

### 3 化学性の改善

#### (1) 酸性の改良 (pH)

##### ア 土壤酸性

土壤の酸性を表すのに、pHと酸度があり、pHは土壤酸性の強さを表し、酸度は土壤を酸性にする物質の全量を表す。pHは土壤の酸性の程度を、酸度は酸性矯正のための中和石灰量を知ることを目的としている。

##### (ア) pH

pHは土壤溶液中及び土壤の陰電荷に吸着している水素イオン(H<sup>+</sup>)の濃度を表し、pH7が中性であり、それより小さい値は酸性を、大きな値はアルカリ性を示している。

pHは土壤の化学性を特徴づける基本的な項目で、pHの違いにより土壤微生物の活動、土壤構成物質の形態変化、養分の有効性などが微妙に変わる。

pH(H <sub>2</sub> O)	区 分
>8.0	強アルカリ性
7.6~7.9	弱アルカリ性
7.3~7.5	微アルカリ性
6.6~7.2	中 性
6.0~6.5	微 酸 性
5.5~5.9	弱 酸 性
5.0~5.4	明 酸 性
4.5~4.9	強 酸 性
<4.4	極強酸性

##### (イ) 酸度 (Y<sub>1</sub>)

土壤溶液中に遊離している水素イオンなどの酸性物質と土壤粒子に吸着されている水素イオン及びアルミニウムイオンを中性の塩類で交換浸出した酸の量を示す。

なお、酸度には交換浸出する際に用いる中性の塩類の種類によって置換酸度(交換酸度)、と加水酸度に分けられる。

Y <sub>1</sub> 値	区 分
3以下	微 酸 性
3~6	弱 酸 性
6~15	強 酸 性
15以上	極強酸性

##### (ウ) 土壤酸性化の原因

土壤が酸性化する原因は次の4つがある。

##### a 雨水の土壤浸透に伴う塩基類の溶脱

雨水のpHは約5.7の弱酸性を呈しており、土壤中の交換性塩基が雨水中の水素イオンと交換流亡し、土壤が酸性化する。

##### b 生理的酸性肥料の多施用

生理的酸性肥料を施用すると、陽イオンは作物に養分として吸収されるか土壤中に保持される。しかし、陰イオンはあまり作物に吸収されずに、硫酸や塩酸などの強酸となって土壤中に残るので、土壤が酸性化する。

さらにアンモニウムイオンの一部は硝酸イオンに変わり水の浸透に伴って根系外へ流亡する。そのときカルシウムなど塩基もともに流亡するので土壤が酸性化しやすい。

##### c 有機物の分解に伴う有機酸の生成

未熟な有機物が分解するときに酢酸、酪酸、ギ酸、乳酸などの有機酸を生成するために土壤が、一時的に酸性化することがある。

##### d 酸性物質が土壤に入り込んだ場合

耕地造成、客土などの際にその土壤に硫化鉄が含まれていると、酸化されて硫酸が生成し、土壤が酸性化することがある(関連用語:硫酸酸性塩土壤)。

#### 生理的酸性肥料とは

化学的には中性であるが、植物に肥料成分が吸収された後に酸性の副成分が残るような肥料。

酸性副成分	肥料名
硫酸イオン	硫安、硫酸加里
塩素イオン	塩安、塩化加里

#### 硫酸酸性塩土壌

湖成、海成堆積物が陸上に出ることで、含有硫化物であるパイライト $\text{FeS}_2$ が酸化され酸化鉄 $\text{Fe}^{3+}$ と硫酸 $\text{SO}_4^{2-}$ に変化し、強酸性を呈する土壌。

### (エ) 土壌 pH 改良の目的

#### a 作物の生育と最適な pH

多くの作物は pH 6.0~6.5 の微酸性領域で生育がよいが、作物ごとに最適な pH は異なる。主な作物の最適 pH を (表 I-10-(8)-1) に示した。大部分の畑作物は pH 6.0~6.5 の微酸性領域で生育がよいが、なかにはほうれんそうやブドウのように微酸性~中性領域を好む作物もある。

#### b 作物に必要な養分の可給性に対する影響

植物必須元素のうち、塩素、ほう素、鉄、マンガン、亜鉛、銅、モリブデンを総称して微量元素と呼ぶ。多くの微量元素は pH が高くなると溶解度が低下するので作物にとって不足するようになる。しかし、モリブデンは土壌が酸性化すると作物に欠乏症があらわれる。(I 土壌の基礎知識 図 I-10-(7)-1 参照)

#### 低 pH と作物の生育

- ① 塩基性成分 (カルシウム、マグネシウム、カリウム) の欠乏
- ② 土壌中の硝酸化成作用の低下による窒素吸収抑制
- ③ アルミニウムイオンの過剰害
- ④ リン酸のアルミニウムによる固定とそれに伴うリン酸吸収の悪化
- ⑤ マンガン過剰障害
- ⑥ 水素イオン、アルミニウムイオンによる根への直接害
- ⑦ 土壌病害の発生 (アブラナ科作物の根こぶ病)

#### 高 pH と作物の生育

- ① リン酸のカルシウムとの結合とそれに伴う不可給化
- ② 鉄、マンガン、ほう素、亜鉛など微量元素の不可給化、欠乏症状の発生
- ③ 土壌病害の発生 (ばれいしょ：そうか病)

### イ 具体的改良方法

土壌の酸性化による各種生育障害を回避するため、まず、作物ごとの改良目標値を定め、その範囲内になるよう資材を施用する。

また、酸性改良にあたっては、pH が目標値に達していればいいというものではなく、塩基バランス (石灰/苦土比、苦土/カリ比) も重要である。よって、これらのバランスが崩れないよう資材を選択する。

(ア) 中和石灰量曲線（緩衝曲線法）

土壌には pH の変動に対して大なり小なりの緩衝能があつて、pH をある目標に上げるのに要する資材量は土壌によって異なる。したがつて、土壌にアルカリ資材を添加して pH を測定し、資材の添加量に応じた緩衝曲線を作成し、目標の pH に達するまでの資材量を計算する。

測定方法

【準備】 100ml 振とうビン、pH 計、天秤

【試薬】 炭酸カルシウム、純水

【方法】 100ml 振とうビンに土壌 10g を入れ、それぞれに炭酸カルシウムを 0, 10, 25, 50, 100, 200mg を添加し、純水 50ml を加えて 24 時間放置する。さらに 5 時間振とうした後、pH を測定する。

得られたデータをもとに中和緩衝曲線を描き、改良するために必要な炭酸カルシウム量を求める。

【参考】 本法の詳細は、「土壌および植物分析法の手引き (H11.3 新潟県農林水産部)」P24 を参照のこと

中和石灰量から求める資材施用量の計算式

$$\text{資材施用量 (kg/10a)} = \frac{\text{改良深 (cm)} \times \text{土壌仮比重} \times \text{緩衝曲線より求めた CaCO}_3 \text{ (mg)} \times 100}{1.79 \times \text{市販炭カル中の CaO 含量 (\%)}}$$

注)  $\text{CaCO}_3 / \text{CaO} = \text{分子量 } 100 / 56 = 1.79$

(計算例) 改良目標 pH 6.5

改良深 . . . . . 15cm

土壌仮比重 . . . . . 0.95

緩衝曲線より求めた  $\text{CaCO}_3$  (mg) . . . . . 70mg

市販炭カル中の CaO 含量 (%) . . . . . 53%

$$\text{炭カル施用量 (kg/10a)} = \frac{15 \times 0.95 \times 70 \times 100}{1.79 \times 53} = 1,050 \text{kg} \approx 1,000 \text{kg}$$

(イ) 塩基飽和度を指標とする方法

土壌診断を行うことにより CEC、交換性塩基成分などの分析値が得られる。土壌 pH (H<sub>2</sub>O) と塩基飽和度は関係が高く、塩基飽和度が高くなると pH も上昇する。

よつて適正な塩基バランスを満たすため不足するカルシウム、マグネシウム、カリウムなどを計算して必要な資材を投入する。投入量の計算式等は塩基の改良の項を参照する。

(ウ) 置換酸度の全酸度 (3.5 y<sub>1</sub>) または加水酸度の全酸度 (3 y<sub>1</sub>) に相当する量の石灰を施用する方法

置換酸度または加水酸度を測定し、得られた全酸度から中和石灰量を求める。

この方法については、土壌の種類によっては適用できない。

置換酸度の測定方法は「土壌および植物分析法の手引き (H11.3 新潟県農林水産部)」P23 を参照のこと。なお、加水酸度は塩化カリ (KCl) の代わりに酢酸カルシウムを

加えて浸出する。

全酸度 (3.5 y<sub>i</sub> または 3 y<sub>i</sub>) が 20 とすると、これは 100g の土壌に対し、0.1 規定 NaOH 20ml (2 me 相当) となる。これは、CaO 56mg (2 me) に相当し、10a に必要な CaO 量は上記計算例と同じ改良深、土壌仮比重とした場合、15 × 0.95 × 56 ÷ 79.8kg となる。アルカリ分 53% の炭カルでは 152kg にあたる。

(エ) 石灰質肥料の種類と効果

表IV-3-(3)-1 石灰資材の選択手法

肥料名	アルカリ分保証値 (保証・下限)	同一酸度中和に要する資材量比	効果の遅速	土づくり上の留意点
生石灰	80	1 0.69	速効性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・効き目が早く、高 pH まで改良可能</li> <li>・施用後、施肥、植え付けまで 7~10 日必要</li> <li>・微量元素欠乏の発生に注意</li> </ul>
消石灰	60	1.33 0.92		
炭酸石灰	53	1.51 0.96	やや遅効性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・三要素と同時施用ができる</li> <li>・施用後、ただちに作付けできる</li> <li>・苦土の同時補給</li> </ul>
苦土石灰	55	1.45 1		

出典：農業技術体系土壌施肥編（農文協）より一部改変

(2) 保肥力の改良

肥料成分のうち陽イオン (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>) の大部分は土壌コロイドに吸着保持される。この保持する量を陽イオン交換容量 (CEC) といい、その土壌を構成する粘土と腐植の量と質に関係している。

CEC を大きくするには次の 2 つの方法がある

- ① CEC の大きな土壌 (2 : 1 型粘土鉱物を多く含む) を客土するまたは土壌改良資材を施用する。(ベントナイト等の施用)
- ② 有機物を施用して土壌の腐植含量を高める。  
 耕種的な方法としては有効土層を深くして、根圏域全体を大きくすることが大切である。  
 砂質の土壌には、優良な粘土を含む土を客土することも有効であり、また土壌改良資材の投入も効果がある。

(3) 塩基の改良

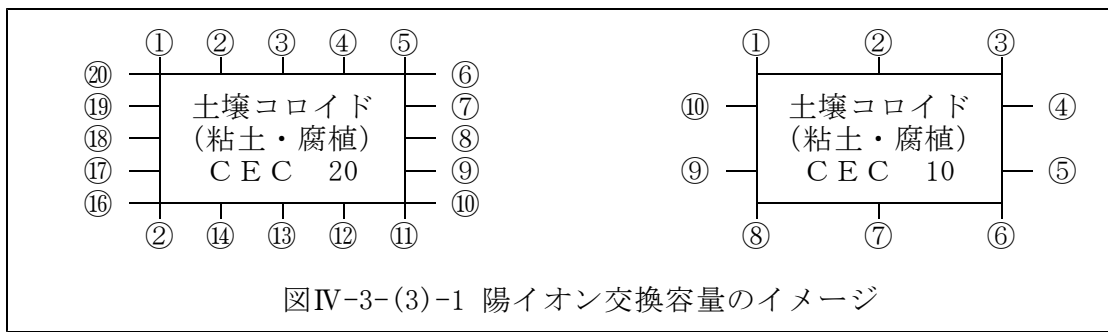
ア 土壌のイオン

(ア) 陽イオン交換容量 (CEC)

土壌粒子は通常負の電荷を帯びており、これにより陽イオンを吸着・保持することができる。単位量の土壌が保持する交換性陽イオンの総量を陽イオン交換容量 (Cation Exchanged Capacity; CEC と略称) といい、通常は乾土 100g あたりのミリグラム当量 (meq/100g; SI 単位では cmol(+)kg<sup>-1</sup>) で表している。

土壌の CEC は陽イオンと交換できる「手の数」と考えると、値が大きいほどアンモニア態窒素やカルシウム、マグネシウム、カリウムなど肥料成分を多く保持できる。

土壤のCECは粘土鉱物と腐植の陽イオン交換基の合計で、CECの大きさは粘土鉱物の種類と量、腐植含量に規定される。



土壤の種類とCECの代表値			
砂丘未熟土	3~10	褐色森林土	10~25
灰色低地土	15~25	淡色黒ボク土	15~20
褐色低地土	15~30	多腐植質黒ボク土	30~40

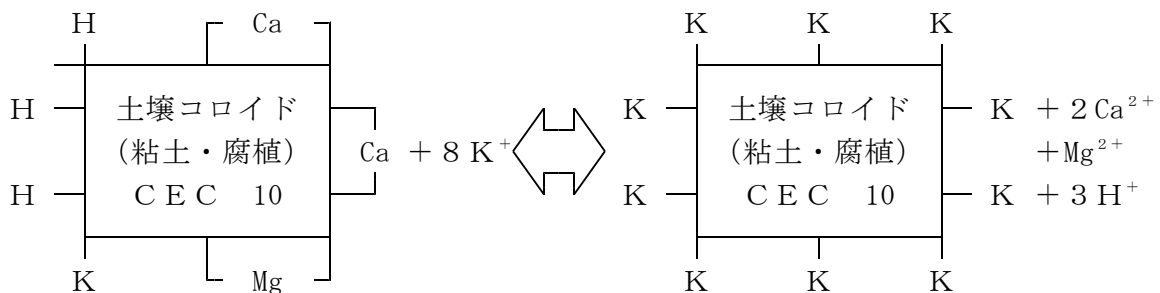
(イ) 交換性塩基 (交換性陽イオン)

土壤中の陽イオンはアンモニア ( $\text{NH}_4^+$ ) カリウム ( $\text{K}^+$ )、カルシウム ( $\text{Ca}^{2+}$ )、マグネシウム ( $\text{Mg}^{2+}$ )、ナトリウム ( $\text{Na}^+$ )、水素 ( $\text{H}^+$ ) などがある。酸根 (硫酸根など) と結びついて塩をつくる元素で、酸性を中和するアルカリ物質を塩基といい、水素を除く5イオンが該当し、主体はカルシウム (石灰)、マグネシウム (苦土)、カリウム (加里) である。

土壤中のコロイド粒子 (粘土・腐植) は陰電荷を帯びているので、これらの陽イオンは静電的に結合し、保持される。この結合は、水で洗浄した程度では解消しないが、陽イオンを含む溶液で洗浄すると陽イオン同士が交換する。

陽イオン交換の結果、他の陽イオンと交換されるCa、Mg、K、Na、H、 $\text{NH}_4$  を交換性陽イオンといい、Ca、Mg、K、Naを交換性塩基という。

