



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

박사학위논문

시설재배 不知火의 수체생장과 과실품질에
미치는 대목 및 온도의 영향



제주대학교 대학원

원예학과

문영일

2006년 12월

시설재배 不知火의 수체생장과 과실품질에 미치는 대목 및 온도의 영향

지도교수 문 두 길

문 영 일

이 논문을 농학 박사학위 논문으로 제출함

2006년 12월

문영일의 농학 박사학위 논문을 인준함

심사위원장 _____

위 원 _____

위 원 _____

위 원 _____

위 원 _____

제주대학교 대학원

2006년 12월

Effects of Rootstock and Temperature
on the Tree Growth and Fruit Quality of
'Shiranuhi' Mandarin Hybrid in Plastic Film House

Young-Eel Moon

(Supervised by Professor Doo-Khil Moon)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements
for the degree of Doctor of Agriculture

2006. 12.

Department of Horticulture
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

목 차

목차	i
Summary	iv
List of Tables	x
List of Figures	xii
I. 서 언	1
II. 연구사	4
1. 대목에 따른 수체생장 및 과실품질	4
1.1. 중간대목의 영향	4
1.2. 대목의 영향	5
2. 온도에 따른 수체생장 및 과실품질	8
2.1. 발아, 개화 및 영양생장	8
2.2. 생리낙과	10
2.3. 과실생장 및 품질	10
3. 감귤 과실의 당 및 산 함량과 관련효소 활성	12
III. 재료 및 방법	17
1. 대목이 수체생장 및 과실품질에 미치는 영향	17
1.1. 중간대목이 과실품질에 미치는 영향	17
1.1.1. 시험수	17
1.1.2. 과실비대 및 품질 조사	17
1.1.3. 유리당 함량 분석	18
1.2. 대목의 종류가 수체생장 및 과실품질에 미치는 영향	18
1.2.1. 처리내용	18
1.2.2. 생육, 과실수량 및 품질 조사	19

1.2.3. 효소 활성 및 단백질 함량 분석	19
2. 온도가 수체생장 및 과실품질에 미치는 영향	21
2.1. 생육초기 온도의 영향	21
2.1.1. 시험수 및 처리내용	21
2.1.2. 온도 및 생육 조사	21
2.1.3. 광합성 속도 측정	22
2.1.4. 과실품질 분석	22
2.2. 생육후기 온도의 영향	23
2.2.1. 시험수 및 처리내용	23
2.2.2. 온도, 습도 및 과실품질 조사	23
3. 과실 성숙에 따른 과즙의 당과 산 및 효소 활성의 변화	23
IV. 결과 및 고찰	25
1. 대목이 수체생장 및 과실품질에 미치는 영향	25
1.1. 중간대목이 과실품질에 미치는 영향	25
1.1.1. 과실생장 및 착색	25
1.1.2. 가용성고형물 및 적정산 함량	28
1.1.3. 유리당 함량	31
1.2. 대목의 종류가 수체생장 및 과실품질에 미치는 영향	33
1.2.1. 영양생장	33
1.2.2. 과실생장	36
1.2.3. 착과수 및 수량	39
1.2.4. 가용성고형물 및 적정산 함량	41
1.2.5. 유리당과 유기산 함량	44
1.2.6. 효소 활성	46
2. 온도가 수체생장 및 과실품질에 미치는 영향	50
2.1. 생육초기 온도의 영향	50
2.1.1. 하우스 내 온도 변화	50
2.1.2. 영양생장	51

2.1.3. 광합성 속도	53
2.1.4. 개화 및 착과	54
2.1.5. 과실생장	56
2.1.6. 가용성고형물 및 적정산 함량	64
2.2. 생육후기 온도의 영향	68
2.2.1. 하우스 내 온도 및 상대습도 변화	68
2.2.2. 가용성고형물 및 유리당 함량	71
2.2.3. 적정산 및 유기산 함량	72
2.2.4. 부패과 비율	73
2.2.5. 과피 착색	73
3. 과실 성숙에 따른 과즙의 당과 산 및 효소 활성의 변화	75
3.1. 과피착색 및 과즙의 가용성고형물과 적정산 함량	75
3.2. 유리당 함량	77
3.3. 유기산 함량	79
3.4. 효소 활성	81
V. 적 요	85
VI. 인용문헌	90

Summary

In order to develop the cultural practices for sustainable production and improvement of fruit quality of 'Shiranuhi' [(*Citrus unshiu* × *C. sinensis*) × *C. reticulata*] in plastic film house, several experiments on the effect of rootstock and temperature on the tree growth and fruit quality during the early growth stage and maturing stage, and on the composition of sugar and acid and related-enzyme activities were conducted from 2001 to 2005. The results of the experiments obtained are summarized as follows:

1. Effect of stock on tree growth and fruit quality.

Two treatments were compared from October 2002 to January 2003 such as topworking of 'Shiranuhi'/'Miyagawa Wase' satsuma mandarin/trifoliate orange (interstock) and common grafting of 'Shiranuhi'/trifoliate orange (control) in three areas. And five rootstocks were compared in 2004 to 2005 namely, trifoliate orange (*Poncirus trifoliata*), 'Swingle' citrumelo (*C. paradisi* × *P. trifoliata*), shiikuwasha (*C. depressa* Hayata), yuzu (*C. junos* Sieb.), and natsudaidai (*C. natsudaidai*).

1.1. Fruit width, fruit weight, peel colour and flesh rate of 'Shiranuhi' were not different in two treatments.

1.2. The total soluble solid content in terms of juice Brix was also not different in two treatments. Titratable acidity in interstock increased significantly by 0.3% compared with the control throughout all growth stages.

The sugar-acid ratio in interstock was 8.6 at maturing period, which was 2.4 lower than that in the control.

1.3. The free sugar showed increasing trend in both interstock and control and there was no significant difference between the two treatments. The concentration of sucrose tended to decrease while glucose and fructose generally increased in interstock.

1.4. The trunk diameter, spring shoot length, and the height, and width of the tree were significantly higher in 'Swingle' citrumelo and shiikuwasha than the other rootstocks in 2004 and 2005.

1.5. The fruit widths were not significantly different in five rootstocks. The fruit height of 'Swingle' citrumelo was the highest compared with other rootstocks, indicating a decrease in fruit shape index. The number of fruits and the yield per tree in 'Swingle' citrumelo were significantly highest among the rootstocks studied in 2004 and 2005.

1.6. The sugar content and titratable acidity in 'Swingle' citrumelo and shiikuwasha were significantly lower than those of trifoliate orange.

1.7. The concentration of total sugar and glucose in 'Swingle' citrumelo and shiikuwasha rootstock was lower than those of other rootstocks, but the concentration of sucrose in 'Swingle' citrumelo increased with 55% of total sugar, which was higher than other rootstocks. In 'Swingle' citrumelo, concentration of citric acid was lower and malic acid was higher than trifoliate orange.

1.8. The activity of sucrose synthase (SS) in trifoliate orange was higher than in the other cultivars.

2. Effect of air temperature on the tree growth and fruit quality.

Three treatments were compared such as combinations of minimum night temperature of 15°C and maximum day temperature of 25°C (15–25°C), 18°C and 28°C (18–28°C), and ambient and 20°C (control) during the early growth stage from February 20 to May 30, 2002. And three treatments were compared in 2003 to 2004 such as combinations of minimum night temperature of 5°C and maximum day temperature of 15°C (5–15°C), 10°C and 20°C (10–20°C), and ambient and 10°C (control) during the maturing stage from December 2003 to January 2004, in cultivars 'Shiranuhi', 'Kiyomi' (*C. unshiu* × *C. sinensis*), and 'Tsunogaori' [(*C. unshiu* × *C. sinensis*) × *C. unshiu* Marc.]).

2.1. The number of spring shoots decreased, the leaf area was broadened, and the length of spring shoot increased in all the cultivars tested as air temperature during the early growth stage increases.

2.2. The apparent photosynthetic rate in 'Shiranuhi' increased as air temperature during the early growth stage increases, showing that apparent photosynthetic rate in 18–28°C was $16.7 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, which was 1.5 times higher than that in the control.

2.3. The date of full bloom in the control was April 22, which was 24 days and 44 days later than that in 15–25°C and 18–28°C in 'Shiranuhi', respectively. The flower–leaf ratio had a decreasing trend as air temperature during the early growth stage increases in all cultivars. The increment of leaf–fruit ratio in 18–28°C was caused by the reduction in number of flower in spite of the increased fruiting rate in 'Shiranuhi', which on the other hand, was caused by lower fruiting rate in 'Kiyomi' and 'Tsunogaori'

2.4. The fruit size in all cultivars increased as air temperature during the early growth stage increases. The fruit shape index in 'Shiranuhi' was especially lowered by increasing fruit height.

2.5. The increasing trend of sugar content in 'Shiranuhi' fruit during the maturing stage was similar in both control and 15-25°C, but slower in 18-28°C. The sugar content in fruits at harvest reduced due to the advanced harvest as air temperature during the early growth stage increases.

2.6. The titratable acidity in all cultivars decreased as air temperature during the early growth stage increases.

2.7. The results of this study suggest that the appropriate heating temperature during the early growth stage in 'Shiranuhi' was about 15°C in the night.

2.8. The relative humidity in plastic film house tended to increase as air temperature during the maturing stage increases, indicating about 70% in control and 90% in 10-20°C. The relative humidity during the day in three treatments did not change, except for a decrease in 3~5 PM readings in all the treatments.

2.9. The sugar content was not affected by temperature during the maturing stage. However, the concentration and percentage of glucose and fructose to total sugar decreased, but those of sucrose increased as air temperature increases.

2.10. The titratable acidity and total organic acid had a decreasing tendency as air temperature during the maturing stage increases. The concentration of

organic acid decreased significantly with high temperature, indicating that the concentration and percentage of citric acid to total organic acid decreased, but those of malic acid increased as air temperature during the maturing stage increases.

2.11. The rate of rotted fruit increased significantly, with decreasing Hunter b^* value as air temperature during the maturing stage increases.

3. Changes in sugar and organic acid composition and activities of related enzymes during fruit maturation.

Changes in the free sugar and organic acid composition and activities of related enzymes during fruit maturation in 'Shiranuhi' were compared with sour orange (*C. aurantium* L.), succari (*C. sinensis* L.) and 'Okitsu Wase' (*C. unshiu* Marc.) grown in plastic film house.

3.1. The juice Brix of 'Shiranuhi' fruit was the highest throughout all stages in four cultivars. The titratable acidity was highest in sour orange fruit and the lowest in succari.

3.2. The concentration of total sugar in 'Shiranuhi' was lower than that of succari, in spite of the highest juice Brix reading in 'Shiranuhi'. Moreover, succari fruit had the highest free sugar concentration, particularly the glucose and fructose concentration among the four cultivars evaluated and this tendency persisted throughout fruit maturation. The concentrations of sucrose in 'Shiranuhi' and 'Okitsu Wase' were high throughout all stages.

3.3. The concentration of total organic acid in 'Shiranuhi' fruit was in

between the levels of succari and sour orange, but malic acid was higher than in sour orange in December.

3.4. The activities of sucrose synthase (SS) and sucrose-phosphate phosphatase (SPP) tended to increase as total sugar content increases and citric acid content decreases. SS activity in 'Shiranuhi' was higher than in 'Okitsu Wase' and sour orange, but was not different with succari. SPP activity in 'Shiranuhi' was similar to 'Okitsu Wase' and in between the levels of succari and sour orange.



List of Tables

Table 1. Bio-LC conditions for analysis of free sugar and organic acid.	18
Table 1-1. Effect of interstock on changes in fruit width of 'Shiranuhi' in plastic film house.	26
Table 1-2. Effect of interstock on changes in fruit weight of 'Shiranuhi' in plastic film house.	26
Table 1-3. Effect of interstock on changes in flesh rate of 'Shiranuhi' in plastic film house.	27
Table 1-4. Effect of interstock on changes in Hunter a* value of peel of 'Shiranuhi' in plastic film house.	27
Table 1-5. Effect of interstock on changes in juice Brix of 'Shiranuhi' in plastic film house.	28
Table 1-6. Effect of interstock on changes in concentration of free sugars in the fruit juice of 'Shiranuhi' in plastic film house.	32
Table 2-1. Effect of temperature during the early growth stage on the vegetative growth of three citrus cultivars in plastic film house.	52
Table 2-2. Effect of temperature during the early growth stage on the apparent photosynthetic rate of three citrus cultivars in plastic film house.	53
Table 2-3. Effect of temperature during the early growth stage on the flowering and fruiting of three citrus cultivars in plastic film house.	55

Table 2-4. Effect of temperature during the maturing stage on sugar content in the fruit juice of 'Shiranuhi' in plastic film house. 71

Table 2-5. Effect of temperature during the maturing stage on the content of organic acid in the fruit juice of 'Shiranuhi' in plastic film house. 72

Table 2-6. Effect of temperature during the maturing stage on the fruit rot of 'Shiranuhi' in plastic film house. 73

Table 2-7. Effect of temperature during the maturing stage on the peel chromaticity of 'Shiranuhi' in plastic film house. 74



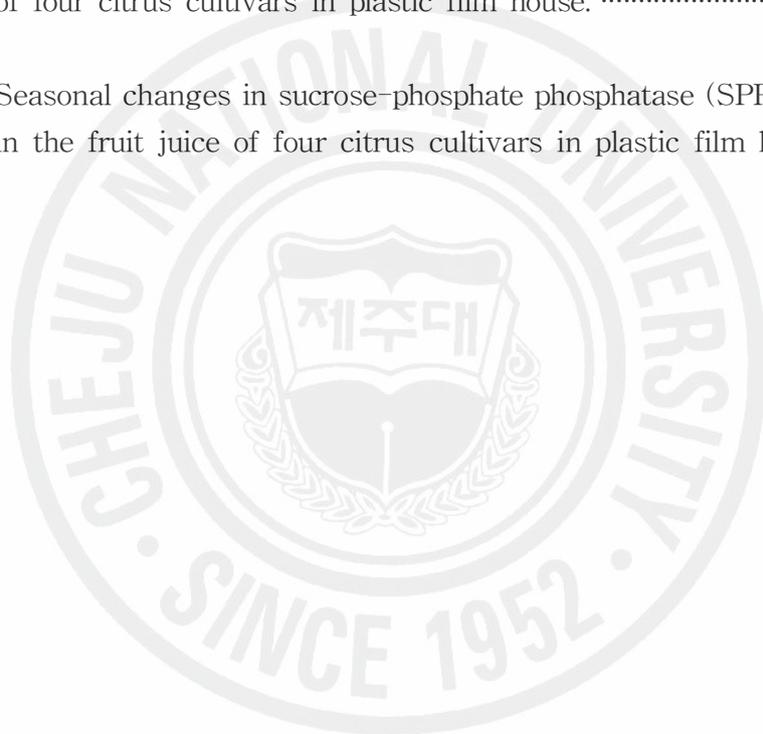
List of Figures

Fig. 1-1. Seasonal changes in titratable acidity of the fruit juice of ‘Shiranuhi’ as affected by interstock in plastic film house.	30
Fig. 1-2. Seasonal changes in Brix–acid ratio of the fruit juice of ‘Shiranuhi’ as affected by interstock in plastic film house.	30
Fig. 1-3. Effect of the kinds of rootstock on the trunk diameter of 2001-grafted ‘Shiranuhi’ seedling in plastic film house.	34
Fig. 1-4. Effect of the kinds of rootstock on the spring shoot length of 2001-grafted ‘Shiranuhi’ seedling in plastic film house.	34
Fig. 1-5. Effect of the kinds of rootstock on the tree height of 2001-grafted ‘Shiranuhi’ seedling in plastic film house.	35
Fig. 1-6. Effect of the kinds of rootstock on the tree width of 2001-grafted ‘Shiranuhi’ seedling in plastic film house.	35
Fig. 1-7. Effect of the kinds of rootstock on the fruit width of 2001-grafted ‘Shiranuhi’ seedling in plastic film house.	37
Fig. 1-8. Effect of the kinds of rootstock on the fruit height of 2001-grafted ‘Shiranuhi’ seedling in plastic film house.	37
Fig. 1-9. Effect of the kinds of rootstock on the fruit shape index of 2001-grafted ‘Shiranuhi’ seedling in plastic film house.	38
Fig. 1-10. Effect of the kinds of rootstock on the fruit weight of 2001-grafted ‘Shiranuhi’ seedling in plastic film house.	38

Fig. 1-11. Effect of the kinds of rootstock on the number of fruits per tree of 2001-grafted 'Shiranuhi' seedling in plastic film house.	40
Fig. 1-12. Effect of the kinds of rootstock on the fruit yield per tree of 2001-grafted 'Shiranuhi' seedling in plastic film house.	40
Fig. 1-13. Effect of the kinds of rootstock on the juice Brix of 2001-grafted 'Shiranuhi' seedling in plastic film house.	42
Fig. 1-14. Effect of the kinds of rootstock on the titratable acidity of the fruit juice of 2001-grafted 'Shiranuhi' seedling in plastic film house. ·	42
Fig. 1-15. Effect of the kinds of rootstock on the Brix-acid ratio of the fruit juice of 2001-grafted 'Shiranuhi' seedling in plastic film house.	43
Fig. 1-16. Effect of the kinds of rootstock on the concentration of free sugars of 2001-grafted 'Shiranuhi' seedling in plastic film house in 2005.	44
Fig. 1-17. Effect of the kinds of rootstock on the concentration of organic acids in the fruit juice of 2001-grafted 'Shiranuhi' seedling in plastic film house in 2005.	44
Fig. 1-18. Effect of the kinds of rootstock on the activities of sucrose synthase (SS) in the fruit juice of 2001-grafted 'Shiranuhi' seedling in plastic film house.	47
Fig. 1-19. Effect of the kinds of rootstock on the activities of sucrose-phosphate phosphatase (SPP) in the fruit juice of 2001-grafted 'Shiranuhi' seedling in plastic film house.	48
Fig. 2-1. Seasonal changes in mean air temperature as affected by the different heating treatments during the early growth stage in plastic film house.	50

Fig. 2-2. Effect of temperature during the early growth stage on the fruit growth of 'Shiranuhi' in plastic film house.	57
Fig. 2-3. Effect of temperature during the early growth stage on the fruit growth of 'Kiyomi' in plastic film house.	58
Fig. 2-4. Effect of temperature during the early growth stage on the fruit growth of 'Tsunogaori' in plastic film house.	59
Fig. 2-5. The distribution of fruits by size in three citrus cultivars as affected by heating temperature during the early growth stage in plastic film house.	61
Fig. 2-6. Changes in fruit weight of three citrus cultivars as affected by heating treatments during the early growth stage in plastic film house.	63
Fig. 2-7. Changes in juice Brix of three citrus cultivars as affected by heating treatments during the early growth stage in plastic film house. ..	65
Fig. 2-8. Changes in titratable acidity of the fruit juice of three citrus cultivars as affected by heating treatments during the early growth stage in plastic film house.	66
Fig. 2-9. Seasonal changes in mean air temperature as affected by different heating treatments during the maturing stage in the plastic film house.	69
Fig. 2-10. Daily changes in air temperature as affected by different heating treatments in plastic film house on January 13, 2004.	69
Fig. 2-11. Seasonal changes in relative humidity as affected by different heating treatments during the maturing stage in plastic film house.	70
Fig. 2-12. Daily changes in relative humidity as affected by different heating treatments in plastic film house on January 13, 2004.	70

Fig. 3-1. Seasonal changes in peel color, juice Brix, titratable acidity, and juice pH of four citrus cultivars grown in plastic film house.	76
Fig. 3-2. Seasonal changes in concentration of free sugar in the fruit juice of four citrus cultivars in plastic film house.	78
Fig. 3-3. Seasonal changes in concentration of organic acid in the fruit juice of four citrus cultivars in plastic film house.	80
Fig. 3-4. Seasonal changes in sucrose synthase (SS) activities in the fruit juice of four citrus cultivars in plastic film house.	82
Fig. 3-5. Seasonal changes in sucrose-phosphate phosphatase (SPP) activities in the fruit juice of four citrus cultivars in plastic film house.	84



I. 서 언

감귤은 상록과수로 추위에 약하기 때문에 세계적으로 최저기온이 -7°C 이상인 지역에서 주로 재배되고 있으며(Davies와 Albrigo, 1994), 우리나라에서는 기후가 온난한 남해안 일부와 제주지역에서 생산되고 있다.

제주특별자치도의 연평균 기온은 $15.3\sim 16.2^{\circ}\text{C}$ (Jeju Regional Meteorological Office, 2006)로 감귤재배지 중 추운 지역에 해당되지만 하우스 재배가 일반화되면서 不知火 [(*Citrus unshiu* × *C. sinensis*) × *C. reticulata*], 淸見(*C. unshiu* × *C. sinensis*), 津之香[(*C. unshiu* × *C. sinensis*) × *C. unshiu* Marc.], 春見[(*C. unshiu* × *C. sinensis*) × *C. reticulata*] 등 추위에 약한 품종도 도입되어 재배되고 있다. 이 중 不知火는 1990년 초부터 재배되기 시작하여 매년 재배면적과 생산량이 증가되고 있으며 2005년에는 전체 감귤생산면적의 5% 정도인 1,103ha에서 15,300톤이 생산되고 있다(Citrus Marking & Shipping Association, 2006). 이와 같이 不知火 재배면적과 생산량이 증가하는 것은 오렌지 수입 및 다른 경쟁과실의 공급 증가에 의해 경쟁력이 약화되는 온주밀감의 대체 품종으로 인기가 있기 때문인 것으로 조사되었다(The Bank of Korea, 2003).

不知火는 日本 果樹研究所에서 1972년 淸見에 中野 3号 병강(*Citrus reticulata*)을 교배해서 육성되었으며 과실의 가용성고형물 함량은 보통 $12.5\sim 15.8^{\circ}\text{Brix}$ 로 다른 감귤 품종보다 높은 편이고 과실에는 종자가 거의 없으며 박피가 용이할 뿐만 아니라 향기를 가지고 있다(Matsumoto, 2001).

不知火는 온주밀감보다 내한성이 약하여 연평균 온도 16.5°C 이상, 최저기온 영하 3°C 이상인 지역에서 주로 재배되는데 지역에 따라 생육 및 과실품질 차이가 심하다. 이 때문에 노지재배가 대부분인 일본에 비해(Kawase, 1999), 우리나라에서는 노지에서 경제적으로 재배하기가 어려워 대부분이 하우스에서 재배된다(Citrus Marking & Shipping Association, 2006).

不知火를 하우스에서 재배하면 수세가 안정될 뿐 아니라 과실비대가 양호하여 수량이 증가하는 경향이 있지만(Kawase, 1999), 하우스 내에서도 생육초기 온도 및 대목 등 여러 가지 요인에 따라 다른 품종보다 수량 변동 폭이 크고 품질 차이가 크게 나타난다. 不知火는 발아 및 개화기의 온도가 낮아 새순과 새잎의 신장이 불량하면 뿌리의 생장이 순조롭지 못하고 과실비대가 나빠 소과가 증가하고 산 함량 감소가 지연되는 경향이 있다.

대목 또한 과실의 품질에 많은 영향을 미치는데 우리나라에서는 온주밀감을 중간대목으로 하는 고접갱신과 탱자를 대목으로 하는 묘목을 주로 사용하고 있다. 고접 갱신은 비교적 단기간에 수관의 확장을 도모할 수 있고 수량의 확보가 빠르다는 장점 때문에 오래전부터 이용되어 왔으며 탱자는 다른 대목품종보다 비교적 왜성임과 동시에 생산성, 내한성, 바이러스 저항성, 접수품종과의 친화성, 발육속도, 과실품질, 증식의 편리성 등 여러 면에서 우수하고 제주의 기상조건과 토양조건에 적합하기 때문에 감귤 대목으로 가장 많이 이용되고 있다. 그러나 중간대목 고접갱신 및 탱자대목의 사용은 수세저하(Noda 등, 2001a), 바이러스 및 바이로이드 발생, 산 함량 감소 지연(Ikeda, 1990) 등을 초래하여 과실의 품질을 저하시킨다. 不知火에 적합한 대목은 강세대목으로 수세유지가 잘 되고 잔뿌리 양이 많아 지하부의 자람이 왕성하면서도 바이로이드에는 저항성인 품종이 좋을 것으로 추정되지만 현재까지 친화성이나 과실품질에 미치는 영향 등 접수품종의 생육에 대한 연구가 미흡하여 不知火의 특성에 맞는 대목선발은 되어 있지 않은 실정이다. 최근에 스윙글 시투루멜로(*C. paradisi* × *P. trifoliata*) 등 외국 육성 대목이 도입되어 활용되고 있으나 대목의 특성은 제대로 밝혀져 있지 않다.

한편 不知火 뿐만 아니라 여러 가지 감귤 품종의 과실품질을 향상시키기 위한 재배기술 개발이 이루어지고 있으나 당과 산 축적 등 품질에 영향을 주는 생리기작은 아직도 밝혀지지 않았다. 과실의 품질을 좌우하는 것은 과실크기, 과형, 과피색 및 과피조밀도 등과 같은 외관형질과 과즙의 당과 산 함량 같은 내부형질이 있으며 적당한 당과 산의 비율은 과실의 식미에 많은 영향을 미친다(Baik, 1994). 온주밀감 과즙의 당과 산 함량에 미치는 요인에 대해서는 결실조절(Kang 등, 2002; Koh 등, 1998), 시비 관리(Han, 2005; Kiyosue 등,

1991; Tachibana, 1996; Tachibana와 Yahata, 1998; Tomida, 1972), 하우스 재배 (Kawano, 1984; Moon 등, 1995), 멀칭 재배(Yakushiji 등, 1992), 높은이랑 재배(Kawano, 1988; Kim 등, 2000) 등 광범위하게 검토되었는데 不知火에서 당과 산 조성 및 축적 특성에 대한 연구는 충분치 못한 실정이다.

이 연구는 不知火의 수체생장 및 과실품질에 미치는 고접 및 대목의 영향과 더불어 생육 초기 및 후기 온도의 영향을 구명하고 당 및 산 조성과 관련 효소활성과의 관계를 구명하여 금후 고품질 과실생산을 위한 기초적인 자료를 얻기 위해 수행되었다.



II. 연구사

1. 대목에 따른 수체생장 및 과신품질

1.1. 중간대목의 영향

영년생 작물인 감귤(*Citrus* spp.)은 다른 작물에 비해 일반적으로 생육이 늦고 결과기에 달하기까지 오랜 기간이 소요되기 때문에 품종을 갱신하는 것은 경제적 부담이 커서 쉽지 않다. 이 때문에 중간대목을 이용한 고접갱신은 비교적 단기간에 수관의 회복이 가능하고 수량이 확보되는 등 오래전부터 널리 이용되어 온 품종 갱신 방법이다(Sanderson 등, 2005). 중간대목이 접수품종에 미치는 영향에 대해서는 사과(Chun과 Fallahi, 2002), 배(Park 등, 2003), 감(Son, 1996) 등 다른 과수에서도 연구되어 왔는데 감귤에서도 여러 품종 조합에서 검토되어 왔다.

Makita와 Hara(1979)는 川野夏橙, 八朔, 트로비타오렌지, 福原오렌지, 日向夏에서는 중간대목이 과신품질에 미치는 영향은 미미하고 다만 초기수량을 증가시켰다고 하였고, Camara 등(2003, 2004)은 클레오파트라 대목위에 직접 발렌시아오렌지를 접목시킨 것과 살루스티아노오렌지를 중간대목으로 하여 접목시킨 것을 비교하였을 때 중간대목에 접목한 구에서 상대 생장률은 높았고 내염성도 증가하였다고 하였다.

그러나 왜성대목을 중간대목으로 사용할 경우 수관이 축소된다는 보고도 있다. Castle과 Krezdorn(1992)은 레몬에서 飛龍 탱자를 중간대목으로 이용했을 때 나무크기는 작아지지만 수량과 과신품질은 변하지 않았다고 하였으며, Ashkenazi 등(1993)은 사위오렌지를 대목으로 하고 飛龍 탱자를 중간대목으로 하여 미칼 만다린을 고접한 것과 중간대목을 사용하지 않은 것을 비교하였을 때 생장률은 각각 67.2%와 100%로 중간대목을 사용한 것이 나무크기가 감소되었다고 하였다. Girardi와 Filho(2006)는 중간대목에 따라 페라오렌지의 나무 생장이 차이가 있었다고 하였으며, Morimoto 등(1983)은 온주밀감, 夏橙,

三宝柑 및 八朔 등을 중간대목으로 하여 네블오렌지, 伊予柑 및 清見을 접목하였을 때 온주밀감과 三宝柑은 접수품종의 착과와 생장에 좋은 영향을 미쳤으나 夏橙과 八朔은 불친화성을 나타내었다고 하였다. 이 외에 중간대목이 접수품종에 미치는 영향은 Yakushiji(2002)가 宮内伊予柑 중간대목에 有明, 天香, 세토카, 春見, 사잔레토 및 不知火 등을 고접하여 품질을 조사한 결과 온주밀감 중간대목과 큰 차이가 없었다고 하였으며 Gil-Izquierdo 등(2004)은 레몬의 플라보노이드 함량을 증가시키기 위하여 2 종류의 대목에 7개의 중간대목을 사용한 결과 접목지점에서의 주간두께 감소로 도관액 흐름이 증가되었으며 화이트와 버나오렌지에만 플라보노이드 함량이 증가되었고 나머지는 오히려 감소되었다고 하였다.

Okasima 등(1998)과 Uchino 등(1998)이 가온하우스 내 不知火에서는 온주밀감 중간대목을 이용한 고접 갱신수는 탱자를 대목으로 하는 묘목에 비해 지하부 생육이 나쁘고 산 함량 감소도 지연되었다고 했는데 Kitazono(2001)는 不知火에서 구연산 함량과 세근량 사이에 부의 상관관계가 나타났다고 보고한 바 있다.

1.2. 대목의 영향

온주밀감을 비롯하여 제주에서 재배되는 감귤 품종의 대목으로 주로 이용되는 탱자는 다른 대목 품종보다 비교적 왜성이면서 생산성, 내한성, 바이러스 저항성, 접수품종과의 친화성, 발육속도, 과실품질, 증식의 편리성 등 여러 면에서 우수하고(Ferguson과 Charparro, 2004) 제주의 기상과 토양조건에 적합하다고 알려져 있다. 그러나 품종에 따라서는 탱자에 접목한 것이 과실품질은 좋지만 수세가 약하고 수량도 적은데(Noda 등, 2001a), 不知火 품종이 도입되면서 탱자에 접목된 나무의 과실이 산 함량이 높기 때문에 산 함량을 감소시킬 수 있는 대목에 관심이 모아졌다. 최근 스윙글 시투루멜로와 시쿠와샤가 도입되어 不知火 품종의 대목으로 이용되고 있지만 그 특성은 명확히 밝혀져 있지 않다.

스윙글 시투루멜로는 1907년 교배를 통해서 만들어졌는데 미국에서도 본격적으로 대목으로 이용된 것은 1980년 이후이다(Castle과 Stover, 2001). Castle과 Stover(2001)는 스윙글 시투루멜로가 줄기마름병, 트리스테자 바이러스,

토양선충, 역병 등에 강하고 내한성이 강하다고 했으며, Shaked와 Ashkenazy (1984)도 스윙글 시투루멜로 대목은 여러 품종에서 수세를 강화시키고 생산적이었으며 과실품질도 좋았지만 석회질 토양에서는 적당하지 않았다고 하였다. 또한 Roose 등(1989)은 스윙글 시투루멜로가 내한성이 강하다고 하였으며 Roose와 Kupper(1992)는 대체적으로 접수품종의 수량을 증가시켰다고 하였다. 과실품질과 관련하여 Shaked 등(1992)은 샤푸티오렌지와 미네올라에 스윙글 시투루멜로와 탱자를 대목으로 사용했을 때 스윙글 시투루멜로는 탱자 보다 가용성고형물과 산 함량이 모두 높다고 하였고, 비록 탱자와 비교하지는 않았지만 Economides와 Gregoriou(1993)는 스윙글 시투루멜로가 다른 대목들에 비해 대체적으로 가용성고형물과 산 함량이 높았다고 하였다. 이 외에도 스윙글 시투루멜로 대목은 바히아오렌지에서 대체적으로 수량을 증진 시켰다는 보고 (Silva 등, 1984)도 있다.

Takishita 등(2000)은 스윙글 시투루멜로와 시쿠와샤가 탱자 대목보다 극조생 온주밀감과 不知火의 나무 성장을 촉진시켰다고 하였으며, Takahara 등(2000)은 不知火를 이용하여 무가온 하우스에서 화분에 재식하여 시험한 결과 스윙글 시투루멜로가 탱자 대목에 비해 생장이 왕성하였으며 산 함량이 감소되었다고 하였다. 또한 Han(2001)은 온주밀감의 대목으로 탱자, 飛龍, 스윙글 시투루멜로를 사용했을 때 飛龍 대목에서 수고가 낮았고 스윙글 시투루멜로를 대목으로 사용했을 때 생장이 왕성하고 수고가 높았다고 하였으며, Noda 등(2001a)은 극조생온주인 山川早生을 7품종의 대목에 접목하여 품질을 조사한 결과 시쿠와샤, 랑푸루 라임, 스윙글 시투루멜로 및 볼카머리아나는 탱자 품종보다 월등하였으며 수량은 탱자에서 적고 스윙글 시투루멜로에서 많았다고 하였다. Noda 등(2001b)은 飛龍, 탱자, 스윙글 시투루멜로 대목을 비교하였을 때 스윙글 시투루멜로에서 생장이 왕성할 뿐만 아니라 T/R율이 높고 식물생장억제에 작용하는 호르몬인(Sakurai 등, 1985) abscissic acid(ABA) 함량이 낮았다고 하였다.

시쿠와샤인 경우 Kawase 등(1987)은 伊予柑을 시쿠와샤에 접목하였을 때 수세가 향상되고 생산적이었다고 하였는데, Kojima 등(1995)은 시쿠와샤가 탱자보다 생장이 왕성한 것은 ABA 함량 저하에 기인한다고 하여 대목과 ABA

함량 간에 관련이 있는 것으로 해석하였다. Takahara 등(2000)도 不知火 무가온 하우스에서 화분을 이용한 시험 결과 시쿠와샤가 탱자 대목에 비해 나무 생장이 왕성하고 품종의 산 함량을 감소시켰지만 동시에 당 함량도 감소시켰다고 하였으며, Inoue 등(2001)도 같은 결과를 보고한 바 있다. 그러나 Matsumoto 등(2004)은 탱자와 시쿠와샤를 이용하여 세토카 품종의 당과 산 함량을 조사한 결과 차이가 없었다고 하여 품종 간에 차이가 있음을 시사하였다.

