用を検討したところ、

- ☞ 不振とう水抽出リン酸は、酵素法でもモリブデン青法とほぼ同様に評価できる(図6)
- ☞ 反応時間の延長などにより、モリブデン青法よりも広範囲の測定ができる(図7)
- ☞ 市販の簡易吸光度計を用いて簡単に数値化できる

といった特徴が明らかとなり、現場での利用に便利な分析条件を設定することができました。

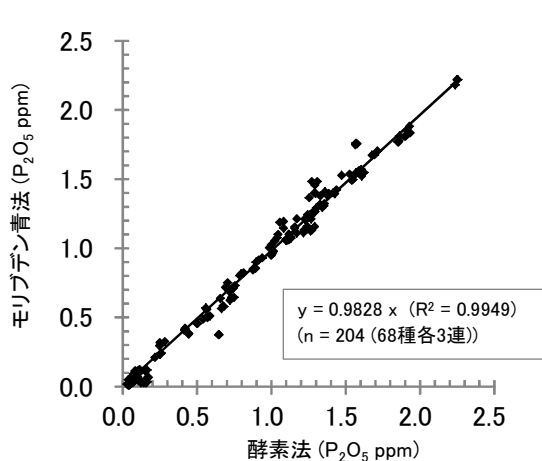


図6 酵素法とモリブデン青法で評価した不振とう水抽出リン酸

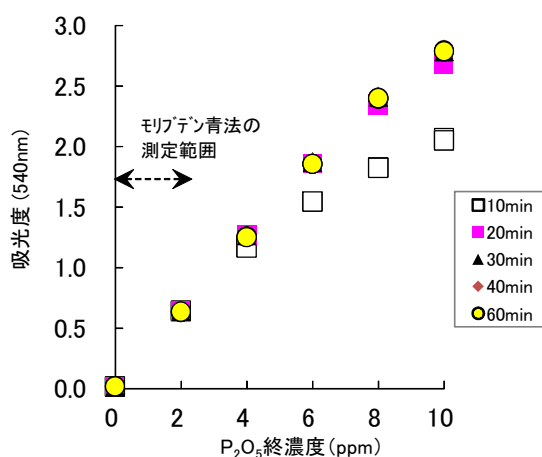


図7 酵素法の分析範囲に及ぼす反応時間の影響

そのポイントなどを以下にまとめます。

- ① 理化学機器を使わず、インターネット販売などで入手可能な道具のみで実施可能です。
- ② 毒・劇物薬品を使用しておらず、また、中和などの事後処理は不要です。
- ③ 簡易吸光度計を用いてきめ細かな数値把握ができます。なお、簡易吸光度計の取扱説明書の注意書きは熟読してください。使い方は、取扱説明書とは若干異なる点がありますが、基本的には同様です。
- ④ 水田土壌は未検討です。
- ⑤ この分析法に対する温度の影響は比較的少ないですが、ここでは 25 °C前後の条件で反応させた試験結果を中心に示しています。

【簡易吸光度計を使用する際の注意点】

- 測定に使用するセルの表面に指紋や汚れがつかないように、注意して下さい。
- ろ液が着色していたり、細かな土壌粒子が懸濁している場合、測定値が大きくなります。そこで、発色する前に吸光度を測定しておき(ここで得られる値をブランク値と呼びます)、発色後の測定値からこれを差し引く必要があります。**取扱説明書(取説)とここで示す方法(本法)では、この処理法が異なります。**

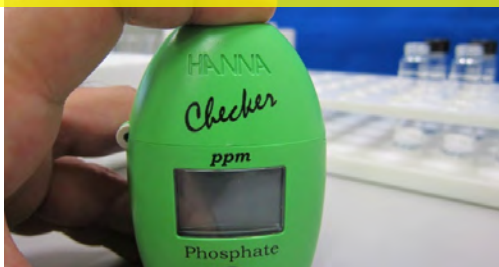
具体的には、

- ◆ 始めにボタンを押して電源を入れる(取説・本法共通)。
- ◆ **発色前の検液(抽出液など)を入れたセル**を装置へセットしてボタンを押し、ゼロ点調整する(取説)。
 - ⇒ **精製水を入れたセル**を装置へセットしてボタンを押し、ゼロ点調整(本法)。
- ◆ **検液に試薬を添加しボタンを長押しする。3分タイマーが表示され、3分後に自動的に測定値が表示される**(取説)。
 - ⇒ **測定したい試料(発色前の抽出液や発色後の検液)を入れたセルに差し替え、ボタンを短く押す。直ちに測定値が表示されるのでその値を書き取り、もう一度ボタンを押して電源を切る**(本法)。
- 測定は平らな机の上などで行い、測定中は装置に手を添えて揺れないようにしてください。**ゼロ点調整や試料の測定中に振動すると測定に時間がかかり、誤った値が表示されることがあります。**万全を期すためには数回測定を繰り返し、異常値があればそれを除いた平均値を採用するとよいでしょう。

【器具など】

- 抽出・ろ過して得られたろ液(検液)
- 目盛付き 15mL プラ遠心管(試料の希釈、分析反応に使用) 検液数 × 2本
- タイマー(キッチンタイマー、ストップウォッチなど) 1台
- 精製水(検液数 × 20mL + α)
- 目盛付きスポイトなど(精製水や検液の出し入れや計量に使用) 数本
- 低濃度リン酸用簡易測定キット 検液数
(バックテスト®/りん酸(低濃度)、型式 WAK - PO4 (D)、(株)共立理化学研究所)
- 簡易吸光度計 1台
(Checker HC シリーズ/吸光光度計/リン酸塩/HI 713、ハンナインスツルメンツ・ジャパン(株))

簡易吸光度計の使用法



ボタンを押して電源をいれる。



初期画面が表示される。



「C. 1」という表示に変わる。



精製水いりのセルを装置へセットしてボタンを押す。



「C. 2」という表示に変わる。



試料いりのセルを装置へセットしてボタンを押す。

他の試料などの測定を続ける場合、元に戻って繰り返す。



測定値を記録。



ボタンを押して電源をきる。

【手順】

- ① 分析装置用セルに精製水を標線までいれておく(対照用)*。
* 精製水を入れたセルは、測定毎に繰り返し使用するため、専用とするとよいでしょう。
- ② ろ液 0.5mL (または 0.5 g)を目盛り付き 15mL プラ遠心管の中へはかりこみ、精製水を 10mL の線まで添加し、キャップを閉めて混合する(20倍希釈)。
- ③ ステップ②で用いたものとは別の目盛り付き 15mL プラ遠心管の中へ、ステップ②で20倍希釈したろ液のうちの 1.5mL (または 1.5 g)を移す*。
* 20倍希釈したろ液に明らかな着色やにごりがある場合、反応に用いない残り(8.5mL)を廃棄しないでください。ステップ⑦でブランク値の測定に使用します。また、1点のみ測定したい場合、ステップ③～⑥の操作を目盛り付き 15mL プラスチック遠心管ではなく、精製水を入れていないほうの分析装置用セルの中で直接行うこともできます。
- ④ リン酸簡易測定キット試薬 1本をはさみで開封し、ステップ③で準備した20倍希釈ろ液へ添加して(タイマースタート)、よく混ぜる。その際、チューブ内の試薬がほぼ全量希釈ろ液内に添加されるように、逆さまにしたチューブの底を指ではじくなどするとよい。
- ⑤ 試薬を添加してから5分経過した段階でリン酸イオン用*の色見本と見比べ、
(ア) 1ppm以上であれば、**そのまま**、
(イ) 1ppm未満であれば、希釈前のろ液 0.5mL (または 0.5 g)を**追加**・混合し、さらに25分以上反応させる。
* パックテスト®に付属する色見本は両面印刷されており、各々「標準色くりん酸(低濃度)>」、「標準色くりん酸熊りん(低濃度)>」と表示されています。ここで使用するのは前者であり、0.05から2 ppmまでの色見本が印刷されている面の方です。
- ⑥ ステップ⑤で発色させた検液に精製水を追加して 10mL とし、分析装置用セル(精製水入りの対照用セルではないほう)へ移し、測定する。
- ⑦ ステップ②で調製した20倍希釈したろ液に明らかな着色やにごりがある場合、試薬と反応させていない20倍希釈したろ液の残りを測定し、ブランク値とする。
- ⑧ 以下の式を用いて土壌中の水溶性リン酸含量(mgP₂O₅/100g 風乾細土)へ換算する。

<分析の際に希釈前のろ液を**追加していない場合**(⑤(ア))>

[測定値] × **13.4**

(ステップ⑦でブランク値を測定した場合 ⇒ [測定値 - (ブランク値 × 0.15)] × 13.4)

<分析の際に希釈前のろ液を**追加した場合**(⑤(イ))>

[測定値] × **1.74**

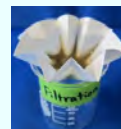
(ステップ⑦でブランク値を測定した場合 ⇒ [測定値 - (ブランク値 × 1.15)] × 1.74)