交換・吸着した陽イオンは植物が吸収する時期まで土壤に保持されており、施肥に含まれていた陽イオンも交換・保持される。



コラム : meq : ミリグラム当量とは

グラム当量は、水素 1 原子と他の元素が化合する元素の量を表し、分子量を原子価で除した値で、ミリグラム当量はグラム当量の1/1000である。

水の分子式 $H_2O$ でわかるとおり、酸素原子(O)は2個の水素原子(H)と化合することができるので、酸素原子は2価となる。 $CaO$ はCaとOが1個ずつ結合した分子であるのでCaOは2価の分子であり、同様に考えると $MgO$ 、 $K_2O$ も2価となる。

分子量は原子の原子量の総和なので、 $CaO$ の分子量はCaの原子量40+Oの原子量16=56となる。 $Mg$ 、 $K$ の原子量はそれぞれ24、39であるので $MgO=24+16=40$ 、 $K_2O=39\times 2+16=94$ となる。

よって、塩基のミリグラム当量は下記のとおり

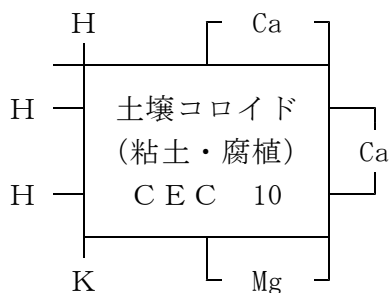
カルシウム ( $CaO$ )	分子量56、原子価 2	1meq=56/2=28mg
マグネシウム ( $MgO$ )	分子量40、原子価 2	1meq=40/2=20mg
カリウム ( $K_2O$ )	分子量94、原子価 2	1meq=94/2=47mg
(アンモニア態窒素 $NH_4-N$ )	分子量14、原子価 1	1meq=14/1=14mg

(ウ) 塩基飽和度

土壌の塩基置換容量（陽イオン交換容量）の何%が交換性陽イオンで満たされているかを示したもの。自然状態ではすべての交換基が塩基で満たされていることはなく、一部は水素イオンによって占められている。一般的には、塩基飽和度が大きい土壌ほど一般にはpHが高く、小さいものほどpHが低く、100%に近づくほど中性となる。

塩基飽和度の計算式

$$\text{塩基飽和度 (\%)} = \frac{\text{交換性塩基総量 (meq)}}{\text{陽イオン交換容量 (meq)}} \times 100$$



陽イオン交換基10基のうち4基がCaに、2基がMgに、1基がKに交換している状態

石灰飽和度 =  $4 \div 10 \times 100 = 40\%$   
 苦土飽和度 =  $2 \div 10 \times 100 = 20\%$   
 加里飽和度 =  $1 \div 10 \times 100 = 10\%$   
 よって塩基飽和度は  $40 + 20 + 10 = 70\%$

(エ) 塩基バランス

土壌中に含まれる塩基の存在量の比率を塩基バランスといい、石灰と苦土（石灰苦土比）、苦土とカリ（苦土カリ比）のミリグラム当量（meq）の比率で表す。塩基の量が十分あってもバランスが崩れると養分の拮抗作用が起こり各種の生理障害が生じる。

これらから、概ね以下の様なバランスの範囲内にあるよう土壌改良を行う。

石灰／苦土比 = 6 以下（2 以上程度までの範囲とする）

苦土／加里比 = 2 以上（4 以下程度までの範囲とする）

塩基バランス	石灰・苦土・カリ間の拮抗作用
石灰苦土比 = $\frac{\text{交換性石灰 (meq)}}{\text{交換性苦土 (meq)}}$	①石灰の吸収は苦土、カリの多用で抑制
苦土カリ比 = $\frac{\text{交換性苦土 (meq)}}{\text{交換性カリ (meq)}}$	②苦土の吸収はカリの多用で抑制
	③カリの吸収は石灰、苦土の多用で抑制

## イ 塩基改良の方法

交換性塩基の適正量は土壌の種類や作物の種類および陽イオン交換容量（CEC）の大きさによって異なってくる。また、前述のように交換性塩基の成分量だけでなく、それぞれの成分間のバランスに留意し、改良をすすめる。

### (ア) 交換性カリウム

#### a カリウムの土壌中における存在形態

土壌中のカリウムは①土壌溶液中カリウム、②交換性カリウム、③難交換性カリウム、④鉱物中カリウムの4種に分類され、鉱物中カリウムは施肥とともに土壌中カリウムの供給源の一つである。残る3種は互いに平衡関係を維持し存在している。

植物根が直接吸収しているのは土壌溶液中カリウムであるが、平衡関係にある交換性画分はこの濃度に影響するので、①+②のカリウムが可給態のカリウムとなる。

#### b カリウムの施肥

カリウムは、カルシウム、マグネシウムに比べ土壌中の存在量が少ないが、植物による吸収量は大きい。

CECが小さく作物の適pHが低い場合、塩基飽和度や他の塩基とのバランスから導かれるカリウムの量は小さくなるので、作物の要求量を満たすため高めの目標とする必要がある。

カリウムの過剰害としては、拮抗作用によるカルシウム、マグネシウムの欠乏症である。カリウムは、化学肥料のほか堆肥、稲わらからも供給されるため蓄積に注意し、土壌診断に基づいた施肥が必要となる。

### (イ) 交換性カルシウム

#### a カルシウムの土壌中における存在形態

土壌中のカルシウムは①土壌溶液中カルシウム、②交換性カルシウム、③炭酸カルシウムなど難溶性塩の3種に分類され、露地においては交換性画分がその中心であり高pH土壌では難溶性の炭酸塩も重要な存在形態となりpHが極端な上昇が迎えられる仕組みとなっている。

#### b カルシウムの施肥

土壌中カルシウム含量が低下すると、土壌中pHが低下し、微量元素の可給性に影響し、それら養分の過剰害が発生しやすくなる。また、カリウム含量の増加により、カルシウム欠乏が助長される。

カルシウム過剰ではpHが上昇し、微量元素（Fe、B、Mnなど）の難溶化による微量元素欠乏症が発生するほか、塩基バランスの崩れにより、拮抗的にマグネシウムやカリウムの吸収を阻害する。

よって、カルシウムの施肥はpHの極端な上昇、拮抗的吸収阻害を考慮した施用が重要である。

c 資材の選択

石灰質肥料の選択は酸度矯正の項の表IV-3-(3)-1を参照する。なお、土壌中での効き方には石灰質肥料の種類、形状が大きく影響するので速効的な効果を期待する場合は粒状より粉状の肥料を使用する。

(ウ) 交換性マグネシウム

a マグネシウムの土壌中における存在形態

土壌中のマグネシウムは①土壌溶液中、②交換性、③一部は有機物中のマグネシウムとして存在している。1次鉱物中にも含まれるが養分としての意義は小さい。

b マグネシウムの施肥

土壌中マグネシウムの管理は、カルシウム、カリウムとのバランスを考えながら行う。土壌中の交換性マグネシウム含量が不足する場合は、他の陽イオンとのバランスをとりつつマグネシウム質肥料を施用する。

c 資材の選択

日常的な管理では、カルシウムとマグネシウムを含む苦土炭カルが適当と考えられるが、遅効性であり、また、pHを上昇させるので、速効性を狙い、かつ土壌pHが高い土壌では、不向きである。水酸化マグネシウムは速効的ではあるが、土壌pHを上昇させる。

硫酸マグネシウムはpHを低下させるので土壌pHが高い土壌や、水によく溶ける性質を利用し、早急に土壌溶液中のマグネシウム濃度を上げたい場合に用いる。また、pHをあまり変化させたくない場合は、硫酸マグネシウムと苦土炭カルを併用する。

※具体的な不足量計算は、[IV-3-(7) 処方箋作成と条件別適正資材選定方法]を参照

コラム 塩基バランスが崩れなければ、塩基飽和度は高くても過剰害は出ないの？

塩基バランスと塩基の過剰害は別の話で、塩基バランスは各塩基の割合を示す数値です。

土壌分析では、石灰、苦土、カリを塩基類として3つのバランスを合わせ、それぞれの拮抗作用による吸収阻害が起きないようにするための重要な指標です。塩基バランスが適正值になっていたとしても、全体の飽和度が高いと（例えば塩基飽和度200等）、土に吸着されず土壌養液に溶け出している塩基が多いことなので、当然ECも高まり浸透圧の問題で、塩類濃度障害が出ます。塩基飽和度が100以内なら、土壌として土壌溶液中の塩基を吸着保持できる可能性が高く、濃度障害が発生しにくいこととなります。

濃度障害は、粘土質土壌や堆肥が多く入った土ほど、CECが高いことから施肥量が多くても濃度障害が出にくく、砂などCECが低い土壌では出やすいこととなります。



#### (4) リン酸の改良

##### ア 土壤中リン酸の特徴

土壤中のリン酸は石灰、鉄、アルミニウムなどと結合している。主に作物に利用される形態は石灰と結合したリン酸とされ、水田などの還元状態では鉄と結合したリン酸も有効化する。アルミニウムと結合したリン酸はほとんど利用されない。

黒ボク土など活性アルミナを多く含んでいる土壌は、リン酸吸収係数が大きく、作物による施肥リン酸の利用率が低い。リン酸の不足は土壌が酸性のときと、反対に石灰が多すぎるときに起こりやすい。

##### イ 水田土壌でのリン酸

水田では湛水により還元状態となるため、畑地にくらべて土壌中のリン酸が可給化しやすい。還元状態で可給態となるリン酸含量は畑状態のときの約1.6～6.5倍である。土壌別では黒ボク土は約1.6～3.6倍、その他の土壌では約4.0倍以上で、黒ボク土では差が小さい。

水稲によるリン酸吸収量は10a当たり4～5kgで、ほとんどのばあい施肥量が吸収量を上回っている。リン酸は土壌中での移動が小さく、大部分は土壌に固定されて難溶性リン酸となり、土壌に蓄積する。このように土壌中のリン酸の不足は水稲の生育・収量に影響し、過剰はリン資源の無駄遣いにつながる。

##### ウ 黒ボク土のリン酸施肥

黒ボク土は特にリン酸を吸着する力が強いので、土壌中の有効リン酸含量のほかリン酸吸収係数も参考にしてリン酸施肥量を決めるのがよい。施用リン酸質肥料の種類については、黒ボク土のようにリン酸固定力が強いばあいは、水溶性リン酸肥料（たとえば過リン酸石灰）よりはく溶性リン酸肥料（たとえば熔リン）のほうが肥効が高いといわれている。しかし寒冷地では速効性のリン酸が不足すると水稲の初期生育が遅れるので、水溶性リン酸肥料とく溶性リン酸肥料を併用するのが望ましい。

##### エ 基準値と処方

土壌中の有効リン酸含量が水稲の生育に対して最も関係するのは分けつ期～最高分けつ期であり、水稲の収量が限界となる体内リン酸濃度は寒冷地では0.6～0.7%、温暖地では0.3～0.45%である。水稲の分けつには0.7%程度の体内リン酸濃度が必要である。

水稲の体内リン酸濃度を0.7%に確保されたばあいのトルオーグ法による有効リン酸含量は約8mg/乾土100g程度である。この結果は比較的湿度の高い地域のものなので、もう少し低温時に分けつが進むことを考えると、トルオーグ法では10mg/100g乾土以上必要であると考えられる。

##### [リン酸施用量算出に必要な事項]

- 1) 目標リン酸量（改良目標値）(mg/100g乾土) …… (a)
- 2) リン酸含量（土壌診断による分析値）(mg/100g乾土) …… (b)
- 3) 対象圃場の土壌重量：10a、深さ10cm当たり …… (c)
- 4) リン酸吸収係数による補正  
表から不足リン酸1mg当たりの施用量（mg/100g乾土）を推定する …… (d)

表 IV-3-(4)-1 リン酸吸収係数とリン酸必要量の関係

リン酸吸収数	不足リン酸1mg当たり施用量 (mgP <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /100g土壌)	作物のリン酸 利用率の目安	該当する主な土壌
2,000以上	12	6～10	腐植質火山灰土壌
2,000～1,500	8	10～15	火山灰土壌
1,500～700	6	15～20	洪積土壌
700以下	4	20～30	沖積土壌

※この表は、リン酸の不足量に対して、リン酸吸収係数の大小による倍率を示す表である。

※具体的な不足料計算は、[IV-3-(7) 処方箋作成と条件別適正資材選定方法] を参照

**コラム 有効態リン酸が過剰なら、リン酸肥料はやらなくてもいいの？**

有効態リン酸の測定法には、主にトルオーグ法（pH3の硫酸－硫酸溶液に溶け出てくるリン酸を測定する方法）とブレイ No.2法（フッ化アンモニウム－塩酸溶液に溶け出てくるリン酸を測定する方法）が用いられています。これらの方法では、作物に利用されにくい結晶化の進んだリン酸まで測定してしまうため、測定されたリン酸の全てが作物に利用されるわけではありません。有効態リン酸が高いからといって無リン酸栽培を続けると収量がしだいに低下し、リン酸施用を再開しても収量の回復には時間がかかります。そのため有効態リン酸がある程度あっても作物に利用されやすいリン酸を施すことは必要となります。

**コラム リン酸吸収係数が高く、有効態りん酸が過剰な場合の改良方法は？**

りん酸は、土壌中のアルミナや鉄と結合して不溶化することから、不溶化するりん酸量を見込んでりん酸吸収係数に対応した倍率を掛けて施用量を設定します。リン酸吸収係数が高くて測定りん酸が多いと言うことは、作物が吸収可能なりん酸があるということなので、不足することはありません。測定値が過剰な場合でも、りん酸は過剰害の出にくい養分で、過剰な場合にも作物生産上の問題となることは少ないのですが、環境への溶出や化学肥料の中でも高価な成分であることから、過剰施用は慎むべきです。土壌改良には、次作から基肥を含めてりん酸施用を中止するなど土壌中への投入量を削減し、無施用で数年作付けし、改めて分析し土壌状態を把握して改良することが大切です。

## (5) ケイ酸の改良

水稻はケイ酸を積極的に吸収する好ケイ酸植物であり、収穫時の稲わらに約10～15%、籾がらには20%前後含まれる。水稻にケイ酸を与えないで栽培すると、幼穂形成期まではほぼ正常に生育するが、出穂期前ごろになると吸水と蒸散が不均衡になり、秋落ち症状を呈して籾収量が減少する。さらにケイ酸含量の高い水稻は、いもち病やごま葉枯病にかかりにくく、害虫にも強い。このように、水稻に対するケイ酸の機能として水分や病害虫に対する抵抗力の増大が認められている。

ケイ酸は土壌と灌漑水から供給される。ケイ酸の天然供給源の主体は土壌とされているが、その土壌のケイ酸供給力は土壌の母材によって異なる。火山灰や頁岩を母材とする土壌ではケイ酸供給力が高い。しかし火山灰の場合は、新しい火山灰では高いが、古い火山灰では低くなることに気をつける必要がある。一方、石英斑岩、花崗岩、泥炭を母材とする土壌（これらはいずれも秋落ちになりやすい土壌である）はケイ酸供給力が低く、稲わらのケイ酸含有率もまた低い。土壌中の可給態ケイ酸含量と収穫時の稲わらのケイ酸含有率には、表のような関係がある。

