



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

온주밀감의 과실 품질에 미치는

토양 건조 처리와 생장조절제

살포의 영향



제주대학교 대학원

원예학과

채 치 원

2006년 12월

온주밀감의 과실 품질에 미치는
토양 건조 처리와 생장조절제
살포의 영향

지도교수 문 두 길

채 치 원

이 논문을 농학박사학위 논문으로 제출함

2006년 12월

채치원의 농학박사학위 논문을 인준함

심사위원장 _____

위 원 _____

위 원 _____

위 원 _____

위 원 _____

제주대학교 대학원

2006년 12월

Effect of Drought Stress and Plant Growth
Regulators on Fruit Quality in Satsuma
Mandarin

Chae, Chi-Won

(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

목 차	i
Summary	ii
List of Tables	vi
List of Figures	viii
I. 서 언	1
II. 연구사	3
III. 재료 및 방법	15
1. 토양 건조처리 시기가 과즙의 당 집적에 미치는 영향	15
2. 생장 조절제 살포가 부 발생에 미치는 영향	17
2.1. GP 살포시기가 부 발생에 미치는 영향	17
2.2. GA ₃ 와 GP 살포가 부피발생과 과피 성분에 미치는 영향	19
IV. 결과 및 고찰	24
1. 토양 건조처리 시기가 과즙의 당 집적에 미치는 영향	24
2. 생장 조절제 살포가 부피발생에 미치는 영향	44
2.1. GP 살포시기가 부피발생에 미치는 영향	44
2.2. GA ₃ 와 GP 살포가 부피발생과 과피 성분에 미치는 영향	55
V. 적 요	74
VI. 인용 문헌	77

Summary

In order to improve the fruit quality of early-ripening satsuma mandarin by increasing the sugar contents in fruit juice and inhibiting the occurrence of peel puffiness, several experiments on the effects of the season of drought stress and foliar spray of plant growth regulators were conducted. The results obtained are summarized as follows;

1. Effect of season of drought stress on sugar accumulation in juice.

Sixteen uniform potted 7-year-old 'Okitsu Wase' satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Mark cv. Okitsuwase) trees grafted on trifoliolate orange stock in a glass house were randomly assigned to four groups; conventional soil water supply at level of ψ_{\max} of $-0.3 \sim -0.4$ MPa during the whole period from July 21 (fruit dia about 30mm) through Nov. 20 (WW), mild drought stress at level of ψ_{\max} of $-0.6 \sim -0.7$ MPa during the whole period (DD), drought stress during 50 days from July 21 through Sept. 10 (DW), and drought stress during 50 days from Oct. 1 through Nov. 20 (WD). Fruit growth was monitored periodically, and the concentration of free sugars and the activities of sucrose synthase (SS) and sucrose phosphate synthase (SPS) in fruit juice during maturation were determined.

1.1. Drought stress inhibited the fruit growth, but the growth became most vigorous in response to supply of water after drought, resulting in the largest fruit in DW.

1.2. The concentration of fructose and glucose in fruit juice was

increased by drought stress, and the difference between fruits with and without stress did not change during the prolonged drought, but the difference disappeared in response to supply of water after drought. The concentration of sucrose was also increased by drought, but the difference between fruits with and without stress steadily increased during the prolonged drought and maintained even under the condition without drought.

1.3. The activity of SS and SPS was increased by drought, and the pattern of change was similar to that of fructose or glucose rather than that of sucrose.

1.4. It was suggested that the increase in the activity of SS by drought represents the increase in sink strength, the increase in the concentration of hexoses accounts for the degree of active osmoregulation, and the accumulation of sucrose is the accumulated results of the increased sink strength.

2. Effect of foliar spray of plant growth regulators on the occurrence of peel puffiness.

The mixture (GP, 10 mg×L⁻¹, respectively) of gibberellic acid (GA₃) and n-propyl-dihydrojasmonate (PDJ), was twice sprayed, respectively, on three different times including on Sep. 25 and Oct. 15, on Oct. 10 and Oct. 30, and on Oct. 30 and Nov. 20, on 25-year-old 'Miyagwa Wase' satsuma mandarin (*Citrus unshiu* cv. Miyagwa Wase) on trifoliate orange stock growing in open field. GA₃ alone and GP at 10 mg×L⁻¹, respectively, were twice sprayed on Sep. 25 and Oct. 15 on 'Okitsu Wase' satsuma mandarin

growing in unheated plastic film house. Fruit characters were periodically observed with emphasis on peel puffiness until the following March. Contents of free sugars, inorganic elements and pectic substances, and the activities of polygalacturonase (PG) and pectin methylesterase (PME) in fruit peel were also analysed.

2.1. GP sprayed just before the color break of peel (on Sept. 25 and Oct. 15) didn't affect fruit diameter and weight at harvest, but reduced peel thickness, delayed peel coloring, increased juice Brix, juice acidity and fruit specific gravity, and inhibited the occurrence of peel puffiness. The above effects sharply decreased in the later spray.

2.2. Both GA₃ and GP sprayed just before the color break of peel significantly inhibited the occurrence of peel puffiness, reduced the contents of free sugars in peel and increased those of Ca and B.

2.3. The activity of PME in control fruit peel rapidly increased in November when peel puffiness sharply developed, and the increase in PME activity was inhibited by GA₃ and GP.

2.4. The activity of PG didn't show any trend in seasonal change, but was reduced by GA₃ and GP, mainly after November.

2.5. The content of water soluble pectin in control fruit peel sharply increased from November, and reached to the maximum level in January. But the increase was inhibited by GA₃ and GP, resulting in the steady state from December.

2.6. EDTA-soluble pectin in control fruit peel reduced after the maximum level in December, but the reduction was inhibited by GA₃ and GP.

2.7. No significant difference between GA₃ and GP was recognized for the above effects observed .



List of Tables

Table 1. Operating conditions of ICP-AES for mineral analysis.	21
Table 2. Effect of soil moisture control on leaf water potential before sunrise (Ψ_{\max}) in potted 'Okitsu Wase' satsuma mandarin in a glasshouse.	25
Table 3. Effect of soil moisture control on specific gravity of fruit in potted 'Okitsu Wase' satsuma mandarin in a glasshouse.	29
Table 4. Effect of soil moisture control on peel thickness of fruit in potted 'Okitsu Wase' satsuma mandarin in a glasshouse.	30
Table 5. Correlation coefficients between sugar concentration and enzyme activity in juice of potted 'Okitsu Wase' satsuma mandarin in a glasshouse.	41
Table 6. Effect of the date of foliar spray of GP on fruit growth of 'Miyagawa Wase' satsuma mandarin.	45
Table 7. Effect of the date of foliar spray of GP on the contents of total soluble solids in juice of 'Miyagawa Wase' satsuma mandarin fruit.	46
Table 8. Effect of the date of foliar spray of GP on the contents of titratable acid as citric in juice of 'Miyagawa Wase' satsuma mandarin	

fruit.	47
Table 9. Effect of the date of foliar spray of GP on the percent degreening of 'Miyagawa Wase' satsuma mandarin fruit peel.	48
Table 10. Effect of the date of foliar spray of GP on the peel color (Hunter a value) of 'Miyagawa Wase' satsuma mandarin fruit.	48
Table 11. Effect of the foliar spray of GA ₃ and GP on fruit growth of 'Miyagawa Wase' satsuma mandarin.	56
Table 12. Effect of the foliar spray of GA ₃ and GP on the contents of total soluble solid and titratable acid as citric in juice of 'Miyagawa Wase' satsuma mandarin fruit.	57
Table 13. Effect of the foliar spray of GA ₃ and GP on the concentration of free sugars in fruit peel of 'Miyagawa Wase' satsuma mandarin.	64
Table 14. Effect of the foliar spray of GA ₃ and GP on the concentration of mineral elements in fruit peel of 'Miyagawa Wase' satsuma mandarin.	65
Table 15. Effect of the foliar spray of GA ₃ and GP on the contents of insoluble pectin in 'Miyagawa Wase' satsuma mandarin peel.	72

List of Figures

- Fig. 1. Seasonal changes in transversal diameter of fruit as affected by different soil moisture control in potted 'Okitsu Wase' satsuma mandarin in a glasshouse. 26
- Fig. 2. Seasonal changes in fruit weight as affected by different soil moisture control in potted 'Okitsu Wase' satsuma mandarin in a glasshouse. 27
- Fig. 3. Seasonal changes in pulp ratio of fruit as affected by different soil moisture control in potted 'Okitsu Wase' satsuma mandarin in a glasshouse. 31
- Fig. 4. Seasonal changes in total soluble solids of juice as affected by different soil moisture control in potted 'Okitsu Wase' satsuma mandarin in a glasshouse. 32
- Fig. 5. Seasonal changes in fructose concentration of juice as affected by different soil moisture control in potted 'Okitsu Wase' satsuma mandarin in a glasshouse. 34
- Fig. 6. Seasonal changes in glucose concentration of juice as affected by different soil moisture control in potted 'Okitsu Wase' satsuma mandarin in a glasshouse. 35
- Fig. 7. Seasonal changes in sucrose concentration of juice as affected by different soil moisture control in potted 'Okitsu Wase' satsuma mandarin in a glasshouse. 36

Fig. 8. Seasonal changes in total sugar concentration of juice as affected by different soil moisture control in potted 'Okitsu Wase' satsuma mandarin in a glasshouse.	37
Fig. 9. Seasonal changes in sucrose synthase (SS) activity of juice as affected by different soil moisture control in potted 'Okitsu Wase' satsuma mandarin in a glasshouse.	39
Fig. 10. Seasonal changes in sucrose phosphate synthase (SPS) activity of juice as affected by different soil moisture control in potted 'Okitsu Wase' satsuma mandarin in a glasshouse.	40
Fig. 11. Changes in specific gravity of fruit as affected by the date of foliar spray of GP in 'Miyagawa wase' satsuma mandarin.	51
Fig. 12. Changes in fruit hardness of fruit as affected by the date of foliar spray of GP in 'Miyagawa wase' satsuma mandarin.	52
Fig. 13. Changes in peel puffiness of fruit as affected by the date of foliar spray of GP in 'Miyagawa wase' satsuma mandarin.	53
Fig. 14. Changes in peel color of 'Miyagawa Wase' satsuma mandarin as affected by GA ₃ and GP.	58
Fig. 15. Changes in specific gravity of 'Miyagawa Wase' satsuma mandarin fruit as affected by GA ₃ and GP.	60
Fig. 16. Changes in peel puffiness index of 'Miyagawa Wase' satsuma mandarin as affected by GA ₃ and GP.	61

Fig. 17. Changes in percent puffed fruits of 'Miyagawa Wase' satsuma mandarin as affected by GA ₃ and GP.	62
Fig. 18. Changes in the activity of polygalacturonase (PG) in peel of 'Miyagawa Wase' satsuma mandarin as affected by GA ₃ and GP.	66
Fig. 19. Changes in the activity of pectin methylesterase (PME) in peel of 'Miyagawa Wase' satsuma mandarin as affected by GA ₃ and GP.	68
Fig. 20. Changes in the contents of water-soluble pectin (WSP) in peel of 'Miyagawa Wase' satsuma mandarin as affected by GA ₃ and GP.	69
Fig. 21. Changes in the contents of EDTA-soluble pectin (VSP) in peel of 'Miyagawa Wase' satsuma mandarin as affected by GA ₃ and GP.	71

I. 서 언

제주도에서 재배되는 감귤의 80% 이상이 조생 온주밀감이며 그 대부분이 국내 생과용으로 소비되고 있지만, 그 맛은 여름과 가을의 강우량에 의해 크게 좌우되며 해에 따라 변이가 심한 편인데, 관행 수확기인 11월에 수확한 과실은 대체로 소비자의 기호를 충족시키기에는 당 함량이 낮고 산 함량이 높은 편이다.

호흡 비급등형(non-climacteric)인 온주밀감 과실은 성숙기에 꾸준히 과즙의 당 함량이 증가하고 산 함량이 감소하므로 최근에는 품질향상을 목적으로 가급적 수확기를 늦추려는 노력이 이루어지고 있다. 그러나 수확기를 늦추면 껍질과 과육이 분리되는 부피현상이 발생하여 저장과 유통 과정에서 물리적 손상을 받기 쉬울 뿐만 아니라 품질 저하가 수반된다.

온주밀감 과즙의 당 함량 증가와 관련하여 결실 조절, 시비 관리, 하우스 재배 등 여러 가지 재배법 개선에 관한 검토가 이루어져 왔는데, 건조 스트레스가 과즙의 당 함량을 증가시킨다는 것이 알려지면서(Hyun 등, 1994; Kadoya, 1973; Maotani와 Machida, 1977) 시설 재배에서 뿐만 아니라 노지재배에서도 건조 스트레스를 주기 위하여 높은이랑재배(Kim 등, 2000), 근권제한재배(Kim과 Rho, 2002), 명거배수와 멀칭재배(Kim 등, 2004) 등 다양한 기술이 개발되고 있다. 감귤 과즙의 당 집적에는 sucrose synthase(SS) 효소 활성이 밀접히 관련되어 있다고 알려져 있으며(Song 등, 1998; Chae 등, 2003), 건조 스트레스에 반응하여 온주밀감 과실에는 적극적 삼투조절 기작이 작동되어 주로 포도당과 과당 등 육탄당이 증가된다(Yakushiji 등, 1996, 1998). 시설 재배에서는 세포비대기에 해당하는 만개 후 60일부터 단수처리를 하고 있지만(Hyun 등, 1994; Kim, 2002) 노지에서는 성숙기에 건조 스트레스를 주고 있다. 따라서 건조 스트레스 부여시기를 달리했을 때 과즙내의 당 집적 양상에 차이가 있는지를 구명하고 관련 효소 활성을 검토할 필요가 있다.

부피현상은 알베도층이 붕괴되어 과피와 과육이 분리되는 것인데 강우 후

나 다습조건에서는 과피의 수분 흡수에 의한 팽윤에 의하기도 하지만 (Kuraoka, 1962), 일반적으로는 과육생장이 멈추었는데도 과피의 생장이 계속 되어(Kawase와 Hirai, 1983) 알베도부분에 장력이 가해지기 때문이다. 알베도가 붕괴되는 직접적인 원인이 과육과 과피 사이에 생기는 장력 때문이라 할지라도 그 전제로서 알베도층의 연화가 있어야 한다. 따라서 부피현상을 억제하기 위한 방법으로 과피의 이상 성장 또는 팽윤을 억제하려는 노력과 더불어 성장조절제 등에 의한 과피의 노화지연을 검토하여 왔다. 옥신 계통인 ethychlozate도 부피억제 효과가 있는 것으로 보고되어 있지만(Kawase 등, 1985), GA₃의 효과가 더 강력하여 이에 대한 연구가 많이 이루어졌다 (Baez-Sañudo 등, 1992; Fidelibus 등, 2002; Kuraoka 등, 1977).

한편, 자스몬산 유도체인 n-propyl-dihydrojasmonate(PDJ)는 최근 다양한 식물생리반응이 보고되었으며(Fujisawa 등, 1997) 지베렐린과는 상조작용을 하는 것으로 알려졌는데(Koshioka 등, 2005), GA₃와 PDJ의 혼합물인 GP는 일본에서 부피방지제로 개발 중이며 우리나라에서도(Kim, 2002) 시험된 바 있다. 따라서 GP 처리시 부피발생 억제 여부와 과피내의 효소 및 펙틴질의 변화를 구명하면 부피발생 기작을 이해하고 부피억제를 위한 기술개발에 도움이 될 것이다.

이 연구는 조생 온주밀감 과실생육 단계 중 세포질 증가기와 성숙기로 나누어 건조 스트레스를 주었을 때 과즙 내의 유리당 농도와 더불어 당 축적 관련 효소인 SS와 sucrose phosphate synthase(SPS) 활성의 변화를 분석하여 건조 스트레스와 과즙내 당 축적과의 관계를 검토하였다. 또한 부피억제에 효과적인 GP 엽면살포시기를 구명하고 GA₃ 단독 또는 GP 살포에 따른 부피 정도, 과피내 유리당 농도, 무기원소 농도, 유리당 농도, 펙틴 함량, 펙틴 분해 관련 효소인 polygalacturonase(PG)와 pectin methylesterase(PME)의 활성변화를 분석하여 이들 약제의 부피억제 기작을 검토하였다.

II. 연구사

1. 토양 수분과 과즙 내 유리당 축적

감귤 과즙의 당조성은 자당, 포도당, 과당으로 이루어지는데, 그 비율은 대체로 2:1:1이다. 성숙 이전까지는 거의 같은 비율로 축적되다가, 성숙기가 시작되면서 자당의 축적이 급격히 증가하게 된다(Daito와 Sato, 1985; Mataa 등, 1996; Mukai 등, 2000; Takebayashi 등, 1993; Ting과 Attaway, 1971; Song과 Ko, 1997; Song 등, 1998). 한편 온주밀감에서 토양 내 수분함량이 낮을수록 감귤 과즙의 당 함량이 증가하는데, 이는 사양 내 비환원당보다 환원당의 급격한 증가와 밀접한 관련이 있다(Hockema와 Etxeberria, 2001; Kim, 2002; Moon, 2001; Mukai 등, 1996; Yakushiji 등, 1996). 감귤류의 과실에서 당조성의 변화를 유도하는 발육단계별 건조 스트레스 부여시기(Hyun 등, 1992; Kim, 2002; Moon, 1992), 정도(Hyun 등, 1993; Maotani 등, 1977; Savé 등, 1995), 방법(Hyun 등, 1992, 1993; Kim 등, 2000), 효과(Mukai 등; Syvertsen, 1985; Syvertsen 과 Albrigo 1980; Yamada 등, 1987) 및 대사 작용(Hockema와 Echeverria, 2001; Kaufmann, 1970; Yakushiji 등, 1996) 등에 관한 많은 연구가 다각적으로 진행되어 왔다.

온주밀감의 무가온 월동수확시설 재배에서 7월 말부터 단수 처리를 하거나 (Kim, 2002) 노지 재배에서 8월 말부터 멀칭재배(Yakushiji 등, 1996) 및 높은 이랑 재배(Kim 등, 2004)를 하여 건조 스트레스를 유도하면 과즙의 당도를 높이는 관계가 있다. Moon(1992)은 멀칭 재배에서 증당에 가장 큰 영향을 미치는 것은 멀칭의 개시 시기와 멀칭시 토양수분 조건이라고 하였다. Hyun 등 (1992, 1993)은 온주밀감의 당도는 가을철 토양수분 장력을 -1.0MPa 이상으로 유지하였을 때 높아지며 토양 비닐 멀칭을 하면 비멀칭구에 비하여 $3.3\sim 3.7^\circ\text{Brix}$ 높았으며 8월 18일부터 11월 18일까지 토양 비닐피복처리한 구에서 $1.9\sim 2.3^\circ\text{Brix}$ 높았다고 하였다.

수체가 건조 스트레스를 받고 있는지 여부는 잎수분포텐셜 측정만으로도 알 수 있는데, 온주밀감의 잎수분포텐셜은 일출 전에 최대를 보이고 일출후 급격히 하강하기 때문에 해뜨기 전에 안정된 시점에서 측정하는 것이 일반적이다(Moon, 1982). 뉴홀 오렌지와 엘렌다일 탕고르에서 Savé 등(1995)은 건조 스트레스를 주는 동안 가압상을 이용하여 잎수분포텐셜을 조사한 결과 각각 -2.0MPa과 -1.75MPa 였다고 보고하였다. 온주밀감에서는 Maotani 등(1977)이 새벽 잎수분포텐셜 Ψ_{max} 이 약 -1.22MPa 이하로 저하되면 강한 건조 스트레스를 받기 시작한다고 하였다. 한편 온주밀감의 과실 품질을 너무 저하시키지 않도록 관수해야 하는 한계 Ψ_{max} 는 -0.7MPa 이상이라고 알려져 있다(Maotani 와 Machida, 1980). Mukai 등(1996)은 홍진조생을 대상으로 9월 2일부터 수확 시까지 평균 Ψ_{max} 을 각각 -0.53, -0.71, -1.15MPa 로 관리한 결과 과즙의 포도당과 과당 즉 환원당 함량은 토양이 건조할수록 높아졌지만 자당함량은 -0.71MPa 처리에서 가장 높아 결국 총당 함량은 -0.71MPa 처리와 -1.15MPa 처리 사이에 차이가 없었다고 하였다. Yakushiji 등(1998)은 온주밀감에서 관수량을 Ψ_{max} -0.35, -0.60, -1.00MPa 3수준으로 조절한 결과 -0.60 MPa의 중간 건조 상태에서 과실의 총당 함량이 가장 높았다고 하였다. Moon(1992)은 온주밀감 수확기에 당도가 높아지는 토양 수분포텐셜의 범위는 -0.1MPa로서 매우 건조한 상태이며, 관수처리를 하여 -0.02MPa 이상으로 토양수분을 충분히 유지하면 당도는 낮아진다고 하였다. Peng(1996)도 미호 온주밀감에 -60kPa 정도로 제한 관수를 실시하였을 때 과실의 가용성 고형물 함량이 유의하게 증가하였다고 보고하였다. 대부분의 식물들은 수분스트레스 하에서 당을 집적하여 삼투조절 반응을 하는데(Ackerson, 1981; Bressan 등, 1982), 온주밀감의 과즙 내 당 집적은 단지 농축현상이 아니라 적극적 삼투조절에 의한 것으로 사양 내 환원당의 축적은 삼투조절반응에 따른 대사 작용의 변화가 한 원인이다(Yakushiji 등, 1996).

온주밀감의 성숙 중 광합성 결과로 잎에서부터 전류해 온 당인 자당은 과실의 유관속에서 분해되어 체관부에서 나와 사양으로 들어간다(Koch, 1984;

Koch 등, 1986; Koch와 Avigne, 1990; Lowell 등, 1989; Nii와 Coombe, 1988; Nii와 Coombe, 1990; Tomlinson 등, 1991). Moon(2001)은 ^{13}C 를 사용하여 과실 생육 시기별 광합성산물의 전류를 검토한 결과, 과실의 과정부 부위에 ^{13}C 원자율이 가장 높고 가용성 고형물 함량도 가장 높다고 하였다. 한편 감귤류에 있어서 건조 스트레스는 광합성 억제인자이다(Blanke, 2000; Bower, 2000). Chartzoulakis와 Michelakis(1992)도 보난자 오렌지에 토양 수분포텐셜이 -1.5MPa 정도가 되도록 점적 관수하면 광합성율과 기공전도도가 60-65% 저하되었다고 보고하였다. Mataa 등(1998)은 어린 뽕깡 나무에 pF2.95 이상의 토양 수분스트레스를 부여하면 광합성률이 감소된다고 하였다. Nakajima 등(1993)이 어린 문단 나무의 잎수분포텐셜이 $-2.4\sim-2.8\text{MPa}$ 정도로 수분 스트레스를 준 결과 12월 말 광합성 동화 산물인 전분 함량은 감소되었다고 하였다. 더 나아가 Vu와 Yelenosky(1988)는 바렌시아 오렌지가 수분스트레스를 받으면 광합성이 저하되고 가용성 단백질 농도, 그리고 RUBPCase 활성이 감소된다고 설명하였다. 이렇게 건조 스트레스 상태에서 총광합성량의 감소함에도 불구하고 당 함량이 증가된다(Ackerson, 1981; Nakajima 등, 1993).

감귤류의 과실에서는 오렌지(Song과 Ko, 1997), 그레이프후르트(Lowell 등, 1989), 액시드라임(Echeverria, 1992; Echeverria, 1990; Echeverria와 Valich, 1989), 온주밀감(Chae등, 2003; Kubo 등, 2001) 등과 잎에서는 오렌지(Schabber 등, 1987; Song과 Ko, 1997)에서 발육단계별 당대사 관련 효소활성의 변화에 대한 연구가 이루어져 왔다. Tomlinson 등(1991)은 그레이후르트의 사양 및 인접한 관다발의 SS 활성이 유의하게 높아 이 효소는 과실 내 수용부위 조직으로 지속적인 자당 수송 및 분배 등에 관여한다고 설명하였고 Richardon 등(1997)도 비닐하우스에 재배된 온주밀감에서 발육 I 단계 때 사양 조직내 높은 당집적과 더불어 SS 활성도 높았다고 하였다. Tzur 등(1992) 또한 무코트, 스위트라임 및 미네올라레몬에서 과실발육동안 SPS와 SS의 활성이 꾸준히 증가하였고 SS활성이 SPS활성보다 4-5배 정도 높다고 보고하였으며 또한 자당 대사의 조절은 fructose-2,6-bisphosphate에 의해서도 조절될 수 있다고 추찰하였다.

Komatsu 등(1996, 1999)도 온주밀감의 식용 부위의 자당 축적과 SPS 활성과 밀접한 관계가 있고 온주밀감의 자당 대사를 조절하는 key enzyme은 SPS 효소이면 CitSPS I clone은 과실의 다양한 기관과 생육단계에 따라 발현양상에 차이를 보인다고 하였다. 최근 Hockema와 Echeverria (2001)는 수분스트레스 부여에 의한 오렌지 과실의 당 증가와 당 조성의 변화는 SS 활성변화에 기인한다고 보고하였다.

2. 감귤 과실의 발육 및 부피현상

감귤류의 과실은 여러 개의 심피로 구성되어 있는 단일 씨방이 발달하여 액상의 가식부를 형성하는 감과에 속하는 과실로서(Bain 등, 1958) 외과피인 플라베도층, 중과피인 알베도층, 양낭, 종자, 중심축, 관다발 및 꽃받침으로 구성된다. 착색부위인 플라베도층은 외과피, 하피, 외중과피, 그리고 유포로 구성되고, 보호막인 큐티클층과 왁스판은 표피세포의 외부에 존재하며, 외부표면은 무디고 쉽게 씻기거나 마멸되고 벗겨져서 떨어지기 쉽다(Spiegel-Roy와 Goldschmidt, 1966). 비착색 또는 엷은색인 알베도층은 공극에 산개된 망상조직세포인 내부 중과피로 충격에 의한 압력을 흡수하는 완충역할을 한다(James와 Grierson, 1978).

Bain(1958)은 바렌시아 오렌지 발육을 세단계로 설명하였는데, 발육 I 단계에서 과실생장은 세포 분열과 세포 비대의 결과로 이루어지며 세포 분열은 과피의 외부층과 양낭에서만 일어난다. 이 시기 대부분의 양적 생장은 과피 부위 성장 결과이며 발육 I 단계 말에서 과실 용적의 95%정도가 과피 조직이다. 이후 발육 II 단계에서 과실생장이 급격히 이루어져서 플라베도의 외부층인 외과피와 사낭 끝을 제외한 나머지 부분의 세포 비대와 분열이 왕성해진다. 발육 II 단계 초기에는 알베도 세포가 비대해진 결과로 과피가 두꺼워지지만 과육이 지속적으로 성장하여 점차 얇아진다. 이 시기 알베도 세포는 거미줄 형태이고 서로 세포끝 부분만이 결합되어 스폰지 조직을 형성하며 세포가

더 성장하면 과피 두께는 더 얇아진다. 발육 III 단계는 과실 성숙단계이다. 아열대 기후 조건에서는 플라베도층에 엽록소가 사라지고 카로티노이드 색소가 발현된다. 종에 따라 회청현상이 나타나기도 하며 많은 종의 과실의 알베도층 내부 깊숙한 곳에서 균열이 생기기 시작하고 과피는 쉽게 과육과 분리돼서 과실이 나무에 달려 있는 동안 천천히 부피현상이 진행된다. 종에 따라 발육 III 단계 초기 또는 후기에 급속한 부피현상이 일어난다.

