

1. 土壌の塩基



Q-1 作物の必須要素にはどんなものがありますか？



作物の生育に必要な欠くことのできない要素（必須要素）として、表-1に示すような17元素が知られています。これらのうち、比較的多く必要とするものを多量要素、少量で足りるものを微量要素と呼んでいますが、いずれも作物体内で重要な働きをしています。

このうち、炭素は空気中の炭酸ガスから、酸素と水素は主に水から根を通して供給されます。もちろん、酸素の一部は、炭酸ガスからも取り入れられます。水素、酸素、炭素を除いた要素は、人為的に供給する必要があります。これらは無機態で土壌中から吸収利用されますが、土壌の化学性が悪化すると、作物は必要な養分を適量摂取できなくなり、生育は不良となります。やがて作物体には過不足養分特有の障害症状が葉・茎・子実・根等に現れ、要素障害（栄養障害）が発現します。

また、けい素のように作物の必須要素とされていない成分でも、水稻では要求性が高く必須要素に順ずるものもみられ、けい素が不足すると生育不良となりますので、けい素は水稻にとりましては有用要素とされています。

表-1 作物の必須要素

要素別	多量要素									有用要素
元素 (記号)	水素 (H)	酸素 (O)	炭素 (C)	窒素 (N)	りん (P)	加里 (K)	石灰 (Ca)	苦土 (Mg)	硫黄 (S)	けい素 (Si)
要素別	微量要素									
元素 (記号)	鉄 (Fe)	ほう素 (B)	塩素 (Cl)	銅 (Cu)	マンガン (Mn)	モリブデン (Mo)	亜鉛 (Zn)	ニッケル (Ni)		

Q-2

土壌塩基類はどんなかたちで土壌に存在しているのでしょうか？

A-2

土壌のごく微細な部分においては、粘土鉱物と腐植が結合して、粘土・腐植複合体を形成しています。通常これを土壌コロイドと呼んでいます。この土壌コロイドは表面にマイナス（-）の荷電をもっており、プラス（+）の荷電をもつカルシウム、マグネシウム、カリウムなどの肥料成分やナトリウム^{注1)}などの陽イオンを吸着保持しています（図-1）。

この土壌コロイドによって吸着保持され、かつ容易にほかの陽イオンに置きかわる陽イオンのうち、水素イオン以外のものを交換性塩基と呼びます。

交換性塩基は、作物にもっとも吸収利用されやすいことから、一般に交換性塩基を多量に含んでいる土壌は肥沃であり、アンモニアなどの肥料成分を吸着保持する力が強いといわれています。微量元素もちろん、この土壌コロイドに吸着されます。

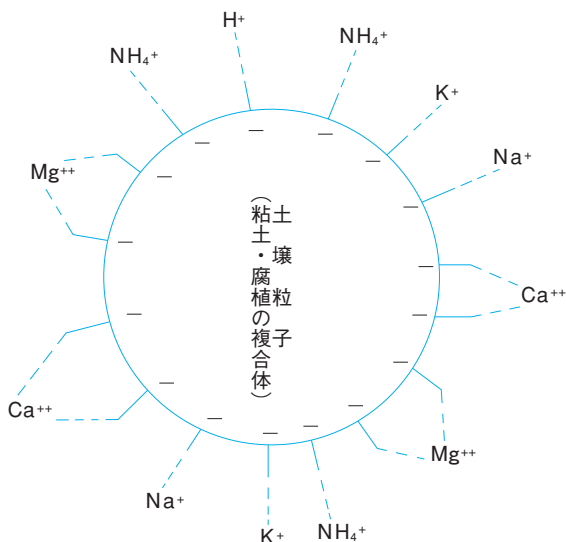


図-1 陽イオンと負荷電の結合

注1) ナトリウムは必須要素でないため、農業上では交換性塩基から除外しています。

Q-3

土壌のpHと塩基とはどういう関係があるのか説明してください。

A-3

土壌には酸性を示すもの、中性を示すもの、アルカリ性を示すものがあります。土壌の反応、すなわち酸性またはアルカリ性の程度を、数値として表現するのにpHが用いられます。pHは水素イオン指数ともいい、 $pH = -\log [H^+]$ 、ここで $[H^+]$ は水溶液中の H^+ 濃度 (mol/L) という関係で定義されます。pH7が中性、7未満が酸性、7を超える場合がアルカリ性です。

