

香 川 大 学 農 学 部 紀 要

第 23 号

1967年3月

MEMOIRS OF FACULTY OF AGRICULTURE  
KAGAWA UNIVERSITY

No. 23, March 1967

ナツダイダイの果実発育に関する研究,  
とくに水腐病の発生機構を中心として

井 上 宏

香 川 大 学 農 学 部

香川県木田郡三木町

FACULTY OF AGRICULTURE, KAGAWA UNIVERSITY

Mikityô, Kagawa-ken, Japan

## 香川大学農学部紀要

第 23 号

1967年3月発行

各研究室の業績を発表するため、本学部は“香川大学農学部学術報告”を発行しており、本年度（1966-67年）は第18巻となっている。この“紀要”は、研究の完成した比較的長い論文を発表するために発行されている。既刊の標題は表紙第3-4頁に記載されている。“学術報告”および“紀要”の交換または寄贈については、香川県木田郡三木町 香川大学農学部 あてに照会されたい。

Memoirs of Faculty of Agriculture, Kagawa University

No. 23, March 1967

The Faculty of Agriculture, Kagawa University is publishing “Technical Bulletin” (Gakuzyutu Hōkoku) (Vol. 1 in 1949-50 to Vol. 18 in 1966-67) as well as “Memoirs” (Kiyō), which contains more or less extended treatises. The titles of each number of “Memoirs” are printed on cover pages 3 and 4. Correspondence concerning the exchange of publications should be directed to Faculty of Agriculture, Kagawa University, Mikityō, Kagawa-ken, Japan.

昭和42年3月16日印刷 昭和42年3月20日発行

香川県木田郡三木町

香川大学農学部

高松市鍛冶屋町3の2

印刷所 香川印刷株式会社

ナツダイダイの果実発育に関する研究,  
とくに水腐病の発生機構を中心として

井 上 宏

Studies on the Fruit Development of Natsudaidai  
(*Citrus Natsudaidai* HAYATA), with Special  
Reference to Water Spot Injury

Hiroshi INOUE

目 次

緒 言	1
第1章 果実の形態的発育	2
第1節 果実の肥大	2
第1項 果 径	2
第2項 果 重	4
第3項 果皮の厚さの変化	5
第4項 じょうのうと砂じょうの発達	5
第5項 種 子	8
第2節 果実各部の組織の発達	10
第1項 果 皮	10
第2項 砂 じ ょ う	13
第3項 じ ょ う の う	14
第3節 考察および結論	16
第2章 果実発育にともなう生理的变化	17
第1節 呼吸強度の変化	17
第2節 果汁中の可溶性固形物および糖分含量の変化	18
第3節 果汁中の酸含量の変化	18
第4節 果実硬度の変化	19
第5節 果実比重の変化	20
第6節 果実各部の水分含量の変化	20
第7節 果実内肥料要素吸収の季節的变化	21
第1項 窒 素	21
第2項 リ ン	22
第3項 カ リ ウ ム	23
第4項 カ ル シ ウ ム	23
第5項 マ グ ネ シ ウ ム	24
第6項 第2次肥大期における果実内肥料要素吸収量	24

第8節 考察および結論	25
第3章 成熟果の水腐病	27
第1節 水腐病果の形態	27
第1項 果梗部障害	27
第2項 果頂部障害	27
第3項 水腐病の発生経過と類別	28
第4項 水腐病果皮の組織	29
第2節 水腐病発生の現地調査	30
第1項 発生時期調査	30
第2項 水腐病果の発生状態	31
第3項 栽培管理と水腐病発生	33
第3節 水腐病果の形質、品質と生理的特質	34
第1項 水腐病果の形質	34
第2項 水腐病果の品質	35
第3項 水腐病果の生理的特質	35
第4節 水腐病の発生機構	39
第1項 果皮片水浸漬による亀裂発生	39
第2項 果実表面よりの吸水	40
第3項 水腐病果皮の初期亀裂	42
第4項 果皮組織の生死と亀裂発生	44
第5項 果実表面の雨滴の付着と水腐病	45
第6項 果皮表面よりの水の浸入口	47
第7項 その他障害発生に関係すると思われる事項	49
第5節 考察および結論	49
第4章 水腐病防除対策	51
第5章 果実の収穫適期に関する考察	52
摘 要	53
引用文献	55
Summary	57

## 緒 言

わが国に栽培されているカンキツ類の中で生産量の最も多いのは温州ミカンであり、次いでナツダイダイ (*Citrus Natsudaidai* HAYATA) である。農林省統計表 (1964) によると、昭和38年度の栽培面積は温州ミカン 90,500町歩に対し、ナツダイダイ 13,300町歩であり、ナツダイダイは温州ミカンのわずか15%にすぎないが、ナジ、ブドウに次ぐ面積を占め、これからの増植および需要の見通しは大きい。

しかるに、本邦におけるカンキツの研究はほとんどが温州ミカンに限られ、それ以外のカンキツについての研究はきわめて少ない。ナツダイダイの果実の発育調査については各地の試験場報告も多いが、果実の肥大を深く追究したものは少ない。松木ほか (1939) は果実の養分吸収状態を果皮と果肉に分けて論じ、藤井ほか (1963) は果実の大きさと種子数の関係について調査し、発表している。佐藤ほか (1962) は果実のホウ素欠乏についてその欠乏対策を研究し、岡 (1955) は結実抑制に 2, 4, 5-T を散布して効果のあることを述べている。

一方、成熟期の果実に発生する生理障害として最近注目されたものに水腐病がある。本障害については愛媛県果樹試験場、同南予分場、和歌山県果樹園芸試験場および静岡県柑橘試験場の報告が見られ、透水性のない袋を果実にかけることによってその発生を防止できるとしているが、発生機構は明らかにされていない。

筆者はナツダイダイ果実の発育について、とくに越冬後の果実発育を組織学的および生理学的に研究するとともに、水腐病の発生機構を究明せんとして圃場調査と生理実験をあわせて計画実施したところ、いささかの知見を得たので、まとめて報告する次第である。

本研究を行なうに当たり、終始御懇篤な御指導と御教示を賜わつた京都大学教授小林章博士をはじめ、種々有益な御助言と御激励を戴いた愛媛大学教授倉岡唯行博士、同松本和夫博士、香川大学教授葦沢正義博士、同狩野邦雄博士、ならびに実験材料を快よく提供下さった八幡浜市および高松市の現地の方々、調査に協力下さった香川大学農学部果樹園芸学第二研究室の専攻学生および研修生諸氏に深謝の意を表す。

なお、本論文は京都大学審査学位論文を印刷に付したものである。

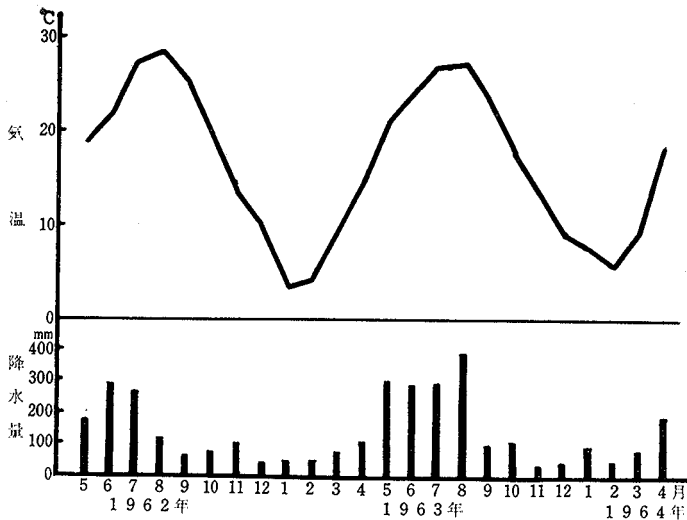
## 第1章 果実の形態的発育

ナツダイダイ果実の形態的な発育調査はすでに多く報告されているが、筆者はさらに詳細に組織的な観察をも加え、1962年から1964年にかけて果実の肥大調査を行なった。

果実の採取は、愛媛県八幡浜市向灘の浜本千十郎氏園の17年生カラタチ台普通種の樹勢中庸で結果良好な樹から行なった。本園は肥沃な結晶片岩土壌からなる南面の傾斜地カンキツ園である。

開花時（5月中旬）から収穫時まで樹上に着生した20個の同一果実について、各月の1日と16日を原則として横径と縦径を測定し、それと同時にほぼ等しい大きさの果実を時期別に月2回採取した。1回当たりの採取果実数は10-20個とし、1962-63年には一部の果実を組織学的観察のためにホルマリン・醋酸・アルコールに浸漬し、随時取出して水洗後、氷結ミクロームで切片とし、位相差装置を取付けた顕微鏡で写真を撮り、印画紙上より、各細胞の大きさを測定して組織の発達を調べた。なお、表皮細胞の表面視は、シュルチェ氏解離液で解離した表皮組織について、アルベド細胞の7月中旬以降のものは50%苛性カリ溶液にて解離したものについて観察した。

調査期間中の気温と降水量は第1図のとおりで、年平均気温16.7°C、年雨量1,601mmであった。



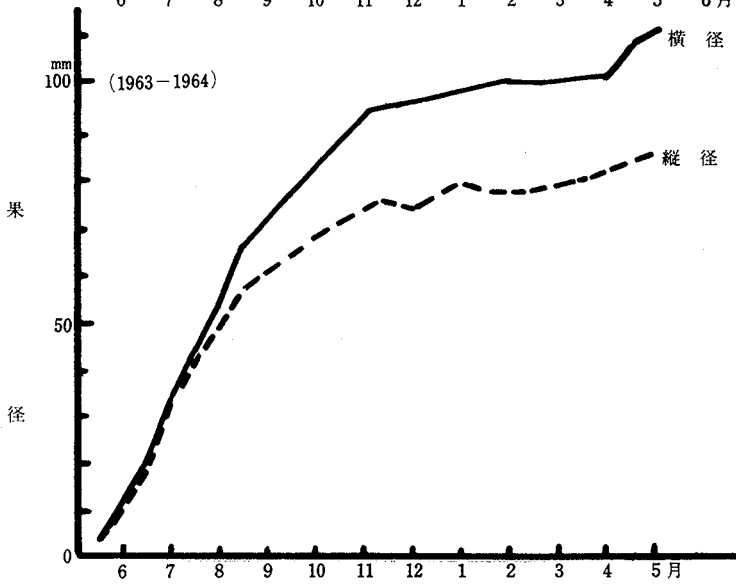
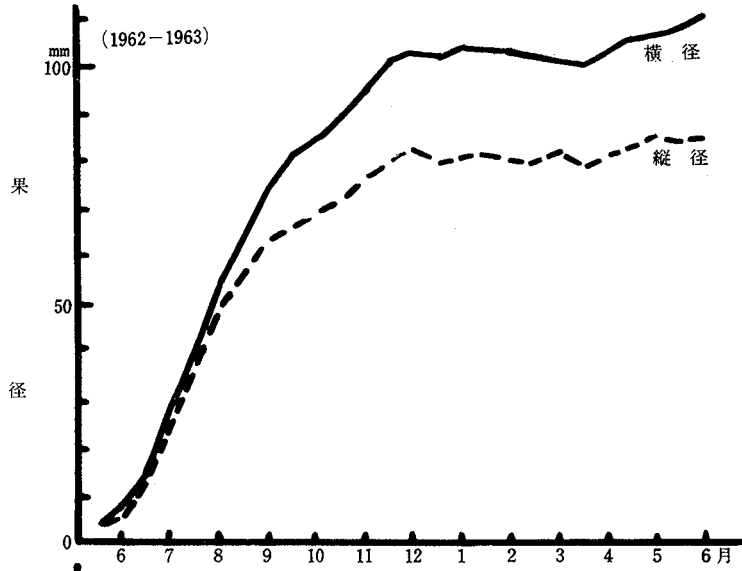
第1図 調査地の気温と降水量

### 第1節 果実の肥大

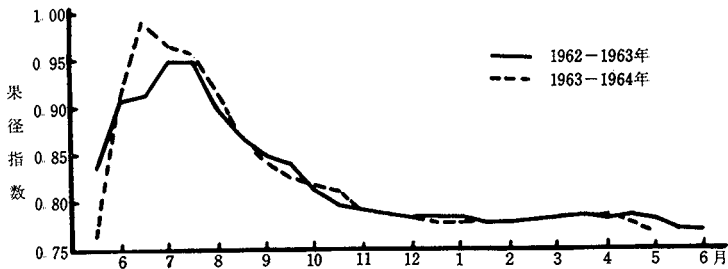
#### 第1項 果 径

開花期より成熟期まで樹上においた同一果実について横径、縦径の増加を見たのが第2図である。いずれの年も開花期の5月中旬より12月上旬まで急速に肥大を続けるが（第1次肥大期と呼ぶ）、12月中旬から翌年の2-3月上旬まではほとんど肥大を停止する（肥大停止期と呼ぶ）。この期間に寒風が強ク吹いたり、土壤の乾燥がはげしい時には果径の縮小を見ることも多い。2-3月の気温が上昇しはじめ約10°C以上となる頃から果径の肥大は再開し、収穫期まで肥大を続ける（第2次肥大期と呼ぶ）。第3章で述べる成熟果に見られる水腐病は2次肥大の初め頃から発生しはじめる。したがって、第2次肥大期の早くはじまった1963-1964年には水腐病は早く発生を見た。

次に横径と縦径の肥大の相対的な関係を見るために、後者を前者で除した果径指数の季節的变化を見ると第3



第2図 果径の肥大



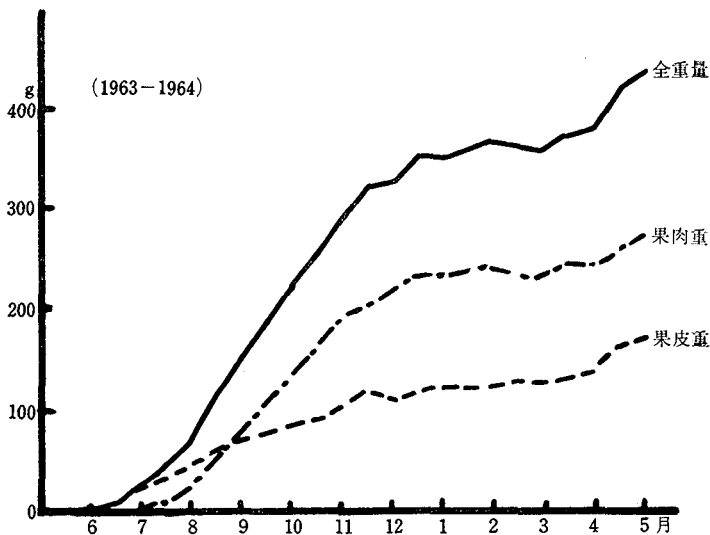
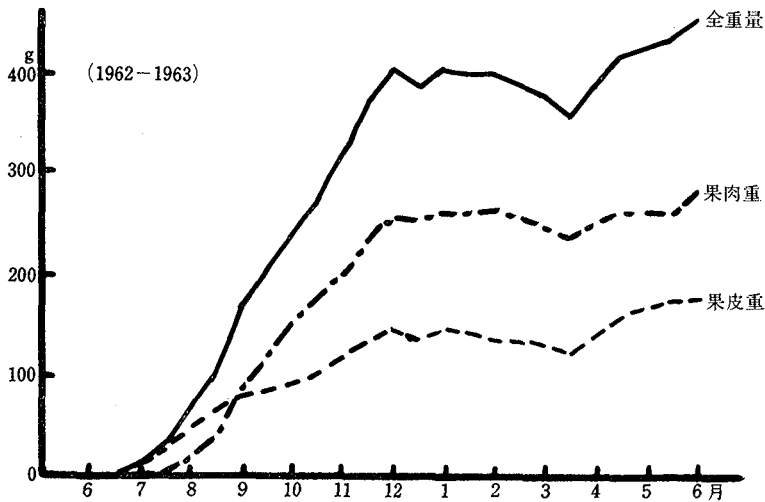
第3図 果径指数曲線

図のとおりで、開花期より指数は急速に大となり、6月中～7月中旬に最大に達し、以後急速に低下して果実の発育を停止する12月上旬には0.77-0.78の値を示した。第2次肥大期が始まると、横径、縦径ともに肥大し、しばらくすると横径の肥大が大となり、指数はやや小となった。

第2項 果 重

果径測定の時時期に、それに近い果径をもった果実10個を採取し、果実重を測定し、さらに果皮と果肉（種子を含む）に分けて、それぞれの重量を測定した（第4図）。果径の肥大と同様に、開花後から12月上旬まで急速に果重は増加したが、肥大停止期に入ると採取の誤差や、寒風などによる果実からの失水もあってか、果重が減少する場合もあった。第2次肥大期に入ると再び果重は増大した。

果実発育の初期は砂じょうがまだ小さく、果実はほとんど果皮で占められるが、次第に果肉重を増し、9月上旬に果皮重と果肉重が等しくなり、以後は果肉重の増加がいちじるしく、第1次肥大期の終りには果皮は33-



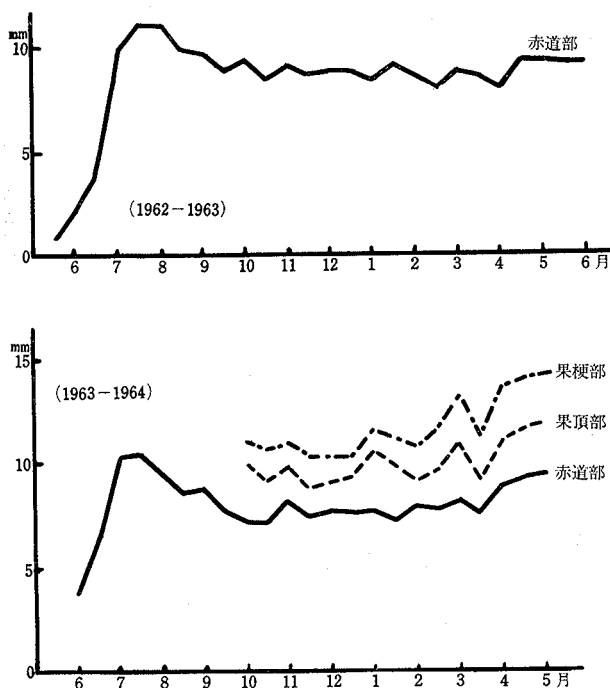
第4図 果実重の変化



35%となった。第2次肥大型に入ると果肉よりも果皮の肥大がいちじるしく、4-5月の収穫期には果重の40%内外を果皮で占めるようになった。

**第3項 果皮の厚さの変化**

成熟果の果皮の厚さは赤道部が最も薄く、次いで果頂部で、果梗部が最も厚い。赤道部の果皮の厚さの季節的变化を見ると第5図のとおりで、開花期から7月中旬まで急激に増加して約10-11mmに達し、以後は減少して7-8mmの厚さで第2次肥大型を迎える。翌春より厚さは再び増大する。1963年10月から果梗基部と果頂部の果皮の厚さを同時に測定したが(第5図の下)、第2次肥大型に入ると果梗基部と果頂部の果皮の厚さの増加が、赤道部のそれより大であり、この両部で果皮が幾分盛り上り、果実内部を見ると果肉より離れ浮皮果となるものも多い。

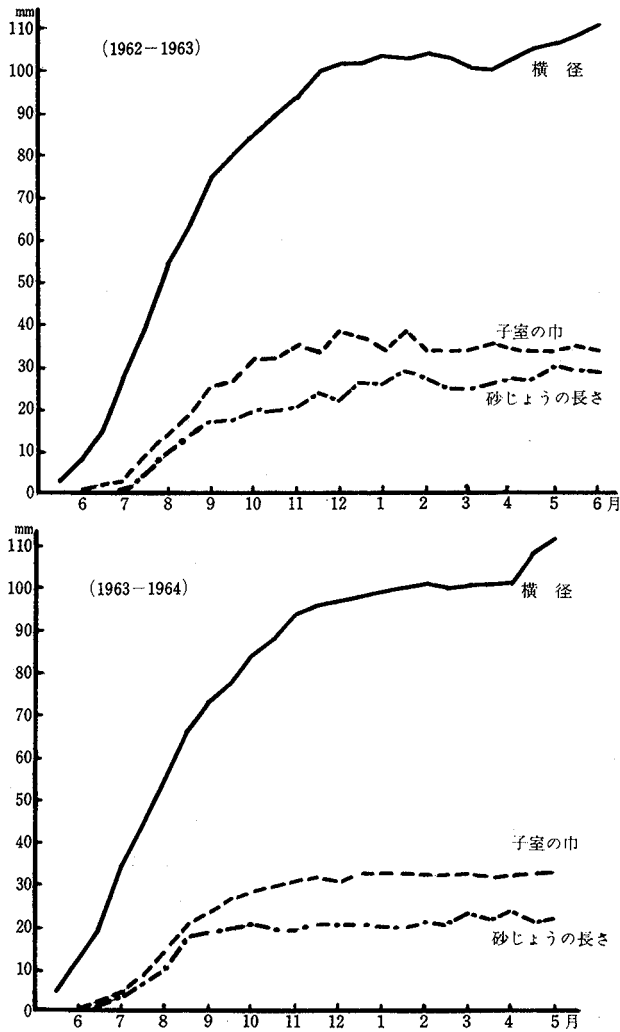


第5図 果皮の厚さの季節的变化

**第4項 じょうのうと砂じょうの発達**

じょうのう数(子室数)は開花期前にすでに決定しており、多数の果実について調査したところ平均値は1果当たり12.4個であった。じょうのうの長さや巾について測定したところ第6、7図のとおりで、第1次肥大型には巾は果実横径と、長さは縦径の肥大とその傾向は同じであったが、第2次肥大型にはほとんどじょうのうの大きさは変化しなかった。

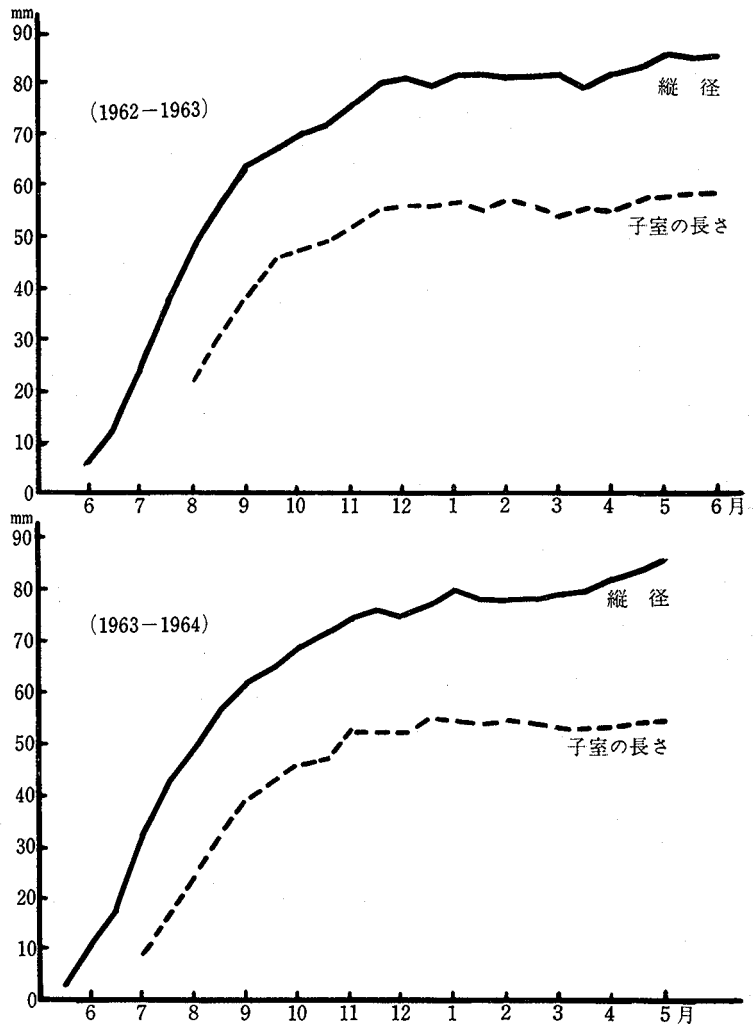
果実の横径を構成するものは赤道部の果皮の厚さとじょうのうの巾に加えて果心の空隙であるが、この果心の細胞は後述のアルベド細胞と同じく最初球形に近い細胞が次第に突起を出し、くもの足状となり、第2次肥大型には崩壊して全くの空隙となる。さらに、次第にその大きさを増し果実は縦径よりも横径が大きい扁平果となっていく。



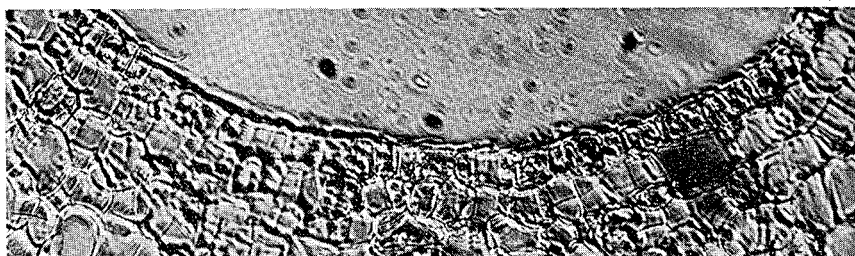
第6図 果実の横径、子室の巾および砂じょうの長さの季節的変化

じょうのう内の砂じょうについてその長さとじょうのうの巾の変化を見ると第6図のとおりである。砂じょうは花の満開期（5月中旬）に子室内壁の一層の細胞から発生し（第8図）、次第に伸長し、紡錘形の本体と柄に分れ、本体の長さとしを増し、じょうのう内を満していく。成熟果1果当たりの砂じょう数は2,500~3,000であった。赤道部と果梗部の中間の位置の砂じょうが比較的大きい傾向にあるが、じょうのう内の砂じょうの大ききの分布には一定の傾向は認められず、長さ5mmぐらいのものから25mmぐらいまであり。じょうのうの巾より長いものは存在しない。それでもじょうのうが果心の方まで満されているのはじょうのう側面から発生した砂じょうによるものである。第6図の測定値はじょうのう内の位置を問わず比較的大きい砂じょうについての平均値である。じょうのうの果梗側や果頂側の端、または赤道部脊面より発生する砂じょうは柄が非常に短かく、本体の形も太短いものが多い。

砂じょうは第1次肥大期には急速に伸長するが、果径の肥大停止期には伸長を停止し、第2次肥大期には再び



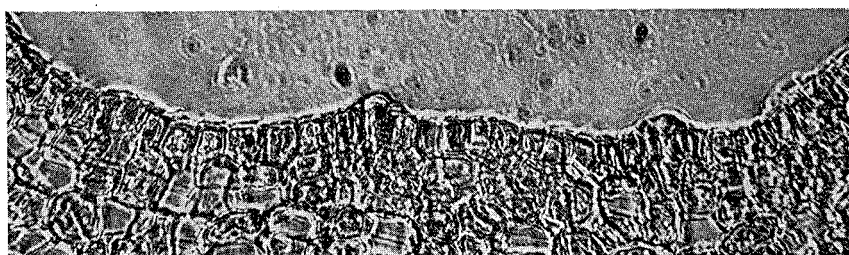
第7図 果実の縦径および子室の長さの季節的変化



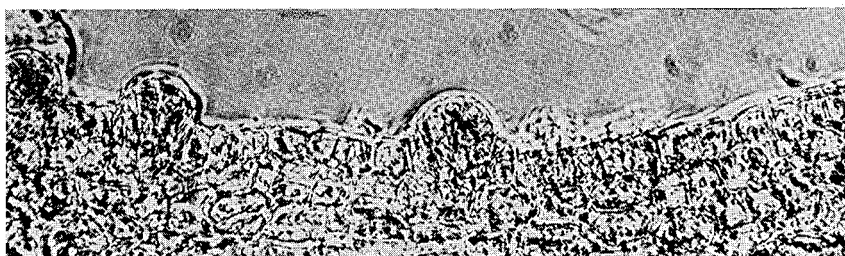
5月8日



5月12日



5月16日  
(満開期)



