

碩士學位論文

土壤水分 條件이 施設 柑橘의 品質 및
水分 스트레스에 미치는 影響

Effects of Soil Moisture on the Fruit Quality and the Water Stress
of Satsuma Mandarin(C.unshiu) Grown in Polyethylene Film House

濟州大學校 大學院

農 化 學 科



林 曠 徹

1991年 12月

土壤水分 條件이 施設 柑橘의 品質 및 水分 스트레스에 미치는 影響

Effects of Soil Moisture on the Fruit Quality and the Water Stress
of Satsuma Mandarin(C.unshiu) Grown in Polyethylene Film House

指導教授 康 順 善

林 曠 徹

이 論文을 農學 碩士學位 論文으로 提出함

1991年 12月 日



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

임한철의 農學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長

柳 長 杰 (柳長杰印)

委 員

강 승 선 (강승선인)

委 員

한 해 은 (한해은인)

濟州大學校 大學院

1991年 12月 日

Effects of Soil Moisture on the Fruit Quality and the Water Stress
of Satsuma Mandarin(C.unshiu) Grown in Polyethylene Film House

Han-Cheol Lim

(Supervised by profesor Soon-Seon Kang)

 제주대학교 중앙도서관
A Thesis Submitted in Partial Fullfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Agriculture

Department of Agricultural Chemistry
Graduate School
Cheju National University

1991. 12.

目 次

試驗 I. 土壤水分 포텐살이 施設 柑橘의 糖度, 酸度, 糖酸比 및 橫徑에 미치는 影響

Summary	1
I. 緒 論	3
II. 材料 및 方法	6
1. 供試土壤	6
2. Gypsum block의 제작	6
3. 토양수분, 과실의 橫徑, 糖度, 酸度 및 糖酸比 측정	7
III. 結果 및 考察	8
1. 供試土壤의 物理的 性質과 水分 特性	8
2. 土深別 土壤水分 포텐살의 經時的 變化	11
3. 生育期間中 糖度, 酸度 및 糖酸比의 變化	16
4. 生育期間中 土壤水分과 果實의 糖度, 橫徑 및 糖酸比와의 關係	20
5. 果實 肥大와 增糖量과의 關係	25
IV. 摘 要	31
V. 參 考 文 獻	33

試驗 II. 土壤水分 포텐살이 잎수분 포텐살, 확산저항 및 증산율에 미치는
影響

Summary	37
I. 緒論	38
II. 材料 및 方法	41
1. 토양수분 조절 및 측정	41
2. 잎수분 포텐살, 확산저항 및 증산율의 측정	41
III. 結果 및 考察	42
1. 土壤水分 포텐살과 잎수분 포텐살과의 관계	42
2. 土壤水分 條件에 따른 잎수분 포텐살, 확산저항 및 증산율과의 관계	46
3. 잎수분 포텐살과 잎수분 함량과의 관계	46
4. 土壤水分 포텐살, 잎수분 포텐살 및 증산율과의 관계	50
IV. 摘要	57
V. 參考文獻	58

試驗 I. 土壤水分 포텐셜이 施設 柑橘의 糖度, 酸度, 糖酸比 및 横徑에
미치는 影響

Section I. Effect of soil matric potential on the soluble solids
content, acid content, Brix/acid ratio in the fruit juice,
and fruit width

S U M M A R Y

This study was conducted to determine the effects of soil moisture on the soluble solids content ($^{\circ}\text{Bx}$), acid content, Brix/acid ratio, and fruit width in Early Satsuma mandarin (Miyagawa) during the period of fruit enlargement and maturation in plastic house. Trees of Miyagawa were examined at the six different locations of non-volcanic ash soil (soil-1, -3, and -5), dark brown volcanic ash soil (soil-4, and -6) and black volcanic ash soil (soil-2). At the different soil depth (5, 10, 15, 20, 30, 50, and 80 cm), soil matric potential were measured by tensiometer at high potential and by gypsum block at low potential.

Gravimetric water contents of volcanic soil were about twice as much as those of non-volcanic ash soil and volumetric water contents of volcanic ash soils were similar to those of non-volcanic ash soils at the same soil suction. Soil matric potential at main root zone (0 ~ 30 cm) of soil-1 and -2 reached around -3.0 bar at 90 days after full bloom, that of soil-3 and -4 at 120 days after full bloom, and that of soil-5 and -6 did not reached until harvest.

At 90 days after full bloom, there were differences among the soil matric potential of soils, however, there were not differences soluble solids content, Brix/acid ratio, and fruit width. From 110 days after full bloom, soluble solids content and Brix/acid in fruit juice were higher in soil-1 and -2 than in soil-3, -4, -5, and -6.

At harvest, soluble solid contents and Brix/acid ratio in fruit juice of soil-1 and -2 were above 12.5 $^{\circ}\text{Bx}$ and 15 ~ 16, and those of soil-3 and -4

around 10 °Bx and 10 ~ 12, and those of soil-5 and -6 about 9 °Bx and 6 ~ 12, respectively. Soluble solids content in fruit juice was negatively correlated the fruit widths; Soluble solids content of fruit widths below 60 mm was above 12.5 °Bx, while that of fruit widths above 75 mm was below 10 °Bx.

Increase in fruit width and increase in soluble solids content in fruit juice during the period from 90 to 180 days after full bloom were negatively correlated. Fruits harvested from soil-1 and -2 were included fruits of delicious juice, but those from soil-3, -4, -5, and -6 were not.



I. 緒 論

柑橘의 시설재배(polyethylene film house)는 日本에서 시작되었으며, 우리나라에서는 제주도 일부 지역에서 1988년도부터 재배되기 시작하여 재배 면적이 급격하게 증가되고 있다. 柑橘은 일반적으로 여름과 가을 사이의 토양수분이 果實의 品質과 肥大에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있으나, 노지 재배에서는 토양조건과 기상조건에 의해 토양수분이 영향을 받기 때문에 토양수분을 조절하기가 곤란하여 실용화는 이루어지지 못하였다. 그러나 시설 재배에서는 인위적으로 토양수분 調節이 가능하기 때문에 최근에는 과실의 糖이 증가되는 시기에 토양수분을 調節하여 수확기 과실의 糖度를 높이고 과실의 크기를 조절하기 위한 研究가 시도되고 있다.

土壤에서 수분은 토양입자와 입자사이 공극에 존재하며, 자유수(Potential = 0)보다 작은 자유도를 갖고 있어 포텐살이 높은쪽에서 낮은쪽으로 토양수분이 이동한다. 토양수분 포텐살측정은 negative bars로 측정되며, 토양의 총 수분포텐살(ψ_w)은 매트릭 potential(ψ_m), 滲透 potential(ψ_s), 壓力 potential (ψ_p), 重力 potential(ψ_g)로 구성되며, 염류토양을 제외한 일반토양에서는 $\psi_w = \psi_m$ 와 거의 같다(Donahue 등, 1983). 따라서 토양수분 포텐살은 매트릭 포텐살 측정으로 가능하다.

柑橘의 노지 재배에서 토양수분은 柑橘의 성장에 큰 영향을 미치며, 토양수분 張力이 0.1 bar 내외로 유지된 경우 잎수, 가지, 幹莖이 좋아지며, 다음해 개화가 좋아진다(鈴木 등, 1967). 柑橘類의 糖度는 6 - 14 °Bx 범위에 있으며, 品種, 뿌리상태, 과실의 숙성도, 결실 위치, 재배 조건등에 따라 다르다. 柑橘類의 嗜好度는 과실의 糖도와 酸도에 의해서 결정되며, 糖度は Brix 굴절계를 이용하여 가용성 고형물 함량(soluble solids content, Brix)을 측정하여 糖度(°Bx)

로 표시하는 방법이 일반적으로 쓰이고 있다 (Chichester, 1959).

柑橘의 시설 재배에서 肥大기간중 토양수분 조건은 과실의 糖도와 밀접한 관계가 있어서 肥大기간중 토양수분이 건조상태를 유지할수록 과실의 糖도는 높으며, 다습한 조건일수록 糖도는 낮아진다. 일반적인 시설 재배에서는 12월 ~ 1월 사이에 가온을 하여 開花를 시키며, 과실의 横徑이 30 mm가 될때까지는 토양수분이 충분한 상태를 유지하고 그 이후부터는 斷水를 行하여 토양수분을 감소시켜 과실의 肥大를 억제하여 糖도를 높이고 있다.

토양수분 張力이 pF 2.0 (0.1 bar) 내외의 조건하에서 광합성 속도가 최대에 이르며, 과실의 肥大, 신초의 발생 등 樹體生長이 왕성해지고 광합성 산물의 이용이 많아진다. 반면, 토양수분 張力이 클수록 광합성 속도는 느려지며, 과실의 肥大量은 감소하여 과즙내에 糖의 농축현상이 일어나 糖도가 높아지게 된다(川野, 1982 a).

斷水期間中 토양수분 張力을 0.4 bar 정도로 유지하였을 경우 수확시 과실의 糖도는 10 °Bx 정도를 나타내며, 0.6 bar 이상으로 유지하였을 경우 과실의 糖도는 11.5 °Bx 이상을 나타내는 것으로 보고 있다. 따라서, 横徑의 肥大量과 과실의 糖농도와는 負의 상관을 갖는 것으로 알려져 있다(廣瀨, 1983).

생육기간중 增糖量은 만개 후 115 ~ 145일경의 토양수분에 의해 영향을 받으며, 이 기간 동안 토양수분 함량이 적을수록 과즙의 增糖量은 많은 것으로 보고되었다(川野, 1982 b).

토양수분 張力이 수주높이 200 cm (0.2 bar) 이하로 유지된 과습상태의 하우스 柑橘재배에서 滿開後 85일 시기부터 수확기까지 糖농도는 증가하지 않는 것으로 알려져 있다(川野, 1982 a). 사질식양토인 하우스 柑橘園에서 충분한 灌水後 토양수분 pF 2.7 (0.5 bar)에 도달하는데 토양 10 cm 에서는 30일, 40 cm 에서는 50일 걸렸으며, 토심 10 ~ 40 cm까지 영구위조점에 가까운 수분상태 까지 도달하

는데는 2개월정도 걸렸다. 또한 적습상태 (pF 2.7 (0.5 bar) 이하)로 계속 유지한 果園에서는 수확기 과실의 糖度는 10 °Bx이하였고, 건조상태를 유지한 果園의 과실糖度は 12 °Bx이상이었다(宮本와 中屋, 1990).

제주도에서 柑橘의 시설재배는 토양의 종류에 구애 받지 않고 화산회토 및 비화산회토 전 지역에서 이루어지고 있다. 토양중에서 수분의 특성은 토양의 假密度, 眞密度, 孔隙率, 空氣充填率, 水分飽和度 등 토양의 물리적 성질에 의하여 지배되는데(Donahue 등, 1983), 柑橘 시설재배가 이루어지고 있는 토양의 물리적 성질은 매우 상이하며, 단수기간 동안 이들 토양에서 토양수분의 변화 양상이 다를 수 있고, 그 결과 토양수분이 과실의 糖도에 미치는 영향도 다를 가능성이 높다.

따라서 본 研究는 柑橘의 시설 재배가 이루어지고 있는 비화산회토, 농암갈색 화산회토 및 흑색 화산회토에서 토양의 물리적 특성 및 수분 특성을 밝힘과 더불어 斷水기간중 土深에 따라 토양수분 변화를 조사하고, 토양수분 조건이 糖度, 酸度, 糖酸比 및 과실의 橫徑 肥大에 미치는 영향을 밝히기 위하여 수행되었다.



II. 材料 및 方法

1. 供試土壤

供試土壤은 현재 柑橘(官川) 시설재배를 하고 있는 農家를 대상으로 하였으며, 토양 물리적 성질이 상이한 非火山灰土 3 개 지역 (토양 1, 3, 과 5), 濃暗褐色 火山灰土 2개 지역 (토양 4와 6), 黑色 火山灰土 (토양 2) 1개 지역에서 調査하였다.

供試土壤의 수분특성 곡선은 풍건시켜 2 mm체를 통과한 試料를 사용하여 pressure plate extractor(Soilmoisture Equip.)에서 구하였다. 供試土壤의 용적 밀도, 입자밀도 및 공극률은 core법과 pycnometer법 (Klute, 1986)으로 구하였다.

2. Gypsum block의 제작

Gypsum block의 제작은 구리와 주석합금인 35 mesh 망을 가로 12 mm, 세로 13 mm로 짜른다음 1.9 mm wire (칼라코드 0.12\20) 에 납땀해서 5 mm의 정사각형 고무판을 망 사이에 접착시켜 전극판을 만들었다. 석고블록 틀은 acryl을 사용하여 지름이 22 mm, 깊이가 36 mm인 흡을 만들었으며, 미리 만들어 놓은 전극판을 틀에 고정시키킨 후 석고와 물을 1:1 비율로 잘 혼합시킨 현탁액을 틀에 부어 완전히 굳은 후 사용하였다.

Gypsum block 측정치는 pressure plate extractor (Soilmoisture Equip.)를 이용하여 토양수분 메트릭 포텐셜로 환산하였다. Gypsum block 측정치와 토양수분 메트릭 포텐셜과의 관계는 그림 1 과같다.

3. 토양수분, 과실의 橫徑, 糖度, 酸度 및 糖酸比 측정

토양수분의 측정은 자체 제작한 석고블록을 土深 5, 10, 15, 20, 30, 50 및 80 cm에 묻고 약 10일 간격으로 높은 토양수분 포텐셜은 tensiometer (Soilmoisture Equip.model 2725)로, 낮은 토양수분 포텐셜은 gypsum block을 soilmoisture meter (Soilmoisture Equip. model 9510 A)로 측정하였다.

생육기간중 과실의 橫徑變化는 토양수분을 측정한 위치에 식재 되어 있는 나무에서 10개의 과실을 선정하여 10일 간격으로 측정하였다. 糖度, 酸度 및 糖酸比는 橫徑을 측정한 나무의 과실에서 크기 및 착색정도가 균일한 과실 5개를 채취하여 껍질을 벗기고 압착하여 과즙을 얻어 그중 일부는 Abbe 굴절계 (Atago.Type1)를 이용하여 가용성 고형물함량 (Soluble solids content)을 구하여 糖度 (Degree Brix, °Bx)로 표시하였고, 酸度는 과즙의 일부를 NaOH로 적정하여 구연산함량을 구하였다. 과실의 糖度, 酸度 및 糖酸比는 만개후 90일부터 측정하였다.

斷水는 과실의 橫徑이 약 30 mm이었을 때 실시하였으며, 토양수분의 변화와 과실의 糖度, 酸度, 糖酸比 및 橫徑은 1990년 4월부터 1991년 9월까지 조사하였다.

III. 結果 및 考察

1. 供試土壤의 물리적 성질과 수분 特性

비화산회토의 容積密度는 화산회토에 비하여 높은 편이었으며, 일반 논토양에 비하여 약간 낮았다. 화산회토의 粒子密度는 비화산회토에 비하여 약간 낮았으며, 孔隙率은 70 % 내외로 비화산회토에 비하여 높았다 (표 1).

