トマト果実の成熟に伴うカルシウムの存在形態の変化¹

南出隆久²・上田悦範・岩田 隆

大阪府立大学農学部 591 堺市百鳥梅町

Changes in Forms of Calcium in Tomato Fruit during Ripening

Takahisa MINAMIDE, Yoshinori UEDA and Takashi IWATA

College of Agriculture, University of Osaka Prefecture

Mozu-umemachi, Sakai, Osaka 591

Summary

Changes in pectic substances and calcium during ripening of tomato fruits on vine and after harvest were followed.

(1) Firmness and viscosity of the ripening fruits decreased. Protopectine also decreased, while soluble pectine increased.

(2) The total Ca content in tomato fruits was almost the same at all stages of maturity. There was a marked increase in the water soluble fraction and decrease in the 1N-NaCl soluble and 2%-acetic acid soluble fraction between breaker and light pink stages. The increase of the water soluble form of Ca was attributable to an increase of Ca^{2+} .

(3) $^{45}\text{CaCl}_2$ solution was administered to tomato fruits through the peduncle at each ripening stage. In immature fruits, high specific activity was observed mostly in 2%-acetic acid soluble and 5%-HCl soluble fractions. The percentage distribution of incorporated ^{45}Ca in the water soluble fraction increased during ripening.

(4) After applying ^{45}Ca at the mature green stage, the tomato fruits were ripened off the tree. The specific activity of ^{45}Ca increased in the water soluble fraction and decreased in the 2%-acetic acid soluble fraction between mature green and breaker stages.

緒 言

カルシウム (Ca) は、無機質中窒素、リン、カリウムについて多く植物体に存在しており、その生理作用としては細胞壁、細胞膜、酵素蛋白質の構造の保持や機能の調節を行っている(4, 5, 21, 26)。また、細胞質や液胞の反応調節、有機酸の中和、さらに細胞分裂や伸長などにも関与していることが知られている(3, 20, 30)。これら Ca が植物体中でどのような化学形態で存在しているかについては、多くの研究者によって調べられている(10, 19, 25)。筆者らも前報(24)で青果物における Ca の存在形態について調べたところ、青果物の種類により存在形態に相違があり、また収穫後においても植物体中で変化することを認めた。とくに、パセリの葉の黄化過程でシ

ュウ酸 Ca 画分の増加がアスコルビン酸の減少に伴い生じることを明らかにした。一方、果実の成熟・追熟現象と Ca の生理作用については、リンゴ(2, 13, 29)やトマト(1, 27, 28, 32)などで研究されている。Poovaiah(27)は、正常に成熟するトマト 'Rutgars' と成熟しない果実 'rin' を用いて Ca の存在形態を調べ、'Rutgars' では結合型 Ca が成熟に伴い1/3に減少するのに対し、'rin' ではむしろ増加することを示した。また、Rigney と Wills(28)はトマト果実の生育・成熟に伴う細胞壁中の Ca を調べ、果実の生育初期には細胞壁中の Ca 含量は増加し、その多くは結合型 Ca であるが、内生エチレンが生成されるころになると結合型 Ca は一時減少し、可溶性 Ca が増加することを認め、果実の成熟開始に Ca が関与していることを示唆した。しかし、これまでの研究は、Ca を果実に処理することでその作用を調べているものが多く、果実組織内での Ca の存在形態や果実の成

¹ 1985年11月4日 受理

² 現在 京都府立大学生生活科学部
606 京都市左京区下鴨

熟生理と Ca の代謝の関連性については上記両者の研究がみられる程度でほとんど調べられていない。

本研究では、トマト果実の成熟と関連してペクチン物質, Ca の存在形態, 並びに Ca の中でも生体膜の透過機能の調節や酵素活性に重要な役割をもつ Ca^{2+} イオンなどの変化について調べた。また, ^{45}Ca を果実の果梗より吸収させトマト果実の成熟・追熟に伴う Ca 代謝の変化についても検討した。

材料及び方法

1. 材 料

実験材料として、本学農場で栽培したトマト‘鳳寿’を用い、開花時にラベルを付け成熟を追って採取し分析に供した。また、熟度が mature green に相当するものを採取し、20°C の恒温室内で追熟させた。

2. ペクチン物質の抽出並びに定量

トマト果実からのペクチン物質の抽出は、果肉各 50 g を用い 80% エタノール不溶性物質を得て、Dolendo ら (9) の方法に従い、水を加え 0°C で 1 昼夜静置後、水溶性ペクチンとプロトペクチンに分画した。各ペクチンはカルパゾール試薬により比色定量を行い、500 nm における吸光値を測定し、ガラクトクロン酸量として示した (23)。

