

土壌診断マニュアル

～土壌測定診断室における分析法～

改訂版 Ver.2

2016年6月

山口県農林総合技術センター

目次

| | ページ |
|-----------------------------------|-----|
| 第1 土壌の化学分析 | |
| 1. 試料の調製 | 1 |
| 2. 水分 | 2 |
| 3. 仮比重 | 2 |
| 4. pH | 3 |
| 5. 酸性硫酸塩土壌の判定法 | 5 |
| 6. 中和石灰量（緩衝曲線法） | 7 |
| 7. 電気伝導度（EC） | 9 |
| 8. 無機態(水溶性)硝酸態窒素 | 10 |
| 9. 硫酸イオン 塩素イオン（定性分析） | 12 |
| 10. 陽イオン交換容量（CEC）の浸出（シヨーレンベルガー法） | 13 |
| 11. 陽イオン交換容量（CEC）の測定－ホルモル法 | 16 |
| 12. 交換性塩基（Ca、Mg、K、Na）原子吸光光度法 | 19 |
| 13. 腐植・炭素（乾式燃焼法） | 22 |
| 14. 腐植・炭素（チューリン法） | 23 |
| 15. リン酸吸収係数 | 25 |
| 参考 アロフェンテスト、火山ガラス | 27 |
| 16. 有効態リン酸（トルオーグ法） | 28 |
| 17. 可給態珪酸（湛水静置・酢酸緩衝液浸出法） | 30 |
| 18. 遊離酸化鉄（浅見・熊田法） | 32 |
| 19. アンモニア態窒素、硝酸態窒素（プレムナー法・コンウェイ法） | 34 |
| 20. 硝酸態窒素（サリチル硫酸法） | 37 |
| 21. アンモニア態窒素（インドフェノール法） | 38 |
| 第2 エコファーマー認定用簡易土壌分析 | |
| 1. 腐植（土壌有機物含量 SPAD 簡便法） | 40 |
| 2. 水田土壌の可給態窒素 | 41 |
| 第3 土壌診断から施肥計算 | |
| 1. 土壌分析値のみかた | 42 |
| 2. 土壌診断ソフト利用のすすめ | 43 |
| 3. 測定値から施肥計算までの流れ | 45 |

| | | |
|----|---------------------------|----|
| 第4 | 排水対策 | |
| 1. | 化学性よりも排水対策が重要！ | 46 |
| 2. | 排水対策の判断 | 47 |
| 第5 | 化学物質・有害廃棄物の安全管理 | |
| 1. | 特別管理産業廃棄物管理責任者を置くべき事業所 | 49 |
| 2. | 特別管理産業廃棄物管理責任者の資格 | 50 |
| 3. | 特別管理産業廃棄物管理責任者の役割 | 50 |
| 4. | 安全上の注意 | 51 |
| 第6 | 付表・資料 | |
| 1. | 原子量表 | 52 |
| 2. | 係数・逆数表 | 53 |
| 3. | 代表物質のg分子、g当量およびモル、規定の関係 | 56 |
| 4. | 試薬の濃度 | 56 |
| 5. | 培養液等の単位の変換方法 | 57 |
| 6. | pH標準溶液(緩衝溶液) | 57 |
| 7. | 酸・塩基指示薬 | 57 |
| 8. | 作物に欠乏症または過剰症の出る各要素の土壌中含有量 | 58 |
| 9. | アレニウス氏表による酸性矯正炭酸カルシウム施用量 | 59 |
| | 主な訂正と追記箇所 | 60 |

参考資料

以下の資料を参考にさせていただきました。

| | |
|----------------------|-------------------------|
| 土壌養分分析法 | 養賢堂 |
| 土壌、水質及び植物体分析法 | 日本土壌協会 |
| 土壌および作物栄養の診断基準－分析法－ | 1996年 |
| | 北海道立中央農業試験場・北海道農政部農業改良課 |
| 土壌・作物栄養診断のための分析法2012 | |
| | 北海道立総合研究機構農業研究本部 |
| 野菜の要素欠乏・過剰症 | 渡辺和彦 農文協 |
| 土壌標準分析・測定法 | 博友社 |
| 土壌環境分析法 | 博友社 |

2016年6月2日修正版

第1 土壌の化学分析

1. 試料の調製

(1) 採土

診断するほ場内の5カ所程度を無作為に選び、それぞれから100gずつ採り、混合して500g程度のサンプルとする。

採取方法は、表層を図-1のようにV字型に移植ごてで掘り、斜面に沿って一定の厚さの土壌を採取する。

通常は深さ15cm程度までの土壌を採取する。

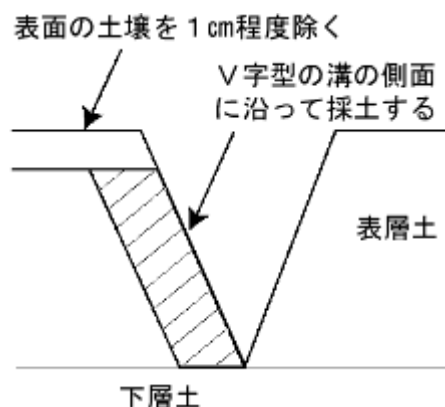


図-1

表面の土壌には肥料が集積していることがあるので1~2cm程度は除去して採土する。

茶園やアスパラガス圃場は表面に未分解の有機物が集積していることが多いので、この部分は除いて土壌の部分の厚さを15cm程度の厚さで採土する。分析の目的によっては採土方法を変えること。

(2) 調製

持ち帰った土壌は室内で新聞紙の上でうすく広げ、大きな土塊を小さくし、なるべく速やかに風乾する。風乾した土壌は、必要に応じて軽く粉砕し2mmの篩を通過させ、試料とする。

試料の量は、一般的分析では100g~200g、中和石灰量を測定する場合は300g程度あれば良い。

(3) 注意

同じ圃場でも土壌養分のばらつきが大きい場合があるので、必ず5か所以上から土壌を採土し、良く混合すること。

封緘した土壌の粉砕は、2mmの篩を通るように土壌の固まりを砕くことで、必要以上に土壌を粉砕したり、石を砕くことではない。

例外は、腐植・炭素の分析で、乾式燃焼法やチューリン法は、できるだけ細かく砕く必要がある。

2. 水分（含水率 乾土率 乾土係数）

(1) 操作

測定しようとする土壌（原土）10～20gを小型蒸発皿にとり、105～110℃で5時間乾燥後秤量（乾土重量）し、含水率や乾土係数（乾土率）を算出する。

$$\begin{aligned} \text{含水率\% (水分含有率\%)} &= (\text{原土重量} - \text{乾土重量}) / \text{原土重量} \times 100 \\ \text{乾土率\%} &= \text{乾土重量} / \text{原土重量} \times 100 \\ \text{乾土係数 } k \text{ (水分係数)} &= \text{原土重量} / \text{乾土重量} \end{aligned}$$

<風乾土の場合は、原土重量が風乾土重量になる。>

注意 旧版の計算式は乾土率を用いたが、改定版では乾土係数を用いている。

3. 仮比重（乾燥密度・かさ密度）

(1) 概要・原理

乾燥した土壌の重さを体積で割った値 土壌養分の量は土壌の重さ当りで示される。

施肥量は作土厚と面積から求めた体積で計算するため、仮比重を用いて土の重さを体積に換算する必要がある。山口県の一般的な仮比重は0.9～1.2 黒ボク土は0.8～0.9 高設培土は0.1程度

(2) 操作

100mlの円筒に土壌を採土し、105℃で乾燥させ重さを測定する。
ばらつきが大きいので、可能なら3つの円筒で採土する。

$$\text{仮比重} = \text{乾燥後の土壌の重さ} / 100\text{ml}$$

(3) 高設栽培など培土が柔らかい場合

高設培土等の柔らかすぎる土壌は、定植前に円筒を埋めておき、1か月以上経過して培土が落ち着いてから掘り出し、乾燥後に重さを測定する。

(4) 実容積を測定する場合

乾燥前に全重（円筒と円筒内土壌）を計り、乾燥後に実容積を測定する。この場合の三相分布は、採土時点での三相分布で降雨や乾燥の影響を受ける。

通常 p F 1.5 の水分状態で三相分布を示す。気相がなく固相と液相だけの状態が p F 0 で、重力水がない状態が p F 1.8 である。p F 1.5 にするためには砂柱という実験装置を利用する。

4. pH

(1) 概要・原理

土壌のpHとは、本来は土壌水のpHのことであるが、通常は「乾土1に対して水 2.5の割合の懸濁液のpH (H₂O)」と規定されている。

一般に水の割合が大きくなるほどpH (H₂O)は高くなる。また、石灰などの塩基が多いとpH (H₂O)は高くなる。逆に降雨などで土壌塩基が流亡するとpH (H₂O)は低くなる。

pH(KCL)は、土壌中の塩類の多寡の影響を受けないpHの値

土壌に硝酸塩や硫酸イオンなどが多い(ECが高い)ほどpH (H₂O)は、低い値を示す。土壌中の塩類の影響を避けた値がpH(KCL)である。

pH(KCL)は一般の土壌でpH (H₂O)より0.5~1.0程度低い値を示す。この差が0.5以下の場合、pH (H₂O)が土壌中の塩類の影響を受け低くなっていることを示す。

土壌中の塩類が高いことが予想される場合は、ECや硝酸態窒素、硫酸イオン、塩素イオンの測定が必要である。

風乾させた土壌のpH (H₂O)は、有機物が分解して最終的に硝酸になり一時的にpH (H₂O)に影響を与えている可能性がある。また、癖のある青色の土壌が下層土や法面から出現した場合は、酸性硫酸塩土壌の可能性もある。この場合は、当初中性であっても適湿で長期間空気にさらすことで強い酸性(pH3.5以下)を示す。

pHは化学的性質を表す最も基本的なもので、水溶液中の水素イオン濃度のこと

$$\text{pH} = -\text{Log} [\text{H}]^+$$

[H]⁺は水素イオン濃度 (グラムイオン/1,000ml)

(2) 試薬

1) 1N塩化カリウム液

塩化カリウム(KCL) 74.5gを水に溶かして1,000mlとする。0.1N程度の希水酸化カリウム液でpH 7.0に調整する。

(3) pH (H₂O) の操作

新鮮土または風乾細土 20gを100ml容量の振とうビンにとり、水 50mlを加え30分振とう後、1時間以上放置する(新鮮土の場合は水分相当量を差し引く)。比較電極内部液の補充口を開けpH電極の校正を必ず行う。

測定前に軽く振とうして懸濁液とし、ガラス電極を静かに液中へ浸し、30秒以上経過してpH分析計の表示値が安定するのを待って、pH指示値を読みとる。

測定が終われば蒸留水でガラス電極をよく洗い、使用後は比較電極内部液の補充口を閉めてから、電極が乾かないように水につけて保存する。

(4) pH(KCL) の操作

風乾細土 20 g を 100ml 容量の振とうビンにとり、1 N塩化カリウム液 50ml を加え、上記と同様の操作を行う。

(5) 比重が低い場合のpH測定（培土(高設培土)や堆肥等）

乾燥した培土や堆肥は比重が低いため、土壌のように水との割合が1対2.5では測定できない。このような場合は1対10またはそれ以上の比率で水を加え測定する。測定結果には水との割合をpH (H₂O 1 : 10) のように記す。

pH電極のメンテナンス（ホリバ製電極の場合）

原則として2～3か月に1回は内部液を交換すること。交換後安定するまで時間がかかる場合があるので、測定3日前までに交換しておくこと。

9615S-10D 9615-10D、9611-10D、6366-10Dの内部液「比較電極内部液 300」（ホリバ製電極 F,M,Dの70、50、20、10シリーズ用は内部液300を使用する。）

電極の校正ができない場合

- ①軽い汚れ：中性洗剤を薄めたものでガラス部を洗う。
- ②油汚れ：電極をエタノールで湿らせたキムワイブなどでふき取る。
- ③無機物による汚れ：電極応答部を1mol/Lの塩酸に数時間つける。
- ④液絡部が黒い時や①～③で効果がない時：電極洗浄液(HORIBA220)につける。

これらの処置後は内部液を交換し、数日おいて校正する。

(6) 参考

山口県内でアルカリ性を示す土壌は、ハワイのごとき美しい海に囲まれた角島に分布する。ハワイに行ったことはないが・・・

角島の海が輝くのは貝殻を多く含むためであり、隆起したこの島の灯台周りの畑も貝殻を多く含む。

この土壌のpH (H₂O) は8弱であるが、希塩酸をかけると結構な発泡が見られる。角島の高pH土壌に、pHの低い土壌を客土、混合しても貝殻が多すぎpH (H₂O) は低下しない。

このような高pH土壌は微量元素欠乏を起しやすいので、微量元素を施肥する。

また、貝殻以外にも苦土の過剰施用でpHは高くなるので注意が必要である。

逆に、pH (H₂O) が5以下になると、作物によっては生育が急激に悪化することがある。この場合の原因は、生育を阻害するアルミニウムが低pHで可溶化したことと、石灰や苦土の絶対量の不足がある。

また、一時的なpHの低下は、窒素肥料や有機質肥料の施肥、たい肥の過剰施用で硝酸態窒素が発生することにより起こる。

アブラナ科野菜の場合は一時的にpH (H₂O) が低くなった際に根こぶ病に感染する可能性があるため、施肥によるpH (H₂O) 低下を考慮したアルカリ資材の利用が求められる。

5. 酸性硫酸塩土壌の判定法

(1) 概要・原理

大昔に海や湖沼に有機物が流れこみ、還元状態で鉄と硫黄が化合し黄鉄鉱 FeS_2 などに变化したもの。干拓地の下層土やその後の隆起で、山や台地の法面に露出している場合がある。山口県では丘陵地帯にある旧宇部有料道路の法面に現れている。

酸性硫酸塩土壌は露出した初期の pH は酸性を示さないが、空気にさらされると数か月で鉄と化合していた硫黄 S が硫酸に変化する。これにより pH が 3.5 以下に低下し、植物が生育できなくなる。

圃場整備にかかわる工事や客土により作土に酸性硫酸塩土壌を混入させないことが重要である。

(2) 現場での判定方法（参考 寒地土木研究所月報 No722）

1) 色

2.5GY から 7.5GY 明度 3～6 であることが多い。一般的なグライ土壌もこれらの色を示すが、酸性硫酸塩土壌は少し変わった印象を受ける場合が多い。

2) 臭気

新鮮な土塊を割って破断面の硫黄臭や腐卵臭（硫化水素臭）を確認する。無臭の場合でも酸性硫酸塩土壌の場合がある。寒いとわかりにくいので、室内等暖かい条件で確認する。

(3) 実験室での測定

1) 保温静置（インキュベーション）法

風乾細土約 50g をビニール袋にとり、土壌の状況に応じ水を 15～20ml 加え、袋を含む重さを計っておく。

水分が乾かないように密封し 30℃ で 4～5 週間（20℃ では 7 週間）保温静置する。保温静置中に重さを計り減っている場合は水を加える。

保温静置後に通常の方法で pH を測定する。測定後に濾過し、塩加バリウムを滴下し硫酸バリウムの発生を確認する。

生土を用いる場合は、状況に応じて加える水の量を少なくする。

保温静置中の土壌水分

土壌水分は最大保水量の 60% の水分で行う。

一般的に山口県の水田の固相率は 40% 前後である。仮比重を 1 とした場合 100g の乾土の体積は 100ml であり、液相と気相の合計は 60ml になる。

この例では、最大保水量の 60% は 36ml になる。

よって 50g の土壌の場合は 18ml の水を加えれば、最大保水量の 60% になる。同じ土壌で同じ重さでも仮比重が 0.9 の場合は、液相と気相が増えているので水を 20ml 加えれば良い。

2) 過酸化水素処理による方法 (村上の方法)

① 過酸化水素水の pH 調整

市販の過酸化水素水 (35% のとき pH 2.0~3.7) にブロムクレゾールパープル指示薬を加え、0.1N-NaOH で中和 (紫) したものを (pH 6)

ブロムクレゾールパープル指示薬

ブロムクレゾールパープル 0.05g を 20% エタノール 100ml にとかしたものを。

② 操作

風乾砕土 2g を 200ml トールビーカーにとり全重を計っておく。
安全ピペッターなどを用いて、pH を調整した過酸化水素水 20ml をトールビーカーにとり、時計皿でフタをする。

激しい反応が収まってから 60 度に設定したホットプレート (または湯煎上) で 15 分程度加熱し、すぐに水に浸し放冷する。

再度重量を測定し、土と水が 1 対 10 になるように、先に測定した全重プラス 20g になるように水を加える。

2 反復で行い放冷後に一緒にして pH を測定する。

注意 過酸化水素水により土壌から塩基が溶出し pH が上昇するので、なるべく短時間で測定すること。

反応が激しい場合は、水で冷却するか 500ml トールビーカーを用いる。

加熱時間は、日本緑化工学会誌 Vol. 20 (2) 「酸性硫酸塩土壌の過酸化水素による簡易 pH 測定法 について」を参考にしました。

注意

過酸化水素水は反応に富むため、手袋、メガネ着用。

事故防止のため必ずホットプレートは 70℃以下の温度で行うこと。

過酸化水素水が皮膚についた場合は炭酸水素ナトリウム水で中和すること。

炭酸水素ナトリウム (NaHCO_3) は、重炭酸ナトリウム、重曹ともいわれ、弱いアルカリ性を示す。温度や酸などで二酸化炭素を発生するので、ふくらし粉 (ベーキングパウダー) の基材として利用される。

6. 中和石灰量（緩衝曲線法）

(1) 概要・原理

土壌の酸性を中和するには石灰質資材の施用が必要であり、その必要量を算定しなければならない。算出にはアレニウス表を利用することが簡単であるが、土壌によって異なる可能性があり、pHの矯正量が大きいと差も大きくなるので、中和石灰量を求めることが望ましい。

中和石灰量（緩衝曲線法）は、炭酸カルシウムを加えて緩衝曲線を作り、目的のpHに矯正するための所要量を読みとって、石灰資材量に換算する方法である。

(2) 試薬

炭酸カルシウム（CaCO₃）粉末

(3) 操作

100ml 容量のポリ瓶に風乾細土 20g を添加炭酸カルシウムの段階数分をとる。次に炭酸カルシウム粉末をそれぞれ 0mg、20mg、50mg、100mg、150mg、200mg を土が入ったポリ瓶に加える。なお、加えた炭酸カルシウムの重さを記録するなら、例えば 20mg は 19mg であっても良い。

pHを測定する前日の朝に水 50ml を加えてよく混和した後、室温で 24 時間静置する。静置後さらに 5 時間振とうし、土壌と炭酸カルシウム粉末を十分に反応させる。

次いで 1ml のチップの先を適当に切ったものをゴム管の先につけ、エアコンプレッサー（金魚のポンプ等）で毎分約 2L の空気を土壌懸濁液中に 2 分間吹き込み、過剰の二酸化炭素を追い出す。

通気終了後、直ちに土壌懸濁液の pH を測定し、緩衝曲線を作成する。

空気量はメスシリンダーを用いた上方置換法で測定できる。
通気量の調整は、ゴム管に穴を開け行う。
試験が複数日にわたること、pHの測定に時間がかかるので計画を立てて行う。

(4) 計算

エクセルを利用し、X軸に炭カル量、Y軸にpHの緩衝曲線のグラフを作成する。作土厚 10cm の炭カル施用量(kg/10a)は、以下のとおり求められる。

$$\text{炭カル施用量 } X\text{kg}/10\text{a} = A \times B \times 5$$

A⇒緩衝曲線から読みとった目標 pH に相当する炭カル（CaCO₃）の量
B⇒土壌の仮比重（山口県内の一般土壌は 0.9 ～ 1.2 黒ボク土壌は 0.8～0.9）

$$A\text{mg}: 20\text{g} = X\text{kg} : (1,000\text{ m}^2 \times 0.1\text{m} \times B) \Rightarrow = X\text{kg} : (100\text{ m}^3 \times B)$$

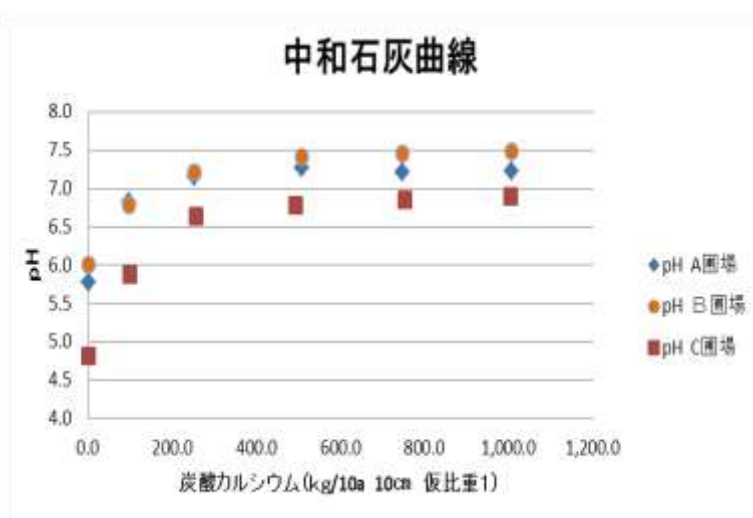
$$A\text{mg}: 20,000\text{mg} = X\text{kg} : (100\text{ t} \times B)$$

$$A\text{mg}: 20,000\text{mg} = X\text{kg} : (100,000\text{ kg} \times B)$$

$$X\text{kg} = A \times B \times 5$$

(5) 分析例と中和石灰曲線（比重 1 で炭カル施用量を計算）

| | | | | | | |
|--------------------------|------|-------|-------|-------|-------|---------|
| 実験で用いた炭カル量(mg/±20g) | 0 | 19.5 | 50.3 | 101.4 | 149.5 | 201.3 |
| 10a圃場に換算した炭カル施用量(kg/10a) | 0.0 | 97.5 | 251.5 | 507.0 | 747.5 | 1,006.5 |
| pH A圃場 | 5.8 | 6.8 | 7.2 | 7.3 | 7.2 | 7.2 |
| 実験で用いた炭カル量(mg/±20g) | 0.0 | 20.3 | 49.7 | 98.3 | 152.3 | 198.4 |
| 10a圃場に換算した炭カル施用量(kg/10a) | 0.0 | 101.5 | 248.5 | 491.5 | 761.5 | 992.0 |
| pH B圃場 | 6.0 | 6.8 | 7.2 | 7.4 | 7.5 | 7.5 |
| 実験で用いた炭カル量(mg/±20g) | 0 | 19.6 | 51.3 | 98.7 | 150.6 | 200.7 |
| 10a圃場に換算した炭カル施用量(kg/10a) | 0.0 | 98.0 | 256.5 | 493.5 | 753.0 | 1,003.5 |
| pH C圃場 | 4.81 | 5.87 | 6.64 | 6.78 | 6.86 | 6.9 |



