

# ミネラルと野菜と人間の 不思議な関係

東京農業大学 客員教授 渡辺 和彦

写真1 亜硫酸ガスの気孔からの吸収と同化

(浅川富美雪と実験、渡辺和彦 原図)



注: <sup>35</sup>Sで標識した亜硫酸ガス( $\text{SO}_2$ )のトマト葉への処理。白い所が<sup>35</sup>Sが存在する部位。処理直後では葉脈は黒く<sup>35</sup>Sはほとんど入っていないが、7日後は葉脈や茎も白くなり、<sup>35</sup>Sは明らかに同化され転流している。

## 亜硫酸ガスも植物に 吸収利用される



植物は二酸化炭素を葉の気孔から吸収するように、アンモニアガスや亜硝酸ガス、亜硫酸ガスも気孔から吸収し、速やかに同化します。筆者

もイオウの放射性同位元素を用い、亜硫酸ガスがトマトの葉から吸収され、体内に転流利用されることを確認しました(写真1)。もちろん、高濃度ではガス障害を生じます。

マーシュナーによると、家畜ふん尿を散布した牧草地では牧草の全窒素吸収量のうち10~20%はアンモニアガスの形で同化されているとの研

究や、イオウ欠乏地帯では植物の全吸収イオウの約半分は大気からの亜硫酸ガス由来のイオウによるとの研究もあります。イギリスでは大気汚染が減り、イオウ欠乏地帯のコムギでは、タンパク質中のイオウ含量の低下によって製パン時の膨張率が低下したとの報告もあります。

## 葉裏からの吸収が多い



葉の表面はクチクラ層に覆われ、そのワックスは外部からの水の侵入

## 尿素の葉面散布で コムギのタンパク質の 収量向上



肥料は尿素ですが、尿素分子の直

や葉内からの水の蒸散を抑制していますが、そこには親水性の直径1nm以下の孔があります。この孔はエクトデスマーテと呼ばれ葉裏に多いのですが、葉面に散布されたリンの大半はこの孔から植物体内に侵入します。また、第1表に示すように、葉の表面よりも裏面から吸収されやすいことが分かります。葉縁部の水孔も吸収能力があります。

第1表 葉の部位によるリン酸の吸収移行分布率の比較 (渡辺和彦・1989)

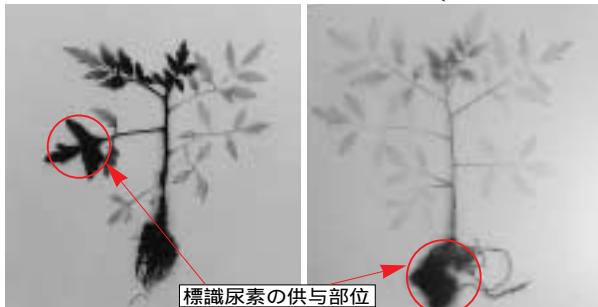
塗布部位 (第3葉)	葉縁 R % (分布%)	葉裏 R % (分布%)	葉表 R % (分布%)
R 添加葉	99.295	98.691	99.932
その葉軸	0.270 (38.3)	0.154 (11.8)	0.014 (20.7)
先端葉	0.024 (3.5)	0.119 (9.1)	0.005 (8.0)
上位葉	0.052 (7.3)	0.118 (9.0)	0.002 (3.7)
下位葉	0.006 (0.8)	0.009 (0.7)	0.000 (0.0)
茎	0.163 (23.2)	0.303 (23.1)	0.018 (27.0)
根	0.190 (27.0)	0.606 (46.3)	0.028 (40.8)
移行率	0.71	1.31	0.07
塗布部位	先端葉裏	第2葉裏	第3葉裏
移行率	1.68	2.30	1.31
下位葉裏	0.20	1.71	
茎			

注: トマト幼植物に放射性同位元素(R)で標識した無機リン酸を用いた実験。葉裏、葉表は葉縁部分を除いた部分に筆で塗布。測定は5日後。

## 第6章 葉面からの吸収

### 植物における葉面吸収

写真2 尿素の葉からと根からの吸収分布状態(3日後)  
(渡辺和彦 原図)



注：放射性同位元素 $^{14}\text{C}$ で標識した尿素を、左は葉から、右は根から与えて3日後の分布。葉から与えた尿素は、新葉だけでなく、根にもよく転流している。

