

碩士學位論文

温州蜜柑의 葉內水分Potential에 關한 研究
Studies on the Leaf Water Potential
of Satsuma Mandarin Tree



濟州大學校大學院

園藝學科

文 德 永

1982年 12月 日

認 准 書

碩 士 學 位 論 文

溫州蜜柑의 葉內 水分 Potential에 關한 研究

Studies on the Leaf Water Potential
of Satsuma Mandarin Tree

指 導 教 授 文 斗 吉

이 論文을 碩士學位 論文으로 提出함



1982年 12月 日

濟州大學校 大學院 園藝學科

文 德 永

의 碩士學位 論文을 認准함

1982年 12月 日

委員長：

委 員：

委 員：

目 次

I. 摘 要	2
II. 緒 論	4
III. 研 究 史	6
IV. 材 料 및 方 法	10
V. 結 果 및 考 察	16
VI. Summary	26
VII. 参 考 文 献	29



I. 摘 要

Pressure chamber를 利用하여 温州蜜柑 (*Citrus unshiu* Marc.)의 葉内水分 potential의 日變化를 調査하고 또한 翌의 여러 條件과 土壤乾燥에 따른 葉内水分 potential(ψ_L)의 하루중 最高值(ψ_{max}) 및 最低值(ψ_{min})를 測定한 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 맑은날의 ψ_L 은 日出前에 ψ_{max} 를 보이고 日出後 몇시간 동안 急激히 下降한 다음 下降速度가 鈍化되지만 繼續 낮아져 오후 1時頃 ψ_{min} 를 나타내고 3時以後 빠른 速度로 回復되어 日沒後에는 日出前과 비슷하게 되었다.

2. 흐린날의 日變化도 맑은날과 비슷하였으나 下降 및 回復이 맑은날보다 늦었다.

3. 樹冠内部 葉의 ψ_L 의 日變化와 ψ_{max} 는 樹冠外部 葉과 비슷하였으나 ψ_{min} 은 2 bar 程度 높았다.

4. 樹冠西側 葉의 ψ_L 日變化는 東側 葉의 ψ_L 變化보다 多少 늦었다.

5. 大氣中 水分 potential의 日變化와 ψ_L 의 日變化 사이의 直線相關 關係는 흐린날에는 有意하였으나 맑은날에는 有意성이 認定되지 않았다.

6. ψ_{max} 는 葉齡別 差異가 없었지만 ψ_{min} 은 前年度 春葉에서 가장 높고 다음으로 前年度 夏葉 및 當年度 夏葉이 비슷하였으며 當年度 春葉에서 가장 낮았다.

7. 가지의 着果有無 또는 가지 및 잎의 着生方向에 따른 ψ_L 의 有意差는 認定되지 않았지만 ψ_{max} 에서 보다 ψ_{min} 에서 差가 큰 傾向이었다.



8. 土壤의 Gypsum block 電氣抵抗이 10,000 Ω 以上으로 乾燥하면 ψ_{min} 보다 ψ_{max} 가 急激히 減少하였다.

9. 土壤水分 條件과 關聯된 樹体内 水分 狀態는 土壤水分 條件에 依한 差가 有한 事 實이 有한 事 實이라고 結論되었다.

Ⅱ. 緒 論

濟州道の 降雨量은 年間 1,400 ~ 1,800 mm 程度로서 柑橘栽培에는 不足한 量이 아니지만 大部分이 6 ~ 7月の 장마기에 편중되어 있어 季節에 따라 水分의 過多나 不足 現象을 일으키기 쉽다. 이처럼 時期에 따른 水分의 過多나 不足은 柑橘의 収量이나 品質에 미치는 影響이 커서 合理的인 水分管理의 必要性을 認識하고 있으면서도 아직 濟州道の 柑橘栽培에 있어서의 水分管理는 放任狀態이다.

柑橘樹에 對한 水分의 影響을 보면 여름철은 果實의 肥大期로서 이 時期의 豊富한 土壤水分은 果實肥大를 促進하며 한편 果實의 内容物이 成熟되어가는 가을철에는 果實肥大에 나쁜 影響을 주지 않은 範圍内에서의 土壤乾燥가 品質을 向上시키는 效果가 있다는 것도 잘 알려진 사실이다 (問亭谷·町田, 1977; 坂本·奥地, 1968; 鈴木 等, 1967, 1968, 1969; 玉井·上堂, 1960; 富田, 1972; Williban, 1964). ^{26, 33, 36, 37, 38, 39, 42, 43)}

이처럼 柑橘樹는 生育時期別로 必要로 하는 水分의 程度가 달라 合理的인 灌水開始期의 올바른 判定을 爲해서는 그때 그때의 柑橘樹体内 水分狀態를 正確히 아는 것이 重要하다.

그러나 植物体内的 水分狀態는 土壤의 water stress, 大氣中の water stress와 水分損失을 막을 수 있는 植物自体가 갖고있는 能力에 左右되기 때문에 이를 안다는 것은 매우 어려운 일이다.

植物体内的 water stress를 종래에는 土壤水分의 減少程度를 갖고

推定하였으나 果樹와 같은 深根性인 作物에서는 根圈의 土壤水分 狀態를 이렇게 理解하는 것이 合理的인지에 對해 疑問시 되어 왔다. 그래서 植物自体에서 飽和水分 不足度 (W.S.D), 拡散压差 (D.P.D) 등의 方法이 使用 되었다 (Wiebe, 1966 ; Yuda·Okamoto, 1967).^{45,46)} 그러나 이 方法은 努力과 時間이 많이 所要되면서도 그 正確도가 낮고 現場에서의 測定이 어려운 點 等 많은 결점이 있었다. 더구나 土壤 - 植物 - 大氣로의 連續体系안에서 水分의 energy 狀態와 移動現象은 充分히 說明할 수 없었다.

그러나 1970年代부터는 熱力学에 基礎를 둔 水分 potential 概念이 体系化 되면서 植物体内 水分狀態의 推定은 葉内 水分 potential 을 測定함으로써 可能하게 되었다.

그렇지만 우리나라에서는 水分 potential 의 概念과 이의 測定은 一部 田作과 林学에서 最近에 紹介되고 있으나 (權, 1982; 權, 1979)^{20,21)} 果樹分野에서는 아직 導入되지 않고 있는 實情이다.

이와같은 時点에서 앞으로의 合理的인 柑橘園 水分管理를 爲한 基礎資料를 얻기 爲하여 pressure chamber 를 製作, 몇몇 條件下에서 温州蜜柑의 葉内水分 potential 을 測定하였다.

