

# 温州ミカンの光合成産物の転流および分配に関する研究 第 4報

誌名	園藝學會雑誌
ISSN	00137626
著者	門屋, 一臣
巻/号	42巻3号
掲載ページ	p. 215-220
発行年月	1973年12月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター  
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council  
Secretariat



## 温州ミカンの光合成産物の転流および分配に関する研究 (第4報)

果実肥大の日周期と関係要因

門 屋 一 臣

(愛媛大学農学部)

Studies on the Translocation of Photosynthates in Satsuma Mandarin  
IV. Diurnal Fluctuations of Fruit Growth and Some Environmental Conditions

Kazuomi KADOYA

College of Agriculture, Ehime University, Matsuyama

### Summary

Diurnal fluctuations in diameter of satsuma mandarin fruit were precisely measured and recorded by means of a differential transformer. The fruit enlargement was found to be conspicuous from the middle of daytime to about 8:00 p.m. Thereafter a slight but steady expansion continued until the sunrise of the next morning. About an hour after sunrise, the fruit was gradually decreased in diameter. The rate of contraction and the time of expansion within a day depended mainly on the meteorological conditions. It was also clarified that on a fine day there observed short-period rhythmical fluctuations of expansion and contraction in diameter which were superposed on a general increasing trend of fruit growth. The period was about 20 to 30 minutes and the amplitude was about 40 to 60  $\mu$ . However, when the whole tree was covered with black cheesecloth, these fluctuations disappeared and the fruit showed only a monotonous enlargement. When it was cloudy, there appeared no rhythmical fluctuations. Further, it was noticed that several minutes after the initiation of illumination the fruit responded to it quickly, i.e., when irradiation was decreased, the fruit immediately expanded and vice versa. Variations in leaf thickness also coincided with those in fruit diameter. The translocation of photosynthates was always decreased with low intensity of irradiation.

From the results obtained, it may reasonably be concluded that the apparent enlargement of young satsuma mandarin fruit is closely associated with the moisture content within a tree. Thus, the magnitude of stomatal opening seems to be an important factor with respect to the induction of short-period rhythmic fluctuations of young fruits.

### 緒 言

温州ミカン果実の肥大測定は、すでに、高橋(20)、村松ら(17)、佐宗(18)、倉岡(15)らによつて行なわれているが、いずれも果径をキャリパーを用いて測定し、果実の生長がS字型曲線にそつて行なわれることを指摘している。しかしながら、光合成産物の転流によつて誘起される果径の微細な日変化を明らかにするためには、キャリパーよりも、さらに高い精度の測定器を用いて、かつ果径変化を連続して測定し、記録する必要がある。

連続的に生長量を測定する方法としては、Frittsら(6)によつて開発されたデンドログラフによる方法があり、

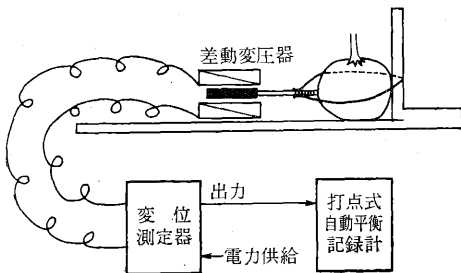
たとえば、Hilgeman(9)は、バレンシアオレンジの幹の変化を0.0002インチの感度をもつデンドログラフで測定している。これを用いると、キャリパーの測定法とは違つて、連続的に変化量をつかむことができる利点があるが、装置の関係から、どこでも使用できるというものではない。そこで本実験においては、Tukey(21, 22)がリンゴ、トマト、およびキュウリの果径測定に、また、相見(1)がインゲンマメの葉の運動量を測定するのに使用した差動トランスを用いて、温州ミカンの果径の日変化を測定した。

