

석사학위논문

기온의 일교차와 CO₂사용이 조생온주의
생육과 광합성에 미치는 영향



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

제주대학교 대학원

원예학과

좌 성 민

1999년 12월

기온의 일교차와 CO₂시용이 조생온주의 광합성과 생육에 미치는 영향

지도교수 문 두 길

좌 성 민

이 논문을 농학 석사학위 논문으로 제출함



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

1999년 12월

좌성민의 농학 석사학위 논문을 인준함

심사위원장 _____
위 원 _____
위 원 _____

제주대학교 대학원

1999년 12월

**Effects of Diurnal Range of Temperature and
Enhanced CO₂ on Growth and Photosynthesis of
Early-Maturing Satsuma Mandarin**

Seong-Min Jwa

(supervised by professor Doo-Khil Moon)

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF AGRICULTURE

DEPARTMENT OF HORTICULTURE
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

1999. 12

목 차

Summary	1
I. 서언	3
II. 연구사	5
III. 재료 및 방법	9
1. 공시재료와 관리	9
2. 온도관리	9
3. 이산화탄소공급	10
4. 생육조사	11
5. 광합성측정	12
6. 현미경관찰	12
IV. 결과 및 고찰	14
1. 발아일과 개화일	14
2. 잎의 발달	15
3. 화기 발달	17
4. 착과	18
5. 과실 생육과 과즙성분	20
6. 후기 낙엽	28
7. 광합성	29
V. 적요	34
VI. 참고문헌	36



Summary

In order to confirm the effect of CO₂ enrichment on malformation of leaf and fruit caused by large diurnal range in air temperature, 4-year old 'Miyagawa Early' and 'Okitsu Early' satsuma mandarin trees in pot were grown in 3 different phytotron rooms of diurnal range of 7°C without control of CO₂, diurnal range of 14°C (same minimum temp. as the former and higher maximum temp.) without control of CO₂, and diurnal range of 14°C with CO₂ of 1,200 μL · L⁻¹. The various growth responses were observed.

The results obtained are summarized as follows;

1. Large diurnal range with high max temp accelerated bud-break and full-bloom by 2 and 9 days, respectively. CO₂ enrichment delayed full-bloom by one day.
2. Large diurnal range resulted in small and narrow leaf, while CO₂ enrichment caused the leaf to become larger.
3. The weight of flower and ovary was reduced by the large diurnal range, but the effect was alleviated by CO₂ enrichment.
4. Almost all fruits dropped in 20 days after full-bloom in the room of large diurnal range, but CO₂ enrichment delayed fruit drop and increased the final number of fruits per tree.

5. Large diurnal range and CO₂ enrichment increased fruit size, especially fruit length, and peel thickness. The swollen stalk end caused by large diurnal range was not corrected by CO₂ enrichment. The excessive elongation of cells in peel seemed to be responsible for the swollen stalk end.
6. CO₂ enrichment tended to increase the brix-acid ratio of fruit juice.
7. Increased defoliation during fruit maturation resulted from CO₂ enrichment.
8. CO₂ enrichment increased the photosynthetic rate by 2.5 times, and tended to increase the stomatal conductivity and transpiration rate.



I. 서 언

감귤 시설재배는 겨울철 저온기에 가온하여 수확기를 앞당기는 재배방식으로 과실공급기간의 연장과 더불어 좋은 품질의 과실생산이 가능하다는 이점 때문에 1990년대에 들어와 재배면적이 급증하여 1997년도에는 554ha에서 2만 7천여톤이 생산되어 그 조수익은 총감귤조수익의 21.2%인 850여억원에 이를 정도로 증가하였다(제주농협지역본부, 1997).

겨울철 저온기에 가온하는 시설내 광합성 환경은 밀폐된 구조적 특성 때문에 CO₂의 농도가 대기중보다 저하되기도 하고(渡部 등, 1991), 피복자재의 광투과성이 불량하여 일사량이 외부에 비하여 1/2로 줄어든다(森永등, 1991a). 이와 같이 불량한 광합성환경에서는 가온을 하여도 높은 광합성을 기대하기는 어렵다. 시설재배는 고품질의 과실을 생산하는 것을 목표로 하기 때문에 고온 조건에서 조기에 과실비대를 촉진시킬 필요가 있다. 또 고온은 당을 증가시키고 산을 감소시키는 효과가 크므로 시설재배에서는 어느 정도 고온을 유지할 필요성이 있다. 하지만 시설내에서 고온의 유지는 생리낙과를 조장한다. 특히 일사량이 부족하여 광합성이 낮은 흐린날에는 고온을 유지하면 일시에 많은 양의 생리낙과가 발생할 수 있다.

감귤시설재배에서는 기온의 일교차가 크면 잎과 과실이 기형화된다는 점이 알려져 있는데 일부 재배가들은 기온의 일교차에 의한 잎 또는 과실의 기형화를 CO₂시용으로 막을 수 있다고 주장하고 있다.

이 연구에서는 기온의 일교차가 컸을 때 생기는 조생온주의 생리장해가 고농도 CO₂시용으로 경감될 수 있는지를 알아보기 위하여 인공환경조절실을 이용하여 관행적으로 온도를 관리하고 CO₂농도를 자연상태로 방치한 관행 관리실, 최저온도는 관행과 같게 하면서 주간온도를 높여 일교차를 크게 하면서

CO₂농도는 자연상태로 방치한 고온관리실, 일교차를 크게 하면서 CO₂농도를 높게 유지한 고온고농도CO₂실 등으로 나누어 온도와 CO₂농도를 조절하면서 화분에 심은 궁천조생과 홍진조생을 각 실에서 재배하면서 생육반응을 관찰하였으며 또한 광합성 반응도 측정하였다.



II. 연구사

기온과 토양온도가 낮으면 감귤의 개화가 많아지는데(Poerwanto 등, 1989), 고온으로 관리하면 착화수가 적어지고, 발퇴후에 고온에서 관리하면 생육이 빨라지게 되지만 꽃이 충실하지 못하고(川野, 1988), 기온이 30℃를 넘으면 유과의 과경부가 비대해져서 기형과가 발생한다(川野, 1988; 松木, 1982; 谷口, 1979). 온도가 높을 수록 발아가 보다 일찍 일어나고(Inoue와 Harada, 1988; 谷口, 1979) 개화 이전 30℃~35℃사이의 고온에서는 암술과 암술대 및 꽃잎과 자방은 현저하게 작아지고 약해진다(Takagi 등, 1982).

CO₂가스는 광합성속도를 결정하는 중요한 제한인자 중의 하나이다. 대부분의 작물은 대기중의 CO₂농도보다 높은 농도에서 CO₂포화가 일어난다. 대기중의 CO₂농도는 산업혁명 이전에는 280 μL · L⁻¹ 정도였으나 1900년대에 접어들면서 화석연료의 사용이 급증함에 따라 점점 높아져 1988년에는 350 μL · L⁻¹를 나타내 최근 100년동안에 70 μL · L⁻¹ 정도가 증가하였다(Allen, 1990). 산림지, 초지, 작물이 재배되고 있는 경작지등에서의 CO₂ 농도 일변화는 주간에 낮고 야간에 높아지며 일출전에 최고치에 도달한다. 포장에서의 CO₂ 농도 일변화는 기후에 의해 변화하는데 우천일, 구름긴 날, 맑은 날 순서로 낮게 되지만 대기중 농도가 20% 이상 변화하지는 않았다(小野, 1987). 년중변화는 식물의 생육이 가장 왕성한 시기인 4-9월경에 가장 낮는데(小野, 1987), 이때는 식물에 의한 광합성작용으로 고정되는 CO₂량이 식물이나 토양으로부터 방출되는 CO₂양보다 많아 대기중의 CO₂농도가 연평균 보다 낮게 나타난다(失吹, 1985).

시설내의 CO₂농도도 밀폐된 구조 때문에 특징적인 변화를 보인다. 3월 맑은 날 제주도의 감귤시설재배에서는 오전 9시까지는 CO₂농도가 800 μL · L⁻¹ 이상 유지되고 9시이후부터 온도가 상승하여 환기가 시작된 후에는 약 400

$\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 정도로 유지되었다(문등, 1998). 이 농도는 서서히 감소하여 최저 $300 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 까지 내려갔다가 환기가 정지된 이후에 다시 서서히 증가하였다. 흐린 날은 약한 광조건($75 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)으로 인하여 시설내의 기온이 $17 \pm 1^\circ\text{C}$ 정도에서 변하지 않아서 CO_2 농도는 아침에는 $900 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 정도이고 낮에도 별로 변화없이 $700 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 정도가 유지되었다. 환기를 하지 않은 맑은 날에는 CO_2 사용을 하지 않는 밀폐된 시설의 경우 CO_2 가 부족하여 기아현상이 나타나고 $200 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 이하로 낮아지기도 한다(渡部 등, 1991).

대부분의 작물에서 CO_2 농도가 2배 증가할 때 저온(5°C)에서는 생육이 감소하고, 고온(34°C)일 때 생육이 30%(초본류 34%, 목본류 26%) 증진되었다(Kimball 등, 1993).

Sour orange(*Citrus aurantium* L.)는 대기중의 CO_2 농도를 2배 증가시킬 경우 미세근(fine-root biomass)과 가지부피와 줄기길이를 종합한 결과 3.8의 지수로 나무 생육이 증가되었다(Idso와 Kimball, 1992). 온주밀감의 경우 개화전에 일출전부터 2~3시간동안의 CO_2 사용은 과실비대와 수량증가의 효과가 있음이 인정되었으며(加美 등, 1996a), 감귤유과기(6월3일)부터 CO_2 가스 $1500 \sim 2000 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 사용으로 과즙중의 당도가 증가되고 한나무당 수량이 증가되었으나 과실비대에는 차이가 없었다(谷口 등, 1993).

CO_2 사용이 생장증가 또는 수량증가를 가져온다는 것은 포도(黑岡 등, 1990; Yamamoto 등, 1992), 상추(Imazu 등, 1967b), 딸기(정과 용, 1996), 참외(신 등, 1998), 토마토(이, 1991; Islam 등, 1995), 가지(Imazu 등, 1967a) 등 여러 작물에서 실증되었다.