### 土壌中のケイ酸含有率とケイ酸質肥料施用効果の現れやすい事例

土壌有効態ケイ酸含有率 (mg/100g乾土)	稲わらのケイ酸含有率 (%)	施用効果の現れやすい土壌・事例
5以下	11以下	泥炭、老朽化水田、いもち病常発水田、基盤整備水田(切り土、盛り土)、
5～10	11～13	湿田、排水不良水田、漏水田、黒ボク土(盛り土)
10～13	13内外	黒ボク土、漏水田
13以上	14～15以上	銘柄水稻品種の保護、倒伏防止

また、灌漑水からの供給も多いが、河川水により天然供給量が変わってくる。稲わらからのケイ酸の供給も重要であるが、ケイ酸欠乏地帯の稲わらではケイ酸含有量が低いことを考慮する必要がある。

#### ア 基準値と処方

土壌保全基本調査事業の生産力判定可能性分級基準では、土壌中の可給態ケイ酸含有量15mg/乾土100g以上が必要であるとしている。しかし、土壌中の可給態ケイ酸が上記の含量以下であっても、土壌に含まれる多量の全ケイ酸や灌漑水からの供給、ほ場に還元される稲わらからのケイ酸の量はかなり多く、これらの供給があってもなお、ケイ酸を必要とする場合にケイカル施用効果が期待される。ケイ酸が不足している場合には一度に多量に施用せず、2～3年に一度の割合で資材施用を行う。

※ケイ酸質資材の施用量の算出法は、[IV-3-(8)処方箋作成と条件別適正資材選定方法]を参照

ただし、実際の施用は、不足した場合一定量を施用することで対応する。

ケイ酸質資材としてのケイカルは、鉄、合金鉄、リンなどをつくるときにできる鉱さいを原料としており、可溶性のケイ酸や石灰を多量に含んだ塩基性の資材である。ケイカル施用当年の効果は鉱さいの種類と粒度によって差があり、同じ粒度であれば、製リン残さい・ステンレス鋼鉱さい>製銑鉱さい>普通鋼鉱さい・マグネシウム鉱さい・フェロクロム鉱さい>ニッケル鉱さい・フェロマンガング鉱さい>シリコマンガング鉱さい・フェロニッケル鉱さいの順となる。また、粒度が細かいほど効果がやすい。このように同じケイカルといっても効果はかなり違うので、施用目的に合ったものを選ぶようにする。

また、ケイ酸を含む肥料としては、ようりん、けい酸加里肥料がある。

表 IV-3-(5)-2 ケイ酸質資材のケイ酸含有率とケイカルへの換算率

	ケイ酸カルシウム	転炉石灰ミネカル	熔成りん肥	ケイ酸カリ肥料
SiO <sub>2</sub> (%)	30	14	20	30
換算率	1	2.1	1.5	1

#### イ 有機物によるケイ酸の供給

籾がらや稲わらには多量にケイ酸が含まれており、これらを土壤に還元することによって水稻に対するケイ酸供給が行われる。生のままの籾がらや稲わらを水田に施用する場合には、窒素飢餓や異常還元の発生に留意する必要があるため、有機物施用の項に準じて施用を行う。

また、籾がらや稲わら用いた堆肥類の施用によっても、水稻へのケイ酸供給が行われることが知られており、特に籾がら牛ふん堆肥の施用が良い。

#### コラム ECと硝酸態窒素の関係は？

ECは電気伝導度ともいい、土壤中の肥料成分、特に硝酸態窒素含量を推察する ためによく測定されます。一般にEC値が高ければ、土壤中に硝酸態窒素が多く 残存していると推察して、元肥や追肥の施肥量を少なくします。また、EC値が 低ければ土壤中の硝酸態窒素量は少ないと判断し、追肥を施用します。

このようにECは簡便に土壤中の窒素含量を推察する手段として広く活用され、土壤診断には欠かせない項目となっています。しかし、近年、ハウス栽培土壤では、ECと硝酸態窒素含量との相関が低く、硝酸態窒素がないのにECが高いという場合が多くみられるようになってきました。これは、硫酸アンモニウムや過りん酸石灰、硫酸加里などの硫酸根肥料またはこれらを配合した肥料の施用によって、土壤に硫酸根が多量に蓄積してきたためです。また、家畜ふん堆肥の多施用によるナトリウムやカリウムの過剰等が原因のEC上昇もみられます。このため、硫酸根が蓄積しているようなハウス土壤の診断を行う際には、ECの測定だけでなく、RQ フレックス等の簡易測定器により硝酸態窒素の測定も併せて必要となってきています。

## (6) 鉄の改良

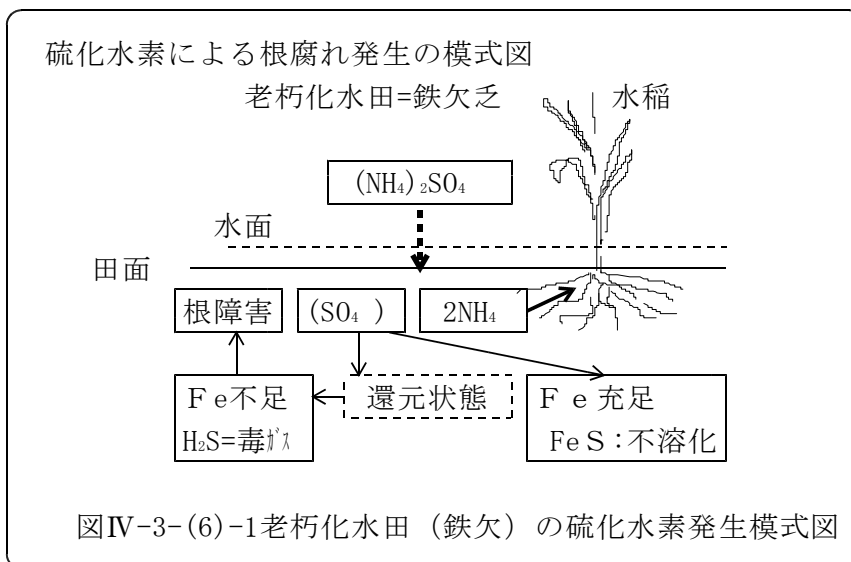
鉄はケイ素、アルミニウムについて土壤中に多量に含まれる元素で、土壌の主要な構成元素である。また、温度、水分状態、有機物含量などの環境条件によって種々の形態に変化し、土壌の色に深く関与している。鉄の形態で土色は種々に変化し、土色は土壌型の分類の最も大きな基準項目となっている。

水田では湛水と落水が長年にわたりくり返される。そのため、土壌中の鉄も二価鉄と三価鉄の相互変化が行なわれ、その形態もさまざまである。たとえば二価鉄では、イオン状、有機物と結合しているもの、水酸化鉄ゾル、粘土と置換的に吸着しているもの、あるいは強く吸着しているものなどがあり、三価鉄では非晶質の含水酸化鉄、結晶性加水酸化物あるいは結晶性酸化物などがある。土壌中の鉄は、水稻の作付期間中発生する有害成分である硫化水素を無害の硫化鉄に変化させたり、水稻の根の周囲に酸化鉄の被膜をつくり、硫化水素ガスなどの有害成分から根を守る役割をしている。

畑土壌では、通年酸化状態にあるためほとんどが三価鉄の形態であり、二価鉄への形態変化はほとんどない。したがって永年畑状態にある土壌中には鉄の斑紋も生成しない。畑作物にも鉄欠乏がおき、特にリン酸の過剰や銅などの重金属の過剰によって鉄欠乏が誘導される。しかし、土壌に鉄を施用しても植物の鉄吸収を増加させることは難しく、まず、鉄の吸収を妨げている要因を解決することが重要である。

### [水田土壌の改良]

一般の水田土壌では鉄の含量は比較的高いが、老朽化水田の作土では鉄が溶脱して下層に溶脱して、少なくなっており、この改良のために鉄含有資材が施用される。水稻の根ぐさを防ぐためには、遊離酸化鉄として1.5~4%程度あるのが望ましい。地力増進指針では0.8%以上が基準となっている。



※含鉄資材の施用量の算出法は、[IV-3-(7)処方箋作成と条件別適正資材選定方法]を参照

含鉄資材は比重が重いため施用が困難な資材であるが、土壌環境の急変を避けるために、一度に多量に施用するのではなく、2~3年に一度の割合で一定量を施用すると良い。

## (7) 処方箋作成と条件別適正資材選定方法

土壌改善は、先ず物理性の改善を優先すべきであり、物理性改善の後に化学性の改善を行うことが基本です。化学性だけに頼った土壌診断は危険である。

これらを念頭に置いて、化学性分析結果による診断、処方箋作成（活用指導）を進めることが重要である。

### ア 土壌分析の目的

#### ①土壌の健康診断

毎年又は数年単位で実施し、土壌状態を把握することで適正施肥設計を行う。

土壌の健康状態をチェックし過剰施肥を抑制する。

#### ②障害対策や収量・品質向上診断（健全生育土壌との比較等）

土壌の濃度障害や養分の過剰、不足を正常生育土壌と比較し改善する。

#### ③リアルタイム診断（生育コントロール用）

生育コントロールを目的に生育ステージを追った土壌又は植物体樹液などのから適正な生育管理を行う。（溶液栽培などでの溶液濃度管理など）

などそれぞれの目的に合った分析項目、方法とともに、診断・処方が異なるので注意する。

○ 分析数値を見る順番：数値の診断手順

- ① pH、EC（園芸畑）をチェックする。：大幅に基準値を超えていないか  
pHとECは適正な範囲にあるのかが基本
- ② CECを見て、土壌の容量の大きさを確認（土性も概ね分かる）
- ③ 塩基バランスは大丈夫か（石灰／苦土比6以下、苦土／カリ比2以上）
- ④ CECに対応した塩基飽和度は適正か
- ⑤ 有効態リン酸、リン酸吸収係数などをチェックする。
- ⑥ 腐植などは適正か、7%以上なら黒ボクか？

### イ pHの改良

#### (ア) pHの改良

土壌pHは、作物生産に大きく影響することから、土壌改良の基本である。しかし、石灰、苦土、カリなど土壌の塩基類の改良を進めることで、概ね目標とするpH値となる。強制的に改良する場合は、中和石灰量などを測定して改良を進める。

<<酸性土壌が問題となる原因>>

- ① H<sup>+</sup>イオンによる直接的な害作用
- ② 石灰、苦土などの塩基類の欠乏（少ないと自然とPHは低い）
- ③ 置換性アルミ等の活性化による害作用
- ④ 微量元素やリン酸固定などによる吸収阻害
- ⑤ 微生物の活動に対する影響

表 IV-3-(7)-1 pH6.5に矯正するための炭カル施用量 (kg/10a 作土深10cm)

	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
砂 壤 土	含 む	424	390	356	323	289	255	221	188	154	120	86
	富 む	634	581	533	480	431	379	330	278	229	176	128
	非常に富む	986	908	829	750	671	593	514	435	356	278	199
壤 土	含 む	634	581	533	480	431	379	330	278	229	176	128
	富 む	844	776	709	641	574	506	439	371	304	236	169
	非常に富む	1268	1166	1065	964	863	761	660	559	458	356	255
埴 壤 土	含 む	844	776	709	641	574	506	439	371	304	236	169
	富 む	1054	971	885	803	716	634	548	465	379	296	210
	非常に富む	1549	1425	1301	1178	1054	930	806	683	559	435	315

出典：アレニウス氏表から抜粋 注) 深さに応じて施用量も加減する。

(イ) pHとEC値で土壤養分の概要を判断可能

陽イオンが多いと自然とpHは上昇し、逆から見ればECも高い。

表 IV-3-(7)-2 EC・pHの違いによる土壤中のイオン状態

ECとpH測定値 のパターン	陰イオン濃度	陽イオン濃度	土壤の状態
	NO <sup>3-</sup> Cl <sup>-</sup> SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 等	Ca <sup>2+</sup> Mg <sup>2+</sup> K <sup>+</sup> Na <sup>+</sup> 等	
高EC - 低pH	非常に高い	高い	早急に改善必要
高EC - 高pH	高い	非常に高い	濃度障害発生
低EC - 高pH	非常に低い	低い	平常
低EC - 低pH	低い	非常に低い	土づくり必要

(ウ) 塩基飽和度とpHの関係

[参考] pHと石灰飽和度及び塩基飽和度との関係

$$\text{pH (x)} \text{ と石灰飽和度 (y)} \quad y = 23x - 92$$

$$\text{pH (x)} \text{ と塩基飽和度 (y)} \quad y = 30x - 120$$

pH(H2O)と石灰飽和度及び塩基飽和度との関係 (栃木農試)

pH (H2O)	石灰飽和度 (%)		塩基飽和度 (%)	
	平均値	範囲	平均値	範囲
5.0	25	20~30	30	25~35
5.5	35	30~40	45	40~50
6.0	46	41~51	60	55~65
6.5	58	53~63	75	70~80
7.0	68	65~75	90	85~95

出典：栃木農試 注意：土壤環境基礎調査(定点調査)の土壤分析結果から算出

(エ) 改良のための施用資材の選定

石灰、苦土質資材のアルカリ度からカルシウム含量の算出。

石灰資材の成分量はアルカリ度〇〇%と表示され、石灰の成分%は表示されていない石灰資材に苦土が含まれていない場合は石灰成分% = アルカリ度、苦土を含む場合は  
石灰成分% = アルカリ度(%) - 苦土成分(%) × 1.39

(オ) 各種アルカリ資材施用により想定されるpH

※pHの分析値と投入アルカリ資材の補正力から想定される改善後のpH値の概数は

$$\text{想定pH} = \text{分析pH値} + \frac{\Sigma (\text{投入資材中の石灰成分量} \times \text{アルカリ}\% \times \text{アルカリ補正值})}{\text{CEC} \times 0.28} \times a$$

アルカリ補正值 = 石灰を1としたアルカリ補正值 1を入れておいても概ねよい

a = 0.04程度

※砂質土、重粘土では、この計算が当てはまらない場合がある。

ウ 塩基類の改良

(ア) 塩基バランスと飽和度

○ 塩基類の最低必要量は重要ですが、各塩基類のバランスが最も大切です。

土壤の塩基類は相互に関係しあい吸収を助長したり抑制したりする。また、作物の塩基類の吸収順位は、一般にK > Mg > Caの順番でそれぞれの相互作用は

① Caの吸収はMg、Kの多用で抑制される。

② Mgの吸収は、Kの多用で抑制される。

③ Kの吸収は、Ca、Mgの多用で抑制される。

バランスは、当量又は飽和度の比率。

このことからバランスが大切になる。

(イ) 塩基バランスを知る

①各塩基の当量を求める

$$\text{CaO 当量} = \text{置換性CaO (mg/100g)} \div 28.0$$

$$\text{MgO 当量} = \text{置換性MgO (mg/100g)} \div 20.2$$

$$\text{K}_2\text{O 当量} = \text{置換性K}_2\text{O (mg/100g)} \div 47.1$$

②石灰苦土比  $\text{CaO/MgO} = \text{石灰当量} / \text{苦土当量} = 6$  以下 (下限は3程度とする)

