

植物の重金属過剰症

新潟大学農学部 茅野 充 男

植物が重金属過剰障害を受けているかどうかということをも植物の症状だけから判定することは不可能に近い。何らの症状も認められないで生育だけ低下しているというようなことが重金属過剰地には多く、重金属過剰であると推定されたあとで、畑や水田をよくみると一部の作物にそれらしい症状が発生していることもある。

一般に重金属過剰の診断においては、症状の判定よりも先に、その圃場に重金属過剰害の発生する可能性があるかどうかを知ることが重要である。このような可能性は2つにわけて考えられ、1つはその土壌にもともと重金属が多い場合、他は人為的に重金属が加えられる場合である。前者には蛇紋岩風化土壌、一部の酸性土壌の地帯や鉱山の近傍地などの例が知られている。このようなところでは植物の生育は古くから不良である。植物の生育がある年から急激に悪くなったとか、漸進的に悪化したような場合は、人為的に重金属が加えられた可能性がある。(湖沼近傍の湿地の水田では、排水して乾田化すると急激に鉄やマンガンなどの過剰害が発生することもある。)

重金属が人為的に土壌に加えられる原因や経路はいくつかあるが、その最も多い例は鉱業、工業所などからの重金属を多く含んでいる排水または排気物による汚染である。その他の例は特殊で数も多くない。たとえば、重金属を含む農薬(ボルドー液や砒素剤など)の長年にわたる施与による被害、電線下の水田や畑での銅による被害、あるいは微量要素肥料や改良資材の不注意による過剰施与(外国の例)などがある。砒素剤を多量に施与した果樹園を水田に転換したときや、重金属ではないが砒素を施与したサトウダイコン畑を、他の作目に転換した場合にはときには砒素や砒素の害が発生する。

上述のような可能性があるとき、植物の被害症状は診断上の1つの重要な尺度となる。重金属過剰症は重金属の種類と濃度、植物の種類と生育段階、吸収経路(経根的吸収か葉面吸収か)、土壌条件および多分気象条件などによって形態ならびに障害の程度を異にする。以下では重金属が植物に被害を及ぼす機作のようなものにふれたあと、各種重金属の被害症状、被害の植物間差異について述べてみたい。

被害症状発生機作

重金属が植物に被害を及ぼす機作には2つが考えられ、1つは重金属が植物の養分吸収・利用を妨げて、植物に養分欠乏症を惹起する場合、他は重金属が植物体内に蓄積して直接、植物の代謝や生長を妨げて被害症状を発生させる場合である。

1 重金属に誘導される養分欠乏症

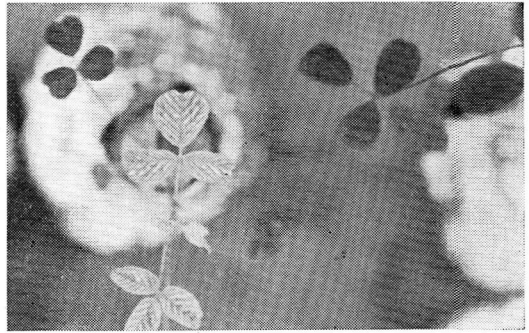
過剰の重金属によって植物の養分吸収・利用が阻害されるのは、重金属と養分元素とが、その物理・化学的性質の類似性のために、互いに直接的に拮抗しあって養分の吸収利用を妨げる場合と、重金属が植物根の生長や活性を抑制して養水分の吸収利用を低下させる場合とがある。この2つの場合を厳密に区別できないが、前者の例として過剰重金属によって誘導される鉄欠乏症の発生がある。

第1表 銅、コバルト、マンガン過剰の
際の水稲地上部の⁵⁹Fe濃度

処理金属*	乾物重	⁵⁹ Fe吸収量	乾物あたり ⁵⁹ Fe濃度
無処理	2.91 g	22,700cpm	7.8cpm/mg
銅	1.69	3,400	2.0
コバルト	2.76	2,700	1.0
マンガン	2.76	9,300	3.4