<抽出から分析までの操作のながれ>

● 不振とう水抽出法

風乾細土:水=1:2.5(重量:容量)で水抽出¹⁾、ろ過。

1) 風乾細土4gを200mL容のビーカーなどへはかりこみ、精製水10mLを添加・混合し、6~18時間静置。



● 酵素法によるリン酸の現場型測定法

ろ液を精製水で20倍に希釈²⁾。

2) ろ液0.5mLをとり、水を加えて10mLとして20倍に希釈。



(オプション) 希釈したる液に着色や濁りがある場合、ブランク測定。

希釈したろ液1.5mLに試薬を加えて反応開始³⁾。

3) 希釈液1.5mLをとり、リン酸簡易測定キットの試薬を添加、混合。5分経過時にリン酸イオン用の色見本と照合。



[1ppm 以上であるように見える場合] 25分以上そのまま反応。

[1ppm未満に見える場合]

希釈前のろ液0.5mLを追加、混合して25分以上反応。



● 簡易吸光度計を用いた数値把握法

精製水を追加して10mLとし、測定。計算⁴⁾。

4) 水溶性リン酸含量 (mg P₂O₅/100g 風乾細土) =
 ↓
 [測定値] × 13.4(そのまま反応)、または
 [測定値] × 1.74(希釈前のろ液を追加)



第Ⅲ章 施設キュウリにおけるリン酸減肥指標

Ⅲ - 1 施設キュウリ畑土壌、肥培管理等の栽培概要の現状

新たな水抽出法によるリン酸減肥指標を設定するにあたり、数多ある作物の中から施設キュウリを対象としたのは、概してリン酸施肥量が多い施設栽培作物であり(図8)、かつ作付面積が大きく、リン酸消費量大きい作物だからです。そして実際に、様々な作物栽培圃場の土壌診断結果から、可給態リン酸の過剰蓄積例の多さではトップクラスの作物とみられたほか、群馬・神奈川・高知の各県による現地実態調査でも極度に可給態リン酸が蓄積した圃場が多数認められました(図9)。

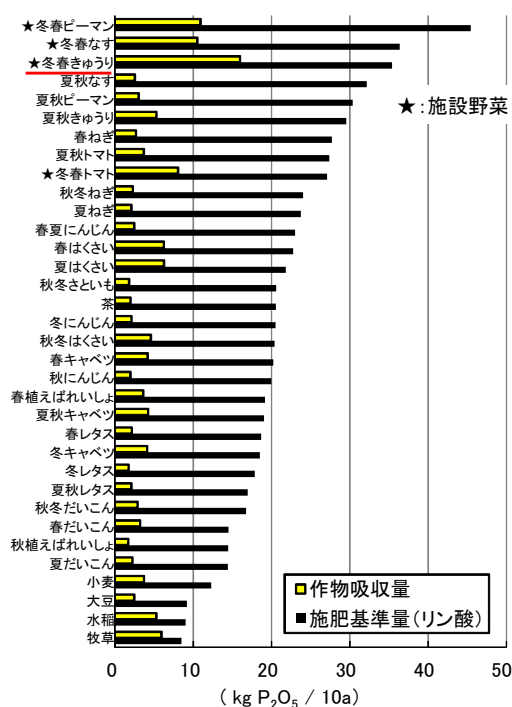


図8 野菜などの施肥基準(リン酸)の例

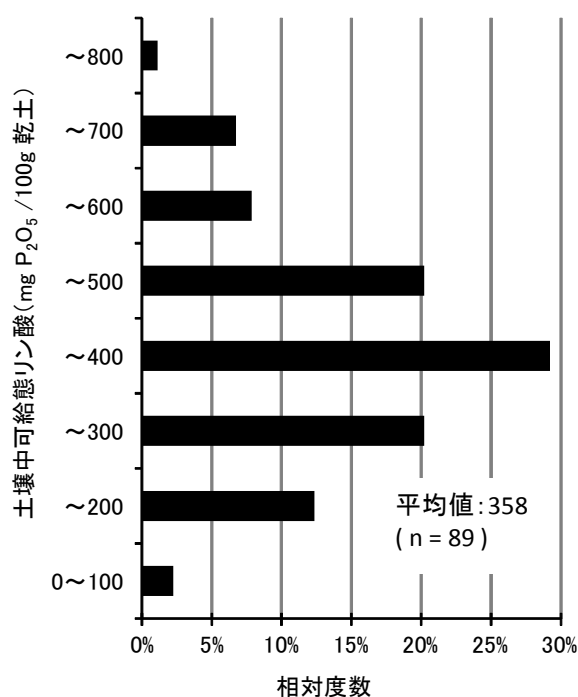


図9 3県の施設キュウリ現地圃場の土壌中可給態リン酸の相対度数の分布

Ⅲ - 2 現場型評価法におけるリン酸減肥指標

上記各県の農業研究センターでは、場内や現地圃場においてリン酸減肥を行った場合と行わなかった場合とで施設キュウリの収量などを比較してきました。施設キュウリはリン酸施肥量が多い一方、吸収量も極めて多いため(図8、12(右))、減肥による減収の可能性も予見されましたが、標準施肥区の収穫量に対するリン酸減肥処理区の収穫量の比(収量指数)は0.87 ~ 1.23 とばらついたものの(図10上)、減肥による減収は明らかではありませんでした。しかし、これらの収量指数のデータを不振とう水抽出リン酸の水準によってグループ化すると、

不振とう水抽出法で 1.00 mg P₂O₅ / 100g 風乾細土

を下回る場合、収量指数が 1 未満となる例がやや多い(図10下)ことから、これをリン酸減肥栽培の可否の判定指標としました。

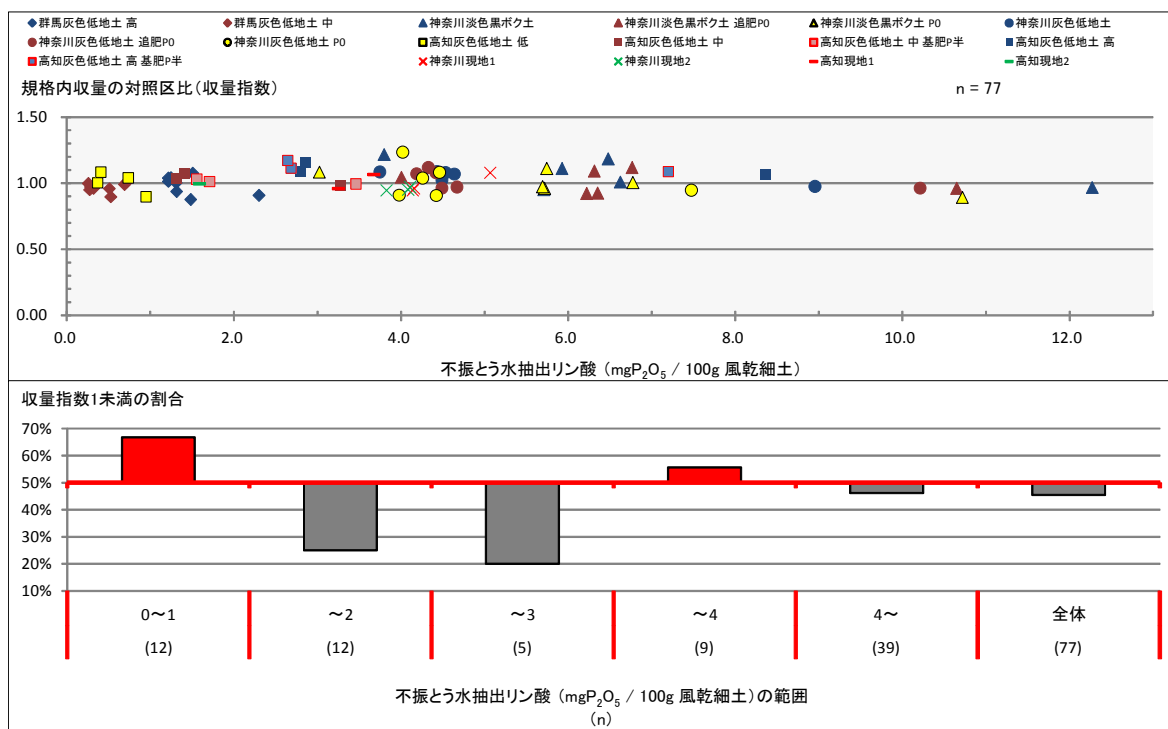


図 10 施設キュウリのリン酸用量試験結果

(高、中、低：土壤中可給態リン酸が各々高水準、中程度、低水準の試験区、追肥 P0、P0、基肥 P 半：各々追肥リン酸無施肥、リン酸無施肥、基肥リン酸半量施肥。その他の場内用量試験では基肥リン酸無施肥、現地試験では基肥 10 ~ 95 % 減肥。)