Table 1. Physical properties of soils in polyethylene film house

Soils	Bulk density (g/cm ³)	Particle density (g/cm ³)	Porosity (cm ³ /cm ³ x 100)	Gravimetric water content(w/w)		
				0.1 abr (g/g x 100)	0.3 bar (g/g x 100)	15 bar (g/g x 100)
Soil-1	0.99	2.49	60.2	40.2	33.1	11.7
Soil-2	0.72	2.38	69.7	73.9	59.1	27.2
Soil-3	1.04	2.61	60.2	40.4	33.7	15.3
Soil-4	0.66	2.34	71.8	82.8	67.6	26.3
Soil-5	1.05	2.50	58.0	39.9	33.3	12.0
Soil-6	0.75	2.38	68.5	62.7	53.6	24.1

공시토양의 重量 및 容積 수분함량과 토양수분 張力과의 관계는 그림 2 와 같이 각 토양수분 張力에서의 重量 수분함량은 화산회토가 비화산회토에 비하여 약 2배 많았으며, 화산회토에서도 토양간 차이가 약간 있었다. 반면, 각 토양수분 張力에서의 容積 수분함량은 화산회토가 비화산회토에 비하여 약간 많은 편이었으나 큰 차이는 없었다. 토양수분 特性 곡선은 土性과 土壤構造에 의해 강하게 영향을 받는다. 일반적으로 점토함량이 많을수록 特定 張力에서 수분 보유량은

Gypsum block reading value

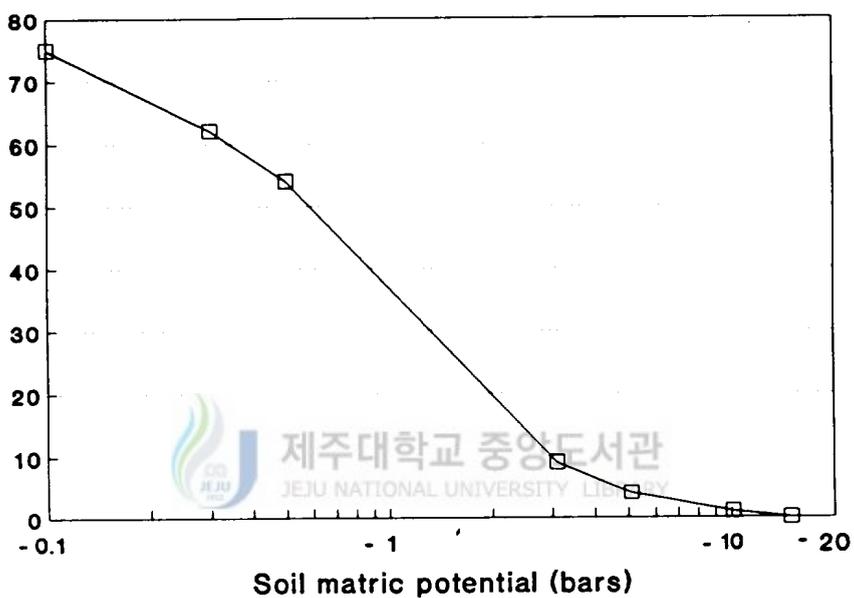


Fig. 1. Relationship between soil matric potential and gypsum block reading value of gypsum block used in this experiment.

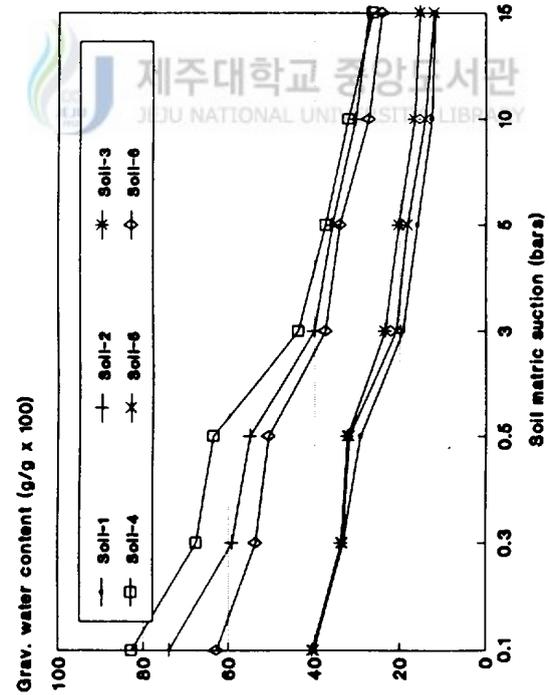
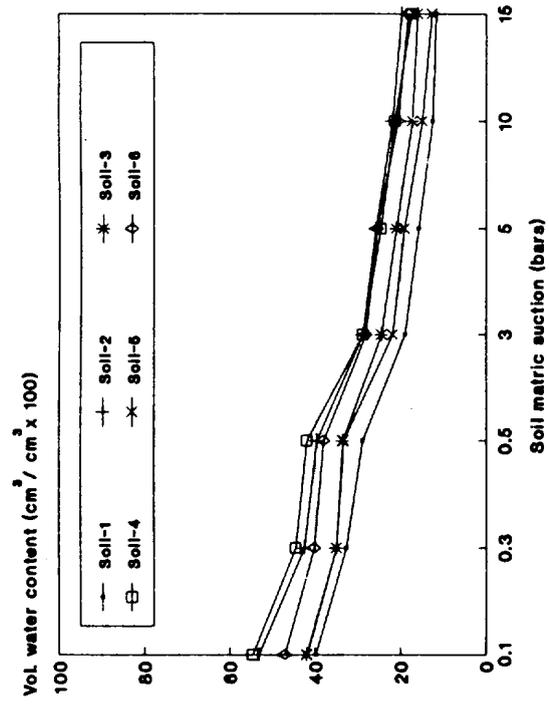


Fig. 2. Soil moisture retention curves of soils.

많아지며, 토양구조가 조밀할수록 수분함량은 적어지는 것으로 알려져 있다 (Donahue 등, 1983). 그러나, 공시토양은 土性이 비슷하였으나 각 張力에서 보유한 重量 수분함량이 차이가 큰 것으로 보아 제주도 화산회토와 비화산회토에서 토양수분 특성 곡선은 土性보다 土壤構造에 의하여 더 크게 영향을 받는 것으로 생각된다.

그림 3 은 孔隙率과 0.1, 0.3 및 15 bar의 토양수분 張力에서 重量수분 함량과의 관계를 나타낸 것이다. 0.1 bar에서 重量수분 함량은 공극률이 60 %이하에서는 약 40 %이었으며, 重量 수분함량은 공극률이 클수록 커져서 공극률이 70% 이상에서는 80% 내외를 나타내었다. 0.3 bar와 15 bar에서의 重量 수분함량과 공극률과의 관계는 0.1 bar의 것과 같은 경향이었다. 이와 같은 결과는 공극률이 클수록 토양구조가 발달하여 미세공극의 양이 많기 때문이라고 생각된다.

2. 土深別 토양수분 포텐셜의 經時的 變化

그림 4, 5 및 6은 만개후 65일부터 180일까지의 공시토양의 깊이별 토양수분 포텐셜의 변화를 나타낸 것이다. 토양 1과 2의 토양수분 포텐셜은 만개후 80일 까지 과습한 상태로 유지되었으나, 시간이 경과함에 따라 건조되어 만개후 180일에는 토심 50 cm까지의 토양수분 포텐셜이 약 -6 ~ -8 bar 내외로 건조한 상태를 유지하였다. 토양 3과 4는 만개후 80일까지는 토양 1과 2와 비슷한 상태가 유지되었으며, 시간이 경과함에 따라 점차 건조되었으나 전 기간을 통하여 토양수분 포텐셜이 토양 1과 2에 비하여 약간 높았다. 토양 5의 토양수분 포텐셜은 만개후 65일부터 140일까지 전 토층에서 포장용수량 영역의 과습한 상태로 유지되었으며, 토양 6은 토양 5에 비하여 약간 건조된 상태가 유지되었다.

토양수분의 변화가 토양에 따라 큰 차이를 보인 것은 토양의 物理的 性質의

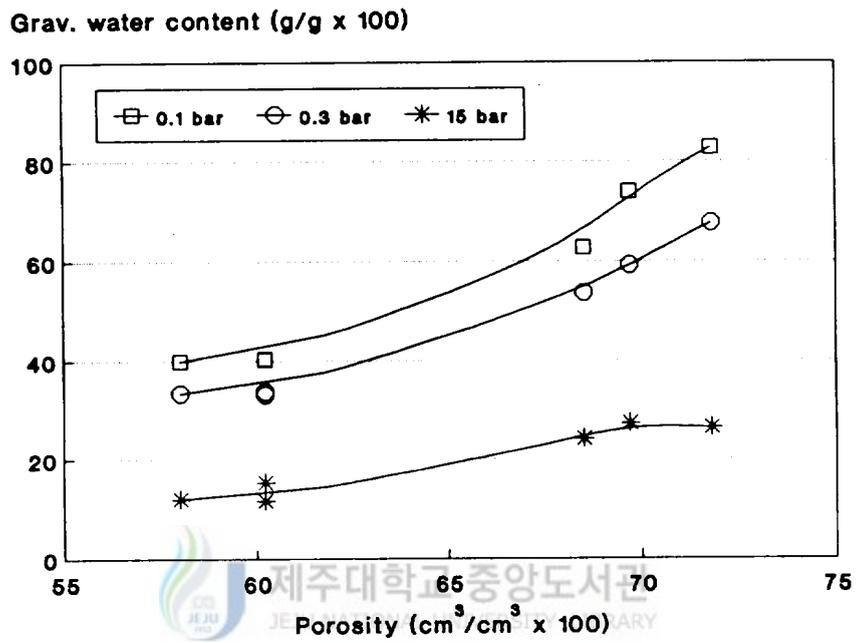


Fig. 3. Relationship between porosity and gravimetric water content of soils.

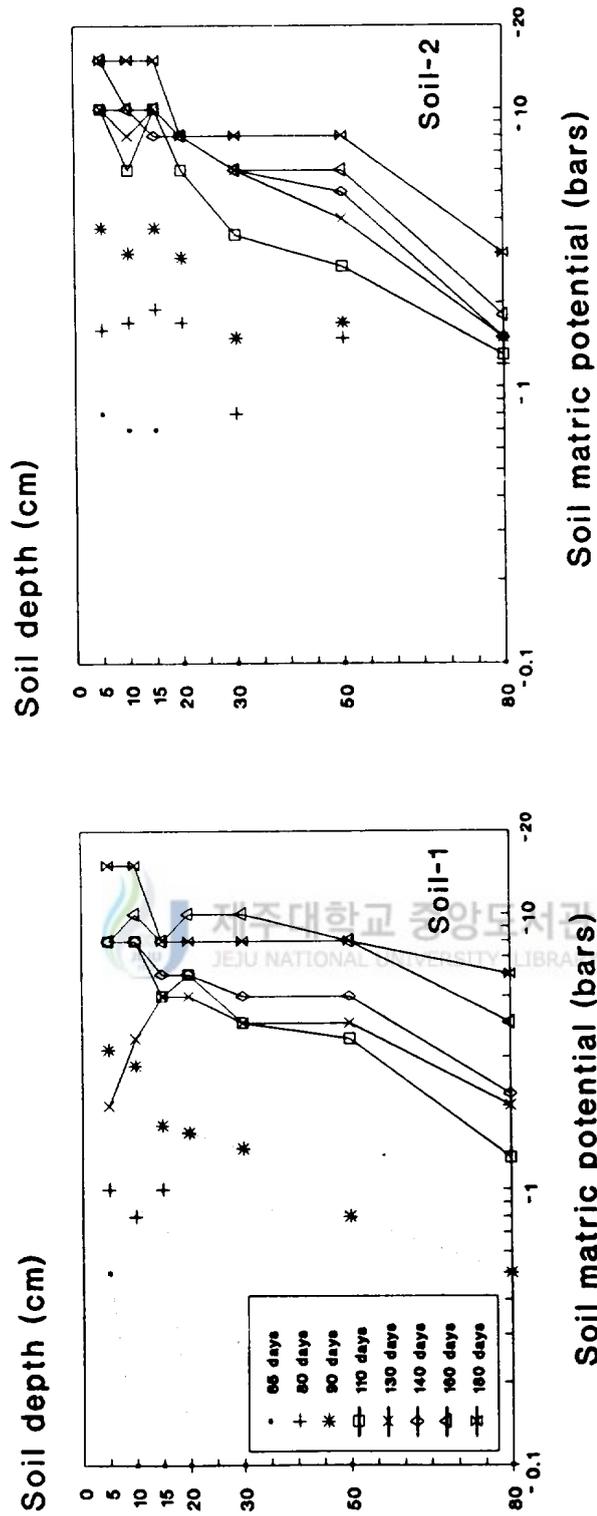


Fig. 4. Changes in soil matric potential of soil-1 and -2 at different soil depth during the period from 65 to 180 days after full bloom.

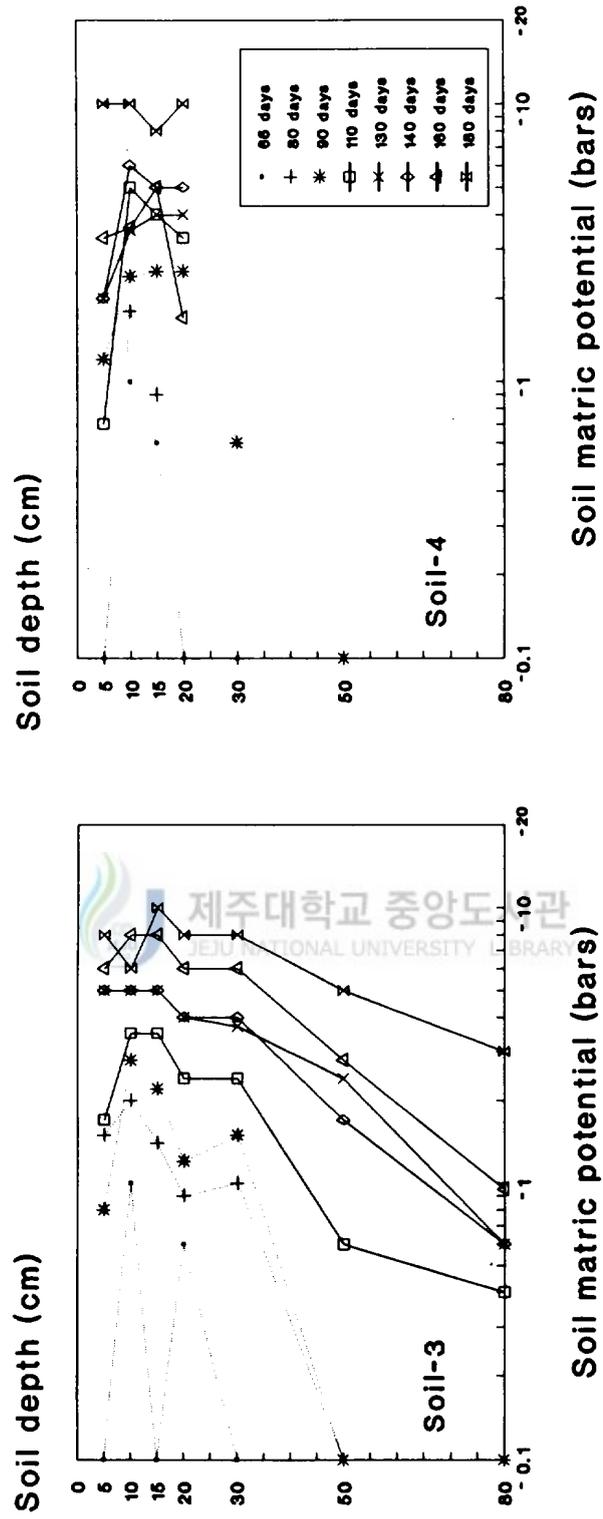


Fig. 5. Changes in soil matric potential of soil-3 and -4 at different soil depth during the period from 65 to 180 days after full bloom.