CO_2 농도를 일반대기의 3배정도 높인 경우, 일반대기조건의 광합성속도보다 밀감은 2.7배, 사과는 2.2배, 복숭아와 비파에서는 2.0배, 일본배에선 1.4배로 광합성이 촉진되었다(鴨田, 1988). 대기중 농도보다 $300 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 를 더 증가시키면 히아신스(*Eichhoria crassipes*(Mart.) Solms)는 약 1.4배, 면화(*Gossypium hirsutum* L.)는 약 1.8배, 대두(*Glycine max* L.)는 평균 1.6배 광합성이 증가되

었다(Idso, 1991). 감귤의 CO₂포화점은 PPF 1500 $\mu\text{mol m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 온도 25~30°C 조건에서 2500 $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 알려져 있는데 2500 $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 에서는 300 $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 에 비하여 광합성속도가 5배 증가했다(森永과 池田, 1991b).

확산저항의 역수인 기공전도도는 광합성속도에 영향을 미치는 중요한 내적 요인이다. 일반적으로 CO₂농도가 증가하면 기공전도도는 감소한다고 알려져 있다. 포플라(Jurik 등, 1984), 토마토(이와 이, 1994), 생강(현 등, 1998) 등에서 기공전도도가 감소하여 엽온이 증가하고 수분이용효율(water use efficiency)이 증가하였다. 대부분의 식물들은 평균적으로 CO₂농도가 2배 증진될 때, 기공전도도가 37%감소하고 이것은 엽온을 1°C 증가시켰다(Kimball, 1993). Sour orange(*Citrus aurantium* L.)의 경우는 CO₂사용에 따른 기공전도도 저하반응이 둔감하다(Idso, 1991).

토마토에 CO₂를 장기간 사용하면 엽내 전분이 집적되었으며 엽내 엽록소 함량과 가용성단백질이 감소되었고, 광합성효소(RUBISCO)활성이 저하되었는데 이들 요인들의 변화는 토마토 잎의 노화를 촉진시켜서 CO₂사용 효과가 후기까지 지속되지는 않았다(이, 1991).

감귤 광합성속도의 일변화는 맑은 날인 경우에 오전 9시부터 10시에 가장 빨랐으며 12시에서 14시에 느려졌다가 15시부터 16시 사이에 일시 상승하였다(本條과 山本, 1990; 송, 1995; 문 1998). 신엽이 구엽보다 광합성율이 높지만 신엽이 전개하는 동안에는 구엽의 광합성율이 높았다. 발아후 2개월되는 시기에는 생육기간중 최대광합성을 보이고 발아후 18개월동안 비교적 빠른 광합성속도를 유지하였는데 겨울철과 같은 저온기에는 광합성속도가 느려졌다(本條과 山本, 1990). 하지모지는 춘지모지에 비해 광합성속도가 현저히 빨랐으며(加美 등, 1996b), 신엽의 광합성속도는 RUBISCO활성과 일치하는 경향($r=0.736$)을 보였으나 구엽의 광합성속도는 RUBISCO의 활성과 상관($r=0.344$)이 낮았다(平塚 등, 1990).

이상과 같이 기온에 대한 온주밀감의 생육반응이나 CO₂농도에 대한 광합성

및 생육 반응에 대한 보고는 많으나 일교차를 크게 하면서 CO₂농도를 증가시켰을 때의 광합성 또는 생육반응에 대한 연구결과는 보고된 바 없다.



Ⅲ. 재료 및 방법

제주대학교 감귤화훼과학기술센터의 인공환경조절실(phytotron)을 이용하여 ①주야간 일교차를 7℃로 유지하면서 자연상태의 대기중 탄산가스가 공급되는 관행관리실(SS), ②주간온도를 높여 주야간 일교차를 14℃로 유지하면서 자연상태의 대기중 탄산가스가 공급되는 고온관리실(HS), ③주간온도를 높여 14℃의 주야간 일교차를 유지하면서 낮동안의 탄산가스농도를 1,000~1,400 μ L · L⁻¹유지한 고온고농도CO₂실(HC) 등 3개의 환경조절실에서 조생은주 유목을 재배하면서 여러 가지 생육반응을 조사하였다.

1. 공시재료와 관리

화분에 심은 4년생 궁천조생(*Citrus unshiu* Marc. cv. 'Miyagawa Early')을 1999년 1월20일에 환경조절실당(처리당) 4수씩 옮겨 재배하였다. 역시 화분에 심은 4년생 흥진조생(*Citrus unshiu* Marc. cv. 'Okitsu Early')을 SS 실에서 관리하다가 개화후 10일째 되는 3월 2일에 처리당 3수씩 옮겨 재배하였다.

재배관리는 발아촉진을 위하여 가온 4일째되는 날 BA 60mg/L를 살포하였으며 상대습도 80%~90%로 다습하게 관리하다가 발아후 상대습도를 약 70%로 내렸다. Hyponex 2000배를 1회 엽면시비하고 4회의 응애방제를 실시하였으며 초기 화분당 매일 물 1,000ml를 공급하던 관수량을 과실이 약 40mm정도 비대해진 후(4월 21일)에 1/2로 줄여서 관수하였다.

2. 온도관리

온도관리는 야간 최저온도를 3처리 alike 유지하면서 주간온도를 변화시켜 일교차가 7℃ 또는 14℃ 되도록 하였는데 중요시점에서의 처리별 온도는 표 1에서 보는 바와 같았다. 온도의 일변화를 기록한 예는 그림 1(3월 10일)과 같다.

Table 1. Temperature treatment during the experiment

Treatment ^z		SS			HS and HC			Remarks ^y
		Max. Temp (°C)	Min Temp (°C)	RH (%)	Max. Temp (°C)	Min Temp (°C)	RH (%)	
Date								
Jan.	21	21	14	90	28	14	90	Heating
	26	25	18	90	32	18	90	
	30			90			90	Bud break
Feb.	4	23	16	70	30	16	70	
	20							Full bloom
Mar.	10	27	20	70	34	20	70	
	16				35	21	70	
Apr.	4				35	23	70	
	19				35	24	70	
	21	30	23	70				
May	10	31	24	70	35	23	70	
Jun.	14	30	23	70				
Jul.	20	29	22	70	34	22	70	Coloring
	25	27	20	70	32	20	70	
	29	25	18	70	32	18	70	
Aug.	21							Harvest

^zSS : Standard diurnal range of 7°C and ambient CO₂, HS : Diurnal range of 14°C with higher maximum temperature and ambient CO₂, HC : Diurnal range of 14°C with higher maximum temperature and CO₂ enrichment.

^yGrowth stage in the room of SS.

3. 이산화탄소공급

이산화탄소분석기(ZRC model, Fuji Electric. Co., Japan)를 장착한 이산화탄소조절기(동양전기화학, 한국)로 초기에는 매일 24시간, 3월 2일 이후는 6시부터 18시까지 하루 12시간 액화탄산가스를 희석하여 1200 ± 100 μL · L⁻¹(ppm)의 농도로 조절하면서 공급하였다.

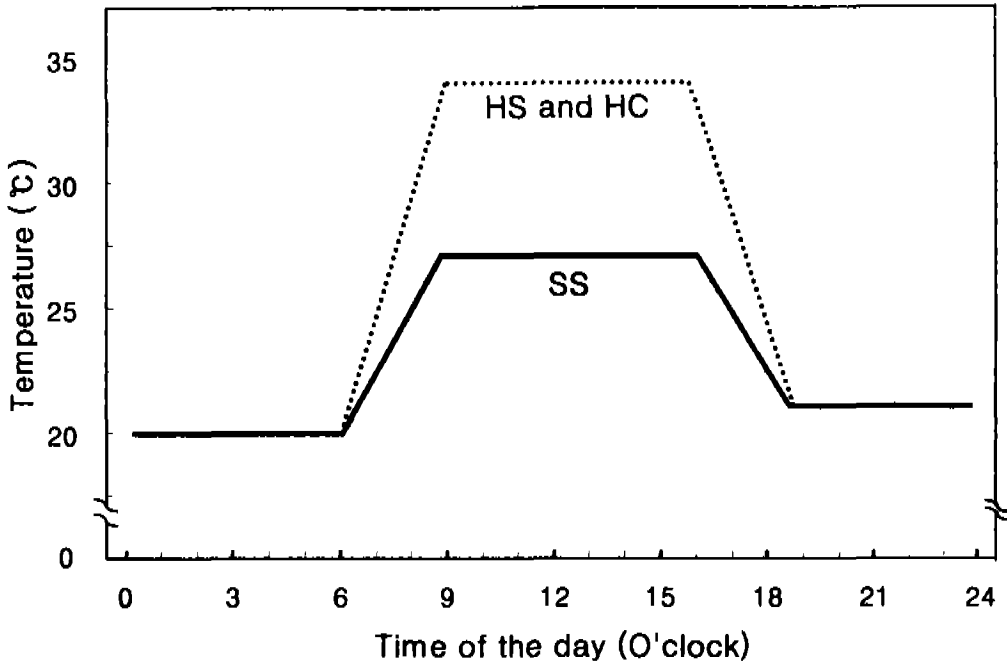


Fig. 1. An example of diurnal changes in room temperature observed on March 10.
See Table 1 for the explanation of SS, HS, and HC.

4. 생육조사

눈의 60%가 3mm정도 자란 시기를 발아일로 하였으며 80%의 꽃이 개화한 시기를 만개일로 보았다. 처리마다 만개기에 화분당 8개의 꽃을 따서 먼저 꽃 무게를 재고, 꽃잎을 제거한 후에 자방무게를 측정하였으며 낙과량과 낙엽수는 화분에 넓은 망을 설치하여 매일 떨어진 꽃수와 엽수를 조사하였다. 과실 크기는 1999년 5월 10일부터 15일 간격으로 횡경을 측정하였으며 종경은 5월 10일부터 30일 간격으로 측정하였다. 신엽은 잎이 굳어진 후에 폭과 길이를 측정하여 잎의 형태를 조사하였다. 8월 23일 과실을 모두 수확하여 과실의 무게, 과육무게, 과피두께, 과즙의 당도와 산함량을 측정하였다. 당도는 휴대용

당도계를 이용하여 그리고 산함량은 0.1N NaOH로 적정하여 구연산 함량으로 환산하였다.

