

健康と環境のための植物栄養素



肥料



# 肥料の知識



知識



## はじめに

平成7年以降、化学肥料についての役割や重要性、必要性、安全性などについてまとめた各種広報資料を作成、一般の消費者のほか農業や食品業に拘わっておられる方々に配布するなど、幅広く広報活動を展開して参りました。

幸いにして、各方面から追加の送付要望を数多く頂戴するなど関心が高く化学肥料についての正しい認識を広めることに役立ったものと思っております。

一方、諸外国でも化学肥料の関係機関等が肥料に関する知識の普及に取り組んでおり、これを紹介することは大変有意義と考えます。

本書は、POTASH & PHOSPHATE INSTITUTE (米国 ジョージア州アトランタ)、POTASH & PHOSPHATE INSTITUTE OF CANADA (カナダ サスカチュワン州サスカトゥーン)、FOUNDATION FOR AGRONOMIC RESEARCH (米国 ジョージア州アトランタ)が発行した“NITROGEN THE SUPERSTAR” “PHOSPHORUS THE ENERGIZER” “POTASSIUM THE REGULATOR” “SECONDARY NUTRIENTS THE SYNTHESIZERS” “MICRONUTRIENTS THE ACTIVATORS”を刊行元の理解を得て翻訳したものであり、肥料の基礎的な知識や環境との関わりについても記述されており、農業や肥料に携わる方はもちろん一般の方々にも大変参考になるものと考えます。翻訳は、元農林水産省 農業環境技術研究所 資材動態部長 越野正義氏にお願いいたしました。

本年は、この翻訳冊子のほか「肥料とは何か -化学肥料の役割・重要性-」その他の冊子も作成しておりますので、併せてご活用頂きたいと存じます。

平成12年6月

日本肥料アンモニア協会

# 目次

はじめに	2	二次要素は合成者	35
窒素はスーパースター	5	カルシウム(Ca)	36
作物には大量の窒素が必要	6	マグネシウム(Mg)	37
窒素は人間の健康に欠かせない	6	硫黄(S)	38
窒素が作物の健康、食品の品質や私たちの 環境に及ぼす影響	7	カルシウム	39
土壌中での窒素の挙動	8	マグネシウム	40
植物はどこから窒素を得ているのか	10	硫黄	40
土壌からの窒素の損失と環境に対する影響	12	土壌中における二次要素	41
土壌からの損失を少なくするには	13	二次要素の可給性に影響する要因	42
要約	14	植物はどこから二次要素を得ているのか	43
リンは活力剤	15	土壌への石灰施用には多くの効果がある	44
作物によるリンの必要性	16	要約	46
作物の健康、品質、および私たちの健康に おけるリンの重要性	17	微量元素は活性化剤	47
植物はどこからリンを得ているのか	18	日常生活にみられる微量元素	49
作物が必要とするリンの量は、どうやって 測定するのか	20	微量元素は作物に必須	50
有機リン酸の起源	21	植物における微量元素の機能	51
リンは土壌に施用されたあと、どうなるのか	22	土壌中の微量元素	52
植物のリン酸吸収を増大させるには	23	土壌の微量元素の可給性に及ぼす要因	52
要約	24	微量元素の必要量の決め方	54
カリウムは調節剤	25	欠乏土壌で生育した作物の微量元素に対す る反応	55
人間に対する必須性	26	植物はどこから微量元素を吸収しているか	56
カリウム栄養は植物で違っているのか	27	市販肥料	56
カリウムは天然産の植物栄養	28	要約	57
植物におけるカリウムの役割	29		
カリウムはどうやって収量を増加させてい るのか	30		
カリウムは環境の保護に役立つ	31		
カリウムは他の養分の利用効率を高める	32		
カリウムは作物の品質をよくするのに必要	33		
要約	34		



# 窒素はスーパースター

健康と環境のための植物栄養素





# 窒素はスーパースター

マイケル・ジョーダンがバスケットボールのスーパースターであり、ロバート・レッドフォードが映画のスーパースターです。このような人は、ほとんど比べることができないほど抜きん出ているので、こう呼ばれるのです。まったく他とは違った存在です。窒素についても同じことがいえます。

植物は、幹、茎、つるを伸ばすために窒素を必要としています。窒素は、人の栄養に必要な穀物、果物、木の実、野菜を作るのにも必要です。窒素は、本当に植物・動物の生命活動のすべてで必要なのです。代わりになるものはありません。窒素は食物の生産において本当にスーパースターなのです。（窒素は、元素記号のNで表せます。）

## 作物には大量の窒素が必要

人間が直接食べる作物や、牛肉、豚肉、鶏肉を生産するために飼料にする作物は窒素を大量に必要とします。私たちが享受できる生活水準を保つのに必要な食物を供給するために、農業生産で必要な窒素の量は次の例のように膨大な量です。

- アメリカ合衆国で生産されるトウモロコシは、土壌から毎年 260万トンのNを吸収しています。この量は子供を含む全人口一人当たり 10 kgに相当します。
- 家畜に食べさせる牧草は、草地から毎年 340万トンのNを吸収しています。アルファルファだけで 220万トンも吸収しています。
- コムギは人間が食べるもっとも普通の穀物であり、パンやシリアルとして食べていますが、この作物も土壌から毎年110万トンのNを吸収しています。
- 果物と野菜もNの大量の消費者です。スイートコーン、マメ、ブドウ、ピーマンは1haあたり100kg以上、トマト、タマネギ、エンドウマメ、パインナップルは150kg以上、ジャガイモは250kg以上のNを吸収しています。

## 窒素は人間の健康に欠かせない

窒素はすべての植物と動物のタンパク質の一部になっています。これは人間の食事にとって欠かすことができないことを意味しています。また、窒素はRNAやDNAの構成成分です。DNAは遺伝的特性を次の世代に伝える設計図です。したがって人類の生存にとって窒素が多量に自然の中で存在することが必要なのです。



# 窒素はスーパースター

## 窒素が作物の健康、食品の品質や私たちの環境に及ぼす影響

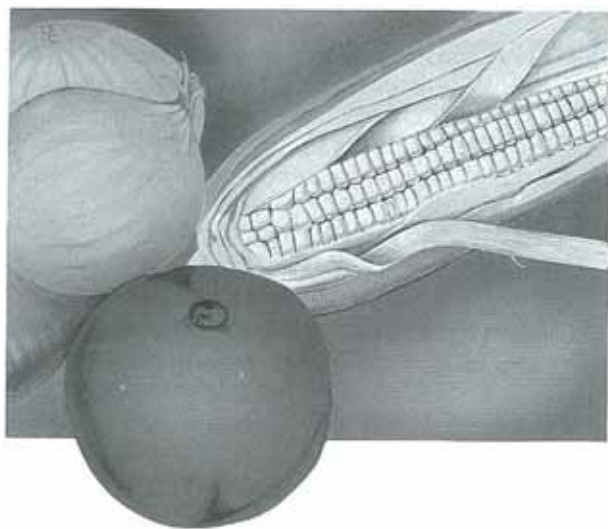
農作物は素晴らしい食品の製造者ですが、その製造工場を動かすためには適切な栄養状態でなければなりません。そうでなければ、作物の収量は少なくなり、得られる食品の品質は劣り、栄養価値も低いものになります。窒素は食品製造の連鎖系を動かすのに重要な役割を果たしています。

作物における窒素欠乏の最初の兆候は、葉が淡い黄緑色になることです。この症状はクロロフィル（葉緑素）の生産が遅くなるためです。窒素はクロロフィルの構成成分であり、その生産には不可欠なのです。ではクロロフィルの生産はどうしてそんなに重要なのでしょうか。それは、緑色植物の食料生産における基本工程である光合成において、クロロフィルの存在が必要だからです。したがって、窒素がなければ生命は維持できません。このため窒素は植物養分としてきわめて重要なのです。

窒素は、すべての植物・動物のタンパク質を作っている高級な養分です。そのため私たちが食べる食品の栄養価の大部分は、その中の窒素が植物や動物の成育に対してどれだけ利用されるかにかかっています。

窒素は、貴重な私たちの水資源の保護や食料の増産にも役立っています。窒素が適切に供給された健全な作物は、降雨や土壌水分から得られる水の利用度を高くします。Nを適切に与えた作物はNに欠乏した作物よりも、同じ量の水でも収量を数倍も多くすることができます。また健康で、生長が速い作物は、地表をよく被覆して、雨滴の衝撃を小さくし、表土流出を遅くします。これによって雨水が地中にしみ込む量が多くなり、侵食を少なくし、作物収量の増加ポテンシャルを高くして、水質を守るのに役立ちます。

植物はNがなければ生存することはできません。なければ森林は枯れ、畑は不毛になります。文明は絶滅することでしょう。





# 窒素はスーパースター

## 土壌中での窒素の挙動

土壌成分のうち、窒素を作物に供給できるのは有機物だけです。どの土壌鉱物も窒素を含んでいません。有機物は窒素をゆっくりと放出します。この放出速度は、土壌温度、土壌水分、あるいは粘土含量などの要因に支配されています。一般的に、土壌からはその有機物含量1%当たり毎年20~30kg/haのNを放出します。この放出されたNのすべてが植物に利用されるとは限りません。というのは放出速度が生育中の植物の吸収必要量に合致していないかも知れないからです。

土壌が作物生育に貢献する程度は、生育する土壌の有機物含量に依存しています。そのためN養分の管理システムは地域ごとに異なり、その場所ごとに特異的なものです。作物の窒素必要量について一般化した施肥勧告では窒素の利用効率を低下させ、また地下水の汚染の危険性を大きくします。

有機物が土壌微生物によって分解（無機化）すると、複雑な化合物中のNはずっと簡単な無機化合物であるアンモニウムと硝酸に変化します。このアンモニウムと硝酸の両者は土壌水によく溶解し、また作物によって容易に吸収されます。アンモニウムの形態は土壌粒子に吸着され保持されるので、雨や灌漑水によって土壌の下方にあまり移動はしません。これに対して、硝酸は土壌に吸着されず、土壌水によって下方に移動します。この過程は「溶脱」と呼ばれ、地下水における硝酸の集積に結びつきます。

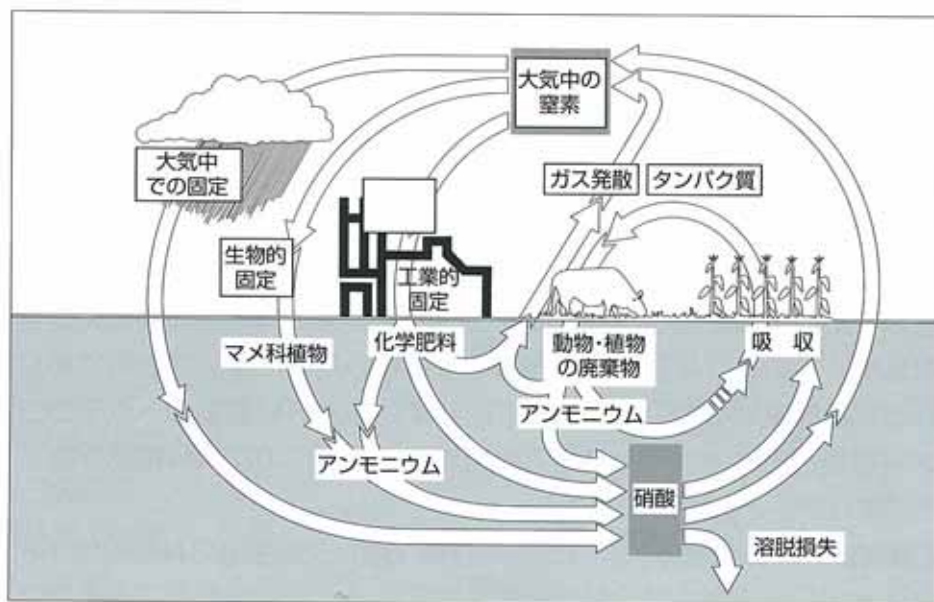
土壌中のNのうちアンモニウムは、それが肥料、きゅう肥、作物残さ、あるいは土壌有機物から生成したかにかかわらず、土壌が春の日射に暖められるにつれて、硝酸に変化します。この過程は「硝酸化成」と呼ばれ、特定の土壌微生物によって引き起こされます。硝酸化成の速度は春から生育盛期にかけて増加し、植物によって吸収されないアンモニウムの大部分は硝酸に変化してしまいます。この硝酸化成の速度は、ある程度変えることができ、それによってNを作物が利用するまでアンモニウムの形で保持して溶脱ポテンシャルを減少させるのに役立つことができます。

窒素のうちアンモニウムと硝酸だけが作物によって利用できる形態です。窒素の供給源が、家畜ふん尿、マメ科植物、作物残さ、有機物あるいは化学肥料のいずれであっても、含有される窒素は植物が利用できるどちらかの形態に変化しなければならないのです。



# 窒素はスーパースター

自然界における窒素の循環



# 窒素はスーパースター

## 植物はどこから窒素を得ているのか

### ●地球の大気から

地上にある大気には 80%近くの窒素が含まれています。地上 1 ha当たり84,000 kgのNに相当します。このNは量こそ多いのですが、植物が利用するには別の形に変化しなければなりません。この変化は土壌中でも起きます。