③苦土カリ比  $\text{MgO/K}_2\text{O} = \text{苦土当量} / \text{カリ当量} = 2$  以上 (上限は4程度とする)

(ウ) 塩基飽和度の計算

塩基の不足量は測定値のmg/100gでは決めらず、CECに占める各塩基の飽和度から計算し、不足量は土壌のCECにより変化する。

塩基類の目標値は、その測定CECにおける塩基飽和度である。したがって、土壌それぞれに適正目標値があり、変化するので単純に目標値のmg/100gから引き算では計算できない。また、CECは土の性質で決まることから、改善は客土、堆肥等の多投入しかなく、改善目標とはならない。(ただし、砂が極端に強い場合は堆肥や粘土の客土を実施する。)

$$\text{石灰 (CaO) 飽和度\%} = \frac{\text{置換性石灰 (me)}}{\text{CEC}} \times 100 = \frac{\text{置換性石灰 (mg/100g)} \div 28.0}{\text{CEC}} \times 100\%$$

$$\text{苦土 (MgO) 飽和度\%} = \frac{\text{置換性苦土 (me)}}{\text{CEC}} \times 100 = \frac{\text{置換性苦土 (mg/100g)} \div 20.2}{\text{CEC}} \times 100\%$$

$$\text{カリ (K}_2\text{O) 飽和度\%} = \frac{\text{置換性カリ (me)}}{\text{CEC}} \times 100 = \frac{\text{置換性カリ (mg/100g)} \div 47.1}{\text{CEC}} \times 100\%$$

$$\text{塩基飽和度\%} = \text{石灰飽和度\%} + \text{苦土飽和度\%} + \text{カリ飽和度\%}$$

砂土などでは、最低必要量を確保するため、CEC (保持できる量) を越えた飽和度100%以上となる場合があるが、CECに対する塩基類の占める割合 (バランス) が重要となる。

エ 処方箋作成における分析項目と目標値について

一般的な測定値の項目は以下のとおりで、水田では、EC、硝酸態窒素は基本的に問題視されないのが省くが、ケイ酸、鉄の分析項目が追加される。

[処方箋作成に必要な分析項目]

水田	①PH (H <sub>2</sub> O)、②PH (KCl)、③CEC、④石灰、⑤苦土、⑥カリ、⑦有効態リン酸、⑧リン酸吸収係、⑨ケイ酸、⑩鉄、⑪腐植、⑫ほ場の土性、⑬容積仮比重、⑭ほ場の面積、⑮ほ場の作土深
園芸畑	①PH (H <sub>2</sub> O)、②PH (KCl)、③CEC、④石灰、⑤苦土、⑥カリ、⑦有効態リン酸、⑧リン酸吸収係、⑨EC、⑩硝酸態窒素、⑪腐植、⑫ほ場の土性、⑬容積仮比重、⑭ほ場の面積、⑮ほ場の作土深

※水田土壌でも、全窒素や硝酸態窒素を分析する場合があるが、一般的ではない。

また、⑩以降の数値は、処方箋を作成する場合に必要な資材量の施用倍率を計算するためのもので、ほ場での現地調査などで把握する。



※塩基類の改良目標値は、その土壌のCECにおける目標飽和度が設定されているので、測定した土壌のCECに近い目標値（目標飽和度）を使用する。

例えば：測定値がCEC=17～23程度の土壌は、目標値で示されるCEC=20の数値を使って計算する。極端に違う場合は、目標値を作ってやる必要があるが、その場合は、最低限必要量とともに、塩基バランスを崩れないよう目標値を設定する。

<<CEC（陽イオン交換容量）の特徴>>  
 CECは、土壌の性質を表すもので、改善するためには粘土の客土や堆肥（将来の腐植施用が必要であり、一般的な堆肥施用程度では大きな違いが現れない数値である。  
 このため、毎年測定する必要は無く、過去の数値を使っても大きな間違いはない。

#### オ 各成分の不足量計算

##### ①石灰（CaO）

i) 最初に100g当たりの不足量mgを計算する。

$$\left( \text{測定CEC} \times \frac{\text{目標CaO灰飽和度}}{100} \times 28.0 \right) - \text{測定CaOmg/100g} = \text{不足CaOmg/100g}$$

測定CECから算出した目標値    -    測定値    =    不足量

ii) 次に、mg/100gから実際のは場の面積(a)、容積比重、作土深(cm)の不足量を計算

$$\text{不足CaOmg/100g} \times \text{容積仮比重} \times \frac{\text{作土深(cm)}}{10\text{cm}} \times \frac{\text{面積(a)}}{10\text{a}} = \text{実ほ場での不足量(kg)}$$

iii) 実ほ場の不足量に対する施用資材の必要量を計算する。

$$\text{実ほ場でのCaO不足量} \times \frac{100}{\text{施用CaO資材の含量(\%)}} = \text{対応石灰資材施用量(Kg)}$$

##### ②苦土（MgO）

i) 最初に100g当たりの不足量mgを計算する。

$$\left( \text{測定CEC} \times \frac{\text{目標苦土(MgO)飽和度}}{100} \times 20.2 \right) - \text{測定MgOmg/100g} = \text{不足MgOmg/100g}$$

測定CECから算出した目標値    -    測定値    =    不足量

ii) 次に、mg/100gから実際のは場の面積(a)、容積比重、作土深(cm)の不足量を計算

$$\text{不足MgOmg/100g} \times \text{容積仮比重} \times \frac{\text{作土深(cm)}}{10\text{cm}} \times \frac{\text{面積(a)}}{10\text{a}} = \text{実ほ場での不足量(kg)}$$

iii) 実ほ場の不足量に対する施用資材の必要量を計算する。

$$\text{実ほ場でのMgO不足量} \times \frac{100}{\text{施用MgO資材の含量(\%)}} = \text{対応苦土資材施用量(Kg)}$$

##### ③カリ（K<sub>2</sub>O）

i) 最初に100g当たりの不足量mgを計算する。

$$\left( \text{測定CEC} \times \frac{\text{目標苦土(K}_2\text{O)飽和度}}{100} \times 47.1 \right) - \text{測定K}_2\text{Omg/100g} = \text{不足K}_2\text{Omg/100g}$$

測定CECから算出した目標値    -    測定値    =    不足量

ii) 次に、mg/100gから実際のは場の面積(a)、容積比重、作土深(cm)の不足量を計算

$$\text{不足K}_2\text{Omg}/100\text{g} \times \text{容積仮比重} \times \frac{\text{作土深(cm)}}{10\text{cm}} \times \frac{\text{面積(a)}}{10\text{a}} = \text{実ほ場での不足量(kg)}$$

iii) 実ほ場の不足量に対する施用資材の必要量を計算する。

$$\text{実ほ場でのK}_2\text{O不足量} \times \frac{100}{\text{施用K}_2\text{O資材の含量(\%)}} = \text{対応カリ資材施用量(Kg)}$$

※ CECの測定値が無い場合に塩基類の分析結果からCECを推定する場合  
(この場合もPHが概ね6から7近辺でないと誤差が大きい。)

$$\text{CEC} = 15.4 - 7.45 \times \ln(\text{塩基総当量}) + 8.99 \times \text{塩基総当量} / \text{pH} - 6.15 \times \text{EC}$$

※ 塩基総当量 = 石灰(CaO)mg / 28.0 + 苦土(MgO)mg / 20.2 + カリ(K<sub>2</sub>O)mg / 47.1

※ lnはeを底とした対数(自然対数)

※ 仮比重を測定できなかつた場合には下表により施用量を算出する。

土壌の種類別仮比重の概数

土壌の種類	基準値	(範囲)	備考
黒ボク土及び多湿黒ボク土	0.65	(0.5~0.8)	腐植が多いほど軽い。
黒ボクグライ土	0.6	(0.5~0.7)	
褐色森林土及び灰色台地土	0.8	(0.8~0.9)	細粒質では粘土が多いほど重く、粗粒質では砂が多いほど重い。
褐色低地土	0.8	(0.7~0.9)	
灰色低地土	0.9	(0.7~1.1)	
グライ土	0.85	(0.7~1.0)	

#### ④リン酸(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)

i) 最初にリン酸吸収係数を含めた不足量mgを計算する。

$$(\text{目標リン酸} - \text{測定リン酸}) \text{mg} \times \text{リン酸吸収係数による掛け率} = \text{不足リン酸量(mg/100g)}$$

ii) 次に、mg/100gから実際のは場の面積(a)、容積比重、作土深(cm)の不足量を計算

$$\text{不足P}_2\text{O}_5\text{mg}/100\text{g} \times \text{容積仮比重} \times \frac{\text{作土深(cm)}}{10\text{cm}} \times \frac{\text{面積(a)}}{10\text{a}} = \text{実ほ場での不足量(kg)}$$

iii) 実ほ場の不足量に対する施用資材の必要量を計算する。

$$\text{実ほ場でのP}_2\text{O}_5\text{不足量} \times \frac{100}{\text{施用P}_2\text{O}_5\text{資材の含量(\%)}} = \text{対応リン酸資材施用量(Kg)}$$

※リン酸吸収係数による掛け率(施用倍率)表

リン酸吸収係数	施用倍率(概数)
2000以上	1.2
2000未満~1500以上	8
1500未満~700以上	6
700以下	4

※目標値に対する測定値の不足量に、左の倍率を掛けたものが不足量の概数となる。

※リン酸資材の特徴

リン酸資材は、副成分を多く含む資材が多く、石灰、苦土(Mg)、ケイ酸を含む物が有ることから、投入量を考慮して副成分について差し引き計算を行う必要がある。

⑤ケイ酸 (SiO<sub>2</sub>) : 水田の場合のみ対応する

i) 最初にケイ酸不足量mgを計算する。

$$(\text{目標ケイ酸} - \text{測定ケイ酸}) \text{ mg} = \text{不足ケイ酸}(\text{SiO}_2)\text{量 (mg/100g)}$$

ii) 次に、mg/100gから実際のは場の面積(a)、容積比重、作土深(cm)の不足量を計算

$$\text{不足SiO}_2\text{mg/100g} \times \text{容積仮比重} \times \frac{\text{作土深(cm)}}{10\text{ cm}} \times \frac{\text{面積 (a)}}{10\text{ a}} = \text{実ほ場での不足量 (kg)}$$

iii) 実ほ場の不足量に対する施用資材の必要量を計算する。

$$\text{実ほ場でのSiO}_2\text{不足量} \times \frac{100}{\text{施用SiO}_2\text{資材の含量 (\%)}} = \text{対応ケイ酸資材施用量 (Kg)}$$

※ ほ場条件の違いによるケイ酸資材の施用効果

土 壤		土 性		灌漑水ケイ酸量		水 温		透 水		老朽化		乾 湿		肥料
火山性	非火山性	細粒質	中粗粒質	30ppm以上	5ppm以上	高	低	良	不	大	小	湿田	乾田	多肥
△~◎	○	△	◎	△	○	△	○	△	○	◎	○	△	○	○

◎ : 効果大 ○ : 効果あり △ : どちらともいえない

※実際の施用量は、計算上大きな値となる場合は、以下の基準でケイカル施用を行う。

ケイカル施用基準	10a当たり施用量
改良目標値以下の場合	毎年 150 kg
改良目標値以上の場合	2~3年毎に150 kg

⑥鉄 (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) : %表示で測定値が出るので、今までの計算とは違う。

計算結果に寄らず、以下の基準で実際には改良を進める。

遊離酸化鉄含量	施 用 方 法
0.8%以下	200~300Kgを隔年施用
1.5%以下	200~300Kgを4~5年1回施用

としており、計算値からの不足量で施用量を決定する指導はしない。

※計算する場合は、以下のとおりである。

$$\frac{(\text{目標Fe}_2\text{O}_3\% - \text{測定Fe}_2\text{O}_3\%)}{100} \times 1000 = \text{不足鉄量 (mg/100g)}$$

$$\text{不足鉄量mg/100g} \times \text{容積仮比重} \times \frac{\text{作土深(cm)}}{10\text{ cm}} \times \frac{\text{面積 (a)}}{10\text{ a}} = \text{実ほ場での鉄不足量}$$

$$\text{実ほ場でのFe}_2\text{O}_3\text{不足量} \times \frac{100}{\text{施用Fe}_2\text{O}_3\text{資材の含量 (\%)}} = \text{対応鉄資材施用量 (Kg)}$$

⑦腐植

腐植とは、広義には土壤生物、微生物を除く土壤中の有機物を意味し、狭義には、土壤中の微生物により有機物の分解、再合成によって作られた土壤固有の暗色無定型の高分子化合物を言う。(化学的には腐植酸、フルボ酸、ヒューミンなどの総称となる。)

土壤分析では、単純に土壤中に占める有機物の量(重量)%で表示する。

有機物ですので微生物で分解されることから、水田状態では分解が少なく、乾田、更に畑地では酸素供給が多く分解は早まる。

一般的な施用量は完熟堆肥で、水田では0.5～1トン程度、園芸畑では約2～3トンとされる。これら年間施用量の概数は、年間に分解される腐植量（有機物）を補うためのものである。

○改良のための資材施用量が極端に大きい場合の対応

CECの高い土壌で極端な養分不足の場合、計算から資材を300kg施用などとする結果が出る場合がある。しかし、土壌は急激な改善は好ましくなく、現在の作物生育が異常でない場合は、急激な改良をせず、計算結果の投入量を数年に分けて徐々に改良することが基本である。

[参 考： pH、EC、CECの関連と数値のチェック方法]

$$\text{推定PH} = 0.035 \times \left[ \frac{\text{石灰成分量}}{\text{CEC} \times 0.28} + \frac{\text{苦土成分量}}{\text{CEC} \times 0.202} + \frac{\text{カリ成分量}}{\text{CEC} \times 0.471} \right] \times 0.5 \times \text{EC} + 3.5$$

石灰、苦土、カリ施用量とEC値、CEC値から計算して、ほぼ改善後のPH値が分かる。この数値と改善後のPH値を比較するとCECのチェックが可能となる。

カ 資材選定順序（副成分を勘案した計算手順）

塩基類の改良に使用する資材の多くは主成分の他、副成分として他の塩基成分を含んでいることから、副成分の種類が多い資材から選択してそれぞれ差し引き計算をする必要があり、以下のような順番で資材を選定すると効率的な手順となる。

- ①リン酸質資材：副成分＝石灰、苦土、ケイ酸、マンガン、鉄  
↓ 石灰、苦土、ケイ酸、マンガン、鉄などの不足量に対して副成分で供給される量を差し引く。
- ②ケイ酸質資材：副成分＝石灰、苦土、カリ、マンガン  
↓ 石灰、苦土、カリ、マンガンなどの不足量に対して副成分で供給される量を差し引く。
- ③鉄質資材：副成分＝石灰（不足する場合は実際には定量を散布する）  
↓ 副成分として供給される石灰分を差し引く
- ④カリ質資材：副成分＝ケイ酸、苦土  
↓ 副成分として供給されるケイ酸、苦土を差し引く
- ⑤苦土質資材：副成分＝石灰、一部ケイ酸、鉄（その他としてマンガンもある）  
↓ 副成分として供給される石灰分を差し引く
- ⑥石灰質資材：副成分＝アルカリのみのものを選択する。