5. 광합성측정

가온 20일 후부터 약 한달동안 궁천조생 결과모지 구엽에 대해 휴대용광합성측정장치(Li-6400 portable photosynthesis system, Li-cor, USA)로 인공광원을 이용하여 광합성유효광자밀도(PPF)를 변화시키면서 광합성속도를 측정하였다. 흐린날과 맑은 날에 각각 오전, 오후를 구분하여 처리당 3회 측정하였으며 오전값과 오후값을 평균한 값으로 나타내었다. 오전측정은 10시부터 12시까지 오후측정은 15시부터 16시 30분까지 수행하였다. 오전 3시간대(첫 번째 시간대:10시~10시40분, 두 번째 시간대:10시 40분~11시 20분, 세 번째 시간대:11시 20분~12시)과 오후 3시간대(첫 번째 시간대:15시~15시 30분, 두 번째 시간대:15시 30분~16시, 세 번째 시간대:16시~16시 30분)로 시간범위를 구분하여 각 처리마다 모든 시간대에서 한번씩 측정되도록 하였다.

가온 4개월 후인 단수처리시기에 자연광조건에서 궁천조생잎의 광합성속도를 흐린 날과 맑은 날로 구분하여 각각 3일씩 측정하였다. 처리구마다 매일 신엽 4매, 구엽 4매의 광합성속도를 조사하였다. 측정시간은 오전 10시부터 12시까지 2시간을 3시간대(첫 번째 시간대:10시~10시 40분, 두 번째 시간대:10시 40분~11시20분, 세 번째 시간대:11시 20분~12시)로 구분하여 각 처리가 모든 시간대에서 1회씩 측정되도록 하였으며 3일 자료를 평균하였다.

6. 현미경관찰

FAA용액(40% Formaldehyde 10ml + Glacial acetic acid 5ml + 95% Ethyl alcohol 50ml + D.W. 35ml)에 3mm×12mm정도의 면적으로 자른 과피와 잎을 침지시켜 24시간동안 상온에서 유지하여 고정한 후에, 흐르는 물로 하루동안 수세를 시키고 자일렌과 에틸렌 혼합시리즈 4단계(①Absolute ethyl alcohol

75 : xylene 25, ②Absolute ethyl alcohol 50 : xylene 50, ③Absolute ethyl alcohol 25 : xylene 75, ④ethyl alcohol 0 : xylene 75)로 각각 2시간씩 흔들어 주면서 탈수시켰으며, 탈수과정후에는 재료를 담긴 용기에 xylene과 10%의 chloroform(v/v to xylene) 혼합용매를 넣은 후 액체상태의 파라핀을 조금 넣어서 건조기에 넣고 온도를 53℃로 설정한 후 12시간마다 액상파라핀농도를 높이다가 마지막에는 100% 파라핀 원액으로 파라핀을 침투(infiltration)시킨 후, 포매(embedding)시키고 마이크로톰(microtome)을 이용하여 12 μ m두께로 자른 후에 염색약(헤마톡실린, 사프라닌, 라이트그린, 패스트그린 시리즈)으로 염색하여 광학현미경(LEICA, GERMANY)으로 미세구조를 관찰하였다(농촌진흥청, 1997).



IV. 결과 및 고찰

1. 발아일과 개화일

표 2는 가온개시기부터 기온의 일교차와 CO₂ 농도를 달리하여 궁천조생의 발아일과 만개일 그리고 낙화일을 조사한 결과이다. 온주밀감 시설재배에서 일반적으로 유지하는 7℃의 일교차로 기온을 조절하고 CO₂ 농도를 자연상태의 대기중 농도로 유지한 처리구에서는가온에서부터 발아, 만개 및 낙화까지 각각 9, 30, 34일이 소요되었는데 비하여 최저온도는 SS와 같으면서도 최고온도를 높여 14℃의 일교차를 유지한 HS처리구(자연상태의 대기중 CO₂ 농도)에서는 발아는 2일, 만개 및 낙화는 9일 앞당겨졌다. 일교차를 크게하고 CO₂ 농도를 1200 μL · L⁻¹ 수준으로 사용한 HC 처리구에서는 HS 처리구에서 보다 개화가 1일 늦어졌다. 谷口(1979)는 온주밀감의 시설재배에서 생육온도조건을 가온개시기부터 만개기까지 최고온도를 25℃, 30℃, 35℃로 유지한 결과 고온



Table 2. Effect of diurnal range of temperature and CO₂ enrichment on the date of bud break and flowering in 'Miyagawa Early' satsuma mandarin

Treatment ²	Date of bud break	Date of full bloom	Date of flower abscission
SS	Jan. 30 (9)	Feb. 20 (30)	Feb. 24 (34)
HS	Jan. 28 (7)	Feb. 11 (21)	Feb. 13 (23)
HC	Jan. 28 (7)	Feb. 12 (22)	Feb. 14 (24)

Figures in parenthesis indicate the number of days after heating.

²See Table 1 for the explanation of treatments.

일수록 발아나 개화가 촉진되었다고 보고하였다. HS처리구에서 발아 및 개화가 촉진된 것은 일교차 자체의 영향이라기보다 일교차를 크게 하기 위하여 주간온도를 높였기 때문에 고온에 의하여 촉진된 것으로 판단된다. CO₂ 농도를 높게 유지하면 개화가 지연된다는 것은 국화에서 보고된 바 있는데(Tanigawa 등, 1993) HS처리구에서 보다 HC처리구에서 개화가 1일 늦은 것은 높은 CO₂ 농도의 영향이라고 생각된다.

2. 잎의 발달

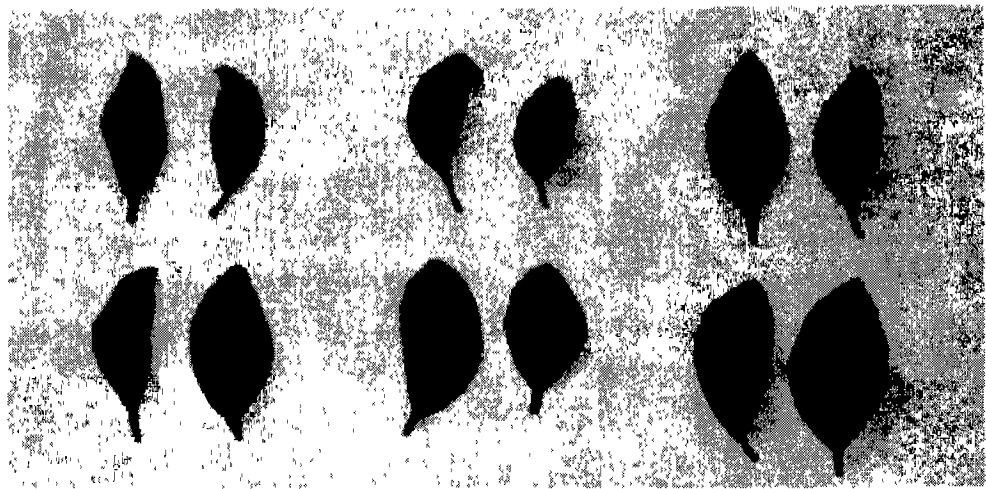
궁천조생 잎의 길이는 일교차가 크면 짧아지는 경향이었지만 통계적 유의성은 인정되지 않았고 CO₂ 시용에 의해서는 유의하게 길어졌다(표 3). 잎의 폭은 큰 일교차에 의해 유의하게 감소되었으나 그 영향은 CO₂ 시용으로 상쇄되었다. 그 결과 잎폭에 대한 잎길이의 비율로 나타낸 잎모양지수는 큰 일교차에 의해 유의하게 증가되었지만 그 증가량은 CO₂ 시용으로 줄어들었다. 또한 잎의 전반적인 크기는 HC, SS, HS 처리구 순이었다(그림 2). 만개후 10일부터 처리를 받은 홍진조생 잎도 큰 일교차에 의해 폭이 유의하게 감소되었고

Table 3. Effect of diurnal range of temperature and CO₂ enrichment on the leaf development in 'Miyagawa Early' satsuma mandarin

Treatment ²	Length (mm)	Width (mm)	$\frac{\text{Length}}{\text{Width}} \times 100$
SS	77.2 b ^y	40.2 a	190.7 c
HS	75.8 b	34.3 b	222.7 a
HC	84.9 a	42.18 a	202.8 b

²See Table 1 for the explanation of treatments.

^yMean separation by DMRT, 5% level.



HS

SS

HC

Treatment^z

Fig. 2. Photograph showing leaf development of 'Miyagawa Early' satsuma mandarin as affected by different diurnal range of temperature and CO₂ enrichment.

^zSee Table 1 for the explanation of treatments.

Table 4. Effect of diurnal range of temperature and CO₂ enrichment on the leaf development in 'Okitsu Early' satsuma mandarin

Treatment ^z	Length (mm)	Width (mm)	$\frac{\text{Length}}{\text{Width}} \times 100$
SS	67.8 a ^y	43.6 a	156.8 a
HS	78.8 a	37.2 b	212.7 a
HC	71.3 a	42.9 a	167.0 a

^zSee Table 1 for the explanation of treatments.

^yMean separation by DMRT, 5% level.

그 감소는 CO₂ 시용으로 상쇄되었다(표 4). CO₂ 시용이 잎의 발육을 좋게 한다는 것은 sour orange(Idso 등, 1993과 1995), 국화(Tanigawa 등, 1993), 상추와 가지(Imazu 등, 1967a와 1967b)등에서 보고되었다.