アルファルファ、ダイズ、エンドウマメ、ラッカセイなどのマメ科植物は、大気窒素をその植物が利用できる形態に変化させます。この過程は窒素固定と呼ばれています。この過程は特定の土壌微生物の働きによるもので、マメ科植物の根に発達する根粒中で行われます。このような固定は、作物と微生物の両者に役立つものであり、土壌に添加される可給態窒素の相当量を占めています。非マメ科植物のトウモロコシやコムギをマメ科植物と組み合わせた輪作で栽培すると、前作のマメ科植物が固定した窒素の一部を「借りる」ことができます。

マメ科植物は、大気窒素から 1 ha当たり数 kgから数百kgのNを植物が利用できる形態に変えます。ある種の独立栄養細菌も固定により植物が利用できる窒素を作ることができますが、その量はきわめて限られています。

これに加えて、雷雨があるたびにいくらかの窒素が「固定」されます。電気放電（いなびかり）は、無機態窒素を生成し、これが降雨などに伴って土壌に供給されます。

### ●土壌から

合衆国のコーンベルトにある肥沃（ひよく）な土壌には、3000kg/ha以上の窒素が含まれています。しかし土壌Nの大部分は有機物に結合しており、植物に利用できるようになるためにはまず有機物の分解が必要です。

寒冷な地帯では、有機物の分解速度は遅く、特定の生育期間中に作物が利用できる窒素の量は少ないのです。温暖で湿潤な地帯では、土壌有機物の水準は低いのです。というのは、分解速度が速いため、有機物水準が高くはならないからです。このような土壌からの窒素供給能も低いのです。

### ●家畜ふん尿から

家畜ふん尿は、もうひとつの窒素供給源です。多くの家畜が閉所で飼育されている場合、例えば養鶏場、乳牛・肉牛の飼養場では、ふん尿の集積がしばしば大量になっています。ふん尿中のN含量は変動は大きいのですが、適切に施用すればよい植物養分の供給源となり、また土壌の物理性の改良にもなります。

### ●化学肥料から

自然は、作物が必要とする窒素を容易に供給できるようにみえるかも知れませんが、窒素のすべてが植物により吸収され、利用できる形態であればよいのですが、実際にはそうではありません。マメ科植物をトウモロコシなどと組み合わせて輪作することは、多くの場合経済的でなく、また実際的でもありません。畜産の多くは作物生産地域と

# 窒素はスーパースター

離れています。ふん尿の輸送は、短距離であっても実行するにはあまりにも高くつきます。化学肥料が食料生産に不可欠なのはこのためです。肥料は、自然ができない、効率的で経済的な窒素供給を行っています。

化学肥料としての窒素の使用はアメリカでは第二次世界大戦後に始まりました（日本では昭和の初期から）。窒素肥料工業は1950年代から60年代に急速に発展し、今日の食料生産の連鎖系に不可欠となっています。窒素肥料の基礎は無水アンモニアの製造にあり、これは大気中窒素と天然ガスや他の起源から得られる水素(H)を結合させて作られます。アンモニアを使って、他の窒素肥料がいろいろな工程で作られています。

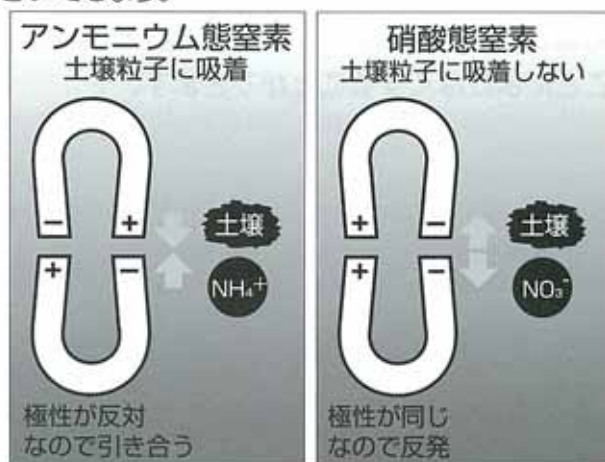
最近のアメリカにおいて、環境に対する関心が工業的に生産された窒素の使用に集中してきました。生産性の高い農業においては窒素肥料の施用が急激に増え過ぎているとか、地下水汚染のポテンシャルを高めているという誤解（一部の人たちによるものですが）があります。しかし実際に窒素の施用量は、1970年代の中ごろから後期以後では、むしろ頭打ちとなって、ほぼ年間平均80~85 kg/haにとどまっています。

合衆国の法律によって、市販肥料の窒素含量は販売業者によって保証されています（日本でも同じです）。これが農家と環境を保護しています。農家は購入する肥料がなにであるかを知り、他と競争できる適正な価格で入手できます。また施用している肥料中のha当たりの成分量を正確に知ることができ、栽培するそれぞれの作物が必要とする窒素量に合わせるすることができます。

化学肥料の中の窒素は、アンモニウムと（または）硝酸の形態、または肥料を土壤に施用したのち急速にアンモニウムに変化する形態の窒素を含んでいます。家畜ふん尿、作物残さ、緑肥、あるいはマメ科植物の中の窒素は、これらのいずれか、あるいは作物が利用する前にこのいずれかに変化する形態です。これらの有機態窒素からの無機化速度は、土壤や気象条件に影響されるため、予測がむずかしいのです。

そのほかにも、窒素が含まれているため利用されている肥料があります。しかし作物生産におけるそれらの経済的な重要性は小さいでしょう。

適正な窒素起源は、いくつかの要因によって選択されます。すなわち入手可能性、価格、施肥する作物、施用時期、施用法、耕起システムなどが関係します。しかし窒素の供給源に応じて適切な管理法がとられるかぎり、養分の利用効率の観点と潜在的な地下水問題からは、起源に関係なく1 kgの窒素はやはり1 kgの窒素であり、同等なのです。





## 土壌からの窒素の損失と環境に対する影響

土壌Nは、植物により吸収・利用され、また分解中の植物残さ（有機物）に取り込まれ、ある種の土壌中の粘土により固定され、あるいはいろいろな過程で失われます。

莫大な量の窒素は収穫される作物により除去されます。侵食により土壌から失われる窒素も毎年大量にあります。土壌Nの大部分は、表層の有機物中に存在していますが、この部分は水や風で侵食された時に最初に失われるのです。

土壌窒素の損失は、自然の過程であり、土壌の粘土含量（土性）、降雨または灌漑水の量、土壌に施用される作物残さの種類と量、あるいは土壌の温度などの条件によって支配されています。窒素が初め土壌に添加された時にどのような形態であったとしても、結局は微生物の作用によりアンモニウム態、または硝酸態の窒素に変化します。

もし硝酸が土層の下方に溶脱し、植物の根が吸収できなくなると、硝酸は結局地下水まで到達してしまいます。硝酸は地下水中では自然条件でも見出されるものですが、高い濃度は作物生産に必要な肥料窒素の損失によって生ずることがあり、潜在的に人の健康被害が発生する可能性があります。

もうひとつの土壌からの窒素の損失は硝酸が不活性な元素状窒素あるいはそのほかの形態の気体に変化する過程で生じます。脱窒作用は土壌微生物によるもので、土壌の孔隙が水で飽和した時に起きます。植物残さを分解する土壌微生物は酸素を必要とします。過剰の水により土壌から空気が追い出されて酸素の量が適当でなくなった場合には、ある種の微生物は硝酸の中の酸素を利用し窒素は大気中に放出されます。これは温暖で湿潤な土壌から窒素が失われるメカニズムとして重要なものであり、元の窒素の形態のいかんにかかわらず起こるものです。

### ●土壌から大気への移行

アンモニアの揮散によりかなりの窒素が失われることがあります。この損失は家畜ふん尿を土壌表面に散布して、土壌に混入しなかったとき、とくに多くなります。窒素肥料からのアンモニアの損失は普通はごく少ないものです。もしこの損失が起こる可能性がある場合には、窒素の施用形態を変えるか、あるいは土壌に適切に混入することによりなくすることができます。

# 窒素はスーパースター

## 土壌からの損失を少なくするには

栽培法により農用地からの窒素の損失は大部分減らすことができます。これは経済的にもまた環境的にも望ましいことです。窒素の損失を減少させることは、作物にとって利用できる養分を増加させることであり、また地下水・河川における硝酸のレベルを低下させることにもなります。

作物に対して適切な施用量を選ぶことは、利用されない硝酸が水源に溶脱する危険を少なくします。過剰な窒素の施用は農家にとっては費用を増大させ、利益を少なくし、しかも潜在的な環境に対する危険性を作り出します。一方、窒素の施用が少な過ぎると収量を低下させ、生産システム全体を利益が上がらないものにしてしまいます。これはまた環境の危害にもなります。というのは生産システムがこわれてしまい、肥料および土壌からの窒素が利用されずに残されて溶脱の可能性を残してしまうからです。

リン（P）、カリウム（K）、硫黄（S）、その他の植物養分を適切に供給することも窒素利用効率を最高にするために必要です。窒素およびその他の養分の適切な施用量は場所によって違っており、収量水準、土壌中での可給態養分の存在量の知識（土壌診断結果）、あるいは他の最適管理技術（Best Management Practices, BMPs）によっても変わるものです。このような技術の選択は農家自身が、改良普及員など専門家と相談して決めるべきものであり、一般化した法律などで規制されるものではありません。

肥料窒素を作物が実際に利用する時期にできるだけ合わせて施用することは、硝酸の溶脱の可能性を少なくします。窒素を分施することは昔から植物科学者や肥料供給側から勧められてきたことですし、また多くの農家が実践してきました。ただ、降雨が少ないとか溶脱が起こりそうもないなどの条件下では分施は必ずしも必要ではありません。

窒素肥料にある種の化合物（硝酸化成抑制剤）を添加することにより、土壌のアンモニウムが硝酸に変化する速度を遅くすることができます。このような抑制剤は硝酸の溶脱の可能性を少なくします。しかしこれらの化合物はやがて微生物により分解され、硝酸化成は引き続いて起こります。（訳者注。アメリカでは被覆肥料など肥効調節型肥料は普通作物に対してはあまり人気がなくこのパンフレットにも触れられていない）。

土壌を対象にした農耕地における最適管理技術（BMPs）と水質保全の BMPs（等高線栽培、草生水路、帯状栽培など）はすべて窒素の利用効率を高めるものです。同時に、このような技術は硝酸の溶脱の可能性を少なくし、環境を保護する技術にもなります。



# 窒素はスーパースター

## 【要約】

窒素はすべての作物、すべての人間、すべての家畜の成育や生殖にとって必須なものであり、これは科学的な事実として確立されたものです。窒素を肥料養分として利用することは人類の生存にとってまったく欠くことのできないことです。

生産的農業における窒素の利用法には経済性と環境的な関心を反映しなくてはなりません。農家は、その経営が成り立ち家族が標準的で人並みの生活水準を保つように、正当な利益を上げることがきちんと認識していません。農家はまた自分の生産システムとその管理法の選択が環境に及ぼす意味を認識していなければなりません。

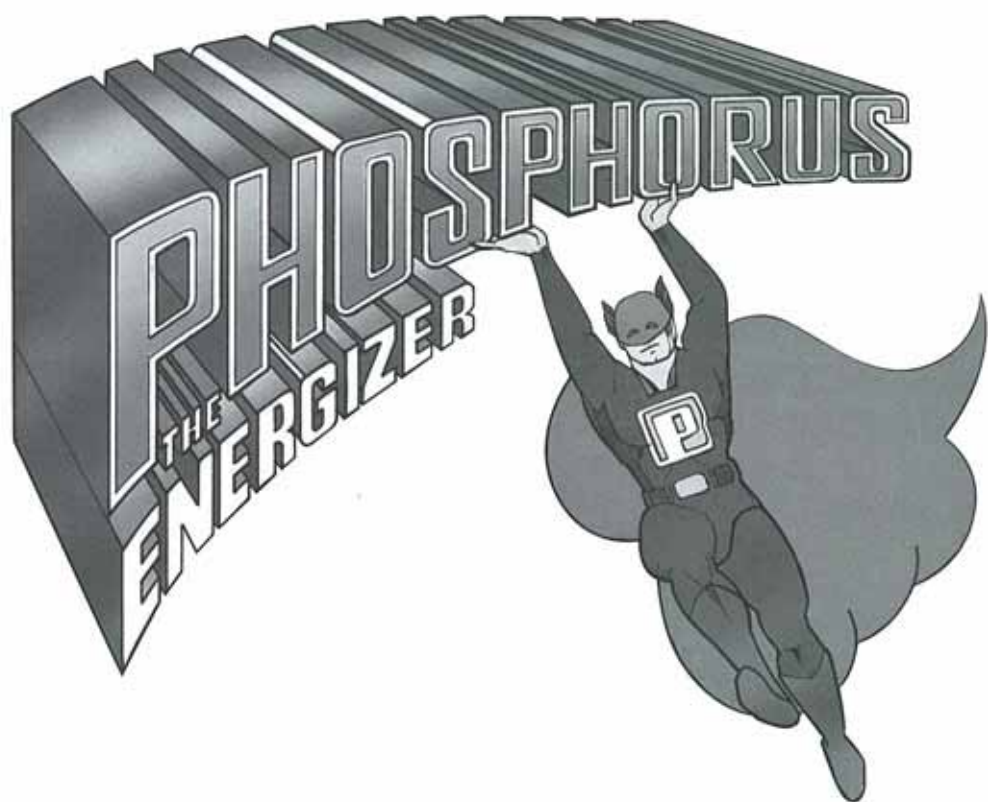
農家がしなくてはならない選択のひとつは、自分の作物に対する窒素施肥をどう管理するかです。家畜ふん尿は経済的に利用できるか。その成分分析値はどのくらいで、どれだけ施用して、なお土壤中でバランスを保っているのか。自分の栽培条件ではマメ科作物を輪作に入れて、穀物生産に窒素の一部をどれだけ補うことができるか。作物残さや土壌有機物の窒素を適切に評価しているか。硝酸化成抑制剤を使うべきか。農耕地にカバー作物を入れて農耕地を侵食から守り、穀物の収穫後に過剰で土壌に残留する硝酸を吸収させるべきか。化学肥料の種類、施用時期、施用量は自分の栽培法に合致しているか。