온주밀감은 성숙되는 동안 쉽게 과피 손상을 입는데, 이런 장애는 부피현상, 즉 과피를 구성하는 알베도 조직의 붕괴와 밀접한 관련이 있다(Kuraoka 등, 1966). 감귤이 발육할수록 외과피는 알베도 조직으로 함몰되는데(Kim, 2003), 과실이 성숙되는 동안 과피는 계속적으로 발달하여 알베도 조직 내부에서 미세한 균열이 발생하고 그 크기와 수가 증가된 결과로 양낭막과 과피가 분리되어 과실의 경도가 급속히 감소한다(Pozo 등, 2000). 온주밀감의 알베도층은 11월 상순이 되면 세포간극이 커지고 안쪽으로부터 점차 붕괴가 시작되는데 이 시기에 플라베도는 생장이 멈추지만 비나 이슬에 노출되면 수분을 흡수하여 현저히 팽창하며 이에 따라서 알베도는 완전히 붕괴하여 공극이 커져 부피가 되거나 알 수 없는 원인에 의해 알베도 조직이 분해된다(Kawase, 1984; Kuraoka, 1962). 반면에 Torigata 등(1955)은 이러한 현상은 과피 생육에 의해 과피가 두꺼워지기 때문이지 수분 흡수가 원인이 아니라고 하였다. 몇몇 감귤 종에서는 과실성숙과 노화시기에 알베도 조직이 재 발육하여 과피가 두꺼워 지기도 한다(Spiegel-Roy and Goldschmidt, 1996).

온주밀감의 부피현상은 수많은 환경요인 즉, 성숙기 동안의 고온 다습, 가을 동안 질소과다, 수세가 강한 유목 또는 과피가 얇은 과실, 및 성장조절제 살포 등에 원인으로 알베도층의 발육에 의한 균열, 플라베도와 알베도 세포막의 침투성이 증가, 세포 간 결합력의 약화, 그리고 펙틴 구성성분의 변화가 일어난다(Kawase와 Hirai, 1983; Kawase 등, 1984; Pozo 등, 2000). Vercher 등(1994)은 포춘 만다린 과실은 낮은 온도에 의해 과피의 외부세포층이 붕괴된다고 보고하였다. 이러한 부피현상은 오렌지 과실에 있어서 드문 생리장애이

지만 다양한 만다린류 과실에서는 흔한 현상이다. 종종 이 현상은 수상에서도 일어나고 관리하기가 매우 힘들다(Wilfred 등, 1986).

오렌지의 경우, 과피의 생리적 장애인 Creasing은 알베도 세포의 붕괴에 의해 플라베도 조직이 내려앉는 현상인데(Storey와 Treeby, 1994), 대목, 수분 관계, 수령, 수체의 무기물 수준 세포벽 물질인 펙틴의 변성 등이 밀접한 관계가 있다고 설명하였다(Ali 등, 2000; Treeby 등, 2000). Zacarías 등(2000)은 ‘나벨레이트’ 오렌지를 상대습도가 높은 곳에 저장하면 과실의 플라베도와 알베도의 수분포텐셜에 차이가 발생하여 과피 붕괴 현상이 발생된다고 하였다. 이와 같은 과피 장애는 수확 시 심각한 물리적 손상뿐만 아니라 수확 후 저장 시 과실모양의 변형, 부패 등 각종 생리장애를 초래한다. 감귤류의 생리적 과피 장애인 creasing과 부피현상의 공통점은 알베도 조직의 붕괴 및 분해에 있으나 생화학적 기작은 아직 구명되지 못하고 있는 실정이다.

3. 생장조절물질과 부피현상

1940년대 이후부터 식물생장조절물질은 감귤재배에 이용되어 과실의 결실 및 품질 관리에 널리 연구되어왔다. 생과와 품질을 향상시키기 위하여 Guardiola 와 Lázaro(1987)는 온주밀감에서 합성 옥신인 2,4-D와 2,4,5-T를 살포하면 과실생육 촉진, 낙과 억제, 부피발생억제 효과가 있다고 하였다. GA와 2,4-D 혼용살포는 네블 오렌지의 낙과 방지, 과피 경도 증가, 착색 지연 효과가 인정되었다(Bevington, 1973). Greenberg 등(1992)은 ‘미네올라’ 탄젤로 과실은 수확시 과피의 생리 장애 일종인 creasing 현상과 경도 감소 장애가 일어났으나 GA₃ 살포로 현저히 억제되었다고 하였다. 클레멘타인 만다린 과실에 GA₃ 단독 및 GA₃와 BA를 혼용 살포하면 착색지연, 과피 두께 증가, 과피의 균열과 붕괴 경감으로 과실의 노화가 지연된다고 설명하였다(Baez-Sañudo 등, 1992). 생장조절제는 적정 살포시기가 중요한데, Davies 등(1999)에 의하면 함린 오렌지에서 GA 살포 효과 시기는 착색직전이 알맞고

살포 후 과피 형질이 강화되었다고 하였다. Monselise 등(1976)은 지베렐린을 만개후 70~100일 엽면살포하면 creasing 현상을 억제할 수 있었다고 보고하였다. 과실 발육 8주후 과실 크기가 급속히 증가하면 알베도 조직에 균열이 일어나며 GA 엽면살포는 발육 지연뿐만 아니라 creasing장애를 경감시켰다고 하였다(Tugwell 등, 1996). GA 처리후 수용성 펙틴과 칼슘 펙테이드 함량이 높아 세포벽 안정화와 관계있다고 설명하였다(Fry, 1986; Kawase, 1984). Gambetta 등(2000)도 네블 오렌지에 GA에 2% $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 와 2% KNO_3 를 혼용 살포하면 creasing현상을 현저히 감소시킨다고 하였다. 한편 Van Rensburg 등(1996)은 GA를 생리적 낙과기가 끝나는 시점에 살포하면 클레멘타인 만다린 과실의 크기가 유의하게 증가되었다고 하였다.

온주밀감의 착색기때 GA_3 처리는 부피발생을 경감시키지만, 엽록소 분해와 카로티노이드계 색소 형성 및 과피 노화를 지연한다(Garcia-Luis 등, 1985; Kuraoka 등, 1979). 수확 전 지베렐린의 엽면살포는 부피현상이 유의하게 감소하나 과피색이 나빠진다(Kuraoka 등, 1977). 지베렐린의 부피방지 경감효과는 이미 잘 알려져 있으나 녹반이 남아 생식용으로는 부적하였다(Kim, 2002).

감귤 과피의 노화는 에틸렌에 의해 촉진(Oh 등, 1979; Purvis와 Barmore, 1981)되는 반면에 GA에 의해 억제된다. 수확 한달전 GA_3 를 처리하면 플라베도 부위내 GA 유사물질이 증가하는 반면에 ABA 증가는 감소하고, 에틸렌을 발생시키는 에세폰을 처리하면 플라베도내 ABA 함량 증가하는 반면에 GA 유사물질은 감소한다(Goldschmidt, 2000; Kuraoka 등, 1979). Maotani 등(1983)의 보고에 의하면 부피현상이 발생하면 알베도 조직내 균열이 생겨 에틸렌이 생성되고 호흡이 상승하여 과즙내 산 함량은 저하하고, 당 함량은 오르지 않아 담백해진다고 하였으며 에세폰 처리는 부피 현상을 촉진하는 반면 aminoethoxyvinylglycine 처리로 에틸렌 발생을 억제하면 온주밀감 부피발생을 경감시킨다고 하였다.

부피의 발생을 경감하는 약제로는 GA_3 외에도 옥신계통인 ethychlozate (Kawase 등, 1985) 등이 실용화 되었다. Ethychlozate의 경우 착색시와 그 후

2주가 지난 뒤 각각 100ppm을 살포하면 부피 경감효과가 있었으며 착색이 억제되어 부피가 경감되는 것은 옥신 활성화에 의한 표피의 노화억제와 더불어 수용성 펙틴 함량은 감소한 반면 sodium hexametaphosphate 가용성 펙틴 및 HCl 가용성 펙틴 함량이 증가되었기 때문이라고 설명하였다(Kawase 등, 1985). 또한 Greenberg 등(2000)도 뉴홀과 카터 네블 오렌지에 옥신류인 NAA 살포는 효과적으로 creasing 발생을 억제했다고 하였으며, 그 외에도 Park과 Lee(1987)는 탄닌산 및 칼슘 처리는 토마토 과실의 연화에 관여하는 polygalacturonase 효소 작용을 효과적으로 억제한다고 보고하였다. 한편, 자스몬산 유도체인 n-propyl-dihydrojasmonate(PDJ)는 비교적 최근에 다양한 식물생리반응이 보고되었으며(Fujisawa 등, 1997; Ogawa 등, 2006) 지베렐린과는 상조작용을 하는 것으로 알려졌는데(Koshioka 등, 2005), GA₃와 PDJ의 혼합물인 GP는 일본에서 부피방지제로 개발 중이다. 우리나라에서는 GP의 부피억제 효과가 미미한 것으로 보고되었는데(Kim, 2002) 살포시기에 대한 검토가 필요하다.

4. 과피내 성분과 부피 현상

부피된 온주밀감 과피에서 펙틴질 및 칼슘 함량은 감소하였으나 당 함량이 증가하였다고 보고 하였다(Kuraoka 등, 1975, 1976). Creasing된 오렌지의 과피에서도 펙틴 분해와 칼슘 및 칼륨 결핍과는 밀접한 관계가 있다(Bower, 2000). Iwahori 등(1994)도 대부분의 칼슘은 중층에 펙틴 성분 및 단백질 성분과도 결합되어 세포벽을 강하게 만들며, 조직이 노화되면 중층은 분해되고 펙틴 성분은 유리된다고 보고하였다. 칼슘 공급에 의해 과피 내 칼슘함량이 많아지면 성숙과 더불어 수용성 펙틴으로 분해되는 속도가 지연되고 이로 인하여 세포결합력을 약화시키는 효소의 활성이 억제되어 과피의 연화 속도가 느려져서 부피발생이 감소된다고 설명하였다(Kim과 Kim, 1999; Kawase와 Hirai, 1983). 한편 CaCO₃의 살포는 광범위하게 온주밀감 부피를 억제하였으나

강우에 의해 효과는 없어졌다고 하였다(Kawase 등 1981). Kim(2002)도 칼사이트를 온주밀감 성숙기에 살포하여 부피억제효과가 우수한 반면에 수확시果皮에 약반이 남는다고 하였으며 셀바인을 성숙단계별로 살포하여 부피억제 효과를 확인하였는데, 살포시기가 중요하다고 하였다. Droby 등(1997)은 CaCl_2 염면살포는 그레이프루트果皮의 녹반증상을 현저히 경감시켰다고 하였다.

과실의 세포벽은 단백질과 펙틴질, 셀룰로즈, 헤미셀룰로즈로 분류된다. 펙틴질은 homogalacturonan과 rhamnogalacturonan이 상호 결합하여 구성되어있다. Rhamnogalacturonan은 달걀 상자 모양을 하고 있으며 polygalacturonan backbone은 C-6 carboxyl기에 methylester화되거나, 인접한 carboxyl기 사이 혹은 인접한 galacturonan 사슬 사이에 칼슘과 강한 이온결합을 하고 있다(Brummell 과 Harpster, 2001; Shin과 Kim, 1996), 과실의 성숙과 저장동안에 일어나는 부피현상은 이들 중 펙틴질의 질적 및 양적 변화의 결과인 것으로 이해되고 있다(Nagy 등, 1977). Bower 등(1992)에 의하면 바렌시아 오렌지果皮의 펙틴 조성 변화는 세포벽의 탄력, 내부 결합력 등에 영향을 끼친다고 하였다. Zhan 등(1998)은 감귤펙틴에는 galacturonic acid와 rhamnose의 비율이 40:1이라 하였다. Moon 등(1982)은 온주밀감의果皮와 알베도 내의 펙틴함량은 건물 중량으로 각각 11.52%, 9.3%이었다고 보고하였다. 조생 온주밀감은 9월 초부터果皮 내 총 펙틴질에 대한 수용성 및 hexametaphosphate 가용성 펙틴질이 증가하며, 12월 하순이후 성숙됨에 따라 연화되는데 hexametaphosphate 가용성 펙틴질이 감소된다(Daito와 Sato, 1984).

Makebe 등(1997)은 키위 과실이 연화되는 동안 galacturonic acid 함량이 증가되며 특히 homogalacturonan의 분해와 관계가 있다고 하였다. Sean Carrington 등(1993)은 토마토에서 증류수 가용성 분획 polyuronide와 중성다당류가 성숙될수록 증가되고 연화된 과실의 세포벽의 CDTA 가용과 Na_2CO_3 가용성 분획에서 galactose의 함량이 감소되었다고 보고하였다. Park과 Lee(1987)도 토마토 수확후 수용성 펙틴 함량은 크게 상승하였으며 사과(Byun 등, 1992)의 연화동안에는 수용성 펙틴의 함량이 감소한 반면에 EDTA

가용성 펙틴 함량은 증가하였다고 보고하였다. Moon과 Choi(1999)는 굴 껍질로부터 추출한 칼슘화합물 용액을 후지 사과 품종에 수관살포하였는데 과실의 불용성과 수용성펙틴 함량을 증가시켰으나 킬레이트 가용성 펙틴 및 알콜 불용성 물질함량에는 영향을 미치지 않았다고 하였다. 또한 이 화합물을 처리한 과실은 과실경도가 높게 유지되었다고 보고하였다.

5. 세포벽 분해효소

많은 과일조직에서 다양한 종류의 세포벽 분해효소가 발견되었는데, 세포벽 분해효소들 중에서 가장 많이 연구된 효소는 polygalacturonase(PG, E.C. 3.2.1.15) (Dumville와 Fry, 2000; Nakamura 등, 2001; Sean Carrington 등, 1993), pectin methylesterase(PME, E.C. 3.2.1.11)(Brummell과 Harpster, 2001) 등이며, 이들이 실제로 세포벽 대사에 중요하며 PG의 합성과 활성은 세포벽 붕괴에 결정적인 역할을 할 뿐만 아니라 세포벽 물질을 용출시켜 숙성과 관련된 새로운 대사를 유기하는 것으로 보고되었으며 연화는 세포벽 분해효소를 포함하는 수확 후 장애이다(Eckert와 Eaks, 1989). 과실의 성숙과 저장 중 생체 내에 존재하는 세포벽 분해효소인 PG, glycosidase, PME, cellulase 등의 효소 활성이 증가하고 특히 PG와 β -galactosidase의 활성이 토마토와 같은 호흡상승형 과실에서 성숙 말기 이후 급격히 증가하여 연화에 많은 영향을 준다. 과실의 연화 중 세포벽 구성 성분의 변화는 PG에 의해 펙틴질이 분해되어 저분자의 polyuronide로 유리됨으로써 가용성 펙틴질이 증가하고 저분자화되며, hemicellulose는 세포벽 분해효소에 의해 분해되기도 하나 펙틴의 분해로 결합정도가 약지고 셀룰로스는 거의 변화가 없는 것으로 알려지고 있다 (Shin과 Kim, 1996). 펙틴질의 주 사슬인 rhamnogalacturonan 또는 homogalacturonan을 절단하는 PG는 토마토를 중심으로 널리 연구되었으며, 펙틴질의 변화에 가장 큰 영향을 미치는 효소라고 보고하였다(Sean Carrington 등, 1993). 또한 PME 효소는 펙틴 사슬의 칼슘 결합부위 methyl

group을 deesterify 하거나 영향을 미치고 펙틴 고분자 결합체를 분해한다 (Pressey와 Avants, 1982). 한편 토마토 과실의 PME 활성의 증가는 PG 효소의 펙틴질 분해를 촉진한다(Anthon 등, 2002).

펙틴은 감귤 과실의 세포벽과 중층에 존재하며 성숙되는 동안 분해된다 (Nagy 등, 1977). 한편 과실의 연화는 세포벽의 변화, 특히 펙틴질의 효소적 분해가 주된 원인인 것으로 알려져 있다(Sean Carrington 등, 1993). Nielsen과 Christensen (2002)은 오렌지, 라임, 레몬, 그레이프, 클레멘타인 과실의 PME는 성숙과정에 관여하나 AE(acetylerase)는 별 상관이 없었다고 하였다. PME 효소는 감귤의 세포벽 구조 변성을 일으키고(Arias 등, 2000) 감귤 펙틴은 endo-PG에 의해 분해가 일어난다(Zhan 등, 1998). 또한 Kang 등(2000)도 감귤이 성숙과 저장 중에 일어나는 연화에 의해 과실 경도는 감소하였고 exo-PG 활성화와 pectinesterase활성은 증가하였다고 보고하였다. Pretel 등 (2005)의 보고에 의하면 감귤의 알베도 조직을 분해하기 위해서는 PG 효소의 활성이 가장 중요하다고 하였다. Guivarc'h 등(2005)은 white 레이후룻트 과실에서 추출한 PME 분자량은 23.7kDa 수준이라고 보고하였다.

세포벽 발육 시기 때 세포벽과 중층이 불안정하거나 생리적 장애시기에 세포벽 분해 효소인 PME와 PG 활성이 증가된 결과로 급속히 분해되고(Kang 등, 2000; Prssey와 Avants, 1982), 세포벽과 중층이 불안정한 상태가 되는 원인은 성숙기 스트레스 때문이다(Bower 등, 1992). Park과 Lee(1987)는 토마토 과실에서 PG 역가는 수확후 급격한 증가를 나타내지만 cellulase 역가는 낮은 수준을 계속 유지하여 토마토 과실의 연화는 cellulase 보다 주로 PG의 작용이라는 것을 알 수 있었다. Dumville과 Fry(2000)는 토마토 숙성시 endo-PG에 의해 펙틴질 분해 결과 galacturonic acid가 용출되었다고 하였다. Poovaiah와 Nukaya(1979)에 의하면 PG 효소는 토마토 과실의 성숙에 관여하는 주요인자이나 cellulase 효소는 관계없다고 하였다. PG 활성이 없는 경우 호흡 급등 (climacteric)작용, 에틸렌 발생, 리코펜 생합성이 일어나지 않으며 반면 PG 활성이 증가하면 호흡 급등작용이 시작된다. 또한 에틸렌은 PG 활성화에 영향을

끼치지 않는다. Byun 등(2003)도 과실의 성숙 및 연화에는 세포벽 분해 효소인 PG가 중요한 역할을 하는 것으로 추정하였다. Brummell 등(2004)에 의하면 복숭아의 연화가 상당히 진행된 후 polyuronide의 가용이 일어났고 숙성과 관련된 *exo*-PG, *endo*-PG PME, *endo*-1,4- β -glucanase, *endo*-1,4- β -mannanase, α -arabinosidase, 그리고 β -galactosidase 활성 시기와 증가 정도는 달랐다. 또한 배와 사과(Ben-Arie와 Naomi 등, 1979)의 성숙 과정 중 펙틴 물질의 변화는 PG 및 cellulase 활성화에 의한 불용성 펙틴의 분해에 의한다고 알려져 있다. Ahmed 등(1980)은 배의 성숙시 PG, α -galactosidase와 α -mannosidase의 활성 증가를 보고하였다. Byun 등(1992)에 의하면 옥신계 낙과 방지제인 dichlorprop를 처리하면 내생 에틸렌의 생성을 유도하여 PG 활성이 증가로 사과 '쓰가루'의 연화를 촉진하였다고 하였다. 한편 열대과실인 바나나, 캐람볼라, 구아바, 망고, 파파야 등의 성숙과정 중 펙틴의 변성 및 연화에 관여하는 *endo*-PG, PME, β -galactosidase, (1 \rightarrow 4)- β -glucanase의 활성을 조사한 결과, 각각의 효소 활성들은 펙틴질과 헤미셀룰로스의 분해에 의한 과실의 연화에 관여하고 있다고 하였고(Ali 등 2004) Koslanund 등(2005)은 포포 과실의 세포벽 분해와 과실연화에는 PME 효소가 관여한다고 보고하였다.

Ⅲ. 재료 및 방법

1. 토양 건조처리 시기가 과즙의 당 집적에 미치는 영향

시험수와 처리 내용

이 시험은 직경 50cm 깊이 55cm의 화분에 심은 탕자 대목 홍진조생 온주밀감(*Citrus unshiu* cv. Okitsu Wase) 7년생을 시험수로 하여 제주대학교 내에 위치한 유리 온실 내에서 2004년 7월부터 11월까지 수행하였다.

과실비대가 왕성한 7월 21일(과실횡경 30mm)부터 수확기인 11월 20일까지 전 기간 적습(WW), 전 기간 건조(DD), 세포질 증가기(7월 21일부터 9월 10일까지 50일) 건조(DW), 성숙기(10월 1일부터 11월 20일 까지 50일), 건조(WD) 등 4처리를 두었다. 나무 한 그루가 심어 있는 화분을 시험구로 하여 4처리 4반복 완전임의배치법으로 수행하였는데, 적습구는 2일에 한번 오후 6시경에 시험구 당 2L를 관수하였고, 건조구는 1L를 관수하였다. 관수량 조절이 식물체에 건조 스트레스를 주고 있는지를 확인하기 위하여 8월 하순 새벽 해뜨기 전(05:00)에 나무 당 잎 2매씩을 공시하여 잎수분포텐셜(Ψ_{max})을 가압상법(Moon, 1982)으로 8월에 조사하였다.

과실 생육과 품질 조사

나무당 10과를 표지하여 8월 10일부터 10일 간격으로 캘리퍼를 이용하여 횡경변화를 조사하였다. 9월 20일과 10월 1일에는 나무당 5과 그리고 11월 20일에는 나무당 10과를 채취하여 과중, 비중, 과피두께, 과육율, 과즙당도, 유리당 함량, 당 관련 효소 활성 등을 조사하였다.

채취한 과실은 실험실로 운반 즉시 비중 계산을 위한 수중 무게를 달고 나서 종이수건으로 바로 물기를 닦아내어 다시 무게를 달고 과피를 제거한 다음 일부는 착즙하여 당도측정과 유리당 분석에 사용하고 일부는 두 겹의 가아제로 싸서 사양조직만을 떼어내어 액체질소에서 즉시 냉동시켜 초저온 냉동고

(-70℃)에 보관하였다가 효소활성 분석에 이용하였다. 과피는 적도부분에서 4 겹을 모아 캘리퍼로 두께를 측정하였고 착즙하기 전에 과육의 무게를 달아 과육율을 산출하였다. 과즙당도는 휴대용 당도계(PR-101, ATAGO, 일본)를 이용하여 측정하였다.

과즙 내 유리당 함량 분석

착즙액 5ml를 취하여 1,000×g로 10분간 원심 분리하였다. 상정액을 취하여 0.45µm micro membrane filter (Osmonics Inc., 미국)로 여과한 후 100배로 희석하여 HPLC로 유리당을 분석하였다. HPLC는 Waters 2690 XE (Waters Co., 미국), 검출기는 Alltech ELSD 2000 (Alltec Co., 미국)을 이용하였으며, 이동상은 acetonitril과 3차 증류수를 75 : 25의 비율로 혼합하여 유기용매용 0.25 µm 여과지로 여과한 후 이용하였다. 당분석 컬럼으로는 carbohydrate column (3.9×300mm Waters Co., 미국)을 사용하였으며, 분석조건은 유속 1.0mL · min⁻¹, 시료주입 10µL, 분리시간 20분으로 하였다.

효소 추출

Kubo 등(2001)의 방법을 일부 변형하여 수행하였다. 추출 용액의 성분은 0.5M N-[2-hydroxyethyl] piperazine-N'-[2-ethanesulfonic acid] (Hepes buffer, pH 7.5), 1mM ethylene glycol-bis[β-aminoethyl ether]-N,N,N'N'-tetraacetic acid (EGTA), 5mM MgCl₂, 150mM NaCl, 5mM DL-threo-1,4-dimercapto-2,3-butanediol (DTT), 1mM CaCl₂로 하였다. 사양조식 4g을 10mL의 추출용액과 혼합하여 유발 및 유봉으로 완전 마쇄하고 miracloth(Calbiochem Co., 미국)를 이용하여 여과한 후 20,000×g(4℃)에서 10분간 원심 분리하였다. Desalting buffer [10mM Hepes(pH 7.0), 2mM DTT, 1mM MgCl₂]를 이용하여 전 처리된 Sephadex PD-10 column(Pharmacia Biotech co., 스웨덴)에 상정액 2.5mL를 loading한 후 3.5mL을 회수하였고, 이를 조효소액으로 사용하였다.

효소 활성 분석

Song 등(1998)의 방법을 일부 변형하여 sucrose synthase(SS) 및 sucrose phosphate synthase(PS)의 활성을 분석하였다. SS 활성 분석을 위하여 조효소액 160 μ L과 반응액[1M HEPES(pH 7.2) 48 μ L, 0.1M MgCl₂ 20 μ L, 240mM uridine 5'-diphosphoglucose(UDPG) 20 μ L, 240mM fructose 36 μ L, dH₂O 196 μ L] 220 μ L의 혼합액을 30 $^{\circ}$ C 항온수조를 이용하여 30분간 반응시킨 후 10 $^{\circ}$ C에서 2분간 가열하여 반응을 종결시켰다. 곧바로 얼음을 이용하여 식힌 후 혼합액 50 μ L을 취하고 30% KOH 100 μ L를 가하여 잘 혼합한 후 100 $^{\circ}$ C에서 10분간 가열하고 합성된 자당 농도를 anthrone 방법(Van Handel, 1968)으로 분석하였다. 미리 3시간 전에 조제하여 안정화시킨 anthrone solution 3mL를 냉각된 혼합액과 40 $^{\circ}$ C에서 10분간 발색시키고 620nm에서 비색계로 흡광도를 측정하여 표준 용액으로 비교 정량하였다. PS 활성은 SS 활성분석용 기질 중 fructose 대신에 F-6-P와 G-6-P를 첨가하여 동일한 방법으로 측정하였다.

통계분석

The SAS system 8.02를 이용하여 처리 간 차이를 DMRT 방법으로 분석하고 또 상관분석을 하였다.

2. 생장 조절제 살포가 부피발생에 미치는 영향

2.1. GP 혼합액 살포시기가 부피발생에 미치는 영향

제주특별자치도 서귀포시에 위치한 제주대학교 부설연구실습센터 감귤원의 화산회토양에 노지 재배되고 있는 탕자대목에 접목한 25년생 궁천조생 온주밀감(*Citrus unshiu* cv. Miyagawa Wase)을 시험수로 하여 2003년 10월부터 2004년 1월까지 수행하였다. 시험수의 수세는 보통이었으며 만개기는 5월 11일이었고 엽과비 20-25 정도로 착과된 상태였다.

지베렐린(GA₃)과 n-prophyl dihydrojasmonate(PDJ, Nippon Zeon Co.) 각 1% 혼합액(GP)의 1,000배액(성분별 각 10mg · L⁻¹) 엽면살포시기를 착색직전부터 20일 간격 2회(9월 25일과 10월 15일), 착색초기부터 20일 간격 2회(10월 10일과 10월 30일), 착색 중기부터 20일 간격 2회(10월 30일과 11월 20일) 등 3처리로 하고 약제를 살포하지 않은 대조구를 포함하여 4처리 난괴범 3반복으로 포장 배치하였는데 한 그루의 나무를 시험구로 하였다. 약액이 잎을 충분히 적실 정도로 배양식 분무기로 수관 전체에 골고루 살포하였으며 이웃 나무에 약액이 뿌러지지 않도록 폴리에틸렌 필름으로 나무 주위를 차단하였다.

12월 1일 나무에 달린 과실의 반 정도를 수관전체에서 골고루 수확하여 그중 중간 크기의 것으로 한 나무(시험구)에서 20과를 취하여 과실 형질을 조사했다. 다음해 1월 16일에는 나무에 남겨두었던 과실을 대상으로 12월 1일과 같은 방법으로 과실을 취하여 형질을 조사했으며 1월 17일에는 12월 1일 수확하여 상온 저장하였던 과실을 대상으로 나무 당 20과에 대하여 조사했다.