감귤에서는 飛龍 탱자가 온주밀감이나 오렌지 대목으로 많은 검토가 되어 왔다. 飛龍은 탱자의 변이계통으로 감귤 대목에 이용하면 나무가 작아지고 과실품질도 향상되기 때문에 왜화성 대목으로 유망하다고 알려져 있다(Yahata 등, 2003). Ashkenazi 등(1992)은 飛龍 대목이 나무크기를 30~50% 감소시켰다고 하였으며 Kobayashi 등(1995)도 靑島濰州에 飛龍 대목을 도입하였는데 비슷한 결과를 나타내었다고 하였다. Kang 등(2004)도 감귤재배의 생력화를 위해 왜성인 飛龍 대목을 이용하여 日南1號, 흥진조생을 접목하고 생육 및 과실특성을 검토한 결과 飛龍 대목에서 초기생장이 느리지만 초기 착화량, 착과량 및 수량이 증가할 뿐 아니라 당도도 증가되어 대목으로서 가치가 있다고 하였다. 그러나 Takahara 등(1994, 1995)은 오렌지와 온주밀감 일부에서 飛龍 대목은 극히 나무가 소형화하고 수세가 쇠약해지기 쉽기 때문에 본래부터 수세가 쇠약한 나무나 감귤 트리스테자 바이러스에 오염되어 경제적인 재배가 불가능한 품종에서는 사용이 불가능하고 카리조, 러스크 시트렌지 등이 바람직하다고 하였다.

이 외에도 Ikeda(1990)는 杉山濰州를 접수 품종으로 하여 탱자 품종별로 과실품질을 비교한 결과 대목에 따라 당도 및 산 함량에 차이가 있었다고 하였다. Tuzcu 등(1992a)은 쿠디켄 레몬을 유자에 접목하였을 때 수량과 품질이 향상되었다고 하였으며 Tuzcu 등(1992b)은 워싱턴 네블오렌지의 대목으로서 볼카머리아나, 카리조, 트로이어 시트렌지, 시투루멜로 1452, 유자를 선발하였으며 최근 Bowman과 Rouse(2006)는 미국에서 접수품종의 수세와 과실품질을 향상시킬 수 있는 US-812 대목을 개발한 바 있다.

비록 온주밀감이 제주도에서는 주요 감귤 품종이지만 최근 품종이 다변화되고 있기 때문에 여기에 맞는 대목의 종류도 다양화 할 필요가 있다. 극조생계

온주밀감이나 不知火 등에서는 수세가 약한 것이 특징이기 때문에 이를 보완할 수 있는 강세대목의 육성이 필요하다. 제주에서는 김 등(2002)이 국내외로부터 트로이어 시트렌지, C-35 시트렌지, 카리조, 스윙글 시투루멜로, 사워오렌지, 유마 폰테로사, 매크로필라 대목을 수집하고 이를 소개하면서 不知火 대목에 관한 연구가 시작되었다.

2. 온도에 따른 수체생장 및 과실품질

2.1. 발아, 개화 및 영양생장

감귤의 생장온도 조건은 최저 12.5~13.0℃, 최적 23.0~34.0℃, 최고 37.0~39.0℃ 정도이며(Webber, 1948) 생장단계에 따라 적정 온도는 다른 것으로 알려져 있다. 감귤은 결실되지 않은 나무에서는 일정 이상의 온도가 되면 새순이 발아하여 일정 기간이 지난 다음 그 새순의 액아에서 다시 발아하지만(Inoue와 Harada, 1988) 발아 시기나 연간의 생장주기는 지역에 따라 일정치 않고(Kihara, 1991) 주로 온도가 높은 지역일수록 발아는 빠른 것으로 알려져 있다.

온주밀감에서 발아는 온도의 영향을 많이 받지만(Inoue, 1990b; Moon과 Kim, 2001) 발아에 필요한 온도는 일정하지 않다. 제주도의 경우 봄순 발아기인 4월 상중순의 평균기온은 10℃ 안팎으로 낮다(Kim, 2002). 온주밀감은 액아가 충실한 상태에서는 25℃ 정도의 고온에 처리하면 언제든지 발아하고(Kadoya, 1991), 발아가 잘 안되는 경우 6-benzylaminopurine(BA) 등의 식물생장조절제를 처리하면 발아가 촉진된다(Zhu와 Matsumoto, 1987; Zhu 등, 1989). Inoue와 Harada(1988)는 홍진조생 1년생 묘목을 15, 20, 25, 30℃ 환경제어실의 주야 항온 조건하에서 7~9개월간 재배하여 수체의 생장과 양분 흡수의 온도조건을 살펴본 결과 온도가 높을수록 봄순의 발아가 빨랐으며 15, 20℃구에서는 봄순만 발생하고 여름순과 가을순은 발생하지 않았다고 하였다. 그러나 25℃구에서는 봄순, 여름순, 가을순이 발생하고 30℃구에서는 4회의 신초가 발생하여 30℃구에서 총 신초 신장량이 가장 많았다고 하였다. 또한 엽중 무기원소 함유율은 질소와 인산이 20℃에서 가장 높은 수치를 보였고 칼리와 칼슘은 고온구일수록 높았으며 15℃구에서는 양분함량이 최저였다고 하였다.

감귤은 기온이 높을수록 개화가 촉진되는데(Bustan과 Goldschmidt, 1998; Kobayashi 등, 1967; Moon과 Kim, 2001; Moon 등, 2001), Okada(1985)는 기온 25℃에서 지온 12℃의 온도조건이 착화수를 많게 한다고 하였다. Inoue(1990b)는 온주밀감을 이용하여 12월부터 3월까지 4개월간 0, 5, 10, 15℃의 항온에서 처리한 결과 온도가 높을수록 개화가 빨라져 15℃구에서는 노지보다 35일정도 빨랐다고 하였다. 또한 Moon과 Kim(2001)은 온주밀감 하우스 내에서 1월 중순부터 최저온도를 15, 17, 19℃로 가온한 경우 19℃ 가온구의 개화기는 17℃ 가온구에 비해 8일, 15℃ 가온구에 비해 19일 빨랐다고 하였다.

Poerwanto와 Inoue(1990)는 온주밀감 개화유도와 생리적 변화에 미치는 가을철 기온과 지온의 영향을 살펴 본 결과 기온이 같은 경우 지온을 15℃에서 30℃로 높였을 때 이듬해 꽃의 수는 감소하고 기온도 30℃로 높게 유지시키면 이듬해 거의 꽃이 발생하지 않았다고 하였다. Inoue(1989)는 온주밀감 1~3년생 나무를 15, 20, 25, 30℃의 환경제어실에 넣은 후 주야 항온의 온도조건을 주고 신초생장 특성 및 화아 분화와 발달을 노지와 비교하여 관찰한 결과 온도가 높을수록 봄순의 발생이 빠르고 신장기간도 짧고 여름순 발생까지의 신장 정지기간도 짧았다고 하였다. 또한 15℃구에서는 여름순은 발생하지 않고 직화가 발생하였으며 20℃에서는 유엽과 비율이 높고 25℃와 30℃에서는 여름순이 왕성하게 신장하였지만 화퇴는 발생하지 않았다고 하였는데 20℃까지는 과실이 편평하였고 그 이상에서는 과경부가 돌출되어 나중에 요과과가 될 자방이 많이 발생하였다고 하였다. Yamanishi(1994)는 화분에 재식된 문단을 이용하여 4월 1일부터 7월 30일까지 10-20℃, 15-20℃, 25-30℃ 및 15-30℃의 인공기상실 내에 넣은 후 수체생장 및 개화에 대한 영향을 조사한 결과 온도가 높을수록 꽃수가 감소하고 꽃의 무게도 감소하였으나 순의 신장량은 증가하였다고 하였다.

온도가 뿌리 생장에 미치는 영향에 대하여 Bevington과 Castle(1985)은 뿌리의 생장은 토양온도가 27℃ 이상일 때 가장 왕성하였고 22℃ 이하에서는 감소되었는데 지상부 새순이 자라는 동안에는 뿌리의 양과 뿌리의 생장률은 감소된다고 하였으며, Elfving과 Kaufmann(1972)은 발렌시아오렌지에서 토양 온도가 15℃ 이하로 내려가면 뿌리에 의한 토양수분의 흡수는 감소되어 생장이 더디게 되었으며, Inoue와 Harada(1988)도 온주밀감에서 온도가 높을수록 뿌리의 생장은 촉진되었다고 하였다.

2.2. 생리낙과

감귤은 고온에서 낙과가 많으며(Bustan과 Goldschmidt, 1998; Kobayashi 등, 1967; Kihara와 Konaka, 2000) 일반적으로 꽃이 많이 피면 초기 낙과가 증가하여 착과율은 낮아진다(Guardiola, 1981; Takagi 등, 1987).

고온에 의해 낙과가 촉진되는 이유로 Bustan과 Goldschmidt(1998)는 그레이프후루트는 매년 20,000~50,000개의 꽃을 피우지만 그 중에 0.5~2.5%가 수확기에 남는데 과실생장에 필요한 전체 탄수화물 소비량의 10~20%가 개화에 투자되므로 개화 동안에 매일 꽃이 필요로 하는 탄수화물양은 매일 잎에 의해 생산되는 탄수화물보다 많기 때문에 낙과가 이루어지며 고온은 꽃의 호흡률을 증가시키고 개화기간을 단축시켜 낙과를 증가시킨다고 하였다.

Inoue(1989)는 온도가 높을수록 온주밀감의 형태적 화아분화기부터 개화까지의 일수는 적어지고 꽃은 작아지는데 낙과에 영향을 미치는 개화시의 자방 크기도 작아졌으며 이 경향은 유엽화보다 직화에서 뚜렷이 나타났다고 하였다. Takagi 등(1982)은 온주밀감에서 개화기 전후의 고온조건이 화기 및 유과의 발달에 미치는 영향을 조사한 결과 개화기의 고온조건에 의해 화기 크기가 작아져 낙과가 증대되었으며 과경부의 성장력이 왕성하여 기형과가 발생하였다고 하였는데 이는 세포수 및 세포크기의 증대에 기인한 것이라고 하였다.

2.3. 과실생장 및 품질

Nii 등(1970)은 온도가 조생온주밀감의 비대 및 품질에 미치는 영향을 구명하고자 15, 20, 25, 30℃구로 나누어 조사한 결과 횡경비대 및 중량생장은 20℃, 25℃에서 가장 좋고 종경비대는 고온구일수록 좋았으며 Utsunomiya 등(1982)은 온주밀감 과실의 온도를 15, 23, 30℃로 제어하여 과실의 비대생장과 성숙에 미치는 영향을 조사한 결과 과중, 과피중 모두 23℃에서 가장 무거웠고 30℃에서 가벼웠다고 하였다. Nii 등(1970)은 온주밀감 과즙중의 당 함량은 20℃ 전후에서 증가되었고 산 함량은 비대기에는 25℃, 성숙기에는 20~25℃에서 잘 감소하였지만 15, 30℃에서는 쉽게 감소하지 않았다고 하였으며, Utsunomiya 등(1982)은 과즙중의 유기산 함량은 과실온도가 높을수록 낮았고 당 함량은

23℃에서 가장 높았으며 착색은 온도가 낮을수록 빨랐다고 하였다. 또한 Yamanishi(1994)도 문단을 이용한 생육초기 온도 시험에서 온도가 높을수록 산 함량이 감소되었다고 하였으며 Mukai 등(1992)은 온주밀감 과실품질에 미치는 가을철 온도의 영향을 조사하기 위하여 20-25℃, 15-20℃처리를 한 결과 15-20℃처리에서 과실비대가 잘 되고 당 함량도 높았다고 하였는데 이는 온도가 과실의 당·산 함량에 영향을 미치고 있음을 보여준다.

온도가 높아 조기에 개화한 꽃들은 늦게 개화한 꽃보다 당 함량이 높고 산 함량이 낮는데 (Richardson과 Blank, 1996), Iwagaki와 Hirose(1980)도 개화시기와 과실품질을 조사한 결과 개화시기가 빠를수록 당 함량은 높고 유기산 함량은 감소되었으며 착색도 빨랐다고 하였다.

Richardson 등(1997)은 만개기부터 수확기까지 높이 1.8m, 폭 1.2m의 터널피복 하우스와 무처리로 나누어 온주밀감의 과실생장과 당의 축적에 미치는 영향을 조사한 결과 온도가 높은 터널피복 하우스에서 과실생장은 48% 증가하였으며 당 함량도 증가하였다고 하였다. 또한 산 함량은 만개후 8~14주까지 터널피복 하우스에서 높았으나 14주 이후 급속히 감소하여 성숙기에는 무처리보다 낮았다고 하였다. 또한 Morinaga와 Ikeda(1991)는 시설내에서는 온도, 일조 등의 환경에 의해 온주밀감의 광합성 능력이 증가하여 과실생장이 좋고 수량도 증가하였다고 하였다.

수관외부의 과실은 온도가 낮은 수관내부의 과실보다 당 함량이 높고 산 함량이 낮을 뿐 아니라 착색이 좋아지며(Izumi 등, 1990) 햇빛이 비추고 온도가 높은 남쪽 수관상부가 당 함량이 가장 높고 산 함량이 가장 낮는데(Syvertsen과 Albrigo, 1980) Iwagaki와 Kato(1982)도 유엽과, 조기 개화된 과실, 수관외부의 과실은 직과, 만기 개화된 과실, 수관내부의 과실보다 당 함량은 높고 산 함량은 낮았다고 하였다.

Matsumoto 등(1972)은 과수원의 위치도 당 함량 및 산 함량에 영향을 미치는데 해발고는 당 함량에 영향을 미치지 않았지만 산 함량에 영향을 미쳐 해발고가 높아 온도가 낮은 지역일수록 산 함량이 높아지고 특히 해발 200m 이상에서는 산 함량이 현저하게 높았다고 하였다. 또한 Huh(1973, 1975)는 과실의 비대는 일사량, 엽과비, 일조시간의 영향이 컸고 유기산 함량은 해안에서

거리가 멀수록 또는 표고가 높을수록 증가했다고 하였는데 온도가 낮을수록 산 함량이 증가하는 것이라고 할 수 있다.

3. 감귤 과실의 당 및 산 함량과 관련효소 활성

감귤 과즙의 당은 과실발육과 더불어 점진적으로 증가하고 산은 액포 발달기까지 급증하였다가 이후 점차 감소한다(Baik, 1994). 과실의 당은 가용성고형물의 75~80%를 차지하는데, 품종, 대목, 재배환경 및 재배방식 등에 따라 달라진다(Davies와 Albrigo, 1994). 감귤 과즙의 당은 자당(sucrose), 포도당(glucose), 과당(fructose)으로 이루어지며 성숙 이전까지는 거의 같은 비율로 축적되다가, 성숙기가 시작되면서 자당의 집적이 급격히 증가하게 된다(Han 등, 1970; Mataa 등, 1996; Mukai 등, 2000; Song, 1997; Song과 Ko, 1997; Takebayashi 등, 1992; Ting과 Attaway, 1971). 온주밀감 과즙 중의 당 함량 증가는 8월경부터 시작되어 9월부터 10월에 많이 증가하는데 8월부터 9월에는 환원당의 증가에 의해 전당이 증가되고 10월부터는 비환원당이 증가되며(Iwagaki 등, 1981) 사양의 생장이 완료되었을 때부터 사양 내 가용성고형물이 축적되기 시작한다(Nii와 Coombe, 1988).

온주밀감 과즙의 산 함량은 당 함량과 달리 7월 말경에 최고로 높고 그 후 과실의 발육에 따라 감소하여 수확기에는 구연산으로 환산하여 1% 내외가 된다(Iwagaki 등, 1981). 감귤 과육중의 유기산은 잎에서 전류되어온 당류로 과육 중에서 합성되는 것으로 탄산고정반응이 사양에서 유기산의 생성에 주요한 역할을 하는데 구연산 생합성이 왕성한 과실 발육 초기의 비산연 살포는 구연산 생합성을 억제하여 수확기의 산 농도를 감소시킨다(Sadka 등, 2000; Yamagi, 1990a, 1990b). 이러한 당과 산의 축적과 조성은 온도, 광 및 토양수분의 영향을 받고 나무에 과실이 달린 위치나 과실이 빛에 노출된 정도에 따라 달라진다(Daito 등, 1981; Kim, 2002; Mukai 등, 2000; Sites와 Reitz, 1949; Syvertsen과 Albrigo, 1980). Richardson 등(1997)은 시설재배(터널재배)는 노지에 비해 당 함량은 높고 산 함량이 낮은 과실이 생산되는데 당 함량의 증가는 자당함량의 증가에 의한 것이고 산 함량에서 구연산은 급속히 감소하는 반면에 능금산은 차이가 없었다고 하였다. 그러나 Utsunomiya 등(1982)은

온주밀감과실을 수상에서 15, 23 및 30℃로 처리한 결과 가용성고형물 함량은 23℃에서 가장 높았지만 온도가 낮을수록 자당 함량 비율이 증가하였다고 하였다.

토양수분이 낮을수록 과실의 당도와 전당이 증가하는데, 이는 비환원당인 자당보다 환원당의 급격한 증가에 기인한다(Hockema와 Echeverria, 2001; Moon, 2001; Mukai 등, 1996; Yakushiji 등, 1996). 과실의 부위에 따라서도 당 조성과 농도가 달라지는데, 가용성고형물은 과경부보다 과정부에서 높으며(Haas와 Klotz, 1935; Song 등, 1998), 중심부보다 과경부와 과정부에서 환원당은 낮고 비환원당은 높다고 하였다(Ting, 1969).

감귤의 당은 주로 자당의 형태(Moriguchi, 1997)로 전류되지만 잎에서 과실로의 당의 전류와 과실 내에서 자당의 합성과 분해경로는 현재까지도 확실히 밝혀지지 않았다. 과실내 당의 집적은 잎, 체관부 및 과실 간 순차적인 자당 농도의 구배에 의하여 사양 안으로 당이 전류되는데, 이때 세포벽에 결합되어 있는 sucrose synthase(SS. EC 2.4.1.13)와 acid invertase(EC 3.2.1.26)가 unloading을 촉진하게 되고, 세포질에 존재하는 sucrose phosphate synthase (SPS. EC.2.4.1.14)와 SS에 의해 자당은 재합성되며 최종적으로 액포 내 pH와 액포막의 adenosine triphosphatase(ATPase)의 작용으로 액포 속으로 저장된다(Hockema와 Echeverria, 2001; Koch와 Avigne, 1990; Kubo 등, 2001; Song 등, 1998; TomLinson 등, 1991; Winter 등, 1997).

감귤에서는 주로 자당의 합성과 분해 등 탄수화물 대사에 관여하는 효소 중에서 SS, SPS 및 invertase의 3가지 효소가 핵심효소로 알려져 왔다(Akira 등, 1999; Candance 등, 1987; Patricia 등, 1991). 자당의 합성은 SS와 SPS에 의해 이루어지는데, SS는 uridine-5'-diphosphoglucose (UDPG)와 과당을 이용하여 자당과 uridine-5'-diphosphate(UDP)를 합성하기도 하고, 반대로 자당을 포도당과 과당으로 분해하기도 한다(Hockema와 Echeverria, 2001; Winter 등, 1997). 일반적으로 어린잎과 과실은 자당을 분해하여 세포의 합성과 신장에 이용하기 때문에 자당을 분해하는 SS(분해능력)와 invertase의 활성이 높게 나타나나 성숙 잎과 성숙 과실에서는 자당을 합성하는 SS(합성능력)와 SPS의 활성이 높게 유지된다고 알려져 있다.

SS 활성은 성숙기가 되면서 활성이 증가하거나 감소 또는 정체를 할 수 있다. Hubbard 등(1991)은 복숭아, 딸기, 망고 등에서 생육단계에 따른 SS 활성을 분석한 결과 복숭아에서는 SS 활성이 성숙함에 따라 증가하고, 딸기와 망고에서는 감소되거나 거의 변하지 않았다고 하였다. Kubo 등(2001)은 온주밀감에서 착과부담이 많은 구와 적은 구를 대상으로 SS 활성을 분석한 결과 착과부담이 많은 구에서 SS 활성이 높았으며 모든 처리에서 성숙기에 갈수록 그 활성은 증가하였다고 하였다. 그러나 Richardson 등(1997)은 온주밀감에서 과즙내 SS 활성은 만개후 11주부터 증가하기 시작했으나 만개후 25주부터 감소했다고 하였고, Lowell 등(1989)도 그레이프후루트에서 과즙내 SS 활성은 액포발달기까지는 증가하다가 성숙기가 되면 감소하였다고 하였다. Song과 Ko(1997)도 발렌시아오렌지 과실에서 과즙내 SS 활성은 과실이 성숙함에 따라 감소되는 경향이었다고 하였는데 당 함량과 유의적인 상관은 없는 것으로 나타났다. 그러나 오렌지 품종별로는 자당 함량과 SS 활성 간에 유의한 정의상관관계가 관찰되었다고 하였다.

Winter 등(1997)은 SS는 부분적으로 원형질막과 결합하여 세포내 당대사와 관련된다고 하였고, Winter와 Huber(2000)는 SS는 세포질에 분포하는 가용형, 원형질막 결합형, 액틴 필라멘트 결합형의 3개 형태가 존재한다고 하였다. 당은 유전자 표현을 조절하기 때문에 자당분해 효소들은 세포 분화 및 발육을 조절하는데 중요한 역할을 가진다(Surm과 Tang, 1999). 또한 SS는 많은 식물에서 자당의 합성은 물론 체관부에서의 loading 및 unloading, 수용부위에서의 활력 등 분배에 관여한다고 알려져 있다(Balibrea 등, 1996; Moriguchi, 1997).

SPS는 fructose-6-phosphate(F6P)와 UDPG를 이용하여 sucrose-6-Phosphate(S6P)를 합성하며, sucrose-phosphate phosphatase(SPP, EC 3.1.3.24)에 의해 최종적으로 유리 자당이 합성된다(Lunn 등, 2000). SPS는 동일 식물체에서도 활성형과 비활성형의 두 가지 형태로 존재하고, 광 및 온도 등의 환경요인에 따라 활성의 차이를 보인다(Doehlert와 Huber, 1983; Komatsu 등, 1999). SPS는 과실발육 동안에 자당합성에 있어서 중요한 역할을 하는데 특히 저온이나 수분스트레스 조건하에서 그 특성이 발현된다고 알려져 있으며(Moriguchi, 1997;

Tzur 등, 1992) 감귤 과실조직에서의 SPS는 과실발육이 진행됨에 따라 그 활성이 증가하는데 여기에 Citrus SPS1 유전자가 영향을 미친다(Akira 등, 1999). 그러나 Kubo 등(2001)은 온주밀감에서 SPS는 SS에 비해 활성이 미미하며 생육단계에 따라서도 차이가 없었다고 하였다.

액포 내 당과 산은 성숙 과즙 세포내 에너지를 공급하는 주요 탄수화물 형태이고(Echeverria와 Valich, 1988) 액포막을 통한 이온과 대사물질의 이동은 세포삼투압과 세포질 대사를 조절하는 중요한 역할을 한다. 액포막은 양성자 운반효소나 당 및 무기물질의 활성운반체와 같은 여러 가지 운반체계를 가지는데 여기에는 에너지를 필요로 한다. 액포막은 1차 활성운반체라 불리는 두 종류의 H^+ 펌프, V-ATPase와 H^+ 를 전달하는 무기 V-PPase에 의해 영향을 받는데 이는 H^+ 기울기에 의해 액포 안으로 물질이 이동하는데 필요한 에너지를 공급하고(Rea와 Sanders, 1987; Brune 등, 1998), 또한 액포 내 H^+ 기울기는 sugar/ H^+ antiporter, Ca^{2+}/H^+ antiporter, 및 NO_3^- 채널과 같은 2차 전달체계를 위한 에너지원으로서 사용된다(Maeshima 등, 1996; Nakanishi와 Maeshima, 1998).

식물체에서 H^+ -ATPase 또는 H^+ 펌프는 세포의 분화, 양분의 흡수 및 저장, 팽압의 조절, 세포내 pH 조절 등 다양한 생리현상에 주된 역할을 수행하며 식물의 생육조절에 중심적 역할을 한다. 식물세포에는 원형질막뿐만 아니라 액포막을 포함한 세포내 소기관 막에 여러 종류의 H^+ -ATPase 가 존재하며, 이들 중 원형질막 및 액포막의 H^+ -ATPase가 주된 효소로서 세포 또는 액포 내로 물질을 운반하는데 중요한 역할을 한다(Michelet와 Boutry, 1995; Sze, 1985; Ward와 Sze, 1992).

H^+ 펌핑 V-ATPase는 과실발육 동안에 당과 산의 축적을 촉진시키는데 (Marsh 등, 2000), 낮은 산 함량과 높은 액포 pH를 갖는 감귤 품종들에서 높은 활성을 보인다(Echeverria 등, 1997). Marsh 등(2001)은 ATP를 기질로 하여 ΔpH 를 분석하였을 때 스위트 라임과 발렌시아오렌지의 액포막에서는 차이가 없었지만 애시드 라임에서는 액포 안과 밖의 H^+ 가 균형을 이루는데 오랜 시간이 지속되었으며 PPi 존재 하에서 V-PPase에 의한 H^+ 펌핑 차이는 더 뚜렷하게 나타났다고 하였다.

Brune 등(2002)은 애시드 라임과 스위트 라임에서 H^+ /ATP비율을 분석한 결과 H^+ 펌핑은 스위트 라임에서 2배정도 높았다고 하였는데 스위트 품종계통에서 과실성숙 동안에 액포내 구연산의 감소는 pH 증가와 밀접하게 관련된다고 하였으며, Marsh 등(2000)은 애시드 라임, 발렌시아오렌지, 스위트 라임 등의 액포막에서 V-PPase 활성을 정량한 결과 산 함량이 낮은 스위트 라임에서 가장 높은 활성을 보였고 산 함량이 높은 애시드 라임에서 가장 낮은 활성을 보였다고 하였다.



Ⅲ. 재료 및 방법

1. 대목이 수체생장 및 과실품질에 미치는 영향

1.1. 중간대목이 과실품질에 미치는 영향

1.1.1. 시험수

이 시험은 제주특별자치도 서귀포시 표선면 표선리, 남원읍 위미리, 토평동 등 3곳의 일반재배농가 하우스에 재식된 不知火 10년생을 이용하여 수행하였다. 3곳 모두 화산회토 토양이었고, 탱자 대목에 접목된 15년생 궁천조생(*C. unshiu* Marc. cv. Miyagawa Wase)을 중간대목으로 하여 不知火 품종을 고접한 고접수와 탱자 대목에 직접 不知火 품종을 접목한 접목수가 교호로 재식된 상태에 있었다. 조사는 각각의 포장에서 교호로 재식된 고접수와 일반 접목수 중 수세가 안정되고 엽과비가 100~120 내외의 나무 각각 5주씩 선정하여 수행하였다.

1.1.2. 과실비대 및 품질조사

과실비대는 지역별로 1주당 10개, 총 50개의 유엽과 과실을 표지하고 2002년 10월 4일부터 1월 25일까지 2주 간격으로 과실횡경을 디지털 캘리퍼(WA 100, Mitutoyo, 일본)로 측정하여 평균하였다.

과실품질은 10월 4일부터 1월 25일까지 2주 간격으로 수관 동서남북에서 50~70cm 높이에 착과된 과실로 주당 5과를 수확하여 실험실에서 분석하였다. 과피의 착색도는 과중을 조사하기 전에 과실 적도부근 과피 4지점을 색상 색차계(Color-Eye 2145, Macbeth, 미국)로 측정하여 Hunter a*(적녹도)값으로 표시하였다. 과중은 디지털 저울을 이용하여 0.1g까지 무게를 측정하여 평균을 구하였으며 과육율은 과중을 측정한 후 껍질을 모두 벗겨낸 과육만을 다시 과중과 같은 방법으로 측정한 과육중을 과중으로 나눈 후 100을 곱하여

산출하였다.

과즙의 가용성고형물(°Brix) 및 적정산 함량은 과육중을 측정하고 난 과육을 나무별로 모아 여과지가 들어있는 착즙기로 착즙하고 착즙된 과즙을 日園連 糖度酸度分析裝置(NH-1000, Horiba, 일본)를 사용하여 실온에서 측정하였고 당산비는 가용성고형물과 산 함량의 비율로 나타내었다.

1.1.3. 유리당 함량 분석

유리당 함량은 과즙을 millipore filter(0.4 μ m)로 여과한 후 3차 증류수를 이용하여 1,000배로 희석하고 DX-500 Bio-LC(Dionex, 미국)로 분석하였다.

유리당 함량을 분석하기 위한 표준물질로는 fructose, glucose, sucrose (Sigma Chemical Co., GR)를 사용하였으며 유리당 분석을 위한 Bio-LC 운영조건은 Table 1과 같았다.

Table 1. Bio-LC conditions for analysis of free sugar and organic acid.

Item	Free sugar	Organic acid
Column	Carbopac TM PA1	Ionpac® ICE-AS6
Mobile phase	100mM NaOH	0.4mM Heptaflorobutyric acid
Detector	INT Amperometry	Conductivity
Injection volume	0.5 μ L	0.5 μ L
Flow rate	0.6mL	0.9mL
Column temperature	28°C	28°C

1.2. 대목의 종류가 수체생장 및 과실품질에 미치는 영향

1.2.1. 처리 내용

탱자(*Poncirus trifoliata*), 스윙글 시투루멜로(*C. paradisi* × *Poncirus*

trifoliata), 시쿠와샤(*C. depressa* Hayata), 유자(*C. junos*), 신감하(*C. natsudaidai*) 등 5종의 대목을 비교하였다.

1998년에 난지농업연구소 유전자원 포장에서 각 대목의 종자를 채취하여 저장한 후 1999년 3월 용량 1L 화분에 대목 종자를 과중하고 성장시켰다. 2000년 봄에 절절에 의해 不知火를 접목하여 1년간 성장시킨 후 2001년 3월 난지농업연구소 감귤연구센터 감귤 하우스에 10주를 1구로 한 난괴법 3반복으로 2.0×2.7m 간격으로 재식하고 2001년부터 2003년까지 무가온 상태로 하우스 관리기준에 맞추어 묘목을 성장시켰으며 2004년과 2005년 2년에 걸쳐 수체생장 및 과실품질을 조사하였다.

1.2.2. 생육, 과실수량 및 품질 조사

시험구별 10주 중에서 수세가 안정된 5주를 선정하여 표지해 놓고 조사하였다. 간경은 접목부위로부터 10cm 위에서 측정하였으며 분순 길이, 수고, 수폭 등 수체생장을 조사하였다. 2005년과 2006년 2월 10일 전체 과실을 수확하여 과실수를 세고 무게를 달아 주당 과실수와 수량을 나타내었으며 주당 20개의 과실에 대해 시험 1의 방법으로 과실의 착색도, 과중, 과형지수, 과육율, 가용성고형물, 적정산, 유리당 및 유기산 함량 등을 분석하였다. 유기산 정량을 위한 표준물질로는 L-malic, citric, oxalic acid(Sigma Chemical Co., GR)를 사용하였으며 분석을 위한 Bio-LC 운영조건은 Table 1과 같았다.

1.2.3. 효소 활성 및 단백질 함량 분석

효소 분석을 위한 전처리 및 효소활성 측정은 Hockema와 Echeverria(2001)의 방법을 일부 변형하여 수행하였다.

분석 전처리 : 감귤 과즙의 효소활성은 10개의 과실을 채취하여 과실을 적도면으로 2등분하고 착즙한 후 1mL를 1M 3-(N-Morpholino)propanesulfonic acid(MOPS, 7.5M KOH pH 8.0), 14mM mercaptoethanol, 4mM ethylene glycol-bis(aminoethyl ether) N,N,N',N'-tetraacetic acid(EGTA), 1.5% polyvinylpyrrolidone(PVP)-40이 들어 있는 1mL homogenization buffer를 이용하여 50mL 비이커에 모두 넣은 후 나일론 메쉬로 걸러내었다. 걸러낸 것을

50mL 원심분리용 튜브에 넣고, 초고속원심분리기(Beckman TL-100, 미국)로 4℃에서 77,000×g로 45분간 원심분리를 실시하고 상정액을 채취하여 -80℃에 보관하였다가 효소 분석에 이용하였다.

상정액을 sephadex G25 column에 주입하고 10mM 4-(2-hydroxyethyl)-1-piperazineethanesulfonic acid(HEPES, 7.5M KOH pH 7.0), 2mM dithiothreitol(DTT), 1mM MgCl₂이 들어 있는 column buffer 용액을 5mL씩 3회 정도 흘려보내어 column을 활성화시켜 효소액을 채취하였다. 효소활성 분석을 위한 전처리는 모두 4℃에서 실시하였다.

Sucrose synthase(SS, EC 2.4.1.13) 활성 : 1M HEPES(7.5M KOH pH 8.0), 75mM uridine-5'-diphosphoglucose(UDPG), 100mM fructose, 20mM MgCl₂ 및 100mM NaF 가 들어있는 반응 buffer에 효소액을 넣은 후 30℃ 항온 incubator에서 100μL를 0, 30, 60, 90분 간격으로 30% KOH가 들어있는 튜브에 넣고 100℃ 끓은 물에 10분간 처리하였다. 분석은 anthrone 시약으로 40℃에서 40분간 발색시켜 620nm에서 흡광도를 측정 한 후 농도로 나타내었다.

Sucrose-phosphate phosphatase(SPP, EC 3.1.3.24) 활성 : 1M (2-(N-Morpholino) ethanesulfonic acid(MES, pH 6.5), 20mM sucrose-6-phosphate(S6P), 200mM MgCl₂ 이 들어 있는 buffer에 효소액을 넣고 교반한 후 50μL를 0, 30, 60 및 90분 간격으로 7.2% sodium lauryl sulfate(SDS)에 넣고 30℃ 항온에서 반응을 진행시켰다. 6% ascorbic acid와 1% ammonium molybdate, sodium citrate, 2% sodium metaarsenite, acetic acid을 이용하여 발색시킨 후 895nm에서 인산 함량을 정량하여 효소 활성을 구하였다.

단백질 함량 : BSA를 이용하여 0, 10 및 20μg · mL⁻¹을 표준용액으로 하고 효소액과 발색시약을 넣고 상온에서 10분 후 595nm에서 흡광도를 측정하였다.

