

# カキの緑斑症果の発現機作に関する研究

傍島善次・石田雅士・弦間 洋・堀口尚男

Studies on the mechanism of greenish spot disorders in persimmon fruits  
YOSHITSUGU SOBAJIMA, MASAH I SHIDA, HIROSHI GEMMA and HISAO HORIGUCHI

**要旨：**本研究はカキの緑斑症果の発現機作を追求するため、果実、葉および土壌中のおもな無機成分含量、ならびに果実の表皮系の組織構造などについて比較検討した。

その結果、緑斑症果発生園より採取した果実および葉の Mn 含量は、健全園より採取したものに比べて明らかに高く、また土壌中の水溶性、置換性および易還元性 Mn は発生園でその含量が著しく高かった。

また、果実の表面構造および果肉柔組織には差異が認められなかったが、緑斑症部位では亜表皮組織細胞の明らかな崩壊が認められ、かつクロロフィルの退化およびカロチノイドの生成に明らかに支障のあることが認められた。

したがって、カキの緑斑症果の発現はおもに Mn の過剰吸収による生理障害であると推定され、栽培上の防止対策として、土壌中の易溶性 Mn の軽減をはかることが、最も重要な課題であると考えられた。

## 緒 言

カキの成熟果において、おもに果頂部周辺の果面に斑点状にくぼみを生じ、この部分は緑色を呈し、貯蔵または脱渋過程でその著しいものは黒変する現象がみられ、これを緑斑症果と呼んでいる（図版1）。その症状は果肉柔組織にまではおよばないが、甚だしく外観を損じるために商品価値が低下し、各地の生産者からその防止対策が要望されている。

本症状の発生については、1962年ころすでに一部京都府木津町のカキ産地で散見されたが、その折の予備調査において、体内無機成分とくに Mn 含量の-high ことが認められ、本症状発現の原因は体内の栄養生理的障害によるのではないかと推測された。その後1970年ころより奈良、和歌山地方のカキ産地を始め、各地でその著しい発生がみられ、品種としては松本早生富有が最も多く発現するが、富有および平核無においても発現するに至り、その発現実態について飯室<sup>1)</sup>、村田<sup>2)</sup>らの調査がある。しかしながら、現在その発生原

因はなお明らかではなく、栽培上の防止対策を確立するまでに至っていない。

そこで筆者らは、1975年以来緑斑症果の発現機作を追求し、適切な防止対策確立の基礎的資料を得る目的で諸種の調査を行ってきたが、本報ではそれらの調査結果について報告する。

## 材料および方法

実験材料は、京都府立大学農学部附属農場果樹園ならびに奈良県吉野郡西吉野村における松本早生富有の健全園および緑斑症果常発園より、葉および果実を経時的に採取してそれぞれの調査を行った。

葉は樹冠外側部の未着果枝のほぼ中央部より採取し、果実は同様に樹冠外側部より採取した後、へた部を除いて赤道面で切断し、果頂部側を上部、基部側を下部とし、これをさらに果皮（ほぼ石細胞層より外側部）および果肉とに区分した。試料は常法によって乾燥後、硝酸、過塩素酸で湿式灰化したものについて、Pはバナドモリブデン酸法で比色定量し、K, Ca, Mg, Mn

および Fe は原子吸光光度計で定量した。なお、N はキルダール法で定量した。さらに Mn, Fe, Mg の含量について点検し、Zn, B, Ni, Cr, Mo および Al についても吟味するために、島津高周波プラズマ分析装置 ICPQ-100 を用いて定量した。その発光条件は周波数 27.12MHz, 出力 1.6kw, 反射波 5w 以下, 冷却ガス Ar10.5l/min, プラズマガス Ar1.5l/min, キャリヤーガス Ar1.0l/min, 試料吸上量 2.2ml/min, 光源観測高 15mm である。

また、土壌分析についてはそれぞれの圃地より数か所にわたり、深さ 15cm および 30cm 部位より採土し、風乾後 40メッシュのふるいを通したもののについて、K, Ca, Mg および置換性 Mn は試料 5 g を 1 N 酢酸アンモニウム 100ml, 水溶性 Mn は試料 10 g を水 20ml, 易還元性 Mn は試料 1 g を 0.2% ハイドロキノン含有 1 N 酢酸アンモニウム 25ml で 28 時間振とう浸出後、それぞれ原子吸光光度計で定量した。

健全果皮部および緑斑果皮部の表皮系の差異については、試料を FAA 液で固定後、パラフィン切片法によって観察し、果面の表面構造は FAA 液で固定後エタノールで脱水し、酢酸イソアミルに置換して臨界点乾燥を行い（日立臨界点乾燥装置 HCP-1 型）、アルミ試料台に貼り付けて金蒸着し、日立 HHS-2 R 型

走査電顕を用いて比較観察した。

果皮のクロロフィルおよびカロチノイド含量については、全クロロフィルはそのエタノール溶液を Smith-Benijez 法により、全カロチノイドはその石油エーテル溶液について  $\beta$  カロチンの吸光係数を用いて算定した。

また、葉および果実への  $^{54}\text{Mn}$  の分布動向を調査するため、鉢植えの 8 年生富有を用いて、1976 年 10 月 16 日午前 10 時より 4 時間、 $^{54}\text{MnCl}_2$  溶液 (100  $\mu\text{Ci}$ , 2 ml, pH 1.5) を基部に環状剥皮した結果母枝より注入し、処理 2 週間後に結果枝頂部の葉ならびに結果枝中央部の果実についてオートラジオグラフを作成した。

## 結 果

### 1. 葉および果実内の無機成分含量の変化

健全圃および緑斑症果常発圃における葉、果実内の無機成分含量の経時的消長は、第 1～2 図に示すとおりである。

葉内含量では N, P, K, Mg および Fe については、いずれも大きな差異はみられなかったが、Ca では概して健全圃のほうが高い傾向を示し、とくに Mn 含量は常発圃のほうが明らかに高い事実が認められた。