Ⅲ. 研 究 史

土壤이나 植物体の 水分含量을 測定하는 方法은 그동안 많이 研究 開發되었지만 1960年代 chemical potential의 概念에서 導入된 水分 potential의 測定은 pressure plate method (加圧膜法; 土壤)나 pressure chamber method(加圧箱法; 植物体)外에는 만족스런 方法이 없었다. 그러나 psychrometric method가 確立된 後로 이 方法은 植物体内 水分狀態를 가장 正確하게 測定하는 수단으로서 利用되어 왔다 (Klepper·Barrs, 1968; Lang, 1969; Nelsen *et al*, 1978).^{18,22,30)} 그러나 이 方法은 實驗室에서만 測定이 可能的 缺點이 있어서 最初의 pressure chamber를 Scholander *et al* (1966)³⁵⁾이 多少 改作한 方法이 보다 普遍化되면서 實驗室內뿐만 아니라 圃場이나 溫室等 어디서나 손쉽게 測定할 수 있게 되었다 (Boyer, 1967; Kaufmann, 1968; 權, 1982; Roo, 1969; Waring·Cleary, 1967).^{4,16,20,31,40)}

Boyer (1967)⁴⁾는 正確한 葉內 水分 potential을 얻기 爲해서는 pressure chamber에 依한 測定值를 thermocouple psychrometer (psychrometric method)로 補正하여야 한다고 하였다. 그러나 Kaufmann(1968)¹⁶⁾ 町田·間苧谷(1974)²⁸⁾ Roo(1969)³¹⁾ Scholander *et al* (1966)³⁵⁾ Waring·Cleary(1967)⁴⁰⁾ 등은 오렌지, 温州蜜柑, 수수, 옥수수, Douglas 전나무의 葉內水分 potential을 pressure chamber와 thermocouple psychrometer로 比較 計測한 結果 그 數值가 두方法 사이에 差異가 없었다고 하였다.

Waring·Cleary (1967)⁴⁴⁾ 는 chamber 内の 加圧速度가 빠른 경우에는 葉細胞와 葉柄의 圧이 平衡狀態로 되기 前에 chamber 内の 壓力이 올라가기 때문에 異常數値가 나올 수 있으므로 0.67 atm/sec (= 9.85 psi/sec = 0.68bar/sec)가 適當하다고 하였다. Kaufmann (1968)¹⁶⁾ 은 orange 의 葉內 水分 potential 測定時 加圧速度를 秒當 0.6, 0.4, 0.2 atm로 實驗을 해본 結果 서로 差異가 없었다고 하였으며 町田·間苧谷 (1974)²³⁾ 는 加圧速度를 0.35 atm/sec (5psi前後) 前後로 測定하는 것이 가장 무난하다고 하였다.

植物체의 葉內 水分 potential 은 測定時刻 (Acevedo *et al*, 1971; Goode-Higgs, 1973; 町田·間苧谷, 1974)^{1), 11), 23)} 季節 (間苧谷·町田, 1976)²⁵⁾ 植物의 種類 (Frank *et al*, 1973; Rudich *et al*, 1981)^{10), 31)} 植物체의 部位 (町田·間苧谷, 1974)²²⁾ 氣象 (Rudich *et al*, 1981)³²⁾ 土壤水分 狀態 (Elfving·Kaufmann, 1972; 間苧谷·町田, 1976; Rudich *et al*, 1981)^{9), 25), 32)} 等に 따라서 달라진다고 報告되어 있다.

温州蜜柑의 葉內 水分 potential 의 季節的 變化를 보면, 土壤溫度가 12℃以下가 되는 11月 中旬頃부터 日出前 葉內 水分 potential (ψ_{max}) 이 낮아져 1~2月에 最低值를 나타내다가 4月中旬이 되면 다시 높아지기 始作한다고 하였다 (間苧谷·町田, 1976)²⁵⁾

잎의 條件 즉 葉齡이나 그 調査部位 等に 따라 葉內 水分 potential 이 달라 묵은잎 (前年度 봄잎) 이 새잎 (當年度 봄잎) 보다 더 높으며 樹冠外部의 잎보다 樹冠内部의 葉內 水分 potential 이 높는데 이는 日射차단에

依한 葉溫의 低下로 葉面 水蒸氣壓差 (葉表面과 大氣中の 水蒸氣壓差)의 減少에 依한 蒸散速度의 低下가 그 上昇의 主要因이라 하였다 (Elfvig·Kaufmann, 1972; Haseba·Takechi, 1966; 町田·間亭谷, 1974; 間亭谷·町田, 1977).^{9,12,23,27)}

植物의 種類에 따라서도 葉內 水分 potential이 다른데 이는 氣孔의 蒸散調節機能이 서로 다르기 때문이며 (Thomas *et al*, 1976)⁴⁰⁾ 氣孔이 닫히기 始作할 때의 葉內 水分 potential도 作物에 따라 상당히 差異가 있어 一年生 作物은 -20 ~ -25 bars에 達하는 耐乾性인 수수와 같이 例外的인 것도 있지만 대체적으로 -7 ~ -16 bars이고 (Ackerson, 1982; Frank *et al*, 1973; Jordan·Ritchie, 1971; Kanemasu *et al*, 1969; Rudich *et al*, 1981)^{2,10,14,15,32)} 柑橘과 같은 永年生 作物은 -12~-16 bars에서 氣孔이 닫힌다 하였다 (Kaufmann·Levy, 1976)!⁷⁾

한편 葉內 水分 potential이 어느 水準까지 低下되면 植物의 잎은 그 伸長을 멈추게 되는데 Acevedo *et al* (1971)¹⁾은 옥수수 的 경우 그 水準은 -7 ~ -8 bars이며, Boyer (1968, 1970)^{5,6)}는 완두, 옥수수, 해바라기 的의 最大伸長은 -1.5 ~ -2.5 bars일 때 일어나며, -4 ~ -5 bars가 되면 伸長이 아주 억제된다고 하였다.

温州蜜柑의 경우 日出前 葉內 水分 potential (ψ_{max})이 8月下旬에 -11 bars가 되면 果實의 生長이 정지되고 着色이 지연되었으며 (間亭谷·町田, 1977)^{26,28)} 9月初의 낮은 ψ_{max} 와 收穫時 果實의 糖度, 酸度 그리고 果重과는 깊은 相關關係가 있어 品質과 收量을 떨어뜨린다고 報告하

였다 (間亭谷·町田, 1977, 1980). ^{28), 29)}

이상과 같이 葉內 水分 potential에 관한 研究는 많은 식물을 対象으로 遂行되어 왔으며 특히 柑橘分野에서도 合理的 水分生理의 指標로 葉內 水分 potential의 變化를 利用하려는 研究가 外國에서는 활발히 이루어지고 있다.

그러나 우리나라에서는 水分 potential의 概念에 입각한 果樹의 水分生理에 관한 研究結果가 아직 報告된 바 없다.



IV. 材料 및 方法

1. Pressure chamber 에 의한 葉内 水分 potential 測定

가. Pressure chamber 의 製作

Scholander *et al* (1966)³⁵⁾ 의 pressure bomb 를 改良한 方法(權, 1982, 町田·間亭谷, 1974)^{20,22)} 으로 濟州 海陸機械에서 그림 1 과 같이 製作하였다.