1973年2月23日受理

## 果実の肥大曲線

### 実験材料および方法

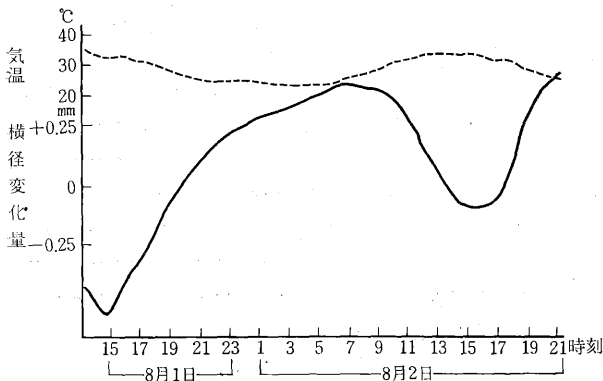
市販の新光電子 KK 製差動トランス (ICP-5 型) を用いて、1 次コイルに一定の交流電圧を加えて励磁しておき、コアを軸方向に動かした場合に、ゼロ点からのコアの変位量に比例して得られる 2 次電圧を変位測定器に導き、さらにその電圧変化を自動平衡式記録計にとり出して、果径変化のようすを連続的に測定記録した。これを模式的に示すと第 1 図のとおりである。本測定法を採用することによって、最大日盛幅は、500  $\mu$  を 15 cm の記録紙に拡大できることになり、また、測定にあたっては、第 1 図に示すように、木に着生したままの果実に差動トランスをセットすることによって、果径の変化を連続的に測定することが可能となつた。実験材料としてはポット植えの 5 年生興津早生の果実を用いた。



第 1 図 差動トランス利用による果径測定模式図

### 実験結果

果実の肥大生長の過程を時期別に追跡した結果の一例を示すと第 2 図のとおりである。1 日のうちで果実の肥大のもつとも盛んな時刻は、日中の後半から 20 時ごろまでの間であつた。また、その後日の出の時刻までは緩慢で単調な肥大を続けるが、日の出後約 1 時間たつところに、果実は収縮過程に移行した。しかし、その収縮の程度や、ふたたび肥大に移る時刻については、そのときの気象条件によって大きく異なつていた。すなわち、曇天



第 2 図 果実の肥大生長

または降雨の日には、収縮の程度が少なく、ほとんど収縮のみられないときもあり、反対に、晴天の日には、収縮の程度が大きかつた。晴天における日肥大および収縮量は第 1 表のとおりであつた。果実の見かけの肥大は、7 月から 8 月にかけて盛んに行なわれ、10 月上旬になると緩慢になつた。

第 1 表 温州ミカンの日肥大および収縮量 (興津早生)

調査期日	調査項目	肥大量	収縮量	見かけの肥大量
5 月 下旬		0.35 mm	0.10 mm	0.25 mm
6 月 上旬		1.00	0.75	0.25
7 月 上旬		1.50	0.70	0.80
8 月 上旬		2.00	1.00	1.00
9 月 上旬		2.00	1.70	0.30
10 月 上旬		0.50	0.25	0.25

## 果実の肥大と収縮に関する 2, 3 の要因

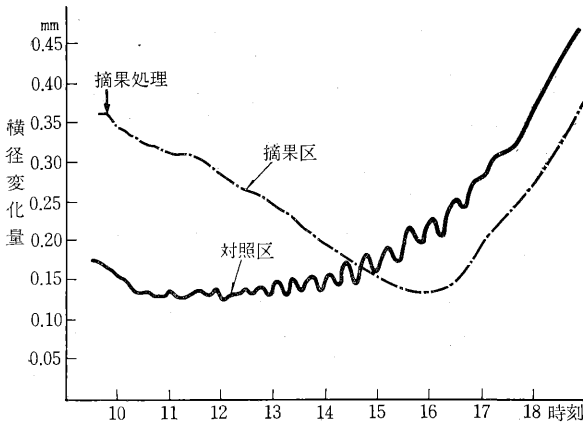
### 実験材料および方法

前項と同じ材料で、差動トランスの感度を高めて、果径の微細な日変化を追跡した。また前報(10)と同様な方法で  $^{14}C$  を同化させた後、寒冷しや被覆によって、照度に差をつけて、これが光合成産物の転流におよぼす影響を明らかにしようとした。

