

農業と科学

1989
12

CHISSO-ASAHI FERTILIZER CO LTD

作物のカルシウム 栄養について

京都大学農学部 農芸化学教室
助手 間藤 徹

最近、有機農法とか自然農法といった言葉をよく耳にする。前者は、有機質の肥料を多く使って作物を栽培することだと推測がつかうが、自然な農法とはどういうものを言うのであろう。おそらく利潤を得ることを目的として食糧を生産する産業ではないことを表現しようとした造語だと思われる。そもそも農業とは、人間が都合よく植物を栽培しようとする行為であり、自然どころか人間が自然に対してもっとも古くから行なってきた挑戦のひとつである。言葉遣いの問題はよいとして、このような農法が関心を集めるようになったのは農業と化学肥料に依存した『不自然農法』に様々な問題があったことも事実で、作物の周年供給を目的としたハウス栽培が普及するにつれて、作土層に施肥に由来する塩類が集積し、それによる障害が認められるようになって

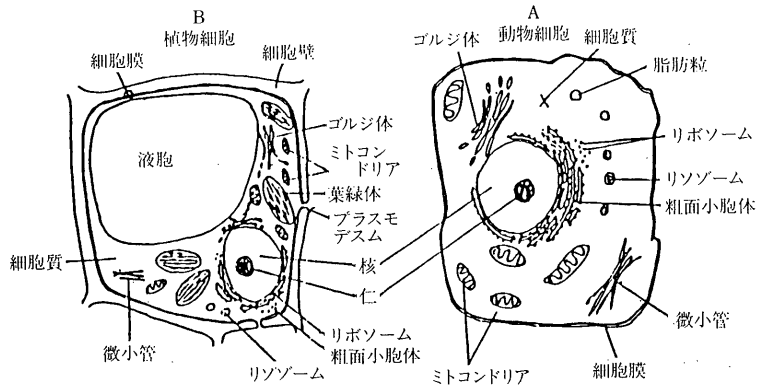
表一 Ca 欠乏による生理障害例

トマト、ピーマン	尻ぐされ症
ハクサイ	芯ぐされ症
レタス、キャベツ	縁ぐされ症
セロリ	心ぐされ症
サトイモ	芽つぶれ症
リンゴ	ビタービット
梨	石ナシ症

てきた。しかし一方でこれらの土壌でカルシウム欠乏に起因すると思われるハクサイ、キャベツ、トマトなどの生理障害が発生するようになってきた。

最近動物細胞での研究結果から明らかになってきたことであるが、植物でも細胞内のカルシウムはその濃度の高低で様々な代謝反応の調節を行っており、そのために細胞質では、カルシウムは通常ミトコンドリアや小胞体に閉じ込められ、その濃度は低く保たれている。しかし細胞になんらかの刺激が与えられると、これらからカルシウムの

図一 植物の細胞、動物の細胞



本号の内容

§ 作物のカルシウム栄養について.....(1)

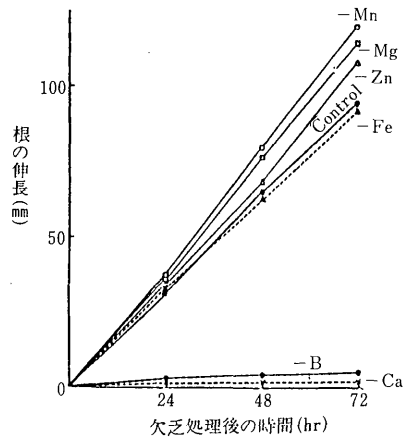
京都大学農学部 農芸化学教室
助手 間藤 徹

§ シクラメンの底面給水栽培における
ロング肥料の活用.....(4)