2. 온도가 수체생장 및 과실품질에 미치는 영향

2.1. 생육초기 온도의 영향

2.1.1. 시험수와 처리내용

이 시험은 제주특별자치도 서귀포시 남원읍에 소재한 난지농업연구소 감귤연구센터 포장 하우스에 재식된 탕자 대목에 접목된 6년생 不知火 [Shiranuhi, (*Citrus unshiu* × *C. sinensis*) × *C. reticulata*], 淸見[Kiyomi, *C. unshiu* × *C. sinensis*], 津之香[Tsunogaori, (*C. unshiu* × *C. sinensis*) × *C. unshiu*]을 시험수로 하여 수행되었다.

시험수는 2001년 2월에 하우스 내에 2.0×2.7m로 재식하여 2002년 시험전까지 하우스 내에서 생장을 시켰다. 하우스는 1동의 면적이 660㎡였고 같은 면적의 하우스 3동을 시험에 이용하였다.

2002년 2월 15일에 하우스 천정 및 측면 외부에 직경 0.1mm 폴리에틸렌 필름을 피복하고, 내부에는 0.05mm 폴리에틸렌 필름으로 2중과 3중 피복하였다. 비닐 피복 후 밤 온도 15℃, 낮 온도 25℃로 설정한 15-25℃구, 밤 온도 18℃, 낮 온도 28℃로 설정한 18-28℃구와 낮 온도는 20℃로 설정하고 밤에 가온하지 않은 대조구 등 3처리를 두었다. 2월 20일부터 5월 30일까지 가온하였으며, 6월 1일에 2·3중 비닐을 제거한 후 측면 및 천정을 개방하여 수확시까지 자연 환경에 가깝게 온도관리를 하였다. 가온하기 전날 50mm 정도 관수를 하였고 이후 하우스 관리는 난지농업연구소 하우스 관리기준에 준하였다.

2.1.2. 온도 및 생육 조사

하우스 내 온도조사는 자체 제작한 간이 백엽상을 하우스 중간부위에 설치하고 온도 로거(HoboXT, Onset, 미국)를 지상 1.5m 높이의 백엽상 안에 넣은 후 2월 21일부터 6월 30일까지 1시간 단위로 측정하였다.

만개기는 70~80% 개화되었을 때의 날짜를 기준으로 하였고, 봄순 길이는 순이 녹화된 6월 10일에 무작위로 선정된 주당 20개의 봄순을 조사하여 평균하였다. 착화량, 신초수 및 착과량은 만개직전에 수관 동서남북 4개

방향에서 착화수가 중간정도이고 200매 내외의 구엽을 가진 측지 각 1개씩 나무당 모두 4개를 표지하고 구엽과 꽃수, 신초수를 세어 꽃수를 구엽수로 나누어 화엽비로 나타내었으며 신초수를 구엽수로 나누어 구엽 100매당 신초수로 표기하였다. 생리낙과가 완료된 6월 중순에 착화량 조사시 표지해 둔 가지의 총 엽수와 과실수를 세어 총 엽수를 과실수로 나누어 엽과비를 산출하였다. 착과율은 착화량 및 착과량을 조사한 측지의 과실수를 처음에 조사한 꽃수로 나누고 이 값에 100을 곱하여 백분율로 나타내었다. 엽면적은 새순이 신장하여 자기적심이 끝나고, 녹화된 6월 10일에 봄순 끝으로부터 3번째 잎 10매를 채취하여 엽면적계(LI-3100, Licor, 미국)로 조사하여 평균하였다.

2.1.3. 광합성 속도 측정

광합성 속도는 수관 동서남북 4방향에서 나무 중간상부에 위치한 15cm 정도의 전년도 봄순 끝에서 세 번째 잎 4매, 처리별 3반복 12매를 선정하고 3월 20일 오전 10시부터 13시 사이에 광합성측정기(Li-6400, Licor, 미국)를 이용하여 측정한 후 평균하여 외관상 광합성 속도로 나타내었다.

2.1.4. 과실품질 분석

과실품질은 10월부터 1개월 간격으로 수관 사방에서 50~70cm 높이에 착과된 과실을 나무당 5개, 처리당 25개를 채취하여 시험 1.1의 방법으로 분석하였다.

과실 횡경, 종경, 과형지수는 6월 24일부터 12월 9일까지 수관 사방에서 나무 중간상부에 착과된 유엽과 과실을 나무당 10과, 처리당 50과를 선정하고 과실의 횡경과 종경을 1개월 간격으로 디지털캘리퍼(WA 100, Mitutoyo, 일본)로 측정한 후 횡경을 종경으로 나누고 100을 곱하여 과형지수를 구하였다. 과실크기는 수확기에 나무당 무작위로 100과를 추출하고 디지털 캘리퍼로 과실횡경을 측정한 후 크기별 분포를 나타내었다.

2.2. 생육후기 온도의 영향

2.2.1. 시험수와 처리내용

시험 2.1과 같은 포장에서 일년 뒤인 2003년에 가온개시 이전까지는 모든 처리구의 관리를 똑같이 하였는데 3월 15일에 하우스 외부에 직경 0.1mm 폴리에틸렌 필름을 피복하고, 천정 곡간 환기부를 개방하여 11월 30일까지 자연환경에 가깝게 관리하였으며 일반관리는 난지농업연구소 하우스 관리기준에 준하였다. 하우스 천정 곡간환기부에 말아 올려서 개방된 비닐을 11월 30일에 내리고, 비닐 고정용 스프링으로 비닐을 패드에 고정시킨 후 하우스 내부에 직경 0.05mm 폴리에틸렌 필름으로 다시 피복하였다.

12월 1일부터 1월 31일까지 밤 온도 5°C, 낮 온도 15°C로 설정한 5-15°C구, 밤 온도 10°C, 낮 온도 20°C로 설정한 10-20°C구와 가온을 하지 않고 낮 온도를 10°C로 설정한 무가온구 등 3처리를 두었으며, 2월 1일에는 내부비닐을 벗겨낸 후 다시 자연상태로 관리하였다.

2.2.2. 온도, 상대습도 및 과실품질 조사

하우스 내 온도 및 습도는 시험 2.1과 같은 방법으로 12월 1일부터 수확기까지 조사한 후 수단위별로 평균하여 나타내었고 과실품질, 착색, 유리당, 유기산 함량은 수확기에 시험 1.1에 준하여 조사하였다.

주당 부패과율은 수확전 부패로 인하여 낙과된 과실수와 수확 후 육안으로 골라낸 부패된 과실을 합산하여 총 과실에 대한 비율로 나타내었다.

3. 과실 성숙에 따른 과즙의 당과 산 및 효소 활성의 변화

이 시험은 2003년 4월부터 2004년 1월까지 제주특별자치도 서귀포시 남원읍에 소재한 난지농업연구소 감귤연구센터 유전자원 보존 하우스에서 탕자 대목에 접목되어 재식된 10년생 不知火, 흥진조생(*C. unshiu* Marc. cv. Okitsu Wase), 수카리(*C. sinensis*) 및 사워오렌지(*C. aurantium*) 등 4 품종을 시험

품종으로 이용하였다. 2003년 10월 15일부터 2004년 1월 15일까지 1개월 간격으로 품종별 3주에서 수관 사방으로 5과씩 채취하여 4℃ 냉장고에 보관하였다. 보관된 과실은 적도면으로 2등분하고 착즙한 후 5mL는 과피의 착색도, 과즙의 가용성고형물, 적정산, pH, 유리당, 유기산 등의 함량을 분석하였고 1mL는 SS와 SPP의 활성을 시험 1.2와 같은 방법으로 분석하였다. 전처리 과정은 4℃에서 실시하였다.



IV. 결과 및 고찰

1. 대목이 수체생장 및 과실품질에 미치는 영향

1.1. 중간대목이 과실품질에 미치는 영향

1.1.1. 과실생장 및 착색

不知火 과실의 시기별 횡경 변화를 Table 1-1에 나타내었다. 온주밀감에 고접한 不知火나무에 결실된 과실 횡경은 탕자 대목에 바로 접목한 나무에 결실된 과실 횡경과 거의 차이가 없이 11월 중순까지 계속적으로 증가하다가 이후 완만한 증가를 보였으며 12월 중순 이후는 거의 증가하지 않았다.

과중은 고접수에서 약간 무거운 경향을 나타내었으나 유의적인 차이는 없었고 과실 횡경과 유사하게 12월 상순까지 증가하다가 그 이후 거의 증가하지 않았다(Table 1-2).

과육율은 대체적으로 온주밀감 고접수에서 다소 높은 경향을 나타내었으나 유의적인 차이는 없었으며 두 처리구 모두 12월 상순까지는 증가 또는 정체상태를 보였고 12월 상순 이후 감소되는 경향을 나타내었다(Table 1-3). 고접수에서 과육율이 다소 높은 것은 과피의 생장이 둔화되어 얇았기 때문이라고 생각되었다.

과피색의 적녹도를 나타내는 hunter a* 값(Table 1-4)은 접목수에서 품질조사 초기부터 높은 경향을 보였지만 유의적인 차이는 없었다. 접목수의 과실이 고접수의 과실보다 착색이 빠른 것은 성숙이 다소 빠르기 때문에 나타난 결과라고 판단되었다.

Table 1-1. Effect of interstock on changes in fruit width of 'Shiranuhi' in plastic film house.

Treatment ^z	Fruit width (mm)				
	Oct. 4	Nov. 5	Dec. 3	Dec. 30	Jan. 25
Interstock	79.7	86.6	88.8	90.5	90.3
Control	79.7	86.4	88.6	90.6	90.3

Not significant between treatments.

^zInterstock, topworking as 'Shiranuhi'/satsuma mandarin/trifoliolate orange; Control, common grafting as 'Shiranuhi'/trifoliolate orange.

Table 1-2. Effect of interstock on changes in fruit weight of 'Shiranuhi' in plastic film house.

Treatment ^z	Fruit weight (g)				
	Oct. 4	Nov. 5	Dec. 3	Dec. 30	Jan. 25
Interstock	231.7	271.1	307.3	300.7	315.9
Control	228.1	269.7	303.1	297.0	306.1

Not significant between treatments.

^zSee Table 1-1.

Table 1-3. Effect of interstock on changes in flesh rate of 'Shiranuhi' in plastic film house.

Treatment ^z	Flesh rate (%)				
	Oct. 4	Nov. 5	Dec. 3	Dec. 30	Jan. 25
Interstock	74.3	76.8	76.4	75.2	73.5
Control	74.9	75.9	75.8	73.7	70.8

Not significant between treatments.

^zSee Table 1-1.

Table 1-4. Effect of interstock on changes in Hunter a* value of peel of 'Shiranuhi' in plastic film house.

Treatment ^z	Hunter a* value			
	Nov. 5	Dec. 3	Dec. 30	Jan. 25
Interstock	-1.2	18.2	25.7	27.8
Control	1.2	18.8	26.1	27.6

Not significant between treatments.

^zSee Table 1-1.

1.1.2. 가용성고형물 및 적정산 함량

고접수와 접목수 과즙 가용성고형물 함량은 Table 1-5에서 보는 바와 같이 두 처리구 모두 생육단계가 경과함에 따라 증가 추세를 보였으며 접목수에서 11월 중순 이후 다소 높은 경향을 보였지만 유의적인 차이는 없었다.

Makita와 Hara(1979)는 夏橙을 중간대목으로 하여 八朔 등 5종의 품종을 고접하고 탕자 대목과 비교한 결과 과중, 착색, 가용성고형물 함량에 미치는 영향이 미미하다고 하였으며 Castle과 Krezdorn(1992)도 飛龍 탕자를 중간대목으로 사용했을 때 나무크기는 작아지지만 수량과 과실품질은 변하지 않았다고 한 보고 등과 유사한 결과를 보였다. 중간대목에 따라서는 접수품종의 품질이 다소 달라지며 온주밀감을 중간대목으로 이용했을 때 접수품종의 품질에는 영향이 없었지만 신감하에서는 당 함량이 낮을 뿐만 아니라 품질이 낮은 과실이 생산되었다고 한 Kuriyama(1988)의 보고와도 크게 다르지 않았다.

Table 1-5. Effect of interstock on changes in juice Brix of 'Shiranuhi' in plastic film house.

Treatment ^z	Juice Brix (°Brix)				
	Oct. 4	Nov. 5	Dec. 3	Dec. 30	Jan. 25
Interstock	8.9	9.7	10.9	12.1	12.5
Control	8.7	9.8	11.2	12.3	13.0

Not significant between treatments.

^zSee Table 1-1.

과즙의 산 함량은 접목수에서 전 성장단계에 걸쳐 고접수보다 유의하게 빨리 감소되는 경향을 보였다(Fig. 1-1). 접목수인 경우 1월 25일에 산 함량이 1.2% 내외로 수확이 가능하였으나 고접수는 1.5%로 높아 수확할 수 없는 상태였다. 이러한 결과는 不知火에서 고접수의 산 함량은 접목수보다 높았다고 한 것(Okawa, 2000)과 가온하우스 내 온주밀감 중간대목을 이용한 不知火시험에서 고접 갱신수는 탕자를 대목으로 하는 묘목에 비해 지하부 생육이 나쁘고 산 함량 감소도 지연되었다고 한 보고(Okasima 등, 1998; Uchino 등, 1998)와 같은 경향을 보인다.

고접의 영향은 접목법, 기후, 관리상태에 따라 복합적으로 나타나며(Iwasaki, 1968), 고접 갱신은 접목부분의 활착과 접목방법에 따라 세균이 감소되거나 부패가 생겨 뿌리의 활력이 저하될 수 있는데(Tsuda 등, 1978), Kitazono (2001)는 不知火 과실의 구연산 함량과 세균량 사이에 부의 상관관계가 나타났다고 한 바 있다. 따라서 不知火품종을 중간대목에 고접할 경우 산 함량이 증가하는 것은 명확하지는 않지만 뿌리의 활성이 저하되어 수체로의 양수분 이동이 원활하지 못하기 때문에 발생하는 것으로 생각된다. 이러한 문제 때문에 세력이 약한 不知火 나무에서는 근접에 의해 수체회복을 도모하는 경우도 있다(Sakaki 등, 2006). 고접 갱신은 비교적 단기간에 수관의 회복이 가능하고 수량을 확보할 수 있어 갱신에 의한 농가의 경제적 부담이 크지 않기 때문에 오래전부터 널리 이행되어온 갱신 방법이지만 不知火에서는 산 함량이 높기 때문에 이에 대한 대책이 필요하다고 생각되었다.

가용성고형물과 산 함량의 비율인 당산비는 시간이 경과함에 따라 두 처리 모두 완만한 증가 추세를 보였으나 증가의 폭은 산 함량이 낮은 일반 접목수에서 더 컸다(Fig. 1-2). 감귤은 당과 산이 조화롭게 함유되었을 때 기호성이 높으며 일반적으로 당산비가 높을수록 식미가 좋고 10 이상이면 양호한 편인데(Baik, 1994) 이 시험에서는 수확기인 1월 25일에 접목수는 11.0 내외였지만 고접수는 8.6 정도로 10 이하를 나타내어 식미가 좋지 않은 것으로 나타났다.

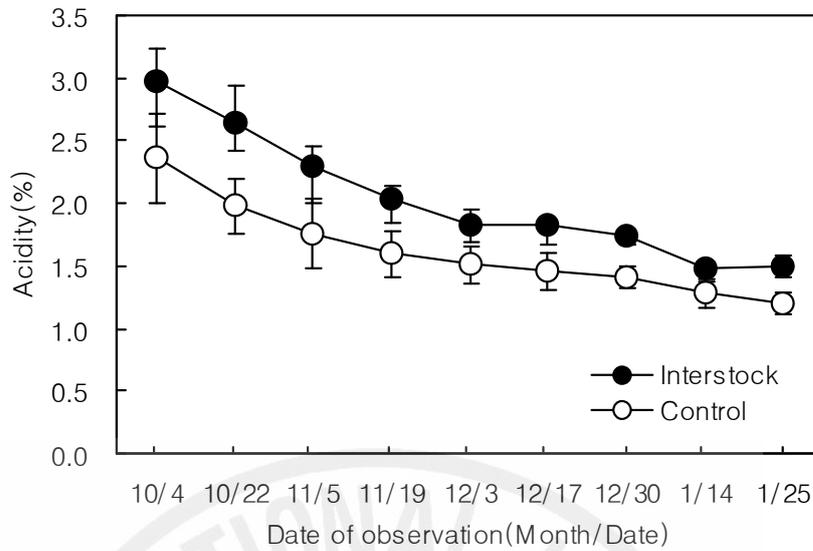


Fig. 1-1. Seasonal changes in titratable acidity of the fruit juice of ‘Shiranuhi’ as affected by interstock in plastic film house. See Table 1-1 for the explanation of treatments. Vertical bars indicate the standard errors.

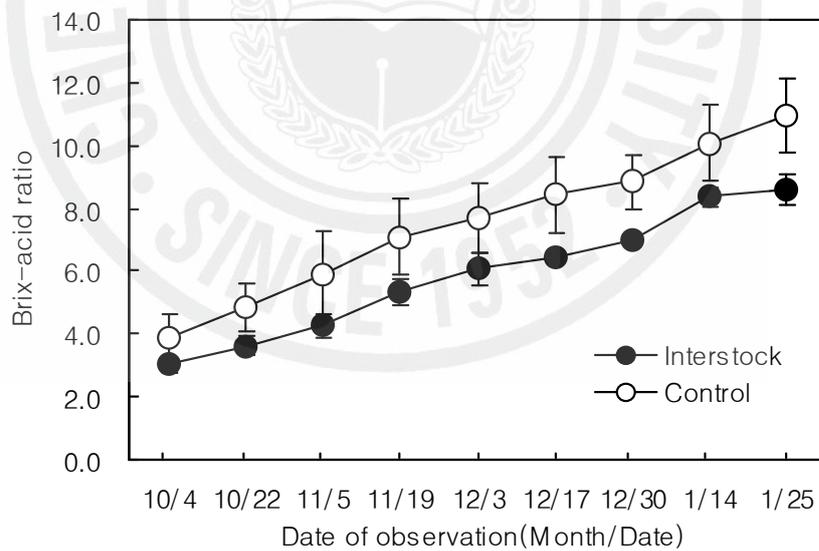


Fig. 1-2. Seasonal changes in Brix-acid ratio of the fruit juice of ‘Shiranuhi’ as affected by interstock in plastic film house. See Table 1-1 for the explanation of treatments. Vertical bars indicate the standard errors.

1.1.3. 유리당 함량

과실의 유리당 함량(Table 1-6)은 시간이 경과함에 따라 두 처리구 모두 증가하는 경향을 보였지만 두 처리간에 유의차는 없었다. 과실의 유리당 함량 비율은 대체적으로 자당이 49%, 포도당이 24%, 과당이 27% 내외를 나타내었는데 고접수는 접목수에 비해 자당 함량이 낮고 포도당, 과당 함량이 조금 높은 경향을 보였지만 유의적인 차이는 없었다. 이것은 온주밀감에 수분스트레스를 가하였을 때 자당 비율이 낮고 포도당과 과당 비율이 높았다는 보고(Moon, 2001; Mukai 등, 1996; Yakushiji 등, 1996)와 비슷한 것으로 생각되지만, Yahata 등(2003)이 뿌리의 활력이 약한 왜화성 대목인 飛龍 대목에서 온주밀감을 접수로 사용하는 경우 탱자 대목에 비해 포도당과 과당 비율이 낮고 자당 비율이 높았다는 보고와는 달라 이에 대한 연구가 앞으로 더 이루어져야 할 것으로 사료된다.

이상을 종합해 보면 고접은 품종에 따라 수량의 감소와 수관의 축소를 가져올 수 있지만(Ashkenazi 등, 1993; Castle과 Krezdorn, 1992; Yonemoto 등, 2004) 대체적으로 단기간에 수관의 회복이 가능하고 수량을 확보할 수 있다는 점에서(Camara 등, 2003, 2004; Makita와 Hara, 1979; Sanderson 등, 2005) 좋은 갱신방법이다. 그러나 不知火 품종인 경우 조기 수관 확대 및 수량 확보를 목적으로 온주밀감에 고접할 경우 과실크기나 과중은 탱자 대목에 직접 접목한 것과 비교하여 큰 차이는 없으나 가용성고형물 함량이 감소되고 산 함량 감소가 늦으므로 가능한 한 대목에 직접 접목하여 묘목으로 양성하여 재배하는 것이 바람직하다고 판단된다.

Table 1-6. Effect of interstock on changes in concentration of free sugars in the fruit juice of 'Shiranuhi' in plastic film house.

Treatment ^z	Sugar	Concentration of free sugar (g · L ⁻¹)			
		Nov. 5	Dec. 3	Dec. 30	Jan. 25
Interstock	Glucose	11.1	14.8	16.2	21.3
	Fructose	13.5	16.8	19.1	24.0
	Sucrose	26.8	33.3	37.6	42.7
	Total	51.3	64.9	73.0	88.0
Control	Glucose	12.0	14.0	16.8	20.1
	Fructose	15.0	15.8	20.3	22.6
	Sucrose	28.3	35.3	39.7	43.0
	Total	55.2	65.1	76.9	85.7

Not significant between treatments.

^zSee Table 1-1.

1.2. 대목의 종류가 수체생장 및 과실품질에 미치는 영향

1.2.1. 영양생장

각 대목별 간경은 Fig. 1-3에서 보는 바와 같이 2004년에는 스윙글 시투루멜로와 시쿠와샤가 가장 컸고 신감하는 가장 작은 경향을 보였다. 2005년에도 스윙글 시투루멜로와 시쿠와샤가 컸으며 탕자, 유자, 신감하는 작았다. 봄순 길이는 스윙글 시투루멜로와 시쿠와샤가 길어 생장이 왕성한 편이었으며 탕자와 유자는 중간정도였고 신감하는 생장이 부진하였다(Fig. 1-4). 수고와 수폭도 간경과 봄순 길이와 마찬가지로 스윙글 시투루멜로와 시쿠와샤가 2004년, 2005년 모두 다른 품종에 비해 컸으며, 2005년인 경우 양 품종 모두 수고가 250cm 이상, 수폭은 200cm 정도가 되어 생장이 왕성한 것으로 나타났다 (Fig. 1-5, 1-6).

이상의 결과는 不知火 무가온 하우스에서 스윙글 시투루멜로와 시쿠와샤가 탕자 대목에 비해 나무 생장이 왕성하였다는 Takahara 등(2000)의 보고와 일치하였으며 스윙글 시투루멜로를 온주밀감의 대목으로 사용했을 때 생장이 왕성할 뿐만 아니라 수고가 높았고(Han, 2001), 伊予柑을 시쿠와샤에 접목하였을 때 수세가 향상되고 생산적이었으며(Kawase 등, 1987), 여러 감귤품종에서 수세를 강화시켰다(Shaked와 Ashkenazy, 1984)는 기존의 보고들과 유사한 결과를 나타내었다. Noda 등(2001)은 山川早生 온주밀감을 접수로 하여 飛龍, 탕자, 스윙글 시투루멜로 대목을 비교하였을 때 스윙글 시투루멜로에서 생장이 왕성할 뿐만 아니라 T/R율이 높은 것은 식물생장억제에 작용하는 호르몬인 (Sakurai 등, 1985) abscissic acid(ABA) 함량이 낮았기 때문이라고 하였고, Kojima 등(1995)도 시쿠와샤가 탕자보다 생장이 왕성한 것은 ABA 함량 저하에 기인한다고 하여 대목과 ABA 함량 간에 관련이 있는 것으로 해석한 바 있다.

나무의 성장만을 보았을 때 스윙글 시투루멜로와 시쿠와샤 대목은 제주에서 주로 이용되는 탕자 대목에 비해 不知火 접수품종의 수체생장을 왕성하게 하여 조기에 성원화시킬 수 있는 대목으로 이용가치가 있다고 판단되었다.

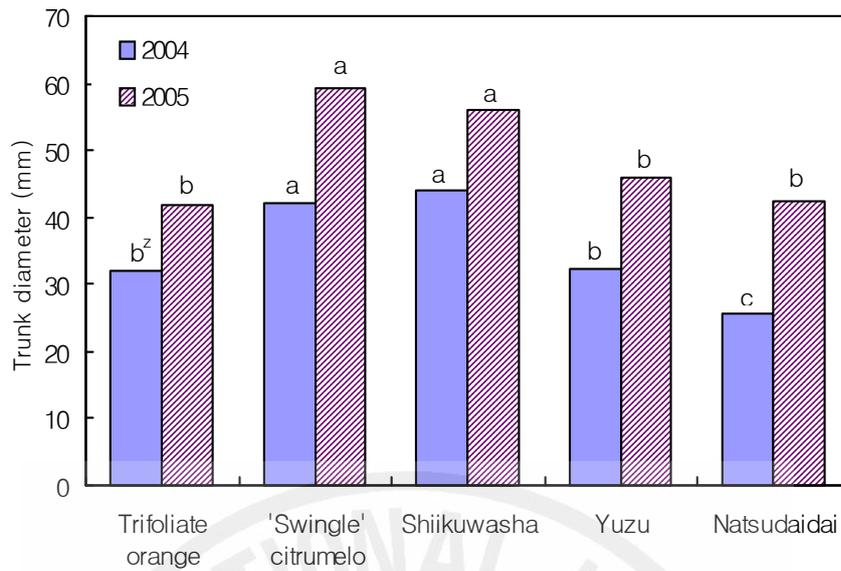


Fig. 1-3. Effect of the kinds of rootstock on the trunk diameter of 2001-grafted 'Shiranuhi' seedling in plastic film house. ^zMean separation within year by DMRT at 5% level.

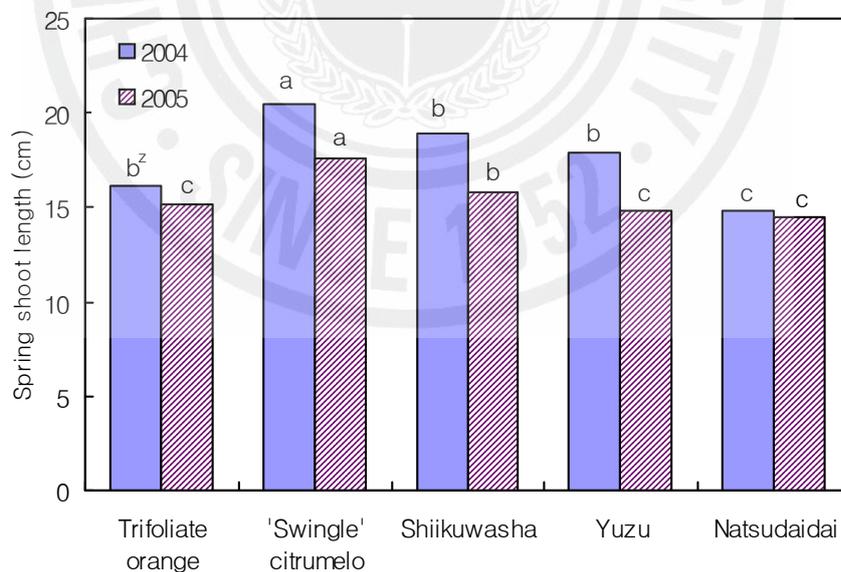


Fig. 1-4. Effect of the kinds of rootstock on the spring shoot length of 2001-grafted 'Shiranuhi' seedling in plastic film house. ^zMean separation within year by DMRT at 5% level.

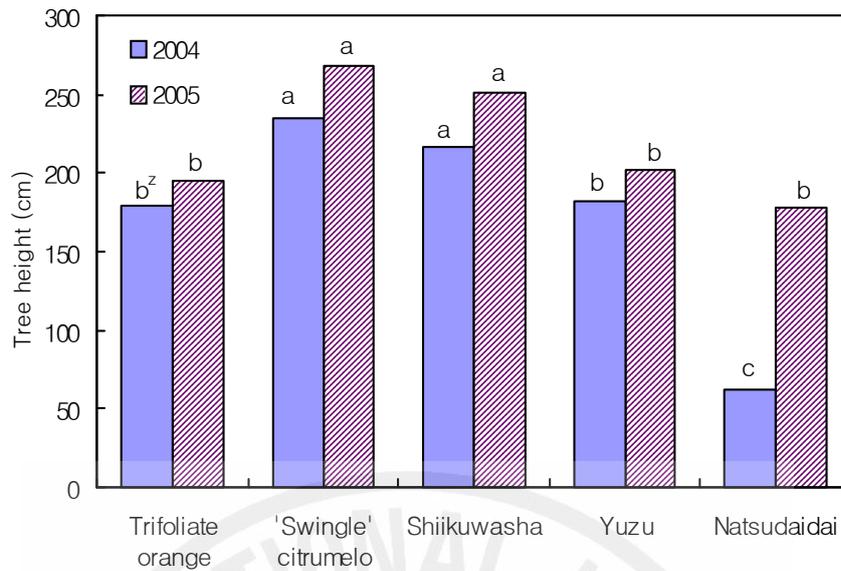


Fig. 1-5. Effect of the kinds of rootstock on the tree height of 2001-grafted 'Shiranuhi' seedling in plastic film house. ^zMean separation within year by DMRT at 5% level.

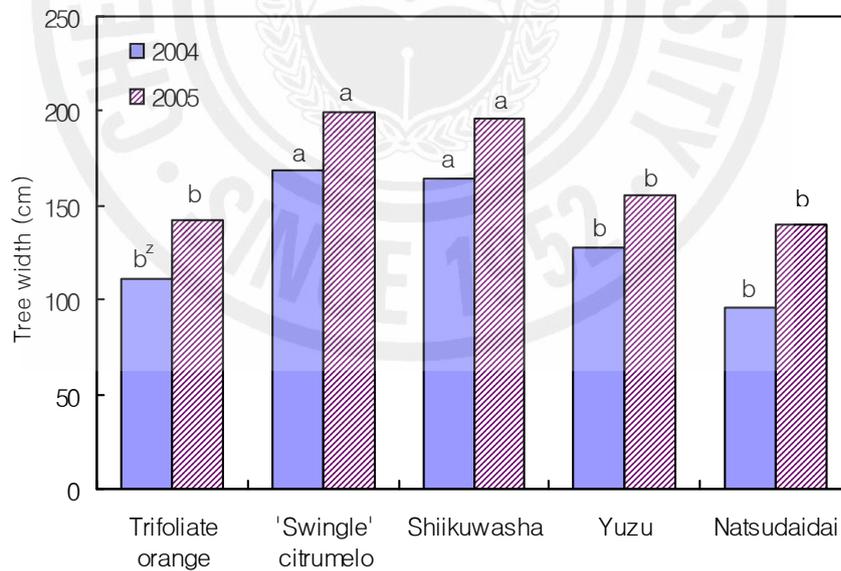


Fig. 1-6. Effect of the kinds of rootstock on the tree width of 2001-grafted 'Shiranuhi' seedling in plastic film house. ^zMean separation within year by DMRT at 5% level.

1.2.2. 과실생장

과실 횡경은 Fig. 1-7에서 보는 바와 같이 2004년에는 스윙글 시투루멜로, 탱자, 시쿠와샤, 유자 사이에는 유의차가 인정되지 않았고 신감하는 유의하게 작았다. 2005년에는 모든 대목에서 75.0~77.4mm로 비슷한 경향을 보였다. 과실 종경은 스윙글 시투루멜로가 두해 모두 탱자 대목에 비해 유의하게 컸으며 시쿠와샤와 유자는 그 중간이었다(Fig. 1-8). 신감하는 2004년에는 가장 작았지만 2005년에는 유자와 비슷하였다. 과형지수는 두 해 모두 스윙글 시투루멜로가 가장 작았고 탱자가 가장 큰 것으로 나타났다(Fig. 1-9). 과중(Fig. 1-10)은 과실 횡경보다는 과실 종경의 증가에 의해 증가하는 것으로 나타났으며 특히 스윙글 시투루멜로 대목은 탱자 대목에 비해 이러한 경향이 뚜렷하게 나타났다.

조생온주밀감에서 온도가 높을수록 종경비대가 왕성하고(Nii 등, 1970), 개화기의 고온조건에 의해 과경부의 성장력이 왕성했다는 보고(Takagi 등, 1982) 등에서 유추해 보면 스윙글 시투루멜로나 시쿠와샤 대목이 수체의 성장을 왕성하게 하고 과실생장도 촉진시켰기 때문에 과형지수가 작아진 것으로 판단되었다. 不知火의 경우 다른 품종들보다 과형지수에 대한 민감성이 큰 편인데 일반적으로 과형지수가 작아서 계란형에 가깝고 꼭지깃이 발달한 과실이 상품성이 높은 것으로 알려져 있다. 꼭지깃이 발달하는 不知火의 과실특성을 고려해 본다면 스윙글 시투루멜로 대목이 특성 발현에 가장 우수한 것으로 나타났다.

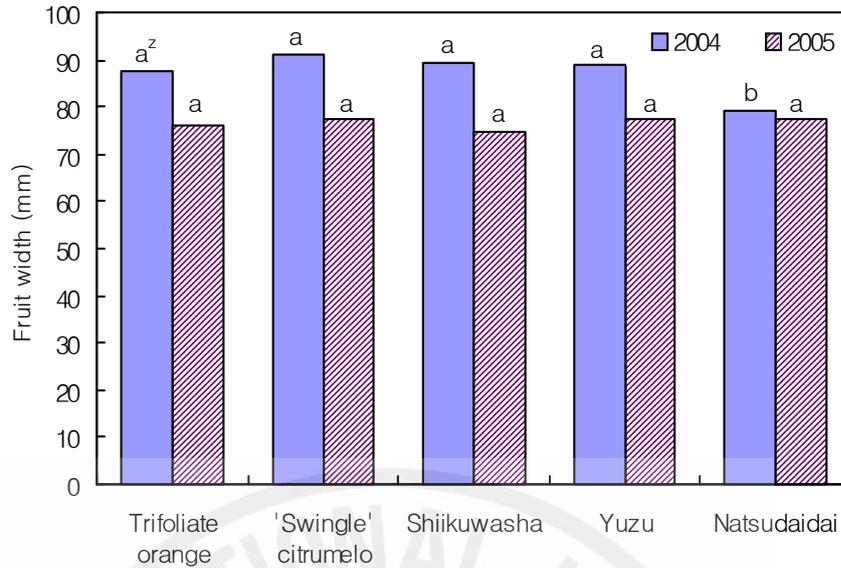


Fig. 1-7. Effect of the kinds of rootstock on the fruit width of 2001-grafted 'Shiranuhi' seedling in plastic film house. ^zMean separation within year by DMRT at 5% level.