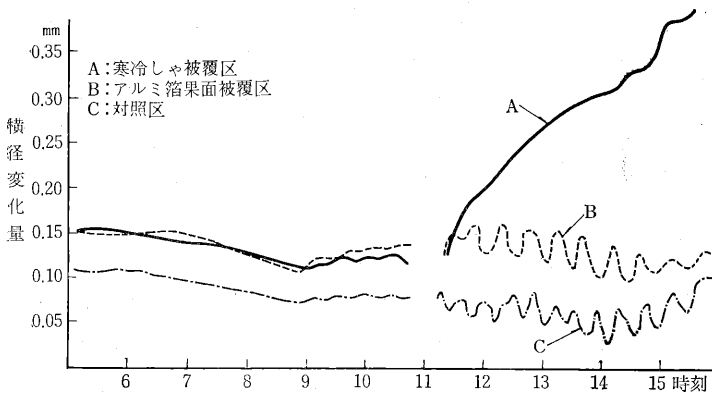
### 実験結果

先にも触れたとおり、果実発育の初期および中期には、果実が日中の前半に収縮し、後半より肥大する経過をたどるのが普通に認められるパターンであるが、さらに細かくみると、その肥大のようすは必ずしも単調なものではなく、第 3 図の対照区の果実で認められるように、晴天の日には、果実は始めのうちは、約 20 分、また日中の後半になると 30 分くらいの周期で肥大と収縮を繰り返しながら、生長していることが明らかになつた。その最大振幅は、6 月上旬で約 50  $\mu$  に達している。また、第 3 図で摘果区とあるのは、測定を続けている果実のごく近くに着いている果実を摘除することが、残つた測定果実の肥大にどのような影響を与えるかをみたものである。対照区の果実が前述のような肥大と収縮を繰り返しながら 12 時ころより後は、その基調が増加の方向をたどつてのに対して、午前 10 時に摘果処理をした場合には、そのごく近くに残された果実には、対照区でみられたような果径増減の周期性がまったく認められず、16 時ころまでは単調に減少するのみであつた。そして、その後は単調な増加を続けたが、翌日になると、摘果区にも対照区と同様な肥大と収縮の周期が観察されるようになった。

つぎに、A) 果実の着生している木を全面的に



第3図 摘果処理が近接果実の肥大におよぼす影響(6月9日)



第4図 寒冷しゃおよびアルミ箔被覆が果実の肥大におよぼす影響

寒冷しゃで被覆した区、B) 果実のみをアルミ箔で覆った区、C) 対照区の三つの処理区を設けて、処理後の各区果実の肥大生長を比較した。その結果は第4図に示すとおりで、B区については、対照区とほとんど変わりなく、アルミ箔被覆の影響は認められなかったが、A区の寒冷しゃ被覆区の果実は、処理開始直後より急激な肥大を始めて、その傾向が夕刻まで持続した(第4図)。ただし、A区の照度は3000ルクス以下であった。

いつぼう、この肥大に光合成産物の転流が関与しているかどうかを確認するために、前報(10)と同様な方法で<sup>14</sup>Cを同化させ、その直後に、黒色寒冷しゃで木全体を被覆して、光合成産物の転流を追跡した結果が、第2表および第3表である。すなわち、処理後の転流は、黒色寒冷しゃ被覆によって明らかに押さえられており、A区でみられた急激な果実の肥大が必ずしも光合成産物の転流によるものでないことを示している。ちなみに、寒冷しゃ被覆区の果実について、その後の肥大をみると、活

発な肥大生長がいつまでも続けられるのではなくて、第5図に示すように、寒冷しゃ被覆処理後の果実の肥大速度はかなり押さえられるのが普通である。それに対して、対照区の果実は、日中の収縮量が大いいため、最初は肥大の基調が低くても、約5日後には寒冷しゃ被覆区の果実肥大に追いつくことになる。

以上の寒冷しゃ被覆試験の結果からみて、果実の肥大収縮には照度が関係しているように思われたので、さらに、東芝光合成有効日射計 PSZ-1型を記録計に接続して、果実肥大と照度との関係を検討した。第6図はその結果を示したものである。すなわち、照度の変化から明らかのように、当日は曇つたり、晴れたりという天気であった。