このような質問のすべてに答えるためには、科学的な情報があります。それらの情報は農家が栽培法を選択する時に、環境的に安全で経済的に健全な窒素の利用に導くものです。大学の研究から、改良普及センターの普及員と出版物から、肥料メーカーやその他の農業指導者などから得られます。農家はあてすっぽうに予測をする必要はないのです。



# リンは活力剤

健康と環境のための植物栄養素



# リンは活力剤

エネルギー問題でこれまで戦争が引き起こされたり、政治上の論議の対象となったりしてきました。科学者は今でも自然からどうやってエネルギーを得るか、その方法を研究し続けています。基本的にいえば、農業は作物により太陽のエネルギーを利用して食料、繊維、その他の工業原料などを作るものと定義することができます。リン（元素記号はP）はこのエネルギー利用において不可欠な成分です。

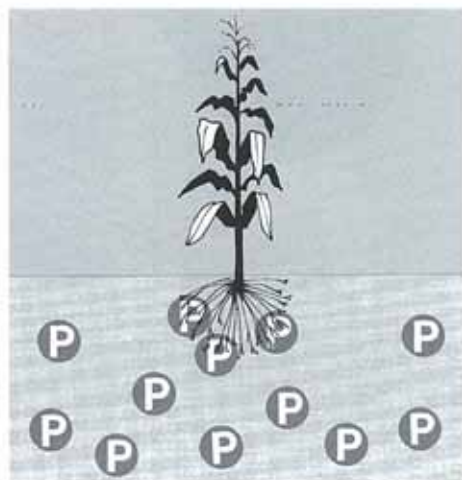
Pは、動物であれ植物であれ、すべての生きた細胞に存在します。もし「エネルギーを包み込む」構造をもったリンを含む化合物がなければ、光合成で捕捉された光のエネルギーは植物の機能上必要な役割を果たすことはできません。リンは本当に植物生産を活性化させる要素なのです。

## 作物によるリンの必要性

植物は土壌からいろいろな形で多量のリンを吸収します。アメリカで平均的な年には、トウモロコシ、コムギ、アルファルファは、土壌から700万トン弱のPを吸収しています。Pより大量に吸収される必須元素は窒素（N）とカリウム（K）だけです。

土壌には、植物が吸収できるリンがごく限られていること、そのリンを植物が見つけ出す能力を考えてみると、このようなリンの吸収量が大きいことはきわめて感銘深いものがあります。リンはまず、土壌粒子や植物根を浸している水に溶けなければなりません。溶解によって土壌-植物のつながりが可能となり、養分は植物に吸収され利用されるようになります。リンは比較的水に難溶性なため、農耕地土壌に存在する水には、0.1 kg/ha 程度のPしか含んでいません。これはトウモロコシのような作物の場合には、全生育期間を平均して、土壌水に含まれるリンを毎日6~7回も入れ替えることが必要ということの意味しています。

植物の根は、土壌の体積の1%かそれ以下を占めるに過ぎません。そのため大部分の土壌Pは植物の根から遠く離れており1作期間中には吸収されません。したがって根の近くにある土壌溶液中のPは、毎日6~7回よりずっと多くの回数入れ替わることが必要です。このようなことが可能になるため、土壌は作物が正常な生育期間に必要な量を供給できる適切な供給源でなければならないのです。



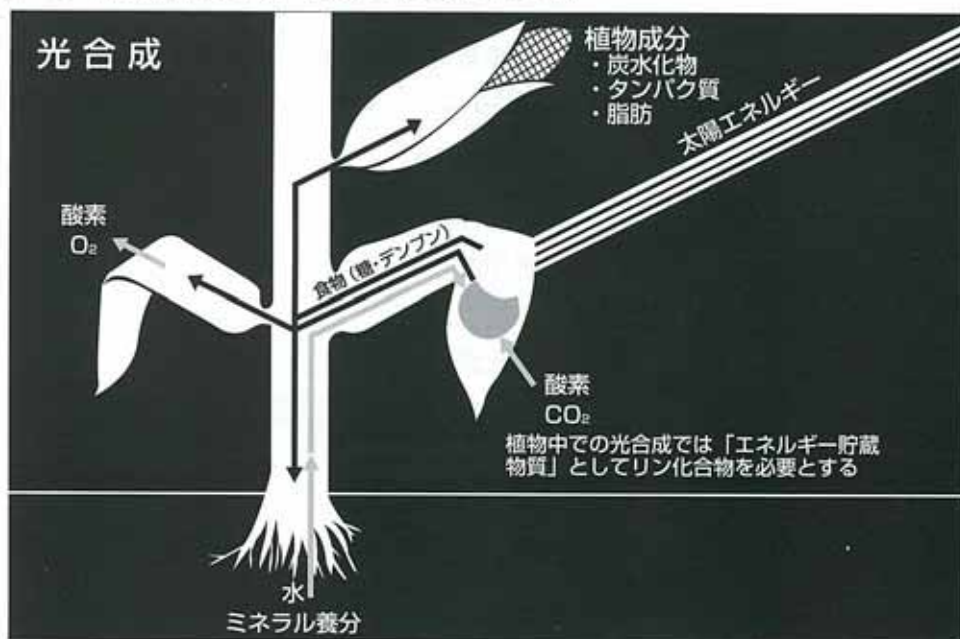
作物の根系は土壌の約1%に接触しているに過ぎない。作物の生育が最適になるためには、根域においてリンの肥沃度が高いことが必須である。というのはリンは土壌の中で移動するのはごく少ないからである。

# リンは活力剤

## 作物の健康、品質、および私たちの健康におけるリンの重要性

リンが欠乏した作物は、「病的な」「すくんだ」「ひよろ長い」「弱々しい」などの形容詞で記述されます。このような表現は作物の健康におけるリンの重要性を強調するものです。ある作物は明瞭な欠乏症状を示しますが、作物によっては目に見える欠乏症は現れずに生育量が減少することがあります。

植物が絶対に必要とする機能のうち、リンによって影響される機能には多くのものがあるため、リンの欠乏が明白に見えなくても作物の収量が減少することが起こります。このような減少を「潜在的欠乏」といいます。このような潜在的欠乏である植物は、有効水を利用する効率が劣り、収量や品質を低下させ病気に対する感受性が高くなります。このような植物は成熟するのに時間がよけいにかかり、低温による被害を受けやすくなり、栄養価値も低いものになりがちです。



光合成は生長している植物中での基本的食物生産工程なのですが、大気中の二酸化炭素と土壌から吸収された水から単純な糖類が生成するこの光合成の工程で、リン化合物がエネルギー伝達のために必要です。糖類が生成した後、この糖が植物によって利用される際にも、またリンは必要になります。

すべての植物栄養素は根から吸収される際に、リンの適切な供給に依存していることがよくあります。植物のリン栄養状態が、窒素などの他の栄養素の利用にしばしば影響しているというのも驚くべきことではありません。マメ科植物が空中窒素を固定する際にもリンに依存しています。窒素固定は土壌中でも起こり、微生物（通常はマメ科植物の根に着生する根粒中に棲息する菌）が関与しています。このようにして固定された窒素は、そのマメ科植物、またはその後作付けされる作物によって利用されます。大気中の窒素、これは私たちが呼吸している大気中に 80%近くもあるので



# リンは活力剤

すが、作物はこれを直接利用することはできないのです。

リンは遺伝子、染色体の構成物質となっています。リンは植物の生長・成熟のすべての点での「青写真」を用意し、また種子の発芽過程ではこの「青写真」を次の世代に引き渡すのに密接に関係しているのです。

農業において太陽がなければならぬように、リンもまた欠くことができません。リンがなければ、太陽の豊かなエネルギーも、パンやジュシーなオレンジの形になることはありません。リンは、利益があがりしかも環境的に健全な農業において不可欠な要素なのです。

リンを施肥すると、収量が増えるほかに、初期の生育が増大することがしばしば認められています。初期生育が速いと、植物のキャノピー（天蓋）が早くふさがれ、土壌侵食を防ぐ雨傘として役立ちます。また、リンの施用が適切な場合には、生育期間が終わった後に未利用で残される窒素の量は少なくなるのが普通です。未利用の窒素は、農家にとって経済的な損失の可能性を大きくするだけでなく、溶脱や侵食により水を汚染する可能性を大きくするものです。

## 植物はどこからリンを得ているのか

植物は土壌溶液からリンを吸収しています。土壌溶液にはリンが少ないため、リンは土壌粒子から連続的に補給される必要があります。ほとんどすべての土壌でリンの天然供給量は少なく、近代的な高収量作物は施肥なしでリンの要求量を満たすことはできません。土壌粒子には、リンと他の元素と結合した鉱物が含まれています。このような鉱物が溶解すると、ちょうど食塩が水に溶けた時にナトリウムが水に移行するように、リンも水に移行します。しかし、リンの鉱物は水にあまり溶けず、また溶解の速度も遅いのです。

ある土壌粒子では、その表面にリンが結合しています。このリンは土壌粒子から離れて土壌溶液に移行し、植物に吸収されたリンを補給することができます。

土壌有機物は、植物に対してのもうひとつのリンの供給源ですが、このリンは土壌微生物により分解されて植物が吸収できる単純な栄養素の形になってはじめて利用できるのです。この分解の速度は土壌の温度、水分、酸素の供給、その他の要因に影響されます。



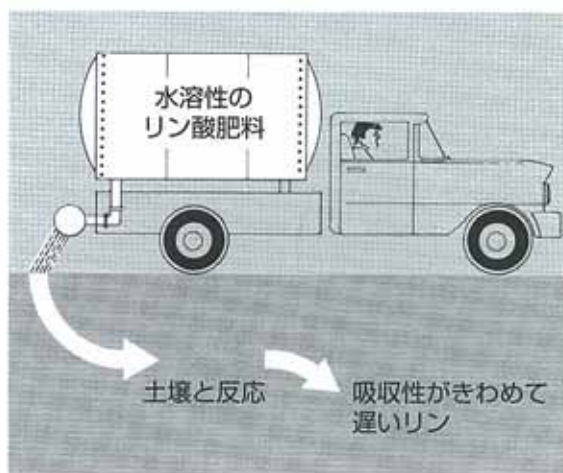
このようにいろいろな形態の土壌リンが植物に適切にリンを供給できない場合には、外部からリンを施用しなければなりません。これには普通二つの方法、家畜ふん堆肥と肥料の施用があります。マメ科植物は窒素は補給しますが、土壌にリンを補給することはありません。家畜ふんはそれだけ

## リンは活力剤

で圃場にリンの絶対量を増加させることはありません。増えるとすれば、ふんがある圃場から他の圃場に移動されたり、あるいは多量の飼料が他の圃場から購入されて家畜に給与されて、そこからふんが発生する場合です。（訳者注：日本の畜産ではアメリカなどから輸入した多量の飼料を与えているので、その分リンも増加する。）家畜ふんの利用は、土壌から吸収されて飼料用穀物や飼料用作物に移行したリンのリサイクル（土壌→家畜→ふん→土壌）のためにはすぐれた方法です。

北アメリカの作物生産において、リンの投入量を有意に純増できるのは化学肥料からのリンだけです。リン酸肥料は、フロリダ、北カロライナ、アイダホ、ワイオミング、その他の州で産出する天然産の鉱物資源（リン鉱石）と輸入リン酸資材から作られています。これらの鉱物の水溶性リン酸の含有量はきわめて低く、さらに加工してリン酸肥料としなければ植物に対するリンの供給源としては不良なものでしかありません。

肥料リンは、作物のリン酸要求量に見合う水準まで土壌のリン量を増加させるために使われます。穀物、茎葉、肉、牛乳、繊維などの形で失われたリン酸にプラスして、侵食で失われたリン酸をも補給しなければ土壌の肥沃度、生産力は低下してしまいます。養分収支のバランスがとれていない（養分的に赤字な）、農業の結果は生産力の低下をもたらします。肥沃な土壌では土壌粒子がリンの貯蔵庫として働くため、数年間は生産力の低下はないかもしれませんが、しかし、いずれは植物生育が衰え、生産力が低下し、降雨に対する保護が低下して土壌侵食も増加するのです。