과실 무게, 종경, 횡경, 과피 두께(적도부 4곳 측정 평균), 과육율 등 과실 성장 조사 결과는 12월 1일, 1월 16일과 17일 등 3회 조사 성적을 평균(시험구 당 60과 평균)하여 통계 분석하였다.

비중은 과실의 수중 무게를 측정하여 환산하였다. 예리한 날의 면도를 이용하여 시험구당 10과를 중으로 자른 다음 달관으로 과피와 과육이 전혀 뜨지 않은 경우 0(무), 과정부 부위만 뜯은 경우 1(경), 적도 부근 까지 뜯은 경우 2(중), 과정부 부위까지 뜯은 경우 3(심)으로 구분하여 다음과 같은 공식으로 부피지수를 산출하였다. 부피지수=[(1 × 경의 과실수)+(2 × 중의 과실수)+(3 × 심의 과실수)]/(3 × 총 과실수]

경도는 시험구당 10과에 대해 rheometer (TA-XT2-5, SME, UK)로 적도부 위치에서 과실당 3회 반복 측정하여 평균하였다.

과피색은 착색이 진행되어 탈록이 완전하게 이루어진 과실을 100으로 기준하여 관능 평가하였으며 또 측색색차계(CR200, Minolta Co., 일본)로 적도부 4곳에서 적록도(a값)를 측정한 평균을 적록도(a값)로 하였다.

과피를 벗긴 후 과육을 모아 착즙기를 이용하여 착즙한 과즙의 당도를 당도계(PR-101, ATAGO, 일본)로 측정하여 가용성 고형물 함량으로 하였다. 적정산 함량은 과즙 5mL에 증류수 20mL을 가한 다음 0.1N NaOH로 중화 적정하여 구연산 함량으로 환산하여 표시하였다.

2.2. GA₃와 GP 살포가 부피발생과 과피 성분에 미치는 영향

시험수의 처리와 내용

이 시험은 제주특별자치도 제주시 한경면 저지리 해발 150m에 위치한 무가온 플라스틱 하우스 안의 물 빠짐이 양호한 암갈색 화산회토에서 재배되고 있는 탕자대목의 임온주에 고집한 흥진조생 온주밀감(*Citrus unshiu* cv. Okitsu Wase)을 시험수로 하여 2004년 9월부터 2005년 3월까지 수행하였다.

GA₃ 10mg · L⁻¹ 단독 살포, GP(GA₃와 PDJ 각 10mg · L⁻¹) 살포, 대조 등 3처리를 완전 임의배치법 4반복으로 포장 배치하였다. 나무 한 그루를 시험구로 하였으며 약제는 9월 25일과 10월 15일 2회에 걸쳐 배양식 분무기를 이용하여 수관전체에 골고루 살포하였는데 약액이 다른 나무에 묻히지 않도록 폴리에틸렌 필름으로 수관 주위를 감쌌다.

과실 생육과 품질 조사

첫 번째 약제 살포 직후부터 1개월 간격으로 나무당 10과씩을 채취하여 과실크기, 무게, 비중, 부피지수, 착색도, 과즙의 당도와 적정산 함량 등을 시험 2.1과 같은 방법으로 조사하였다.

과즙내 유리당 함량은 시험1과 같은 방법으로 분석하였으며 과피 내 유리당 함량은 동결 건조한 과피 1g에 에탄올 15mL을 가하여 50mL튜브에 넣고 80°C에서 3시간 동안 중탕 후 과즙 내 유리당 함량과 같은 방법으로 분석하였다.

과피 내 무기원소 함량 분석

동결 건조한 감귤 과피 0.5g에 분해액($\text{HNO}_3:\text{H}_2\text{SO}_4:\text{HClO}_4 = 10:1:4$) 10mL를 넣어 밤새 후드에 방치하여 분해한 다음 hot plate에 시료를 올려 120℃에서 붉은 gas(NO_2)가 모두 날아갈 때까지 30분정도 가열한 후 다시 180℃에서 3시간 동안 투명화 될 때까지 재 분해하였다. 재 분해 후 충분히 식힌 다음 증류수 10mL을 첨가하여 다시 120℃에서 20분간 방치하여 전처리를 마무리하였고 따뜻한 증류수로 잘 세척하여 50mL로 희석하였다. 다량원소인 K, Ca, P를 유도결합 플라즈마 원자방출 분광광도계(Flame-EOP, Spectro Co., 독일)를 이용하여 분석하였다. ICP-AES의 분석조건은 Table 1과 같았으며, 각 원소별 wavelength (nm)는 Ca 317.9, K 766.5, P 178.29였다.

붕소(B)는 동결 건조한 과피 0.2g에 0.5N HCl 20mL을 가하여 2시간 동안 상온에서 진탕한 후 여과하여 ICP-AES로 분석하였다.

전질소는 semi-micro Kjeldahl법을 이용하여 분석하였다. 즉, 시료 0.5g을 취한 후 H_2SO_4 10mL와 분해촉진제($\text{CuSO}_4:\text{K}_2\text{SO}_4$) 3g을 넣고 420℃에서 60분간 분해하여 과피의 모든 amino 또는 nitro 형태의 질소를 ammonium태의 질소로 변화 시킨 후 질소 자동 적정장치(Kjeltec Auto 1030 Analyzer, Tecator Co., 스웨덴)에서 측정하였다. 이때 적정액은 0.1N HCl을 사용하였다.

펙틴물질의 분획 및 분석

펙틴물질의 분획은 Ben-Arie 등(1979)이 사용한 방법으로 분석하였다. 즉, 감귤과피 10g을 95% ethanol 50mL을 가하여 homogenizer로 파쇄하고, 펙틴 분해효소를 불활성 시키기 위해서 80℃에서 25분간 중탕하였다. 원심 분리시켜 얻은 잔사를 끓인 ethanol 100mL을 가한 후 acetone 100mL를 다시 가하여 세척하고 지용성물질을 제거한 후에 열풍건조(30℃)하여 얻은 것을 알코올 불용성 고형물(AIS, alcohol insoluble solid)로 하였다. AIS 100mg을 증류수 20mL을 가하여 80℃에서 한 시간 추출한 것을 수용성 펙틴(WSP, water soluble pectin)으로 하였고, 그 잔사에 0.5% EDTA (pH 6.0) 20mL을 가하여

Table 1. Operating conditions of ICP-AES for mineral analysis.

Inductively coupled plasma	
Out power	1.2kw
Plasma torch assembly	One piece quartz torch
Sample introduction system	Cross-flow-nebulizer
Gas flows	
Coolant gas flow rate	1.4l/min
Auxiliary gas flow rate	0.5l/min
Nebulizer pressure	2.5 bar
Average sample uptake rate	2.0ml/min



추출한 것을 EDTA 가용성 펙틴(VSP, versene soluble pectin)으로 하였다. 그리고 펙틴네이즈(pectinase, sigma Co.)를 가하여 추출한 것을 불용성 펙틴(ISP, insoluble pectin)으로 하였다. 각 펙틴질의 정량은 carbazole 비색법(Bitter 와 Muir, 1962)에 의하여 각 시료액 10ul에 증류수 490uL과 진한 황산 3mL가하여 잘 혼합한 다음 20분간 중탕하고 냉각시킨 후 carbazole 시약 100ul를 가해 2시간 정색 반응시킨 다음 530nm에서 흡광도를 측정하였다. 펙틴 함량은 표준물질인 galacturonic acid를 검량선법에 의해 산출하여 표시하였다.

효소의 추출 및 활성분석

Pectin methylesterase(PME, E.C. 3.2.1.11) 효소의 추출은 감귤 과피 8g에 차가운 8.8%(w/v) NaCl 20ml을 가하여 균질화 한 다음 miracloth(Calbiochem Co.) 두 겹으로 여과하고 20,000×g(4℃)에서 10분간 원심 분리하여 잔사를 제거한 상정액에 2N NaOH를 첨가하여 pH 7.5로 조정한 후 PME 활성 측정의 조효소액으로 하였다. PME 효소의 활성 분석은 조효소액 100uL와 반응액[0.5% pectin (pH 7.5, Sigma Co.) 2mL, 3mM potassium phosphate buffer(pH 7.5, in 0.01% bromothymol blue) 150uL, dH₂O 750uL] 2.9mL의 혼합액을 25℃를 유지하는 temperature controlled cell holder(TCC-240A, Shimadzu Co.)에서 일정시간(0, 20, 40, 60초) 반응시키고 620nm에서 흡광도를 측정하였다(Hagerman과 Austin, 1986). PME의 활성은 25℃에서 1분 동안에 1μmole의 galacturonic acid를 생성하는 효소량을 1unit로 하였다.

Polygalacturonase(PG, E.C. 3.2.1.15)효소의 추출은 감귤 과피 4g에 차가운 homogenized buffer [0.1M sodium citrate(pH 4.5), 1M NaCl, 15mM ethylenediamine-tetraacetic Acid(EDTA), 5mM dithiothreitol(DTT), 1% poly(vinylpyrrolidone) (PVPP)] 10ml을 가하여 균질화 한 다음 miracloth(Calbiochem Co.) 두 겹으로 여과하고 20,000×g (4℃)에서 30분 간 원심 분리하여 잔사를 제거한 후 상정액 2.5ml을 sephadex G-25 column(Amersham

bioscience. Co.)에 lording하여 3.5ml을 받아 조효소액으로 사용하였다. PG 활성 측정은 10mM sodium acetate buffer (pH 4.5), 0.5% poly galacturonic acid 0.5ml에 PG 조효소액 0.5ml을 30℃시 water bath에서 2시간 반응시킨 후 1ml 3,5-dinitrosalicylic acid(DNS) 용액을 가하고 5분간 끓여 반응시키고 575nm에서 흡광도를 측정하였다(Wang 등, 1996). PG의 활성은 25℃에서 1분 동안에 1 μ mole의 환원당을 생성하는 효소량을 1 unit로 하였다. 단백질 함량은 Bradford의 방법에 따라 측정하였다.



IV. 결과 및 고찰

1. 토양 건조처리 시기가 과즙의 당 집적에 미치는 영향

건조처리 중 잎수분퍼텐셜(Ψ_{\max}) 측정치는 $-0.4 \sim -0.8\text{MPa}$ 범위였으며 대략 $-0.6 \sim -0.7\text{MPa}$ 정도였고 건조처리를 앓고 적습 관리를 받는 나무는 $-0.3 \sim -0.4\text{MPa}$ 로 나타났다(Table 2). 포장 상태에서 온주밀감의 Ψ_{\max} 가 낮아질수록 당도가 증가된다는 보고가 있지만(Kim과 Rho, 2002) 과실 품질을 너무 저하시키지 않도록 관수해야 하는 한계 Ψ_{\max} 는 -0.7MPa 이상이라고 알려져 있다(Maotani 와 Machida, 1980). Mukai 등(1996)은 홍진조생을 대상으로 9월 2일부터 수확시까지 평균 Ψ_{\max} 을 각각 -0.53 , -0.71 , -1.15MPa 로 관리한 결과 과즙의 포도당과 과당 즉 환원당 함량은 토양이 건조할수록 높아졌지만 자당함량은 -0.71MPa 처리에서 가장 높아 결국 총당 함량은 -0.71MPa 처리와 -1.15MPa 처리 사이에 차이가 없었다고 하였다. Yakushiji 등(1998)은 온주밀감에서 관수량을 Ψ_{\max} -0.35 , -0.60 , -1.00MPa 3수준으로 조절한 결과 -0.60MPa 의 중간 건조 상태에서 과실의 총당 함량이 가장 높았다고 하였다. 따라서 이 시험에서 건조처리정도는 당 함량을 증가시키는데 적합한 수준이라고 판단되었다.

건조처리 기간에는 과실 횡경 비대가 억제되었는데(Fig. 1) 건조처리 후 적습으로 관리한 DW구에서는 건조기간 비대가 억제되었다가 적습으로 바꾼 후 비대 속도가 빨라져 계속 적습으로 관리한 WW구 보다도 수확시 횡경이 더 커졌다. 과실 무게의 변화(Fig. 2)도 횡경의 변화와 같은 경향으로 건조처리에 의해 무게 증가가 억제되었으나 DW구에서 적습 기간 증가 속도가 빨라 수확시 과중이 가장 무거웠다. 건조 스트레스를 받으면 과실 비대가 억제되며(Hyun 등, 1993; Mukai 등, 1996; Peng, 1996), 건조처리 후 재 관수에 의해 과실이 급격히 비대하는데 여기에는 단순한 회복 이외의 요인이 관여하는 것으로 추론하고 있다(Maotani 와 Machida, 1980). 이 시험에서 수확시 DW구의

Table 2. Effect of soil moisture control on leaf water potential before sunrise (Ψ_{\max}) in potted 'Okitsu Wase' satsuma mandarin in a glasshouse.

Treatment ^z	Soil moisture at observation	Leaf water potential (-MPa)			
		Aug. 21	Aug. 22	Aug. 23	Aug. 26
DD	Drought	0.8	0.7	0.5	0.7
DW	Drought	0.8	0.6	0.4	0.6
WD	Normal	0.3	0.4	0.4	0.4
WW	Normal	0.3	0.3	0.4	0.4

^zDD, Drought stress for the whole period from July 21 to Nov. 20; DW, Drought stress for 50 days from July 21 to Sept. 10; WD, Drought stress for 50 days from Oct. 1 to Nov. 20; WW, Without drought stress.

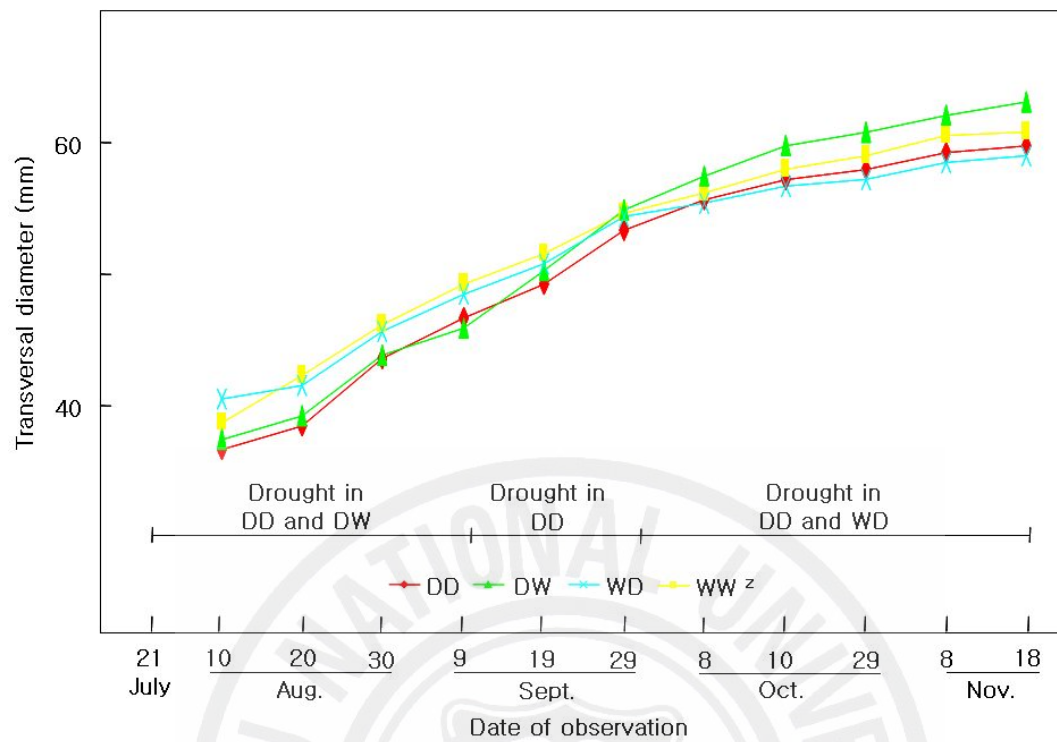


Fig. 1. Seasonal changes in transversal diameter of fruit as affected by different soil moisture control in potted 'Okitsu Wase' satsuma mandarin in a glasshouse. ^zSee Table 2.

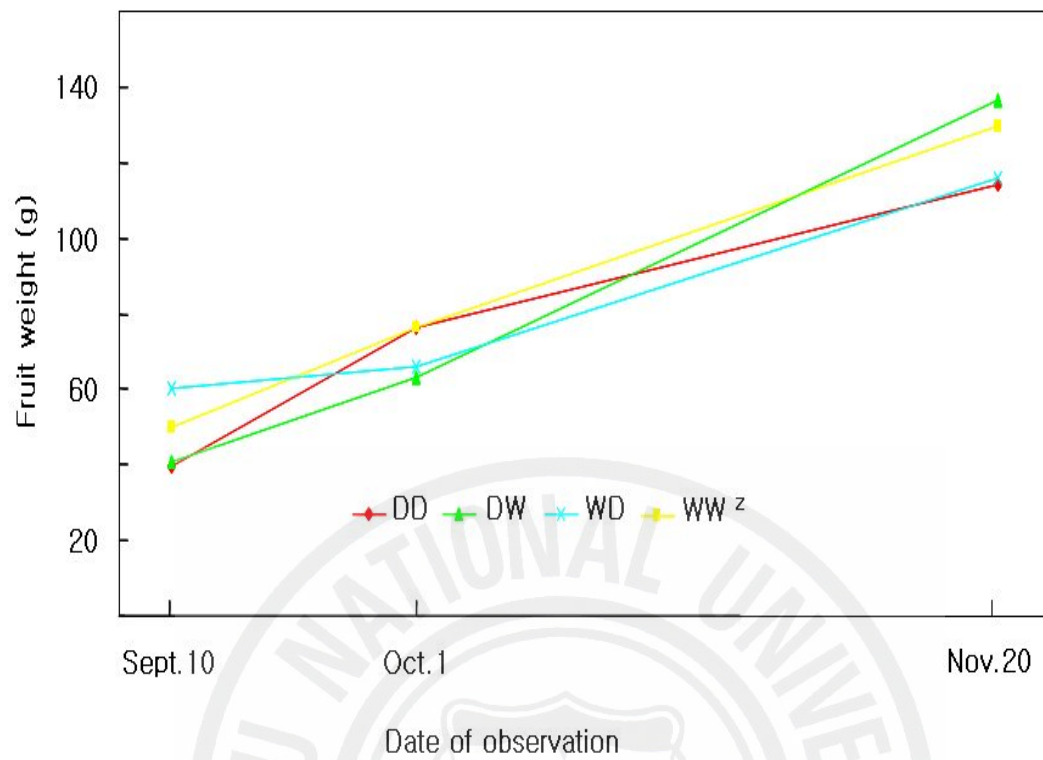


Fig. 2. Seasonal changes in fruit weight as affected by different soil moisture control in potted 'Okitsu Wase' satsuma mandarin in a glasshouse. ^zSee Table 2.

과실 횡경이 WW구의 과실보다도 더 클 정도로 건조처리 후 과실 비대가 촉진된 것은 짧은 기간의 현상을 관찰한 위의 보고와는 상황이 다르지만, 건조에 의한 비대 억제 후 회복현상 이상으로 비대가 촉진된다는 경향은 일치한다고 볼 수 있는데 그 기작은 앞으로 연구되어야 할 것이다.

수확시 과실 비중은 적습 후 건조로 관리한 WD구에서 무거운 반면 건조 후 적습으로 관리한 DW구에서 가장 가벼웠지만 통계적 유의차는 인정되지 않았다(Table 3). 과실 비중과 Ψ_{\max} 와의 관계는 건조 정도에 따라 달라 -1.1MPa 정도까지는 Ψ_{\max} 가 내려갈수록 즉 건조할수록 비중이 가벼워지지만 Ψ_{\max} 가 그 이하로 되면 반대로 Ψ_{\max} 가 내려갈수록 비중이 증가한다고 하였다 (Maotani 와 Machida, 1980). Kim(2002)은 궁천조생 월동 수확 재배시 9월 이후 토양을 건조하게 관리할수록 수확시 과실 비중이 높아졌다고 하였다. 건조처리시 Ψ_{\max} 가 -0.6~-0.7MPa 정도였던 이 시험에서 성숙기 이전 건조처리는 비중을 가볍게 하였지만 성숙기 건조처리는 무겁게 하였다.

과피두께는 전반적으로 9월 중·하순에 감소된 후 성숙기에 별 변화가 없었으며 처리 간 차이도 인정되지 않았다(Table 4). 과육율은 과피 두께가 얇아진 9월 중·하순에 80% 내외로 증가된 후 별 변화가 없었으며 DW의 경우 건조에 의해 과실 무게 증가가 억제되었던 9월 초의 과육율은 다른 처리에 비해 낮았으나 적습으로 전환한 다음 과실 무게가 가장 무거워졌던 최종 수확기에는 과육율도 가장 높아졌다(Fig. 3).

과즙 내 당도의 경시적 변화는 Fig. 4와 같았다. 9월 10일 조사시점에 건조처리 않고 적습만을 유지한 WW구와 WD구는 7.3°Brix에 불과한 반면에 건조처리한 DD구와 DW구에서는 10.5°Brix 이상으로 건조처리에 의해 3.2°Brix 이상 당도가 증가되었다. 이후에는 계속 건조하게 관리한 DD구와 계속 적습을 유지한 WW구의 당도 증가 속도가 비슷하여 9월 10일 관측된 차이가 수확기인 11월 20일에도 그대로 유지되었다. 건조에서 적습으로 바꾼 DW구에서는 당분간 당도가 감소되었다가 서서히 증가되어 결국 WW구와 비슷하게 되었다. 적습에서 건조로 바꾼 WD구에서는 건조로 바꾼 후 당도 증가 속도가

Table 3. Effect of soil moisture control on specific gravity of fruit in potted 'Okitsu Wase' satsuma mandarin in a glasshouse.

Treatment ^z	Specific gravity		
	Sept. 10	Oct. 1	Nov. 20
DD	0.97	0.97	0.94
DW	0.97	0.96	0.93
WD	0.97	0.98	0.96
WW	0.98	0.97	0.95

NS within column.

^zSee Table 2.

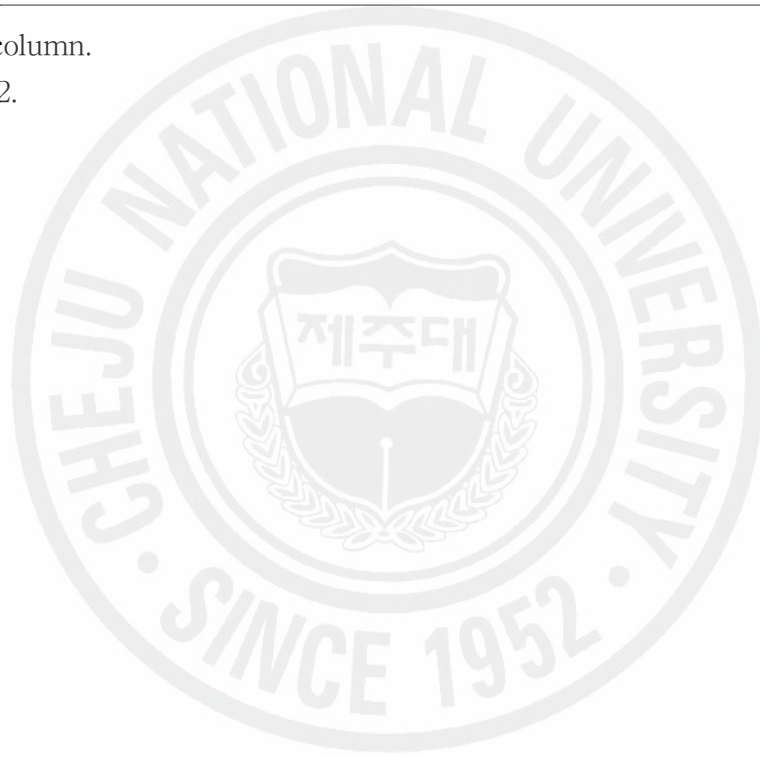
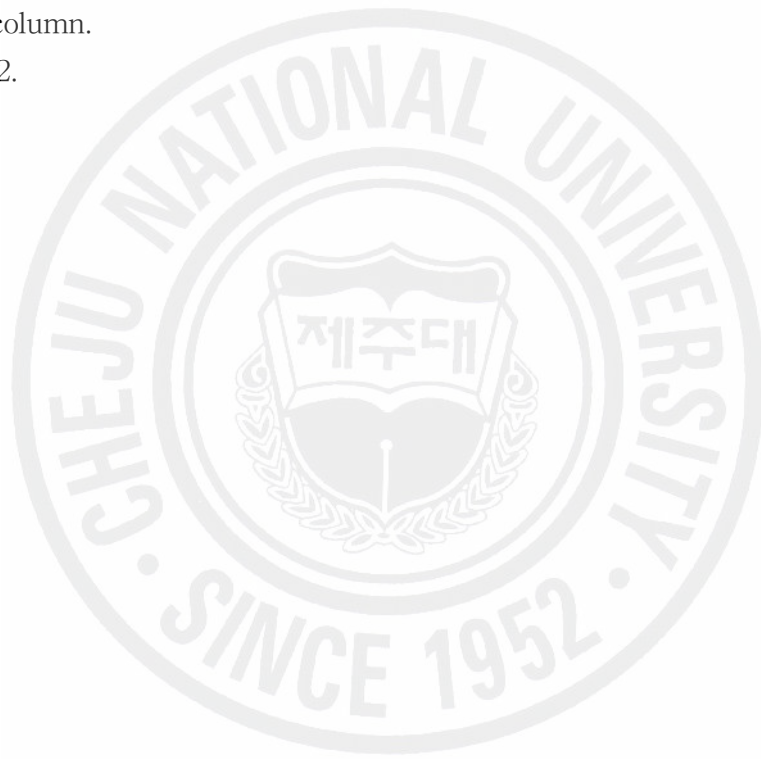


Table 4. Effect of soil moisture control on peel thickness of fruit in potted 'Okitsu Wase' satsuma mandarin in a glasshouse.

Treatment ^z	Peel thickness (mm)		
	Sept. 10	Oct. 1	Nov. 20
DD	2.83	2.22	2.37
DW	2.86	2.22	2.21
WD	2.86	2.15	2.19
WW	2.76	2.20	2.41

NS within column.

^zSee Table 2.



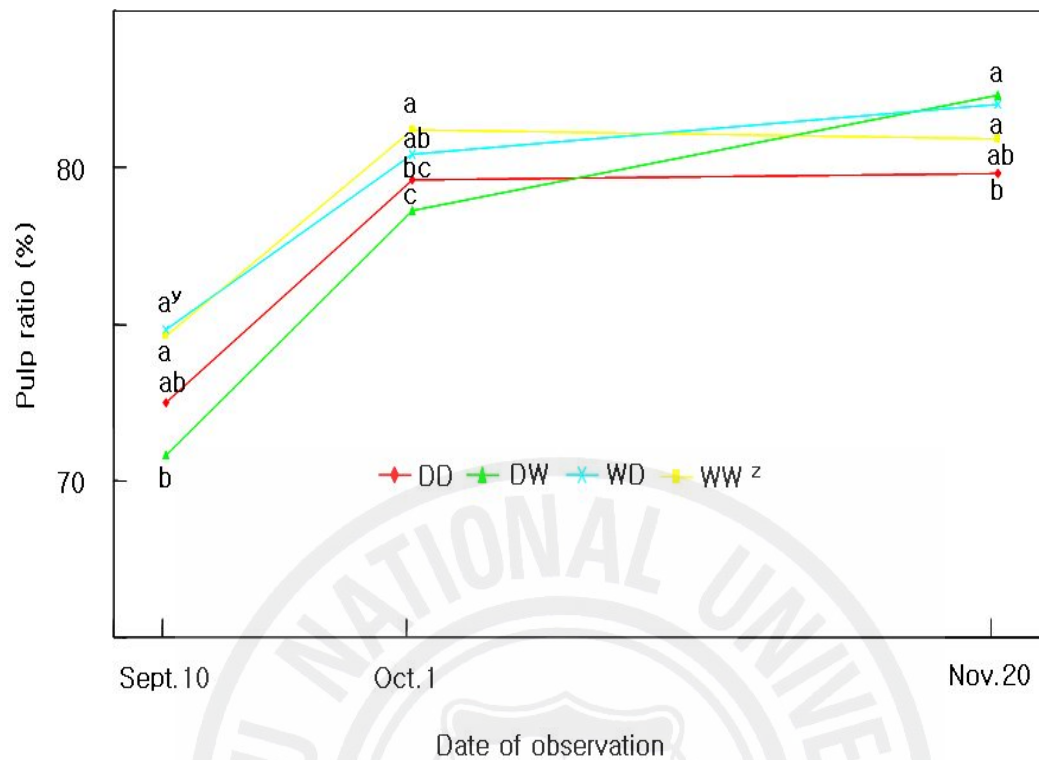


Fig. 3. Seasonal changes in pulp ratio of fruit as affected by different soil moisture control in potted 'Okitsu Wase' satsuma mandarin in a glasshouse. ^ySee Table 2. ^zMean separation within date by DMRT at 5% level.