果皮ならびに果肉についてみると、ほぼ葉内含量の

Table 1. Mineral nutrient concentrations in the peel of persimmon fruit  
(CV. MATSUMOTOWASEFUYU) (1978)

Collecting fruit		(ppm)									
		Elements									
		Zn	B	Ni	Mn	Cr	Fe	Mg	Cu	Mo	Al
(Aug.)											
Fruit in Persimmon trees in abnormal orchard	A	0.625	0.211	ND	1.557	ND	0.634	4.289	ND	0.337	ND
	B	0.566	0.098	ND	5.645	0.004	0.668	4.624	ND	0.371	0.012
Normal fruit	A	0.762	0.080	ND	0.569	ND	0.598	4.266	ND	0.336	ND
	B	0.728	0.103	ND	0.571	0.007	0.712	4.496	0.007	0.505	ND
(Sep.)											
Greenish spotted fruit	A	2.398	0.043	0.029	1.573	ND	0.825	4.157	0.041	0.338	ND
	B	2.092	0.053	0.011	1.641	0.078	0.824	4.385	0.043	0.636	0.039
Normal fruit	A	2.148	0.051	ND	0.368	0.011	0.812	4.349	0.053	0.522	0.019
	B	1.869	0.040	ND	0.356	0.013	0.729	4.078	0.048	0.761	ND
(Oct.)											
Greenish spotted fruit	A	0.967	0.063	ND	1.397	0.014	0.584	4.231	0.002	0.627	ND
	B	0.313	0.042	ND	1.202	0.013	0.455	3.861	0.004	0.729	ND
Normal fruit	A	0.584	0.059	ND	0.447	0.019	0.579	4.262	0.004	0.831	0.045
	B	0.408	0.066	ND	0.423	0.017	0.664	4.243	0.007	0.887	0.240

A : Upper part of fruit

B : Lower part of fruit

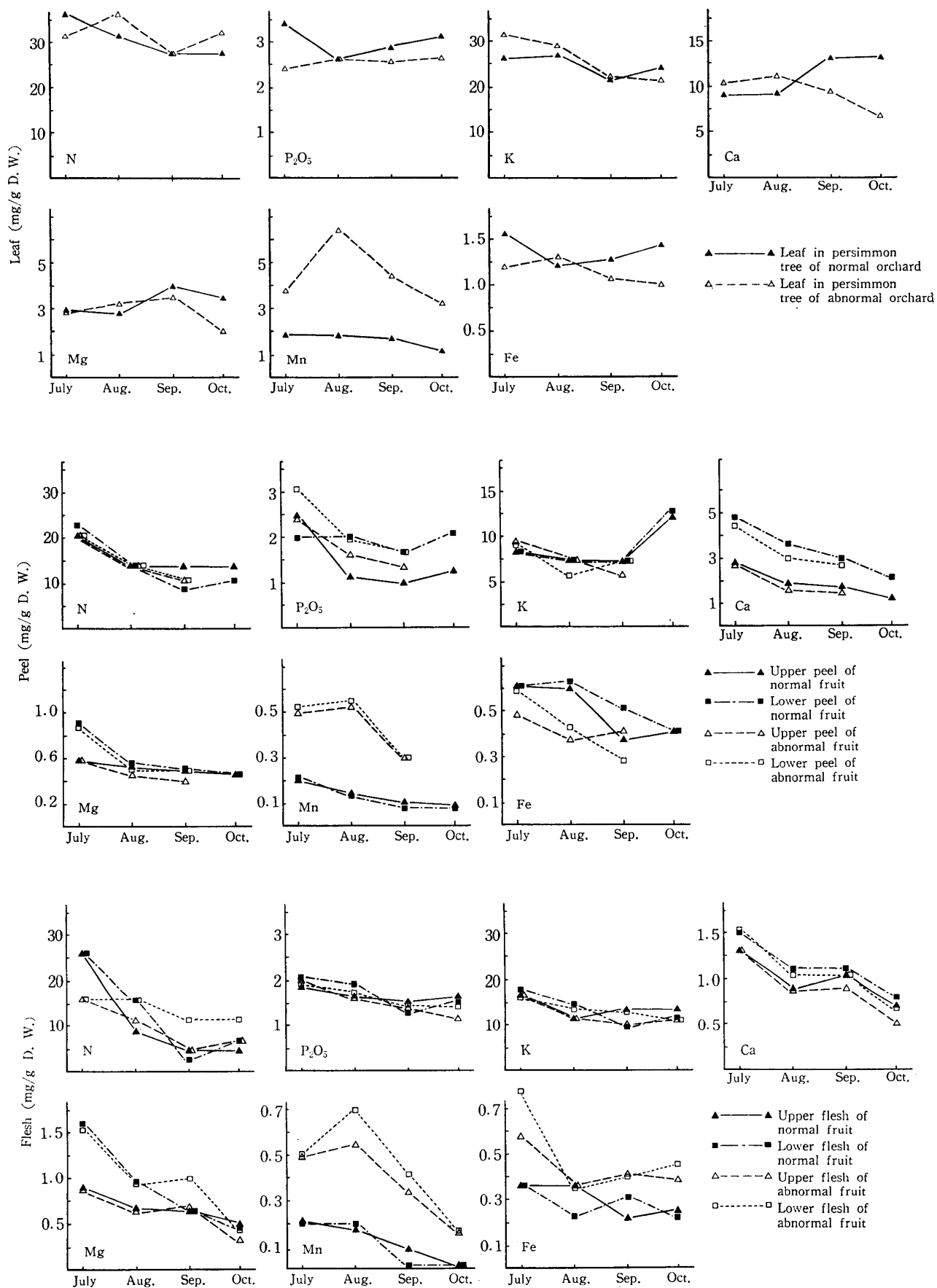


Fig. 1. Changes in mineral contents in the leaf and fruit (peel, flesh) of persimmon (CV. MATSUMOTOWASEFUYU) (1975)