左のグラフは中和石灰曲線の例

炭酸カルシウムによる中和では、過剰に施用しても一定以上 pH は上昇しない。

どこまで上昇するかは土壤による。

炭酸カルシウム（炭酸石灰）と消石灰の違い



左のビーカーには、10 a（作土厚 10 cm）に換算して炭酸カルシウムを 20 t、右のビーカーには消石灰を 20 t 施用したものの。

消石灰は土壌が硬化したが、炭酸カルシウムは草が生えている。炭酸カルシウムは、かなりの過剰施用をしても消石灰ほどの悪影響はでないことがわかる。

消石灰は漆喰の主成分であり、炭酸カルシウムは石灰岩の粉末である。秋吉台の石灰岩が緑で囲まれていることから同じことが言える。

なお、生石灰は水と反応し発熱するとともに（火事に注意）、コンクリートの原料なのでさらに注意が必要である。

7. 電気伝導度 (EC)

(1) 概要・原理

ECは電気伝導度ともいい、土壌中の水溶性塩類の総量を表す。一般的に硝酸態窒素含量との間の正の相関関係が良く知られているが、硫酸イオンや塩素イオンなども正の相関を示す。このため、ECから硝酸態窒素を推定する乱暴なことは少なくなってきた。

しかし、塩類過多による作物の生育障害は、通常土壌溶液の浸透圧増加による作物根の養水分の吸収障害が主な原因とされているので、土壌浸出液の電気伝導度は作物の障害を推定するうえで依然有効な手段である。また、塩害(塩素)の推定には特に有効である。

土壌浸出液における水の添加割合は、乾土重の2倍量(1:2)と5倍量(1:5)などが行われているが、ここでは一般に行われている5倍量(1:5)とするが、データを参照するときには土壌と水の割合に注意が必要である。

(2) 操作

風乾細土 10g を 100ml 容量の振とうビンにとり、水 50ml を加えて振とう器で 30 分間振とうした後、懸濁液を測定液として電気伝導度計で測定する。

pH測定後に水 50ml を加え、手で振とうした後、懸濁液を測定液として電気伝導度計で測定しても良い。(土 20g : 水 100cc)

単位 (mS と μ S の書き間違いに注意)

ミリジーメンズ毎センチメートル(mS/cm) またはデシジーメンズ毎メートルで表す。
 $1 \text{ mS/cm} = 100\text{mS}/100 \text{ cm} = 0.1 \text{ S/m} = 1 \text{ dS/m}$ (dは0.1を示す単位)

(注1) 電極の中に気泡が残らないよう十分に攪はんしながら浸漬する。

(注2) 生土でpHを測定した場合は、アンモニア態窒素や有機態の窒素が硝酸に変わっていない場合がある。生土の場合は測定されたECの意味を考えること。

伝導率セルのメンテナンス

伝導率セルは乾燥させないように必ず水につけておくこと。乾燥させた場合は1昼夜水につけてから測定する。

一般的な汚れは、中性洗剤を100倍に薄めたものですすぎ洗います。無機成分などの汚れは、エタノールで洗浄する。

これらの洗浄でもきれいにならない時は、水を満たした試験管に伝導率セルを入れ試験管ごと極短時間だけ超音波洗浄機にかける。試験管を素手で持つと知らない間に超音波振動による摩擦熱で火傷を負うことがあるので、軍手を使うこと。

癖になるほどきれいになるが、超音波により電極がはがれるなどで使用できなくなる恐れがあるので、おすすめしない。

伝導率セルの感度チェック

伝導率セルの感度をチェックするには、市販の導電率計標準液を利用するかpHの標準液を用いる。

pH4 標準液 : 約 0.43 S/m (4.3 mS/cm) pH7 標準液 : 約 0.56 S/m (5.6 mS/cm)

8. 無機態 (水溶性)硝酸態窒素 (NO₃-N RQフレックス)

(1) 概要・原理

ECが 0.3mS/cmを超えた場合は、原因を把握するために硝酸態窒素、硫酸イオン、塩素イオンの測定を必ず行う。

本来はアンモニア態窒素と硝酸態窒素を同時に抽出するために、10%や2N-KCL液を用いる。

硝酸態窒素はほとんど土壤に吸着していないので、硝酸態窒素のみの測定では水による抽出が良い。

測定はMerck社製RQフレックス (リフレクトクェント) を用いて測定するが、KCL液を用いた場合は妨害イオンによりRQフレックスは利用できない。

(2) 操作

1) 試験液の準備

12 cmの大きさのろ紙5Bを用いて、EC測定後の液を短い試験管に10ml程度濾過する。(長い試験管だと濾液にRQの試験紙が届かない。)

この濾液から硫酸イオン、塩素イオンの測定用に各2ml程度を試験管にとり残りの液を硝酸態窒素測定用に利用する。

ECが0.8以上は、3倍~5倍に水で希釈してから窒素を測定する。(希釈倍率A)

ろ液が濁る場合は、ろ紙のヒダ折りや折ったろ紙の2枚重ね。ろ紙に入れる液量を少なくする。遠心分離するなどに対応する。

2) RQフレックスの洗浄

RQフレックスの説明書に従って、試験紙を挟む黒いストリップアダプターを手前に引いてはずし、薄灰色の小さなパーツ (インターナルスタンダード) の汚れをチェックする。汚れている場合はアダプターからはずし、アダプターともに中性洗剤で洗い完全に水気をふき取り、組み立てて本体にセットする。

3) RQフレックスのキャリブレーション

装置付属のバーコードを読み込ませ、CAL表示後にキャリブレーション用の試験紙 (プラスチック製) を切り込みの入った、やや細くなっている方を手前上方に持ち、アダプターにはさみSTARTボタンを押す。

CALが消えたらキャリブレーションが終了 (洗浄後は必ず行う。)

4) 測定

RQフレックスのスイッチを入れ、TESTボタンを押す。

硝酸用試験紙 (5-225 mg/L) に同封されているバーコードを読み込ませる。

STARTボタンを押すと60秒が表示される。

試験紙を抽出液に浸けると同時にSTARTボタンを再度押す。カウントダウンが始まる。2秒たって試験紙を引き揚げ、試験紙の余分な水気は、試験紙の縁等をろ紙などに当てて取り除く。

残り10秒で試験紙の向きに注意して試験紙をアダプターの奥まで差し込む。0秒になったら測定値が自動的に表示される。

再度 TEST、START を押し、測定を繰り返す。
残り秒数を数えながら試験紙を差し込むと失敗しにくい。

5) 計算式 (測定値は硝酸イオンの濃度 mg/L=ppm)

$$\begin{aligned} \text{窒素 mg/100g} &= \text{測定値 mg/L} \times \text{希釈倍率 A} \times (\text{抽出した水 100 cc}) / (\text{土壌 20g}) \\ &\quad \times 100 \times 1,000 / 1,000,000 \times 14 / 62 \times \text{乾土係数} \\ &= \text{測定値 mg/L} \times 0.113 \times \text{乾土係数} \end{aligned}$$

(3) 参考 植物体中の硝酸態窒素の測定 ～ 植物体からの汁液抽出法 藤井法 ～

通常はにんにく絞り器などを利用するが、本法の方が水分の少ない老化葉からも簡単迅速に汁液を採取できる。

イチゴの老化葉からの汁液の硝酸態窒素の簡易測定方法

- ①イチゴの老化葉の葉柄の真ん中あたりを 1mm 程度でみじん切りする。
- ②0.5～1.0 g をラップで包み、少し揉む。
- ③頂点部分に針で穴をあけると葉汁がしみ出てくるので、1 滴を短い試験管にとる。この 1 滴は約 0.07ml (70 μ l) である。
- ④短い試験管に水 2ml を入れ良く混ぜる。
- ⑤RQ フレックスで硝酸態窒素を測定する。

$$\begin{aligned} \text{汁液の硝酸態窒素濃度 ppm} &= \text{Appm} \times 2.07\text{ml} / 0.07\text{ml} \times 14 / 62 \\ &= \text{Appm} \times 6.68 \end{aligned}$$

正確に行うとき

- ①イチゴの老化葉の葉柄の真ん中あたりを 1mm 程度でみじん切りする。
- ②1.0 g をラップで包み、少し揉む。
- ③頂点部分に針で穴をあけると葉汁がしみ出てくるので、
- ④時計皿などに数滴とる。
- ⑤マイクロピペットで 50 μ l を短い試験管にとる。
- ⑥試験管に純水を 2ml 加え良く混ぜる。
- ⑦RQ フレックスで硝酸態窒素を測定する。

$$\begin{aligned} \text{汁液の硝酸態窒素濃度 ppm} &= \text{Appm} \times 2.05\text{ml} / 0.05\text{ml} \times 14 / 62 \\ &= \text{Appm} \times 9.25 \end{aligned}$$



9. 硫酸イオン 塩素イオン (SO₄²⁻ CL⁻)

(1) 概要・原理

ECが高い原因は、硝酸態窒素以外に硫酸イオンや塩素イオンの影響も大きい。
ECが0.3以上の場合は、硝酸態窒素、硫酸イオンと塩素イオンの確認が必要である。

ここでは、簡便におこなえる渡辺和彦氏の著書「野菜の要素欠乏・過剰症」に記載された方法と診断基準を用いた。この方法は硫酸イオンと塩化バリウムを反応させ硫酸バリウムの白濁の程度を見る。また、塩素は硝酸銀と反応させ塩化銀の白濁の程度を見る比濁法である。

硝酸銀を用いた塩素イオンの分析方法は、現地で迅速に判断ができるので、台風や潮汐による塩害調査にも有効な手法である。

(2) 試薬

- 0.1N 硝酸銀：硝酸銀 1.7g を水に溶かし褐色のスポイド瓶に保管する。
- 3% 塩化バリウム水溶液：塩化バリウム 3g を水 100ml に溶かし褐色のスポイド瓶に保管する。

(3) 操作

12 cm のろ紙 5B を用いて、EC 測定後の液を短い試験管に 10ml 程度濾過する。
この濾液から硫酸イオン、塩素イオンの測定用に各 2ml 程度を別々の試験管にとる。

濾液が 2ml 入った試験管に、塩化バリウムまたは、硝酸銀を数滴入れ反応を見る。
白濁した場合は新聞などの印刷物に試験管を当てて、液を通して字が読みやすいかで判断する。

塩害調査で灌漑水中の海水(塩素)の影響を見る場合は、直接試験管に灌漑水を 2ml とり硝酸銀を数滴入れ反応を見る。なお比重の関係で灌漑水の下部に海水が浸入していることがあるので灌漑水のサンプリングは注意すること。

(4) 判定基準

比濁表 (参考 野菜の要素欠乏・過剰症 渡辺和彦 一部変更)

| 硫酸イオン | | | | | |
|-----------|-------|---------|----------|-----------|--------|
| 比濁度 | — | + | ++ | +++ | ++++ |
| 新聞の字 | 良く読める | 少し読みにくい | 見えるが読めない | 模様のように見える | 全く見えない |
| 液中濃度 ppm | 50 | 100 | 200 | 500 | 1000 |
| 乾土100g当たり | 25 | 50 | 100 | 250 | 500 |
| 診断 | 正常 | 異常 | 異常 | 異常 | 異常 |

| 塩素イオン | | | | | |
|-----------|-------|-----|-----|---------|--------|
| 比濁度 | — | + | ++ | +++ | ++++ |
| 新聞の字 | 良く読める | 読める | 見える | わずかに見える | 全く見えない |
| 液中濃度 ppm | 5 | 10 | 50 | 100 | 500 |
| 乾土100g当たり | 2.5 | 5 | 25 | 50 | 250 |
| 診断 | 正常 | 多い | 異常 | 生育不良 | 障害 |

10. 陽イオン交換容量（CEC）の浸出〔ショーレンベルガー法〕

(1) 概要・原理

陽イオン交換容量(cation exchange capacity, CEC)または、塩基置換容量(base exchange capacity)とも言う。

CECとは、土壌の持つ負の電荷(negative charge)の総量をいい、陽イオン(石灰等の肥料)を保持できる量を表す。人間で言う財布の大きさや懐の深さをしめしたものだ。

この原理は、浸出管に土壌を入れ、酢酸アンモニウム液で陽イオンを交換浸出した後、メタノールで過剰のアンモニウムイオンを洗浄、次いでアンモニウムイオン〔NH₄〕で飽和されている試料を塩化ナトリウム液で浸出し、その交換浸出されたアンモニウムイオンを定量して、CECを算出するものである。

(2) 試薬

1) 1 N酢酸アンモニウム液 (pH 7.0)

酢酸アンモニウム 1541.6 g を 5L のポリビーカーにとり、3L 程度水を加える。酢酸アンモニウムが溶けた上澄み液を 1 L メスシリンダーに 1 L 弱を移し、水を加え正確に 1L とし、20L の保存容器に移す。

これを 20 回繰り返すと、酢酸アンモニウム 1541.6 g が溶けた 20L の 1 N 酢酸アンモニウム液 20L ができる。

購入したての酢酸アンモニウムほど調整が少なく済む場合が多い。

2) pH 7 調整法

20L の保管容器に入った酢酸アンモニウムを良く攪拌し均一にする。

この中からホールピペット用い正確に 20ml を 50ml のビーカーに採る。

pH メータで pH を測定する。(pH が測定しにくいなら 40ml でも良い。)

測定した pH が酸性ならアンモニア、アルカリ性なら酢酸の希釈液を作成する。

希釈液は pH 7 からズレの大きさを考慮して 10 倍から 20 倍希釈液を 200~300ml 作成する。

この希釈液をマイクロピペット (0.001ml) で酢酸アンモニウム 20ml に加えて pH を測定する。pH が 7.0 程度になるまでの投入量を記録しておく。

例えば、酢酸アンモニウム液 20ml の最初の pH 7.08 を 7.0 近くに調整するのに、20 倍希釈の酢酸が 40 マイクロリットル必要であったなら、20L は 20ml の千倍なので、40 マイクロリットルの千倍に相当する 40ml を 20L の酢酸アンモニウム液に加えれば良い。

事例 20L の酢酸アンモニウムが pH 6.86 の場合、10 倍希釈のアンモニア水を 50 cc 加えると pH 7.0 近くまで修正できた。

3) 80%エチルアルコール (pH 7.0)

1L のメスシリンダーにエチルアルコール (CH₃OH) 800ml をとり、水を加えて 1L とし、保管容器に移す。これを繰り返し 10L 分の 80%エチルアルコールを作成する。良く混合したあとで pH が 7.0 になるよう希アンモニア水で調整する。

メチルアルコールも利用できるが劇物なので、エチルアルコールを利用すること。

4) アルコールの pH調整法

アルコールは pHメータでの測定が難しいので、指示薬を利用した比色法で行う。
pH調整用の 1:100 アンモニア水として、アンモニア水 2ml を水 200ml に溶かす。

試験管に 80%エチルアルコールを正確に 4ml とり、BTB (ブロムチモールブルー) 指示薬を数滴加える。マイクロピペットを用いて pH調整用の 1:100 アンモニア水を試験管に加えていき BTB 標準比色管の pH7 の色と同じにする。

例えば、80%アルコール 4ml を pH7.0 に調整するのに、25 マイクロリットルの 1:100 アンモニア水が必要であった場合、10L は 4ml の 2,500 倍なので、25 マイクロリットルの 2,500 倍に相当する 62.5ml を 10L の 80%エチルアルコールに加えれば良い。
pHの測定には、BTB 指示薬の代わりに、BTB 試験紙を用いても良い。

5) 10% NaCl

NaCl 2kg を 5L のポリビーカーにとり、3L 程度水を加える。
NaCl が溶けた上澄み液を 1L メスシリンダーに 1L 弱を移し、水を加え正確に 1L とし、20L の保存容器に移す。これを繰り返し 20L の 10% NaCl 液を作る。

6) 充填用ろ紙

ミキサーにろ紙と水を適量入れて細断する。
なお、セルロースパウダーを水に混ぜて用いてもよい。

(3) 操作

1) 土壌浸出

浸出は図の浸出装置を用いる。

洗浄液容器 (A)
浸出管 (B)
受器 (C)

2) 試料重

風乾細土 8g を葉包紙に秤量する。
なお、粒子の細かい粘質土壌は透水性が悪いので 4g、
また、仮比重の小さな軽い土壌は 4g 以下で行う。

3) 浸出管の準備

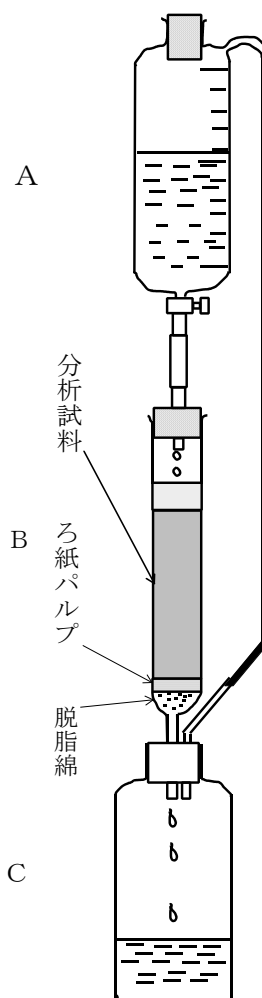
B の浸出管に脱脂綿の小片を入れ、その上に充填用ろ紙を注入し、厚さ 4mm 位になるよう詰めて平らなる過面をつくる。
ろ紙が厚いと濾過速度が遅くなる。一度に分析する点数をあらかじめ準備しておく。

4) 試料の充填

浸出装置の A (洗浄液容器) に 1N-酢酸アンモニウム液 100ml を入れておく。
浸出管の下部を小指で押さえ A から酢酸アンモニウム液を少量 (管の約半分の高さ) 注入する。
この状態で、秤量した土 8g (または 6g) を上から静かに気泡が残らないように加える。

5) 浸出

浸出管 (B) と洗浄液容器 (A) および受器 (C) を連結し、洗浄液容器 (A) から酢酸アンモニウムを滴下して浸出を始める。



6) 浸出速度

洗浄液容器 (A) のコックを操作し、4～20 時間 (5～10 秒に1 滴) で浸透が終わるように調節する。

あてにはならないが、**経験的に 60 分以上の浸透時間で、ほぼ抽出される。**

浸出後受器 (C) に栓をして2～3 回ふり混ぜ、交換性 Ca、Mg、K の定量に供する。上層と下層の濃度差が大きいので、フタをしたらすぐに混和すること。

7) 洗浄

CH₃OH 系列の洗浄液容器 (A) に pH 7.0・80% アルコール 50ml をメスシリンダーまたは分注器を用いて採取する。

塩基の浸出を終わった浸出管 (B) の内壁を採取したアルコールで洗いながら前述の酢酸アンモニウムと同様にセットし、4～20 時間で浸出し、過剰のアンモニアを洗浄する (この液は不要)。

8) 陽イオン交換容量の浸出

NaCl 系列の洗浄液容器 (A) に pH 7.0・10% NaCl 100ml をメスシリンダーまたは分注器を用いて採取する。

アルコール洗浄の終わった浸出管 (B) を (1) と同様にセットし、NaCl を滴下し、吸着されている NH₄⁺ を交換浸出する。この液を陽イオン交換容量測定 of 供試液とする。

上層と下層の濃度差が大きいので、フタをしたらすぐに混和すること。混和を忘れ次に進むと、痛恨の最初 (酢安抽出) からやり直しになる。

参考

浸出管 (B) と洗浄液容器 (A) を連結するときに、洗浄液容器 (A) のコックを少し開いた状態 (液が少し出る状態) で連結すると浸出管内の土壤に圧力が加わらないので、浸出できない事態を避けられることが多い。もし、アルコール洗浄に長時間かかる場合は、あきらめて、やり直した方が早い・・たぶん。

(4) CEC を測定しない場合の塩基の抽出方法 (バッチ法)

風乾細土 5g を 250ml のポリビンに入れ、
1 N 酢酸アンモニウム液 (pH 7.0) 100ml を加え 1 時間振とう後濾過する。
この液を利用して交換性塩基を測定する。

1 1. 陽イオン交換容量 (CEC) の測定 - ホルマリン法

(1) 試薬

1) 1 : 1 ホルマリン

ホルマリン 1 容量を水 1 容量に (例えばホルマリン 200ml を水 200ml に) 加え褐色の分注器にいれ保管する。保管中にホルマリンが揮散しないように注意すること。

2) チモールブルー (T・B 指示薬)

チモールブルー 1.0 g を精秤し、100ml 容量のメスフラスコにとり 0.1N-NaOH 21.5ml を正確に加え、さらにエチルアルコール 20ml を加えて水で定容する。

3) 1:600 HCL

600ml の水に濃塩酸 1ml を加える。

4) 0.04 N-NaOH

市販の 1 N-NaOH を 40ml ホールピペットで 1,000ml 容量のメスフラスコにとり、純水で定容する。

これを 0.1N シュウ酸標準液で評定し力価を求めておく (0.1N シュウ酸標準液 3ml を正確に三角フラスコに取り、フェノールフタレインを数滴加え、10ml のメスピペットを用い 0.04N-NaOH で滴定する。正確だと 7.5ml でピンクの色が消えない終点となる)。