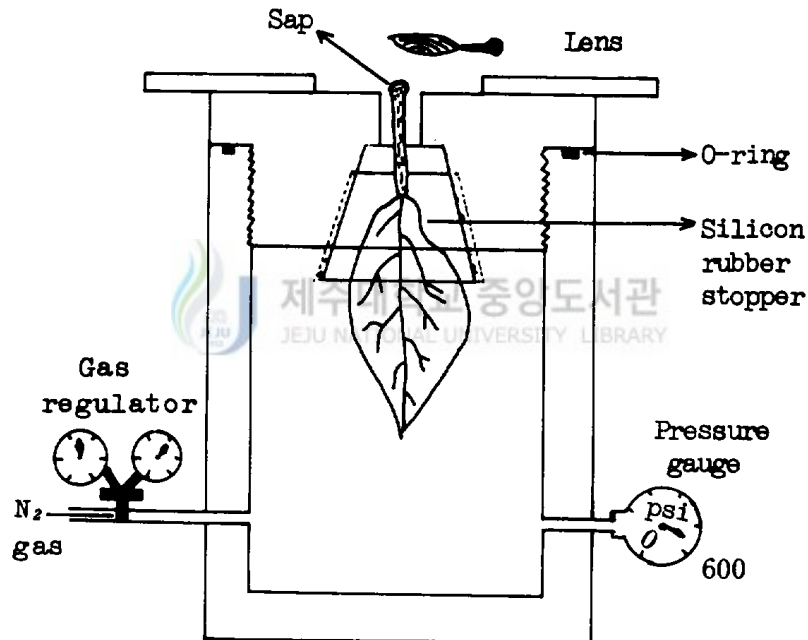


Fig. 1. Pressure chamber

Pressure gauge 는 美國 Marsh Instrument Company 製 高圧用 gauge 로서 0 ~ 600 psi (ψ) 를 5 psi 單位로 細分하여 눈금이 表示된 것을 利用하였다. 加壓 source gas 는 N_2 gas 를 使用하였으며 gas regulator 에는

1,500 psi 용량의 高压 oxygen 用 gauge 를 附着하였다. Silicone rubber 마개를 세로로 切断하여 그 사이에 柑橘葉의 葉柄을 끼우는 adaptor로 使用하였고 잎을 끼울 때 미리 粘性이 強한 接着劑(獨逸製品 Omm plus)를 발라서 加壓時 N_2 gas 가 새는 것을 防止하였다.

나. 測定原理

一般的으로 葉內 水分 potential (ψ_L)은 細胞液에 存在하는 溶質粒子에 依한 osmotic potential (ψ_π)과 壓力에 依한 pressure potential (ψ_p), 그리고 膠質粒子 存在에 依한 matric potential (ψ_m)의 合으로 나타내 진다. 즉 $\psi_L = \psi_\pi + \psi_p + \psi_m$ 이다. 그러나 ψ_m 은 未熟한 細胞나 매우 乾燥한 경우를 除外하고는 -0.1 bar以内로 그 크기가 적어 무시될 수 있으므로 (Wiebe, 1966)⁴⁵⁾ 結局 $\psi_L = \psi_\pi + \psi_p$ 이라 할 수 있다.

葉細胞와 葉柄의 導管사이의 水分 potential은 平衡狀態에 있는데 (그림 2-A), 張力에 依해 (-)의 pressure potential (ψ_p)을 갖는 導管內의 물은 葉柄을 切断하면 張力이 없어져 ψ_p 가 '0'로 되면서 切断面에서 內쪽으로 빨리 들어가기 때문에 結局 osmotic potential (ψ_π)만 남게 된다 (그림 2-B).

그런 後 pressure chamber 에 잎을 끼워 넣어 N_2 gas 를 注入해서 切断하기 前 導管의 $-\psi_p$ 에 相當하는 壓力을 加하면 葉細胞와 葉柄의 導管間에 다시 平衡狀態가 이루어져 切断面에 물이 이르게 된다 (그림 2-C). 이때의 N_2 gas 注入壓力에 (-) 付호를 부치면 이것이 葉柄 切断前에 導管에서 물이 받고 있던 ψ_p 에 해당된다.

一般的으로 導管의 ψ_{π} 은 '0'에 가까우므로 導管의 ψ_p 이 葉内 水分 potential과 거의 같다고 볼 수 있으므로 (Boyer,1967;Roo,1969)^{4,31)} pressure chamber에 의한 測定値의 負數가 곧 葉内 水分 potential에 해당된다고 할 수 있다. (町田・間苧谷, 1974)²³⁾

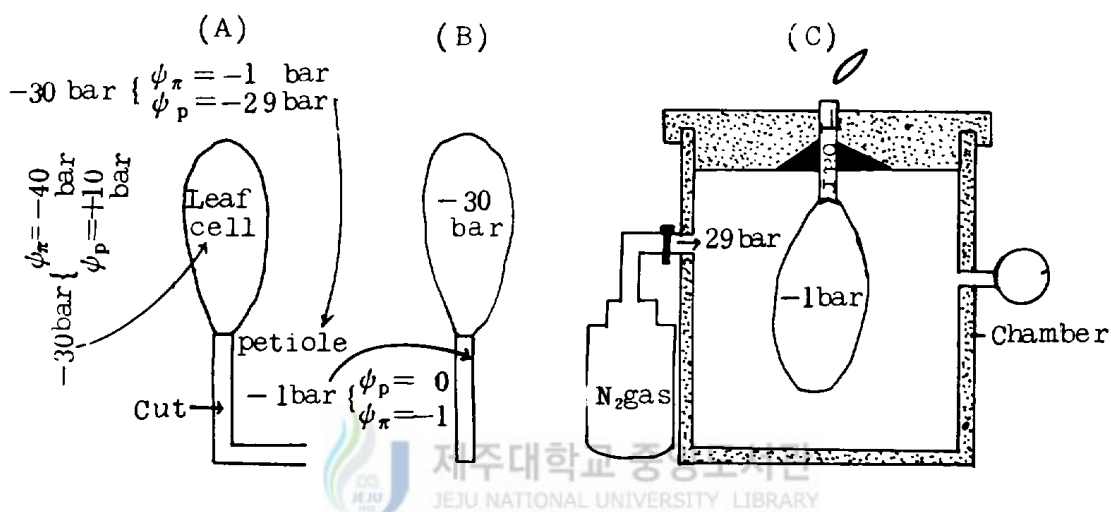


Fig.2. Schematic diagram for estimating leaf water potential with a pressure chamber.²²⁾

다. 測定方法

잎을 採取한 즉시 現場에서 되도록 빠른 時間内に 葉柄을 adaptor에 끼워 chamber에 넣고 N_2 gas를 注入하여 壓力을 加하였다.

加壓速度는 $5\text{psi}/\text{sec}$ ($= 0.34\text{bar}/\text{sec}$)로 하였고 (町田・間苧谷, 1974)²³⁾ 切斷面을 放大鏡으로 보면서 加壓中 導管의 물이 切斷面に 이르는 瞬間 加壓을 정지하여 gauge上的 壓力을 읽었다.

2. 葉内 水分 potential 의 日變化

1982年 8月下旬과 9月初旬의 맑은 날과 흐린날에 새벽 해뜨기 前 (05:00)에서 부터 해가 지기까지 (19:00) 2時間 間隔으로 調査하였다.

直径 0.9 m (容積 0.64 m³)의 plastic pot에 栽植된 8年生의 官川 早生 (탕자대) 2 樹를 供試하였는데 測定 前日에 充分히 灌水하여 測定日의 土壤 gypsum block resistance가 120~160 Ω이 되도록 하였다.

地表面로 부터 1.5 m 程度의 높이 四方에서 樹冠外部와 樹冠内部로 区分하여 今年 春枝中 各 10 本の 未結果枝를 抽出하여 2~3 번개의 잎을 測定하였다. 測定順序는 樹冠内部와 外部의 잎 1 枚씩을 交互로 하였다.

樹冠外部의 잎에 對한 測定値는 다시 樹冠上의 方位 즉 東·西 두方位로 区分하여 日變化를 比較하였다.