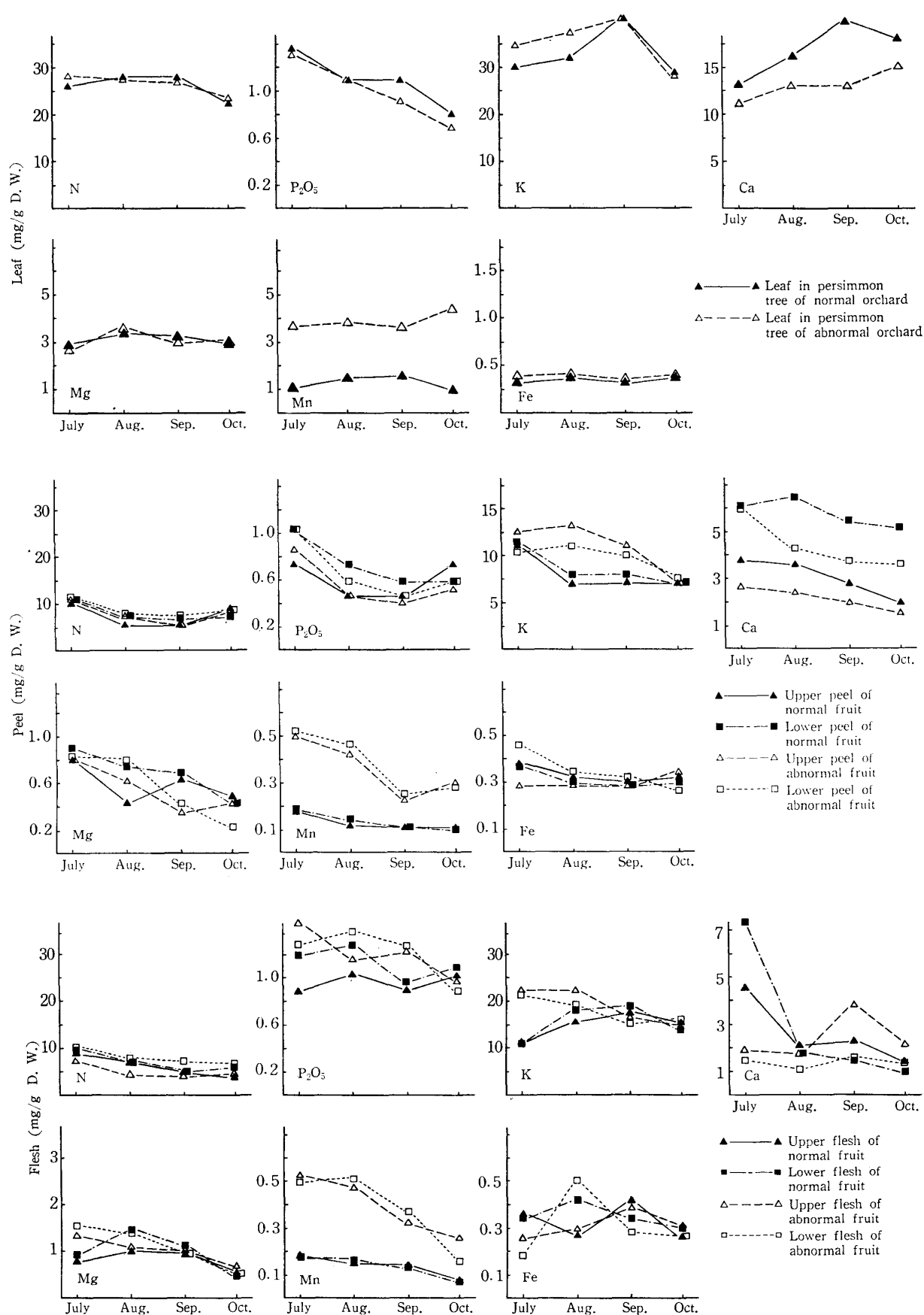


Fig. 2. Changes in mineral contents in the leaf and fruit (peel, flesh) of persimmon (CV. MATSUMOTOWASEFUYU) (1976)

消長と同様な傾向を示し、Mn はいずれも上部、下部を問わず明らかに発生果は、健全果より著しく高含量であった。

また他の無機成分含量は、上部と下部の区分によって一定の傾向を示さなかったが、Ca では健全果と発生果とを問わず、上部側で含量の低い結果が認められた。

これをさらに成熟期において、葉および果皮内の Mg, Mn および Fe についてその含量を調査した結果は、第3図に示したとおりいずれの場合でも、Mn 含量は発生果のほうが著しく高いことが認められた。

なお、発生園より採取した葉および果実内の Mn 含量は、2か年の調査を通じて7月以降の経時的变化は、いずれもその含量は高く推移した。また葉および果実内の Fe 含量は、年度によっては発生園で低い結果を示したが、3か年の調査結果からは必ずしも明確な傾向を指摘するまでには至らなかった。

次に、これらの無機成分含量の消長について、直接、間接に生育に関与すると考えられる微量元素を含めて、高周波プラズマ分析を行った結果は第1表に示すとおり、元素によっては季節的に若干の差異はみられるが、Zn, B, Ni, Cr, Fe, Mg, Cu, Mo, Al では健全果と緑斑症果との間には差異がみられなかった。しかし Mn 含量は明らかに緑斑症果で高い結果が認められた。