0.04N-水酸化ナトリウムは空気中の二酸化炭素を吸収しやすい。
原則として毎回作りなおすこと。保存期間が長いと、終点がわかりにくくなる。

(2) 操作

NaCl 浸出液 10ml を 100ml 容量の三角フラスコにとり、水 30ml を加えた後、メチルレッド 2~3 滴を加える。1:600 HCL 液を注意して加え、うすい桃色にする。

<ホルマリンを吸引しないように、以下の操作は必ずドラフト内にて行う。>
これに 1:1 ホルマリン液 5ml を、分注器を用いて加えた後、T・B 指示薬 4~5 滴を加えて、1 分間放置後に、0.04N-NaOH で滴定する。

ブランクとして 10%-NaCl 10ml をとり、練習を兼ねて最初に処理する。

終点 橙黄色→汚灰色

青~赤紫 コバルトブルー色が出現する時がわかりやすい。

人によって終点が異なっても良い。変わったと思うところが終点

(3) 計算

$$CEC (\text{meq}/\text{乾土 } 100 \text{ g}) = N \times f \times (S - B) \times 1/10 \times 100/8 \text{ g} \times 100 \text{ g} \times \text{乾土係数}$$

N ⇒ NaOH 標準液の規定度

f ⇒ NaOH 標準液の力価

B ⇒ ブランク滴定値 (ml)

S ⇒ サンプル滴定値 (ml)

8 ⇒ 前項目 10 の採土量 8g

10 ⇒ NaCl 浸出液の採液量 10ml

(4) ホルマリンの扱い

ホルマリンは有害であるため、接触、吸引しないようにゴム手袋を着用し、ドラフトなどを利用すること。

また、ホルマリンのついた紙などはビニール袋に入れて処分し、室内にホルマリンを揮散させないこと。

廃液は、ホルマリンを分解したのち廃棄すること。

ホルマリンを含む廃液の処理法

ホルマリンを含む廃液は以下の方法で処理すること。

水酸化ナトリウムを加えアルカリ性（コバルトブルー）にし、希釈した過酸化水素水を加え、ホルマリンを蟻酸に変えることで処理する。

水酸化ナトリウムが不足すると蟻酸により酸性（オレンジ色）に変わるので、水酸化ナトリウムを追加する。

数時間おいてもコバルトブルーのまま変化しなくなったら分解終了で、pHを中性域（pH6～8）に調整し廃棄する。

重要

過酸化水素水は皮膚につくと痛いので、手袋、保護メガネをして取り扱うこと。皮膚についた場合は、流水では痛みは取れない。

すぐに炭酸水素ナトリウム（重炭酸ナトリウム、重曹）を入れた水で中和する。

(5) 参考 塩基置換容量（CEC）の推定法

塩基置換容量（CEC）は、分析で求める以外に、推定式により求める方法もある。以下に記すように推定できないリスクもあるので、おすすめしない。

どうしても、絶対に推定式を利用したい場合は、推定可能なのか検討が必要

推定式は、1)理論的な推定式と2)経験的な推定式の2種類がある。

1) 理論的な推定式

pHに影響を与えるのは、塩基飽和度（CECに占めるアルカリ性の石灰などの交換性塩基の割合）とEC（酸性の硝酸態窒素や硫酸イオン等の量）である。

このうちpHとECは簡単に測定でき、交換性塩基もバジジ法を用い測定できるので、これらの値から塩基置換容量（CEC）を推定できる。

以下の①の式は②の式と同じであり、CECを求める③の式に変えることができる。言い換えれば、石灰、苦土、加里、pH、ECの測定値からCECを推定できる。

- ① $pH = A \times \text{塩基飽和度} - B \times EC + C$ (A、B、Cは定数)
- ② $pH = A \times [(石灰 / 28.04 + 苦土 / 20.15 + 加里 / 47.1) \div CEC] \times 100 + B \times EC + C$
- ③ $CEC = [100 \times A \times (石灰 / 28.04 + 苦土 / 20.15 + 加里 / 47.1)] \div (pH - B \times EC - C)$

実際にどの程度推定できるのか、山口県の各農業部の分析結果をもとに下表に示した。

| pHの推定式 | データ数 | 重相関係数 r2 | 係数 | | |
|--------|------|----------|----------|--------|-------|
| | | | 塩基飽和度(A) | EC (B) | 切片(C) |
| アスパラガス | 44 | 0.9 | 0.02 | -1.29 | 2.85 |
| 花卉 | 30 | 0.9 | 0.02 | -0.95 | 4.23 |
| 樹園地 | 22 | 0.8 | 0.02 | -2.44 | 4.40 |
| ホウレンソウ | 188 | 0.7 | 0.02 | -0.79 | 4.58 |
| 水稲 | 86 | 0.7 | 0.02 | -2.11 | 4.26 |
| ネギ | 59 | 0.2 | 0.01 | -0.29 | 5.23 |

アスパラガスの推定精度は結構高いが、ネギではさっぱりである。また、品目によってECと切片の係数が異なること（ECの係数が異なるのは硝酸や硫酸、塩素イオンのpHに与える影響が異なるため？）から、一つの式で推定することは厳しい。

以上のことから、石灰、苦土、加里、pH、ECの測定値からCECを大まかに推定できる場合もあるが、条件によっては推定できない場合がある。

さらに、条件が変わると係数も変わるので、現状では限られた条件でのみしか利用しない方がよい。将来的にpHに影響を与えている隠れた要因が明らかになれば、精度よく推定できるようになる可能性はある。

2) 経験的な推定式

多数の分析値（経験）を基にした推定式から求めたCECは、これまでのデータの平均値を推定したものであり、対象圃場のCECそのものを推定したのではない。

経験から求められた推定式は、同一の圃場で施肥や土壌の化学性、物理性がほぼ同じなど、経験式を求めた条件と求める圃場の条件が同じ等の、かなりけっこう限られた条件でのみ利用できるのかもしれない。

また、経験的な推定式は重回帰を用いた推定方法であるため、重回帰の性質から、用いる要因が多くなるほど推定式の相関係数は高くなる。しかし、推定の精度が高まっているわけではない。たまたま合っているだけ！にも注意が必要である。

12. 交換性塩基 (Ca, Mg, K, Na) – 原子吸光光度法

(1) 概要・原理

カリやナトリウムの炎光光度法による測定は、酢安抽出液をそのまま使えるメリットはあるが、高濃度試料であるためバーナーなどが汚れやすい。また、石灰、苦土と同じ希釈液を用いてカリやナトリウムも原子吸光法で測定できるため、炎光光度法で測定する意味はあまりない。

(2) 試薬

1) Ca, Mg, K, Na 標準液

Ca、Mg、K、Naの各市販の1,000ppm原子吸光用標準液を用いて、下記の表の検量線用混合標準液を作る。この標準液は塩酸を含むので、1年以上利用できる。

検量線用標準液の作り方

1段階目の希釈 市販のCa、Mg、K、Naの原子吸光用標準原液（1,000ppm）から、Ca 10ml、Mg 2ml、K 5ml、Na 5mlをホールピペットで正確にとり、同一の100mlのメスフラスコにいれ、純水でメスアップし混合標準液を作成する。

2段階目の希釈 次に100mlのメスフラスコ5本を用意し、No1～5の番号を記入し、下記の表に従い5段階の検量線用標準液を作成する。（例えば、No2のメスフラスコには、混合標準液 5ml と 10,000ppmの塩化ストロンチウム 10ml と 1N塩酸 10mlを入れ純水でメスアップする。）

検量線用標準液の作成 2段階希釈法（各元素の標準原液は1,000ppm）

1段階目の希釈（混合標準液の作成）

| (混合標準液の濃度) | 標準原液量(ml) |
|-------------|-----------|
| Ca (100ppm) | 10/100 |
| Mg (20ppm) | 2/100 |
| K (50ppm) | 5/100 |
| Na (50ppm) | 5/100 |

2段階目の希釈（検量線用標準液 No1～5の作成）

| | No 1 | No 2 | No 3 | No 4 | No 5 |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 混合標準液 | 0/100 | 5/100 | 10/100 | 15/100 | 20/100 |
| 塩化ストロンチウム 1万ppm | 10/100 | 10/100 | 10/100 | 10/100 | 10/100 |
| 1 N塩酸 | 10/100 | 10/100 | 10/100 | 10/100 | 10/100 |
| イオン交換水 | メスアップ | | | | |

| 検量線用標準液濃度 (元素 ppm) | No1 | No2 | No3 | No4 | No5 |
|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Ca | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 |
| Mg | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| K | 0 | 2.5 | 5 | 7.5 | 10 |
| Na | 0 | 2.5 | 5 | 7.5 | 10 |

2) 10,000ppm ストロンチウム液

塩化ストロンチウム 6水和物 ($\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 30.5g を水に溶かして 1,000ml とする。又は、塩化ストロンチウム (SrCl_2) 18.1g を水に溶かして 1,000ml とする。

塩化ストロンチウム液は原子吸光による Ca と Mg の測定を妨害する P、Si、Al 等の干渉作用を抑制するために添加するものである。

3) 1N-HCL

保存性を高めるために入れる。市販の 1N-HCL を用いる。

市販の濃塩酸(35%) からの作成方法

濃塩酸の致死量は 2 ml であるから必ず安全ピペッターを利用して 86.5ml とり、予め半分以上純水を入れた 1L メスフラスコに入れる。

メスフラスコを横から見て、塩酸と水が分離していないことを確認し、メスアップした後によく振り混ぜる。若干発熱するので、さかさまは短時間に留める。

注意 塩酸と水が分離した状態で、メスフラスコを逆にすると、急に混ざり発熱して空気が膨張し液が噴出することがある。

(3) 操作

試料液(酢安抽出液)を下記の表を参考に希釈する。

| (単位 ml) | 10倍希釈 | 40倍希釈 | 50倍希釈 |
|--------------------|-------|-------|-------|
| 抽出液 (pH7- 1N酢安抽出液) | 1.6 | 0.4 | 0.3 |
| 1N-HCL | 1.6 | 1.5 | 1.5 |
| 塩化ストロンチウム(1万ppm) | 1.6 | 1.5 | 1.5 |
| イオン交換水 | 11.2 | 12.6 | 11.7 |
| 最終液量 | 16.0 | 16.0 | 15.0 |

通常 10 倍希釈と 40 倍希釈があれば測定できる。施設園芸などの塩類過剰の土壌を測定するときは 10 倍と 50 倍希釈が良い。

また、試料の数が多い場合は、10 倍または 40 倍希釈のみの 1 種類だけ作成しておき、測定できなかったサンプルのみ希釈しなおす方が早い。

なお、下記の表は、試験管ミキサーによる攪拌を前提にしているため、最終液量を 16ml 以下にしている。

検量線用標準液の保存性を良くするために塩酸を加えてあるので、サンプルにも同様に塩酸を加える。

これは、塩酸によって液が粘るので、塩酸の有無で吸引量が変わり、原子吸光の測定値が変わることを防ぐために加える。

(4) 原子吸光による測定

測定前の準備

逆火を防止するための水を、決められた場所に必ず十分入れておくこと。

SPCA-6610 は、本体に向かって右裏にある。

また、バーナーの点火前に、名刺などでバーナーのスリットを掃除する。

バーナーによって感度を調整する機器では、バーナー角度の値を参考に調整すること。

参考：バーナー角度（島津製作所の原子吸光光度計 A A6300 の例）

Ca、Fe：0度（光と平行） Mg、K：45度 Na：40度

検量線は直線か、ごく緩やかな二次曲線が望ましい。

検量線が急カーブや変な値を示す場合は、角度を調整する。

バーナー点火後に機械が安定してから、再度ラインサーチ（波長合わせ）とビームバランス（検出器のゲイン調整）を行うと良い。

測定後は、蒸留水を吸わせバーナー内部を洗浄する。装置マニュアルに従い残留ガスを燃焼させ、エアコンプレッサーのタンク内の排水弁を開き、タンク内の結露水と空気を排出する。

(5) 計算

採土量 8 g の場合

CaO 含量 (mg/乾土 100 g)

$$= \text{測定値 ppm} \times \text{希釈倍率} \times 100\text{ml} / 8\text{g} \times 100 \times 1,000 / 1,000,000 \times \text{CaO} / \text{Ca} (1.399) \\ \times \text{乾土係数}$$

MgO 含量 (mg/乾土 100 g)

$$= \text{測定値 ppm} \times \text{希釈倍率} \times 100\text{ml} / 8\text{g} \times 100 \times 1,000 / 1,000,000 \times \text{MgO} / \text{Mg} (1.658) \\ \times \text{乾土係数}$$

K₂O 含量 (mg/乾土 100 g)

$$= \text{測定値 ppm} \times \text{希釈倍率} \times 100\text{ml} / 8\text{g} \times 100 \times 1,000 / 1,000,000 \times \text{K}_2\text{O} / \text{K} (1.205) \\ \times \text{乾土係数}$$

Na₂O 含量 (mg/乾土 100 g)

$$= \text{測定値 ppm} \times \text{希釈倍率} \times 100\text{ml} / 8\text{g} \times 100 \times 1,000 / 1,000,000 \times \text{Na}_2\text{O} / \text{Na} (1.348) \\ \times \text{乾土係数}$$

(6) 廃液処理

サンプルや標準液は 0.1N-HCl を含み強酸性である。

廃液にメチルレッド（赤色 < pH4.2~6.3 < 黄色）を滴下し薄赤色にし、1N-NaOH を少しずつ加えて薄黄色に中和してから廃棄すること。

13. 腐植・炭素（乾式燃焼法 NCアナライザー CNコーダー）

(1) 概要・原理

細かくすりつぶした土壌を高温下に置き、酸素ガス中で燃焼させることにより発生した二酸化炭素と窒素を測定する方法。

NCアナライザーでは炭素C（腐植）だけでなく窒素Nも同時測定が可能であり、CN比も計算できるので、土壌の特徴を把握しやすくなる。
施設園芸などでは必ず測定すべき項目である。

(2) 操作

均一にした風乾細土から1g程度をとり乳鉢に張り付くほど細かくすりつぶす。

事前に800℃程度で焼いた石英ボートに130～200mgの範囲で土壌を正確に秤量する。
検量線を引くためにブランク2～3点、10～20mg前後の標準物質を2～3点正確に秤量する。

これらをターンテーブルの所定の位置にセットし、重さを装置付属のコンピュータに入力する。

NCアナライザーの操作は、機器の説明書に基づき行う。

必ずガス（ヘリウム、酸素）を流した状態でCURRENTツマミを操作すること。
1 サンプルの測定時間は約4分、1日最大で50点程度の分析が可能。

(3) 計算

結果はCとNの%で示される。腐植はC%に1.724を乗じて算出する。

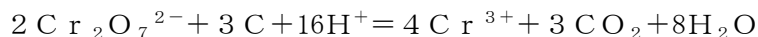
炭素% = 測定値% × 乾土係数

腐植% = 炭素% × 1.724

14. 腐植・炭素 チューリン法

(1) 概要・原理

腐植は土壤中の炭素含量（有機物量）から求められる。炭素は重クロム酸カリウムの濃硫酸溶液（クロム酸・硫酸混合液）を加熱すると、次式のように酸化される。



重クロム酸は、反応した炭素量に応じて消費されるため、あらかじめ既知量の過剰の重クロム酸を加えておき、反応後残っている重クロム酸を標準鉄（Ⅱ）溶液で滴定することで、有機物の酸化により消費された重クロム酸の量が求められ、それから炭素含量を算出するものである。

(2) 試薬

1) 0.4Nクロム硫酸

重クロム酸カリ（ $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ）40 gを1,000mlの水に溶かし、発熱しないように保冷剤や流水で冷やしながらか、徐々に、徐々に濃硫酸（ H_2SO_4 ）1,000mlを加える。途中発熱すると針状の結晶が生じて力価が低下し使用できなくなるので注意が必要

2) 0.2N重クロム酸カリウム標準液

105°Cで乾燥した特級重クロム酸カリウム粉末 9.807 gを水に溶かして正確に1,000mlとする。

3) 0.2N硫酸第一鉄アンモニウム

硫酸第一鉄アンモニウム（モル塩） $[\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ 80 gを、硫酸 20mlを含む水 1,000mlに溶かす。

本液は保存中に力価が低下するため、使用する日ごとに0.2N重クロム酸カリウム標準液を滴定して補正係数（f）を求める。

すなわち、0.2N重クロム酸カリウム標準液 20mlに硫酸（1+2）10mlを加え、更に0.2%フェニルアントラニル酸液 0.5mlを加え、本液で滴定する。

20を滴定数で除すとfが得られる。

4) 硫酸（1+2）

硫酸 1容量を水 2容量に加える。

5) 0.2%フェニルアントラニル酸液

N-フェニルアントラニル酸（ $\text{C}_{13}\text{H}_{11}\text{O}_2\text{N}$ ）200mgと無水炭酸ナトリウム 200 mgを100ml容量のビーカーに取り、水 5 mlを加えて溶かし、更に水を加えて100mlとする。

(3) 操作

風乾細土 1~2 gを乳鉢でさらに細かく砕いた土壌 0.2~0.3 gを化学天秤で秤取し、100ml容量の三角フラスコに取る。

これに0.4Nクロム硫酸液 10mlをホールピペット（サッカード吸引し）で加え、冷却を目的に小ロートを乗せる。

別に石英砂約 0.5 g を取り、同様の操作を行いブランクとする。

約 200°C に調節したホットプレート上で加熱し、フラスコの底から一様に泡が出はじめてから正確に 5 分間加熱する。

小ロートの代わりに冷却管を用いる場合は、加熱時間が長くなっても影響は少ない。

冷却後、少量の水（約 20ml）で小ロート及び三角フラスコ内壁を洗い込み、滴定直前にフェニルアントラニル酸 5 滴を加え、0.2N 硫酸第一鉄アンモニウム溶液で滴定する。この際、スターラーを用いながら滴定するとよい。

溶液の色が暗赤紫色から明緑色になった点を終点とする。

加えた 0.4N クロム硫酸溶液の半分以上が消費されているとき（すなわち、滴定値がブランクの半分以下になったとき）は、試料の量を減らすか、または 0.4N クロム硫酸液の量を増して行う。

滴定の際、誤って過剰の硫酸第一鉄アンモニウム液を加えてしまった場合は、0.2N 重クロム酸カリウム標準液を正確に 1 ml 追加し、滴定を続けて終点を読み、その滴定数から $1/f$ を差し引けば正しい滴定値が得られる。

注意 クロムを含む廃液は全量回収しクロム専用容器に保管し、廃棄を業者に依頼すること。

(4) 計算（腐植は C% に 1.724 を乗じて算出する。）

$$C (\%) = (B - S) \times 0.6 \times f / \text{供試土量 (mg)} \times 100 \times \text{乾土係数}$$

$$\text{腐植 \%} = \text{炭素 \%} \times 1.724$$

B ⇒ ブランクの滴定量 (ml)

S ⇒ サンプルの滴定量 (ml)

0.6 ⇒ 0.2N モール塩 1 ml と反応する炭素量 (mg)

炭素含量 (%) と試料量 (mg) 及びクロム硫酸液量 (ml)

| 炭素含量 | 腐植 (%) | 試料 | 0.4N - クロム硫酸 | |
|------|--------|----------|--------------|-------------|
| | | 採取量 (mg) | 消費量 (ml) | 添加すべき量 (ml) |
| 2.0 | 3.5 | 250 | 4.175 | 10 |
| 5.0 | 8.6 | 100 | 4.175 | 10 |
| 10.0 | 17.2 | 100 | 8.35 | 20 |

15. リン酸吸収係数

(1) 概要・原理

リン酸は、活性アルミニウムや鉄と結合して水に不溶のリン酸化合物に変わりやすい。このため、活性アルミニウムを多く含む火山灰土壌はリン酸の固定力（不溶化）が大きいために、作物はリン酸欠乏を起こしやすくなる。

リン酸吸収係数はリン酸の固定力（不溶化）を示す指標であるとともに、火山灰土壌とその他の土壌を区別する一指標として用いられる。

リン酸吸収係数は、2,687 mgのリン酸 (P_2O_5) が入った溶液 200ml (リン酸濃度 13,435 mg/L) に風乾細土 100g を入れ、時々攪拌しながら 24 時間放置する。溶液中のリン酸を測定し、100 g の土壌が吸着固定したリン酸量を mg で示したものである。

よって、リン酸吸収係数の最大値は 2,687 になる。泥炭土は実験法として使用する土壌の量を少なくして測定するため、リン酸吸収係数が 2,687 を超えることがある。

(2) 試薬

- 1) リン酸吸収原液 (2.5%リン酸アンモニウム液 リン酸 (P_2O_5) 13,435mg/L を含む)

① pH 7.0 に調整

特級リン酸二アンモニウム [$(NH_4)_2HPO_4$] 25 g を水 1,000ml に溶かす。この液の pH は約 8.0 になるので、リン酸希釈液 (市販のリン酸液を 1:1 に希釈) を用いて pH を調整する。

② リン酸濃度の調整

この状態では目標とする P_2O_5 濃度 13,435ppm (P として 5,869ppm) より高いので、リン (P) 濃度を測定し、水で希釈することにより最終的に P として 5,869ppm (P_2O_5 として 13,435ppm) の液をつくる。

リン (P) 濃度が A ppm のとき、その液 1,000ml に対して加える水の量 W (ml) は、次のようになる。

リン (P) 濃度の測定方法は、次ページの (3) 操作 2) 発色を参考に行う。

$$P \text{ 濃度 } A \text{ (ppm)} = \text{測定値} \times 15 / 0.04$$

$$W \text{ (加える水の量 (ml))} = (A - 5,869) / 5,869 \times 1,000 \text{ (ml)}$$

- 2) バナドモリブデン酸液

特級メタバナジン酸アンモニウム [NH_4VO_3] 1.25 g を沸騰した水、またはホットスターラーなどで加熱した水 250ml に溶かし、室温まで冷却後、特級硝酸 250ml を加える。

