

キュウリ葉におけるマグネシウムの 欠乏症と移動の難易

梶田正治

(作物機能調節学講座)

Received July 1, 1989

Deficiency and Immobility of Magnesium in Cucumber Leaves

Masaharu MASUDA

(Division of Eco-physiology for Crop Production)

Cucumis sativus L., Cucumber plant, is apt to show a symptom of magnesium deficiency. In the present paper, the contents of magnesium and its mobility in leaves under various conditions were investigated.

The reduction rate of mineral contents in leaf basis 8 days after eliminating all nutrients from the nutrient solution was higher in phosphorus and potassium followed by the total nitrogen and lowest in magnesium and calcium, while in roots basis of a plant was higher in the total nitrogen and potassium followed by phosphorus and magnesium and lowest in calcium. The contents of magnesium and calcium in leaf basis and calcium in roots basis of a plant did not change.

The contents of magnesium and potassium in dry weight basis were lower in the leaf with fruit (sink-source plants) than that without fruit (unsink-source plants), when determined 1 month after eliminating all nutrients from the nutrient solution. On the other hand, the magnesium content in leaf basis increased slightly even in the sink-source plants, but the potassium content decreased slightly.

When magnesium sulphate solution was applied to the leaf or a part of leaf blade, only the part of leaf where magnesium was applied to has remained green. The contents of magnesium compounds in dry weight basis in three fractions of leaf extract, water soluble and 95% methanol soluble fractions and insoluble residue, were higher in the part where magnesium was applied to than that in control.

The results of these experiments indicate that magnesium in cucumber leaves do not move easily to other parts and from foliar part where magnesium was applied to is immobile.

緒 言

一般にウリ科作物では果実が急速に肥大する頃、あるいは果実の糖度が急激に高まる時期に果実周辺の葉に葉脈間クロロシスの発現することが多い。キュウリ、スイカ、プリンスメロンなどでは、特にその症状が激しくなり白変葉や葉枯れ症となって発現し、収量や品質に悪影響を及ぼすことが少なくない^{2,5,11,12,14)}。これは根のマグネシウム吸収が充分でなく、葉から果実へマグネシウムが移動するため生じる欠乏症であるとするのが一般的見解である^{13,17,18)}。この見解によれば、マグネシウムの吸収されやすい環境を常に維持することが大切で、その限りにおいて、これら欠乏症の発生は防止できることになる。しかし、実際には地温の低下やカチオン拮抗作用によってマグネシウムの吸収が抑制され、その結果として欠乏症の生じている場合が多い^{1,5,11,12)}。

現在、キュウリの促成栽培ではつる割れ病の回避と低温伸長性の付与を目的としてカボチ

ヤ台に接ぐが、白変葉はこの接ぎ木キュウリにおいて発生し易く、それは土壌中のアンモニア態窒素が高くなると顕著になる¹¹⁾。水耕においても培養液のアンモニア態窒素濃度を高めると接ぎ木キュウリにこの症状が発生する¹⁰⁾。この症状は下位節葉から発生するのではなく、中位節葉にのみ発生するのが特徴的である^{10,11)}。恐らく sink-source の関係における体内マグネシウムの競合に関連しているものと思われるが、この点について検討した報告はない。

また、発生防止のために散布したマグネシウムの葉中における含有量やその移動性などについての知見も乏しい。

本研究は、培養液の養分除去に伴う水耕キュウリ葉のマグネシウム含有量ならびに sink-source の関係における葉中マグネシウム含有量の変化を他の成分含有量の変化と比較したものである。また、散布マグネシウムの個葉における移動の難易を明らかにし、接ぎ木キュウリ栽培におけるマグネシウム散布時の留意点について考察した。

材料および方法

実験 1. 養分除去に伴う下位節葉および根の無機成分含有量の変化

キュウリ品種‘ときわ光3号P型’を11月中旬に播種し、下旬より園試標準培養液で養液栽培を行った。栽培中に主枝は22節、側枝は3節で摘心した。2月上旬に培養液を水道水と交換した。その結果、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、P、K、Ca、Mgの濃度はそれぞれ1、1、4、8、2 mg/lとなった。その直後、4日後、8日後にそれぞれ6株の根と第5節の葉を採取し、無機分析に供した。全窒素はマイクロケルダール法、リンはバナドモリブデン酸比色法、カリ、カルシウム、マグネシウムは原子吸光法により測定した。