径は0・88mmと小さく、イオン化していないため吸収されやすいのです。写真2に示すように、葉面からの尿素は根にもすぐに転流されます。尿素の葉面散布により根からのアミノ酸分泌が増加し、微生物相が変わるとの研究もあります。

尿素の葉面散布については、1950年代に各種作物で広く研究されています。近年では北海道の佐藤仁らがパン用「ムギ」「キタノカオリ」で、埼玉の佐藤一弘らは「農林61号」で、2%の尿素(N: 9200ppm)の葉面散布がタンパク質含有率の向上とともに収量増になるとの技術を確立しています。北海道では開花期

第2表 尿素・エテホン混液の出穂始期葉面散布の効果

処理区	精子実重 (kg/10a)	精子 指数	桿長 (cm)	子実粗 タンパク (%)	成熟期 標肥を0とする日差	倒伏程度 (無~甚 4段階)
無窒素	240	47	70	7.69	-1	無
6-0-0	450	88	84	7.67	0	無
8-0-0	510	100	88	8.64	0	無
8-2-0(標肥)	570	112	90	9.40	0	無
8-0-1.5	580	114	91	9.70	+3	中
8-0-1.5 (エテボン入り)	580	114	83	9.50	+1	無
8-2-1.5	688	135	92	9.90	+4	多
8-2-1.5 (エテボン入り)	638	125	83	10.56	+1	無

注：1997～1998年、埼玉農試圃場での佐藤一弘らの試験結果。

施肥時期：元肥 - 6 莖期 - 出穗始期 kg/10a

施肥時期：元肥・5葉期・出穂始期 kg/ha  
出穂始期追肥は、いずれも尿素による葉面散布

田穂始期巡航は、V44でJG3による索敵散弾。

( エチボン : 10% 2 - クロルエチルスルホン酸液。植物に散布する  
と分解してエチレンを発生する植物成長調整剤 )

写真4 トマトのしお腐れ



注：糖度を高めるために水をきると、発生する。  
農家は小さいうちに摘果するが、熟したし  
り腐れ果は、食べると普通においしい。

写真5 ハクサイの心腐れ症状



注：生育初期の窒素過多、水不足で発生しやすい。カリシウムの葉面散布効果は出にくい。

カルシウム欠乏対策



### 真3 メタン発酵消化液の試作 散布機（佐藤一弘 原圖）



があることは世界的にも認められています。果実のカルシウム含有率の増加は収穫後の腐敗防止にも効果があるため、リンゴ栽培農家にとってはカルシウムの果面散布は実用技術としても広く普及しています。ところが、野菜であるトマトのしり腐れ（写真4）やハクサイの心腐れ（写真5）などでは、カルシウムの葉面散布効果は認められにくい事例となっています。

### ソラマメしみ症の事例

トマトやハクサイではカルシウムの葉面散布効果が認められにくいもの、鹿児島県で問題になっている

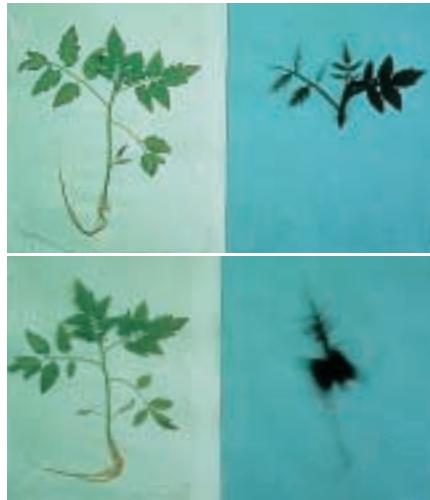
写真6 ソラマメのしみ症  
(池田健一郎 原図)



写真7 カルシウムとリンの葉からの  
転流状況の比較  
(渡辺和彦 原図)



写真 8 葉柄基部から与えたカルシウム(上)とリン(下)の分布  
(佐藤毅ら 原図)



注：いずれもマイクロピッペットで標識された溶液を $10\text{ }\mu\text{l}$ 添加し、3日後のオートラジオグラム。カルシウムでは添加した部位から上位葉によく転流している。リンは地上部にも根にも転流しているが量は少ない。