5月20日

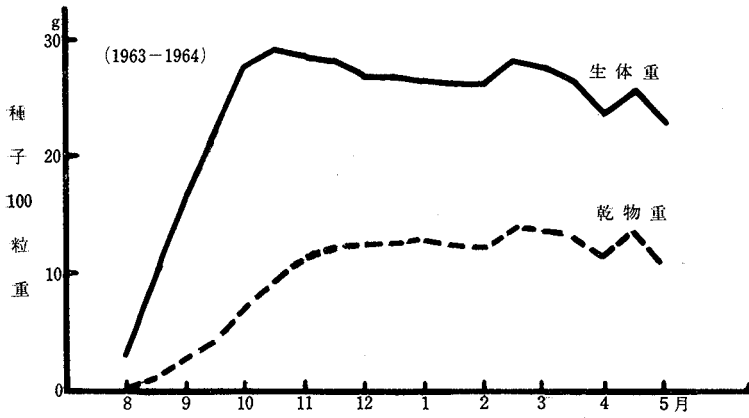
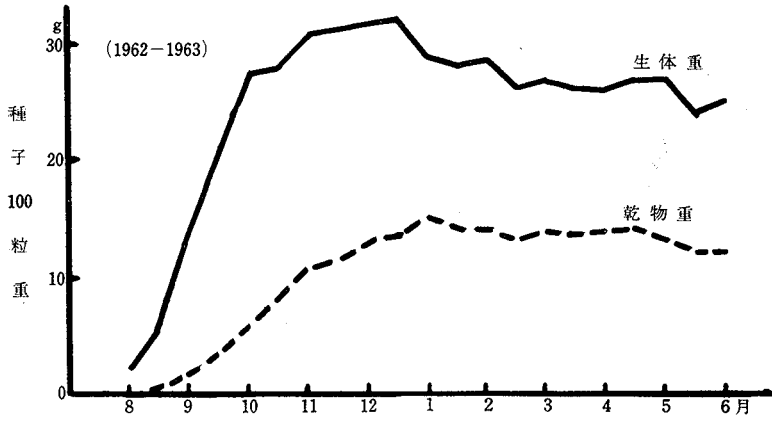
第8図 砂じょうの発生(1962)

わずかに伸長する。

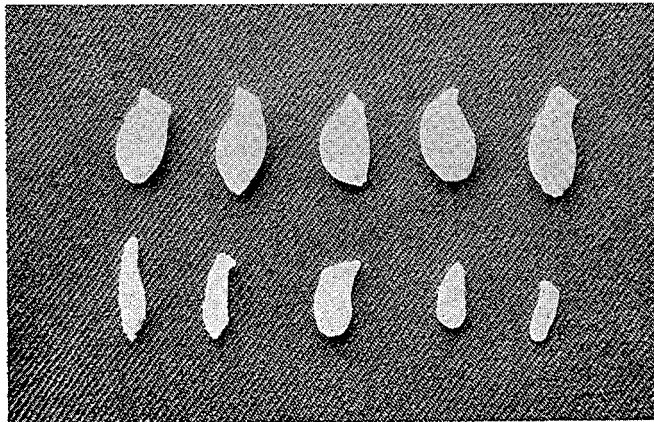
#### 第5項 種子

開花期の子室内に存在する胚珠が受精し、種子を形成するのであるが、1果内の種子数は本実験の400果についての調査では27.1個であった。種子の発育を100粒重の変化で見ると第9図のとおりで、生体重では1962-1963年は12月中旬、1963-1964年には10月中旬が最高となったが、種子中の水分含量の変化が大きいのと思われるので、乾物重で見ると、何れのシーズンでも1月上旬に最大となり、以後はあまり変化せず、幾分減少の傾向を示した。収穫期には100粒の生体重で25g前後であった。

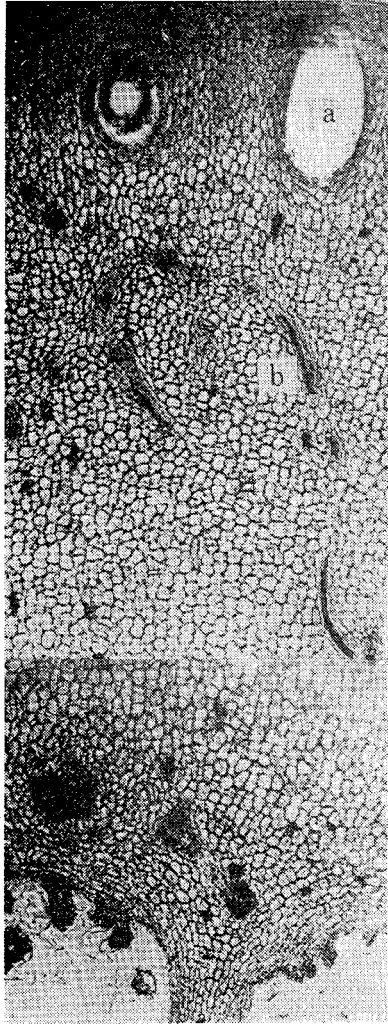
以上、種子として述べたものは完全に充実した種子についてであつたが、1果中には不充実な種子や糞の不完全種子が含まれている(第10図)。本実験では不完全種子歩合は10%内外であった。



第9図 種子重の季節的変化



第10図 同一果実内の完全種子（上）と不完全種子（下）



第11図 果皮の横断面 (果径7mm)

a 油胞, b 維管束

## 第2節 果実各部の組織の発達

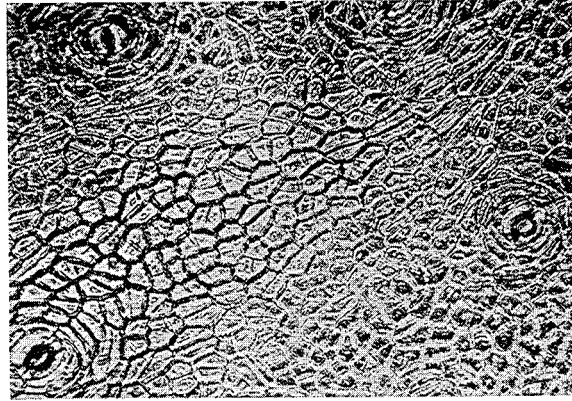
### 第1項 果 皮

果皮の組織は第11図のように外側からクチクラ層、表皮(1層)、下皮(2-3層)、フラベドおよびアルベド組織から成り、油胞はフラベド組織に、維管束はフラベド、アルベド両組織に含まれる。まず表皮から述べると、表皮の表面視は第12図のとおりで、4種類の細胞から成る。すなわち、表皮細胞、孔辺細胞、副細胞および油胞上細胞で、油胞上表皮細胞は普通の表皮細胞よりかなり大きい。果皮の横断切片について、普通の表皮細胞、下皮細胞およびフラベド細胞の各時期の直径を両対数方眼紙の縦軸に、その時期の果実の横径を横軸にとると第13図のとおりで、いずれの細胞も果実の横径約50mm(開花後80日)のところに第1の反曲点があり、第2の反曲点は横径100mm(開花後200日)のところにある。第2の反曲点以後の細胞の肥大は2次肥大にあたる。この図より見て、開花後80日ごろまでは上記の細胞は分裂と伸長をくり返して果実を肥大させ、60-100mmの横径の間は分裂が少なくなって伸長が主となり、横径100mm以後はまったく細胞の伸長のみによって果径を肥大させるようである。ただし、成熟果の表皮のみを解離して観察すると、明らかに細胞膜の薄い新しく分裂したばかりと見做される表皮細胞も点々と認められるところから、表皮のみは収穫期に至つてもなおわずかばかり分裂を続けるようである。

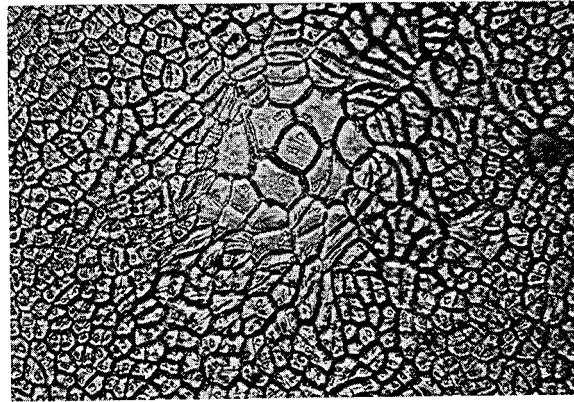
アルベド細胞の直径と果径の肥大の関係を同様にして

プロットして見ると第14図のように、果径13mm(開花後30日)のところに反曲点があり、この時期に分裂を停止し、その後は肥大のみを続ける。果径約40mm(開花後60日)になるとこれまで楕円球形であつたアルベド細胞に突起を生じはじめ、次第にこれが長く、くもの足状を呈し(第15図)、アルベド組織全体として海綿状を呈するようになる。これら細胞の間には、なお原形質連絡があり、互に突起部の先端を通じて連絡している。ただし、2次肥大の最盛期以後になると、とくに果梗基部や果頂部のアルベド細胞は崩壊をはじめ、表皮、下皮およびフラベド細胞の肥大生長と相まって、浮皮化の傾向を示してくる。

赤道部の果皮の厚さと、それら放射線上にならんだ細胞数を測定した結果は第16図のとおりである。これによると開花直後から急速に厚さが増加するが、それとまったく平行して細胞層数も増加している。しかし、7月上旬ごろになると、果皮の厚さがそれ以後も増加するにもかかわらず、ほとんど細胞数の増加は認められなくなる。ちょうど、この時期は第15図で示したように、アルベド細胞に突起が生じはじめる直前の時期で、果皮の大部分

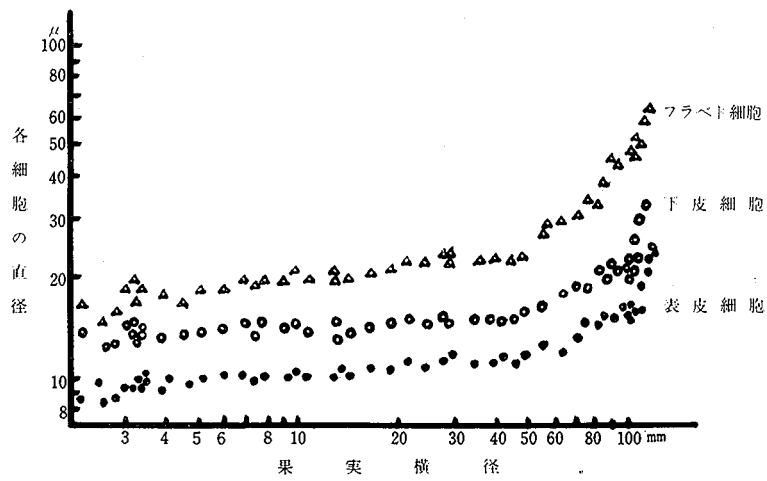


(表皮細胞と気孔)

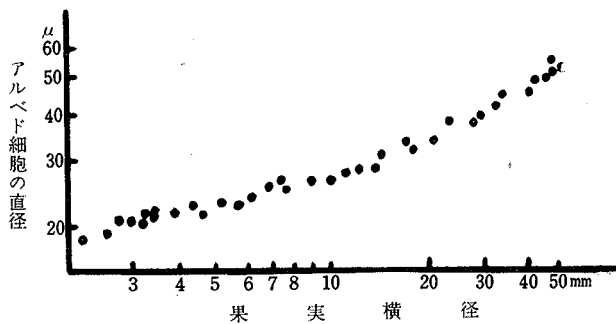


(油胞上表皮細胞)

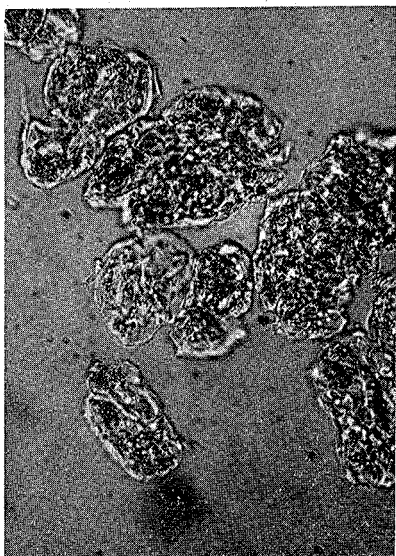
第12図 表皮細胞の表面視



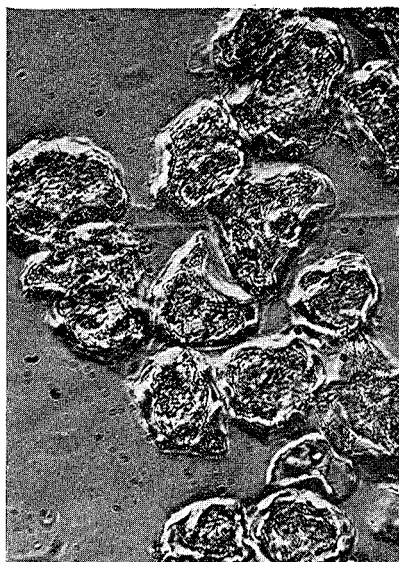
第13図 果実発育と表皮、下皮およびフラベド細胞の直径の増加



第14図 果実発育とアルベド細胞の直径の増加



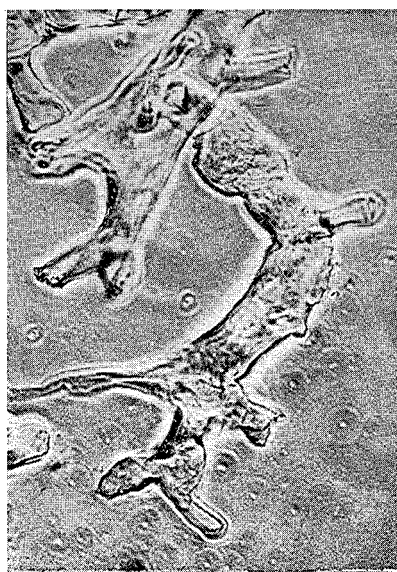
7月1日



7月16日



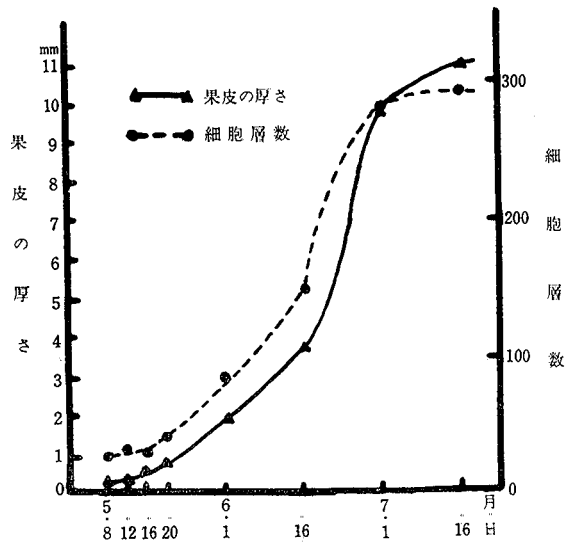
8月1日



収穫期(翌年6月)

第15図 アルベド細胞の発達 (1962~1963)





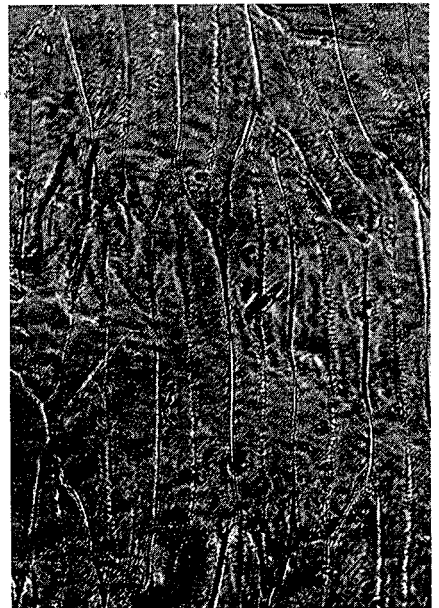
第16図 果皮の厚さと細胞層数

を構成するアルベド細胞がもはや分裂・増殖しなくなり、それ以後の果皮の厚さの増加はこの細胞の突起発生による容積増大のためである。

すなわち、7月上旬以前の果皮の急激な厚さの増加は、もっぱら果皮を構成する細胞の分裂・増殖によるものであり、以後は主として細胞の伸長・肥大によるわけである。7月中旬以後の果皮の厚さの減少はアルベド細胞の突起発生により海綿状化した組織が内部の果肉の発達により圧縮されるからで、第2次肥大期における果皮の厚さの増加は表皮、下皮およびフラベド細胞の肥大に加えて、アルベド細胞が崩壊に向うからであり、第1次肥大期の果皮の厚さの増加と第2次肥大期のそれとはかなり内容的に異なるようである。

### 第2項 砂じょう

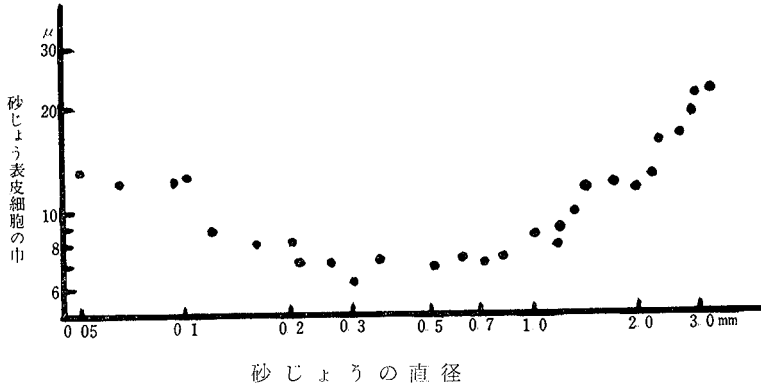
砂じょうは第1節で述べたように開花期（5月中旬）に子室内壁上の一層の細胞から発生する。成熟果の砂じょうを観察すると本体と柄に分れ、柄が維管束末端と連絡し、養水分供給の通路となつている。本体は外側の表皮系組織と内側の果汁を貯える柔細胞組織に分化している。本調査では砂じょうの細胞の肥大を表皮細胞に限り測定した。成熟果の砂じょうの表皮細胞は第17図に示すように、縦の方向に長い繊維状の細胞で、この方向の発育状態を見ると、砂じょうの発生初期には細胞は伸長することなく分裂をくり返しているが、砂じょうの長さが約0.5mmに達する6月下旬頃になると細胞の伸長が認められるようになり、その後急速に伸長を続ける。第2次肥大期には本体の先端に近い細胞が一部分裂を続け、伸長するがあまりいちじるしくない。したがって、この時期の果径の増加は果皮の厚



第17図 成熟果の砂じょう表皮細胞

さの増加によるところが多い。

表皮細胞の中と砂じょうの直径との関係を両対数方眼紙上で見ると第18図のように、表皮細胞の中は分裂が盛んなため最初狭くなっていくが、砂じょうの本体の直径が0.7mmになる7月下旬頃より、次第に表皮細胞の中が増してくる。この時期からこれまで縦割りが盛んであつた細胞の肥大が行なわれ、本体と柄に分れていく。しかし、1次肥大の停止期以後は砂じょうの中への増加はほとんどなく、第2次肥大期の果実縦径の増加はもっぱら果梗部および果頂部の果皮の厚さの増加によるわけである。

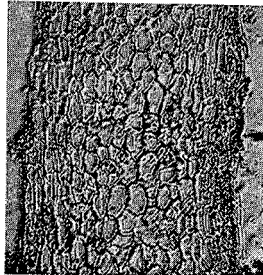


第18図 砂じょうの直径とその表皮細胞の中との関係

### 第3項 じょうのう

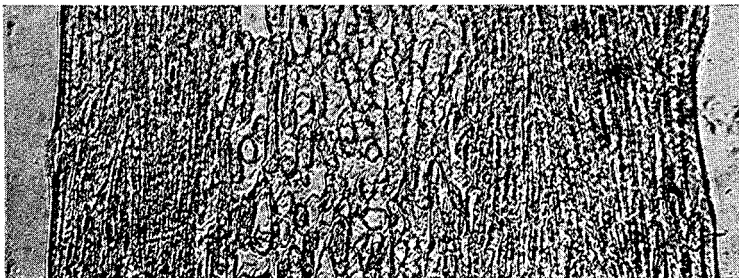
子房内で12-13個に分れている子室がじょうのうを形成するが、慣行的にはじょうのうを1個の分離した組織と見なし勝ちである。これは結果的にそのような形に見えるだけで、じょうのうを取出した場合ののう皮は子室隔膜を引き裂いたに過ぎないわけで、のう皮の厚さを云々する場合には、厳密に言うと果実横断面について隔膜の厚さを測り、それを2等分するのが妥当と思われる。したがって、のう皮は子室内表皮およびそれに続く10数層の細胞から成っており、隣合うじょうのうの境は第19図のように幼果では内表皮細胞より幾分大型で球形に近

(幼果)



—果径 13mm—  
(×200)

(成熟果)



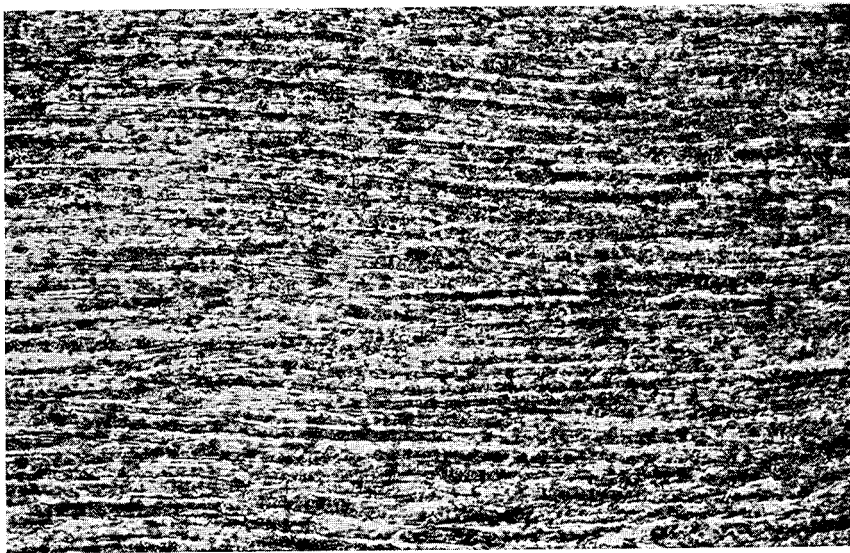
(×100)

第19図 幼果と成熟果の子室隔膜断面

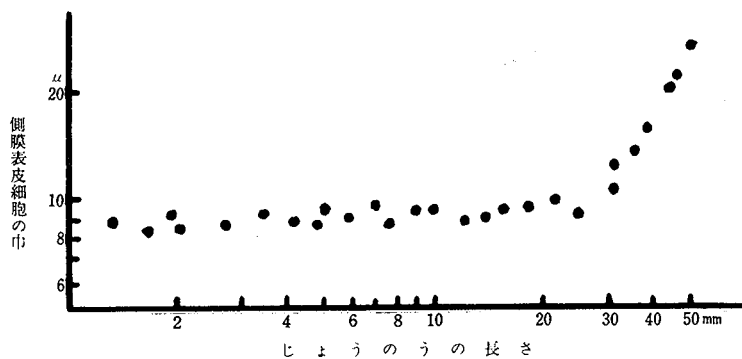
い柔細胞からなり、9月上旬になると、アルベド細胞と同様に突起を出して海綿状化し、収穫時には子室隔膜の中間が剥ぎ易くなるわけである。

じょうのうの発育は前節第4項で述べたとおりであるが、じょうのうの巾とその方向に配列する細長い内表皮細胞（第20図）の長さの関係を果皮と果心の中間の位置で見ると、開花期（5月中旬）にはすでに幾分細長い細胞となりつつあり、その後次第に細胞が細長くなり、じょうのうの巾も広くなつていく。したがって、開花期にはすでに内表皮細胞の分裂は停止しているように考えられるが、果心側や果皮側の内表皮細胞では開花期にはまだ細胞も球形に近く、分裂を続けているようである。

じょうのうの長さとの関係を示すと、第21図のようで、じょうのうの長さが約20mm（8月上旬）のところの反曲点があり、それ以後急激に内表皮細胞の巾を増しているところから、8月上旬までは細胞の縦割りによる分裂により数を増し、それが8月上旬以降はもっぱら肥大によりじょうのうの長さを増加させるようである。



第20図 成熟果のじょうのう内表皮細胞



第21図 じょうのうの長さとしょうのう側膜内表皮細胞の巾との関係

果心にある白じょう組織について述べると第2次肥大期の始まる頃までは、アルベド細胞類似の柔細胞で充されているが、果実が2次肥大にはいる頃より組織が崩壊しはじめ、5-6月の収穫期にはまったく果心に空隙を生じる。この細胞を顕微鏡で観察するとほとんどアルベド細胞と同じで、7月中旬頃から突起を出しはじめ、次第に海綿状化する。したがって、本細胞の分裂・肥大はアルベド細胞と時期的にも同じ経過をとるものと思われる。

### 第3節 考察および結論

ナツダイダイ果実の肥大調査は各地の果樹試験場で行なわれており、とくに愛媛県果樹試験場南予分場(1962)では長年にわたり毎年発育調査を行ない、平年の値と比較対照して指導上の資料としている。1952年から1961年の10年間の果実の発育状態を見ると、いずれも12月中旬から3月上旬まで果実の横径、縦径および重量から見て肥大を停止する時期があるが、愛媛県八幡浜市で行なった本実験でも同じ傾向を示した。

筆者は開花期から12月中旬までを第1次肥大期、翌年の3月上旬から収穫期までを第2次肥大期とし、その中間の時期を肥大停止期とした。1次肥大の終了時は1962-1964年にわたる調査では、いずれも12月中旬で同じ時期であつたが、2次肥大の開始期は寒冬をすごした1963年の春は3月中旬、暖冬であつた1964年の初めはほとんど肥大停止期がなく第2次肥大期に入っている。肥大停止期中気温は $10^{\circ}\text{C}$ 以下であり、この期間に寒風が吹き、雨量が少ない時には果径の縮少を見ることが多い。これは冬季の土壌温度の低下にともなう根の吸水力の低下に加えて、風による果面からの水分蒸散のため果実が萎縮する結果である。ちなみに、玉井・赤松(1957)は、ナツダイダイ樹の吸水能の異常に減退する温度(気温)は約 $10^{\circ}\text{C}$ で根の生長停止温度と近似していると述べている。いずれにしても、この肥大停止期は冬季の気温低下による発育の休止期間であると思われる。