通常のリン酸肥料は土壌に施用すると水にかなりよく溶解する。しかし土壌中で反応してリンはすぐに変化して作物にゆっくりとしか吸収されない形態になる。



## リンは活力剤

### 作物が必要とするリンの量は、どうやって測定するのか

土壌診断は、ある圃場のリンの供給能力が適当か、あるいはリン栄養の収支バランスがとれているかを測定するために使われています。もし土壌に補給する以上にリンが吸収されると、土壌診断の値は次第に低下するでしょう。反対に、もし吸収される以上に補給すると、土壌診断の値は次第に増加します。アメリカ農務省（USDA）の統計によると、1980年以降アメリカで生産される作物は、施用されたリン以上に吸収しています。これはアメリカの平均的な土壌肥沃度は低下しているかもしれないことを示唆しており、悩ましい統計です。このような変化は、やがては生産力の低下を招くことになるかも知れません。将来の世代に対してまた別の負担を負わせるものです。失われた生産力を回復するためには、この「負債」を払い戻すことが強制されることになりましょう。この問題は適切なリン酸肥料の施肥計画を含む正しい管理によって防ぐことができるのです。



土壌試料の分析により、作物の圃場が利益が上がる生産ができる最適の養分水準にあるかを定める重要な方法を提供する。



# リンは活力剤

## 有機リン酸の起源

採掘されたリン鉱石を有効なリン酸肥料にするにはいくつかの方法があります。工程によって、それぞれ特徴的な原料肥料が生産されます。最終製品は固体の粒状肥料や、あるいは液肥になります。もっとも重要なリン酸肥料は次のようなものです。

### ●重過リン酸石灰

44～53%  $P_2O_5$ を含む高濃度リン酸肥料です（ $P_2O_5$ は堆肥や化学肥料などの肥料中のリン酸濃度を表す術語）。この肥料は他の肥料と違って、窒素を含まないのでマメ科作物には専用的に使われます。（マメ科植物はそれ自身で窒素を固定するので、通常は肥料窒素を必要としません。）

### ●リン酸アンモニウム

北アメリカでもっともよく使われるリン酸肥料です。この肥料の $P_2O_5$ 含量は48～53%であり、同時に窒素を11～21%含んでいます。（訳者注：日本の公定規格では化成肥料に区分されているが、リン酸のもっとも重要な供給源であることはアメリカと同じ）この肥料は、窒素とリンという二つの重要な植物栄養素を供給できるという利点があります。この肥料中のアンモニウム態窒素は、植物の根によるリンの吸収を増大させているかも知れません。

### ●ポリリン酸アンモニウム

この肥料にはアンモニウム態窒素と複雑なリン酸分子（ポリリン酸塩）を含んでいます。液肥の大部分は幾分かポリリン酸を含んでいます。ポリリン酸塩は優れたリン供給源であり、また液肥に加えられる亜鉛（Zn）とか鉄（Fe）などの成分の濃度を高くすることができます。



リン鉱石を採掘したあとは修復されいろいろな用途に使われる。  
この写真では牧草地となり牛の放牧に使われている。

# リンは活力剤

## リンは土壤に施用されたあと、どうなるのか

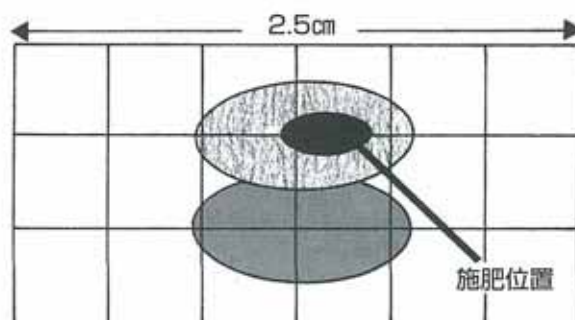
水溶性のリン酸肥料が土壤と接触すると複雑な一連の化学反応が起こります。肥料が施用されると、ほとんど即時にリンは、その土壤でもっとも安定な形態に変化します。この安定な形態は、土壤溶液に容易には溶けないため、植物にとっての可給性は低下します。さらにこのリン化合物は他の土壤成分と反応して、土壤固体成分の一部になります。端的に言えば、肥料リンは土壤リンになるのです。この「肥料リン」が「土壤リン」に変化するのを固定といいます。

ある種の土壤ではこの固定反応はきわめて速く、土壤リンの最終産物は植物にほとんど吸収されません。しかし他の多くの土壤ではこの反応はずっと遅く、また最終産物の植物に対する可給性も比較的高いものとなります。肥料からのリンは施用直後にもっとも可給性が高いのですが、多くの土壤では長い年月の間、残効が認められています。

家畜ふんからのリンもほとんど同じように反応します。しかし家畜ふん起源のリンの大部分は有機態であり、植物に吸収されるためにはまず土壤中で微生物によって分解される必要があります。一度この分解が起こると、家畜ふんからのリンもまた肥料からのリンと同様に土壤中での化学反応が生ずるのです。この点では、土壤有機物あるいは家畜ふんからのリンと化学肥料からのリンの間にはまったく差異がありません。

リンが土壤と速やかに反応する傾向があるため、土壤中での移動性はきわめて限られたものとなります。施用された位置からはあまり動くことはなく、そのため根域から溶脱により失われることもありません。リンは、作物の吸収と土壤浸食によって失われるだけです。

リンについての最適管理技術（BMPs）は対象となる土壤の性質によって変わります。



リン酸肥料は土壤中でほとんど移動することはないので、根と接触できる位置に施用しなくてはならない。この図の方眼目盛りは土壤断面のごく狭い場所を示しているが、リンを施用した17日後でも下方への移動はきわめてわずかなことがわかる。

# リンは活力剤

## 植物のリン酸吸収を増大させるには

作物生産における基本的な管理戦略は、土壌診断値の水準を高めて、植物が必要とする量が土壌からの供給で間に合うようにすることです。一度この水準にしたあとは、この水準を維持する量、これは作物の収穫部分に収奪される量にほとんど見合うのですが、その量を補えばよいのです。

多くの場合、維持的なリンの少なくとも一部は、播種した種子の近くの部位に高濃度で施用する必要があります。これは「スターター肥料」と呼ばれるものであり、生育初期に十分な量を施用します。大部分の一年性作物では、根系の発達が限られるため、生育の初期においてリン酸の要求性が高いのです。この初期の高い要求量を満たす技術は、多くの場合、化学肥料を幼植物の近くに帯状に施用することだけです。

通常、作物がある土壌から、あるいは施用した肥料から吸収できるリンの量に影響する最大の要因は根系の大きさです。そのため人為的に支配できる要因についてはすべて最適となるように作物を管理することが不可欠です。養分を効率的に吸収することができるよく発達した根系をもった旺盛で健康な植物を育て、高く利益のあがる収量を挙げながら、同時に環境の質を維持することを目的としなければなりません。



# リンは活力剤

## 【要約】

リンは、太陽エネルギーを変換して食料や繊維の生産に利用できる形にする過程で不可欠な構成成分となっています。北アメリカの農業において今の生産能力を維持、あるいは向上させ、また地球経済の中で競争力を持つためには、肥料リンは不可欠です。養分収支のバランスがとれているか、あるいは作物生産効率を最適にする上で、また環境の保護の上で管理を改善する必要があるかを決めるのに、土壌診断はきわめて重要な手段です。

適切にリンが補給された作物は、効率がよく、利潤も高いものとなります。旺盛で健全な生育は、土壌侵食を減少させ、肥料窒素の利用効率を高めます。農業でもっとも成功するためには、環境保護をしながら利潤が最高となる作物収量が得られるように、高度化した最適管理技術（BMPs）を導入した肥料使用計画に基づいて、健全にリンを施用することが必要です。

# カリウムは調節剤

健康と環境のための植物栄養素



# カリウムは調節剤

アメリカ人宇宙士、プロフットボールのクォーターバック、隣に住む人の間で共通なものがあるとしたら、何だと考えますか。ある有名な科学者は、この共通につながるものについて次のように書いています。「銀や金よりも貴重なもの。そう、石油やコンピュータよりもずっと必要なもの。それはカリウムです。」これはすべての植物、動物、そして人間に必須な栄養素なのです。

カリウム（元素記号のKで表します）は、どの細胞にも見いだすことができます。カリウムは私たちの身体の中で三番目に多いミネラル分であり、これ以上多いのはカルシウム（Ca）とリン（P）だけです。身体中のカリウムの85%以上は、筋肉、皮膚、血液、消化器官、肝臓などの主要な組織や器官に存在しています。

## 人間に対する必須性

カリウムはすべての生き物の生命やライフスタイルに影響しています。例えば、アメリカ人宇宙士の一人は地球上の軌道を周回中に、食事の中のカリウムが不足したため、心臓の鼓動が不規則になりました。運動選手は、体液とともに失われるカリウムを回復するために特別に強化した飲み物を飲んでいますが、毎日数百万の心臓患者や血圧に問題のある患者は、薬品による副作用の危険性を避けるためにカリウムをとくに多くした食物を摂取しています。実際、高い発熱や、体液を過剰に失った場合、厳しいストレスやショックにあった場合、悪夢的な経験をした場合には、だれでもがカリウム不足になるのです。





# カリウムは調節剤

## カリウム栄養は植物で違っているのか

植物の生育におけるカリウムの役割は人間の場合とよく似ています。大きな違いのひとつは、植物は腹が空いていても、あるいは栄養素が不足して生育が制約されていても、それを人に話してはくれないということです。植物の一部をとって化学分析することは、栄養ストレスや「潜在的欠乏」を早期に発見するのに利用する技術のひとつです。

激しい欠乏になると植物はしばしば目で見ることが出来る欠乏症状を現します。一般的にいうと、古い葉の縁が褐色になり、収量や品質が低下します。症状は時には特異的になります。例えば、オレンジ樹は落果し、イチゴでは甘みが十分にのらず、トウモロコシの茎は折れて穂が地上に落ちてしまい、トマトの果実は小さく、白い組織が多くなります。

すべての植物は、それぞれ食品生産工場なのです。それは窓辺で生育するアフリカ・バイオレットであっても、50ヘクタールもの畑で生育するトウモロコシの一本一本にとっても同じことです。もっとも効率的な水準で活動するためには、すべての植物はある基礎的な原料を必要としています。カリウムはこのようなカギとなる原料のひとつです。次の表は、いくつかの作物についてカリウム含有量を示したものです。

作物名	収量 (haあたり)	カリウム吸収量 (haあたり)
トウモロコシ	500ブッシェル	250kg
ダイズ	150ブッシェル	130kg
コムギ	200ブッシェル	150kg
アルファルファ	18トン	450kg
トマト	67トン	310kg



ダイズのカリウム欠乏症

# カリウムは調節剤

## カリウムは天然産の植物栄養

肥料カリウムは「加里（ポタッシュ）」と書かれることがよくあります。ポタッシュはアメリカの初期入植者が作った言葉です。彼らは石けんを作るために樹木の灰を浸出した液を蒸発して炭酸カリウムを製造したのですが、大きな鉄製のポットに残った灰状の蒸発残留物は「ポット・アッシュ」と呼ばれました。この工程は合衆国の特許第1号として登録されています。

合衆国における加里の工業的生産は、ドイツと戦争状態になって輸入がとだえた時に始まりました。ニューメキシコ州カールスバドがアメリカの生産の中心地になりました。そのほか、かん水からの生産がユタ州とカリフォルニア州で発展しました。1960年代前半になると、カナダで膨大で高品質な資源からのカリが利用されるようになりました。その結果として、アメリカの作物生産に使われるカリの3/4はカナダから供給されるようになりました。（訳者注：日本では塩化カリの50%前後がカナダ産です。）

現在知られている世界のカリウム資源の大部分は、海水が蒸発してカリウム塩が結晶してカリウム鉱床となったものを採掘しています。鉱床は塩化カリウム（KCl）と塩化ナトリウム（NaCl、食塩）の混合物です。この混合物から塩化カリウムを分離して高成分の天然産カリウム肥料を製造しています。その他の製造法には、かん水から硫酸カリウムや塩化カリウムを結晶化するものがあり、アメリカではユタ州グレートソルトレークなどで行われています。（訳者：中近東の死海でも作られている。）

このようにして生産されたカリウムの95%近くは農業用に使われています。残りの5%は工業用やどこの家庭でも使われる製品に使われています。



アメリカの初期入植者は「ポット・アッシュ」を作った

# カリウムは調節剤

## 植物におけるカリウムの役割

植物生育のほとんどの場面においても適当なカリウムの供給が必要です。窒素（N）とリン（P）とともに、カリウムは肥料三要素となっており、植物は大量に必要としています。カリウムはチームプレーヤーであり、植物の耐病性、水分ストレス耐性、耐寒性、害虫抵抗性、窒素・その他の栄養素の効率的利用、収量、品質の改善に役立ちます。研究の結果、次の8種の主要な役割が明らかになっています。