1991～1994年の試験では  
0・3% 塩化カルシウムの1週間お  
きに7回の葉面散布は、4年間とも  
しみ症発生を大幅に防止できていま  
す。同時に試験した10a当たり70kg  
の塩化カルシウムを4回に分けての  
土壤灌注も、同様の効果を認めてい

ソラマメのしみ症（写真6）では、池田健一郎、久米隆志はじめ多くの方々の長期にわたる試験により、明確な葉面散布効果が出ています。しみ症はソラマメの種皮の組織が壊死し、白色から後に褐変する障害で、外觀からは判別できません。主に8月下旬～9月上旬定植の夏まき作型で、年内に収穫する下節位の莢に発生が多く、カルシウム不足はもちらん、カリウム過剰も障害発生を助長することが水耕栽培で明らかになっています。

ますが、葉面散布に少し劣ります。葉面散布は労力がかかるため、チューブ灌水による液肥の利用や緩効性カルシウム肥料の利用、しみ症の発生の少ない品種・系統の導入も検討されていますが、葉面散布は効果があるのは間違いありません。

ここではカルシウムの葉面散布の注意点をまとめおきます。

葉面散布は障害発生の予防として  
施用するため、対象部位に生育初  
期から散布する。

要である。

障害発生を完全に防止するのは難しく、障害発生率の軽減効果を目指す。

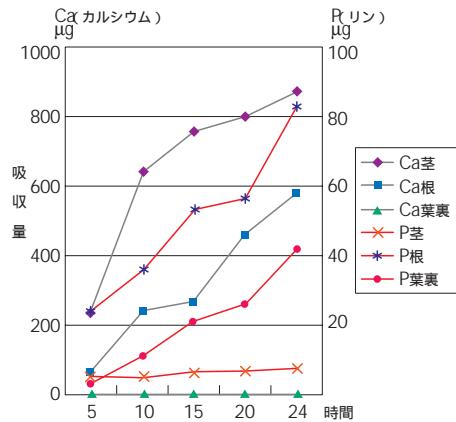
トマトの幼果期のカルシウム界面  
散布で、しり腐れ予防効果を確認して  
いた池田英男や大塚化学株式会社  
の中山道憲、佐藤毅らと共同研究の  
機会がありました。

マトでのカルシウム転流状態を調べましたが、カルシウムを葉に与えた場合、ほかの葉にはほとんど移行しません（写真7）。すなわち、カルシウムは師管を転流しにくいことを示しています。したがって、カルシウムの葉面散布効果が出にくいのは、一つには葉に与えたカルシウムはほとんどほかの部位に転流しないため、ということ

第1図 各部位からのカルシウムとリンの吸収転流量の比較  
(渡辺和彦ら 原図)

部位	カルシウム (Ca)	リン (P)
葉	高	高
茎	低	低
根	低	低

第1図 各部位からのカルシウムと  
リンの吸収転流量の比較  
(渡辺和彦ら 原図)



注：茎、葉からの吸収転流量は、比較のため根に与えたのと同量を施用したと仮定し、計算。実際の地上部への施用量は、Caはこの1/640、Pは1/208。このグラフでは、縦軸で吸収量の比較もできる。

には、茎に与えたカルシウムは10時間までは根からの吸収速度よりも速く量も多いのです。これは、カルシウムは葉よりも茎に散布した方がよいことを示しています。また、トマト果実表面に与えたカルシウムも内部に転流することを確認しました。

シコンギク心腐れ症の事例

こうしたカルシウムの挙動が判明した後に、シコンギクのカルシウム

ホウ素の葉面散布



ホウ素は葉面散布効果の出やすい作物と、出にくい作物があることが知られています。その要因の一つは、1996～1999年のブラウンらの研究により明らかになりました。

写真9 シュンギクの心腐れと調査風景（渡辺和彦 原図）



注：写真上はシュンギクの心腐れ症状、写真下は普及センター所長も参加してのカルシウム葉面散布剤の効果確認。5～7日ごとの複数回散布だが、発生率低下は明白であった。

欠乏症、心腐れ対策にカルシウム資材の葉面散布を行う試験を現地で実施しました（写真9）。結果は明らかに葉面散布効果が認められました。試験栽培の収穫時期が、シュンギクの高値の時期と偶然重なり、葉面散布は100%の防止効果ではなかつたものの、農家に喜ばれ、ほっとしたことを見出します。もちろん、こうした生理障害の発生程度に品種間差は大きいこと、またハウス内に微風が起こるようになると、心腐れ症の発生が少なくなることは現地でもよく知られています。