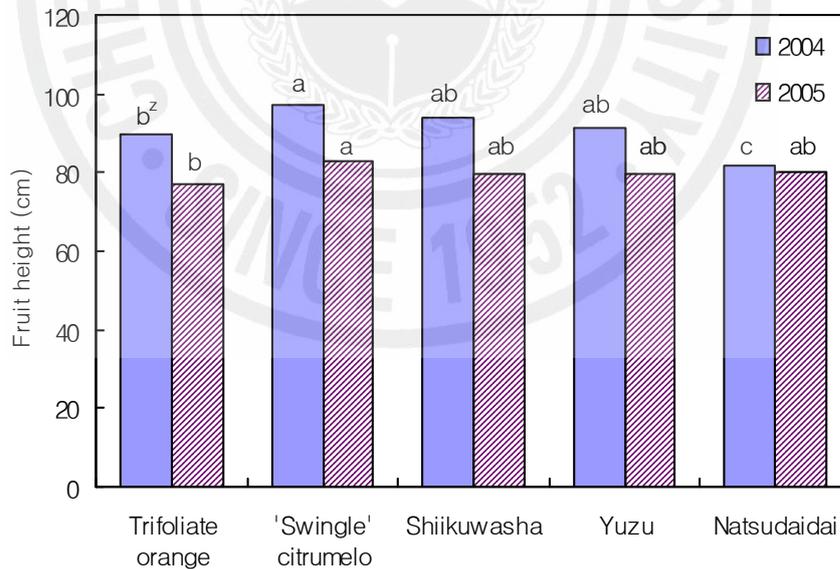


Fig. 1-8. Effect of the kinds of rootstock on the fruit height of 2001-grafted 'Shiranuhi' seedling in plastic film house. ^zMean separation within year by DMRT at 5% level.

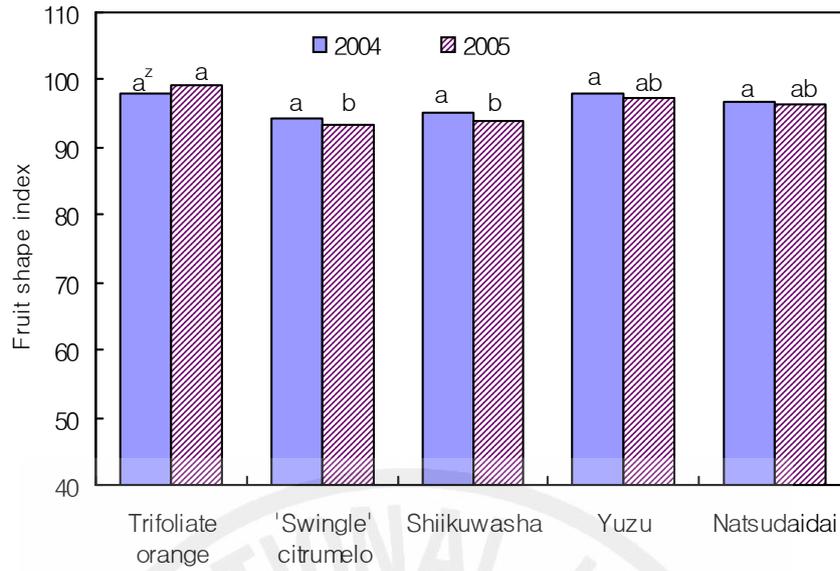


Fig. 1-9. Effect of the kinds of rootstock on the fruit shape index of 2001-grafted 'Shiranuhi' seedling in plastic film house. ^zMean separation within year by DMRT at 5% level.

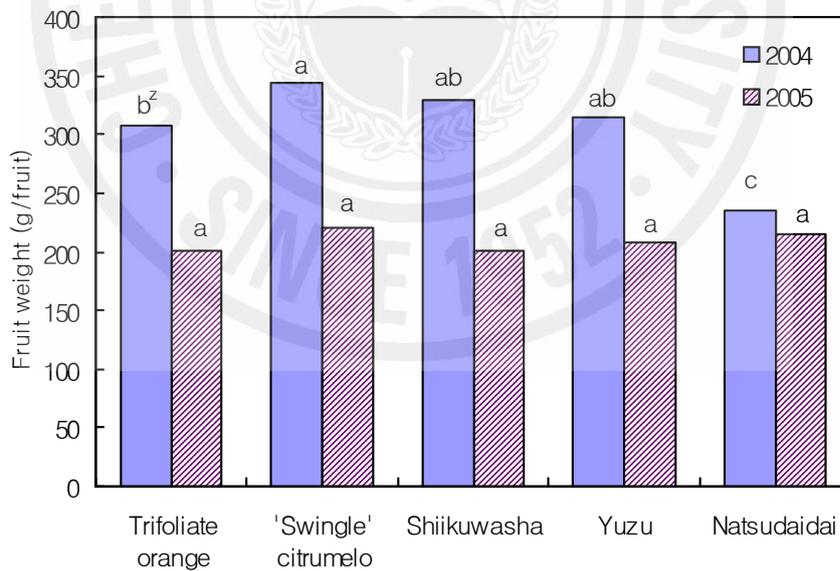


Fig. 1-10. Effect of the kinds of rootstock on the fruit weight of 2001-grafted 'Shiranuhi' seedling in plastic film house. ^zMean separation within year by DMRT at 5% level.

1.2.3. 착과수 및 수량

주당 착과수는 Fig. 1-11에서 보는 바와 같이 두 해 모두 스윙글 시투루멜로가 가장 많은 것으로 나타났으며, 탕자의 경우 2004년에는 스윙글 시투루멜로 다음으로 다른 대목들보다 양호하였지만 2005년에는 모든 대목 중에서 가장 적었다. 주당 수량은 2004년에는 탕자와 스윙글 시투루멜로가 다른 대목들보다 많은 경향을 보였지만 2005년에는 스윙글 시투루멜로 대목의 수량은 20.2kg으로 다른 대목들보다 유의하게 많았으며 수량이 가장 적었던 탕자 대목의 8.9kg보다 2배 이상으로 많았다(Fig. 1-12).

스윙글 시투루멜로 대목에서 수량이 많아진다는 것은 不知火(Takahara 등, 2000)뿐만 아니라 바히아 오렌지(Silva 등, 1984)에서도 보고된 바 있으며 Shaked와 Ashkenazy(1984)도 스윙글 시투루멜로 대목이 여러 품종에서 생산적이었다고 하였고, Rouse와 Maxwell(1979)은 레드블러쉬 그레이프후루트에 대해 22종의 대목을 이용하여 10년 동안 수량을 검토한 결과 스윙글 시투루멜로에서 가장 많은 수량을 얻었다고 보고한 바 있다.

不知火는 과실의 당집적력이 매우 강하여 착과수가 증가하면 수체내 저장 양분과 광합성산물이 과실로 집중하면서 수체의 성장, 특히 세근의 성장이 억제되며 이듬해 착화수가 현저히 감소하고(Chikaizumi 등, 2000), 수세가 약하면 격년결과가 심하고 수량 변동 폭도 큰 것으로 알려져 있는데(Moon, 2001) 이 시험에서 스윙글 시투루멜로가 수체생장이 왕성하면서 수량 면에서 초기 결실이 양호하여 조기에 수량을 확보할 수 있다는 점에서 不知火의 대목으로서 주목 받을 수 있다고 판단되었다.

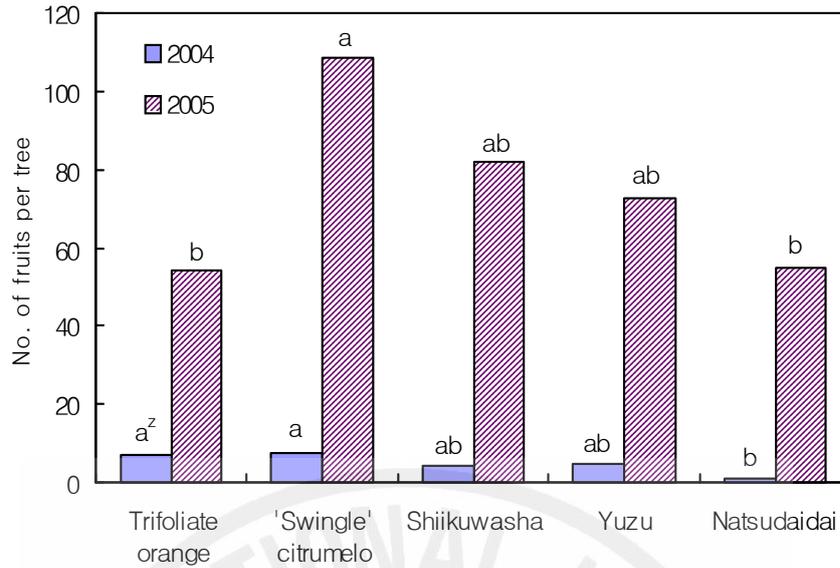


Fig. 1-11. Effect of the kinds of rootstock on the number of fruits per tree of 2001-grafted 'Shiranuhi' seedling in plastic film house. ^zMean separation within year by DMRT at 5% level.

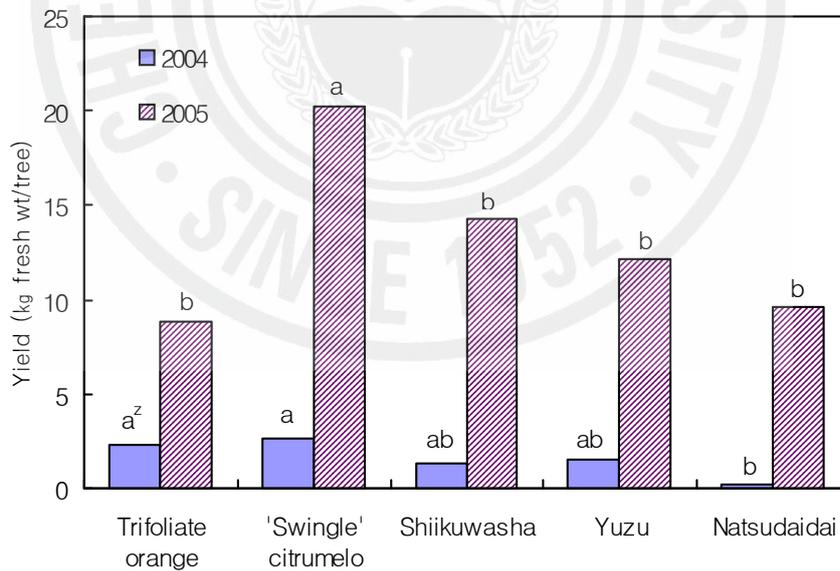


Fig. 1-12. Effect of the kinds of rootstock on the yield per tree of 2001-grafted 'Shiranuhi' seedling in plastic film house. ^zMean separation within year by DMRT at 5% level.

1.2.4. 가용성고형물 및 적정산 함량

가용성고형물 함량은 스윙글 시투루멜로와 시쿠와샤가 탱자에 비해 1.0°Brix 정도 낮았으며(Fig. 1-13), 적정산 함량도 0.2% 정도 낮은 것으로 나타났다(Fig. 1-14). 당산비(Fig. 1-15)는 2004년에는 11.3~12.0으로 대목별로 큰 차이는 없었지만 2005년인 경우 시쿠와샤가 11.6으로 가장 높고, 스윙글 시투루멜로와 유자가 중간정도였으며 탱자는 9.9로 가장 낮았다. 시쿠와샤는 2004년, 2005년 모두 당산비가 가장 높은 것으로 나타났다.

이는 Takahara 등(2000)이 不知火 무가온 하우스에서 화분을 이용한 시험 결과 스윙글 시투루멜로와 시쿠와샤가 탱자 대목에 비해 나무 생장이 왕성하고 당 및 산 함량이 감소되었다고 한 보고와 Inoue 등(2001)이 시쿠와샤 대목을 이용했을 때 不知火 과실의 당 및 산 함량이 탱자보다 낮았다는 보고와 유사한 것으로 나타났다. 그러나 Shaked 등(1992)은 샤무티오렌지와 미네올라오렌지에 스윙글 시투루멜로와 탱자를 대목으로 사용했을 때 스윙글 시투루멜로는 탱자보다 가용성고형물과 산 함량이 모두 높다고 하였고, 비록 탱자와 비교 하지는 않았지만 Economides와 Gregoriou(1993)은 스윙글 시투루멜로가 다른 대목들에 비해 대체적으로 가용성고형물과 산 함량이 높았다고 하였는데, 이는 스윙글 시투루멜로 대목이 접수품중에 따라 다르게 반응하는 것으로 생각된다.

일반적으로 不知火는 가용성고형물 함량이 13.0°Brix 이상인 것이 상품으로 취급되고 있는데 이 시험에서는 모든 대목에서 13.0°Brix가 되어 상품적으로 큰 문제는 없었으며 산 함량 감소를 위해서는 스윙글 시투루멜로나 시쿠와샤 대목이 적당한 것으로 나타났지만, 지역 또는 농가에 따라 스윙글 시투루멜로 또는 시쿠와샤 같은 강세대목을 사용할 경우 가용성고형물 함량이 낮을 수 있으므로 주의가 필요하다고 생각된다.

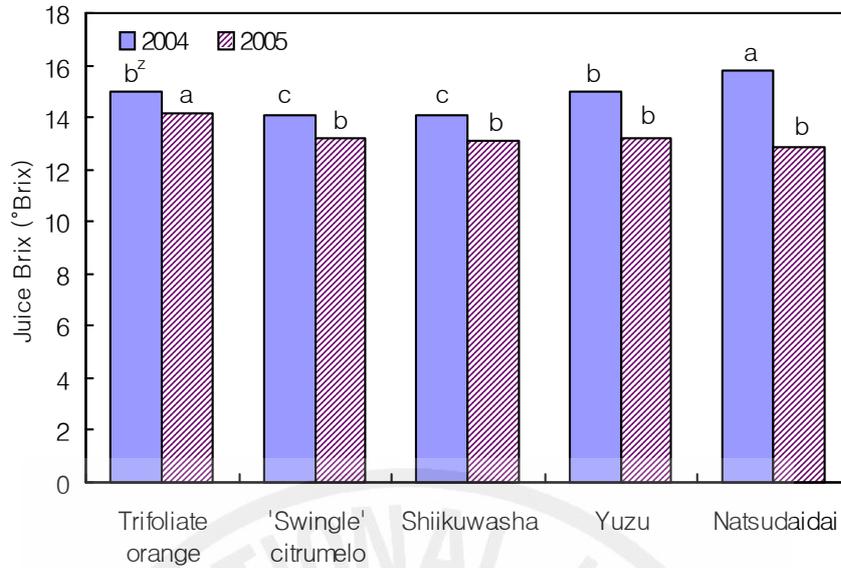


Fig. 1-13. Effect of the kinds of rootstock on the juice Brix of 2001-grafted 'Shiranuhi' seedling in plastic film house. ^zMean separation within year by DMRT at 5% level.

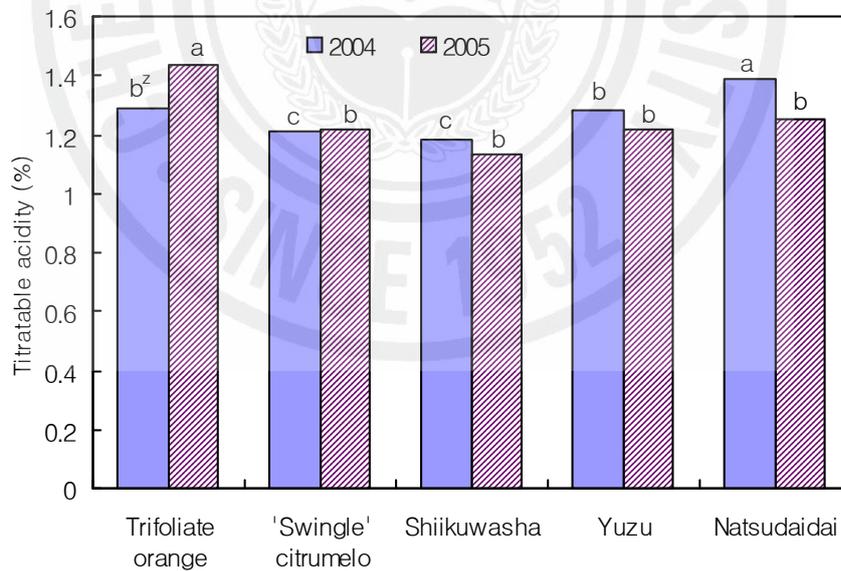


Fig. 1-14. Effect of the kinds of rootstock on the titratable acidity of the fruit juice of 2001-grafted 'Shiranuhi' seedling in plastic film house. ^zMean separation within year by DMRT at 5% level.

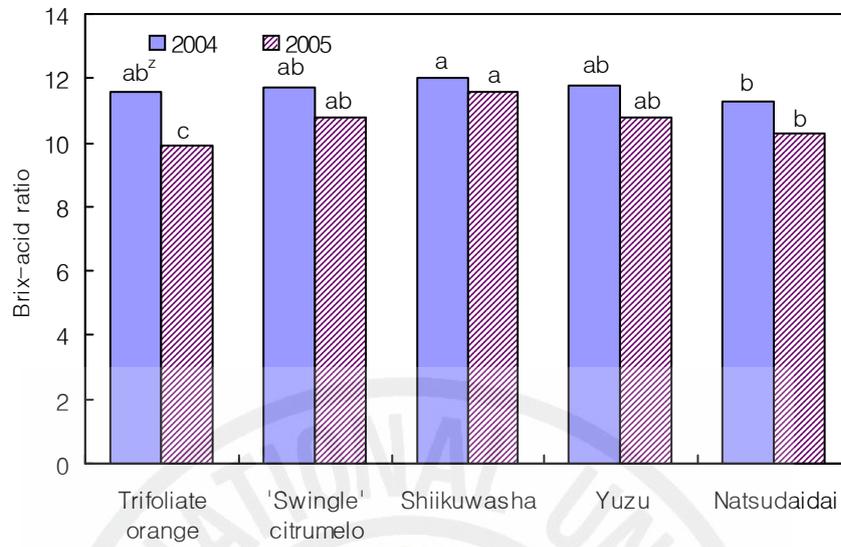


Fig. 1-15. Effect of the kinds of rootstock on the Brix-acid ratio of the fruit juice of 2001-grafted 'Shiranuhi' seedling in plastic film house. ^zMean separation within year by DMRT at 5% level.

1.2.5. 유리당과 유기산 함량

2005년 대목별 유리당 함량을 Fig. 1-16에 나타내었다. 포도당과 과당 함량은 탱자가 가장 높고 유자와 신감하가 중간정도였으며 스윙글 시투루멜로와 시쿠와샤는 가장 낮은 경향을 보였다. 그러나 자당 함량은 스윙글 시투루멜로가 $45.2\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 가장 높고 탱자는 그 다음이었으며 시쿠와샤, 유자, 신감하는 낮은 함량을 보였다. 전당 함량은 탱자가 $86.8\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 가장 높고 다음으로 스윙글 시투루멜로, 유자, 신감하, 시쿠와샤 순으로 가용성고형물 함량과 같은 경향을 보였다.

전당 함량에 대한 각 유리당 비율은 대목 간에 차이가 심하였는데 대체적으로 탱자는 자당 비율이 49.4%로 다른 대목들보다 낮은 편이었으며 포도당과 과당은 각각 21.8, 28.8%로 높은 경향을 보였다. 스윙글 시투루멜로와 시쿠와샤는 자당 비율이 55% 내외로 다른 대목들보다 높은 편이었으나 포도당과 과당 비율은 낮은 경향을 보였다. Yahata 등(2003)은 왜화성 대목인 飛龍 대목에서 온주 밀감을 접수로 사용하는 경우 탱자 대목에 비해 가용성고형물 함량이 높지만 포도당과 과당 비율이 낮고 자당 비율이 높았다고 하였는데 수채생육이 불량하고 과즙의 가용성고형물 함량이 높은 탱자 대목에서 오히려 자당 비율이 낮은 것은 탱자 대목 고유의 특성인지는 좀 더 검토가 필요한 부분이라고 생각된다.

구연산 함량(Fig. 1-17)은 시쿠와샤가 가장 낮았으며 스윙글 시투루멜로, 유자, 신감하는 $8.4\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 내외로 중간정도였고 탱자는 $9.6\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 가장 높았다. 능금산은 스윙글 시투루멜로, 시쿠와샤, 신감하는 $0.3\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 정도로 높은 편이었으며 탱자와 유자는 낮은 경향을 보였다. 전유기산 함량에 대한 구연산과 능금산의 비율도 차이가 있었는데 스윙글 시투루멜로와 시쿠와샤는 구연산이 95% 내외, 능금산이 5% 내외인 반면에 탱자는 99% 이상이 구연산이었고 능금산은 1% 이하로 낮은 비율을 보였다.

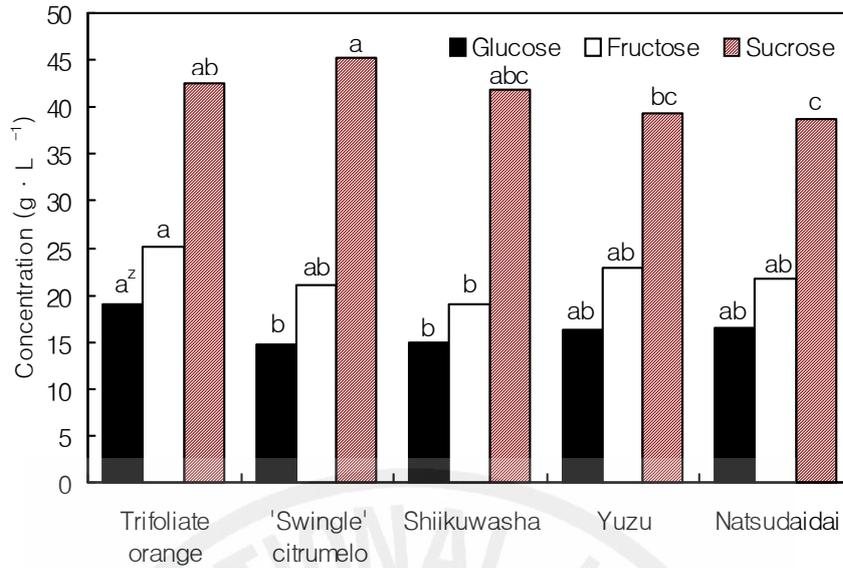


Fig. 1-16. Effect of the kinds of rootstock on the concentration of free sugars in the fruit juice of 2001-grafted 'Shiranuhi' seedling in plastic film house in 2005. ^zMean separation within kind of sugar by DMRT at 5% level.

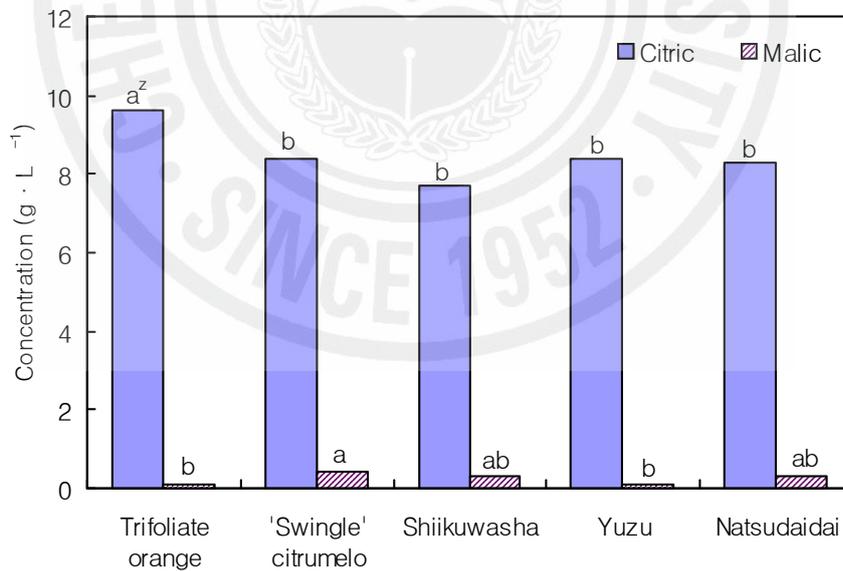


Fig. 1-17. Effect of the kinds of rootstock on the concentration of organic acids of the fruit juice of 2001-grafted 'Shiranuhi' seedling in plastic film house in 2005. ^zMean separation within kind of acid by DMRT at 5% level.

1.2.6. 효소 활성

2005년의 대목별 sucrose synthase(SS) 활성은 Fig. 1-18에 나타내었다. 단백질 함량당 활성(비활성)과 생체중당 활성에는 차이를 보였는데 스윙글 시투루멜로의 SS 비활성은 탕자보다 높았으나 생체중당 활성은 낮았다. Song과 Ko(1997)는 오렌지 과실에서 비활성으로 효소 활성을 분석하였을 때 가용성고형물 함량은 SS 활성과는 관련이 없고 생체중으로 환산했을 때 SS 활성과 가용성고형물 함량사이에 관계가 있었다고 하였는데 이 시험에서도 가용성고형물 함량이 높은 탕자 대목에서 생체중당 SS 활성이 높아 같은 결과를 보였다.

과실의 가용성고형물 증가와 SS와의 관련성에 대해서 Kubo 등(2001)은 생체중당으로 온주밀감에서 SS 활성을 분석했을 때 착과부담이 많은 구에서 가용성고형물 함량이 높아 SS 활성이 높았으며 모든 처리에서 성숙기에 갈수록 그 활성은 증가하였다고 하였으며, Hockema와 Echeverria(2001)도 온주밀감에서 수분스트레스를 받아 가용성고형물함량이 높은 구에서 SS 활성이 높게 나타났다고 하여 SS가 가용성고형물 함량 증가와 관련이 있는 것으로 보고하였는데 이 시험에서도 같은 결과를 보였다.

SS 활성은 자당 함량과도 관련이 있는 것으로 나타났다. 스윙글 시투루멜로와 탕자는 큰 차이가 없었으나 자당 함량이 낮은 시쿠와샤, 유자, 신감하 등에서는 SS 활성도 낮게 나타났다. Song과 Ko(1997)는 오렌지 품종에서 자당함량과 SS 활성간에 유의한 정의상관관계가 관찰되었다고 하였고, Chae 등(2003)도 궁천조생에서 ethycholzate를 살포하였을 때 자당함량과 SS 활성간에 유의한 상관관계가 있었다고 하였는데 이 시험도 비슷한 결과를 보였다.

SPP 활성(Fig. 1-19)은 가용성고형물 및 당 함량으로 비교하였을 때 품종간에 일정한 관련이 없는 것으로 나타났다. 이는 Hockema와 Echeverria(2001)가 온주밀감에서 수분스트레스를 받아 가용성고형물 함량이 높은 구에서 SS 활성은 높았으나 SPP는 차이가 없었다는 보고와 일치되는 경향을 보였다.

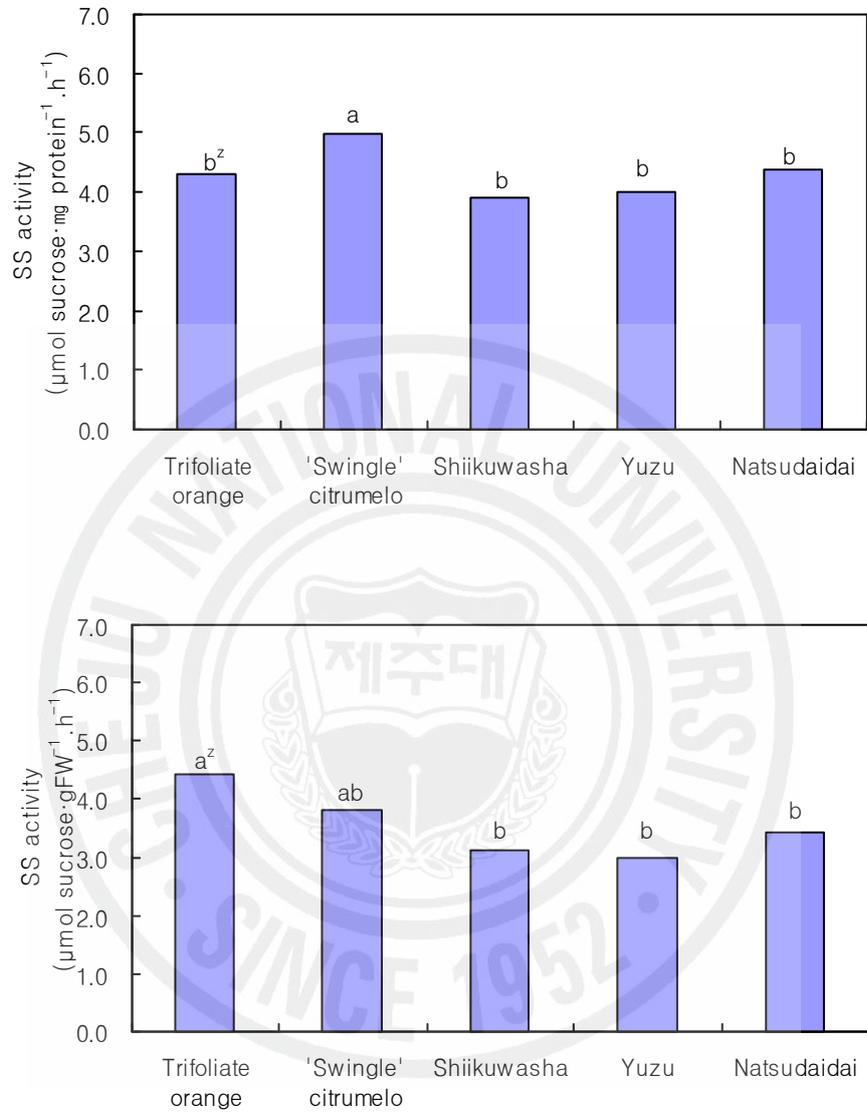


Fig. 1-18. Effect of the kinds of rootstock on the activities of sucrose synthase (SS) in the fruit juice of 2001-grafted 'Shiranuhi' seedling in plastic film house. ^zMean separation by DMRT at 5% level.

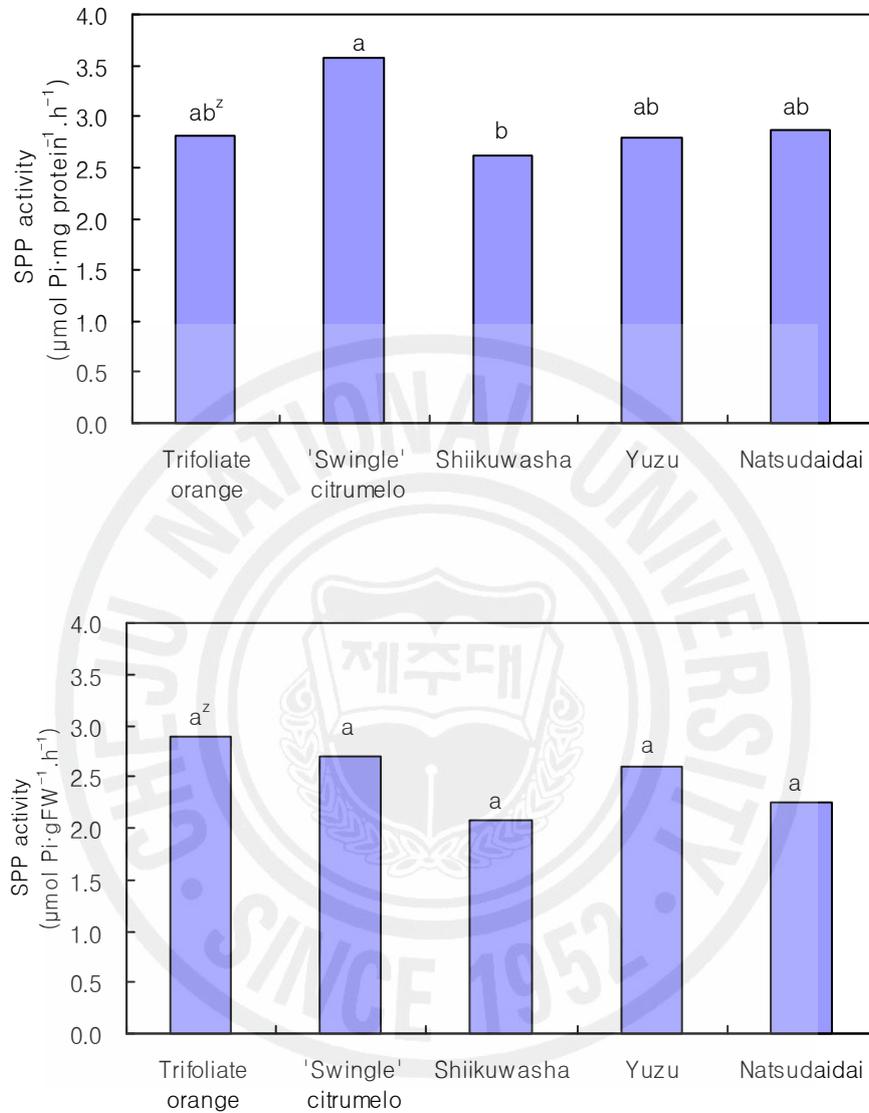


Fig. 1-19. Effect of the kinds of rootstock on the activities of sucrose-phosphate phosphatase (SPP) of the fruit juice of 2001-grafted 'Shiranuhi' seedling in plastic film house. ^zMean separation by DMRT at 5% level.

이상과 같이 스윙글 시투루멜로 대목은 제주에서 주로 이용되는 탱자 대목에 비해 수체생장을 왕성하게 하고 수량 면에서 초기결실이 양호할 뿐만 아니라 조기에 수량을 확보할 수 있다는 점에서 不知火의 대목으로 주목 받을 수 있다고 판단되었다. 또한 꼭지깃이 발달하는 不知火의 과실특성을 고려해 본다면 스윙글 시투루멜로 대목이 과실 횡경보다는 종경의 비대가 양호하여 과형지수가 작아 품종특성이 잘 발현될 뿐만 아니라 산 함량도 탱자에 비해 낮은 것으로 나타났다. 그러나 스윙글 시투루멜로는 탱자 대목보다 가용성고형물 함량이 낮아 지역 또는 농가에 따라 가용성고형물 함량이 저하될 수 있으므로 주의가 필요하다. 또한 내한성, 내병성, 수세조절방법 등에 대한 충분한 검토가 필요하다고 생각되었다.



2. 온도가 수체생장 및 과실품질에 미치는 영향

2.1. 생육초기 온도의 영향

2.1.1. 하우스 내 온도변화

생육초기 처리별 하우스 내 평균온도의 경시적 변화는 Fig. 2-1에서 보는 바와 같이 18-28°C구는 2월 하순부터 5월 하순 까지는 22°C를 전후하여 큰 변화를 나타내지 않았고, 15-25°C구는 2월 하순에는 18°C 전후였으나 기온이 높아짐에 따라 서서히 높아지는 경향을 나타내었다. 무가온구인 대조구는 8°C를 전후로 시작하여 15-25°C구보다 온도 상승속도가 빨라졌으며 2·3중 비닐을 제거한 6월 상순 이후에는 모든 처리구에서 거의 비슷한 경향을 나타내었다.