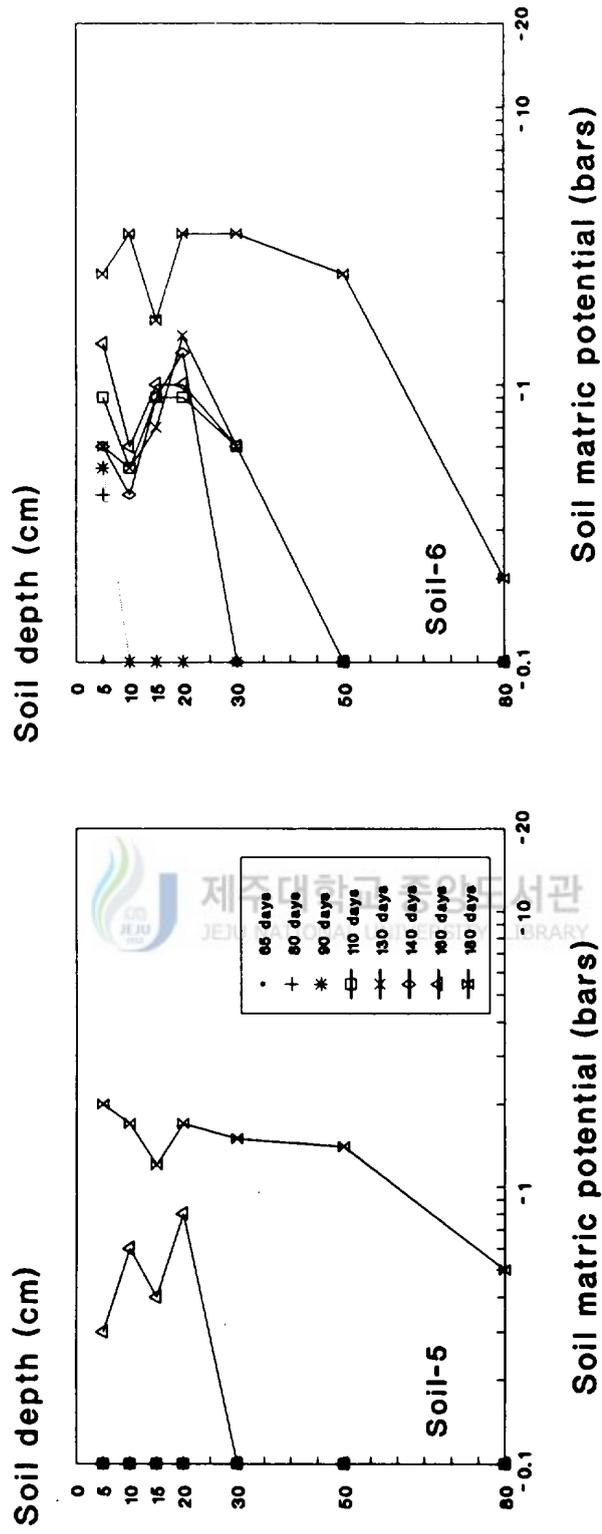


Fig. 6. Changes in soil matric potential of soil-5 and -6 at different soil depth during the period from 65 to 180 days after full bloom.

차이에 의한 것이 아니고, 생육기간 동안의 灌水量의 차이에 의한 것이라고 생각된다.

3. 生育期間中 糖度, 酸度 및 糖酸比의 변화

생육기간중 과실의 糖度 변화는 그림 7과 같다. 만개후 90일 경의 과실의 糖度는 모두 7 ~ 8 °Bx 범위에 있었다. 과실의 糖度は 건조기간이 길어짐에 따라 증가되어 토양 1과 2의 과실의 糖度は 만개후 120일경에 10 °Bx를 나타내었으며, 수확기(만개후 180일경)에 12.5 °Bx 이상을 나타내었다. 토양 3과 4의 과실의 糖度は 만개후 170일경에 10 °Bx이었으며, 수확기에는 11 °Bx 내외를 나타내었다. 또한, 토양 5와 6의 과실의 糖度は 건조기간중 增糖量이 극히 적었으며, 수확기에도 10 °Bx 이하를 나타내었다. 수확기 과실의 糖度は 토양 건조상태를 유지한 기간이 길수록 높았다.

생육기간중 酸度は 그림 8과 같이 만개후 90일경에 3.5 ~ 4.5 × 사이에 있었으며, 수확기에는 각 토양에서 0.95 ~ 1.2 × 범위로 낮아졌다. 건조상태를 계속 유지한 토양 1과 2는 과습상태를 유지한 토양 5와 6과의 酸度 차이는 별로 없었으며, 수확기에 다달해서는 토양수분에 관계없이 과실의 酸度は 낮아지는 경향을 보였다.

생육기간중 糖酸比의 변화는 그림 9와 같다. 만개후 90일경의 糖酸比는 2 내외로 토양간 차이가 없으나, 만개후 110일부터는 토양간 차이를 보여 수확기에는 토양 1과 2에서는 15 ~ 16, 토양 3과 4는 12 내외, 토양 5와 6은 10 이하였다.

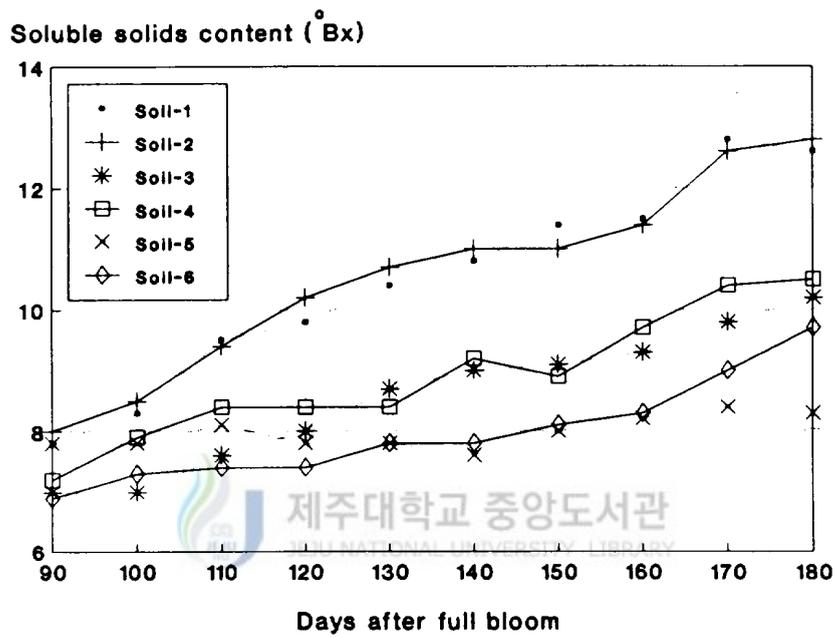


Fig. 7. Changes in soluble solids content in fruit juice during the period from 90 to 180 days after full bloom.

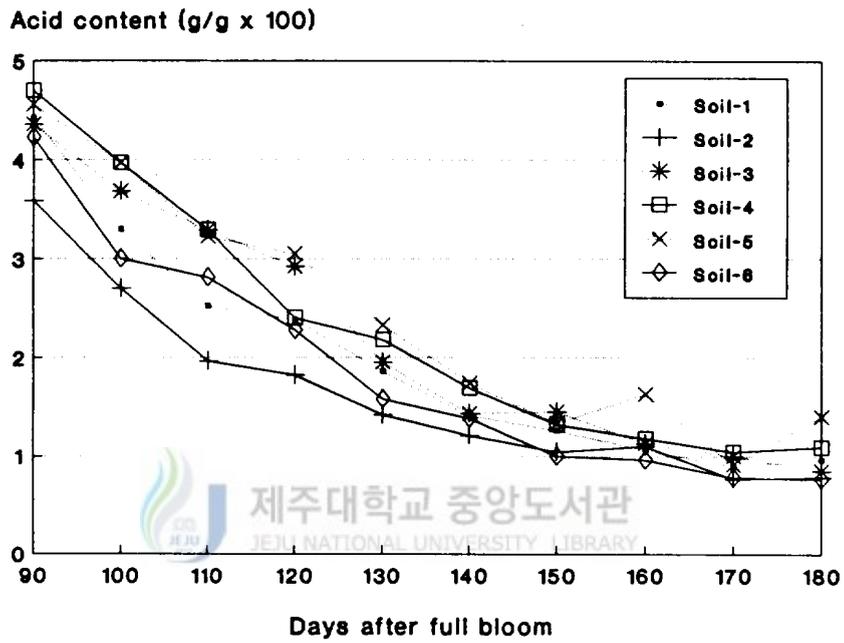


Fig. 8. Changes in acid content in fruit juice during the period from 90 to 180 days after full bloom.

Brix/acid ratio

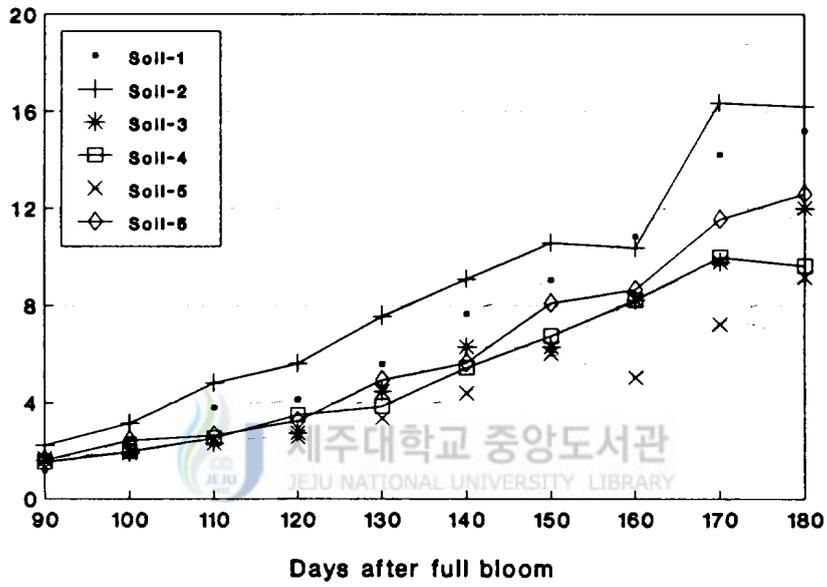


Fig. 9. Changes in Brix/acid ratio in fruit juice during the period from 90 to 180 days after full bloom.

4. 生育期間中 토양수분과 과실의 糖度, 橫徑 및 糖酸比와의 관계

만개 후 90일 경과한 공시토양 土深別 토양수분 상태와 糖度, 橫徑 및 糖酸比와의 관계는 그림 10과 같다. 토양수분 포텐살은 토양 및 土深에 따라 약 -2 ~ -0.1 bar 내외로 차이가 있었으나, 과실의 糖度は 7 ~ 8 °Bx로써 토양간 차이가 없었다. 이 시기에 토양수분 조건의 차이는 있으나 糖度の 차이는 크지 않았다. 橫徑의 크기도 토양수분 조건에 관계없이 45 ~ 50 mm 정도였으며, 糖酸比도 2 내외였다.

그림 11은 만개후 110일 경과하였을 때 각 토양의 수분 포텐살과 과실의 糖度, 橫徑 및 糖酸比를 나타낸 것이다. 토양 1과 2의 土深 0 ~ 30 cm에서 토양수분 포텐살은 -10 ~ -4 bar, 토양 3과 4는 -5 ~ -2 bar이었으며, 土深이 깊을수록 토양수분 포텐살은 높았다. 토양 5와 6의 토양수분은 토양 1, 2, 3 및 4에 비하여 과습한 상태이었다.

이 때의 과실의 糖度は 토양 1과 2가 약 9.5 °Bx, 토양 3과 4가 7.5 ~ 8.5 °Bx, 토양 5와 6은 만개후 90일 경의 糖도와 비슷하였다. 橫徑은 토양 1과 2에서 50 mm 이었으며, 토양 5와 6에서는 55 ~ 60 mm 정도이었다. 糖酸比는 토양 1과 2에서 3.7 정도로서 토양 3, 4, 5 및 6에 비하여 높았다. 이 시기부터 토양수분 조건에 따라 과실의 糖度 및 橫徑肥大에 영향을 받는 것으로 생각된다. 일본의 柑橘 시설 재배에서 糖度は 만개후 85일 ~ 수확기까지의 평균 토양수분 張力이 클수록 과실의 糖度 증가가 큰 것으로 알려져 있다(川野, 1982 a, b).

滿開後 140일 경과한 토양의 수분 포텐살은 그림 12 와 같이 토양 1과 2가 가장 낮았고 토양 3과 4가 그 다음이었으며, 토양 5와 6이 높았다. 糖度は 토양 1과 2가 약 11 °Bx이었고 토양 3과 4가 9 °Bx 내외를 나타내었으며, 토양 5와 6은 만개후 90일경의 糖도와 큰 차이가 없었다. 건조된 토양과 과습한 토양과의 糖度

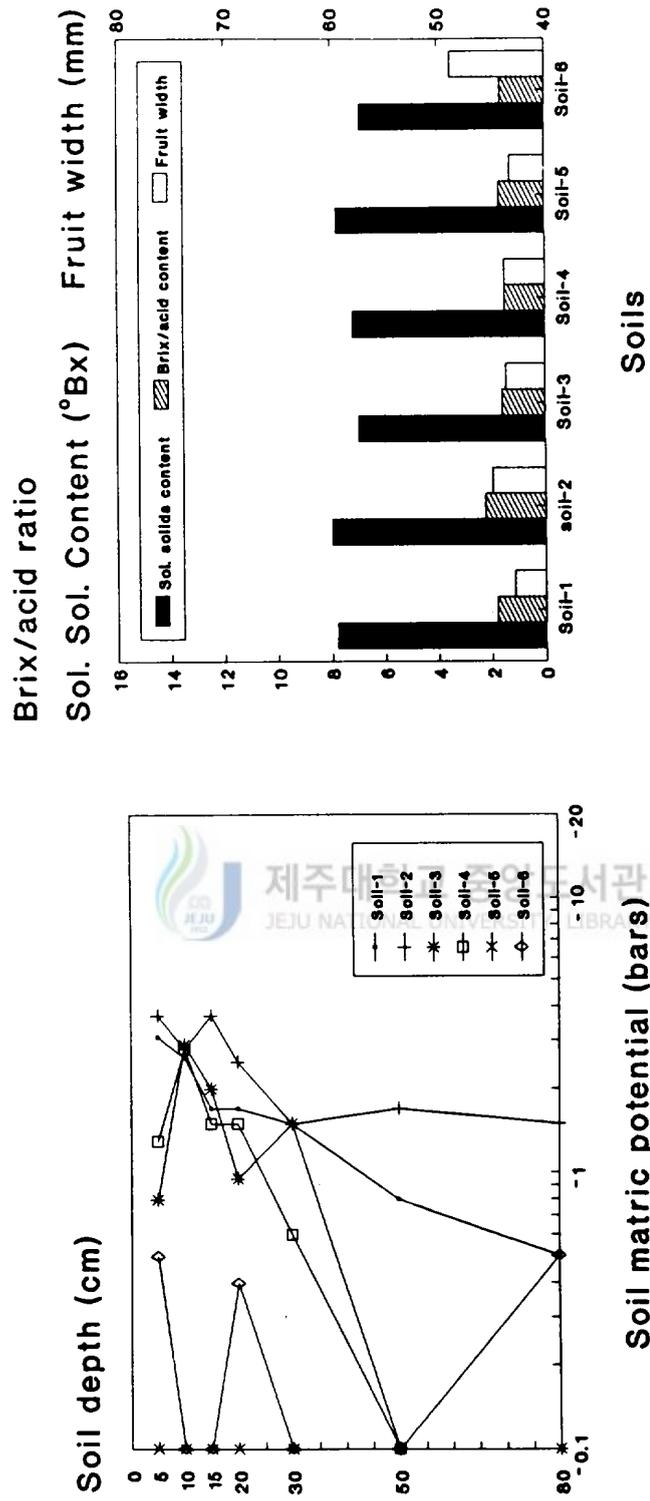


Fig. 10. Relationship between soil matric potential at different soil depth and soluble solids content , Brix/acid in fruit juice, and fruit width at 90 days after full bloom.