第2次肥大期の果実の発育は、主として果皮で盛んである。第1次肥大期の7月中旬に最大に達した果皮の厚さは以後減少するが、第2次肥大期に入ると再び増大する。本実験では開花翌年の6月上旬に調査を打切つたが、さらに樹上におくと果実の大きさはなおも増大するが、やがて萎縮してくる。この時になると、果皮は老化し、果肉は収縮し、種子のなかには発芽してくるものもある。ナツダイダイに限らずカンキツ類は一般に果皮と果肉がかなり異なつた発育周期をもつており、果肉の成熟期以後に果皮が2次の発育を行なうことは温州ミカン(倉岡・菊池1961, 鳥潟・増井・鈴木1955), 臭橙(菊池・門屋・倉岡1964)についての観察からも明らかである。菊池ほか(1964)は臭橙果実を開花翌年の6月下旬まで樹上に残したところ、果肉部が乾燥収縮しているのに、果皮のみはいちじるしく肥厚し、果皮と果肉の間に大きな空隙を生じたと報じている。ただし、温州ミカンの成熟果を樹上で越冬させても、もはや越冬後の果皮の2次肥大は認められず、むしろ果皮、果肉とも萎縮し、次第に乾果状態になる。

カンキツ果実の発育の組織学的な研究にはオレンジ(BAIN 1958, SCOTT・BAKER 1947), レモン(FORD 1942), 温州ミカン(倉岡・菊池 1961) および早生温州・八朔・伊予柑(菊池・門屋・倉岡 1964)についてのものがあるが、わが国において樹上で越冬する晩柑類の果実についての組織学的な研究は三宝柑(松本 1964)の発育についてのみである。松本(1964)は三宝柑のGranulation発現について、砂じょうの2次肥大をその主要原因としてあげているが、このGranulation発現果実では、果皮組織においてカロチノイドの減少が認められ、次第に葉緑素の生成がはじまり、5月以降の高温期に入ると回青の現象を認めるようになり、果皮の2次的に活潑な肥大生長により果肉と果皮の間に空隙を生じて浮皮現象を併発してくると述べ、この浮皮現象は組織学的にはフラベド組織の細胞が2次的に肥大生長を開始することによつて引き起されるとしている。倉岡(1962)によると、浮皮現象は温州ミカンでも認められるが、これは果皮組織成熟後フラベド中にカロチノイドが集積し、ア

ルベド組織が崩壊した後において、果皮が吸水膨張するために発現するもので、晩生カンキツの浮皮とはまったく異質のものである。

ナツダイダイでも三宝柑と同じように浮皮現象、回青現象が認められる。第2次肥大期の果皮の厚さの増加は、表皮、下皮およびフラベド細胞の肥大によるもので、さらに5月以降になると果梗部や果頂部のアルベド細胞が崩壊して浮皮を呈してくる。この時期になると果皮はいくぶん軟弱となり、第3章で述べる成熟果皮の生理障害の発生も見られるようになる。

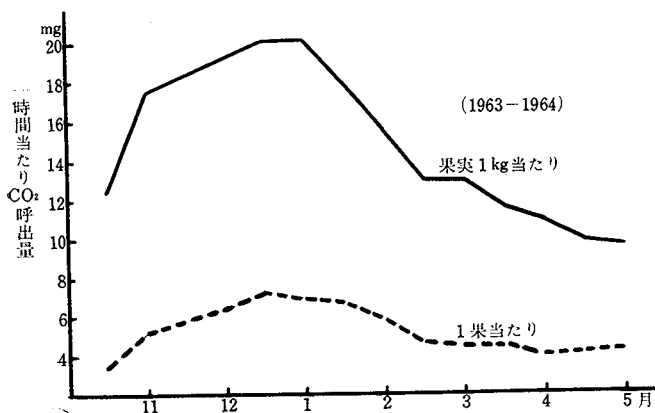
## 第2章 果実発育にともなう生理的变化

ナツダイダイの果実発育にともなう形態学的ならびに組織学的変化は前述のとおりであるが、生理的变化もあわせて検討し、果実採取の適期を把握するための資料を得ようとして本調査を行なった。

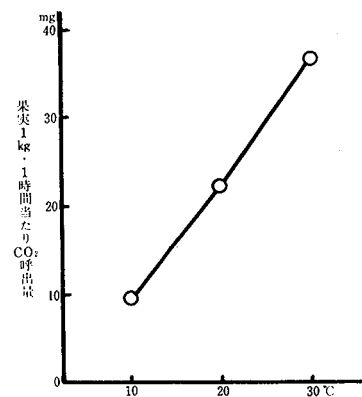
### 第1節 呼吸強度の変化

果実の成熟にともなう呼吸強度の変化を見るために、1963年10月中旬より翌年5月まで第1章の調査で採取した果実について測定を行なった。測定は密閉式呼吸測定法によった。すなわち、デシケーターにソーダ・ライム管を連結し、炭酸ガス除去の空気が出入出来るようにし、デシケーターの底には大型シャーレに約2Nの苛性カリを入れ、その上に果実を入れて10°Cの定温器中に10時間放置したのち、塩化バリウムを加え、0.2Nの塩酸で炭酸ガス量を定量した。10°Cで呼吸量を測定したのは11月より4月頃までの平均気温がこの温度に近いためである。

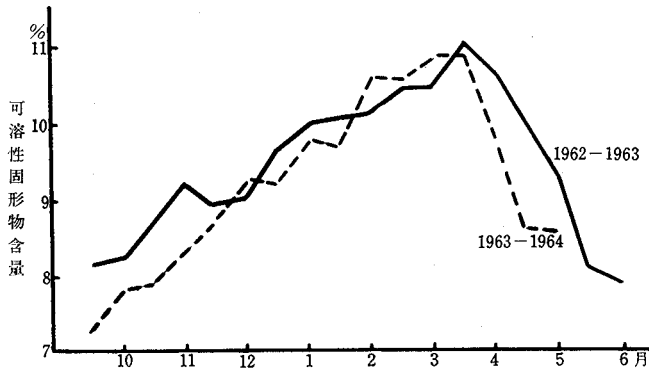
その結果は、第22図のとおりで、果実1kg当たりでも、1果当たりでも12月中旬-1月上旬に呼吸強度が最大に達し、以後成熟期に近づくにしたがって減少する。ただし、厳冬期は気温低く、3、4月以降は急に気温が上昇するため、樹上着生果の実際の呼吸量はかなり変動があり、とくに3、4月以降は呼吸強度は低くなつても、1果当たりの呼吸量は多くなるのではないかと思われる。ちなみに、4月下旬の成熟果について10、20および30°Cの炭酸ガス呼出量を測定すると第23図のとおりで、10-20°Cおよび20-30°Cにおける温度係数(Q<sub>10</sub>)はそれぞれ2.29および1.68であった。



第22図 果実の呼吸強度の季節的变化



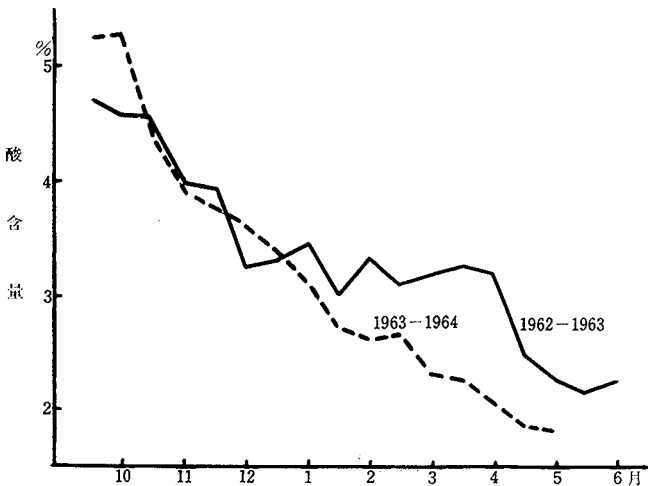
第23図 果実の呼吸と温度



第24図 果汁中の可溶性固形物含量の季節的变化

第1表 果汁中の全糖および還元糖含量の変化

年	月	日	可溶性固形物	全糖	還元糖
			%	%	%
'64	12	1	9.8	4.93	2.14
	12	15	10.3	5.14	2.50
'65	1	5	10.9	5.44	2.64
	1	18	11.4	5.48	2.60
	2	1	10.8	5.76	2.62
	2	15	10.8	5.73	2.75
	3	4	12.1	6.54	2.89
	3	18	12.3	6.60	2.88
	4	2	11.2	6.81	2.88
	4	19	10.9	7.11	2.78
	5	1	10.7	6.50	2.99
	5	17	9.8	5.25	2.88
	6	1	9.1	5.19	2.86
	6	17	9.3	5.55	2.89



第25図 果汁中の酸含量の季節的变化

## 第2節 果汁中の可溶性固形物および糖分含量の変化

第1節で供試した果実の一部をとつて糖、酸その他の果汁中に含まれる可溶性固形物含量の季節的变化を屈折糖度計で測定した(第24図)。固形物中の糖分は50-60% (野村・松原 1952) であるが、この値から糖分の変化の大略を知ることができる。これによると、1962年から1964年にわたる2シーズンとも1次肥大終了後の果実肥大停止期中にも固形物は増加し、第2次肥大期に入つた3月中旬頃最高となり、11.0%前後の値を示したが、以後は急速に減少した。したがって、5-6月の実際の収穫期にはかなり固形物の少ない果実を採取することになる。

1964年12月上旬より高松市中山町のナツダイダイ果実を供試し、肥大停止期より、第2次肥大期にわたる果汁中の全糖および還元糖含量の変化を可溶性固形物含量の変化とあわせ検討した。糖の定量は Somogyi 新試薬法によつた。その結果は第1表のとおりで、本調査でも固形物含量は3月上旬に最高を示したが、全糖含量は4月中旬に最高となり、5月中旬以降は減少の傾向を示した。還元糖含量は12月上旬より3月上旬まで次第に増加したが、以後6月中旬まであまり変化は見られなかつた。

## 第3節 果汁中の酸含量の変化

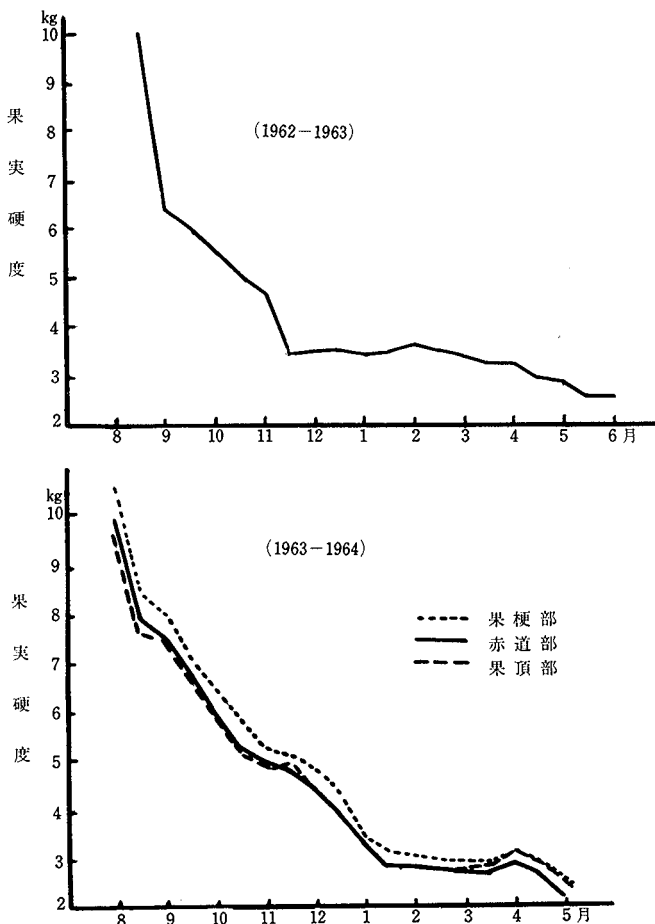
果汁中の遊離酸の定量は果汁2ccをとり蒸留水で4-5倍にうすめ、フェノールフタレンを指示薬として0.1Nの苛性ソーダ溶液で滴定し、中和に要した0.1N苛性ソーダ溶液1ccがクエ

ン酸6.4mgに相当するものとして酸含量を表示した。その季節的变化は第25図のとおりで、測定しはじめた9月中旬から急速に減少し、肥大停止期中はやや減少の程度はにぶるが、第2次肥大期になるとさらに減少を続け収穫期には2%前後の値を示した。1962-1963年と1963-1964年の酸含量の低下を比較すると、暖冬であつた後方で冬季の低下がいちじるしく、それが収穫期の酸含量の低い原因となつている。

#### 第4節 果実硬度の変化

果実の硬度は三木式硬度計(No. 3, 直径4mmの針)を用いて1962-1963年には赤道部のみについて、1963-1964年にはさらに果梗部と果頂部の硬度の変化を測定した(第26図)。

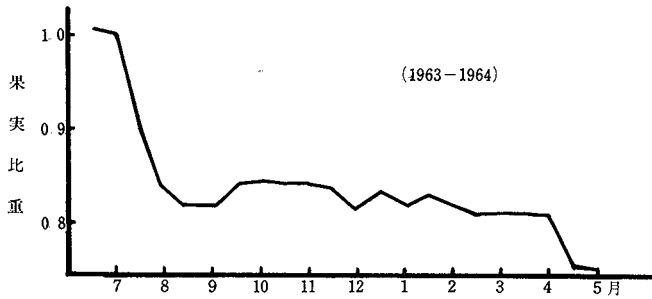
両シーズンの傾向はやや異なるが、ともに第1次肥大期の終る頃まで急激に硬度は低下し、肥大停止期中はあまり変化なく、第2次肥大期に入ると徐々に低下した。部位的な硬度の差はあまり認められなかったが、果梗部が他の部位より常に幾分高いようであった。果頂部は赤道部とほとんど変らなかったが、成熟期に入ると幾分赤道部より高くなり、果梗部とほぼ同じ値を示した。



第26図 果実硬度の季節的变化

第5節 果実比重の変化

果実比重の測定は、先ず大型ビーカーに果実が十分浸漬され、なお余裕がある程度の蒸留水を入れ、その重量を測定しておき、その中へ果梗を支持台に固定した先の細いキリ様のもので突きさし、水中にすっぽりと浸漬させてその時の重量を測定した。後者の重量から前者の重量を減じ、その数値をccであらわすと果実容積となり、果実重量 (g) を容積 (cc) で除すと比重が算出される。このようにして測定した果実比重の季節的変化について1963-1964年の結果を示すと第27図

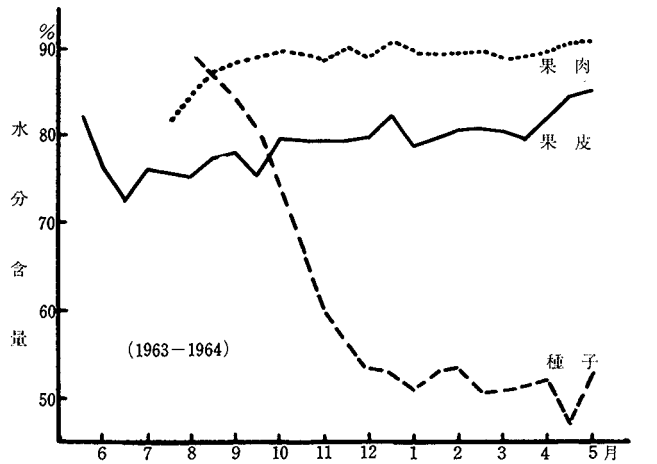
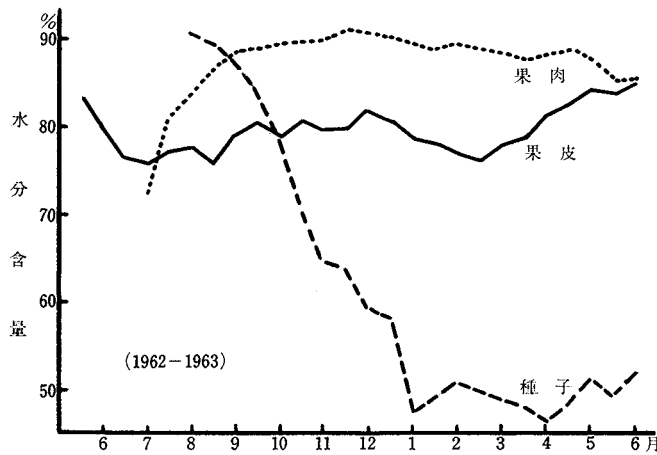


第27図 果実比重の季節的変化

のように、開花後より9月上旬まで急激に比重は低下したが、翌年1-2月まではほとんど変化せず、第2次肥大期に入つて比重は再び次第に低下した。これらの傾向は果皮と果肉の發育の均衡の関係から生じるもので9月中旬以降の比重の變化の少ないのは果皮と果肉の發育が量的に平行的に行なわれているのを示すもので、第2次肥大期の比重の低下は果肉組織の成熟ともなり果心部の裂開による空隙の形成や果皮とくに果梗部、果頂部の2次肥大、さらにこれらの部分のアルベドの崩壊による果実容積の増大のためであろう。

第6節 果実各部の水分含量の變化

果皮、果肉および種子について水分含量の季節的變化を測定した (第28図)。水分含量の測定は各試料を70°Cの乾燥器に入れ、恒量になるまで放置した後、重量を測定し、生体重割合で示した。果皮については1962-1963年には赤道部位のみのものを、1963-1964年には果梗部および果頂部位を加え、さらに果皮をフラベドおよびアルベド組織に分けて水分含量の變化を測定した。ただし、第28図中の果皮の水分含量は赤道部位の果皮を分別せずに測定した値である。



第28図 果皮、果肉および種子の水分含量の季節的變化

果皮では生育の初期は含量が高い



が、6月中-7月上旬頃まで急速に減少し、その後はまた次第に含量が高くなった。とくに、第2次肥大期に入るとその傾向がいちじるしかった。果肉では逆に生育の初期には低く、次第に含量を増して12月上旬頃に最高に達したが、その後はほぼ一定で、わずかに減少する年(1962-1963年)もあつた。種子では、その充実するに従つて水分含量は減少を続けたが、50%内外となる1月上旬頃より増減はなくなり、収穫期に至つた。

果皮の部位別およびフラベド(表皮, 下皮を含む)、アルベド組織別の水分含量の季節的变化は第29図のとおりで、第2次肥大期までは、部位別の含量の多少には一定の傾向は認められなかったが、2次肥大の最盛期に入ると、果梗部の含量が最も多くなった。組織別ではシーズンを通じてアルベドよりフラベドの水分含量が多かったが、第2次肥大期における含量増大の傾向はフラベド組織で大であった。

### 第7節 果実内肥料要素吸収の季節的变化

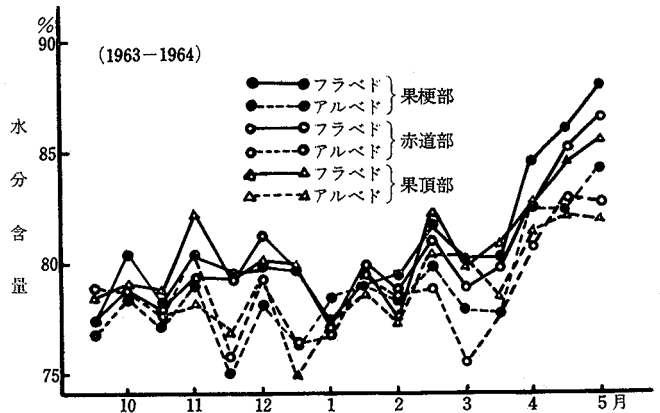
ナツタイダイの果実発育にともなう肥料要素吸収の季節的变化については、すでに松木ら(1939)の窒素、リン酸およびカリについての報告があるが、筆者はカルシウムおよびマグネシウムの吸収も加えてそれらの季節的变化を観察した。

試料は1962-1963年に形態ならびに組織的観察の際用いた果実の一部を果皮、果肉および種子についてそれぞれ乾燥粉末としてデシケーター中に保存し、随時分析に供した。分析法は窒素はガンニング変法、リンはモリブデン青試薬を用いる光電管比色計法、カリウム・カルシウムおよびマグネシウムは原子吸収分光分析法によつた。1果当たりの吸収量は果実各部の乾物重に各肥料要素含量の対乾物%を乗じて算出した。乾物重の季節的变化は第30図のとおりである。

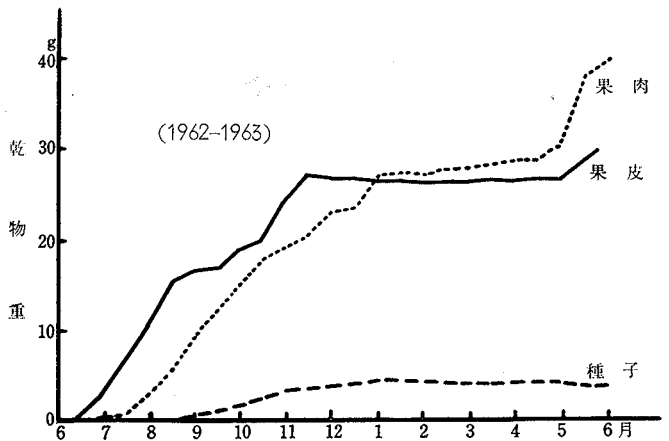
#### 第1項 窒素

果皮、果肉および種子の窒素含量(対乾物%)の季節的变化を見た結果は第31図のとおりで、いずれの部

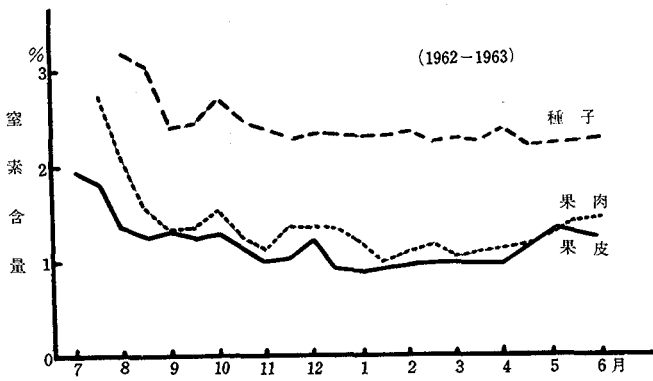
位においても発育初期にはいちじるしく含量が高いが、果実の肥大にともない急速に低下し、第1次肥大期の終り頃に最低となった。この含量の低下は、急速な肥大にともなう稀釈効果である。第2次肥大期に入ると、再び



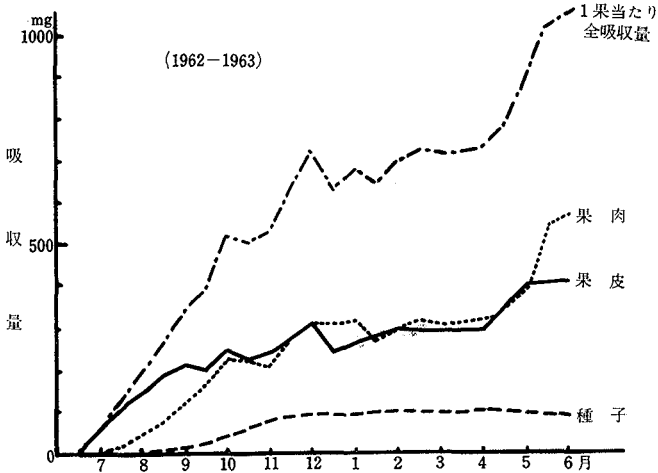
第29図 果皮の部位別および組織別水分含量の季節的变化



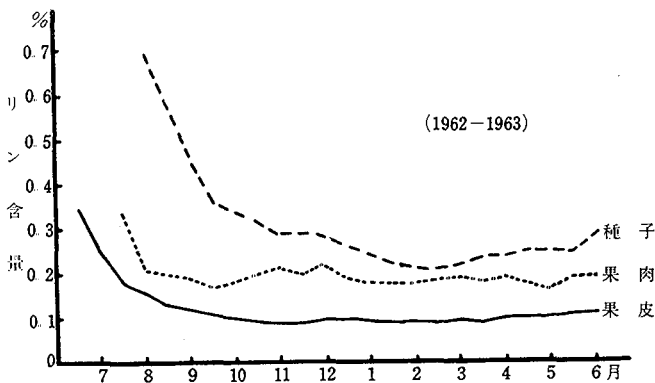
第30図 果実各部の乾物重の季節的变化



第31図 果実各部の窒素含量の季節的变化



第32図 果実の窒素吸収量の季節的变化



第33図 果実各部のリン含量の季節的变化

果皮と果肉では含量が増大した。種子では果皮や果肉より含量は常に高いが、第2次肥大期以後の増減はほとんど見られなかった。

果実各部の窒素の吸収量ならびに1果当たり全吸収量の季節的变化は第32図のとおりである。果皮と果肉では12月上旬まで急速に吸収量を増加したが、冬季は増減せず、2次肥大とともに再び増加した。第2次肥大期の吸収量は果皮よりも果肉においていちじるしかった。ただし、果実発育初期には果皮の吸収量が多く、第1次肥大期中の肥大最盛時には果皮と果肉の吸収量がほぼ等しくなった。種子では第1次肥大期の終り頃から、吸収を停止し、吸収量はほとんど変化を示さなくなり、第2次肥大期に入るとむしろ減少した。1果当たりの全吸収量を見ると、果実の肥大曲線と類似しており、果実発育の旺盛な時期に吸収量も多かった。

## 第2項 リン

リン含量の季節的变化は第33図のとおりで、窒素の変化とほぼ等しく、発育初期に高く生育のすすむにしがって減少した。果皮および果肉では第1次肥大期の終り頃から増減がなくなり、2次肥大が開始されてもほとんど増大を認めなかった。種子では果実に2次肥大が始まる頃から含量が増大した。果皮、果肉および種子の間では、果皮が常にリン含量最も低く、種子が最も高かった。

吸収量の季節的变化は第34図のとおりである。第1次肥大期の終る頃までは、リンの吸収はいちじるしかったが、肥大停止期以後は果皮および種子では

ほとんど吸収が見られなかった。しかし、果肉では第2次肥大期に入つてしばらくした4月下旬頃より急に吸収量が増加した。1果当たりの全吸収量は果肉の傾向とまったく同じであった。