そして、このような状態のもとでは、すでに示したような規則的な肥大と収縮の周期性は認められなかった。しかしながら、果実の肥大は、照度の変化に敏感で、数分の遅れでその変化に対して反応することがわかる。すなわち、照度が増しているときは、果実は収縮し続けており、反対に照度が低くなり始めると、果実は肥大に向かっている。そして、その程度は、照度の変化によく対応している。ここで注目すべきことは、照度の強さそのものよりも、むしろ、照度が増加傾向から減少傾向に向かっている

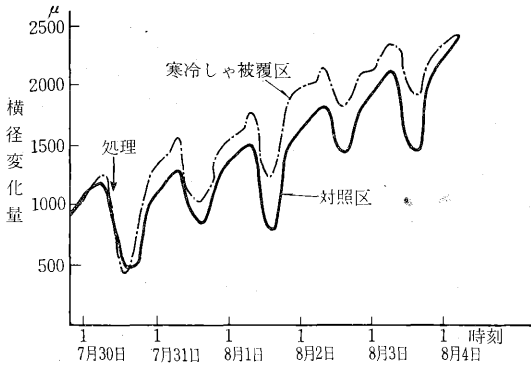
第2表 シャ光が<sup>14</sup>C-光合成産物の転流におよぼす影響

シャ光処理	果 肉		果 皮	
	乾物1mg 当たり	1果当たり	乾物1mg 当たり	1果当たり
対 照 区	1799 cpm	882×10 <sup>4</sup> cpm	1069 cpm	388×10 <sup>4</sup> cpm
黒色寒冷しゃ1枚区	1221	540×10 <sup>4</sup>	924	302×10 <sup>4</sup>
黒色寒冷しゃ3枚区	1022	447×10 <sup>4</sup>	723	255×10 <sup>4</sup>

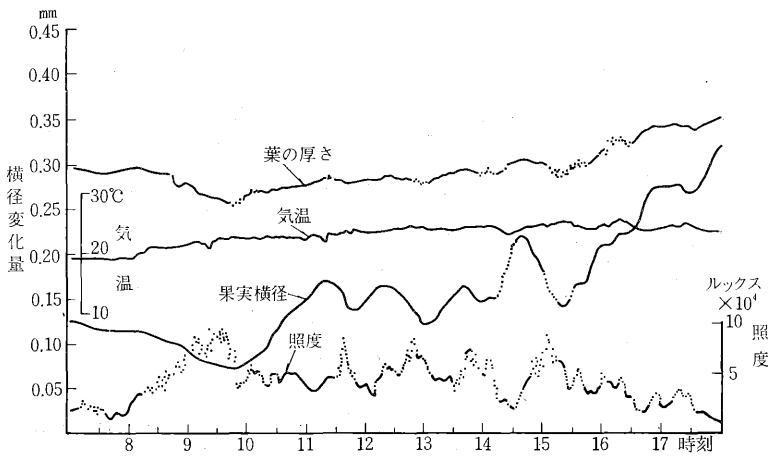
第3表 黒色寒冷しゃの被覆と照度および温度

調査項目	処理区		
	対 照 区	黒色寒冷しゃ1枚区	黒色寒冷しゃ3枚区
温 度 (°C)	33.7	36.5	31.5
照 度 (ルクス)	62000	28000	5000

るか、または、その逆の傾向にあるかの違いによつて、果実の肥大生長が影響を受けているように思われることである。この際に、葉の厚さも同時に差動トランスで測定したが、果実の肥大収縮の変化とまったく同調していた。また、気温も同時に測定したが、気温には照度にみられたほどの大きな変化はなく、この程度であれば、温



第5図 寒冷しゃ被覆処理が果実の肥大生長におよぼす影響



第6図 照度の変化と果実の肥大および葉の厚さとの関係

度の変化が果径変化にそれほど大きな影響をおよぼしたとは考えられない。しかしながら、気温の変化は大気中の湿度にも影響を与えるはずであるから、総合的な効果について考察する必要がある。