岐阜県農業総合研究センター
野菜花き科長兼主任専門研究員
住井正康

放出が起こり細胞質内の濃度が上昇し酵素活性の上昇や低下が起こる。例えばリン脂質の分解に働くフォスホリパーゼDという酵素はカルシウム濃度が高くなると活性化される。ここで言うカルシウム濃度は 10^{-6} モル位で含有率に直すと ppb 以下と超微量である。ただしシュウ酸を多く蓄積する植物種では、シュウ酸は毒性が強いので細胞内で殆ど不溶性のカルシウム塩となっており、これは液胞に蓄積されている。従って普通、作物に見いだされる乾物当り 0.1 から 3% のカルシウムの殆どは細胞の外に存在していると考えられる。これについてははっきりした実験結果が得られておらずまだ推論の域を出ないが、植物試料の酸分解と原子吸光測定で得られるカルシウム含有率は、細胞内で可溶性で存在する画分、細胞内でシュウ酸塩など不溶態で存在する画分、細胞外で

図一 2 根の伸長と養分欠乏 (トマト苗)
H. KOUCHI and K. KUMAZAWA: Soil Sci. & Plant Nutr., 21 ('75), 21~28



表一 2 各種植物葉身中の化学形態別カルシウム含有率

作物種	化学形態別カルシウム含有率 (ppm)						全カルシウム含有率 (%)
	80% エタノール	水	1N食塩水	2%酢酸	0.6N塩酸	残渣	
トウモロコシ 上位葉	68	198	435	172	119	38	0.103
トウモロコシ 下位葉	65	380	703	148	111	33	0.144
コムギ 上位葉	117	270	615	73	88	47	0.121
コムギ 下位葉	132	533	772	94	71	28	0.163
オオムギ 上位葉	159	371	684	67	98	51	0.143
オオムギ 下位葉	298	831	907	55	116	63	0.227
キュウリ 上位葉	233	1480	5310	1190	3230	55	1.15
キュウリ 下位葉	351	7520	7780	1370	3710	72	2.08
トマト 上位葉	260	1940	5560	1230	4360	49	1.34
トマト 下位葉	394	8129	9300	1860	4070	47	2.38
キャベツ 上位葉	273	5050	7710	1670	2810	83	1.76
キャベツ 下位葉	419	9810	11200	2120	2670	77	2.63

植物と金属元素 日本土壤肥料学会編

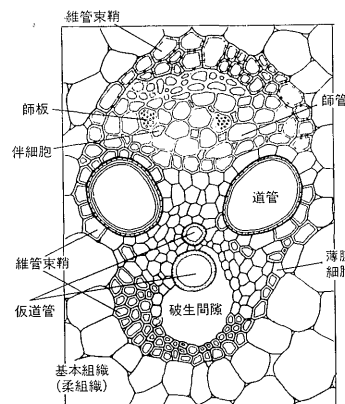
壁について存在する画分の総和である。作物でのカルシウムの機能を考えるとき、細胞内で働いているカルシウムは微量元素レベルでしかなく、生理学的には興味のもたれる現象であるが、現地の栽培でおこるカルシウム欠乏はカルシウムの細胞外での機能が損なわれていることによる障害である可能性が強く、カルシウムの機能を考えるとき細胞内外をきちんと分けて話を進めなくてはならない。

植物の根の伸長に対する栄養元素の効果をみると、欠除して根端伸長の停止が直ち(3~6時間)に現れるのは16の必須元素のうちでカルシウムとホウ素だけである。伸長帯のすぐ上の部分に含まれるホウ素やカルシウムは利用されず、これらは

常に供給されていることが必要である。カルシウムとホウ素の含有率と根のCEC、根のペクチン含有率には高い相関があることが知られているが、根における吸収が必ずしも細胞膜を通して細胞内に貯めることを示すのではなく、細胞壁に吸着されることが多いことも示している。この細胞外での機能は根だけでみられるのではなく、導管

液中のカルシウムやホウ素と地上部の細胞との間

図一 3 茎の横断面 (単子葉植物)



の関係でも同様で、地上部のカルシウムやホウ素の欠乏も先端の伸長部に顕著に現れ、下位葉のカルシウム、ホウ素は全く利用されない。

細胞壁をキレート剤 EDTA で処理しカルシウムをキレートするとペクチン質が遊離してくるから、カルシウムはペクチン質と結合してペクチン質の立体構造の維持に作用しているとする説が有力である。