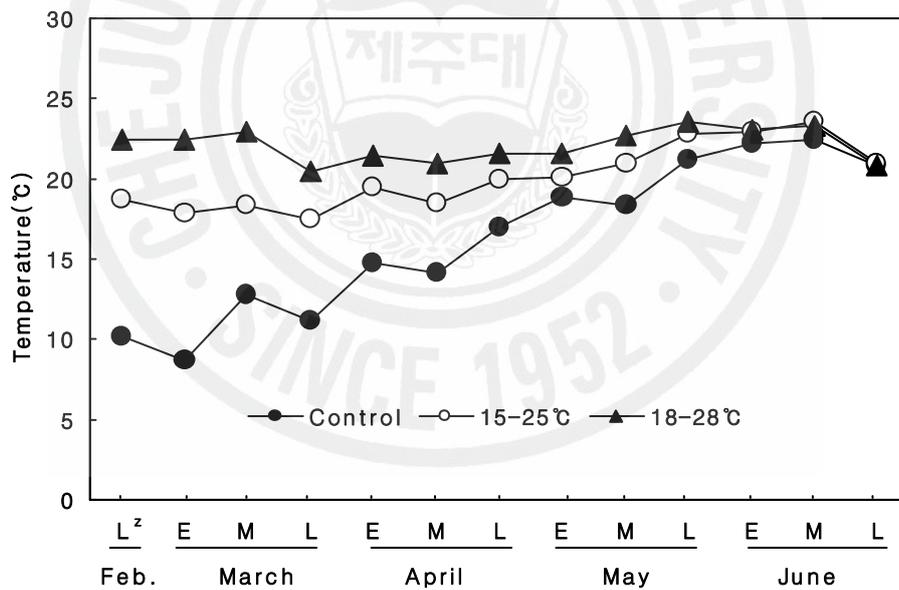


Fig. 2-1. Seasonal changes in mean air temperature as affected by the different heating treatments during the early growth stage in plastic film house. ²E, Early; M, Middle; L, Late.

2.1.2. 영양생장

구엽 100매당 봄순 수(Table 2-1)는 不知火인 경우 온도가 높을수록 감소되는 경향을 보였으며 이러한 경향은 清見과 津之香에서도 마찬가지였다. 不知火의 봄순 길이는 15-25°C구 및 18-28°C구가 각각 25.9 및 27.7cm로 대조구에 비해 11.6 및 13.4cm 길어졌으며, 清見과 津之香에서도 마찬가지로 온도가 높을수록 길어졌는데 不知火에서 증가 폭이 큰 것으로 나타났다.

不知火 재배시 문제점 중의 하나는 액아마다 발아가 될 뿐 아니라 1개의 액아에서 2~3개의 새순이 발생하여 그대로 두면 가지 길이도 짧고 잎이 아주 작은 빈약한 가지가 되어(Matsumoto, 2001) 수세가 쇠약해지므로 농가들이 순을 솟는데 많은 시간과 노동력을 투자한다는 점이다. 이 시험에서도 대조구인 무가온 하우스에서는 주당 봄순 수가 많고 봄순 길이가 짧은 경향을 보여 같은 문제점이 나타났으나 온도가 높을수록 봄순 수가 적어지고 봄순 길이가 길어지는 경향을 보여 不知火에서는 생육초기 가온이 봄순 생장에 효과적이었다고 사료되었다. 清見과 津之香은 봄순 길이가 가온구에서 30cm 이상으로 지나치게 길어졌다.

엽면적은 不知火인 경우 대조구, 15-25°C구 및 18-28°C구 각각 12.0, 18.3 및 20.1cm²로 온도가 높을수록 넓어지는 경향을 보였으며 이는 清見과 津之香에서도 마찬가지였다. 不知火의 엽면적은 품종 육성시 15.3cm² 정도로 보고되었는데(Matsumoto, 2001) 이 시험에서는 대조구는 이보다 좁은 반면 15-25°C구 및 18-28°C구는 넓어진 것으로 나타났다. 이것은 Kitazono(2001)가 不知火 재배 시험에서 온도가 낮은 노지보다 무가온 하우스에서 봄순 길이가 길고 엽면적도 넓어졌다는 보고와 유사한 경향을 보였다. 엽면적이 크면 과실생장이 촉진되는데(Fishler 등, 1993), 不知火에서는 가온으로 엽면적을 확보하여 착과율을 증진시키고 과실품질을 향상시킬 수 있다고 사료되었다. 그러나 엽면적이 너무 커지면 오히려 광의 투과를 억제하여 생리낙과가 증가하고 과실품질이 저하되는데 이러한 현상은 본래 엽면적이 큰 清見과 津之香에서 나타났다.

Table 2-1. Effect of temperature during the early growth stage on the vegetative growth of three citrus cultivars in plastic film house.

Treatment (Night-Day°C)	No. of spring shoots per 100 old leaves	Length of spring shoot (cm)	Leaf area (cm ²)
‘Shiranuhi’			
Control	57.8 ± 1.7 ^z	14.3 ± 1.9	12.0 ± 2.4
15-25	41.2 ± 7.4	25.9 ± 2.9	18.3 ± 2.3
18-28	35.6 ± 0.1	27.7 ± 4.2	20.1 ± 3.5
‘Kiyomi’			
Control	72.3 ± 5.3	26.7 ± 5.0	26.7 ± 6.6
15-25	70.1 ± 3.8	34.1 ± 1.6	43.9 ± 5.9
18-28	52.1 ± 1.6	38.2 ± 4.1	39.9 ± 2.9
‘Tsunogaori’			
Control	63.2 ± 2.4	25.2 ± 0.7	22.3 ± 2.7
15-25	44.1 ± 3.2	30.0 ± 1.2	28.5 ± 2.8
18-28	21.0 ± 2.4	36.2 ± 0.8	37.1 ± 4.8

^z $\bar{X} \pm$ S.E. (n=5).

2.1.3. 광합성 속도

不知火의 외관상 광합성 속도는 Table 2-2에서 보는 바와 같이 온도가 높을수록 증가하는 경향을 보였으며 이것은 清見과 津之香에서도 비슷한 경향이였다. 온도에 대한 민감성은 不知火 품종에서 두드러졌는데 대조구에서 광합성속도는 $11.3 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 다른 품종들의 $12.1 \sim 13.2 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 보다 낮지만 온도가 높았던 18-28°C구의 광합성 속도는 $16.7 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 다른 품종들의 $15.5 \sim 16.5 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 보다 높아 不知火 품종이 다른 품종보다 고온을 선호하는 것으로 사료된다.

Iwasaki와 Ogaki(1985)는 감귤의 종류별 광합성이 가장 왕성한 온도는 靑島溫州, 흥진조생에서는 25°C 전후, 太田뽕깡 및 川野夏橘에서는 30°C 전후라고 하였고 Ono와 Daito(1982)는 온주밀감에서 광합성이 왕성한 온도는 7월부터 9월까지는 약 29°C, 10월에는 22°C라고 하였으며 40°C이상 지나친 고온은 오히려 광합성능력을 감소시킨다고 하였는데 25°C보다 낮은 이 시험에서도 온도가 높을수록 대체적으로 광합성이 증진되었고 이로 인해 나무의 수체생장도 활발히 이루어진 것으로 생각된다.

Table 2-2. Effect of temperature during the early growth stage on the apparent photosynthetic rate of three citrus cultivars in plastic film house.

Treatment (Night-Day°C)	Temperature at measurement (°C)	Apparent photosynthetic rate ($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)		
		‘Shiranuhi’	‘Kiyomi’	‘Tsunogaori’
Control	13.3	11.3 ± 0.6^z	12.1 ± 1.0	13.2 ± 1.3
15-25	18.3	14.8 ± 2.8	13.9 ± 1.7	14.3 ± 0.8
18-28	23.6	16.7 ± 1.0	15.5 ± 2.1	16.5 ± 1.7

^z $\bar{X} \pm \text{S.E. (n=5)}$.

2.1.4. 개화 및 착과

不知火의 만개기(Table 2-3)는 15-25°C, 18-28°C구가 각각 3월 29일, 3월 7일로 대조구의 4월 22일보다 24, 44일 빨랐다. 온도가 높아짐에 따라 개화가 빠른 것은 淸見과 津之香에서도 비슷한 경향을 보였다. 다만 모든 처리에서 不知火가 淸見과 津之香에 비해 개화가 빠른 특성을 갖고 있었다. 온도가 높을수록 조기에 개화하는 것은 여러 보고에서 알려진 사실이며(Inoue, 1990b; Moon과 Kim, 2001) 이 시험에서도 같은 결과를 보였는데 특히 不知火 품종은 淸見과 津之香에 비해 고온에 민감한 것으로 사료되었다. 不知火인 경우가 온개시부터 만개기까지 0°C 이상 적산온도는 대조구, 15-25°C구 및 18-28°C구 각각 744.8, 669.4 및 333.2°C로 온도가 높을수록 감소되는 경향이었으나 12.5°C 이상 적산온도에서는 각각 79.6, 214.1, 145.7°C로 생육 최저온도는 12.5°C보다 낮은 것으로 추정되었다. 不知火의 만개에 필요한 적산온도는 淸見과 津之香에 비해 적은 경향이였다.

不知火의 화엽비는 대조구, 15-25°C구 및 18-28°C구에서 각각 1.3, 0.8 및 0.3으로 온도가 높을수록 착화량이 감소되었으며, 이것은 淸見과 津之香에서도 같은 경향이였다. 온도가 높을수록 착화량이 적어지는 것은 온주밀감에서 Inoue(1990a), Poerwanto와 Inoue(1990), Yamanishi(1994)가 보고한 것과 같은 결과를 보였다. 가을과 겨울철의 저온으로 화아분화가 잘 되면 착화량이 많아지는데(Inoue와 Harada, 1988; Inoue, 1989, 1990a, 1990b; Okada, 1985; Okagi와 Ito, 1972) 이 시험에서 온도가 높을수록 착화량이 감소되는 것은 온도처리 개시기가 노지의 발아 이전인 2월부터 시작되어 그 만큼 화아 분화에 필요한 저온기간이 감소되었기 때문이라고 판단된다.

不知火의 착과율은 처리간 차이가 인정되지 않았지만 온도가 높을수록 증가하는 경향을 보였으며 淸見과 津之香은 온도가 높을수록 현저하게 감소되는 경향을 보였다. 감귤은 고온에서 낙과가 많고(Bustan과 Goldschmidt, 1998; Kihara와 Konaga, 2000; Kobayashi 등, 1967) 꽃이 많이 피면 초기 낙과가 증가하는데(Guardiola, 1981; Takagi 등, 1987) 淸見과 津之香이 고온에서 착과율이 낮은 것은 품종 특성상 꽃이 작아 자방이 약하고 不知火보다 온주밀감의 특성을 더 많이 갖기 때문이라고 판단된다. 不知火는 고온구에서

꽃수가 적었기 때문이기도 하지만 고온적응성이 높아 착과율이 높았다고 생각되었다. 不知火의 적정 엽과비는 대체적으로 100~150정도로 수세에 따라 달라지는데 이 시험에서 18-28℃구의 엽과비는 적정 범위보다 많은 것으로 나타나 不知火도 착과량 확보에 문제가 있었다.

Table 2-3. Effect of temperature during the early growth stage on the flowering and fruiting of three citrus cultivars in plastic film house.

Treatment (Night-Day℃)	Date of full bloom	Flower-leaf ratio	Leaf-fruit ratio	Fruiting rate (%)
‘Shiranuhi’				
Control	Apr.22 ± 1 ^z	1.3 ± 0.1	106.9 ± 16.2	4.1 ± 2.0
15-25	Mar.29 ± 0	0.8 ± 0.1	141.7 ± 15.7	4.2 ± 2.7
18-28	Mar. 7 ± 2	0.3 ± 0.1	179.8 ± 20.7	5.3 ± 2.6
‘Kiyomi’				
Control	Apr.26 ± 1	2.7 ± 0.1	37.6 ± 7.7	5.7 ± 3.0
15-25	Apr. 1 ± 0	2.0 ± 0.1	100.0 ± 21.2	5.6 ± 4.3
18-28	Mar.13 ± 0	1.7 ± 0.1	-	0
‘Tsunogaori’				
Control	Apr.23 ± 1	2.3 ± 0.1	20.0 ± 11.5	11.8 ± 5.7
15-25	Apr. 4 ± 0	1.6 ± 0.1	25.1 ± 4.1	7.9 ± 0.9
18-28	Mar.11 ± 1	0.9 ± 0.1	445.4 ± 111.5	1.0 ± 0.7

^z $\bar{X} \pm S.E.$ (n=5).

2.1.5. 과실생장

不知火의 과실 횡경은 조사 첫날인 6월 24일부터 과실 비대가 거의 멈춘 12월 9일까지 온도가 높을수록 컸으며, 15-25℃, 18-28℃구에서 10월 이후 완만한 증가 추세를 보였으나 대조구는 11월에도 과실 횡경이 증가하는 경향을 보였다. 과실 종경도 횡경과 마찬가지로 온도가 높을수록 컸으며 과실 횡경과는 달리 조사 마지막 날인 12월 9일까지 시기에 관계없이 처리간에 10mm 정도의 간격을 유지하였다(Fig. 2-2). 이러한 경향은 清見과 津之香에서도 비슷하였다(Fig. 2-3, 2-4).

Nii 등(1970)은 조생온주밀감에서 고온구일수록 종경 비대가 왕성했다고 하였고, Takagi 등(1982)도 개화기의 고온 조건에 의해 과경부의 생장이 왕성하여 기형과가 발생하였다고 하였지만 不知火에서 과실 종경 비대가 증가한 것은 꼭지깃의 발달을 의미하기 때문에 품종 고유의 과실특성이 나타나는 바람직한 결과라고 생각된다.

不知火의 과형지수는 온도가 높을수록 작아졌는데 이는 清見과 津之香에서도 비슷하였다. 모든 품종에서 온도가 높을수록 횡경 비대보다는 종경 비대가 증가하여 과실이 도란형에 가까운 모양을 나타내었다.

일반적으로 不知火는 꼭지깃이 발달한 도란형의 과실이 상품성이 높으므로 품종 특성을 발현시키기 위해서는 과실비대 초기에 온도를 높여주는 것이 좋지만 清見과 津之香은 도란형의 과실보다는 다소 납작한 편원형 과실이 상품성이 높으므로 품종에 따라 온도관리를 달리해야 될 것으로 판단되었다.

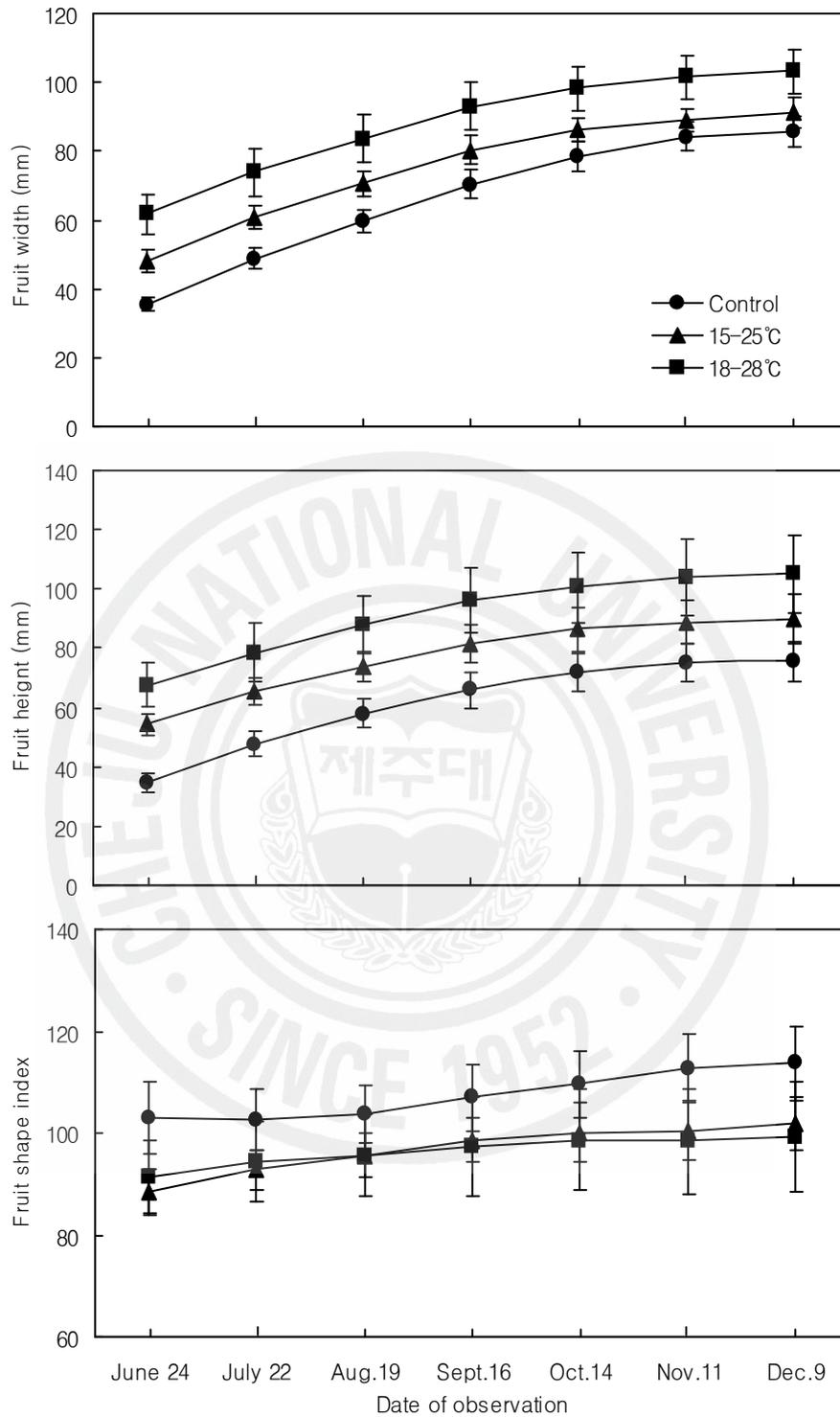


Fig. 2-2. Effect of temperature during the early growth stage on the fruit growth of 'Shiranuhi' in plastic film house. Vertical bars indicate standard errors of the means.

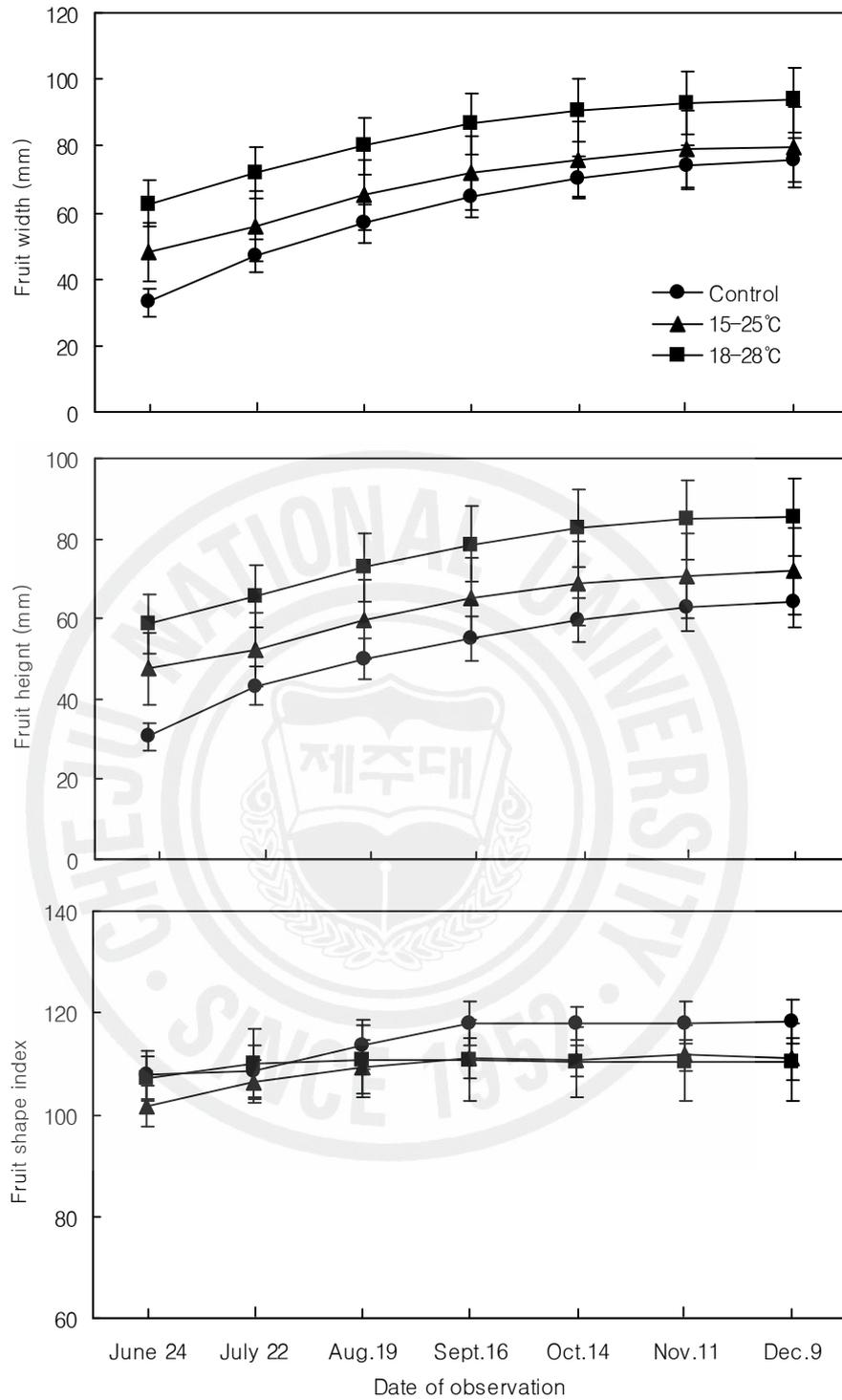


Fig. 2-3. Effect of temperature during the early growth stage on the fruit growth of 'Kiyomi' in plastic film house. Vertical bars indicate standard errors of the means.

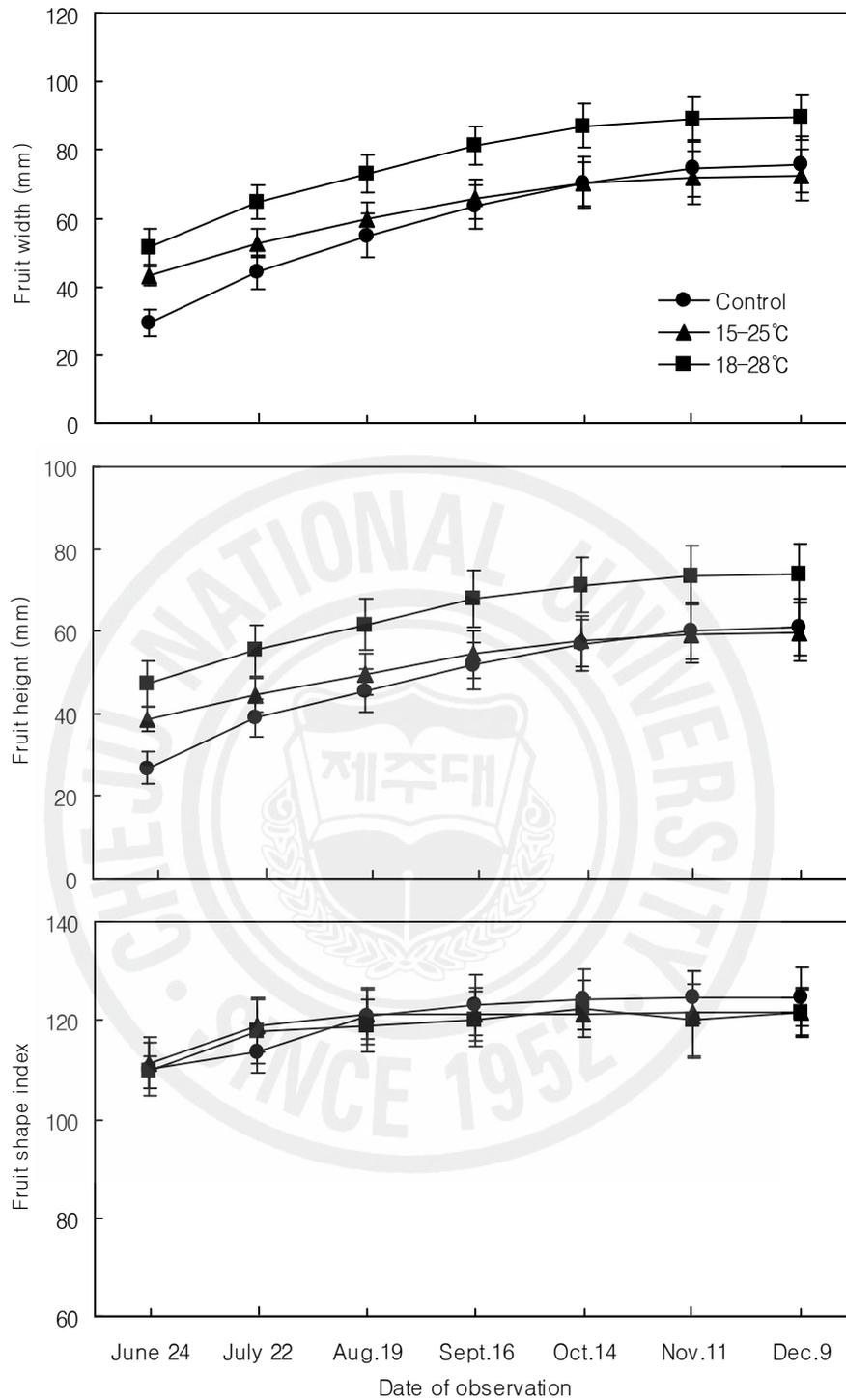


Fig. 2-4. Effect of temperature during the early growth stage on the fruit growth of 'Tsunogaori' in plastic film house. Vertical bars indicate standard errors of the means.

과실크기 비율을 조사한 결과는 Fig. 2-5에 나타내었다. 不知火의 대조구는 과실 횡경 90mm 이상이 21%인데 반해, 15-25°C구 48%, 18-28°C구에서는 80%로 온도가 높을수록 대과비율이 증가하였다. 70mm 이하 과실은 15-25°C구와 18-28°C구에서 발생하지 않았다. 온도가 높을수록 대과비율이 증가한 것은 清見과 津之香에서도 비슷한 경향을 보였다.

不知火는 온주밀감과 달리 과실크기가 클수록 상품성이 높은 것으로 알려져 있는데, 일반적으로 착화량 또는 착과량이 너무 많아 착과부담이 커지면 과실 크기는 작아지고(Morioka, 1988; Stover, 2000), 세포분열 및 세포비대기에 온도가 높으면 과실 비대가 양호하여 과실 크기가 커진다는 것은 Marsh 등(1999), Mukai 등(1992), Nii 등(1970) 등의 보고에서도 잘 나타나 있다. 이 시험에서도 대조구에서 과실크기가 작은 것은 착화량이 많아 착과부담이 큰데다 과실비대초기 저온으로 세포분열이 적어져 후에 과실비대가 적었기 때문이라고 판단된다.

이런 점에서 볼 때 不知火 품종은 생육초기에 온도를 높여주는 것이 품종의 특성을 발현시킬 수 있을 뿐만 아니라 대과를 생산하는데 바람직한 것으로 나타났다. 그러나 온도가 높을수록 과실크기가 증가하는 것은 清見이나 津之香에서도 마찬가지였지만 낙과의 위험성이 크기 때문에 적정온도가 유지되어야 할 것으로 사료된다.

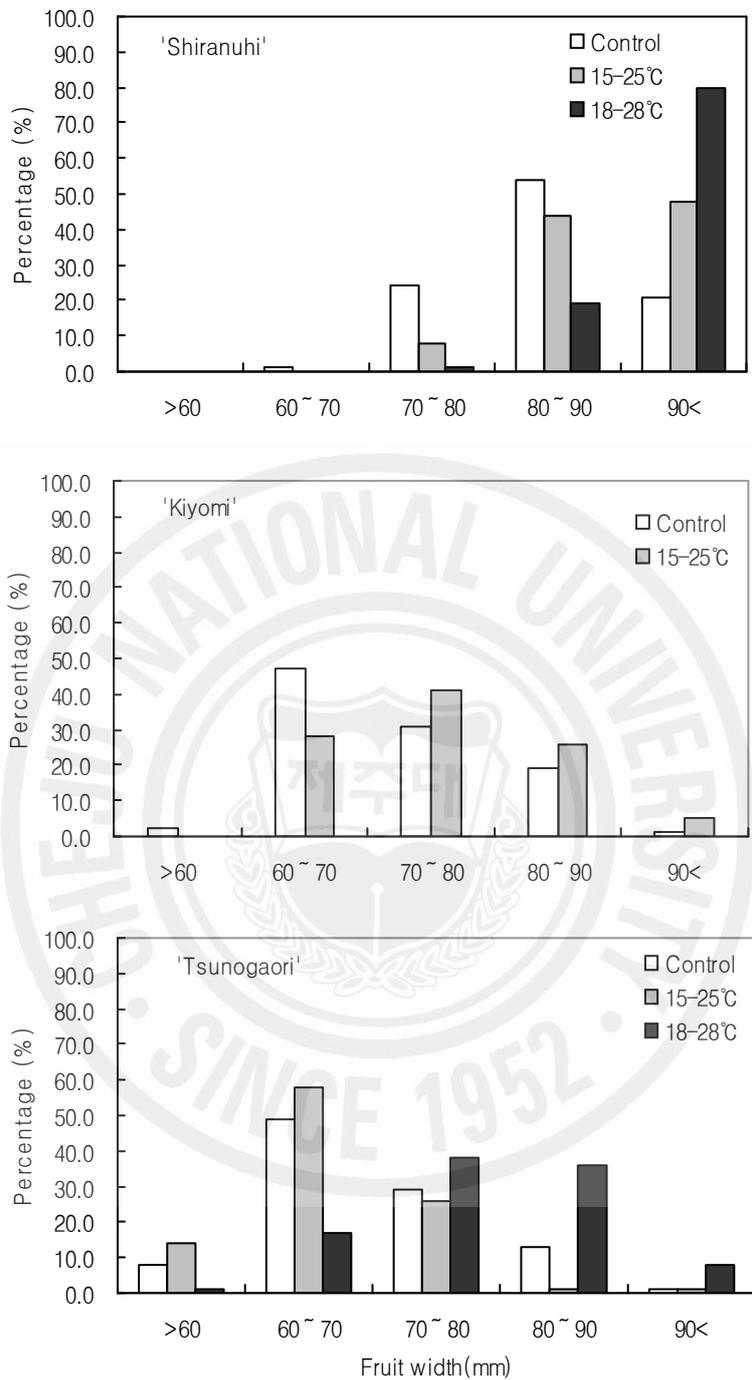
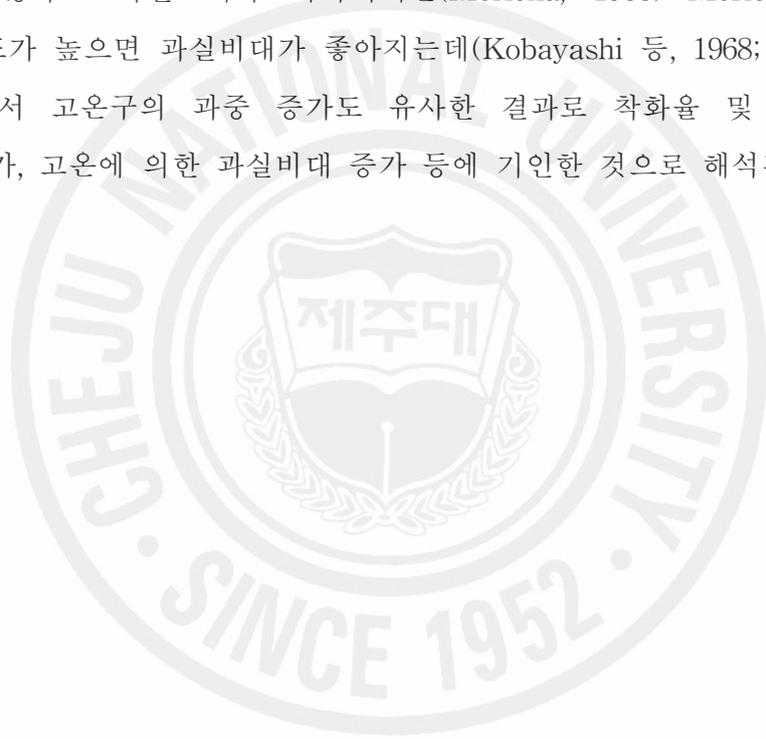


Fig. 2-5. The distribution of fruits by size in three citrus cultivars as affected by heating temperature during the early growth stage in plastic film house.

不知火의 과중은 온도가 높을수록 무거워져 대조구의 수확기 과중이 255g인데 비해 18-28℃구는 410g이나 되었으며 이러한 온도상승에 따른 과중 증가 경향은 清見과 津之香에서도 마찬가지였다(Fig. 2-6). 품종별 특성으로서의 과중은 不知火, 清見, 津之香이 각각 200~300g, 200~250g, 160~200g이라고 알려져 있는데(Jeju Citrus Growers Agr. Assn., 2000), 18-28℃구에서는 모든 품종에서 이 범위보다 현저히 무거운 것으로 나타났다. 과중이 무거울수록 시장에서 좋은 평가를 받지만 너무 크면 당 함량이 낮아져 상품성이 저하될 수 있다. 온주밀감에서 착화가 너무 많으면 과실크기가 작아지며(Stover, 2000) 착과량이 많아도 과실크기가 작아지지만(Morioka, 1988; Morioka와 Yahata, 1989), 온도가 높으면 과실비대가 좋아지는데(Kobayashi 등, 1968; Nii 등, 1970) 이 시험에서 고온구의 과중 증가도 유사한 결과로 착화율 및 착과율 감소, 엽과비 증가, 고온에 의한 과실비대 증가 등에 기인한 것으로 해석된다.