一方特級モリブデン酸アンモニウム [$(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$] 25 g を熱水 400ml に溶かし、室温まで冷却後、前者の液に注ぐ。更に水を加えて 1,000ml とし、褐色瓶に保存する。

- 3) リン標準液 (P 1,000ppm)

市販の P として 1,000ppm の標準液を利用する。

(3) 操作

1) 抽出

風乾細土 10 g を 100ml 容量の三角フラスコにとり、
2.5%リン酸アンモニウム液 20ml を正確に加え、
時々振り混ぜながら室温で 24 時間放置した後、
ろ紙 No. 6 を用いてろ過する。

2) 発色

試料

上記のろ液 0.04ml (40 μ l) を試験管に取り、
合計で 12ml になるように水を加え、バナドモリブデン酸液 3ml を加え攪拌する。

ブランク

リン酸吸収原液 0.04ml (40 μ l) を試験管に取り、
合計で 12ml になるように水を加え、バナドモリブデン酸液 3ml を加え攪拌する。

標準液

市販の 1,000ppm の標準液を 0ml、0.15ml、0.3ml を試験管にとり、
合計で 12ml になるように水を加え、バナドモリブデン酸液 3ml を加え攪拌する。
標準液の P の濃度は 0ppm、10ppm、20ppm になる。

測定

20 分～3 時間の間に波長 440nm (総合分析計は 422.7nm) の吸光度を分光光度計
で測定する。

廃液は、中和して処理すること。
リンを多量に含むことに留意すること。

(4) 計算

$$\text{リン酸吸収係数 (固定された } P_2O_5 \text{ mg/土 100g)} = 2,687 \times (1 - X_{\text{ppm}} / A_{\text{ppm}})$$

X_{ppm} \Rightarrow 試料の測定値 (P としての値)

A_{ppm} \Rightarrow ブランクの測定値 (P としての値)

(5) 補足

標準法 (土壌、水質及び植物体分析法 H13) では、乾土 25 g に相当する量の風乾細土に
リン酸吸収原液 50ml を加える方法である。(乾土 1 対リン酸吸収原液 2)

この場合は、乾土係数 = 風乾土重量 / 乾土重量の式から風乾土重量を求める。

本法の場合は、乾土重量 10 g に相当する風乾土重量は、乾土係数 \times 10 g で求められる。

本法ではリン酸吸収係数は土壌の性質をあらわすものであり、風乾土の水分の影響は
あまり大きくないことから便宜的に風乾土の重量でリン酸吸収係数を求めている。

参考 アロフェンテスト

(1) 概要・原理

活性アルミニウムがフッ化ナトリウムと反応しOH基を放出し、pHが上昇する。
このpHの上昇をフェノールフタレインの反応（赤色化）で確認する方法



赤変するほど活性アルミニウムが多く、リン酸肥料を不溶化しやすい火山灰土壌の可能性がある。

(2) 試薬

- 1) 1M-フッ化ナトリウム溶液
フッ化ナトリウム NaF 4.2 g を水 100 cc に溶かす。スポイド瓶に保存する。
- 2) フェノールフタレイン含有ろ紙（フェノールフタレイン 無<8.3~10.0<赤）
フェノールフタレイン 0.5 g を 50ml のエタノールに溶かした溶液に、短冊状に切ったろ紙を漬け込み、乾燥させる。

(3) 操作

フェノールフタレインを含ませたろ紙の上に少量の土壌をのせ、指で強くこすりつける。余分な土壌を叩き落とし、フッ化ナトリウムを1滴落とし、赤変を見る。すぐに赤変しない場合もあるので、10分後に再確認する。

薄いピンクの場合は火山灰土でない可能性がある。
濃い赤になるほど活性アルミニウムが多いので、リン酸吸収係数を測定する。

注意 コピー用紙などの紙の上でろ紙をおいて反応させると、紙によってはアルカリ性を示すため、ろ紙が赤変することがあるので注意が必要

参考 火山ガラスを見つける。

(1) 概要・原理

火山活動でマグマが噴出した際に、空中で急冷されるとガラス様の物質ができる。火山灰が疑わしい土壌の判定方法として、実態顕微鏡で火山ガラスを探すこともできる。ただし、火山ガラスは風化しやすいので常に見えるとは限らない。各農業部に配布してある千石台土壌は、下記の方法で火山ガラスを見ることができる。

(2) 操作

100ml のビーカーに、一つまみの土壌と水を入れ、水中でガラス棒などを用い軽く団粒を壊しながら、流水で懸濁する土壌を洗い流す。

底に残った鉱物質を実体顕微鏡で見ると火山ガラスが見えることがある。

16. 有効態リン酸（トルオーグ法）

(1) 概要・原理

土壌に含まれるリン酸のうち、作物が吸収可能なリン酸の定量を目的とした多くの研究が行われ、その中で様々な可給態リン酸の測定法が提案されている。しかしながら、その絶対値を求めることは困難である。

実際には土壌中のリン酸の一部を適当な溶液で抽出することによって可給態リン酸の指標に用いられることが多い。

ここでは、わが国で最も良く使われているトルオーグ法を説明する。

(2) 試薬

1) 抽出用硫酸液

安全ピペットを利用したホールピペットで市販の1N硫酸溶液 20ml をとり、水を加えて約 9L とし、これに特級硫酸アンモニウム $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ を 30 g 溶かして 10L とする。

この液の硫酸濃度は 0.002N、pH は 3.0 である。

2) リン酸標準液

市販標準原液（P1,000ppm）を用いる。

3) 保存モリブデン酸アンモニウム溶液（長期保存可能 約 600 サンプル分）

①と②を③に加え混合し、蒸留水を加え 1 L にする。冷暗所に保存する。

①特級モリブデン酸アンモニウム液

特級モリブデン酸アンモニウム $[(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$ 6g を 125ml の水にいれ、ホットスターラーで熱をかけながら攪拌し溶かす。放冷後に使用する。

粉末状のものは古くなると完全には溶けないので濾別して使用する。

②酒石酸アンチモニルカリウム

酒石酸アンチモニルカリウム 0.15g を 50ml の水に溶かす。

③ 5 N 硫酸

メスシリンダーで特級硫酸約 70ml を取り、スターラーなどで攪拌している水（約 400ml）にゆっくり加え、放冷後、500ml のメスシリンダーに移し水を加えて 500ml とする。

注意 硫酸は少量ずつ、必ずスターラーで攪拌している水に加えること。一度に多量に入れたり、攪拌せずに入れると急激に温度が上がり、はねることがある。

4) 混合発色液（約 60 サンプル分）

保存モリブデン酸アンモニウム液 100ml にアスコルビン酸約 1g を加え、溶かしてから利用する。

保存不可 当日しか利用できない。

(3) 操作

1) 抽出

風乾細土 1.0 g を 250ml のポリビンに取り、抽出液 200ml を加えて 30 分間振とう後、ろ紙 No 6 を用いる過する。

2) 発色

試料

下記の参考 1 に示すように、上記抽出液のろ液を水田土壌の場合 10ml (Aml) をピペットマンで試験管 (25ml 容量) に取り、分注器で水を 4ml 加える。これに混合発色液 1.5ml を加え (最終的に液量は 15.5ml となる。)、試験管ミキサーで 2~3 回攪拌し発色させる。

検量線

試験管にリン標準液 (P1, 000ppm) を 10 μ l とり、水 14ml、混合発色試薬 1.5ml を加え試験管ミキサーで 2~3 回攪拌する。
この液の P 濃度は 0.645ppm である。

マイクロピペットの扱いに不慣れな場合などは 3 本作成すると良い。また、リン標準液を加えないで水 14ml、混合発色試薬 1.5ml を加えた 0ppm も作成する。

測定

30 分以上放置し、710nm の波長で比色する。
放置中に検量線の 0.645ppm より濃い色の試料はろ液の量を少なくしてやり直す。

長時間放置すると青色が沈殿することがある。
廃液は中和して処理すること。

参考 1 (水田 1 は可給態リン酸 0~90 mg/100g 水田 2 は 0~45 mg/100g が測定範囲)

| (単位 ml) | 過剰土壌 | 畑・施設 | 水田 1 | 水田 2 |
|----------|------|------|------|------|
| 抽出ろ液の量 A | 0.5 | 1 | 5 | 10 |
| 水の量 | 13.5 | 13 | 9 | 4 |
| 混合発色液の量 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |
| 合計液量 | 15.5 | 15.5 | 15.5 | 15.5 |

参考 2 <10 μ l マイクロピペットがない場合の検量線作成法>

市販のリン標準液 (P1, 000ppm) から、可変ピペットで 1ml とり、100ml のメスフラスコにいれ、水で 100ml にメスアップすると 10ppm の液ができる。この液は保存できない。

この液 1ml を可変ピペットで試験管にとり、分注器で 13ml 水を加え、混合発色液 1.5ml を加えて、試験管ミキサーで 2~3 回攪拌する。0.645ppm の P の標準液ができる。

(4) 計算

$$\begin{aligned} & \text{有効態リン酸 (P}_2\text{O}_5) \text{ (mg/100g)} \\ & = \text{測定 P 濃度 (ppm)} \times 15.5\text{ml} / \text{Aml} \times 200\text{ml} / 1\text{g} \times 100\text{g} \times 1,000 / 1,000,000 \\ & \quad \times \text{P}_2\text{O}_5 / 2\text{P (2.29)} \times \text{乾土係数} \\ & \text{Aml} \Rightarrow \text{発色に用いたろ液の量} \end{aligned}$$

1 7. 可給態珪酸（湛水静置・酢酸緩衝液浸出法）

(1) 概要・原理

土壤中の可給態珪酸を分析する方法としては、酢酸緩衝液浸出法が広く利用され、有効態珪酸の指標とされてきた。しかし、この方法では、浸出条件が強過ぎて珪酸質資材中の不可給態珪酸まで溶出し、水稻の珪酸吸収とほとんど相関関係を示さなくなる。

ここでは作物の根圏環境に近い条件で測定する「湛水保温静置法」について説明する。また、継続的な診断を行っている場合もあるため、「酢酸緩衝液浸出法」も併記する。珪酸の測定方法は、亜硫酸ナトリウムを使う従来法以外にSPADの方法がある。

A 湛水保温静置法

(2) 試薬

1) 珪酸標準液

市販標準原液（Si 1,000ppm）を用いる。

2) 0.25N-HCL

市販の1N-HCLを4倍に希釈する。

または 35% HCL 21.7ml に水を加えて 1,000ml とする。

3) モリブデン酸アンモニウム液

特級モリブデン酸アンモニウム〔 $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 〕102g を水に溶かして 1,000ml とする。

4) 亜硫酸ナトリウム液

無水亜硫酸ナトリウム（ Na_2SO_3 ）170g を、水 1L に攪拌しながら徐々に加え溶かす。

(3) 操作

1) 抽出

風乾細土 10g を 100ml 容量のポリビンにとり、水 60ml を加えて、軽く振り混ぜて脱気し、密栓をして 40℃定温器中に静置する。

一週間後静かに取り出して上澄み液をとり、試料液とする。

上水が濁っているときは、ろ過して濁りを除去する。

2) 発色・吸光度測定

試料

5ml を 25ml 容量の試験管にとり、0.25N-HCL 2.5ml 及びモリブデン酸アンモニウム液 2.5ml を加えて 3 分間放置する。

次いで、亜硫酸ナトリウム液 5ml を加える。（合計液量は 15ml）

試験管ミキサーで攪拌し、

10 分以上放置して 650nm（総合分析計では 693nm）で比色する。

検量線

市販の標準液（Si 1,000ppm）から 0.1ml（100 μ l）と、0.05ml（50 μ l）とり、それぞれ別の試験管に入れ、水をそれぞれ 4.9ml、4.95ml を加えた後、同様に操作して発色させる（Si 6.66ppm、3.33ppm）。

また、標準液を加えずに水 5ml を加え、同様に操作して発色させる。（Si 0ppm）

(4) 計算

$$\begin{aligned} & \text{可給態珪酸 (SiO}_2\text{)} \quad (\text{mg}/100\text{g}) \\ & = \text{測定 Si 濃度 (ppm)} \times 15\text{ml} / 5\text{ml} \times 60\text{ml} / 10\text{g} \times 100\text{g} \times 1,000 / 1,000,000 \\ & \quad \times \text{SiO}_2 / \text{Si} \quad (2.14) \times \text{乾土係数} \end{aligned}$$

B 酢酸緩衝液浸出法

(2) 試薬

1) 土壌抽出液（pH 4 酢酸緩衝液）

氷酢酸 42.9ml と無水酢酸ナトリウム 14.8g を水に溶かして 1L とし、1N 酢酸または 1N 酢酸ナトリウム液を用いて pH 4.0 に正確に調整する。

2) 0.6N-HCL

市販の 1N-HCL 液 600ml に水を加えて 1L とする。または 38% HCL 48ml に水を加えて 1L とする。

3) モリブデン酸アンモニウム液

特級モリブデン酸アンモニウム 102g を熱水約 800ml に溶かして放冷後 1L とする。

4) 亜硫酸ナトリウム液

無水亜硫酸ナトリウム（Na₂SO₃）170g を水 1L に加えて溶かす（水を攪拌しながら、徐々に試薬を加えていくこと）。

(3) 操作

1) 抽出

風乾細土 5.0g をガラスビンにとり土壌抽出液（pH 4 酢酸緩衝液）50ml を加えて、時々振とうしながら 40℃ 定温水槽に 5 時間保つ。ろ紙 No6 でろ過する。

2) 発色・吸光度測定

ろ液 5ml を試験管にとり、0.6N-HCL 2.5ml 及びモリブデン酸アンモニウム液 2.5ml を加えて 3 分間放置する、次いで亜硫酸ナトリウム液 5ml を加えて軽く攪拌し、10 分以上放置して 650nm（総合分析計では 693nm）で比色する。

検量線は標準液（Si 1,000ppm）から 0.1ml（100 μ l）と、0.05ml（50 μ l）とり、それぞれ別の試験管に入れ、pH 4 酢酸緩衝液をそれぞれ 4.9ml、4.95ml を加えた後、同様に操作して発色させる（この液は Si 6.66ppm、3.33ppm となる）。また、標準液を加えずに水 5ml を加え、同様に操作して発色させる（この液は Si 0ppm となる）。

(4) 計算

$$\begin{aligned} & \text{可給態珪酸 (SiO}_2\text{)} \quad (\text{mg}/100\text{g}) \\ & = \text{測定 Si 濃度 (ppm)} \times 15\text{ml} / 5\text{ml} \times 50\text{ml} / 5\text{g} \times 100\text{g} \times 1,000 / 1,000,000 \\ & \quad \times \text{SiO}_2 / \text{Si} \quad (2.14) \times \text{乾土係数} \end{aligned}$$

18. 遊離酸化鉄

(1) 概要・原理

浅見・熊田 ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ -EDTA) により測定する。
本法の原理は、ヒドロサルファイト ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) が亜硫酸に酸化される時の還元力を利用して鉄を還元し、キレートで還元された鉄を溶解抽出するものである。

また、抽出された鉄の測定は、原子吸光法と比色法があり、原子吸光法は抽出液を希釈して直接測定できる。比色法は、溶液中にEDTAのようなキレート物質が共存する場合にはO-フェナントロリンの発色阻害を生じることがあるが、溶液のpHを5.5付近に調整して、発色操作後一定の時間を置くことにより発色阻害を防止できる。

土壌の標準的な分析法である土壌、水質及び植物体分析法 (H13年3月) では、本法の代わりにジチオナイト-クエン酸塩還元溶解法が採用されている。

A 原子吸光法

(2) 試薬

1) 鉄標準液 (Feとして0、1、2、4、6ppm)

下記の表を参考にして、100mlのメスフラスコに市販品の鉄の標準液 (Fe1,000ppm) と1規定塩酸をいれ、純水でメスアップする。塩酸が入っているので1年以上利用できる。(1N-塩酸は市販品を利用できる。)

| 鉄の標準液 | No. 1 | No. 2 | No. 3 | No. 4 | No. 5 |
|----------------|-------------|-------|-------|-------|-------|
| 濃度 (ppm) | 0 ppm | 1 | 2 | 4 | 6 |
| 鉄標準液 (1000ppm) | 0 ml | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.6 |
| 1N-HCL | 10 ml | 10 | 10 | 10 | 10 |
| イオン交換水 | 100mlにメスアップ | | | | |

2) ヒドロサルファイトナトリウム ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$)

少なくとも購入1年以内のものを使用する。

注意 古いものは鉄の溶解抽出量が低くなる。

3) 0.02M-EDTA (0.02Mエチレンジアミン四酢酸2-ナトリウム)

EDTA粉末 (EDTA-2Na塩) 14.88gを水2,000mlに溶かす。

(3) 操作

1) 抽出

風乾細土0.5gを200ml容量の三角フラスコにとる。ヒドロサルファイトナトリウム ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) 3g (粗天秤) と0.02M-EDTA液50mlをメスシリンダーで加える。

沸騰している湯煎の上 (または恒温水槽中) に置き、時々攪拌しながら、液中の温度を約70°Cに15分間保った後放冷する (この間加温条件が均一となるよう、位置を変える)。

この液を100ml容量のメスフラスコにロートをを用いて、土を含めてすべて洗い込む。水で定容後、No6ろ紙で100ml容量の三角フラスコにろ過し試料液とする。

2) 原子吸光度測定

試料液 0.5ml を試験管にとり 1 規定塩酸 1.5ml と水を 13.0ml 加えて 15ml とする。
(Fe_2O_3 として 5.1% まで測定可能)
試料液、検量液は原子吸光度計に噴霧させ 248.3nm で吸光度を求める。
なお、標準液に塩酸を利用しない場合は試料液にも塩酸は不要だが保存できない。

(4) 計算

$$\begin{aligned} \text{Fe}_2\text{O}_3 (\%) \\ = \text{測定 Fe 濃度 (ppm)} \times 15\text{ml} / 0.5\text{ml} \times 100\text{ml} / 0.5\text{g} \times 100 / 1,000,000 \\ \times \text{Fe}_2\text{O}_3 / 2\text{Fe} (1.43) \times \text{乾土係数} \end{aligned}$$

B オルトフェナントロリンによる比色法

(2) 試薬

- 1) 0.02M EDTA 2Na
- 2) ハイドロサルファイトナトリウム ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$)
- 3) 0.1% オルトフェナントロリン
オルトフェナントロリン 0.2g を 200ml ビーカーにとり、水に溶かして 200ml にする。
- 4) 5% 塩酸ヒドロキシルアミン
塩酸ヒドロキシルアミン 5g を 100ml ビーカーにとり、水に溶かして 100ml にする。
- 5) 酢酸緩衝液 (pH6.0)
無水酢酸ナトリウム (CH_3COONa) 172g をホットスターラーで加熱しながら溶かして、冷却後 500ml とし、酢酸 6ml を加える。
- 6) 標準液
市販の Fe 標準液 (Fe1,000ppm) を利用する。

(3) 操作

- 1) 抽出
原子吸光度法と同様に行う。
- 2) 発色・吸光度測定
抽出液 0.1ml を試験管にとり、水 7.4ml、塩酸ヒドロキシルアミン 0.5ml、0.1% オルトフェナントロリン 1ml および酢酸緩衝液 1ml を加え 10ml とし、30 分以上放置して 510nm (総合分析計では 518.4nm) で比色する。 (Fe_2O_3 として 5.7% まで測定可能)

検量線は、試験管に市販の Fe 標準液 (Fe1,000ppm) から 0ml (0 μ l)、0.0075ml (7.5 μ l)、0.015ml (15 μ l)、0.03ml (30 μ l) を別々の試験管にとり、各々の試験管に水 11.25ml、塩酸ヒドロキシルアミン 0.75ml、0.1% オルトフェナントロリン 1.5ml および酢酸緩衝液 1.5ml を加えて 15ml とし良く攪拌する。
この液はそれぞれ Fe として 0.5ppm、1.0ppm、2.0ppm となる。
30 分以上放置し 510nm (総合分析計では 518.4nm) で比色する。

(4) 計算

$$\begin{aligned} \text{Fe}_2\text{O}_3 (\%) \\ = \text{測定 Fe 濃度 (ppm)} \times 10\text{ml} / 0.1\text{ml} \times 100\text{ml} / 0.5\text{g} \times 100 / 1,000,000 \\ \times \text{Fe}_2\text{O}_3 / 2\text{Fe} (1.43) \times \text{乾土係数} \end{aligned}$$

19. アンモニア態窒素、硝酸態窒素（ブレムナー法・コンウェイ法）

(1) 概要・原理

土壌中の硝酸態窒素の定量法としては、硝酸態窒素をデバルタ合金で還元してアンモニウム態窒素にし、それを水蒸気蒸留法（ブレムナー法）または、微量拡散法（コンウェイ法）によって測定する方法やフェノール硫酸法、イオンメータによる方法、紫外外部吸収による方法等各種の方法がある。