## 2. 土壌中のおもな塩基および水溶性、置換性ならびに易還元性 Mn の変化

体内の無機成分含量の消長と、土壌中の無機成分の動向との間には当然密接な関連を示すものである。この点で、土壌中のおもな塩基として K, Ca, Mg および水溶性、置換性ならびに易還元性 Mn 含量を調査した結果、第4図に示すとおり K, Ca, Mg とともに6月では健全園のほうが含量はやや高い傾向を示したが、10月では大きな差異が認められなかった。これに対して水溶性、置換性および易還元性 Mn は、時期ならびに深さを問わず、いずれも常発園土壌のほうが著しく高含量であり、健全園土壌とは明確な差異が認められた。

## 3. 果実の表皮系組織および表面構造の変化

果実に発生した緑斑部位はくぼみ、かつ緑色が残る外観を示すが、健全部位と緑斑部位の表皮系組織を比較観察した結果、図版2に示すとおり健全部位では、表皮細胞および数層の亜表皮細胞、ならびにこれに続く石細胞群は整然と配列されているのに対して(図版2,1)、緑斑部位では亜表皮細胞が崩壊し、これにともない表皮細胞の配列およびクチクラ層の厚さも不規則

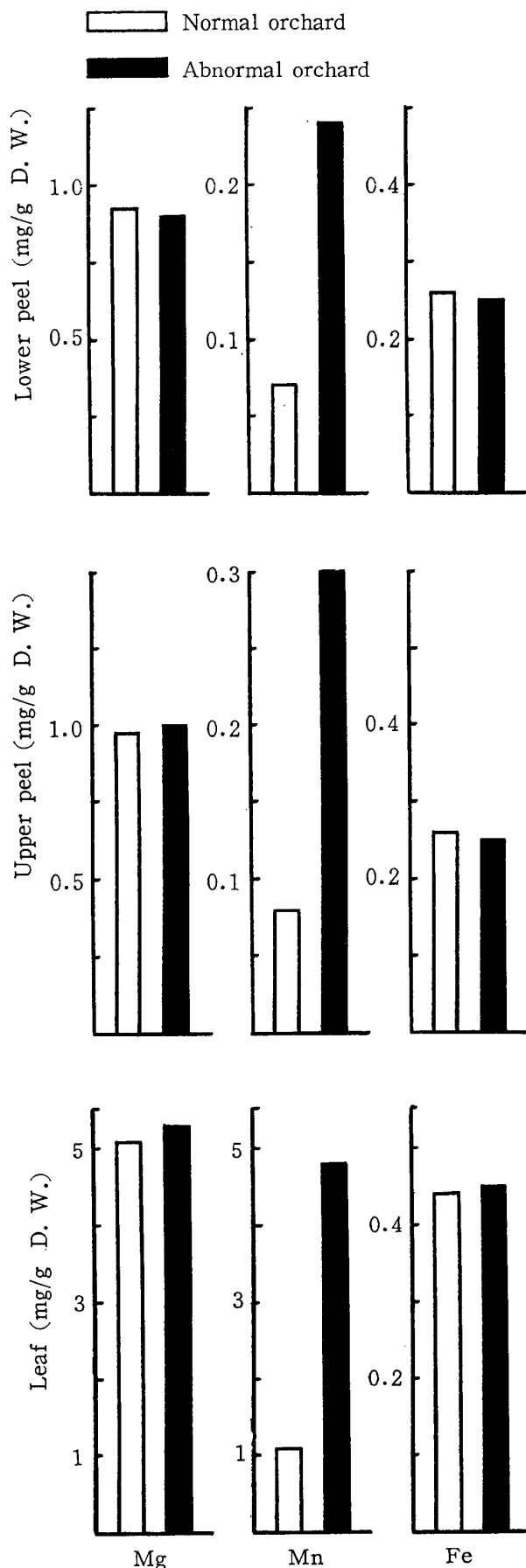


Fig. 3. Mineral contents in leaf and peel of persimmon (CV. MATSUMOTOWASEFUYU) (1978)



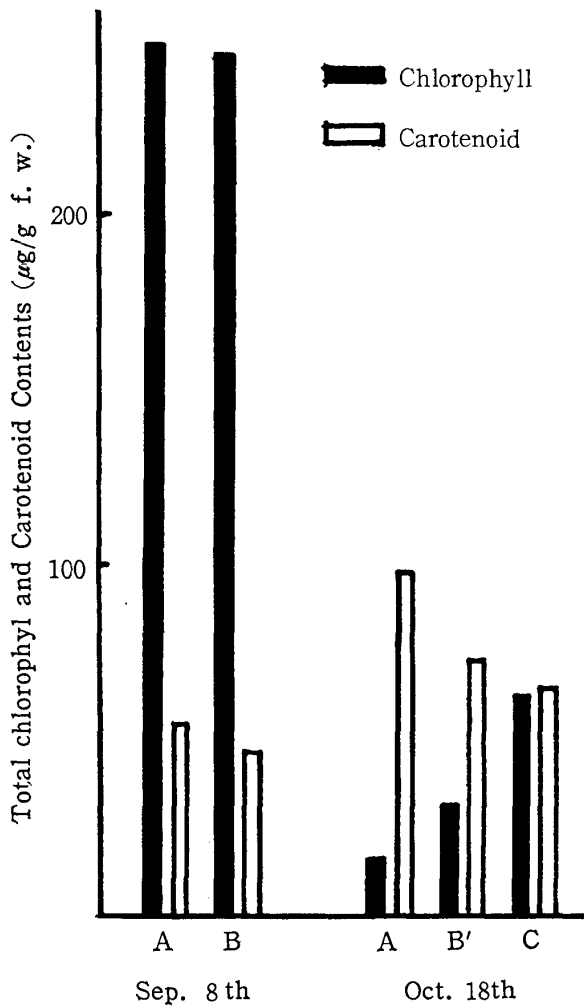


Fig. 5. Changes in total chlorophyll and carotenoid contents in peel of persimmon fruit (CV. MATSUMOTOWASEFUYU)