3. 화기발달

그림 3은 만개일에 조사한 궁천조생의 꽃과 자방무게를 나타낸 것이다. SS 처리구가 자방과 꽃무게가 가장 무거웠고 HS 처리구에서 가장 가벼웠으며 HC 처리구는 중간이었다. 谷口(1979)는 고온처리에서 만개시 자방발육이 불량

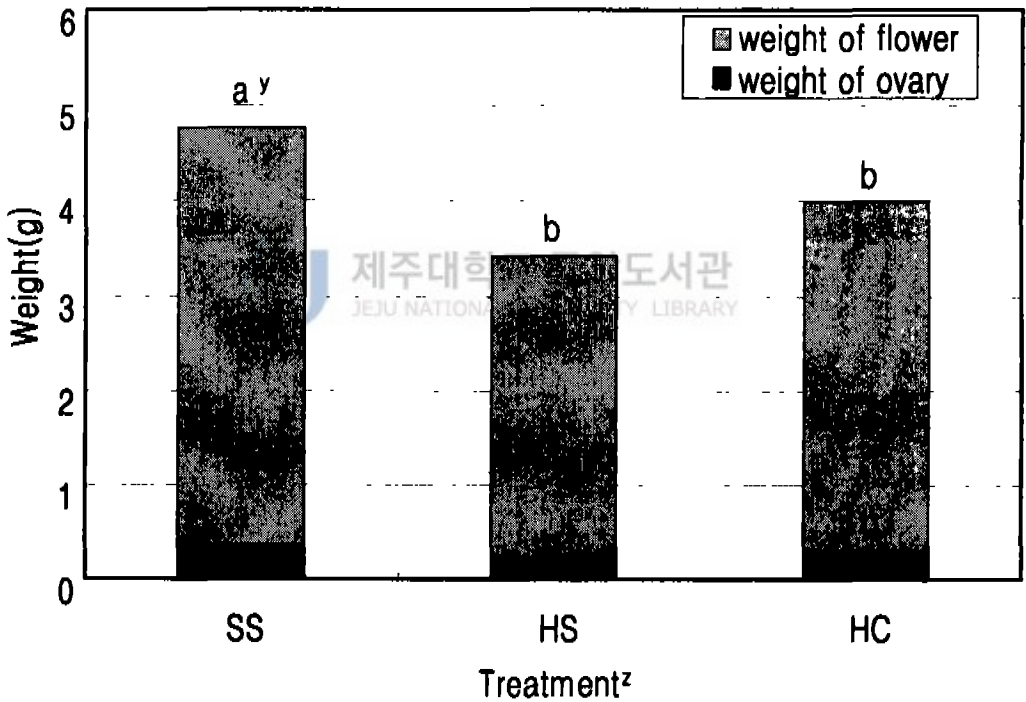


Fig. 3. Effect of the diurnal range of temperature and CO₂ enrichment on the development of ovary and flower in 'Miyagawa Early' satsuma mandarin.

^zSee Table 1 for the explanation of treatments.

^yMean separation by DMRT, 5% level.

하고 종경이 긴 요고과 발현이 조장되었다고 보고하였다. 고온은 발아와 개화 일을 앞당겨서 자방과 꽃의 발육을 불량하게 만들었으나 CO₂시용은 자방과 꽃의 발육을 증진시켰다고 판단된다.

4. 착과

궁천조생에서 만개후 30일간 일별 낙과율로 나타낸 낙과과상을 보면(그림 4), SS 처리구에서는 만개기부터 시작하여 25일 이후까지 낙과가 계속되었는데 비하여 HS 처리구에서는 만개기부터 낙과율이 높아 20일 이전에 거의 모든 과실이 낙과되었으며 HC 처리구에서는 만개후 4일까지는 낙과가 거의 없

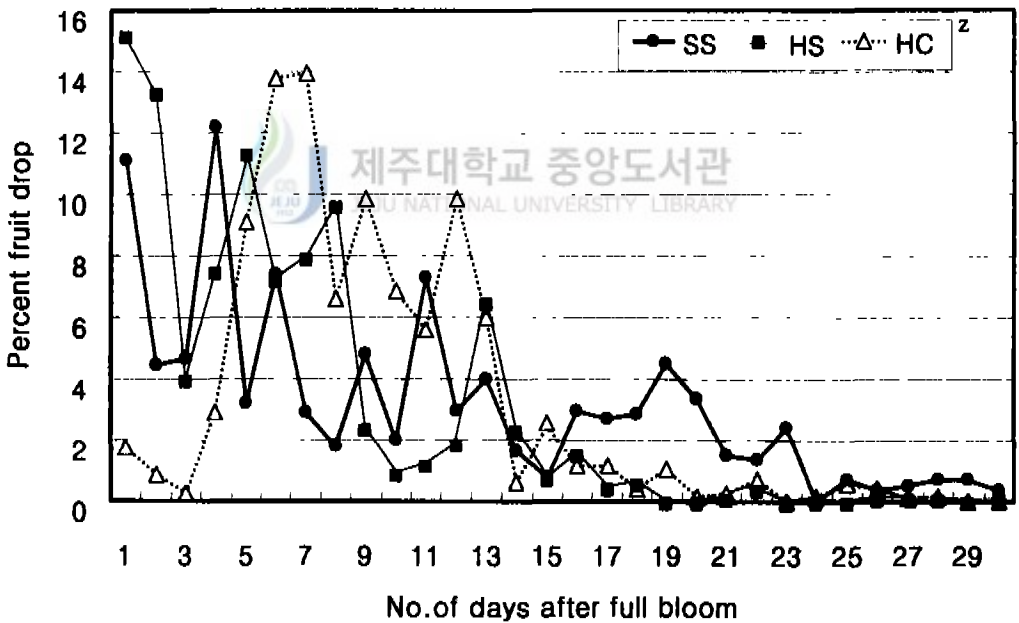


Fig. 4. Changes in daily fruit drop in 'Miyagawa Early' satsuma mandarin as affected by the different diurnal range of temperature and CO₂ enrichment.

²See Table 1 for the explanation of treatments.

Table 5. Effect of diurnal range of temperature and CO₂ enrichment on fruit setting in 'Miyagawa Early' satsuma mandarin

Treatment ²	Percent fruit setting	No. of fruits per tree
SS	1.37	5.50
HS	0.36	1.25
HC	1.52	5.00

NS within column.

²See Table 1 for the explanation of treatments.

었다가 이후 10여일간 낙과율이 높아졌으며 만개 20일 이후의 낙과는 극히 적었다. 최종 착과율은 SS와 HC 처리구에서는 1.5% 정도였으나 HS처리구에서는 0.4% 이하였다(표 5). 또한 나무당 착과수가 SS와 HC 처리구에서는 5과 정도였으나 HS 처리구에서는 1과 정도였다.

만개후 10일부터 처리한 홍진조생의 경우(그림 5) HS처리구에서는 과실이 모두 떨어져 버렸으며 SS와 HC 처리구에서는 나무당 각각 5.7, 3.7과씩 달렸다.

궁천조생과 홍진조생에서 다 같이 고온에 의한 낙과조장효과가 CO₂사용으로 어느 정도 상쇄되었다.

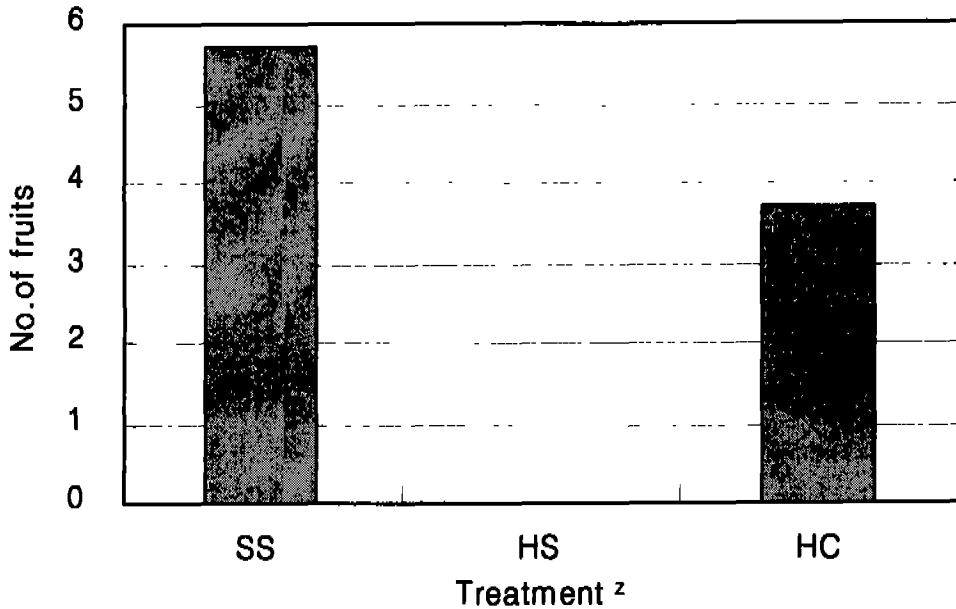


Fig. 5. No. of fruits per tree in 'Okitsu Early'satsma mandarin as affected by the different diurnal range of temperature and CO₂ enrichment. NS among treatments.

²See Table 1 for the explanation of treatments.

5. 과실생육 및 과즙성분

발아전부터 처리한 궁천조생의 과실크기와 과형지수는 표 6에 나타내었다. SS 처리구에 비하여 HS나 HC 처리구에서 과실이 커졌는데 특히 종경이 길어져 종경에 대한 횡경의 비율로 나타낸 과형지수가 낮아졌다. HS 처리구에서 과실이 커진 것은 온도의 영향이라기 보다는 착과수가 적었기 때문이라고 볼 수 있다. 그러나 과형지수가 낮고 요고과(그림 7)로 된 것은 기온의 일교차가 컸기 때문이라고 할 수 있다. HC 처리구의 착과수는 SS 처리구의 착과수와 차이가 없었기 때문에(표 4) HC 처리구에서의 과실 크기증가는 CO₂사용 효과(加美 등, 1996a)라고 판단된다. 그러나 CO₂ 사용이 기온의 일교차가 크기 때문에 생기는 종경 신장 촉진과 요고과 발생을 억제하지는 못하였다.

Table 6. Effect of diurnal range temperature and CO₂ enrichment on the fruit size in 'Miyagawa Early' satsuma mandarin

Treatment ^z	Length (mm)	Width (mm)	Shape index ^y
SS	54.5 b ^x	71.9 a	132 a
HS	74.4 a	73.5 a	99 b
HC	76.2 a	77.5 a	102 b

^zSee Table 1 for the explanation of treatments.

^y(Width/Length) × 100.

^xMean separation by DMRT, 5% level.