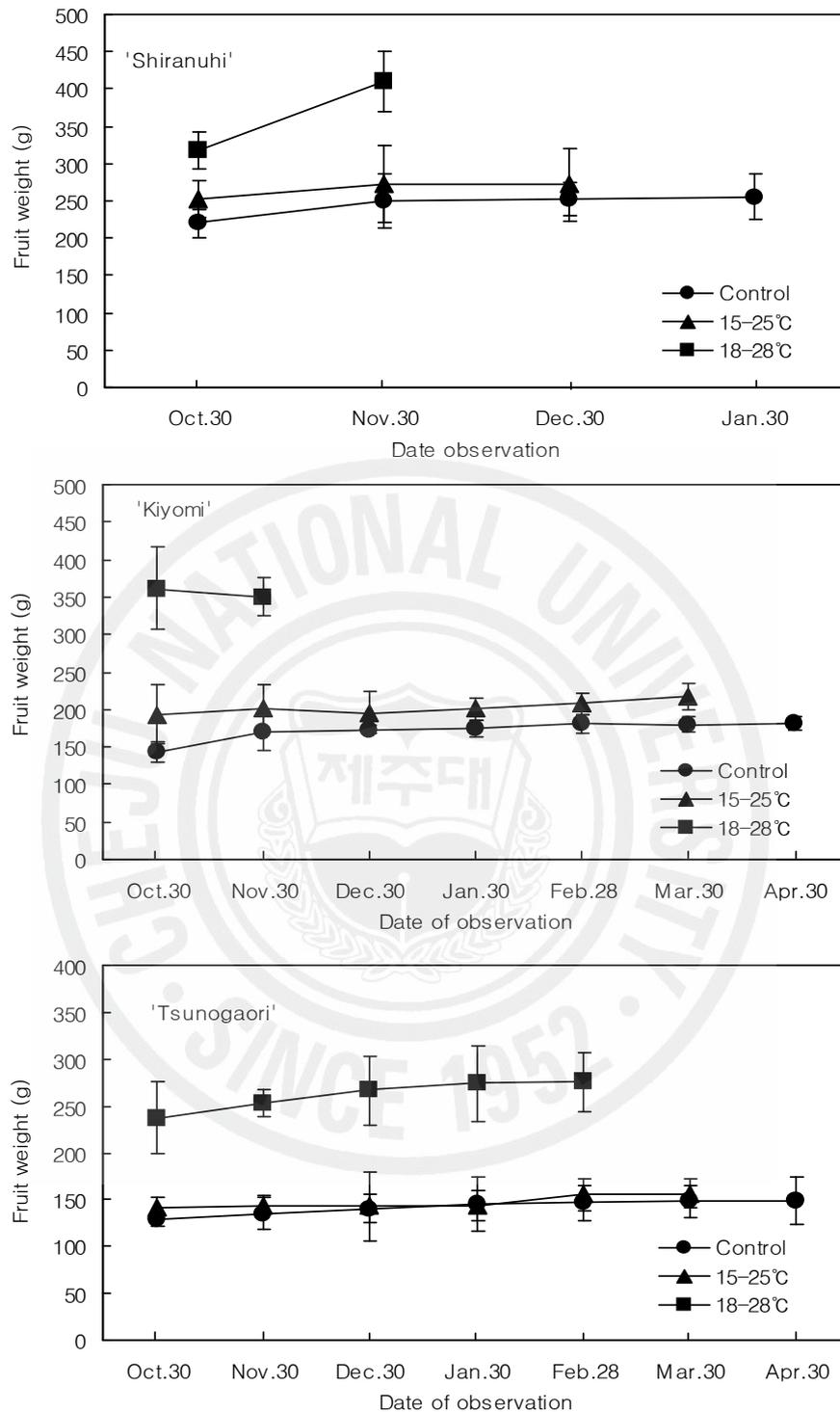


Fig. 2-6. Changes in fruit weight of three citrus cultivars as affected by heating treatments during the early growth stage in plastic film house. Vertical bars indicate standard errors of the means.

2.1.6. 가용성고형물 및 적정산 함량

과즙의 가용성고형물 함량은 조사 첫날인 10월 30일은 대조구에 비하여 가운데가 1°Brix 정도 높았는데 이후 3개월 동안 대조구는 월 평균 1°Brix 이상 높아졌으며 수확기인 1월 30일에 13.9°Brix가 되었으나 가운데는 수확기가 1~2개월 앞당겨졌기 때문에 온도가 높을수록 수확시 기준 가용성고형물 함량은 낮아졌다(Fig. 2-7). 清見과 津之香은 대조구와 15-25°C구에서는 성숙기 과즙의 가용성고형물 함량 증가가 비슷하였지만 18-28°C에서는 증가가 완만하였다. 온주밀감에서 조기 개화하여 결실한 과실이 당도가 높고 산 함량이 낮아지지만 (Iwagaki와 Hirose, 1980; Richardson과 Blank, 1996), 문단의 경우 지나친 고온이 오히려 당과 산 함량을 모두 떨어뜨린다고 하였는데(Susanto와 Nakajima, 1990) 이 시험에서 18-28°C 구에서 가용성고형물 함량이 낮아진 것은 고온의 영향이라고 판단된다.

최근 不知火의 가운데재배는 낮은 가용성고형물 함량이 문제가 되고 있는데 이 시험에서도 18-28°C구에서 과형지수가 작아지고 과중이 증가하였지만 수확시 가용성고형물 함량은 12.0°Brix로 대조구나 15-25°C구에 비해 현저하게 감소되어 앞으로 가운데 재배시 품질 향상을 위한 적정 온도가 모색되어야 할 것으로 판단되었다.

적정산 함량(Fig. 2-8)은 조사기간 모든 처리에서 서서히 감소되었으며 고온구일수록 감소가 빨라 수확기가 앞당겨 졌는데 이러한 경향은 清見과 津之香에서도 비슷하였다. Nii 등(1970)은 온주밀감에서 인공 기상실에서 과실 비대기 밤낮의 온도를 20-25°C 유지시킬 때 산의 감소가 촉진되었다고 하였고 Susanto와 Nakajima(1990)은 온주밀감보다 고온에 적응된 품종도 과실발육기에 고온을 유지하면 산 함량이 감소되었다고 하였으며 Yamanishi(1994)도 문단에서 생육초기 고온이 산 함량을 감소시켰다고 하였는데 이 시험에서도 온도가 높을수록 산 함량이 감소된 것은 不知火 과실의 산 함량을 감소시키고자 할 때 고려할 사항이라고 생각된다.

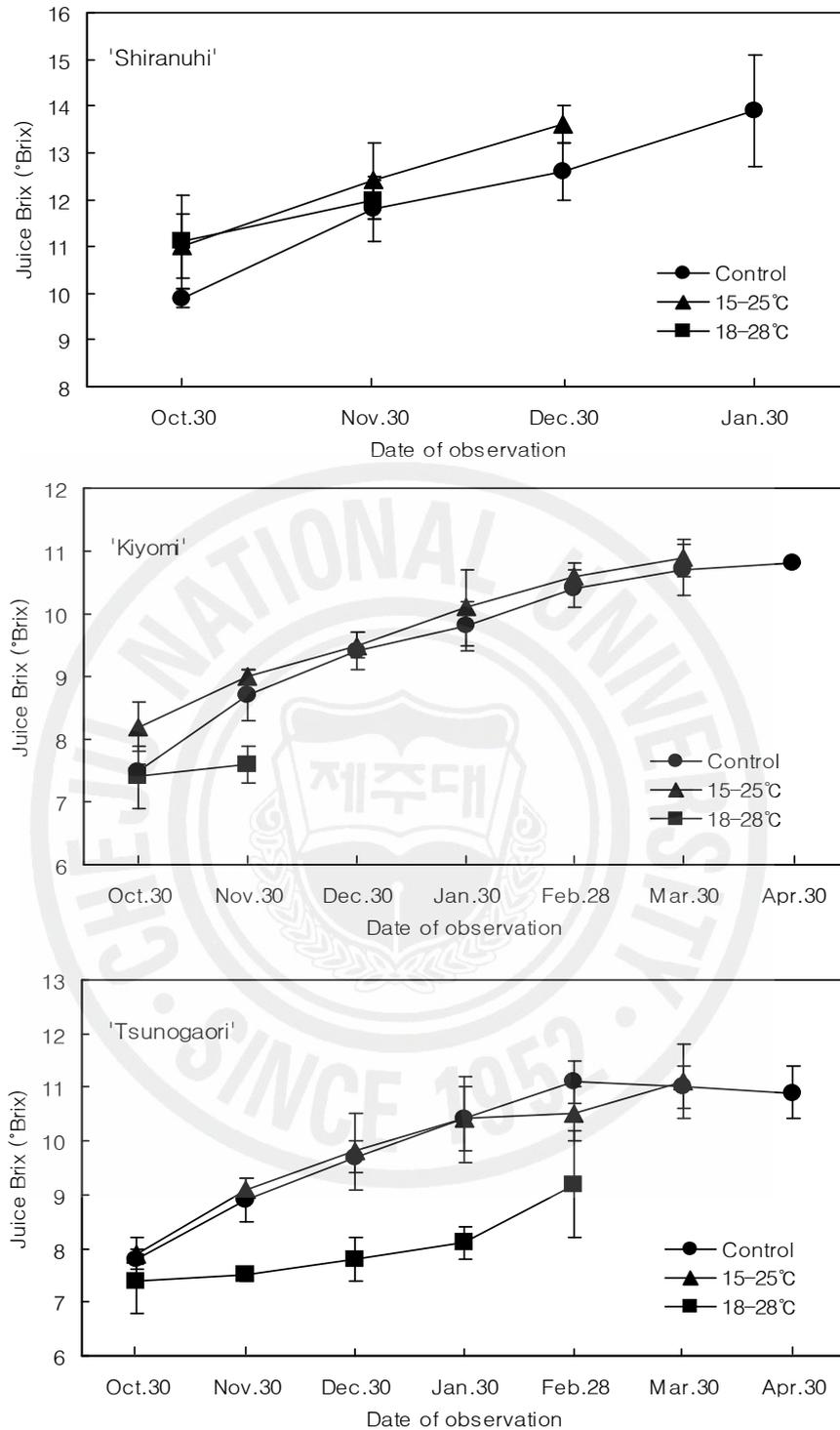


Fig. 2-7. Changes in juice Brix of three citrus cultivars as affected by heating treatments during the early growth stage in plastic film house. Vertical bars indicate standard errors of the means.

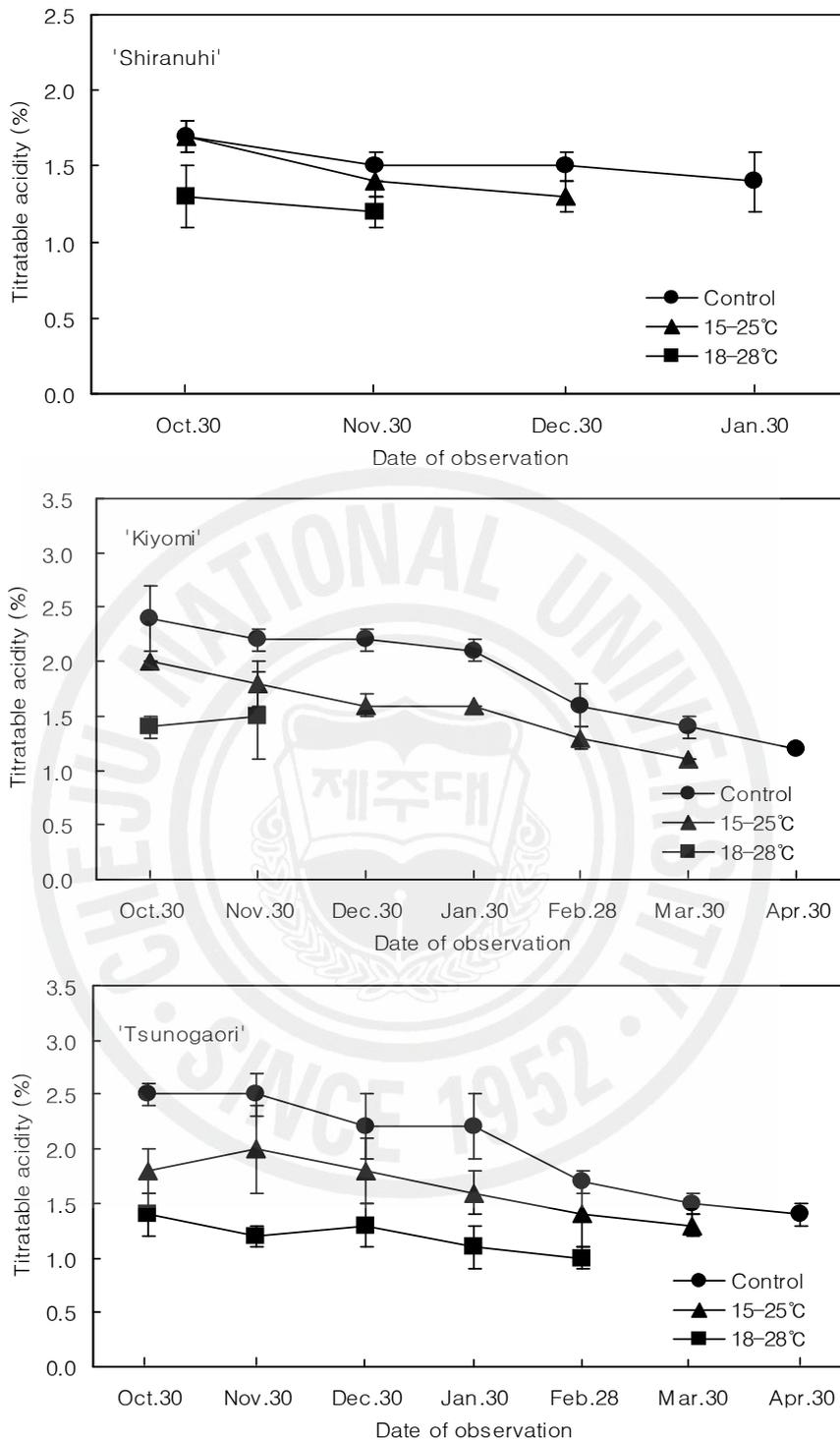


Fig. 2-8. Changes in titratable acidity of the fruit juice of three citrus cultivars as affected by heating treatments during the early growth stage in plastic film house. Vertical bars indicate standard errors of the means.

이상의 결과를 종합하면 생육초기 온도가 높을수록 不知火를 비롯한 모든 품종에서 생육이 빨라지고 봄순 길이와 엽면적이 증가하였으며 과실 횡경 및 과중의 증가가 뚜렷하였을 뿐만 아니라 광합성 속도도 증가하여 생육이 왕성한 것으로 나타났다. 그러나 온도가 높을수록 착화율 및 착과율은 감소하고 엽과비는 증가하였으며 가용성고형물과 산 함량은 감소되는 경향을 보였다. 나무의 생육만을 본다면 온도가 높은 것이 바람직하지만 품종 특성과 상품성, 안정적인 생산을 연관시켜 고려해 볼 때 不知火는 생육초기에 밤온도 15℃ 내외로 보온하는 것이 바람직하다고 생각되었으나 淸見과 津之香은 가온에 의해 착화율 및 착과율이 감소하고 과실품질이 저하되어 가온재배는 문제가 있는 것으로 사료된다.



2.2. 생육후기 온도의 영향

2.2.1. 하우스 내 온도 및 상대습도 변화

하우스 내 온도 처리에 따른 처리별 평균온도의 경시적 변화는 Fig. 2-9에 나타내었다. 대조구는 2003년 12월 상순에 9℃에서 중순에 5.7℃로 급격히 낮아진 후 하순에는 7℃ 전후로 다소 회복되었다가 이후 점차적으로 낮아져서 1월 하순에는 3℃가 되었다. 5-15℃구는 가온 개시기인 12월 상순에는 12℃ 이상을 나타내었으며 1월 하순까지 10℃ 이상은 유지되었지만 외기 온도가 낮아짐에 따라 완만하게 낮아지는 경향을 나타내었다. 10-20℃구는 12~15℃가 유지되었다.

2004년 1월 13일 하루 중 하우스 내 온도는 오전 7시경까지는 대조구 0℃, 5-15℃구 5℃, 10-20℃구 10℃ 내외를 유지하다가 이후 점점 높아져 오전 12시에서 오후 2시경 대조구, 5-15℃구 및 10-20℃구 각각 7.8, 17.5 및 22.0℃로 최고로 높아졌다가 다시 낮아지기 시작하였다(Fig. 2-10).

하우스 내 상대습도는 뚜렷한 계절적 변화 없이 대조구는 70% 내외, 10-20℃구는 90% 이상으로 온도가 높을수록 높게 유지되었다(Fig. 2-11). 오후 3~5시경 다소 낮아지는 것을 제외하고는 상대습도의 일변화는 거의 없었다(Fig. 2-12).

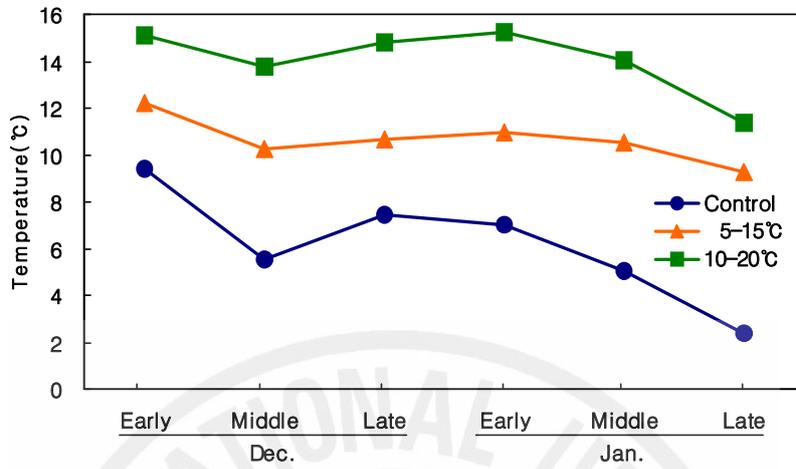


Fig. 2-9. Seasonal changes in mean air temperature as affected by different heating treatments during the maturing stage in plastic film house.

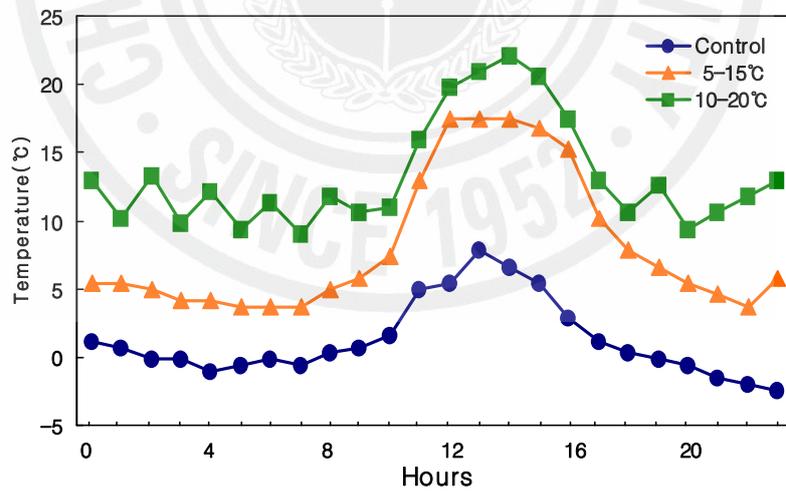


Fig. 2-10. Daily changes in air temperature as affected by different heating treatments in plastic film house on January 13, 2004.

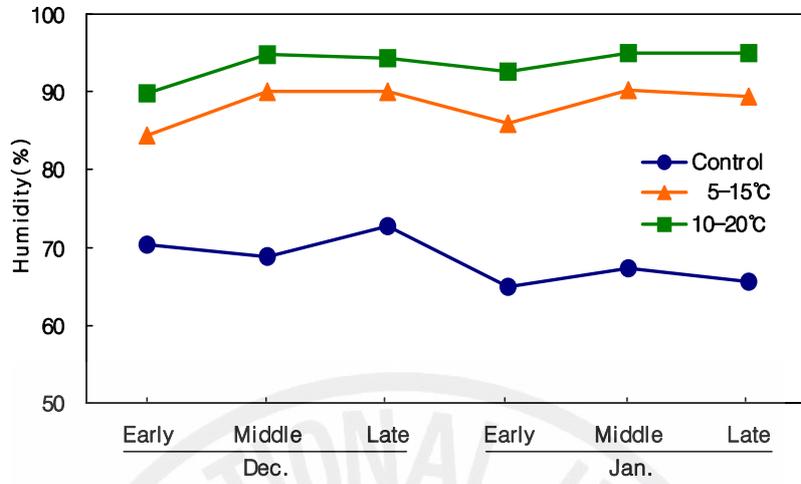


Fig. 2-11. Seasonal changes in relative humidity as affected by different heating treatments during the maturing stage in plastic film house.

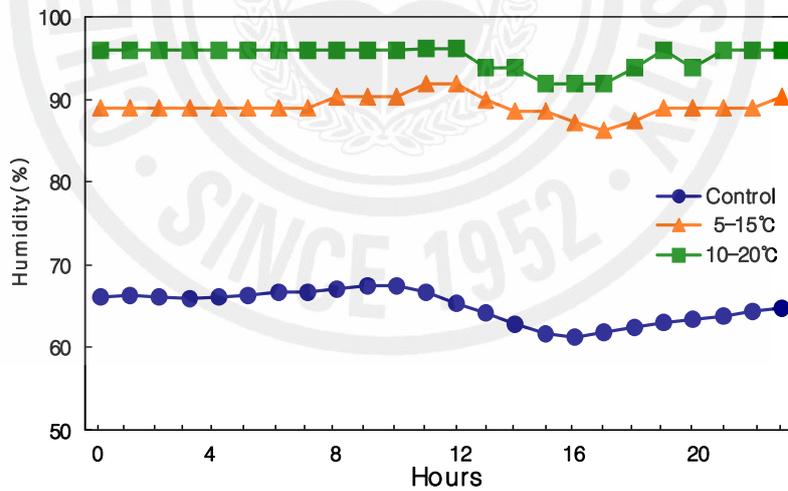


Fig. 2-12. Daily changes in relative humidity as affected by different heating treatments in plastic film house on January 13, 2004.

2.2.2. 가용성고형물 및 유리당 함량

생육후기 온도 관리에 따른 가용성고형물 함량은 모든 품종에서 온도가 높아질수록 낮아지는 경향이었으나 유의차는 인정되지 않았다(Table 2-4). Utsunomiya 등(1982)이 온주밀감 과실을 수상에서 15, 23 및 30℃로 처리한 결과 가용성고형물 함량은 23℃에서 가장 높았지만 온도가 낮을수록 자당 비율이 증가하였다고 한 보고와는 상반되는 결과를 얻었는데 이 시험에서는 나무 전체를 대상으로 온도 처리를 하였기 때문에 다른 결과가 나온 것이 아닌가 생각된다.

그러나 온도별 유리당 함량을 분석한 결과, 전당 함량은 큰 차이가 없었으나 포도당, 과당 및 자당 함량은 차이를 나타내었는데 포도당과 과당은 온도가 높을수록 감소되는 반면에 자당은 증가되어 전당에 대한 포도당 및 과당 비율은 온도가 높을수록 감소되었으며 자당 비율은 증가하는 경향이였다. Richardson 등(1997)도 시설재배(터널재배)는 노지에 비해 당 함량은 높고 산 함량이 낮은 과실이 생산되는데 당 함량의 증가는 자당 함량의 증가에 의한 것이라고 한 것과 일치되는 경향을 보였다.

Table 2-4. Effect of temperature during the maturing stage on sugar content in the fruit juice of 'Shiranuhi' in plastic film house.

Treatment (Night-Day °C)	Glucose	Fructose	Sucrose	Total sugar	Juice Brix (°Brix)
	-----($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)-----				
Control	17.7 ± 1.7 ^z	18.5 ± 1.4	52.9 ± 4.5	89.1 ± 7.2	14.2 ± 0.6
5 - 15	16.1 ± 1.8	16.9 ± 1.9	52.5 ± 4.9	85.5 ± 6.5	14.2 ± 0.2
10 - 20	15.6 ± 0.9	16.7 ± 0.5	53.3 ± 4.1	85.6 ± 5.6	14.3 ± 0.4

^z $\bar{X} \pm \text{S.E.}$ (n=5).

일반적으로 감귤 과즙에서 당은 포도당, 과당, 자당이 1:1:2의 비율로 이루어지며 성숙 이전까지는 거의 같은 비율로 축적되다가 성숙기가 되면서 자당의 축적이 급격히 증가하는데(Han 등, 1970; Mataa 등, 1996; Mukai 등,

2000; Song과 Ko, 1997; Takebayashi 등, 1992; Ting과 Attaway, 1971), 이 시험에서는 온도처리에 의해 성숙이 촉진되면서 자당비율이 증가된 것으로 생각된다.

2.2.3. 적정산 및 유기산 함량

생육후기 온도 관리에 따른 적정산 및 전유기산 함량은 온도가 높을수록 낮아지는 경향을 보였다(Table 2-5). Nii 등(1970)은 과즙중의 산 함량은 20~25℃에서 잘 감소한다고 하였고, Utsunomiya 등(1982)은 과즙중의 유기산 함량은 온도가 높을수록 낮았다고 하였는데 이 시험에서도 같은 결과를 보여 높은 온도에 의해 호흡이 증대됨으로서 어느 정도 산 함량 감소가 촉진되었기 때문이라고 판단되었다.

유기산 종류별로는 구연산 함량은 전유기산 함량과 마찬가지로 온도가 높을수록 감소되는 경향을 보였으나 능금산 함량은 증가하는 경향을 보였으며 옥살산 함량은 차이가 없어 온도가 높을수록 전유기산에 대한 구연산 비율은 감소한 반면 능금산 비율은 증가하였다. Iwagaki 등(1981)은 온주밀감 과즙의 유기산은 구연산이 90~95%, 그 외 능금산이 5~10%이고 과실이 성숙되면서 구연산 함량은 급격히 감소하지만 능금산의 감소는 적어진다고 하였는데 이 시험에서도 성숙기 고온구(10-20℃)의 구연산 함량이 저온구와 달리 전유기산의 59.3%로 낮고, 능금산 함량은 35.2%로 높아 성숙이 촉진될수록 구연산 비율이 급격히 감소하였다.

Table 2-5. Effect of temperature during the maturing stage on the content of organic acid in the fruit juice of 'Shiranuhi' in plastic film house.

Treatment (Night-Day℃)	Oxalic	Citric	Malic	Total	Titratable acidity (%)
	-----($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)-----				
Control	0.3 ± 0.1 ^z	4.5 ± 0.5	1.1 ± 0.1	5.8 ± 0.7	1.0 ± 0.1
5 - 15	0.2 ± 0.1	3.5 ± 0.4	1.5 ± 0.1	5.2 ± 0.4	0.9 ± 0.0
10 - 20	0.3 ± 0.1	2.9 ± 0.3	1.7 ± 0.3	4.9 ± 0.5	0.9 ± 0.1

^z $\bar{X} \pm \text{S.E.}$ (n=5).

2.2.4. 부패과 비율

부패과는 Table 2-6에서 보는 바와 같이 대조구에서는 전혀 발생하지 않았으나 온도가 높을수록 증가하여 10-20℃구에서는 부패과 비율이 10.3%나 되었다.

不知火는 노지에서 재배될 경우 해에 따라 12월경부터 과피가 약화되어 균열이 발생하고 그곳으로부터 수부증상이 생기면서 부패가 발생한다고 알려져 있는데(Matsumoto, 2001) 성숙기에 하우스 내의 환기가 불량하면 부패과가 증가하는 경향이 있다. 이 시험에서 부패과 발생이 조장된 것은 하우스 내 온도가 높아지면서 상대습도도 함께 높아져(Fig 2-11) 꼭지깃 안에 물이 고이는 시간이 길었기 때문이라고 판단되었다. 따라서 성숙기에 동해를 방지하기 위하여 가운을 할 경우 관수하면 하우스 내 습도가 높아지기 때문에 부패를 방지하기 위해서는 관수에 유의하고 충분히 환기시켜 습도가 높아지지 않도록 해야 할 것으로 생각된다.

Table 2-6. Effect of temperature during the maturing stage on the fruit rot of 'Shiranuhi' in plastic film house.

	Control	5-15℃	10-20℃
Fruit rot (%)	0.0 ± 0.0 ^z	8.4 ± 0.9	10.3 ± 0.9

^z $\bar{X} \pm S.E.$ (n=5).

2.2.5. 과피 착색

과피색의 적녹도를 나타내는 Hunter a*값은 온도가 높을수록 다소 감소하는 경향이었으나 유의한 차는 인정되지 않았다(Table 2-7). 대체적으로 a*값은 30 이상인 수치를 나타내어 온도에 따른 착색도는 문제되지 않는다고 판단되었다.

Hunter b* 값은 온도가 높을수록 감소되는 경향을 보였다. b*값은 탈록이 진행됨에 따라 노란색을 띄어 착색정도를 나타내는 값으로 감귤에서는 착색 지표로서 중요시 되지 않고 있지만(Kim 등, 2000) 월동하여 성숙되는 품종

들에서는 온도가 높아짐에 따라 색이 퇴색되는 현상이 나타나는데 이는 Hunter b* 값과 관련되는 것으로 생각된다. 비록 수치로 나타낼 수 없었지만 육안상으로 관찰한 경우도 온도가 높을수록 과피가 퇴색되는 경향이었으며 이러한 증상은 부패과의 증가와도 관련이 있을 것으로 사료되었다.

Table 2-7. Effect of temperature during the maturing stage on the peel chromaticity of 'Shiranuhi' in plastic film house.

Treatment (Night-Day °C)	Hunter value	
	a ^{*z}	b [*]
Control	30.4 ± 0.8 ^y	33.0 ± 0.2
5-15	29.9 ± 0.6	32.6 ± 0.7
10-20	30.4 ± 0.7	31.4 ± 0.1

^za*, -60(green)~+60(red); b*, -60(blue)~+60(yellow).

^zX̄ ± S.E. (n=5).

이상의 결과를 정리하면 성숙기 생육온도를 높인 결과 가용성고형물 함량에는 차이가 없었으나 산 함량이 감소하는 경향을 보였다. 특히 온도가 높을수록 전당에 대한 포도당과 과당 비율이 감소하고 자당 함량이 증가하였으며, 구연산 비율은 감소한 반면 능금산 비율은 증가하였다. 성숙기에 산 함량을 낮추기 위해 하우스 내 온도를 높이면 산 함량은 감소하지만 과피의 색이 얼어지면서 과실 부패가 증가하기 때문에 무리하게 온도를 높이는 것은 바람직하지 않고 오히려 그 이전에 산의 감소를 위한 적절한 관리 대책이 필요할 것으로 사료된다.

3. 과실 성숙에 따른 과즙의 당과 산 및 효소 활성의 변화

3.1. 과피 착색 및 과즙의 가용성고형물과 적정산 함량

과피색의 Hunter a*(적녹도) 값, 과즙의 가용성고형물 및 적정산 함량, 과즙의 pH를 Fig. 3-1에 나타내었다.

과피색은 10월까지의 네 품종 모두 -5.5~-8.1 정도로 큰 차이 없이 적색보다는 녹색기미가 강하였으나 11월부터는 홍진조생이 착색이 가장 빠르고 그 다음은 수카리, 不知火, 사워오렌지 순이었다. 성숙기에 들어가서는 모든 품종에서 착색정도가 비슷하였지만 그 중에서도 不知火는 적색이 다소 옅은 편이었으며 홍진조생은 다른 품종들보다 진한 경향이였다.

과즙의 가용성고형물 함량은 10월까지의 사워오렌지가 다소 높은 편이었으며 홍진조생은 낮은 경향을 보였다. 11월부터는 不知火의 가용성고형물 함량이 급격히 증가하여 1월에는 不知火가 13.1°Brix로 수카리, 사워오렌지 및 홍진조생보다 높은 경향을 보였다.

과즙의 적정산 함량은 10월에는 사워오렌지가 극히 높은 편이었으며 不知火와 홍진조생이 중간정도였고 수카리는 가장 낮은 경향을 보였다. 이러한 추이는 1월까지 지속되었는데 1월에도 사워오렌지는 5.1%로 높은 상태를 나타냈으며 수카리는 0.4%로 적정산 함량이 매우 낮은 편이었다.

과즙의 pH는 적정산 함량과 반대의 경향을 보였는데 不知火, 수카리, 홍진조생은 성숙됨에 따라 pH가 높아지는 경향을 보인데 반해 사워오렌지는 pH가 거의 일정하였다. 1월에 각 품종별 pH는 수카리가 가장 높았으며, 그 다음이 不知火와 홍진조생이었고, 사워오렌지는 가장 낮은 경향을 보였다.

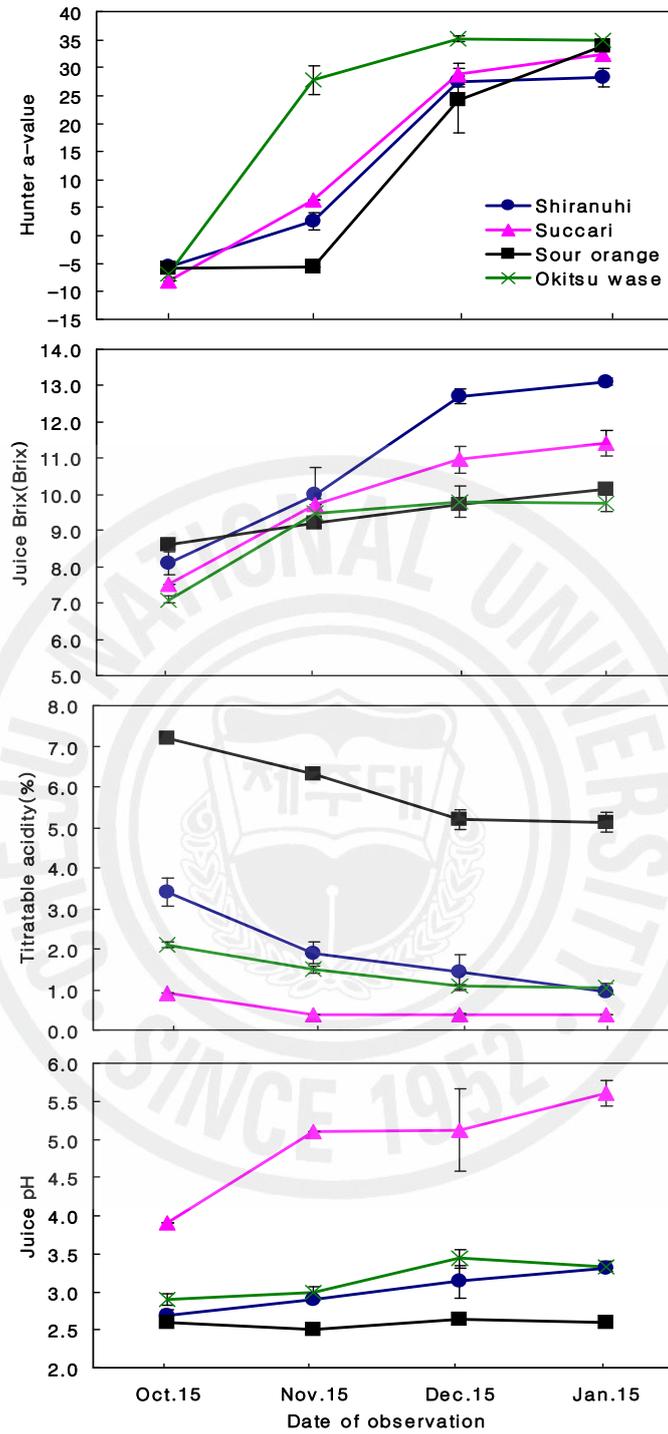


Fig. 3-1. Seasonal changes in peel color, juice Brix, titratable acidity, and juice pH of four citrus cultivars in plastic film house. Vertical bars indicate standard errors of the means.