3. 果肉硬度並びに粘度の測定

果実の成熟に伴う果肉硬度の変化を調べるため、果実の果頂部（花落ち側）周辺をカードメーター（飯尾電機製）を用い、直径 1 mm の円筒形プランジャーに荷重 50 g の条件で果皮より貫入し測定した。硬度はその時の計数値で示した。一方、粘度は果肉 20 g に等量の水を加えホモジナイズした後、オストワルド粘度計を用い 20°C で測定した。同時に水の粘度を計り、比粘度として表した。

4. 果実中における Ca の存在形態と Ca^{2+} イオンの測定

トマト果実に含まれる Ca の存在形態を調べるため、前報 (24) と同様小西・葛西の方法 (19) に準じ、水溶性画分 (F-I)、塩可溶性画分 (F-II)、酢酸可溶性画分 (F-III) 及び塩酸可溶性画分 (F-IV) に分別した。各画分の Ca の測定は、原子吸光度計（日立 208 型）を用い波長 421.7 nm で行った。なお、共存元素の干渉を抑制するために試料溶液に 1,000 ppm の濃度になるようにランタン (La) を添加した。F-I に存在する Ca イオンは、柳沢・藤井 (34) の方法により測定した。

5. 果実の成熟に伴う Ca の代謝

果実が成熟するに伴い、Ca の存在形態がどのように変化するかを ^{45}Ca を用いて調べた。 ^{45}Ca は $^{45}\text{CaCl}_2$

(1 mCi, 日本アイソトープ協会) を $1 \mu\text{Ci/ml}$ になるように 1 mM CaCl_2 を含む Tris-HCl 緩衝液 (0.1 M, pH 7.4) に溶解した。果実に与えるストレスをなるべく少なくするため、果実の果梗から自然に吸収させた。この際、breaker 期までは果帯の有無にかかわらず果実への Ca 吸収には差異はみられなかったが、より熟期の進んだものでは、果帯で吸収が止まり、果実へはほとんど取り込まれないことがわかった。そのため、本実験では果帯を切除した果梗を ^{45}Ca を含む水溶液に浸漬し、20°C で 24 時間 Ca を吸収させた。吸収後、前述の方法により Ca を存在形態別に分け、各画分への ^{45}Ca の取り込みを GM カウンターで測定した。トマト果実は各熟度で採取して調べるとともに、mature green の熟度のトマト果実に 24 時間 ^{45}Ca を吸収させた後、20°C で追熟させ、追熟に伴う Ca 代謝の変化を調べた。

結 果

1. トマト果実の成熟に伴うペクチン物質、果肉硬度並びに粘度の変化

Small green の未熟果ではプロトペクチンがペクチン物質の大部分を占め、mature green で若干低下し、その後果実が成熟するにつれて急減した。水可溶性ペクチンは、これと逆に成熟時に著しく増加した。この間の果実の硬度は、プロトペクチンの変化とほぼ平行して成熟とともに低下した。果肉の粘度は mature green 果までは低かったが、breaker から dark pink 果にかけて明らかに増加し、以後さらに急増することがわかった (第 1 図)。このように、果実の成熟過程における硬度や粘度などの物理的变化は、プロトペクチンや可溶性ペクチンなどのペクチン物質の変動とよく一致した。

Fig. 1. Changes in pectic substance contents, firmness, and viscosity of tomato fruits during maturation.

○—○ : protopectin ●—● : soluble pectin
 ×—× : firmness □—□ : relative viscosity
 Ripening stage : SG=small green, MG=mature green, BR=breaker, LP=light pink, DP=dark pink, TR=table ripe.

Table 1. Changes of Ca form during maturation of tomato fruits.

	Days after flowering and ripening stage					
	20	35	38	41	43	45
	Small green	Mature green	Breaker	Light pink	Dark pink	Table ripe
Total Ca	10.17 ^z	10.21	10.41	10.38	9.62	9.85
F-I ^y	2.67 ^z	2.50	2.46	3.16	3.23	3.57
F-II	5.70	5.70	6.18	5.49	4.70	4.56
F-III	1.19	1.43	1.24	1.27	1.24	1.26
F-IV	0.61	0.58	0.53	0.46	0.45	0.46
Calcium ion/F-I (%)	9.5	15.6	14.2	27.7	30.0	33.6

^z mg/100g Fw.^y F-I : water soluble Ca, F-II : NaCl soluble Ca, F-III : Acetic acid soluble Ca, F-IV : HCl soluble Ca.**Table 2.** Incorporation of ⁴⁵Ca in different maturity of tomato fruits^z.