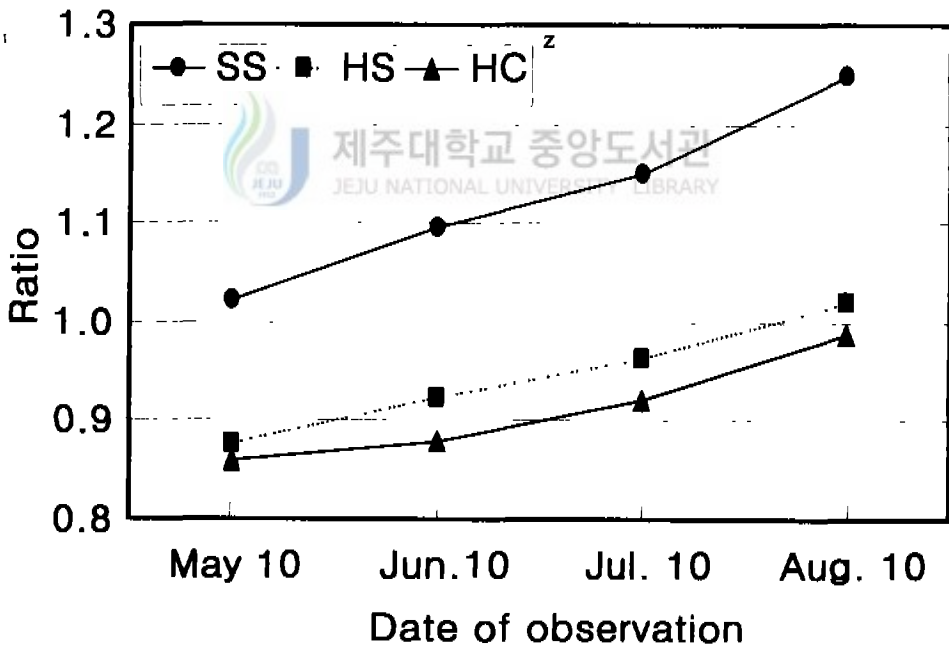


Fig. 6. Changes in the ratio of fruit width to fruit length in 'Miyagawa Early' satsuma mandarin as affected by the different diurnal range of temperature and CO₂ enrichment.

^zSee Table 1 for the explanation of treatments.

궁천조생의 과형지수 변화를 보면(그림 6), 만개 3개월후인 5월 10일에 이미 SS처리구와 HS 또는 HC 처리구 사이에 과형지수 차이가 생겼으며 이후 모든 처리구에서 과형지수가 꾸준히 증가하였으나 처리간 차이는 더욱 벌어졌다.

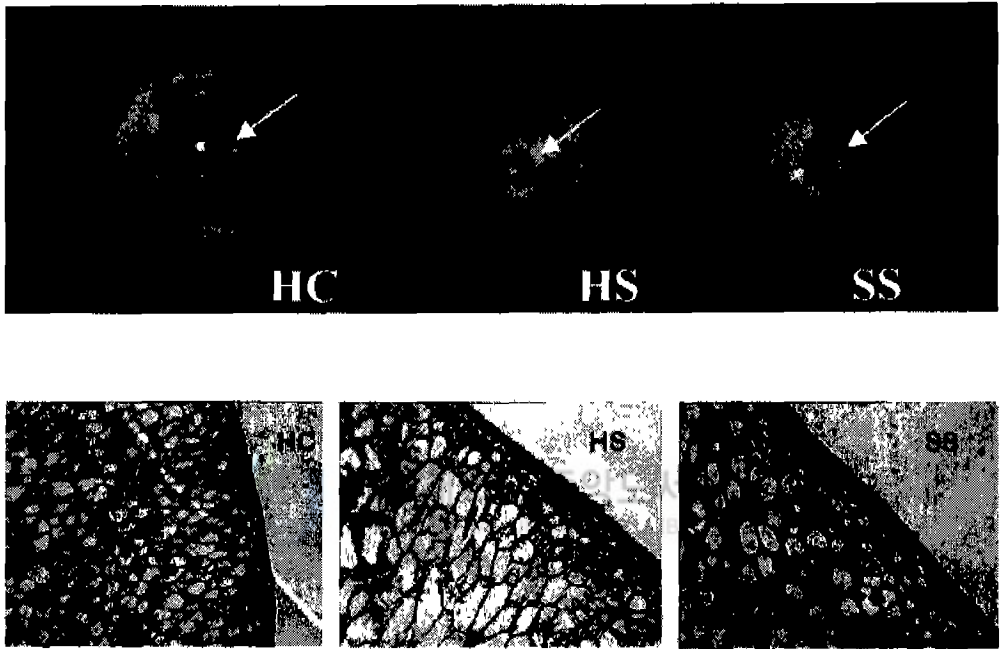


Fig. 7. Microphotograph(200×) showing cells of outer peel close to stem end in 'Miyagawa Early' satsuma mandarin.

See Table 1 for the explanation of HC, HS, and SS.

광학현미경(200배)으로 과경부 과피세포를 관찰한 결과(그림 7), 과경부가 평평한 SS 처리구 과실의 표면 3~4층의 세포들은 크기가 작고 치밀하게 배열되어 있으며 그 안쪽 세포들은 동그란 모양을 하고 있는데 비하여 요고현상

이 뚜렷한 HS 처리구 과실의 표면은 1~2층의 세포들이 작고 치밀하게 배열되어 있으며 그 안쪽 세포들은 길쭉길쭉한 모양을 하고 있는데 크기가 요고현상이 없는 SS 처리구 과실의 그것보다 훨씬 컸다. 따라서 요고현상은 과경부 부근 과피세포의 신장결과라고 생각된다.

표 7은 만개 10일 후부터 처리한 흥진조생 과실의 종경과 횡경 및 과형지수를 나타낸 것이다. 기온의 일교차를 크게 하고 CO₂를 시용한 HC 처리구에서 종경과 횡경 모두 증가되었는데 종경 증가가 더 많아 과형지수가 줄어드는 경향이였다.

Table 7. Effect of diurnal range of temperature and CO₂ enrichment on the fruit size in 'Okitshu Early' satuma mandarin,

Treatment ^z	Length (mm)	Width (mm)	Shape index ^y
SS	51.5	69.5	135
HC	73.4	84.9	116
Significance	***	***	ns

^zSee Table 1 for the explanation of treatments.

^y(Width/Length)×100.

과형지수의 시기별 변화를 보면(그림 8), 5월 10일에는 SS와 HC 두 처리에서 과형지수가 거의 같았으나 그 후 한달 동안 SS의 과형지수는 증가한 반면 HC의 그것은 오히려 감소되어 두 처리 사이에 차이가 생겼으며 6월 10일 이

후 두 처리에서 모두 과형지수가 꾸준히 증가하였으며 처리간 차이에는 변함이 없었다. 과형지수의 증가는 종경증가에 비해 횡경증가가 많았기 때문인데 (그림 9) 5월 10일부터 6월 10일 사이 HC 처리구의 횡경증가는 SS 처리구와 같았지만 이 시기 종경증가가 횡경증가보다 오히려 컸기 때문에 과형지수가 줄어드는 경향이였다.

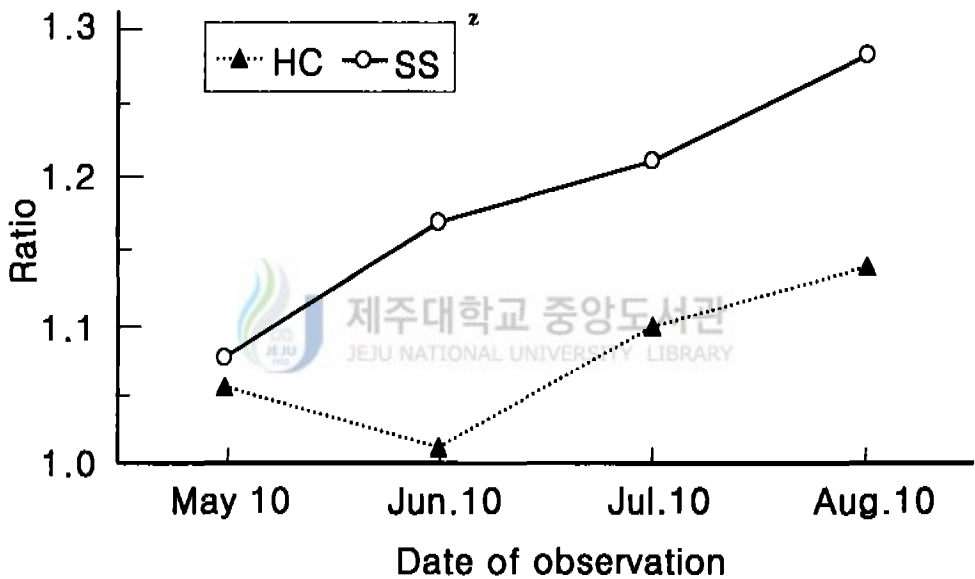


Fig. 8. Changes in the ratio of fruit width to fruit length in 'Okitsu Early'satsuma mandarin as affected by the different diurnal range of temperature and CO₂ enrichment.

^zSee Table 1 for the explanation of treatments.

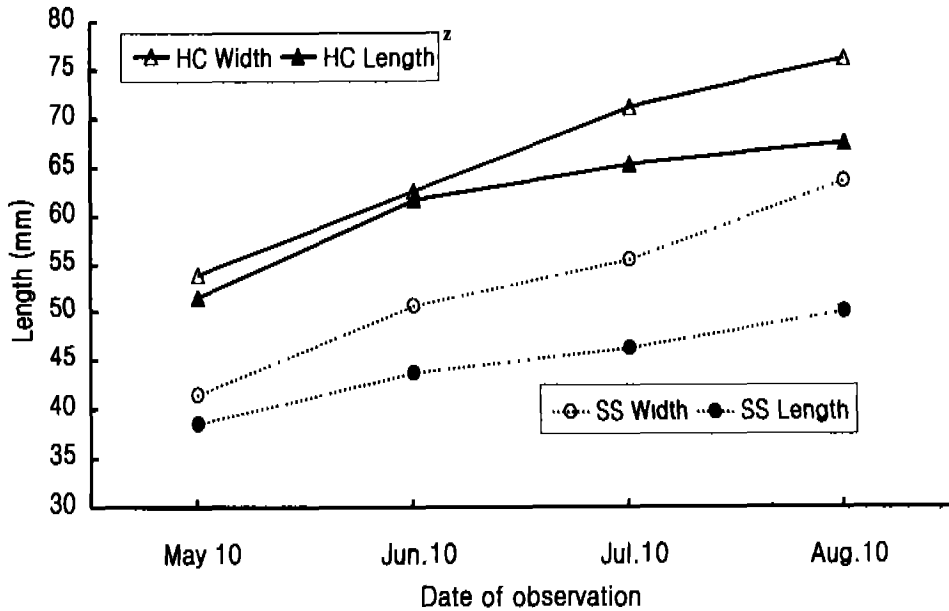


Fig. 9. Increase in fruit length and width in 'Okitsu Early' satsuma mandarin as affected by the different diurnal range of temperature and CO₂ enrichment.