※この①～⑥の順番で計算するが、後で選んだ資材にも先に選択した成分が含まれているので、それぞれ1回ごとに差し引き計算させる必要がある。

上記の順番は確定されているものではなく、処方箋を作成する場合の計算を楽に行うために考えた手法である。

○ 副成分を考慮した実際の計算方法 (例)

例題： CEC=20cmol/kg、石灰=200mg/100g、苦土=30mg/100g、カリ=18mg/100g、仮比重=0.7の分析数値を得た、この土壌を石灰飽和度=60%、苦土=10%、カリ=3%にするため炭カル、苦土炭カル、硫酸カリを使って改良する場合の施用量を計算する。(ただし、ほ場は10a、作土の厚さは15cmとする。)

①カリ資材施用量の計算：硫酸カリは副成分は無いので単純

$$(20 \times \frac{3 \leftarrow \text{目標飽和度}}{100} \times 47.1) \leftarrow \text{カリ当量} - 18 = 28.3 - 18 = 10.3 \text{mg/100g ds}$$

$$10.3 \times 0.7 \times \frac{15 \leftarrow \text{作土深}}{10} = 10.8 \leftarrow \text{不足 K}_2\text{O kg/10a} \cdot 15\text{cm 作土}$$

$$10.8 \times \frac{100}{50 \leftarrow \text{硫酸カリのカリ含量\%}} = 21.6 \leftarrow \text{硫酸カリの施用量 kg/10a} \cdot 15\text{cm}$$

②苦土資材施用量：苦土炭カルは苦土と石灰が含まれる。

[最初に苦土の必要量を確定する]

$$(20 \times \frac{10}{100} \times 20.2) - 30 = 10.4 \text{mg/100g ds}$$

$$10.4 \times 0.7 \times \frac{15}{10} = 10.9 \leftarrow \text{不足 MgO kg/10a} \cdot 15\text{cm 作土深}$$

$$10.9 \times \frac{100}{10 \leftarrow \text{苦土炭カル中の MgO 成分\%}} = 72.7 \text{ 約 73kg 苦土炭カル施用量 kg/10a} \cdot 15\text{cm}$$

③苦土炭カル73kgに含まれるCaO量kgの計算：差し引き計算用

苦土炭カルはアルカリ度55%で10%が苦土、石灰% = 55 - 10 × 1.39 = 41.1%

$$72.7 \times \frac{41.1}{100} = 29.6 \text{ CaOkg} \leftarrow \text{炭カルからの差し引き量 kg}$$

④石灰不足量を計算：苦土炭カルからの施用量を差し引き計算する。

$$(20 \times \frac{60}{100} \times 28) - 200 = 136 \text{ mg/100g ds}$$

$$136 \times 0.7 \times \frac{15}{10} = 142.8 \leftarrow \text{不足の CaO kg/10a} \cdot 15\text{cm}$$

$$\begin{matrix} \downarrow \text{CaO不足量} \\ (142.8 - 29.6) \times \frac{100}{53} = 213.6 \text{ kg/10a} \cdot 15\text{cm 炭カル施用量} \\ \uparrow \\ \text{苦土炭カルからの CaO 供給量} \end{matrix}$$

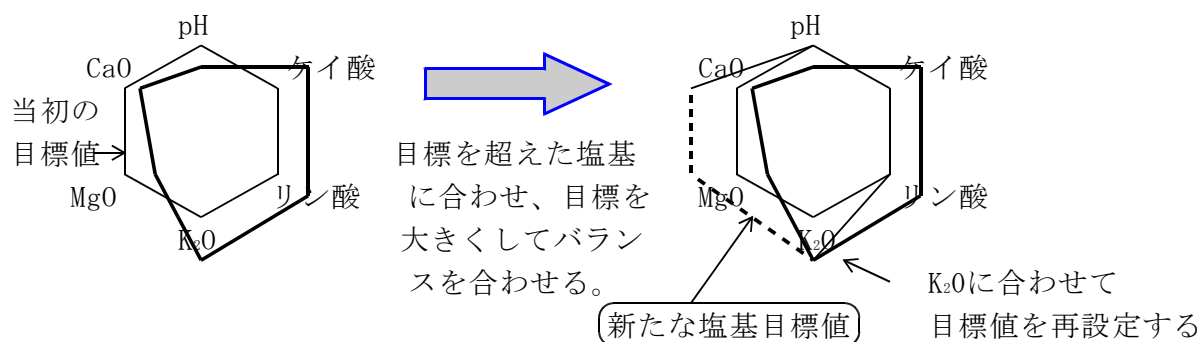
処方箋：施用資材の製品施用量は包装単位等を参考に、数値は丸めて表示する。

成分	分析値mg/100g	目標飽和度%	施用資材名	施用量kg/10a・15cm
CaO	200	60	炭カル	約 210
MgO	30	10	苦土炭カル	約 70
K <sub>2</sub> O	18	3	硫酸カリ	約 20
仮比重=0.7 CEC=20				

○ 目標値を越えた塩基類の分析値では目標値を再設定する。

水田ではあまり問題とならないが畑地では塩基バランスが重要で、目標値を上回る塩基類の測定値が得られた場合、以下のようにして目標値を再設定して再度計算する。

石灰は目標値に対して不足しているが、カリが過剰の場合にそのままでは塩基バランスが悪くなる場合が多い、このようなときに塩基バランスを優先させて改良する場合、目標値を過剰な成分に合わせて再設定する必要がある。



黒ボク土のハウス土壌の分析値がCEC=27cmol/kg、CaO=330mg/100g、MgO=82.8mg/100g、K<sub>2</sub>O=117.8mg/100g、仮比重=0.7であった。

この土壌を、塩基飽和度=80%、CaO飽和度=57%、MgO=16%、K<sub>2</sub>O=7.2%に改良する場合、各塩基の目標mg/100gは、CaO=430.9、MgO=87.3、K<sub>2</sub>O=91.6（それぞれmg/100g）となり、K<sub>2</sub>Oは目標値より高い測定値となっている。（目標K<sub>2</sub>O=91.6、測定K<sub>2</sub>O=117.8mg/100g）

そのため、当初の目標値を使ってカリを入れず、その他のCaO、MgOを目標値まで改良すると、改良後の塩基バランスはCaO/MgO=57/16=3.6（6以下に適合）、K<sub>2</sub>Oの飽和度は、9.3%となり、MgO/K<sub>2</sub>O=16/9.3=1.7（2以上ではない）となり、塩基バランスが崩れることとなる。このため、塩基バランスを合わせるには、K<sub>2</sub>Oを基準にして他の塩基のバランスを考慮しながら新たな目標値を設定する必要となってくる。

具体的な目標値を作るには、測定土壌が、K<sub>2</sub>O飽和度=9.3%なので、MgO/K<sub>2</sub>Oを2.5程度とするため、(MgO/K<sub>2</sub>O=x/9.3=2.5を成立させるには、x=MgO=23.25%：目標飽和度)が必要となる、更にCaO/MgO=6以下なので、3程度（概数として設定する）とするには、CaO/MgO=x/23.25=3を成立させるx=23.25×3=69.8となり、目標CaO飽和度は約70%とすると、塩基バランスが適正な範囲になることから、

新たな目標値：CaO飽和度=70%、MgO飽和度=23%、K<sub>2</sub>O飽和度=9.3%

として、目標値を再設定してから計算することとなる。

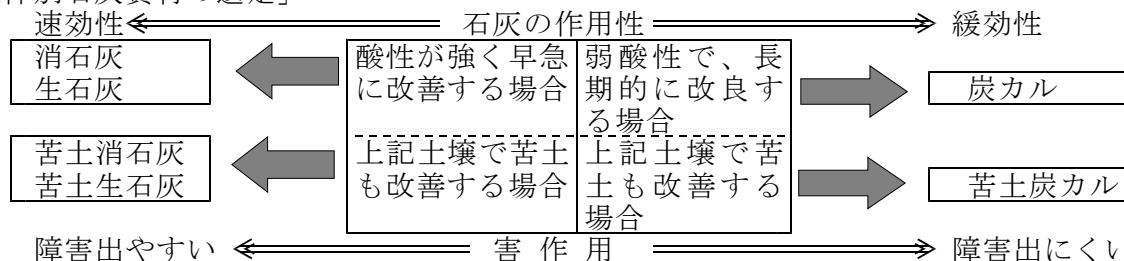
※この場合カリが過剰であることから、基肥及び追肥でカリを抑えた施肥として徐々に修正する方法もある。塩基バランスを強制的に修正するか、施肥方法を変更して改良するかは、測定値の大小、ほ場条件、塩類集積などの状況から検討する。

キ 条件別資材の選定方法

(ア) 石灰 (CaO)

pHの改良の項を参照するとともに、リン酸資材、ケイ酸資材は副成分として石灰を含むものが多いことから、リン酸、ケイ酸の不足量を勘案して資材を選定する。

[条件別石灰資材の選定]



※消石灰や生石灰は酸性強制力が強く即効性であるが、施用直後は根に障害が発生し易いため、育苗床土等の改良は炭カルを利用する。また、粒状より紛状の方が即効性となる。

(イ) 苦土 (MgO)

苦土資材も、副成分として石灰が含まれており、石灰の不足量を勘案して選定する必要がある。苦土は、酸性ほど吸収が抑制されるが、pHが高いのに苦土 (Mg) が不足する場合などもあり、その場合は、硫酸マグネシウムや水酸化マグネシウムなど、水溶性の高い資材を選定する。

(ウ) カリ (K<sub>2</sub>O)

カリは、3要素として基肥や追肥で施用されることから、若干の不足があっても特別に施用する場合は少ないが、土壌のpHにより資材を選定する。

- ① pHが酸性を示す場合 : 塩化カリ (生理的、物理的中性)
- ② pHがアルカリ性の場合 : 硫酸カリ (物理的酸性肥料)
- ③ ECが高い場合 : ケイ酸カリ

(エ) リン酸 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)

リン酸は、土壌が酸性の場合、容易に固定され、有効態リン酸は増加しないことから、pH矯正を行った後に改良する必要がある。

① 土壌pHに対応したリン酸資材 (石灰などの副成分が多い資材)

酸性土壌 (中性に持って行きたい場合) = ようりんを使用

中性土壌 (そのままにしたい場合) = 苦土重焼燐、ダブリン、リンスター、腐植燐

アルカリ土壌 (pHをやや下げる又は上げない場合) = 過リン酸石灰、重過石、ダブリン、リンスター、腐植燐などを使用

② リン酸吸収係数が高い場合

ようりん等、く溶性リン酸を使用するとともに、堆肥など有機物の施用を同時に行う。

(オ) ケイ酸 (SiO<sub>2</sub>)

稲のケイ酸吸収阻害要因は、①窒素が多い、②石灰が多い、③苦土が少ない、④水温地温が低い、⑤土壌還元が強い、⑥硫化水素、有機酸、シアンが多い、⑦湿度が高い、⑧日照が少ない、⑨ケイ酸が少ない などの場合であることから、これらの改善を先ず行ってから改良する。

また、石灰や苦土、リン酸を含んだ資材が多いことから、他の資材の不足量を勘案して選定することが基本であるが、不足量に関わらず一定量を施用することが多く、施用する場合は副資材を考慮する。

[参考：DosinWINの概要]

以前DOS版で作成した土壌診断処方箋作成ソフトを、2004年に [DosinWIN Ver1.0] としてWindows版を開発した。

このパソコンソフトは、①土壌分析（化学性）結果を入力、②目標値に対応した不足資材の選択、③結果印刷の3段階により効率的に農家指导向け処方箋を作成するソフトである。

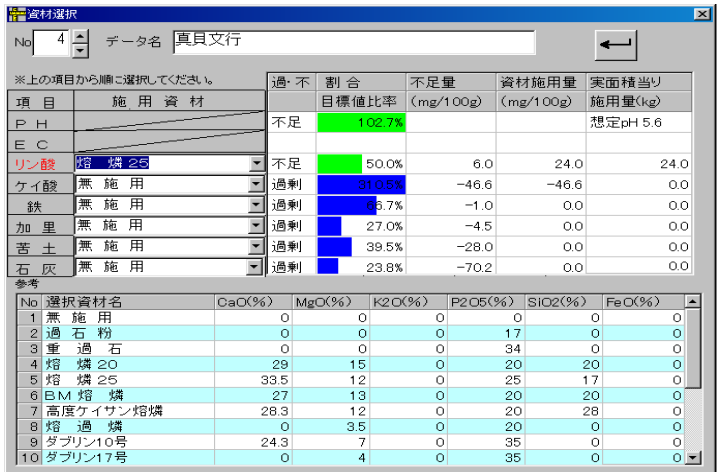
1 入力画面



[特徴]

- 1 データ入力のCECに応じた目標値のmg/100gを計算し表示することで、目標値のイメージが理解できる。
- 2 データ入力段階で、当該土壌の飽和度や塩基バランスを表示することで土壌中の塩基の概要を理解しながら入力できる。
- 3 データ入力、資材検討、結果検討の各画面間を相互に切り替えることができ、分析結果詳細検討と大量データ処理が可能

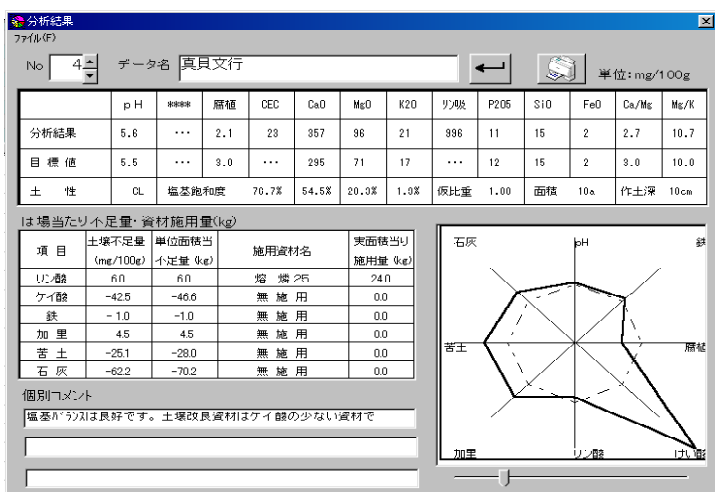
2 改善資材選択画面



[特徴]

- 1 不足分量に対する不足割合をグラフ表示することでイメージをつかみやすい。
- 2 副成分投入量を勘案して不足量を増減表示させることで、適正な成分の資材選択が容易である。  
副成分投入によるPHの上昇効果も概算で表示し、適正資材選択を支援。
- 3 表示は、当該ほ場の面積、作土深当たりと標準となる10a・10cmの値も同時表示し、イメージを把握し易い。

3 結果表示画面



[特徴]

- 1 標準ほ場当たりの不足量とともに、各資材の施用量を表示しており、イメージがつかみやすい。
- 2 データは順次高速でスクロールでき、地域別の土壌タイプの把握に便利である。
- 3 個別結果のコメントを入力し、詳細な個別指導資料を作成できる。



[参考：各資材の成分と副成分量]