Ripening stage Fraction	Small green	Mature green _i	Breaker	Light pink	Dark pink	Table ripe
F-I ^y	98.8 ^x (15.0)	231.2 (26.4)	273.9 (35.6)	133.2 (41.1)	134.9 (42.1)	120.7 (40.2)
F-II	94.9 (14.4)	116.3 (13.3)	91.4 (11.9)	48.8 (15.0)	67.6 (21.1)	57.4 (19.1)
F-III	294.1 (44.7)	339.1 (38.7)	291.9 (38.0)	114.2 (35.2)	100.0 (31.2)	109.5 (36.4)
F-IV	170.4 (25.9)	189.6 (21.6)	111.3 (14.5)	28.2 (8.7)	17.7 (5.5)	13.0 (4.3)

^z Peduncle attached to tomato fruit without disk was immersed in 0.1M Tris/HCl buffer (pH 7.4) containing 1mM CaCl₂ and ⁴⁵CaCl₂ (1μCi/ml) at 20°C for 24 hr, and distribution of specific radioactivity in each fraction was determined.^y Fraction mentioned as in Table 1.^x ×10³cpm/mg Ca. Percentage distribution of each fraction is in parentheses.

2. 果実の成熟に伴うCaの存在形態の変化

結果は第1表のように、トマト果肉中の総Ca量は成熟過程を通じて9.62~10.38mg/100g新鮮重とほぼ一定であった。また、果実組織中におけるCaはF-IIに最も多く、次にF-I、F-III、F-IVの順で果実の成熟過程を通じ順位は変わらなかった。F-Iはbreaker果までは成熟に伴いやや減少したが、果実の着色・軟化とともに急増し、table ripe果では総Caの約36%を占めるに至った。一方、F-IIとIVは果実の成熟の進行に伴い減少したが、F-IIIは成熟過程を通じてあまり変化しなかった。

次に、植物の生理作用に重要な役割を果しているCa²⁺イオン含量を測定した。F-Iに含まれるCa²⁺の割合は果実の成熟に伴い顕著な増加を示し、ことにbreakerからlight pinkの段階にかけて急増した。この割合はtable ripe果ではsmall green果に比べ約3.5倍にも増加し、F-IのCa量の33.6%にまで達した。つまり、F-IのCa量の急増はCa²⁺の増加によるものであ

ることがわかった。なお、mature green果を20°Cで追熟させ、追熟に伴うCaの存在形態の変化を調べたが、結果は第1表の樹上成熟果のものと同じ傾向であった。

3. 果実の成熟・追熟に伴うCaの代謝

Caの代謝を調べるため、⁴⁵Caをトマト果実の果梗より吸収させ、各画分の分布状態を測定した。

まず、各熟度の果実に⁴⁵Caを24時間吸収させ、存在形態別分布を調べ、⁴⁵Caの比放射活性で示した(第2表)。Small green果では、取り込まれた⁴⁵Caの多くはF-IIIとF-IVに高い比放射活性で存在しており、F-IとF-IIはほぼ同程度の活性であった。より熟度が進んだmature greenやbreaker果では、F-IIIに高い比放射活性を示しているが、F-Iにも多くなることがわかった。Light pink期以降の熟度の果実では、果帯を除いたにもかかわらず⁴⁵Caの吸収の絶対量は、それ以前の熟度のものに比べ半分程度になった。Light pink以後の存在形態分布には著しい変化はみられず、F-IとF-IIIにその比活性が高く取り込まれた。

Fig. 2. Metabolism of ^{45}Ca incorporated in mature green tomato during ripening.

Tomato fruits at mature green were treated with $^{45}\text{CaCl}_2$ solution as described in Table 2 and ripened at 20°C.