実験 2. 果実の有無が葉中カチオン含有量に及ぼす影響

キュウリ品種‘ときわ光3号P型’を9月上旬に播種し、2基の水耕ベッド(2.4×0.6×0.15m)で10株づつ計20株を栽培した。装置は湛液循環方式とし、培養液は園試標準濃度でEC1.8~2.2 mS/cmで管理した。10月24日に第6節から第8節に着果した果実のうち、長さが約10cmに肥大した果実1個を残して他はすべて除去した。その2日後、Fig. 2に示したように葉を3枚残した。分析に供する中葉が大きき(縦径と横径)にほとんど差のないことを確認した上で、中葉の節に果実を残す区と摘果する区を1区4株として設定した。同日、培養液を水道水と交換した。交換後の水道水のK、Ca、Mg濃度はそれぞれ6、6、2 mg/lであった。処理開始1か月後に着果節位と摘果節位の中葉をサンプリングしたが、この時、果実は30~40cmとなりすでに黄色を帯びていた。

実験 3. マグネシウム葉面散布による白変葉の抑制と個葉におけるマグネシウムの移動

カボチャ‘黒ダネ’にキュウリ‘ときわ光3号P型’を接ぎ木し、生育のそろった16株を9月下旬より実験2と同様にして養液栽培した。そのうち4株については摘心して2本仕立てとし、その草丈が約70cmに達した10月11日に培養液からマグネシウムを除いた。すなわち、 NH_4NO_3 、 $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、 K_2SO_4 をそれぞれ6 me/l、 NaH_2PO_4 を3 me/lとした。同日から2日おきに計4回、2本仕立ての一方の茎葉に1%の MgSO_4 溶液を樹全面に散布した。10月25日、無散布の中位節葉に著しい葉脈間クロロシスまたはネクロシスが認められたので、この時点で上、中、下位節葉を採取し葉の表裏面を水道水でよく洗った後、分析に供した。

一方、10月20日、残りの12株の無摘心キュウリの中位節葉にクロロシスが発現したことを確認した後、それより上位節のクロロシス未発現葉(第18節)の表側あるいは裏側にマグネシウム散布を行った。また、Fig. 5に示したように個葉に直径5cmの小円を描き、その円の内側あるいは外側にマグネシウム散布を行った。散布はいずれも1日おきに計4回とした。

10月27日、無散布葉および無散布部位にクロロシスが認められたので、この時点で葉を採取し分析に供した。採取葉は十分水洗した後、80°Cで乾燥させ乳鉢で粉砕し分析試料とした。分画操作は橋本の方法⁹⁾に準じて行った。まず、乾物0.5gから60mlの脱塩水で1昼夜抽出した。この操作を3回繰り返して、抽出液を合わせて水溶性マグネシウムとした。濾過後60mlの95%アルコールで同様に3回抽出し、これを合わせてアルコール可溶性マグネシウムとした。残渣は濾紙とともに500°Cで12時間灰化处理し、これを水・アルコール不溶性マグネシウムとした。

結 果

実験1. 養分除去に伴う根および葉の乾物当たりの無機成分含有率の変化をTable 1に示した。根においてはカルシウムを除いてどの成分も急激に減少した。その減少率は窒素が最も大きく、処理4日後で処理直後の含有率の61%となった。窒素、リンはその後ほとんど減少しなかったが、カリとマグネシウムはなお減少し続け、処理8日後で処理4日後の含有率の74%、82%となった。

Table 1 Mineral contents in leaves and roots of cucumber plants after eliminating all nutrients from the nutrient solution

Days after elimination of nutrients	Mineral content (% dry wt)									
	in roots					in leaves*				
	Total-N	P	K	Ca	Mg	Total-N	P	K	Ca	Mg
0	6.30	0.42	8.87	1.12	0.36	4.10	0.86	6.43	6.30	0.99
4	3.85	0.29	7.08	1.15	0.28	3.51	0.72	5.00	6.16	0.94
8	3.73	0.28	5.23	1.10	0.23	3.30	0.52	4.03	5.96	0.91

* The 5th true leaves were analyzed.