土壌のpH値は土壌のもっとも重要な性質のひとつで、土壌のpH条件によって、土壌成分の化合形態と溶解度が変わり、また土壌中の植物根や微生物の生理状態も変わります。

図-2に土壌の反応 (pH) と肥料要素の溶解・利用度を示します。

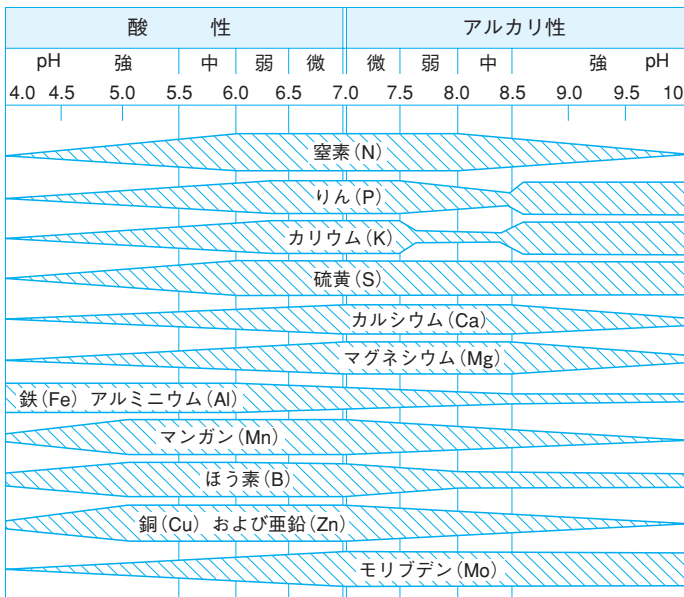


図-2 土壌の反応 (pH) と肥料要素の溶解・利用度

降雨量の多いわが国では、酸性を示す土壌が広く分布しています。土壌が酸性を示す原因は、土壌溶液中に溶解している酸性物質 (硝酸や微量の塩酸、硫酸、炭酸のような無機酸、あるいは酢酸、酪酸のような有機酸) と土壌コロイドに吸着保持されている交換性のアルミニウムイオンや交換性水素イオンです。

土壌コロイドのマイナス荷電が塩基で飽和されたときは、中性の状態ですが、雨が多かたり生理的酸性肥料を連用したりすると、塩基が溶脱され、塩基のかわりに水素イオンが土壌コロイドに吸着され酸性となります。

このような酸性土壌では、作物養分としての石灰、苦土が不足しているのはもちろん、同時に加里、モリブデン、りん酸なども欠乏しやすく、また、作物に有害といわれる活性のアルミニウムなども存在しています。したがって、土壌中の有効態の塩基の多少は、土壌生産力の大小をあらわす重要な指標となります。

土壌中の陰イオン、例えば、硝酸イオン (NO_3^-)、塩素イオン (Cl^-)、硫酸イオン (SO_4^{--}) などは、一般的には土壌コロイドに吸着されにくいのですが、アロフェンの多い火山灰土壌はプラス荷電を多くもつことから陰イオンも吸着され、これを陰イオン交換と呼びます。

りん酸イオン (HPO_4^{--})、(H_2PO_4^-) については、土壌中の Fe、Al 等と結合して固定されることから、農業上重要な問題です。

従来土壌改良は、土壌酸性の矯正と、りん酸欠乏の改善を主眼として実施されてきました。最近では、酸性改良のために苦土炭カル、炭カルなどの多施用にとまない一部地域では土壌中に石灰、苦土含量が高まり、土壌のアルカリ化が問題になっています。また、可給態りん酸が改善目標値を超えている事例も生じています。

石灰の多施用による土壌のアルカリ化は、土壌pHが高くなり、微量元素の欠乏があらわれます。微量元素の中でも鉄 (Fe^{++} または Fe^{+++})、マンガン (Mn^{++})、亜鉛 (Zn^{++})、銅 (Cu^{++}) のような陽イオンは、中性～アルカリ性では溶解度の小さい水酸化物を生じ、pHが上がるほど、その溶解度は小さくなります。したがって、アルカリ性の土壌では、これらの成分が作物に吸収されにくくなり欠乏症があらわれやすくなります。特に、鉄とマンガンの欠乏は中性に近い土壌にしばしば認められます。