キュウリの場合、養分豊富な育苗培土の持ち込みや、堆肥などの有機物投入(図11)に伴うリン酸補給が見込める場合があることから、少なくとも基肥を無リン酸で栽培できる場合が相当あると想定されます。

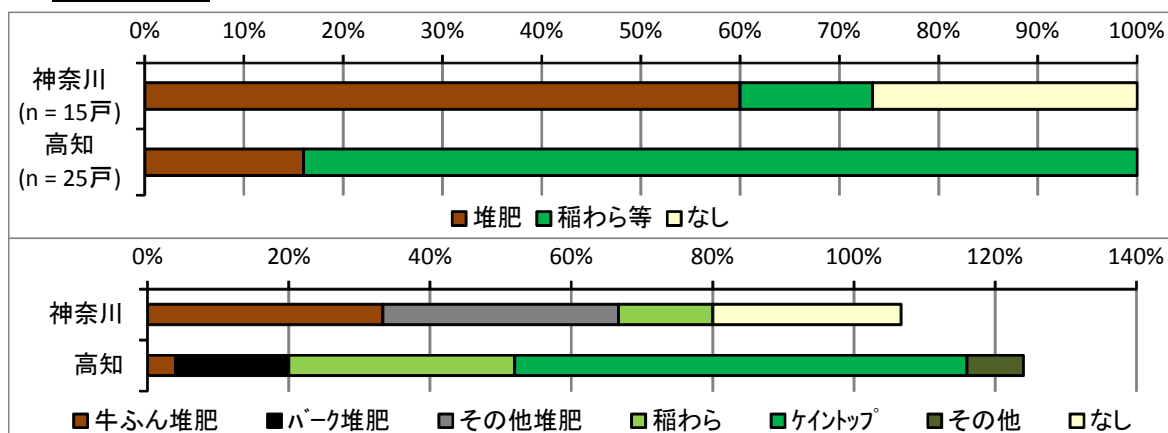


図 11 神奈川・高知両県の施設キュウリ栽培における粗大有機物利用割合と内容 (上：栽培時の粗大有機物利用割合、下：種類別利用割合 (複数回答有))

上記各県の農業研究センター場内で実施されたリン酸減肥試験の概要を図12、13に示します。基肥を無リン酸栽培すると、施肥リン酸と作物吸収量の収支はほぼゼロまたは収奪となります(図12右)。しかし、不振とう水抽出リン酸が $1.00 \text{ mg P}_2\text{O}_5 / 100\text{g}$ という上記指標を超える土壤では、試験開始時の初作の前後で水溶性リン酸の低下がみられる場合もあったものの、それ以降は基肥無リン酸栽培を数年継続しても水溶性リン酸に大幅な水準低下は認められませんでした(図13(ア)、図13(イ))。

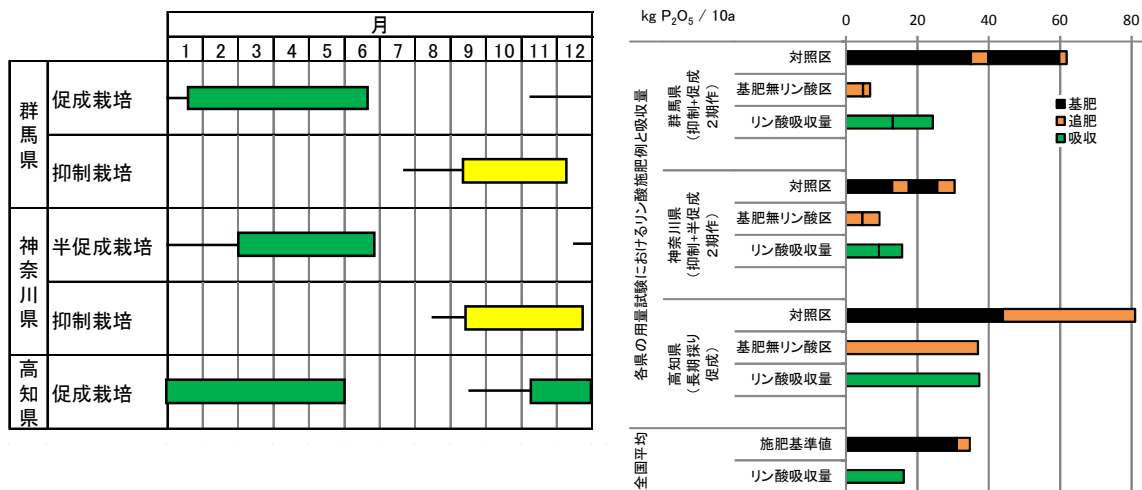


図12 各県の施設キュウリの代表的作型(左)及びリン酸減肥試験における施肥量の例等(右)

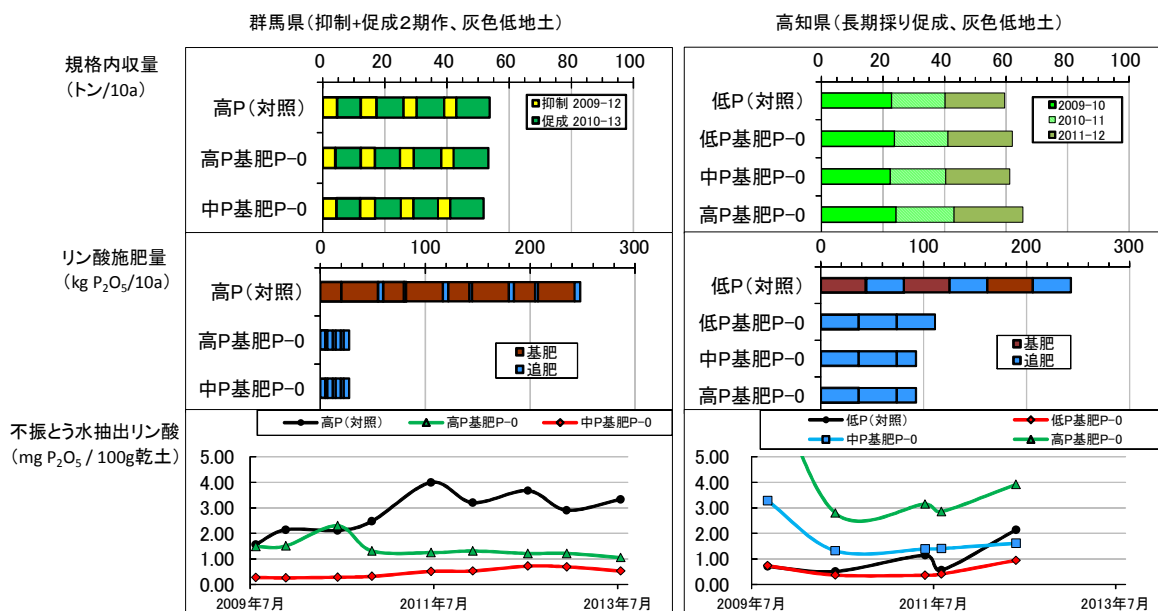


図13 (ア) 群馬県(左)及び高知県(右)の施設キュウリ栽培試験成績(高P、中P、低P:土壤中可給態リン酸が各々高水準、中程度、低水準の試験区)

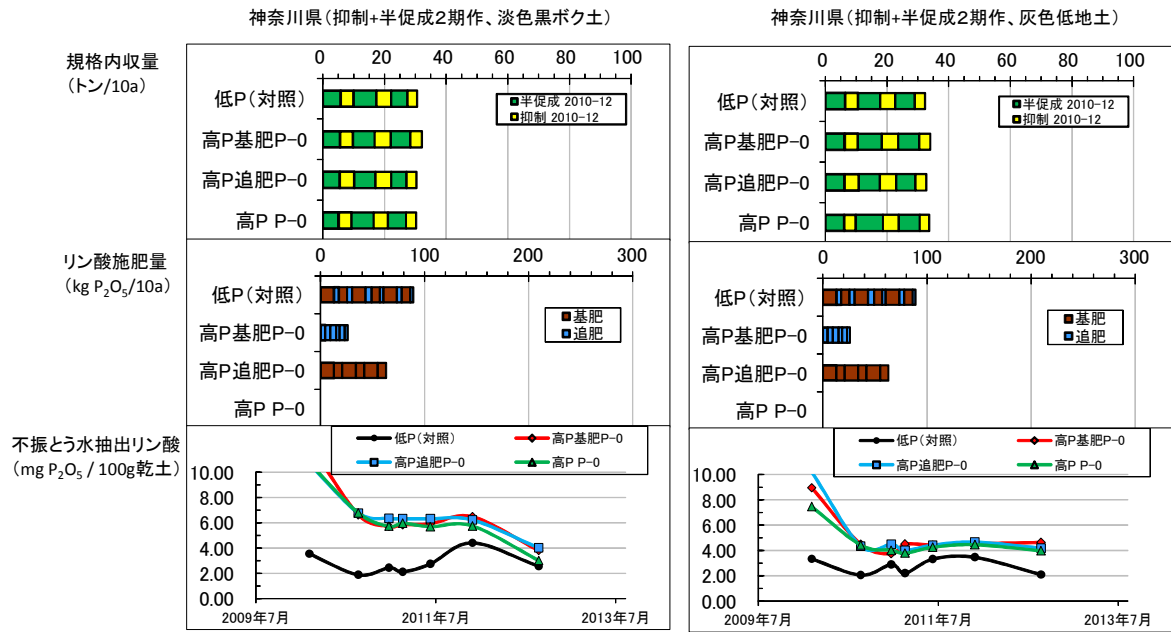


図 1 3 (イ) 神奈川県での施設キュウリ栽培試験成績
 (左：淡色黒ボク土、右：灰色低地土、高 P、低 P：土壤中可給態リン酸が各々高水準、低水準の試験区)