### ●酵素の活性化

細胞内のカリウムは、主要な植物内の反応速度を調節する60以上の酵素系に直接関与しています。

### ●水の効率的な利用

気孔と呼ばれる葉にある穴の開閉は、この気孔の周辺にある細胞のカリウム濃度によって調節されています。カリウムが欠乏すると、この気孔は部分的に開いてしまい、閉まるのが遅くなります。この現象により気候ストレス障害が増大し、水分の利用が劣るようになります。

### ●光合成

植物の葉緑素が太陽エネルギー、二酸化炭素、水から糖類を作る時、カリウムは高エネルギー化合物の生産を調節しており、この産物は他の植物内の反応に利用されます。

### ●糖類の移動

適切なカリウムの存在は糖類が葉から移動するのを助け、最高速度で光合成産物を他の組織に移行させています。

### ●水と栄養素の移動

カリウムは酵素系を活性化させ、植物内で水や栄養素の移動を促進しています。

### ●タンパク質の合成

カリウムは植物タンパク質の主要な合成段階のどの部分においても必要です。

### ●デンプンの生成

カリウムはデンプン合成に関与する酵素を活性化し、デンプンが貯蔵部位に再配分される速度を速めています。

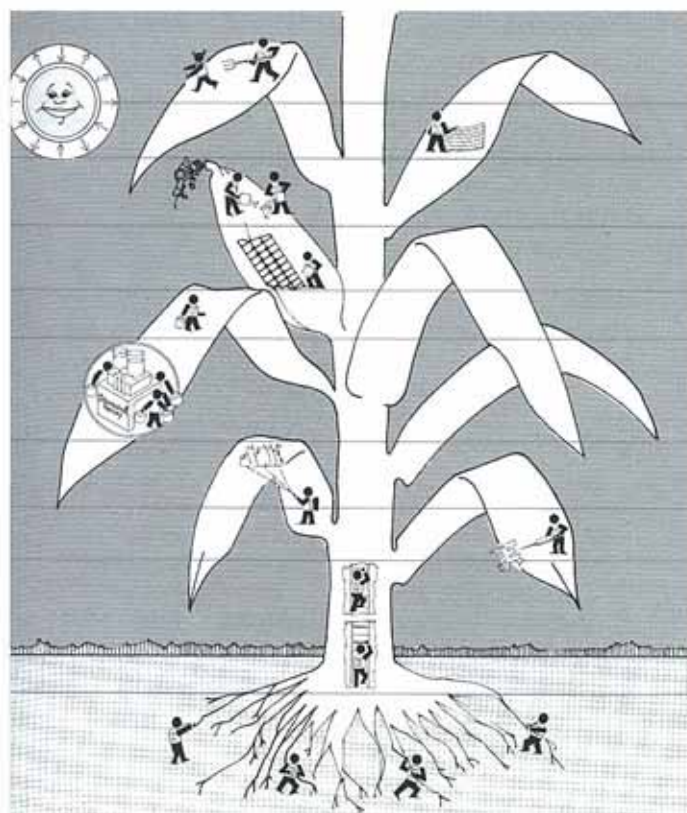
### ●作物の品質

カリウムは作物の物理的性状、耐病性、収穫のしやすさ、穀物の栄養価、市場性（アピール度）、価値を改善します。



# カリウムは調節剤

カリウムはどうやって収量を増加させているのか



このイラストはトウモロコシにおけるカリウムの多くの働きを示す

- 作物の病気を抑制するのに役立つ
- 剛性を保ち、水分損失を防いでしおれにくくする
- 植物のタンパク質含有量を増加する
- デンプンが多い子実にする
- 糖類・デンプンの植物体内移動を助ける
- 光合成と食物の生成を援助する
- 呼吸を低下させ、エネルギー損失を少なくする
- 多くの酵素作用を支持する
- 繊維素の生成を助け、茎が弱い時におきる倒伏を軽減する
- 根の生長を増大し、耐乾性を改善する

# カリウムは調節剤

## カリウムは環境の保護に役立つ

カリウムが容易に利用できる場合に、植物による窒素の利用効率は最高になります。どうしてかって？それはカリウムは窒素の吸収を調節し、植物タンパク質が生成するのを助けているからです。植物がカリウム欠乏になると、タンパク質含有量は減少し、人間あるいは家畜に対する食品・飼料としての価値が低下します。

カリウムは作物の生産性が最適になるのを助けています。高収量性の穀類作物は、より多い収穫残さを土地に残します。この残さは土壌を覆い、侵食の力を弱めて土壌を守ることができます。このような残さはまた、降雨の際に土壌への水の浸潤を遅らせ、次の作付け、あるいは地下水の再補給に役立ちます。

シカ、ヤマドリ、ウサギなどの野生動物は、よく管理された圃場に残された収穫残さから食物を得ることができ、よりよい保護を受けられることとなります。よい資源管理の長期的な価値について、農家はよく知っています。野生動物の保護と土地生産性についてはよく気をつけているのです。このような慣習は、よい土地の管理人の特徴なのです。



# カリウムは調節剤

## カリウムは他の養分の利用効率を高める

カリウムは、他の植物必須養分のほとんどと相互に影響することが知られています。カリウムは、リンが穀物収量を高め、種子の品質を改善するのを助けています。時によると市場価値が高くなることだけでカリウム施用費用のもとをとることができます。カリウムによる収量増加はおまけのボーナスです。

カリウムは作物が水を利用する効率を上げるのに役立っています。このようなことが起こる理由にはいくつかあります。

### ●初期生育が速くなる

初期生育が速まり、作物の葉によって土壌が早く被覆されるため、水分の蒸発が少なくなります。

### ●根の生育が深くなる

根が土壌中深く伸展するため、下層土の水分が利用できるようになります。

### ●根系が大きくなる

健康な植物は多量の根を発生させ土壌有機物（腐植）を維持します。有機物は土壌の構造をよくし、水が土壌に浸透するのを改善します。





# カリウムは調節剤

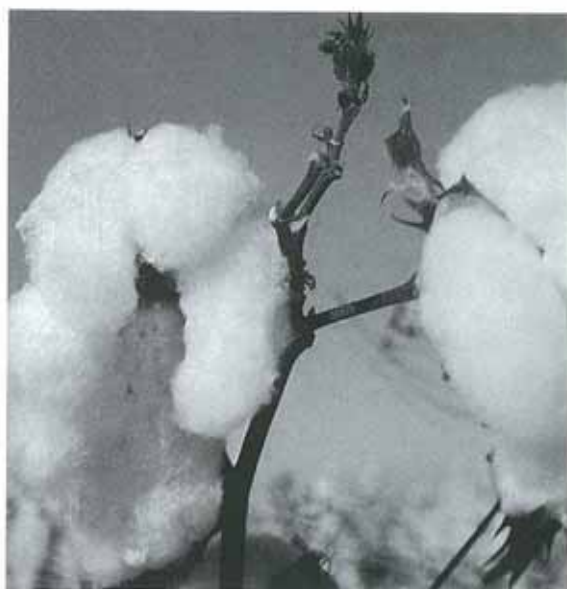
## カリウムは作物の品質をよくするのに必要

作物にとって、高品質とは外観がよいこと、よい香りがすること、栄養価が高いこと、収穫がしやすいこと、あるいは日持ちがよいことなどを意味しています。例えばトマトの場合には、カリウムは次のようにいろいろな点で貢献しています。すなわち、全収量が増加し、出荷品率が高まり、さらに肥料窒素の効率が改善されます。これはどういうことを意味しているのでしょうか。農家にとっては利益が多くなる可能性を意味し、地下水の保護のために投入資材の施用法を最適なものとし、市場におけるトマトの価格を安定的に低く保ちます。

特殊な作物、例えば家庭用やゴルフ場の芝の場合もカリウムを賢く使うことで利益が得られます。この要素は耐寒性、水分ストレス耐性を作り、植物の再生力を旺盛にします。カリウムは耐病性や、芝を使う時の傷みに対する耐性を改善します。さらに健全な芝につきものである深緑色を窒素が作り出すのを助けます。

ハイブリッド・ティー・ローズなどの花もカリウムによく反応します。研究によると花数が多く、茎が長くなり、再生力が高まります。

綿布とカリウムにも関連する点が多くあります。ワタ植物は長く強い繊維を作るためにカリウムを必要とします。高品質のワタ繊維は、天然の快適な綿布に望まれる第一段階です。



# カリウムは調節剤

## 【要約】

カリウムは、よく作物生産の調節剤であるといわれています。というのは、カリウムがタンパク質やデンプンの生成に影響し、作物の品質形成に影響する60以上の酵素系を調節し、窒素、リン、その他の作物生産に必須な投入要素とプラスの相互作用をする働きがあるからです。

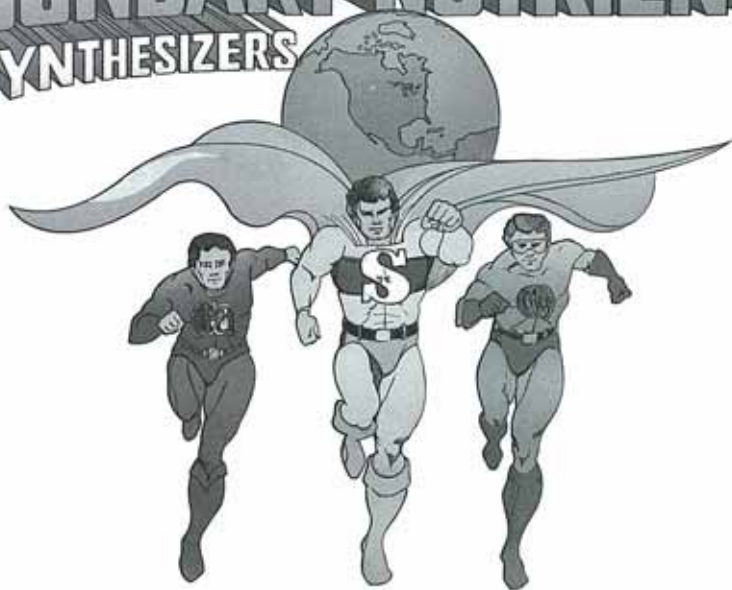
カリウムと他の必須植物栄養素は、北アメリカ農業に大きく貢献しており、世界中の国からうらやましがられています。それにもかかわらず、多くの人々は肥料なしでは食料、飼料、繊維の生産は1/3、あるいはそれ以上も減少することを理解してなく、適切な肥料の使用は環境や地下水の品質を保護していること、アメリカとカナダの農家の信じがたいほどの生産性の高さによってスーパーマーケットに低価格で高品質な食品があふれるようになっていることをわかっていないのです。農家の人たちの革新的性格や、長い間に確立された研究システムがあり、普及所や必要な資材を供給している農業ビジネスによって研究成果が受け渡されているために、私たちの生活水準は可能になっているのです。このような人たちはチームを作って、少数の農家で、これほど多量の農産物をこれほど多くの人たちのために生産しているのです。



# 二次要素は合成者

健康と環境のための植物栄養素

SECONDARY NUTRIENTS  
THE SYNTHESIZERS





## 二次要素は合成者

岩のように強く！ 光のように速く！ 生命、生長、そしてよい健康に必須！

このような表現は、カルシウム (Ca)、マグネシウム (Mg)、硫黄 (S)の働きを示すのに用いられるほめ言葉の例です。

これらは作物生産における「二次要素」とよく呼ばれていますが、このダイナミックなトリオは正確には「合成者」と言うべきものです。この三元素は、すべての植物、動物、そして人間の成長と健康に必須な多くのキーとなる役割を果たしています。

これらの栄養素は、植物・動物にとって比較的多量に必要です。植物はマグネシウムと硫黄を三要素であるリン(P)とほぼ同じくらいの量、吸収します。そしてカルシウム (Ca)はもっと多量に必要とするのです。

このトリオについてもっと詳しく見てみましょう。

### カルシウム (Ca)

カルシウムはほとんどの生物にとって不可欠な重要な役割を果たしています。この元素は、貝殻、骨、歯のような「硬い」構造を作る主要な成分となっています。人間の身体の重量の2%はCaです。身体のカルシウムのおよそ 99%は骨と歯に、残りは体液と細胞中に存在しています。カルシウムは心臓筋肉の機能、血液の凝固、神経信号の伝達に必須です。

人間の甲状腺は、組織内でカルシウムがバランスを維持するのに関与しています。人間細胞でカルシウムが欠乏すると、成長が損なわれ、歯の発達が悪くなり、くる病、もろい骨、筋肉の機能障害を引き起こす可能性があります。カルシウムのよい供給源は、牛乳、乳製品、貝類、それに緑色葉菜類です。

植物中でのカルシウムの役割には、細胞壁を強化して細胞が崩壊するのを防ぐこと、細胞分裂と植物生育の促進、タンパク質合成、炭水化物の移動、そして細胞の酸性度の調節などがあります。植物中のカルシウムは、すべて土壌から吸収されています。