①リン酸質資材

資 材 名	C a O	M g O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S i O <sub>2</sub>	F e O
過石（粒）				17.5		
マグコープ17		3.5		17.0		
重過石				34.0		
輸入重過石				44.0		
熔燐20	36.0	15.0		20.0	26.0	
BM熔燐	27.0	13.0		20.0	20.0	
高度ケイサン熔燐	28.0	12.0		20.0	28.0	
熔過燐		3.5		20.0		
ダブリン特17		7.0		35.0		
リンスター		8.0		30.0		
パワーリン		3.0		30.0		
パワーリン特1号		6.0		10.0		
腐植りん		8.0		15.0		
重焼燐2号				35.0		
苦土重焼燐		4.5		35.0		
BM苦土重焼燐		4.5		35.0		
ボロン苦土重焼燐		4.5		35.0		
ソイル元気		3.0	9.0	16.0	14.0	
ソイル元気2号		3.0	12.5	11.0	19.0	
PK苦土		12.0	15.0	3.0		
PK08		3.0	18.0	20.0		

②ケイ酸質資材

資 材 名	C a O	M g O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S i O <sub>2</sub>	F e O
ケイカル（粒状）	39.0	4.0			30.0	
粒ヨリケイカル14号	34.0	2.0		3.0	30.0	
ヨリケイカル混合14号	38.0	5.5		3.5	27.5	
粒状ヨリケイカルPS23	33.0	6.0		6.0	25.0	
フシPS45	30.0	7.0		5.0	22.0	
元気なたんぼ	27.0	7.0		9.0	18.0	
みつかね肥料	15.0	6.0			18.0	

③鉄質資材

資 材 名	C a O	M g O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S i O <sub>2</sub>	F e O
粒状ミネラル鉄粉	30.0			10.0	1.0	50.0

④カリ質資材

資 材 名	C a O	M g O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S i O <sub>2</sub>	F e O
塩化カリ			60.0			
白色塩加			60.0			
硫酸カリ			50.0			
ケイ酸カリ		4.0	20.0		30.0	
重炭酸カリ			46.0			

⑤ 苦土質資材

資 材 名	C a O	M g O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S i O <sub>2</sub>	F e O
苦土炭カル	41.0	10.0				
MG-30	58.0	30.0				
焼成苦土	45.0	18.0				
DL焼成苦土	52.0	20.0				
アズミン		3.0				2.0
アズミン苦土石灰	36.0	10.0				
硫マグ		25.0				
マルチサポート1号		15.0			12.0	2.0
マルチサポート2号		12.0			18.0	3.0

⑥ 石灰質資材

資 材 名	C a O	M g O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S i O <sub>2</sub>	F e O
消石灰	70.0					
DL消石灰	72.0					
炭カル	53.0					
Gライム	65.0					
シェルフミン	37.0				20.0	
セルカ	46.0					
畑のカルシウム	80.0					
カルボーン	33.5	15.3		2.5		

コラム 塩基バランスが崩れるとどんな障害が現れるの？

作物では、養分吸収に成分相互の作用があるため、土壌中に多量に存在している養分であっても欠乏症状が現れる場合があります。代表的な養分では、石灰、苦土、カリの3成分間には拮抗作用があり、これらの塩基成分の一つが過剰になると、ほかの成分の吸収が抑制されます。

また、塩基バランスの崩れた土壌では、塩基含量の過不足がみられ、塩基含量が少ないと土壌は酸性へ、多いとアルカリ性へ傾くので微量元素の吸収に影響します。

塩基バランスを適正に保つことは、作物の養分吸収にとって大変重要なことですので、塩基の含量と塩基バランスを適正に保つため、定期的な土壌診断が必要です。

コラム pHをH<sub>2</sub>OとKClで測定すると何が分かるの？

土壌に水を加えて振とうすると水素イオンが水溶液中にとけて解離してきます。このときの水溶液のpHを土壌のpH(H<sub>2</sub>O)としています。土壌のpHは蒸留水または1N-KClで抽出しますが、酸性土壌では、pH(KCl)はpH(H<sub>2</sub>O)より0.5~1.5ぐらい低い値となります。

これは、土壌に吸着されたアルミニウムイオンや水素イオンがカリウムイオンとイオン交換によって溶液中に放出されるためです。pH(H<sub>2</sub>O)に比べpH(KCl)が非常に低い(2以上の差)場合は潜在的な酸性が強く、中和する場合より多くの石灰が必要となります。

一般的な土壌(CEC=20程度、塩基飽和度60%位)では、両者の差が概ね1程度となり、砂土では差が少なく、埴土では大きくなりCECも大まかに判断できたり、CECが高い土壌で、差が少ない場合は塩類集積の疑いも見ることができます。2つのpHとECだけでも大まかな土壌の判断が可能となるなど、重要な分析数値です。

## (8) 塩類集積の改良

県内で塩類濃度障害が問題になるのは施設園芸畑がほとんどである。塩類蓄積による作物への障害は以下のようなものがある。

### [塩類濃度障害の原因]

ア 土壌溶液の塩類濃度が高くなることによって、根と土壌溶液の浸透圧勾配が小さくなり水分の吸収を妨げる。

イ 特定成分による害作用

塩類濃度が高まると硝酸化成菌の活性が下がり、アンモニア ( $\text{NH}_4^+$ ) が蓄積し、障害を起こす (葉色が黒くなり、葉巻き状態になる)。

ウ 成分濃度や組成の不均衡による養分吸収の異常、特に、土壌中の多量アンモニアは、カルシウム・カリの吸収阻害、pHの変動による微量養分の吸収阻害、また塩基組成のアンバランスによる拮抗作用などによる吸収阻害などがある。

塩類濃度を知る方法としては、電気伝導度計による方法が一般的であり、土壌別による作物と濃度障害の関連が明らかにされている (表 IV-3-(8)-1)。

表IV-3-(8)-1 野菜に対する土壌別塩類濃度の限界点 (橋田) (ds/m)

土の種類	生育障害が起こりうる塩類濃度			枯死限界点の塩類濃度		
	きゅうり	トマト	ピーマン	きゅうり	トマト	ピーマン
砂 土	0.3	0.4	0.5	0.7	0.9	1.0
沖積埴壌土	0.6	0.7	0.7	1.5	1.6	1.7
腐植質埴壌土	0.7	0.7	1.0	1.6	1.7	2.4

注: 1:5による測定値

塩類濃度障害が起こる原因としては、①過剰施肥による硝酸イオンの蓄積、②畜ふん堆肥や石灰類の過剰施用によるリン酸、カルシウム、マグネシウム、カリの蓄積、③化学肥料の副成分 (硫酸イオン、塩素イオン) の残留、④単一作物の連作による特定養分の蓄積等があげられる。施設栽培は、降雨による養分の地下への浸透が少ないため、上記のイオン類がとどまりやすい。これらのイオン類はカルシウム、マグネシウムなどと結合し、高温乾燥の環境下では、土壌表面からの水分蒸散に伴い地表面に上昇し、塩類集積が起こる。これらを除去するための手段として次のような対策がとられている。

### [濃度障害の対策]

ア クリーニングクロープ

イネ科など生育量の大きいクリーニングクロープを栽培し、圃場外に持ち出す。

イ たん水除塩、かけ流し

大量の水 (200~300 l/m<sup>2</sup>) をかん水し洗い流す。(暗きょ排水などの施設があることが前提となるが、排水による環境汚染に注意する。)

ウ 表土の入れ替え

表層に集積した塩類を表土 (5~10cm) ごと圃場外に持ち出す。

エ 深耕、天地返し

濃度の低い深層部の土壌と混和、入れ替えすることにより作土の塩類濃度を低下させる。

オ 有機物施用による固定化

炭素率が高い有機物 (稲わら等) を施用し、腐熟の過程で働く微生物等に余剰塩類を取り込ませる。(短期的に効果があるが、腐熟後は、吸収された養分は放出される。)

## カ ビニールの除覆

休閑期には可能な限りビニールを取り外して、降雨にあてる。同時にクリーニングクロップを作付けすれば一層効果が高い。

いずれの手法でも一定の効果は期待できる。しかし、一度蓄積した塩類を除去することは実際は非常に困難であり時間もかかるので、過剰蓄積が起こらないよう次のことに注意する。

キ 家畜ふん堆肥の施用量は年間1～2トン程度に抑え、堆肥の種類により変動するリン酸、カリの成分量を計算して肥料の施用量を差し引く。家畜ふん堆肥は、わら、籾がらなど植物質の資材を多く含んだ、肥料成分濃度が低い堆肥を使用することが望ましい。

ク 硫安、塩安、硫酸カリ、塩化カリなど肥料に含まれる副成分（硫酸、塩素など）が残留することが要因となることから注意する。

ケ 作物の生育状況だけでは、的確に施肥量を捉えることができない場合があるので、土壌分析を定期的に行い、それに基づいた肥料設計に心がける。

コ 塩類障害が発生した畑、あるいは発生危険がある畑では、塩基類のバランスがくずれている場合が多いので、過剰の成分は施肥を中止し、不足成分を補ってバランスを矯正することに努める。ただし、急激に改善しようとする濃度障害を起こす危険があるので、数年かけて徐々に矯正する。

### 塩基類のバランスの目標値

$\text{CaO}/\text{MgO} \cdots \cdots 6$  以下  
(下限は2程度とする)

$\text{MgO}/\text{K}_2\text{O} \cdots \cdots 2$  以上  
(上限は4程度とする)

## サ ノンストレス肥料の活用

施設栽培では、降雨の影響を受けることがほとんどないため、施用した肥料分が完全に作物に吸収されなかった場合、肥料養分が過剰に蓄積する傾向にある。また、特定成分が吸収される一方、その他の成分が残存し、成分間の不均衡が生ずる。

野菜の施設栽培において過剰施肥した場合、硝酸などの肥料成分が吸収しきれないで残存し、土壌ECを高めることで土壌溶液は浸透圧が高くなり、根の水分ストレスの原因となって、生理障害が発現する。

また、硫安などの副成分である硫酸イオンや、塩安・塩化カリの副成分である塩素イオンも土壌中に残存する。その結果、土壌中に石灰が十分あるにもかかわらずpHが低下し、さらにECは高くなる。このような状態では、pH矯正のために余分な石灰を投入したり、あるいは、硝酸態窒素が不足し、生育が思わしくない場合でも高いECを見て追肥を控えたり、といった悪循環に陥る場合がある。

さらに、硫酸イオンや塩素イオンは土壌に含まれる塩基類と結びついて、硫酸カルシウム、硫酸マグネシウム、塩化カルシウム等の塩類となって土壌に蓄積する。これが施設における塩類集積の主たる要因と考えられている。

そこで、副成分として硫酸イオンや塩素イオンを含まない肥料が開発され、それらは「ノンストレス肥料」と呼ばれている。ノンストレス肥料は窒素成分として燐安やウレアホルムを使用し、リン酸成分は燐安やリン酸、カリ成分はけい酸カリを使用している。

ノンストレス肥料の継続使用により、副成分の蓄積によるpHやECの異常と、塩類集積の危険は緩和される。しかし、既に硫酸や塩素が蓄積している施設では、直ちにそれらを取り除くことは困難であるので、複数年かけて徐々に改善するようにする。

## (9) 養分の欠乏、過剰対策

### ア 欠乏症

養分欠乏は野菜の生育に大きな影響を及ぼす代表的な生理障害である。火山灰土壌では、リン酸が土壌に固定されるため、リン酸不足によるレタスやたまねぎなどの生育不良や、石灰・苦土など塩基欠乏のため土壌が酸性化して活性になったアルミニウムの害で各種の野菜に生育不良を起こす。また、苦土(Mg)含量が不足して起こる苦土欠乏や土壌pHの上昇と乾燥によって、ほう素やマンガンが不可給化して起こる欠乏症などが典型的な例である。

養分欠乏症が発生する原因は、土壌の母材に起因する潜在的欠乏、他の養分との拮抗作用による欠乏、土壌反応や土壌水分の急激な変動に伴う不可給化などが考えられる。

これらの対策は、以前はそれぞれ不足する養分を必要なだけ土壌に施用したり、葉面散布をすれば解決できる場合が多かった。しかし、近年の生理障害は、養分の単純な欠乏で発生するケースは少なく、逆に養分が土壌に過剰に蓄積したり、それもアンバランスに存在する場合などに発生する例が多くみられるようになった。また、温度や水分などの栽培環境が複雑に絡みあっていることが多い。

現場で各品目に渡って出やすい欠乏症は石灰欠乏、苦土欠乏、ほう素欠乏で、これらのうち石灰欠乏、ほう素欠乏については特異的な障害がしやすいので障害(症状)名で呼ばれる場合が多い。主な品目について障害名、症状、原因と対策は次頁のとおりである。

### コラム ECが高い場合はどうすればいいの？

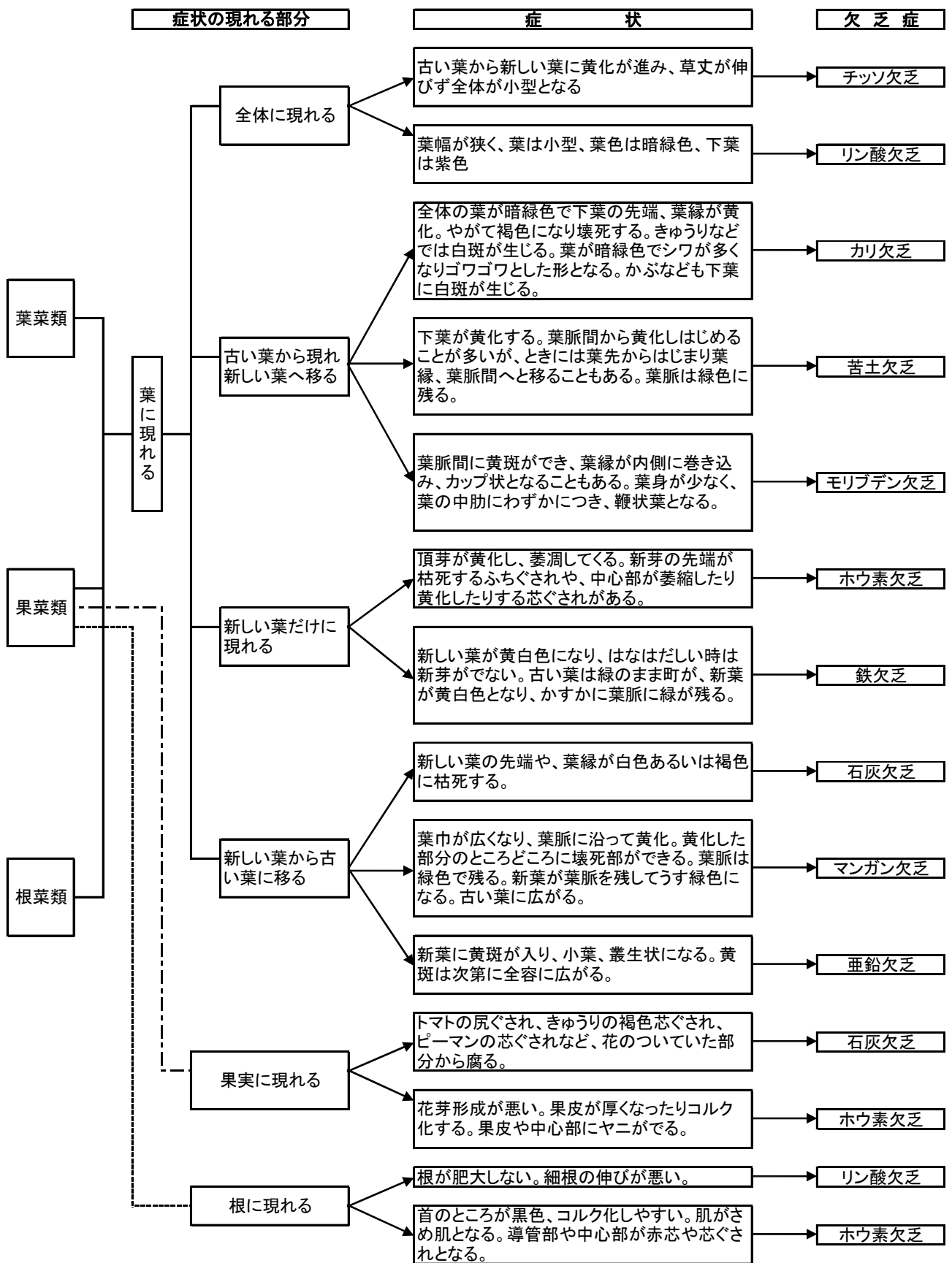
ECは電気伝導度ともいい、土壌中の水溶性塩類の総量を表します。通常、EC値は土壌中の硝酸態窒素量との相関が高く、施肥の目安となります。ECが低ければ作物の吸収量に合わせて基準量の肥料を施し、高ければ施肥量を減らすか、場合によっては除塩対策が必要になります。除塩の方法はIV-3-(7)塩類濃度の改良の項を参考にしてください。