^zSee Table 1 for the explanation of treatments.

Table 8. Effect of diurnal range of temperature and CO₂ enrichment on the fruit development in 'Miyagawa Early' satsuma mandarin

Treatment	Fruit weight (g)	Flesh weight (g)	Flesh ratio (%)	Peel thickness (mm)
SS	152.8 a ^y	118.7 a	79 a	10.9 c
HS	157.1 a	88.9 a	57 c	23.7 a
HC	188.4 a	113.2 a	61 b	19.5 b

^zSee Table 1 for the explanation of treatments.

^yMean separation by DMRT, 5% level.

발아전부터 처리한 궁천조생의 수확기 과중과 과육중, 과육율, 과피두께는 표 8에 나타내었다. 과중과 과육중에는 처리간 유의차가 인정되지 않았으나 과육율은 SS처리가 가장 높았고 HS처리가 가장 낮았으며 HC처리는 중간이었으며 과피 두께의 처리간 차이는 그 반대였다.

표 9는 홍진조생의 수확기 과중과 과육중 및 과육율 그리고 과피두께를 나타낸 것이다. SS처리에서보다 HC처리에서 과육중과 과중이 무거웠고 과피두께도 두꺼워졌으며 과육율은 낮아졌다.

Table 9. Effect of diurnal range of temperature and CO₂ enrichment on the fruit development in 'Okitsu Early' satsuma mandarin

Treatment ²	Fruit weight (g)	Flesh weight (g)	Flesh ratio (%)	Peel thickness (mm)
SS	134.6	106.8	81	9.9
HC	231.8	160.9	70	15.6
Significance	***	***	*	***

²See Table 1 for the explanation of treatments.

표 10은 발아전부터 처리한 궁천조생 과실의 수확기 과즙의 당도와 산도 및 당산비를 나타낸 것이다. 과즙의 당도와 산함량은 HS처리가 높았는데 처리별 착과량이 달랐기 때문에(표 5) 과즙의 당, 산함량의 차이가 처리의 영향이라고 단정할 수는 없었다. 당산비는 HC처리구가 가장 높아서 HS 처리구와는 유의한 차이를 보였다.

만개 10일 후부터 처리한 홍진조생에서는(표 11) SS 처리구에 비하여 HC 처리구에서 당도가 높은 경향이었으나 유의성이 인정되지 않았고 산함량은 유

의하게 낮아져서 당산비가 높아졌다. 정과 용(1996)은 딸기에 이산화탄소를 공급한 결과 당은 증가하였으며 산은 감소하는 경향을 나타내었고 특히 당류중 과당과 포도당에는 변화가 없으나 자당 함량은 약 3~4배 증가하였고 30~40% 정도 증수효과도 있었다고 보고하였는데 감귤을 대상으로 수행한 이 실험에서도 CO₂ 사용에 의해서 당산비가 높아짐을 확인하였다.

Table 10. Effect of diurnal range of temperature and CO₂ enrichment on the juice Brix and acid content in 'Miyagawa Early' satsuma mandarin

Treatment ^z	Brix	Acid as citric (%)	Sugar-acid ratio
SS	12.9 b ^y	1.24 b	10.5 ab
HS	14.6 a	1.49 a	9.9 b
HC	13.4 b	1.20 b	11.5 a

^zSee Table 1 for the explanation of treatments.

^yMean separation by DMRT, 5% level.

Table 11. Effect of diurnal range of temperature and CO₂ enrichment on the juice Brix and acid content in 'Okitsu Early' satsuma mandarin

Treatment	Brix	Acid as citric (%)	Sugar-acid ratio
SS	12.8	1.33	9.7
HC	13.1	1.19	10.1
Significance	ns	*	*

^z See Table 1 for the explanation of treatments.

6. 후기낙엽

그림 10은 발아전부터 처리한 궁천조생의 나무당 월별 평균 낙엽수를 나타낸 것이다. CO₂를 시용한 HC 처리구에서 7월 중 낙엽이 현저히 많은 것이 특징이었다. 7월 중 낙엽은 잎의 조기 노화때문이라고 할 수 있는데 과실비대기부터 수분 스트레스를 일으키도록 관수량을 반으로 줄여 재배한 이 시험에서 낙엽량은 수분스트레스를 받은 정도와 관련지을 수도 있을 것이다. CO₂ 시비는 기공전도도를 감소시켜 수분이용효율을 증가시키는 반면 한편으로는 엽

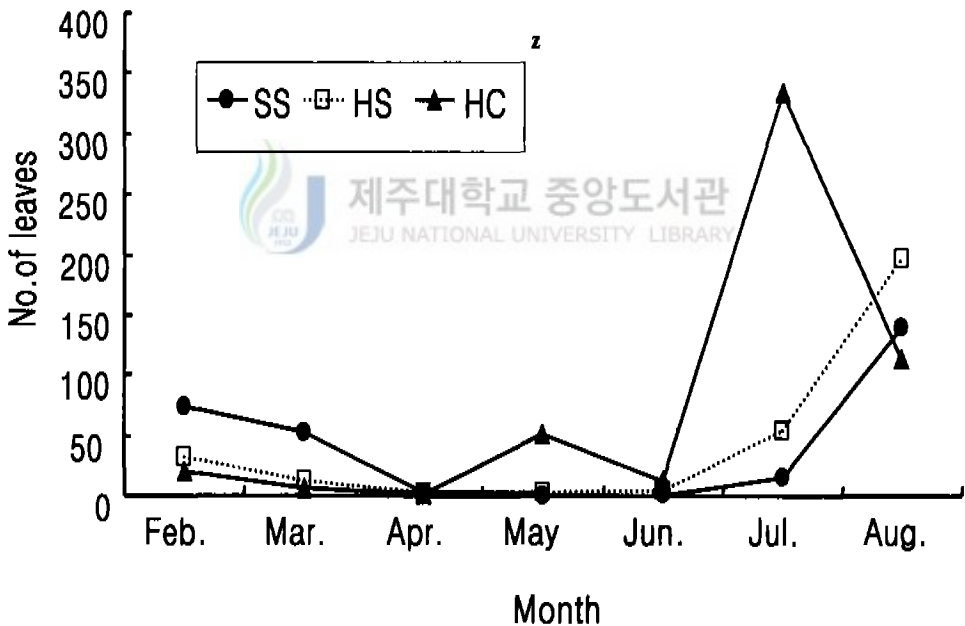


Fig. 10. Changes in the monthly number of fallen leaves per pot during the experiment.

²See Table 1 for the explanation of treatments.

면적을 증가시켜 수분 증산량을 많이 한다(Kimball, 1993; Samarakoon과 Gifford, 1995), 감귤(sour orange)은 CO₂ 시용에 대한 기공전도도 저하반응이 둔한 것으로 알려졌다(Idso, 1991). 이 시험에서 측정된 결과 HC 처리구의 기공전도도는(표 12) SS와 HS 처리구의 중간이었으며 HC 처리구의 단위면적당 증산율(표 13)은 HS 처리구보다 많았으며 SS 처리구와의 차이는 측정조건에 따라 달랐다. 따라서 HC 처리구 잎면적이 다른 처리구에서 보다 컸기 때문에(표 3) 수분 스트레스를 더 많이 받았을 가능성이 있다.

7. 광합성

그림 11은 온도처리와 CO₂ 공급을 시작한지 약 1개월이 경과된 시기에 흐린날과 맑은 날로 나누어 인조광원을 이용하여 광합성유효광자밀도(PPF)의 증가에 따른 광합성 속도의 변화를 측정된 결과를 나타낸 것이다. SS 처리구는 맑은 날이나 흐린 날 다 같이 PPF 400 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 광포점에 이르렀으며 최대 광합성속도는 4 $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 이하였는데 비하여 CO₂를 시용한 HC 처리구는 PPF 2,000 $\mu\text{mol m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 까지 광포화점에 이르지 않았으며, 최대 광합성속도는 10 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 내외였다. 고농도의 CO₂ 농도에서 광포화점이 높아지며 광합성량도 많아진다는 것은 많은 식물에서 확인되었다. HS 처리구의 광합성 반응은 SS 처리구의 광합성반응과 비슷하면서도 전반적인 광합성속도의 두 처리간 차이는 맑은 날과 흐린 날 반대로 나타났는데 그 이유는 분명치 않았다.

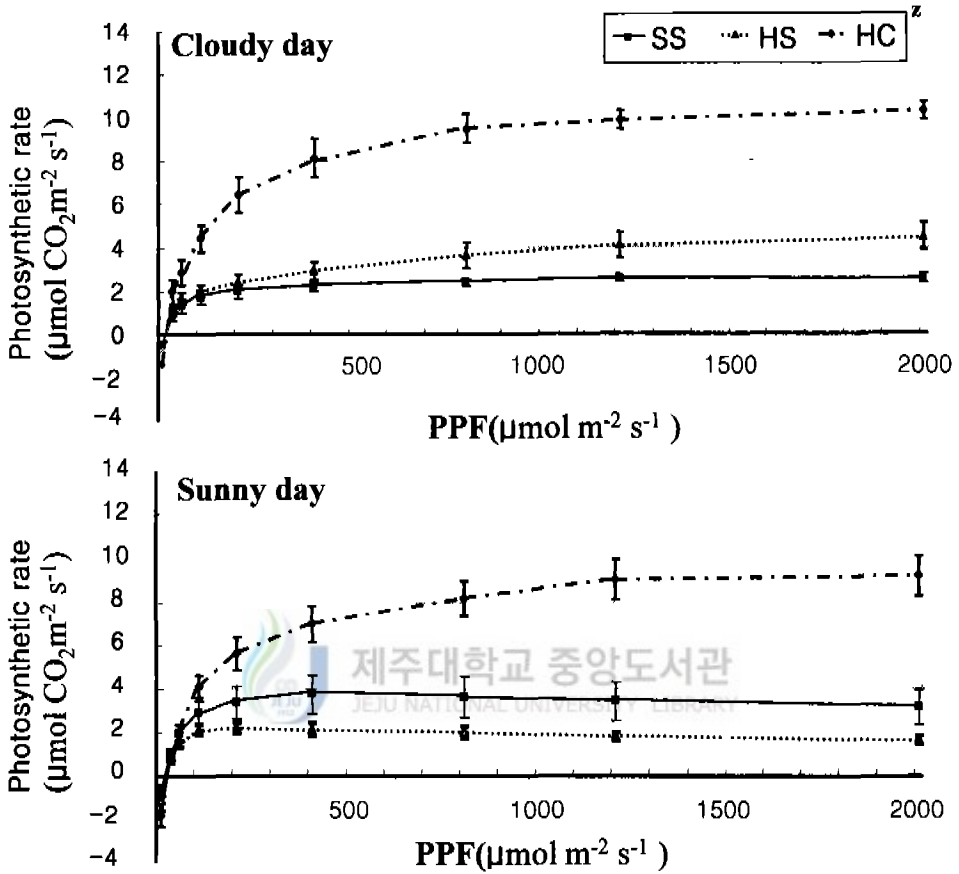


Fig. 11. Light curve of photosynthetic rate in 'Miyagawa Early' satsuma mandarin as affected by the different diurnal range of temperature and CO₂ enrichment.