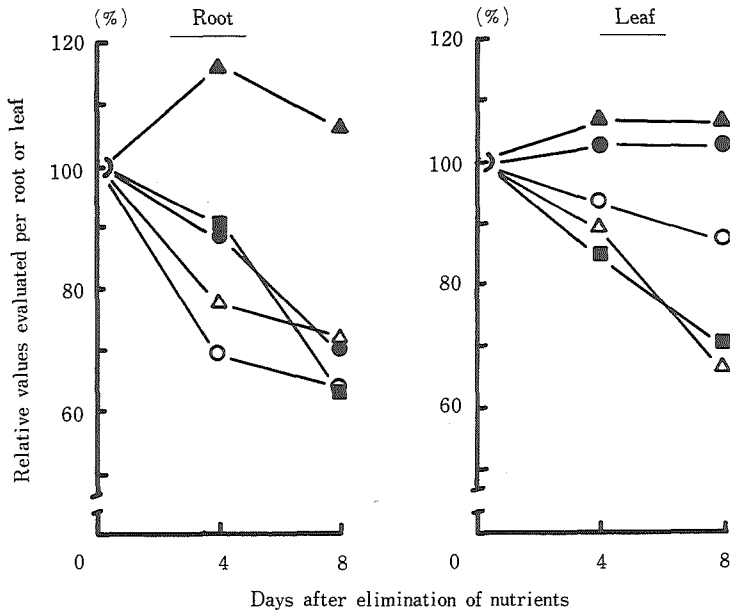


Fig. 1 Changes of mineral content in leaves and roots of cucumber plants after eliminating all nutrients from the nutrient solution. ○ — ○ : Total-N, △ — △ : P, ■ — ■ : K, ▲ — ▲ : Ca, ● — ● : Mg

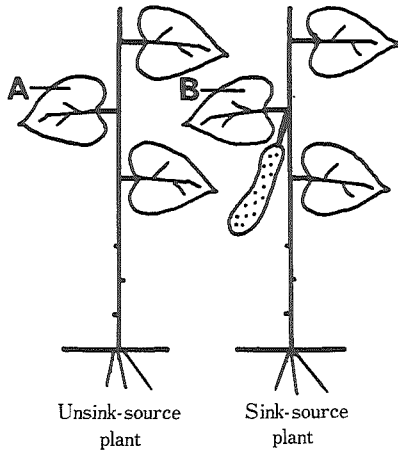


Fig. 2 A diagram illustrating sink-source relationship between fruit and leaves. Leaves A and B were sampled after 1 month.

一方、葉の乾物当たりのカルシウムとマグネシウム含有率はほとんど変化せず、全窒素、リン、カリは大きく減少した。特にリンとカリの減少率が著しく、それぞれ処理8日後で処理直後の含有率の60%、63%となった。

養分除去に伴う根および葉の無機成分含有量の変化を Fig. 1 に示した。根においては、全窒素の減少が最も著しく、その含有量は処理4日後には処理直後の70%となった。処理8日後には更に低下して64%となった。リン、カリ、マグネシウムも窒素と同様に急速に減少した。一方、カルシウム含有量は他の成分とは異なり逆に若干増加した。

葉においては、カルシウムとマグネシウムの含有量は全く変化せず、リン、カリは大きく減少し、処理8日後には処理直後の

約70%となった。窒素の減少率は比較的小さく処理8日後においても約90%であった。

実験2. 有果節葉と摘果節葉におけるカチオン含有率および含有量を Fig. 3 に示した。

マグネシウム含有率についてみると処理開始時の値は0.52%で、有果区で0.42%と低下し、摘果区で0.72%と上昇した。カルシウム含有率はマグネシウムのそれとは異なり有果区、摘果区とも上昇し、かつ有果区の方が摘果区よりも高かった。カリ含有率はマグネシウムと同様有果区でより低くなった。とくにカリは摘果区においても処理開始時の値より低いのが特徴的であった。

一方、有果区における含有量を見ると、マグネシウムは処理開始時の値より2.0mgしか増加しなかったが、カルシウムは65mg増加した。カリに至っては-2.3mgと処理開始時に存在した量より少なくなり、明らかに葉から再転流していることを示した。これに対し摘果区ではど