ところで、近年施設栽培などでは、過剰な塩類集積や肥料に副成分として含まれる硫酸や塩素などの蓄積によって土壌のECが上がり、適正な施肥判断ができなくなっている場合があります。この場合は除塩や客土、緑肥作物の栽培といった対策が必要になります。最寄りの指導機関に相談するなどして土壌分析を行いましょう。

### コラム pHが高い場合の矯正方法は？

作物にはそれぞれ生育に適した土壌pHの範囲があり、この範囲内で土壌管理することが基本となります。降水量の多い自然条件下では土壌のアルカリ化は起こりにくいと思われすが、施設野菜等では土壌から蒸発する水量がかん水量を上回るため表面に多量の塩類が集積してアルカリ化するケースが見受けられます。

土壌診断に基づく適正な土壌改良資材の施用が管理の基本となりますが、アルカリ化してしまった場合、硫酸等の生理的酸性肥料を用いたり、石灰の使用中止、りん酸質資材は過リン酸石灰等を用いるなどpHを下げる方向の肥培管理を行います。また、下層土のpHを調査した上で深耕、天地返しを行ったり、クリーニングクロープを栽培し除塩するといった対策を行います。



図IV-3-5 野菜の要素欠乏症の現れ方 (矢崎・小嶋:植物栄養学 肥料学)

表 IV-3-(9)-1 主な野菜のほう素欠乏症状と対策

品目名	部位	障害名	症状	原因と対策
トマト	茎	異常茎 異常主茎 窓あき めがね	第1あるいは第4段果房付近の主茎の節間がつまり、そこに条溝がみられる。ひどい場合、条溝が割れ褐変し、さらに裂開して穴があく	ほう素吸収不良(育苗中)高温、乾燥、多肥、多カリ多アンモニア、土壌pHの不適正。 良質床土、極端に乾かさない。 ほう素の葉面散布
	果実	芯腐れ果	果実内部の胎座部が褐変する。ひどい場合は褐変部が空洞となる。	ほう素、石灰不足と考えられている。品種間差も明らかに認められる。 深耕や良質堆肥の施用などにより土づくりを行い、生育のバランスを整える。品種せん定を行う。ほう素、カルシウムの葉面散布を行う。
きゅうり	先端部	芯止まり	先端部の異常として現れる。	堆肥の施用、微量養分剤の利用、有機質肥料の施用、適温管理、石灰、カリ、アンモニアの適量施用、ほう素の葉面散布。
はくさい	葉	中肋さめ	球葉の内側に黒褐色の亀裂が生じる。甚だしい場合はエソ状態となり、株の伸びも悪く、芯が腐敗することもある。	ほう素の欠乏による症状。堆肥の施用の少ない土地、新開地、砂壤土の沖積地などで発生しやすい。 2kg/10アールのホウ砂かほう素入り肥料を使用する。
レタス	葉	ほう素欠乏	生長点が黄化し、進行すると株が枯死する。若い葉では葉柄に亀裂を生ずる。大きくなった葉はコルク化した茶褐色のひび割れとなる。	ほう素はアルカリ性土壌では吸収されにくくなる。多肥(多カリ、多アンモニア)の場合、低温・多湿で根が弱っている場合に吸収阻害が起こりやすい。
だいこん	根	赤シン さめ肌	軽度の場合は肥大根の下部に軽いさめ肌状の肌荒れを現し、強度の欠乏では根身の肌に縦横に亀裂が入りコルク化褐変する。肉部は中心から褐変し硬肉となる。	ほう素を含む肥料の施用またはホウ砂10アールあたり1~1.5kgを施用する。新開畑では注意が必要。
かぶ	根	芯腐れ さめ肌	芯腐れ、内部の褐変等根部のさめ肌	ほう素を含む肥料の施用またはホウ砂10アールあたり1~1.5kgを施用する。
かんしょ	いも	さめ肌	さめ肌いもの肌がざらざらした感じになる	ほう素の吸収阻害・・・高温・乾燥・多肥・多カリ・多石灰土づくり、ほう素施用

表 IV-3-(9)-2 主な野菜の石灰欠乏症状と対策

品目名	部位	障害名	症状	原因と対策
トマト	果実	尻ぐされ	果頂部が油浸状に、暗褐色に変わって陥没して固まる。側面にでることもある。(果実が親指大の頃からみられる)	石灰吸収不足施肥法改善、乾燥防止、地温上昇防止、石灰施用、根系の発達をよくする。
きゅうり	葉	落下傘葉	葉の周辺に黄色部分を生ずる。落下傘葉(葉の周辺が黄化し、葉全体がおわんを伏せたような形)が見られる	石灰の施用と吸収を促進する。最低夜温を保ち、根の発達をよくする。
ピーマン	果実	芯腐れ果	果実の側面に暗褐色のやや陥没した斑点ができる。	果実内の石灰供給不足、高温、乾燥、多肥(窒素、カリとの拮抗作用)で助長。 有機質肥料による土壌改良、かん水、適正施肥。

表 IV-3-(9)-2 主な野菜の石灰欠乏症状と対策

品目名	部位	障害名	症状	原因と対策
メロン	果実	肉質悪変 (発酵果)	果肉が追熟による軟化でなく異常な状態のものを総称する。 発酵果：果実が水浸状になり、異臭と舌をさすような食味になり、ひどい場合は果面に汗をかく。胎座部だけの発生もある。	発酵果は石灰の不足、果実への石灰の移行阻害（窒素の過剰、土壤水分の過多、多湿等で草勢が旺盛となり、石灰の果実への移行不良）、石灰の吸収阻害（窒素、カリの拮抗作用、日照不足、乾燥による吸収阻害）による。根の酸素欠乏や根の衰弱で活力低下も吸収阻害となる。高温も影響、品種間差も大きく、発生しやすい品種としにくい品種がある。
キャベツ	葉	縁腐れ	生長点部がまず黄化し、あるいは葉縁が葉焼けしてエソを起こし、いわゆる縁腐れとなる。	石灰は水とともに吸収され、蒸散の盛んな部分に分配される。石灰が施してあっても干ばつで吸収が十分に行かないと発生する。
はくさい	葉	芯腐れ 縁腐れ症	芯腐れは球葉の葉縁が黒変する。縁腐れは葉縁部が萎縮し枯れる。	石灰欠乏による。塩化カルシウムの0.3～0.5%液の葉面散布を行う。石灰類を多用して土壤pHを下げるようにする。
レタス	葉	縁腐れ	生長点部が黄化し、進行すると葉縁が葉焼け状になり縁腐れとなる。	石灰の不足または、吸収がよくない状態で発生しやすい。
さといも	いも	芽つぶれ症	小、孫の頂部を中心に欠損を生じ、平面に陥没しコルク化する。	石灰欠乏が原因とされるが、ほかに窒素やカリの過剰施用、アンモニアの過剰、土壤の乾燥、過失が誘引とされる。ほう素の欠乏も関与しているようである。火山灰土（黒ボク土、淡色黒ボク土）で発生しやすい。
かんしょ	いも	石灰欠乏症	毛穴が深くなる。	高温、乾燥による吸収阻害
そらまめ	種子	石灰欠乏症	莢内の子実のおはぐろと反対の部分に褐色斑点を生じ、種皮が裂けることもある。	石灰欠乏が原因で開花初期から収穫期の乾燥は発生を助長する。元来酸性を嫌う作物なので十分に石灰を施用するとともに開花期以降は乾燥しないようかん水を行う。

表 IV-3-(9)-3 主な野菜の苦土欠乏症状と対策

品目名	部位	障害名	症状	原因と対策
トマト	葉	苦土欠乏症	中低位葉の葉脈間が、主脈に近い部分から脱色して黄化する。	低温による苦土の吸収阻害 地温上昇（15℃異常）肥料成分の均衡
きゅうり	葉	苦土欠乏症	主脈に近い葉脈間が脱色し、順次周縁部へと脱色部分が拡大する。	多アンモニア、多カリ、多石灰、低温などにより吸収が阻害される。
なす	葉	苦土欠乏症	葉脈の間が黄化し著しい場合は褐変、エソ部を生じる。	苦土不足によるもの、根が弱って吸収が低下するもの、カリの過剰による拮抗作用で吸収が阻害されて起こる場合もある。苦土入り肥料の施用を多くしたり、根が十分昨日する土づくり、かん水を行う。台木によっても発生の差がある。



表 IV-3-(9)-3 主な野菜の苦土欠乏症状と対策

品目名	部位	障害名	症状	原因と対策
メロン	葉	葉枯れ症	着果節付近の葉縁あるいは葉脈間にエソ組織が発生。	苦土欠乏、乾燥、塩類集積土壌で根からの用水分の吸収阻害、着果過多、強整枝、日照不足等による根の活力低下。根を弱らせない。
すいか	葉	養分欠乏症 (Ca欠) (Mg欠)	果実肥大初期から株元葉が黄化して外側に反り返ったり、葉縁が褐変え死し、次第に常用に症状が進展する。	黄化、反り返りは石灰の吸収不良、欠乏によって生じる。葉縁の褐変え死は苦土の欠乏による。 耕土を深め、堆肥を増施して根群の発達を促すとともに施肥の適正化を図る。適正なかん水。果実肥大期に高夜温管理をしない。

表 IV-3-(9)-4 主な果樹の養分欠乏症状と対策

養分	品目	障害	原因と対策
Ca	なし	<ul style="list-style-type: none"> <li>・新梢の褐変湾曲、葉色は黄化</li> <li>・変色部は次第に枯死し甚だしい場合は落葉する。</li> <li>・石なしなど生理障害果が多発する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・苦土が少ない土壌母岩での開園では注意が必要</li> <li>・土壌乾燥が激しいと吸収抑制される。</li> <li>・障害は、新葉から現れやすいので注意して観察する。</li> <li>・開園の際に土壌改良資材として石灰200kg前後をリン酸とともに施用する。</li> <li>・土壌酸度の矯正を兼ね年間100～150kg施用する。</li> <li>・有機質を多投し、腐植含量を高めることで、水分保持力向上とCECを高める。</li> </ul>
	ぶどう	(発生は希である) <ul style="list-style-type: none"> <li>・軽度の時は、葉形、大きさへの影響は少ないが著しいときは生育不良となる。</li> <li>・葉色は黄化し、成葉、老葉は早期落葉する。</li> </ul>	
	もも	<ul style="list-style-type: none"> <li>・葉の大きさは変わらないが、暗紫色を呈し巻き込む。</li> <li>・遅れて萌芽する若い葉身は中央部が変色し、一部枯れ込む</li> </ul>	
	かき	(発生は希である) <ul style="list-style-type: none"> <li>・葉縁部に葉やけを生じ内側へ巻き込む。</li> <li>・遅区なると葉身内に比較的大きな変色部(斑)ができる。</li> <li>・地上の欠乏症状前に根部に影響が現れ、生育が阻害される。</li> </ul>	
Mg	なし	<ul style="list-style-type: none"> <li>・葉の中央と葉縁の中間部分がぼやけた黄色になる。</li> <li>・落葉が早まる</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・雨の多い年や酸性土壌、腐植に乏しい土壌で発生しやすい。</li> <li>・窒素、カリの多用で発生し易い</li> <li>・酸性土壌では、苦土石灰、ようりんを施用する。(苦土成分で20Kg程度) 中性土壌では硫酸苦土を施用する。</li> <li>・症状が軽い場合や根が弱っているときは硫酸マグネシウム1～2%の葉面散布を行う。</li> <li>・他のマンガン、亜鉛欠乏と合併して発生する場合がある。</li> </ul>
	ぶどう	(発生しやすい) <ul style="list-style-type: none"> <li>・葉の周辺や葉脈間の退色</li> <li>・はなはだしいときは、褐変枯死する</li> <li>・葉の大きさは正常で、6～7月に古葉から現れる。</li> </ul>	
	もも	<ul style="list-style-type: none"> <li>・葉脈間が退色し葉脈のみが青くなり葉が暗色網を呈する。</li> <li>・落葉は枝の基部から始まる。</li> </ul>	
	かき	<ul style="list-style-type: none"> <li>・基部の葉が葉脈間から退色する。</li> <li>・甚だしい場合枝梢の太りが止まる。</li> <li>・落葉が著しく早まり耐寒性低下し、葉害も生じやすい。</li> </ul>	
Mn	なし	<ul style="list-style-type: none"> <li>・成葉の葉身が淡黄色に退色し斑入り(斑はMg、Fe欠よりぼやける)</li> <li>・新葉には発生し難い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・中性からアルカリ性土壌で発生が多い。pH6.5以上で多発</li> <li>・黒ボク土壌で発生し易く乾燥と重なると多発する。</li> <li>・石灰・苦土の過剰施用による拮抗作用に注意する。</li> </ul>
	ぶどう	<ul style="list-style-type: none"> <li>・成葉の葉脈が退色し、黄変部が出来る。更に進と中筋・葉脈付近のみを残し、他は黄化する。</li> </ul>	