ソルビトールの形態で転流されます。プラウンらは、 $^{10}\text{B}$ を用いた追跡実験で、こうした作物では、葉面散布されたホウ素は、ほかの葉や組織へ移行するものの、ソルビトールをほとんど産生しないピスタチオやクルミについては、ほかの組織へ移行しないことを実験データで示しています。

また、ソルビトールのホウ素転流促進効果を証明するため、通常はソルビトールを作らないタバコにリンゴ由来のソルビトール合成酵素遺伝子を導入し、ソルビトールを产生するようにしたタバコと、ソルビトールを產生しないタバコを供試し、栽培途中からホウ素を欠如させた、ホウ素の葉面散布実験を行っています。

タバコではホウ素を葉面散布しても不稳な新しい枝が分岐してきます。すな

具体的には、多くの植物は葉でできた光合成産物を他器官へシヨ糖の形態で転流しますが、リソゴ、アーモンド、ネクタリンなどではソルビトールの形態で転流されます。カルシウム葉面散布剤の効果確認。5～7日ごとの複数回散布だが、発生率低下は明白でした。

ホウ素は師管を転流し、再利用される



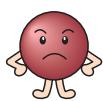
間藤徹は糖アルコールを転流糖としないヒマワリでの実験で、ホウ素供給を停止した後も水溶性のホウ素は上位葉でも下位葉でも減少し、特に上位葉では水溶性ホウ素が検出されなくなるまで低下することを確認しています。また、ダイズでも生育途中からホウ素を欠如しても下位か

葉面散布により不稳も少なくなり、培地からホウ素を除去しなかつたタバコとほぼ同等の子実重が収穫できることを示し、ホウ素の師管転流におけるソルビトールの重要性を証明しています。

ホウ酸が、二つの水酸基を同じ方向（シス位）に持つジオール化合物と容易に結合することはよく知られています。ホウ素が結合しやすい糖アルコールには、ソルビトール以外にマニトール、ズルシトールがあります。糖アルコールを転流糖としている作物は、前記以外では、ナシ、モモ、プラム、ナナカマド、野菜ではセルリーがマニトールを產生します。そして、これらは葉面散布効果が出やすいことが知られています。

ホウ素不足のダイズで、ホウ素の葉面散布で增收したとの報告があります。ほかの作物でもホウ素の葉面散布は期待できます。試験では0・1%ホウ砂（B・113 ppm）を使うことが多いのですが、千葉農試ではトマトで7日ごとに5回散布、兵庫農試ではハクサイで5日ごとに10回散布で、ホウ素過剰障害の例がありますので、散布濃度、回数には注意が必要です。

根には転流しない  
マンガン



シュンギクのマンガン欠乏対策と

面散布は1回だけでも見事な回復効果を示します。ところが、葉に散布したマンガンは地上部の師管には転流しますが、根の師管には入りません。根のマンガン欠乏対策に葉面散布を行うのは無益なことです。マンガン欠乏は根のリグニン含量を低下するため、病害虫被害を受けやすくなります。この現象は非常に重要で、詳しくは次号で説明します。

## 鉄の散布濃度

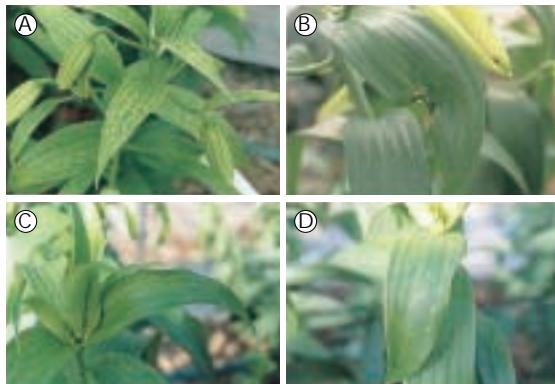


コリの上位葉がまだらに黄白化する「まだら症」(写真10)の対策として、鉄、マンガン、亜鉛の葉面散布について詳細な研究を数年にわたり実施しており、現地では土壤中の可給態亜鉛含有率の低い土壤が多く、亜鉛の葉面散布効果が高いことを明らかにしています。しかし、生理障害発生地域によつては、鉄とマンガンの葉面散布により障害が軽減されることがあるため、実用的には散布液は三元素を混合したものがよいとして