葉内 水分 potential 의 日變化를 測定함과 同時에 大氣中の 相對湿度와 氣溫을 自己記錄計로 測定하였으며 $\psi_{air}(\text{bars}) = -10.6 T \log_{10} (100 / RH)$ (T는 絶對溫度, RH는 相對湿度; Salisbury·Ross, 1978)³⁰에 依하여 大氣中の 水分 potential의 變化를 算出하여, 樹冠外部의 葉内 水分 potential의 日變化와 이들 變量 사이의 相關係數를 求하였다.

3. 잎의 生態別 水分 potential

圃場에 栽植된 南柑 4 号 (탕자대) 10 年生을 供試하여, 8月下旬~ 9 月

下旬동안 맑은날의 條件에서 하루중 最高 葉内 水分 potential(ψ_{max})을 나타내는 日出前과 最低 葉内 水分 potential(ψ_{min})을 나타내는 한낮에 葉齡別, 가지上的 着果 有無別, 가지의 着生 方向別, 잎의 着生 方向別로 測定하였고 또한 이 시각에 葉内 水分含量과 葉内 水分 potential과의 關係를 調査하였다.

葉齡別 水分 potential은 16個月된 昨年 봄잎, 14個月된 昨年 여름잎, 4個月된 当年 봄잎 그리고 2個月된 当年 여름잎으로 区分하여 各 5枚씩 採取하여 測定하였다.

가지上的 着果 有無別 葉内 水分 potential은 当年 春枝를 結果枝와 未結果枝로 区分하여 各 10枚를 採取 測定하였다.

以上の 葉齡別, 着果 有無別 調査에서는 上向枝의 上向葉을 對象으로 하였으며 調査時刻의 差에 따른 誤差를 줄이기 爲하여 다른 모든 測定과 마찬가지로 比較對象이 되는 잎을 交互로 測定하였다.

当年 春枝를 上向枝, 水平枝, 下向枝로 区分하여 해당 가지에 着生하고 있는 上向葉을 各 5枚씩 供試하여 가지의 着生 角度에 따라 葉内 水分 potential을 測定하였다.

葉着生 方向別 葉内 水分 potential은 上向인 当年 春枝上的 잎을 上向葉, 水平葉, 下向葉으로 区分 各 5枚씩 採取 測定하였다.

葉内 水分含量과 水分 potential과의 關係를 調査하기 爲하여 当年 春枝의 上向枝中 上向葉을 採取해서 生体重과 水分 potential을 測定한 後 95℃의 乾燥器에서 完全 乾燥시킨 다음 乾物重을 秤量하여 葉内 水分含

량을 計算하였다.

樹冠外部의 当年 봄잎을 對象으로 日出前인 午前 5時부터 저녁 7시까
지 2時間 間隔으로 每時刻마다 10枚의 잎에 對하여 水分 potential을
測定하고 綠葉面積計(東京, 木屋製作所)로 葉面積을 計測하여 葉內 水分
potential과 葉面積間의 相關係數를 求하였다.

4. 土壤乾燥에 따른 葉內 水分 potential의 變化

葉內 水分 potential의 日變化 測定에 供試했던 것과 같은 直徑
0.9 m의 plastic pot에 火山灰土를 넣어 심은 8年生 官川早生 2樹를
供試하여 9月初 灌水를 充分히 한 다음 時日이 經過됨에 따른 土壤水分
含量的 變化와 葉內 水分 potential의 變化를 日出前(05:00)과 한낮
(13:00)에 觀察하였다.

土壤水分은 農業用 綜合計測器(Model 73-103, 進榮理化工業社)를 利用하
여 地表下 20cm깊이에서 gypsum block의 電氣抵抗(Ω)으로 計測하였다.

葉內 水分 potential測定은 樹冠外部의 日變化 測定實驗과 같은 方法으
로 抽出된 標本에 對하여 實施하였다.

V. 結果 및 考察

1. 葉內 水分 potential 의 日變化

葉內 水分 potential 의 日變化를 測定한 結果는 그림 3 에 나 타낸 바와 같다.

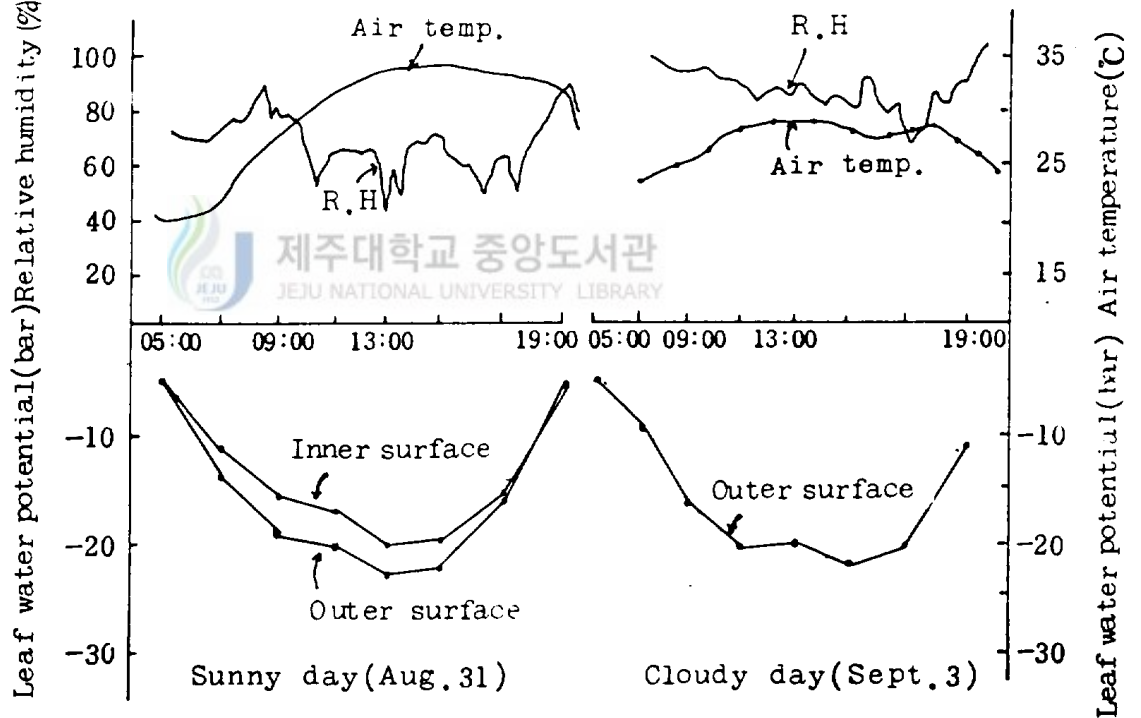


Fig.3. The diurnal fluctuations of leaf water potential under sunny and cloudy condition in Satsuma mandarin tree.

맑은날 樹冠外部의 葉內 水分 potential 을 보면 해뜨기 前 5時 에는 - 6.5 bar 였는데 日出後 急激히 낮아져 7時에 - 12.1 bar , 9時에는 - 18.0 bar 였으나 그 後 減少速度가 鈍化되면서 오후 1時 에 - 22.6 bar 로 最低值를 보인 後 다시 높아지기 始作하였는데 오

후 3時 以後에는 急激히 上昇하여 日沒 後에는 해뜨기 前의 水準으로 회복되었다.