²See Table 1 for the explanation of treatments.

Cloudy day : PPF $100 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

Sunny day : PPF $1000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

처리를 시작하여 3개월째 되는 시기에 궁천조생의 신엽과 구엽을 구분하여 기공전도도를 측정 한 결과는 표 12에 나타내었다. SS 처리구의 신엽과 구엽 모두의 기공전도도가 흐린 날에 더 높아진다는 것을 제외하고는 기공전도도의 처리간 차이 또는 잎 종류간 차이는 근본적으로 흐린 날과 맑은 날 같은 경향이였다. 기온조건이 동일한 HS와 HC 처리구의 구엽 기공전도도는 같았으나 신엽 기공전도도는 CO₂농도를 높게 유지한 HC 처리구에서 높았다. SS 처리구의 구엽 및 신엽 기공전도도는 HS나 HC의 그것보다 훨씬 높았다. 전반적으로 고온은 신구엽의 기공전도도를 낮추며 고농도 CO₂는 신엽의 기공전도도를 높였다.

많은 식물에서 높은 CO₂ 농도는 기공전도도를 감소시키며 엽운을 상승시키고 증산도 감소시킨다고 알려져 있다(Kimball 등, 1993; 현등, 1998). 그러나 감귤류인 sour orange 잎은 고농도의 CO₂ 사용에서도 기공이 열린 상태로 유지되었다(Idso, 1991; Idso 와 Kimball, 1992).



Table 12. Effect of diurnal range of temperature and CO₂ enrichment on the stomatal conductance in 'Miyagawa Early' satsuma mandarin

Treatment ^z	Unit in mol H ₂ O m ² s ⁻¹			
	Sunny day		Cloudy day	
	(PPF 1200 μmol · m ² · s ⁻¹)		(PPF 100 μmol · m ² · s ⁻¹)	
	Old leaf	New leaf	Old leaf	New leaf
SS	0.043 ± 0.0082	0.054 ± 0.0117	0.068 ± 0.0168	0.084 ± 0.0158
HS	0.027 ± 0.0044	0.025 ± 0.0040	0.022 ± 0.0029	0.024 ± 0.0032
HC	0.029 ± 0.0040	0.044 ± 0.0062	0.028 ± 0.0036	0.039 ± 0.0079

^zSee Table 1 for the explanation of treatments.

또한 기공전도도는 착과수(Okuda등, 1996)의 영향을 받는데 이 시험에서 나무별 착과수는 변이가 심하였다. 따라서 관찰된 기공전도도의 처리간 차이는 측정당시 온도나 CO₂ 농도등의 차이뿐만 아니라 수체의 생리상태까지도 반영된 것이라고 생각된다.

흐린 날 증산속도의 처리간 차이는 기공전도도와 마찬가지로 SS 처리구에서 가장 빨랐고 HS 처리구에서 가장 느렸다(표 13). 그러나 맑은 날 증산속도는 역시 HS 처리구에서 가장 느렸지만 가장 빠른 것은 HC 처리구였다. 또한 구엽과 신엽사이에 차이가 없었던 HS 처리구를 제외하고는 맑은 날이나 흐린 날 다 같이 신엽의 증산속도가 구엽보다 빨랐다.

Table 13. Effect of diurnal range of temperature and CO₂ enrichment on the transpiration rate in 'Miyagawa Early' satsuma mandarin
Unit in mmol H₂O m⁻²s⁻¹

Treatment ²	Sunny day		Cloudy day	
	(PPF 1200 μmol · m ⁻² · s ⁻¹)		(PPF 100 μmol · m ⁻² · s ⁻¹)	
	Old leaf	New leaf	Old leaf	New leaf
SS	1.93±0.279	2.29±0.374	1.45±0.316	1.79±0.296
HS	1.75±0.310	1.54±0.230	0.54±0.071	0.54±0.077
HC	1.96±0.293	2.83±0.444	0.86±0.084	1.20±0.258

²See Table 1 for the explanation of treatments.

표 14는 기공전도도와 동시에 측정한 광합성속도를 나타낸 것이다. 맑은 날 자연광조건의 광합성율은 HS처리에서 매우 낮았고 SS처리구는 평균 3.05 μmol CO₂ · m⁻² · s⁻¹, HC 처리구는 3.42 μmol CO₂ · m⁻² · s⁻¹였으며 흐린 날에는

HS 처리구에서는 외관상광합성량이 마이너스()였으며 SS 처리구는 0.6, HC 처리구는 $1.5\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 로 매우 낮았다. HS 처리구의 기온은 35℃였지만 엽온은 맑은 날은 40℃~48℃, 흐린 날은 34℃~38℃로 기온보다 높았다. HS 처리구는 고온으로 인하여 외관상 광합성이 줄어들었으며 HC 처리구는 높은 CO₂ 농도 덕분에 높은 온도에도 불구하고 광합성량이 SS 처리구 보다 많았다. 특히 흐린 날 HC 처리구의 외관상 광합성량이 SS에 비해 3배 정도로 높은 것은 흐린 날 엽온은 맑은 날 만큼 높아지지 않기 때문에 고온에 의한 호흡량 증가가 적었기 때문이라고 판단된다. 또한 전반적으로 광합성율이 낮은 것은 수분스트레스를 주기 위하여 관수량을 제한한 상태였으므로 잎수분포텐셜이 낮았기 때문이라고 생각된다.

Table 14. Effect of diurnal range of temperature and CO₂ enrichment on the photosynthetic rate in 'Miyagawa Early'satsuma mandarin

Unit in $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$

Treatment ^z	Sunny day		Cloudy day	
	(PPF 1200 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)		(PPF 100 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	
	Old leaf	New leaf	Old leaf	New leaf
SS	2.48 ± 0.505	3.63 ± 0.527	0.53 ± 0.266	0.66 ± 0.192
HS	0.07 ± 0.220	0.27 ± 0.236	-0.27 ± 0.366	-0.29 ± 0.324
HC	2.23 ± 0.544	4.61 ± 0.531	1.46 ± 0.563	1.51 ± 0.667

^zSee Table 1 for the explanation of treatment

V. 적 요

기온의 일교차가 컸을 때 발생하는 온주밀감의 잎과 과실의 기형화가 고농도 CO₂시용으로 경감될 수 있는지를 확인하기 위하여, 기온의 일교차를 7℃로 하고 자연상태의 대기중 CO₂ 농도를 유지한 관행관리실, 야간최저온도는 관행으로 하고 주간온도를 높여 일교차를 14℃로 하고 자연상태의 대기중 CO₂ 농도를 유지한 고온관리실, 일교차를 14℃로 하고 주간 CO₂ 농도를 1,200 μL · L⁻¹로 유지한 고온고농도CO₂실 등 3종류의 환경조절온실에 화분에 심은 4년생 궁천조생과 홍진조생을 재배하면서 생육반응을 관찰한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 고온관리는 발아를 2일, 만개 및 낙화를 9일 앞당겼으나 높은 CO₂농도는 만개와 낙화를 1일 지연시켰다.
2. 큰 일교차에 의해 잎이 작아지고 길쭉해졌는데 CO₂ 시용은 그러한 일교차의 영향을 상쇄시켰으며 오히려 잎의 크기를 증가시켰다.
3. 고온관리에 의해 꽃과 씨방 무게가 가벼워졌는데 그 영향은 CO₂ 시용으로 어느정도 경감되었다.
4. 고온관리에서 거의 모든 과실이 만개후 20일 이내에 낙과되었는데 CO₂ 시용은 낙과를 지연시켰으며 최종 착과수도 증가시켜 관행관리의 착과수와 비슷하게 하였다.
5. 고온관리와 CO₂ 시용은 과실의 종경증가와 과피발육을 촉진시켰으며 CO₂

시용이 고온에 의한 요고현상을 개선해 주지는 못하였다.