III - 3 リン酸減肥の効果

この新たな指標を超えるときは基肥を無リン酸とした場合の効果をおおまかなながら試算してみました。まず、図9と同じ土壤試料を不振とう水抽出法で分析したところ、
 1.00 mg P₂O₅ / 100g 以上の圃場は 92 % (図14)となりました。

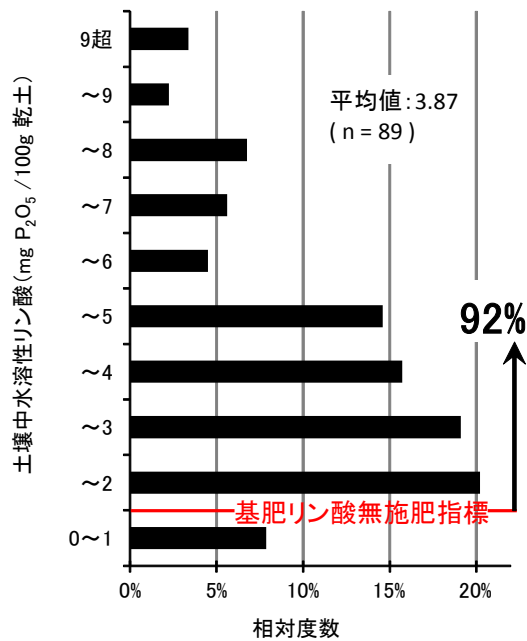


図 1 4 3 県の施設キュウリ現地圃場の水溶性リン酸の相対度数の分布

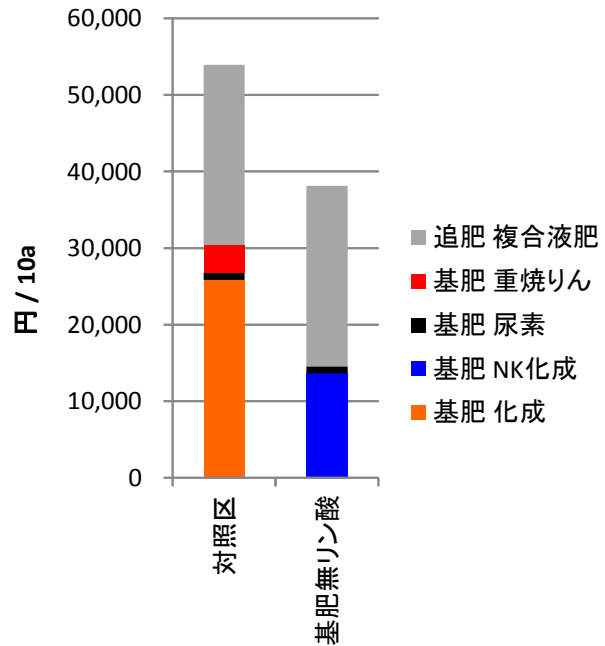


図 1 5 施設キュウリの基肥無リン酸栽培の施肥コストの試算

冬春キュウリの作付面積 3,040ha (H24 年産)のうち 92 %が基肥無リン酸栽培可能ならば、該当するのは約 2,800ha、冬春キュウリの施肥基準(全国平均値(平成 25 年 12 月調べ)) 34.7kg P₂O₅ / 10a のうち削減対象の基肥は 31.1kg なので、総量では 870トン P₂O₅ 程度の減肥と試算されます。重焼りんの価格を 39 万円/トン P₂O₅ として金額換算すれば、年約 3 億 4 千万円に相当し、面積あたりの施肥コストでは 1.6 万円程度(約3割)/ 10a が節減可能と見込まれました(図15)。

土壌蓄積リン酸を活用するメリットは、肥料コスト低減の面のみではなく、土壌の健全性確保の面でも重要です。リン酸について、かつては過剰症が認められにくい養分でしたが、現在は作物によっては病害や生理障害の原因となることが明らかになりつつあり、過度のリン酸蓄積はリスクであることを認識する必要性が高くなっています。

図14に示した3県の実態調査においてはリン酸過剰症が疑われる事例は認められておりませんが、キュウリについても、リン酸過剰症(図16右)の存在は試験的に明らかにされていたほか、疑わしい例も散見されており*、これまでは、はっきり問題として認識されてこなかったものの、近年、現地圃場でリン酸過剰症が認められ(図16左)、リン酸減肥によって増収した例も報告されています(http://www.naro.affrc.go.jp/org/narc/seika/kanto22/10/22_10_02.html)。

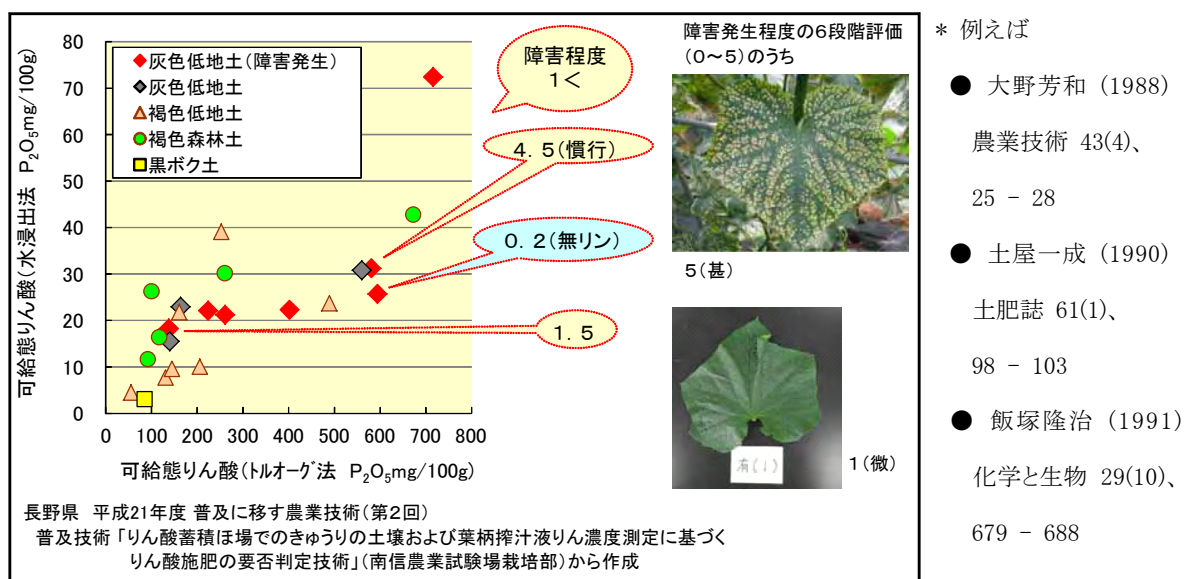


図16 露地キュウリのリン酸過剰障害事例

さらに最近、アブラナ科野菜の根こぶ病、ジャガイモのそうか病は各々異なるメカニズムではあるがリン酸過剰によって発病が助長されること、また、ウリ科ホモプシス根腐れ病やフザリウム属菌が原因であるレタス根腐病についても土壌のリン酸過剰によって発病が助長されるとの指摘もあります(後藤逸男(2011) 土づくりとエコ農業 43(7)、23-30)。

第Ⅳ章 留意事項等

Ⅳ - 1 土壌採取・調製法

<土壌の採取箇所の選択、採取の方法、時期について>

一筆の圃場を代表する値を得ようとする場合、圃場の数か所から採取したものを混合して試料とすることが一般的です(例えば、JA 全農 肥料農薬部、2010 「だれにでもできる土壌診断の読み方と肥料計算」)が、施設圃場の場合、出入り口側と窓側を避け中央側を採取すること、ハウスの手前側から奥側までを 5 ～ 6 か所にわたって採取すること(<http://www.agri.hro.or.jp/center/kankoubutsu/syuhou/80/80-3.pdf>)、また、表層に塩分が集積していることがあるため、軽く表層を除く必要があること(例えば、http://www.agri.hro.or.jp/chuo/fukyu/documents/fert_manual.pdf)などの留意点が指摘されています。採取時期は堆肥や石灰等の土づくり肥料を施用する前に行う必要があります。