次いで mature green 果に ^{45}Ca を吸収させ、トマトを 20°C に貯蔵し、果実の追熟に伴う ^{45}Ca の比放射活性の変化を調べた。第 2 図からも明らかなように mature green 果で多く吸収された F-III の ^{45}Ca は、breaker から light pink 期に減少し、F-I はその比活性が増加した。F-II, F-IV の比活性は追熟に伴いほとんど変化がなかった。

考 察

果実は成熟するにしたがい、果皮や果肉の着色、果肉の軟化、香りの生成・発散、酸・甘味の変化などが生じ食味が良くなる。これらの現象のうち、果肉の軟化は細胞壁の構造変化と密接に関係している。細胞中葉にはペクチン質が多く含まれ、細胞間を結び付けているが、Ca はペクチン物質と複合体を作り細胞中葉を固め、その構造を保持している(11)。果実が軟らかくなるのは、この中葉を構成するペクチン物質が分解し可溶化されることと関係が深い(15)。トマト果実においても、組織の硬さや粘性にペクチン質が関与していることが多くの研究者によって報告されている(1, 7, 14, 16)。今回の実験においても同じような結果が得られ(第 1 図)、トマト果実の硬度の低下は、プロトペクチンの減少と水溶性ペクチンの増加を伴っており、これらの変化は mature green から light pink 期に顕著であった。果肉の粘性は light pink 期を過ぎたところから著しい増加を示したことから、リンゴ(17)と同様、可溶性ペクチンが粘性の増加をもたらしたと思われる。ペクチンの分解には、poly-galacturonase (PG) と pectine esterase (PE) が関与しており、Rigney と Wills(28) はペクチン物質を脱ポリマー化する PG は 10^{-7} M 程度の Ca で活性が阻害されるのに対し、PE の活性には Ca が必要であることを指摘

した。本実験ではこれら酵素の活性変化を調べていないが、Ca の可溶化が生じるとともに Ca^{2+} イオンが急増する breaker から light pink 期(第 1 表)までに PG によりプロトペクチンの分解が始まっており、その後、組織中に増加した Ca^{2+} イオンが PE を活性化させ果肉の軟化をもたらすものと思われる。

果実中の F-I の Ca の大部分は、有機酸塩として液胞や細胞質に存在しているものと思われるが、その中には植物の生理作用に重要な役割を果している Ca^{2+} イオンも含まれている。細胞中の Ca^{2+} 濃度は 10^{-6} から 10^{-8} M 程度(21)といわれている。本実験では F-I に占める Ca^{2+} は small green 果では約 10%, table ripe 果では 33.6% であり、これは全 Ca のそれぞれ 2.5% 及び 12.2% に相当し、成熟に伴い多くなることがわかった。しかも、 Ca^{2+} は breaker から light pink 期に急増した。果実の成熟過程のなかでも、この時期が呼吸の急増期ないし、クライマクテリックピーク期に当たり、各種生理作用が活発に行われているところから、組織中に増加した Ca^{2+} は細胞膜やミトコンドリア膜などのリン脂質と結合し(33)、その透過機能を調節したり(8, 31), lipoxygenase(18), phospholipase(22), pectin esterase(12) など果実成熟時の酵素活性の増大に寄与するものと推察される。

mature green から light pink 期に生じる Ca の可溶化現象を Ca 代謝の面から明らかにするため、 ^{45}Ca を果梗より吸収させる方法で調べた。トマト果実の生育は開花後 1～2 週間で細胞分裂が終了し、細胞の増殖はこのころまでに完了する(15)。本実験で用いた small green 果は、開花後 20 日のものであり、細胞は肥大生育期に入っている。この時期に吸収された ^{45}Ca は、主にリン酸塩(F-III)やシュウ酸塩(F-IV)として高い比放射活性で存在し、果実細胞が肥大生育期に入っているにもかかわらずペクチン物質や蛋白質画分(F-II)にわずかの比放射活性でしか取り込まれなかった(第 2 表)。このことは、F-II 画分の Ca の多くは開花後 20 日までに既に細胞壁構造に組み込まれることを示しており、果実の成熟現象における Ca の生理作用を調べる上で興味ある結果である。さらに成熟が進み、Ca の可溶化現象の起こる mature green から breaker にかけて F-I に取り込まれる ^{45}Ca の比放射活性が増加し、他の画分からの Ca の移行が示唆された。

さらに、 ^{45}Ca を mature green の果実に取り込ませ、追熟させて、追熟過程における Ca の代謝を調べたところ、mature green から light pink 期にかけ、F-III の比放射活性の減少、F-I の増加がみられた(第 2 図)。