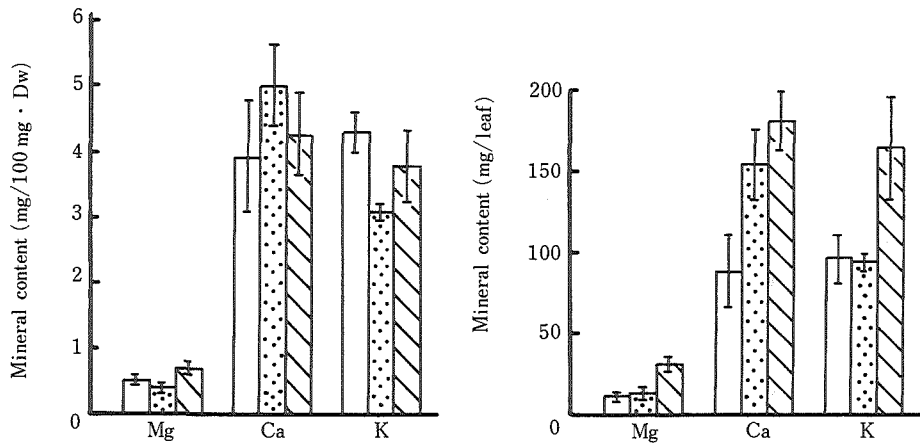


Fig. 3 Mineral contents in leaves with or without fruit.
 □ : Leaf at the beginning of the treatment
 ▨ : Leaf with a fruit (B in Fig. 3)
 ▩ : Leaf without fruit (A in Fig. 3)

Table 3 Effect of foliar applied magnesium on the content of magnesium in three successive leaves

Leaf position on the stem	Mg application	Occurrence of chlorosis	Mg content (% dry wt)			
			Frac. 1*	Frac. 2	Frac. 3	Total
19	no	yes	0.05	0.02	0.04	0.11
18 ^z	yes	no	0.24	0.03	0.11	0.38
17	no	yes	0.05	0.02	0.04	0.11
19	no	yes	0.06	0.02	0.04	0.12
18 ^y	yes	no	0.21	0.03	0.10	0.34
17	no	yes	0.06	0.02	0.04	0.12

* Refer to Table 2. Mg solution was applied to an adaxial surface (Z) or an abaxial surface (Y) of leaf blade.

Table 4 Magnesium contents in parts of a leaf blade as affected by foliar application of magnesium

Leaf part*	Occurrence of chlorosis	Mg content (% dry wt)			
		Frac. 1**	Frac. 2	Frac. 3	Total
A-1	no	0.35	0.03	0.13	0.51
A-2	yes	0.06	0.01	0.03	0.10
B-1	yes	0.05	0.02	0.03	0.10
B-2	no	0.26	0.02	0.10	0.38
C	yes	0.05	0.02	0.04	0.11

* Refer to Fig. 5.

** Refer to Table 2.

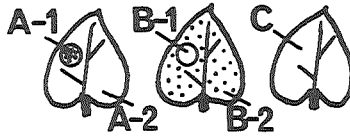


Fig. 5 A diagram illustrating different parts of a leaf blade with magnesium treatment. Part A-1 and B-2 were treated with Mg solution, and A-2, B-1 and C were not treated.

考 察

野菜のなかでもキュウリは生長速度が早く、栄養生理障害の発生し易い野菜の一つである。とりわけ葉に発生する接ぎ木キュウリのマグネシウム欠乏症は栽培上大きな問題となり、その要因について種々検討が加えられてきた^{1,7,9,10,11,12)}。その結果、それは主にアンモニア態窒素によるマグネシウム吸収の阻害によるものであることが明らかとなった^{10,11)}。しかし、それらの葉におけるマグネシウム含有量の変化及び葉からの移動については明らかではない。

本研究では、まず根における養分欠乏を培養液の成分除去により設定し、根と葉における含有量の変化を調べたが、処理後8日目の根での減少率は全N = K > P = Mg > Ca となり、カルシウムはほとんど変化しなかった。一方、葉では P = K > 全N > Mg = Ca となり、マグネシウムとカルシウムはほとんど変化しなかった。田中¹⁵⁾は水稻の葉における移動率は P > N > S > Mg > K > Ca であると述べている。本試験1の第5節葉においてはマグネシウムとカルシウムの含有量は全く変化していない。よく移動するとされるマグネシウム^{8,17,18)}