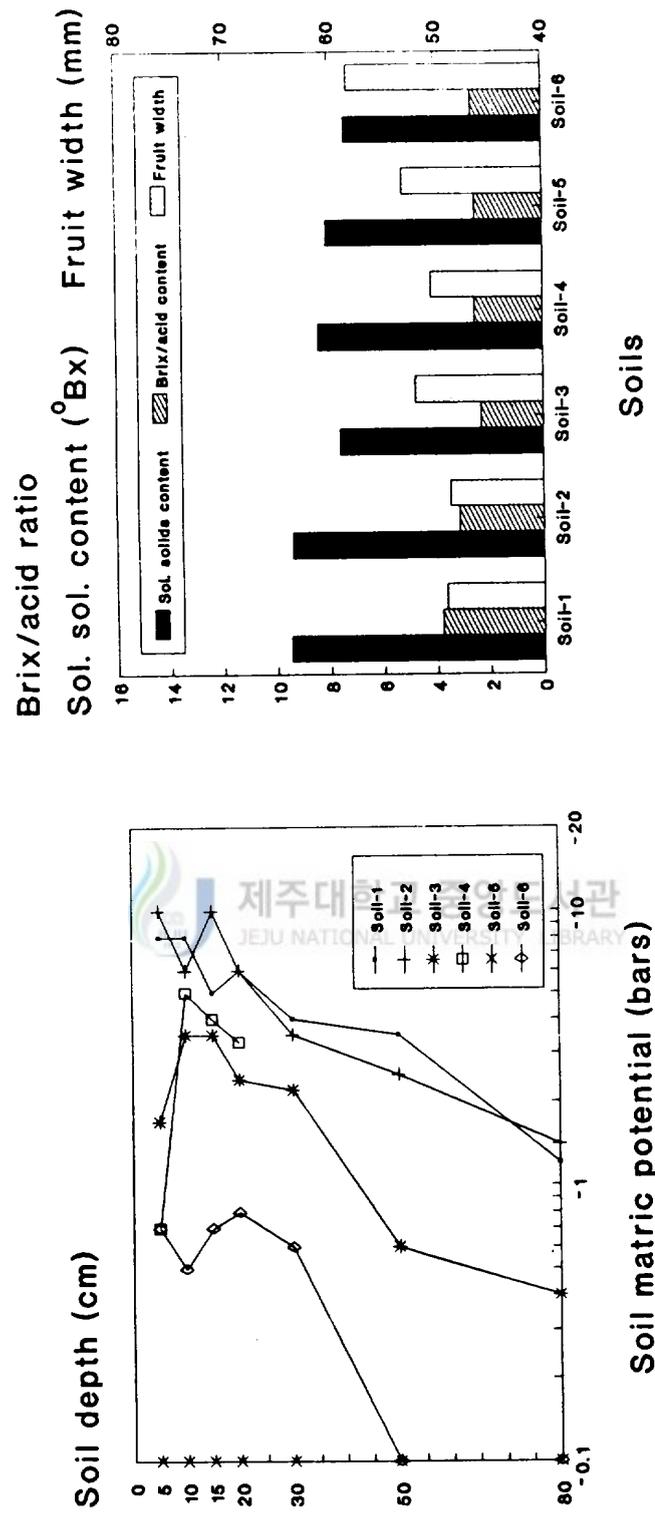


Fig. 11. Relationship between soil matric potential at different soil depth and soluble solids content, Brix/acid ratio in fruit juice, and fruit width at 110 days after full bloom.

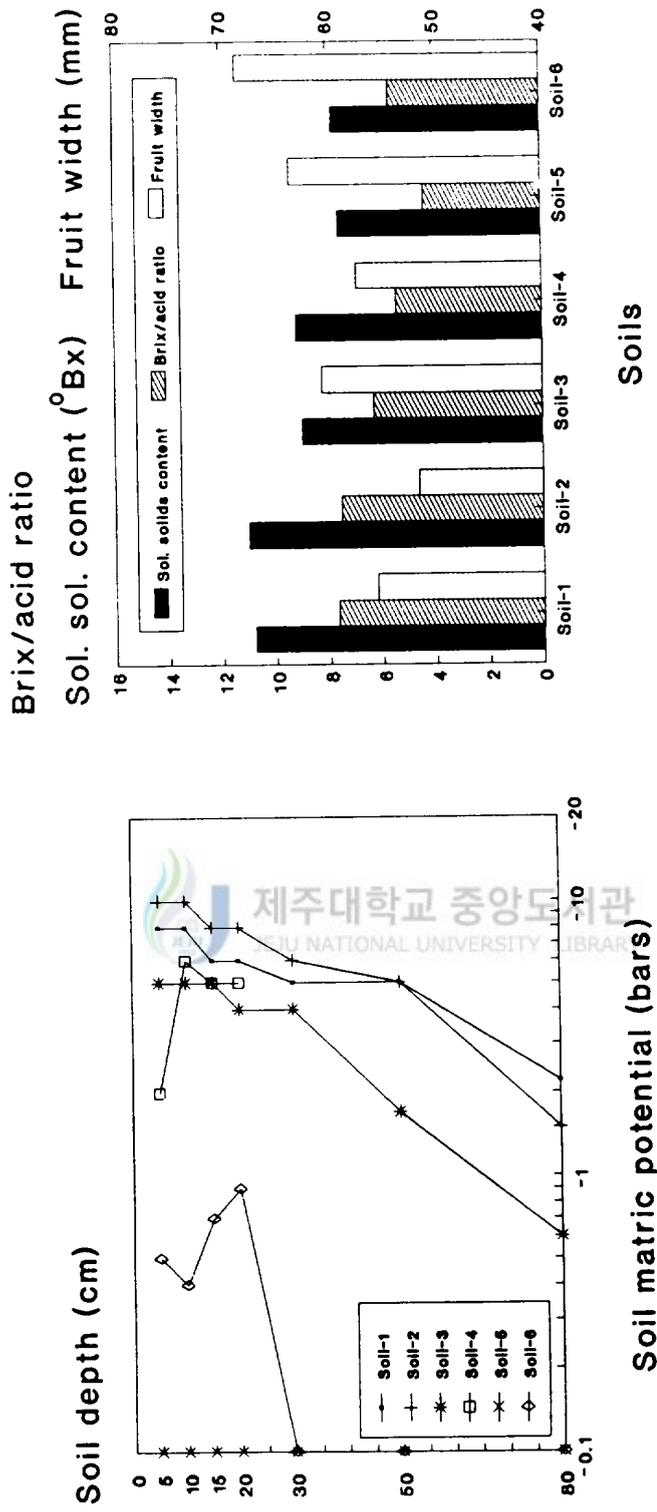


Fig. 12. Relationship between soil matric potential at different soil depth and soluble solids content, Brix/acid ratio in fruit juice, and fruit width at 140 days after full bloom.

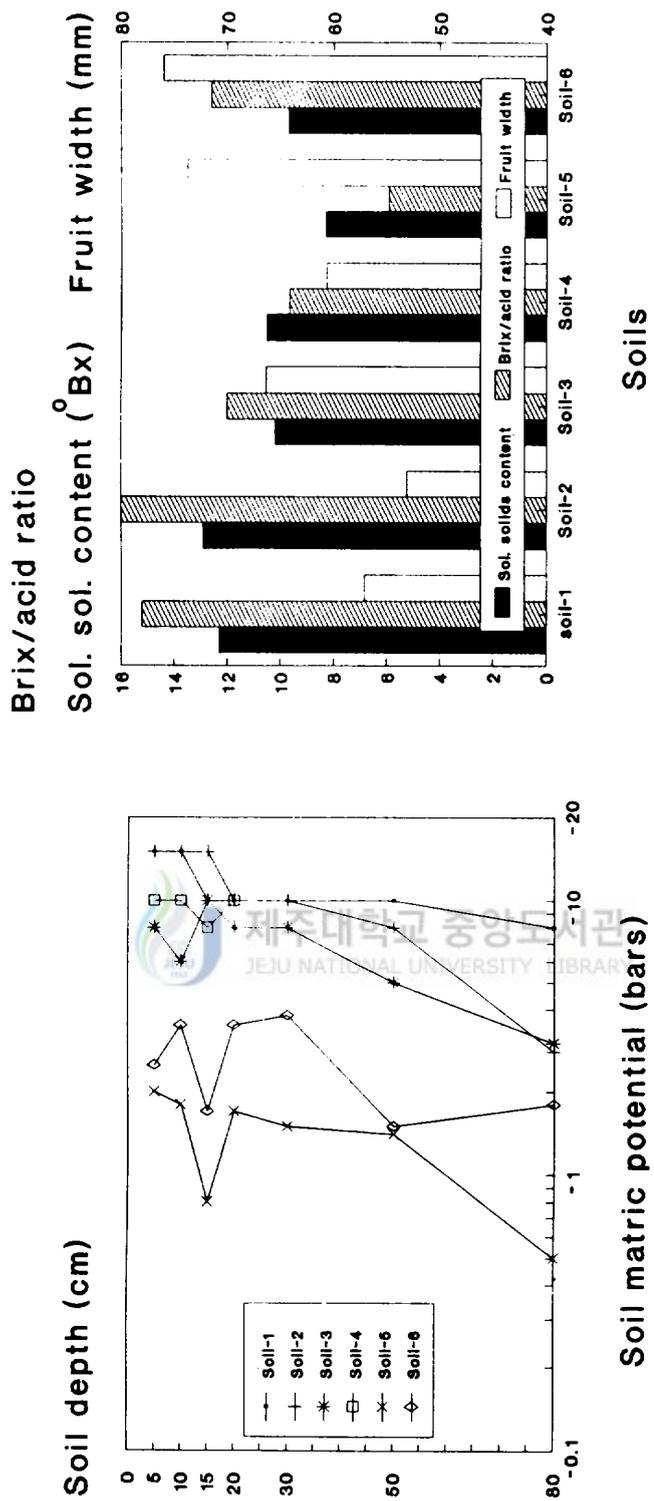


Fig. 13. Relationship between soil matric potential at different soil depth and soluble solids content, Brix/acid ratio in fruit juice, and fruit width at 180 days after full bloom.

차이는 약 3 °Bx 정도이었다. 橫徑의 크기는 토양수분 포텐살의 낮을수록 橫徑이 작고, 토양수분 포텐살이 높을수록 橫徑의 커져 糖度와는 負의상관을 나타내었으며, 이 때의 糖酸比는 4.2 ~ 7.8 로서 토양수분이 건조된 토양일수록 높았다. 川野(1982, a)는 柑橘 시설재배에서 만개후 115 ~ 145일의 토양수분이 과실의 增糖에 가장 큰 영향을 미치며, 이 기간의 평균 토양수분 張力을 0.6 bar 이상으로 유지하였을 때, 糖度は 과습한 상태로 유지한 토양에 비하여 약 1.5 °Bx정도 높아진다고 하였다.

그림 13은 만개후 180일이 경과하여 수확기 토양수분 포텐살과 糖度, 橫徑 및 糖酸比를 나타낸 것으로 토양수분 포텐살은 토양 1과 2, 토양 3과 4, 토양 5와 6의 순서로 낮았다. 糖度は 토양 1과 2가 약 12.5 °Bx 이었고 토양 3과 4가 10 ~ 10.5 °Bx 이었으며, 토양 5와 6은 9.5 °Bx 이하로 낮았다. 橫徑은 토양 1과 2에서는 60 mm 내외, 토양 3과 4는 63 ~ 67 mm, 토양 5와 6에서는 70 mm 이상으로 生育기간중 토양수분 포텐살이 낮게 유지한 토양일수록 橫徑은 작았다. 糖酸比는 토양 1과 2에서 15 ~ 16, 토양 3과 4에서 10 ~ 12, 토양 5와 6에서 6 ~ 12.5를 나타내었다.



5. 果實 肥大量와 增糖量과의 관계

과실의 橫徑이 30 mm 정도이었을 때 동시에 斷水를 실시하여 만개후 90 ~ 180일 사이의 과실 肥大量과 糖度の 증가와의 관계는 그림 14와 같이 과실 肥大量이 클수록 增糖量은 낮았다 ($Y=31.2-3.84X$, $r = -0.893^{**}$). 이 기간 동안 토양을 건조한 상태로 유지한 기간이 길수록 肥大量은 작았으며, 增糖量은 큰 것으로 나타났다. 이 기간중 과실 橫徑 肥大가 14 mm 내외인 과실의 糖度は 8 °Bx에서 12.5 °Bx 이상으로 약 4.5 °Bx 增糖되었다. 과실의 橫徑 肥大가 약 20 mm 인 과실의

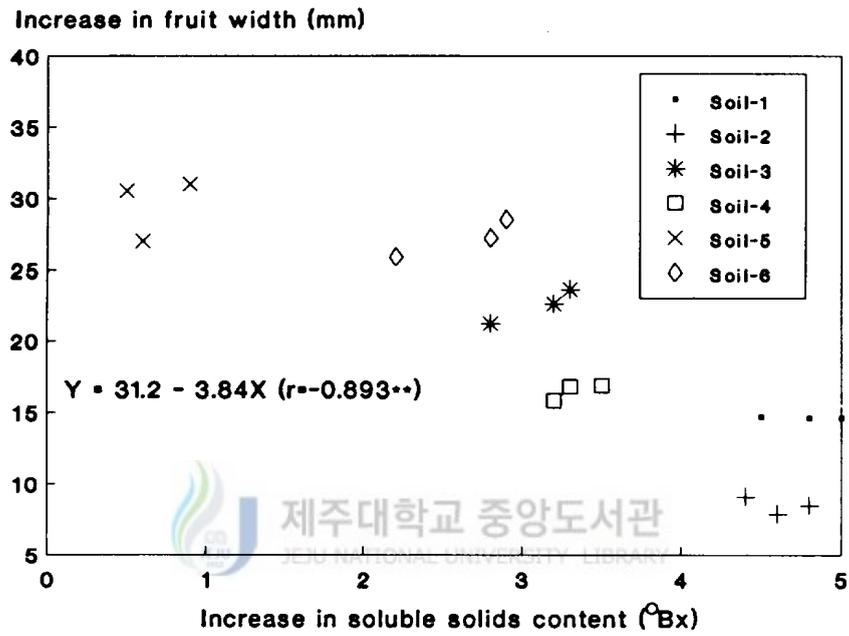


Fig. 14. Relationship between increase in soluble solids content in fruit juice and increase in fruit width during the period from 90 to 180 days after full bloom.