考 察

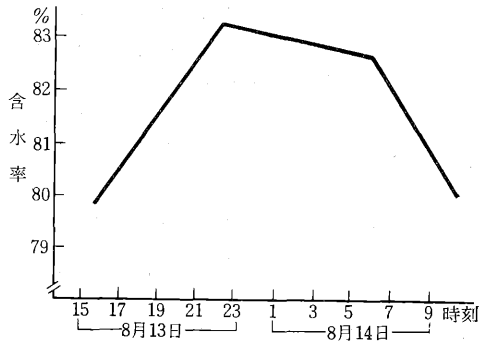
温州ミカンの果実の肥大生長がS字形を描くという報告は、高橋(20)、村松(17)、佐宗(18)、倉岡(15)らによつてなされている。すなわち、果径の増大は6月中下旬より9月中下旬まで盛んであり、以後緩慢となること示されている。

本実験では、従来のキャリパーによる測定法とは異なり、差動トランスを用いて果径の精密測定を行なつたのであるが、その結果をみても、第1表に示したとおり、果径肥大が最も盛んに行なわれたのは、7月上旬から8月上旬にかけてであつた。さらに、変位測定器の感度を上げて測定したところ、果実の肥大生長の過程は、必ずしも単調なものではなく、Bartholomew(3)がレモン

で、Schroederら(19)がアボカドで、小林ら(12)がブドウで、また、林(8)および遠藤(5)らがナシで、さらにTukey(21)がリンゴの果実肥大について指摘している。とおり、昼間収縮し夜間肥大するという生長パターンが本実験においても認められた。Bartholomew(3)や、林(8)によると、昼間の果径収縮は、葉の含水率の変化と密接な関係があるとし、また、Ziegler(23)およびChaneyら(4)は、オレンジについて測定し、水が果実から葉に移動することを認め、これが果径の変化に現われるとしている。実際に温州ミカンについて、水分の日変化を調べてみると、第7図に示すとおりで、日中は果実の含水率が低く、夜間には高くなつてゐる。このようなことから考えて、果径の変化には水分の移動が非常に大きな影響を及ぼしているものと思われる。

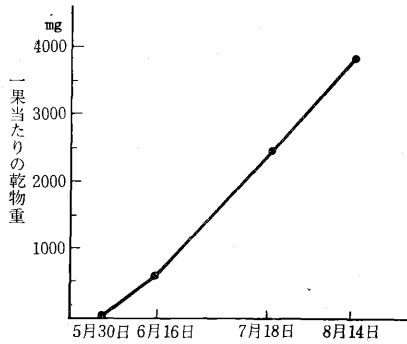
8月中旬までの1果当たりの乾物増加のようすは、第8図に示されている。このグラフから計算すると、果実生長の初期から中期にかけては、1日当たり約40ないし50mgの乾物増加があることになる。その量は6月16日で見ると、果実の乾物重に対して、約15分の1に相当するが、この乾物の増加が、第1表に示された見かけの肥大を引き起こす力となるのであろう。

さらに、果径肥大の特性とし



第7図 果実含水率の日変化

て明らかになつたことは、晴天の日には、果径変化の基調が日中の収縮から夜間の肥大に移るといふ単調な周期的経過をたどるだけでなく、約20分から30分の短い周期で小さな振幅を繰り返しながら、生長を続けていることである。このような小さな振幅は、曇天や降雨の日にはみられないし、また、寒冷しゃ被覆によつても消



第8図 果実乾物重の増加曲線（興津早生）

失するだけでなく、果径は被覆処理後直ちに活発に増加し始める。すなわち、照度を増すと果実は収縮し、照度が低くなると果実が肥大しはじめる傾向を明らかに認めることができる。そして、果実が照度の変化に対して示す反応時間は非常に短く、通常数分以内に起こることから考えて、この場合にも、やはり、果実と葉の間の水分の収支が原因となつて果径変化を引き起こしたものと推察される。そのとき、果径の変化と葉の厚さの変化が完全に同調しているところから、葉からの水分の蒸散の強さに一定の周期性があり、葉内水分がある程度以下に下がると、葉が果実から水分を吸引するようになるものと思われる。葉から水分が蒸散するのは、主として気孔を通して行なわれるから、気孔の開度も一定の周期性をもつて変化しているものと考えられる。