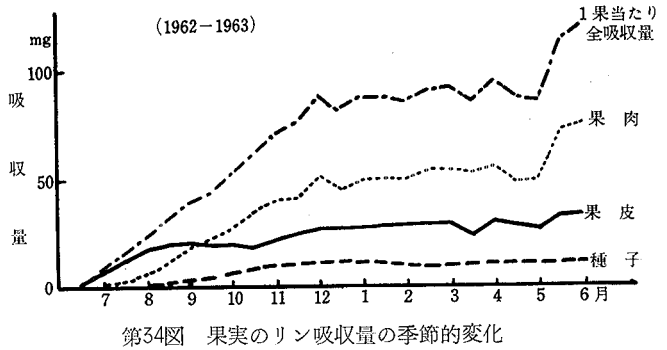
第3項 カリウム

カリウム含量の季節的变化は第35図のとおりである。果皮の含量は第1次肥大期の終りまで次第に低下し、2月上旬以後になると次第に増加した。果肉では10月中旬より4月下旬まで変化なく、2次肥大の末期に増加を示した。種子では、果実発育初期にいちじるしく含量が高いが、次第に減少し、第2次肥大期に入っても減少を続けた。各部の含量を比較すると、第1次肥大期には種子が最も高く、果肉がこれに次ぎ、果皮が最も少なかった。第2次肥大期には果肉が最も高くなり、果皮これに次ぎ、種子が最も少なくなっていた。

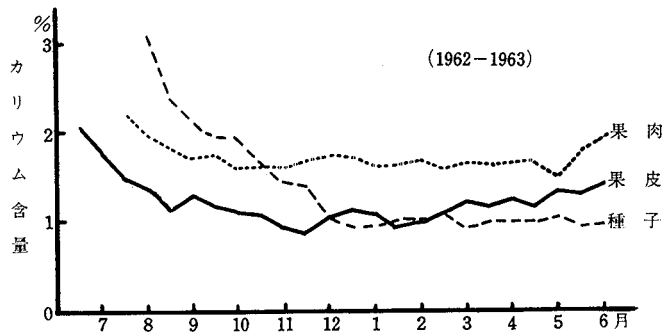
吸収量を見ると第36図のとおりで、果皮および果肉では発育初期より成熟期まで厳冬期を除き常に吸収量を増加したが、種子では11月中旬以後は増減せず、越冬後はむしろ減少を示した。1果当たりの全吸収量は果肉の傾向と同じで、4月下旬以降の吸収量がいちじるしく増加した。

第4項 カルシウム

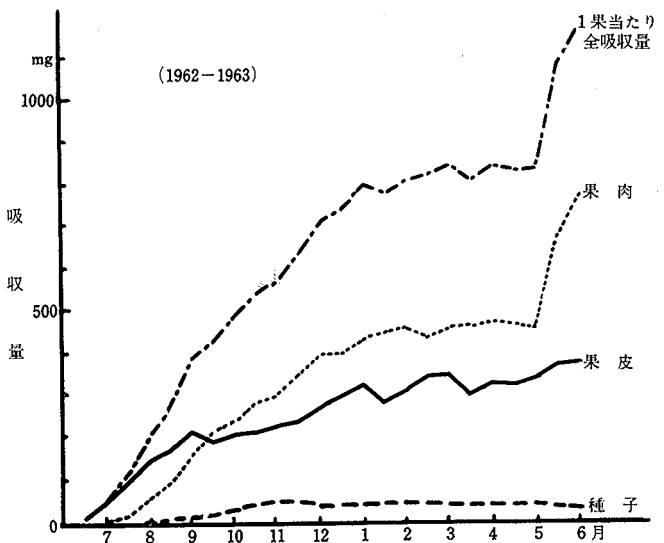
カルシウム含量の季節的变化は第37図のとおりである。すなわち、果皮では10月中旬以降はほとんど含量の変化はなく、果肉では9月上旬より越冬後の4月中旬まで増減は見ら



第34図 果実のリン吸収量の季節的变化



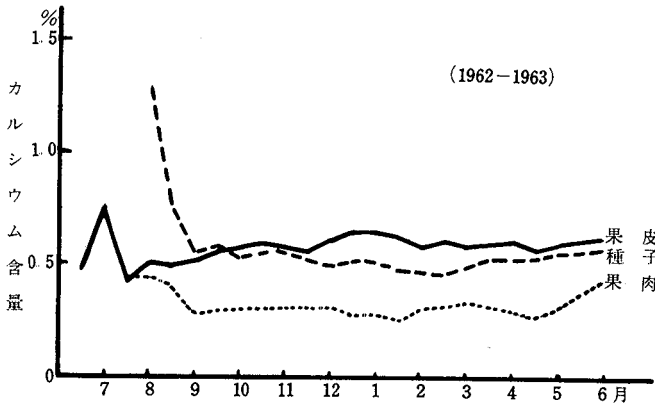
第35図 果実各部のカリウム含量の季節的变化



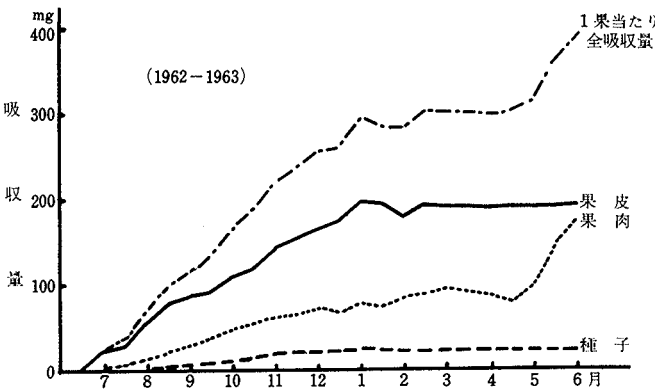
第36図 果実のカリウム吸収量の季節的变化

れず、それ以後増加した。種子には発育初期にいちじるしく多いが、その後急激に減少し、9月上旬以後はあまり変化が見られなかった。

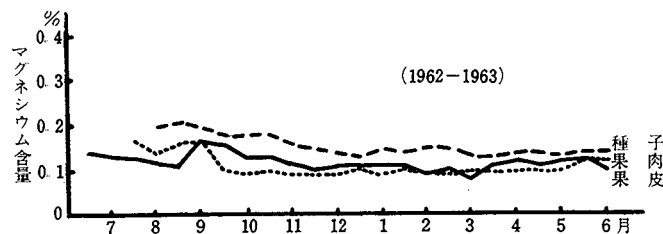
吸収量の変化は第38図のとおりで、果皮では1月以降増減なく、果肉では越冬後の4月中旬以降急増した。種子では11月上旬以降はほとんど変化は見られなかった。1果当たりの全吸収量では発育初期より肥大停止期までいちじるしく吸収を続け、2次肥大が始まった4月中旬以降、再び多く吸収した。



第37図 果実各部のカルシウム含量の季節的变化



第38図 果実のカルシウム吸収量の季節的变化



第39図 果実各部のマグネシウム含量の季節的变化

### 第5項 マグネシウム

マグネシウム含量の季節的变化は第39図のとおりである。果皮、果肉および種子ともほぼ同じ傾向を示しており、発育のすすむにしたがって幾分減少の傾向にあったが、あまり変化はなかった。部位別では種子が最も高かった。

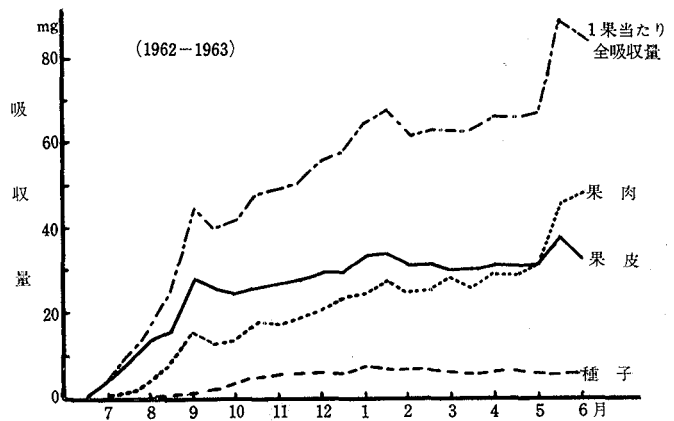
吸収量は第40図のとおりで、第1次肥大期中は次第に吸収量を増し、肥大停止期中は増減なく、第2次肥大期中に再び増大した。

### 第6項 第2次肥大期における果実内肥料要素吸収量

1963年6月の収穫時における果実内の窒素、リン、カリウム、カルシウムおよびマグネシウムの吸収量は1果(約450g)当たり順次1,029; 120; 1,170; 390および84mgで、その比率は10:1.2:11.4:3.9:0.8であり、カリウムの含量が比較的多かった。これを果皮と果肉に分けて観察すると、果皮では10:0.9:9.9:5.1:0.8、果肉では10:1.3:13.7:3.1:0.9で、カリウムの窒素に対する割合が多いのは果肉に見られる現象であった。種子では10:1.2:3.1:2.5:0.6で、カリウムは他の部分より比較的少なかった。

第1次肥大期の終了した1962年12月中旬の果皮、果肉および種子内の

各要素吸収量を100として翌1963年6月の収穫時における吸収量の比数を見ると第2表のとおりで、果皮では窒素の第2次肥大期における吸収量が最も多く、次いでリンとカリウムであつたのに反し、果肉ではカルシウムが最も多く、次いでマグネシウム、カリウムであり、やや趣を異にしている。種子では吸収量はどの要素でもまったく増加していない。同様な比較を果実全体で見ると、6月収穫時の吸収量は、どの要素でも前年12月中旬の吸収量の約1.5倍とほぼ等しい値を示した。



第40図 果実のマグネシウム吸収量の季節的变化

第2表 第2次肥大期における肥料要素吸収量

		果 皮	果 肉	種 子	計
N	A	236.3mg(100)	306.7mg(100)	86.9mg(100)	629.9mg(100)
	B	379.5 (161)	560.9 (183)	88.1 (101)	1,028.5 (163)
P	A	26.5 (100)	44.1 (100)	10.8 (100)	81.4 (100)
	B	35.7 (127)	75.6 (171)	11.0 (102)	120.3 (148)
K	A	300.0 (100)	394.9 (100)	39.1 (100)	734.0 (100)
	B	374.7 (125)	767.8 (194)	35.2 (90)	1,177.7 (160)
Ca	A	172.5 (100)	65.0 (100)	21.6 (100)	259.1 (100)
	B	192.8 (112)	175.0 (269)	21.9 (101)	389.7 (150)
Mg	A	29.2 (100)	23.2 (100)	5.4 (100)	57.8 (100)
	B	30.6 (105)	47.7 (206)	5.3 (98)	83.6 (145)

注：A---1962年12月17日における吸収量  
B---1963年6月1日

(カッコ内はAを100とした比数)

### 第8節 考察および結論

カンキツ果実の呼吸強度の季節的变化についてバレンシアオレンジ (BAIN 1957), 温州ミカン (倉岡 1962) で調査されたところによると、それらは成熟期に入っても Climacteric rise を示すことはないが、筆者のナツダイダイ果実の調査でも同様な傾向を示し、第2次肥大期のすすむにしたがって呼吸強度は減少した。ただし、本調査は一定温度 (10°C) で行なった結果であり、4月下旬の成熟果のみ10-20°Cの温度係数が2.29、20-30°Cの温度係数が1.68であるところからして、実際果実の樹上での呼吸は3-4月以降の急激な気温の上昇により成熟期に近づいても減少することなく、むしろ幾分増大する場合もあると考えられる。したがって、呼吸基質としての酸や糖の消費ははげしく、果汁中の酸は第2次肥大期には減少する一方であり、全糖も4月中旬をピークとして次第に減少してゆくわけである。果実収穫期における気温の上昇は、温州ミカンの収穫期が秋季から

冬季に入り気温がいちじるしく下降するのは逆の環境であり、種々の面で温州ミカンの成熟期の生理とは自ずから異なつたものを有するであろうと推測される。

ナツダイダイ果実の果汁中の糖および酸含量の季節的变化については松木・安田・勝谷 (1931), 野村・松原 (1952), 服部 (1955) の報告が見られ、全糖はいずれも 開花翌年の 4 月中下旬に最高に達し、以後減少するが、還元糖は 3 月以降増加するとするもの (和歌山県における調査—服部), 3 月以降 7 月頃まではあまり変化なくそれ以後にいちじるしく増加するとするもの (山口県—野村・松原) とがあり幾分相違する。筆者の高松市の 6 月中旬までの調査では山口県の成績と同じ傾向であった。酸含量が前年の末から次第に減少する傾向にあることは、種々の報告で一致しているところである。

果実の硬度は果実発育初期から急激に低下し、果皮組織の発達とその傾向が一致するようである。すなわち、肥大停止期には硬度も変化なく、第 2 次肥大期の開始とともに再び低下をはじめる。部分的な硬度の差はほとんどないが、第 2 次肥大期以後幾分果梗部および果頂部が赤道部より高い値を示している。硬度の第 2 次肥大期における低下は、果実比重の低下と相まって果実の浮皮現象や果皮の軟い状態への変化を示すものである。果実比重は第 2 次肥大期に入ってしばらくして急速に減少する。この現象は 2 次肥大の開始期とはやや時期的に遅れるが、第 1 章で述べたように形態的に果皮の発育とくに果梗部および果頂部の果皮の肥大がいちじるしく、果重に比して果実容積が大となるため比重の低下を見るわけである。

ナツダイダイ果実の肥料要素吸収について山口県で行なわれた松木ほか(1939)の報告によると、11月下旬頃まで急激な養分吸収増加を示し、冬季間は減少を示すことさえあるが、2月中旬頃までは多少ながら増加する。以後、次第に減少の傾向にあるとしている。同報告は開花翌年の 4 月 11 日までの成績であつて、筆者の調査でも第 2 次肥大期の養分吸収の増大は 4 月中旬以降に見られるものである。本調査を行なった愛媛県のナツダイダイの収穫の終りの時期は、年により、多少の差はあるが 6 月から 7 月上旬であり、筆者は調査の終了日を 6 月上旬として、果実の肥料吸収の状態を検討した。第 2 次肥大期の各要素の吸収量を比較するために、12 月中旬の肥大停止期から翌年 6 月上旬までの 1 果当たりの窒素、リン、カリウム、カルシウムおよびマグネシウムの吸収量を見ると、順次 399mg, 39mg, 444mg, 131mg および 26mg で、その比率は 10 : 1.0 : 11.1 : 3.3 : 0.7 であり、この期間でも窒素とカリウムは他の要素よりもいちじるしく多量に吸収されている。さらに、果実の肥大を果皮と果肉に分けて上記の肥料要素の吸収で見ると、1 果当たりで果皮ではそれぞれ 143mg (10), 7mg (0.5), 75mg (5.2), 20mg (1.4), 1mg (0.1)、果肉では 254mg (10), 32mg (1.3), 373mg (14.7), 110mg (4.3), 25mg (1.0) と各要素の吸収割合もかなりその傾向を異にしている。すなわち、果皮では窒素が、果肉ではカリウムが他の要素より多く吸収されるわけで、春季樹体が土壌中から吸収するこれら要素は主として窒素が果皮の肥大を、カリウムが果肉の肥大・充実を促進するものと思われる。松木・安田・勝谷 (1939) のナツダイダイの肥料試験を見ると、窒素、リン酸、カリの 3 要素配合割合で 10 : 7 : 8 の施肥区が最も果皮重割合大きく、10 : 6 : 13 の施肥区で果肉重割合の比較的大きい果実を産したが、上記筆者の果実内の肥料要素吸収の傾向と一致するわけである。

### 第3章 成熟果の水腐病

近年、ナツダイダイの栽培地帯で第2次肥大期のはじめ頃より果実に発生する水腐病が問題となつている。水腐病についてはすでに山田の報告(1960)があり、愛媛、静岡および和歌山の各果樹試験場において防除法を中心とした研究がなされ、一部報告されているが、発生機構については生理障害であろうとされているだけで不明の点も多い。筆者は、防除対策の基礎資料を得る目的で、水腐病の発生機構を中心に調査、研究したのでその結果をまとめてみる。

#### 第1節 水腐病果の形態

水腐病果には二つの類型がある。すなわち

果梗部障害

果頂部障害

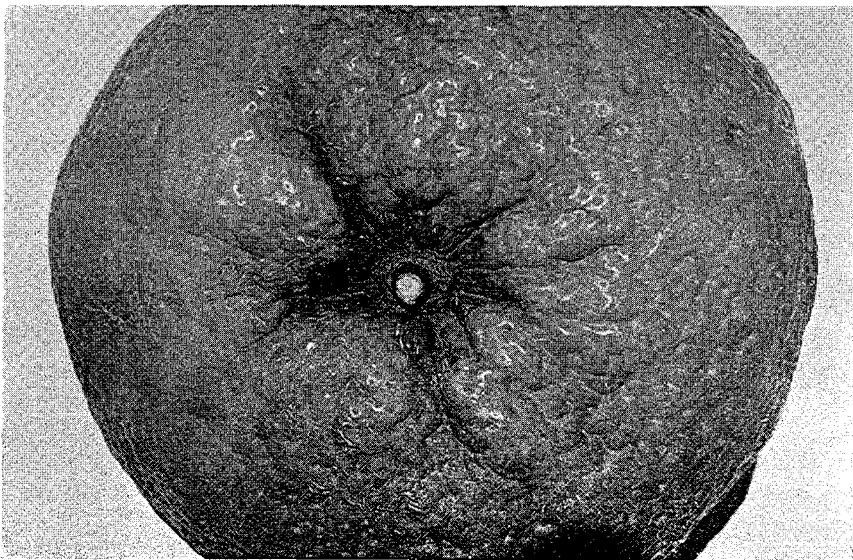
であるが、この両者が混合して発生する場合もあるし、いずれかの障害部が拡大して赤道部におよぶ場合もある。

##### 第1項 果梗部障害

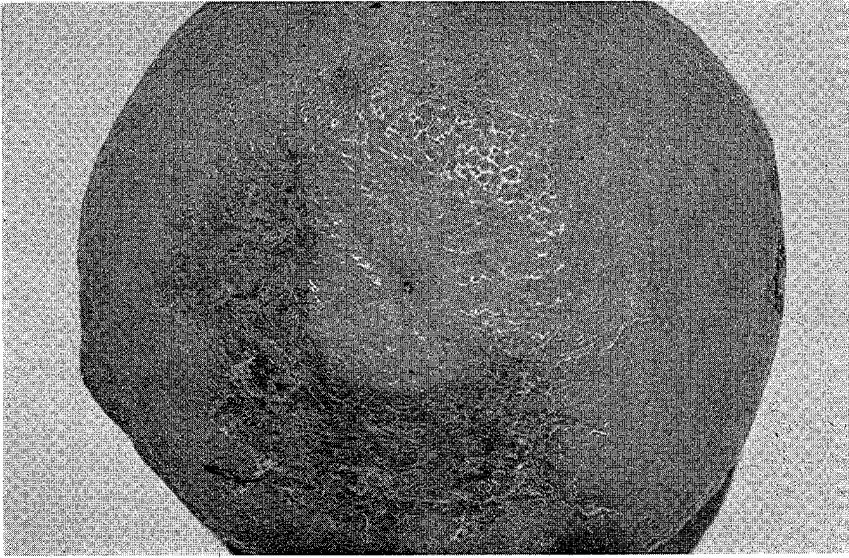
第41図のように果梗基部にへたを中心にして果皮上に放射状に細かい亀裂を生じ、その部分がコルク化し、時には壊死部ができ、褐変したり、黒色に変色したりする。その程度がはげしい時には、へたの周囲の果皮が凹陷し、ついには落果することもある。褐変は組織の壊死によるものであるが、黒変はすす病の病原菌類の菌糸やじんあい亀裂部に沈積するためのものである。ちなみに、後述の果頂部に見られる亀裂は黒変しない。この果梗部の水腐病が黒色に見えるところから、ヘタグロと呼んでいる地方もある。

##### 第2項 果頂部障害

第42図のように果頂部周辺にまず細かい亀裂が発生し、その部分を中心に果皮組織が萎凋したり、水浸状を呈



第41図 果梗部の水腐病



第42図 果頂部の水腐病

したりする。降雨が続いた時には、この亀裂部より青かび病 (*Penicillium italicum*)、褐色腐敗病 (*Phytophthora citrophthora*)、黒斑病 (*Phoma citricarpa*) や白かび病 (*Oosporoidea citri-aurantii*) などが2次的に侵入寄生して、果皮表面から軟化腐敗して来る。この軟化腐敗がはげしい時には落果する。菌類が侵入する前に晴天になったり、殺菌剤がすでに散布してあったりして腐敗を見ない場合には、亀裂部に癒傷組織が生じ、も早その部分から腐敗を見ることなく安全な状態に保たれ、亀裂部が一部にとどまる。初期の亀裂を起点として亀裂部が果頂部全面に拡がり、亀裂間が壊死し、外観的に褐色部を形成し、かさかさ乾燥する。この程度が大きい場合には果実の等級が下り、さらにいちじるしい時には商品価値がなくなる。

静岡県伊豆地方では菌の寄生により2次的に腐敗したものを水腐病と呼んでいるが、これより前の段階で亀裂の発生したものを水腐病と呼んでいる地方(和歌山県)もあるので、山田の見解(1960)にしたがい筆者も後説をとり、以下水腐病として論じていく。

### 第3項 水腐病の発生経過の類別

水腐病の発生経過を類別して見ると以下のようなになる。発生経過には差はあるが、いずれの場合も亀裂の発生がすべての症状に先立つようである。

- |                |   |                          |
|----------------|---|--------------------------|
| 果梗部 }<br>果頂部 } | { | (A) 亀裂 → コルク形成 (癒傷)      |
|                |   | (B) 亀裂 → 褐色斑             |
|                |   | (C) 亀裂 → 水浸症状 → 乾固       |
|                |   | (D) 亀裂 → 水浸症状 → 褐色斑 → 乾固 |

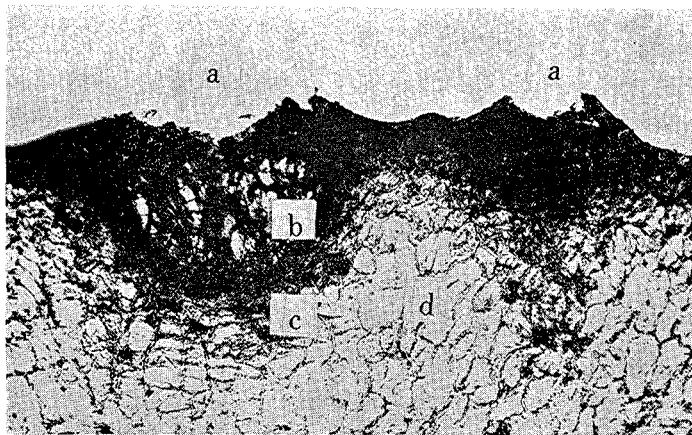
亀裂の数が少ない時や浅い時には (A) の経過をたどり、最も被害が少ない。亀裂が深く、多い場合には亀裂間の組織が壊死を起して褐変し、(B) の経過をたどる。果頂部に見られるものであるが、初期亀裂の部分を中心として時として水浸状になり、それがごく表面で、狭い範囲にとどまり、そのまま乾固して (C) の経過をたどり、または水浸状部を中心に壊死を起して褐変し、(D) の経過をたどることも多い。果梗部の障害は (A)、(B) がほとんどである。第2項で述べた2次的な病原菌の侵入は障害部が乾固するまでの間に起るもので、乾



固してしまえば、亀裂部にコルクが形成され、も早障害が広まることはないが、亀裂が大きく、壊死部が生じた場合には、この部分よりの雨水の浸入は容易で、降雨時さらに新しい亀裂を生じる原因となる。なお、収穫後の果実では水腐病の進行、新しい亀裂の発生は認められない。

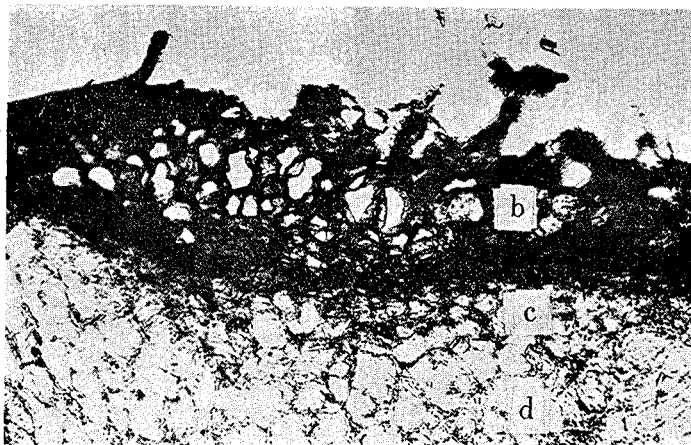
#### 第4項 水腐病果皮の組織

水腐病果皮の障害部の組織は第43図、第44図のとおりである。ナツダイダイの果皮は第1章で述べたように外側からクチクラ層、表皮、下皮、フラベドおよびアルベドからなっており、前項(A)のような比較的障害程度の小さいものでは、障害部はほとんど表皮からフラベド組織までに止っている(第43図)。顕微鏡下で観察すると、小亀裂では深さ30 $\mu$ 程度で、下皮細胞くらいまで破壊されているに過ぎないが、大きな亀裂になると、深さ1-2mmにおよび、フラベド組織や油胞まで破壊されている。油胞が破壊されたものでは、その中に含まれて



第43図 障害程度の小さい水腐病果皮の組織

- a 亀裂開口部      b 死滅したフラベド組織  
c 癒傷木栓組織    d 障害の及ばないフラベド組織



第44図 障害程度の大きい水腐病果皮の組織

- b 死滅したフラベド組織(褐変)  
c 連続して形成された癒傷木栓組織  
d 障害の及ばないフラベド組織

いる精油は消失し、空洞となり褐変乾固している。これらの破壊部位からの病原菌や雨水の浸入、果実内の水分の蒸散を防ぐために癒傷木栓組織が形成されている。すなわち、果皮に亀裂が発生すると、傷害を受けた細胞はもちろんその付近の細胞もともに若干死滅するが、その傷口より内部の生きている細胞は、その細胞膜を木栓化して死んだ細胞との連絡を断ち、果実を保護する。前項（B）に相当するものでは第44図のように表皮下に癒傷組織が連続して形成される。

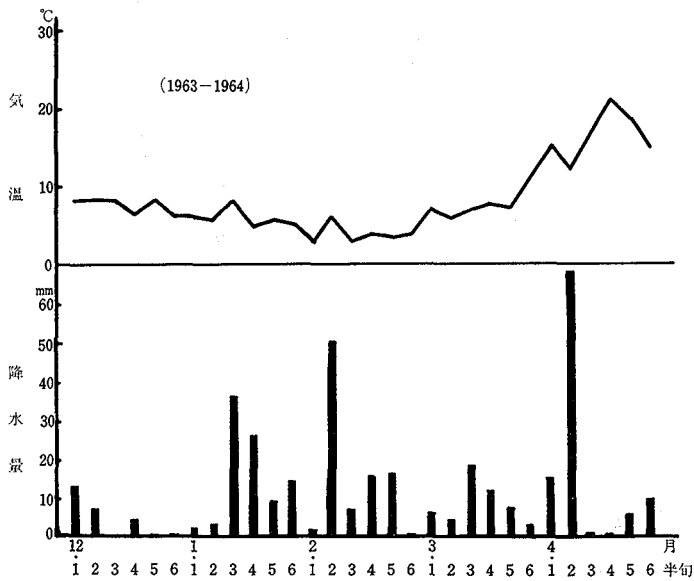
第2節 水腐病発生の現地調査

水腐病発生の現地調査を1963年には愛媛県八幡浜市向灘、1964年には八幡市向灘と香川県高松市中山町のナツダイダイ園において行なつた。調査期間中の八幡浜市の気象状態は第1章で述べたとおりであるが、高松市の気象状態は第45図のとおりである。