これらの結果から、トマト果実のクライマクテリック時にみられるCaの可溶性現象は、Ca含量の変化(第1表)からみてF-II画分からもたらされるものと思われるが、F-III画分のCaもF-IIからF-Iの代謝途中にあるいはそれと無関係にCa代謝に関与しているものと思われる。すなわち、F-IIIは熟度が進んでもCa含量変化は示さないが、Ca交換を活発に行い、mature greenの時期に高い比放射活性で取り込んだ ^{45}Ca をF-Iに移行しているものと思われるが、さらに詳しい研究を要すると考えられる。

摘 要

トマト果実の成熟・追熟過程について、軟化と関係の深いペクチン物質、並びに細胞壁・生体膜の構造保持や機能に作用するカルシウム(Ca)の動向を調べた。

1. トマト果実は成熟するにしたがい軟化し、果肉の粘度は増大した。その間に、プロトペクチン含量が減少し可溶性ペクチン含量が増加した。とくに、breakerからdark pink期にかけて顕著であった。

2. トマト果実のCaを存在形態別に分画、測定したところ、各熟度の果実とも塩可溶画分(F-II)に最も多く含まれ、次に水可溶性画分(F-I)、酢酸可溶性画分(F-III)、塩酸可溶性画分(F-IV)の順であった。果実の成熟に伴う変動はbreak期まではあまりみられず、breaker期以後熟度が進むにつれF-Iの増加、F-II及びF-IVの減少がみられた。また、F-I中の Ca^{2+} イオン量はbreaker期を過ぎると急激に増加することがわかった。

3. 各熟度の果実に ^{45}Ca を果梗より吸収させ、果実の成熟に伴って、吸収された ^{45}Ca の分布を比放射活性(^{45}Ca カウント/Ca 含量)で調べた。small greenやmature green果実では、 ^{45}Ca はF-IIIやF-IVで高い活性を示した。breakerからlight pink期にかけて果実への ^{45}Ca の吸収の総量は低下したが、F-I画分への取り込みの割合は多くなった。

4. mature green果実に ^{45}Ca を吸収させ、トマトを追熟させてCa代謝を調べたところ、mature greenからlight pink期にかけてCa代謝に変化がみられ、 ^{45}Ca の比放射活性のF-IIIでの低下とF-Iでの増加がみられた。

引用文献

- BRADY, C. J., W. B. McGLASSON, J. A. PEARSON, S. K. MELDRUM and E. KOPELIOVITCH. 1985. Interactions between the amount and molecular forms of polygalacturonase, calcium, and firmness in tomato fruit. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 110: 254—258.
- BRAMLAGE, W. J., M. DRAKE and J. H. BAKER. 1974. Relationships of calcium content to respiration and postharvest condition of apples. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 99: 376—378.
- 陳 文孝・上本俊平. 1976. そ菜のカルシウム吸収に関する研究. 第1報. そ菜の異なった生長相におけるカルシウム吸収とその生理的意義. *園学雑*. 45: 33—42.
- CHRISTIANSEN, M. N. and C. D. FOY. 1979. Fate and function of calcium in tissue. *Commun. Soil Sci. and Plant Anal.* 10: 427—442.
- CLARKSON, D. T. and J. B. HANSON. 1980. The mineral nutrition of higher plants. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 31: 239—298.
- COLLIER, G. F. and V. C. HUNTINGTON. 1983. The relationship between leaf growth, calcium accumulation and distribution, and tipburn development in field grown butterhead lettuce. *Scientia Hort.* 21: 123—128.
- DESHPANDE, S. N., W. J. KLINKER, H. N. DRAUDT and N. W. DESROSIER. 1965. Role of pectic constituents and polyvalent ions in firmness of canned tomatoes. *J. Food Sci.* 30: 594—600.
- DIETER, P. and D. MARMÉ. 1980. Ca^{2+} transport in mitochondrial and microsomal fractions from higher plants. *Planta* 150: 1—8.
- DOLEND, A. L., B. S. LUH and H. K. PRATT. 1966. Relation of pectic and fatty acid changes to respiration rate during ripening of avocado fruits. *J. Food Sci.* 31: 332—336.
- FERGUSON, I. B., N. A. TURNER and E. G. BOL-LARD. 1980. Problems in fractionating calcium in plant tissue. *J. Sci. Food Agric.* 31: 7—14.
- GRANT, G. T., E. R. MORRIS, D. P. REES, P. J. C. SMITH and D. THOM. 1973. Biological interactions between polysaccharides and divalent cations: The egg-box model. *FEBS Let.* 32: 195—198.
- HANCOCK, J. G. and M. E. STANGHELLINI. 1968. Calcium localization in *Hypomyces* infected squash hypocotyls and effect of calcium on pectate lyase activity and tissue maceration. *Can. J. Bot.* 46: 405—409.
- HIMELRICK, D. G. 1981. Determination of total and ionic calcium in apple leaf and fruit tissues. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 106: 619—621.
- HOBSON, G. E. 1965. The firmness of tomato fruit in relation to polygalacturonase activity. *J. Hort. Sci.* 40: 66—72.
- HOBSON, G. E. 1981. Enzymes and texture changes during ripening. p. 123—132. In: J.