ここでは、ブレムナー法とコンウェイ法を説明する。

A 水蒸気蒸留法（ブレムナー法）

(1) 装置

図に示したブレムナー蒸留装置を用いる。
蒸留フラスコは、デバルタ合金投入口の付いたものを用いる。

(2) 試薬

1) 酸化マグネシウム

重質酸化マグネシウムを電気炉にて 600～700℃で 2 時間加熱したもの。

2) 2% ほう酸液

特級ほう酸 20 g を温水 700ml に溶かして、冷却後エタノール 200ml と混合指示薬 20ml を加えた後 1,000ml とする。

3) 混合指示薬

ブロムクレゾールグリーン 0.066 g とメチルレッド 0.033 g をエタノール 100ml に溶かす。

4) デバルタ合金粉末

市販のものを使う。

5) N/200 硫酸標準液

市販の 1 N 硫酸 5ml に水を加え 1,000ml とする。

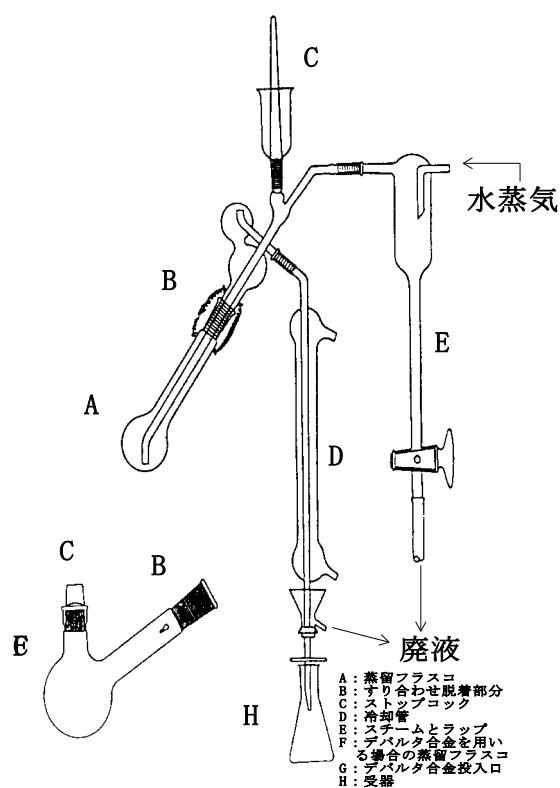
(3) 操作

風乾細土 10 g に 10% K C L 100ml を加えて 30 分間振とうし、上澄み液をろ過して試料液とする（浸出後直ちに分析する場合には、上澄み液をそのまま試料液としてもよい）。50ml 容量の三角フラスコに 2% ほう酸 5ml をとり蒸留装置の冷却管の下に置く。

ろ過した試料液 20ml を蒸留フラスコにとり、MgO を 0.2 g 加え蒸留を行う。

約 7～8 分間で三角フラスコの液が 30ml になったら蒸留をやめ、冷却器の先を洗いアンモニア態窒素（NH₄-N）を定量する液とする。

注意！ 蒸気を発生させる三角フラスコのゴム栓は軽く置くだけにしておくこと。
ゴム栓は圧力が高まった時の安全弁の役割を果たしている。



次に新たにほう酸 5 ml を入れた三角フラスコを冷却管の下に置き、蒸留フラスコにデバルタ合金 0.2 g を加え、前と同様に蒸留を行う。

留出液を滴定して $\text{NO}_3\text{-N}$ の量を求める。

(4) 計算

$$\begin{aligned} & \text{硝酸態窒素 (mg/100g)} \\ & = 0.07 \times f \times (t - b) \times (100 + \text{土の水分(ml)}) / \text{試料液(ml)} \\ & \quad \times 100 / \text{分析に用いた土の重さ} \times \text{乾土係数} \end{aligned}$$

ただし、

$$\begin{aligned} \text{分析試料の滴定値} & \Rightarrow t \text{ ml} & \text{N/200-H}_2\text{SO}_4 \text{標準液 } 1 \text{ ml} & \Rightarrow 0.07 \text{ mg} \\ \text{ブランクの滴定値} & \Rightarrow b \text{ ml} & \text{N/200-H}_2\text{SO}_4 \text{標準液のファクター} & \Rightarrow f \\ \text{乾土係数} & \Rightarrow \text{分析試料 (生土重又は風乾土重)} / \text{乾土重 (105}^\circ\text{C乾燥)} \end{aligned}$$

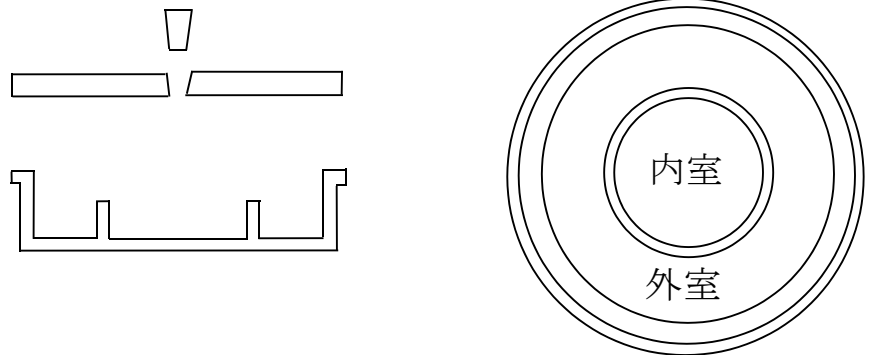
(参考文献) 「土壤標準分析・測定法」 p 114～116

「土壤環境基礎調査における土壤、水質、及び作物体分析法」 p 71～73

B 微量拡散法 (コンウェイ法)

(1) 装置・器具

- 1) コンウェイ微量拡散分析用ユニット
図に示したアクリル樹脂製の改良型コンウェイ微量拡散分析装置(ユニット)を用いる。
- 2) ミクロビューレット
- 3) かき混ぜ棒



(2) 試薬

- 1) 10%塩化カリウム
100 g の塩化カリウム (KCL) を 1,000ml 容量のビーカーに取り、水 1,000ml (メスシリンダー) に溶かす (1 N-KCL : 74.6 g / 1,000ml を使用してもよい)。
- 2) 0.005 規定硫酸 (1N/200-H₂SO₄)
市販の 1 N-H₂SO₄ 5ml (ホールピペット) を 1,000ml 容量のメスフラスコにとり、水で定容とする。この液 1 ml は、N (窒素) 0.07mg に相当する。
- 3) 2%ほう酸液
特級ほう酸の結晶 20 g をエタノール 200ml 及び蒸留水 700ml の混合液に溶かす。

この液に混合指示薬 (ブロムクレゾールグリーン 0.033 g 及びメチルレッド 0.066 g をエタノール 100ml に溶かしたもの) 20ml を加え、0.05N 水酸化ナトリウム液を溶液の色が薄桃色になるまで注意深く滴下した後、蒸留水を加えて 1,000ml とする。

4) 飽和炭酸カリウム液

特級無水炭酸カリウム 110 g を蒸留水 100ml に溶かして、冷却後 1,000ml 容量の三角フラスコに入れ、数個のガラス玉を入れて約 10 分間煮沸し、冷却後ゴム栓をして保存する。

5) アラビアゴム膠着剤

乳鉢にアラビアゴム粉末 100 g と水 150ml を徐々に加えてこね合わせる。
次にグリセリン 50ml および飽和炭酸カリウム液 50ml を加えてかき混ぜ、分液漏斗に移して一夜放置し、下層の部分のみを分取して試薬瓶中に貯える。

6) デバルタ合金けん濁液

市販の特級粉末デバルタ合金を使用する。
使用直前に 50~100mg/ml の蒸留水けん濁液を調整する。

7) 標準液

$\text{NH}_4\text{-N}$: 1,000ppm NH_4Cl 3.891 g を純水に溶かして 1,000ml とする。
 $\text{NO}_3\text{-N}$: 1,000ppm KNO_3 7.220 g を純水に溶かして 1,000ml とする。
(それぞれ 10ppm、20ppm、30ppm をつくっておく)。

(3) 操作

風乾細土 10 g に 10% KCL 100ml を加えて 30 分間振とうし、上澄み液をろ過して試料液とする。浸出後直ちに分析する場合には、上澄み液をそのまま試料液としてもよい。

ユニットの縁に筆でアラビアゴムをぬり、浸出液を外室に入れる。

内室に吸収剤 (2% ほう酸液) 2ml を入れ、ついで外室に 1ml のアルカリ剤 (飽和炭酸カリ) と 1ml のデバルタ合金けん濁液を注意深く加え、直ちにフタをする。

ユニットを静かに水平面上で回転させ、浸出液とアルカリ剤を混合する。

ユニットを 25°C 定温器中に入れ、24 時間後に $\text{N}/200\text{-H}_2\text{SO}_4$ で滴定する。

ここで得られた値は、アンモニア態窒素と硝酸態窒素の含量であるので、別に求めたアンモニア態窒素の量を差し引いて硝酸態窒素の量とする。

なお、アンモニア態窒素はデバルタ合金を加えないで同様に操作すれば求められる。
また、試料液の定量と同時に、標準液 ($\text{NH}_4\text{-N}$ 及び $\text{NO}_3\text{-N}$ の 10~30ppm) 及び試料液を加えない試薬のみのブランクを 2 連で行う必要がある。

(4) 計算

$$\begin{aligned} \text{硝酸態窒素 (mg/100g)} \\ = 0.07 \times f \times (t - b) \times (100 + \text{土の水分 (ml)}) / \text{試料液 (ml)} \\ \times 100 / \text{分析に用いた土の重さ} \times \text{乾土係数} \end{aligned}$$

ただし、

$$\begin{aligned} \text{分析試料の滴定値} &\Rightarrow t \text{ ml} & \text{N}/200\text{-H}_2\text{SO}_4 \text{標準液 } 1 \text{ ml} &\Rightarrow 0.07 \text{mgN} \\ \text{ブランクの滴定値} &\Rightarrow b \text{ ml} & \text{N}/200\text{-H}_2\text{SO}_4 \text{標準液のファクター} &\Rightarrow f \\ \text{乾土係数} &\Rightarrow (\text{生土重又は風乾土重}) / \text{乾土重 (105°C 乾燥)} \end{aligned}$$

20. 硝酸態窒素(サリチル硫酸法)

(1) 概要

畑作物や園芸作物の適正な施肥管理には、硝酸態窒素の測定が必須である。従来、硝酸態窒素の測定は煩雑であったが、近年、簡易測定法が種々検討され、いくつかの方法が提案されている。

利用面で一長一短があり、各々の利用場面にあった測定法を採用することが望ましいが、ここでは大量の試料を迅速で安価に処理する代表的な方法として、Cataldo法(サリチル硫酸法)を説明する。

(2) 試薬

- 1) 5%サリチル酸-硫酸液
サリチル酸 5g を 100ml の濃硫酸に溶かす(密栓して1週間以内に使用する)。
- 2) 2N-NaOH水溶液
水酸化ナトリウム 80g を 1,000ml の水に溶かす。
- 3) 市販の 1,000ppm 硝酸イオン標準液

(3) 操作

100ml 容量の振とうビンに土壌 20g をとり純水 100ml を加え、振とう器で 30 分間振とう後に、ろ過する。(EC測定後のろ液を利用できる。)

このろ液(1:5浸出液) 0.1ml をマイクロピペットでとり 40ml 容量の試験管に入れる。5%サリチル酸-硫酸液 0.4 ml を加えて発熱させる。

放冷後、2N-NaOH 9.5ml (10ml でも可) を加えて、よく混和する(発色の安定性は数日間良好)。

- 1) 比色定量
分光光度計の測定波長を 420nm 付近に設定して(島津製SPAD総合分析計の場合は原子吸光ランプCaの共鳴線 422.7nm を利用)、常法により比色定量する。
- 2) 検量線
最終的にNO₃として 0.2 ~ 5ppm になるように 1,000ppm 硝酸標準液を 2μl ~ 50μl とって、水を 98μl ~ 50μl 加え、サンプルと同様に発色させる。

(4) 計算

土壌 20g を純水 100ml で浸出した液(1:5浸出液 EC測定用)を測定した場合

$$\begin{aligned} & \text{硝酸態窒素 (mg/100g)} \\ & = \text{測定NO}_3\text{濃度 (ppm)} \times 10\text{ml} / 0.1\text{ml} \times 100\text{ml} / 20\text{g} \times 100\text{g} \times 1,000 / 1,000,000 \\ & \quad \times 14 / 62 (0.23) \times \text{乾土係数} \end{aligned}$$

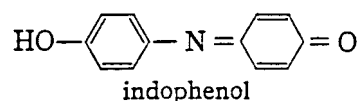
(5) 備考

- 1) 検量線はNO₃で 0 ~ 10ppm の範囲で良好な直線性が得られる。
- 2) NO₃-Nで 2.26ppm 以下の場合には信頼性が乏しい。
- 3) 塩素イオンを多量に含む試料溶液の場合(KCL抽出液等)は定量値が著しく低下する。
- 4) 原法では、試料液にサリチル酸ナトリウムを加え、加熱して蒸発乾固後に濃硫酸に溶解させる。その後、水酸化ナトリウムを加える。本法では蒸発乾固等を省略している。

2 1. アンモニア態窒素（インドフェノール法）

(1) 概要・原理

アンモニウムは次亜塩素酸ナトリウムと反応してモノクロロアミン (NH_2Cl) を生成し、この1分子がフェノール2分子と反応してインドフェノールとなり、アルカリ性溶液により酸解離して青色（インドフェノールブルー）を呈する。



この反応はニトロプルシッドナトリウム（ペントシアノニトロシル鉄酸ナトリウム）などで促進されて高感度となる。

(2) 試薬

1) 緩衝液 冷蔵庫内保存で1年間有効

リン酸三ナトリウム・12水塩 ($\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) 30g
クエン酸三ナトリウム ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 30g
EDTA-2Na（エチレンジアミン四酢酸2ナトリウム） ($\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{O}_8\text{Na}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 3g

それぞれを水に溶かして混合し、水を加えて1,000mlとする。

2) フェノール溶液

フェノール（石炭酸） ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$) 60g に 2) の緩衝液を加えて1,000mlとする。

3) 発色液A（フェノール・ニトロプルシッドナトリウム溶液）調整日のみ有効

2) のフェノール溶液100mlに、ニトロプルシッドナトリウム ($\text{Na}_2\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 0.02gを加えて完全に溶かす。分注器等に入れて保存する。

4) 発色液B（次亜塩素酸ナトリウム希釈液）冷蔵庫内保存で1年間有効

水酸化ナトリウム 16g を水（500ml程度）に溶かして、放冷する。

この溶液に次亜塩素酸ナトリウム (NaClO) 溶液 10mlを加え、その後水を加えて1,000mlにする。

5) アンモニア標準原液

100°Cで1時間乾燥させた塩化アンモニウム (NH_4Cl) 0.3819g を水に溶かして100mlにする。この溶液1mlはアンモニア態窒素の1mgに相当する（1,000ppm）。

(3) 操作

1) 検量線

試験管5本にアンモニア標準原液を0μl、0.5μl、1μl、5μl、10μlずつとり、水5mlを加える。

次に発色液Aを2ml加え、さらに発色液Bを3ml加え、よく混合して1時間以上放置する。

693nmで吸光度を測定し、検量線を作成する。

これらの検量線用標準液の最終濃度は、0ppm、0.05ppm、0.1ppm、0.2ppm、0.5ppm、1ppmである。

2) 試料

ポリ容器に土壌 10g をとり、10%塩化カリウム水溶液 100ml を加えて1時間振とうする。

一夜放置して、上澄液 α （急ぐ場合はろ過でも良い）を0.1ml～1mlとり、水を加え5mlにする。

次に発色液Aを2ml加え、さらに発色液Bを3ml加えてよく混合し、1時間以上放置する。

検量線と同様に693nmで測定する。

(4) 計算

$$\begin{aligned} & \text{アンモニア態窒素 (mg/100g)} \\ & = \text{検液中のアンモニア態窒素濃度 ppm} \times (10 + \alpha) / \alpha \times 100 / 10\text{g} \times 100\text{g} \\ & \quad \times 1,000 / 1,000,000 \times \text{乾土係数} \\ \alpha & \Rightarrow \text{浸出液 (上澄液) の採取量 (ml)} \end{aligned}$$

(5) フェノールの扱いと廃液の処理

フェノールは劇物。吸引や手などに付着しないように注意すること。

保護手袋と保護メガネを着用し、希釈作業などは吸引しないようにドラフトを利用すること。

廃液は回収し産業廃棄物処理業者に処理を委託すること。

(6) 備考

この測定法は土壌浸出液以外にも以下の溶液の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が測定できる。

1) CEC

塩化ナトリウムまたは塩化カリウム浸出液を必要に応じて希釈し、測定液とする。

2) 土壌溶液、水耕培養液

必要に応じて希釈し、測定液とする。

3) 全窒素

硫酸分解液を必要に応じて希釈し、測定試料とする。この際、水酸化ナトリウム溶液でpHを調整することが必要である。

第2. エコファーマー認定用の土壌分析

1. 腐植・土壌有機物含量（熊田法を基にした SPAD 簡便法）

(1) 概要・原理

エコファーマー認定用として、精度は低いものの迅速性、簡便性を優先した比色法を説明する。ただし、本法では腐植が10%を超える土壌や未分解の有機物が多く残っている土壌では適応できない。

また、本法は推定値で誤差が大きいため、生産者の指導に用いる場合は、乾式燃焼法（NCアナライザー）やチューリン法で行うこと。これらの方法で求めた炭素含有率（%）を1.724倍したものを腐植含量%と称している。

(2) 試薬

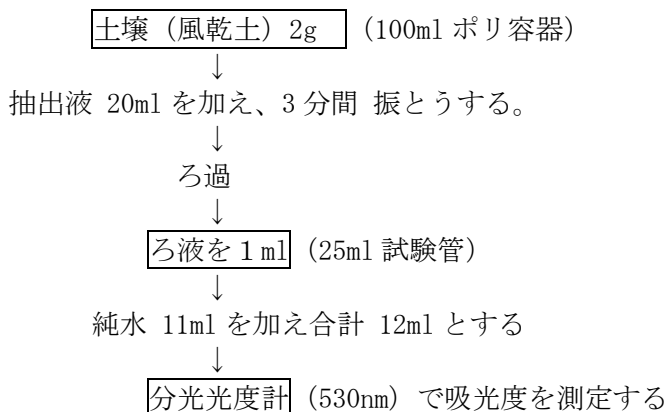
抽出液

A液 特級ピロリン酸ナトリウム（ $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ）22.3gを約400mlの水に溶かす。

B液 特級NaOH 10gを約400mlの水に溶かす。

A液とB液を混合し水を加えて1,000mlに定容し、抽出液とする。

(3) 操作（アルカリを扱うので手袋、保護メガネをすること。廃液は中和処理すること。）



(4) 計算

SPAD法の条件で、腐植（%）をY、吸光度をAとすると、

$$Y = (162.4 \times A + 24.97)^{0.5} - 4.19 \quad Y \text{ が } 12 \text{ を超える場合は適応できない。}$$

この推定式は、山口県の土壌に比較的合う場合が多かった「土壌・作物栄養診断のための分析法2012（北海道立総合研究機構農業研究本部）」に記載の式を用いた。

推定式は土壌の種類などによって異なるため、既知資料がある場合には、検量線を作成して測定することが望ましい。

(5) 参考

「腐植の簡易定量法に関する一考察」土壌肥科学雑誌第44巻第4号 p144～145（1973）

2. 水田土壌の可給態窒素

(1) 概要・原理

水田土壌は本来、密栓インキュベーション法で測定すべきであるが、長期間の定温静置と無機態窒素の定量を行うなど煩雑である。

そこで、小川らのリン酸緩衝液抽出法で可給態窒素を測定する方法を説明する。

(2) 溶液、試薬の作り方

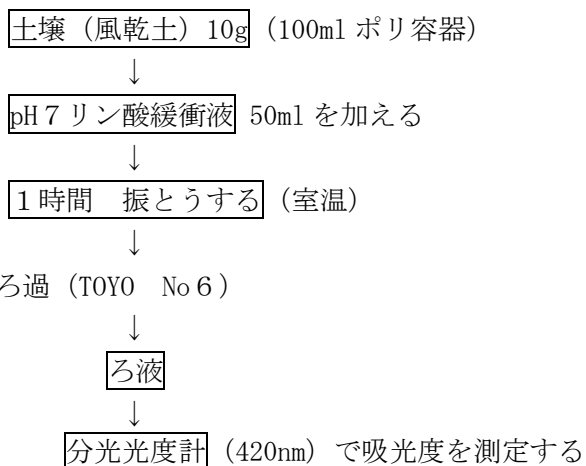
1) 抽出液 (pH 7.0 リン酸緩衝液)

①液 (1/15M リン酸一カリウム (KH_2PO_4) 9.078 g/L) と、

②液 1/15M (リン酸二ナトリウム 12水和物 ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) 23.883 g/L) の水溶液を作り 35 : 65 で混合し、pH 7 になるように①と②液で微調整する。

→ 簡易的にはリン酸一カリウム 3.62g とリン酸二ナトリウム 12水和物 14.32g を水 1,000ml に溶かす。

(3) 操作



(4) 計算

小川らの方法で、抽出液中窒素量 (mg/100g) を Y、吸光度を A とすると、

$$Y = 1.09 + 17.41 \times A$$

(5) 補足

- 1) 可給態窒素とは、微生物作用で可給化される窒素量で、肥沃度の指標の一つ。
- 2) リン酸二ナトリウム 12水和物 ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 別名リン酸水素 2 ナトリウム 12水和物) は風解しやすく、夏季は結晶水に溶解し固化するので**冷蔵庫で保存する**。
- 3) 本法は、pH 7 リン酸緩衝液抽出法で抽出される有機態窒素量が、保温静置法 (30度 4週間培養) により生成される無機態窒素量 (アンモニア態窒素と硝酸態窒素) と相関があることを利用した分析方法である。

原法は抽出される有機態窒素を硫酸分解し、水蒸気蒸留法で窒素を測定する。本法では、420nm における吸光度と原法の窒素量に相関があることを根拠に、吸光度から可給態窒素量を求める分析法であることに注意が必要

第3 土壌診断から施肥計算

1. 土壌分析値のみかた

(1) 土壌の分析値は、決められた液による溶出量で全量ではない。

作物体や水質の分析は、全量を測定することが目的なので、測定値は分析方法にあまり左右されない。

しかし、農業における土壌の分析は、植物が吸収できる養分量の把握が目的なので、全量ではなく溶け出てくる量が重要である。

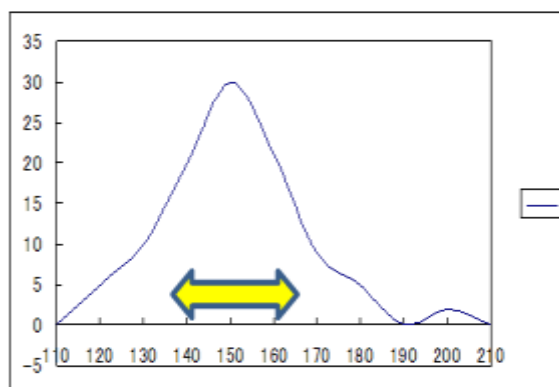
例えば植物は根から弱い酸を出してリンを溶かし吸収する。一般的な土壌分析では、これに倣い 0.002N の硫酸を用い抽出したリン酸を植物が利用できるリン酸（可給態リン酸とか有効態リン酸）としている。