供試樹の状態は第3表のとおりである。供試樹は各園においてそれぞれ2-5本を選んだ。

第1項 発生時期調査

1963年と1964年に八幡浜市向灘の前記A園（第1、2章の調査を行なつた園）において毎年水腐病の発生の多い同一樹について発生時期を調べ、1964年にはさらに高松市中山町のB、C園についても1月下旬より同様な調査を行なつた。



第45図 高松市の調査期間中の気象状態

第3表 供試樹の状態

園	地 区	樹 齢	結実状態	樹 勢	土 質	台 木
A	愛媛県八幡浜市向灘	17~18年	普 通	良	結晶片岩土壤	カラタチ
B	香川県高松市中山町	50	普 通	普 通	安山岩土壤	カラタチ
C	同 上	23	普 通	普 通	安山岩土壤	カラタチ
D	同 上	13	普 通	良	安山岩土壤	カラタチ

第4表のように、八幡浜市の調査では1963年には4月中旬より、1964年には2月中旬より発生しはじめ以後急に障害果を増加した。1964年の高松市の調査（第5表）では3月上旬より発生を見た。八幡浜市における同一樹についての両年の調査での発生時期の相違を第1次肥大期終了以後の気象状態から検討すると、気温では1月の平均気温が1963年にはいちじるしく低く $3.3^{\circ}\text{C}$ を示したのに対し、1964年には $7.6^{\circ}\text{C}$ と高かった。2月もそれぞれ $4.2^{\circ}\text{C}$ 、 $5.8^{\circ}\text{C}$ と1964年がかなり高かったが、3月には差はなかった。降雨量では1月が1964年には多く93mmを示した。これらのことから、第1章の果径肥大の経過より見てもわかるとおり1964年には1、2月の気温が高く、早くから第2次肥大期が始まったのに対し、1963年は近來に見る寒冬であったため2次肥大の開始が遅れ、水腐病の発生も遅れたように推察される。なお、後述するが、1964年には1月の降雨が2月の2次肥大の開始と相まって水腐病発生を促進したものと思われる。この点について、高松市の調査を見ると、1日に15mm以上の降雨をみた2月下旬、3月中旬および4月上旬の3期の直後の調査で水腐病の発生が見られたことより、気温の上昇と降雨が水腐病発生に關与するものと思われる。なお、1963年には果梗部障害の発生が早くから、1964年には果頂部の障害発生が早くから見られた。

第4表 八幡浜市における水腐病発生時期調査

調 査 日	樹上着生果数	水 腐 病 果 数			健全果数	落果数—累積—
		果梗部	果頂部	両 部		
1963年 2月16日	100	0	0	0	100	—
3. 3	84	0	0	0	84	16( 0)
3. 16	81	0	0	0	81	19( 0)
4. 1	75	0	0	0	75	25( 0)
4. 17	73	17	0	0	56	27( 0)
4. 29	65	19	0	0	46	35( 8)
5. 16	55	17	11	2	25	45(17)
6. 1	47	32	0	14	1	53(23)
1964. 2. 2	100	0	0	0	100	—
2. 16	100	0	20	0	80	0( 0)
3. 1	99	0	26	0	73	1( 0)
3. 17	96	1	31	1	63	4( 0)
3. 27	94	2	38	5	49	6( 2)
4. 15	86	16	27	26	17	14( 8)
4. 30	75	18	12	41	4	25(18)

(注) 果梗または果頂部障害果が両部障害果に移行するカッコ内は落果中の障害果数

第2項 水腐病果の発生状態

ナツダイダイの果実収穫時に、果実の水腐病発生状態と果径、樹冠上の着果位置、着果角度（第4節 第5項）、結果枝葉数および樹齢などとの関係について調査した。1963年には6月上旬に八幡浜市のA園について、1964年には4月下旬に八幡浜市のA園、4月上旬に高松市のB、C園について同様な調査を行なつたが、ほぼ同じ傾向が認められたので、ここでは高松市のB、C園の成績をまとめて述べる。

(i) 果 径 果実の横径と水腐病発生との関係を見ると第6表のとおりである。果径の分類はナツダイダイ果実の全国統一出荷規格によつた。

これによると、果梗部、果頂部とも果径

第5表 高松市における水腐病発生時期調査

園	調 査 日	樹上着生果数	水 腐 病 果 数			健全果数	落果数—累積—
			果梗部	果頂部	両 部		
B	1964年 2月20日	100	0	0	0	100	—
	3. 1	99	0	1	0	98	1( 0)
	3. 11	98	0	3	0	95	2( 0)
	3. 21	98	0	3	0	95	2( 0)
	3. 31	95	0	2	0	93	5( 1)
	4. 10	93	0	3	0	90	7( 2)
C	1964. 2. 20	100	0	0	0	100	—
	3. 1	100	4	6	1	89	0( 0)
	3. 11	100	6	6	1	87	0( 0)
	3. 21	99	7	7	5	80	1( 0)
	3. 31	98	9	7	5	77	2( 0)
	4. 10	97	4	8	16	69	3( 1)

(注) カッコ内は落果中の障害果数

第6表 果径の大小と水腐病発生

果実の横径	全果数	水 腐 病 果 数			
		果 梗	果 頂	両 部	計
10.9cm以上	49	16(32.7)	16(32.7)	9(18.3)	41(83.7)
10.2~10.9	152	26(17.1)	18(11.8)	9(5.9)	53(34.9)
9.5~10.2	267	15(5.7)	19(7.1)	5(1.9)	39(14.6)
8.8~9.5	191	1(0.5)	10(5.3)	1(0.5)	12(6.3)
8.0~8.8	69	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)
8.0cm未満	13	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)

(注) カッコ内は全果に対する障害果%

第7表 樹冠上の着果方位と水腐病発生

方 位	全果数	水 腐 病 果 数			
		果 梗	果 頂	両 部	計
東	237	26(11.0)	24(10.1)	15(6.3)	65(27.4)
西	221	29(13.1)	36(16.3)	6(2.7)	71(32.1)
南	256	11(4.3)	22(8.7)	5(2.0)	38(15.0)
北	250	3(1.2)	3(1.2)	0(0)	6(2.4)

(注) 同 上

第8表 上なり、下なりと水腐病発生

上 下	全果数	水 腐 病 果 数			
		果 梗	果 頂	両 部	計
上 な り	218	9(4.1)	20(9.2)	3(1.4)	32(14.7)
下 な り	514	50(9.7)	42(8.2)	21(4.1)	113(22.0)

(注) 同 上

第9表 内なり、外なりと水腐病発生

内 外	全果数	水 腐 病 果 数			
		果 梗	果 頂	両 部	計
内 な り	250	20(8.0)	13(5.2)	3(1.2)	36(14.4)
外 な り	482	37(7.9)	49(10.2)	21(4.4)	107(22.5)

(注) 同 上

8.8cm未満のSSに相当する小果実には発生が見られず、果径10.9cm以上のLLの大果には水腐病果がいちじるしく多かつた。果実の大きさと果梗部、果頂部障害の関係を見ると、果梗部障害の発生が果頂部障害果よりやや大きい果実に見られる傾向にあった。これは成熟度のすすんだ大きな果実で果梗基部に見られる果皮の異常肥大による隆起が大きく、その関係を示すものと思われる。

(ii) 樹冠上の着果位置 まず、樹冠上の着果方位と水腐病発生の関係を見ると、第7表のとおりで、西面の果実に最も発生多く、ついで東面の果実である。最も発生が少ないのは北面であった。

上なり、下なりと水腐病発生の関係を見ると第8表のとおりである。調査樹の樹高の平均は約3mであったが、一様に地上より1.5mの高さをもって、それより上に着生している果実を上なり、それ以下の果実を下なりとして区別した。この区別によると、果頂部障害はあまり差がなかったが、果梗部障害果発生割合は下なりに多かつた。

内なり、外なりによる水腐病発生の状態を比較すると(第9表)、外なりの方が内なりより幾分多く発生し、この傾向は果梗部より果頂部障害に大きかつた。

(iii) 結果枝葉数 結果枝葉数と水腐病発生との関係を見ると、第10表のとおりである。本調査樹は直花果(結果枝葉数0)がかなり多かつたが、これにはほとんど水腐病が発生していなかつた。結果枝葉数が多くなるほど、果実に水腐病の発生が多くなる傾向にあった。このことは、森(1961)も認めており、結果枝上に数枚以上の葉を持った結果条件のよい果実に発病が多いと述べている。

(iv) 樹 齢 調査樹を樹齢別に分け、50年生を老木とし、13年生のD園を加えて13~23年生樹を若木として、樹齢の相違による水

腐病発生の多少を検討した (第11表)。これによると、明らかに樹勢の旺盛な若木に発生多く、13.4%の障害果率を示したのに対し、樹勢のやや衰えつつあった50年生の老木は5.0%の発生に過ぎなかった。

**第3項 栽培管理と水腐病発生**

園の春先の排水の良・不良と土中の肥料の多少が水腐病発生におよぼす影響を観察した。

(i) 排水の状態 傾斜地カンキツ園は一般に排水良好であるが、詳細に観察すると階段畑の土堤直下は降雨後は土壤が比較的湿潤であり、その反対側は降雨があってもすぐに排水され、常に比較的乾燥状態にある。

筆者は1964年の4月に前記八幡浜市と高松市の傾斜地ナツダイダイ園で降雨約1週間後、なお土壤が湿潤状態にある樹とすでによく排水され土壤が適湿状態にある樹を選び水腐病発生の状態を見た。

その結果は、第12表のとおりで、両調査地とも、春先の降雨後やや排水の不良な場所にある樹で水腐病発生の多い傾向にあった。

(ii) 秋肥の多少 ナツダイダイ果実の春先の2次肥大の開始にあたってこれに影響を与える肥料は春肥よりもむしろ前年の秋肥と考えられたので、果実の肥大に最も大きな役割を占める窒素とカリを1963年の秋に多用し、翌年の水腐病発生との関係を八幡浜市の前述のA園で調査した。

施肥設計は第13表のとおりで、秋肥の窒素多用区、カリ多用区および標準区の3区を設け、1963年11月15日に施肥した。標準区の年間施肥量は1樹当たり窒素700g、リン酸550g、カリ600gとした。要素源としてそれぞれ硫酸、過石および硫酸カリを用いた。

秋肥施用に先立ち、10月1日に各区横径のほぼ等しい30果を選び、2週間毎に果径を測定し、肥大曲線を見たところ第46図のとおりで、窒素多用区およびカリ多用区とも標準区より果径肥大がやや良好であり、とくに窒素

第10表 結果枝葉数と水腐病発生

結果枝葉数	全果数	水 腐 病 果 数			
		果 梗	果 頂	両 部	計
0	201	4( 2.0)	5( 2.5)	0( 0 )	9( 4.5)
1	58	3( 5.2)	2( 3.5)	1( 1.8)	6(10.5)
2	57	4( 7.0)	4( 7.0)	1( 1.8)	9(15.8)
3	92	5( 5.4)	7( 7.6)	2( 2.2)	14(15.2)
4	87	8( 9.2)	5( 5.6)	3( 3.4)	16(18.2)
5	105	16(15.2)	13(12.4)	9( 8.6)	38(36.2)
6	68	10(14.7)	9(13.2)	6( 8.8)	25(36.7)
7以上	68	6( 8.8)	16(23.5)	2( 2.9)	24(35.2)

(注) カッコ内は全果に対する障害果%

第11表 樹 齢 と 水 腐 病 発 生

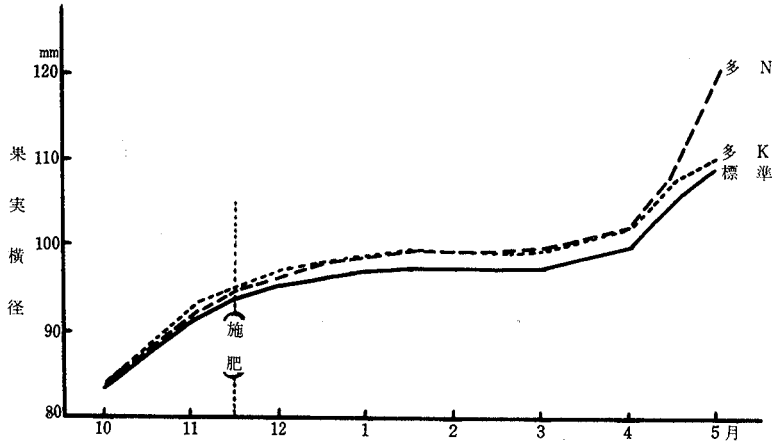
	全果数	障害果数	障害果率
若 木	760	102	13.4%
老 木	421	21	5.0

第12表 春先の園の排水の良・不良と水腐病発生

調査地	排水状態	全果数	障害果数	障害果率
八幡浜市	良	215	10	4.7%
	不良	187	34	18.2
高松市	良	561	49	8.7
	不良	279	64	22.9

第13表 秋肥の施用量

処 理 区	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
標 準 区	220g	130	130
窒 素 多 用 区	330	130	130
カ リ 多 用 区	220	130	195



第46図 窒素およびカリの多用と果径の肥大

第14表 前年の秋肥の多少と水腐病の発生

処 理 区	全 果 数	障 害 果 数	障 害 果 率
標 準 区	257	21	8.1%
窒 素 多 用 区	224	40	17.9
カ リ 多 用 区	215	10	4.7

多用区では果皮のぶくついた果実が多かった。

これら3区の果実を4月30日に一齐に収穫し、水腐病発生の状態を調べた。その結果は第14表のとおりで、窒素多用区ではかなり水腐病の発生が多かった。カリ多用区では、標準区よりやや発生が少なかった。

### 第3節 水腐病果の形質、品質と生理的特質

高松市産の水腐病果について1964年の4月中旬に収穫し、形質、品質および果実の吸水量、呼吸量などを調べた。

#### 第1項 水腐病果の形質

本章第1節において述べたように、水腐病は大果に発生しやすいので、標準区としての健全果も比較的大果を選び水腐病果と形質を比較した(第15表)。果実の縦径を横径で除した果径指数を見ると、障害果は健全果にくらべやや扁平果であった。これは第1章第1節第1項で述べたように成熟期がすすむにしたがって果径指数が低下することと関連して、障害果は成熟度がすすんでいることを示すものであろう。また、このことは果実比重でも認められ、障害果は比重が小さく、触感でもややぶくついた感じで、果皮の成熟がすすんだことを示した。さ

第15表 水腐病果の形質

	横径	縦径	果径指数	果重	容積	果実比重	果皮重	果皮割合	果皮の厚さ			硬 度		
									果梗部	赤道部	果頂部	果梗部	赤道部	果頂部
	mm	mm		g	cc		g	%	mm	mm	mm	kg	kg	kg
健 全 果	101.80	82.89	0.815	339.0	419.6	0.808	136.7	40.3	13.06	8.99	9.84	3.9	3.5	3.4
果梗部障害果	110.20	85.95	0.780	414.3	526.8	0.787	176.5	42.6	14.08	9.49	11.07	3.5	3.2	3.1
果頂部障害果	110.42	88.07	0.797	417.7	532.8	0.788	189.1	45.3	13.52	9.34	12.23	3.5	3.2	3.3
両部障害果	110.90	86.76	0.782	413.5	524.0	0.790	179.3	43.4	13.41	8.88	10.82	3.3	3.1	3.2

らに果皮重割合でみても、その割合は障害果に大であり、果皮の厚さでも果梗基部、果頂部の果皮が健全果より厚くなっていた。なお、果皮の硬度（三木式硬度計 No. 3、直径 4 mm の針で測定）は障害果で小となっており、この点からも成熟程度の進行をあらわしていると思われる。

同様に、果皮の水分含量も第2次肥大期に入ると、次第に多くなるのは第2章第6節のとおりであるが、障害果の果皮の水分含量を見ると(第16表)、やはり健全果よりフラベド、アルベドとも多くなる傾向を示した。この障害果皮の採取は障害部に近接した健全な部分を選んだのであるが、障害部は果皮が細かく割れコルク化したり、壊死し乾固したりしているため、当然水分含量は少なかった。

**第2項 水腐病果の品質**

水腐病果の果汁の品質を健全果のそれと比較した(第17表)。全糖含量はほとんど変わらなかったが、還元糖含量では明らかに障害果が高く、とくに果頂部障害果にその傾向がいちじるしかった。全糖に対する還元糖の割合を見ると健全果が44.2%を示したのに対し、両部障害果が59%と高い割合を示した。クエン酸含量ではわずかに障害果が高く、全糖含量を酸含量で除した甘味比では、健全果が高く、両部障害果が最も低かった。

第16表 障害果皮の水分含量

	果 梗 部		赤 道 部		果 頂 部	
	フラベド	アルベド	フラベド	アルベド	フラベド	アルベド
健 全 果	82.03	78.04	81.38	78.75	81.34	78.77
果梗部障害果	84.50	80.16	84.20	81.58	83.14	78.53
果頂部障害果	82.76	78.41	83.55	80.45	81.26	80.27
両部障害果	82.23	80.81	82.55	81.07	80.97	80.49

(注) 生体重 %

**第3項 水腐病果の生理的特質**

果実の呼吸量と果実面からの吸水量について述べる。

(i) 呼吸量 ナツダイダイ果実の発育ともなり呼吸強度の変化は第2章第1節のとおりであるが、1964年4月に収穫した健全果と水腐病果の呼吸量を比較してみたところ、第18表のとおりで水腐病果はいずれもやや呼吸量が低下しているようであった。この呼吸量の低下は果実の成熟のためか、または水腐病による果皮の損傷のための呼吸する組織の減少によるのか、この測定結果では明らかでない。したがって、筆者はここで果皮について水腐病による損傷部と隣接の健全部および健全果実の健全果皮の組織の呼吸をフラベドとアルベドに分けて、ワールブルグ検圧計により測定、比較した。

第17表 水腐病果の果汁の品質

	果汁比重	可溶性固形物 %	全糖 %	還元糖 %	酸 %	甘味比
健 全 果	1.037	9.4	5.74	2.55	2.18	2.63
果梗部障害果	1.035	9.2	5.63	2.61	2.20	2.56
果頂部障害果	1.035	9.4	5.63	3.19	2.22	2.54
両部障害果	1.038	10.0	5.83	3.48	2.43	2.40

第18表 水腐病果の呼吸量\*

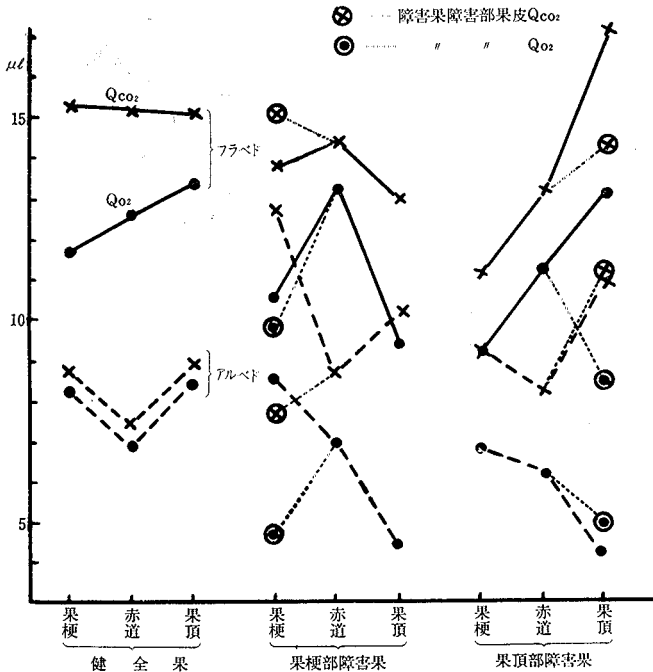
	高松市産果 (4.19, 1964)	八幡浜市産果 (4.30, 1964)
健 全 果	22.05	22.01
果梗部障害果	19.99	19.35
果頂部障害果	19.77	17.67
両部障害果	20.37	16.82

(注) \* CO<sub>2</sub> 呼出量 mg/kg/h 20°C で測定

呼吸量の測定には、フラベドあるいはアルベドの組織を果梗部、赤道部および果頂部に分けて直径7mmのコルクボーラーで打抜き果皮の円形片として、

生体重量で500mg程度を供試した。なお、フラベド組織はクチクラ、表皮および下皮を含むように採取した。測定に先立って、検圧計のガラス容器の主室に蒸留水1cc、副室に酸素の吸収量を見るときには苛性カリ20%水溶液0.2ccを入れ、炭酸ガス呼出量を見るときには蒸留水0.2ccを入れた。炭酸ガス吸収剤としての苛性カリ液の効率を高めるために副室に濾紙を入れ、前記苛性カリ液を浸潤させた。果皮に葉緑素が残ったり、回青したりしている場合は炭素同化作用を行なうが (BEAN et al 1963), 葉緑素がまったく認められなかったので恒温槽は遮光しなかった。測定温度は20°Cとした。

以上のようにして、予備的に測定した酸素および炭酸ガスの呼吸量の時間的変化を見ると、酸素の吸収量では0-120分ではまったく直線の変化が見られたのに対し、炭酸ガス呼出量の測定では最初の60分はかなり障害呼吸が見られた。したがって、本実験では測定開始後60-120分の間における果皮生体重1g当たり1時間の総呼吸量を $\mu\text{l}$ であらわし、 $Q_{O_2}$ と $Q_{CO_2}$ を算出した。その結果は第47図のとおりである。すなわち、フラベドはアルベドよりも呼吸強度は大であった。健全果で部位別に呼吸強度を見ると、フラベドでは $Q_{CO_2}$ は変わらないが、 $Q_{O_2}$ は果頂部に向うほど大となった。アルベドでは果梗部と果頂部はほとんど差はなく、赤道部が $Q_{O_2}$ 、 $Q_{CO_2}$ とも低かった。これを障害果で見ると、果梗部障害果の健全果皮間の比較では果梗部が高く、果頂部が低かった。果梗部の障害果皮部の組織(アルベドまでに及んでいない)はフラベドの $Q_{CO_2}$ では健全果皮部より高く、 $Q_{O_2}$ は低かった。アルベドではともに障害果皮で低下していた。果頂部障害果では、フラベドの健全果皮部で $Q_{O_2}$ 、 $Q_{CO_2}$ いずれも果頂部が最大で、アルベドでは $Q_{CO_2}$ が同じ傾向を示し、 $Q_{O_2}$ は果頂部で逆に最も低かった。果頂部の障害部と健全果皮部の比較では、フラベドで健全部が $Q_{O_2}$ 、 $Q_{CO_2}$ とも高く、アルベドでは変らなかった。この測定値を通じて平均して見ると障害果の健全果皮部は健全果の果皮よりも呼吸強度は小であり、前述の果実全体で調べた炭酸ガス呼出量測定の結果とよく一致する。健全果では、果梗部と果頂部の果皮の呼吸強度はあまり変わらないが、障害果ではその健全果皮間の比較で見ると、果梗部障害果では果頂部より果梗部が、果頂部障害果で

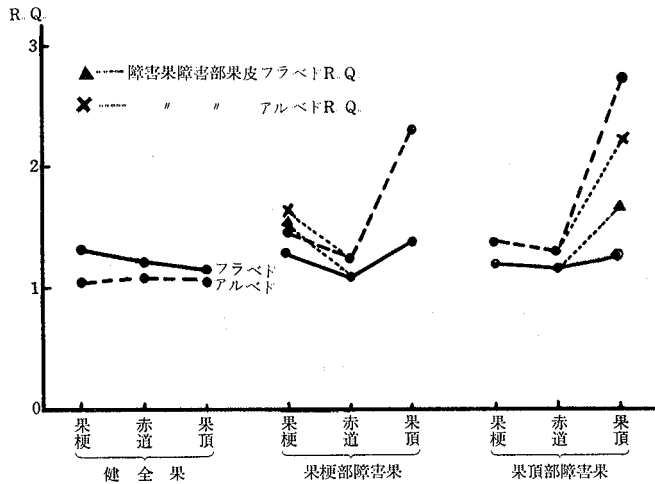


第47図 障害果皮の呼吸量の比較



は果梗部より果頂部が呼吸強度が大である傾向がうかがわれる。これらのことから、障害果では熟度がすすみ、果実全体としては呼吸強度は減じているが、水腐病を発生する状態になれば一つの果実内で部分的に果皮の呼吸強度が大となり、その部分の果皮の細胞内容物が消費され、カロチンの早期消失などをともない褪色した白っぽい外観の果皮となるのであろう。なお、水腐病のほとんど発生しない赤道部は、障害果で健全果より呼吸強度は幾分小さく、果実全体を用いて測定した場合の傾向と一致する。

次に、 $Q_{CO_2}$ を $Q_{O_2}$ で除したR.Q.(呼吸商)を見ると第48図のとおりで、健全果ではフラベド、アルベドともR.Q.は1に近い。障害果でも健全果皮部のフラベド組織は1に近い値を示すが、障害果皮部はやや高く、1.5-1.7の値を示した。アルベドのR.Q.は健全果ではどの部位でも1に近いが、障害果では健全果皮部でもいちじるしく高かった。とくに、果頂部ではその傾向が大であった。障害果の健全果皮部と障害果皮部を比較すると、果梗部障害果では障害部のR.Q.が、果頂部障害果では健全部のR.Q.が高かった。



第48図 障害果皮の呼吸商 (R.Q.) の比較

(ii) 障害果実の吸水 前述のように現地調査の結果、水腐病は大果に多量の水が内外(根の吸水と果実にかかった降雨)から供給された時、発生すると考えられるので、健全大果と障害果について24-48時間、水に浸漬した場合の吸水量を調査した。

第19表のように、健全果では24時間後で1果当たり0.6cc(果実1kg当たり1.2cc)、48時間後でさえもわずかに2.4cc(5.8cc)の吸水量を示したにすぎない

が、果梗部障害果では1果当たり10cc(30cc)以上の吸水を24時間後に示し、果頂部障害果では48時間後で約100cc(240cc)の吸水をした。これは第1節の障害果の組織について観察したように、亀裂が多数発生した後、組織内に形成された壊死部が容易に水を通わせるためと思われる。この水の通過量は障害部面積の多少によるもので、一般に面積的には果頂部障害果で広く、これらの吸水量は当然

第19表 水腐病果実の吸水

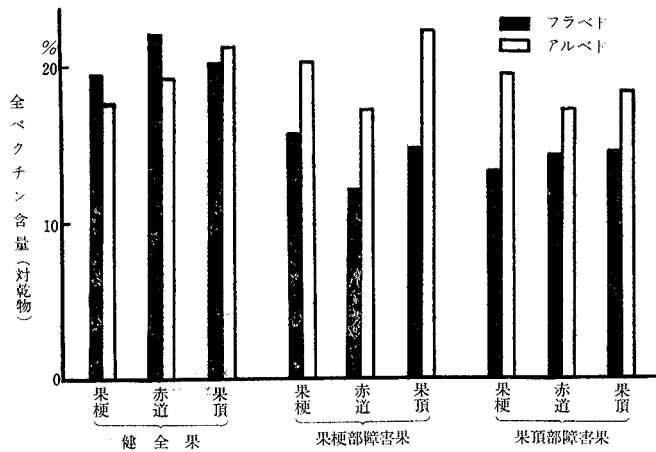
	供試果実重 (浸水前)	吸水量			
		24時間後		48時間後	
		1果 当たり	1kg 当たり	1果 当たり	1kg 当たり
健全果	412.2 g	0.6 cc	1.2 cc	2.4 cc	5.8 cc
果梗部障害果	400.0	12.1	30.3	23.1	57.8
果頂部障害果	399.0	40.8	102.3	95.3	238.8