<風乾、2mmの篩を通すことについて>

不振とう水抽出法では土及び水の双方が薄層となるように、いずれも少量しか用いません。このため、乾燥が不十分な土を用いた場合、正味の土の量が少なくなるうえ、土壌試料にもともと含まれていた水分と抽出のためにあとから加えた水とが同様に作用するとすれば、抽出に用いた水の量自体も想定とは異なる恐れがあります。

例えば土の重量の30%が水分であるような試料を用いた場合、

正味の土の量 : $4 \text{ g} \times (100\% - 30\%) = 2.8 \text{ g}$ (4 g との差、1.2 g は水分)

抽出時の水量 : $10 \text{ g} + 1.2 \text{ g} = 11.2 \text{ g}$

と考えられるとすれば、想定している土水比は、4 g 対10 g、つまり、1 : 2.5ですが、実際には2.8 g 対11.2 g、つまり、1 : 4となってしまいます。

なお、現場で速やかに土壌を乾燥させる方法として、採取した土壌を黒色のプラスチックシート上に薄く拡げ、太陽熱を用いるアイデアが米国で紹介されています。

(http://ohioline.osu.edu/sag-fact/pdf/Soil_Quality_Test_Kit.pdf)

少量の土から抽出を行う本法の場合、試料の粒径が大きいままでは測定値にばらつきが生じるおそれがあります。また、一筆の圃場を代表する値を得ようとする場合、圃場の数か所から

採取したものを混合して試料とすることが一般的ですが、篩を通すことは大粒の異物を除去するのみならず、試料の混合や乾燥を促す作用があるため、省略しないでください。

2mmの篩は園芸用品店で入手できますが、100円ショップで販売されているザルで代用できる場合もあるとされています(JA 全農 営農販売企画部 営農・技術センター 肥料研究室調べ)。



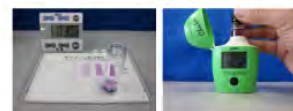
肥料価格高騰時（2008年）に用いられた土壌採取セットの例（JA 全農 営農販売企画部 営農・技術センター 肥料研究室提供）

IV - 2 診断に用いる試薬・機器の経費と留意点

この方法にかかるコストとしては、簡易吸光度計（ハンナインスツルメンツ・ジャパン(株)の Checker HC シリーズ吸光度計リン酸塩/HI 713 型（¥7,800、税別）に、はかりやストップウォッチといった汎用品を含めた合計でも初期投資で18,000円弱、ろ紙や試薬（(株)共立理化学研究所のバックテスト®りん酸（低濃度）/WAK-PO₄(D)（¥4,000 / 40検体分、税別））といった消耗品については1検体あたり120円程度と見込んでおり、比較的少額の負担で実施可能です。そして現場で活用いただけるよう、本マニュアルとは別途、他の分析項目への応用も盛り込んだ分析法中心のマニュアルもインターネットで提供中です。



簡易測定用試薬と簡易吸光度計を用いた
畑土壌分析マニュアル (Ver. 1.2)



2013年10月

(株)農研機構・中央農業総合研究センター

(http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/files/dojyoubunsekimanyuaru1-2.pdf)

このマニュアルではリン酸の他、可給態及び硝酸態窒素の分析への応用例も示しています。但し、これらのいずれについてもご提案している方法は、試薬キット並びに簡易吸光度計の本来の取扱説明に基づく利用法を相当改変しており、万が一不審な結果となった場合、製品の供給業者の指定とは異なる方法で利用したことによる不具合となるため、供給業者の責任ではなく自己責任となります点、十分ご留意お願いいたします。

IV - 3 参考 トルオーグ法で見た場合の施設キュウリの減肥指標

III - 2で、不振とう水抽出法による基肥リン酸無施肥栽培の可否の指標を示しました。同じ試験で採取された土壌試料を従来のトルオーグ法で分析し、III - 2と同様に収量指数が1未満になる区分があるかどうか検討しましたが、不明瞭であり、

概ね 100 mg P₂O₅ / 100g 乾土(トルオーグ法)

であっても減肥による減収は認め難いといえます(図17)。

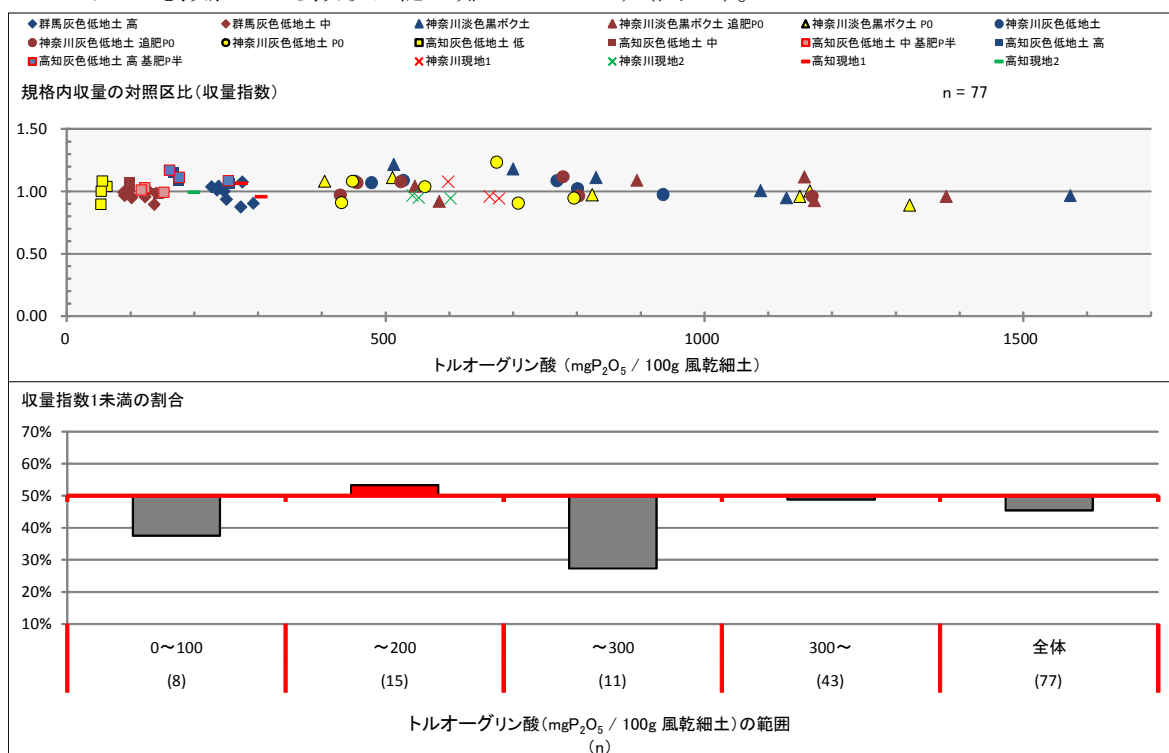


図17 施設キュウリのリン酸用量試験結果

(高、中、低：土壌中可給態リン酸が各々高水準、中程度、低水準の試験区、追肥 P0、P0、基肥 P 半：各々追肥リン酸無施肥、リン酸無施肥、基肥リン酸半量施肥。その他の場内用量試験では基肥リン酸無施肥、現地試験では基肥 10～95%減肥。)

II - 1でも述べたとおり、不振とう水抽出法もリン酸肥沃度を反映しており、施設キュウリの土壌についてもリン酸肥沃度の大小の傾向はトルオーグ法と概ね一致します(図18(左))。

しかし、不振とう水抽出法については 1.00 mg P₂O₅ / 100g 未満のグループで収量指数が1未満となる割合が高くなる傾向がみられたのに対し、同じグループの試料のトルオーグリン酸の値は 50 ~ 150mg P₂O₅ / 100gの範囲に分布し、かつ、トルオーグリン酸が 50 ~ 150 mgの範囲には収量指数が1を超える試験例が少なからず含まれており(図18(右))、トルオーグ法については明瞭な境界の特定には至らなかったといえます。