混合散布液は、鉄5ppm、マンガン25ppm、亜鉛25ppmとし、障害発生初期から症状の程度に応じて1週間おきに4～6回散布します。これにより上位葉中の含有率は無施用に対しても最大で鉄2倍、マンガン5倍、亜鉛5倍程度に高めることができ、濃度障害をほとんど発生させることなくまだら症を軽減できます。元素の混合液は、鉄は硫酸第一鉄、ほかも硫酸塩で作製しています。

水耕栽培で用いる鉄濃度は1～3ppmですから、葉面散布での鉄5ppmは実に薄い濃度です。しかし、これが葉に障害を生じない適正濃度なのです。糸川修司らは鉄資材として、硫

写真10 ユリまだら症と葉面散布による障害症状  
(糸川修司 原図)



注：写真Aは高pH下で生じるユリまだら症の症状。Bは0.2%硫酸第一鉄による障害。Cは塩化亜鉛（Zn : 200ppm）による障害。Dはキレート鉄（Fe : 200ppm）による障害。

第3表 鉄の散布試薬の違いと葉中の  
鉄含有率など（糸川修司ら・2005）

散布試薬	葉害発生度	葉中のFe含有率( ppm )
硫酸第一鉄	17.9	121
硫酸第二鉄	4.4	114
キレート鉄	27.0	169
クエン酸鉄	4.6	193
脱イオン水(対照)	0.0	33

注：散布試薬の鉄濃度は15ppm。1週間おき9回散布。

$$\text{薬害の発生度} = \frac{(\text{指標} \times \text{指標別株数})}{3 \times \text{調査株数}} \times 100$$

指数（葉、茎、花蕾に発生した黒色または茶褐色の斑点の大きさ。0：なし、1：極小、2：小、3：大）鉄の分析部位は第一花蕾直下の葉から上位の葉とした。表示は乾物当たり。

用するのがよいとし、第3表の再確認試験では使用していません。

糸川らの試験はもちろん、ほかの文献も参考に濃度障害の出にくいこれら元素の限界濃度を第4表に示します。マンガンや亜鉛を比較して

酸第一鉄、硫酸第二鉄、塩化  
鉄、EDTA鉄、クエン酸鉄  
を供試し、各種濃度で濃度障  
害発生程度や吸収量を比較し  
ています。第3表に関連試験  
結果を示しますが、作物への  
鉄吸収量はクエン酸鉄が多く  
塩化鉄、EDTA鉄の順で硫  
酸塩はやや劣ります。しかし  
吸収量の多いクエン酸鉄やE  
DTA鉄は価格も高く、塩化  
物は硫酸塩よりも濃度障害が  
主じやすいため、流浸液を使  
い

肥料の葉面散布機は濃度障害が出やすいです。  
農家の方には試薬から調べて、するより市販の葉面散布機の使用をおすすめします。各製品とも使用上の注意を用いて守れば運用上の効果が出やすくなります。度障害が出ていたり、効果が出づらくなっているたまります。

## 葉面散布の 新たな機能

## **葉面散布の 新たな機能**

肥料の葉面

境にやれ

病害抵抗性話

の使用量をば

根の伸長促進

善効果もある

について

説します。

第4表 濃度障害の出にくい葉面散布の濃度限界例

物質名	俗稱	化學式	物質濃度 (%)	同位素 (ppm)	
				(mM)	(mM)
硫酸鉄(+)・七水和物	硫酸第一鐵	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.005	10	0.18
硫酸亜鉛・七水和物		$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.02	45	0.7
硫酸マンガン・五水和物		$\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.2	456	8.3

注：昔の文献では、ボルドー液を参考に、濃度障害防止と効果の持続性を考慮し、石灰を加用した場合が多く、本表より高濃度である。特に、果樹類での使用濃度は高い。作物により許容濃度は異なり、ここでは野菜・花き類を対照とした論文より取りまとめた。