(注) 1964年4月調査

果頂部で多くなるものと思われる。なお、別に亀裂がわずかに発生した果実の吸水量を調べたが、健全果の吸水量とほぼ同じであった。

(iii) ペクチン含量 三浦・萩沼・水田(1963)は10月下旬より翌年の4月下旬まで愛媛県八幡浜市産のナツダイダイの果皮と果肉のペクチン含量を調査したが、いずれも成熟するにしたがって漸減した。筆者は1965年6月に高松市産の水腐病果の果皮のペクチン含量を健全果のそれと比較した。

ペクチン質の定量はMc COLLOCH法に準じ分別抽出し、その抽出液をカルバゾール反応比色法により無水ウロン酸として定量し、果皮の乾物%で表示した。その結果は第49図のとおりである。すなわち、障害果の果皮の全ペクチン含量は健全果のそれよりも少なく、その傾向はフラベド部分でいちじるしい。部位別のペクチン含量を見ると、健全果では果梗部が含量最も少なく、果頂部が比較的多かった。障害果でもフラベド、アルベド部の平均ではほぼ同じ傾向を示した。また、障害果ではフラベドよりアルベドでどの部位でもペクチン含量が多かったが、健全果の果梗部および赤道部では逆の傾向にあった。



第49図 水腐病果皮の全ペクチン含量

(iv) フラベド細胞の浸透圧 森(1961)は硝酸カリの水溶液に果皮組織の切片を浸漬して、原形質分離法により細胞液濃度を水腐病果皮と健全果皮で比較したところ、水腐病果皮は健全果の果皮に比べてその細胞液濃度が低く、0.2-0.3モルの差が見られた。

第20表 水腐病果皮の浸透圧

	果梗部	赤道部	果頂部
	mol	mol	mol
健全果	0.40	0.60	0.45
果梗部障害果	0.35	0.55	0.40
果頂部障害果	0.35	0.50	0.35

(注) 高松市産果 1964年4月調査  
数値は硝酸カリ水溶液のモル数

筆者も同様に障害果と健全果のフラベド細胞の浸透圧を硝酸カリの原形質分離法で調べた。その結果は第20表のとおりで障害果皮は平均して浸透圧が低く、とくに障害部付近の果皮の浸透圧は健全果のその部位より低かった。

以上と関連してフラベド細胞の浸透圧の季節的変化を1964年11月から1965年6月にかけて高松市産果について調べた。その結果は第50図のとおりで、第2次肥大期に入ると急激に浸透圧は低下した。最も

高い浸透圧を示したのは1月中旬であった。

第4節 水腐病の発生機構

第1項 果皮片水浸漬による

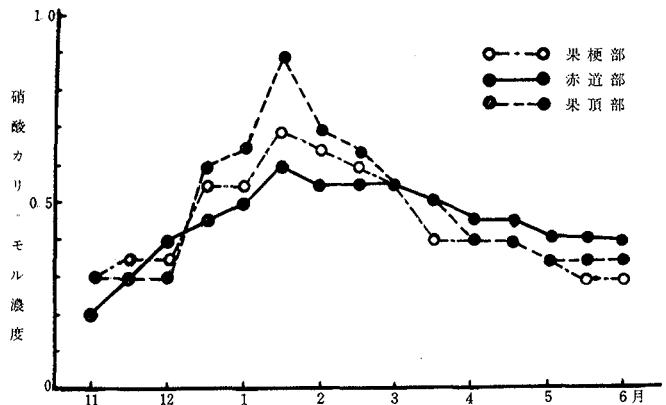
亀裂発生

成熟果の果皮片を水浸漬すると、24時間以内に表面に亀裂が発生する。この亀裂は外観上まったく現地で発生する亀裂と同じであった（第51図）。また、亀裂の状態を顕微鏡下で比較しても同じであった。

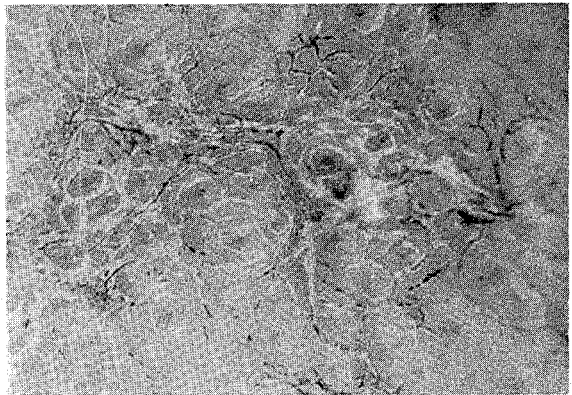
この水浸漬による亀裂発生を1962-1963年にわたり、成熟期前の9月下旬から翌年の6月まで調査したところ、第21表のように果頂部果皮は12月上旬より、果梗部果皮では翌年の2月上旬より発生を見た。この亀裂発生開始期は年により幾分差があり、1963-1964年には11月中旬より、1964-1965年には11月上旬より発生した。しかし、いずれも果頂部で発生が早かった。この果皮片浸漬による亀裂発生開始期の早晩と、現地での水腐病発生時期の早晩とは必ずしも一致しないようで、果皮片の亀裂発生の開始期は開花した年内の果実発育の遅速と関係し、年内に発育のすすんだ時には亀裂が早く発生し、現地の水腐病は越冬後の2次肥大開始の早晩が更に付加されるように考えられる。すなわち、開花結実した年の果実の発育が良好で、さらに越冬後の第2次肥大期の開始が早い場合には水腐病は早期からはげしく発生を見ると推察される。

一般に、水腐病の発生をあまり見ない赤道部の果皮の浸漬では他の部位にくらべて亀裂の発生遅く、4月上旬にはじめて発生を見た。したがって、亀裂発生の難易の順位は最も発生し易い部位からあげると、果頂部、果梗部、そして赤道部となる。

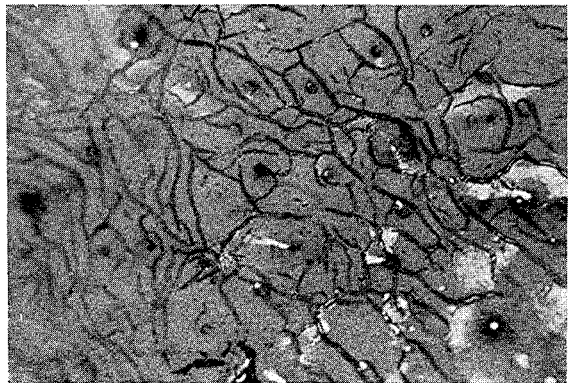
次に、ナツタイダイおよび他のカンキツ類をそれぞれ慣行の収穫時期に採取し、その果皮片を水浸漬し、24時間後の亀裂発生の有無を調査した。果頂部の果皮についての結果を第22表に示す。これまで筆者が本論文の実



第50図 フラベド細胞の浸透圧の季節的变化



(現地で発生)



(果皮片水浸漬による発生)

第51図 果皮面の亀裂発生

第21表 果皮片水浸漬による亀裂発生の季節的变化

部 位	年月日	'62					'63											
		9 30	10 16	11 1	11 16	12 2	12 17	1 3	1 16	2 2	2 16	3 3	3 16	4 1	4 17	5 1	5 16	6 1
果 梗 部		—	—	—	—	—	±	±	±	+	+	+	+	+	+	+	+	+
赤 道 部		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	±	±	+	+	+	+	+
果 頂 部		—	—	—	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

(注) — ~ 卅 亀裂の程度

験に供したナツダイダイは在来種であるが、川野ナツダイダイでもやはり亀裂がはげしく発生した。日向夏、八朔、文旦、伊予柑、三宝柑、臭橙などでも亀裂が発生し、温州ミカン、ワシントン・ネーブル、ユーレカ・レモン、金柑では発生しなかった。日向夏は現地でも、収穫期に果梗部に水腐病類似的亀裂を発生する。八朔、文旦などは越冬させないで年内に収穫し水腐病は見られないが、第2次肥大期まで樹上におき、果皮が2次肥大をする余力があれば水腐病が発生する可能性がある。本実験でネーブルの果皮には亀裂の発生を認めなかったが、米国加州では越冬させ3-4月に収穫し、水腐病類似的 **Water spot** の発生を見るようで、わが国のように12月に収穫する場合は亀裂が発生するほど組織が成熟していないものと考えられる。本実験の温州ミカンの果皮には亀裂を生じなかったが、はげしい浮皮果の果皮を用いた他の実験では亀裂を発生し、果皮組織の成熟の程度が亀裂発生の有無を決することを示した。

第22表 種々のカンキツ類果皮の水浸漬による亀裂発生の有無

種 類	亀裂発生 の有無	調査時期
ナツダイダイ (在来)	+	1965年 5月
” (川野)	+	1965. 2
温州ミカン (普通)	—	1964. 12
” (早生)	—	1964. 11
日 向 夏	+	1964. 5
八 朔	+	1964. 12
ワシントン・ネーブル	—	1964. 12
ユーレカ・レモン	—	1964. 12
平 戸 文 旦	+	1964. 12
伊 予 柑	+	1965. 3
三 宝 柑	+	1965. 3
臭 橙	+	1964. 12
金 柑	—	1965. 3

(注) + 果皮面亀裂発生  
— “ なし

第2項 果実表面よりの吸水

成熟期になると、果皮片浸漬のみでなく、果実全体を水に漬けた場合にも亀裂が発生するようになる。そこで、果実全体を水に浸漬して吸水量の季節的变化を測定するとともに、果皮面に亀裂が生じるまでの浸漬日数を1962-1963年、1963-1964年の両年度にわたって調査した。1963-1964年の結果をかかげると第23表のとおりである。

24時間後の吸水量はわずか1cc前後で生育がすすむにつれて幾分増加の傾向を示したが、あまり差はなかった。48時間後でも同じ傾向であった。これら果実を更に長時間水に浸漬し果皮面に発生する亀裂の有無を検したところ、12月中旬で7日ぐらい浸漬してようやく発生しはじめたが、越冬後はこれより短い日数で発生し、2月中旬以後は48時間の浸漬で細かい亀裂を多数生じた(第52,53図)。この亀裂は現地で発生する亀裂や果皮片の水浸漬により生ずる亀裂と同じであり、果梗部より果頂部に多く生じる傾向にあった。この年現地ではやはり2月中旬より果頂部に発生しはじめたが、2昼夜の水浸漬で初

期亀裂を認めるようになると、現地でも発生を予想することができるようである。1963年の春は現地での発生が例年にくらべて遅く、果梗部で4月中旬、果頂部では5月中旬になって発生がはじめて認められたが、健全果実の浸漬でも5月中旬になって2日間浸漬後に亀裂発生を見るようになった。

以上のことから現地における水腐病の発生は吸水量の多少よりも、果皮の成熟状態の如何に左右されるところが大きいと考えるのが妥当であろう。果実の水浸漬により亀裂を生じる時の吸水量は3-5cc前後で健全果実重から見れば1%程度に過ぎない。

健全果で見ると上述の吸水量であるが、第3節第3項(ii)で述べたように、障害果ではかなりの吸水量を示し、2次的な亀裂発生を誘発するところ大であると考えられた。そこで筆者は健全果に人工的に浅い傷をつけ吸水量の増大を確かめんとした。

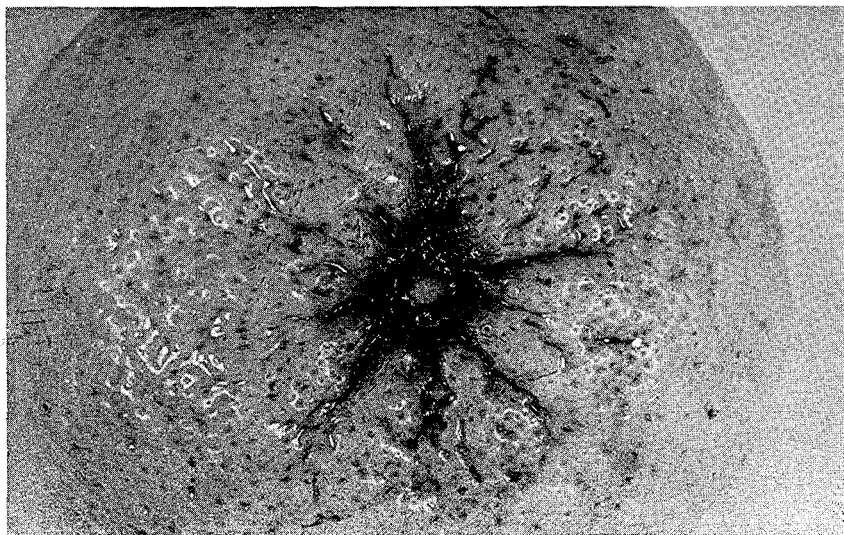
方法として果梗切口にはワセリンを塗布し、果梗部または果頂部のそれぞれ4カ所に木綿針で果皮面から深さ約3mmの小さな傷を油胞をさけて1カ所5個、合計20個つけて、直ちに水に浸漬して吸水量の調査に移った

その結果は第24表のとおりで、果梗部付傷果では大果で24時間後、付傷部周辺に亀裂が発生し、48時間後にはさらにそれがはげしくなった。小果では発生が見られなかった。吸水量は無傷の無処理区にくらべ非常に多く

第23表 果実の吸水と果皮面亀裂の発生

年・月・日	水浸前供試果実重	吸水量 (1果当たり)		亀裂発生 までの 浸漬日数
		24時間後	48時間後	
1963, 10. 16	254.5 <sup>g</sup>	0.4 <sup>cc</sup>	3.1 <sup>cc</sup>	—
11. 1	283.9	0.7	3.0	—
11. 15	315.3	0.8	3.6	—
11. 30	326.2	0.9	3.5	—
12. 16	354.0	1.0	5.3	7
1964, 1. 3	353.9	0.8	2.1	6
1. 16	366.6	0.9	2.0	3
2. 2	408.4	1.0	3.2	3
2. 16	390.6	1.1	3.5	2
3. 1	347.5	0.7	2.2	2
3. 17	357.9	1.4	2.8	2
3. 27	376.9	1.9	3.5	2
4. 15	410.1	1.6	2.4	2
4. 30	412.2	1.2	3.7	2

(注) 八幡浜市産果



第52図 果実全体の水浸漬による果梗部の亀裂発生



第53図 果実全体の水浸漬による果頂部の亀裂発生

第24表 果皮面付傷と果実の吸水

	果実の 大小	水浸前 供試 果実重	吸水量 (1果当たり)		果皮面亀裂			
			24時間後	48時間後	24時間後		48時間後	
					梗	頂	梗	頂
無処理	大	342.6 <sup>g</sup>	1.9 <sup>cc</sup>	3.4 <sup>cc</sup>	—	—	—	—
	小	261.3	0.2	2.0	—	—	—	—
果梗部 付傷	大	319.9	9.5	12.4	+	—	++	—
	小	229.8	10.8	20.9	—	—	—	—
果頂部 付傷	大	347.9	17.5	37.3	—	+	—	++
	小	242.8	14.2	25.9	—	+	—	++

(注) 高松市産果 1964年2月実験  
— ~ ++ 亀裂の程度

あろう。この原因として考えられることは、果頂部の組織の浸透圧であるが、前述したようにいちじるしい部位的の差はなく、もっぱら果皮の成熟度の進度が果頂部で先行している点から説明されるべきものとする。ちなみに、果汁の品質を果梗部側と果頂部側に2等分して調査すると健全果、障害果の別なく、果頂部で全糖、還元糖、酸含量および果汁比重が高く、成熟度がすすんでいると予想される。したがって、それに付随する果皮も果頂部側で果梗部よりも成熟の段階がすすみ、果皮の吸水力大で、亀裂も生じ易いと考えることができよう。

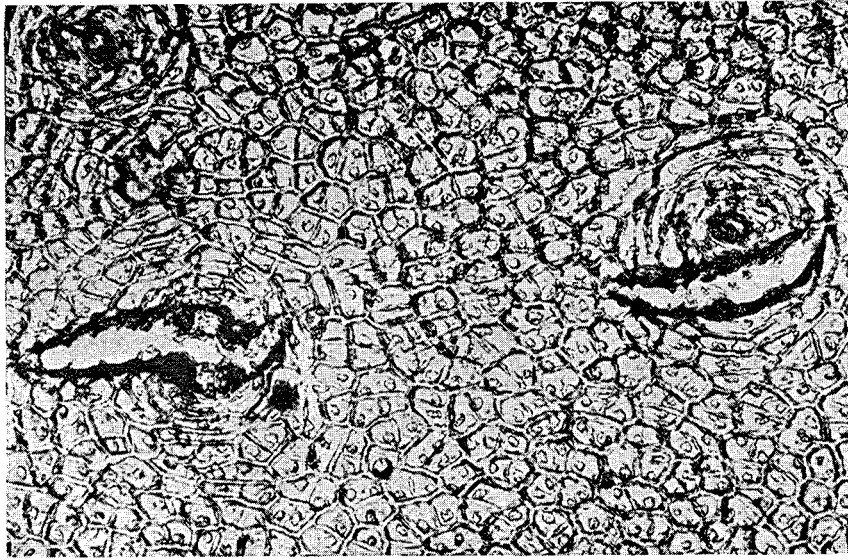
### 第3項 水腐病果皮の初期亀裂

果皮の表皮のみを第1章の方法で剝離し、顕微鏡下で時期別に採取したものについて観察していくと、1962-1963年には越冬中の1月中旬にすでに果梗部に亀裂の初期と思われるごく細かい亀裂(長さ500 $\mu$ 以内、深さ100 $\mu$ 程度)がわずかに発生していた。この程度の大きさでは勿論肉眼的には発見され難いものである(第54図)。

なった。小果では大果よりも吸水量が多かったにもかかわらず、亀裂発生を見なかった。

果頂部付傷果について見ると、大果、小果とも24時間後に付傷部を中心に亀裂を生じ、48時間後にはそれがいちじるしくなった。

無処理果と付傷果の吸水量を比較してみると大果、小果を問わず頂部の付傷果で多くなっていた。第3節第3項(ii)で障害果の障害面積の広い果頂部障害果で果梗部障害果より吸水量が多いと述べたが、本実験よりして、同じ深さの同じ数の傷口より吸水させた場合にも果頂部で多く吸水するところから、果頂部の吸水力の優ることは本質的なもので



第54図 初期の亀裂

本節第1項で述べた果皮片の水浸漬による亀裂の観察は24時間後から行なったが2次肥大を開始したころの果皮片を水に浸漬して2時間毎に亀裂の発生を追っていくと、水浸漬後約10時間すると、肉眼的にも細かい亀裂が見えはじめてくる。この果皮を剥離し、顕微鏡下で観察すると肉眼で見えた大きな亀裂の間に多数に小さな亀裂が認められる。その大きさを測定すると、1月中旬に現地で採取した果実の果皮面に顕微鏡下で認められた初期亀裂とほとんど同じ大きさであった。

次に、これら水浸漬果皮の初期亀裂が気孔と関係があるかどうかについて検討するために気孔の付近にある亀裂の割合を調べた。長さ500 $\mu$ 以内の初期亀裂100個についての観察結果は第25表のとおりで、亀裂発生にとくに気孔が関係しているとは断定できないが、孔辺細胞を破る亀裂が約半数認められた。ただし、前述の現地で見られた初期亀裂はほとんど気孔装置（猪野：植物組織学 1954—中央の小隙〔狭義の気孔〕、孔辺細胞、副細胞、近隣細胞を総称）を通してのものであった。

現地で発生した初期亀裂について検鏡すると次の4種類がある。

- (i) クチクラの亀裂
- (ii) 気孔装置の裂開
- (iii) 一般表皮細胞の裂開
- (iv) 表皮細胞の離間

(i) はクチクラのみの亀裂というより、クチク

ラが表皮と離れ難い形で密着しているため、表皮外層の亀裂を意味するわけである。(ii) は現地で発生する初期亀裂のほとんどを占めるもので、気孔や孔辺細胞が裂開を見ている。(iii) は前述のように果皮片を急激に水に浸漬すると発生する亀裂であるが、現地でもまれに見られる。(iv) は油胞上の大型表皮細胞に見られるもので、これら細胞の離れた部分にはコルクが形成され、以下の組織の露出を防いでいる。

次に、果皮の初期亀裂の直接の原因を知るために果皮片を水に浸漬して亀裂を発生させるとき、浸水前に果皮

第25表 水浸漬果皮の初期亀裂と気孔の関係

気孔と関係するもの		気孔と関係のないもの	
* 気孔を破る	孔辺細胞を破る	気孔の近くを通る	まったく関係なし
12	44	6	38

(注) \* 狭義の気孔、中央の小隙を指す

の各部の細胞の横断面積を測定しておき、24時間浸漬後、亀裂部位周辺の正常細胞の横断面積を浸水前のそれと比較して見ると第26表のとおりで、表皮細胞では浸水による大きさの変化がほとんどなかったのに対し、下皮細胞では小亀裂で2.26倍、大亀裂で2.84倍も膨潤しており、フラベド細胞では小亀裂で1.20倍、大亀裂で1.25倍と

第26表 水浸漬後の果皮の膨潤

	亀裂の 大きさ(深さ)	表皮細胞の 横断面積	下皮細胞の 横断面積	フラベド細胞 の横断面積
	μ	μ <sup>2</sup>	μ <sup>2</sup>	μ <sup>2</sup>
水浸漬前	—	185.4(100)	389.7(100)	2335.5(100)
水浸漬 24時間後	72	189.0(102)	879.3(226)	2791.8(120)
	174	184.5(100)	1107.9(284)	2918.7(125)

(注) カッコ内は水浸漬前の横断面積を100とした比数

ラ層、表皮細胞およびそれに続く下皮細胞とフラベドまで裂開させるのではないかと考える。この場合、アルベド細胞は第1章第2節で詳述したように、亀裂の発生を見るようになった果実では、すでにくもの足状に突起を出し、海綿状となっており水で膨潤しても他の部位まで圧力をかけるに至らず、大きく開いた細胞間隙の一部を埋めるに過ぎない。

前述のような種々の観察により、圃場における水腐病果に見られる初期の亀裂や、実験室内で発生させた果皮面の亀裂はいずれも表皮数層の細胞の破生的な亀裂にすぎないことが判明した。したがって、この部位の欠陥が果皮の亀裂に如何なる影響を与えるかを観察した。表皮とこれに続く数層の細胞層をも含め0.2-0.3mm程度に表皮をはぎとった果皮片を24時間水に浸漬した。その結果を見ると、クチクラ層、表皮およびそれに続く数層の細胞を含んだ果皮片はいちじるしく亀裂が発生したのにくらべ、表皮をはぎとった果皮片はなんら亀裂を生ぜず、吸水による膨潤のみを認めたにすぎない。クチクラ層を含めた表皮下数層の細胞の存在においてはじめて亀裂が発生したのにくらべ、この部位を欠陥した場合は、単に細胞の膨潤のみに終るようである。この実験に用いた果皮片の細胞の原形質分離を見ると、表皮下数層の細胞およびフラベドの細胞を問わず、硝酸カリ溶液の濃度で0.5モル以上ではいずれも分離を起し、組織による分離濃度の差は認められなかった。

第4項 果皮組織の生死と亀裂発生

硝酸カリの0.1-0.8モル水溶液をつくり、これにコルクボーラーで打抜いた直径1cmの果頂部果皮の円形片(フラベド、アルベドを含む)を浸漬し、果皮面の亀裂発生を観察するとともに、表皮より数層の細胞の原形質分離の有無を調べた。浸漬時間は12時間とした。その結果は第27表のとおりで、0-0.3モルでいちじるしく果皮

第27表 果皮の硝酸カリ水溶液浸漬と亀裂発生

硝酸カリ・モル	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
果皮面亀裂	+	+	+	+	±	-	-	-	-	-
原形質分離	-	-	-	-	±	+	+	+	+	+

(注) 1964年1月26日実験

に亀裂を生じたが、0.4モルで亀裂はほとんど発生せず、0.5モル以上ではまったく発生しなかった。

これら果皮片についてその表皮数層の細胞の原形質分離を見ると、0-0.3モルではまったく分離は認められず、0.4モルでわずかに認められ、0.5モル以上ではげしい分離を起した。すなわち、原形質分離を起す濃度の硝酸カリ水溶液中、換言すれば細胞液の浸透圧よりも高い溶液中では亀裂の発生は認められなかった。このことから細胞が吸水し膨潤しない場合には亀裂が発生しないことが解った。なお、果皮円形片の直径を上記の液に浸漬する前と、浸漬後に測定したところ、モル濃度が増すほど果皮片の膨

んでいた。これより見て、果皮組織が吸水し亀裂を生じる場合には、主として下皮細胞の膨潤による物理的な力の作用が主原因となるものと思われる。これに反し、表皮細胞はほとんど膨潤せず、フラベド細胞の膨潤も比較的少なかったところから見て、下皮細胞、次いでフラベド細胞の膨潤による拡張の物理的な力が果皮表面に内部より加わり、クチク



潤は少なく、0モル(水)で18.8%増に対し、0.4モルで8.3%増(亀裂がわずかに生じる)、も早亀裂が生じなくなった0.5モルで4.8%増となり急激に膨潤の程度は少なくなった。これは、細胞液のそれより浸透圧の低い溶液からは吸水するが、浸透圧の高い溶液中では逆に細胞中の水が脱出するためであろう。事実、0.8モル液中の果皮片などはかなり収縮を示した。さらに、0.5-0.6モル程度の液中に浸漬し原形質分離を起させ亀裂の発生を見なかった果皮片を水にもどしたところ、細胞には原形質復帰が認められ、果皮面に亀裂が発生した。

以上のように、原形質分離を起す水溶液中では亀裂が発生しないことから考えて、細胞が死んだ状態で亀裂が発生するかどうかを調べて見た。まず、果皮細胞を殺すために、 $-7^{\circ}\text{C}$ で24時間処理したものと、ホルマリン10%水溶液に24時間浸漬処理した区を作った。前者は冬季樹上の果実が遭遇し、被害を受ける低温で、後者は植物体の組織学的研究を行なう際、供試当時の姿に保存するため細胞を速かに固定するのに用いる溶液である。

上述の2処理と生のままの無処理の果皮をそれぞれ24時間水に浸漬したところ組織が死滅している前2処理のものは、まったく亀裂が生じなかったが、無処理のものはいちじくしい亀裂を認めた。この実験により死滅した果皮組織では亀裂を生ぜず生きている組織においてのみ細胞の膨潤や果皮の亀裂が認められることが解った。なお、これに関連して青カビ病に罹病したものは菌糸の蔓延にともない果皮組織が水浸状に軟化しはじめるが、この軟化した果皮組織をとって24時間水浸漬したが、まったく亀裂を生じなかった。一方、水浸状部に隣接している健全な組織の水浸漬でははげしい亀裂を認めた。