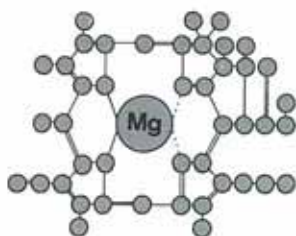
## 二次要素は合成者

### マグネシウム (Mg)

植物、動物ともに、マグネシウム(苦土)は生命と繁殖のために必要です。平均的な成人は約25 gの Mg を含んでいます。身体中のMgの役割の多くはまだ十分に解明されているわけではありませんが、多くの酵素系を適正に働かせ、中枢神経系統で必須なことがわかっています。マグネシウムとある種のその化合物は、破傷風や出産に起因する痙攣を抑えるのに役立っています。

食品からのマグネシウムの供給源は、多くの肉類、穀類、野菜、牛乳などであり、平均的な成人は一日 300ミリグラムを摂取しています。マグネシウムの欠乏は、虚弱、めまい、痙攣の原因となります。

植物において、マグネシウムは緑の色素である葉緑素の生産に必須です。葉緑素は、太陽光を植物生産物に変換する反応(炭水化物の合成)である光合成において必須なものです。葉緑素分子の一つ一つには約 7% Mgを含有しています。マグネシウムはまた植物細胞で間断なく起こっているエネルギー反応の多くで必須なこともわかっています。



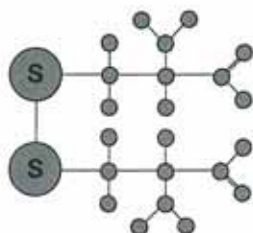
葉緑素 その分子の中心部に隠されているように  
マグネシウム原子が存在している

## 二次要素は合成者

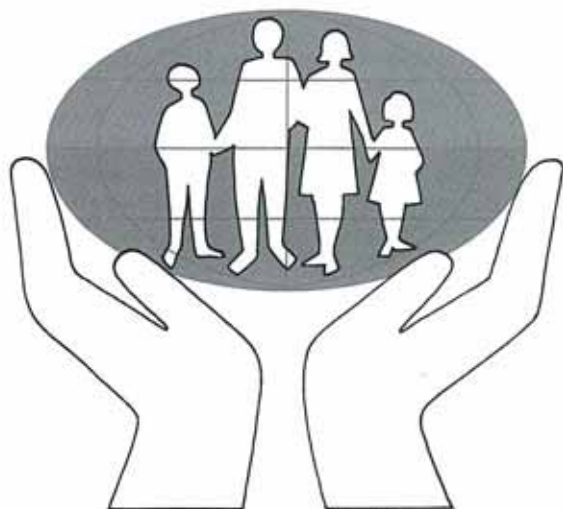
### 硫黄 (S)

硫黄は、自然界におけるスーパー栄養素のひとつです。この元素は、植物・動物の両方に存在するアミノ酸の3種の生成に必須です。これらのアミノ酸はタンパク質合成の構成成分になっています。タンパク質がなければ、植物も動物も生きていくことはできません。硫黄は、タンパク質の合成に使われるアミノ酸に使われるため、すべての生き物を作るものになっています。

硫黄元素は天然産の無毒な要素です。この元素は、多くの健康薬品、例えばサルファ剤や皮膚病の塗り薬に使われています。よく使われる硫黄化合物はエプソム塩（硫酸マグネシウム）で、消炎剤として使われています。



タンパク質 硫黄はビタミン類の構成成分であり、またある種のアミノ酸の成分となり、タンパク質を作っている



タンパク質は、人間が生きていくために食品中に必ずなければならないものである。タンパク質の必要量は年齢によって異なり、一日当たり幼児で23gから、男成人で56gと変動する。一人当たり平均40gとして世界全人口の消費量は、一日当たり1億トンのタンパク質になる。硫黄はタンパク質合成において不可欠である。



## 二次要素は合成者

### カルシウム

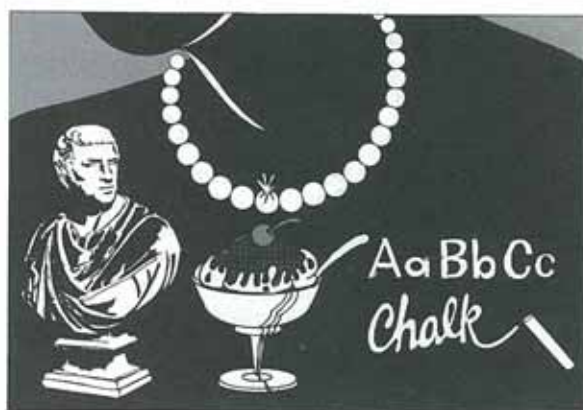
「硬水」という言葉を聞いたことがありますか？ 水は、その中のカルシウムとマグネシウムの量による硬度スケールで区分されています。この2元素の量が多い水は硬水と呼ばれます。硬水中のカルシウムとマグネシウムは、石けんや洗剤と反応して、浴槽やシャワー室の壁にフィルム状に付着します。

自然において、カルシウムが一番普通に見られるのは石灰石です。石灰石は炭酸カルシウムまたは炭酸カルシウムマグネシウムから成り立っています。真珠貝が砂の周りをコーティングして真珠を作る時の原料が炭酸カルシウムマグネシウムです。カルシウムとマグネシウムは、このほかにも珊瑚、チョーク、オニックス、大理石などのおなじみの物質にも存在しています。

炭酸カルシウム（石灰石）を原料にして、他の化合物が工業的に容易に作られます。セメント、しっくい、農業用石灰はすべて石灰石から作られています。抗酸薬品の多くは大部分炭酸カルシウムからなっています。硫酸カルシウムはセッコウのことであり、天然産のカルシウムのひとつの形態です。セッコウは壁用ボードや建材などの製品に使われています。

もう一つ毎日の生活で使われているCa化合物は塩化カルシウムです。これは雪や氷の融解剤として、また乾燥剤として使われています。

カルシウムは、ガラスの中にナトリウム(Na)やケイ素(Si)とともに存在しています。



# 二次要素は合成者

## マグネシウム

マグネシウムは海水中に約 0.13%含まれています。世界で生産されるマグネシウムの約80% は海水から抽出されています。

マグネシウムは軽いために多くの合金に使われ、パイプライン、誘導ミサイル、道具類、ボート、旅行カバンなどに使われています。

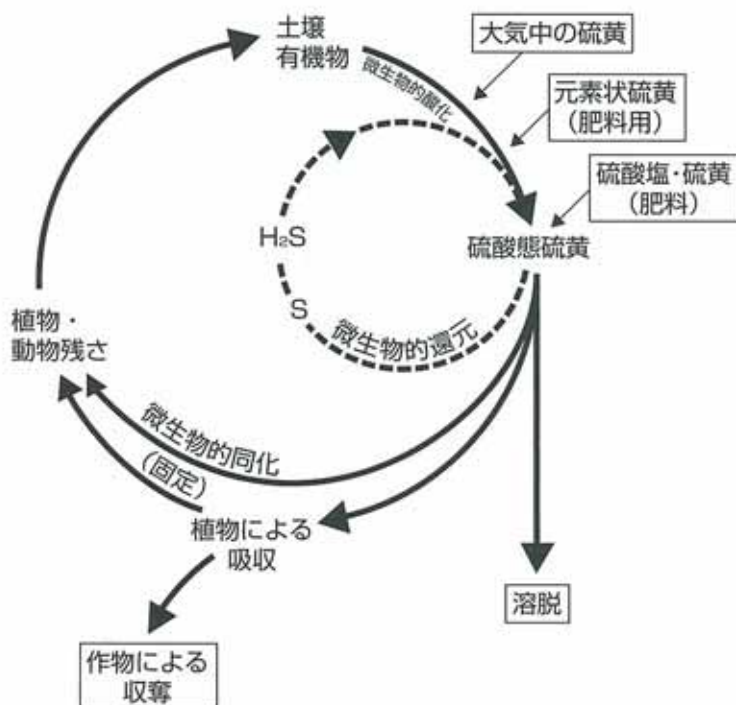
## 硫 黄

硫黄は、人類に最も古くから知られていた元素のひとつで、古いギリシャの医学書にも記載されています。古い次代には、硫黄を採取するために人を籠に入れて活火山の火口に釣り下げて噴気孔の壁から堆積物を削り取っていました。今日では、近代的な技術で地中深く天然に産する地下堆積物、天然ガスや原油、ある種の金属鉱石を精練する時、あるいは石炭を燃焼する時のガスから、硫黄を取り出しています。

硫黄は、私たちの毎日の生活において多くの用途があります。近代社会においては、硫黄に依存することが多く、二酸化硫黄、硫酸、硫化水素、二硫化炭素、硫酸アンモニウムなどのいろいろな化合物が使われています。

硫黄は他の形態でも日常的な広い用途があり、皮膚病の塗り薬の材料、石油の精製、肥料や紙の製造、果実や野菜の保存剤、自動車のバッテリーなどに使われています。

## 硫黄サイクル



## 二次要素は合成者

### 土壌中における二次要素

いずれの二次要素も地殻中や植物が生育する土壌中でかなり高い含有量で存在しています。

二次要素	地殻中の含有量 (%)
カルシウム	3.20
マグネシウム	2.50
硫黄	0.10

カルシウムは地殻中で5番目に多い元素であり、マグネシウムは8位、また硫黄は13位にランクされています。

これらの栄養素は土壌中で天然にありますが、通常は植物が吸収できない鉱物や有機物の形態で存在しています。食品や繊維となる作物の生育は、しばしばこれらの栄養素の欠乏により抑えられています。土壌には、植物の栄養が最適になるように適正量を施用しなければなりません。



## 二次要素は合成者

### 二次要素の可給性に影響する要因

カルシウム、マグネシウム、硫黄の植物に対する可給度は多くの要因によって影響されます。これらの栄養素の可給度を推定する一番よい方法は土壌診断か、あるいは土壌診断と作物栄養診断の組み合わせでしょう。しかし、圃場での観察や欠乏症状もまた診断手法として重要です。

#### ●土性

土性（粒径分布）とは、砂、シルト（微砂）、粘土の相対的含有量（%）を示すものです。砂質の土壌はもっとも二次要素に欠乏しやすい土壌です。粘土と有機物が多い土壌では、これらの養分の保持力により風化（溶脱）による損失が軽減され、土壌鉱物が分解するにつれ、あるいは有機物が微生物により無機化するにつれて、多くの二次要素を供給できるのです。有機物は植物に対する硫黄の供給源として、とくに重要です。

#### ●土壌温度

土壌温度が低いと、植物が二次要素を吸収するのが抑制される傾向があります。有機物からの硫黄の解放は低温によって減少します。この現象は、冷涼で湿潤な条件で作付けされる作物に対して硫黄を補給すると利益がある理由になっています。

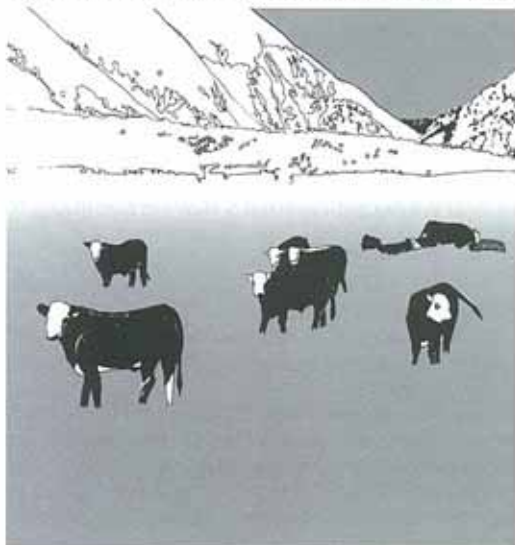
#### ●土壌pH

風化が進んだ酸性土壌では普通、可給態カルシウムとマグネシウムが溶脱されるため、それらの量は比較的少なくなっています。土壌酸度は多くの養分の可給度に影響します。

#### ●養分間の相互作用

二次要素の吸収は、土壌中に多量に存在する他の栄養素の量に影響されます。マグネシウムの吸収は、とくに多量の可給態カリウム（K）があると抑制されます。カルシウムの吸収もまたマグネシウムの利用度を阻害します。牧草によるマグネシウムの吸収が抑制されると、その放牧でその飼料を摂取する牛は、血しょう中のMg濃度が低下

して引き起こされる「グラスステタニー」にかかることがあります。最近のデータによるとリンの可給度が高い場合、マグネシウムの吸収が増加することが示されています。硫黄の吸収は、多量の可給性窒素（N）の存在で抑制されることがあります。



## 二次要素は合成者

### 植物はどこから二次要素を得ているか

作物は、カルシウム、マグネシウム、硫黄を次に挙げる起源のひとつ、あるいは複数から得ています。

- 土壌粘土、土壌有機物、土壌鉱物
- 化学肥料、農業用石灰
- かんがい水、降雨・降雪、焼成炉からのダスト

土壌中の硫黄はいろいろな有機物や無機物の形で存在しています。土壌細菌・カビ類は硫黄が植物に対して可給性となるのに重要な役割を果たしています。

#### 欠乏症状

カルシウム、マグネシウム、硫黄の欠乏症はそれぞれ違っています。しかし異常条件では、すべての場合収量や品質が低下しています。化学肥料は、このような欠乏症を防ぎ、収量、品質、収益性を改善するのに重要な役割を果たしています。