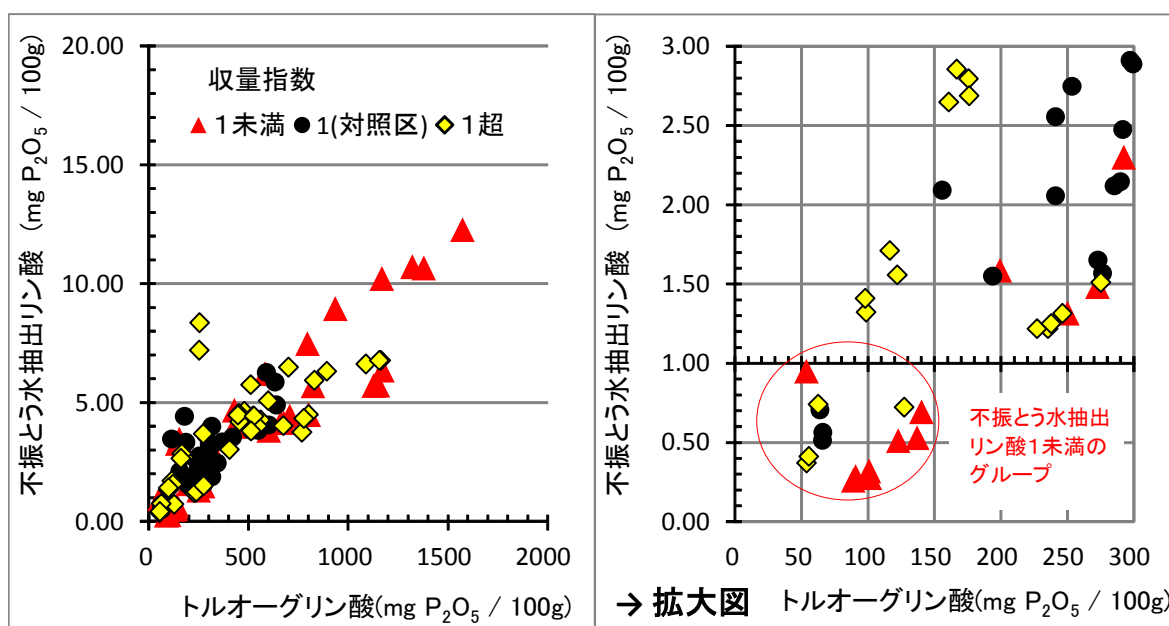


図18 施設キュウリ栽培土壌のトルオーグ法及び不振とう水抽出法による土壌中リン酸の関係

群馬・神奈川・高知の各県の農業研究センター場内で実施されたリン酸減肥試験の概要は図12、13に示しましたが、土壌中リン酸の推移をトルオーグ法で見た結果を図19に示します。水溶性リン酸の場合と同様に、試験開始時の初作の前後でトルオーグリン酸の低下がみられる場合もあったものの、それ以降は基肥無リン酸栽培を数年継続してもトルオーグリン酸に大幅な水準低下は認められませんでした(図19)。

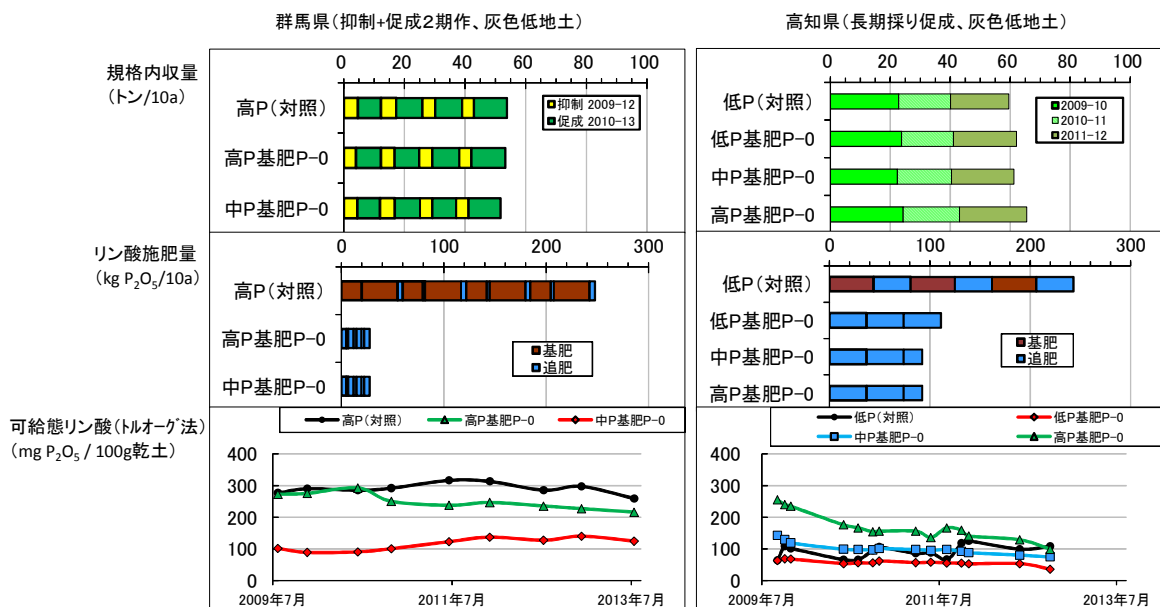


図19 (ア) 群馬県(左)及び高知県(右)の施設キュウリ栽培試験成績
(高P、中P、低P: 土壌中可給態リン酸が各々高水準、中程度、低水準の試験区)

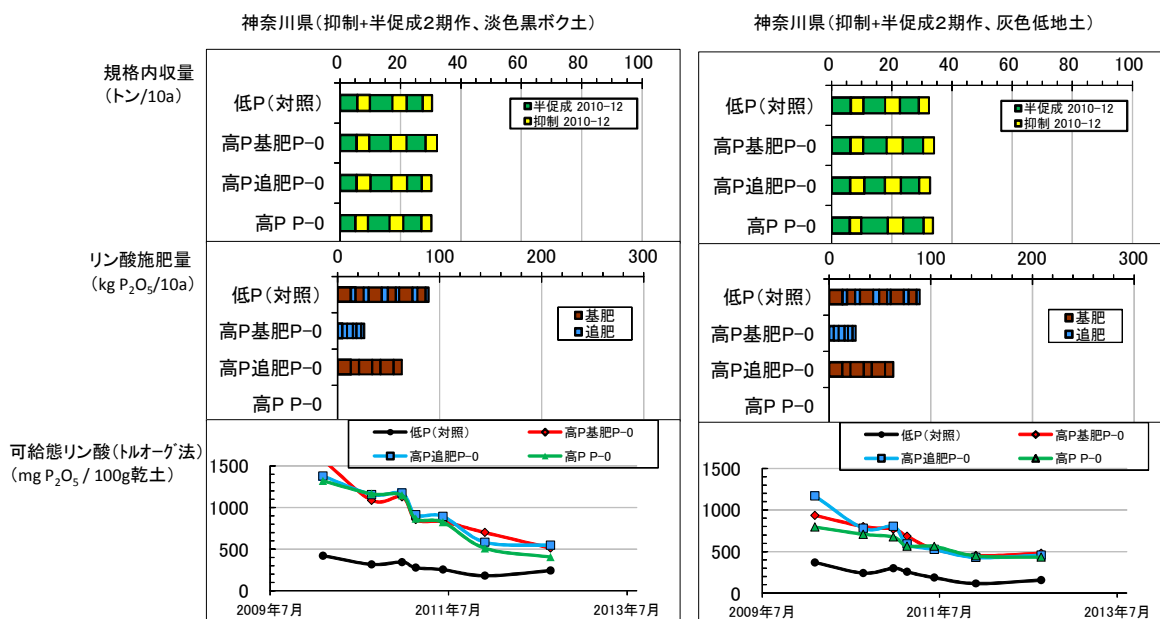


図19 (イ) 神奈川県(左)の施設キュウリ栽培試験成績
(左: 淡色黒ボク土、右: 灰色低地土、
高P、低P: 土壌中可給態リン酸が各々高水準、低水準の試験区)

IV - 4 Q & A

【抽出段階について】

Q1 このマニュアルの抽出法では土と水の混ざり具合が十分とは思えない。測定値がばらつくのでは？

A1 粗粒な土の場合やリン酸肥沃度が極端に低い場合は、ややばらつきが大きくなる傾向がありますが、通常数%のばらつきで収まります。これは、抽出を行う際の土の層が薄く、水と十分に接触できるためと考えています。実際、抽出する容器の広さを制限し、抽出中の土が厚い層に堆積するようにすると、土層厚を薄くした場合よりも低い値となる(図4)ほか測定値のばらつきが大きくなる傾向があります。

Q2 抽出法について、このマニュアルにある通り、振とうせずに土壌試料と水を混ぜたものを一晚静置したところ、上澄みににごりはかなり少ないように見える。ろ過をしなくても分析できるのではないか？

A2 にごりが残る場合も少なくないため、本マニュアルではろ過することとしていますが、上澄みににごりがなければご指摘のようにろ過を省略できる可能性はあります。ただしこの場合、土壌が混入しないように、スポイトで静かに吸いとるなど、細心の注意が必要となります。

Q3 精製水ではなく、入手しやすいミネラルウォーターで抽出してもよいか？

A3 ミネラルウォーターに含まれるカルシウム、マグネシウムなどはリン酸の抽出量を低くする傾向があるため、精製水など、入手できる範囲で純度の高い水を利用することをお勧めします。