糖度は 7 °Bx 内外에서 10 ~ 11 °Bx로 약 3.5 °Bx 높아졌다. 그러나, 이 기간 동안 토양을 건조상태로 유지시키지 못하여 과습한 상태를 유지하였을 때, 과실의 横徑 肥大量은 30 mm 이상이였으며, 糖度は 10 °Bx 이하를 보여주었다. 斷水실시 초기의 横徑은 약 30 mm 로 비슷하였으나, 토양 건조정도 및 기간에 따라 수확기의 과실 크기는 약 20 mm 정도 차이가 있었으며, 糖度は 약 3.5 °Bx 차이가 있었다. 토양건조 상태가 유지된 기간은 과실의 横徑 肥大量과 增糖量에 큰 영향을 미치며, 토양수분 張力이 0.8 bar 이상으로 유지된 기간이 80일 이상 경과하였을 경우 糖度は 12 °Bx를 나타내며, 10 ~ 20일 동안 유지되었을 경우 糖度は 9 °Bx 정도라고 하였다 (川野, 1982 a, b).

그림 15는 토양수분 조건이 다른 토양에서 수확한 과실의 横徑과 糖度와의 관계를 나타낸 것이다. 토양 건조상태 유지 기간이 긴 토양 1과 2에서 수확한 과실의 横徑은 약 60 mm 이하였으며, 糖度は 12.5 °Bx 이상이었다. 토양 3과 4에서 수확한 과실의 横徑은 약 65 mm 였으며, 糖度は 11 °Bx 内外였다. 토양 5와 6에서 수확한 과실의 横徑은 약 75 mm 정도 이었으며, 糖度は 10 °Bx 이하이었다. 이와 같은 결과는 川野(1982, b)가 수확기 과실의 크기가 클수록 과실의 糖度가 낮으며, 과실 크기와 糖度와는 負의 관계가 있다고 보고한 결과와 유사하였다. 과실의 크기와 糖度와의 관계는 果實의 크기가 클수록 糖의 회석효과가 크고, 작을수록 糖의 농축효과가 큰 것으로 보고 있다(廣瀬, 1983; 川野, 1982 b).

그림 16은 수확기 과실의 糖度和 酸度와의 관계를 나타낸것이다. 柑橘類의 嗜好度는 과즙의 糖度和 酸도에 의해서 지배되며, 적정 嗜好度는 糖度(Y)와 酸度(X)의 관계가 $6X + 8 \geq Y \geq 6X + 6$ 이었을 때로 알려져 있다(日本農林水産技術會議事務局, 1983). 토양 1과 2의 토양수분 조건에서 수확한 과실의 糖度和 酸度は 적정 嗜好度 범위에 있었으며, 이는 노지재배 보통 온주에 비하여 糖度は 약 2.5 °Bx 높고 酸度は 약 0.5 * 낮은 것이다(林과 玄, 1991). 토양 3, 4, 5 및 6

에서 수확한 과실의 糖度와 酸度는 적정 기호도 범위에 있지 않았다.



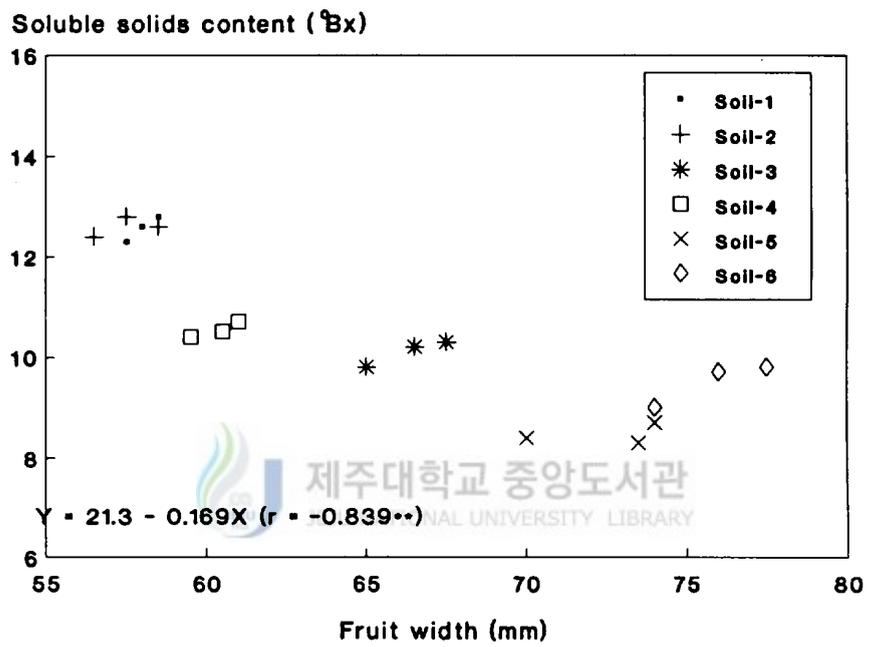


Fig. 15. Relationship between fruit width and soluble solids content at harvest.

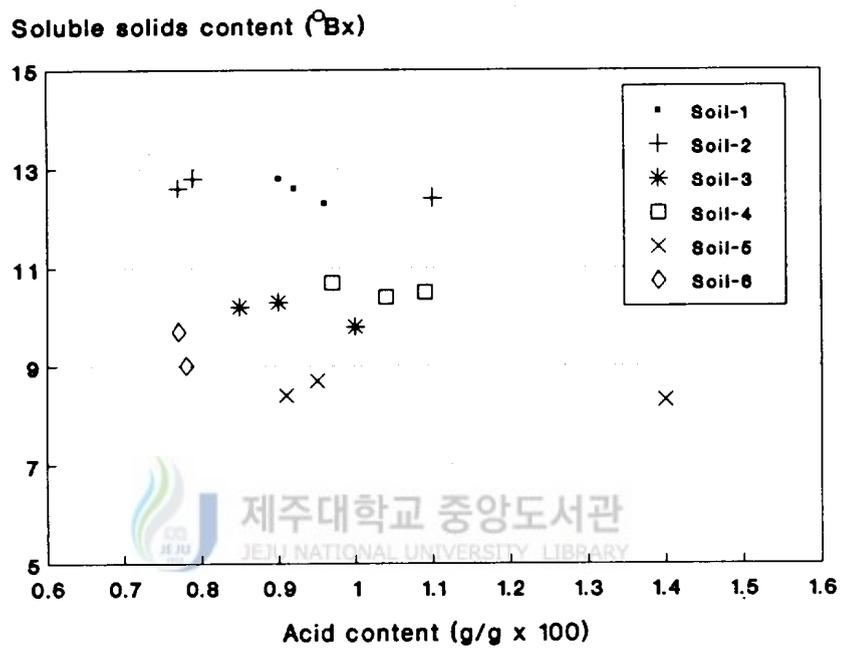


Fig. 16. Soluble solids content and acid content in fruit juice harvested from trees grown in different soil moisture conditions.

IV. 摘 要

본 研究은 토양 물리적 성질이 다른 非火山灰土(토양 1, 3 과 5), 濃暗褐色 火山灰土(토양 4와 6) 및 黑色 火山灰土(토양 2)의 柑橘(宮川) 시설재배에서 단 수기간중 토양수분 조건이 과실의 糖度, 酸度, 糖酸比 및 橫徑 肥大에 미치는 영향을 밝히기 위하여 수행하였다. 토양수분 포텐셜은 土深 5, 10, 15, 20, 30, 50 및 80 cm에서 측정하였으며, 높은 토양수분 포텐셜은 tensiometer로, 낮은 토양수분 포텐셜은 gypsum block으로 측정하였다. 토양수분 조건은 과실의 크기가 30 mm 될때까지는 충분한 수분상태(-0.3 bar 이상)로 유지하였으며, 그 이후부터는 토양에 따라 灌水량을 달리하여 토양수분 조건을 다르게 유지하였다.

1. 각 토양수분 張力에서 火山灰土의 重量 水分含量은 비火山灰土에 비하여 약 2배가 많았으며, 容量 水分含量은 큰 차이가 없었다. 土深 30 cm의 토양수분 포텐셜이 약 -3 bar 이하로 되는 시기는 토양 1과 2가 만개후 90일 내외, 토양 3과 4가 만개후 120일이었으며, 토양 5와 6은 수확기에도 -3 bar 이상이었다.

2. 만개 후 90일 경과되었을 때 토심 0 ~ 30 cm의 토양수분 포텐셜은 -2 ~ -0.1 bar로 토양간 차이가 있었으나, 과실의 糖度, 糖酸比 및 橫徑은 차이가 없었다. 만개후 110일부터는 토양수분 포텐셜이 낮은 토양일수록 糖度 및 糖酸比는 높았다.

3. 수확기에 과실의 糖도와 糖酸比는 토양 1과 2(土壤水分 포텐셜 -10 bar 이하)가 12.5 °Bx와 15 ~ 16, 토양 3과 4(약 -5 bar)가 약 10 °Bx와 10 ~ 12, 토양 5와 6(약 -3 bar)이 약 9 °Bx와 6 ~ 12 이었다.

4. 수확기 과실의 橫徑은 糖度 ($Y=21.3-0.169X$, $r=-0.839^{**}$)와, 斷水後 수확기까지의 과실 肥大量은 增糖量과 負의 상관관계가 있었다 ($Y=31.2-3.84X$,

$r=-0.893^{**}$).

이 기간동안 横徑肥大量이 15 mm 내외인 토양 1과 2의 增糖量은 4.9 °Bx이었고 약 20 mm인 토양 3과 4의 增糖量은 3.3 °Bx이었으며, 30 mm 이상인 토양 5의 增糖量은 0.5 °Bx 이었다.

5. 수확기 과실의 酸度는 약 0.8 ~ 1.0 %로 토양수분 포텐셜 및 横徑의 크기와는 관계가 없었으며, 건조된 토양 1과 2에서 수확한 과실의 糖도와 酸度は 적정 嗜好度 범위에 있었다.

V. 参考文献

1. Chichester, C.O.(ed). 1959. Advances in food research. 9:289-291.
2. 趙伯顯,趙成鎮,朴天緒. 1984. 新稿 土壤學. 郷文社. pp. 136-167.
3. 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.
4. 筆澤正義. 1971. 温州ミカンの品質と水管理 [1]. 農業および園藝. 46(8): 1155 - 1160.
5. 筆澤正義. 1971. 温州ミカンの品質と水管理[2]. 農業および園藝. 46(9): 1421- 1426.
6. 平野 暁. 1979. 温州ミカンにおける果實の大きさと糖及び酸含量との関係. 園藝學雜誌. 48(2):162-168.
7. 廣瀬和榮. 1983. カンキツ類ハウス栽培の新技術. 誠文堂新光社. pp. 84-103.
8. 岩垣功, 加藤義昌. 1982. ウンシュウミカン果實の初期生長と品質との関係. 園藝學雜誌. 51(3):263-269.
9. 川野信壽. 1982. 早生温州の加温ハウス栽培における土壌水分管理 [1]. 農業および園藝. 57(9):1157-1162.
10. 川野信壽. 1982. 早生温州の加温ハウス栽培における土壌水分管理 [2]. 農業および園藝. 57(10):1275-1280.
11. 川野信壽. 1987. ハウスミカンの生産安定と品質向上[1]. 農業および園藝. 62(12):1393-1399.
12. 川野信壽. 1988. ハウスミカンの生産安定と品質向上[2]. 農業および園藝.

63(2):306-310.

13. 川野信壽. 1988. ハウスミカンの生産安定と品質向上[5]. 農業および園藝. 63(7):847-854.

14. Klute, A. ed. 1986, Methods of soil analysis. Part 1 - Physical and mineralogical methods. Am. Soc. Agron, Inc.

15. Leo M. Walsh, James D. Beaton. 1980. Soil testing and plant analysis. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin USA.

16. 임한철, 玄海男. 1991. 柑橘 노지재배에서 土壤水分 調節을 통한 과실의 品質向上. '91 科學技術處 特定研究. 미발표.

17. 宮本久美, 中屋英治. 1990. ウンシュウミカンのハウス栽培における長期間の断水処理が根群分布, 果實品質および新梢發生に及ぼす影響. 園藝學雜誌. 59 (別2):40-41.

18. 森永邦久, 池田富喜夫. 1991. ウンシュウミカンの水ストレスが夏季の果實肥大に及ぼす影響および乾燥後の給水による光合成の回復について. 園藝學雜誌. 60 (別1):789

19. 永田賢嗣, 池田富喜夫. 1991. ハウスミカンの時期別乾燥處理が果實特性に及ぼす影響. 園藝學雜誌. 60 (別1 [果樹]): 12-13.

20. 中間和光. 1985. カンキツ類の營養生理と施肥. 誠文堂新光社.

21. 日本農林水産技術會議事務局. 1983. 温州みかん果汁の風味成分の解明とそれに基づく品質改善技術の確立.

22. Roy L. Donahue, Raymond W. Miller, John C. Shickluna. 1983. Soils - An introduction to soils and plant growth. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey 07632. pp. 46-207.

23. 澤野 郁夫, 山崎 俊弘, 杉山 和美, 谷口 哲美. 1990. ウンシュウミカン

の根域制限栽培に関する研究. (第2報)根域制限法が果實品質に及ぼす影響. 園藝學雜誌. 59(別 2 [果樹]): 24-25.

24. 白石雅也. 1989. ミカンのハウス栽培. 農山漁村文化協會.

25. 鈴木鐵勇, 金子衛, 田中實. 1967. カンキツ幼樹の生育と果實におよぼす時期別土壌水分乾燥處理の影響. 園藝學雜誌. 36(3):389-398.

26. Tosio Cho, Masaharu Kuroda, Akira Tanaka, and Ah Lek Ng. 1987. Relationship between distributed soil moisture and transpiration. J. Fac. Agr. Kyushu Univ. 32:41-59.



試驗 II. 土壤水分 포텐셜이 잎수분 포텐셜, 확산저항 및 증산율에 미치는
影響

Section II. Effects of soil matric potential on the leaf water
potential, diffusion resistance, and transpiration rate.



S U M M A R Y

This study was conducted to estimate the effects of soil matric potential on the leaf water potential, diffusion resistance and transpiration of satsuma mandarin (Okitsu) trees grown in pot, under plastic house, and field. Leaf water potential, diffusion resistance and transpiration measured at trees grown in pot controlled soil matric potential.

Leaf water potential was positively correlated with leafy shoot water potential. Leaf water potential highest at before sunrise and lowest at 2 p.m. both in plastic house and field. ψ_{\max} at soil matric potential of -1 bar was -4 ~ -5 bar, and while that soil matric potential of -5 bar was -21 bar.

When soil matric potential at the 10 cm depth in pot was -0.11 ~ -0.14 bar, ψ_{\max} was -2.8 ~ -4.0 bar and ψ_{\min} was -12 ~ -16.5 bar. When the soil matric potential was lower than -15 bar, ψ_{\max} was lower than -33 bar.

ψ_{\max} was related to the soil matric potential in the main root zone ($Y=2.53 + 1.68X$, $r=0.959^{**}$). Soil matric potential positively correlated with transpiration rate and negatively correlated with diffusion resistance.

Diffusion resistances measured before sunrise were 53.7 ~ 68.6 sec/cm and transpiration rates were 0.14 ~ 0.15 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ sec. There was very little difference in leaf diffusion resistance and transpiration with soil matric potential before sunrise. At 13:00 ~ 14:00, diffusion resistance and transpiration at soil matric potential of around -0.1 bar were 5.2 sec/cm and 2.2 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ sec, respectively and those at soil matric potential lower than -15 bar were 14 sec/cm and 0.20 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ sec, respectively.