3.2. 유리당 함량

포도당과 과당 함량은 대체적으로 조사 시기에 관계없이 수카리가 높았던 반면에 사워오렌지가 낮은 경향을 보였으며 不知火와 홍진조생은 중간정도를 나타내었다(Fig. 3-2). 자당 함량은 포도당 및 과당의 변화와는 다른 결과를 보였는데 대체적으로 전 기간을 통하여 不知火와 홍진조생이 높고 수카리와 사워오렌지가 낮은 경향을 보였다. 전당 함량은 가용성고형물 함량과 일치하지 않았는데 수카리가 가장 높은 반면 사워오렌지는 가장 낮은 수치를 보였다. 不知火와 홍진조생은 1월에 전당함량이 가용성고형물 함량의 70% 정도를 나타내었지만 수카리는 85% 정도로 높은 편이었으며 사워오렌지는 40% 정도로 매우 낮은 편이었다.

전당에 대한 각 유리당 비율은 품종별로 뚜렷한 차이를 관찰할 수 있었다. 수카리는 전 기간에 걸쳐 자당의 비율이 전당의 26.1%로 포도당 36.5%, 과당 37.3%보다 낮았으며, 사워오렌지도 不知火와 홍진조생보다 자당 비율이 낮고 포도당과 과당의 비율이 높은 경향을 보였다.

감귤의 당은 포도당, 과당 및 자당이 각각 1:1:2이고, 성숙기가 시작되면서 자당의 집적이 급격하게 증가하게 되는데(Han 등, 1970; Mataa 등, 1996; Mukai 등, 2000; Song, 1997; Song과 Ko, 1997; Takebayashi 등, 1992; Ting과 Attaway, 1971) 이 시험에서는 不知火, 홍진조생 및 사워오렌지는 이와 비슷한 경향을 보였으나 수카리는 포도당과 과당은 계속 증가하는 반면 자당은 정체되는 현상을 나타냈을 뿐만 아니라 그 비율도 포도당과 과당은 35% 이상, 자당은 30% 이하로 당조성면에서도 다른 품종과 비율이 달랐다. 不知火는 포도당, 과당 및 자당 함량 모두 사워오렌지와 홍진조생보다 높은 경향을 보였다. 그러나 수카리와 비교해 볼 때 과즙의 가용성고형물 함량은 높았지만 전당 함량은 거의 비슷한 함량을 나타내었고 12월 이후 포도당과 과당 함량은 감소한 반면 자당 함량은 오히려 증가하는 등 당조성 면에서 다른 것으로 나타나 금후 이에 대한 검토가 필요할 것으로 사료되었다.

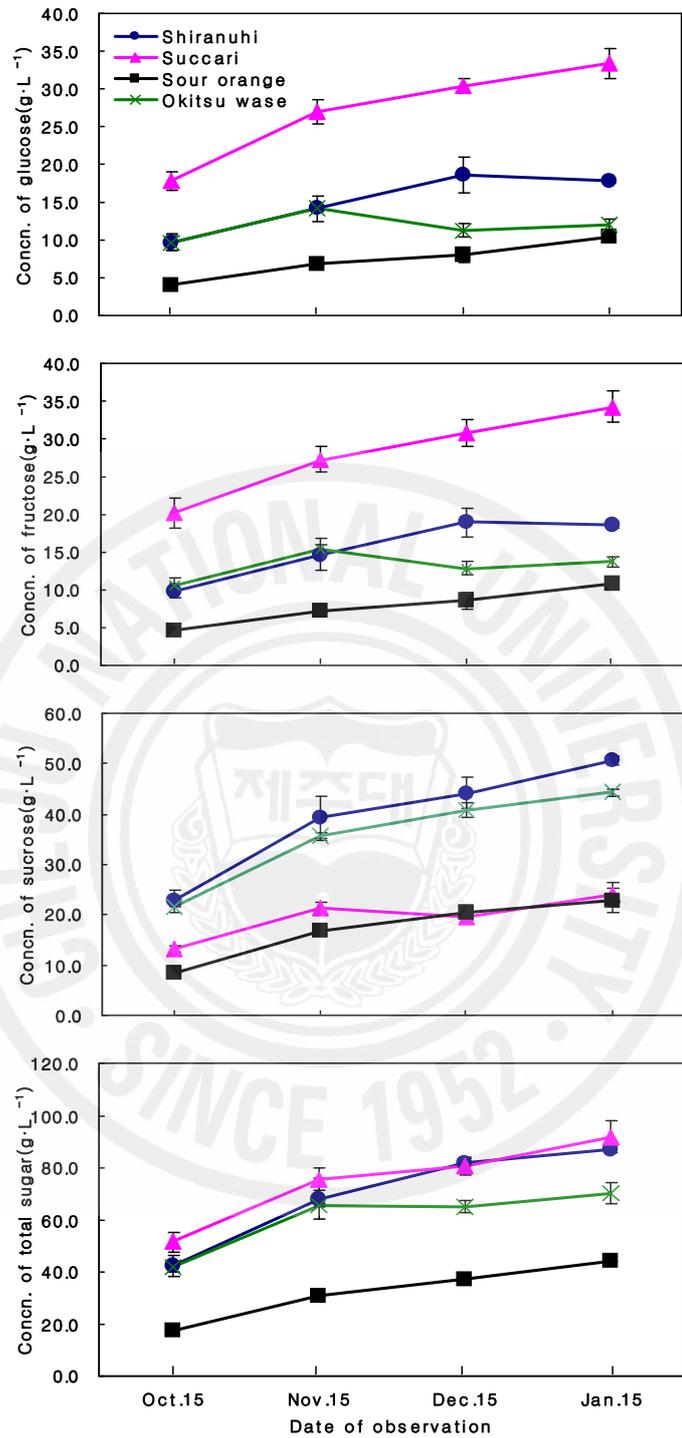


Fig.3-2. Seasonal changes in concentration of free sugar in the fruit juice of four citrus cultivars in plastic film house. Vertical bars indicate standard errors of the means.

3.3. 유기산 함량

옥살산은 품종 간에 큰 차이가 없었으며 구연산 함량은 사워오렌지가 매우 높고 수카리는 낮은 경향을 보였다. 능금산 함량은 11월까지의 사워오렌지가 가장 높았으나 이후 급격하게 감소하여 1월에는 산 함량이 낮은 수카리보다 낮은 상태를 나타내었다. 전유기산 함량은 Fig. 3-1의 산 함량과 비슷한 경향으로 시간이 경과함에 따라 낮아지는 경향을 보였지만 그 감소 정도는 11월 이후에는 완만한 양상을 보였다. 1월 전유기산 함량은 사워오렌지가 가장 높고 수카리는 매우 낮았다(Fig. 3-3).

전유기산 함량에 구연산 비율은 不知火와 수카리가 각각 10월에 95.2, 72.5%, 1월에 80.9, 35.6%로 시간이 경과함에 따라 급격히 감소되었으나, 능금산 비율은 반대로 10월 4.0, 24.5%, 1월 17.3, 58.3%로 증가되는 경향을 보인 반면 사워오렌지, 흥진조생은 구연산 함량비율이 10월에 90.1, 91.2%, 1월에 98.6, 93.7%로 증가하는 경향을 보였으나, 능금산은 각각 10월 9.5, 7.2%, 1월 1.1, 4.8%로 시간이 경과함에 따라 감소되는 경향을 보여 이들 네 품종 간에 산 집적 양상이 다른 것으로 나타났다.

온주밀감인 경우 과즙의 산 함량은 7월 말경에 최고로 높고 그 후 과실의 발육에 따라 감소하는데(Iwagaki 등, 1981), 이 시험에서는 不知火, 수카리 및 흥진조생은 거의 비슷한 경향을 보인 반면 사워오렌지는 성숙에 따른 변화가 거의 없었다. Marsh 등(2000, 2001)은 애시드 라임에서 구연산 농도가 과실 성숙과 함께 감소되지 않는 것은 산 농도를 낮추는 기능과 액포막에서 H^+ 펌프 기능이 부족하기 때문이며 산 함량이 낮은 스위트 계통에서 과실성숙 동안에 액포내 구연산의 감소는 H^+ 의 손실과 밀접하게 관련된다고 하였는데 사워오렌지에서 산 함량이 높게 유지되고 수카리에서 낮은 것은 같은 이유라고 생각되지만 자세한 것은 추후 검토가 필요한 부분이라고 생각된다.

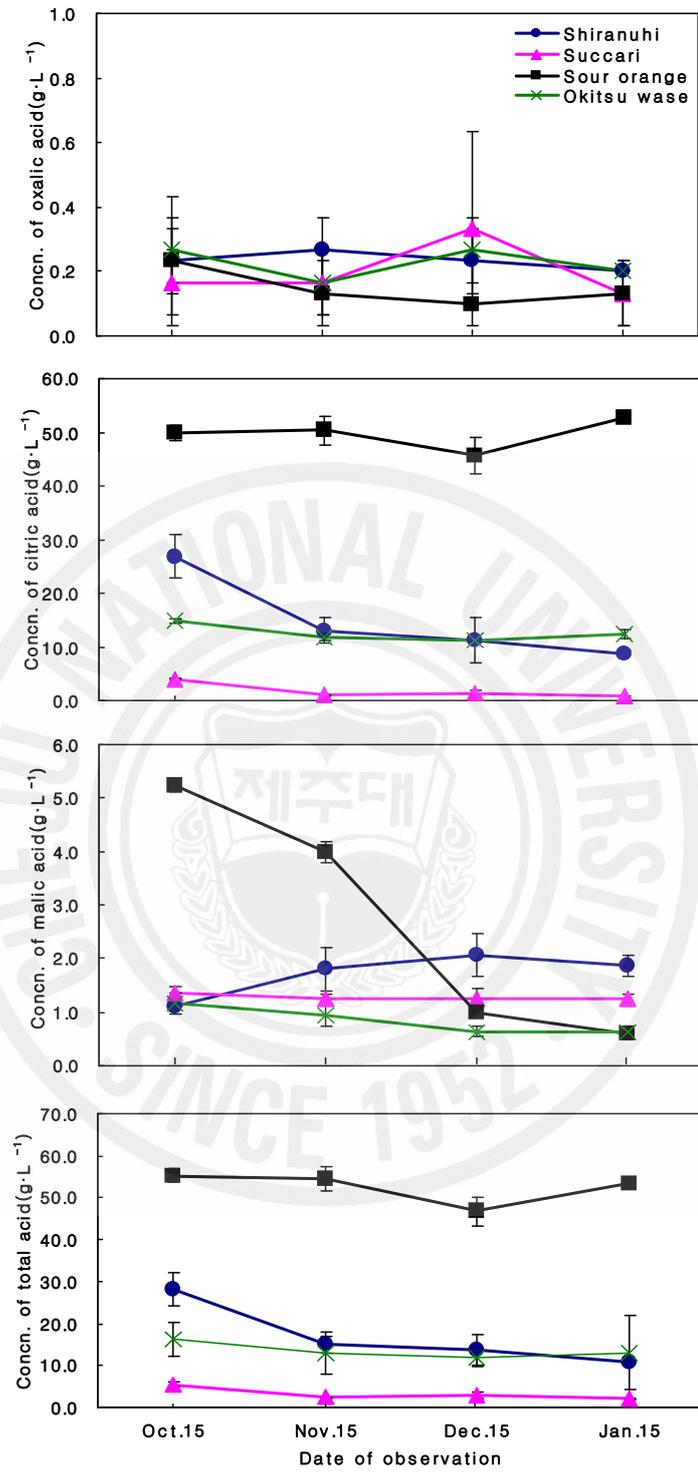


Fig. 3-3. Seasonal changes in concentration of organic acid in the fruit juice of four citrus cultivars in plastic film house. Vertical bars indicate standard errors of the means.

3.4. 효소 활성

SS 활성은 비활성과 생체중당 활성 모두 수카리에서 높고 사워오렌지에서 낮게 나타났으며 不知火와 홍진조생은 중간정도를 보였다. 생육단계가 경과함에 따라 SS 활성은 모든 품종에서 감소되거나 정체되는 경향을 보였다(Fig. 3-4).

不知火는 수카리보다 가용성고형물 및 자당 함량은 높았지만 전당 함량은 비슷하였으며 포도당 및 과당 함량은 낮은 경향을 보였는데(Fig. 3-2), SS 활성은 수카리에서 높게 나타나 두 품종을 비교하면 SS 활성과 자당 함량과는 관련이 없는 것으로 나타났다. Song과 Ko(1997)는 오렌지 품종에서 자당 함량과 SS 활성간에 유의한 정의 상관관계가 관찰되었다고 하였고, Chae 등(2003)도 궁천조생에서 ethycholzate를 살포하였을 때 자당 함량과 SS 활성간에 유의한 상관관계가 있었다고 하였는데 不知火와 수카리 두 품종간 차이만을 비교하면 관련성이 없는 것으로 나타났다.

Chae 등(2003), Hockema와 Echeverria(2001), Kubo 등(2001), Song 등(1998), Song과 Ko(1997) 등은 가용성고형물 및 당 함량과 SS 활성과는 밀접한 관련이 있다고 하였지만 품종간 비교를 위주로 한 이 시험에서 가용성고형물 함량과 SS 활성과의 관계가 뚜렷하지 않아 세포내에서의 당 축적 및 분해는 여러 요인들이 복합적으로 작용할 것으로 추정된다. SS 활성과 당 함량과의 관계가 불명확했던 것은 不知火가 수카리 품종보다 가용성고형물이 높고 전당 함량이 비슷함에도 불구하고(Fig. 3-1, 3-2) SS 활성이 낮게 유지되었기 때문이었다. 세포내에서 가역적으로 활성을 보이는 SS에는 두개의 isoform이 존재하며 세포질내 pH, 생육단계, 당의 합성과 분해에 각각 다른 활성을 보인다고 하였는데(Huang과 Wang, 1998; Klotz 등, 2003), 이 시험에서 pH가 높은 수카리가 다른 품종에 비해 자당 비율이 낮은 반면 포도당, 과당 비율이 높고 SS 활성이 높은 점은 자당 합성보다는 분해에 SS가 더 많은 활성을 보일 수도 있으므로 추후 검토가 필요한 부분이라고 판단된다.

SPP 활성은 SS 활성과 비슷한 경향으로 수카리가 다른 품종보다 높은 경향을 보였으며 성숙함에 따라 不知火와 홍진조생은 다소 증가하는 경향을 보였다. Echeverria와 Gonzalez(2005)는 머코트 만다린에서 SPP는 세포질에서 생육후반기에 자당이 재합성되면서 활성이 높아진다고 하였는데 이 시험도 비슷한 경향을 보였다(Fig. 3-5).

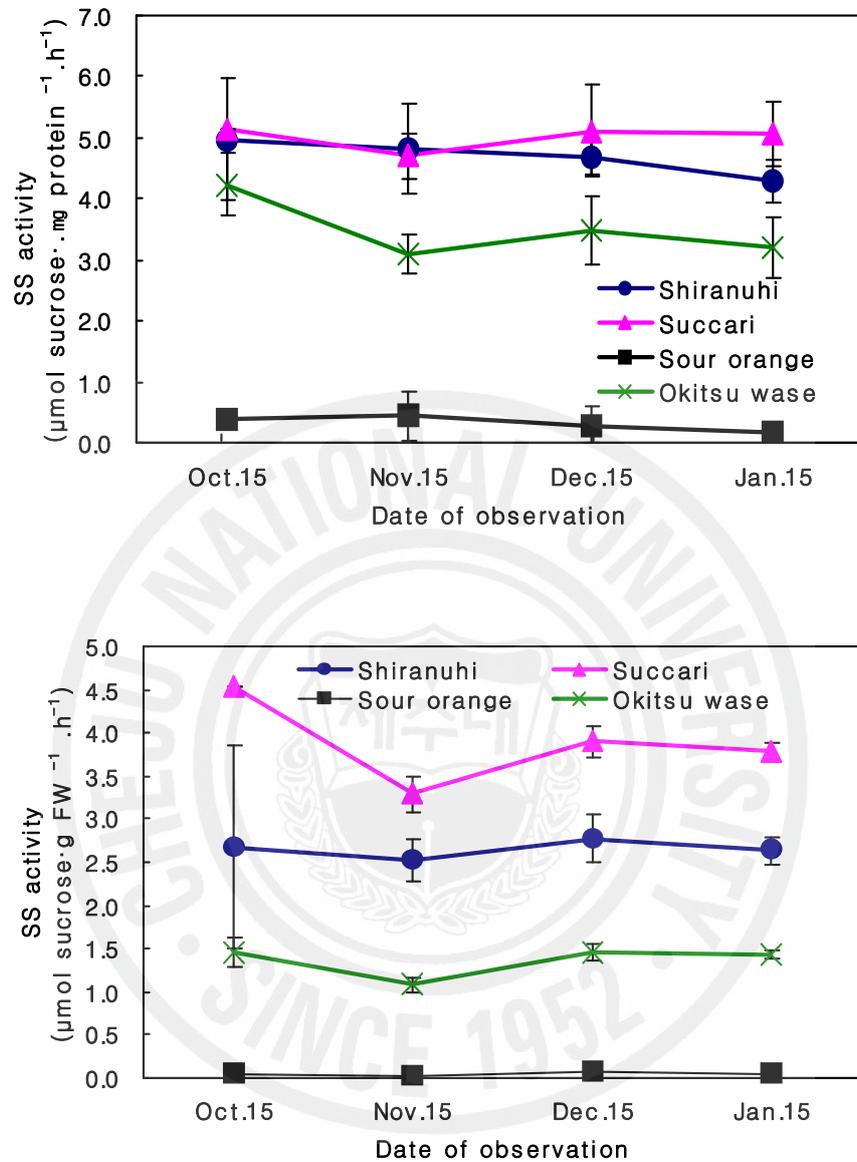


Fig. 3-4. Seasonal changes in sucrose synthase (SS) activities in the fruit juice of four citrus cultivars in plastic film house. Vertical bars indicate standard errors of the means.

SS와 SPP의 활성정도는 당 함량이 높고 산 함량이 낮은 수카리에서 높았고 당 함량이 낮고 산 함량이 높은 사워오렌지에서 낮았는데, Echeverria 등(1997)이 낮은 산 함량과 높은 액포 pH를 갖는 감귤 등에서 V-ATPase가 높은 활성을 보였다는 보고와 Brune 등(2002)이 산 함량이 낮은 스위트 라임이 산 함량이 높은 애시드 라임보다 액포막에서 H⁺ 펌핑이 2배 높았다는 보고에서 유추해보면 SS와 SPP 활성과 함께 다른 요인들이 복합적으로 당 및 산 축적에 관여하는 것으로 사료된다.

이상을 종합해보면 가용성고형물 함량이 높은 품종은 당 합성과 관련된 효소 활성이 높은 것으로 생각하기 쉽지만 이 시험에서는 不知火가 비록 가용성고형물 함량이 높음에도 불구하고 수카리보다 포도당과 과당, 전당 함량이 오히려 낮고 SS 및 SPP 활성도 낮은 것으로 나타났다. 또한 SS 및 SPP 활성은 구연산 함량이 낮을수록 높은 경향을 보였으며 산 함량이 매우 낮은 수카리는 효소활성이 높고 산 함량이 높은 사워오렌지는 매우 낮은 것으로 나타났다. 이것은 당의 합성 또는 분해에 관여하는 요인들이 산의 대사와 밀접하게 관련이 있다는 것을 의미하는데 Brune 등(2002), Echeverria 등(1997), Marsh 등(2001)이 보고한 바와 같이 액포막 내·외의 물질이동에 V-ATPase가 중추적인 역할을 담당하며 막을 가로지르는 에너지대사와 밀접하게 관련된다는 것을 고려해 볼 때 SS와 SPP 활성과 함께 다른 요인들도 복합적으로 당 및 산 축적에 관여하는 것으로 사료된다.

따라서 당 함량이 높거나 산 함량이 낮은 품종을 육성하고자 할 때 또는 재배적인 면에서 당 및 산 함량을 조절하고자 할 때 당의 합성 및 분해 뿐만 아니라 원형질 및 액포막에서 물질대사에 관여하는 요인들도 함께 검토하는 것이 중요하다고 사료된다.

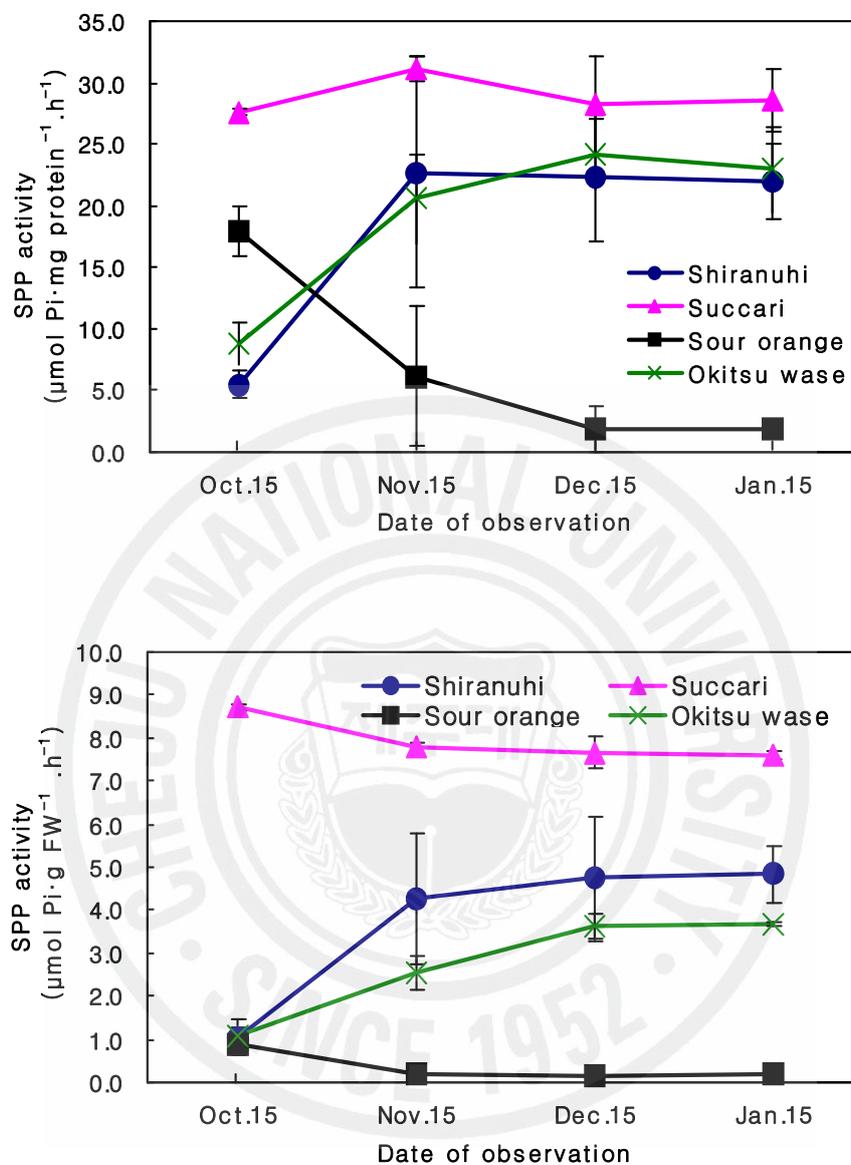


Fig. 3-5. Seasonal changes in sucrose-phosphate phosphatase (SPP) activities in the fruit juice of four citrus cultivars in plastic film house. Vertical bars indicate standard errors of the means.

V. 적 요

시설재배 不知火[Shiranuhi, (*Citrus unshiu* × *C. sinensis*) × *C. reticulata*]의 안정생산과 과실품질 향상 기술 개발을 위한 기초 자료를 얻고자 2001년부터 2005년까지 중간대목이나 대목과 온도가 수체생장과 과실품질에 미치는 영향, 과실 성숙에 따른 과즙의 당과 산 함량 및 효소활성의 변화 등에 대한 일련의 시험을 수행한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 대목이 수체생육 및 과실품질에 미치는 영향

2002년 10월부터 2003년 1월까지 탱자 대목에 접목된 15년생 궁천조생 (*Citrus unshiu* Marc.)을 중간대목으로 하여 不知火를 고접한 고접수와 탱자 대목에 직접 不知火를 접목한 접목수가 교호로 재식된 일반재배농가 하우스 3개소에서 고접수와 접목수의 과실품질을 비교하였다. 또한 탱자(*Poncirus trifoliata*), 스윙글 시투루멜로 (*Citrus paradisi* × *p. trifoliata*), 시쿠와샤(*C. depressa* Hayata), 유자(*C. junos* Sieb.) 및 신감하(*C. natsudaidai*) 등 5종의 대목에 접목한 不知火의 수체생장과 과실수량 및 품질을 평가하였다.

1.1. 과실 횡경, 과중, 과피색 및 과육율의 시기별 변화는 고접수와 접목수 사이에 차이가 없었다.

1.2. 고접수 과즙의 가용성고형물 함량은 접목수와 차이가 없었으나, 적정산 함량은 0.3% 정도 높았으며 이로 인해 당산비가 낮아 수확기에도 8.6정도에 불과했다.

1.3. 과실의 유리당 함량은 처리 간에 유의한 차이는 없었으나 대체적으로 고접수는 접목수에 비해 자당 함량이 낮고 포도당 및 과당 함량이 높은 경향을 보였다.

1.4. 不知火 나무의 간경, 봄순 길이, 수고 및 수폭 등 수체생장은 2004년, 2005년 모두 스윙글 시투루멜로와 시쿠와샤 대목에서 왕성하였다.

1.5. 과실 횡경은 대목의 종류간에 큰 차이가 없었으나, 과실 종경은 스윙글 시투루멜로가 탱자 대목에 비해 유의하게 커져 과형지수는 감소되었다. 주당 착과수와 수량도 두 해 모두 스윙글 시투루멜로가 가장 많았다.

1.6. 과즙의 가용성고형물과 적정산 함량은 스윙글 시투루멜로와 시쿠와샤 대목에서 탱자보다 유의하게 낮았다.

1.7. 과즙의 전당 함량과 포도당 함량은 스윙글 시투루멜로와 시쿠와샤에서 탱자 보다 낮은 경향을 보였으며, 자당 함량은 스윙글 시투루멜로가 전당의 55% 정도로서 다른 대목들보다 높은 편이었다. 스윙글 시투루멜로는 탱자에 비해 구연산 함량은 낮고 능금산 함량은 높았다.

1.8. Sucrose synthase (SS)는 전당 함량이 높은 탱자 대목에서 높은 활성을 보였다.

2. 온도가 수체생장 및 과실품질에 미치는 영향

탱자 대목의 6년생 不知火, 清見(Kiyomi, *C. unshiu* × *C. sinensis*)과 津之香[Tsunogaori, (*C. unshiu* × *C. sinensis*) × *C. unshiu* Marc.]을 대상으로 하여 생육초기인 2002년 2월 20일부터 5월 하순까지 밤 온도 15℃, 낮 온도를 25℃로 설정한 15-25℃구, 밤 온도 18℃, 낮 온도를 28℃로 설정한 18-28℃구와 낮 온도는 20℃로 설정하고 밤에 가온하지 않는 대조구를 두고 수체생장 및 과실품질 등을 조사하였다. 또한 생육후기인 2003년 12월 상순부터 1월 하순까지 밤 온도 5℃, 낮 온도를 15℃로 설정한 5-15℃구, 밤 온도 10℃, 낮 온도를 20℃로 설정한 10-20℃구와 이들 처리와 비교하기 위하여 낮 온도를 10℃로

설정하고 가온하지 않은 대조구를 두고 과실품질을 조사하였다.

2.1. 생육초기 온도가 높을수록 모든 품종에서 봄순의 수는 감소하고 엽면적은 넓어졌으며 봄순 길이는 길어졌다.

2.2. 不知火의 외관상 광합성 속도는 온도가 높을수록 증가하여 18-28°C 구에서는 대조구보다 1.5배인 $16.7 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 관찰되었다.

2.3. 不知火의 대조구 만개기는 4월 22일이었는데 15-25°C구와 18-28°C 구에서는 이보다 각각 24일, 44일 빨랐다. 화엽비는 모든 품종에서 온도가 높을수록 크게 감소하였으며, 不知火의 착과율은 18-28°C구에서 오히려 높았지만 낮은 화엽비 때문에 열매수가 적어 엽과비가 높았다. 清見과 津之香은 착과율도 크게 낮아져 엽과비가 적정 착과수준 이상으로 높아졌다.

2.4. 모든 품종의 과실은 생육초기 온도가 높을수록 커졌는데 특히 不知火는 종경 비대가 증가되어 과형지수가 작아졌다.

2.5. 성숙기 과즙의 가용성고형물 함량의 증가는 모든 품종에서 15-25°C구와 대조구가 비슷하였으나 18-28°C구는 완만하였으며 수확기가 빠른 것과 겹쳐 생육초기 온도가 높을수록 수확기 가용성고형물 함량이 낮았다.

2.6. 성숙기 과즙의 적정산 함량 감소는 생육초기 온도가 높을수록 빨랐다.

2.7. 不知火는 생육초기에 야간온도 15°C 내외로 보온하는 것이 바람직하다고 판단되었다.

2.8. 생육후기 하우스 내 상대습도는 대조구는 70% 내외, 10-20°C구는 90% 이상으로 온도가 높을수록 높게 유지되었으며, 오후 3~5시경 다소 낮아지는 것을

제외하고는 상대습도의 일변화는 거의 없었다.

2.9. 과즙의 가용성고형물 함량은 생육후기 온도의 영향을 받지 않았으며 유리당 함량은 온도가 높을수록 포도당 및 과당 함량과 비율이 점차 감소한 반면, 자당 함량과 비율은 증가하는 경향을 보였다.

2.10. 적정산 및 전유기산 함량은 생육후기 온도가 높을수록 낮아지는 경향이었으나 유의적인 차이는 없었으며, 유기산별로는 온도가 높을수록 전유기산에 대한 구연산 비율이 감소한 반면 능금산 비율은 증가하였다.

2.11. 생육후기 온도가 높을수록 과실의 부패는 증가하였으며 과피색의 황청도인 Hunter b^* 값은 감소되는 경향을 보였다.

3. 과실 성숙에 따른 과즙의 당과 산 및 효소 활성의 변화

不知火 과실의 당 및 산 조성과 관련 효소활성 등 품종 특성을 구명하기 위해 무가온 하우스에 재식된 홍진조생(*C. unshiu* Marc.), 수카리(*C. sinensis* L.) 및 사위오렌지(*C. aurantium* L.) 등을 비교품종으로 하여 과실 성숙기에 과즙의 가용성고형물, 적정산, 유리당, 유기산 함량 및 효소 활성 등을 분석하였다.

3.1. 가용성고형물 함량은 전 생육단계에 걸쳐 不知火가 높았고, 산 함량은 사위오렌지가 높았으며 수카리는 극히 낮은 편이었다.

3.2. 不知火 과실의 가용성고형물 함량은 수카리보다 높았지만 전당 함량은 수카리보다 낮은 경향을 보였다. 수카리는 포도당과 과당 함량이 다른 품종에 비해 높았으며 이러한 차이는 성숙기까지 지속되었다. 자당 함량은 전 기간을 통하여 不知火와 홍진조생이 높은 경향을 보였다.

3.3. 不知火의 전유기산 및 구연산 함량은 수카리와 사워오렌지의 중간 정도였으나 능금산 함량은 12월 중순부터 사워오렌지보다 높았다.

3.4. SS 및 SPP는 전당 함량이 높을수록 구연산 함량이 낮을수록 높은 활성을 보였다. 자당 함량이 높은 不知火는 홍진조생과 사워오렌지에 비해 SS 활성이 높게 나타났으나, 전당 함량이 비슷한 수카리와 비교하면 차이가 없었다. 不知火의 SPP 활성은 수카리와 사워오렌지의 중간정도였으며 홍진조생과는 비슷한 경향을 보였다.



VI. 인용문헌

- Akira, K., Y. Takanokura, T. Moriguchi, M. Omura, and T. Akihama. 1999. Differential expression of three sucrose-phosphate synthase isoforms during sucrose accumulation in citrus fruits (*Citrus unshiu* Marc.). *Plant Sci.* 140:169-178.
- Ashkenazi, S., Z. Asor, and O. Rosenberg. 1992. Flying dragon trifoliolate (F.D.T) as a dwarfing interstock for citrus trees. *Proc. Int. Soc. Citriculture* 284-285.
- Ashkenazi, S., Z. Asor, and O. Rosenberg. 1993. High density citrus plantation. *Acta Hort.* 349:203-204.
- Baik, J.H. 1994. Fruit physiology (Citrus). Kwangmun Publishing, Ltd., Seoul, Korea. (In Korean).
- Balibrea, E.M., A.M. Santa Cruz, M.C. Bolarin, and F. Perez-Alfocea. 1996. Sucrolytic activities in relation to sink strength and carbohydrate composition in tomato fruit growing under salinity. *Plant Sci.* 118:47-55.
- Bevington, K.B. and W.S. Castle. 1985. Annual root growth pattern of young citrus trees in relation to shoot growth, soil temperature, and soil water content. *J. Amer. Soc. Hort.* 110:840-845.
- Bowman, K.D. and R.E. Rouse. 2006. US-812 citrus rootstock. *HortScience* 41:832-836.
- Brune, A., M. Muller, L. Taiz, P. Gonzalez, and E. Etxeberria. 2002. Vacuolar acidification in citrus fruit: Comparison between acid lime (*Citrus aurantifolia*) and sweet lime (*Citrus limmetioides*) juice cells. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 127:171-177.
- Brune, A., P. Gonzalez, R. Goren, U. Zehavi, and E. Echeverria. 1998. Citrate uptake into tonoplast vesicles from acid lime (*Citrus aurantifolia*) juice cells. *J. Membrane Biol.* 166:197-203.