樹冠内部의 葉内水分 potential의 日變化는 樹冠外部 앞과 비슷한 樣狀을 보였지만 낮동안(09:00 ~ 15:00), 樹冠内部앞의 葉内 水分 potential이 樹冠外部 앞의 그것보다 2 bar 가량 높았다.

한편 흐린날의 葉内水分 potential의 日變化도 맑은날의 그것과 비슷하지만 減少 및 回復이 늦었다.

Haseba·Takechi(1966)¹²⁾가 調查한 柑橘葉 蒸散의 日變化와 比較할 때 蒸散이 많은 낮 동안에 葉内水分 potential이 낮고 蒸散이 적은 밤동안에 높아진 다는 점과 낮동안 樹冠内部 앞의 水分 potential이 樹冠内部의 그것보다 높은것은 尾張温州를 供試하여 葉内水分 potential의 日變化를 測定한 町田·間苧谷(1974)²³⁾의 結果 및 여러 木本 植物에 對해서 研究한 Klepper·Barrs(1968)¹⁸⁾의 結果와 大略 一致했지만 時刻別 增減에는 多少 差異가 있었다.

Table 1. Correlation coefficients between leaf water potential(bars) and some variables of air in diurnal fluctuation.

Variable	Sunny day	Cloudy day
Air temp. (°C)	- 0.843**	- 0.814*
Relative humidity(%)	+ 0.529 ns	+ 0.794*
Air water potential(bars)	- 0.453 ns	+ 0.774*

* Significant at 5% level.

** Significant at 1% level.

表 1 은 葉內水分 potential의 日變化가 大氣中の 氣溫, 湿度 또는 水分 potential의 變化사이의 相關係數를 求한 結果이다.

맑은 날은 葉內水分 potential과 氣溫 사이에 高度의 相關關係가 認定되었고 나머지 相對湿度나 大氣中の 水分 potential과의 關係는 有意성이 認定되지 않은 反面 흐린날에는 氣溫, 相對湿度 및 大氣의 水分 potential 모두가 葉內水分 potential과 有意한 相關이 認定되었다.

완두 (Davies, 1977)⁷⁾ 와 Rabbiteye Blueberry (Davies·Johnson 1982)⁸⁾에서 葉內水分 potential의 季節的 變異는 相對湿度와 密接한 關係가 있다고 報告된 바 있다.

葉內水分 potential은 뿌리로 부터의 水分供給과 잎에서의 蒸散作用에 依해서 決定된다고 생각할 수 있다. 뿌리에서 부터의 水分供給力이 하루中 큰 變化가 없다면 주로 蒸散量에 依해서 葉內 水分 potential이 決定될 것이다. 그런데 蒸散量은 잎의 蒸氣壓과 大氣中の 蒸氣壓과의 差 (Δe) 뿐만 아니라 잎의 擴散抵抗 (RL)의 影響을 받아 蒸散量 $T = \Delta e / RL$ 의 關係가 成立된다 (Ting, 1982)⁹⁾

따라서 氣溫이나 相對湿度는 大氣中の 水分 potential (蒸氣壓)에 影響을 끼쳐 結局 蒸散과 葉內水分 potential에 關與한다고 할 수 있다. 그런데 氣溫의 日變化는 맑은날이나 흐린날에 關係없이 葉內水分 potential의 日變化와 相關이 認定되는 反面 보다 直接的으로 蒸散에 影響을 미치는 大氣의 水分 potential의 變化는 흐린날에만 葉內水分 potential의 日變化와 有意한 相關이 認定된 本 試驗結果

(表 1)는 特히 直射光線을 받는 잎의 水分 potential은 葉溫의 變化 즉 葉內 蒸氣壓의 變化와 잎의 擴散抵抗에 依해 크게 影響을 받고 있기 때문이라고 推論된다.

그림 4는 같은 나무의 樹冠表面에서 東西 두 方向의 側面에 着生한 잎의 水分 potential의 日變化를 比較한 것인데 午前中의 下降과 午後의 回復이 東側에 位置한 잎이 西側葉보다 빨랐다. 이는 午前中에는 輻射 에너지를 많이 받는 東側葉에서 西側葉보다 蒸散이 活潑하여 水分損失이 많고 午後에는 反對 現象이 일어나고 있음을 나타내 주는 結果라고 볼 수 있다.

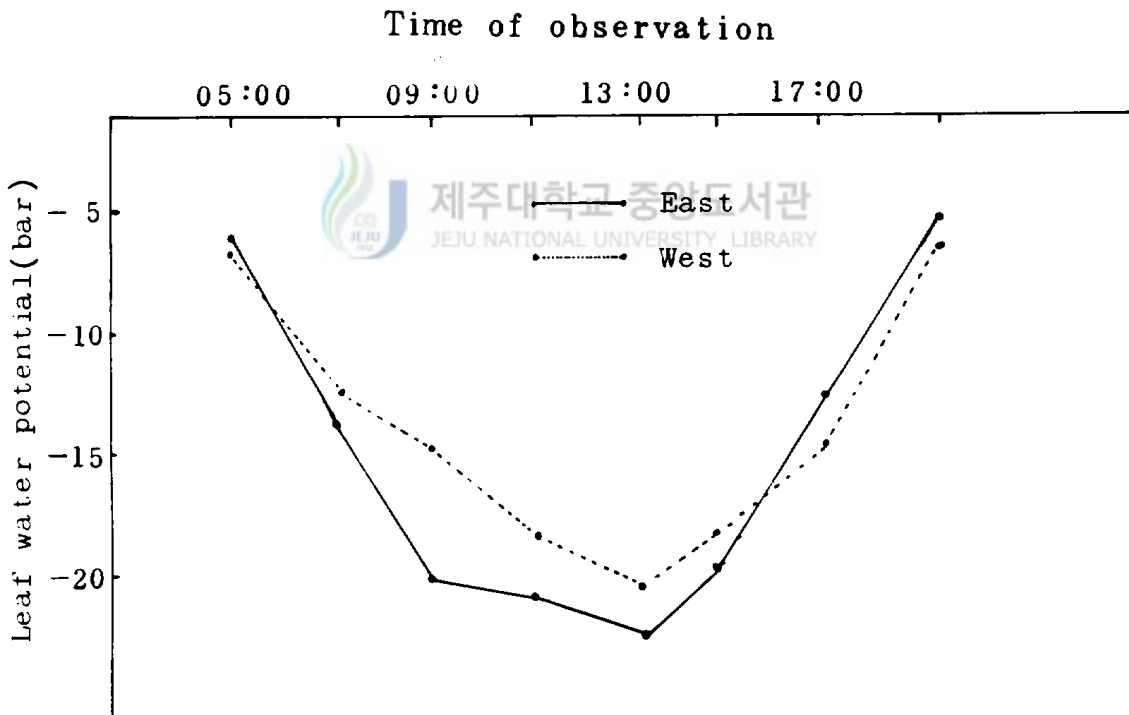


Fig. 4. The diurnal fluctuations of leaf water potential in two different direction on the surface of Satsuma mandarin tree canopy.