I. 緒 論

柑橘의 시설재배에서 토양수분은 만개후 90일부터 수확후 약 50일간은 매우 건조한 상태로 유지된다. 생육기간 동안의 토양건조는 糖度を 높이기 위한 것이며, 수확후에도 토양건조 상태를 계속 유지시키는 것은 새순이 나서 다음해 花芽分化和 결실에 영향을 주기 때문이다. 따라서 장기간 동안의 토양수분 건조는 樹體의 수분 스트레스와 생육에 큰 영향을 미칠 수 있다.

柑橘에서의 수분 스트레스는 주로 잎수분 포텐셜(ψ)로 나타낸다. 日出前 柑橘의 잎수분 포텐셜(ψ_{max})은 토양수분 포텐셜과 직접적인 관계가 있으며, 晝間의 잎수분 포텐셜은 葉齡, 잎주위의 미기상 조건 및 日射量에 따라 변하기 때문에 하루중의 변화 폭이 대단히 크다. 따라서, 夜間의 ψ 은 토양수분 조건에 의해 지배되지만, 晝間의 ψ 은 토양수분 조건보다 葉齡 및 日射量에 의하여 영향을 받는 것으로 보고하였다(町田와 間苧谷, 1974).

Scholander(1965)등이 pressure chamber를 사용하여 감귤잎 導管의 negative hydrostatic pressure을 측정하였으며, 町田와 間苧谷(1974) 이 pressure chamber를 이용하여 온주밀감의 잎수분 포텐셜을 측정한 바 있다.

토양-뿌리계와 식물체의 수분 스트레스, 감자의 수분 스트레스에 관한 研究가 이루어졌으며, tensiometer를 이용하여 토양수분 포텐셜과 柑橘의 잎수분 포텐셜에 관한 연구가 보고된 바 있다(川野, 1982). 또한, 일부 학자들에 의해 식물자체에서 포화수분 부족도(W.S.D), 확산압차(D.P.D)등의 방법이 사용되었다(Wiebe, 1966; Yuda와 Okamoto, 1967).

일반적으로 葉內 수분 potential(ψ_L)은 세포액에 존재하는 용질입자에 의한 osmotic potential(ψ_π)과 압력에 의한 pressure potential(ψ_p), 교질입자에 의한 matric potential(ψ_m)의 합으로 나타내 진다. 즉 $\psi_L = \psi_\pi + \psi_p + \psi_m$

이다. 그러나 ψ_m 은 미숙한 세포나 매우 건조한 경우를 제외하고는 - 0.1 bar 내외로 그 크기가 적어 무시 될수 있으므로 결국 $\psi_L = \psi_\pi + \psi_p$ 이라 할수 있다(Wiebe, 1966).

잎의 수분 스트레스는 잎수분 포텐셜로 나타내며, pressure chamber를 사용하여 측정한 잎수분 포텐셜은 $\psi_\pi + \psi_p + \psi_m$ 의 합을 나타낸다(町田와 間苧谷, 1974).

낮 동안의 잎수분 포텐셜은 온도, 상대습도, 광도 등의 미기상 조건에 의해 크게 영향을 받는다. 光條件을 變化시키면 光量子密度가 낮을수록 高濃度 CO₂의 영향은 작았으며, 光量子密度 1500 $\mu E/m^2 \cdot sec$ (照度 100 Klux, 樹冠上部) 온도 25 °C ~ 30 °C에서는 CO₂농도가 2500 $\mu l/l$ 정도까지 광합성은 증가하고, 300 $\mu l/l$ 때의 약 5 배 상승했다. 이 條件에서는 2500 $\mu l/l$ 前後가 CO₂飽和点이라고 하였다(森永, 1991).

온도 조건과의 관계에서는 광합성 적은의 경우가 CO₂ 에 의한 광합성 상승효과가 높았고, 呼吸은 CO₂가 1000 $\mu l/l$ 이상이되면 낮아지며, 이 낮아진 정도는 고온일수록 커진다. 施設 柑橘園과 같이 광량자 밀도가 1000 $\mu E/m^2 \cdot sec$ 이하로 낮은 조건하에서 CO₂의 공급은 光呼吸 및 暗呼吸을 억제시키고 광합성의 상승효과가 있는 것으로 보고되었다(森永, 1991).

柑橘의 잎수분 스트레스는 잎의 생장에 비하여 과실의 肥大에 더 민감하게 영향을 미친다. 과실의 肥大은 ψ_{max} 이 -8 bar, ψ_{min} 이 -17 bar일 때 생장이 중단되며, 잎의 생장은 ψ_{max} 이 -15 ~ -20 bar일 때 생장이 중단된다(間苧谷 등, 1977).

식물체의 葉內 수분 potential은 측정시간 (Acevedo 등, 1971; Goode와 Higgs, 1973; 町田와 間苧谷, 1974), 계절(間苧谷와 町田, 1976), 식물의 종류 (Frank 등, 1973; Rudich 등, 1981), 식물체의 부위 (町田와 間苧谷, 1974), 기

상 (Rudich 등, 1981), 토양수분 상태 (Elfvig와 Kaufmann, 1972; 閔亨谷와 町田, 1976; Rudich 등, 1981)등에 따라서 달라진다고 하였다. Boyer (1967)는 정확한 葉內 수분 potential을 얻기 위해서는 pressure chamber에 의한 측정치를 thermocouple psychrometer (psychrometric method)로 보정하여야 한다고 하였다. 그러나 Kaufmann (1968), 町田와 閔亨谷 (1974), Roo (1969), Waring과 Cleary(1967) 등은 오렌지, 온주밀감, 수수, 옥수수의 葉內수분 potential을 pressure chamber와 thermocouple psychrometer로 비교 측정한 결과 두방법 사이에 차이가 없다고 하였다.

柑橘 비대기인 7월 중순부터 9월까지 토양수분 정도에 따른 잎수분 포텐셜과 관수후 광합성 회복 정도는 잎수분 포텐셜이 - 20 bars 정도가 되면 과실 肥大는 억제되기 시작하며, - 25 bars 이하가 되면 과실 肥大는 정지하고 - 30 bars 이하로 20일간 유지하여도 재관수 후 10일 이상 경과하면 光合成 속도는 일반 감귤 나무와 비슷한 수준에 도달한다고 하였다(森永와 池田, 1991).

柑橘葉의 위조는 약 잎수분 포텐셜이 - 30 bar 에서부터 나타나고 이시기의 광합성속도는 단수처리시기전 (엽 $\psi = -10$ bar 내외) 에 비해 30 %로 떨어진다 (永田와 池田, 1991). 현재 柑橘을 시설재배 하는 토양의 수분은 만개후 90일부터 수확후 50일까지 약 5 ~ 6개월간 매우 건조한 상태로 유지된다. 이와 같이 장기간의 토양수분 건조는 樹體의 水分 및 養分 흡수에 영향을 미쳐서 수분 스트레스를 야기시킬 가능성이 크다.

따라서 본 研究는 柑橘의 시설재배에서 토양 건조기간 동안의 토양수분 포텐셜이 잎수분 포텐셜, 기공의 확산저항 과 증산율에 미치는 영향을 밝히기 위하여 수행되었다.

II. 材料 및 方法

1. 토양수분 調節 및 측정

본 試驗에 사용된 柑橘은 흥진조생으로 노지 및 施設內에서는 10년생 이었으며, pot에서는 4년생 이었다. 柑橘의 식재되어 있는 土壤은 비화산회토이었다.

pot內的 토양수분 포텐살은 시험 1에서 사용한 방법과 동일한 방법으로 tensiometer와 gypsum block을 토심 10 cm에 묻어 측정하였으며, 노지 및 施設內는 토심 30cm에 묻어 측정하였다. 이때 토양수분의 조절은 토양을 완전히 수분으로 포화시킨 후 처리별로 관수량을 달리하여 토양을 건조시키면서 일정 토양수분 포텐살에 이르도록 하였다. 토양수분 포텐살은 $-0.7 \sim -0.1$ bar까지는 tensiometer로 측정하였으며, -0.7 bar 보다 낮은 토양수분 포텐살은 gypsum block으로 측정하였다.

2. 잎수분 포텐살, 확산저항 및 증산율의 측정

잎수분 포텐살은 pressure chamber (Soilmoisture Equip. Model 3005)로, 확산저항 과 증산율은 porometer(LI-COR Inc. LI-1600)로 측정하였다. 잎수분 포텐살은 확산저항과 증산율을 측정한 후 잎을 채취하여 무게를 측정한 후 즉시 pressure chamber를 사용하여 감글잎 導管의 negative hydrostatic pressure을 측정하였으며, 측정한계는 -33 bar 이었다. pressure chamber內的 압력 상승속도는 $0.2 \sim 0.3$ bar/sec로 하였다 (町田와 間亭谷, 1976).

有葉枝의 수분 포텐살은 잎수분 포텐살의 측정 방법과 동일하게 수행하였다. 잎수분 함량은 잎수분 포텐살을 측정한 후 60°C 에서 약 24 시간 동안 건조하여 구하였다. 잎수분 포텐살, 확산저항 과 증산율은 일출 1시간 전부터 2시간 간격으로 일몰 후 3 시간까지 측정하였다.

III. 結果 및 考察

1. 土壤水分 포텐살과 잎수분 포텐살과의 관계

그림 1은 試驗土壤의 토양수분 특성곡선으로 일반 제주도 비화산회토의 토양수분 특성곡선과 비슷한 경향을 나타내었다.

토양수분 포텐살과 잎수분 포텐살과의 관계는 그림 2 와 같이 토양수분 포텐살이 낮을수록 잎수분 포텐살도 낮아 正의 상관관계가 있었으며($Y = -0.89 + 1.85X$ ($r = 0.969^{**}$)), 잎수분 포텐살이 -33 bar 이하에서는 pressure chamber 측정한계를 초과 하여 측정 할수 없었다.

町田과 間苧谷 (1974)은 토양과 잎수분 포텐살과의 관계는 토양수분 포텐살 -0.1 ~ -0.9 bar 범위에서는 잎수분 포텐살 -2.5 ~ -5.2 bar 범위에서 직선의 관계가 있으며, 토양수분 포텐살 -1.0 bar 이하에서는 토양수분 저항치와 잎수분 포텐살은 곡선적인 관계가 있다고 하였다.

그림 3은 토양수분 포텐살이 -1 bar와 -5 bar로 조절된 施設內 토양과 -1 bar로 조절된 노지 토양에서 잎수분 포텐살의 日變化를 나타낸 것이다. 토심 30 cm의 토양수분 포텐살이 -1 bar 내외로 유지된 노지 및 施設內 토양에서 ψ_{max} 은 -4 ~ -5 bar 이었으며, ψ_{min} 은 -17 bar 내외이었다. 또한, 日出前과 日没後의 잎간 ψ 의 차이는 작았으나, 晝間의 ψ 은 잎간 차이가 컸다. 잎수분 포텐살(ψ)은 토양수분, 葉齡 및 日射量에 의하여 크게 영향을 받으며, 동일한 토양수분 조건하에서 ψ 은 日射量이 적을수록 커진다. 晝間에 ψ 의 잎간 차이가 큰 것은 잎 주위 미기상의 변화가 크며, 잎간 日射量의 차이가 커서 증산율의 차이가 크기 때문이라고 알려져 있다(間苧谷과 町田, 1976).

Grav. water content (g/g x 100)

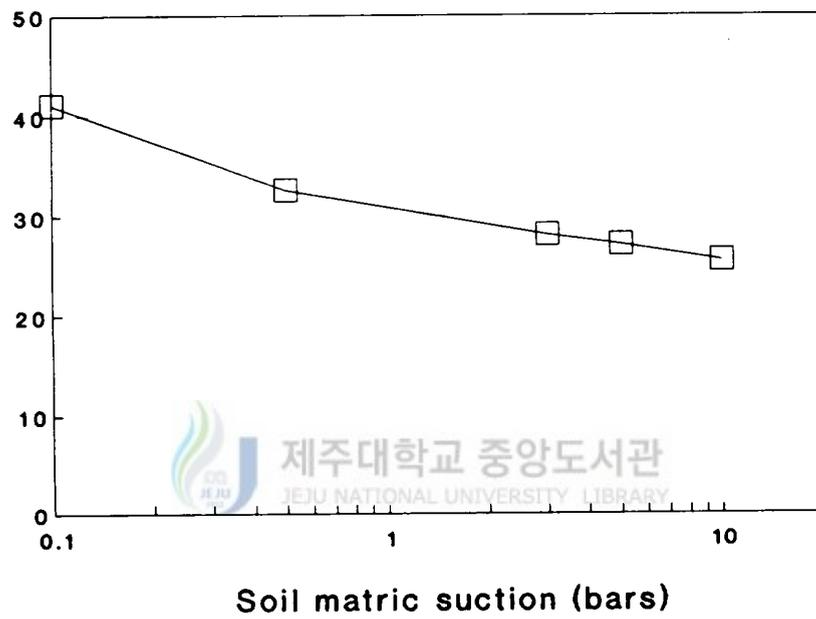


Fig. 1. Soil moisture retention curve of soil.

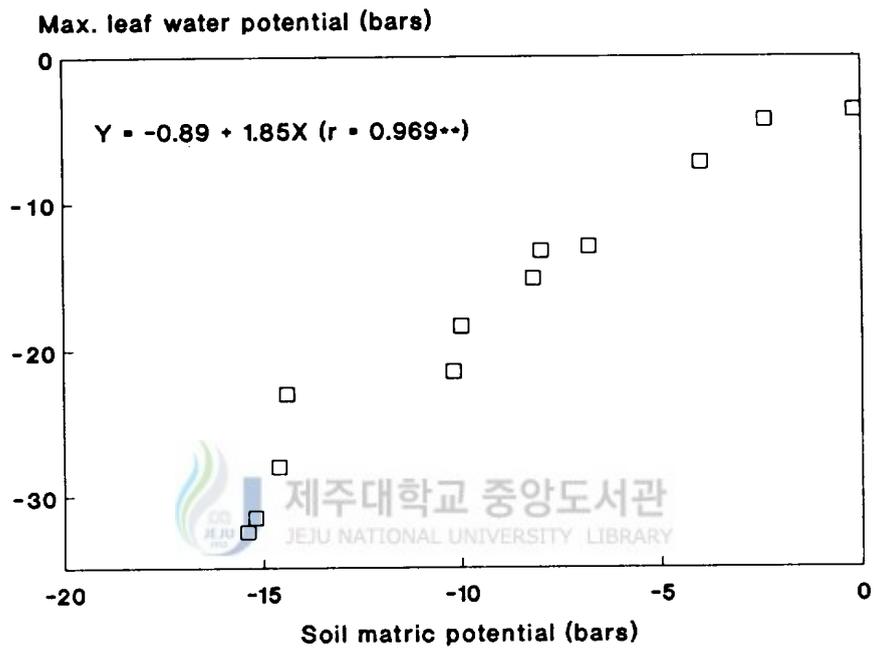


Fig. 2. Relationship between maximum leaf water potential and soil matric potential.