花粉管の伸長にはカルシウムとホウ素が必須で、花粉管の急激な伸長は細胞膜、セルロース、ペクチン質の三つの合成が同時に進行することが重要でありひとつが欠けても伸長が止まってしまうことを考えると、細胞壁は細胞の外にある防護壁のようなもので膜の機能には無関係と考えてしまうのは早計のような気がする。

カルシウムはホウ素と共に根や地上部の伸長帯の外側に、常にある程度の濃度で存在していなくてはならないことがわかってきた。植物学の用語で細胞の外側のことをアポプラスト、内側のことをシンプラストと呼ぶが、地上部では導管を通じて上がってくる導管液がアポプラストの溶液で、これが根の周りの土壤溶液に相当する。現地で地上部にカルシウム欠乏がみられるとき、根がどうなっているのか興味深いですが、おそらく根では欠乏は出ておらず、カルシウムの地上部への移行が充分ではなくなっているのだろう。植物のカルシウム吸収、地上部への移行は、代謝阻害剤による阻害が少ないことから、土壤溶液中のカルシウムイオンが水の移動につれて根の中に入り、蒸散流に乗って地上部に移動する非代謝的なものと考えられている。前述したように細胞内ではミトコンドリアや小胞体の膜がカルシウムを閉じ込める機能を持っており、それらの膜には水素イオン(H^+)とカルシウムイオンの逆輸送〈antiport; 水素イオンが外に出てくるとき、そのエネルギーを使ってカルシウムイオンが中にはいる〉を行っていることが明らかにされている。しかし細胞内でこのような代謝的調節を受けるカルシウムは全体のおそらく千分の一以下なので栽培上カルシウムの機能を考えるときには無視できる。地上部でカルシウム欠乏が生じないようにするには、土壤溶液中のカルシウム濃度を確保し、作物が蒸散を行えるよう

にすればよいものと思われる。

土壌中ではアンモニア、カリウム、マグネシウム、カルシウムなど陽イオンは粘土粒子に保持されている。これは粘土粒子が負に帯電しているため、陰イオンである硝酸や塩素などは土壤溶液に溶けてのみ存在し、その量に応じて、陽イオンを溶かした。カルシウム濃度を確保するためには硝酸濃度を維持することが重要になる。例えば現地からのレポートによると①ハクサイ、キャベツ、トマトなどで過剰の蒸散でカルシウムが新葉や果実にかかず、芯腐れや尻腐れが生じる②土壤消毒の結果硝化菌が減り土壤溶液中の硝酸態窒素の供給が減少し、つられて水溶性カルシウム濃度が低下する③カリウム、マグネシウム過剰でカルシウムの吸収が阻害される④過剰のリン酸施肥でリン酸カルシウムとなりカルシウムの溶解度が低下するなどの理由でカルシウム欠乏が生じる。カルシウム欠乏を防ぐには土壤溶液中のカルシウム濃度を一定に保ち、過蒸散にならず根圧によるカルシウムの地上部への移送が維持されるよう工夫することが大切である。そのためには土壤溶液中の硝酸態窒素や水溶性カルシウムの濃度の継続的なモニターを行い土壤の状態に合わせた施肥や灌水が必要になってくる。かつては土壤の緩衝能力と雨水による溶脱を当てにして肥料は欠乏が出ないよう適当にやっておれば良かったが、雨避け栽培で結果として肥料をやりすぎ土壤の緩衝能力を飽和させてしまった結果、別の手間をしょいこむことになった。塩類過剰は土壌中に塩類が充分にある状態なのだから、客土、除塩といった対症療法に終始するのではなく、今後はその蓄積した塩類をうまく使っていけるような施肥設計や肥料の選定、効率のよい施肥法が望まれる。特に高度化成肥料は、NPKが適当な割合で含まれて便利である反面、土壌によっては、ある要素が既に充分量含まれている場合もあり、そのような場合には、単肥の施用が望ましいと思われる。土壌 pH が低くカルシウム施用が叫ばれていた頃にはカルシウム欠乏が顕著でなかったことを思うと皮肉な話である。