石灰などのカルシウム・マグネシウムの供給源を大量に施用すると、土壌粘土や有機物により保持されるこれらの要素の量を大幅に増加させることができます。二次要素のひとつ、あるいはそれ以上を含有するセッコウや他の資材を土壌に施用して、養分の欠乏の矯正以外に、他の土壌条件を改良することもあります。

モモのマグネシウム欠乏症である葉脈間の白化は、多くの果実や野菜に共通にみられる



リンゴのカルシウム欠乏のひとつは果肉の変色である。この現象は普通「ビタービット」と呼ばれている

マグネシウム欠乏は、このトウモロコシで見られるように、まず最初に下葉に黄色、褐色、赤色が現れるが、葉脈には緑色が残っている



ここに示したコムギの黄化した葉は硫黄欠乏として共通にみられるものであるが、しばしば窒素欠乏と間違えて診断される

## 二次要素は合成者



### 土壌への石灰施用には多くの効果がある

- 石灰施用は、窒素、リン、カリウムなどの植物栄養分の利用効率を高める。
- アルミニウムやマンガンなど、強酸性土壌で作物生育に有害となることがある元素の可給性を低下させる。
- 有機物を分解し、植物栄養分の解放を多くする土壌微生物の活性を高める。
- 植物生育に必要なカルシウムやマグネシウムを供給する。
- マメ科作物による窒素固定に関与する微生物活性を増大する。
- 土壌の物理性を改善する。



## 二次要素は合成者

### ●石灰施用

土壌の酸性度は世界の多くの地域で厳しい問題となっています。酸性は作物の正常な生育を阻害し、有用土壌微生物、例えばマメ科作物に着生する窒素固定菌などの生育と活性を低下させます。強酸性条件では、植物は他の要素が欠乏したり、アルミニウム (Al) やマンガン(Mn)の可給度が高くなって害作用を受けることがあります。土壌の酸性度は土壌pHで表され、酸性かアルカリ性を示しています。土壌pHは、0から14のスケールで示され、7以下が酸性、7以上がアルカリ性です。多くの作物にとって理想的なpHは6.2から7.0です。

土壌の酸性化は多くの要因で引き起こされ、例えば通常の土壌の風化、有機物の分解、マメ科作物・家畜ふん尿・化学肥料からの窒素の微生物的変換（硝酸化成）、カルシウム・マグネシウム・カリウムなどの養分の作物吸収などで酸性化が起きます。

土壌酸性の矯正のためには炭酸カルシウムやマグネシウムを含有する石灰石（石灰）の施用を必要とします。石灰石が溶解するにつれて、土壌酸性は石灰石の炭酸成分との反応により中和されます。土壌の分析（土壌テスト）は、土壌酸性を矯正するために施用しなければならない石灰の量を決めるのに使われています。

### ●塩類障害の矯正

ある土壌では、その生産力が可溶性塩類が過剰量存在するために制約されることがあります。このような土壌は土壌pHが高いことが多いのです。ある種の硫黄とカルシウム化合物が、このような土壌の問題を解決し、もとの土壌生産力を回復させるために施用されています。元素状硫黄（硫黄華）と硫酸カルシウム（セッコウ）の施用と、適切な土壌管理でこのような問題は改善することができるでしょう。



塩類が噴き出た地域では作物圃場の生産力を低下させる。セッコウやその他の硫黄とカルシウムを含む資材の施用と、土壌の適切な管理によってこのような問題を解決することができる

## 二次要素は合成者

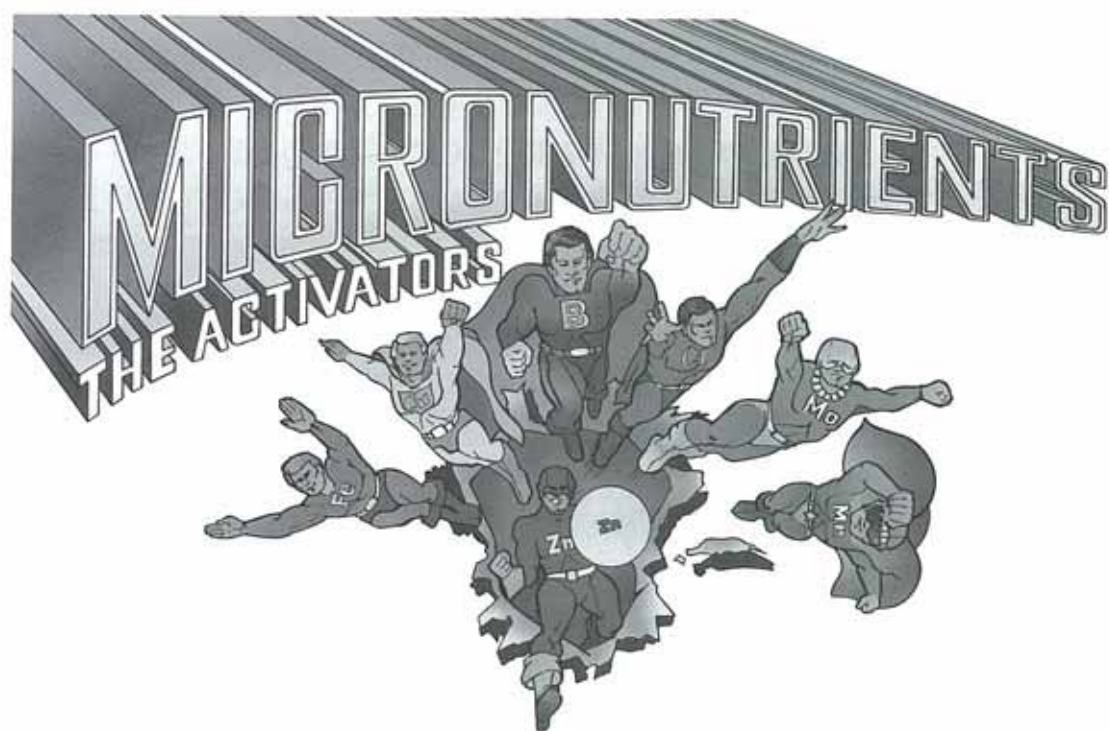
### 【要約】

二次要素であるカルシウム、マグネシウム、硫黄はすべての植物と動物の健全な成育に必須です。食品の生産と健康を維持するためには、植物栄養と家畜／人間の栄養の関連を理解することが重要です。このような相互関係の多くは、これまで長い間に解明されてきましたが、まだまだ将来の研究にまつところも多く残されています。

二次要素についての適切な作物栄養は、他の植物栄養素について理解し利用することと同様に重要です。持続的農業生産とその環境保護に対する重要性は、すべての栄養素について植物の必要性が満たされているかに依存しています。

# 微量元素は活性化剤

健康と環境のための植物栄養素





## 微量元素は活性化剤

微量元素はあなたの健康に不可欠だということを知っていますか。本当なのです。事実、あなたが薬局のカウンターで買ったり、お医者さんの処方箋に書かれているビタミン剤やミネラル補給剤にひとつやふたつの微量元素は含まれています。

微量元素はあなたの身体のホルモンやタンパク質の一部になっています。遅い成長、骨や皮膚の異常、性的発達の遅れ、さらに不妊さえも、人の食品中に亜鉛が不足することによって引き起こされることがあります。銅は赤血球にあるタンパク質色素の形成に重要な役割を果たしています。ホウ素は骨粗しょう症—もろい骨の抑制に関係することが最近明らかになっています。

あなたの身体の中の微量元素の総重量は、塩素を除くと30 gにもなりませんし、店頭価格では500円もしません。しかしそれがないとあなたは生きていくことができないのです。

植物の必須微量元素には次のようなものがあります。元素記号とともに示しましょう。

ホウ素……………B  
銅……………Cu  
塩素……………Cl  
鉄……………Fe  
マンガン……Mn  
モリブデン…Mo  
亜鉛……………Zn

(訳者注：必須微量元素には最近ニッケル(Ni)が追加され8元素となっている)

窒素(N)、リン(P)、カリウム(K)は、肥料三要素と呼ばれ、植物栄養素として主要なものであり、硫黄(S)、マグネシウム(Mg)、カルシウム(Ca)は二次要素といわれています。

# 微量元素は活性化剤

## 日常生活にみられる微量元素

微量元素には用途が広い化学品であり、工業や家庭で毎日役にたっています。つぎの例は、私たちの利益になっている、ごく一部を示したものです。

ホウ素……………洗眼剤、オープン皿、洗剤、石けん、ロケット燃料

銅……………電線、真ちゅうの材料

塩素……………食塩、水の浄化

鉄……………私たちはまだ、紀元前約1000年に始まった鉄器時代の延長上に生きています

マンガン……………電池、鋼に硬さや柔軟性を与える

モリブデン……………皮革の染料、セラミックの上ぐすり、印刷インク、X線光源、電球

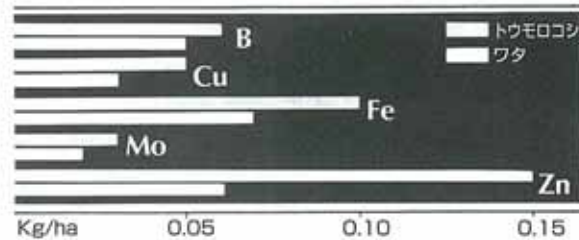
亜鉛……………鉄鋼のメッキの皮膜、真ちゅうの原料、ペンキ、耐火物、皮膚炎の塗り薬、トラウマ障害の治療



# 微量元素は活性化剤

## 微量元素は作物に必須

微量元素はそれぞれ食物生産において重要な役割を果たしています。微量元素がなければ、植物は生きていられず正常に機能することもできません。その必要量はごく微量であり、だから微量元素と呼ばれていますが、植物生育における重要性については決して小さいものではありません。下の図は、トウモロコシとワタの二つの作物中の微量元素の量を示しています。



注：ha当たりトウモロコシを230ブッシェル収穫すると、マンガンは約0.09 kg、ワタ1100kgを収穫すると0.3kg吸収される。塩素の吸収量はこの作物について測定されていない

微量元素が土壤中で欠乏するとき、それを添加すると作物収量や農家の収益に劇的な効果が見られることがあります。研究結果を挙げてみましょう。

- ネブラスカ大学では、3kg/haの亜鉛でトウモロコシ収量は120ブッシェル/haも増加した
- ジョージア大学では、マンガン肥料の施用でサツマイモの収量は150kg/haも増加した
- テネシー大学では、ホウ素欠乏土壤にわずか0.5 kg/haのホウ素を施用することによって、ワタ子実は1,300 kgも高くなった
- フロリダ大学では、銅を施用することにより、スイカの収量は50t/haも増加した
- カンサス州立大学では、塩素含有肥料でコムギ収量は最高 20 kg/ha増加した

微量元素の効果はいつもこれほど大きいわけではなく、ときには小さい場合がありますが、もっと大きくなることもあります。

微量元素は収量を増加させるだけでなく、品質を改善することもあります。例えば、ホウ素の施用は、セルリーの「曲がり莖」、リンゴの「コルク症」、ビーツの「黒芯」、ピーナッツの「心ぐされ」などを防止します。微量元素の欠乏によるこのような、あるいは他の品質問題の結果として、私たちの食品の香り、栄養価、アピール性が劣るようになり、ときには人間の消費にはまったく向かないものになることもあります。



# 微量元素は活性化剤

## 植物における微量元素の機能

### ●ホウ素

- ・糖／デンプンのバランス
- ・糖とデンプンの転流
- ・授粉と種子の生産
- ・細胞分裂
- ・窒素とリンの代謝
- ・タンパク質の合成

### ●銅

- ・酵素系
- ・タンパク質の合成
- ・種子の形成
- ・葉緑素の生成
- ・窒素代謝

### ●マンガン

- ・光合成
- ・酵素系
- ・硝酸塩の同化
- ・鉄代謝
- ・葉緑素の生成

### ●亜鉛

- ・タンパク質の合成
- ・デンプンの生成
- ・根の伸展
- ・酵素系
- ・生長ホルモン
- ・子実の生成

### ●鉄

- ・葉緑素の生成
- ・タンパク質の生成
- ・酵素系
- ・植物の呼吸作用
- ・光合成
- ・エネルギー伝達

### ●モリブデン

- ・タンパク質の生成
- ・マメ科植物の窒素固定
- ・酵素系
- ・窒素代謝

### ●塩素

- ・光合成
- ・水利用の効率
- ・作物の成熟
- ・病気の抑制
- ・糖の転流

### ●ニッケル

- ・尿素分解酵素を構成

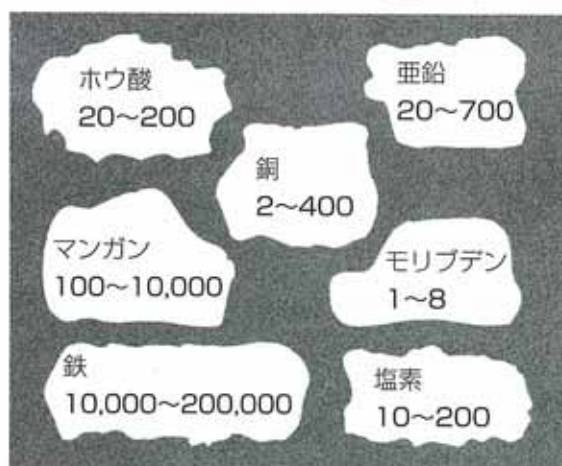
(注：ニッケルについては、訳者による)