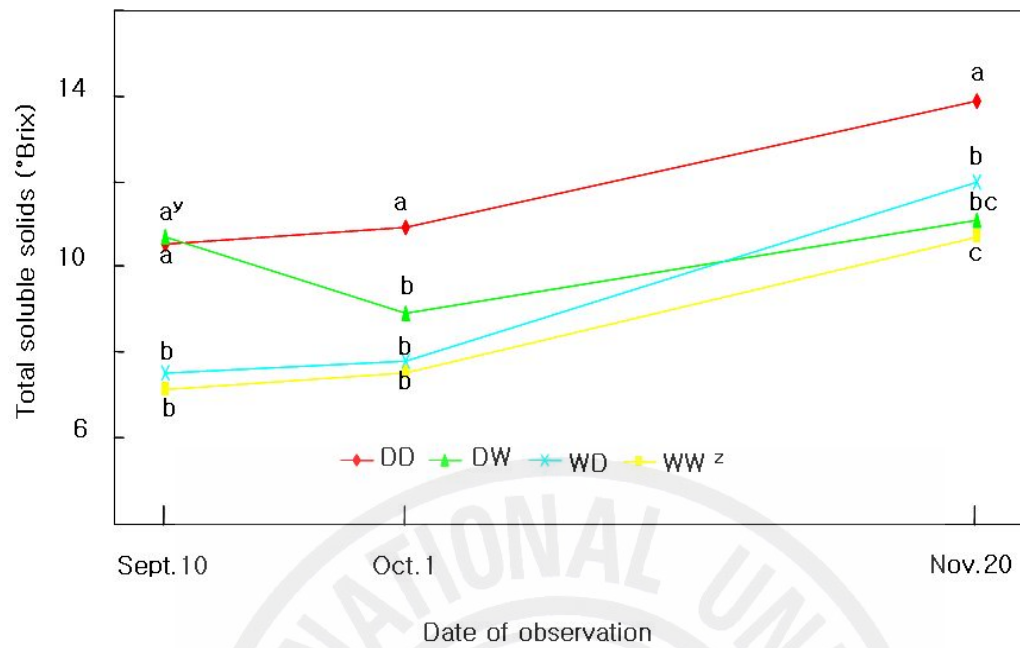


Fig. 4. Seasonal changes in total soluble solids of juice as affected by different soil moisture control in potted 'Okitsu Wase' satsuma mandarin in a glasshouse. ^zSee Table 2. ^yMean separation within date by DMRT at 5% level.

WW구보다 빨라졌지만 수확기 당도는 DD구에 미치지 못하였다. 그레이프후르트에서 같은 나무에서도 수분 스트레스를 받아 잎수분포텐셜이 낮은 수관 남쪽은 가용성고형물 함량이 높으며(Syvertsen과 Albrigo, 1980), 수분 스트레스를 받은 온주밀감 나무 과실의 당도가 높다는 것은 널리 알려져 있다(Hyun 등, 1993; Kim, 2002; Kim 등, 2004; Maotani와 Machita, 1977; Moon, 1992). Kim(2002)은 월동수확 궁천조생을 대상으로 10월~다음해 3월 단수는 3월 29일 수확 과실의 당도를 1.2°Brix 높였으며 12월~3월 단수는 0.8°Brix 높였지만 10월~11월 단수는 당도 증가 효과가 미미하였다고 보고하였다. 또 8월의 건조 스트레스는 9월 중순 당도를 1°Brix 이상 높였는데 이 차이는 이후 계속되었으며 성숙기 토양이 건조할수록 차이가 커졌다고 하였다. 이 시험에서 세포질 증가기 건조처리는 과즙의 당도를 증가시키지만 이후 성숙기에 다습하게 되면 그 효과가 없어진다는 것을 확인하였다.

과즙의 과당(Fig. 5)과 포도당(Fig. 6) 함량의 경시적 변화는 매우 비슷하였다. 9월 10일에는 이미 건조처리를 받은 DD구와 DW구는 건조처리를 받지 않는 WW구와 WD구에 비하여 약 0.4% 정도 높았으며 이후 성숙기의 함량 증가는 DD구와 WW구에서 비슷하여 9월 10일의 차이가 수확기까지 계속되었다. DW구의 함량은 적습으로 바뀐 후 증가가 거의 없어 수확기 함량은 WW구와 비슷하였으며 WD구의 함량은 건조로 바뀐 후 증가 속도가 빨라 수확기에는 DD구에 가까워졌다. 자당 함량(Fig. 7)은 9월 10일에 이미 건조처리에 의해서 1% 정도 높아졌는데 이후 성숙기의 증가도 계속 건조처리한 DD구에서 계속 적습을 유지한 WW구에서 보다 많아 수확기에는 9월 10일의 차이보다 3배 이상이나 큰 3% 정도의 차이를 보였다. DW구는 WW구보다 완만한 증가를 보인 반면 WD구는 건조로 바뀐 후 증가 속도가 빨라져 수확기에는 WD구와 DW구의 자당 함량이 같아졌으며 WW구와도 유의차가 인정되지 않았다. 총당 함량(Fig. 8)의 처리별 변화 양상은 자당 함량의 그것과 완전히 일치하였다. 감귤과즙의 당 조성은 자당, 포도당, 과당으로 이루어지며 성숙기에

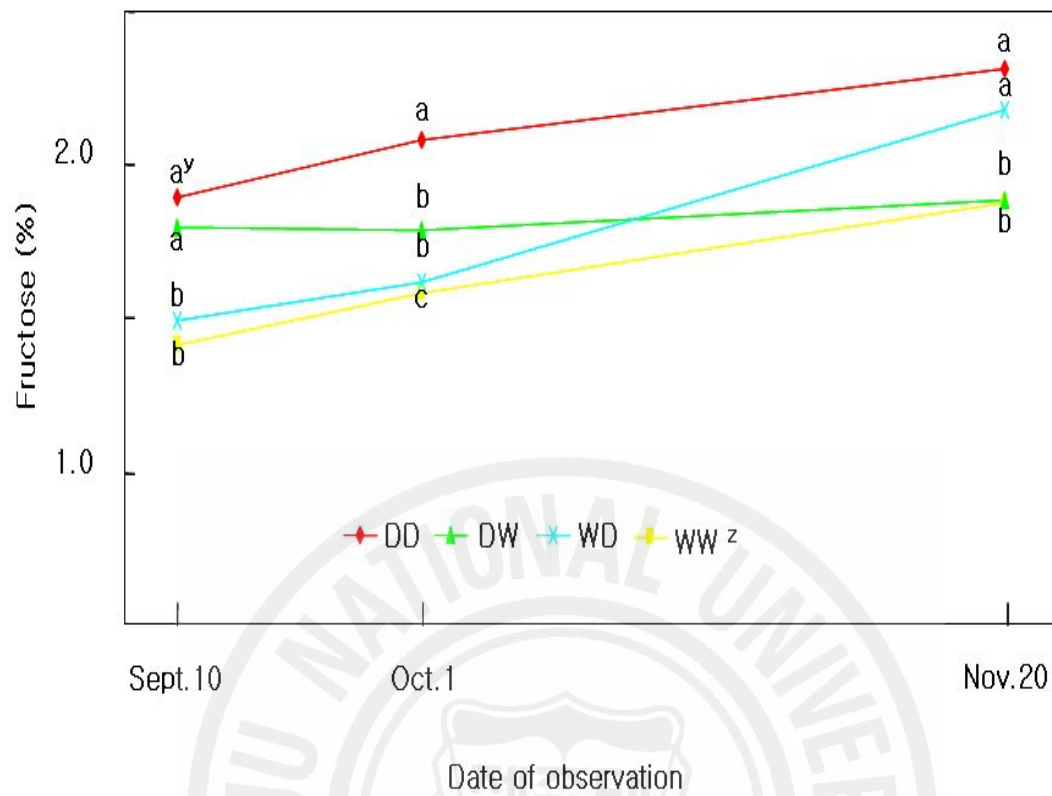


Fig. 5. Seasonal changes in fructose concentration of juice as affected by different soil moisture control in potted 'Okitsu Wase' satsuma mandarin in a glasshouse. ^zSee Table 2. ^yMean separation within date by DMRT at 5% level.

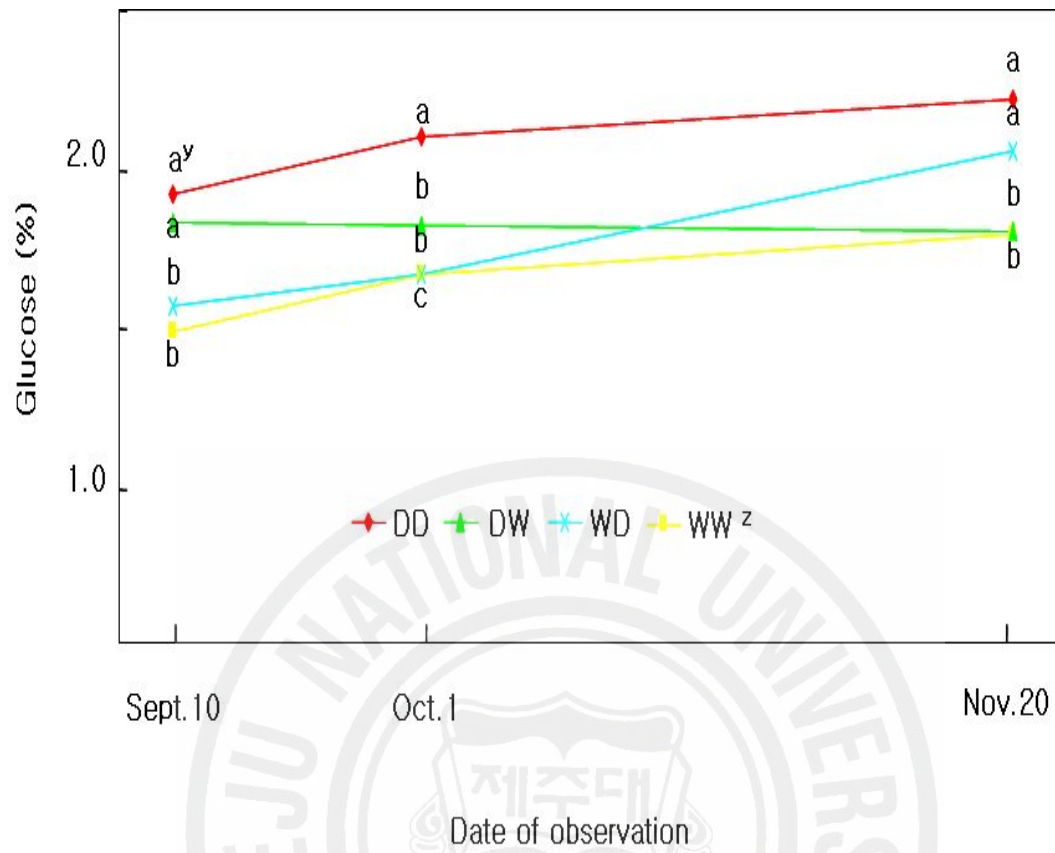


Fig. 6. Seasonal changes in glucose concentration of juice as affected by different soil moisture control in potted 'Okitsu Wase' satsuma mandarin in a glasshouse. ^zSee Table 2. ^yMean separation within date by DMRT at 5% level.

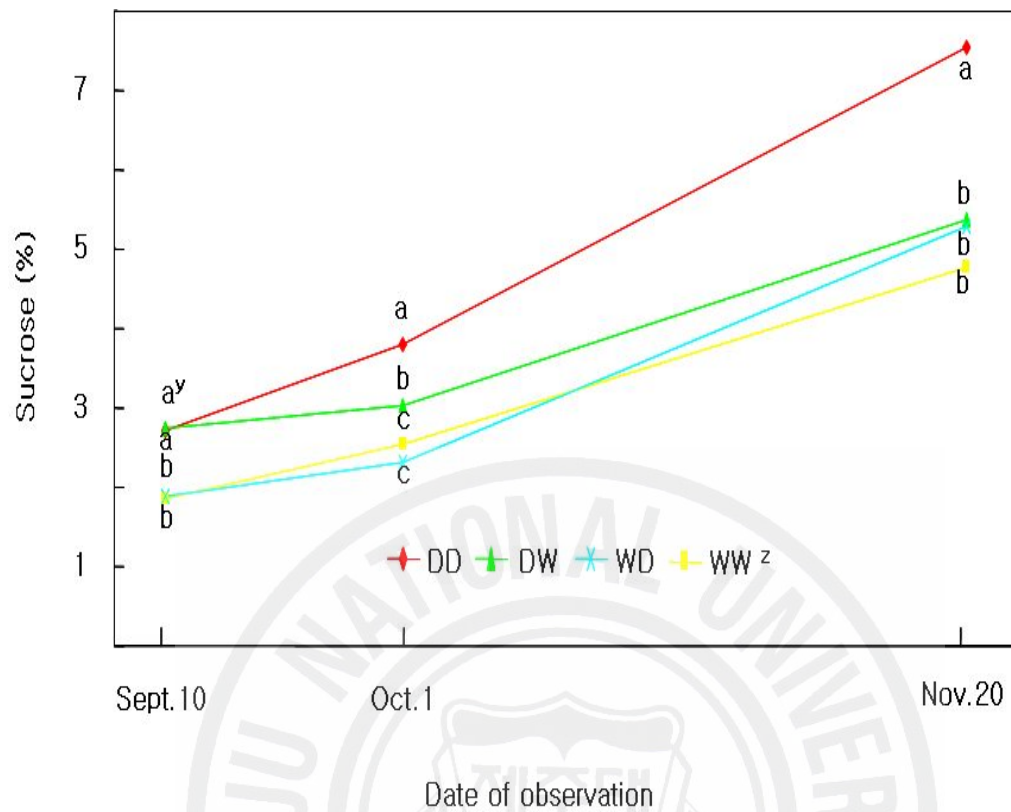


Fig. 7. Seasonal changes in sucrose concentration of juice as affected by different soil moisture control in potted 'Okitsu Wase' satsuma mandarin in a glasshouse. ^zSee Table 2. ^yMean separation within date by DMRT at 5% level.

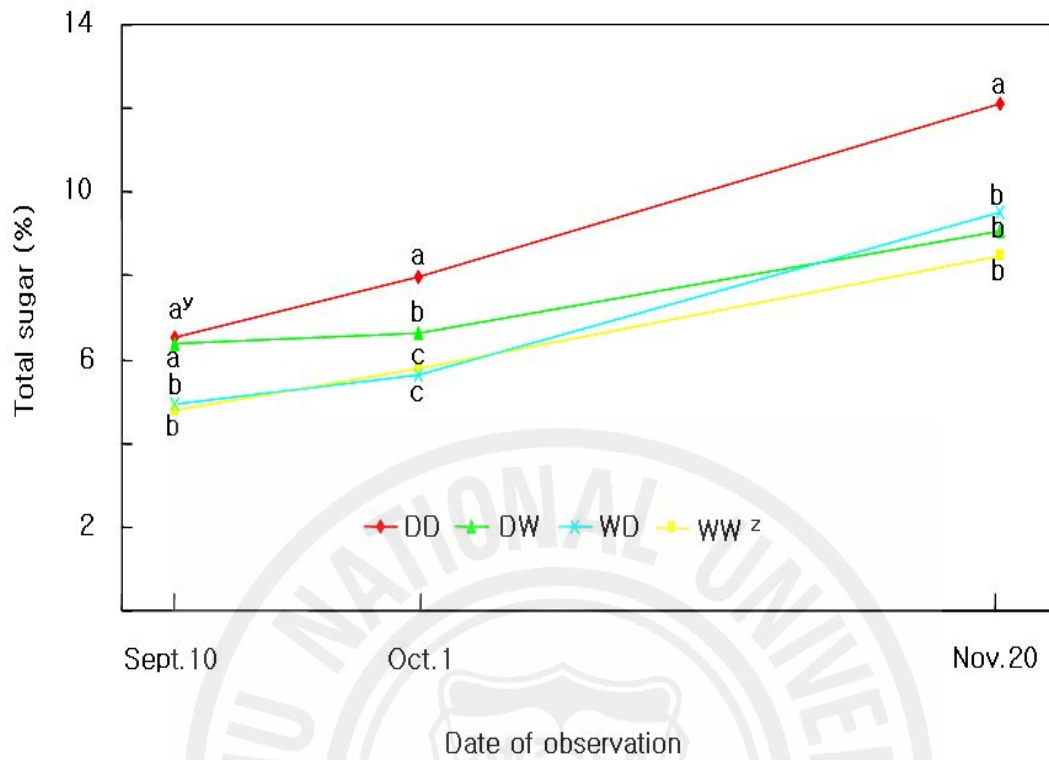


Fig. 8. Seasonal changes in total sugar concentration of juice as affected by different soil moisture control in potted 'Okitsu Wase' satsuma mandarin in a glasshouse. ^zSee Table 2. ^yMean separation within date by DMRT at 5% level.

당 농도가 꾸준히 증가되는데 특히 자당의 축적이 현저하다(Daito와 Sato, 1985; Han 등, 1970; Mataa 등, 1996; Mukai 등, 2000; Song과 Ko, 1997; Song 등, 1998; Takebayashi 등, 1993; Ting과 Attaway, 1971). 건조 스트레스는 감귤 과즙의 당 축적을 촉진시키는데 특히 환원당 함량 증가가 현저하다(Bower, 2000b; Hyun 등, 1993; Kim 등, 2000, 2004; Mukai 등 1996). 네블 오렌지에서 낮은 수분포텐셜에 대응하기 위하여 사양으로 탄수화물을 집적하여 삼투조절을 하며(Kaufman, 1970) 온주밀감에서는 건조 스트레스를 받은 나무의 과실 1개당 총당 함량이 유의하게 많다(Kadoya, 1973). Yakushiji 등(1996, 1998)은 건조 스트레스상태에서 온주밀감 과실의 당 축적은 적극적인 삼투조절 기작에 의하여 이루어지는 것인데 포도당과 과당 등 단당류가 적극적 삼투조절에 책임이 있으며 이때 당 축적은 광합성 산물이 과실 특히 사양으로의 전류가 증가하여 이루어지는 것이라고 하였다. 이 시험에서 과실 발육 도중에 건조 스트레스를 주면 그에 반응하여 과즙내 자당과 포도당, 과당 등 모든 당의 농도가 상승했다가 적절히 관수하여 스트레스를 제거하면 자당은 상승효과가 그대로 유지되지만 포도당과 과당은 상승효과가 없어졌는데 이러한 단당류의 변화는 건조 스트레스에 반응한 과즙 내 당 축적으로 삼투조절기작이라는 기존의 설명을 뒷받침하는 것이라고 생각된다. 그러나 건조 스트레스가 없어져도 일단 상승한 자당의 농도는 그대로 유지되며 스트레스 기간이 길수록 상승이 촉진되는 기작에 대해서는 더욱 연구되어야 할 것이다.

과즙 중 SS 효소 활성(Fig. 9)은 9월 10일 이미 건조처리에 의해서 높아져 있었으며 변화 양상은 자당의 그것보다는 과당이나 포도당의 그것과 비슷한 경향을 보였다. 즉 SS 활성의 성숙기 증가속도는 WD구에서 가장 빠르고 DW구에서 가장 느리며 DD구와 WW구는 비슷하게 중간 정도였으며 9월 10일의 활성 차이가 11월 20일까지 그대로 유지되었다. 과즙 중 SPS 효소활성의 분석치(Fig. 10)는 오차가 커서 9월 10일과 11월 20일 처리간 차이가 컸는데도 유의차가 인정되지 않았지만 처리별 변화 양상은 SS 활성의 그것과 비슷하였다. Table 5는 과즙 중 유리당 농도와 효소활성과의 단순 상관을 분석

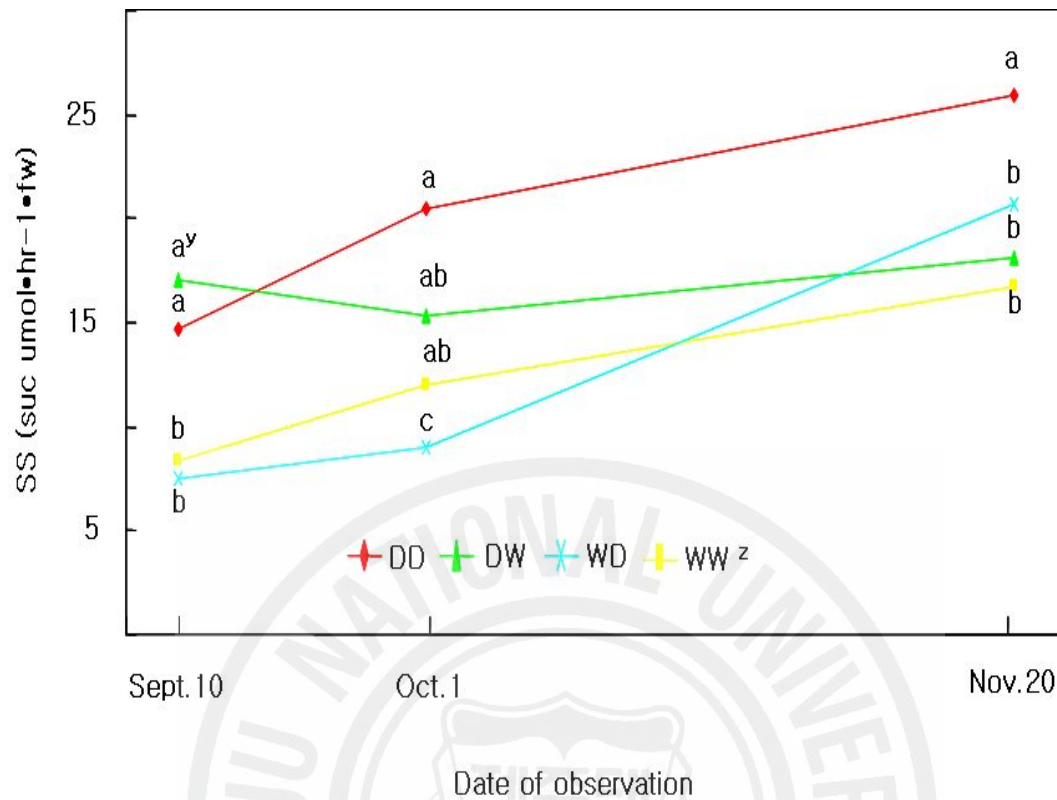


Fig. 9. Seasonal changes in sucrose synthase (SS) activity of juice as affected by different soil moisture control in potted 'Okitsu Wase' satsuma mandarin in a glasshouse. ^zSee Table 2. ^yMean separation within date by DMRT at 5% level.

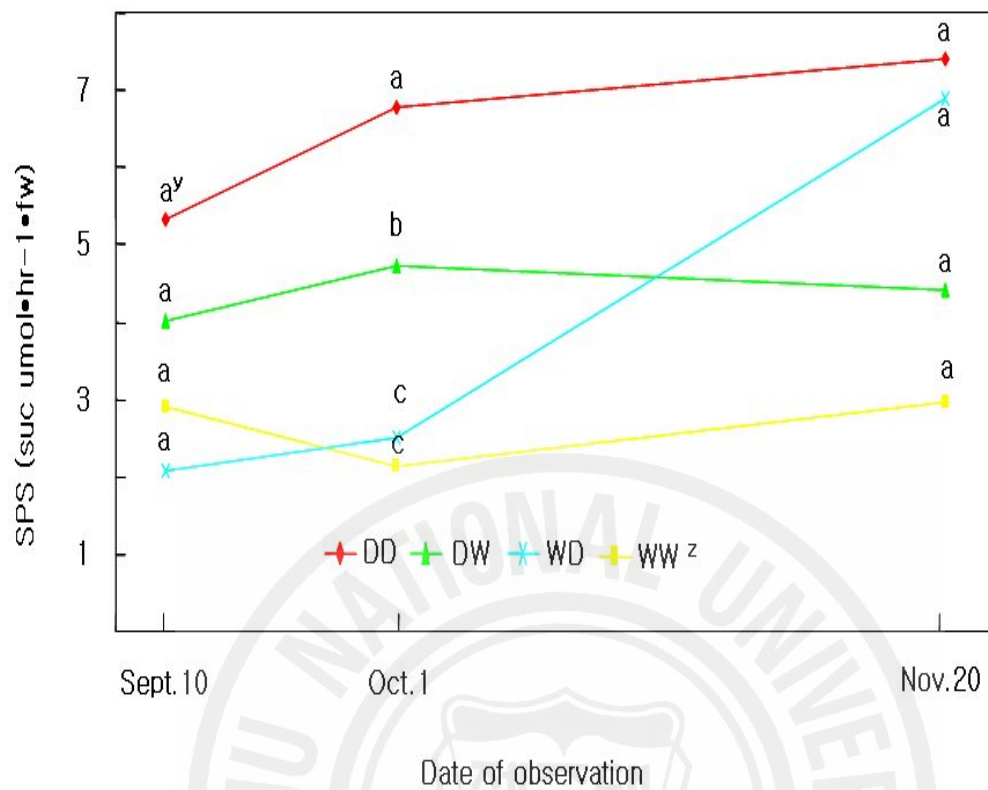


Fig. 10. Seasonal changes in sucrose phosphate synthase (SPS) activity of juice as affected by different soil moisture control in potted 'Okitsu Wase' satsuma mandarin in a glasshouse. ^zSee Table 2. ^yMean separation within date by DMRT at 5% level.

Table 5. Correlation coefficients between sugar concentration and enzyme activity in juice of potted' Okitsu Wase' satsuma mandarin in a glasshouse.

Sugar	Date	SS activity			SPS activity		
		Sep. 10	Oct. 1	Nov. 20	Sep. 10	Oct. 1	Nov. 20
Fructose	Sep. 10	0.6809**			0.5041		
	Oct. 1	0.7358**	0.8209***		0.4613	0.8184***	
	Nov. 20	0.1564	0.4481	0.6901**	-0.0137	0.4203	0.7311**
Glucose	Sep. 10	0.6753**			0.4927		
	Oct. 1	0.7293**	0.8194***		0.4661	0.8241***	
	Nov. 20	0.1848	0.4972	0.7177*	0.0338	0.4631	0.7336**
Sucrose	Sep. 10	0.7334**			0.5675**		
	Oct. 1	0.6351*	0.7653***		0.6598*	0.8112***	
	Nov. 20	0.3833*	0.7299**	0.8228***	0.5082	0.5996*	0.5739*

*, **, *** Significant at 5, 1, 0.1% level, respectively.