A : Normal fruit B : Fruit in persimmon tree of abnormal orchard. B' : Greenish spot fruit C : Greenish spotted part only

り、葉では中肋および支脈での明らかな吸収移動分布が認められ（第6図、1）、果実では果梗部およびへた基部での移動分布が認められたが（第6図、2）、果皮側への分布は明らかでなかった。

これは処理日が果実発育第3期中期以降であり、果実への取込みが積極的でなかったこと、あるいは吸収量、吸収時間および注入部位などが関係するものと思われるが、いずれにしても維管束系を通じて取込まれることは明らかであり、今後 Mn の果実内への移動形態あるいは果皮部での局在性をも含めて、さらに詳細に検討する必要がある。

#### 考 察

カキの緑斑症果の発現実態は、年次によって発生の程度に差異があり、常時発現がみられる園地において

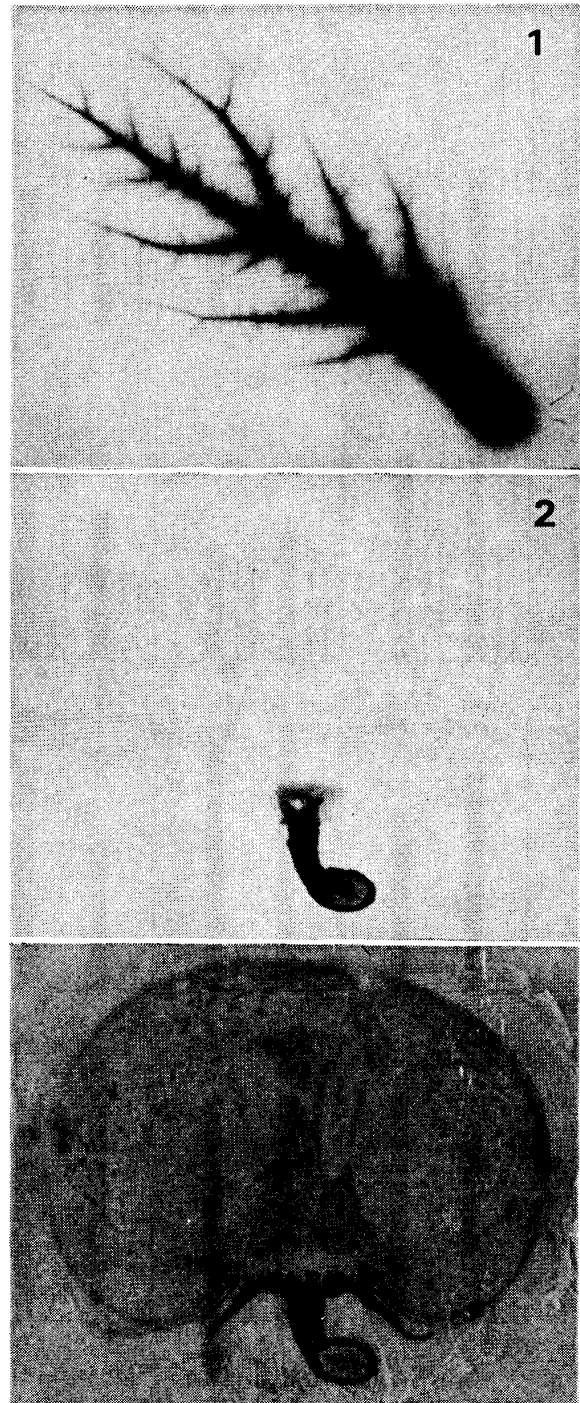


Fig. 6. The status of autoradiographs in leaf and fruit of persimmon using  $^{54}\text{Mn}$

Distribution of  $^{54}\text{Mn}$  was recognized in midrib and blanched rib of leaf (1), and that of fruit was recognized in fruit stalk and calyx end only (2)

も個体によってその程度に相違がみられる。また、同一樹冠内においても、外側部、内側部あるいは頂部、基部を問わずに発現し、必ずしも一定の傾向を示さない。

これら緑斑症果の発現について、松本早生富有園での調査結果によると<sup>1)2)</sup>、常発園における葉および果実の Mn 含量は、健全園より採取したものに比べて著しく高い事実が認められ、また実際に Mn の土壤施用によって果実内 Mn は増加し、緑斑果率も増大したことが認められている。

さらに、土壤中の水溶性ならびに易還元性 Mn 含量は常発園のほうが高く、またとくに Ca 含量の低いことが指摘されている。

本調査の結果においても同様な傾向が認められ、葉、果皮および果肉のいずれを問わず、緑斑症発生園のほうが著しく Mn 含量が高く、かつ経時的にも明らかに高い傾向が認められた。なお、Ca 含量については健全果と緑斑症果とを問わず、果頂部側は基部側に比べて低いことが認められて注目された。

いずれにしても、緑斑症果発生園での葉および果実内 Mn 含量は明らかに高く、しかも着色期以前からその傾向が認められたことより考えて、土壤中の無機成分含量の動向が注目される。この点についての本調査結果では K, Ca, Mg については一定の傾向はみられなかったが、水溶性、置換性および易還元性 Mn のいずれも発生園のほうが明らかに高含量であった。

これらの調査結果からみると、緑斑症果の発現は Mn の過剰吸収によって生じる栄養生理的障害であるものと推定される。

ところで、一般に土壤中 Mn は 2 価、3 価および 4 価の形で存在することが知られ、とくに置換性  $Mn^{++}$  は土壌 pH および酸化還元状態によって著しく変動することが明らかにされており、土壌 pH が低下すること、あるいは酸化還元電位が低下することによって、著しく  $Mn^{++}$  の増加することが認められており、このことは果樹園土壌の土壤管理実態と密接に関連することを示している。