6. CO₂ 시용은 과즙의 당산비와 과실 성숙기의 낙엽을 증가시키는 경향이였다.

7. CO₂ 시용은 광합성량을 2.5배 정도 많이 하였으며 기공전도도와 증산율을 증가시키는 경향이였다.



VI. 참고문헌

- Allen, L. H. Jr. 1990. Plant response to rising carbon dioxide and potential interactions with air pollutants. *J. Environ. Qual.* 19: 15-34
- 제주농협지역본부 · 제주감귤협의회. 1997. '97년산감귤유통처리실태분석.
- 平塚 伸, 清水秀巳, 松鳥二良. 1990. 温州ミカンの新葉及び旧葉における光合成, RubisCOの活成および量の季節的變化. *園學雜* 59別冊1(果樹): 18-19
- 本條 均, 山木晴彦. 1990 温州ミカン葉の葉齡と光合成・蒸散特性の季節變動 *園學雜* 59別冊1(果樹): 16-17
- 현동윤, 김기영, 최인록, 김수동, 박문수. 1998. 환경조건에 따른 생강의 기공행동 및 Chlorophyll Fluorescence의 변화. *한국원예학회잡지*. 39(2):145-148
- Idso, S.B. 1991. A general relationship between CO₂-induced increases in net photosynthesis and concomitant reductions in stomatal conductance. *Environ. Exp. Bot.* 31:381-383
- Idso, S.B., and B.A. Kimball. 1992. Effect of atmospheric CO₂ enrichment on photosynthesis, respiration, and growth of sour orange trees. *Plant Physiol.* 99:341-343
- Idso, S.B., B.A. Kimball, and D.L. Hendrix. 1993. Air temperature modifies the size-enhancing effects of atmospheric CO₂ enrichment on sour orange tree leaves. *Environmental and Experimental Botany* 33:293-299

- Idso, S.B., K.E. Idso, R.L. Garcia, B.A. Kimball, and J.K. Hooper. 1995. Effect of atmosphere CO₂ enrichment and foliar methanol application on net photosynthesis of sour orange tree (*Citrus aurantium*; Rutaceae) leaves. *American Journal of Botany* 82:26-30
- Imazu T., K. Yabuki, and Y. Oda. 1967a. Study on the Carbon dioxide environment for plant growth. II. Effect of carbon dioxide concentration on the growth, flowering and fruit setting of eggplant (*Solanum melongena* L.). *J. Japan. Soc. Hort. sci.* 36(4):13-18
- Imazu T., K. Yabuki, and Y. Oda. 1967b. 炭酸ガス環境に関する研究. (CO₂濃度が crisp headレタスの生育,結球,収量に及ぼす影響) 園學雜 36(4): 34-38
- Inoue, H., and Y. Harada. 1988. Tree growth and nutrient absorption of young Satsuma Mandarins under different temperature conditions. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 57(1): 1-7
- Islam, M.S., T. Matsui, and Y. Yoshida. 1995. Effect of Preharvest Carbon Dioxide Enrichment on the postharvest Quality of Tomatoes *J. Japan.Soc. Hort.sci.* 64(3):649 -655.
- 정천순, 용영록. 1996. Effect of CO₂ Enrichment on the Net Photosynthesis, Content of sugar and Organic acid in Strawberry. *大山農業*(4) 63-68
- Jurik, T.W., J.A. Weber, and D.M. Gates. 1984. Short-term effects of CO₂ on gas exchange of leaves of Bigtooth Aspen (*Populus grandidentata*) in the field. *Plant Physiol.* 75:1022-1026.
- 加美 豊, 井上久雄, 中川雅之, 藤原文孝 1996a. ハウスミカン栽培での炭酸ガス施用 (1)果實肥大,収量への影響. 常緑果樹試験研究成績概要集(育種,栽培,流通利用編).農林水産省果樹試験場. 671-672

- 加美 豊, 中川雅之, 井上久雄, 藤原文孝. 1996b. 하우스ミカン栽培での炭酸ガス施用 (2)光合成への影響. 常緑果樹試験研究成績概要集(育種,栽培,流通利用編). 農林水産省果樹試験場. 673-674
- 川野信壽. 1988. 하우스ミカンの生産安定と品質向上[5]. 農及園. 63(7):847-854
- Kimball, B.A., J.R. Mauney, F.S. Nakayama, and S.B. Idso. 1993. Effect of increasing atmospheric CO₂ on vegetation. *Vegetatio* 104/105:65-75
- 黒岡 造, 福長信吾, 湯田英二, 中川昌一, 屈内昭作. 1990. CO₂施用がブドウ'巨峰'の生育と果實品質に及ぼす影響. 園學雜. 59(3):463-470
- 이용범. 1991. CO₂장기시용이 토마토의 생육, 무기양분 흡수, RuBP Carboxylase의 활성 및 광합성에 미치는 영향. 서울대학교 박사학위논문
- 이용범, 이병일. 1994. CO₂장기시용이 토마토의 엽온, 확산저항 및 광합성에 미치는 영향. 한국원예학회잡지. 35(5):421-428.
- 松本和夫. 1982. 施設利用カンキツ栽培に関する研究の動向. 園學雜. 51(3). 374-377.
- 문두길, 한해룡, 백자훈, 김창명, 김영효, 강성근, 문영일. 1998. 시설내 조생은주의 유과기 이상낙과 발생실태와 대책 및 광합성에 관한 연구. p:45-48
- 森永 邦久, 池田富喜夫. 1991a. 施設栽培ウンシュミカンの光合成特性と果實生産力. 園學雜. 60(1): 61-69
- 森永 邦久, 池田富喜夫. 1991b. 高濃度CO₂가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. 園學雜. 60別(1): 22-23
- 농촌진흥청. 1997. 작물재배생리의 이론과 실험. 농업과학기술도서(2) P:178-183

Okuda, H., T. Kihara, and I. Iwagaki. 1996. Effects of fruit removal on photosynthesis, stomatal conductance and ABA level in the leaves of vegetative shoots in relation to flowering of Satsuma Mandarin. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 65(1):15-20.

小野 祐幸, 岩垣 功, 高原 利雄. 1987. 칸킷트光合成에及ぼ스光條件および栽培에關聯した諸要因の影響. 果樹試報D(Bull.Fruit Tree. Res. Stn. D) 9:25-49

Poerwanto, R., H. Inoue, Y. Ikoma, and I. Kamato. 1989. Effects of air and soil temperature on vegetative growth and flower bud differentiation of Satsuma Mandarin trees. J. Japan. Soc. Hort. Sci.58(2): 275-281

Samarakoon, A.B., and R.M. Gifford. 1995. Soil water content under plants at high CO₂ concentration and interactions with direct CO₂ effects:a species comparison. J. Biogeography 22:193-202.

신용습, 도한우, 배수관, 최성국, 최부술. 1998. 시설내 CO₂시용이 참외의 품질 및 수량에 미치는 영향. 농업환경연구논문집. 40(2):107-110

송창훈. 1995. 시설재배 온주밀감의 생육특성과 토양수분조절이 과실품질에 미치는 영향. 제주대학교 박사학위논문

Takagi, T., I. Sawano, T. Suzuki, and S. Okamoto. 1982. Effects of temperature before and after flowering on the development of flower and fruit in *Citrus unshiu* Marc.. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 51(3): 257-262.

Tanigawa, T., M. Nagaoka, I. Hiroshi and A. Shimizu. 1993. Effect of CO₂ Enrichment on Growth Photosynthesis and Physiological Activity of Roots of *Dendranthea × grandiflorum* (Ramat.) Kitamura. J. Japan. Soc. Hort. sci. 61(4): 873 - 878

谷口哲徹. 1979. カンキツ類のハウ栽培の現状と問題點. 農及園. 54 : 1365-1372

谷口哲徹, 佐々木俊之, 井口功. 1993. 施設栽培による熟期促進及び果實品質の向上(2.ハウスミカン栽培での炭酸ガス施用と着花着果及び果實品質). 常緑果樹試験研究成績概要集(育種,栽培,流通利用編). 農林水産省果樹試験場. 639-640

渡部 一郎, 古在 豊樹, 鳥田 福也, 野間 豊. 1991. 果樹の施設栽培と環境調節. pp: 232-240

失吹萬壽. 1985. 植物の動的環境. 朝倉書店. pp. 84-94

Yamamoto, K. H. Azukizawa, and Y. Yasuda. 1992. Effect of CO₂ enrichment on inorganic component of grapes bearing shoots under forcing culture from december. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 61別冊2 [果樹]:190

鴨田 福也. 1988. 日本氣象學會氣象研究ノ一ト. 162:117-122. In:渡部 一郎, 古在 豊樹, 鳥田 福也, 野間 豊. 1991. 果樹の施設栽培と環境調節. pp: 232-240

감사의 글

2년동안 얻은 것 중에서 이 학위논문보다 더 값지게 느껴지는 것은 저의 일을 당신들의 일처럼 도와주신 감사한 온정이었습니다. 세상이 아름다움을 다시 한번 느낄 수 있는 좋은 시간이었습니다.

부족한 저를 2년동안 아낌없는 후원과 믿음으로 이끌어 주신 문두길 지도교수님, 친족같이 가르쳐주신 백자훈 교수님, 자애로우신 말씀으로 가르치신 한해룡 교수님, 편안한 웃음으로 대해주신 장전익 교수님, 박용봉 교수님, 많은 조언과 도움을 주신 소인섭 교수님과 강훈 교수님 감사드립니다.

친절하게 의견을 보내주셨던 Kimball 박사님과 현미경관찰방법을 조언해 주신 Ruzin박사님, 이민호씨께도 감사드립니다.

귀찮은 저의 부탁을 마다하지 않으신 오대민 선배님 논문을 전네주시며 부족한 자료를 보충해주시던 강종훈 선배님, 간혹 밤마다 응원을 나오시던 오진보 선배님, 우택이 형, 고정환 선배님, 자신의 일처럼 걱정하여 많은 사랑의 질타를 보낸 상업이형, 낯선 작업에 당황하던 나에게 힘을 준 현우형, 힘든 조언을 해준 승진이형, 인생에서 보기 힘든 부분을 지적해준 봉훈이형, 논문을 구해주신 형근이형, 많이 도와주신 성욱이형, 묵묵히 실험실을 꾸리며 나와 부대끼고 힘든일과 굶은 일, 기쁜 일을 같이 했던 석범이와 실험실 식구로 많은 도움과 기쁨을 주었던 광일, 봉조에게 고마움을 전합니다.

곳은 일을 도와주던 대권, 부경, 귀찮은 자문 부탁에 순순히 답해준 지용씨와 조직배양실 친구들, 현미경관찰방법을 지도해준 수의학과 해부학실험실 분들, 중식학과 무척추동물실험실 분들과 의과대학 해부학실험실의 고미희 선생님과 노해숙 선생님, 우정을 보여준 광섭이와 토양학실험실 친구들, 부탁도 많이 들어준 은경이와 성학, 이런저런 고민을 같이하던 상철이와 동수, 그간 무심하게 대해서 미안하게 생각하는 친구 형주, 승훈, 태경, 민승, 지연, 수정, 학번모임 친구들과 그림사랑 한플아름 동아리인들께, 한 줄의 글로 고마움을 전합니다.

항상 저에게 큰 힘이 되어 주시는 부모님께 이 논문을 바칩니다.

바쁘다는 핑계로 챙겨주지도 못한 동생들과 무심한 저에게 따뜻한 애정을 전해주시신 매형과 누나 내외분께 또 제 컷 조카 서영에게도 감사함을 보냅니다.