なお、ほう素 (B) はアルカリ側で不可給態となって欠乏症を起こしますが、酸性側では溶解度が大きくなって流亡しやすくなります。

作物の多くは、一般に中性または微酸性の土壌を好むものが多いので、微酸性 (pH6.0～6.5) に保つことが望ましいといえます。酸性土壌では石灰質資材の施用により矯正し、アルミニウム、鉄の溶出を抑制する必要があります。

また、ハウス土壌など雨がかからない乾燥条件下では、塩類集積にともなう害 (塩類濃度障害) がみられるようになってきました。このような塩類集積土壌では、

深耕による塩類濃度の適正化やクリーニングクロープ（青刈作物）の作付によって塩類を吸収させ除去する必要もあります。ハウス土壌などでやむを得ない場合は、灌水による除塩方法があります。しかし、表層土壌が乾燥すると塩類濃度の高い下層土の土壌溶液が毛水管現象で上昇し、再び塩類集積が生じますので留意する必要があります。



土壌塩基と陽イオン交換容量（塩基置換容量・CEC）の関係について教えてください。



土壌中でカルシウム、マグネシウム、カリウム、アンモニウムなどいわゆる陽イオンの吸着に主役を演じているのが、粘土と腐植などの土壌コロイドです。この土壌コロイドのマイナス荷電数の総量を陽イオン交換容量（CEC）といい、土壌が作物養分を吸収保持する能力と深い関係があります。したがって、陽イオン交換容量の大きい土壌ほど肥料成分を多く吸着することができるので、保肥力の目安とされています。

陽イオン交換容量は、表-2のとおり粘土鉱物の種類により大きく異なりますが、もっとも大きい理由は比表面積^{注1)}が違ふことと同形置換^{注2)}の有無によるものです。モンモリロナイトとパーミキュライトが高い値を示すのは、これらの粘土鉱物が膨張格子型で広い内表面（層間表面）をもつことと同形置換による永久荷電を多く有するためです。アロフェンと腐植の値が高いのも比表面積が大きいのが理由のひとつですが、これらの場合は測定時のpHによって値が大きく変動します。これを変異荷電といいます。

表-2 粘土鉱物と腐植の陽イオン交換容量

種 類	meq ^{注3)} /100 g
カオリナイト	3～15
ハロイサイト	10～40
メタハロイサイト	5～10
イライイト	10～40
パーミキュライト	100～150
モンモリロナイト	80～150
クロライイト	10～40
アロフェン	30～200
腐植	30～280

(Grim, 1968年；青峰, 1961年)

陽イオン交換容量の小さい土壌、例えば、砂質土壌にベントナイト（モンモリロナイト）のような2：1型粘土^{注4)}鉱物を客土するのは漏水防止の改良だけでなく、その保肥力を利用するためです。

この陽イオン交換容量に対して、交換性塩基（一般には、石灰、苦土、加里）の占めている割合（%）を塩基飽和度といいます。塩基飽和度が小さいほど土壌は酸性が強くなり、大きくなるほど土壌は中性に近づき、さらに大きくなるとアルカリ

性の土壌となります。作物を多収するための土壌塩基飽和度に関する試験が各地でおこなわれており、作目、作期などで異なりますが、通常70～80%がよいといわれています。

なお、従来は作物生産の指標として、土壌pHが大きくとり上げられてきましたが、最近では土壌pHのみならず土壌の塩基組成も大きくとり上げられています。

注1) 比表面積

固体 1g 当たりのもつ表面積を比表面（積）といい、通常 m^2/g で示す。粘土の表面は粘土粒子の外表面と、膨潤性粘土鉱物の層間に基づく内表面とがあり、総表面積はカオリナイト $10\text{m}^2/\text{g}$ 以下、モンモリロナイト $500\sim 700\text{m}^2/\text{g}$ 、アロフェン粘土 $300\sim 500\text{m}^2/\text{g}$ である。土壌の比表面は、粘土含量と粘土鉱物組成によりさまざまであるが、外表面積については、一般の鉱質土壌で数十 m^2/g （50～60程度）以下であり、アロフェン質土壌は百数十 m^2/g と高い（150～160程度）。