近年カキ園の施肥量については、16年生以上の成木園で標準収量 2.5t/10a を基準として、N 20kg, P 9 kg, K 16kg 程度を標準とする場合が多いが、佐藤ら<sup>3)</sup>の調査によると10数年以前ではこれらをかなり上回る施肥実態がみられ、また傾斜地における雑草草生などにみられるように、果樹園土壌管理の省力化にともなう結果として、永年にわたって土壌条件の劣悪化が進み、土壌 pH の低下とともに易溶性 Mn が増加して、その過剰吸収をみるに至ったものと思われる。

元来、カキは温州ミカン、クリなどについて、比較的他の果樹に比べて耐 Mn 性は高いものと思われるが、その耐性の機構は別として、普通の植物では地上部の Mn 含量が 2,000ppm を越えれば、なんらかの

生育異常を示すことが多いとされており<sup>4)</sup>、本実験結果に示すとおり、緑斑症発生樹の葉および果皮では Mn 含量はそれぞれ 6,000ppm および 500ppm にも及んでいる。カキの Mn 過剰障害については全く報告されておらず、しかも本調査でみる限り葉および新しうなどでは特異な症状はみられず、果皮部にのみ緑斑症状を呈する点は注目される。

この場合、表皮系の組織的観察の結果にみられたように、果皮の緑斑症部では明らかに亜表皮細胞の配列異常ならびに崩壊がみられる特徴を示したこと、さらに果頂部周辺を中心として局所的に緑斑が発現することは、果実中では果皮部さらにはその特定部位に Mn が局在的に集積することを示している。

その理由は明らかではないが、一般に土壤中に易溶性 Mn が多い場合に、比較的容易に Mn は吸収移動するといわれ、本調査の結果にもみられるとおり、維管束系を通じて吸収されることが明らかである。

ところで、カキ果実では果梗部を通じる維管束は、へた部および果肉中央部に幹脈が分布し、とくに果肉部ではさらに細脈が果皮部側へ数多く分布している。本調査の  $^{54}Mn$  の分布調査では明らかではなかったが、これらの維管束系を通じて吸収された Mn は、容易に果皮部側へ吸収移動することが予想されるところである。

しかも、体内の localization は概して比較的若い組織に多く集積される事実が認められており、果皮部側への移動集積は、果実内組織の aging の差異によるのかも知れない。

次に、植物体内における Mn の生理的機能についてみると、とくに近年においては細胞内の基本的代謝過程に働く、Isocitric enzyme, Malic enzyme および Phosphoenol pyruvate Carboxylase などの酵素賦活剤となることが知られており<sup>4) 5)</sup>、これが欠乏するとタンパク合成が阻害されるといわれる。

また、通常葉中 Mn の60%以上が葉緑体に存在し、植物合成の明反応における光合成系 II において、酸素発生に関与しているとされており<sup>6)</sup>、したがって Mn 欠乏の場合は、光合成活性が弱まることが知られ、カキでは葉脈間に黄緑ないし淡緑色の斑入りを生じることが認められている<sup>7)8)</sup>。

一方、植物体での Mn 過剰吸収の障害と考えられるものは、その詳細についてはなお明らかではないが、直接間接の影響をみると、Fe との拮抗現象による Fe/Mn 比の不均衡によって起こる生育障害<sup>9)</sup>、あるいは細胞の生理代謝過程でのアミノ酸生成のアンバランスによる代謝障害が考えられるが<sup>1)</sup>、当調査の結果



からは Fe との拮抗による明らかな関連性を指摘するまでには至らず、本症状の発現の一原因として、むしろ Mn の過剰吸収によって、とくに垂表皮細胞でのアミノ酸の合成に異常を来し、このことが組織内のアミノ酸の不均衡状態を生じ、タンパク合成にも悪影響を及ぼす結果、細胞の障害すなわち、細胞膜の解離、崩壊が誘起されるもののように考えられる。なお、この場合に果実内でとくに果頂部側において、Ca 含量が低いことも関連しているのかも知れない。さらに、クロロフィルの退化ならびにカロチノイドの発現に対しても、これら細胞の代謝異常に基くものと思われる。

ただ本症状では、何故果皮部でかつ部分局在性を示すかについての理由は、現在のところ定かでない。

果樹における Mn 過剰障害として知られる、温州ミカンの異常落葉において、葉に茶褐色の斑点を生じることも多く、かつこの斑点部では著しい Mn 集積が認められている<sup>10)11)12)</sup>。またリンゴの粗皮病においても、とくに樹皮部での褐変亀裂が認められる<sup>13)14)</sup>など、Mn 集積の局所性は作物の種類、部位あるいは age によってかなり相違するようであるが、今後果樹の種類間の耐 Mn 性を比較する上で興味あるところであろう。

次に Mn の過剰症状に対する抑制についてみると、アブラナ科植物、ジャガイモ、エン麦などについて、Ca の施肥は Mn の過剰による症状を抑え<sup>1)</sup>、大麦ではケイ酸の添加によって、葉に Mn が局所的に集積することを防止する報告がみられ<sup>15)</sup>、また同様に大麦の水耕実験では、NH<sub>4</sub>-N は NO<sub>3</sub>-N に比べてその吸収を抑制することが認められている<sup>16)</sup>。

カキでは Ca の施用によって、明らかに地上部での Mn 含量が低下し、緑斑症状の発現は抑制されることが認められているが<sup>1)</sup>、本調査の結果からみても、本障害は土壤中の可溶性 Mn の増大がおもな要因となっており、Ca の土壤施用によって土壤 pH を高める結果、可溶性 Mn が低下することによりその発現が抑制されるものと思われる、その意味では当然のことであるが数か年にわたり Ca 施用、深耕、有機質の補給など、土壤条件の改善によって本障害の発現を抑制することができるものと考えられる。

なお、環境条件として光および温度要因が、植物の生育速度を早めるような条件下では、かえって Mn の過剰吸収による障害の発現を助長することが認められており<sup>4)</sup>、さらにカンキツ類において、土壤水分が低下する条件下ではかえって Mn 含量が著しく低下する報告<sup>17)</sup>がみられるなど、諸種の土壤条件および気