한 결과이다. 9월 10일의 SPS 활성과 과당 또는 포도당 농도와의 상관을 제외하고는 9월 10일, 10월 1일, 11월 20일 분석에서 각각의 유리당 농도와 SS 또는 SPS 활성과는 유의한 상관이 인정되었다. 특히 10월 1일에는 모든 유리당 각각의 농도와 SS 또는 SPS 활성 사이에 0.1% 수준에서 유의한 상관이 인정되었다. 감귤 과실에서 당 농도와 효소활성과의 관계는 Song 등(1998)은 오렌지의 과정부는 과경부보다 과당, 포도당, 자당 등 모든 종류의 당 농도가 높는데 SPS, NADP-말산 효소, PEP carboxylase, PEP carboxykinase 등의 활성은 두 부위 사이에 차이가 없지만 수용부위 강도를 나타내는 효소 표지인 SS 활성은 과정부에서 유의하게 높아 과실 내 당 분포의 차이는 부분적으로는 수용부위 강도(sink strength) 차이에 기인한 것이라고 하였다. 관행적으로 착과된 온주밀감 나무의 과실은 착과량이 적은 나무에 비해 자당 증가가 많았는데 성숙기에 SS의 합성 활성은 크게 증가한 반면 자당 분해 활성이 감소하였으며 한편 착과량이 적은 나무에서는 자당 축적이 적음에도 불구하고 SS 합성 활동은 더 높았는데 자당을 분해하는 acid invertase의 활성이 유의하게 높았다(Kubo 등, 2001). 적절한 건조 스트레스에 의하여 강도가 증가된 수용부위 흡인력(sink strength) 조건에서 오렌지 과실에 광합성 산물의 축적을 조절하는 주요 요인은 SS와 액포의 pH라고 보고되었다(Hockema 와 Etxeberria, 2001). 자당 대사의 핵심효소는 SPS라는 주장도 일부 있으나(Komastu 등, 1996, 1999; Lee 등, 1997), 자당과 SS 활성과의 밀접한 관련성은 감귤에서 품종 간(Song과 Ko, 1997), 성장조절제 처리(Chae 등, 2003), 온도 처리(Richardson 등, 1997), 발육과정(Tzur 등, 1992) 등에서도 보고된 바 있으며 복숭아(Bianco 등, 2000; Moriguchi 등, 1991), 토마토(Balibrea 등, 1996) 등 다른 과실에서도 확인되었다. 이 시험에서 SPS 활성은 SS와 공동으로 또는 보조적으로 작용하는 것이라고 생각되었지만 오차가 심하여 판단이 어려웠다. 9월 10일 관찰된 DD구와 WW구 사이의 육탄당 농도 차이와 SS 활성 차이가 수확기까지 그대로 유지되었으며 DW구의 그것들은 WW구와 비슷해졌다는 것은 SS 활성차이는 건조 스트레스에 의한 수용부위 강도 증가량

을, 육탄당의 증가량은 삼투조절 기작의 작동 정도를 나타내주는 것이라고 생각된다. 자당 축적의 증가는 건조 스트레스에 의한 수용부위 강도 증가의 결과가 축적된 것이라고 할 수 있다. 또한 실용적인 면에서 당도증가를 목적으로 건조 스트레스를 줄 경우 건조 스트레스를 주기 시작하면 수확기까지 계속되어야지 도중에 수분공급이 충분해지면 특히 육탄당의 증가 효과가 없어진다는 것을 알 수 있었다.



2. 생장 조절제 살포가 부피발생에 미치는 영향

2.1. GP 살포시기가 부피발생에 미치는 영향

GP 살포시기가 과실의 생장에 미친 영향은 Table 6에 나타났다. 횡경, 종경, 과중 등 과실의 크기는 GP 살포의 영향을 받지 않았으며 과피 두께는 과피착색 시작 직전인 9월 25일 살포에 의해서 얇아지고 이후 살포에 의해서 두꺼워지는 경향이였다. 과육율은 과피두께가 얇아진 9월 25일 살포에서 높아졌다. 온주밀감(Garcia-Luis 등, 1985; Kuraoka 등, 1977) 뿐만 아니라 썬버스트 만다린(Pozo 등, 2000), 스위트 오렌지(Fidelibus 등, 2002) 등에서 착색개시 직전 GA₃ 살포는 과피 생장을 감소시킨다. Baez-Sañudo 등(1992)은 클레멘타인 만다린에서 10월 15일 이후 GA₃와 BA 살포시 10월 15일 살포에서 과피 두께가 가장 얇고 이후 살포시기가 늦을수록 두꺼워졌다. 이 시험에서 GA₃와 PDJ의 혼합물인 GP를 착색개시 직전인 9월 25일부터 살포한 처리에서만 과피 두께가 얇아지고 과육율이 높아진 것은 기존의 결과와 잘 일치한다.

과즙의 당도(Table 7)와 적정산 함량(Table 8)은 9월 25일 살포에 의해서 증가되었고 그 이후 살포의 영향은 인정되지 않았다. GA₃ 살포는 과실 내부 품질에는 영향을 미치지 않는다고 알려져 있는데(Baez-Sañudo 등, 1992; Davies 등, 1999; El-Otmani와 Coggins, 1991; Pozo 등, 2000), GP의 착색개시 직전 살포로 과즙의 당도가 증가되고 산 함량이 증가된 것은 GA₃와 PDJ의 상호작용에 의한 것이 아닌가 추측된다.

과피의 착색은 GP 살포 후 탈록이 억제되는 현상이 뚜렷하였다. Table 9에서 보는 바와 같이 대조구는 12월 1일 이미 탈록이 완전히 진행되어 녹색기미가 없어져 착색정도의 관능평가에서 100% 착색된 것으로 평가되었지만 과피 착색 시작 직전인 9월 25일 살포구의 과피착색은 83%에 머물렀으며 1월 16일까지 나무에 달린 채로 두거나 아니면 12월 1일 수확하여 상온에서 1월 17일까지 저장해도 착색이 완료되지 않아 녹색반점이 관찰되었다. 착색지연 효과

Table 6. Effect of the date of foliar spray of GP on fruit growth of 'Miyagawa Wase' satsuma mandarin.

Date of spray	Transversal diameter (mm)	Longitudinal diameter (mm)	Fruit weight (g)	Peel thickness (mm)	Pulp ratio (%)
Sep. 25 and Oct. 15	60.1	47.6	91.8	2.39b ^z	78.9a
Oct. 10 and Oct. 30	61.0	48.6	94.6	2.64a	76.6ab
Oct. 30 and Nov. 20	60.9	47.5	91.8	2.68a	74.5b
Control	60.1	48.2	90.9	2.53ab	75.8b

^zMean separation by DMRT at 5% level within column. Values without the following letters are not significant.

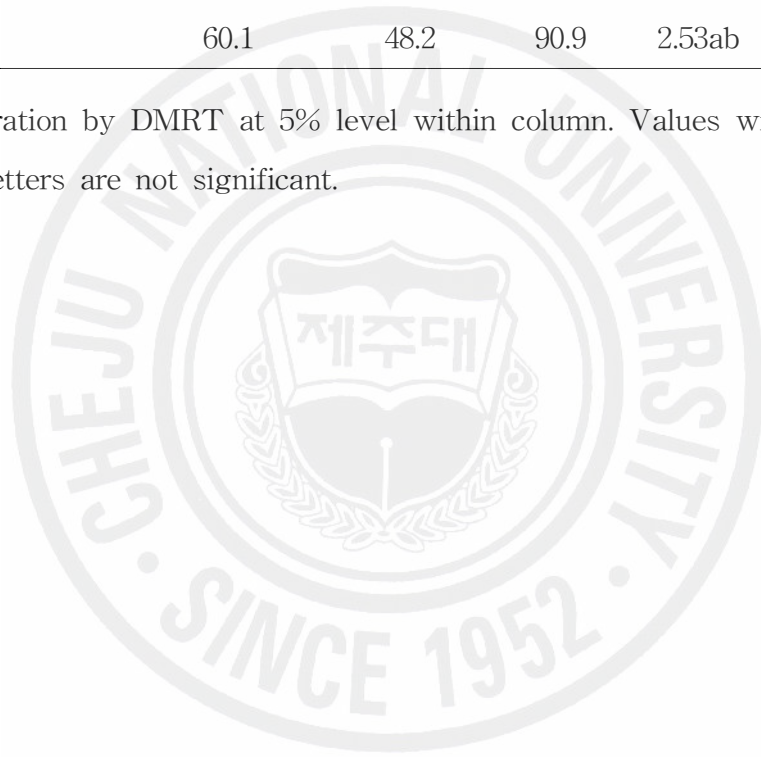


Table 7. Effect of the date of foliar spray of GP on the contents of total soluble solids in juice of 'Miyagawa Wase' satsuma mandarin fruit.

Date of spray	Date of observation ^z		
	Dec. 1	Jan. 16	Jan. 17
Sep. 25 and Oct. 15	10.2	11.4	10.1a ^y
Oct. 10 and Oct. 30	9.4	10.4	9.2b
Oct. 30 and Nov. 20	9.6	10.8	9.1b
Control	9.4	10.5	9.2b

^zObserved at harvest on Dec. 1 and Jan. 16, but on Jan. 17 after storage for 47 days.

^yMean separation by DMRT at 5% level within column. Values without the following letters are not significant.

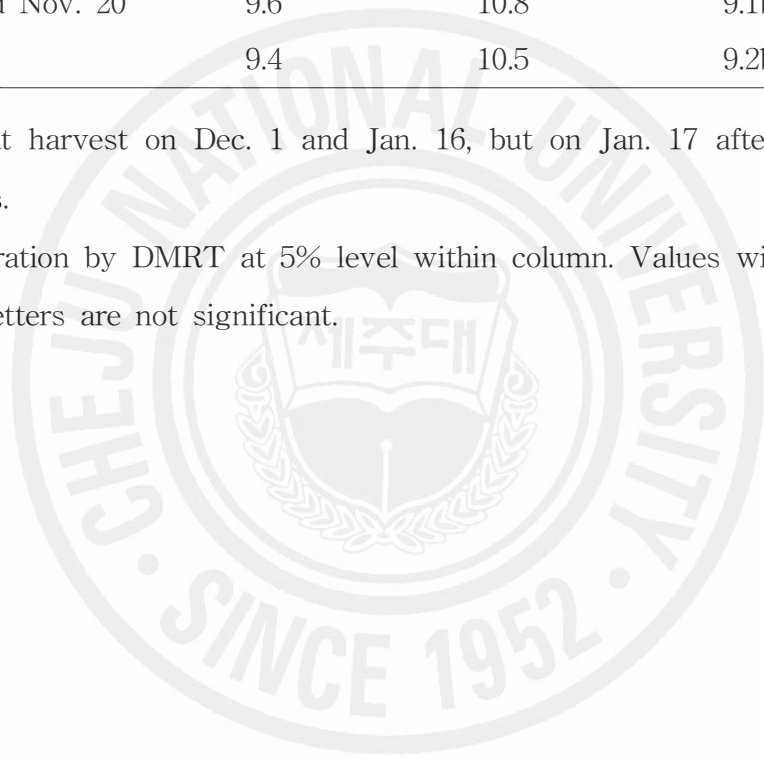


Table 8. Effect of the date of foliar spray of GP on the contents of titratable acid as citric in juice of 'Miyagawa Wase' satsuma mandarin fruit.

Date of spray	Date of observation ^z		
	Dec. 1	Jan. 16	Jan. 17
Sep. 25 and Oct. 15	1.26a ^y	1.00a	0.98a
Oct. 10 and Oct. 30	1.08bc	0.88ab	0.84b
Oct. 30 and Nov. 20	1.04c	0.85b	0.82b
Control	1.12bc	0.88ab	0.82b

^zSee Table 7.

^yMean separation by DMRT at 5% level within column.

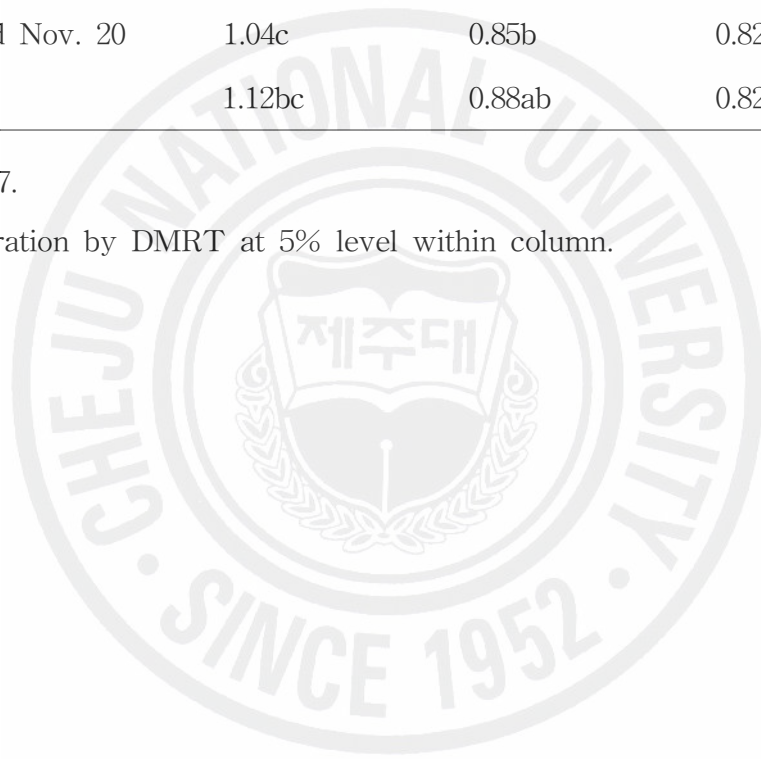


Table 9. Effect of the date of foliar spray of GP on the percent degreening of 'Miyagawa Wase' satsuma mandarin fruit peel.

Date of spray	Date of observation ^z		
	Dec. 1	Jan. 16	Jan. 17
Sep. 25 and Oct. 15	83b ^y	96b	98b
Oct. 10 and Oct. 30	91ab	97ab	99ab
Oct. 30 and Nov. 20	98a	100a	99ab
Control	100a	100a	100a

^zSee Table 7.

^yMean separation by DMRT at 5% level within column.

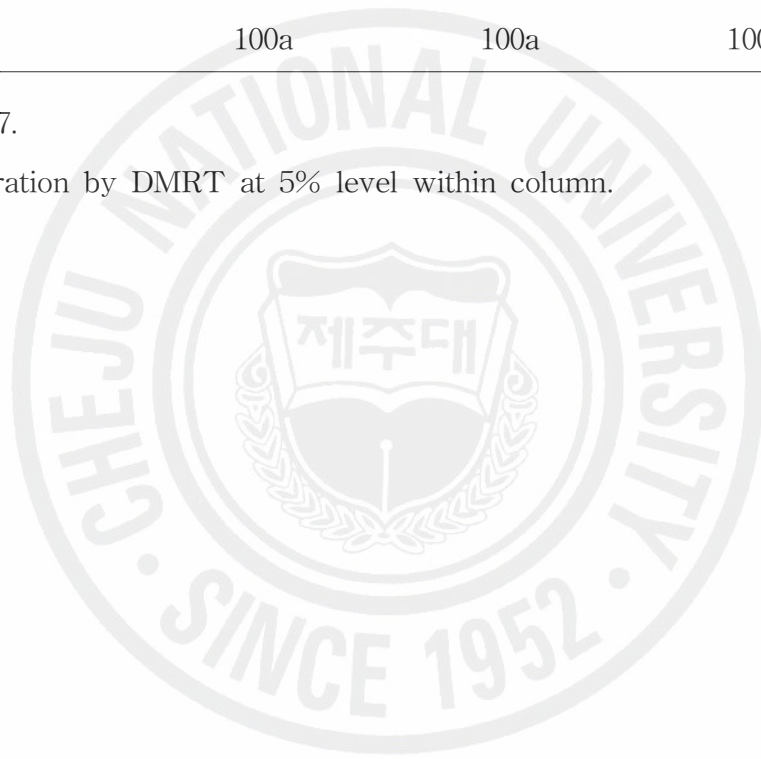
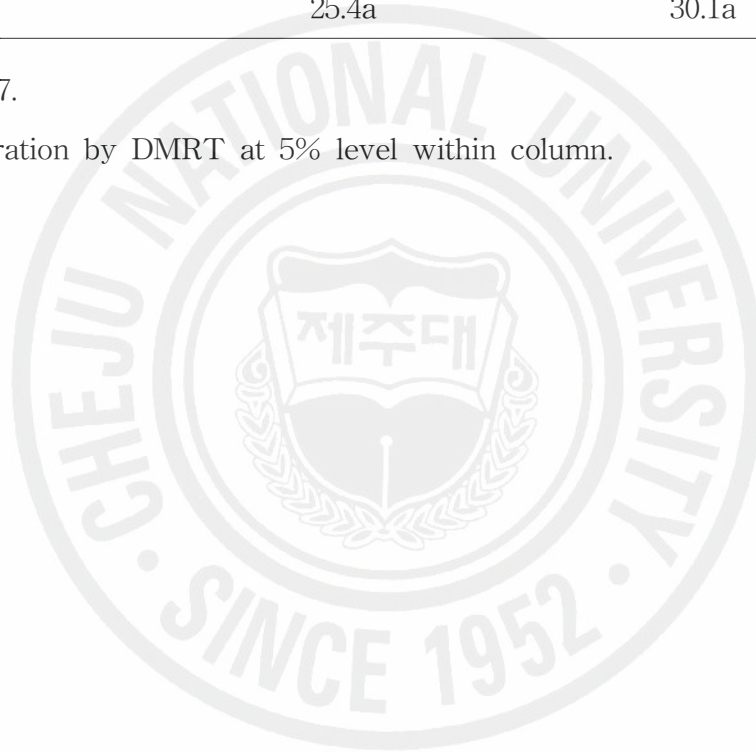


Table 10. Effect of the date of foliar spray of GP on the peel color (Hunter a value) of 'Miyagawa Wase' satsuma mandarin fruit.

Date of spray	Date of observation ^z	
	Dec. 1	Jan. 16
Sep. 25 and Oct. 15	15.5c ^y	28.1b
Oct. 10 and Oct. 30	21.1b	30.9a
Oct. 30 and Nov. 20	23.9ab	30.0ab
Control	25.4a	30.1a

^zSee Table 7.

^yMean separation by DMRT at 5% level within column.



는 살포시기가 늦어질수록 약해졌다. Table 10은 측색색차계로 측정한 과피의 적록도(a값)인데 살포시기가 빠를수록 a값이 적어 관능평가의 결과와 마찬가지로 살포시기가 빠를수록 착색지연 효과가 컸음을 확인할 수 있었다. GA₃ 살포로 과피 착색이 지연된다는 것은 잘 입증되어 있는데(Baez-Sañudo 등, 1992; Davies 등, 1999; El-Otmani와 Coggins, 1991; Pozo 등, 2000), GP 살포의 영향도 GA₃와 마찬가지로 착색개시 직전 살포에서 착색지연 효과가 뚜렷하였다.

과실의 비중(Fig. 11)은 과피착색 시작직전 살포에 의해서 증가되었고 그 이후 살포는 영향이 없었다. 12월 1일에는 대조구가 0.9정도였는데 9월 25일 살포구는 0.93으로 높았으며 1월 16일까지 나무에 달린 채로 둔 과실이나 12월 1일 수확하여 1월 17일까지 상온 저장한 과실에서 과피착색 시작직전 살포구의 과실비중은 0.92였으나 이후 살포구와 대조구는 0.88이하였다. 과실의 경도(Fig. 12)는 살포시기가 빠를수록 높았다. 부피 되지 않은 온주밀감 과실의 비중은 0.9 이상이며 부피가 발생하면 그 정도에 따라 비중은 0.63까지 내려간다(Torigata, 1968). 12월 1일 조사에서 9월 25일 GP 살포구는 비중이 0.93으로 부피가 전혀 발생하지 않았음을 알 수 있으나 살포시기가 늦은 구와 대조구에서는 부피발생이 시작되는 경계선에 있었으며 1월 조사에서는 9월 25일 GP 살포구의 비중은 부피발생이 없는 범위였으며 다른 처리구들은 모두 부피가 진전된 범위에 들었다.

과실의 부피지수는 살포시기가 빠를수록 낮았다(Fig. 13). 12월 1일 조사에서 대조구의 부피지수는 0.08로 부피가 시작되고 있음을 확인할 수 있었는데 9월 25일 살포구는 부피가 전혀 없었으며 이후 살포구에서는 부피가 시작되고 있음을 알 수 있었다. 1월 16일 조사에서 대조구의 부피지수는 0.8 이상으로 대부분 과실이 부피되었는데 비하여 과피착색시작 직전 살포구는 0.1 정도로 부피가 현저히 억제되었으며 이후 살포구에서도 부피가 억제되는 경향이긴 했지만 그 효과가 뚜렷하지 않았다. 12월 1일 수확하여 상온 저장하였다가 1월 17일 조사한 결과는 9월 25일 살포만이 부피를 현저히 억제시켰으며 이후 살

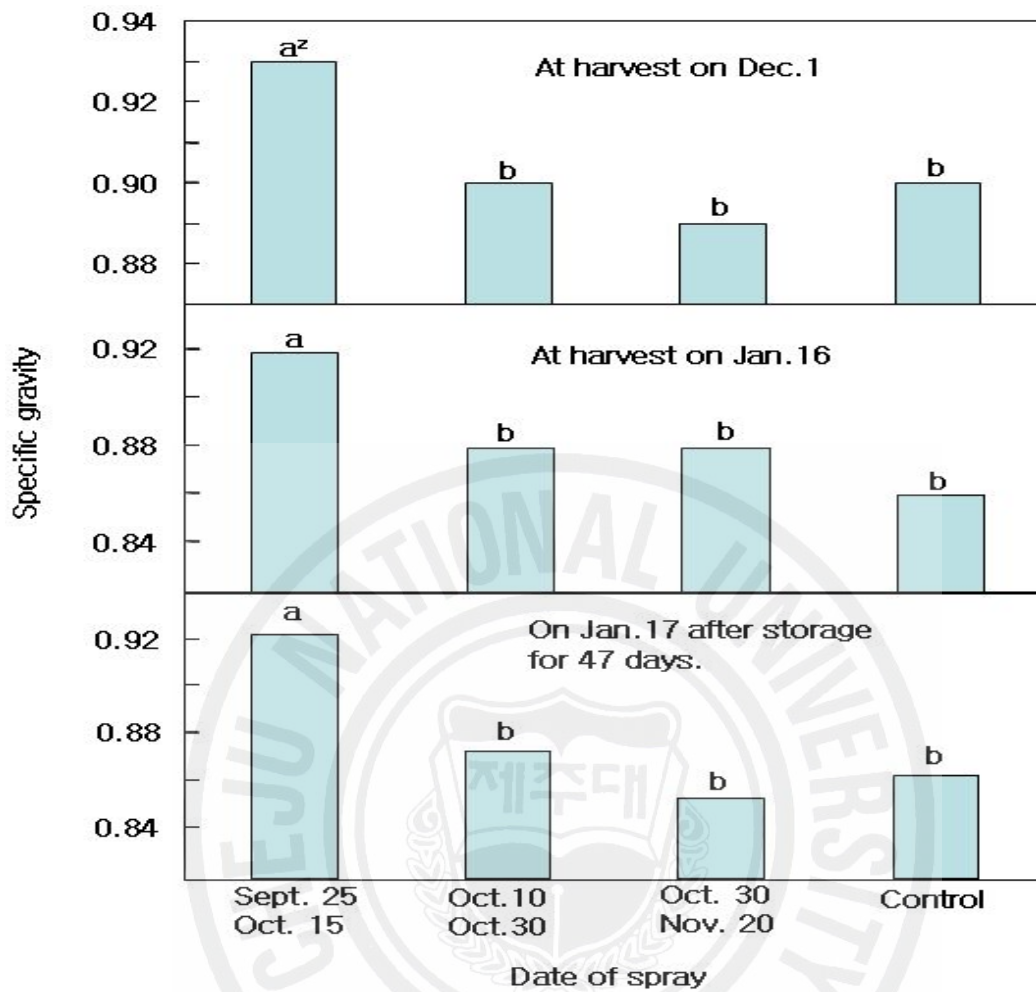


Fig. 11. Changes in specific gravity of fruit as affected by the date of foliar spray of GP in 'Miyagawa wase' satsuma mandarin. ^zMean separation by DMRT at 5% level within the same date of observation.

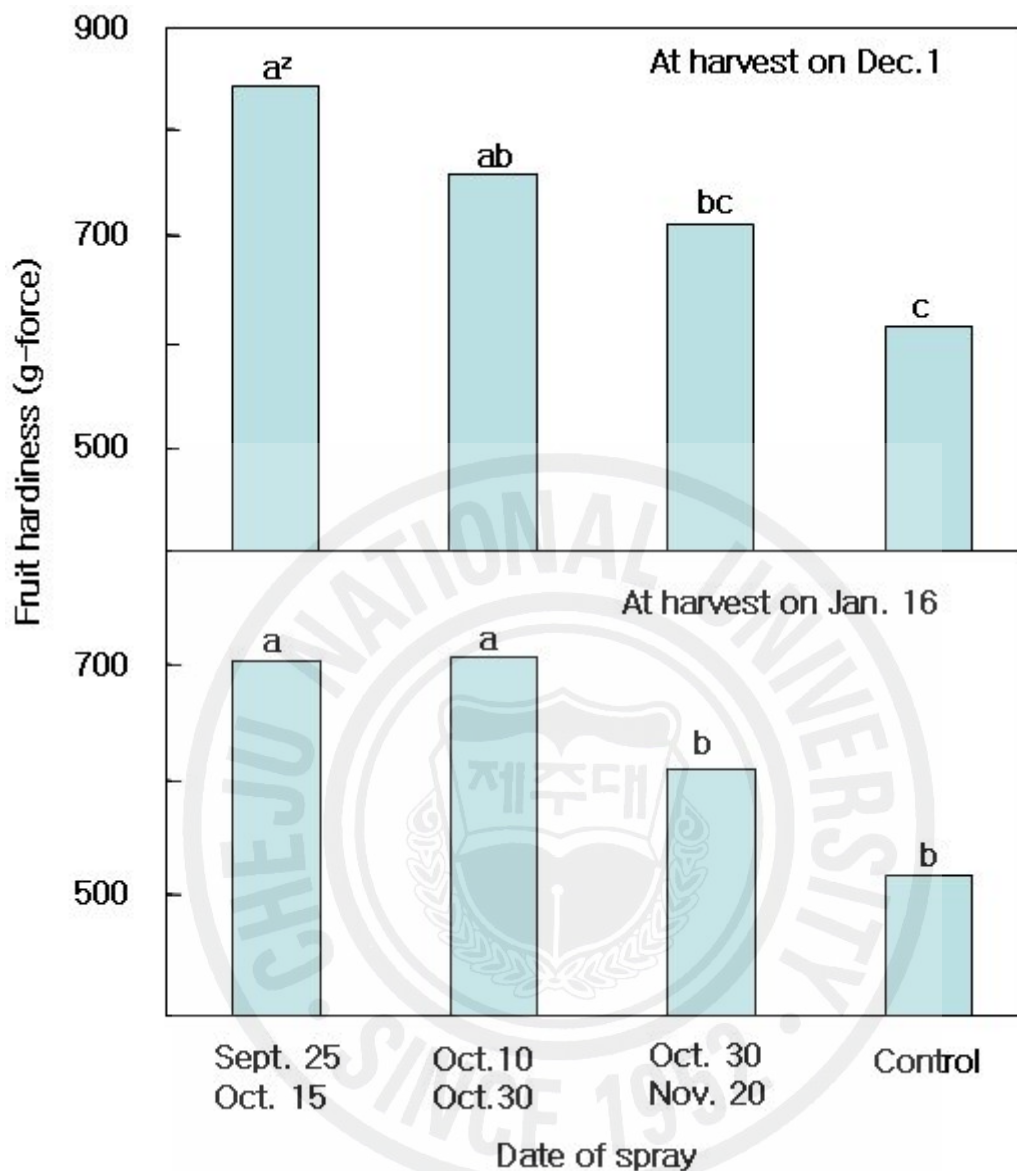


Fig. 12. Changes in fruit hardness of fruit as affected by the date of foliar spray of GP in 'Miyagawa wase' satsuma mandarin. ^zMean separation by DMRT at 5% level within the same date of observation.