が変化しなかったのは、養分除去後の栽培期間が8日と短かったからかも知れないが、少なくともキュウリの葉中マグネシウムは窒素、リン、カリと比べ移動し難い要素であるといえる。有沢ら⁹⁾はトマトにおける葉位別マグネシウム含有率を調べ、その値が下位節葉ほど高いこと、上位節葉ほど減少する傾向が強いことから下位節葉からのマグネシウム転流はあっても非常に少ないと推察している。著者¹⁰⁾もキュウリで下位節葉ほどマグネシウム含有率が高くなる傾向にあることを認めているが、一般に果実の着果しない下位節葉では、その株がたとえマグネシウム欠乏になっても葉から生長盛んな部位への再転流は容易でないとするのが妥当であろうと思われる。

果実と葉を対応させ実験2において、有果区のマグネシウム含有率0.42%は処理開始時の含有率0.52%より明らかに低下しているが、それでも1葉当たりの含有量でみると2mg増加している。従って、この結果からだけではマグネシウムが葉から再転流したとは判断できない。単に果実との競合の結果としてマグネシウム欠乏が生じている可能性もある。これに対し、カリはマイナス値となることから明らかに葉から再転流していることが示され、果実肥大期におけるカリ移動の激さとカリ欠乏症の関連性が示唆された。池田ら⁷⁾も葉のカリ含有率は収穫が進むにつれて著しく低下する事を認め、果菜類の果実肥大期に現れる生理障害の検討に当たっては注意を要する現象であると述べている。

プリンスメロンの葉枯れ症は一般にマグネシウム欠乏によるものとされるが、津高¹⁶⁾は兵庫県において葉枯れ症がカリ欠乏によって発生している事例を報告している。筆者もアールスメロンの着果節葉におけるカチオン含有率の変化を果実の有無と関連させて調査したところ、カリは果実が存在することによって大きく減少し、カルシウムとマグネシウムは果実の有無に関係なくほとんど変化しないことを認めた(未発表)。従来、マグネシウムは移動し易い成分とされているが^{13,17,18)}、少なくともカリ同等に移動し易い成分とは考えられず、先にも述べたように単に競合の結果、欠乏症状を呈している可能性が強い。多くの場合、欠乏症状を呈した葉では正常葉に比べて確かにマグネシウム含有率は低いし、また経時的に採取した葉においても含有率が低下している場合が多い。しかしこれらの場合、同時に乾物重が増加しているので当該葉においてマグネシウムが再転流したかどうかは分からない。

BUKOVAC ら⁴⁾は葉面散布した²⁸Mgは⁴⁵Caと同様、移動しにくいと述べている(Mgについてはデータ無し)。本試験において、個葉の散布部位のみ緑色が保たれたこと、その部位のみでマグネシウム含有率が高まったことは同氏の記述を裏付けるものである。その効果が葉の表裏散布で変わらないことから散布マグネシウムは恐らくクチクラを通して細胞内に入り、そこで種々の形態に変化するものと思われる。本試験における個葉の散布部位における水溶性マグネシウム含有率は無散布部位の6倍を示し、無散布部位の含有率が無散布葉のそれと同じ値を示すことから、少なくとも散布したマグネシウムは個葉においても移動しないものと考えられた。このことから、マグネシウム欠乏症を葉面散布によって回避・軽減するためには、中位節葉それぞれの葉に十分かかるよう散布することが大切であると言えよう。

散布部位において細胞内に浸透したマグネシウムは、その隣接する細胞へなぜ移動しないのだろうか、この点は今後の検討課題である。

摘 要

キュウリはマグネシウム欠乏症の発生し易い野菜のひとつである。本報告は主として葉におけるマグネシウム含有量の変化並びに移動の難易について検討したものである。

1. 培養液の養分除去8日目における成分含有量の減少率は、葉において $P = K > \text{全}N > \text{Mg} = \text{Ca}$ 、根において $\text{全}N = K > P = \text{Mg} > \text{Ca}$ となり、葉のマグネシウムとカルシウム及