Q4 抽出する時間に6～18時間と大きな幅があり、あいまい。何時間が最適なのか？

A4 この抽出時間の間であれば測定値が大きく変化しないため、利用者の都合の良い時間を選ぶことができるように、このような記載をしています。この方法では土壌粒子の崩壊が少ないため、振とうする方法に比べればろ過に要する時間は短い傾向であるものの、ろ過には20分位かかる場合もあります。この間も水と土の接触は続いているので、もしも時間指定があったとしても、それを厳密にまもるのは案外難しいことです。ただし、得られた結果を記録し、経年的な変化をみるような場合、抽出時間はもとより、抽出時の温度といった条件をなるべくそろえることは、この方法に限らずとても重要ですので、いったん都合の良い条件を決めたらなるべくそれに合わせるとよいでしょう。なお、本マニュアルの方法は、25℃で6時間抽出を行った結果を中心に設定したものです。

Q5 これまでいくつかの簡易分析法を実践したことがあるが、それらと比べ、このマニュアルの方法での抽出時間は最短でも6時間とあまりにも長い。例えば1分間でも激しく振とうすれば相当時間短縮できるのではないか？

A5 抽出されるリン酸の量が少ない、つまりリン酸肥沃度が低い場合には土と水を混合した後に直ちにろ過しても長時間静置した場合と大差のない数値が得られます。しかし、リン酸が大量に抽出される場合、抽出を開始してから早い段階で抽出量が飛躍的に増大する傾向を示します。このため、例えばろ過している間の抽出量の変化ですら無視できないものとなり、安定した値を得ることが難しくなります。本マニュアルで示す方法はリン酸減肥に活用していただくため、リン酸肥沃度の高い土壌を主要なターゲットとして開発したもので、このように激しく濃度変化が起きている最中に抽出を打ち切るような状況はその趣旨にそぐわないものです。

なお、本マニュアルで示す方法と同じ割合で土と水を混合してから連続的に振とうする方法¹⁾も提案されていますが、この場合でも3時間の振とうが必要とされており、激しい振とうを行ったとしても大幅な時間短縮は期待しがたいと考えています。また、その連続振とう法でも本マニュアルの方法より多くのリン酸が抽出されるわけではありません。本マニュアルに示す方法の利点を最大限活用していただくため、気長な話で恐縮ですが最低限6時間はお待ちいただくよう、お願いいたします。

Q6 抽出を始めたことを忘れてしまい、3日も経ってしまった。初めからやり直す必要があるか？

A6 1日以上 of 長時間の抽出やチャック付ポリ袋内での抽出といった、酸素欠乏状態になりやすい条件になると、リン酸抽出量が増加してしまう傾向があり、過大評価するおそれがあります。お手数ですがこうした場合は始めからやり直すことをお勧めします。

Q7 リン酸の水抽出法としては土1に対して水40を加えて振とうする方法などもある。このマニュアルの方法では分析できる試料の液量が少なく心配であるが、もっと水を多くしても良いか？

A7 抽出に使用する水を増やすと、安定した値に到達するまでにかかる時間が増加してしまう傾向があること、また、抽出しているときの温度による影響が増大してしまう傾向があることが判明しており、現場で利用する方法としては本マニュアルに示す割合によるのが適切と考えています。

Q8 よく用いられるトルオーグ法やブレイ2法では抽出液に酸が含まれている。現場向けとはいえないのかもしれないが、本当は土壌からリン酸を抽出するには酸が必要なのではないか？

A8 植物は根から有機酸を土壌中へ分泌することが珍しくなく、酸を用いた抽出法は、この点では根圏の状況に似ているといえなくもありません。しかしながら、土壌からリン酸を抽出する方法は他にも数多くあり、中にはアルカリ性の水溶液を用いるものもあることから、酸が必須というわけではありません。

なお、我が国ではまれではありますが、アルカリ性を示す農耕地土壌も存在し、こうした場合は酸による抽出は不向きと考えられています。本マニュアルの方法は抽出液としてなにも含まない水を用いるので、様々な土壌について、ありのままに近い状態でリン酸肥沃度を評価できると考えています。

Q9 抽出容器は200mLビーカーでなくてもよいか？

A9 差し支えありませんが、底が平らで底面積が15～30cm²の容器をお勧めします。例えば100mLのビーカーで代用することは可能ですが、50mLビーカーではやや狭いと考えられます。なお、抽出開始時に緩やかに混合する必要があるため、シャーレのような壁面の高さが低い容器は不向きと考えています。

【分析段階について】

Q10 分析法のステップ②ではろ液をいったん希釈し、リン酸の量が少ない場合はステップ⑤(ア)で希釈前のろ液を追加することになっている。初めからろ液をそのまま分析できないか？

A10 抽出液に含まれるリン酸の量がだまかにわかっている場合には希釈を省略したり、別の希釈率であっても差し支えありません。しかしながら、農耕地土壌中の有効態リン酸は極めて広範な値をとりうる²⁾ため、希釈しすぎて測定値が非常に小さい、あるいは分析範囲を超過して測り直す、といった失敗が無いように、本マニュアルでは通常想定しうる範囲の全域をカバーできる希釈法を設定しています。

Q11 分析法のステップ④で、希釈したろ液1.5mLに試薬を添加するが、その後ステップ⑥では精製水を追加している。初めから10mLの希釈ろ液に試薬を添加してはどうか？

A11 迂遠なようですが、本マニュアルの手順をお勧めします。ステップ④で、20倍希釈したろ液のうち1.5mLのみ採って試薬を添加する理由は、リン酸濃度が不十分であった場合でも後から希釈前のろ液を追加することによって適当な測定値を得やすくするためであるほか、利用する試薬が元来1.5mLの検液と反応することを想定して調合されており、その性能を十分に

引き出すには検液の量をおある程度制限する必要があるためです(初めから10mLの検液に対して試薬を添加すると、反応の進行が極めて遅くなります)。なお、本マニュアルでは、希釈したろ液で十分な発色が得られなかった場合に希釈前のろ液を0.5mL追加することとしていますが、この程度の液量の増加は測定に影響しません。

Q12 分析法のステップ④で希釈したろ液に試薬を添加してから測定を行うまでに合計30分の反応時間をとっている。この試薬の取扱説明書によれば、色見本と比較を行う場合の反応時間は5分となっており、これと比較すると30分は長すぎる。もっと短時間で分析してもよいのではないか？

A12 色見本との比較ではリン酸イオン濃度で2ppmまでの範囲内で判定することになっています。これは、低濃度の場合には短時間で反応がほぼ終了するためです。実際にこの試薬で定量できる濃度範囲はその5倍以上ですが、高濃度の検液の場合、発色が完了するまでには少なくとも20分以上必要です。本マニュアルに示す方法の利点を最大限活用していただくためには反応時間を十分確保することが必要であり、気長な話で恐縮ですが少なくとも30分は反応させるよう、お願いいたします。

Q13 分析法のステップ⑤の待ち時間が長いので休憩していたところ、試薬を添加してから30分をかなり超過した。やり直しをしなければならないか？

A13 いったん発色した色素は比較的安定であり、多少の時間超過は測定結果に影響しません。しかしながら、時間の経過とともに少しずつ退色する(非常に高濃度の場合には着色が微増する)場合があります。本マニュアルは反応時間を30分とした試験結果を中心に作成しており、なるべく30分程度でステップ⑥へ進むことをお勧めします。

Q14 分析法のステップ⑦で「ブランク値」を測る場合がある。なぜか。

A14 本マニュアルで示す装置は、一定範囲の色の光を試料に照射し、通り抜けてきた光の減少程度に基づいてその色の濃淡を数値化しています。しかしながら、土壌によっては抽出液そのものがリン酸とは無関係に着色していたり、混入した微量の固形物(にごり)が照射した光を散乱し、結果的に通り抜ける光の量を減少させてしまう場合があります。こうした場合、ステップ⑥での測定値は、こうしたリン酸の存在に基づかない分(ブランク値)を含む、いわば「下駄をはいた」値です。リン酸の抽出量が少ない場合は特に、この「下駄」が相対的に大きな割合を占めてしまうので、必要に応じてブランク値を差し引くことにより、実際には肥沃度が不十

分であるにもかかわらず「減肥可能」と誤判定するようなリスクを避けるためステップ⑦を設けています(因みにブランク値の評価は色見本との比較による目視法ではほぼ不可能です)。なお、堆肥の連用などによってリン酸そのものの含量はもとより、こうしたブランク値も経年的に変化する(例えば抽出液の着色が目立つようになる)場合がありますので、ご注意ください。

Q15 分析法のステップ⑧の計算式の内容はどうなっているか？

A15 以下の通りです。

<分析の際に希釈前のろ液を追加していない場合(⑤(ア))>

$$[\text{測定値}] \times 0.401^{1)} \times [10 / (1.5 / 20)]^{2)} \times 0.25^{3)} = [\text{測定値}] \times 13.4$$