* 処理金属濃度 銅0.6、コバルト3.0、マンガン60 ppm

これは第1表に示すように重金属(銅、コバルト、マンガン)の過剰によって鉄の吸収が妨げられるためにおこるもので、重金属も鉄もアミノ酸や有機酸などと錯結合を形成するという共通の特性が両者の拮抗を生ずる根本原因となっている。同じ特性に基づく拮抗は鉄の場合だけでなく、他の重金属間でも生ずるわけで、第2表はその1例としてコバルト(Co)や亜鉛(Zn)によってカドミウム(Cd)、マンガン(Mn)などの吸収が低下することを示している。しかし、被害症状としては鉄欠乏症が最も広く認められ、マンガンや亜鉛の欠乏症は少しの例しか報告がない。これは鉄の錯結合の安定度がpHの高いところで不安定なことが一因として考えられる。



アルファルファに発生した鉄欠乏症
(古い葉は黄化しない)

第2表 コバルトあるいは亜鉛の過剰処理と¹⁰⁹Cd, ⁶⁰Co, ⁶⁵Zn
および⁵⁴Mnの水稲地上部への吸収

cpm/mg	対象金属		¹⁰⁹ Cd	⁶⁰ Co	⁶⁵ Zn	⁵⁴ Mn
	処理	対象金属*	cpm/mg	cpm/mg	cpm/mg	cpm/mg
吸収量	無	処理	603	54	381	1,083
	コ	バルト	259	14	36	52
	亜	鉛	610	28	64	168
吸収指数	無	処理	100%	100%	100%	100%
	コ	バルト	43	26	9	5
	亜	鉛	103	52	17	16

* 処理金属濃度：コバルト、亜鉛とも0.1 ppm, ** 吸収量の単位：地上部1 mgあたりの¹⁰⁹Cd, ⁶⁰Co, ⁶⁵Zn, ⁵⁴Mn 吸収量(cpm), 吸収量指数：無処理区の吸収量を100としたときの指数

植物の鉄欠乏症は新しい葉からあらわれやすく、症状の特徴は葉が黄変することであるが、黄変症状は葉の葉脈部分にはあらわれにくく、葉脈の間の葉肉の部分にあらわれやすいため、稲などでは黄色部と緑色部がたてじま模様となり、広葉の植物では黄化した部分が緑色の葉脈にかこまれた斑紋となる。(写真1および写真2)

植物の根の生育や活性が衰えるために生ずる養分の吸収低下は多くの養分(N, P, K, Ca, Mg, Si)で認められるが、第3表に示すように重金属の生育量の低下の

第3表 銅およびマンガン処理をした水稲による養水分吸収量
(水耕液中からの48時間における吸収)

	区名	水	窒素	リン酸	カリウム	カルシウム	ケイ酸
養分分量(mg)	処理	ml	mg	mg	mg	mg	mg
無	処理	833	115.0	20.8	106.7	6.1	86.2
銅		325	64.3	13.4	60.8	5.1	21.3
マンガン		793	116.6	22.0	104.9	5.2	92.1
乾り量(指数)あたりの吸収	無	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	銅	64	91	104	93	138	41
	マンガン	103	109	113	106	92	114

ために養分の要求量も小さくなって、あまり顕著な欠乏症はあらわれにくい。著者の実験では水稲に水分飢餓症状が気象条件によって発生することが認められている。

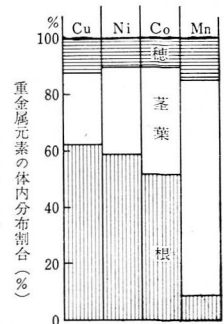
以上のほかに重金属が土壌中で養分と結合して難溶性の化合物となり、植物による吸収を低下

させる場合(アルミニウムやマンガンとリン酸の結合によるリン酸欠乏)がある。また、上記のいずれの場合ともきめがたいが重金属によるカルシウム欠乏の発生はしばしば報告されている。カルシウムが欠乏すると、水稲では若い葉のとくに先の方から白く枯れてよじれるような症状となる。

2 重金属の植物体内への蓄積による被害

重金属が植物体内のどこかに過剰に蓄積した場合、その部分の生長を阻害し、組織をこわすことは容易に考えられる。そして被害症状もその部分にあらわれる。したがって、重金属の蓄積による被害症状の発生には植物体内での重金属の移動・蓄積が大きな関係をもつ。

重金属の移動・蓄積の様相は重金属の種類と濃度、植物の種類、吸収経路などによって変るが、概していえば錯結合安定度の大きい元素(銅、カドミウム、水銀、ニッケルなど)は吸収された部位に蓄積しやすく、移動しにくい。一方、マンガンや亜鉛は根から吸収させた場合、比較的地上部の