別の方法として水抽出のリン酸も測定できるが、可給態リン酸とは別のものであり、土壌診断の際にどのような意味があるのか、検討が必要になる。また、抽出方法が異なれば診断基準値も異なることは言うまでもない。

(2) 分析に絶対値はない。

分析値は、母集団から偶然取り出したもの。

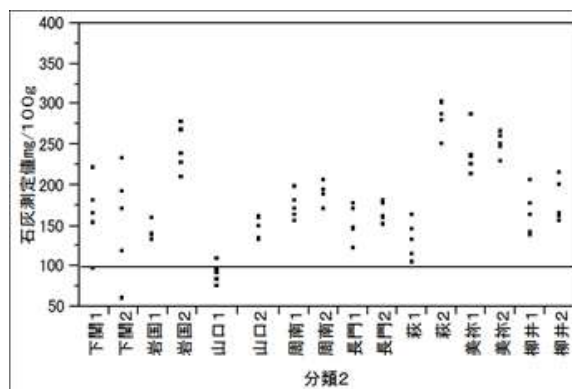
分布した中で、平均値から一定値内（標準偏差内）は、すべて正しい分析値。右図の矢印の範囲は全て正解（イメージです。）



(3) 圃場内の養分は、バラつきが大きい。

右図は山口県各農業部が管内の同一農業法人の2圃場を選択し、各圃場5か所の土壌分析を行ったもの。同一圃場でも場所による養分のばらつきが大きいことがわかる。

このデータから、サンプリングは少なくとも5か所で行い良く混合することが大事。



2. 土壌診断ソフト利用のすすめ

土壌分析では、苦勞して得た分析値の使い方（土壌診断）が重要である。土壌診断には多様なニーズがあるが、化学性の場合は結果的に計算された施肥量が改善策につながる。生産者がどのような肥料を用いても施肥量を計算する必要がある。

分析値から施肥量を計算するには、診断基準値と煩雑な肥料計算に耐える心が必要である。自分の忍耐力を知りたければ肥料計算をすることをお勧めする。残念なことに私などは3回計算して懲た。だからなのか、土壌診断の処方箋は、2割削減などの当たり障りのない大雑把な施肥量を示すだけで終わることが多い。

このような事例をなくすために各県から様々な土壌診断ソフトが提供されている。ここでは、一例として山口県の土壌分析計算ソフトと土壌診断施肥計算ソフトの利用方法を紹介する。

山口県のソフトを利用すると、同一作目の場合で人名などの入力時間を除くと、数百の施肥量を計算した処方箋が1時間以内に作成できる。また、肥料の変更に伴う施肥量の再計算も一瞬で終わる。

さらに前記ソフトの電子ファイルを土壌に詳しい人にメールなどで送り助言してもらうことも可能である。

(1) ソフトの入手方法

山口県農林総合技術センターのホームページから、手続き不要で誰でもダウンロードして利用できる。

(2) 土壌分析値計算ソフト「けーさん君」

土壌分析初心者にとって、分析値の計算は負担である。本ソフトは、分析値を貼り付けるだけで計算してくれる楽ができるソフトである。

しかし、間違いを防止するために分析書の計算式の意味は理解しておくことが必要。

(3) 土壌診断・施肥量計算ソフト「できすぎ君」

1) 土壌診断

診断基準値を参考にレーダーチャートで過不足を示したり、過不足の度合いから評価点を表示できる。さらに、欠乏の可能性のある養分の表示も可能。

2) 施肥量計算

約400種類の肥料リストから肥料を選択するだけで、土壌分析値を加味した任意の肥料の施肥量が計算できる。（リストにない肥料の追加も可能。）また、堆肥や鶏糞、含鉄資材の肥料成分を反映させた施肥量の計算もできるので、有機栽培や特別栽培などにも利用できる。

| |
|--|
| 注意 土壌診断ソフトの施肥量の計算は、元肥のみが対象 追肥の窒素施用量は生育状況に応じて加減することが基本 |
|--|

山口県の土壌診断・施肥量計算ソフト「できすぎ君」の処方箋の例

| 土壌分析の結果と処方箋 | | | | | | |
|---|----------|---------------------------|----------------------------|-----------------|------------------------|-----------|
| 秀忠 様 | | 栽培品目 | 水稲 | 診断基準 | 水稲 (普通土) | 整理番号 1 |
| 連番 1 | | 調査地点 | あそこ | いけいけ農林事務所農業部 | | |
| | | 地目 | 水田 | 電話 083-900-0000 | | |
| 分析項目 | 参考データ | | | 分析値 2008 | 基準値 | 評価 |
| | | | | | | |
| pH (ペーハー) | | | | 5.6 | 6.0 ~ 7.0 | やや低い |
| 腐植 (%) | | | | 3.0 | 3.0 ~ 5.0 | 適切 |
| 全窒素 (%) | | | | 0.16 | 0.14 ~ 0.17 | 腐植に対し適切 |
| 炭素/窒素比 (C/N) | | | | 11.0 | 10 ~ 12 | 一般的に10~12 |
| 可給態窒素 (mg/100g) | | | | 10.2 | 5 ~ 10 | 適切 |
| 塩基置換容量CEC (me) | | | | 8.2 | 12 以上 | 保肥力は低い |
| 塩基飽和度 (%) 3成分 | | | | 55 | 92 ~ 112 | 塩基類不足 |
| 交 石灰 (mg/100g) | | | | 102 | 158 ~ 193 | 石灰不足 |
| 換 苦土 (") | | | | 15 | 29 ~ 36 | 苦土不足 |
| 性 加里 (") | | | | 6 | 21 ~ 25 | 加里不足 |
| 石灰苦土比 (Ca/Mg) | | | | 4.8 | 2.0 ~ 6.0 | バランス適切 |
| 苦土加里比 (Mg/K) | | | | 5.8 | 2.0 ~ 4.0 | バランス悪い |
| 可給態リン酸 (mg/100g) | | | | 20 | 10 ~ 20 | リン酸適切 |
| 可給態珪酸 (mg/100g) | | | | 8.4 | 18.0 ~ 30.0 | 珪酸不足 |
| 遊離酸化鉄 (%) | | | | 0.7 | 0.8 ~ 2.0 | 鉄やや不足 |
| 基本資材 | 堆肥 施用量 | 1,000 (Kg/10a) 最後は気合 (注1) | | | | |
| | 鶏糞 施用量 | 300 (Kg/10a) コケコッコ-V (注2) | | | | |
| | 含鉄資材 施用量 | 100 (Kg/10a) ミネラル G (注3) | | | | |
| 施肥の提案 | 肥料の種類 | 慣行 | 新しい施肥量(案)(マイナスは過剰量)と 肥料名 | | コメント 作土深15 cm 仮比重1 で計算 | |
| | りん酸質肥料 | | -105 (Kg/10a) 28重焼燐(1.0倍率) | | | |
| | 加里質肥料 | | 35 (Kg/10a) 珪酸加里 | | | |
| | 石灰質肥料 | | -21 (Kg/10a) 炭カル | | | |
| | 苦土肥料 | | 22 (Kg/10a) マグゴールド | | | |
| | けい酸質肥料 | | 49 (Kg/10a) ケイカル(粒) (3倍率) | | | |
| | 速効的な元肥 | 30 | 13 (Kg/10a) あきみのりV444 | | 鶏糞の窒素で元肥窒素を削減 | |
| 注1 一律量の堆肥を施用する。(窒素以外の肥効計算) | | | | pH規制値 7.5 | | |
| 注2 一律量の鶏糞を施用する。(窒素を含む肥効計算) | | | | | | |
| 注3 一律の量の含鉄資材を施用する。(肥効計算) | | | | | | |
| <p style="text-align: center;">養分の過不足グラフ</p> <p style="text-align: center;">(基準値下限から上限を100%として表示 塩基置換容量と遊離酸化鉄は100%が最大値)</p> <p>基準値100%の大線より内側が不足、外側が過剰です。</p> <p>養分不足の可能性 加里欠乏に注意。</p> <p style="text-align: right;">判定点 水稲 55点</p> <p style="text-align: center;">判定点とは、土壌の化学的なバランス面から点数化したものです。</p> <p style="text-align: left; font-size: small;">土壌診断 フリーソフト できすぎ君 Ver 13.1</p> | | | | | | |

3. 測定値から施肥計算までの流れ

(1) 測定値の計算

- ① 土壌分析計算ソフト「けーさん君」の該当する項目に分析値を貼り付ける。
- ② 必要があれば希釈倍率などを変更する。
- ③ 測定値が算出される。
- ④ 栽培者名や圃場名、作物名などの情報を入力する。
- ⑤ 名前を付けて保存

(2) 土壌診断 施肥量の計算

- ① 土壌診断施肥計算ソフト「できすぎ君」から(1)の⑤のファイル指定し測定値を読み込む。
- ② 必要な診断基準値を山口県農林総合技術センターのホームページからダウンロードする。
- ③ ダウンロードした診断基準値を「できすぎ君」から指定し読み込む。
- ④ 利用する肥料を選択する。リストにない肥料は追加して選択する。
- ⑤ 利用するたい肥や鶏糞の成分や量を入力する。
- ⑥ 作土の深さなどを入力する。
- ⑦ レーダーチャートなどで大きすぎる値や小さすぎる値を見つける。このような値は、入力間違いなどの可能性がある。間違いがないか確認が必要
- ⑧ 印刷する。A3への印刷やPDF化なども可能。

(3) 一括保存ファイルの利用

- ① 「できすぎ君」では、測定値データ、診断基準値、各種設定、追加した肥料などを一つのファイル（一括保存ファイル）で保存や読み込みができる。
- ② この「一括保存ファイル」をネットからダウンロードした土壌診断ソフトで読み込むことで、再生できる。
- ③ 「一括保存ファイル」はサイズが小さいのでメールで送ることが可能。
土壌に詳しい人などにメールで送り、同一画面を見ながら電話で質問や内容を協議することができるので、初心者も安心して利用できる。

(4) 計量法への対応

- ① パスワードを設定して分析値を表示させないことが可能。（非表示モード）
- ② 一括保存したファイルからも分析値を見ることはできない。
- ③ 非表示の一括保存ファイルを読み込むと、自動的に非表示モードになり、分析値が表示されないため、計量法に抵触せずに生産者に非表示の一括ファイルを提供できる。
- ④ 分析値は非表示でも、それ以外の機能（施肥量の計算やレーダーチャート等）は全て利用できる。

(5) その他

- ① 診断基準値を細かく変更でき、自分で新たな診断基準値を作ることにも可能。
- ② たい肥や鶏糞の各種成分や鶏糞の窒素を考慮した合理的な施肥量の計算が可能。

第4 排水対策

1. 化学性よりも 排水対策が重要！

いくら土壌が肥沃であっても、根が健全でなければ養分を吸収することができず、生育不良や養分欠乏を引き起こす。

作物の根に大きな影響を与えるのが、土壌水分である。困ったことに、栽培期間中に一度でも大雨などで過湿になればその影響は大きい。

このため、大雨が降っても短時間で水はけすることと、干ばつ時には水持ちが良いことが土壌の理想である。

ところがすき床層や大型機械による圧密層、山からの湧水、粘土質土壌、礫の存在など、水はけや対策のための作業を邪魔する要因が多い。

排水対策はこれらに対する対策で、断面調査によって邪魔をする要因を見つけ、水を逃がす方法を考えることがポイントである。

主な排水対策には下表に示した方法がある。また、下表以外にも湿りに強いセスバニア等の植物を利用して硬盤を破壊する方法がある。

| 排水対策の種類 | 深さ (cm) | 疎水材 の有無 | 排水口 の有無 | 礫対応の 可否 | 対策の目的 | 営農 or 工事 |
|--------------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|
| 作土の排水 | | | | | | |
| 畦たて | | × | × | ○ | 作土内の排水 | 営農 |
| 明渠（排水溝） | ～20 | × | △ | ○ | 作土内の排水 | 営農 |
| 額縁明渠（承水溝） | ～30 | × | ○※ | ○ | 明渠水の集水と排水 | 営農・工事 |
| ※機能していない例が多い。 | | | | | | |
| 不透水層の破壊 | | | | | | |
| 浅いサブソイラー | ～20 | × | × | ○ | すき床破壊 | 営農 |
| サブソイラー | ～40 | × | × | × | 硬盤（心土）破壊 | 営農 |
| 簡易暗渠（排水管なし） | | | | | | |
| 弾丸暗きよ | ～40 | ×(○) | × | × | 水の横方向への誘導 | 営農 |
| スポット暗渠 | ～40 | ○ | × | ○ | 水の縦方向への誘導 | 工事・営農 |
| 管暗渠（排水管あり） | | | | | | |
| シートパイプ（浅層暗渠） | ～40 | × | ○ | × | 集水と排水 | 工事 |
| FOEAS | ～60 | ○ | ○ | × | 集水、排水と地下灌漑 | 工事 |
| 本暗きよ | ～80 | ○ | ○ | ○ | 集水と排水 | 工事 |
| 強制排水 | | | | | | |
| 小規模ブロック排水 | ～150 | × | ○ | ○ | ポンプ排水 | 工事・営農 |
| 湧水処理 | | | | | | |
| 承水路（捕水暗渠） | ～100 | ○ | ○ | ○ | 湧水・排水処理 | 工事・営農 |

2. 排水対策の判断

(1) 排水対策の選択

排水対策の選択は、圧密層やすき床の有無と礫の有無、土性によって大まかに判断できる。

| | | 圧密層 なし（硬度18以下） | | | | 圧密層 有（大型の機械を利用する場合） | | | | | | | |
|-----------------------------|--|----------------|--------|-------------|--------|---------------------|------------|-------------|---------|------------|--------|---------|---|
| | | 40cmまでに 礫なし | | 40cmまでに 礫あり | | 40cmまでに 礫なし | | 40cmまでに 礫あり | | | | | |
| 下層の土性と透水性 | | 砂質・壤質砂土 | 壤土～強粘土 | 砂質・壤質砂土 | 壤土～強粘土 | 砂質・壤質砂土 | 壤土+砂質・壤質砂土 | 壤土～強粘土 | 砂質・壤質砂土 | 壤土+砂質・壤質砂土 | 壤土～強粘土 | | |
| | | 良 | 悪い | 良 | 悪い | 良 | やや悪い | 悪い | 良 | やや悪い | 悪い | | |
| 目的 | | 水稲単作 | 田畑輪換 | 畑 | 水稲単作 | 田畑輪換 | 畑 | 水稲単作 | 田畑輪換 | 畑 | 水稲単作 | 田畑輪換 | 畑 |
| 表面水の除去 | | 畦たて+明渠 | | 畦たて+明渠 | | 畦たて+明渠 | | 畦たて+明渠 | | 畦たて+明渠 | | 畦たて+明渠 | |
| すき床層の破壊 | | 浅いサブ※ | | 浅いサブ※ | | 浅いサブ※ | | 浅いサブ※ | | 浅いサブ※ | | 浅いサブ※ | |
| 圧密層の破壊 | | | | 弾丸暗渠+疎水材 | | スポット暗渠 | | サブソイラーまたは弾丸 | | 弾丸暗渠+疎水材 | | スポット暗渠 | |
| 土中水の除去 | | | | 管暗渠+疎水材 | | 管暗渠+疎水材 | | 管暗渠+疎水材 | | 管暗渠+疎水材 | | 管暗渠+疎水材 | |
| 湧水処理 流入水の阻止、ブロック排水（必要に応じ実施） | | | | | | | | | | | | | |

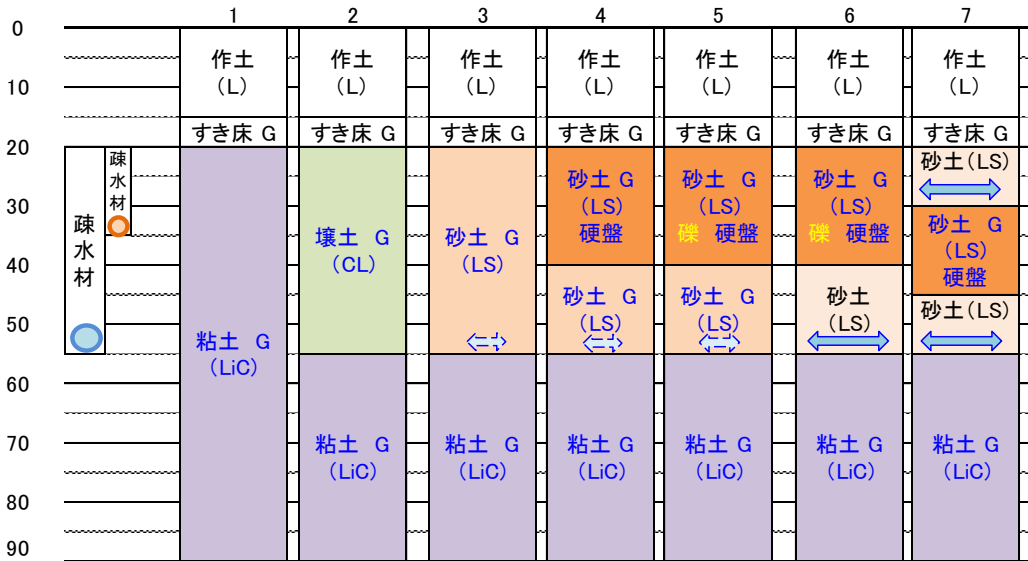
補足1 FOEASは、「サブソイラー（弾丸暗渠）が必要な管暗渠」よって、礫が多いとサブソイラーが利用できないので機能を維持できない。

補足2 FOEASの地下灌漑機能については別表を参照

(2) 地下灌漑としてのFOEASの導入判断(案)

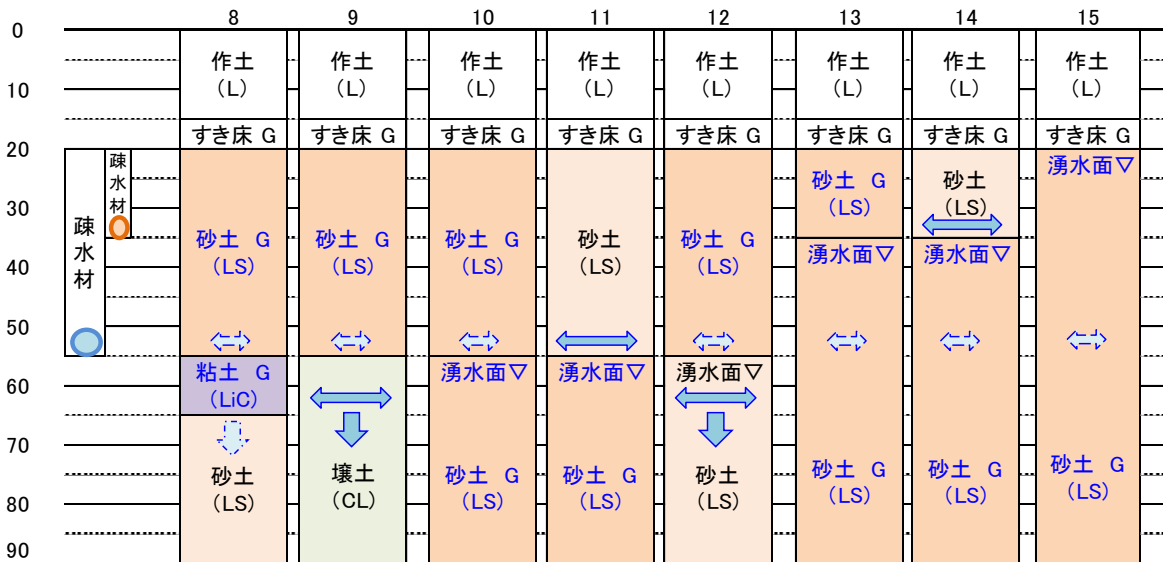
水の下方向と横方向の動きでの判定(別に礫と湧水を考慮する。)

判定 A: 導入可 B、C: 対策のうえ導入可能 D: 導入不可



地下灌漑の阻害の可能性

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 対策 |
|-------------|----|-------|----|----|----|----|----|--------|
| 弾丸暗渠の再施工 | 可 | 可 | 可 | 可 | 不可 | 不可 | 可 | |
| 上昇阻害 | あり | なし | なし | あり | あり | あり | あり | 破壊、疎水材 |
| 横流失(管より上) | なし | 状況による | 注意 | 注意 | 注意 | あり | あり | 遮水シート |
| 横流失(管より下) | なし | なし | なし | なし | なし | なし | なし | |
| 地下流失 | なし | なし | なし | なし | なし | なし | なし | |
| FOEASの導入判定案 | B | B | A | B | D | D | D | |



地下灌漑の阻害の可能性

| | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|-------------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 弾丸暗渠の再施工 | 可 | 可 | 可 | 可 | 可 | 可 | 可 | 可 |
| 上昇阻害 | なし | なし | なし | なし | なし | なし | なし | なし |
| 横流失(管より上) | 注意 | 注意 | 注意 | あり | 注意 | 注意 | あり | 注意 |
| 横流失(管より下) | なし | あり | なし | なし | あり | なし | なし | なし |
| 地下流失 | 注意 | あり | なし | なし | あり | なし | なし | なし |
| FOEASの導入判定案 | B | D | A | D | D | B | C | B |

(注意 粘土は透水係数が低い土 砂土は高い土、壤土は中間を表している。)