# 微量元素は活性化剤

## 土壌中の微量元素

土壌は、しばしば微量元素のよい貯蔵庫になっています。土壌によっては、ある種の微量元素をha当たり数1,000kgも含んでいることがあります。ごく少ない土壌もあります。下の図は、微量元素を含有量の範囲(kg/ha)を示したものです。



## 土壌の微量元素の可給性に及ぼす要因

いくつかの土壌要因で微量元素の作物吸収が制約されることがあり、そのような場合には微量元素の施用が必要になります。

### ●土性

土性とは、砂、シルト（微砂）、粘土の相対的な含有量を指標にして示されます。砂質土壌（粗い土性）は、ほかの必須要素と同時に微量元素がもっとも欠乏しやすい土壌です。粘質土（細かい土性）では、植物が吸収できる量が不足することはあまりありません。

有機物が少ない鉱物質土壌では、微量元素の可給性が比較的低い傾向があります。しかし、有機物が主体となっている土壌では、微量元素は不可給態で含んでいることが多く、天然からの可給性は低くなっています。銅の欠乏はこのような土壌でよくみられます。

### ●土壌の温度と水分

地温が低いと、植物が吸収できる微量元素の量は少なくなります。例えば早春には、トウモロコシの亜鉛欠乏が激しく発生しますが、これは土壌が低温で湿潤なためです。この欠乏症状は、暖かい気象の時や土壌が乾燥した時には、現れないことがしばしばみられます。

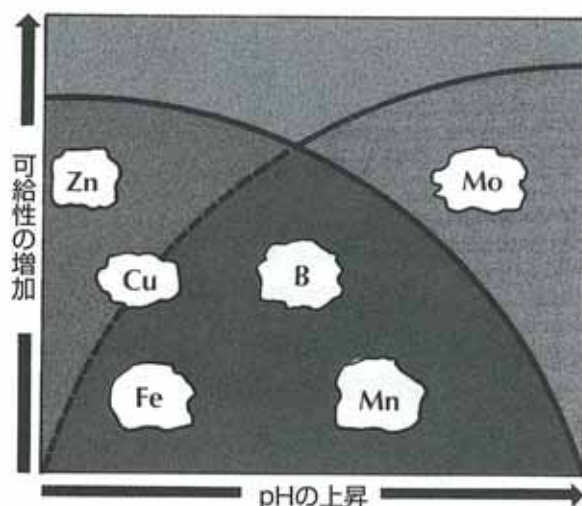
ホウ素の欠乏は、生育期間が乾燥した時、あるいは夏の終わりころに土壌の水分がもっとも少ない時にみられることがあります。またホウ素の含有量は、土壌が深くなると減少する傾向があります。一般的に、乾燥条件下で植物は、もっともホウ素含有

# 微量元素は活性化剤

量の高い表層からホウ素を吸収できなくなります。というのは、乾燥した表層土壌では作物根は不活性になるからです。有機物はホウ素の貯蔵庫となっていますが、この分解は干ばつの時期には遅れます。

## ●土壌pH

土壌pHは、土壌が酸性かアルカリ性かの尺度を示しています。酸性（pHが低い）土壌では、多くの微量元素の可給性は最高になります。モリブデンを除いたすべての微量元素の可給性はpHが高くなると低下します。一方、石灰を施用すると、しばしばモリブデンの欠乏は直ります。下の図は土壌pHと微量元素の可給度との関係を示したものです。



## ●栄養素間の相互作用

土壌中の微量元素間、あるいは多量要素など他の要素との間のバランスは、微量元素の可給性に影響します。研究の結果によると、例えば鉄の過剰は植物のマンガン欠乏、あるいは銅欠乏を誘導し、逆にマンガンなどの過剰は鉄の欠乏をひき起こします。土壌リン酸水準が高い場合、亜鉛吸収が抑制され、収量が減少することがあります。

## ●その他の要因

数100万haの土地では、降雨が少ないために灌漑され、作物収量を増加させています。この灌漑水中には、微量元素、その他の要素がいろいろな含有量で含まれています。灌漑を容易にするために、土地を平坦にすることがありますが、この時に微量元素、とくに亜鉛の欠乏がみられます。これは表土（有機物）とともに可給態亜鉛が除去されてしまうからです。これを直すための対策が必要であり、通常は市販の微量元素肥料を施用しています。



## 微量元素の必要量の決め方

作物による微量元素の必要量を定めるためにはいくつかの方法があります。植物の反応を一番よく推定するには、次の方法を組み合わせて使うことが是非とも必要です。

### ●過去の欠乏の履歴

優秀な農家は、自分の農地の内で問題のある地点、例えば雑草の問題、害虫のはびこり、病気、その他がある地点、についてはよく知っています。よく記録をとっておくこと、よく観察することは、微量元素の問題を早期に発見し、完全に直すことにつながり、その利益は大きいものがあります。隣人やその地域の他の農家の経験も貴重なものになることがあります。

### ●肉眼的な観察

微量元素は、要素ごとにそれぞれ特有の欠乏症状を示すので、その徴候を見分けることを訓練した人が欠乏を発見するのが普通です。しかし作物の障害が何なのかを知るのを、欠乏症状だけに依存するのはあまりよい方法ではありません。欠乏が発見されたあと、微量元素の追肥で減収を少なくすることはできますが、その時にはすでに損害が生じてしまっているのです。

### ●土壌診断

微量元素の土壌診断はまだ不十分なものです。しかし、それでも微量元素の必要性を明らかにするには、もっとも信頼性がおける技術です。土壌診断によって、作物を栽培する前に微量元素の対策をとることが可能になります。微量元素の含有量を知るために土壌をサンプリングする場合には、測定値にカタヨリを生じさせるような汚染には十分な注意が必要です。よく知られて信頼性の高い分析所を使い、そこから指示された土壌サンプリングの方法に正しく従わなければなりません。

### ●植物組織分析

土壌診断法は、土壌中の微量元素の可給性の水準を決めるものですが、一方、植物分析は、植物が必要量を吸収しているか、いないかを確認するものです。最良の結果を得るには、土壌診断と植物組織分析の両方を行って、微量元素の必要量を決め、問題点を診断するべきです。

### ●栽培する作物

当然予期されるように、作物によって微量元素に対する反応は違います。同じ作物でも品種によって微量元素に対する感受性は違ってきます。次の例は、欠乏土壌に生育した作物の反応の水準を示したものです。

# 微量元素は活性化剤

## 欠乏土壌で生育した作物の微量元素に対する反応

要素	高い	中くらい	低い
ホウ素	アルファスファ、リンゴ、ブドウ、ピーナッツ、ナタネ、トマト	キャベツ、トウモロコシ、ワタ、モモ、クローバ、ベッチ	キュウリ、タマネギ、ジャガイモ、ダイズ、コムギ
銅	かんきつ、レタス、タマネギ、トマト、コムギ	クローバ、子実用ソルガム、エンバク、ダイズ	ブロッコリー、トウモロコシ、ライムギ
塩素	塩素に対する反応のほとんどは、コムギまたは穀物作物でみられたものであり、収量の増加、あるいは病気の抑制になって現れている		
鉄	鉄に対する反応は、高いpHをもつ（アルカリ性）土壌でもっともよくみられる。子実用ソルガム、果樹、パイナップルなど広範な作物に施肥効果がある		
マンガン	ワタ、レタス、タマネギ、サツマイモ、ダイズ	ブロッコリー、キャベツ、キュウリ、モモ、トマト	リンゴ、トウモロコシ、ブドウ、ライムギ
モリブデン	欠乏はマメ科作物に多いが、これはモリブデンが窒素固定に役割を果たしているからであり、pHに極端に影響され、酸性土壌でもっとも可給性は低い（訳者注：カリフラワー、ダイコンなども欠乏しやすい）		
亜鉛	トウモロコシ、子実用ソルガム、タマネギ、ジャガイモ、ダイズ、イネ	アルファルファ、リンゴ、シュガービート、クローバ、ワタ	ブロッコリー、キャベツ、ブドウ、ピーナッツ

（訳者注：日本で栽培されることのないピカン、油ヤシなどの記載は省略した）

# 微量元素は活性化剤

## 植物はどこから微量元素を吸収しているか

作物が微量元素の必要性をみだす供給源には、いくつかのものがああります。

●家畜ふん尿 ●土壌有機物 ●土壌鉱物 ●化学肥料 ●降雨雪 ●灌漑水

降雨雪の中の微量元素の量はごくわずかです。灌漑をしている場合には、水中の微量元素の量は水質化学分析で知ることができます。土壌からの貢献度は土壌分析で量ることができます。

### ●家畜ふん尿

家畜ふん尿は、植物栄養分のよい供給源であり、微量元素も含んでいます。家畜が成育する所、とくに鶏舎、乳牛舎、肉牛肥育場などのように集中的に飼われている場所には、ふん尿が大量に集積しています。

ふん尿中の栄養素の含有量は大幅に変動しており、効率よく利用するためには資格のある分析所で分析するのがよいでしょう。ふん尿の貯蔵、施用法などを含むハンドリング法で家畜ふん尿の価値は変わります。環境に及ぼすマイナスの影響が最小になるように留意しなければなりません。

植物栄養分に加えて、家畜ふん尿は有機物を土壌に補給し、物理性を改善します。適切に使えば、農家の作物生産システムで家畜ふん尿は価値のある資産なのです。

## 市販肥料

微量元素をひとつ、またはそれ以上含む肥料が作られ売られています。農家は、幅広くこれらの中から選択することができます。

微量元素は、全面散布、帯状施肥、葉面散布、あるいは種子粉衣などの方法で施用できますが、それぞれ特徴があります。

### ●全面散布

微量元素の散布には、もっとも簡便な方法です。ただ診断値が低かったり、土壌pHがアルカリの場合には、他の方法に比較して施用量が多くなりがちです。

### ●帯状施肥

この方法の利点は、微量元素が植物根の近くに高濃度の帯状に施用されるので、土壌と結合する機会が減少することです。

### ●葉面散布

葉面散布は、微量元素がごく少量しか必要でない時にきわめて効率が高くなります。

### ●種子粉衣

この方法は、モリブデンのように必要量がきわめて少ない場合を除いては実用性は限られます。

施用方法の良否は多くの要因に影響されます。肥料業者、普及員、コンサルタント、農業技術者などにアドバイスをもらうとよいでしょう。



# 微量元素は活性化剤

## 【要約】

新しい作物生産技術が進歩するにつれて、微量元素の役割についてはより明確にわかるようになっており、植物の必要性、人間・動物の栄養との関係が明らかになっています。作物生育を最適とするのに必要な微量元素の植物中限界濃度は変化してきており、増加する方向にあります。最近の研究によると、数年前までは「適正」といわれていた水準は、いまでは必ずしもそうではないことがあります。例えば、アメリカとカナダの研究によると、現在までの「標準」は低過ぎる可能性があるといわれています。

微量元素は、食料生産にも、また人間の健康にも、大きく貢献しています。微量元素の補給は、作物の収量を改善する効果、あるいは他の栄養素の利用効率を高める効果によって環境にもプラスの影響をもたらしています。作物の収量が増加するにつれて、また持続型農業生産で微量元素を維持することが必要となるにつれて、微量元素の重要性はますます認識されています。

このトウモロコシでみられる亜鉛欠乏は減収、減益の原因となります。この改善に必要なコストは1haあたり数百円にしかなりません。

ダイズの収量・品質はマンガンの欠乏でマイナスの影響を受けます。平均的収量が増加するにつれて、この問題はますます広範囲にみられるようになっていきます。



ホウ素の欠乏したピーナッツを写真の下の列に示したが、一枚の圃場で数千ドルの被害を与えている。

鉄欠乏はリンゴ樹の健康にマイナスに影響し、収量・品質を低下させている。



## 肥料の知識

---

翻訳 越野正義 (元 農林水産省 農業環境技術研究所 資材動態部長)

発刊元



**POTASH & PHOSPHATE  
INSTITUTE**  
Suite 401  
2801 Buford Hwy., NE  
Atlanta, Georgia, U.S.A.  
30329  
Phone: (404) 634-4274



**POTASH & PHOSPHATE  
INSTITUTE OF CANADA**  
Suite 704—CN Tower  
Midtown Plaza  
Saskatoon, Saskatchewan  
S7K 1J5 Canada  
Phone: (306) 652-3535



**FOUNDATION FOR  
AGRONOMIC RESEARCH**  
Suite 401  
2801 Buford Hwy., NE  
Atlanta, Georgia, U.S.A.  
30329  
Phone: (404) 634-4274