- Bustan, A. and E.E. Goldschmidt. 1998. Estimating the cost of flowering in a grapefruit tree. *Plant Cell and Environment* 21:217-224.
- Camara, Z.Z., A. Cerda, and M. Nieves. 2004. Interstock-induced mechanism of increased growth and salt resistance of orange (*Citrus sinensis*) trees. *Tree Physiol.* 24:1109-1117.
- Camara, Z.Z., M. Nieves, and A. Cerda. 2003. Improvement in growth and salt resistance of lemon (*Citrus limon*) trees by an interstock-induced mechanism. *Tree Physiol.* 23:879-888.
- Candance, A.L., P.T. Tomlinson, and K.E. Koch. 1987. Sucrose-metabolizing enzymes in transport tissues and adjacent sink structures in developing citrus fruit. *Plant Physiol.* 90:1394-1402.
- Castle, W.S. and A.H. Krezdorn. 1992. Interstocks for tree size control. Univ. of Florida. Fact sheet HS-145.
- Castle, B. and E. Stover. 2001. Update on use of swingle citrumelo rootstock. Univ. Florida. Fact sheet HS-801.
- Chae, C.W., S.B. Kang, K.J. Song, and D.K. Moon. 2003. Sugar concentration and activity of related enzymes in different parts of satsuma mandarin fruit as affected by foliar spray of ethychlozate. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 44:683-687. (In Korean).
- Chikaizumi, S., A. Hino, and N. Yamashita. 2000. Tree growth and distribution of photosynthates as affected by the fruit bearing in 'Shiranui' trees. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 69(Suppl. 2):275. (In Japanese).
- Chun, I.J. and E. Fallahi. 2002. Effect of rootstocks and interstem on the foliar mineral concentrations and fruit quality of fuji apple trees. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 43:267-263.
- Citrus Marking and Shipping Association. 2006. Analysis of distribution of citrus harvested in 2005. p. 1-94. Jeju Special Self Governing Province, Citrus Marking and Shipping Association, Jeju, Korea. (In Korean).
- Daito, H., S. Tominaga, S. Ono, and K. Morinaga. 1981. Yield of differently trained

- trees and fruit quality at various locations within canopies of differently trained satsuma mandarin trees. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 50:131-142. (In Japanese).
- Davies, F.S. and L.G. Albrigo. 1994. Citrus. p. 204-205. CAB Intl., Wallingford, UK.
- Doehlert, C.D. and S.C. Huber. 1983. Spinach leaf sucrose phosphate synthase activation by glucose 6-phosphate and interaction with inorganic phosphate. FEBS Lett. 153:293-297.
- Echeverria, E. and J. Valich. 1988. Carbohydrate and enzyme distribution in protoplasts from valencia orange juice sacs. Phytochemistry 27:73-76.
- Echeverria, E. and P.C. Gonzalez. 2005. Sucrose transport into citrus juice cells: Evidence for endocytic transport system. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 130:269-274.
- Echeverria, E., P.C. Gonzalez, and A. Brune. 1997. Characterization of proton and sugar transport at the tonoplast of sweet lime (*Citrus limmetioides*) juice cells. Physiol. Plant. 101:291-300.
- Economides, C.V. and C. Gregoriou. 1993. Growth, yield, and fruit quality of nucellar frost 'Marsh' grapefruit on fifteen rootstocks in cyprus. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 118:326-329.
- 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. 97:566-570.
- Ferguson, J.J. and J. Charparro. 2004. Dwarfing and freeze hardiness potential of trifoliolate orange rootstocks. Unv. of Florida. Fact sheet HS 982.
- Fishler, M., E.E. Goldschmide, and S.P. Monselise. 1983. Leaf area and fruit size on girdled grapefruit branches. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 108:218-221.
- Gil-Izquierdo, A., M.T. Riquelme, I. Porrás, and F. Ferreres. 2004. Effect of the rootstock and interstock grafted in lemon tree [*Citrus limon* (L.) Burm.] on the flavonoid content of lemon juice. J. Agr. Food Chem. 52:324-331.

- Girardi, E.A. and F.A.A.M. Filho. 2006. Production of interstocked 'Pera' sweet orange nursery trees on 'Volkamer' lemon and 'Swingle' citrumelo rootstocks. *Sci. Agr. (Piaracicaba, Braz.)* 63:5-10.
- Guardiola, J.L. 1981. Flower initiation and development in citrus. *Proc. Int. Soc. Citriculture* 242-246.
- Haas, A.R.C. and L.J. Klotz. 1935. Physiological gradients in citrus. *Hilgardia* 9(3):181-217.
- Han, H.R., H.L. Kim, and S.S. Kang. 1970. Studies on the changes of acid and sugar content of citrus varieties at different growing stages in Cheju-do. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 7:35-40. (In Korean).
- Han, S.G. 2005. Effects of long-term non-fertilization of nitrogen, phosphorus, and potassium on soil chemical properties, three nutrition and productivity of satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.). PhD. Diss., Cheju Natl. Univ., Jeju, Korea. (In Korean).
- Han, S.H. 2001. Comparison of chlorophyll fluorescence of three citrus rootstocks and satsuma mandarin grafted on them. *Kor. J. Hort. Sci. & Technol.* 19:149-152.
- Huh, I.O. 1973. Studies on contribution degree affecting to the fruit quality of satsuma mandarin. *Jeju Natl. Univ. Edu. Collection of Learned Papers* 3:119-138.
- Huh, I.O. 1975. Studies on the improvement of fruit of satsuma mandarin. *Jeju Natl. Univ. Edu. Collection of Learned Papers* 5:35-43.
- Hockema, R.B. and E. Echeverria. 2001. Metabolic contributors to drought-enhanced accumulation of sugar and acids in oranges. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 126:599-605.
- Huang, D.Y. and A.Y. Wang. 1998. Purification and characterization of sucrose synthase isozymes from etiolated rice seedlings. *Biochem. Mol. Biol. Int.* 46:107-113.
- Hubbard. N.L., D.M. Pharr, and C. Huber. 1991. Sucrose phosphate synthase and

other sucrose metabolizing enzymes in fruits of various species. *Physiol. Plant.* 82:191-196.

Ikeda, F. 1990. Studies on the accumulation of sugars in juice of satsuma mandarin. 14. Rootstock effects on the fruit characteristics of satsuma mandarin. 59(Suppl. 1):24-25. (In Japanese).

Inoue, H. 1989. Differentiation and development of flower buds in satsuma mandarins under different temperature conditions. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 58:75-82. (In Japanese).

Inoue, H. 1990a. Effects of temperature on bud dormancy and flower bud differentiation in satsuma mandarin. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 58:919-926. (In Japanese).

Inoue, H. 1990b. Effects of exposing satsuma mandarin trees grown under low temperature regimens in winter and early spring on flower bud development and flowering. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 59:215-223. (In Japanese).

Inoue, H. and Y. Harada. 1988. Tree growth and nutrient absorption of young satsuma mandarins under different temperature conditions. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 57:1-7. (In Japanese).

Inoue, H., Y. Kami, F. Fujiwara, E. Fujii, T. Kondo, H. Ishizaki, and A. Watanabe. 2001. Comparative analysis of the fruit citric acid concentration of 'Shiranuhi' mandarin. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 70(Suppl. 1):179. (In Japanese).

Iwagaki, I. and K. Hirose. 1980. Fruit growth and acid content of satsuma mandarin in relation to flowering time. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 48:418-425. (In Japanese).

Iwagaki, I., K. Izumi, T. Araki, and K. Hirose. 1981. Studies on maturation physiology of satsuma mandarin. 2. Changes in sugar, organic acid and amino acid in flesh and fruit peel. *Bull. Fruit Tree Res. Stn. B* 8:37-54. (In Japanese).

Iwagaki, I. and Y. Kato. 1982. Relationship between early fruit growth and harvest fruit quality in satsuma mandarin. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.*

- 51:263-269. (In Japanese).
- Iwasaki. 1968. Cultural practices of citrus. Asakura Publishing Co. Ltd., Tokyo, Japan. (In Japanese).
- Iwasaki, N. and C. Ogaki. 1985. Photosynthetic characteristics of some citrus species under various temperatures and light conditions. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 54:315-322. (In Japanese).
- Izumi, H., T. Ito, and Y. Yoshida. 1990. Changes in fruit quality of satsuma mandarin during storage, after harvest from exterior and interior canopy of trees. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 58:877-883. (In Japanese).
- Jeju Citrus Growers Agr. Assn. 2000. Principal citrus variety in Jeju. Jeju Citrus Growers Agr. Assn., Jeju, Korea. (In Korean).
- Jeju Regional Meteorological Office. 2006. Meteorological compendium in 2005. Jeju Regional Meteorological Office, Jeju, Korea. (In Korean).
- Kadoya, I. 1991. Morphology, physiology, and function. p. 11-66. Agri. Tech. Series (Fruit Part). Rural Cult. Assn., Tokyo, Japan. (In Japanese).
- Kang, J.H., C.W. Chae, Y.S. Seo, S.J. Oh, and J.S. Moon. 2004. Effect of citrus stock on tree growth and fruit quality in satsuma mandarin (*Citrus unshiu*). Kor. J. Hort. Sci. Technol. 22(Suppl. I):72. (In Korean).
- Kang, J.H., S.G. Kang, Y.C. Park, and S.T. Yun. 2002. Effect of control of alternate years on tree growth and fruit quality in satsuma mandarin (*Citrus unshiu*). Kor. J. Hort. Sci. Technol. 20(Suppl. I):84. (In Korean).
- Kawano, K. 1988. Fruit quality of ridge-up bed cultivation. Agri. Tech. Series (Fruit Part). Rural Cult. Assn. 154:17. (In Japanese).
- Kawano, S. 1984. Studies on management of soil moisture for satsuma mandarin in heated plastic film house. Bull. Oita Citrus Res. 2:11-37. (In Japanese).
- Kawase, K. 1999. Cultivation of Dekopon. Rural Cult. Assn., Tokyo, Japan. (In Japanese).
- Kawase, K., I. Iwagaki, T. Takahara, S. Ono, and K. Hirose. 1987. Rootstock

- studies for citrus varieties in Japan. JARU. 20(4):253-259.
- Kihara, B. 1991. Regional growing stage of citrus. p. 89-90. Agri. Tech. Series (Fruit Part). Rural Cult. Assn., Tokyo, Japan. (In Japanese).
- Kihara, B. and H. Konaka. 2000. Status and measure of alternate bearing of satsuma mandarin. Bull. Fruit Exp. Stn. 34:111-136. (In Japanese).
- Kim, B.S., J.S. Lee, J.H. Kim, and S.K. Jun. 2004. Resistance to bacterial wilt and phytophthora root of lines developed for rootstocks of pepper. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 22(Suppl. 1):129. (In Korean).
- Kim, C.M. 2002. Effects of climatic parameters on flowering fruiting and fruit quality of satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) in Jeju island. PhD. Diss., Cheju Natl. Univ., Jeju, Korea. (In Korean).
- Kim, Y.H. and C.M. Kim. 1999. Effects of calcium formulae foliar spray on the fruit quality of satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) in the plastic film house. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 40:88-92. (In Korean).
- Kim, Y.H., C.M. Kim, and S.K. Chung. 2000. Effects of ridge-up bed cultivation on the fruit quality of satsuma mandarin ('Miyagawa Wase') in a plastic film house. Kor. J. Hort. Sci. Techhol. 18:599-604. (In Korean).
- Kim, Y.H., S.H. Yun, J.H. Park, H.J. Ahn, S.G. Kang, and H.Y. Kim. 2002. Introduction of new rootstock in citrus. Kor. J. Hort. Sci. Techhol. 20(Suppl. 2):86. (In Korean).
- Kitazono, K. 2001. A higher value-added technical development for sustainable production and improvement of fruit quality of 'Shiranuhi'. Kyushu Agri. Research 63:17-20. (In Japanese).
- Kiyosue, Y., H. Mine, and S. Siba. 1991. Effect of some environmental factors on the fruit quality of 'Miyamoto Wase'. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 60(Suppl. 1):678. (In Japanese).
- Klotz, K.L., F.L. Finger, and W.L. Shelver. 2003. Characterization of two sucrose synthase isoforms in sugarbeet root. Plant Physiology and Biochemistry 41:107-115.

- Kobayashi, A., N. Nii, and K. Harada, 1967. Effect of temperature on flowering, fruiting and fruit quality of maturing stage of satsuma mandarin. *Agr. & Hort.* 42:97-98. (In Japanese).
- Kobayashi, A., N. Nii, K. Harada, and K. Kadowaki. 1968. Favorable day and night temperature combination for the fruit growths of delaware grapes and satsuma oranges. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 37:199-204.
- Kobayashi, Y., H. Ohno, M. Okada, E. Shikano, Y. Makita, H. Kagami, I. Iguchi, S. Hara, E. Kuroyanagi, and T. Sasaki. 1995. Effects of 'Hiryō (Flying dragon)' rootstock on tree growth, yield and fruit quality of 'Aoshima unshiu'. *Bull. Shizuoka Citrus Exp. Sta.* 26:23-30. (In Japanese).
- Koch, K.E. and W.T. Avigne. 1990. Postphloem, nonvascular transfer in citrus: kinetics, metabolism and sugar gradient. *Plant Physiol.* 93:1405-1416.
- Koh, S.O., Y.E. Moon, and H.R. Han. 1998. Studies on the improvement of fruit quality and the appropriate fruiting control for inhibiting of alternate bearing of satsuma mandarin. *Bull. Natl. Hort. Res. Inst.* p. 100-103. (In Korean).
- Kojima, K., T. Takahara, T. Ogata, and N. Muramatsu. 1995. Relationships between growth characteristics and endogenous ABA, IAA and GA levels in citrus rootstocks. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 63:753-760. (In Japanese).
- Komatsu, A., Y. Takanokura, T. Moriguchi, M. Omura, and T. Akihama. 1999. Differential expression of three sucrose-phosphate synthase isoforms during sucrose accumulation in citrus fruits (*Citrus unshiu* Marc.). *Plant Sci.* 140:169-178.
- Kubo, T., I. Hohjo, and S. Hiratsuka. 2001. Sucrose accumulation and its related enzyme activities in the juice sacs of satsuma mandarin fruit from trees with different crop loads. *Scientia Horticulturae* 91:215-255.
- Kuriyama, T. 1988. Improvement of topgrafting on citrus trees as a method of changing varieties and quality improvement of satsuma mandarin fruits. *Agri. Tech.* 43:60-63. (In Japanese).
- Lee, S.G., Y.A. Shin, K.Y. Kim, J.H. Chung, and Y.B. Lee. 1998. Effect of

- rootstocks on the growth, fruit quality and ethylene evolution from harvested fruits in watermelon. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 39:238-241. (In Korean).
- Lowell, C.A., P.T. Tomlinson, and K.E. Koch. 1989. Sucrose-metabolizing enzymes in transport tissues and adjacent sink structures in developing citrus fruit. Plant Physiol. 90:1394-1402.
- Lunn, J.E., A.R. Ashton, M.D. Hatch, and H.W. Heldt. 2000. Purification, molecular cloning, and sequence analysis of sucrose-6F-phosphate phosphohydrolase from plants. Proc. Natl. Acad. Sci. 97:12914-12919.
- Maeshima, M., Y. Nakanishi, C. Matsuura-Endo, and Y. Tanaka. 1996. Proton pumps of the vacuolar membrane in growing plant cells. J. Plant Res. 109:119-125.
- Makita, Y. and S. Hara. 1979. Effects of natsudaidai interstock on tree growth yield and fruit quality of scion variety. Bull. Shizuoka Citrus Exp. Sta. 15:1-11. (In Japanese).
- Marsh, K.B., A.C. Richardson, and E.A. Macrae. 1999. Early and mid season temperature effects on the growth and composition of satsuma mandarins. J. Hort. Sci. and Biotech. 74:443-451.
- Marsh, K.B., P. Gonzalez, and E. Echeverria. 2000. P_{Pi} formation by reversal of the tonoplast-bound H⁺-pyrophosphatase from 'Valencia' orange juice cells. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 125:420-424.
- Marsh, K.B., P. Gonzalez, and E. Echeverria. 2001. Partial characterization of H⁺-translocating inorganic pyrophosphatase from 3 citrus varieties differing in vacuolar pH. Physiol. Plant. 111:519-526.
- Mataa, M., S. Tominaga, and I. Kozaki. 1996. Seasonal changes of carbohydrate constituents in ponkan (*Citrus reticulata* Blanco). J. Japan. Soc. Hort. Sci. 65:513-523.
- Matsumoto, A., T. Hirano, S. Ikeda, and T. Sindou. 2004. Effect of different rootstock on tree growth and quality in citrus cultivar 'Setoka'. Kyushu Agri. Res. 66:237. (In Japanese).
- Matsumoto, K., S. Chikaizumi, I.O. Hoe and J. Watanabe. 1972. Studies on the

contribution of environmental and internal factors affecting the edible quality and exterior appearance of satsuma mandarin fruits. I. Estimation of the contribution of some factors influencing the total soluble solids and free acid content of juice. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 41:171-178.

Matsumoto, R. 2001. 'Shiranuhi', a late-maturing citrus cultivar. *Bull. Natl. Inst. Fruit Tree Sci.* 35:115-120. (In Japanese).

Michelet, B. and M. Boutry. 1995. The plasma membrane H^+ -ATPase: a highly regulated enzyme with multiple physiological functions. *Plant Physiol.* 108:1-6.

Moon, D.G. 2001. Changes in soluble solids, titratable acidity and abscisic acid contents in different portions of fruit during maturation of satsuma mandarin. PhD Diss., Univ. of Ehime, Japan.

Moon, D.Y., H.Y. Kim, Y.H. Kim, S.B. Kim, and H.R. Han. 1995. Effect of cropping system and drought degree of soil on the flower budding of satsuma mandarin in the plastic film house. *J. Kor. Soc. Intl. Agr.* 7:186-193. (In Korean).

Moon, Y.E. 2001. Characteristics of photosynthetic rate depends on temperature and seasonal changes in several tangor. *Bull. Jeju Agr. Exp. Stn.* p. 195-206. (In Korean).

Moon, Y.E. and C.M. Kim. 2001. Studies on investigation of factor and preventing of fruit splitting in satsuma mandarin in plastic film house. *Bull. Jeju Agr. Exp. Stn.* p. 162-175. (In Korean).

Moon, Y.E., C.M. Kim, S.G. Han, Y.H. Kim, S.K. Chung, and S.O. Koh. 2001. Effects of temperature controls on fruit quality and maturing of satsuma mandarin in the plastic film house heated. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 19(Suppl. 1):43. (In Korean).

Moriguchi, T. 1997. Mechanism of sugar accumulation in fruit. Role of sugar metabolizing enzymes. *Chemical Control of Plant.* 32(2):186-195.

Morimoto, J. H. Harano, M. Tanaka, and K. Maesaka. 1983. Effects of the interstocks on tree growth and yields of scion varieties of citrus. *Bull. Wakayama Tree and Hort. Res. Stn.* 7:1-10. (In Japanese).

- Morinaga, K. and F. Ikeda. 1991. Photosynthetic characteristics and fruit productivity of satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) trees under plastic greenhouse culture. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 60:61-69. (In Japanese).
- Morioka, S. 1988. Influence of fruit load and fruit thinning on fruit growth, fruit characters, shoot growth and flower bud formation in the following season in mature satsuma mandarin trees. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 57:351-359. (In Japanese).
- Morioka, S. and S. Yahata. 1989. Influence of fruit load just before fruit thinning on fruit size, yield and flower bud formation in satsuma mandarin. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 58:97-103. (In Japanese).
- Mukai, H., T. Kitamura, T. Takagi, and T. Suzuki. 1992. Effect of temperature and water stress on quality of satsuma mandarin fruit. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 61(Suppl. 2):54-55. (In Japanese).
- Mukai, H., T. Takagi, N. Kajita, S. Nishikawa, H. Harada, and Y. Murai. 2000. Sugar accumulation in fruit of several satsuma mandarin cultivars. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 69:624-628. (In Japanese).
- Mukai, H., T. Takagi, Y. Teshima, and T. Suzuki. 1996. Sugar contents in parts of fruit of satsuma mandarin tree under water stress in autumn. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 65:479-485. (In Japanese).
- Nakanishi, Y. and M. Maeshima. 1998. Molecular cloning of vacuolar H⁺-Pyrophosphatase and its developmental expression in growing hypocotyl of mung bean. Plant Physiol. 116:589-597
- Nii, N. and B.G. Coombe. 1988. Anatomical aspects of juice sacs of satsuma mandarin in relation to translocation. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 56:375-381.
- Nii, N., K. Harada, and K. Kadowaki. 1970. Effects of temperature on the fruit growth and quality of satsuma oranges. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 39:19-27. (In Japanese).
- Noda, K., H. Okuda, and I. Iwagaki. 2001a. Relationship between growth and IAA and ABA levels in citrus rootstock seedlings. J. Japan. Soc. Hort. Sci.

70:258-260. (In Japanese).

Noda, K., H. Okuda, T. Kihara, I. Iwagaki and K. Kawase. 2001b. Effects of rootstocks on tree growth and fruit quality in very early ripening satsuma mandarin 'Yamakawa'. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 70:78-82.

Ogaki, C. and S. Ito. 1972. Effect of low temperature in winter season on induction of bud differentiation of satsuma mandarin. Agr. & Hort. 47:95-97. (In Japanese).

Okada, N. 1985. The effect of temperature conditions during bud stage on the nitrogen uptake for navel orange (*C. Sinensis* Osb.). Bull. Shizuoka Citrus Exp. Stn. 21:49-51.

Okasima, R., H. Aikawa, H. Nagata, T. Dota, and T. Isoda. 1998. Designing for fertilizer application in citrus variety 'Shiranuhi'. Res. Bull. Kumamoto Prefectural Agr. Res. Ctr. 7:77-87. (In Japanese).

Okawa, S. 2000. Cultivation of Dekopon during year-round. JA Hiroshima Fruit Assn., Hiroshima, Japan. (In Japanese).

Ono, S. and H. Daito. 1982. Studies on photosynthesis and productive structure of satsuma mandarins (*Citrus unshiu* Marc.). Part 4. Difference by area in intra-canopic photosynthetic action and development of fruits. Bull. Shikoku Agr. Exp. Stn. 40:59-77. (In Japanese).

Park, G.H., G.J. Lee, J.G. Lee, and J.W. Lim. 2003. The effect of interstocks on fruit quality of several pear cultivars. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 21(Suppl. 1):67. (In Korean).

Patricia, T.T., E.R. Duke, K.D. Nolte, and K.E. Koch. 1991. Sucrose synthase and invertase in isolated vascular bundles. Plant Physiol. 97:1249-1252.

Poerwanto, R. and H. Inoue. 1990. Effects of air and soil temperatures in autumn on flower induction and some physiological responses of satsuma mandarin. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 59:207-214.

Rea, P.A. and D. Sanders. 1987. Tonoplast energization: Two pumps, one membrane. Physiol. Plant. 71:131-141.

- Richardson, A.C. and R.H. Blank. 1996. Shoot development in spring affects satsuma mandarin fruit quality. *Proc. Int. Soc. Citriculture* 989-993.
- Richardson, A.C., K.B. Marsh, and E.A. Macrae. 1997. Temperature effects on satsuma mandarin fruit development. *J. Hort. Sci.* 72:919-929.
- Roose. M.L., D.A. Cole, D. Atkin, and R.S. Kupper. 1989. Yield and tree size of four citrus cultivars on 21 rootstocks in California. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 114:678-684.
- Roose. M.L. and R. Kupper. 1992. Effects of citrus rootstocks on freeze tolerance in California. *Proc. Int. Soc. Citriculture* 256-258.
- Rouse. R. E. and N.P. Maxwell. 1979. Performance of mature nucellar 'Redblush' grapefruit on 22 rootstocks in Texas. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 104:449-451.
- Sadka, A., B. Artzi, L. Cohen, E. Dahan, D. Hasdai, E. Tagari, and E. Erner. 2000. Arsenite reduces acid content in citrus fruit, inhibits activity of citrate synthase but induces its gene expression. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 125:288-293.
- Sakaki, H., K. Fujita, K. Kitazono, A. Isobe, and M. Mitsuta. 2006. Effect of grafting 'Sikuwasya' root on tree growth, yield and fruit quality in citrus cultivar 'Shiranuhi'. *Kyushu Agri. Res.* 66:239. (In Japanese).
- Sakurai, N., M. Akiyama and S. Juraishi. 1985. Roles of abscisic acid and indoleacetic acid in the stunted growth of water-stressed, etiolated squash hypocotyls. *Plant Cell Physiol.* 26:15-24.
- Sanderson, G., S. Falivene, and S. Hardy. 2005. Reworking citrus trees. NSW Department of Primary Industries. *Citrus Fact Sheet* 1-5.
- Shaked, A., A. Goell, and M. Chamu. 1992. Scion-rootstock relationships in young container-grown 'Shamouti' orange and 'Minnelola' tangelo trees. *Proc. Int. Soc. Citriculture* 304-306.
- Shaked, A. and S. Ashkenazy. 1984. Swingle citrumelo as a new citrus rootstocks in israel. *Proc. Int. Soc. Citriculture* 1:48.
- Silva, L. M, J. Cordova, O.S. Passos, A.P. Cunha Sobrinho, and J.U.B. Silva.

1984. Influence of rootstocks upon the growth and yield of bahia orange [*C. sinensis* (L) Osb.] under conditions of northeastern Brazil. Proc. Int. Soc. Citriculture 1:53.
- Sites, J.W. and H.J. Reitz. 1949. The variation in individual valencia oranges from different locations of tree as a guide to sampling methods and spot-picking for quality. I. Soluble solids in the juice. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 54:1-10.
- Son, D.S. 1996. Effect of interstock on the tree growth, fruit set and fruit quality in persimmons (*Diospyros Kaki* Thumb.). PhD Diss., Chonnam Natl. Univ., Chonju, Korea. (In Korean).
- Song, E.Y. 1997. Quality characteristics of citrus fruit according to harvest date and variety. MSD. Diss., Cheju Natl. Univ., Jeju, Korea. (In Korean).
- Song, K.J., E. Echeverria, and H.S. Lee. 1998. Distribution of sugars and related enzymes in the stem and blossom halves of valencia oranges. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 123:416-420.
- Song, K.J. and K.C. Ko. 1997. Relationship between sugar content and sucrose synthase activity in orange fruits. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 38:242-245. (In Korean).
- Stover, E. 2000. Relationship of flowering intensity and cropping in fruit species. HortTechnology 10:729-732.
- Surm, A. and G.Q. Tang. 1999. The sucrose-cleaving enzymes of plants are crucial for development, growth and carbon partitioning. Trends in Plant Science 4:401-407.
- Susanto, S. and Y. Nakajima. 1990. Effects of winter heating on flowering time, fruiting and fruit development in pummelo grown under plastic house. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 59:245-253.
- Syvertsen, J.P. and L.G. Albrigo. 1980. Some effect of grapefruit tree canopy position on microclimate, water relations, fruit yield, and juice quality J. Amer. Soc. Hort. Sci. 105:454-459.
- Sze. H. 1985. H⁺-translocating ATPase: Advances using membrane vesicles.

Ann. Rev. Plant Physiol. 36:175-208.

- Tachibana, S. 1996. Effect of planting density on the quality of wase satsuma mandarin fruits grown under different cultural treatments. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 65:463-470. (In Japanese).
- Tachibana, S. and S. Yahata. 1998. Effects of organic matter and nitrogen fertilizer applications on fruit quality of satsuma mandarin in a high density planting. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 67:671-676.
- Takagi, N., M. Shimizu, N. Ogino, Y. Maeda, S. Akamatsu, and A. Owada. 1987. Influence of flowering intensity on the vegetative growth and translocation of ^{15}N and ^{13}C -photosynthates during anthesis in Miyauchi iyo (*Citrus iyo hort.* Tanaka). J. Japan. Soc. Hort. Sci. 55:433-444. (In Japanese).
- 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. 51:257-262. (In Japanese).
- Takahara, T., K. Kawase, N. Muramatsu, I. Iwagaki, K. Yoshinaga, S. Ono, Y. Yamada, K. Hirose, and T. Ogata. 1995. Effect of rootstocks from six citrus varieties on tree growth and fruit quality of 'Hassaku' (*Citrus hassaku hort. ex Tanaka*). Bull. Fruit Tree Res. Stn. 28:25-37. (In Japanese).
- Takahara, T., T. Ogata, H. Fujisawa, and N. Muramatsu. 2000. Effects of rootstock on growth, yield and fruit quality of 'Shiranuhi'. Kyushu Agri. Res. 62:229. (In Japanese).
- Takahara, T., T. Ogata, K. Kawase, I. Iwagaki, N. Muramatsu, S. Ono, K. Yoshinaga, K. Hirose, Y. Yamada, Y. Takatsuji, and S. Uchida. 1994. Effect of several rootstocks on tree growth and fruit quality of 'Otani iyo' (*Citrus iyo hort.* Tanaka). Bull. Fruit Tree Res. Stn. 26:39-60. (In Japanese).
- Takebayashi, T., T. Kataoka, and H. Yukinaga. 1992. Satsuma mandarin quality after delayed harvest compared with fruits from general and famous orchards. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 61:39-47. (In Japanese).

- Takishita, F., M. Uchida, and S. Kusaba. 2000. Effect of rootstock on the growth and photosynthesis of Japanese citrus cultivars. ISC Congress. p. 136.
- The bank of Korea. 2003. Citrus industry status and investigation of the actual condition of citrus farmer. Jeju Branch, The bank of Korea. (In Korean).
- Ting, S.V. 1969. Distribution of soluble components and quality factors in the edible portion of citrus fruits. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 94:515-519.
- Ting, S.V. and J.A. Attaway. 1971. Citrus fruits. p.107-161. In: A.C. Hulme (ed.). The biochemistry of fruits and their products. Vol. I. Academic press, London & New York.
- Tomida, E. 1972. Effect of soil moisture in summer and time of fall nitrogen application on the fruit quality and flowering of satsuma orange trees. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 41:151-156. (In Japanese).
- Tomlinson, T.P., E.R. Duke, K.D. Nolte, and K.E. Koch. 1991. Sucrose synthase and invertase in isolated vascular bundles. Plant Physiol. 97:1249-1252.
- Tsuda, K., F. Izawa, M. Tanaka, and H. Imagawa. Studies on prevention of the obstruction with top-grafting on mandarin orange (*Citrus unshu* Marc.). Res. Bull. Aichi Agr. Res. Ctr. 10:49-55. (In Japanese).
- Tuzcu. O., M. Kaplankiran, A. Alev, and S. Dogan. 1992a. Effects of some citrus rootstocks on fruit yield and quality of kutdiken lemon in Adana (Turkey). Proc. Int. Soc. Citriculture 265-269.
- Tuzcu. O., M. Kaplankiran, S. Duzenoglu, and I. Bahceci. 1992b. Effect of some citrus rootstocks on the yield and quality of the 'Washington' navel orange variety in Adana (Turkey) conditions. Proc. Int. Soc. Citriculture 270-284.
- Tzur. A., R. Goren and U. Zehavi. 1992. Carbohydrate metabolism in developing citrus fruits. Proc. Int. Soc. Citriculture 405-411.
- Uchino, K., K. Matsumoto, K. Sakoda, and K. Tokunaga. 1998. Analysis of factors related to the decrease in titratable acidity of 'Shiranuhi' [Kiyomi tangor (*Citrus unshiu* Marc. × *C. Sinensis* Osb.) × *C. reticulata* Bla.] grown under heated plastic house. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 67(Suppl. 2):192. (In

Japanese).

- Utsunomiya, N., H. Yamada, I. Kataoka, and T. Tomana. 1982. The effect of fruit temperatures on the maturation of satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) fruits. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 51:135-141. (In Japanese).
- Ward, J.M. and H. Sze. 1992. Proton transport activity of the purified vacuolar H⁺-ATPase from oats. Plant Physiol. 99:925-931.
- Webber, H.J. 1948. Plant characteristics and climatology. p. 41-69. The Citrus Industry. Univ. of California. Berkeley, USA.
- Winter, H., J.L. Huber, and S.C. Huber. 1997. Membrane association of sucrose synthase: changes during the gravi response and possible control by protein phosphorylation. FEBS Lett. 420:151-155.
- Winter, H. and S.C. Huber. 2000. Regulation of sucrose metabolism in higher plants: localization and regulation of activity of key enzyme. Crit. Rev. Biochem. Mol. Biol. 35:253-289.
- Yahata, D., K. Ushijima, and K. Matsumoto. 2003. Characteristics of sugar accumulation in juice during fruit development and ripening of satsuma mandarin tree grafted on 'Hiryu' rootstock. Hort. Res. 2:39-44. (In Japanese).
- Yakushiji, H., H. Nomami, N. Takagi, T. Fukuyama, S. Ono, and Y. Hashimoto. 1992. Enhancement of sugar accumulation and osmoregulation of satsuma mandarin trees grown at low water potentials. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 61(Suppl. 1):44-45. (In Japanese).
- Yakushiji, H., H. Nonami, T. Fukuyama, S. Ono, N. Takagi, and Y. Hashimoto. 1996. Sugar accumulation enhanced by osmoregulation in satsuma mandarin fruit. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 121:466-472.
- Yakushiji, K. 2002. Use of interstock of 'Miyachi iyo' (*Citrus iyo hort.* Tanaka). Aichi Prefectural Fruit News. 16. (In Japanese).
- Yamagi, Y. 1990a. Effect of lead arsenate on citrate synthase activity in fruit pulp of satsuma mandarin. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 58:899-905. (In Japanese).

- Yamagi, Y. 1990b. Effect of lead arsenate on coenzyme A in fruit pulp of satsuma mandarin. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 58:899-905. (In Japanese).
- Yamanishi. O. 1994. Effect of spring day/night temperature on flower development, fruit set and fruit quality on strangulated pummelo trees. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 63:493-504.
- Yonemoto, Y., K. Matsumoto, T. Furukawa, M. Asakawa, H. Okuda, and T. Takahara. 2004. Effects of rootstock and crop load on sap flow rate in branches of 'Shirakawa' satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.). Scientia Horticulturae 102:295-300.
- Zhu, X. and K. Matsumoto. 1987. Absorption and translocation of 6-benzylamino purine in satsuma (*Citrus unshiu* Marc.) trees. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 56:159-165.
- Zhu, X., K. Matsumoto, and M. Shiraishi. 1989. Acceleration effect of 6-Benzylamino purine (BA) spray on the sprouting of axillary buds in satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) trees. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 57:578-584. (In Japanese).