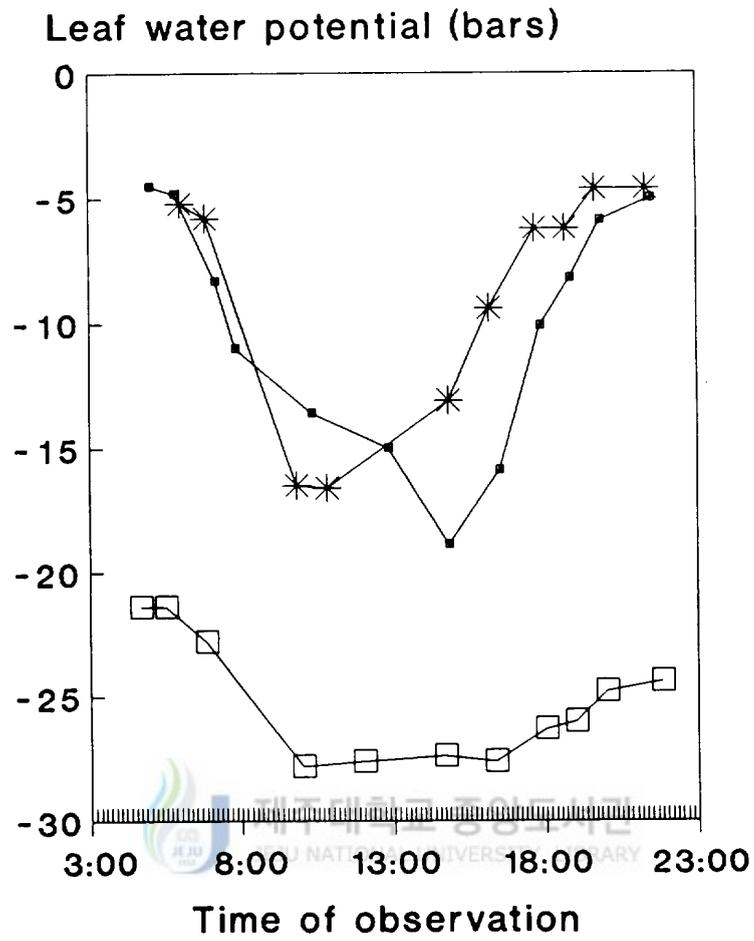
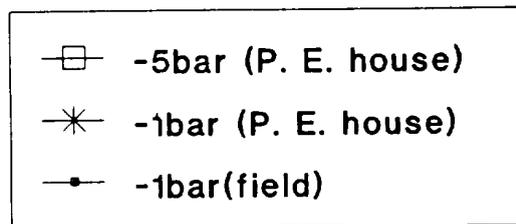


Fig. 3. Changes in leaf water potential at different soil moisture in P. E house and field.



2. 토양수분 조건에 따른 잎수분 포텐셜, 확산저항 및 증산율과의 관계

그림 4는 pot에서 토양수분 조건이 다를때 일일중 잎수분 포텐셜, 확산저항 및 증산율의 變化를 나타낸 것이다. 토양수분 포텐셜이 -0.14 bar로 유지된 pot에서의 잎수분 포텐셜의 變化는 日出前에 -4 bar로 가장 높은 포텐셜을 보였고 (ψ_{max}), 낮 동안에는 -12 bar로 가장 낮았다가 (ψ_{min}) 日沒後 부터는 日出前과 같은 -4 ~ -5 bar로 회복되었다. 토양수분 포텐셜이 -7 bar정도로 유지된 pot에서의 ψ_{max} 은 -13 bar였고, ψ_{min} 은 -26 bar로 낮아 樹體에 수분 스트레스에 영향을 받을 정도였으며, 日沒後부터는 -20 bar로 높아져 회복하기 시작하였다. 또한 토양수분 포텐셜이 -15 bar정도로 유지된 pot에서는 日出前에도 -30 bar 이하인 것으로 보아 하루종일 樹體에 수분 스트레스를 받고 있다고 생각 된다. 토양수분 포텐셜이 -5 bar 이하로 유지된 施設內 토양에서 ψ_{max} 은 -21 bar 정도이었으며, ψ_{min} 은 -28 bar 이하를 나타내었다. 잎수분 포텐셜이 -20 bar 정도가 되면 果實肥大는 억제되기 시작하며, -25 bar 이하이면 果實肥大는 정지한다고 하였다(森永와 池田, 1991).

토양수분 조건에 따른 확산저항 및 증산율은 日沒前後에는 토양수분 조건에 관계없이 비슷한 경향이나, 확산저항은 낮 시간에 가장 높았으며 토양수분 포텐셜이 높을수록 높았다. 증산율은 확산저항과 반대적인 경향을 보였다.

3. 잎수분 포텐셜과 잎수분 함량과의 관계

그림 5는 잎의 수분함량과 잎수분 포텐셜과의 관계를 나타낸 것으로 잎수분 포텐셜이 높을수록 잎수분 함량은 많았다 ($Y = 74.6 - 0.308X$, $r = -0.761^{**}$).

그림 6은 동일 한 나무에서 잎과 인접한 가지의 수분 포텐셜을 나타낸 것이

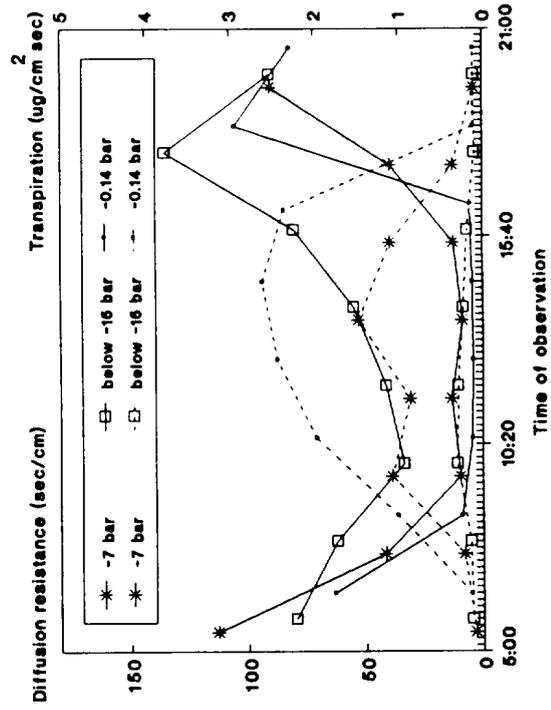
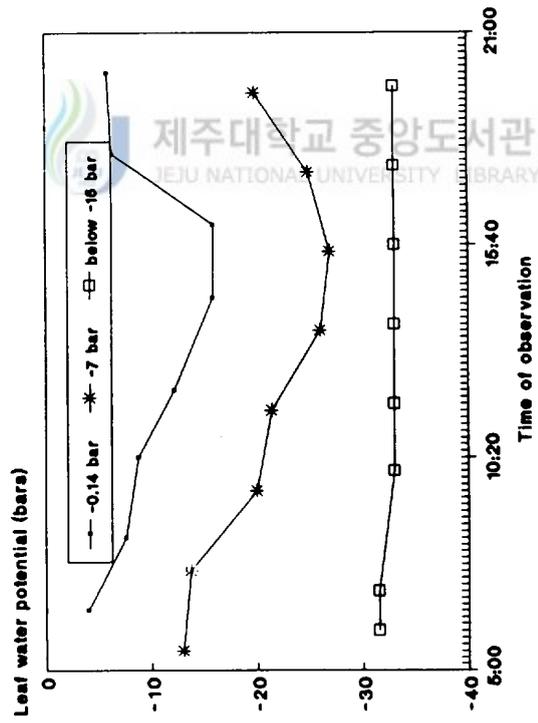


Fig. 4. Changes in leaf water potential, diffusion resistance and transpiration rate with time.

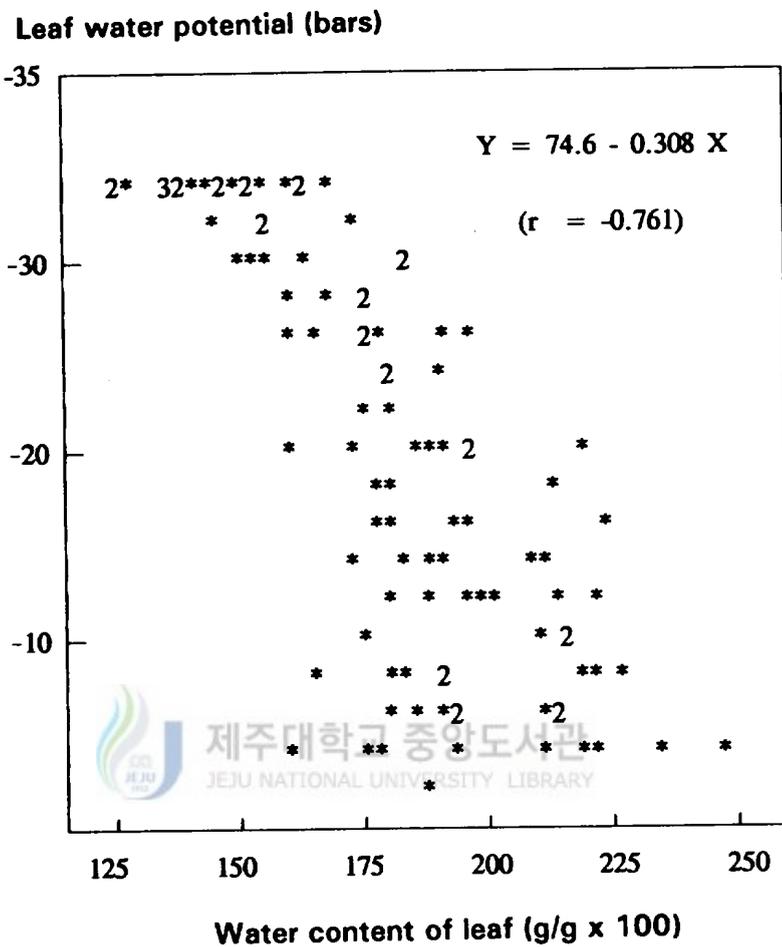


Fig. 5. Relationship between leaf water potential and leaf water content.

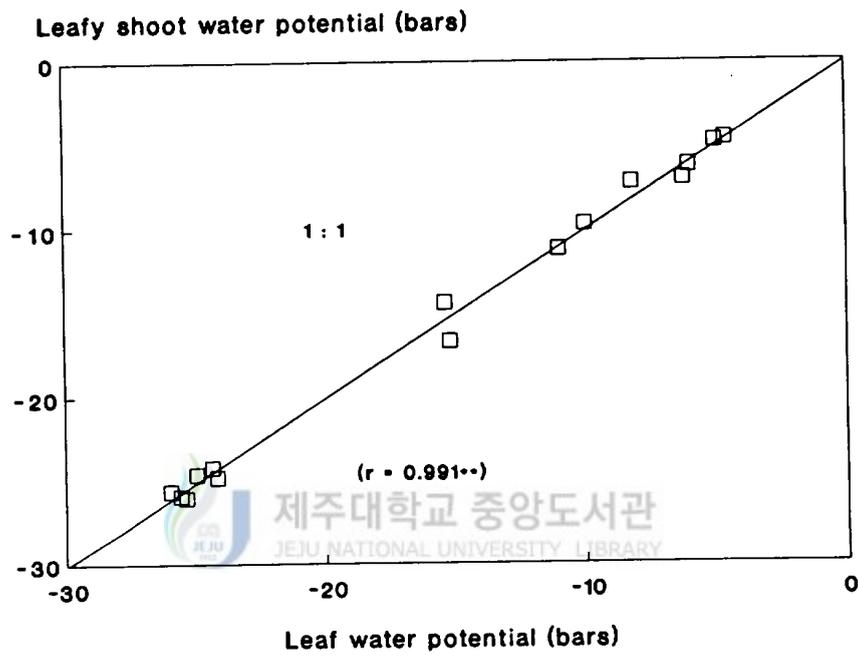


Fig. 6. Relationship between leaf and leafy shoot water potential at same tree.

다. 잎수분 포텐셜과 有葉枝의 수분 포텐셜은 고도의 正의 상관관계가 있었으며 ($r=0.991^{**}$), 양 포텐셜의 크기는 1:1 이었다. 이는 잎의 수분 스트레스와 가지의 수분 스트레스가 같다는 것을 의미하며, 잎에 나타난 수분 스트레스가 곧 樹體의 수분 스트레스를 나타내는 것으로 생각된다. 町田와 間亭谷 (1974)은 잎수분 포텐셜이 -3.8 ~ -14.7 bar의 범위에서 가지의 導管과 葉柄의 잎수분 포텐셜이 동적 평형상태에 있다고 하였다.

4. 土壤水分 포텐셜, 잎수분 포텐셜 과 증산율과의 관계

토양수분 포텐셜과 증산율과의 관계는 그림 7과 같이 日出前의 증산율은 0.12 ~ 0.15 $\mu\text{g}/\text{cm}^2 \text{ sec}$ 로 큰 차이가 없지만, 낮 동안 토양수분 포텐셜이 높은 조건에서 증산율은 2.60 $\mu\text{g}/\text{cm}^2 \text{ sec}$ 로 높았으며, 낮은 토양수분 포텐셜에서 증산율은 日出前에 비하여 크게 증가하지 않았다.

그림 8은 잎수분 포텐셜과 증산율과의 관계로서 日出前 증산율은 잎수분 포텐셜에 관계없이 낮았으나, 낮 동안에는 잎수분 포텐셜이 높을수록 증산율도 높아져서 ψ_{\min} 이 -15 bar 일 때는 2 $\mu\text{g}/\text{cm}^2 \text{ sec}$ 이상이였다. 이와 같은 결과는 토양수분 포텐셜과 비슷한 경향 이었다.

그림 9는 확산저항과 증산율과의 관계를 나타낸 것으로 負의 상관관계가 있었다. 확산저항이 5 sec/cm 이하이었을 때의 증산율은 2 $\mu\text{g}/\text{cm}^2 \text{ sec}$ 이상이였으며, 확산저항이 70 sec/cm 이상이였을 때의 증산율은 0.14 $\mu\text{g}/\text{cm}^2 \text{ sec}$ 내외이었다. 이와 같은 결과는 기공의 확산저항이 클수록 증산율은 낮아지는 것으로 생각된다.

그림 10은 日出前과 낮동안의 확산저항과 토양수분 포텐셜과의 관계를 나타낸 것이다. 日出前의 확산저항은 60 ~ 100 sec/cm로 토양수분 포텐셜의 영향을 크게

받지 않는 것으로 나타났다. 낮동안의 확산저항은 토양수분 포텐셜이 낮을수록 높았으며, 토양수분 포텐셜이 높아질수록 곡선적으로 낮아져서 토양수분 포텐셜이 -4 bar 이상에서의 확산저항은 10 sec/cm 이하이었다.

그림 11은 日出前과 낮동안의 확산저항과 잎수분 포텐셜과의 관계를 나타낸 것이다. 日出前의 확산저항은 잎수분 포텐셜의 영향을 크게 받지 않았으나, 낮동안의 확산저항은 ψ_{min} 이 낮을수록 높았으며, ψ_{min} 이 -25 bar 이상에서는 10 sec/cm 이하이었다.