Kriedemann(14)は、ワシントンネーブルオレンジ、パレンシアオレンジ、およびレモンを使つて、光合成能を測定した際に、やはり、気孔が周期的に開閉していることを観察した。カンキツ以外の植物でも、蒸散に周期性のあることが知られており、Barrs(2)は、ヒマワリやワタで、光合成能と蒸散の周期性について論じている。照度の変化が日中ひんぱんに起こると、それに応じて気孔の開度が変わり、蒸散に影響を与える。かくして、それが幼果からの水分の移動を起こさせる契機となりうるであろう。先にも述べたような規則的な周期の認められない日でも、果径はこのような過程を経て、変動しているものと推察される。もつとも蒸散量には、長谷場ら(7)の指摘するように、単に気孔の開度ばかりでなく、温度、湿度、風速などが関与するであろうから、ここで取り上げたような照度と気孔の開度のみでなく、もつと広い立場からの考察が必要である。

ちなみに、大気中の水ポテンシャルを次式に従つて計算してみると、第4表のとおりである。

$$\psi_0 = -\frac{R \cdot T}{V} \cdot 1n \frac{P^0}{P}$$

第4表 大気中の水ポテンシャル（気圧）

気 温	15°C	20°C	25°C	30°C
相対湿度 90%	-137	-140	-142	-144
85	-212	-216	-219	-223
80	-291	-296	-301	-307
75	-376	-382	-389	-395
70	-466	-474	-482	-490
65	-563	-573	-582	-592
60	-668	-679	-691	-702

ただし、 $R$ ：気体定数、 $T$ ：絶対温度、 $\bar{V}$ ：水1モルの体積、 $P^0$ ：飽和蒸気圧、 $P$ ：測定時の蒸気圧。

水ポテンシャルの変化に対する温度の変化の影響については、湿度が一定のときは比較的変動幅は小さいが、いつぼう、湿度の変化に対しては大きく変わってくる。また、湿度は、温度の変化に応じて変動するので、その結果として水ポテンシャルも変わることになる。

温州ミカンの葉の水ポテンシャルは、間苜谷ら(16)によると  $-10$  気圧前後であり、また、Kaufmann(11)によると、ネーブルオレンジの果肉では、約  $-13$  気圧、果皮で約  $-11$  気圧であるという。したがつて、たとえば、 $20^\circ\text{C}$ 、相対湿度 90 パーセントのときの大気中の水ポテンシャルは  $-140$  気圧であるから、相対湿度が比較的高い場合でも、気孔さえ開いていれば、葉から活発な蒸散が行なわれるだけの十分な水ポテンシャルのこう配が、存在していることになる。

### 摘 要

差動トランスを用いて、温州ミカン果実の肥大のようすを連続して測定した。1日のうちで、果実肥大のもつとも盛んな時期は、日中後半から 20 時ころまでの間であつたが、その後、日の出時刻までは単調な肥大過程が続いた。また、日の出後約 1 時間たつと、果径は明らかな収縮過程にはいつた。その収縮の程度や、ふたたび肥大を始める時刻は、そのときの気象条件の相違によつて大きく異なつていた。

日中でも果実は必ずしも単調に収縮から肥大に移るものではなく、晴天の日の変化をさらに細かくみると、始めは約 20 分、日中後半には 30 分くらいの短い周期で収縮と肥大を繰り返しながら、大周期の肥大生長を続けていることが明らかとなつた。このとき、寒冷しやで木を被覆すると、このような肥大の周期性が認められなくなり、単調な肥大過程のみとなつた。また、曇天の日にも、収縮、肥大の周期が認められなかつた。

測定中の果実はそのままにして、近くの果実を摘除すると、残された測定果は 16 時ころまで単調な収縮をした後にはじめて肥大を開始した。その際、対照区の果実は短い振幅をもつた周期を繰り返しながら、すでに 12

時ころより肥大を始めていた。

肥大と照度との関係をみたところ、照度の変化に数分遅れて果実の収縮および肥大が敏感に反応することが明らかとなった。すなわち、照度が低下すると、果実は肥大を始め、また反対に、照度を増すと果実は収縮過程に向かった。いつぼう、光合成産物の転流はむしろこれと逆の関係にあり、照度の低下によつて転流が押さえられた。