以上 樹冠内部와 外部에서의 葉内水分 potential 日變化의 差異, 맑은날과 흐린날에 있어서의 大氣中 水分 potential과 葉内水分 potential의 日變化의 關係, 樹冠 方向에 따른 葉内水分 potential의 日變化 등은 앞에 쪼이는 直射光線이 葉内水分 potential 變化의 한 因子가 되고 있음을 보여주고 있다고 생각된다.

2. 잎의 生態別 水分 potential

日出前 (05:00) 과 한낮 (13:00) 의 葉内水分 potential 을 잎의 나이에 따라 測定한 結果는 表 2 에서 보는바와 같다.

Table 2. Water potential (bars) of leaves of different age in Satsuma mandarin tree.

Item (Age, Month)	Time of observation	
	05:00	13:00
The previous year		
Spring cycle leaf(16)	$-4.7 \pm 0.55^z)$	$-14.7 \pm 2.01^{ay)}$
Summer cycle leaf(14)	-4.6 ± 0.93	-16.1 ± 2.43^b
The current year		
Spring cycle leaf(4)	-4.4 ± 0.42	-17.7 ± 0.67^c
Summer cycle leaf(2)	-4.6 ± 0.20	-16.0 ± 1.21^b

z) $\bar{x} \pm s$

y) Mean separation by DMR, 5% level.

하루중 最高值 (ψ_{max})를 나타내는日出前에는 葉齡間에 差異가 없었으나 最低值 (ψ_{min})를 나타내는 한낮에는 今年度 봄잎의 葉內水分 potential이 가장 낮고 다음으로 今年度와 昨年度의 여름잎이 거의 같았으며 昨年度 봄잎이 가장 높았다. 이러한 差異는 町田・間苧谷(1974)²³⁾가 尾張温州의 成木에서 觀察한 結果와도 비슷하다.

表 3은 結果枝와 未結果枝의 葉內水分 potential을 調査한 結果이다.

Table 3. Effect of fruit bearing on leaf water potential (bars) in Satsuma mandarin tree.

Item	Time of observation	
	05:00	13:00
Bearing shoot	- 6.2 ± 0.84 ^{z)}	- 20.1 ± 1.16
Nonbearing shoot	- 7.1 ± 1.09	- 22.5 ± 1.34

N.S within columns

z) $\bar{x} \pm s$

表에서 보는 바와 같이 統計的 有意差는 認定되지 않았지만 結果枝의 葉內水分 potential이 未結果枝보다 높았으며 그 差異는 日出前인 午前 5時에서 보다 蒸散이 많은 낮에 더욱 컸다. 水分供給 不足 條件下에서 果實의 물이 잎으로 移動된다는 點은 오렌지 (Hodgson, 1917)¹³⁾ 및 레몬 (Bartholomew, 1923)³⁾ 등에서 實證된지 오래다. Maotani *et al* (1976)²⁴⁾은 温州蜜柑을 供試하여 가지를 切斷했을 경우 着果枝가 未着果枝 보다 높은 葉內水分 potential을 維持 하지만

自然狀態에서는 着果 有無가 그 가지의 水分 potential에 影響이 없음을 觀察하였다. 나무가 어느程度의 water stress를 받을 때 果實의 물이 앞으로 移動되는가 하는 問題는 今後 季節別로 追跡할 必要가 있다고 생각되었다.

가지 또는 잎의 着生 方向에 따른 葉内 水分 potential의 差異 (表 4 및 5)는 統計的 有意差가 認定되지 않았지만 下向인 것이 높고 上向인 것이 낮은 傾向이었다. 이러한 差異는 日出前인 午前

Table 4. Leaf water potential (bars) of current spring cycle shoot of different orientation in Satsuma mandarin tree.

Direction	Time of observation	
	05:00	13:00
Upward	$-7.3 \pm 1.13^z)$	-23.9 ± 1.48
Horizontal	-7.3 ± 1.48	-22.0 ± 1.49
Downward	-7.0 ± 0.56	-21.6 ± 0.71

N,S within columns

z) $\bar{x} \pm s$

Table 5. Water potential (bars) of leaves of different orientation on the upward current spring cycle shoot in Satsuma mandarin tree.

Direction	Time of observation	
	05:00	13:00
Upward	$-7.3 \pm 0.28^z)$	-22.4 ± 1.75
Horizontal	-6.7 ± 0.77	-22.1 ± 0.42
Downward	-6.4 ± 0.84	-20.7 ± 1.37

N,S within columns

z) $\bar{x} \pm s$

5時보다 蒸散이 많은 한낮에 컸는데 그 原因에 對해서는 이러한 잎들의 蒸散力의 差와 關聯해서 今後 檢討되어야 할 것으로 본다.

日出前 (05:00)과 한낮 (13:00)의 葉内水分 potential과 當時의 葉内水分 含量을 調査한 結果는 表 6과 같다.

Table 6. Leaf water content and potential at different time of measurement in Satsuma mandarin tree.

Item	Time of measurement	
	05:00	13:00
Water content of leaves (%)	62.6 ± 1.45 ^{z)}	58.9 ± 1.01
Leaf water potential(bar)	- 5.1 ± 0.53	- 22.1 ± 1.03

z) $\bar{x} \pm s$



葉内水分 potential은 日出前과 한낮의 測定值 사이에 17 bars의 差異를 보였는데 水分含量은 3.7%의 差가 있을 뿐이었다.

Jordan·Ritchie (1971)¹⁴⁾는 변화에서 葉内水分 potential의 日變化를 葉内 水分含量의 變化에 對해서 圖表를 作成했더니 閉鎖된 hysteresis loop를 보였다고 하였다. 本 實驗에서는 두 時刻에만 測定하였기 때문에 그러한 loop를 볼 수 없었으며 같은 測定時刻의 標本間 變異에 對한 葉内水分 potential과 含水量간의 相關도 認定되지 않았다.

表 7은 日中 測定時刻別로 葉内水分 potential과 葉面積간의 相關係數를 求한 것이다. 樹冠 外部와 内部에서 各各 2回씩 有意한

Table 7. Correlation coefficients between leaf water potential(bars) and leaf area(cm^2) at different time of measurement in Satsuma mandarin tree.

Time of observation	Outer canopy	Inner canopy
05:00	+ 0.08	+ 0.21
07:00	+ 0.03	- 0.25
09:00	- 0.54	- 0.70 *
11:00	- 0.91 **	- 0.20
13:00	- 0.10	- 0.34
15:00	- 0.15	- 0.15
17:00	- 0.75 *	+ 0.01
19:00	- 0.05	+ 0.78 **

* Significant at 5 % level.

** Significant at 1 % level.

負의 相關이 認定된 것은 흥미로운 結果이다. 이를 葉内水分 potential의 日變化와 比較하면 水分 potential이 最低値를 보이기 直前과 完全 回復 直前に 葉面積과 葉内水分 potential 사이에 關係가 있다고 할 수 있다.

3. 土壤乾燥에 따른 葉内 水分 potential의 變化

充分히 灌水한 pot에서 時日이 經過함에 따라 土壤水分의 Gypsum block 電氣抵抗(Ω) 增加와 그 pot에 심어있는 宮川早生 温州의 葉内水分 potential 變化를 調査한 結果는 그림 5에 나타냈

다. 電氣抵抗이 10,000 Ω이 될때까지는 日出前의 最高 葉内水分 potential (ψ_{max})이나 한낮의 最低 葉内水分 potential (ψ_{min}) 모두 별 變化가 없었지만 그 以後는 ψ_{max} 와 ψ_{min} 모두가 크게 減少하였다.