注2) 同形置換

大きさのほぼ同じイオンが、結晶の基本的な構造を変えずに置き換わる現象をいう。モンモリロナイトやバーミキュライト結晶格子内の Si^{4+} の一部が Al^{3+} と置換したり、 Al^{3+} の一部が Mg^{2+} などと置換することによって負荷電が生じる。

注3) meq

陽イオン交換容量の単位でミリイキバレンスと呼び、meとも書く。乾土等の100gに含まれる塩基類の重量をmg当量で示した値のことをいう。すなわち、土壌が塩基をどのくらい吸収保持できるかを示したり、あるいは実際に吸収保持されている塩基の量をあらわす単位のひとつをいい、塩基の原子量（分子量）を原子価で割った値をmgであらわしたものを、各塩基のmg当量という。土壌および粘土鉱物の場合は、通常100gの土壌または粘土鉱物が何mg当量の塩基を吸着し、あるいは各種塩基が土壌および粘土鉱物100g当たり何mg当量吸着されるかを示す。1 meqはつぎの重量に相当する（単位はmg）。

通常使用される 1 meqの重量は、石灰(CaO) 28mg、苦土(MgO) 20mg、加里(K_2O) 47mgである。

注4) 2：1型粘土鉱物

けい素（Si）のまわりに4個の酸素が結合した四面体層2枚の間に1枚の八面体層（アルミニウムのまわりに酸素6個がついたもの）がサンドイッチ状にはさまれてできた構造層の積み重ねによってつくられている粘土鉱物をいう。

四面体層および八面体層中に占める陽イオンの種類によって、①パイロフィライトー滑石、②モンモリロナイトーサポナイト、③バーミキュライトおよび、④雲母粘土鉱物に大別される。2：1型粘土鉱物で一般に土壌に見いだされるものは、モンモリロナイト、バイデライト、ノントロナイト、バーミキュライトおよび雲母粘土鉱物である。

Q-5

土壌診断で塩基のバランスを問題にしているのはなぜですか？

A-5

作物が正常に生育するためには光、空気、温度、水、養分の適当な存在と、有害因子のないことが必要であり、土壌のpHや土壌の物理性、養分のバランスなどの環境条件が作物の根にとって好適なことが重要です。

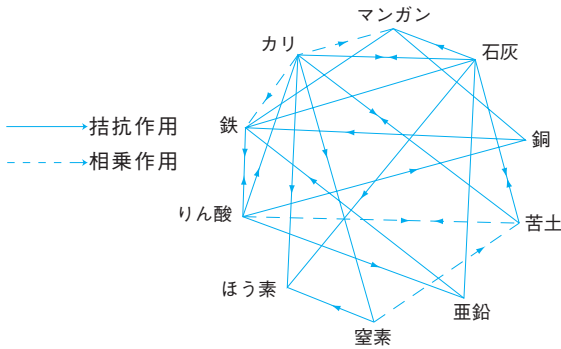


図-3 要素の相互作用 (「土壌肥料総説」)

一般に作物の根は、土壌中にある肥料要素の濃度が高いと、それを多く吸収し、作物体内の含有率が高くなるのが普通です。しかし、作物では、ある肥料要素の吸収がほかの要素の吸収、あるいは作物体内の生理作用を抑制したり、促進したりする成分相互の作用があります。前者を拮抗作用、後者を相乗作用といいます。図-3に要素の相互作用を示します。

加里（あるいはアンモニウム）と苦土（あるいは石灰）の間の拮抗作用は典型的な例です。加里過剰の土壌では、苦土、石灰欠乏が発生します。

トマトに窒素肥料を多量に施用したときに石灰欠乏による尻腐れが起きる場合にも、アンモニウム—石灰間の拮抗作用が関連しています。

加里—苦土のほかにも、銅と鉄、マンガンと鉄、塩素と臭素の間などに拮抗作用が認められています。

このように土壌中の栄養素はお互いに影響しあい、図-3のような関係をもっており、この関係を熟知すれば、施肥技術に生かすことができます。

(例)