表 IV-3-(9)-4 主な果樹の養分欠乏症状と対策

養分	品目	障 害	原 因 と 対 策
		<ul style="list-style-type: none"> <li>・斑紋の黄化は亜鉛・鉄欠乏ほど鮮やかではない。</li> <li>・一般に新芽の時期は、出にくく展葉1か月以降の新葉に出やすいが、更に葉令が進む夏以降は症状がぼやける。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・酸性土壌でもマンガンを流亡するため注意する。</li> <li>・硫酸マンガンを0.2~0.4%液に生石灰を0.3%加用して5~6月に葉面散布する。</li> <li>・土壌改良には、硫酸マンガンを堆肥に混ぜて樹周に穴を掘って施用する。(10~20kg/10a)</li> <li>・一般に中性やアルカリ性土壌で土壌施用効果が少ないため葉面散布で対応する。</li> </ul>
	もも	<ul style="list-style-type: none"> <li>・葉は次第に黄緑色となち中筋の両側の葉脈間に淡黄色の斑文が生ずる。この斑紋は鉄欠、亜鉛欠ほど鮮やかでない。</li> <li>・病斑は次第に大型化し、激しいときは中筋側脈付近を残し他は黄化する。</li> <li>・葉肉は薄く、奇形葉は無く、症状が進と樹の生長、果実の発育が抑えられる。</li> </ul>	
	かき	(発生は希である) <ul style="list-style-type: none"> <li>・葉の幅、形は正常と変わらないが、葉緑素が分解して葉色が退化する。</li> <li>・同化能力低下することから着果が減り収量低下する。</li> </ul>	
B	なし	<ul style="list-style-type: none"> <li>・枝の生長点が枯死し、芽を出しても枯死する。葉は厚くなり巻き気味となる。</li> <li>・果実表面に浅い凹部が生じ、結実不良で減収する。</li> <li>・果肉内に水浸状又はす入り症状になりやすい。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ほう素含量の少ない場合やリン酸固定力の高い砂土で出やすい。</li> <li>・水分不足、石灰過多、アルカリ性土壌で発生し易い。</li> <li>・高温、乾燥、強日照で発生し易い。</li> <li>・土壌pHの上昇による不可給化と乾燥による吸収抑制で発生する。また、根が弱ると吸収抑制される。</li> <li>・症状の軽いときは、0.5~1.0kg/10aのほう砂を施用する。症状が重い場合は、2kg程度施用する。</li> <li>・アルカリ性土壌や欠乏が激しい場合、葉面散布も検討する。</li> <li>・有機物を施用し土壌水分を確保するのが良策である。</li> <li>・石灰、カリの過剰施用は発生を助長する。</li> </ul>
	ぶどう	<ul style="list-style-type: none"> <li>・葉は5月中~下旬から淡黄色の斑点が不規則に発生する。甚だしいときは奇形となり葉縁に葉焼けを示す。</li> <li>・花粉発芽率が低下し実止まりが低下する</li> <li>・房が曲がりエビ症を示し、ネオマスカットではあん入り果となる。</li> </ul>	
	もも	(発生は希である) <ul style="list-style-type: none"> <li>・葉は小さく厚い奇形となる。</li> <li>・新梢先端は枯れ込み枝から多くの側枝が発生する。</li> </ul>	
	かき	(発生は希である) <ul style="list-style-type: none"> <li>・頂部が枯死し、腋芽出るが、これもやがて枯死する。</li> <li>・葉は厚く巻き気味になり葉柄ももろくなる。</li> <li>・授精作用が衰え、結実不良となる。</li> </ul>	

コラム 堆肥を入れて有機質中心で育てた農産物はおいしくなるか？

有機質中心でつくられた農作物は品質（着色・日持ち）がよいとか、おいしいとよくいわれています。品質向上メカニズムについては、ぼかし肥等有機物施用によって栽培された野菜の品質が、低水分・低養分管理で栽培した野菜の品質に似ている点などが報告されています。そのため、農作物の品質は向上するものの、どうしても収量は低下してしまうことが指摘されています。

その一方で、堆肥等有機物の多量施用による土壌の養分バランスの不均衡により、主として窒素やリン過剰が引き金となる生理障害や病害の発生が認められています。有機物の施用は土づくりに大変有効な手段ですが、養分の過剰や不均衡を生じさせない施肥管理・肥培管理への配慮が大切です。

表 IV-3-(9)-5 主な花きの養分欠乏症状と対策

花き名	症状名	主な症状	発生条件・原因など
きく	葉緑褐変症 葉枯症 頂葉褐変症 心止まり症	葉緑の褐変、葉枯れ 草丈の短小化 中位葉の褐変症状 頂葉部分が梅雨明けに褐変枯死 苗に発生する心止まり、心腐れ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ B過剰 (Bが葉緑まで移行し、多量に蓄積する)</li> <li>・ 不明</li> <li>・ Mg飽和度上昇による根の活力低下</li> <li>・ PとCa吸収力の関係が関与 (露地ぎくで発生)</li> <li>・ 親株育成時の過湿、多施肥。挿し穂の冷蔵が根本原因</li> </ul>
カーネーション	節割れ症 茎割れ現象 クロロシス Mn過剰症 萎縮そう生症 葉の障害 葉枯れ症	節が縦に割れる 茎が縦に割れ商品価値がなくなる 止葉にクロロシス発生 葉脈間の黄化。葉先から枯れ込む 定植後の心止まり 下葉先の枯れ、褐色斑点症状 止葉先端の褐変、上位葉の小斑点 止葉近くの葉がかすり状に白化	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 不明 (B欠では節が横に割れる)</li> <li>・ Zn欠乏</li> <li>・ K欠乏。N過剰が関与。品種「コーラル」で発生</li> <li>・ Mn過剰吸収害。品種「バタースコッチ」で多発</li> <li>・ Bがそう生症の発生を助長。土壤微生物も関与</li> <li>・ 低pH (品種により許容pHが大きく異なる)</li> <li>・ 開花期の急激な生育に伴って止葉等で起こるKの欠乏</li> <li>・ P過剰。K施用量を増すと発生率低下</li> </ul>
ばら	クロロシス ネクロシス	新梢伸長時の先端葉に多発 新葉の葉脈間が黄白化葉の周辺の黄化。次第に落葉 成長した葉で症状が出、落葉 墨をぬったような黒色斑	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 単純なFe欠乏、またはPの過剰吸収によるFe欠乏</li> <li>・ Fe欠乏 (品種間差大。「キャラミア」等の品種で多発) 土のK含量の上昇 (100・ /100g以上) によるMg欠乏</li> <li>・ 病害ではないようであるが、詳細は不明</li> <li>・ Mg欠乏</li> </ul>
シクラメン	異常発育 グリーン・ドマンシー側芽の異常形成芽枯れ 芽 (花、葉) 枯れ 枝枯れ、株枯れ症 クロロシス	生育停滞 生育の停滞、休眠 枝分かれ、とさか状芽幼葉花芽の枯死 芽 (花、葉) 枯れ症状 葉脈間黄化。石根様症状 葉にクロロシス発生	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ Nの過剰 (特にアンモニア態及び尿素態N)</li> <li>・ P欠乏</li> <li>・ 養分の過剰吸収</li> <li>・ 植物体内の受益中無機成分濃度の急激な上昇</li> <li>・ NO<sub>3</sub>-N過剰。促成堆肥を鉢用土に使用すると多発</li> <li>・ 極端な乾燥状態や一時的な過湿による水分ストレス</li> <li>・ 鶏ふんの多施用による土壤のアルカリ化</li> </ul>
トルコキキョウ	茎の空洞化症 ロゼット化	地際から2~3節の茎が 空洞化定植後節間伸長しない	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 土壤の乾燥。詳細は不明</li> <li>・ 育苗中の環境条件 (温度、暗、日射量) が影響</li> </ul>
チューリップ	生育障害 色抜け症状	花弁色抜け、首折れ 茎割れ、花裂け、花色退化 花弁の色抜け	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ B欠乏 (水溶性Bが0.2ppm以下で発生)</li> <li>・ B欠乏、土壤酸性は助長</li> <li>・ Ca欠乏 (Ca濃度2.5ppm以下で発生)</li> </ul>

出典：「土壤診断の手引き」地力保全調査事業全国協議会、「微量養分と多量養分」及び現場の土づくり (関東土壤肥料専技会より作成)

表IV-3-(9)-6 作物に欠乏症または過剰症のする各養分の土壌中含有量（参考）  
 （多量養分は乾土100g中、微量養分は乾土1,000g中）

	要素	欠乏症のでやすい含量	健全土壌の含量	過剰害のでやすい含量
多 量 要 素	窒素	硝酸態0.5mg以下 アンモニア態2.5mg以下	硝酸態3~8mg アンモニア態5~15mg	砂質土10mg 粘質土20mg以上
	リン酸 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	有効態8~20mg	有効態30~100mg	有効態300~500mg以上
	カリ (K <sub>2</sub> O)	置換性10mg以下 (野菜は10~20mg以下)	置換性15~20mg	置換性30~40mg以上
	石灰 (CaO)	置換性100mg以下	置換性200~400mg	置換性500mg以上
	苦土 (MgO)	置換性10~15mg以下	置換性25~50mg	
微 量 要 素	ほう素 (B)	有効態0.4mg以下	有効態0.8~2.0mg	有効態7mg以上
	マンガン (Mn)	易還元性50~60mg以下 置換性2~3mg以下	易還元性100~250mg 置換性4~8mg	易還元性300mg以上 置換性10mg以上
	鉄 (Fe)	置換性4~8mg以下	置換性8~10mg	
	亜鉛 (Zn)	可溶性4mg以下	可溶性0.8~40mg	可溶性100mg以上
	銅 (Cu)	可溶性0.5mg以下	可溶性0.8~1.5mg	可溶性5mg以上
	モリブデン (Mo)	有効態0.3mg以下	有効態0.05~0.4mg	
他	けい酸 (SiO <sub>2</sub> )	有効態10mg以下	有効態15mg以上	過剰害なし

- (注) 1 常勤数字は代替の目安であり、実際にはより高い含有量でも過剰害が起きない場合がある。  
 2 特にリン酸の場合は、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。  
 3 高橋英一ら共著1980「作物の養分欠乏・過剰症」農分協（東京）より引用

## イ 過剰症

従来の収量優先型の栽培では、施設栽培を中心として過剰施肥の傾向があり、野菜や花き栽培では種々の養分過剰症も発生し問題となっている。過剰養分の直接的障害が発生することもあるが、拮抗作用などによって他養分の欠乏症となって現れることも多い。

例えば、硝酸態窒素が過剰に蓄積した土壌では、pHが非常に低くなる場合があり、それに伴って、マンガンが可溶化し、きゅうり等ウリ科野菜でマンガン過剰症が発生する場合がある。また、貝化石等の石灰資材を大量に施用し続けた場合pHが高くなって鉄や、亜鉛が不溶化し欠乏症状を引き起こすこともある。

一度過剰に蓄積した養分は、取り除くのが難しく、欠乏症に比べて矯正に時間がかかる。

表IV-3-12 主要な要素の過剰症

過剰要素	症 状	対 策
チ ョ ッ	葉色が濃くなり生育が全体に旺盛となる。果菜類ではトマトの落果や異常茎や乱形果、すいかのつるぼけ等。葉菜類では、多チッソにより石灰の吸収がわるくなりハクサイなどの芯腐れ症状となって現れる。硝酸態窒素が多い場合はpHが低下する。	・前作の残存量を把握し土壌診断による適正施肥 ・良質有機物の投入(緩衝能向上)やイネ科牧草の栽培等による除塩 ・石灰の施用
リン 酸	直接的過剰症と断定できるものはほとんどないといわれるが、リン酸は土壌中、作物体内においてもアルミニウムや鉄、亜鉛、カルシウムなどの陽イオンと結合し南洋性の化合物を生成するといわれ、亜鉛欠乏や鉄欠乏を増幅するといわれている。	・土壌診断による適正施肥 ・良質有機物の投入(緩衝能向上)やイネ科牧草の栽培等による除塩 ・家畜ふん堆肥はリン酸含有率が高いのでリン酸含有量を含めたリン酸の適正施用
カ リ	野菜ではぜいたく吸収し、ほとんど過剰症はでないといわれるが、濃度障害といわれる葉縁部が巻き上がりデコボコ症状を呈したり、マグネシウム欠乏症を誘発して葉脈間にクロロシスを生ずる。ほかにカルシウム、チッソ、リン酸の吸収も抑制するといわれる。	・土壌診断による適正施肥 ・良質有機物の投入(緩衝能向上)やイネ科牧草の栽培等による除塩 ・家畜ふん堆肥はカリ含有率が高いのでカリ含有量を含めたカリの適正施用
カルシウム	過剰になると土壌がアルカリ性になり、いくつかの要素の溶解度が低下して微量要素欠乏が生じやすくなる。ホウ素、マンガン、亜鉛などの欠乏症の要因となる。	・土壌診断による適正施肥 ・良質有機物の投入(緩衝能向上)やイネ科牧草の栽培等による除塩
マグネシウム	根の発育不良と葉色がやや濃くなる程度で、外観的には特別な異常症状を示さないことが多い。	・土壌診断による適正施肥 ・良質有機物の投入(緩衝能向上)やイネ科牧草の栽培等による除塩
鉄	人為的にキレート鉄等を過剰施用しない限り、鉄過剰症は生じないといわれるが、ユリ切花栽培で鉄過剰症と考えられる症状(スミ症)が発生し問題になっている。	・アルカリ資材の投入
ホ ウ 素	葉縁部から異常を発生し枯死するタイプと障害のほとんどが下位葉から生ずるタイプがあるが、人為的に多量のホウ素を施用しない限り過剰症は生じないといわれる。	・アルカリ資材の投入
マンガン	ウリ科野菜では葉、葉柄毛耳基部の黒褐変、ナス科の不規則な小斑点の発生、ほうれんそうなどの葉縁の黄化などの症状を呈する。	・アルカリ資材の投入
亜 鉛	全体に生育が劣るようになる場合とイチゴなどでの葉脈の赤紫色化がある。	・アルカリ資材の投入

ウ 養分欠乏・過剰症の診断

作物の養分欠乏・過剰症の診断は、病害虫の被害や養分以外の要因が関与する生理障害と判別しにくい場合が多く注意が必要である。

診断の基本は、現地における症状の観察と障害発生に至る栽培環境、生育経過、作業内容の確認が第一歩である。この際、典型的な養分障害の症状、発生要因および類似する病害虫被害の症状等を知っていると診断も効率的である。

現地調査で原因が特定できない場合は、土壌および作物体の分析、障害の再現試験等を行うことになる。土壌の種類、作物の種類によって必須元素の含有率は様々であるが、おおよその目安となる数値は調べられている(表IV-3-(9)-13)

また、各養分の体内移動の難易などを理解すると芯葉、下葉などから出る欠乏症、過剰症の判断に有益である。(I-10-(5)の項参照)

表IV-3-13 被子植物、土壌の元素含有率(対乾物)  
(高橋英一 比較植物栄養学 1974 改)

元 素	被子植物 (ppm)	土 壌 (ppm)
C	454,000	20,000
O	410,000	490,000
H	55,000	5,000
N	30,000	1,000
Ca	18,000	13,700
K	14,000	14,000
S	3,400	700
Mg	3,200	5,000
P	2,300	650
Cl	2,000	100
Mn	630	850
Zn	160	50
Fe	140	38,000
B	50	10
Cu	14	20
Mo	0.9	2