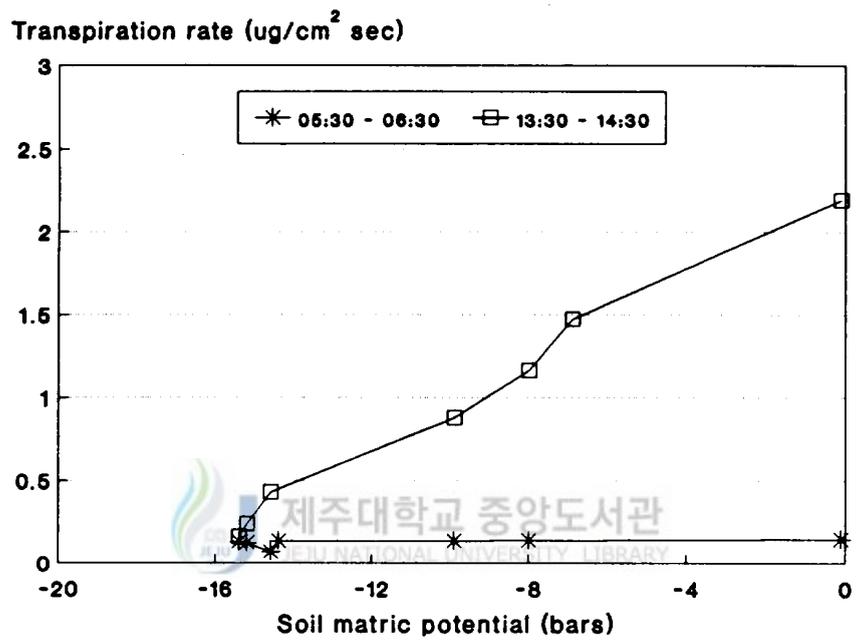


Fig. 7. Relationship between soil matric potential and transpiration rate at 05:30-06:30 and 13:30-14:30.

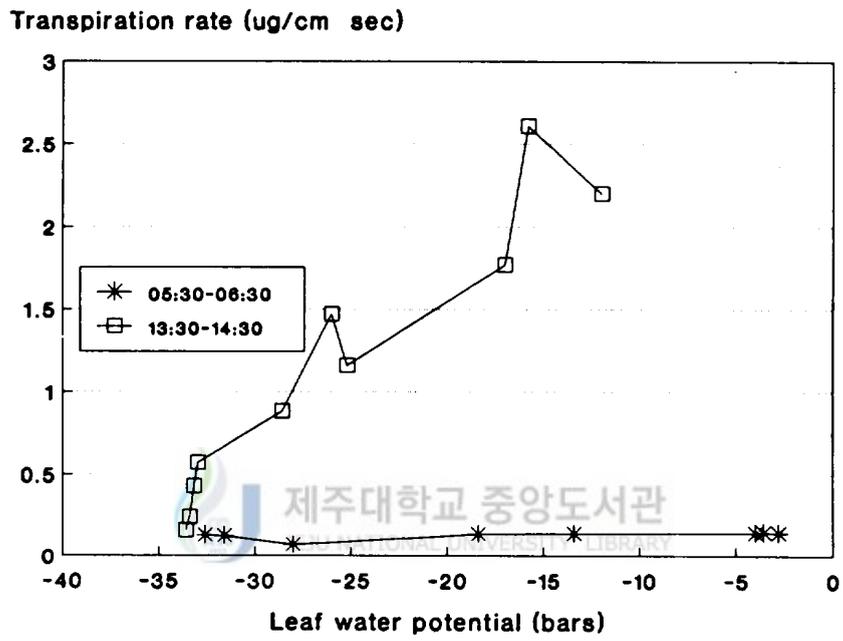


Fig. 8. Relationship between leaf water potential and transpiration rate at 05:30-06:30 and 13:30-14:30.

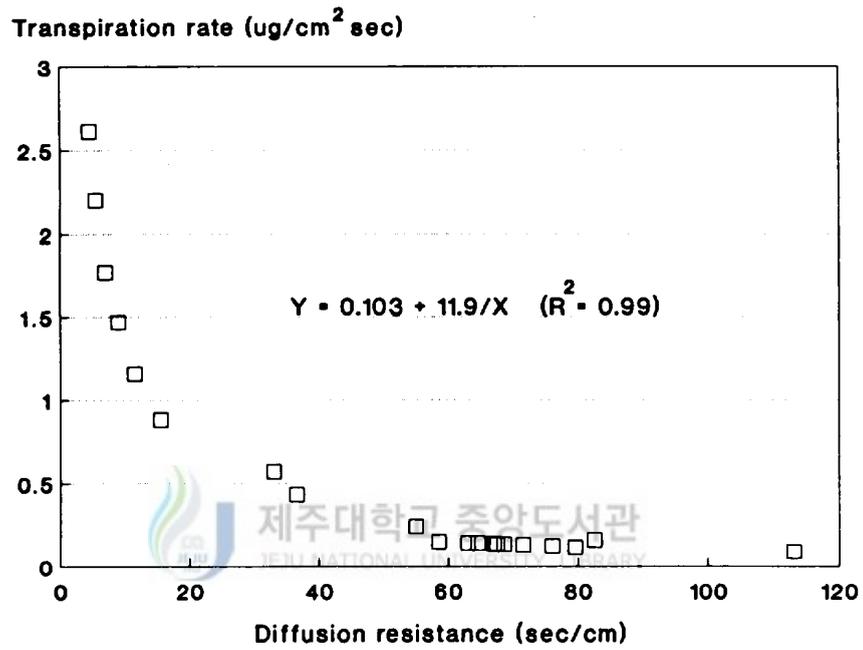


Fig. 9. Relationship between leaf diffusion resistance and transpiration rate.

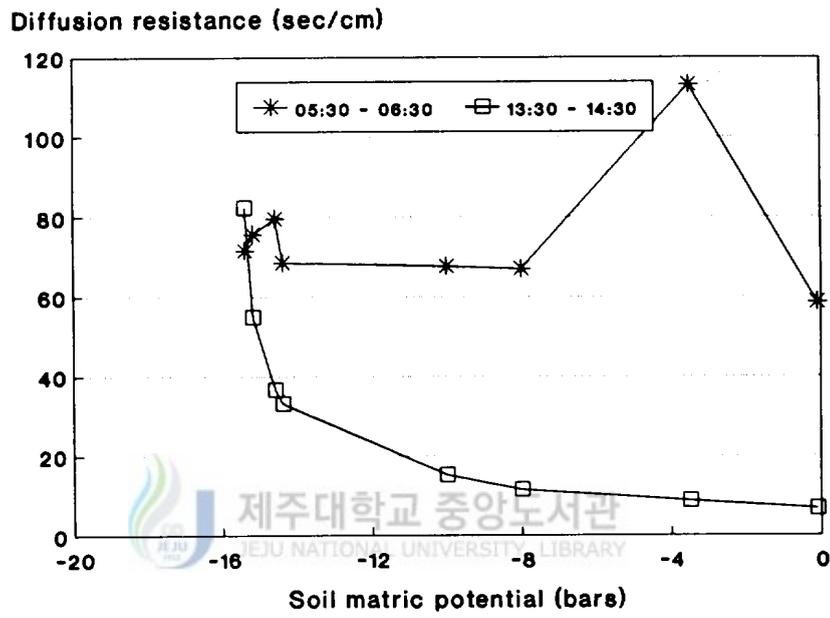


Fig. 10. Relationship between soil matric potential and leaf diffusion resistance at 05:30-06:30 and 13:30-14:30.

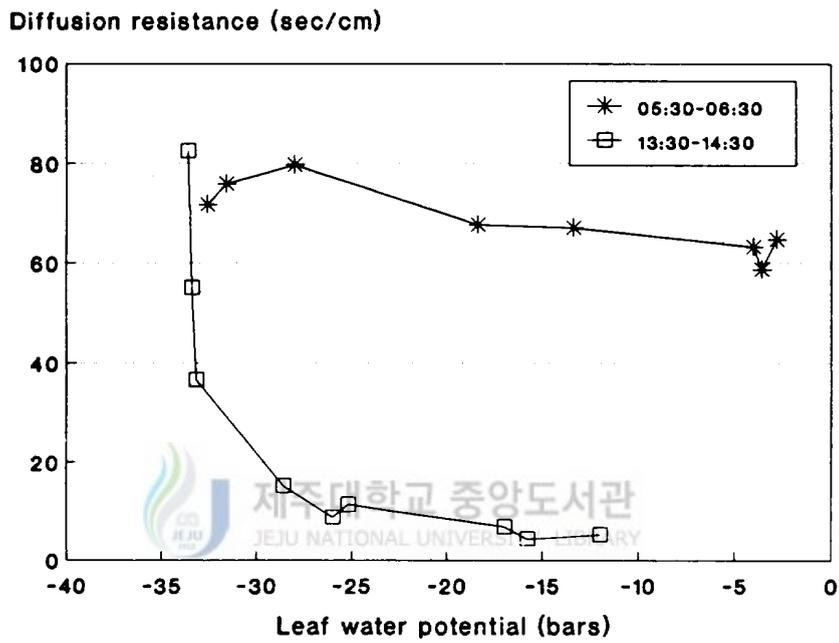


Fig. 11. Relationship between leaf water potential and diffusion resistance at 05:30-06:30 and 13:30-14:30.

IV. 摘 要

본 研究는 柑橘의 시설재배에서 토양수분이 잎수분 포텐셜(ψ), 확산저항 및 증산율에 미치는 영향을 밝히기 위하여 수행되었다. 토양수분 포텐셜은 시험 1과 동일한 방법으로 측정하였으며, 잎수분 포텐셜, 확산저항 및 증산율은 일정 토양수분 포텐셜로 유지된 施設, 노지 및 pot에서 측정하였다.

1. 잎수분 포텐셜과 有葉枝의 수분 포텐셜은 正의 相關 관계이었다 ($r=0.991^{**}$).

2. 잎수분 포텐셜은 노지 및 施設內에서 다같이 日出前(ψ_{max})에 가장 높았으며, 오후 2시경(ψ_{min})이 가장 낮았다. 토양수분 포텐셜이 -1 bar 내외로 유지된 노지 및 施設內 토양에서 ψ_{max} 은 -4 ~ -5 bar 이었으며, 토양수분 포텐셜이 -5 bar 내외로 유지된 시설내 토양에서 ψ_{max} 은 약 -21 bar 이었다.

3. pot에서 토양수분 포텐셜이 약 -0.1 bar로 유지된 경우 ψ_{max} 은 -2.8 ~ -4.0 bar 이었으며, ψ_{min} 은 -12 ~ -16.5 bar 이었다. 토양수분 포텐셜이 -15 bar 이하이었을 때 ψ_{max} 은 -33 bar 이하로 pressure chamber의 측정한계를 초과하였다.

4. 토양수분 포텐셜과 ψ_{max} 은 正의 상관 관계가 있었으며 ($Y=-0.89 + 1.85X$, $r=0.969^{**}$), 토양수분 포텐셜은 증산율과 正의 상관관계를, 확산저항과 負의 상관관계를 나타내었다.

5. 日出前 잎의 확산저항은 평균 53.7 ~ 68.6 sec/cm, 증산율은 평균 0.14 ~ 0.15 $\mu\text{g}/\text{cm}^2 \text{ sec}$ 로 토양수분 포텐셜에 따라 차이가 크지 않았다. 오후 1 ~ 2시경 토양수분 포텐셜이 약 -0.1 bar에서의 확산저항은 평균 5.2 sec/cm, 증산율은 평균 2.2 $\mu\text{g}/\text{cm}^2 \text{ sec}$ 이었으며, 토양수분 포텐셜이 -15 bar 이상에서의 확산저항은 14 sec/cm, 증산율은 약 0.20 $\mu\text{g}/\text{cm}^2 \text{ sec}$ 이었다.

V. 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. Boyer, J. S. 1967. Leaf water potentials measured with a pressure chamber. *Plant Physiol.* 42:133-137.
3. Boyer, J. S. 1968. Relationship of water potential to growth of leaves. *Plant Physiol.* 43:1056-1062.
4. 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.
5. 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.* 65:777-780.
6. Goode, J. E and K. H. Higgs. 1973. Water, osmotic and pressure potential relationships in apple leaves. *J. Hort. Sci.* 48:203-215.
7. 平野 曉. 1979. 温州ミカンにおける果實の大きさと糖及び酸含量との関係. *園藝學雜誌.* 48(2):162-168.
8. 廣瀬和榮. 1983. カンキツ類ハウス栽培の新技术. 誠文堂新光社. pp. 84-103.
9. 岩垣功, 加藤義昌. 1982. ウンシュウミカン果實の初期生長と品質との関係. *園藝學雜誌.* 51(3):263-269.
10. 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.

11. 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. 園藝學雜誌. 45(3):261-266.

12. 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. 園藝學雜誌. 45(4):329-334.

13. 町田裕, 間苧谷徹. 1974. 果樹の葉内水分不足に関する研究. (第1報) Pressure chamberによる温州ミカン葉の water potential の測定法について. 園藝學雜誌. 43(1):7-14.

14. 宮本久美, 中屋英治. 1990. ウンシュウミカンのハウス栽培における長期間の断水處理が根群分布, 果實品質および新梢發生に及ぼす影響. 園藝學雜誌. 59 (別2):40-41.

15. 森永邦久, 池田富喜夫. 1991. 高濃度 CO₂ がウンシュウミカンの光合成, 呼吸および物質生産に及ぼす影響. 園藝學雜誌. 60 (別1 [果樹]):22-23.

16. 森永邦久, 池田富喜夫. 1991. ウンシュウミカンの水ストレスが夏季の果實肥大に及ぼす影響および乾燥後の給水による光合成の回復について. 園藝學雜誌. 60 (別1):789

17. Roo, H. C. 1969. Leaf water potentials of sorghum and corn estimated with the pressure bomb. Agron. J. 61:969-970.

18. Donahue, R. L., R. W. Miller, and J. C. Shickluna. 1983. Soils - An introduction to soils and plant growth. Prentice - Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey 07632. pp. 46-207.

19. 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.

20. Wiebe, H. H. 1966. Matric potential of several plant tissue and biocolloids. Plant Physiol. 41:1439-1442.

21. Wiebe, R. H., B. D. Cleary. 1967. Plant moisture stress : evaluation by pressure bomb. Science 155: 1248-1254.

22. 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.



감사의 글

본 논문을 수행함에 있어서 指導를 아끼지 않으신 강순선 교수님께 감사드리며, 실험 계획부터 최종까지 성의를 다해 助言해주신 현해남 교수님께 먼저 감사의 뜻을 전합니다. 본 논문이 완성되기까지 많은 助言을 하여주신 농화학과 유장걸 교수님, 고정삼 교수님, 김찬식 교수님, 그리고 원예학과 한해룡 교수님, 백자훈 교수님, 문두길 교수님께도 감사를 드립니다.

또한, 총무처 위탁교육 2년 기간동안 배려를 해주신 제주도 농촌진흥원 신현욱 원장님, 송창훈 국장님께 감사드리며, 문재현 과장님, 식물환경과 동료직원들과 총무처 관계자, 제주도청 관계자분께 감사드립니다. 특히 총무처 위탁교육에 도움을 주신 강원국님께 감사의 뜻을 전합니다.

그리고 연구조사에 많은 도움을 주신 김창명, 김영효, 이신찬 연구사께도 감사드립니다.



실험을 수행하는데 실험기자재 이용를 허락해 주신 제주시험장 문덕영 과장님, 김한용 박사님, 김광식연구사, 그리고 분석하는데 많은 도움을 준 문두경 대학원생과 농화학과 조교선생께도 감사드립니다.

어려울때 마다 항상 웃으면서 격려해준 아내 차균향, 경호, 경혜, 그리고 언제나 염려해주신 어머님께 고마움을 깊이 세기며, 이 논문을 아버님 靈前에 바칩니다.