第1図 各種重金属の
水稲体中部位別
分布割合

方へ移動しやすい。第1図は Cu, Ni, Co および Mn を水稲に根から吸収させたときの水稲各部位への分布の割合を示したものであり、Cu, Ni が根に多く蓄積し、Mn は葉に多く蓄積していることがうかがえる。したがって Cu, Ni, Cd, Hg などは根の生育を顕著に阻害し、根は伸長が阻害されて太くなり、先端付近から太くて短い分岐根を多くだし、ちょうどライオンのしっぽのような形状になる。(写真3) 一方、Mn や二価鉄などは地上部とくに古い葉に蓄積して、褐色の斑点ないしは斑紋を発生させるが、根にはさほど顕著な障害を与えない。一方 Cu や Ni などを葉から与えると、葉に吸収されたままあまり移動しないで、葉に褐色斑を発生させる。この場合、Mn などと同じ傾向を示すので、葉から吸収させた場合の移動の様相は、根からの場合と異なることが推定される。このような移動・蓄積のパターンはまた植物種によっても異なり、Ni はコマツ菜では地上部に移動しやすく、葉を褐変させる。

各種重金属の被害症状

銅：最も特徴的なのは根の伸長阻害で、地上部に症状は出現しにくい。写真3は銅の過剰処理をした水稲根の先端部である。1と6は健全な根、2と3は症状の激しい根、4と5は被害程度の少ない根である。地上部にもときには葉身に鉄欠乏に起因する黄化現象があらわれる。

ニッケル：根の伸長阻害と鉄欠乏による黄化現象の発生が知られている。エン麦とコマツ菜のニッケル過剰症は特異的で、前者では葉身が白色化し、後者では葉身の縁や先端部の褐変およびわん曲化が発生する。

亜鉛：多くの植物の葉に黄化現象の発生が知られている。写真1はアルファルファに発生した新葉の黄化現象で、既述のように葉脈間が褪色して、幾何学的な縞模様となる。古い葉には症状はあらわれにくい。豆科植物などでは葉柄や葉の裏が紫褐色に変色することもある。

マンガン：地上部とくに古い葉や茎などに褐色の斑点もしくは斑紋が出現する。また黄化現象の出現もよく知



水稲に発生した鉄欠乏症

られているが、この黄化症状は上述の諸元素の場合と異なり、葉縁からあらわれはじめ葉縁部の生長がとまって葉がわん曲する。写真4はアルファルファ葉身に発生したマンガン過剰による黄化症状で、葉縁部が褪色している。

カドミウム：根の伸長阻害と葉身に黄化現象があらわれる。

植物の種類による差異

重金属過剰に対して各種の植物が異なる反応を示さないのは当然であるが、そのなかでも特異的な反応を示す植物は、重金属過剰害が発生しているか、あるいは発生する恐れがあるかを示す指標植物となる。先述のようにニッケル過剰に対してコマツ菜は特異的な褐変症状を示し、エン麦は特異的な白色化症状を示す。これらはニッケル過剰の指標植物となりうる。このような指標植物には2種類あって、1つは特定の重金属の過剰で障害を受けやすく、かつ特異的な症状を示す感受性植物、他の1つは特定の重金属の多いところで盛んに生育する植物（このなかには特定重金属を多く吸収する蓄積植物を含む）である。後者が指標植物である所以は、これらの植物が多い地帯は重金属を多く含むことを示すからである。

前者の感受性植物には適当なものが少ない。禾本科植物と豆科植物を比較すれば、一般に後者の方が感受性が高く、銅やマンガンの過剰ではクローバー、アルファルファ（銅）、runner bean, French bean（マンガン）が感受性で、亜鉛に対しても豆科植物は弱い。ニッケルに対しては十字科植物に弱いものがある。

重金属を好むか、それに耐えられる指標植物に関しては、外国で古くから研究が行なわれていて、数多くの植物があげられているが、それらの植物には地域性の強い種類のもが多く、必ずしも日本に適したのものがあるとは限らない。文献（Adv. Ecol. Res. 7, 1~(1971)）からそのような植物を抜粋して記す。

銅：Gypsophila patrinii, Polycarpea spirostylis,

Polycarpaea glabra (以上ナデシコ科), *Acrocephalus robertii*, *Elshotzia haichowenstis*, *Becium homblei* (シソ科), *Bulbostylis barbata*, *Fimbristylis sp. nov.* (カヤツリグサ科), *Loudezia simplex* (イネ科)