- FRIEND and M. J. C. RHODES (eds.) Recent Advances in the Biochemistry of Fruit and Vegetables. Academic Press. London and New York.
16. 飯野久栄・小曾戸和夫. 1977. トマトの成熟ならびに搾汁におけるペクチンの変化. 食品工誌. 24 : 350—356.
 17. KNEE, M. 1978. Properties of polygalacturonate and cell cohesion in apple fruit cortical tissue. *Phytochemistry* 17 : 1257—1260.
 18. KOCH, R. B. 1968. Calcium ion activation of lipoxidase. *Arch. Biochem. Biophys.* 125 : 303—307.
 19. 小西茂毅・葛西善三郎. 1963. タバコ葉の Ageing にともなうカルシウムの代謝 (その1)—生育各期に吸収された ^{45}Ca の形態変化. 土肥誌. 34 : 67—70.
 20. KONNO, H., T. YAMAYA, Y. YAMASAKI and H. MATSUMOTO. 1984. Pectic polysaccharide breakdown of cell wall in cucumber roots grown with calcium starvation. *Plant Physiol.* 76 : 633—637.
 21. MARMÉ, D. 1983. Calcium transport and function. p. 599-625. In : LÄUCHLI, A. and R. L. BIELESKI (eds.) *Inorganic plant nutrition*. vol. 15 B. Springer-Verlag. Berlin.
 22. MASORO, E. J. and B. P. YU. 1971. The functioning of the lipids and lipoproteins of sarcotubular membranes in calcium transport. *Lipid.* 6 : 357—368.
 23. McCOMB, E. A. and R. M. McCREADY. 1952. Colorimetric determination of pectic substances. *Anal. Chem.* 24 : 1630—1632.
 24. 南出隆久・後藤昌弘・岩田 隆. 1986. 青果物におけるカルシウム (Ca) の存在形態の相違と収穫後変化. 園学雑. 54 : 507—513.
 25. 太田安定・山本和子・出口正夫. 1970. カルシウム供給量, 葉位, 個体の生育段階の違いが水稻生葉内カルシウムの化学形態分布におよぼす影響. 第1報. 各種植物体内カルシウムの化学形態別分布. 土肥誌. 41 : 19—25.
 26. 太田安定. 1975. カルシウムの生理作用. p. 92—102. 植物栄養土壌肥料大事典. 養賢堂. 東京.
 27. POOVAIAH, B. W. 1979. Role of calcium in ripening and senescence. *Commun. Soil Sci. and Plant Anal.* 10 : 83—88.
 28. RIGNEY, C. J. and R. B. H. WILLS. 1981. Calcium movement, a regulating factor in the initiation of tomato fruit ripening. *HortScience* 16 : 550—551.
 29. SAMS, C. E. and W. S. CONWAY. 1984. Effect of calcium infiltration on ethylene production, respiration rate, soluble polyuronide content, and quality of 'Golden Delicious' apple fruit. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 109 : 53—57.
 30. 鈴木鉄男・金原敏治・榊原正義・深井尚也. 1972. リン酸および石灰の施用が温州ミカンの生育と結実に及ぼす影響. 園学雑. 41 : 157—164.
 31. VANSTEVENINCK, R. F. M. 1965. The significance of calcium on the apparent permeability of cell membranes and the effects of substitution with other divalent ions. *Physiol. Plant.* 18 : 54—69.
 32. WILLS, R. B. H. and S. I. H. TIRMAZI. 1979. Effect of calcium and other minerals on ripening of tomatoes. *Aust. J. Plant Physiol.* 6 : 221—227.
 33. WOLMAN, M. and H. WIENER. 1963. Changes in the constitution of myelin caused by ions. *Nature* 200 : 886—887.
 34. 柳沢文正・藤井嘉寿. 1955. 食品のカルシウムイオン測定法と測定値について. 栄養と食糧. 7 : 220.