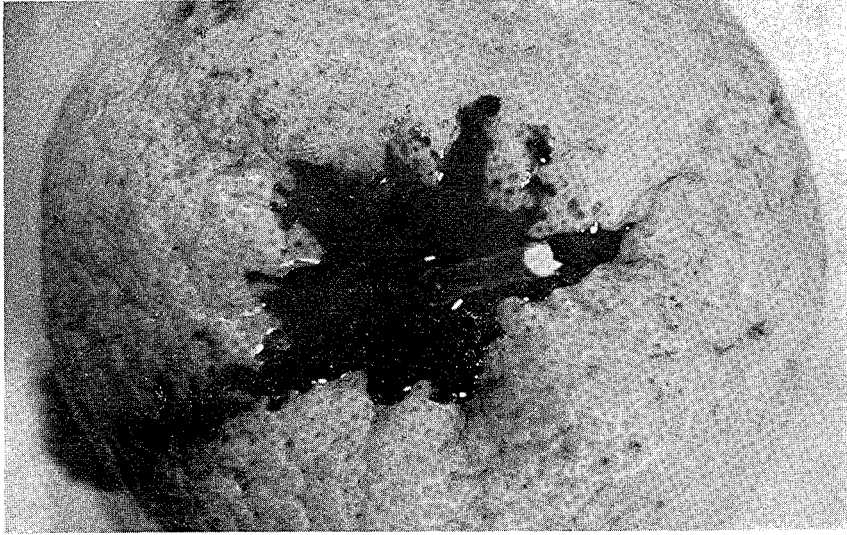
前述のように、果皮を凍結させたものでは亀裂を生じないことを認めたので、さらに果実全体を $-7^{\circ}\text{C}$ に10時間保ったところ、果面全体が水浸状を呈した。この状態は解水後も続き正常に回復しなかった。この水浸状の果皮をとり水浸漬したが前述の実験と同じくやはり亀裂を発生しなかった。八幡浜市の圃場において1963年2月1日から2日にかけて雪が降り(積雪:1日15cm, 2日9cm, 最低気温:1日 $-2.0^{\circ}\text{C}$ , 2日 $-0.2^{\circ}\text{C}$ )、果梗を中心として果梗基部に雪が付着した。この雪をとり、果梗の雪の付着部を観察すると、水浸状を呈していた。しかし、1夜おくとまったく旧に復し、水浸状部は残らなかった。上記の低温処理でも1-2時間の短時間では水浸状態はしばらくして消失した。これまでの水腐病の記述に、凍害による水浸状斑が水腐病初期の症状であるかのようには述べられているものもあるが、凍害や病害による水浸状斑は亀裂を生じないため、真の水腐病には発達しないと考えて差支えない。筆者の圃場観察では水浸状斑のみの水腐病はまったく見出されず、すべて最初に亀裂が存在し、その亀裂部を中心に水浸状斑が広がる場合がすべてであることを認めた。この点からも、亀裂が水腐病の第1次原因であることは間違いないことである。

#### 第5項 果実表面の雨滴の付着と水腐病

八幡浜市において、1963年の収穫時(6月1日)に果梗基部にメスピペットにより、水を滴下し、その部分に溜る水量(第55図)と果梗部の水腐病発生との関係を調査した。ただし、この調査方法では、一定量以上の水を滴下すると表面張力で溜っていた水まで流れ去り、上記の調査方法で測定した量よりかなり少ない水量しか果梗基部に残らないが、一応果梗基部凹部の大きさの指標として用いることにした。供試果は着果角度をもたない垂直果のみとした。その結果は第28表のとおりで果梗基部に溜る水量の多いほど果梗基部の亀裂や水腐病の発生の多いことを示した。

ナツダイダイに限らず、カンキツ類は一般に開花時には柱頭が空に向き、幼果の頃は花柱痕のある果頂部が上向きとなって着果しているが、生育がすすみ、果実が肥大し、果重が増加するにしたがって果実は下向きとなり、成熟期には垂直となる。この関係を同一果について樹上で追跡してみると、第29表のとおりで、1963年の本調査では11月下旬に着果角度がなくなった。

したがって、果梗基部の果皮が隆起し、へた部を中心に凹陷部が生じた場合には、11月下旬以降雨滴が溜り易



第55図 果梗基部に溜る水(墨汁で着色)

第28表 果梗基部凹部に溜る水量と果梗部の水腐病発生程度

水腐病 の程度	—	±	+	++	+++	計
果 数	20	20	56	31	29	156
溜水量 (cc)	1.07	1.49	1.72	2.16	2.61	1.86 (平均)

生を見ているが、それ以上の角度になると発生は見られなかった。45°以上の場合、果梗基部の果皮が隆起して凹陷部を生じたとしても、基部に水が溜らないために、水腐病が発生し難いのであろう。

くなる。ただし、成熟期に入ってもなお、果実が枝に支えられたりして、ある角度をもっているものもある。これら着果角度をもったものと果梗部障害との関係を高松市の1964年の調査からまとめたのが第30表である。

すなわち、着果角度45°までは果梗部に発生

第29表 着果角度の季節的变化

月日	6.16	7. 1	7.16	8. 1	8.16	9. 1	9.15	10.1	10.16	11.1	11.15	11.30
果実 A	100°	80°	75°	70°	40°	30°	30°	15°	10°	5°	5°	0°
B	120	110	105	100	85	45	30	15	10	5	5	0
C	135	130	120	105	75	50	45	15	15	15	0	0
D	135	110	85	80	45	30	10	5	0	0	0	0
E	135	120	95	80	45	20	10	5	0	0	0	0
平均	125	110	96	87	58	35	25	11	9	5	2	0

(注) 花柱痕が真上を向いているものを180°、真下に向いた垂直果を0°とした

降雨直後、圃場のナツダイダイの果実を観察すると、果頂部にも雨滴がいちじるしく付着しており(第56図)、これが大きいものでは次第に落下していくが、小さいものではそのまま付着し、果面上で蒸発し、消失していく。この雨滴の大きさを知るために、室内で如霧による人工降雨で果面をうるおしたのち、果頂部に溜る水滴を乾燥濾紙で吸いとり、化学天秤で秤量して水滴量を算出した。

第31表のように水微量0.1-0.12cc程度で落下したり、果頂部にそのまま残ったりするが、この大きさでは風による果実の振動ですべて落下する可能性をもっている。中水滴以下では少々の振動では落下しない。

いま、これら水滴が実際果頂部に付着している場合、果実内への浸透や蒸発によって消失までに何時間ぐらいかかるかを調査したところ、気温10°C、関係湿度70%の室内で前述の大水滴程度で約10時間を要した。もちろん、圃場で、晴天で風のある時には2時間ぐらいで消失するが、雨天または曇天で無風の場合には10時間以上も果頂部に同じ水滴が付着、接触しており、この間に接触部の果皮面から水の浸入が容易と考えられる。果面における水滴の接触面積を観察すると、水腐病発生初期の2-3月頃には蠟物質豊富で水滴は比較的狭い接触面を有するに過ぎないが、成熟期がすすみすでに亀裂などを発生して果皮面がコルク化し、凹凸がはげしく、蠟物質の少ないざらざらした果面の場合にはかなりの部分に水が接触し、うるおした状態になる。

亀裂発生初期の果実の果頂部を詳細に観察すると、果梗部に一たん溜った水があふれ赤道部を通って果頂部より地上に落下するが、個々の果実の果面凹凸の発生の関係からか、この水の通路ができており、これに沿って果頂部末端の雨滴の落下する場所付近に亀裂が多く生じている。実際、圃場の果実に如露で水をかけ、水の流れ落ちる経路を見ると、その場所に初期亀裂が発生している場合が多いようである。

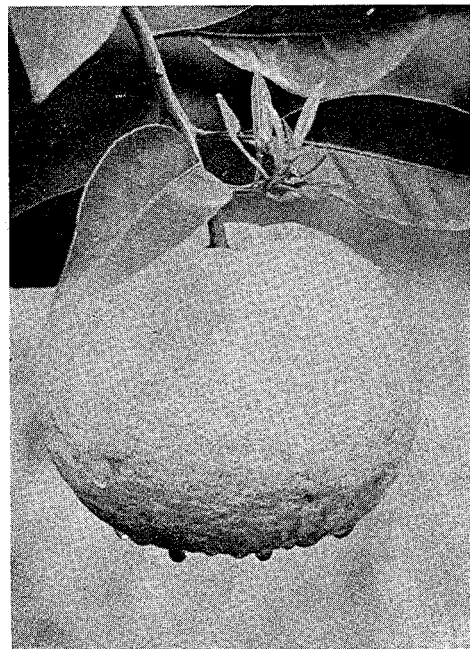
**第6項 果皮表面よりの水の浸入口**

成熟期に近づいた果実全体を色素（トルイジン・ブルー）を溶した水中に漬けておくと、気孔周辺より水とともに色素が浸入し、気孔の下の組織を染めていく（第57図）。

第30表 着果角度と水腐病発生

角 度	全果数	水 腐 病 果 数			
		果 梗	果 頂	両 部	計
0°	514	47(9.1)	46(9.0)	21(4.1)	114(22.2)
15	72	7(9.7)	8(11.1)	2(2.8)	17(23.6)
30	80	1(1.3)	4(5.0)	1(1.3)	6(7.6)
45	36	2(7.7)	4(11.4)	0(0)	6(19.1)
60	10	0(0)	1(10.0)	0(0)	1(10.0)
75	0	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)
90	16	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)

(注) カッコ内は全果に対する障害果%

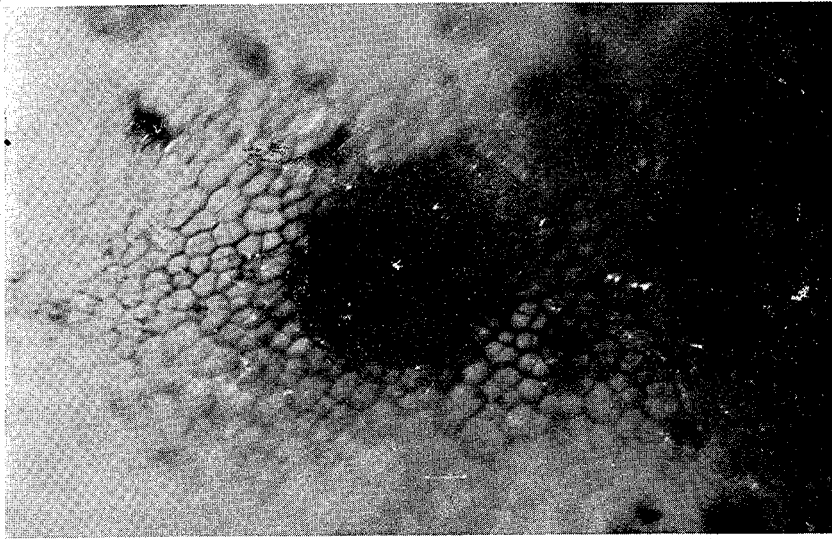
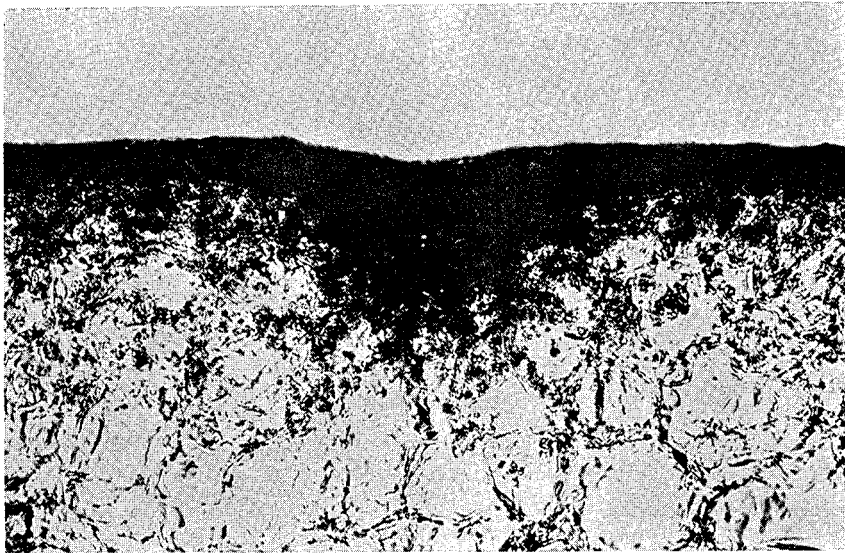


第56図 果頂部に付着した雨滴

第31表 降雨により果頂部に付着する水微量

		水 滴 量
果頂部に付着している水滴	大	0.109 <sup>cc</sup>
	中	0.070
	小	0.026
自然落下した水滴		0.123

(注) 化学天秤で測定した水滴重100mgを0.1ccに換算  
1964年2月11日に測定

(表  
面  
視)(横  
断  
面)

第57図 気孔よりの色素液の浸入

松本(1964)は聯生カンキツの **Granulation** 発生と果実の気孔の分布密度との関係を論じ、温州ミカンには気孔多く、三室カンやナツダイダイは少ないが、この差異が果実内で形成された炭酸ガスの排出の難易となり、**Granulation** 発現の有無を決定するとしている。気孔はガス体の排出、吸入の門戸となると同時に、水などの液体の吸入も行なわれる。水の浸入口である気孔の分布密度の少ないナツダイダイに水腐病が発生し、気孔の多い温州ミカンに発生を見ないのは、温州ミカンでは果実を越冬させず、たとえ樹上に着生させたままで春を迎えても、果実は老化し、も早2次肥大を行なう余力がないためと思われる。なお、越冬後5-6月頃収穫する日向夏では、樹上で収穫期に近く果梗部に亀裂を生じ、水腐病類似の障害を呈する。

次に、ナツダイダイ果実の部位別の気孔の分布密度を比較して見た。本調査では、松本(1964)のように色素液の浸入した気孔数を測定せず、表皮を解離し、気孔の絶対数を調査することにした。その結果は第32表のお

りて、果梗部から果頂部にかけて気孔数が多くなつた。

したがって、果梗部に生ずる初期亀裂は比較的少量(2-3 cc)に溜つた雨水が長時間かけて少ない気孔から浸入し、果頂部では多くの気孔から短時間に少量(0.05-0.1 cc)の水が浸入するものと考えられる。事実、果梗部の亀裂は数が少なく深く、果頂部では多くて浅い。なお、ごく少数の初期亀裂がさらに水の浸入口となり、亀裂の数が増し、深く大きくなる。

**第7項 その他障害発生に関係すると思われる事項**

第1項から第6項までで、ナツダイダイの果実の第2次肥大期に果梗基部および果頂部の細胞が肥大をはじめた時、地温の上昇にともなう根からの吸水増加により果皮の水分含量は増大する一方、さらに果実外部から主として気孔を通じて浸入した降雨が下皮細胞を中心とした組織の膨潤を起して表皮を裂開させ、初期亀裂を生じることが明らかになった。

本項では第2節の水腐病発生の現地調査で述べたように小果はほとんど発生を見ないところから、大果と小果について2, 3の点を比較して見た。

まず、第2次肥大期の果皮の水分含量増大と水腐病が関係あるところから、健全大果と小果の各部の水分含量を比較した。

果肉部と赤道部の果皮の水分含量は大果と小果でほとんど変らなかつたが、果梗部と果頂部の果皮の水分含量では明らかに大果が多かつた。すなわち、健全果でも、水腐病が発生しやすいと思われる大果では、発生部位の果梗部と果頂部で小果より水分含量が多いことは興味のあるところで、はじめに述べたように果皮の水分含量の大果での増大が水腐病の発生をうながすことを示すものである。

果皮片の水浸漬を季節的に行なつてみた結果は第1項で述べたとおりであり、果頂部が最も早くから亀裂が発生した。赤道部では現地の水腐病の発生状態と同じく亀裂の発生も遅く、程度も少なかつた。これら部位的な発生の相違をクチクラ層の厚さで比較してみたが、成熟果で果梗、赤道、果頂部とも3.4-3.6 $\mu$ で、部位による厚さの相違は認められなかつた。また、大果と小果の差も明らかでなかつた。

**第5節 考察および結論**

ナツダイダイの果実に成熟期近くに見られる水腐病は現地ではかなり古くから認められていた模様で、これまで、原因不明の病害であるとされていた。山田(1960)は病徴、発病条件、人工的な発病に関する実験などから米国加州(EBELING・KLOIZ・PARKER 1938)やオーストラリアの西部(CASS-SMITH・OWEN・HARVEY 1941)でネーブル・オレンジに認められている Water spot または Water rot と同一であると述べている。Water spot は湿潤な気候条件下でオレンジ類に生じる生理障害とされ、加州ではワシントン・ネーブルの成熟前の1, 2月

第32表 果皮面の気孔の分布

		気 孔 数
果 梗 部		12.7
赤 道 部		15.2
果 頂 部		19.3

(注) 1 mm<sup>2</sup>当たり

第33表 大果と小果の各部の水分含量

	果 実 重	果 皮						果 肉
		果 梗 部		赤 道 部		果 頂 部		
		フラベド	アルベド	フラベド	アルベド	フラベド	アルベド	
大果	352.2	80.01%	77.76%	78.68%	75.38%	79.83%	80.08%	88.86%
小果	183.5	77.34%	74.82%	77.65%	76.25%	79.22%	75.68%	89.72%

(注) 高松市産果 1964年3月1日実験

の最も寒い、最も湿潤な時期に発生する。この障害果の特長は、果皮に外部から水が浸入し、組織がふくらみ、部分的にクチクラ層を含む表皮に小さなヒビが入り、外観的に水浸状に見える症状を呈する。天候が回復し、乾燥した日が続くとその部分は凹陷し褐変する。筆者の調査でも、ナツダイダイの水腐病は **Water spot** の記述とまったく同じであった。

EBELING ほか (1938) はさらに "**Water rot**" なる言葉は正確でなく、"**Water spot**" が正しいとし、その理由として、この病害の1次原因があくまで生理的なもので、病原菌の侵入は2次的なものであると述べている。なお、この1次的原因を果頂部付近の小さな果面上の傷からとし、さらに肩部(果梗基部)に生じるものとはとくに "**Shoulder spot**" と称して、果面の氷結によるものとしている。ナツダイダイの水腐病は詳細な調査により、1次原因はまったく生理的なものであることが判明したが、果面上の傷や、氷結による果皮の組織の損傷によるものではなく、主として気孔が水の浸入口となり、この部分から浸入した水がかなりすでに膨潤している春先の果皮細胞、とくに下皮、フラベド細胞に水を供給すると、細胞の膨圧が増し、やがてあまり膨潤しない表皮細胞との不均衡を生じ、クチクラを含む表皮を裂開せしめるに至るわけである。もちろん、果実面に小さな傷でもあれば気孔以上に水の浸入口となり同様な亀裂が発生する。

開花翌年の第2次肥大期に入って果面に自然状態で亀裂が発生する理由は、すでに果梗部および果頂部の果皮が部分的に異常肥大し、かなりルーズな状態で、一部の果皮が吸水膨潤した場合、隣り合う組織が押込まれ易いのではないかと考える。事実、果皮片を水浸漬した場合には前年の12月以前から亀裂を生じるのに、果実全体を水に浸漬した場合にはかなり吸水させても容易に亀裂を生じないことから推察される。すなわち、果皮のぶくつくことも初期亀裂発生の一因である。

本論文では水の浸入口を気孔としたが、TURRELL・KLOIZ (1940) はワシントン・ネーブルの果面の気孔および油胞の分布密度と **Water spot** との関係进行调查し、無関係であると述べている。ナツダイダイの果面の気孔は果梗部で少なく、果頂部に向って多くなるが、現地で発生した水腐病果を観察すると、亀裂は果梗部で数少なく、深く、果頂部では数多くて浅いところから、果面に溜る雨滴の量とその付着時間が気孔数の分布と関係して亀裂発生の状態を部位別に異にするのではないかと推察する。色素液に12時間程度成熟果を浸漬すると、果面に点々と色素の浸入点を認める。これはすべて気孔であり、気孔以外からは多量に水が浸水するとは考えられない。ただし、気孔と称するものは、孔辺細胞、副細胞および中央の小隙(狭義の気孔)を含めるのであって、中央の小隙から水が浸入することは確かめ得なかったが、主として広義の気孔(猪野氏は気孔装置としている)から水が浸入することは明らかである。最近の研究(FRANKE 1964)によると、葉面散布時の肥料溶液の葉中への浸入は主として孔辺細胞の **Ectodesmata** を通じて行なわれ、気孔中央の小隙はあまり関係しないとのことであるが、本実験の果実内への水の浸入も孔辺細胞がその開閉とは別に大きな役割を果しているのかも知れない。事実、果皮片水浸漬による初期亀裂のうちの半数は孔辺細胞の割れているものである。このことは、さらにSCOTT・BAKER (1947) が述べている、他の表皮細胞より構造的に弱いということにもあるようである。

本論文では水腐病発生の第1次原因である果面に生じる初期の亀裂を中心にして論じて来た。圃場での観察や果実全体または果皮片の水浸漬後室内に放置した場合に見られる亀裂部を中心とした組織の水浸状部の形成は、山田 (1965) によると亀裂発生時に油胞が破壊し、油胞中の精油が隣接の組織に浸入するためであるとしている。

### 第4章 水腐病防除対策

ナツダイダイの果実に成熟期に見られる水腐病の発生条件の一つに果実に雨のかかることをあげた。水腐病防除の対策として、まず成熟期に近い果実に袋かけを試みた。新聞紙袋では、雨が多く降った場合、それを遮ぎることができないので、透水性のないポリエチレン袋を用いることにした。このポリエチレン袋のみでは袋内の温度が上昇しすぎると考えられたので、下に新聞紙袋を重ねた。新聞紙袋のみの区も設け、さらに果実に雨が降った場合、これをはじくように界面活性剤として OED の10倍液を果実のみに塗布する区を設定した。袋はいずれも無底とした。実験は八幡浜市で行ない、1964年2月2日に処理し、4月30日に一斉に収穫して水腐病の発生程度を調査した。その結果は第34表のとおりである。

すなわち無処理区で障害果が29%も発生したのに対し、ポリエチレン袋かけ区ではわずか2.9%の発生を見たに過ぎなかった。新聞紙袋かけ区でも効果を示し、11.4%の発生にとどまった。一方、OEDの散布は効果が見られなかった。

石谷・神野(1963)は和歌山で筆者と同様な実験を行ない、ポリエチレン加工紙袋かけが最も予防効果をあげ、次いで新聞紙袋かけが効果をあげており、果面をワックス処理した

ものでは効果を認めなかった。したがって、両氏は透水性のない袋で果実を包むことによって発病を少なくすることができるとしている。

なお、両氏は袋かけを時期別に行ない、現地の発生時期よりあまり早くする必要はないとしている。筆者は発生直前の2月上旬に行なったのみであるが、前述の発生機構からしても、発生直前に行なって十分効果があがると考える。

ポリエチレン袋かけの効果をさらに確めるために、高松市でも2カ所で処理を行なったが、無処理区で14.1%および7.0%の障害の発生をみた園で、袋かけ区はそれぞれ6.9%および0%で明らかに透水性のない袋かけの効果を示した。

ただし、果汁の品質を無袋果と比較すると、第35表のように酸含量の減少とともに、糖分含量までいちじるしく減少し、淡白になるため、ごく短期間は別として実用的にはポリエチレン袋かけは好ましくない。

したがって、消極的な方法であるが、春先の園の排水を良好にし、樹勢を落着かせ、窒素肥料などの肥培管理を適切にして果皮のぶくついた大果を作らないようにすることが防止対策となる。また、LL以上の大果となったものは、果実の越冬直後の2-3

月頃より注意して、もし果梗部や果頂部に初期亀裂を見るようになると、早目に晴天日に収穫する。亀裂部が癒傷し、コルクが形成されないうちに、雨天の日などに収穫すると、この亀裂部より2次的に病原菌が侵入し、腐敗するに至る。初期亀裂が癒傷し、コルクが出来る日数は2-3日であるが、雨天が続く時にはその亀裂部より

第34表 水腐病防除法と障害果の発生

処 理	供試果数	健全果数	水 腐 病 果 数		
			果 梗	果 頂	両 部
無 処 理	393(100)	279(71.0)	64(16.3)	28(7.1)	22(5.6)
ポリ袋かけ	70(100)	68(97.1)	2(2.9)	0(0)	0(0)
新聞紙袋かけ	70(100)	62(88.6)	4(5.7)	4(5.7)	0(0)
OED散布	63(100)	42(66.7)	0(0)	15(23.8)	6(9.5)

(注) カッコ内は供試果数を100とした比数

第35表 ポリエチレン袋かけ果の果汁の品質

	全 糖	還元糖	酸
無 処 理	5.03%	3.14%	1.85%
ポリ袋かけ	4.44	2.85	1.60

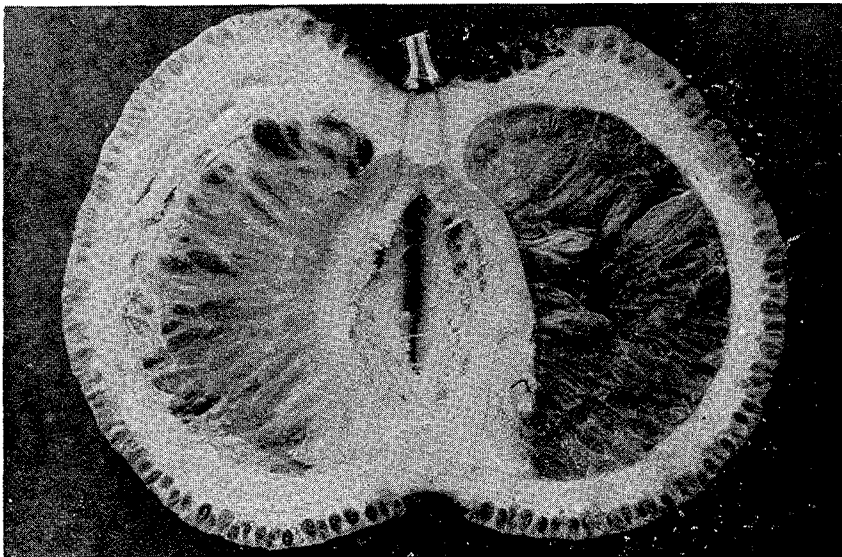
(注) 1964年2月2日～4月30日袋かけ  
4月30日収穫・分析 八幡浜市産果

雨水が多量に浸入し、さらに亀裂が大きくなったり、2次的な病原菌の侵入が樹上でも見られることになる。この点から、岡・土屋（1959）の報告のようにダウサイドや銅水銀剤の散布が効果を示すことになるわけで、殺菌剤の散布では、初期亀裂の発生を防止することはできない。

## 第5章 果実の収穫適期に関する考察

ナツダイダイ果実の収穫適期については、各主産地でも統一した見解はなく、市場の動きに左右されている現状である。筆者はここ数年来、ナツダイダイの果実の発育や成熟期に見られる果実の生理障害について研究をすすめてきたので、それらの点から収穫適期について考察して見たい。