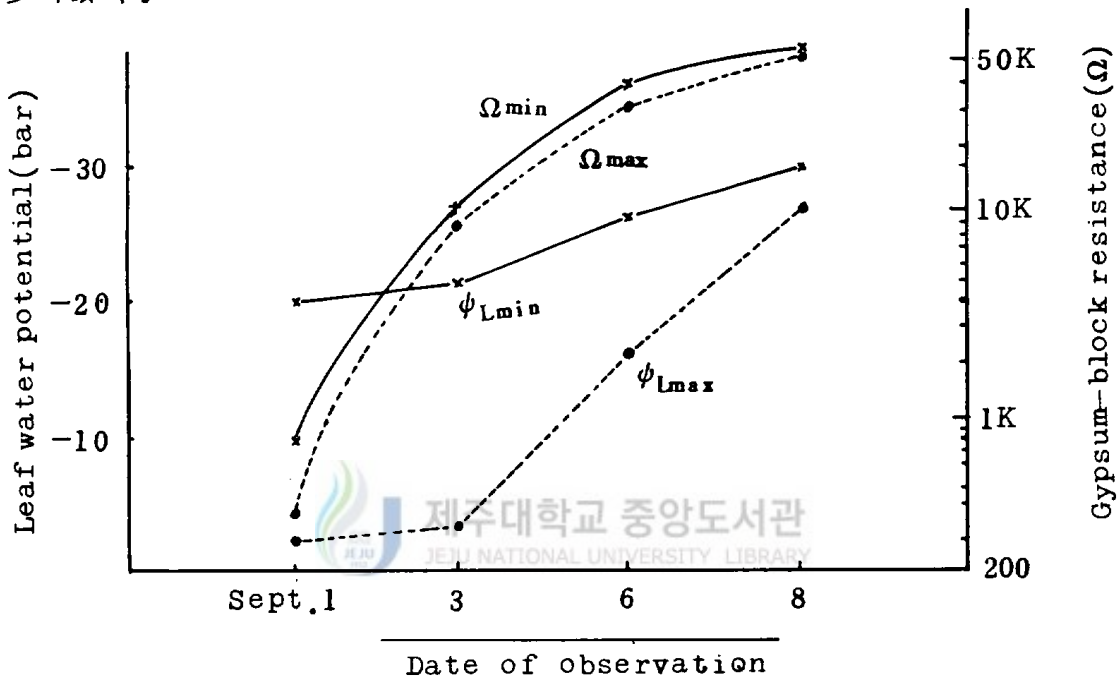


Fig. 5. Changes in leaf water potential in relation to soil moisture condition.

특히 ψ_{max} 의 減少가 顯著하였는데 이는 이 時期의 土壤 水分으로는 蒸散이 없는 밤에도 나무는 水分 不足에서 充分히 回復되지 못하고 있음을 말해주고 있다.

前項에서 報告된 잎의 位置別 및 여러 生態別 葉内水分 potential의 日變化와 더불어 土壤 乾燥에 따른 變化 패턴을 綜合컨데 蒸散의 影響을 받지 않은 ψ_{max} 가 土壤 水分에 關聯한 樹体内 水分狀態를 가장 잘 나타내 준다고 結論되었다.

V I . S u m m a r y

By use of pressure chamber, the diurnal fluctuations of leaf water potential(ψ_L) was measured in Satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) tree. And the maximum(ψ_{max}) and minimum(ψ_{min}) water potentials of a day were observed on the leaves of different conditions.

The results obtained are summarized as follows:

1. After showing ψ_{max} before sunrise, ψ_L decreased rapidly during several hours after sunrise, and slowly thereafter until 13:00 when ψ_L reached to ψ_{min} , on sunny day.

Increase in ψ_L after ψ_{min} was accelerated since 15:00 until sunset when ψ_L became close to ψ_{max} .

2. The diurnal fluctuation on cloudy was similar to that on sunny day except of its time lag.

3. Changes in ψ_L of the leaves on the inner surface of the canopy was almost same as to that on the outer, but ψ_{min} of the inner was about 2 bars higher.

4. ψ_L of leaves on the west side of the canopy surface changed slower than that of the east.

5. Significant linear correlation was recognized between the changes in ψ_L and air water potential on cloudy day, while not on sunny day.

6. ψ_{\min} was highest in the spring cycle leaves of the previous year and lowest in the current spring cycle leaves. The summer cycle leaves of both the previous and current years showed the intermediate. There was no difference of ψ_{\max} among leaves of different age.
7. The effect of fruit bearing and directions of shoot or leaf on ψ_L was not significant. But ψ_{\min} tended to show more variations than ψ_{\max} .
8. After gypsum block resistance of soil moisture became more than 10,000 Ω , ψ_{\max} began to decrease rapidly. ψ_{\min} also did, but less profoundly.
9. It was concluded that the tree water status in relation to soil moisture condition could be indicated by ψ_{\max} .

謝 辭

本 研究를 遂行할 수 있도록 直接 指導하여 주신 文斗吉 指導教授님께 衷心으로 感謝드리며, 여러가지 助言과 激勵을 주신 白子勲 教授님께 感謝를 드린다. 또한 本 研究가 圓滑히 進行될 수 있도록 하여 주신 濟州試驗場長 金正浩 博士님 그리고 調査에 많은 協助를 주신 濟州試驗場 園芸科 職員들께 感謝드리고,

Pressure chamber 製作에 많은 助言과 수고를 하여 주신 서울 農大 農學科 教授 權容雄 博士님과 金商洙, 張俊澤 學兄께 特히 謝意를 表하는 바 이다.



VII. 参 考 文 献

1. Acevedo, E., T.C. Hsiao, and D.W. Henderson. 1971. Immediate and subsequent growth responses of maize leaves to changes in water status. *Plant Physiol.* 48:631-636.
2. Ackerson, R.C. 1982. Synthesis and movement of abscisic acid in water stressed cotton leaves. *Plant Physiol.* 69:609-613.
3. Bartholomew, E.T. 1923. Internal decline of lemons. II. Growth rate, water content and acidity of lemons at different stage of maturity. *Amer. Jour. Bot.* 10:117-126.
4. Boyer, J.S. 1967. Leaf water potentials measured with a pressure chamber. *Plant Physiol.* 42:133-137.
5. Boyer, J.S. 1968. Relationship of water potential to growth of leaves. *Plant Physiol.* 43:1056-1062.
6. Boyer, J.S. 1970. Leaf enlargement and metabolic rates in corn, soybean, and sunflower at various leaf water potentials. *Plant Physiol.* 46:233-235.
7. Davies, W.J. 1977. Stomatal responses to water stress and light in plants growth in controlled environments and in the field. *Crop Science*. Vol. 17:735-740.
8. Davies, F.S. and C.R. Johnson. 1982. Water stress, growth, and critical water potentials of rabbiteye blueberry (*Vaccinium ashei* Reade). *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 107(1):6-8.