第5 化学物質・有害廃棄物の安全管理

1. 特別管理産業廃棄物管理責任者を置くべき事業場

「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」では、「その事業活動に伴い特別管理産業廃棄物を生ずる事業場を設置している事業者は、当該事業場ごとに、当該事業場に係る当該特別管理産業廃棄物の処理に関する業務を適切に行わせるため、特別管理産業廃棄物管理責任者を置かなければならない」と規定している。

特別管理産業廃棄物とは下表の左欄に掲げる廃棄物であり、当該特別管理産業廃棄物を排出する事業場とは下表の右欄に掲げるような事業場であり、分析実験室も含まれる。

特別管理産業廃棄物の種類

| 種類 | 性状及び具体例 | |
|-----------|--|---|
| 廃油 | 揮発油類、灯油類、軽油類の燃えやすい廃油 ≪関連事業≫紡績、新聞、香料製造、医療品製造、電気めっき、洗濯、科学技術研究、その他（引火点が常温以上） | |
| 廃酸 | pH2.0以下の酸性廃液、PH12.5以上のアルカリ性廃液（生コンPH3） | |
| 廃アルカリ | ≪関連事業≫カセイソーダ製造、無機顔料製造、無機・有機化学工業製品製造、アセチレン誘導品製造、医薬・試薬・農薬製造、金属製品製造、石油化学工業製品製造、非鉄金属製造、ガラス・窯業、科学技術研究、その他 | |
| 感染性産業廃棄物 | 感染性病原体を含むか、その恐れのある産業廃棄物（血液の付着した注射針、採血管など） ≪関連事業≫病院、診療所、衛生検査所、老人保健施設、その他 | |
| 特定有害産業廃棄物 | 廃PCB等 | ○廃PCB及びPCBを含む廃油○PCBが塗布若しくは染み込んだ紙くず、PCBが染み込んだ木くず、若しくは繊維くず、又はPCBが付着若しくは封入された廃プラスチック類や金属くず ○廃PCB等又はPCB汚染物を処分するために処理したもの（厚生省令で定める基準に適合しないものに限る。） |
| | 廃石綿等（アスベスト） | ○建築物から除去した飛散性の吹き付け石綿・石綿含有保温材、及びその除去工事から排出されるプラスチックシートなどで、石綿が付着しているおそれのあるもの ○大気汚染防止法の特定粉じん発生施設を有する事業所の集じん装置で集められたものなど |
| | 有害産業廃棄物 | 水銀、カドミウム、鉛、有機燐化合物、六価クロム、砒素、シアン、PCB、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、ジクロロメタン、四塩化炭素、1,2-ジクロロエタン、1,1-ジクロロエチレン、シス-1,2-ジクロロエチレン、1,1,1-トリクロロエタン、1,1,2-トリクロロエタン、1,3-ジクロロプロペン、チウラム、シマジン、チオペンカルプ、ベンゼン、セレン又はその化合物が基準値を超えて含まれる、汚泥、銧さい、廃油、廃酸、廃アルカリ、燃え殻、ばいじんなど |

（注1） この表に記載した廃棄物の具体例と関連事業は代表的なものである。

（注2） 上表の「有害産業廃棄物」とは金属等を判定基準を超えて含む産業廃棄物のことを称する。

2. 特別管理産業廃棄物管理責任者の資格

- ① 厚生労働大臣が認定する講習を修了した者
- ② 厚生労働大臣が認定する講習を修了した者と同等以上の知識を有すると認められる者

3. 特別管理産業廃棄物管理責任者の役割

特別管理産業廃棄物に関する業務を廃棄物処理法に基づき適正に遂行すること。

- ① 特別管理産業廃棄物の排出状況の把握
- ② 処理計画の立案
- ③ 適正な処理の確保（保管状況の確認、委託業者の選定や適正な委託の実施、管理票の交付・保管等）

<参考>

有害廃棄物の分類（北海道大学，昭和57年）

| 種 類 | 濃 度 |
|--|--------------------------------|
| I . 特殊廃液 | |
| ① クロム酸混液（一次洗浄水を含む） | 使用済みのもの全量 |
| ② 水銀化合物溶液 | H g 0.1 mg / 1,000 ml 以上 |
| ③ 一般金属化合物溶液 (Cd, Pb, Cr, Cu, Zn, Fe, Mn, その他重金属) | いずれかの金属 10 mg / 1,000 ml 以上 |
| ④ 写真用定着液 | 使用済みのもの全量 |
| ⑤ シアン化合物溶液 | C N 10 mg / 1,000 ml 以上 |
| ⑥ ヒ素化合物溶液 | A s 10 mg / 1,000 ml 以上 |
| ⑦ フッ素化合物溶液 | F 100 mg / 1,000 ml 以上 |
| ⑧ 有機リン化合物溶液 | 有機リン 10 mg / 1,000 ml 以上 |
| ⑨ 写真用現像液 | 使用済みのもの全量 |
| II . 廃油 | 使用済みのもの全量 |
| III . 廃有機溶剤 | 使用済みのもの全量 |

* pHやCODなどの生活関連項目は、排液量が日量 50m³/日以下の施設では規制対象外であるが、シアン化合物、水銀、6価クロムなどの健康項目は規制対象となる。

4. 安全上の注意

化学薬品には条件により発火や爆発を起こしたり、吸入や接触により人体に有害な作用を持つものがある。化学分析にはこれら薬品やガラス器具、機器など種々のものを使用するが、その扱いを誤ると事故につながる危険性がある。このため、以下の点に十分留意して分析を行う。

(1) 薬品の購入

薬品は分析の年間計画などに従って計画的に購入する。保管などの安全管理面から必要以上の購入はしないようにし、特に変質や吸湿しやすい薬品は買いだめをしない。購入年月日を必ずラベルに記入しておく。

また、ラベルのない容器に入った薬品類は、使用した本人以外には内容物が不明であり、廃棄が困難となるため、薬品類には必ずその物質名を書いたラベルを貼っておく。

(2) 薬品の保管

化学薬品は実験台などに放置せず、積み重ねないようにして薬品保管庫に保管する。薬品保管庫は壁や床に金具で固定したり、上下の棚を金具で止めるなどの措置をとる。また、中に保管する容器についても薬品箱に入れるなどして転倒しないようにする。

発火性や有毒性など危険性の高い薬品については、薬品棚の上段に保管すると落下の恐れがあるので、必要に応じて薬品箱などに保管する。また、可燃性の危険物は金属製など不燃性の薬品保管庫で保管する。

薬品を小分けにする場合は、購入したときと同じ保存状態で、一般に中ぶた付きの容器を用いて密閉保管する。

(3) 白衣、手袋の着用

酸やアルカリの試薬の作成や使用時には、試薬が飛散して皮膚や衣服を損傷する恐れがあるため、分析業務に際しては白衣を着用するとともに、試薬作成時には薄手のゴム手袋を使用することが望ましい。

第6 付表・資料

1. 原子量表

原子量表 (1991年) Ar (12C) = 1

| 元素名 | 元素記号 | 原子番号 | 原子量 | 元素名 | 元素記号 | 原子番号 | 原子量 |
|---------|------|------|---------------|---------|------|------|--------------|
| 水素 | H | 1 | 1.00794(7) | モリブデン | Mo | 42 | 95.94(1) |
| ヘリウム | He | 2 | 4.002602(2) | テクネチウム* | Tc | 43 | |
| リチウム | Li | 3 | 6.941(2) | ルテニウム | Ru | 44 | 101.07(2) |
| ベリリウム | Be | 4 | 9.012182(3) | ロジウム | Rh | 45 | 102.90550(3) |
| ホウ素 | B | 5 | 10.811(5) | パラジウム | Pd | 46 | 106.42(1) |
| 炭素 | C | 6 | 12.011(1) | 銀 | Ag | 47 | 107.8682(2) |
| 窒素 | N | 7 | 14.00674(7) | カドミウム | Cd | 48 | 112.411(8) |
| 酸素 | O | 8 | 15.9994(3) | インジウム | In | 49 | 114.818(3) |
| フッ素 | F | 9 | 18.9984032(9) | スズ | Sn | 50 | 118.710(7) |
| ネオン | Ne | 10 | 20.1797(6) | アンチモン | Sb | 51 | 121.757(3) |
| ナトリウム | Na | 11 | 22.989768(6) | テルル | Te | 52 | 127.60(3) |
| マグネシウム | Mg | 12 | 24.3050(6) | ヨウ素 | I | 53 | 126.90447(3) |
| アルミニウム | Al | 13 | 26.981539(5) | キセノン | Xe | 54 | 131.29(2) |
| ケイ素 | Si | 14 | 28.0855(3) | セシウム | Cs | 55 | 132.90543(5) |
| リン | P | 15 | 30.973762(4) | バリウム | Ba | 56 | 137.327(7) |
| 硫黄 | S | 16 | 32.066(6) | ランタン | La | 57 | 138.9055(2) |
| 塩素 | Cl | 17 | 35.4527(9) | セリウム | Ce | 58 | 140.115(4) |
| アルゴン | Ar | 18 | 39.948(1) | プラセオジウム | Pr | 59 | 140.90765(3) |
| カリウム | K | 19 | 39.0983(1) | ネオジウム | Nd | 60 | 144.24(3) |
| カルシウム | Ca | 20 | 40.078(4) | プロメチウム* | Pm | 61 | |
| スカンジウム | Sc | 21 | 44.955910(9) | サマリウム | Sm | 62 | 150.36(3) |
| チタン | Ti | 22 | 47.88(3) | ユウロピウム | Eu | 63 | 151.965(9) |
| バナジウム | V | 23 | 50.9415(1) | ガドリニウム | Gd | 64 | 157.25(3) |
| クロム | Cr | 24 | 51.9961(6) | テルビウム | Tb | 65 | 158.92534(3) |
| マンガン | Mn | 25 | 54.93805(1) | ジスプロシウム | Dy | 66 | 162.50(3) |
| 鉄 | Fe | 26 | 55.847(3) | ホルミウム | Ho | 67 | 164.93032(3) |
| コバルト | Co | 27 | 58.93320(1) | エルビウム | Er | 68 | 167.26(3) |
| ニッケル | Ni | 28 | 58.6934(2) | ツリウム | Tm | 69 | 168.93421(3) |
| 銅 | Cu | 29 | 63.546(3) | イッテルビウム | Yb | 70 | 173.04(3) |
| 亜鉛 | Zn | 30 | 65.39(2) | ルテチウム | Lu | 71 | 174.967(1) |
| ガリウム | Ga | 31 | 69.723(4) | ハフニウム | Hf | 72 | 178.49(2) |
| ゲルマニウム | Ge | 32 | 72.61(2) | タンタル | Ta | 73 | 180.9479(1) |
| ヒ素 | As | 33 | 74.92159(2) | タングステン | W | 74 | 183.84(1) |
| セレン | Se | 34 | 78.96(3) | レニウム | Re | 75 | 186.207(1) |
| 臭素 | Br | 35 | 79.904(1) | オスミウム | Os | 76 | 190.23(3) |
| クリプトン | Kr | 36 | 83.80(1) | イリジウム | Ir | 77 | 192.22(3) |
| ルビジウム | Rb | 37 | 85.4678(3) | 白金 | Pt | 78 | 195.08(3) |
| ストロンチウム | Sr | 38 | 87.62(1) | 金 | Au | 79 | 196.96654(3) |
| イットリウム | Y | 39 | 88.90585(2) | 水銀 | Hg | 80 | 200.59(3) |
| ジルコニウム | Zr | 40 | 91.224(2) | タリウム | Tl | 81 | 204.3833(2) |
| ニオブ | Nb | 41 | 92.90638(2) | 鉛 | Pb | 82 | 207.2(1) |

2. 係数・逆数表

| 元素 | 定量元素 | 係 数 | 逆 数 | 元素 | 定量元素 | 係 数 | 逆 数 | |
|---------------------------------------|---|--------|--------------------------------|---|---------------------------------------|---|--------|--------|
| Al | AlCl ₃ | 0.2024 | 4.9419 | Cl | AgCl | 0.2474 | 4.0426 | |
| | Al ₂ O ₃ | 0.5293 | 1.8895 | | AlCl ₃ | 0.7976 | 1.2537 | |
| | AlPO ₄ | 0.2212 | 4.5199 | | BaCl ₂ | 0.3405 | 2.9368 | |
| | Al ₂ (SO ₄) ₃ | 0.1577 | 6.3405 | | BaCl ₂ · 2H ₂ O | 0.2903 | 3.4449 | |
| As | AsH ₃ | 0.9612 | 1.0404 | | CaCl ₂ | 0.6389 | 1.5652 | |
| | As ₂ O ₃ | 0.7574 | 1.3203 | | CaCl ₂ · 2H ₂ O | 0.4823 | 2.0734 | |
| | As ₂ O ₅ | 0.6519 | 1.5339 | | CaCl ₂ · 8H ₂ O | 0.3237 | 3.0897 | |
| | As ₂ S ₃ | 0.6090 | 1.6420 | | FeCl ₂ | 0.5594 | 1.7876 | |
| B | BF ₃ | 0.1594 | 6.2720 | | FeCl ₃ | 0.6557 | 1.5251 | |
| | B ₂ O ₃ | 0.3106 | 3.2199 | | HCl | 0.9724 | 1.0284 | |
| | H ₃ BO ₃ | 0.1748 | 5.7195 | | KCl | 0.4756 | 2.1028 | |
| | Na ₂ B ₄ O ₄ | 0.2149 | 4.6531 | | MgCl ₂ | 0.7447 | 1.3428 | |
| | Na ₂ B ₄ O ₄ · 10H ₂ O | 0.1134 | 8.8191 | | MnCl ₂ | 0.5634 | 1.7748 | |
| Ba | BaCl ₂ | 0.6595 | 1.5163 | | NH ₄ Cl | 0.6628 | 1.5088 | |
| | BaCl ₂ · 4H ₂ O | 0.5622 | 1.7787 | | NaCl | 0.6066 | 1.6485 | |
| | BaO | 0.8957 | 1.1165 | | Cr | Cr ₂ O ₃ | 0.6842 | 1.4616 |
| | BaSO ₄ | 0.5884 | 1.6995 | | | Cr ₂ (SO ₄) ₃ | 0.2652 | 3.7713 |
| C | BaCO ₃ | 0.0609 | 16.4299 | | | K ₂ CrO ₄ | 0.2678 | 3.7347 |
| | CO ₂ | 0.2729 | 3.6641 | K ₂ Cr ₂ O ₇ | | 0.3535 | 2.8289 | |
| | CO(NH ₂) ₂ | 0.2000 | 5.0000 | Cu | CuO | 0.7989 | 1.2518 | |
| | CaCO ₃ | 0.1200 | 8.3330 | | CuSO ₄ · 5H ₂ O | 0.2545 | 3.9292 | |
| | K ₂ CO ₃ | 0.0869 | 11.5066 | F | BF ₃ | 0.8406 | 1.1897 | |
| | KHCO ₃ | 0.1200 | 8.3353 | | CaF ₂ | 0.4867 | 2.0548 | |
| | MgCO ₃ | 0.1425 | 7.0197 | | HF | 0.9496 | 1.0531 | |
| | (NH ₄) ₂ CO ₃ | 0.1250 | 7.9998 | | KF | 0.3270 | 3.0580 | |
| | Na ₂ CO ₃ | 0.1133 | 8.8243 | | NaF | 0.4525 | 2.2101 | |
| | NaHCO ₃ | 0.1430 | 6.9942 | | SiF ₄ | 0.7302 | 1.3696 | |
| Ca | CaCN ₂ | 0.5003 | 1.9987 | H ₂ SiF ₆ | 0.7911 | 1.2641 | | |
| | CaCO ₃ | 0.4004 | 2.4973 | K ₂ SiF ₆ | 0.5175 | 1.9324 | | |
| | CaC ₂ O ₄ · H ₂ O | 0.2743 | 3.6457 | Na ₂ SiF ₆ | 0.6062 | 1.6497 | | |
| | CaCl ₂ | 0.3611 | 2.7692 | Fe | FeCl ₂ | 0.4406 | 2.2696 | |
| | CaCl ₂ · 2H ₂ O | 0.2726 | 3.6682 | | FeCl ₃ | 0.3443 | 2.9045 | |
| | CaCl ₂ · 8H ₂ O | 0.1829 | 5.4662 | | FeO | 0.7773 | 1.2865 | |
| | CaF ₂ | 0.5133 | 1.9481 | | Fe ₂ O ₃ | 0.6994 | 1.4297 | |
| | Ca(NO ₃) ₂ | 0.2442 | 4.0942 | | FePO ₄ | 0.3703 | 2.7006 | |
| | Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O | 0.1697 | 5.8922 | | FeSO ₄ | 0.3676 | 2.7201 | |
| | CaO | 0.7147 | 1.3992 | Fe ₂ (SO ₄) ₃ | 0.2793 | 3.5802 | | |
| | Ca(OH) ₂ | 0.5409 | 1.8487 | K | K ₂ CO ₃ | 0.5658 | 1.7674 | |
| | Ca ₃ (PO ₄) ₂ | 0.3876 | 2.5798 | | KHCO ₃ | 0.3905 | 2.5606 | |
| | CaHPO ₄ | 0.2946 | 3.3948 | | KCl | 0.5244 | 1.9068 | |
| | CaHPO ₄ · 2H ₂ O | 0.2329 | 4.2938 | | KClO ₄ | 0.2822 | 3.5436 | |
| | CaH ₄ (PO ₄) ₂ | 0.1712 | 5.8399 | | KNO ₃ | 0.3867 | 2.5859 | |
| | CaH ₄ (PO ₄) ₂ · H ₂ O | 0.1590 | 6.2894 | | K ₂ O | 0.8301 | 1.2046 | |
| | CaSO ₄ | 0.2944 | 3.3969 | | KOH | 0.6969 | 1.4350 | |
| CaSO ₄ · 2H ₂ O | 0.2328 | 4.2959 | K ₃ PO ₄ | | 0.5526 | 1.8097 | | |

| 元素 | 定量元素 | 系数 | 逆数 | 元素 | 定量元素 | 系数 | 逆数 |
|----------------------|----------------------------------|---------|----------|-----------------|----------------------------|---------|---------|
| K | K_2HPO_4 | 0.4490 | 2.2274 | N | $C_2H_8N_4O$ | 0.5488 | 1.8223 |
| | KH_2PO_4 | 0.2873 | 3.4806 | | $C_2H_8N_4O \cdot H_3PO_4$ | 0.28 | 3.5713 |
| | $K_4P_2O_7$ | 0.4734 | 2.1122 | | $CaCN_2$ | 0.3497 | 2.8594 |
| | KPO_3 | 0.3311 | 3.0198 | | $Ca(NO_3)_2$ | 0.1707 | 5.8575 |
| | K_2SO_4 | 0.4487 | 2.2285 | | $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ | 0.1186 | 8.4299 |
| | $KHSO_4$ | 0.2871 | 3.4828 | | HNO_2 | 0.2979 | 3.3565 |
| Mg | $MgCO_3$ | 0.2883 | 3.4690 | | HNO_3 | 0.2223 | 4.4988 |
| | $MgCl_2$ | 0.2553 | 3.9173 | | KNO_3 | 0.1385 | 7.2182 |
| | $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ | 0.1196 | 8.3647 | | $MgNH_4PO_4$ | 0.102 | 9.8035 |
| | MgO | 0.6030 | 1.6583 | | $MgNH_4PO_4 \cdot 8H_2O$ | 0.05708 | 17.5207 |
| | $Mg(OH)_2$ | 0.4168 | 2.3995 | | NH_3 | 0.8224 | 1.2159 |
| | $Mg_3(PO_4)_2$ | 0.2774 | 3.6050 | | $NH_4CH_3 \cdot CO_2$ | 0.1817 | 5.5033 |
| | $MgHPO_4$ | 0.2021 | 4.9490 | | $(NH_4)_2CO_3$ | 0.2915 | 3.43 |
| | $MgHPO_4 \cdot 7H_2O$ | 0.0986 | 10.1375 | | NH_4Cl | 0.2618 | 3.819 |
| | $MgH_4(PO_4)_2$ | 0.1113 | 8.9808 | | NH_4NO_3 | 0.35 | 2.8573 |
| | $MgH_4(PO_4)_2 \cdot 3H_2O$ | 0.0893 | 11.2045 | | NH_4OH | 0.3997 | 2.5021 |
| | $MgNH_4PO_4$ | 0.1770 | 5.6497 | | $(NH_4)_3PO_4$ | 0.2818 | 3.548 |
| | $MgNH_4PO_4 \cdot H_2O$ | 0.1565 | 6.3909 | | $(NH_4)_2HPO_4$ | 0.2121 | 4.714 |
| | $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$ | 0.0990 | 10.0970 | | $NH_4H_2PO_4$ | 0.1218 | 8.2122 |
| | $Mg_2P_2O_7$ | 0.2184 | 4.5783 | | $(NH_4)_2SO_4$ | 0.212 | 4.717 |
| | $Mg(PO_3)_2$ | 0.1334 | 7.4984 | | NH_4HSO_4 | 0.1217 | 8.2182 |
| $MgSO_4$ | 0.2019 | 4.9524 | $NaNO_2$ | 0.203 | 4.9259 | | |
| $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ | 0.0986 | 10.1409 | $NaNO_3$ | 0.1648 | 6.0681 | | |
| Mn | $MnCO_3$ | 0.4779 | 2.0923 | Na | $NaCO_3$ | 0.4338 | 2.3051 |
| | $MnCl_2$ | 0.4366 | 2.2907 | | $NaHCO_3$ | 0.2737 | 3.6541 |
| | $MnCl_2 \cdot 4H_2O$ | 0.2776 | 3.6023 | | $NaCl$ | 0.3934 | 2.5421 |
| | MnO | 0.7745 | 1.2912 | | $NaNO_3$ | 0.2705 | 3.6971 |
| | MnO_2 | 0.6319 | 1.5825 | | Na_2O | 0.7419 | 1.348 |
| | Mn_2O_3 | 0.696 | 1.4368 | | $NaOH$ | 0.5748 | 1.7398 |
| | Mn_3O_4 | 0.7203 | 1.3883 | | Na_3PO_4 | 0.4207 | 2.377 |
| | $Mn_2P_2O_4$ | 0.3871 | 2.5831 | | Na_2HPO_4 | 0.3239 | 3.0874 |
| | $MnSO_4$ | 0.3638 | 2.7486 | | NaH_2PO_4 | 0.1916 | 5.2187 |
| | $MnSO_4 \cdot 4H_2O$ | 0.2463 | 4.0603 | | $Na_4P_2O_4$ | 0.3458 | 2.8915 |
| | $HMnO_4$ | 0.458 | 2.1833 | $Na_5P_3O_{10}$ | 0.3125 | 3.2002 | |
| $KMnO_4$ | 0.3476 | 2.8766 | $NaPO_3$ | 0.2255 | 4.4351 | | |
| Mo | MoO_3 | 0.6665 | 1.5003 | Na_2SO_4 | 0.3237 | 3.0893 | |
| | $(NH_4)_8Mo_4O_{24} \cdot 4H_2O$ | 0.5434 | 1.8402 | Ni | $Ni(NO_3)_2$ | 0.3212 | 3.1130 |
| | Na_2MoO_4 | 0.4659 | 2.1463 | | $Ni(NO_3)_2 \cdot 8H_2O$ | 0.2018 | 4.9547 |
| | $Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$ | 0.3965 | 2.5219 | | NiO | 0.7858 | 1.2726 |
| N | $CN \cdot NH_2$ | 0.6663 | 1.5007 | P | P_2O_5 | 0.4364 | 2.2914 |
| | $CNH(NH_2)_2$ | 0.7114 | 1.4058 | | PO_4 | 0.3261 | 3.0662 |
| | $CO(NH_2)_2$ | 0.4665 | 2.1438 | | $AlPO_4$ | 0.2540 | 3.9373 |
| | $CS(NH_2)_2$ | 0.368 | 2.7171 | | $C_2H_6N_4O \cdot H_3PO_4$ | 0.1548 | 6.4600 |
| | $(CN \cdot NH_2)_2$ | 0.6663 | 1.5007 | | $Ca_3(PO_4)_2$ | 0.1997 | 5.0071 |
| | $(CO \cdot NH_2)_2NH$ | 0.4076 | 2.4531 | | $CaHPO_4$ | 0.2277 | 4.3927 |
| | $(CO \cdot NH_2)_2NH \cdot H_2O$ | 0.347 | 2.8819 | | | | |