まず、越冬後の果実の肥大から見ると、第1章で述べた八幡浜市の1962-1963年の結果では、6月1日の採収果は2次肥大開始期の3月3日の採収果より果肉重は10.7%の増加であつたのに対し、果皮重では36.1%の増大を示し、果皮の発育のいちじるしいことを示している。これを全果重に対する果皮の重量%で見ると3月3日には34%であつたものが、6月1日には38%となっている。すなわち、収量の点から云うと、2次肥大開始以後ある時期までは、長く樹上におけばそれだけ増収になるわけであるが、果皮歩合などからあまり遅くまでおくことは好ましくない。果実を収穫せずに樹上につけておくと、筆者の実験では開花翌々年の1月、すなわち開花後20カ月も着果したが、開花後15カ月頃から果実の発育がとまり、開花翌年の9月の降雨ですべてが水腐病にかかり、また浮皮果となった（第58図）。後、次第に果皮は光沢を失い、老化した観を呈し、ついに落果するに至った。



第58図 開花後16カ月樹上に着生した果実

収穫期をかなり遅くした場合、樹勢に影響し、次年の果実収量を低下させると考えられるが、森岡・平野（1959, 1960）は1果当たりの葉数を100枚にすると、7月に収穫しても3月や5月に収穫した樹に較べて次年の着花や果実の発育に悪影響を与えなかったと述べている。ただし、葉数を80枚にすると、収穫期が遅れた場合には、次年度の果実の収量に影響するとしている。

次に、果汁の品質から収穫期を考察すると、可溶性固形物含量は1962-1963, 1963-1964年も3月中旬が最



高となり、以後は減少した。酸含量は前年の9-10月最高になり、以後は次第に減少した。甘味比で見ると、1962-1963年には4月下旬、1963-1964年には3月下旬頃最高となつており、果汁の品質から見ると3月下旬から4月下旬が最もよいことになる。

果実の成熟期に見られる水腐病は寒冬の1962-1963年には4月中旬より、暖冬の1963-1964年には2月中旬より発生しはじめたが、商品価値を低下させる程度の水腐病の発生は5月に入ってからであった。水腐病果はその形質について第3章で詳述したように、果皮歩合が高く、果実比重が小で、浮皮果の様相を呈するようになった果実で見られるが、5月に入ると、どの果実でも幾分そのようになり、一見水腐果となる危険性をもつた外観を呈するようになる。

以上の諸点を総合して、西南暖地におけるナツダイダイの収穫適期は1果当たり葉数が少ない場合は勿論、多い場合でも可溶性固形物含量が高く、甘味比が高い、いまだ水腐病の発生がいちじるしくない3月下旬から4月下旬としてよいのではないかと考える。もし、この期間に収穫しない場合でも、LL以上の大果はこの時期に収穫し、後の樹勢の回復や大果の水腐病発生の防止をはかりたいものである。3月下旬から4月下旬にかけて収穫したものは、冷蔵し、適時出荷すればよい。ナツダイダイ果実の冷蔵については北尾(1959)は6月14日より8月5日まで5、10°Cおよび20°Cで貯蔵した結果、腐敗果の割合、果実の新鮮度、食味などより見て、5°Cより幾分高い点に好適冷蔵温度があるのではないかとしており、果実収穫後の貯蔵の可能性を述べている。

## 摘 要

ナツダイダイ果実の発育、とくに越冬後の果実の2次肥大を生理学的および組織学的に研究するとともに、成熟期に見られる水腐病の発生機構を究明せんとして、2、3の調査ならびに種々の実験を行なつた。研究結果の概要は以下のとおりである。

1. 果実は、開花期(5月中旬)より12月上旬まで急速に肥大を続けたが(第1次肥大期)、12月中旬から翌年2-3月上旬までほとんど肥大を停止した(肥大停止期)。2-3月の気温がやや上昇しはじめる頃から、果実は再び肥大をはじめ、収穫期まで発育を続けた(第2次肥大期)。第2次肥大期における果実の肥大は、果肉よりも果皮においていちじるしく、6月頃の収穫期には果皮は全果実重量の40%内外を占めた。

2. 果皮の表皮細胞は8月上旬(果実横径約50mm)まではとくに分裂がいちじるしく、その後も分裂と肥大を続けた。果実の肥大停止期中は細胞の肥大はほとんど認められなかったが、4月に入ると急激に細胞の肥大・伸長を開始した。下皮細胞およびフラベド細胞もほぼ同じ傾向を示した。ただし、表皮細胞では、越冬後も一部で分裂を行っており、この傾向は収穫期まで続いた。

アルベド細胞は6月中旬(果径約13mm)に分裂を停止し、肥大をはじめた。7月中旬(果径約40mm)には、各細胞に突起を生じ、次第にこれが長くなり、全体として海綿状を呈するようになった。

砂じょうは開花期(果径約3.5mm)に子房内壁上の細胞から発生し、急激に分裂し、砂じょうを形成した。砂じょうの表皮細胞は6月中旬まで分裂を続け、以後は肥大・伸長した。越冬後もわずかに伸長した。じょうの側膜内表皮細胞の分裂・肥大も同じ傾向を示した。

3. 果実の呼吸強度の季節的変化を追究したところ、Climacteric riseを示すことなく成熟期に達した。4月下旬の成熟果における温度係数は10-20°Cで2.29、20-30°Cで1.68であった。

果汁中の可溶性固形物、糖分含量および酸含量の季節的変化を調査したが、前二者は3月中-4月中旬に最高に達し、以後減少した。酸含量は前年の10月頃より次第に減少し、収穫期の5-6月頃には2%前後となった。

果実の硬度および比重は第2次肥大期に入り次第に減少して、外観的にもやわらかい、ぶくついた果実となっ

た。これら果実の果皮の水分含量はいちじるしく増大した。とくに、果梗基部の水分含量の増加がいちじるしかった。

果実を果皮、果肉および種子に分けて各部の肥料要素（窒素、リン、カリウム、マグネシウム、カルシウム）吸収の季節的変化を調べたところ、第2次肥大期には果皮では窒素が、果肉ではカリウムの吸収が他の要素よりもいちじるしく、種子ではこの時期には肥料の吸収は認められなかった。

4. 果実の成熟期近くになって見られる水腐病には果梗部にあらわれるものと、果頂部にあらわれるものがある。これら障害果実の果皮の組織を見ると、いずれも表皮、下皮、時にフラベド組織まで亀裂を生じて裂開し、その部位にコルクが形成され、また褐変した壊死部ができていた。

水腐病の発生時期は第2次肥大期の開始と時を同じくするため、暖冬を経過した年には発生が早く、寒冬をすごした年には発生が遅かった。現地の発生状態を調査すると、樹冠上では北面が発生少なく、結果枝葉数の多い大果で発生が多かった。また、若木は老木より発生が多かった。窒素を多用した場合に多く発生し、カリの多用区は発生が少なかった。春先に湿潤な場所にある樹では発生が多かった。

5. 水腐病果は健全果にくらべ一般に果形が扁平で、果実比重は小であり、果皮重割合も高く、硬度は低くてぶくついた感じてあった。果汁の品質を見ると、全糖含量はあまり差がなかったが、還元糖多く、またクエン酸含量もわずかに多かった。甘味比では障害果で低かった。

6. 水腐病の発生機構を解明しようとして、種々の実験を行なった。果皮片を水に浸漬すると11月中旬以降果皮面に細かい亀裂を生じはじめた。一方、温州ミカンの果皮ではほとんど亀裂を生じなかった。成熟期に近い果実(300-400g)の全体を水に浸漬し、吸水量を見たところ、24時間でわずかに1cc前後であったが、さらに長く水につけておくと亀裂が発生し、水よりあげ放置すると水腐病とまったく等しい病徴を呈した。圃場で水腐病が発生する時期には、健全果実の48時間内外の水浸漬で水腐症状を果梗基部と果頂部に認めるようになった。

人工的に果皮片を水浸漬し亀裂が生じはじめた時、表皮を剝離して顕微鏡観察すると、小さな初期亀裂の約半数が孔辺細胞のところから裂開していた。果実全体を水浸漬する際、色素を加えると、気孔周辺に色素が吸着され、さらに内部へ拡がっていくのが観察され、気孔(広義の)から水が浸入するのを認めた。さらに、果皮片を水浸漬する際、浸漬前に表皮、下皮およびフラベド細胞の大きさを測り、24時間後亀裂が生じた時、各細胞の大きさを測つて両者を比較してみたところ、下皮細胞の吸水膨潤が最もいちじるしいことが判明した。

したがって、水腐病発生第1次原因となる亀裂発生機構は、春季の降雨や地温の上昇による吸水増加にもなって2次肥大を開始した果皮組織内の水分含量が増大する一方、果実に付着した雨滴が外部から気孔を通じて浸入し、果皮組織中とくに下皮、フラベド細胞を急激に膨潤させ、物理的にクチクラを含む表皮組織を裂開させるためと思われる。

7. 以上から、水腐病は生理障害の一種で、その防除法としては、雨滴が果実にかからないようにするのが一法であり、ポリエチレン袋かけによりほとんど防止できるが、果汁の品質が低下するので好ましくない。消極的ではあるが、春先の園の排水を良好にし、樹勢を落着かせ、窒素質肥料を多用しないようにして肥培管理を適切にし、ぶくついた大果を作らないようにする。また、LL以上の大果は、果実の越冬直後の2-3月頃より注意して果梗基部や果頂部に初期亀裂を認めるようになれば、早目に晴天日に収穫するとよい。

8. 果実の発育、品質および成熟期に見られる水腐病発生などの点から見て、西南暖地におけるナツダイダイの収穫適期は3月下旬から4月下旬ではないかと考える。

## 引用文献

- (1) BAIN, J. M.: Morphological, anatomical, and histological changes in the developing fruit of the Valencia orange, *Citrus sinensis* (L.) OSBECK. *Aust. Jour. Bot.*, 6 (1), 1-25 (1958).
- (2) BEAN, R. C., PORTER, G. G., BARR, B. K.: Photosynthesis and respiration in developing fruits. III. Variations in photosynthetic capacities during color change in citrus, *Plant Physiol.*, 38, 385-390 (1963).
- (3) CASS-SMITH, W. P., OWEN, R. C., HARVEY, H. L.: *Western Aust. Jour. Agri.*, 18 (14), 267-284 (1941). (Fundamentals of Fruit Production より引用)
- (4) 愛媛県立果樹試験場南予分場: 夏ダイダイ果実発育調査, 愛媛果試業務報告, 昭和37年度, 170 (1962).
- (5) EBELING, W., KLOTZ, L. J., PARKER, E. P.: Experiments on navel water rot, *Calif. Citrograph*, 23, 410, 434-436 (1938).
- (6) FORD, E. S.: Anatomy and histology of the Eureka lemon, *Bot. Gaz.*, 104, 288-305 (1942).
- (7) FRANKE, W.: Role of guard cells in foliar absorption, *Nature*, 202, 1236-1237 (1964).
- (8) 藤井利重, 大友仲三, 赤松英宣, 甲斐一平: ナツカンの結実に関する研究 (予報) 種子数について, 園芸学会昭和38年度春季大会研究発表要旨, 13 (1963).
- (9) 服部達彦: 夏柑の形態と果汁成分の時季的变化について, 農産加工技術研究会誌, 2 (4), 151-155 (1955).
- (10) 猪野俊平: 植物組織学, 149, 東京, 内田老鶴圃 (1954).
- (11) 石谷敏夫, 神野三男: ナツダイダイ水ぐされ病の防除試験, 果樹試験研究年報, 昭和35-36年度, 443-444 (1963).
- (12) 菊池卓郎, 門屋一臣, 倉岡唯行: カンキツ果実の発育に関する組織学的研究 (第2報) 種, 品種間差異について, 園学雑, 33 (1), 8-12 (1964).
- (13) 北尾次郎: 夏ミカン冷蔵試験, 果樹試験研究年報, 昭和32年度, 429-431 (1959).
- (14) 倉岡唯行: 温州みかん果実の発育に関する組織学的研究 (特に浮皮発現機構について), 愛媛大学紀要第6部 (農学), 8 (1), 105-154 (1962).
- (15) 倉岡唯行, 菊池卓郎: カンキツ果実の発育に関する組織学的研究 (第1報) 温州みかんについて, 園学雑, 30 (3), 89-196 (1961).
- (16) 円木忠志, 広瀬好雄: ナツダイダイ水腐病防除試験, 果樹試験研究年報, 昭和35-36年度, 444-446 (1963).
- (17) 松木五楼, 安田隆一, 勝谷信一: 夏橙の養分吸収ならびに要素配合割合が其の収量及び品質に及ぼす影響 第1報 夏橙の養分吸収状況ならびに果汁の変化, 農及園, 14 (11), 2481-2488 (1939).
- (18) 松木五楼, 安田隆一, 勝谷信一: 夏橙の養分吸収ならびに要素配合割合が其の収量及び品質に及ぼす影響 第2報 三要素配合割合と収量ならびに品質との関係, 農及園, 14 (12), 2697-2702 (1939).
- (19) 松本和夫: 晩生カンキツの Granulation に関する研究 (主として三室カンの果肉の肥厚性す上り現象について), 愛媛大学紀要 第6部 (農学), 10 (2), 587-644 (1964).
- (20) 三浦 洋, 萩沼之孝, 水田 昂: 温州ミカンおよび夏ミカンのペクチンの性状に関する研究, 成熟に伴う果皮ならびにパルプのペクチンの性状変化について, 園学雑, 32 (2), 27-37 (1963).
- (21) 森 介計: 夏橙の水腐病に関する研究, 愛媛果試業務報告, 昭和36年度, 121-130 (1961).

- (22) 森岡節夫, 平野 暁: 夏橙の収穫時期が樹勢に及ぼす影響, 果樹試験研究年報, 昭和32年度, 424-425 (1959).
- (23) 森岡節夫, 平野 暁: 夏橙の収穫時期が樹勢に及ぼす影響, 果樹試験研究年報, 昭和33・34年度, 389-390 (1960).
- (24) 野村男次, 高橋 慧: 夏蜜柑果汁製造に関する基礎的研究 (第1報) 果汁中の有機酸について, 醸酵工学雑誌, 30 (1), 29-34 (1952).
- (25) 野村男次, 松原健一: 夏蜜柑果汁製造に関する基礎的研究 (第3報) 果汁中の糖について, 醸酵工学雑誌, 30 (11), 417-423 (1952).
- (26) 農林省統計表 (1964).
- (27) 岡 千里: 2, 4, 5-Tによる夏橙の結実抑制試験, 農及園, 30 (11), 1493-1494 (1955).
- (28) 岡 千里, 土屋輝雄: 夏橙の水ぐされ防止に関する試験, 静柑試業務報告, 昭和33年度, 106-109 (1959).
- (29) 佐藤公一, 石原正義, 末広正美, 栗原昭夫, 田淵育男: カンキツのほう素欠乏ならびに過剰に関する研究 (第1報) ほう素欠乏カンキツ園の葉および土壌分析調査ならびに葉成分の季節的变化, 園芸試験場報告 A 第1号, : 37-64 (1962).
- (30) 佐藤公一, 石原正義, 末広正美, 長谷嘉臣, 田淵育男: カンキツのほう素欠乏ならびに過剰に関する研究 (第2報) ほう素施用試験ならびにほう素過剰試験, 園芸試験場報告 A 第1号, 65-94 (1962).
- (31) SCOTT, F. M., BAKER, K. C.: Anatomy of Washington navel orange rind in relation to water spot, Bot. Gaz., 108, 459-475 (1947).
- (32) 玉井虎太郎, 赤松秘理: 冬の吸水能減退度から見た柑橘とヤツデの根の特性, 園芸学会昭和32年度春季大会研究発表要旨, 8 (1957).
- (33) 鳥潟博高, 増井正夫, 鈴木 登: 温州みかんの果皮の発育に関する研究 (第1報) 晩期窒素施肥が果皮の発育に及ぼす影響, 園芸学研究集録, 7, 42-48 (1955).
- (34) TURRELL, F. M., KLOTZ, L. J.: Density of stomata and oil glands and incidence of water spot in the rind of Washington navel orange, Bot. Gaz., 101, 862-871 (1940).
- (35) 山田峻一: ナツダイダイの水腐病 (Water spot) 並びに温州ミカンの幼木斑点病 (Juvenile spot) について, 園芸学会昭和35年度春季大会研究発表要旨, 5 (1960).
- (36) 山田峻一: ミカン四季の病気, 59, 清水, 静岡県柑橘農業協同組合連合会 (1964).

# Studies on the Fruit Development of Natsudaidai (*Citrus Natsudaidai* HAYATA), with Special Reference to Water Spot Injury

Hiroshi INOUE

(Laboratory of Pomology)

## Summary

Morphological, cytological and physiological studies were carried out to make clear the fruit development of Natsudaidai (*Citrus Natsudaidai* HAYATA) with special reference to water spot injury. The results were summarized as follows.

1. Fruit development could be distinguished into three stages by its morphological, anatomical and physiological changes. Stage I was from full bloom to mid December in which fruit grew most rapidly. Stage II was from mid December to early March, fruit growth being much depressed in winter by the daily mean temperature of less than 10°C. Stage III was from early March until commercial maturity. Increased fruit size in this stage was mainly due to the secondary growth of the peel.

2. In the development of the peel, cell division of the epidermal tissue occurred mostly from full bloom till early August or somewhat later. Then, its cell enlargement became active. Some of epidermal cells divided even in Stage III. Cell enlargement was not so marked in Stage II, but in Stage III it took place again rapidly. The similar trend was also found in the development of hypodermal and flavedo tissues. Cell division of the albedo tissue ceased in mid June, giving the place to cell enlargement. Nearly one month later, a few processes arised in each albedo cell and they were complicated with the neighbor cell's so that the albedo tissue became loose like a sponge.

Juice sacs differentiated in the blooming time on the inner walls of the pulp segments. The epidermal cells of the sac continued their division from the blooming time to mid June, and later enlarged and elongated. Their elongation rate was not great in Stage III. The inner epidermis of the pulp segment also continued the cell division and enlargement in the same way.

3. As the maturity advanced, the respiration rate of the fruit dropped without showing a climacteric rise. The temperature coefficient ( $Q_{10}$ ) of the mature fruit was 2.29 between 10° and 20°C, and 1.68 between 20° and 30°C. Solids and sugar contents of the juice reached the maximum during a period from mid March to mid April, and thereafter decreased gradually. Acid content decreased from October on, reaching about 2% in May and June in the following year. The firmness of fruits or their bulk density decreased slowly with progressing maturity. Some of mature fruits became puffy in appearance, their peel containing much water, particularly at the stem end.

The seasonal changes of N, P, K, Ca and Mg contents were observed respectively in the peel, pulp and seed. In Stage III, the peel contained more N, and the pulp more K than any of the other elements. The seed seemed to absorb no element in both Stage II and III.

4. In the puffy and large fruits, the water spot injury used to occur on their peel near the stem end and at the bottom side. When the injured parts were observed precisely, the epidermis, hypodermis and occasionally flavedo of the peel were cracked, forming the cork or the brown necrosis. When the water spot was investigated histologically, it had a deep connection with the secondary growth of fruits in Stage III.

Water spots developed early when the winter was mild, while late when severe. The injured fruits appeared rarely on the northern side of a tree, but frequently on the bearing shoots with many leaves per fruit. Young trees bore more frequently injured fruits than old trees. Trees grown on humid soil or with high nitrogen application bore more injured fruits than trees grown with high potassium.

Generally, the injured fruits were oblate in form and not compact, showing puffy appearance and having small bulk density and thick peel. They contained more abundant reducing sugar and slightly higher citric acid in the juice than the normal fruits, although no difference in the total amount of sugars was found.

5. Small pieces of the peel were removed from the normal fruit at certain intervals during the growing season. When they were immediately immersed in water, minute cracks came out on their surface after the end of Stage I. When a mature fruit in its entirety was immersed in water, cracks appeared two days later on the surface of the peel near the stem end and at the bottom side. By leaving this treated fruit in the air for several days, the cracks resembled the symptoms of the water spot injury. When the cracks were observed under microscope at their initial stage, nearly half of them developed from the guard cells. When the fruits were immersed in Truidine Blue solution, the dye was adsorbed mainly around the stomata. These facts suggest first that water infiltrated into fruit through the stomata, and second that as the fruit swelled, physical strain took place near the guard cells and cracked them. On the other hand, in the 24-hour observation of the peel tissues which were immersed in water, the rate of cell expansion was larger in the hypodermis than in the epidermis and flavedo.

Thus, for the development of the cracks which would become the water spot injury later, two factors were assumed; One was an increase of water intake with rising temperature and rainfall in the spring; The other was an infiltration of rain water through the stomata which suddenly swelled hypodermal and flavedo cells and split physically the epidermal tissue including cuticle.

6. As mentioned above, water spot injury is a physiological disorder. One of the most successful protecting methods of the injury is the bagging of the fruit with polyethylene film, although the treatment somewhat lowers the juice quality of the fruit. It is also recommendable not to produce puffy and large fruits by keeping the trees in moderate vigor with proper fruit thinning, suitable nitrogen application and well-drainage of the

soil. When any incipient crack is found at the stem end or at the bottom side of large fruits in February or March, fruit should be picked as early as possible before rainfall. Thus, the most suitable harvest time of Natsudaidai in the southern growing districts seems to be from late March to late April in view of fruit development, juice quality and the occurrence of water spot injury.

## 香川大学農学部紀要

- 第1号 幡 克美：アカマツ材の成分並びにパルプ化に関する研究（1955年3月）
- 第2号 内藤 中人：植物生長ホルモンに関する植物病理学的研究 特に植物病原菌に及ぼす影響について（1957年10月）
- 第3号 松 沢 寛：アオムシコマユバチの生態に関する研究（1958年3月）
- 第4号 梶 明：和紙原料の醸酵精練に関する研究（1959年3月）
- 第5号 森 和男：傾斜地蜜柑園経営の構造分析（1960年3月）
- 第6号 玉置 鷹彦：ガラク並びに池泥の研究（1960年3月）
- 第7号 上原 勝樹：傾斜地開発利用に関する物理気象的研究（1961年3月）
- 第8号 桑田 晃：オクラとトロロアオイとの種間交雑およびそれらより育成された種々の雑種ならびに倍数体に関する研究（1961年9月）
- 第9号 中 潤三郎：甘藷の生育過程に関する作物生理学的研究（1962年3月）
- 第10号 斉藤 実：香川県及び北愛媛県の地質について（1962年3月）（英文）
- 第11号 小杉 清：グラジオラスの生産と開花に関する研究（1962年9月）（英文）
- 第12号 吉良 八郎：貯水池の滞砂に関する水理学的研究（1963年2月）
- 第13号 野田 愛三：禾穀類の根鞘に関する研究（1963年3月）
- 第14号 川村 信一郎：豆類のデンプンの研究（1963年3月）（エスペラント文）
- 第15号 浅野 二郎：種子の耐塩性を中心とした海岸地帯におけるアカマツおよびクロマツ林の成立に関する研究（1963年3月）
- 第16号 山中 啓：乳酸菌のペントース・イソメラーゼに関する研究（1963年8月）（英文）
- 第17号 葦 沢 正義：香川県における葡萄の旱害に関する研究（1964年3月）
- 第18号 谷 利一：カキ炭疽病の病態生理学的研究，とくに罹病果実の病徴発現にあずかるペクチン質分解酵素の役割（1965年3月）
- 第19号 樽谷 隆之：カキ果実の貯蔵に関する研究（1965年3月）
- 第20号 狩野 邦雄：ラン種子の発芽培地に関する研究（1965年3月）（英文）
- 第21号 山本 喜良：コモンベツチおよびその近縁種の雑種に関する研究（1966年3月）
- 第22号 中広 義雄：鶏における飼料の消化率測定法に関する研究（1966年10月）
- 第23号 井上 宏：ナツタイダイの果実発育に関する研究，とくに水腐病の発生機構を中心として（1967年3月）



## Memoirs of Faculty of Agriculture, Kagawa University

- No. 1 Katsumi HATA : Studies on the Constituents and Pulping of "Akamatsu" (*Pinus densiflora* SIEB. et ZUCC.) Wood (March, 1955)
- No. 2 Nakato NAITO : Phytopathological Studies Concerning Phytohormones with Special Reference to Their Effect on Phytopathogenic Fungi (October, 1957)
- No. 3 Hiroshi MATSUZAWA : Ecological Studies on the Branconid Wasp, *Apanteles glomeratus* (March, 1958)
- No. 4 Akira KAJI : Studies on the Retting of Plant Fiber Materials for Japanese Paper Manufacture (March, 1959)
- No. 5 Kazuo MORI : An Analytical Study on the Structure of the Mandarin Orange Growing Orchard Farm in a Sloping Land Region (March, 1960)
- No. 6 Takahiko TAMAKI : Studies of Garaku Paddy Soil and Reservoir Deposits (March, 1960)
- No. 7 Masaki UEHARA : Physical and Meteorological Studies on the Cultivation and Utilization of Slope Land (March, 1961)
- No. 8 Hikaru KUWADA : Studies on the Interspecific Crossing between *Abelmoschus esculentus* MOENCH and *A. Manihot* MEDIC. and the Various Hybrids and Polyploids Derived from the Above Two Species (September, 1961)
- No. 9 Junzaburo NAKA : Physiological Studies on the Growing Process of Sweet Potato Plants (March, 1962)
- No. 10 Minoru SAITO : The Geology of Kagawa and Northern Ehime Prefectures, Shikoku, Japan (March, 1962) (in English)
- No. 11 Kiyoshi KOSUGI : Studies on Production and Flowering in Gladiolus (September, 1962) (in English)
- No. 12 Hachirō KIRA : Hydraulical Studies on the Sedimentation in Reservoirs (February, 1963)
- No. 13 Aizo NODA : Studies on the Coleorhiza of Cereals (March, 1963)
- No. 14 Sin'itirō KAWAMURA : Studoj pri Ameloj de Legumenoj (March, 1963) (in Esperanto)
- No. 15 Jiio ASANO : A Study on the Formation of Pine Forests on Seaside Areas, giving due Consideration to the Salt Resistance of the Seeds (March, 1963)
- No. 16 Kei YAMANAKA : Studies on the Pentose Isomerases of Lactic Acid Bacteria (August, 1963) (in English)
- No. 17 Masayoshi ASHIZAWA : Studies on the Drought Damage of Grape Trees in the Region of Kagawa Prefecture (March, 1964)
- No. 18 Toshikazu TANI : Studies on the Phytopathological Physiology of Kaki Anthracnose, with Special Reference to the Role of Pectic Enzymes in the Symptom Development on Kaki Fruit (March, 1965)
- No. 19 Takayuki TARUTANI : Studies on the Storage of Persimmon Fruits (March, 1965)
- No. 20 Kunio KANO : Studies on the Media for Orchid Seed Germination (March, 1965) (in English)
- No. 21 Kiyoshi YAMAMOTO : Studies on the Hybrids among the *Vicia sativa* L. and its Related Species (March, 1966)
- No. 22 Yoshio NAKAHIRO : Studies on the Method of Measuring the Digestibility of Poultry Feed (October, 1966)
- No. 23 Hiroshi INOUE : Studies on the Fruit Development of Natsudaidai (*Citrus Natsudaidai* HAYATA), with Special Reference to Water Spot Injury (March, 1967)