以上のことから、温州ミカン幼果の見かけの肥大は、その水分の収支によつて大きく左右され、日中においては、これが葉の気孔の開度と密接に関連しているものと推察された。

謝辞 本研究を行なうにあたり、種々の御指導、御助言をいただいた本学農学部松本和夫教授に深く感謝の意を表す。

#### 引用文献

1. AIMI, R. 1969. Electronic growth recorder. *Plant & Cell Physiol.* 10: 707-710.
2. BARRS, H. D. 1968. Effect of cyclic variations in gas exchange under constant environmental conditions on the ratio of transpiration to net photosynthesis. *Physiol. Plant.* 21: 918-929.
3. BARTHOLOMEW, E. T. 1926. Internal decline of lemons. III. Water deficit in lemon fruits caused by excessive leaf evaporation. *Amer. Jour. Bot.* 13: 102-117.
4. CHANEY, W. R., and T. T. KOZLOWSKI. 1971. Water transport in relation to expansion and contraction of leaves and fruits of Calamondin orange. *J. Hort. Sci.* 46: 71-81.
5. 遠藤融郎. 1972. 和ナシ果実の日肥大周期に関する研究. 学位論文.
6. FRITTS, H. C., and E. C. FRITTS. 1955. A new dendrograph for recording radial changes of a tree. *Forest Sci.* 1: 271-276.
7. 長谷場徹也・武智 修. 1966. 蒸散に関する研究 (I) 柑橘蒸散の日変化について. *農業気象.* 22 (1): 1-6.
8. 林 真二. 1961. 日本梨果実の発育に関する研究. 学位論文.
9. HILGEMAN, R. H. 1963. Trunk growth of the Valencia orange in relation to soil moisture and climate. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 82: 193-198.
10. KADOYA, K., and H. TANAKA. 1972. Studies on the translocation of photosynthates in Satsuma mandarins. I. Effect of summer cycle shoot and bearing fruit on the translocation and distribution of  $^{14}\text{C}$ . *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 41(1): 23-28.
11. KAUFMANN, M. R. 1970. Water potential components in growing citrus fruits. *Plant Physiol.* 46: 145-149.
12. KOBAYASHI, A., M. KURETANI and H. OHTO. 1963. Effects of soil moisture on the growth and nutrient absorption of grapes. *Jour. Japan. Soc. Hort. Sci.* 32(2): 77-84.
13. KOZLOWSKI, T. T. 1968. Diurnal changes in diameters of fruits and tree stems of Montmorency cherry. *J. Hort. Sci.* 43: 1-15.
14. KRIEDEMANN, P. E. 1968. Some photosynthetic characteristics of citrus leaves. *Aust. J. Biol. Sci.* 21: 895-905.
15. 倉岡唯行. 1962. 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.
16. 間苧谷徹・町田 裕. 1972. 果樹の葉内水分に関する研究 (第2報) Pressure chamber 法による温州ミカン葉の water potential の測定. *園芸学会昭和 47 年秋季大会発表要旨.* pp. 16-17.
17. 村松春太郎・松尾武美. 1935. 夏期灌水がネーブル果実の発育におよぼす影響. *愛媛農試農業研究.* 11(1): 7-14.
18. 佐宗久雄. 1938. 温州蜜柑の果実の発育. 特にじょう肉, 果皮の発育について. *柑橘研究.* 8(2): 187-194.
19. SCHROEDER, C. A., and P. A. WIELAND. 1956. Diurnal fluctuation in size in various parts of the avocado tree and fruit. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 68: 253-258.
20. 高橋郁郎. 1922. 柑橘果実の発育及び品質と気象との関係に就て (その1). *園芸之研究.* 18: 160-179.
21. TUKEY, L. D. 1962. Factors affecting rhythmic diurnal enlargement and contraction in fruits of the apple (*Malus domestica*, Bork.) *Proc. 16th Int. Hort. Congress.* 3: 328-336.
22. ————. 1964. A linear electronic device for continuous measurement and recording of fruit enlargement and contraction. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 84: 653-660.
23. ZIEGLER, H. 1963. Verwendung von Calcium zur Analyse der Stoffversorgung wachsender Fruchte. *Planta.* 60: 41-45.