象条件によってもその発現程度に差異を生じることが考えられ、これら要因の相互の関係から、実際にカキの緑斑症状の発現に年次変動がみられるものと思われる。

したがって、その発現に及ぼす環境条件についても今後の検討が望まれるところである。

謝辞：本研究に当たり、オートラジオグラフの作成について、放射線医学総合研究所白石義行氏のご指導を受け、現地での資料採取に際しては奈良農試飯室聡氏の援助を受けた。心からお礼申し上げる。また当研究室の井上薫、麓勝文、加藤熊一郎君の熱心な調査協力を受け、さらに本研究の一部は文部省科学研究費によって実施したものである。ここに記して謝意を表する。

## 引用文献

- 1) 飯室 聡, 小野良充, 松本好弘, 福長信吾, 黒田喜佐雄(1980). 奈良農試研報. **11**: 1-13
- 2) 村田隆一, 大石良平, 沖嶋秀史(1974). 滋賀農試研報. **16**: 89-96.
- 3) 佐藤公一, 石原正義, 若林莊一(1954). 農技研報. **E**, **3**: 169-186
- 4) 高橋英一(1974). 比較植物栄養学. 養賢堂
- 5) Anderson, I. C. and H. J. Evans (1956). Plant Physiol. **31**: 22-28
- 6) 熊沢喜喜久雄(1974). 植物栄養学大要. 養賢堂
- 7) 佐藤公一(1963). 果樹の施肥と土壤. 朝倉書店
- 8) 田中宏一(1967). 農及園 **42**: 1653-1656
- 9) Wutscher, H. K. and C. Hardesty (1979). J. Amer. Soc. Hort. Sci. **104**: 9-11
- 10) 青木 朗, 森田修二(1966). 土肥誌. **37**: 600-604
- 11) 神吉久遠, 矢島邦康, 浜口克己(1968). 園学雑. **37**: 51-56
- 12) 石田雅士, 傍島善次, 山本喜啓(1968). 京府大学報, 農. **20**: 12-20
- 13) 青木二郎(1966). 園学雑. **35**: 1-7
- 14) 長井晃四郎, 一木 茂, 泉谷文兄, 清藤盛正, 桜田 哲, 鎌田長一(1965). 園学雑. **34**: 265-271
- 15) Vlamis, J. and D. E. Williams (1962). Plant Physiol. **37**: 650-655
- 16) Williams, D. E. and J. Vlamis (1956). Plant Physiol. **32**: 404-409
- 17) Slowik, K., C. K. Labanauskas, L. H. Stolzy, and G. A. Zentnryer (1979). J. Amer. Soc. Hort. Sci. **104**: 171-175

Plate 1. The status of greenish spot disorder in persimmon fruit (CV. MATSUMOTOWASEFUYU)  
 A : Normal fruit

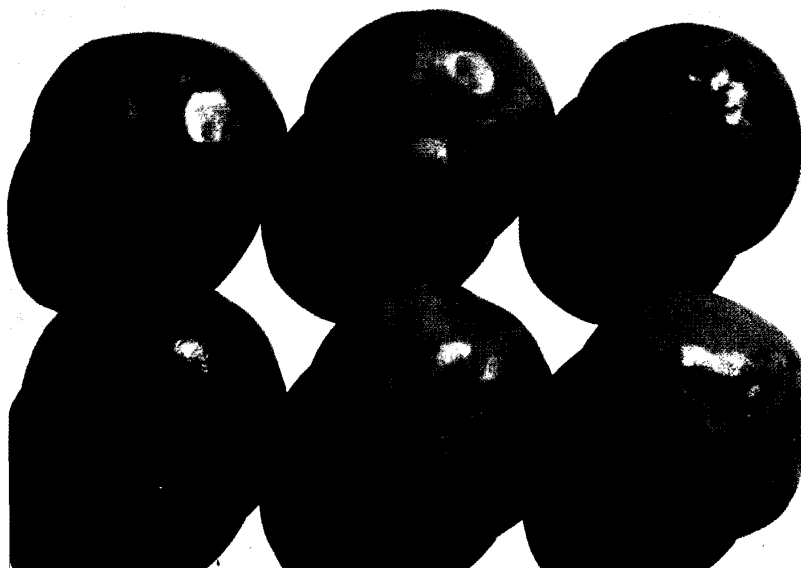
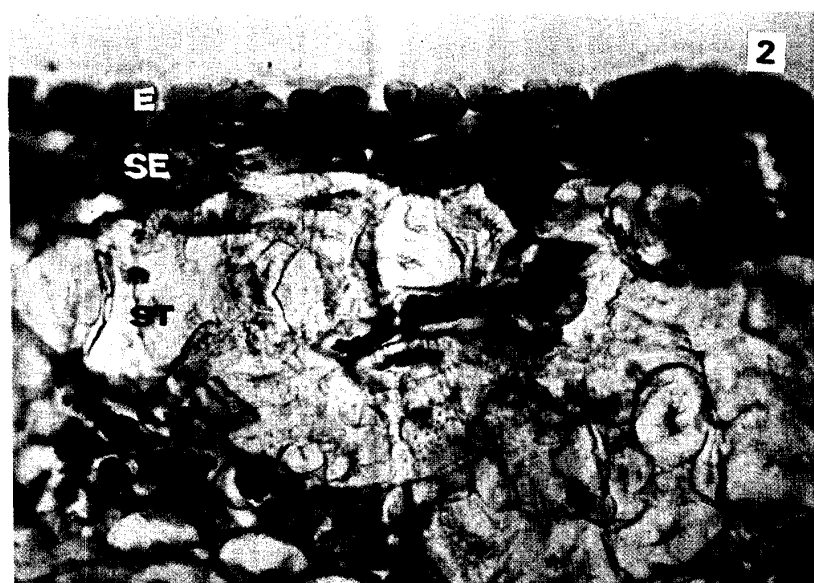