び根のカルシウムはほとんど変化しなかった。

2. 培養液の養分を除去し1か月後に葉分析を行った結果、有果区の葉は摘果区に比べマグネシウムおよびカリの含有率は低く、カルシウムの含有率は高かった。

一方、1葉当たりのマグネシウム含有量は有果区においても処理開始時よりわずかに増加し、カリ含有量はわずかに減少した。

3. 培養液のマグネシウムを除去し葉に硫酸マグネシウムを散布した結果、散布葉のみが緑色を保ち、その上下節葉はネクロシスを呈した。さらに、散布を葉の一部に限定すると、その部分のみで緑色が保たれた。散布部位におけるマグネシウムの形態別含有率は水溶性、アルコール可溶性、および不溶性のいずれも無散布部位より高かったが、とくに水溶性と不溶性マグネシウムにおいて顕著であった。

4. 以上の結果、キュウリ葉におけるマグネシウムの移動は容易ではなく、特に、散布したマグネシウムはほとんど移動しないと考えられた。

引用文献

- 1) 新井和夫・田中和夫・池田 広：キュウリ葉のマグネシウム欠乏症発生におよぼすアンモニア態窒素、カリ、若しくはカルシウムの過剰施用の影響。野菜試報 C8, 71-80 (1985)
- 2) 有沢道雄・武井昭夫・早川岩夫・稲垣育雄：スイカの栄養障害に関する研究。I. 土壌の塩基組成が無機成分吸収並びに葉枯れ症状に及ぼす影響。愛知農試報 B9, 36-42 (1977)
- 3) 有沢道雄・早川岩夫・浅野峯夫・稲垣育雄：水耕トマトの黄化葉に関する研究。形態別マグネシウムの転流について。愛知農試報 B10, 15-20 (1978)
- 4) Bukovac, M. J. and S. H. Wittwer : Absorption and mobility of foliar applied nutrients. Plant Physiol. 32, 428-435 (1957)
- 5) 遠藤宗男・安藤光一・甲田暢男・井上 満・岡部達雄：プリンスメロン葉枯れ症の研究—海成砂質土地帯の塩基組成の影響。千葉農試報 22, 11-19 (1981)
- 6) 橋本 武：作物のマグネシウム栄養に関する研究。第1報 大豆の茎葉の形態別マグネシウム代謝。土肥誌 24, 51-55 (1953)
- 7) 池田 広・興津伸二・新井和夫：接ぎ木キュウリのマグネシウム吸収における土耕及び水耕栽培の比較並びにマグネシウム増施効果について。野菜試報 C9, 31-41 (1986)
- 8) Jacob, A : Magnesium : The Fifth Major Plant Nutrient, 39-54, Staples Printers Limited, Kingdom (1958)
- 9) 梶田正治・中村敏光・五味 清：果菜類の接ぎ木における台木の養分吸収特性に関する研究。第2報 キュウリの生育と分泌液の無機組成に及ぼす台木フィシフォリアの影響—培地のカリ濃度に関連して。宮崎大農報 27, 187-194 (1980)
- 10) 梶田正治：接ぎ木・自根キュウリの高K培地と高NH₄-N培地で発生するMg欠乏症の差異。農及園 59, 1051-1053 (1984)
- 11) 松本満夫・上杉郁夫・柳井利夫：施設栽培における接ぎ木キュウリのMg欠乏症(グリーンリング症)。I. MB剤による硝化抑制が養分吸収とグリーンリング症に及ぼす影響。高知農林報 13, 1-10 (1981)
- 12) 興津伸二・本多藤雄：ハウスキュウリの葉枯れ症とMgとの関係について。九農研 39, 243 (1977)
- 13) 嶋田典司：マグネシウムの生理作用。土壤肥料作物栄養大事典(第3版), 102-105, 養賢堂, 東京(1976)
- 14) 高橋英夫・白木巴歳・福川利玄・鈴木喜代志・富山一男・岡追義孝・原口春盛：プリンスメロンの葉枯れ症対策に関する研究。宮崎総農試報 14, 9-29 (1980)
- 15) 田中 明：葉位別に見た水稻葉の生理機能の特性及びその意義に関する研究。第11報 各葉位葉の同化作用力及び同化産物の移動。土肥誌 29, 327-333 (1958)
- 16) 津高寿和：プリンスメロンの葉枯れ症の原因と対策。農及園 57, 1162-1166 (1982)
- 17) 渡辺和彦：生理障害の診断法, 158-162, 農文協, 東京(1986)
- 18) 山崎 伝：微量要素と多量要素(第7版), 175-183, 博友社, 東京(1975)