亜鉛: *Polycarpaea synandra var gracilis* (ナデシコ科), *Tephrosia affinis polyzyga* (マメ科), *Gomphrena canescens* (ヒユ科), *Eriogonum ovalifolium* (タデ科), *Viola calaminaria* (スミレ科), *Agrostis tenuis*

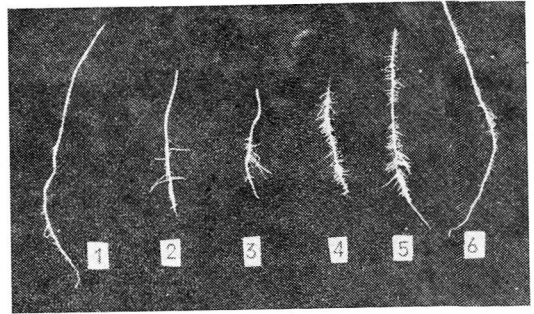
ニッケル: *Alyssum bertolonii*, *Alyssum murale* (十字科), *Albizia amara*, *Dalbergia melanoxylon* (マメ科)

このような指標植物が多く発生しているような地帯で植生が単純で貧弱な地帯は、重金属が過剰に蓄積している可能性がある。なお、わが国のカドミウム汚染地にはヘビノネコザ(シダ類)が多く認められ、これは高濃度のカドミウムを体内に蓄積する。

感受性植物、耐重金属性植物が、それぞれどのようにしてその特性を示すかというメカニズムは、種々の解明が試みられているが詳細は不明である。

ま と め

重金属過剰発生の有無を知るには、単に個々の植物の被害症状の観察のみでは十分でない。その地帯に重金



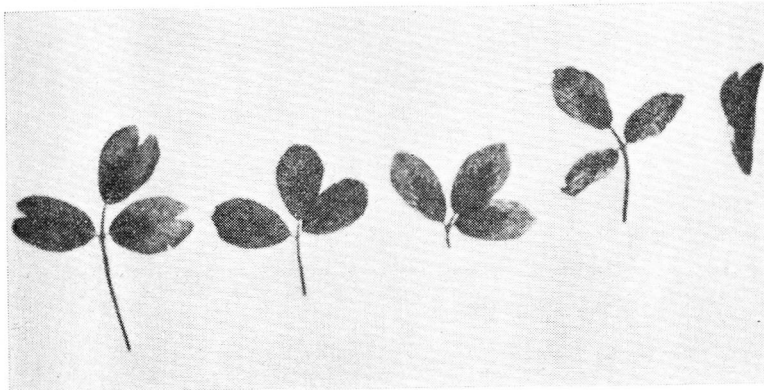
銅過剰による水稲根先端部の異常

(①, ⑥ 健全, ④, ⑤ 被害中程度, ②, ③ 被害激甚)

属過剰が発生する条件があるか否か、個々の植物の生育が異常であるか、どのような症状がどの部位に発生しているか、さらには植物群落全体的にみて、被害の発生はどのような状態になっているか(たとえば、水田では被害が水口を中心として広がっているか、あるいは不特定の場所に任意に発生しているか、風向と関係があるかなどをみると、重金属の汚染経路等を予測できる)、また野草地あるいは圃場の雑草の植生に特徴的なことがあるか(たとえば、植生の単純化、貧弱化ないしは指標植物の出現など)などについて、総合的に検討する必要がある。これらの結果、いくらかでもそれらしいと考えられるときは、やはり土壌および植物についての分析を行なって最終的な判定を行なうべきである。

なお、高濃度の重金属汚染地がある場合、これを裸地のまま放置することは、汚染をさらに拡大する恐れがあり、望ましくないので、前節で述べた耐性植物を積極的に培養し、土壌が風雨により飛散しないように配慮すべきである。

以上、十分論議をつくせない部分はいくつかあるが、詳細については茨城大学農学術報告 15 巻, 105 頁~(1967) 近代農業における土壌肥料学特集第 3 号, 73 頁~(1972), 農業及園芸, 46 巻 (1 号), 137 頁~(1971) をご参照頂ければ幸いである。



マンガン過剰によるアルファルファ葉縁の黄化現象

(古い葉(左側)にも症状が発生する)