Plate 2. Changes in epidermal tissue of persimmon fruit (CV. MATSUMOTOWASEFUYU)

1; Normal epidermal tissue ( $\times 200$ ) 2; Abnormal epidermal tissue in greenish spotted part ( $\times 200$ ) E : Epidermal layer SE : Subepidermal layer S : stone cell



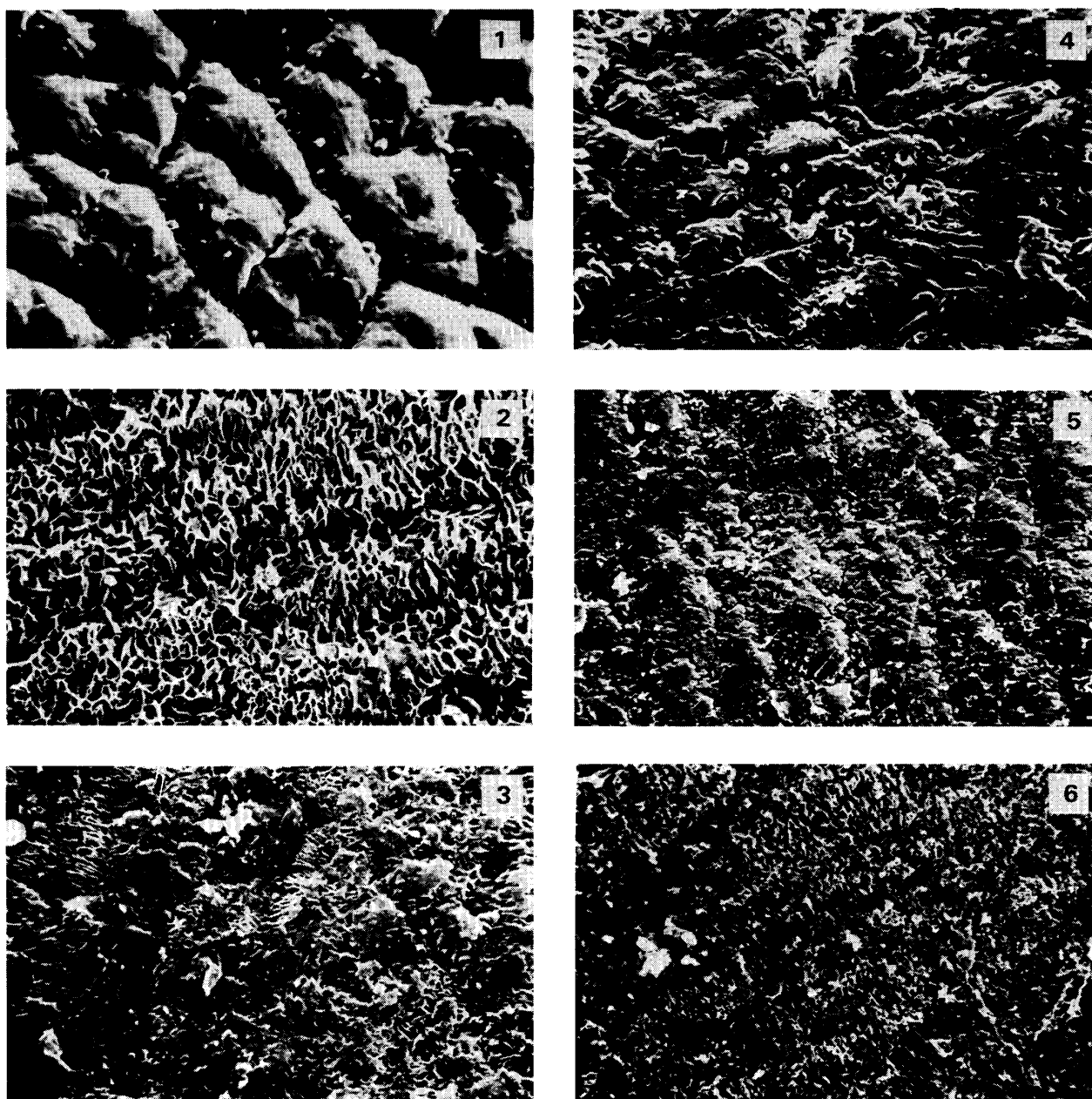


Plate 3. Scanning electron photomicrographs of peel surfaces showing wax structure in persimmon fruit

1 : May 28th ( $\times 1500$ )

2 : June 30th ( $\times 1500$ )

3 : July 10th ( $\times 1500$ )

4 : July 30th ( $\times 1500$ )

5 : Oct. 30th ( $\times 1500$ )

6 : Oct. 30th ( $\times 700$ )

Photographs of No. 1-6 shows normal fruit surfaces and that of No. 7 shows greenish spotted part surfaces

### Summary

These studies were carried out to clarify the mechanism of greenish spot disorders in persimmon fruit comparing changes in mineral contents of leaf, fruit and persimmon orchard soil, or structure of epidermal tissue in fruits.

As the results, Mn contents of fruit and leaf sampled in abnormal orchard were higher than that of normal orchard, besides water soluble, exchangeable and reducible Mn were remarkably high in abnormal orchard.

While, surface structure and pericarp parenchyma

did not differed between normal fruit and abnormal fruit. However, the breaking of subepidermal cell in greenish spotted part was observed, and creation of carotenoid and degeneration of chlorophyll were delayed clearly.

From these results, it seemed that a cause of greenish spot disorders in persimmon fruit was physiological nutrition unbalance accompanied with the excess absorption of Mn. Therefore, it was expected the cultivation manegement to reduce the soluble Mn in persimmon orchard soil.