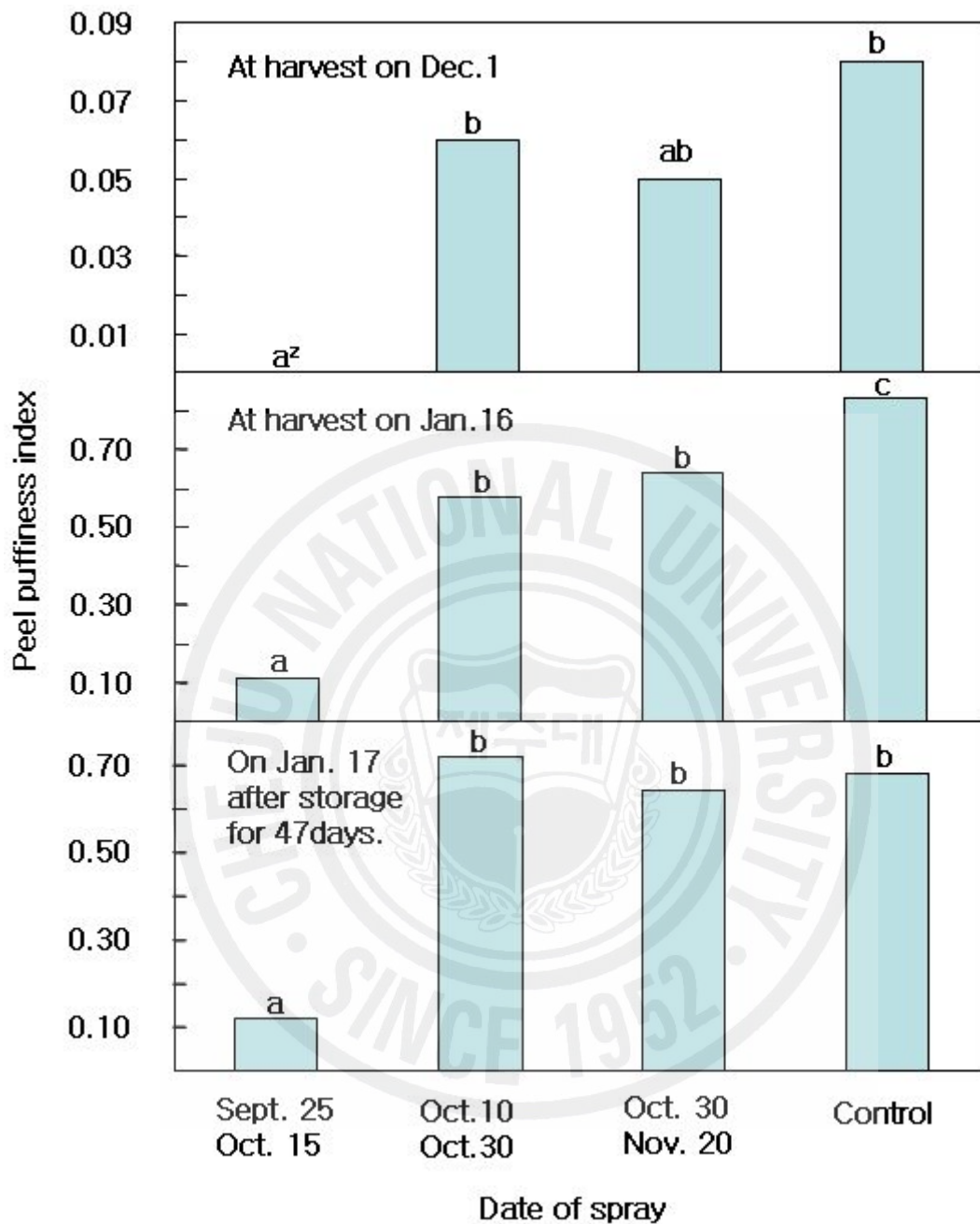


Fig. 13. Changes in peel puffiness of fruit as affected by the date of foliar spray of GP in 'Miyagawa wase' satsuma mandarin. ^zMean separation by DMRT at 5% level within the same date of observation.

포는 효과가 없었다. 착색개시 직전 GA₃ 살포로 밀감류의 부피발생을 억제할 수 있다(Garcia-Luis 등, 1985; Kuraoka 등, 1977; Pozo 등, 2000). Kim(2002)은 10월 중순 이후 GP 살포는 부피 감소 효과가 분명하지 않았다고 하였다. 이 시험에서 9월 25일 GP 살포구만이 부피발생을 현저하게 감소시켰고 10월 10일 이후 살포는 부피경감 효과를 인정할 수 없었다.

이상의 결과를 종합해보면 GP 살포효과인 과피 두께 감소, 과육율 증가, 과즙의 당도와 적정산 함량 증가, 과피 착색 지연, 과실 비중 증가, 부피 지수 감소 등은 살포시기가 가장 빨랐던 9월 25일 살포에서 뚜렷하였고 그 이후의 살포에서는 효과가 없거나 적었다. 11월 상순이 되면 알베도의 세포간극이 커지고 안쪽으로부터 점차 붕괴가 시작되며 플라베도는 비교적 늦게 까지 세포 분열의 능력이 있지만 이시기는 생장이 멈추지만 비와 이슬에 노출되면 수분을 흡수하여 현저히 팽창하므로 알베도는 완전히 붕괴하여 공극이 크게 되어 부피가 발생한다(Kuraoka, 1962). 형태적으로 부피가 관찰되는 시기는 11월 상순일 수 있지만 생리적 변화는 그 이전에 이루어질 것이다. 따라서 GP도 GA₃와 마찬가지로 부피방지를 위한 적정 살포시기는 과피착색이 시작되기 직전인 9월 하순이라고 결론되었다.

2.2. GA₃와 GP 살포가 부피발생과 과피 성분에 미치는 영향

과실의 횡경, 종경, 과중 그리고 과피두께 등 과실의 생장은 GA₃ 또는 GP 엽면살포의 영향을 받지 않았다(Table 11). 착색개시 직전 GA₃ 살포는 감귤류의 과피 생장을 감소시킨다는 것은 널리 알려져 있으며(Baez-Sañudo 등, 1992; Fidelibus 등, 2002; Garcia-Luis 등, 1985; Kuraoka 등, 1977; Pozo 등, 2000), 이 연구에서 GP 살포시기별 시험에서도 종경, 횡경, 과중 등 과실의 전체적인 생장은 GP 살포의 영향을 받지 않았으나 착색개시 직전인 9월 25일부터 살포한 처리에서는 과피 두께가 얇아지고 과육율이 높아졌다. 이 시험은 앞의 시험과는 포장위치가 다르고 시험연도도 달랐는데 GA₃ 또는 GP가 과피생장에 미치는 영향은 포장조건에 따라 달라진다고 생각되었다.

과즙 내 당도 및 산 함량의 변화를 조사한 결과(Table 12) 전반적으로 GA₃ 또는 GP 살포구에서 과즙 내 당도가 증가되어 수확시 다소 높았으나 처리 간 통계적 유의차는 인정되지 않았다. 한편 산 함량은 조사기간에 서서히 감소되었는데, GA₃ 또는 GP 살포구에서 감소 속도가 느려 특히 12월 23일 GA₃ 살포구에서 과즙 내 산 함량이 유의하게 높았다. GA₃ 살포는 과실 내부 품질에는 영향을 미치지 아니 한다고 알려져 있으며(Baez-Sañudo 등, 1992; Davies 등, 1999; El-Otmani와 Coggins, 1991; Pozo 등, 2000), GP 살포도 과즙의 당도와 산 함량에 영향이 없다고 보고되어 있으나(Kim, 2002), 이 연구 GP 살포시기별 시험에서도 9월 25일 GP 살포로 과즙의 당도와 산 함량이 유의하게 증가되었는데 이 시험에서도 GA₃ 단독 살포 보다는 GP 살포가 당도를 더 증가시켰다. GA₃ 살포에 의해 산 함량이 높아진 것은 노화가 억제되어 과실 성숙이 지연된 결과로 추정된다.

과피색의 현터 a 값은(Fig. 14) 대조구에서 10월과 11월에 급상승하여 30 정도로 되어 이후 비슷한 값이 유지되었는데 GA₃ 단독 또는 GP 살포구에서는 상승속도가 현저히 감소되어 12월 23일 조사에서도 유의하게 대조구보다 낮았으며, GA₃ 단독 살포와 GP 살포 사이에는 유의차가 없었다.

Table 11. Effect of the foliar spray of GA₃ and GP on fruit growth of 'Miyagawa Wase' satsuma mandarin.

Treatment ^z	Date of observation					
	Sep. 25	Oct. 25	Nov. 24	Dec. 23	Jan. 31	Mar. 16
	Transversal diameter (mm)					
Control	56.9	57.6	59.7	59.2	60.9	58.5
GA ₃	56.7	60.4	58.3	58.9	59.9	59.4
GP	58.0	58.1	58.2	61.3	61.7	59.8
	Longitudinal diameter (mm)					
Control	47.5	46.9	48.6	48.2	49.4	47.9
GA ₃	46.6	47.4	45.5	47.1	46.1	47.3
GP	46.7	46.2	46.7	47.8	46.7	46.2
	Fruit weight (g)					
Control	82.1	84.3	87.6	90.4	87.6	79.3
GA ₃	82.1	94.5	86.3	88.3	86.3	85.0
GP	86.0	86.5	87.1	97.0	87.1	85.0
	Peel thickness (mm)					
Control	2.3	2.5	2.6	2.8	2.6	2.8
GA ₃	2.3	2.5	2.7	2.9	2.7	2.9
GP	2.2	2.3	2.4	2.7	2.4	2.7

NS within column of each item.

^zGA₃ at 10mg · L⁻¹, and GP (the mixture of GA₃ and PDJ at 10mg · L⁻¹ each) were twice sprayed on Sept. 25 and Oct. 15.

Table 12. Effect of the foliar spray of GA₃ and GP on the contents of total soluble solid and titratable acid as citric in juice of 'Miyagawa Wase' satsuma mandarin fruit.

Treatment ^z	Date of observation					
	Sep. 25	Oct. 25	Nov. 24	Dec. 23	Jan. 31	Mar. 16
Total soluble solids (°Brix)						
Control	7.3	9.5	11.3	11.0	11.3	11.9
GA ₃	7.6	9.3	11.3	11.4	12.1	12.2
GP	8.0	9.7	11.7	11.7	11.8	13.1
Titratable acid contents (%)						
Control	1.25	1.07	0.96	0.80b ^y	0.78	0.85
GA ₃	1.22	1.14	1.02	0.90a	0.82	0.84
GP	1.19	1.11	1.00	0.88ab	0.84	0.76

^zSee Table 11.

^yMean separation by DMRT at 5% level within column of each item.

Values without the following letters are not significant.

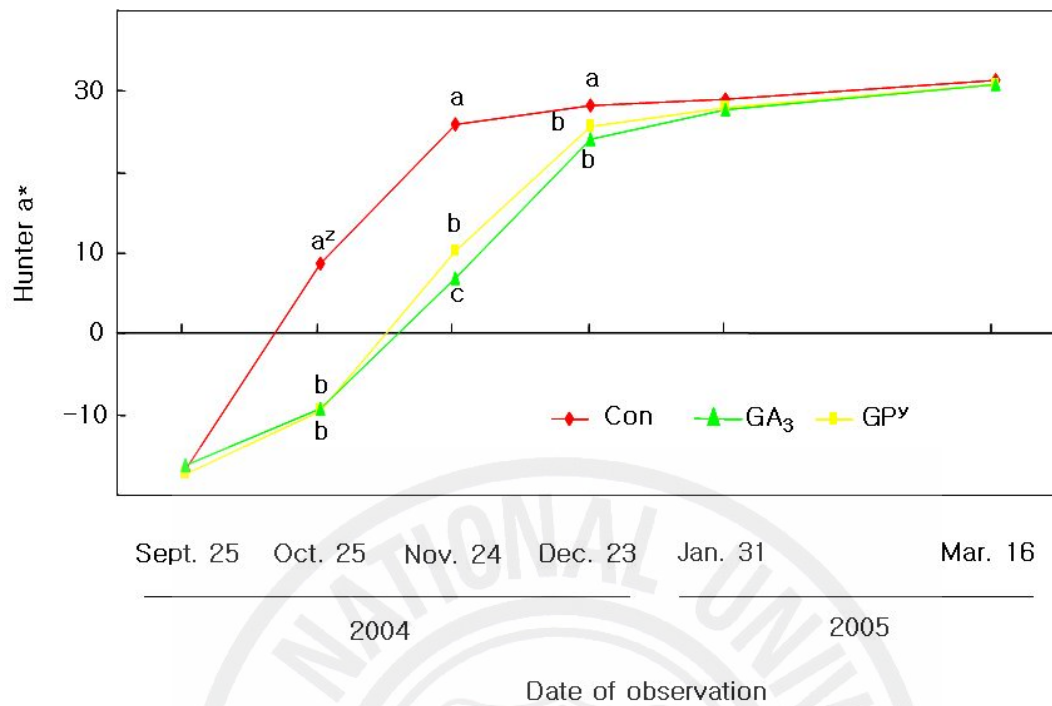


Fig. 14. Changes in peel color of 'Miyagawa Wase' satsuma mandarin as affected by GA₃ and GP. ^zMean separation by DMRT at 5% level within the same date. No significant difference was recognized on the date without letter. ^ySee Table 11.

즉 대조구는 11월 하순에 거의 착색이 완료되었는데 GA₃ 단독 또는 GP 살포구는 12월 23일 조사에서도 착색이 덜 된 상태였으며 1월에도 과피에 일부 녹반이 남아있었는데 3월 16일 조사에서는 과피색에 처리간 차이가 관찰되지 않았다. GA₃ 살포로 과피 착색이 지연된다는 것은 잘 입증되어 있으며 (Baez-Sañudo 등, 1992; Davies 등, 1999; El-Otmani와 Coggins, 1991; Pozo 등, 2000), GP 살포시기 시험에서도 착색개시 직전 살포에서 착색지연 효과가 뚜렷하였던 것과 마찬가지로 이 시험에서도 GA₃ 단독 또는 GP 살포는 과피의 착색을 현저히 지연시켰으며 GA₃ 단독 살포와 GP 살포 사이에는 착색지연 효과에 차이가 없다는 것을 확인할 수 있었다. 실용적인 면에서는 12월과 1월에 주로 출하하는 노지밀감에서는 GA₃ 단독 또는 GP 살포는 착색 불완전에 의한 과피의 녹반 때문에 사용할 수 없으나 3월 이후에 출하하는 월동수확 감귤에는 실용화 가능성이 있다고 판단된다.

과실 비중의 경시적 변화(Fig. 15)는 전반적으로 9월 하순 이후 성숙기에 접어들면서 서서히 감소되었는데 GA₃ 단독 또는 GP 살포는 감소 속도를 늦추었다. 11월 24일 조사에서 GA₃ 단독 또는 GP 살포구에서는 비중이 대조구에 비하여 유의하게 높았으며 그 차이는 이후 계속되었다. 대조구의 비중은 11월 24일에 이미 부피발생 분기점인 0.9(Torigata, 1968) 이하로 되어서 부피가 진전되고 있음을 추정할 수 있었고 GA₃ 단독 또는 GP 살포구에서는 12월 23일 까지도 0.9 이상이였다. GA₃ 단독 살포에서보다 GP 살포에서 비중이 낮아지는 경향이였지만 유의차는 없었다.

부피지수(Fig. 16)는 10월 25일에는 모든 처리에서 0(영)이었으나 이후 대조구에서는 급격히 상승하여 11월 24일에는 0.6(모든 과실 평균으로 과경부에서 적도 가까운 부위까지 과피와 과육이 분리된 정도)으로 되었으며 12월 23일 이후는 0.7(적도 부위 너머서 까지 분리) 정도였다. GA₃ 단독 또는 GP 살포구에서는 다 같이 부피지수 증가가 유의하게 감소되어 11월 24일에는 0.1 내외였고 12월 이후 0.5 정도였다. 부피된 과실의 비율을 조사한 결과(Fig. 17) 10월 25일에는 부피지수 조사결과와 마찬가지로 모든 처리에서 0(영)이었으나

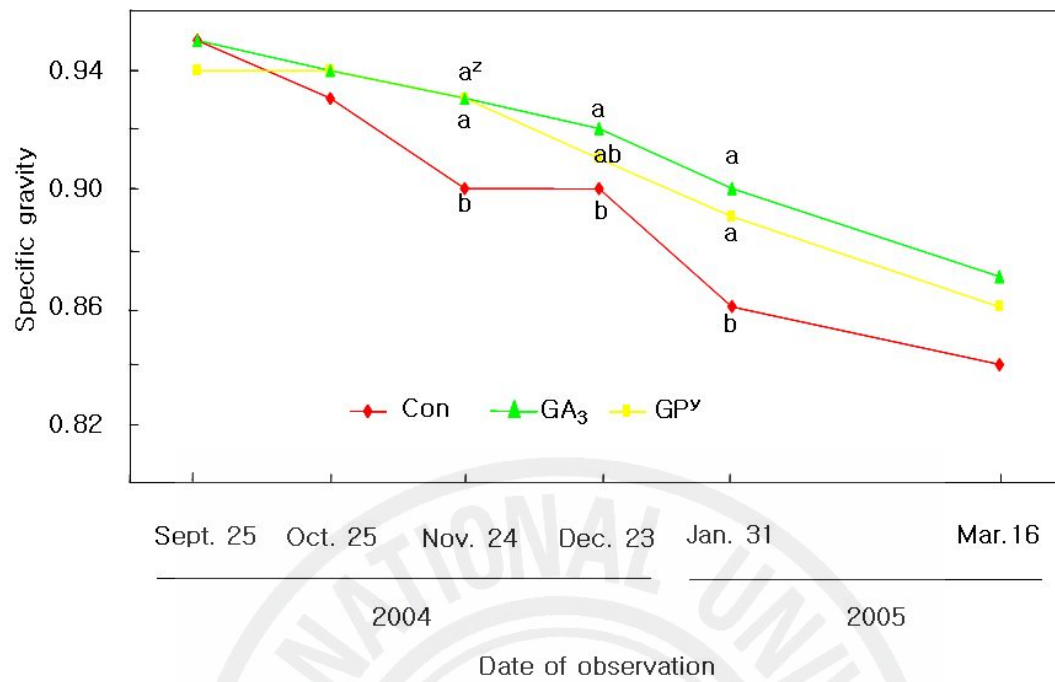


Fig. 15. Changes in specific gravity of 'Miyagawa Wase' satsuma mandarin fruit as affected by GA₃ and GP. ^zSee Fig. 14. ^ySee Table 11.

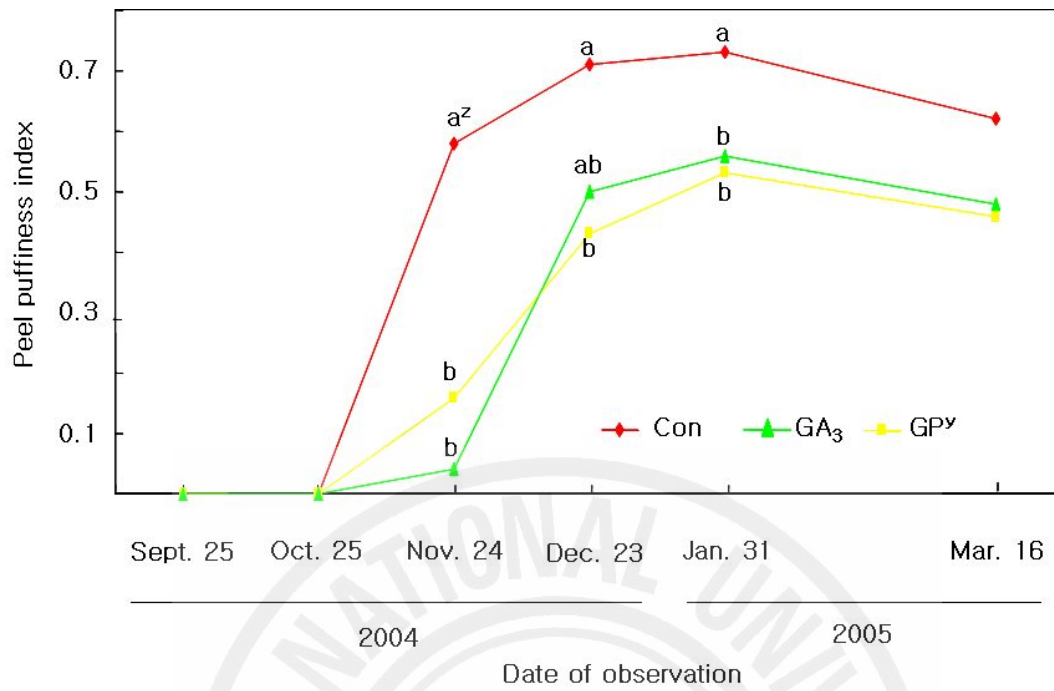


Fig. 16. Changes in peel puffiness index of 'Miyagawa Wase' satsuma mandarin as affected by GA₃ and GP. ^zSee Fig. 14. ^vSee Table 11.

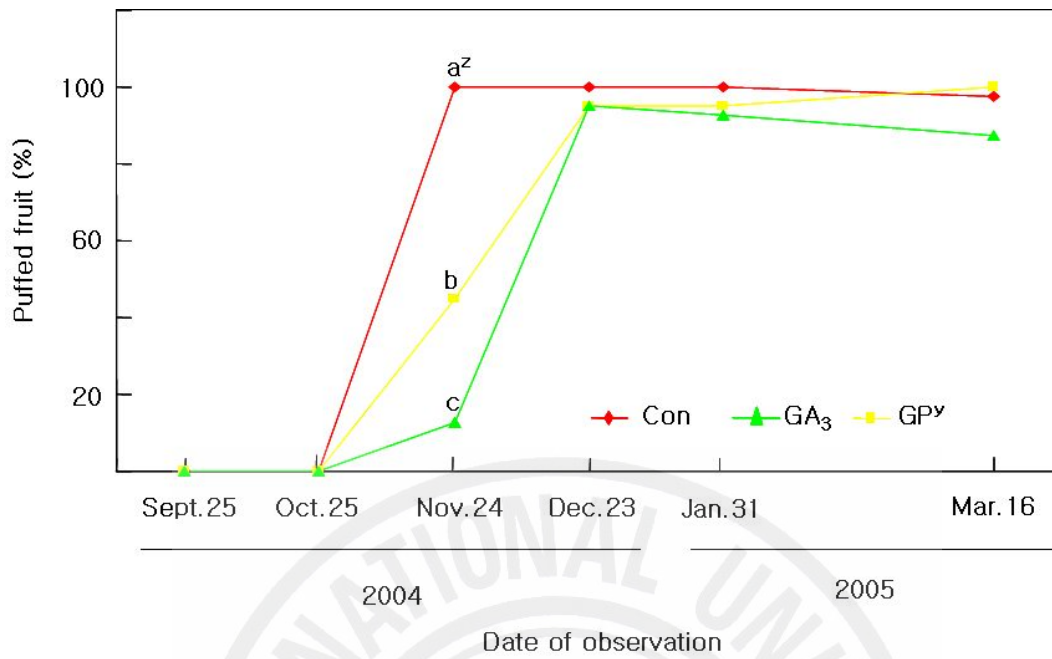


Fig. 17. Changes in percent puffed fruits of 'Miyagawa Wase' satsuma mandarin as affected by GA₃ and GP. ^zSee Fig. 14. ^ySee Table 11.

11월 24일 대조구에서는 100%에 가까웠고 GA₃ 단독 또는 GP 살포구에서는 각각 60%와 40% 수준이었으며 12월 이후는 모든 처리에서 100%에 가까웠다. 착색개시 직전 GA₃ 살포로 밀감류의 부피발생을 억제할 수 있다 (Garcia-Luis 등, 1985; Kuraoka 등, 1977; Pozo 등, 2000). 이 시험에서도 착색개시 직전인 9월 하순 GA₃ 단독 살포 또는 GP 살포에 의해서 부피발생을 유의하게 감소시킬 수 있었다. 억제효과가 부피과율에서 보다 부피지수에서 현저하게 나타난 것은 부피발생을 근본적으로 차단하기 보다는 부피 진전을 억제하는 효과가 크다는 것을 보여주는 것이라고 생각된다. 또한 부피억제 효과에 GA₃ 단독과 GP 사이에는 유의차가 인정되지 않았다.

과피내의 유리당 농도(Table 13)는 조사일자에 따라서 다소 다르긴 하였지만 전반적으로 과당, 포도당, 자당 등 모든 당이 GA₃ 단독 또는 GP 살포에 의하여 감소되는 경향이었으며 특히 그 경향은 부피 정도의 처리간 차이가 컸던 11월과 12월에 뚜렷하여 부피과의 과피에는 당이 많다는 기존의 보고 결과 (Kawase와 Hirai, 1983, Kuraoka 등, 1976)와 일치하였다.

과피내의 무기원소 함량(Table 14)은 질소, 인, 칼륨은 처리 간 차이에 일정한 경향이 없었으며 칼슘과 붕소는 다 같이 부피지수에 차이가 가장 컸던 11월 24일 분석에서 GA₃ 단독 또는 GP 살포에 의하여 증가되었다. 부피된 온주밀감의 과피에서 칼슘 함량은 감소하고(Kuraoka 등, 1975), 오렌지에서 creasing은 칼슘 및 칼륨 결핍과 관련이 있다(Bower, 2000a). 대부분의 칼슘은 중층에 펙틴 성분 및 단백질 성분과도 결합되어 세포벽을 강하게 만들며, 조직이 노화되면 중층은 분해되고 펙틴 성분은 유리되는데(Iwahori 등 1994; Shin과 Kim, 1996), 칼슘 공급으로 과피내 칼슘이 많아지면 성숙과 더불어 수용성 펙틴으로 분해되는 속도가 지연되고 이로 인하여 세포결합력을 약화시키는 효소의 활성이 억제되어 과피의 연화 속도가 느려져 부피발생이 감소된다 (Kim과 Kim, 1999; Kawase와 Hirai, 1983). 따라서 GA₃ 단독 또는 GP 살포에 의한 과피 내 칼슘 함량의 증가는 부피발생 억제와 관련이 있다고 판단되었다. 과피내의 polygalacturonase(PG) 활성은 Fig. 18에서 보는 바와 같이

Table 13. Effect of the foliar spray of GA₃ and GP on the concentration of free sugars in fruit peel of 'Miyagawa Wase' satsuma mandarin.

Treatment ^z	Date of observation					
	Sep. 25	Oct. 25	Nov. 24	Dec. 23	Jan. 31	Mar. 16
	Fructose (%)					
Control	0.13ab ^y	0.36a	0.45a	0.53a	0.53	0.56
GA ₃	0.11b	0.34a	0.36b	0.44b	0.53	0.51
GP	0.15a	0.29b	0.41ab	0.46b	0.54	0.55
	Glucose (%)					
Control	0.10	0.32	0.40	0.44a	0.47	0.43
GA ₃	0.09	0.32	0.33	0.40b	0.46	0.43
GP	0.10	0.29	0.36	0.43ab	0.48	0.46
	Sucrose (%)					
Control	0.18	0.33a	0.45	0.48	0.39	0.37
GA ₃	0.17	0.31ab	0.36	0.42	0.42	0.44
GP	0.20	0.27b	0.33	0.48	0.42	0.43
	Total sugar (%)					
Control	0.41	1.01a	1.29a	1.45a	1.39	1.35a
GA ₃	0.37	0.97ab	1.06b	1.25b	1.42	1.38a
GP	0.44	0.86b	1.10b	1.37ab	1.44	1.44a

^zSee Table 11.