9. Elfving, D. C. and M. R. Kaufmann. 1972. Diurnal and seasonal effects of environment on plant water relations and fruit diameter of *Citrus*. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 97(5):566-570.
10. Frank, A. B., J. F. Power, and W. O. Willis. 1973. Effect of temperature and plant water stress on photosynthesis, diffusion resistance, and leaf water potential in spring wheat. *Agronomy Journal*, Vol. 65:777-780.
11. Goode, J. E and K. H. Higgs. 1973. Water, osmotic and pressure potential relationships in apple leaves. *J. Hort. Sci.* 48:203-215.
12. Haseba, T. and O. Takechi. 1966. Studies on transpiration in relation to the environment (1). Diurnal change in transpiration from citrus leaves. 22(1):1-6.
13. Hodgson, R. W. 1917. Some abnormal water relations in citrus trees of the arid southwest and their possible significance. *Univ. Calif. Pubs. Agr. Sci.* 3:37-54. Cited From Reuther, W. *et al* (ed.) *The Citrus Industry*. Vol. II. P. 109-110. *Univ. Calif.* (1968).
14. Jordan, W. R. and J. T. Ritchie. 1971. Influence of soil water stress on evaporation, root absorption, and internal water status of cotton. *Plant Physiol.* 48:783-788.
15. Kanemasu, E. T., G. W. Thurtell and C. B. Tanner. 1969. Design, calibration and field use of a stomatal diffusion porometer. *Plant Physiol.* 44:881-885.
16. Kaufmann, M. R. 1968. Evaluation of the pressure chamber method for measurement of water stress in *Citrus*. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 93:186-190.

17. Kaufmann, M.R. and Y. Levy. 1976. Stomatal response of *Citrus Jambhiri* to water stress and humidity. *Plant Physiol.* 38:105-108.
18. Klepper, B. and H.D. Barrs. 1968. Effects of salt secretion on psychrometric determinations of water potential of cotton leaves. *Plant Physiol.* 43:1138-1140.
19. Klepper, B. and H.D. Barrs. 1968. Diurnal pattern of water potential in woody plants. *Plant Physiol.* 43:1931-1934.
20. 權琦遠. 1982. 土壤水分 Stress에 따른 雜種 Poplar의 水分生理 및 生育反應. 서울대학교 林學科, 農學博士學位論文.
21. 權容雄. 1979. 土壤 및 植物의 水分 포텐셜과 HR-33 T 露点 微電圧計에 의한 그의 測定. 서울대 農學研究. 4(2):233-247
22. Lang, A.R.G. 1969. Psychrometric measurement of soil water potential in site under cotton Plant. *Soil Sci.* 106:460-464.
23. 町田裕, 間苧谷徹. 1974. 果樹의 葉内水分 不足に 關する 研究(第1報). Pressure chamberによる 温州ミカン 葉의 Water potential의 測定法에 について. 園學雜 43(1):7-14.
24. Maotani, T., K. Yamatsu and Y. Machida. 1976. Studies on leaf moisture stress in fruit trees. IV. The role of Satsuma fruits as water reservoirs for the leaves. *Bull. Fruit Tree Res. Stat. E(Akitsu)* 1:51-57. Cited from Hort. Abs. 47, (4) No. 4010.

25. 間苧谷徹, 町田裕, 1976. 果樹の葉内水分不足に関する研究(第5報).
ウンシュウミカンの葉の水ポテンシャル及び葉内水蒸気拡散抵抗の 時期
別推移について. 園學雜 45(3):261-266.
26. 間苧谷徹, 町田裕, 1976. 果樹の葉内水分不足に関する研究(第6報).
葉の水ポテンシャルが 温州ミカン樹の生育に 及ぼす 影響. 園學雜
45(4):329-334.
27. 間苧谷徹, 町田裕, 1977. 果樹の葉内水蒸気拡散抵抗に関する研究(第
1報). ウンシュウミカンの葉内水蒸気拡散抵抗の 測定法ならびに 測
定に影響する原因. 園學雜 46(1):1-8.
28. 間苧谷徹, 町田裕, 1977. 果樹の葉内水分不足に関する研究(第7報).
夏季の葉の水ポテンシャルが 温州ミカンの 収穫時の 果実形態に及ぼ
す 影響に ついて. 園學雜 46(2):145-152.
29. 間苧谷徹, 町田裕, 1980. 夏季に おけるウンシュウミカン樹の水管理
の指標としての葉の水ポテンシャル. 園學雜 46(1):41-48.
30. Nelsen, C.E., G.R. Safir and A.D. Hanson, 1978. Compar-
ison of a commercial dew point hygrometer and a thermo-
couple psychrometer on soybean, wheat, and barley. Plant
Physiol. 61:131-133.
31. Roo, H.C. 1969. Leaf water potentials of sorghum and corn,
estimated with the pressure bomb. Agron. J. 61:969-970.

32. Rudich, J., E.R. Poblete, M.A. Stevens and A.L. Ambri. 1981. Use of leaf water potential to determine water stress in field-grown tomato plants. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 106(6):732-736.
33. 坂本辰馬, 奥地進. 1968. 温州ミカン 果実の 可溶性固形物, 酸に及ぼす 降水量の影響. *園學雜* 37(3):212-220.
34. Salisbury, F.B. and C.W. Ross. 1978. *Plant physiology*(2nd ed.)P. 25. Wadsworth(Belmont, Calif.)
35. Scholander, P.F., E.D. Bradstreet, H.T. Hammel and E.A. Hemmingsen. 1966. Sap concentrations in halophytes and some other plants. *Plant Physiol.* 41:529-532.
36. 鈴木鉄男, 金子衛, 田中実. 1967. カンキツ幼樹の生育と結実におよぼす 時期別土壤乾燥処理の影響. *園學雜* 36(4):389-398.
37. 鈴木鉄男, 金子衛, 鳥潟博高, 八田洋章. 1968. 温州ミカンの水分均衡に関する研究(第1報)葉の飽和水分不足度よりた Water balance の變化. *園學雜* 37(1):37-44.
38. 鈴木鉄男, 金子衛, 田中実. 1969. カンキツ幼樹の生育と結実に 及ぼす 時期別土壤水分含量の影響. *園學雜* 38(4):287-294.
39. 玉井虎太郎, 上堂季一郎. 1960. 環境制御装置による畑作の水分代謝の研究(第1報)水稻および 柑橘の 低温処理と水分代謝. *日本作物學會誌* 29:240-244.

40. Thomas, J.C., K.W. Brown and W.R. Jordan. 1976. Stomatal response to leaf water potential as affected by preconditioning water stress in the field. *Agron. J.* 68:706-708.
41. Ting, I.P. 1982. *Plant physiology*. Addison-Wesley (Calif.)
42. 富田栄一. 1972. かん水が温州ミカン成木の果実の収量, 品質および葉内成分に及ぼす影響. *園學雜* 41(4):353-360.
43. Wallihan, E.F. 1964. Modification and use of an electric hygrometer for estimating relative stomatal apertures. *Plant Physiol.* 39:86-90.
44. Waring, R.H., B.D. Cleary. 1967. Plant moisture stress: evaluation by pressure bomb. *Science* 155:1248-1254.
45. Wiebe, H.H. 1966. Matric potential of several plant tissue and biocolloids. *Plant Physiol.* 41:1439-1442
46. Yuda, E. and S. Okamoto. 1967. The determination of the D.P.D. of Satsuma orange leaves (*Citrus unshiu* Marc.) by the Chardakov dye method. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 36(4):385-388.