<分析の際に希釈前のろ液を追加した場合(⑤(イ))>

$$[\text{測定値}] \times 0.401^{1)} \times [10 / (1.5 / 20 + 0.5)]^{2)} \times 0.25^{3)} = [\text{測定値}] \times 1.74$$

ただし、

- 1) 測定値→リン酸溶液濃度(mg P₂O₅ / L)への変換係数
- 2) ろ液の希釈倍率(分析前から測定直前の希釈までの全希釈倍率)
- 3) 抽出液中リン酸濃度(mg P₂O₅ / L) → 土壤中濃度(mg P₂O₅ / 100g風乾細土)への変換係数

Q16 何点かまとめて測る場合の注意点はなにか？

A16 反応開始後5分で大まかな濃淡を見極め、必要に応じて希釈前のろ液を追加する場合がある(ステップ⑤(イ))ため、まとめて分析する場合には、ステップ④で試薬を添加する際に、例えば1分間隔で添加し、以降の操作も同様に1分間隔で行うとすれば、5検体まで一連の操作で測定できます。ある程度測定値の見当がつき、ステップ⑤(イ)のような検液の追加を行う必要がない場合には、さらに多くの点数を同時測定することもできますが、ステップ④で試薬を加えてから完全に溶解させるまではよく混合する必要があるので、1分程度ずつ間隔をあげながら試薬を添加していくことをお勧めします。

Q17 分析で使用する試薬はまとめ買いするとすこし安いようである。一度に沢山分析する予定はないが、まとめ買いしておいてもよいか？

A17 試薬には使用期限がありますので、利用予定に照らして必要な分量を計画的に調達することをお勧めします。

Q18 分析法が通常の方法と異なる。同じ結果が得られるのか？

A18 本マニュアルで用いている酵素法は、土壌分析で従来常用されてきたモリブデン青法とは測定原理が異なりますが、現時点までに検討を行った範囲の畑土壌では、同様の結果が得られています。

【その他】

Q19 抽出法としては、トルオーグ法に慣れている。このマニュアルで得られた水抽出性のリン酸の測定値をトルオーグ値へ読み替える方法はないか？

A19 トルオーグ法は、農業現場で実行するには安全性などの面で注意が必要であるほか、土壌に相当量のリン酸が蓄積している場面では特に減肥の指標としては不向きではないかとの指摘もあり、トルオーグ法に代わる土壌診断手法の開発を進めてきたところです。このため、本マニュアルで示す水抽出性リン酸の値をトルオーグ値へ読み替えることは本意ではありませんが、現時点までに検討した結果では、この方法で得られる水溶性リン酸の値はトルオーグ値の概ね1%程度です。ただし、土壌の種類などにより異なるので、あくまでも目安とお考えください。

Q20 トルオーグ値と比較するとこのマニュアルの方法で得られる値は極端に小さい。相当リン酸が蓄積した土壌に対象を絞るか、あるいは超高感度分析法でもない限り意味のある測定値は得られないのではないかと？

A20 本マニュアルの方法及びトルオーグ法のいずれも実際に測定するのは抽出された検液中のリン酸濃度であり、これを土壌中の含量へ換算しています。土壌中のリン酸含量でみた場合、本マニュアルの方法で得られる値がトルオーグ値の1%に過ぎないと仮定しても、検液中のリン酸濃度で見ると本マニュアルの方法によるものはトルオーグ法のその80%と見積もられ、測定が難しくなるほど希薄とはいえません。これはトルオーグ法では土1に対して200容と大量の抽出液を用いるのに対し、本マニュアルの方法では土1に対して2.5容と少量の水で抽出しており、濃厚な抽出液を得やすいためです。極端に低肥沃度の土壌では、測定値のばらつきがやや大きくなること、最終的に差引くとはいえブランク値の影響が相対的に大きくなりうること、といった難しい点がありますが、実際にはトルオーグ値が一桁しかないような場合でも測定は可能です。なお、本マニュアルの分析法の感度は従来法と同等以上です。

Q21 抽出法としては、トルオーグ法に慣れている。このマニュアルの分析法をトルオーグ抽出液に応用できないか？

A21 本マニュアルは、安全性を確保するために抽出から分析の全行程にわたり強酸等を使用しない方法を目指して行った試験の結果に基づいており、トルオーグ法との組み合わせは想定しておりません。また、トルオーグ抽出液中に含まれる硫酸イオンは、500ppm程度以上の高濃度で分析時の反応を妨害することから、これを希釈せずに分析することはやや難しいと考えています。

Q22 水田土壌は測れないか？

A22 水田土壌では未検討ですが、一般的に他の地目と比較すれば水田のリン酸肥沃度は相対的に低い場合が多いこと、分析に用いる試薬は水田状態では珍しくない第一鉄イオンに強く影響を受けるとされていることから、本マニュアルの方法は水田にはやや不向きではないかと考えています。

Q23 このマニュアルの方法は簡単そうに見える。今まで使われてきたトルオーグ法はこれによってかわられることになるのか？

A23 統一方法による全国的な調査での利用や、リン酸肥沃度を増進する際の目標値としての利用など、トルオーグ法やそれに基づく過去の知見には重要な役割があります。本マニュアルに示す方法は、こうした役割まで置き換えることをねらいとしたものではなく、トルオーグ法が利用されなくなるとは考えていません。

なお、土壌改良には相当量の資材投入が必要となる場合もあり、リン酸肥沃度が低すぎる疑いがあるときは、トルオーグ法による評価を含め、専門的知識をもつ機関などに相談することをお勧めします。

Q24 土壌診断項目はリン酸だけではない。他の項目も知りたいが、よい方法はないか？

A24 本マニュアルで示した水抽出法は、pH(水)測定に類似した点があるほか、EC、硝酸態窒素などについては応用できる可能性があると考えています。また、本マニュアルの方法とは異なる水抽出法によるものではありませんが、野菜栽培土壌中のさまざまな水溶性養分濃度について多寡の目安が提案されている例などもあります^{3), 4), 5)}。今後、こうした主要な項目について、簡便に測定できるマニュアルのラインナップを拡大していきたいと考えています。また、土壌診断は作付前に実施し、当該作の施肥の参考とする場合が多いのに対し、リアルタイム作

物栄養診断は作物の養分状態を栽培期間中にチェックするもので、リン酸についてもキュウリの葉柄汁液を用いた方法が開発されています⁴⁾。本マニュアルで示したリン酸分析法(酵素法)はやや複雑な反応系を連動させており、植物体内の様々な物質が影響することも考えられましたが、これまでの検討では一部野菜の果実など以外ではモリブデン青法と同様の結果が得られるようであり、より安全なリアルタイム診断への応用も期待されます。

Q25 施設キュウリにおけるリン酸減肥指標は群馬・神奈川・高知の3県の試験例に基づいて設定されているが、その他の地域での適用は可能か？

A25 本マニュアルで示した減肥試験が実施された3県はいずれも作付面積が大きく、また、作型も多様であり、我が国を代表する地域と考えていますが、これら各県の主要な産地は水田跡地に立地し、土壌が灰色低地土(または黒ボク土)という共通点があり、こうした立地や土壌に当てはまらない場合については未検討です。ただし、冬春きゅうりの全国の作付面積の8割までを占める作付面積上位15県(平成24年産野菜生産出荷統計)のうち、水田跡地が多いとみられる場合が12県(上記3県を含む)であり、相当広範囲に参考としていただけると考えています。

<参考文献>

- 1) 平田滋ほか:施設土壌のための水溶性リン酸測定法、和歌山県農試研報、15、41-45(1995)
- 2) 後藤逸男:過度な土づくりが土壌病害を助長する-園芸土壌のリン酸過剰に対する警鐘-、土づくりとエコ農業 43(7)、23-30(2011)
- 3) 渡辺和彦:原色野菜の要素欠乏・過剰症、農文協(2002)
- 4) 六本木和夫:野菜・花・果樹 リアルタイム診断と施肥管理
-栄養・土壌・品質診断の方法と施肥・有機物利用-、農文協(2007)
- 5) 農研機構・中央農研 土壌肥料研究領域:
簡易測定用試薬と簡易吸光度計を用いた畑土壌分析マニュアル
https://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/files/dojyoubunsekimanyuaru1-2.pdf

担当者

(独)農研機構・中央農業総合研究センター 土壌肥料研究領域

金澤 健二、駒田 充生、高橋 茂、加藤 直人

群馬県農業技術センター

小柴 守、鶴生川 雅己、高坂 真一郎、川田 宏史、染矢 和子

神奈川県農業技術センター

上山 紀代美、竹本 稔、岡本 保、小勝 淑弘、曾我 綾香、伊藤 喜誠、
重久 綾子

高知県農業技術センター

速水 悠、森永 茂生、恒石 義一、大崎 佳徳、安岡 由紀

**執筆者：(独)農研機構・中央農業総合研究センター
土壌肥料研究領域**

金澤 健二

電話：029-838-8829