^yMean separation by DMRT at 5% level within column of each item.

Values without the following letters are not significant.

Table 14. Effect of the foliar spray of GA₃ and GP on the concentration of mineral elements in fruit peel of 'Miyagawa Wase' satsuma mandarin.

Treatment ^z	Date of observation					
	Sep. 25	Oct. 25	Nov. 24	Dec. 23	Jan. 31	Mar. 16
	T-N (%)					
Control	1.07	0.88	0.83	0.78	0.82	0.77
GA ₃	1.04	0.90	0.82	0.81	0.79	0.76
GP	1.05	0.90	0.84	0.76	0.78	0.73
	P (ppm)					
Control	4.84	4.22ab	3.97	4.41	4.74ab	4.49
GA ₃	4.88	3.86b	4.18	4.39	4.27b	4.76
GP	4.84	4.56a	4.41	4.32	4.99a	4.81
	K (ppm)					
Control	92.70a ^y	81.04	66.05	73.25	76.02	75.41
GA ₃	85.52ab	69.16	75.91	66.57	70.18	67.66
GP	77.26b	78.28	72.08	66.14	68.59	70.51
	Ca (ppm)					
Control	68.20	58.08	40.96b	39.52	40.70	36.93
GA ₃	73.50	55.85	45.50ab	45.97	39.00	34.17
GP	73.25	61.15	47.63a	44.02	42.77	40.22
	B (ppm)					
Control	0.20	0.21	0.15b	0.17	0.18	0.18
GA ₃	0.20	0.20	0.19a	0.17	0.17	0.18
GP	0.19	0.20	0.19a	0.17	0.19	0.18

^zSee Table 11.

^yMean separation by DMRT at 5% level within column of each item.

Values without the following letters are not significant.

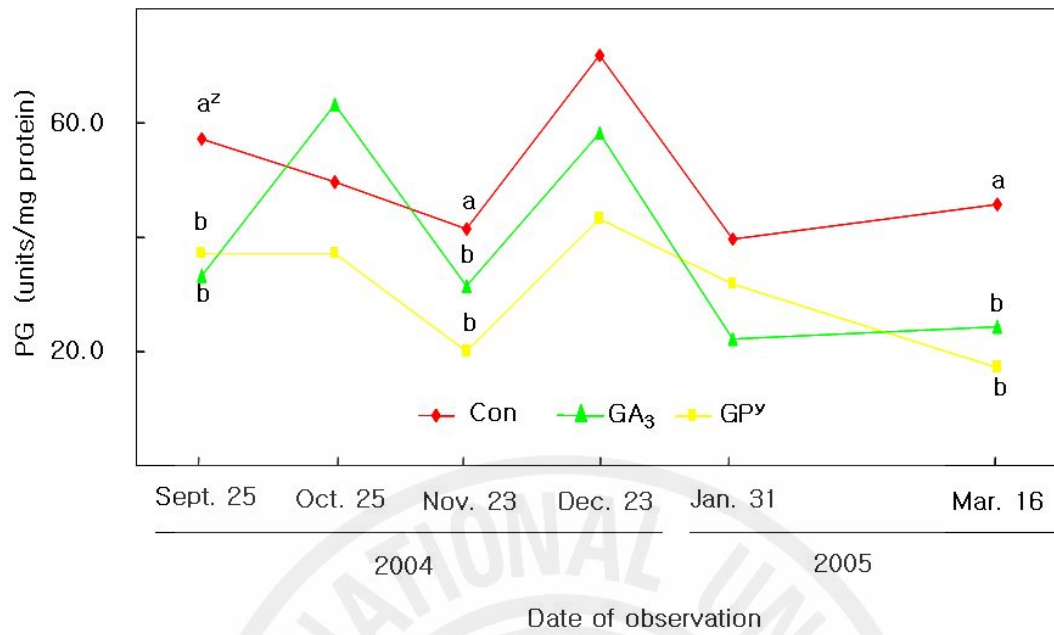


Fig. 18. Changes in the activity of polygalacturonase (PG) in peel of 'Miyagawa Wase' satsuma mandarin as affected by GA₃ and GP.
^zSee Fig. 14. ^ySee Table 11.

경시적 변화에는 일정한 경향이 없었지만 GA₃ 단독 또는 GP 살포에 의하여 유의하게 감소되었다. 특히 부피억제효과가 크게 나타났던 11월과 12월에는 GA₃ 단독 살포보다도 GP 살포에 의하여 더욱 감소되는 경향이였다. 과피내의 pectin methylesterase(PME) 활성은 대조구에서는 11월까지 급격히 증가되었다가 이후 감소하였는데(Fig. 19) GA₃ 단독 또는 GP 살포구에서는 11월까지 증가하지 않았다가 이후 서서히 증가하여 11월 24일에는 대조구에 비하여 유의하게 낮았다가 다음해 3월에는 오히려 높아졌다. 부피현상은 펙틴질의 질적 및 양적 변화의 결과인 것으로 이해되고 있는데(Nagy 등, 1977), 세포벽 붕괴에는 PG가 결정적인 역할을 하며(Eckert와 Eaks, 1989) 감귤의 알베도 조직 분해에는 PG 활성이 중요하다(Pretel 등, 2005). Shin과 Kim(1996)에 의하면 과실의 성숙 중에는 PG, PME, glycosidase, cellulase 등의 효소 활성이 증가하고 토마토 연화중에는 PG에 의해 펙틴이 분해되어 가용성 펙틴이 증가하며 PME는 PG의 작용을 용이하게 해준다. 즉 PME 활성의 증가는 PG의 펙틴질 분해를 촉진한다(Anthon 등, 2002). PME 효소는 감귤의 세포벽 구조 변성을 일으키고(Arias 등, 2000), 감귤 펙틴은 endo-PG에 의해 분해된다(Zhan 등, 1998). 발렌시아 오렌지에서 열과는 PME 활성과 그리고 칼슘펙테이트(총펙틴)에 대한 수용성 칼슘의 비율과 밀접한 관련이 있다(Bower 등, 1992). Kang 등(2000)은 11월 수확한 온주밀감 저장시 과피의 PG 활성은 90일까지 증가하였다가 감소하였으며 PME 활성은 60일까지 크게 증가했다가 이후 크게 감소하였다고 하였다. 나무에 달린 상태로 경시적 변화를 관찰한 이 시험 결과는 저장 중 변화와 비교할 수는 없다. GA₃ 단독 살포 또는 GP 살포는 부피가 급속히 진전되는 시기 PME와 PG 모두의 활성 억제를 통하여 펙틴 분해를 지연시키고 따라서 알베도 붕괴를 지연시켜 부피발생을 지연시키는 것이라고 판단되었다.

과피내 수용성 펙틴 함량은 Fig. 20에 나타난 바와 같이 모든 처리에서 서서히 증가하다가 12월부터는 대조구의 증가가 빨라져 1월에 최고치에 도달한

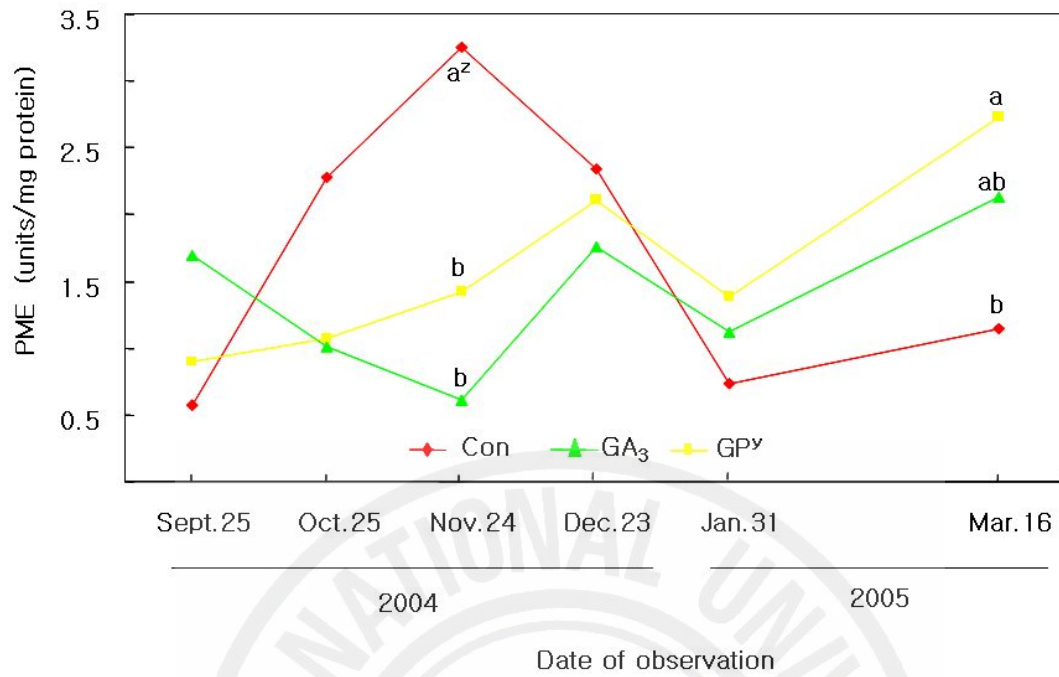


Fig. 19. Changes in the activity of pectin methylesterase (PME) in peel of 'Miyagawa Wase' satsuma mandarin as affected by GA₃ and GP. ^zSee Fig. 14. ^ySee Table 11.

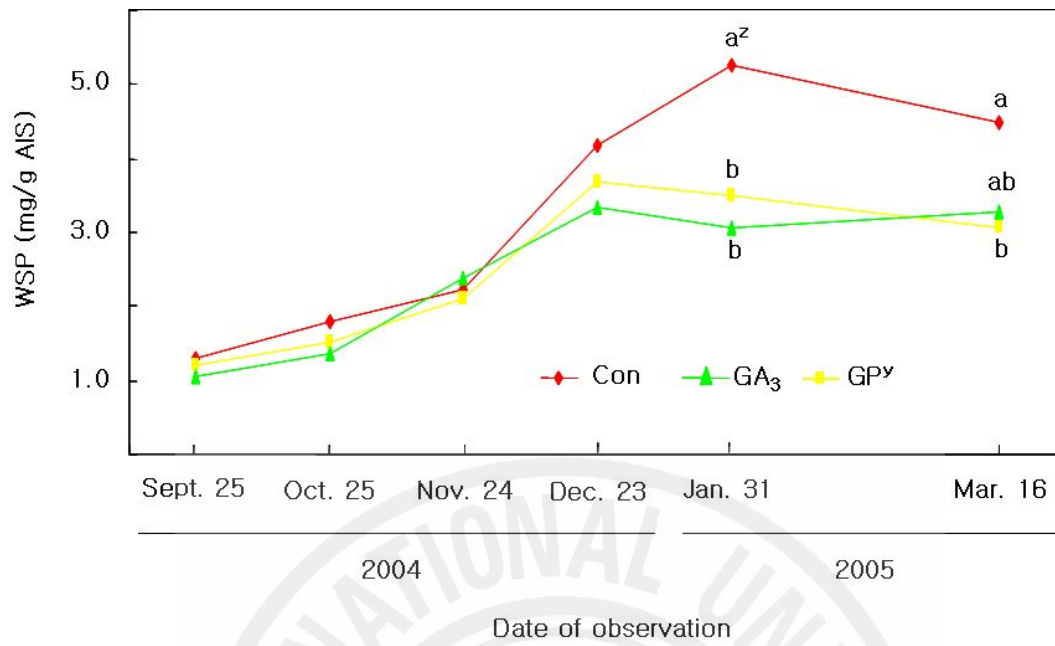


Fig. 20. Changes in the contents of water-soluble pectin (WSP) in peel of 'Miyagawa Wase' satsuma mandarin as affected by GA₃ and GP.

^ZSee Fig. 14. ^ySee Table 11.

후 감소되었는데 GA_3 단독 또는 GP 살포구에서는 증가 속도가 12월까지 그 대로 유지되다가 이후 오히려 감소하여 1월에는 대조구와 유의한 차이를 보였다. 과피내 EDTA 가용성 펙틴 함량(Fig. 21)은 모든 처리에서 12월까지 서서히 증가하다가 대조구에서는 1월에 급격히 감소한 반면 GA_3 단독 살포구는 이후 별 변화 없이 다른 처리구에 비하여 높게 유지되었으며 GP 살포구에서는 서서히 감소되었다. 그 결과 1월의 EDTA 가용성 펙틴 함량은 GA_3 단독 살포구와 GP 살포구에서 비슷하게 대조구의 2배 정도로 높았으며 3월에는 GA_3 단독 살포구에서 가장 높고 GP 살포구와 대조구는 비슷하게 낮았다. 과피내 불용성 펙틴 함량은 시기별 그리고 처리별 변화에 일정한 경향이 없었다 (Table 15). 특이한 것은 약제 살포 직후에 시료를 채취했던 9월 25일 분석에서 GP 살포구의 불용성 펙틴 함량이 다른 처리에 비하여 유의하게 높게 나타났는데 약제 살포 후 과실을 채취하여 과실 형질을 조사하고 시료를 조제하는 약 12 시간 동안 펙틴 함량에 변화가 일어났는지는 금후 검토되어야 할 과제이다.

Daito와 Sato(1984)에 의하면 흥진조생의 9월초부터 12월말까지 과피내 수용성 펙틴과 sodium hexametaphosphate 가용성 펙틴 함량은 증가하나 sodium hydroxide 가용성 펙틴은 감소한다. Maotani 등(1983)은 에틸렌은 부피발생을 조장하는데 알베도내의 수용성 펙틴 함량을 증가시켰고 0.4% sodium hexametaphosphate 가용성 펙틴과 0.05N hydrochloric acid 가용성 펙틴 함량은 감소시켜 총 펙틴 함량에는 변화가 없었다고 하였다. 이 시험에서 GA_3 단독 또는 GP 살포가 수용성 펙틴 함량을 낮추고 EDTA 가용성 펙틴 함량을 높인 것은 부피억제와 관련하여 기존의 보고와 같은 경향이라고 생각된다.

부피발생 원인은 강우 후나 다습조건에서는 과피의 흡수에 의한 팽윤에 의하기도 하지만(Kuraoka, 1962), 일반적으로는 과육생장이 멈추었는데도 과피의 생장이 계속되어(Kawase와 Hirai, 1983) 알베도부분이 붕괴되기 때문이다. 알베도가 붕괴되는 직접적인 원인이 과육과 과피 사이에 생기는 장력 때문이라 할지라도 그 전제로서 알베도층의 연화가 있어야 한다. 에틸렌이 부피

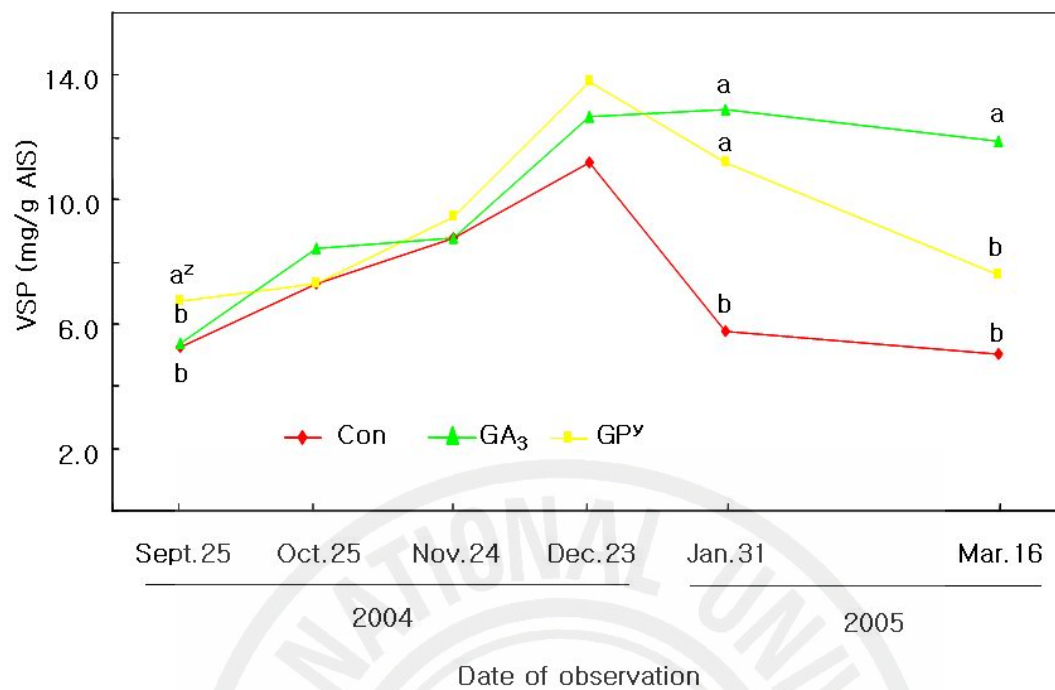


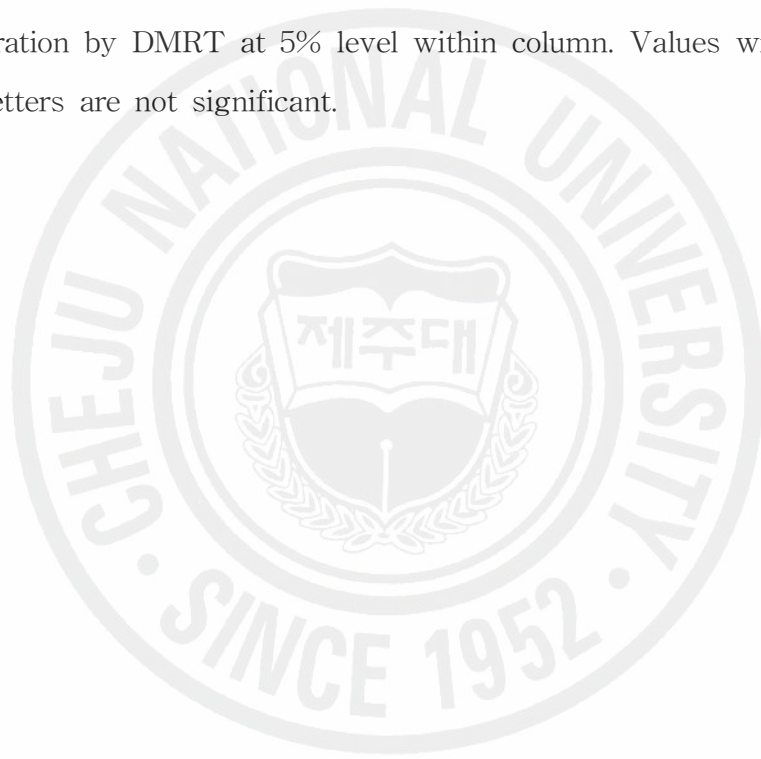
Fig. 21. Changes in the contents of EDTA-soluble pectin (VSP) in peel of 'Miyagawa Wase' satsuma mandarin as affected by GA₃ and GP. ^zSee Fig. 14. ^vSee Table 11.

Table 15. Effect of the foliar spray of GA₃ and GP on the contents of insoluble pectin in 'Miyagawa Wase' satsuma mandarin peel.

Treatment ^z	Insoluble pectin (mg/g AIS)					
	Sept. 25	Oct. 25	Nov. 24	Dec. 23	Jan. 31	Mar. 16
Control	3.01b ^y	1.48	14.87a	10.08	3.17	6.75
GA ₃	4.13ab	1.42	14.13a	7.21	3.15	12.56
GP	7.08a	1.63	9.05b	6.55	3.46	9.08

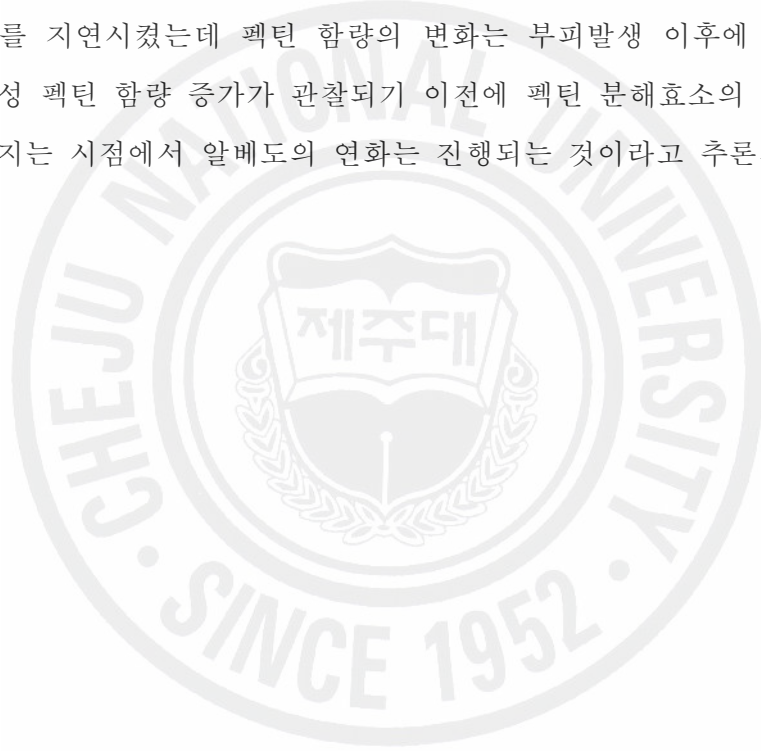
^zSee Table 11.

^yMean separation by DMRT at 5% level within column. Values without the following letters are not significant.



를 조장하는 것은 펙틴 분해효소의 활성을 높여 펙틴질의 변화에 관여하기 때문이며(Maotani 등,1983), 옥신계통인 ethychlozate의 착색초기 살포는 부피발생을 억제하였는데 수용성펙틴 함량을 감소시키고 0.4% sodium hexameta-phosphate 가용성 펙틴과 0.05N-HCl 가용성 펙틴 함량을 증가시켰다(Kawase 등, 1985).

이 시험에서 GA₃와 PDJ의 상호작용(Koshioka 등, 2005)은 인정되지 않았다. GA₃ 단독 살포 또는 GP 살포는 부피발생을 지연시키고 그 시기 PG와 PME 활성을 억제하여 수용성 펙틴 함량을 증가시키고 EDTA 가용성 펙틴 함량의 감소를 지연시켰는데 펙틴 함량의 변화는 부피발생 이후에 뒤따랐다. 따라서 가용성 펙틴 함량 증가가 관찰되기 이전에 펙틴 분해효소의 활동이 활발히 이루어지는 시점에서 알베도의 연화는 진행되는 것이라고 추론되었다.



V. 적요

제주도 조생 온주밀감 품질 향상을 위하여 가장 중요시되는 과즙내 당 함량 증가와 부피억제 기술 개발을 위한 기초 자료를 얻기 위하여 토양건조 처리 시기와 생장조절제 처리에 대한 시험을 수행한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 토양 건조처리 시기가 과즙의 당 집적에 미치는 영향

화분에 심은 탕자대목 홍진조생 온주밀감(*Citrus unshiu* cv. Okitsu Wase)을 공시하여 과실 횡경 30mm 정도인 7월 21일부터 수확일인 11월 20일까지 전 기간 최고 잎수분포텐셜(ψ_{max}) $-0.3 \sim -0.4$ MPa 정도의 적습(WW), 전 기간 ψ_{max} $-0.6 \sim -0.7$ MPa 정도의 건조(DD), 7월 21일부터 9월10일까지 50일 간 건조(DW), 10월 1일부터 11월 20일까지 50일 간 건조(WD) 등 4처리를 두어 과실의 생장과 더불어 과실 성숙기에 과즙의 유리당 농도와 당 관련 효소인 sucrose synthase(SS)와 sucrose phosphate synthase(SPS) 활성을 분석하였다.

1.1. 건조처리는 과실의 비대를 억제하였지만 건조 후 적습 조건에서 비대가 왕성하여 수확시 과경과 과중은 DW구에서 가장 컸다.

1.2. 과즙의 과당과 포도당 농도는 건조에 의하여 증가하였으며 그 증가량은 건조기간이 길어도 변하지 않았으며 건조에서 적습으로 바뀌면 건조에 의한 증가 효과가 없어졌다. 자당 농도도 건조에 의하여 증가되었는데 그 증가량은 건조기간이 길수록 커졌으며 적습으로 바뀌어도 일단 증가된 효과는 없어지지 않았다.

1.3. 건조에 의해 SS와 SPS 활성이 증가되었는데 그 변화 양상은 자당 보다 과당이나 포도당과 비슷하였다.

1.4. SS의 활성 차이는 건조에 의한 수용부위 강도 증가량을, 육탄당의 증가량은 삼투조절 기작의 작동 정도를 나타내주며, 자당 축적의 증가는 건조에 의한 수용부위 강도 증가의 결과가 축적된 것이라고 생각되었다.

2. 성장 조절제 살포가 부피발생에 미치는 영향

지베렐린(GA₃)과 n-propyl dihydrojasmonate(PDJ)의 혼합액(GP, 성분으로 각 10 mg/L) 엽면살포 적기를 구명하기 위하여 25년생 노지 궁천조생 온주밀감(*Citrus unshiu* cv. Miyagwa Wase)에 착색개시 직전인 9월 25일과 10월 15일, 착색이 10%정도 진행된 10월 10일과 30일, 착색이 60%정도 진행된 10월 30일과 11월 20일로 살포일자를 달리하여 각 2회 수관전체에 살포하여 부피발생을 위주로 과실의 형질을 조사하였다. 또한 무가온 하우스에서 재배하고 있는 홍진조생에 9월 25일과 10월 15일 2회 GA₃ 단독 또는 GP를 수관전체에 살포하여 다음해 3월까지 과실을 나무에 달린 상태로 두고 과실품질의 변화, 과피내 성분과 펙틴 분해 관련 효소인 polygalacturonase(PG)와 pectin methylesterase(PME) 활성의 변화를 시기별로 분석하였다.

2.1 착색개시 직전 GP 살포는 과실의 횡경과 무게에는 영향이 없었으나 과피 두께를 감소시키고 과피의 착색을 지연시켰으며 과즙의 당도와 적정산 함량을 증가시켰다. 더불어 비중과 경도를 증가시키고 부피발생을 억제하였는데 살포시기가 늦어지면 그 효과가 현저히 감소되었다.

2.2. 착색개시 직전 GA₃ 단독 또는 GP 살포는 비슷하게 부피를 현저히 억제하였으며 과피내 유리당 농도를 감소시키고 칼슘 및 붕소 농도를 증가시켰다.

2.3. 대조구의 PME 활성은 부피가 급격히 진행된 11월에 크게 증가하였는데 GA₃ 단독 또는 GP 살포는 그 증가를 억제하였다.

2.4. PG 활성의 계절적 변화에는 일정한 경향이 없었지만 GA₃ 단독 또는 GP 살포에 의해 11월 이후 감소되었다.

2.5. 대조구의 수용성 펙틴 함량은 11월 이후 급상승하여 1월에 최고치에 달했는데 GA₃ 단독 또는 GP 살포에 의해서 그 증가가 억제되어 12월 이후 변화가 없었다.

2.6. EDTA 가용성 펙틴은 대조구에서 12월에 최고치를 보인 후 급격히 감소하였으나 GA₃ 단독 또는 GP 살포에 의해서 그 감소가 억제되었다.

2.7. 이상에서 관찰한 영향에는 GA₃ 단독 살포와 GP 살포 사이에 유의한 차이를 보이지 않았다.