| 元素 | 定量元素 | 系数 | 逆数 | 元素 | 定量元素 | 系数 | 逆数 | |
|--|--|---------|---------|-------------------|---|---------------------|--------|--------|
| P | CaHPO ₄ · 2H ₂ O | 0.1800 | 5.5559 | S | SO ₂ | 0.5005 | 1.9979 | |
| | CaH ₄ (PO ₄) ₂ | 0.2647 | 3.7782 | | SO ₃ | 0.4005 | 2.4969 | |
| | CaH ₄ (PO ₄) ₂ · H ₂ O | 0.2458 | 4.0691 | | Al ₂ (SO ₄) ₃ | 0.2812 | 3.5568 | |
| | Ca ₂ P ₂ O ₄ | 0.2438 | 4.1018 | | BaSO ₄ | 0.1374 | 7.2785 | |
| | Ca(PO ₃) ₂ | 0.3128 | 3.1966 | | CaSO ₄ | 0.2355 | 4.2457 | |
| | FePO ₄ | 0.2054 | 4.8692 | | FeSO ₄ | 0.2111 | 4.7374 | |
| | Fe ₃ (PO ₄) ₂ | 0.1733 | 5.7708 | | Fe ₂ (SO ₄) ₃ | 0.2406 | 4.1569 | |
| | H ₃ PO ₄ | 0.3161 | 3.1638 | | H ₂ SO ₃ | 0.3907 | 2.5597 | |
| | H ₄ P ₂ O ₄ | 0.3481 | 2.8730 | | H ₂ SO ₄ | 0.3269 | 3.0587 | |
| | H ₅ P ₃ O ₁₀ | 0.3602 | 2.7761 | | K ₂ SO ₄ | 0.1840 | 5.4344 | |
| | HPO ₃ | 0.3873 | 2.5822 | | KHSO ₄ | 0.2355 | 4.2465 | |
| | K ₃ PO ₄ | 0.1459 | 6.8531 | | MgSO ₄ | 0.2664 | 3.7538 | |
| | K ₂ HPO ₄ | 0.1778 | 5.6233 | | MnSO ₄ | 0.2124 | 4.7091 | |
| | KH ₂ PO ₄ | 0.2276 | 4.3936 | | (NH ₄) ₂ SO ₄ | 0.2427 | 4.1209 | |
| | K ₄ P ₂ O ₄ | 0.1875 | 5.3325 | | NH ₄ HSO ₄ | 0.2786 | 3.5899 | |
| | KPO ₃ | 0.2623 | 3.8119 | | Na ₂ SO ₄ | 0.2257 | 4.4297 | |
| | Mg ₃ (PO ₄) ₂ | 0.2357 | 4.2432 | Si | SiF ₄ | 0.2698 | 3.7058 | |
| | MgHPO ₄ | 0.2575 | 3.8834 | | H ₂ SiF ₈ | 0.1949 | 5.1305 | |
| | MgHPO ₄ · 4H ₂ O | 0.1257 | 7.9548 | | K ₂ SiF ₈ | 0.1275 | 7.8429 | |
| | MgH ₄ (PO ₄) ₂ | 0.2838 | 3.5236 | | Na ₂ SiF ₈ | 0.1493 | 6.6958 | |
| | MgH ₄ (PO ₄) ₂ · 3H ₂ O | 0.2275 | 4.3961 | | SiO ₂ | 0.4674 | 2.1393 | |
| | MgNH ₄ PO ₄ | 0.2256 | 4.4333 | | H ₂ SiO ₃ | 0.3596 | 2.7808 | |
| | MgNH ₄ PO ₄ · 8H ₂ O | 0.1262 | 7.9230 | | H ₄ SiO ₄ | 0.2922 | 3.4222 | |
| | Mg ₂ P ₂ O ₄ | 0.2783 | 3.5926 | | Na ₂ SiO ₃ | 0.2301 | 4.3461 | |
| | Mg(PO ₃) ₂ | 0.3399 | 2.9420 | | Na ₄ SiO ₄ | 0.1526 | 6.5529 | |
| | Mn ₂ P ₂ O ₄ | 0.2183 | 4.5816 | | Zn | ZnO | 0.8034 | 1.2447 |
| | (NH ₄) ₃ PO ₄ | 0.2078 | 4.8133 | | | Zn(OH) ₂ | 0.6578 | 1.5202 |
| | (NH ₄) ₃ PO ₄ · 3H ₂ O | 0.1525 | 6.5582 | ZnSO ₄ | | 0.4050 | 2.4691 | |
| | (NH ₄) ₂ HPO ₄ | 0.2346 | 4.2635 | | | | | |
| | NH ₄ H ₂ PO ₄ | 0.2693 | 3.7137 | | | | | |
| | (NH ₄) ₄ BO ₇ | 0.2517 | 3.9727 | | | | | |
| | NH ₄ PO ₃ | 0.3193 | 3.1320 | | | | | |
| | (NH ₄) ₃ PO ₄ · 12MoO ₃ | 0.01651 | 60.5785 | | | | | |
| | Na ₃ PO ₄ | 0.1889 | 5.2929 | | | | | |
| | Na ₃ PO ₄ · 12H ₂ O | 0.08148 | 12.2725 | | | | | |
| | Na ₂ HPO ₄ | 0.2182 | 4.5832 | | | | | |
| | Na ₂ HPO ₄ · 2H ₂ O | 0.1740 | 5.7465 | | | | | |
| | Na ₂ HPO ₄ · 12H ₂ O | 0.08648 | 11.5628 | | | | | |
| | NaH ₂ PO ₄ | 0.2582 | 3.8735 | | | | | |
| | NaH ₂ PO ₄ · H ₂ O | 0.2245 | 4.4551 | | | | | |
| | NaH ₂ PO ₄ · 2H ₂ O | 0.1985 | 5.0368 | | | | | |
| Na ₄ P ₂ O ₄ | 0.2330 | 4.2924 | | | | | | |
| Na ₅ P ₃ O ₁₀ | 0.2526 | 3.9589 | | | | | | |
| NaPO ₃ | 0.3038 | 3.2919 | | | | | | |
| Pb | Pb(NO ₃) ₂ | 0.6256 | 1.5985 | | | | | |
| | PbO | 0.9283 | 1.0772 | | | | | |

3. 代表物質のg分子、g当量およびモル、規定の関係

| 種類 | 物質 | 分子式 | 1g分子 | 1g当量 | モル (M) と規定 (N) の関係 |
|---------|--------------------------------|---|-------|-------|--------------------|
| 酸 | 塩酸 | HCl | 36.5 | 36.5 | 1M=1N |
| | 硝酸 | HNO ₃ | 63.0 | 63.0 | |
| | 硫酸 | H ₂ SO ₄ | 98.1 | 49.1 | 1M=2N |
| | 炭酸 | H ₂ CO ₃ | 62.0 | 31.0 | |
| | りん酸 | H ₃ PO ₄ | 98.0 | 32.7 | 1M=3N |
| アルカリ | 水酸化ナトリウム | NaOH | 40.0 | 40.0 | 1M=1N |
| | 水酸化カリウム | KOH | 56.1 | 56.1 | |
| | アンモニア水 | NH ₄ OH | 35.0 | 35.0 | |
| | 水酸化カルシウム | Ca(OH) ₂ | 74.1 | 37.1 | 1M=2N |
| 塩 | 塩化ナトリウム | NaCl | 58.4 | 58.4 | 1M=1N |
| | 塩化カリウム | KCl | 74.6 | 74.6 | |
| | 塩化アンモニウム | NH ₄ Cl | 53.5 | 53.5 | |
| | 硝酸カリウム | KNO ₃ | 101.1 | 101.1 | |
| | 硝酸アンモニウム | NH ₄ NO ₃ | 80.0 | 80.0 | |
| | 酢酸アンモニウム | CH ₃ COONH ₄ | 77.1 | 77.1 | |
| | 硫酸ナトリウム | Na ₂ SO ₄ | 142.0 | 71.0 | 1M=2N |
| | 硫酸カリウム | K ₂ SO ₄ | 174.3 | 87.2 | |
| | 硫酸アンモニウム | (NH ₄) ₂ SO ₄ | 132.1 | 66.1 | |
| | 硝酸カルシウム | Ca(NO ₃) ₂ | 164.1 | 82.1 | |
| | 炭酸ナトリウム | Na ₂ CO ₃ | 106.0 | 53.0 | |
| | りん酸ナトリウム | Na ₃ PO ₄ | 164.0 | 54.7 | 1M=3N |
| りん酸カリウム | K ₃ PO ₄ | 212.3 | 70.8 | | |

4. 試薬の濃度

| 試薬 | 比重 | % (重量) | g / L | 規定度 (N) |
|---------------------------------------|------|--------|-------|---------|
| 氷酢酸 [CH ₃ COOH] | 1.05 | 99.0< | 1,042 | 17.4 |
| 塩酸 [HCl] | 1.19 | 37.23 | 443 | 12.2 |
| 過塩素酸 [HClO ₄] | 1.54 | 60.00 | 924 | 9.2 |
| 硝酸 [HNO ₃] | 1.40 | 65.30 | 914 | 14.5 |
| りん酸 [H ₃ PO ₄] | 1.70 | 84.72 | 1,445 | 44.2 |
| 硫酸 [H ₂ SO ₄] | 1.84 | 95.60 | 1,759 | 35.9 |
| アンモニア水 [NH ₄ OH] | 0.90 | 28.33* | 255* | 15.0 |

* NH₄として

5. 培養液等の単位の変換方法

| 単位の変換 | 成 分 | | | | | | |
|----------|--------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | NH ₄ -N | NO ₃ -N | P | K | Ca | Mg | S |
| 元素→ 酸化物 | | | ×2.29 | ×1.20 | ×1.40 | ×1.66 | ×2.50 |
| 酸化物→ 元素 | | | /2.29 | /1.20 | /1.40 | /1.66 | /2.50 |
| mM → me | ×1 | ×1 | ×3 | ×1 | ×2 | ×2 | ×2 |
| mM → ppm | ×14 | ×14 | ×31.0 | ×39.1 | ×40.1 | ×24.3 | ×32.1 |
| me → mM | /1 | /1 | /3 | /1 | /2 | /2 | /2 |
| me → ppm | ×14 | ×14 | ×10.3 | ×39.1 | ×20.0 | ×12.2 | ×16.0 |
| ppm → mM | /14 | /14 | /31.0 | /39.1 | /40.1 | /24.3 | /32.1 |
| ppm → me | /14 | /14 | /10.3 | /39.1 | /20.0 | /12.2 | /16.0 |

6. pH 標準溶液(緩衝溶液)

| 標準液の略称 | PHの値 | 調製法 |
|------------|------|--|
| フタル酸塩標準溶液 | 4.01 | 0.05molフタル酸水素カリウムC ₆ H ₄ (COOK)COOH水溶液 |
| 中性リン酸塩標準溶液 | 6.86 | リン酸二水素カリウムKH ₂ PO ₄ 0.025molとリン酸水素ニナトリウムNa ₂ HPO ₄ ・2H ₂ O 0.025molを水で溶かして1,000mlにする。 |
| ホウ酸塩標準溶液 | 9.18 | 0.01mol四ホウ酸ナトリウムNa ₂ B ₄ O ₇ 水溶液 |

7. 酸・塩基指示薬

| 指示薬 | PKa (20℃) | 変色pH | 酸性側 | アルカリ側 | 調整方法 |
|-----------------|-----------|----------|-----|-------|------------------|
| チモールブルー (酸性側) | 1.65 | 1.2~2.8 | 赤 | 黄 | 0.1%の20%エタノール水溶液 |
| メチルオレンジ | 3.46 | 3.1~4.4 | 赤 | 黄 | 0.1%の水溶液 |
| メチルレッド | 5.00 | 4.4~6.2 | 赤 | 黄 | 0.1%のエタノール溶液 |
| ブロムチモールブルー | 7.30 | 6.0~7.6 | 黄 | 青 | 0.1%の20%エタノール水溶液 |
| フェノールレッド | 8.00 | 6.8~8.4 | 黄 | 赤 | 0.1%の20%エタノール水溶液 |
| チモールブルー (アルカリ側) | 9.20 | 8.0~9.68 | 黄 | 青 | 0.1%の20%エタノール水溶液 |
| フェノールフタレイン | ~9.7 | 3~10.0 | 無 | 赤 | 1%のエタノール溶液 |
| チモールフタレイン | 9.7 | 9.3~10.5 | 黄 | 青 | 0.1%のエタノール溶液 |

8. 作物に欠乏症または過剰症の出る各要素の土壌中含有量（高橋ら）

| 要素名 | | 欠乏症のでやすい含量 | 健全土壌の含量 | 過剰症のでやすい含量 |
|--------|--------|--------------------------|-------------|-------------------|
| 窒素 | 硝酸態 | 0.5mg以下 | 3～8mg | 砂質土10mg、粘質土20mg以上 |
| | アンモニア態 | 2.5mg以下 | 5～15mg | 20mg以上 |
| リン酸 | 有効態 | 8～20mg以下 | 30～100mg | 300～500mg以上 |
| カリ | 交換性 | 10mg以下 (野菜は10～20mg以下) | 15～20mg | 30～40mg以上 |
| カルシウム | 交換性 | 100mg以下 | 200～400mg | 500mg以上 |
| マグネシウム | 交換性 | 10～15mg以下 | 25～50mg | |
| ケイ酸 | 有効態 | 10mg以下 | 15mg以上 | 過剰症なし |
| ホウ素 | 有効態 | 0.4ppm以下 | 0.8～2.0ppm | 7ppm以上 |
| マンガン | 易還元性 | 50～60ppm以下 | 100～250ppm | 300ppm以上 |
| | 交換性 | 2～3ppm以下 | 4～8ppm | 10ppm以上 |
| 鉄 | 交換性 | 4～8ppm以下 | 8～10ppm | |
| 亜鉛 | 可溶性 | 4ppm以下 | 8～40ppm | 100ppm以上 |
| 銅 | 可溶性 | 0.5ppm以下 | 0.8～1.5ppm | 5ppm以上 |
| モリブデン | 有効態 | 0.03ppm以下 | 0.05～0.4ppm | |

- 注) 1. 多量要素は乾土 100g 中 mg、微量元素は乾土 1,000g 中 mg
 2. 上記の数字はだいたいの目安であり、実際には高い含有量でも過剰害がおきない場合がある。
 3. とくにリン酸の場合は、作物の種類によって著しく異なるほか、栽培様式によって大幅に変動する。また、地域差（温度の高低）による相違も大きい。

9. アレニウス氏表による酸性矯正炭酸カルシウム施用量

〔矯正目標 pH6.5 (H₂O) に要する 10a 当たり kg、深さ 10cm〕 (kg/10a)

| 土性 | 腐植 | pH | 4.0 | 4.2 | 4.4 | 4.6 | 4.8 | 5.0 | 5.2 | 5.4 | 5.6 | 5.8 | 6.0 | 6.2 | 6.4 |
|-----|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 砂 | 含む | | 424 | 390 | 356 | 323 | 289 | 255 | 221 | 188 | 154 | 120 | 86 | 53 | 15 |
| | 含む | | 634 | 581 | 533 | 480 | 431 | 379 | 330 | 278 | 229 | 176 | 128 | 75 | 26 |
| | すこぶる含む | | 986 | 908 | 829 | 750 | 671 | 593 | 514 | 435 | 356 | 278 | 199 | 120 | 41 |
| 壤 | 含む | | 634 | 581 | 533 | 480 | 431 | 379 | 330 | 278 | 229 | 176 | 128 | 75 | 26 |
| | 含む | | 844 | 776 | 709 | 641 | 574 | 506 | 439 | 371 | 304 | 236 | 169 | 101 | 34 |
| | すこぶる含む | | 1,268 | 1,166 | 1,065 | 964 | 863 | 761 | 660 | 559 | 458 | 356 | 255 | 154 | 53 |
| 土 | 含む | | 844 | 776 | 709 | 641 | 574 | 506 | 439 | 371 | 304 | 236 | 169 | 101 | 34 |
| | 含む | | 1,054 | 971 | 885 | 803 | 716 | 634 | 548 | 465 | 379 | 296 | 210 | 128 | 41 |
| | すこぶる含む | | 1,549 | 1,425 | 1,301 | 1,178 | 1,054 | 930 | 806 | 683 | 559 | 435 | 315 | 188 | 64 |
| 埴 | 含む | | 1,054 | 971 | 885 | 803 | 716 | 634 | 548 | 465 | 379 | 296 | 210 | 128 | 41 |
| | 含む | | 1,268 | 1,166 | 1,065 | 964 | 863 | 761 | 660 | 559 | 458 | 356 | 255 | 154 | 53 |
| | すこぶる含む | | 1,830 | 1,684 | 1,538 | 1,391 | 1,245 | 1,099 | 953 | 806 | 660 | 514 | 368 | 221 | 75 |
| 腐植土 | | 2,063 | 1,898 | 1,733 | 1,568 | 1,403 | 1,238 | 1,073 | 908 | 743 | 570 | 413 | 248 | 83 | |

注) 消石灰使用の際は 0.74 を掛けた量を施用する。火山灰土のばあいは普通土壌 (鉱質土壌) より比重が小さいので、この量より 30% くらいを減じたほうがよい。

主な訂正と追記箇所

2 ページ 水分に乾土係数を加えました。

10 ページ以降 旧版の計算式は乾土率を用いたが、改定版では乾土係数を用いた。

旧版 = (計算式・・・) ÷ 乾土率

改訂版 = (計算式・・・) × 乾土係数

16 ページ 計算式の修正 (11. 陽イオン交換容量 (CEC) の測定—ホルモル法)

誤り $CEC \text{ (meq/乾土 100g)} = N \times f \times (S - B) \times 100 / 8 \times 100 / 25 \div \text{乾土率}$

訂正 $CEC \text{ (meq/乾土 100g)} = N \times f \times (S - B) \times 1 / 10 \times 100 / 8g \times 100g \times \text{乾土係数}$

22 ページ 計算式の追加 (13. 腐植・炭素)

追加 $\text{炭素}\% = \text{測定値}\% \times \text{乾土係数}$

$\text{腐植}\% = \text{炭素}\% \times 1.724$

26 ページ 追記 (15. リン酸吸収係数)

追記 リン酸吸収係数 (固定された P205 mg/土 100g) = $2,687 \times (1 - X_{\text{ppm}} / A_{\text{ppm}})$

追記 「(5) 補足」で標準法との違いを記載しました。

31 ページ 計算式の修正 (17. 可給態珪酸 B 酢酸緩衝液浸出法)

誤り = 測定 Si 濃度 (ppm) × 15ml / 5ml × $60\text{ml} / 10\text{g}$ × 100g × 1,000 / 1,000,000 × SiO₂ / Si (2.14)

訂正 = 測定 Si 濃度 (ppm) × 15ml / 5ml × $50\text{ml} / 5\text{g}$ × 100g × 1,000 / 1,000,000 × SiO₂ / Si (2.14) × 乾土係数

33 ページ 数字の訂正 (B オルトフェナントロリンによる比色法)

誤り 2) 発色・吸光度測定 (Fe₂O₃ として 5.1%まで測定可能)

訂正 2) 発色・吸光度測定 (Fe₂O₃ として 5.7%まで測定可能)

39 ページ 計算式の修正と記号の変更 (21. アンモニア態窒素 (インドフェノール法))

誤り = 検液中のアンモニア態窒素濃度 ppm × $10 / A$ × 100 / 10g × 100g × 1,000 / 1,000,000

訂正 = 検液中のアンモニア態窒素濃度 ppm × $(10 + \alpha) / \alpha$ × 100 / 10g × 100g × 1,000 / 1,000,000 × 乾土係数