- 鉄・マンガン過剰症が出た場合は、石灰を施すと症状が軽くなる。
- 鉄・マンガン欠乏土壤には、鉄・マンガンと一緒に加里を施すと良い。
- 苦土欠乏症は、土壤中に石灰や加里が過剰の時にも起こる。
- 苦土を施すとりん酸吸収も良くなる。

石灰はいろいろな要素に影響し（作物の養分吸収をコントロールしている）、作物の生理状態を適正に保つ働きをしています。

作物の栽培には、各種の養分がバランスのとれた状態であることが望ましく、従来の試験結果から、作物の安定多収のためには均衡のとれた施肥によって、効率よく肥料成分を吸収させることが重要です。

最近の塩基組成に関する試験成績によると、塩基組成に敏感に作用する作物と、鈍感な作物が認められています。例えば、とうもろこしでは塩基飽和度、塩基組成の差が生育収量にあまり影響せず、にんじん、キャベツ、はくさいも、おおむね同様な傾向にあるといわれています。

一方、ほうれんそう、レタス、トマトは飽和度が高まるほど、収量も増加する傾向が認められます。表-3に土壤の最適塩基組成の一例を示します。

表-3 土壤の最適塩基組成

作物	最適塩基飽和度 (%)	塩基バランス (%)		
		石灰	苦土	加里
ほうれんそう	85	75	20	5
レタス	80	65	25	10
トマト	75	70	25	5

(地力保全協議会関東地区 1982年)



土壤中の要素含量がどの程度になると作物に要素の欠乏症や過剰症が発生するのでしょうか？



作物の要素欠乏または過剰に関係するのは、土壤中の「有効態」の要素量です。この有効態の要素量は、土壤のpH、酸化還元状態、土壤水分などによって影響を受けます。また、どのような方法で測定したものをもって有効態とみなすかという問題がありますが、現状では作物が利用する形態として、水溶性のほかに交換性（加里、石灰、苦土、鉄、マンガンなど）、うすい酸に溶け出すもの（りん酸、けい酸、銅、亜鉛、ほう素など）、還元されやすいもの（マンガン）などが考えられています。

従来の実験結果から、これらの形態について欠乏、過剰を引き起こす土壤中の限界濃度は表-4のように整理されています。もちろん、これらは作物の種類、作型や土壤、地域などによって異なる場合があります一応の目安となります。ただ要素間には拮抗作用があるため、共存している要素量を考慮する必要があります。

表－4 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

(多量要素は乾土100g中mg, 微量要素は乾土1,000g中のmg)

要素別		欠乏症の出やすい含量		健全土壌の含量		過剰症の出やすい含量	
多 量 要 素	窒素 (N)	硝酸態 アンモニア態	0.5mg以下 2.5mg以下	硝酸態 アンモニア態	3～8mg 5～15mg	砂質土10mg, 粘質土20mg以上	
	りん酸 (P ₂ O ₅)	有効態	8～20mg以下	有効態	30～100mg	有効態 300～500mg以上	
	加里 (K ₂ O)	交換性	10mg以下 (野菜は10～20mg以下)	交換性	15～20mg	交換性 30～40mg以上	
	石灰 (CaO)	交換性	100mg以下	交換性	200mg～400mg	交換性 500mg以上	
	苦土 (MgO)	交換性	10～15mg以下	交換性	25～50mg		
	けい酸 (SiO ₂)	有効態	10mg以下	有効態	15mg以上	過剰症なし	
微 量 要 素	ほう素 (B)	有効態	0.4ppm以下	有効態	0.8～2.0ppm	有効態 7ppm以上	
	マンガン (Mn)	易還元性 交換性	50～60ppm以下 2～3ppm以下	易還元性 交換性	100～250ppm 4～8ppm	易還元性 交換性	300ppm以上 10ppm以上
	鉄 (Fe)	交換性	4.0～8.0ppm以下	交換性	8～10ppm		
	亜鉛 (Zn)	可溶性	4.0ppm以下	可溶性	8～40ppm	可溶性 100ppm以上	
	銅 (Cu)	可溶性	0.5ppm以下	可溶性	0.8～1.5ppm	可溶性 5ppm以上	
	モリブデン (Mo)	有効態	0.03ppm以下	有効態	0.05～0.4ppm		

注1) 上記の数字は目安であり、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、りん酸の場合は、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。

(高橋ら, 「原色作物の要素欠乏, 過剰症」)