VI. 인용문헌

- Ackerson, R.C. 1981. Osmoregulation in cotton in response to water stress. II. Leaf carbohydrate status in relation to osmotic adjustment. *Plant Physiol.* 67:489-493.
- Ahmed, A.E., and J.M. Labavitch. 1980. Cell wall metabolism in ripening fruit. II. Changes in carbohydrate-degrading enzymes in ripening 'Bartlett' pears. *Plant Physiol.* 65:1014-1016.
- Ali, A., L.L. Summers, G.J. Klein, and C.J. Lovatt. 2000. Albedo breakdown in California. *Proc. Intl. Soc. Citricult.* 1090-1093.
- Ali, Z.M., L. Chin, and H. Lazan. 2004. A comparative study on wall degrading enzymes, pectin modifications and softening during ripening of selected tropical fruits. *Plant Sci.* 167:317-327.
- Anthon, G.E., Y. Sekine, N. Watanabe, and D.M. Barrett. 2002. Thermal inactivation of pectin methylesterase, polygalacturonase, and peroxidase in tomato juice. *J. Agric. Food Chem.* 50:6153-6159.
- Arias, C., D. Lewandowski, O. Olovares-Fuster, J. Grosser, and J. Burns. 2000. Isolation, characterization, expression, and downregulation of a putative thermostable pectinmethylesterase from Valencia orange. *Proc Intl. Soc. Citricult.* 1265.
- Baez-Sañudo, R., L. Zacarias and E. Primo-Millo. 1992. Effect of gibberellic acid and benzyl adenine on tree-stroage of Clementine mandarin fruit. *Proc. Int. Soc. Citricult.* 1:428-431.

- Bain, J.M. 1958. Morphological, anatomical and physiological changes in the developing fruit of the 'Valencia' orange, *Citrus sinensis* (L.) Osbeck. *Austr. J. Bot.* 6:1-28.
- 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.
- Ben-Arie, R., L. Sonego, and C. Frenkel. 1979. Changes in pectic substances in ripening pears. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 104:500-505.
- Ben-Arie, R., K. Naomi. 1979. Ultrastructural changes in the cell walls of ripening apple and pear fruit. *Plant Physiol.* 64:197-202.
- Bevington, K.B. 1973. Effect of gibberellic acid on rind quality and storage of coastal navel oranges. *Aust. J. of Exp. Agr. Anim. Husb* 13:196-199.
- Bianco. R.L., M. Rieger, and S.J.S. Sung. 2000. Effect of drought on sorbitol and sucrose metabolism in sinks and source of peach. *Physiologia Plantarum* 108:71-78.
- Blanke, M.M. 2000. Photoinhibition in citrus. *Proc. Intl. Soc. citricult.* IX. Congr. p.619-622.
- Bower, J.P. 2000a. Prediction and physiology of creasing. *Proc. Intl. Soc. Citricult.* 1089.
- Bower, J.P. 2000b. Water stress in citrus and its alleviation. *Proc. Intl. Soc. citricult.* 630-633.

- Bower, J.P., I.M. Gilfillan, and H. Skinner. 1992. Fruit splitting in 'Valencia' and its relationship to the pectin status of the rind. *Proc. Int. Soc. Citricult.* 1: 511-514.
- Bressan, R.A., A.K. Handa, S.Handa., and P.M. Hasegawa. 1982. Growth and water relations of cultured tomato cells after adjustment to low external water potentials. *Plant Physiol.* 70:1303-1309.
- Brummell, D. and M.H. Harpster. 2001. Cell wall metabolism in fruit softening and quality and its manipulation in transgenic plants. *Plant Molecular biology* 47:311-340.
- Brummell, D., V.D. Cin, C.H. Crisosto, and J. M. Labavitch. 2004. Cell wall metabolism during maturation, ripening and senescence of peach fruit. *Journal of Experimental Botany* 55:2029-2039.
- Byun, J.K., I.K. Kang, K.H. Chang, D.H. Kim, D.H. Lee, I.S. Kim, S.L. Shin, and D.G. Choi. 2003. Changes of pectic substances and polygalacturonase activity during fruit development of various peach cultivars with degrees of fruit softening. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 44:503-507.
- Byun, J.K., J.S. Her, and K.H. Chang. 1992. Effect of dichlorprop on firmness, pectic substances and cell wall hydrolases of 'Tsugaru' apple fruits. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 33:452-458.
- 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.

- Chartzoulakis, K.S., and N.G. Michelakis. 1992. The effect of soil water potential on plant growth and gas exchange of young orange trees. Proc. Intl. Soc. citricult. 374-377.
- Daito, H., and Y. Sato. 1984. Changes in the content of pectic substances in datsuma mandarin fruit during maturation. J. Jap. Soc. Hort. Sci. 53:150-156.
- Daito, H., and Y. Sato. 1985. Changes in the sugar and organic acid components of satsuma mandarin fruit during maturation. J. Jap. Soc. Hort. Sci. 54:155-162.
- Davies, F.S., C.A. Campbell, G.R. Zalman, and M. Fidelibus. 1997. Gibberellic acid application timing effects on juice yield and peel quality of Hamlin oranges. Proc. Fla. State Hort. Soc. 112:22-24.
- Droby, S., M.E. Wisniewski, L. Cohen, B. Weiss, D. Touitou, Y. Eilam, and E. Chalutz. 1997. Influence of CaCl_2 on *Penicillium digitatum*, grapefruit peel tissue, and biocontrol activity of *Pichia guilliermondii*. Phytopathology 87:310-315.
- Dumville, J.C., and S.C. Fry. 2000. Uronic acid-containing oligosaccharins: their biosynthesis, degradation and signalling roles in non-diseased plant tissues. Plant Physiol. Biochem. 38:125-140.
- Echeverria, E. 1990. Developmental transition from enzymatic to acid hydrolysis of sucrose in acid limes (*Citrus aurantifolia*). Plant Physiol. 92:168-171.
- Echeverria, E. 1992. Activities of sucrose metabolizing enzymes during sucrose accumulation in developing acid limes. Plant Sci. 85:125-129.

- Echeverria, E., and J. Valich. 1989. Enzymes of sugar and acid metabolism in stored 'Valencia' oranges. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 114:445-449.
- Eckert, J.W., and I.L. Eaks. 1989. Postharvest disorders and diseases of citrus fruit. p. 180-260. In: W. Reuther, E. C. Calavan and G. E. Carman (eds.), *The Citrus Industry*, Vol. 5, Berkeley: University of California Press.
- El-Otmami, M., and C.W. Coggins. 1991. Growth regulator effects on retention of quality of stored citrus fruits. *Sci. Hort.* 45:261-272.
- Fidelibus, M.W., A.A. Teixeira, and F.S. Davies. 2002. Gibberellic acid applied to sweet oranges increases juice yield by reducing peel volume. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 115:243-246.
- Fry, S.C. 1986. Cross linking of matrix polymers in the growing cell walls of angiosperms. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 37:165-186.
- Fujisawa, H., M. Koshiyama, H. Seto, S. Yoshida and Y. Kamuro. 1997. Effect of jasmonic acid compound on fruit setting, fruit growth, ripening and cold-resistance. *Acta Hort.* 463: 261-266.
- Gambetta, G., H. Arbiza, A. Ferenczi, A. Gravina, L. Orlando, V. Severino, and A. Telias. 2000. Creasing of 'Washington' navel orange in Uruguay : Study and control. *Proc. Int. Soc. Citricult.* 453-455.
- Garcia-Luis, A., M. Agustí, V. Almela, E. Romero and J.L. Gurdiola. 1985. Effect of gibberellic acid on ripening and peel puffing in Satsuma mandarin. *Sci. Hort.* 27:75-86.
- Goldschmidt, E.E. 2000. Maturation of citrus fruit: Hormonal and molecular

- regulation of chlorophyll breakdown and other processes. Proc. Int. Soc. Citricult. 364-366.
- Greenberg, J., I. Mossak, and I. Kaplan. 2000. Effect of NAA and 2,4-DP on fruit size, yield, and creasing of 'Newhall' and 'Carter' navel oranges. Proc. Int. Soc. Citricult. 569-571.
- Greenberg, J., Y. Oren, and G. Eshel, and E.E. Goldschmidt. 1992. Gibberellin A₃ (GA₃) on 'Minneola' Tangelo : extension of the harvest season and improvement of fruit quality. Proc. Int. Soc. Citricult. 456-458.
- Guiavarc'h, Y., O. Segovia, M. Hendricky, and A.V. Loey. 2005. Purification, characterization, thermal and high-pressure inactivation of a pectin methylesterase from white grapefruit (*Citrus paradisi*). Innovative food science and emerging technologies 1-9.
- Guardiola, J.L., and E. Lázaro. 1987. The effect of synthetic auxins on fruit growth and anatomical development in 'Satsuma' mandarin. Sci. Hort. 31:119-130.
- Hageman, A.E., and P.J. Austin. 1986. Continuous spectrophotometric assay for plant pectin methyl esterase. J. Agric. Food Chem. 34:440-444.
- 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.
- Hockema, R.B. and E. Etxeberria. 2001. Metabolic contributors to drought-enhanced accumulation of sugar and acids in oranges. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 126:599-605.

- Hyun, H.N., J.H. Baek, H.R. Han, H.C. Lim, and D.K. Moon. 1992. Effects of polyethylene film mulch on soil moisture and fruit quality of satsuma mandarin. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 10:112-113.
- Hyun, H.N., H.C. Lim, H.R. Han, and D.K. Moon. 1993. Effects of polyethylene film mulching and root pruning on soil water and fruit quality of satsuma mandarin (*Citrus unshiu*). *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 34:368-377.
- Iwahori, S., R. Kai, and M. Nishi. 1994. Subcellular localization of calcium ion within cells of the abscission layer of citrus leaf explants during abscission. *J. Jap. Soc. Hort. Sci.* 63:45-50.
- James, S., and W. Grierson. 1978. Citrus maturity and packinghouse procedures. 20-55. Institute of Food and Agricultural Sciences University of Florida.
- Kadoya, K. 1973. Studies on the translocation of photosynthates in Satsuma mandarin: Effect of water stress on the metabolism of sugars in the fruit. *J. Jap. Soc. Hort. Sci.* 42:210-214.
- Kang, M.J., J.Y. Kim, and J.S. Koh. 2000. Changes in pectin-degrading enzymes activity during storage of satsuma mandarin. *J. Kor. Soc. Agric. Chem. Biotechnol.* 43:179-183.
- Kaufmann, M.R. 1970. Water potential components in growing citrus fruits. *Plant Physiol.* 46:145-149.
- Kawase, K. 1984. Studied on the factors causing of satsuma mandarin rind puffing and its control. II. Effects of humidity on the occurrence of rind puffing. *Bull. Fruit tree Res. Stn, D* 6:41-56.

- Kawase, K. 1984. Studied on the factors causing of satsuma mandarin rind puffing and its control. III. Effects of wettable calcium carbonate spray on preventing rind puffing and its functional mechanism. Bull. Fruit tree Res. Stn, D 6:57-76.
- Kawase, K., K. Hirai, Y. Kamuro, and T. Maotani. 1985. Effects of ethylchlozate on suppressing the rind puffing of satsuma mandarin. J. Jap. Soc. Hort. Sci. 54:171-177.
- Kawase, K., K. Suzuki, and K. Hirose. 1981. Use of growth regulators to control rind puffing of Satsuma mandarin fruit. Proc. Int. Soc. Citricult, 1981:237-239.
- Kawase, K., and M. Hirai. 1983. Growth, sugar accumulation and puffiness of the mandarin peel during coloring. J. Jap. Soc. Hort. Sci. 52:231-237.
- Kawase, K., T. Takahara, K. Hirose, S. Ono, and K. Yoshinaga. 1984. Studied on the factors causing of satsuma mandarin rind puffing and its control. I. Realation of rinf puffing occurrence to a climatic condition in Kyushu and Tokai district. Bull. Fruit tree Res. Stn, D 6:27-40.
- Kim, I.S. 2003. Sequential changes of pericarp ultrastructure in *Citrus reticulata* hesperidium. Korean J. Electron Microscopy 33:79-92.
- Kim, Y.H. 2002. Fruit control and fruit quality improvement in 'Miyagawa Wase' satsuma mandarin with fruit overwintered on tree in plastic house. PhD. Diss., Cheju Natl. Univ., Jeju, Korea.
- 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.
- 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. Technol. 18:599-604.
- Kim, Y.H., and I.R. Rho. 2002. Decision of irrigation time in root confinement cultivation of satsuma mandarin in the citrus orchard. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 20(suppl. 11):85.
- Kim, Y.H., I.R. Rho, S.W. Koh, D.K. Moon, S.H. Kim, Y.H. Choi, and C.M. Kim. 2004. Effects of soil water potential control by drainage canal plus porous water proof sheet mulching on the fruit quality of satsuma mandarin in citrus orchards. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 22:206-211.
- Koch, K.E. 1984. Translocation of photosynthetic products from source leaves to aligned juice segments in citrus fruit. Hort. Sci. 19:260-261.
- Koch, K.E., C.A. Lowell, and W.T. Avigne. 1986. Assimilate transport through citrus juice vesicle stalks: a nonvascular portion of the transport path, p.247-258. In: A.R. Liss (eds.). Phloem transport. Inc. New York, NY.
- Koch, K.E., and W.T. Avigne. 1990. Postphloem, nonvascular transfer in citrus: kinetics, metabolism and sugar gradient. Plant Physiol. 93:1405-1416.
- Komatsu, A., Y. Takanokura, and T. Akihama. 1996. Gene analysis of sucrose

phosphate synthase in citrus. Proc. Int. Soc. Citricult. 890-894.

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.

Koshioka, M., Y. Takeuchi, H. Saka and Y. Kamuro. 2005. Mutual and closed relationship between basic studies and practical applications on plant growth substance. Regulation of Plant Growth & Development 40:111-123.

Koslanund, R., D.D. Archbold, and K.W. Pomper. 2005. Pawpaw [*Asimina triloba*(L.) Dunal] fruit ripening. II. Activity of selected cell-wall degrading enzymes. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 130:643-648.

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. Sci. Hort. 91:215-255.

Kuraoka, T. 1962. Histological studies on the fruit development of the Satsuma orange with special reference to peel puffing. Memoirs of Ehime Univ. Sect. VI, 8: 106-154.

Kuraoka, T., K. Iwasaki, and K. Kadoya. 1966. Studies on the peel puffing of Satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.). V. Effect of GA₃ application. Proc. Jpn. Soc. Hort. Sci. Spring mtg. 1:43-44.

Kuraoka, T., K. Iwasaki, A. Hino, and H. Tsuji. 1975. Studies on the peel puffing of Satsuma mandarin III. The conversion of pectic substances and calcium distribution within the peel. J. Japan. Soc.

Hort. Sci. 44: 15-21.

Kuraoka, T., K. Iwasaki, A. Hino, Y. Kaneko, and H. Tsuju. 1976. Studies on the peel puffing of satsuma mandarins IV. Changes in sugar content during the development of the fruit rind. J. Jap. Soc. Hort. Sci. 44:375-380.

Kuraoka, T., K. Iwasaki, and T. Ishii. 1977. Effect of GA₃ on puffing and levels of GA-like substances and ABA in the peel of satsuma mandarin (*Citrus unshu* Marc.). J. Am. Soc. Hort. Sci. 102:651-654.

Kuraoka, T., K. Iwasaki, and T. Ishii. 1979. Effects of GA₃ and ethephon on the level of ABA and peroxidase activity in the peel of satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.). J. Japan. Soc. Hort. Sci. 47: 437-442.

Lee, T.I., C.S. Jeong, Y.R. Yeoung, H.K. Kim, K.C. Yoo. 1997. Sucrose accumulation and changes of sucrose synthase, sucrose phosphate synthase and invertase activities during development of muskmelon fruits. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 38:1-5.

Lowell, C.A., D.T. Tomlinson, and K.E. Koch. 1989. Sucrose-metabolizing enzymes in transport tissue and adjacent sink structures in developing citrus fruit. Plant Physiol. 90:1394-1402.

Maotani, T., K. Kawase, Y. Kamuro, and K. Hirai. 1983. Effect of ethylene on peel puffing of satsuma mandarin. J. Japan. Soc. Hort. Sci.52:238-242.

Maotani, T., and Y. Machida. 1977. Studies on leaf water stress in fruit trees. VII. Effects of summer water potential of satsuma mandarin trees on

- fruit characteristics at harvest time. J. Jap. Soc. Hort. Sci. 46:145-152.
- Maotani, T., and Y. Machida. 1980. Leaf water potential as an indicator of irrigation timing for satsuma mandarin trees in summer. J. Jap. Soc. Hort. Sci. 49:41-48.
- 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.
- Mataa, M., S. Tominaga, and I. Kozaki. 1998. Relative effects of growth retardant (Paclobutrazol) and water stress on tree growth and photosynthesis in ponkan (*Citrus reticulata* Blanco). J. Jap. Soc. Hort. Sci. 67:28-34.
- Monselise, S.P., M. Weiser, N. Shafir, R. Goren, and E. E. Goldschmidt. 1976. Creasing of orange peel-physiology and control. J. Hort. Sci. 51:341-351.
- Moon, B.W., and J.S. Choi. 1999. Effects of pre- or post-harvest application of calcium compound extracted from oyster shell on the calcium, pectin, and ethylene evolution changes in stored apple fruit. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 40:217-220.
- Moon, D.G. 1992. Effects of polyethylene film mulching on soil moisture contents and fruit quality of satsuma mandarin (*C. unshiu*). MSD. Diss., Cheju Natl. Univ., Jeju, Korea.
- Moon, D.G. 2001. Effect of water stress on soluble solids, acid and abscisic acid contents in different portions of citrus fruits. Ph.D. Thesis. Univ.

of Ehime.

- Moon, D.Y. 1982. Studies on the leaf water potential of satsuma mandarin tree. MSD. Diss., Cheju Natl. Univ., Jeju, Korea.
- Moon, S.J., K.H. Sohn, M.H. Lee, and M.H. Lee. 1982. The content and chemical and physical properties of the pectin in tangerin peel. Korean J. Food Sci. Technol. 14:63-66.
- Moriguchi, T., Y. Ishizawa, T. Sanada, S. Teramoto, and S. Yamaki. 1991. Role of sucrose synthase and other related enzymes in sucrose accumulation in peach fruit. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 60:531-538.
- Mukai, H., T. Takagi, H. Harada, and Y. Murai. 2000. Sugar accumulation by *in vitro* cultured juice vesicles of satsuma mandarin. J. Jap. Soc. Hort. Sci. 69:57-59.
- Mukai, H., T. Takagi, N. Kajita, S. Nishikawa, H. Harada, and Y. Murai. 2000. Sugar accumulation in fruit of several satsuma mandarin cultivar. J. Jap. Soc. Hort. Sci. 69:624-628.
- 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. Jap. Soc. Hort. Sci. 65:478-485.
- Nagy, S., P.E. Shaw, and M.K. Veldhuis. 1977. Citrus science and technology. p.110-207. The Avi Publishing Co. Inc. westport, CT. USA.
- Nakajima, Y., S. Susanto, and K. Hasegawa. 1993. Influence of water stress in autumn on flower induction and fruiting in young pomelo trees(*Citrus grandis*(L.) Osbeck). J. Jap. Soc. Hort. Sci. 62:15-20.

- Nakamura, M., D.N. Suprapta., H. Iwai., and K. Arai. 2001. Comparison of endo-polygalacturonase activities of citrus and non-citrus races of *Geotrichum candidum*, and cloning and expression of the corresponding genes. *Molecular Plant Pathology*. 2:265-274.
- Nielsen J.E., and T.M.I.E. Christensen. 2002. Distribution of pectin methyl esterase and acetylerase in the genus citrus visualized by tissue prints and chromatography. *Plant Science* 162:799-807.
- Nii. N., and B.G. Coombe. 1988. Anatomical aspects of juice sacs of satsuma mandarin in relation to translocation. *J. Jap. Soc. Hort. Sci.* 56:375-381.
- Nii. N., and B.G. Coombe. 1990. Ultrastructural changes in the primordia of juice sacs of satsuma mandarin fruits. *J. Jap. Soc. Hort. Sci.* 59:35-41.
- Ohkawa, K., H. Ohara, Y. Kurita, and T. Fikuda. 2006. Thinning effect of jasmonic acid derivative, n-propyl-dihydrojasmonate on japanese pear 'Hosui'. *J. Jap. Soc. Hort. Sci.* 75: 129-134.
- Oh, S.D., Y.Y. Kim, S.B. Hong, S.K. Shung. 1979. Effect of postharvest application of ethephon, ethylene and methionine on color and quality of satsuma orange fruit (*Citrus unshiu* Marc.). *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 20:142-147.
- Park, S.W., and W.K. Lee. 1987. Softening of 'Master 2' tomato and effects of calcium treatment. *J. Kor. Soc. Sci.* 28:221-225.
- Peng, Y.H. 1996. Improvement of internal fruit quality in 'Mihowase' satsuma by summer girdling and regulated deficit irrigation. *Proc. Int. Soc.*

Citricult. 725-729.

- Poovaiah, B.W., and A. Nukaya. 1979. Polygalacturonase and cellulase enzymes in the normal rutgers mutant *rin* tomato fruits and their relationship to the respiratory climacteric. *Plant Physiol.* 64:534-537.
- Porras, I., A. García, C. Egea, A. Conesa, M.F. García-Legaz, and J.M. Ortíz. 1996. Internal and external colour changes in different grapefruit varieties. *Proc. Int. Soc. Citricult.* 2:1113-1116.
- Pozo, L., W.J. Kender, J. K. Burns, U. Hartmond, and A. Grant. 2000. Effects of gibberellic acid on ripening and rind puffing in 'sunburst' mandarin. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 113:102-105.
- Pressey, R., and J.K. Avants. 1982. Solubilization of cell walls by tomato polygalacturonases : Effects of pectinases. *J. Food Biochem.* 6:57-74.
- Pretel, M.T., A. Amorós, M.A. Botella, M. Serrano, and F. Romojaro. 2005. Study of albedo and carpelar membrane degradation for further application in enzymatic peeling of citrus fruits. *J. Sci. Food Agric.* 85:86-90.
- Purvis, A.C., and C.R. Barmore. 1981. Involvement of ethylene in chlorophyll degradation in peel of citrus fruits. *Plant Physiol.* 68:854-856.
- Richardson, C.A., K.B. Marsh, and E.A. Macrae. 1997. Temperature effects on satsuma mandarin development. *J. Hort. Sci.* 72: 919-929.
- Savé, R., C. Biel., R. Domingo., M. C. Ruiz-Sánchez., and A. Torrecillas. 1995. Some physiological and morphological characteristics of citrus

- plants for drought resistance. *Plant Sci.* 110:167-172.
- Schabber, A.A., O. Sagee, E.E. Goldschmidt, and R. Goren. 1987. Invertase and sucrose synthase activity, carbohydrate status and endogenous IAA levels during citrus leaf development. *Plant Physiol.* 69:151-155.
- Sean Carrington, C.M., L.C. Greve, and J.M. Labavitch. 1993. Cell wall metabolism in ripening fruit. VI. effect of the antisense polygalacturonase gene on cell wall changes accompanying ripening in transgenic tomatoes. *Plant Physiol.* 103:429-434.
- Shin, S.R., and K.S. Kim. 1996. Changes in cell wall components and cell wall-degrading enzymes during softening of fruits. *Korean J. Post-harvest Sci. Technol. Agri. Products* 3:99-104.
- 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.
- Spiegel-Roy, P., and E.E. Goldschmidt. 1996. *Biology of citrus.* p.70-118. Cambridge Univ. Press.
- Storey, R., and M.T. Treeby. 1994. The morphology of epicuticular wax and albedo cells of orange fruit in relation to albedo breakdown. *J. Hort. Sci.* 69:329-339.
- Syvertsen, J.P. 1985. Intergration of water stress in fruit trees. *Hort. Sci.* 20:1039-1043.

- Syvertsen, J.P., and L.G. Albrigo. 1980. Some effects of grapefruit tree canopy position on microclimate, water relations, fruit yield, and juice quality. *J. Amer. Soc. Hort.Sci.*105:454-459.
- Takebayashi, T., T. Kataoka, and H. Yukinaga. 1993. Classification of 98 different citrus species and cultivars by fruit quality and their disorders as related to delayed harvest. *J. Jap. Soc. Hort. Sci.* 62:305-316.
- 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.
- Tomlinson, P.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.
- Torigata, H. 1968. Peel puffing of mandarin, p. 66-72. In : H. Torigata (ed.) *Physiological disorders of fruit tree and countermeasures*. Seipuntosinkousya, Japan.
- Torigata, H., M. Masui, and N. Suzuki. 1955. Studies on the development of fruit rind of Unshyu orange. I. Effects of nitrogen fertilized in late summer. *Studies from the Institute of Horticulture Kyoto Univ.* Vol. VII, 42-48.
- Treeby, M.T., D.J. Milne, R. Storey, K.B. Bevington, B.R. Loveys, and R. Hutton. 2000. Creasing in Australia: Causes and Control. *Proc. Intl. Soc. Citricult.* 1099-1103.
- Tugwell, B.L., W.L. Chvyl, G. Moulds, and J. Hill. 1996. Control of albedo

- rind breakdown with gibberellic acid. Proc. Int. Soc. Citricult. 2:1147-1149.
- Tzur, A., and R. Goren, and Zehavi. 1992. Carbohydrate metabolism in developing citrus fruits. Proc. Int. Soc. Citricult. 405-411.
- Van Handel, E. 1968. Direct microdetermination of sucrose. Anal. Biochem. 22:280-283.
- Van Rensburg P.J.J., S. Peng, and J.L. Guardiola. 1996. Fruit size in citrus: the action of and interaction between gibberellic acid and 2,4 dichlorophenoxy acetic acid on citrus mandarin (Clementine) clementine fruit growth and size. Pro. Int. Soc. Citricul. 2:961-969.
- Vercher, R., F.R. Tadeo, V. Almela, S. Zaragoza, E. Primo-millo and M. Agustí M. 1994. Rind structure, Epicuticular wax morphology and water permeability of 'Fortune' mandarin fruits affected by peel pitting. Annals of Botany 74:619-625.
- Vu. J.C.V., and G. Yelenosky. 1988. Water deficit and associated changes in some photosynthetic parameters in leaves of 'Valencia' orange (*Citrus sinensis*[L.] Osbeck). Plant Physiol. 88:375-378.
- Wang, G., T.J. Michailides, and R.M. Bostock. 1996. Improved detection of polygalacturonase activity due to *Mucor piriformis* with a modified dinitrosalicylic acid reagent. Phytopathology 87:161-163.
- Wilfred, F.W., S. Nagy., and W. Grierson. 1986. Fresh citrus fruits. p.361-374. Macmillan publishers.
- 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, H., K. Morinaga and H. Nonami. 1998. Sugar accumulation and partitioning in satsuma mandarin tree tissues and fruit in response to drought stress. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 123:719-726.

Yamada, H., H. Mukai, A. Sugiura, and T. Tomana. 1987. The effect of water stress on cold hardiness in citrus. *J. Jap. Soc. Hort. Sci.* 56:273-279.

Zacarias, L., and F. Alferez, N. Gariglio, V. Almela, and M. Agustí. 2000. Rind breakdown in navelate oranges: Influence of the rootstock. *Proc. Intl. Soc. Citricult.* 512.

Zhan, D., .P. Janssen, and A.J. Mort. 1998. Scarcity or complete lack of single rhamnose residues interspersed within the homogalacturonan regions of citrus pectin. *Carbohydrate Research* 308:373-380.

감사의 글

본 연구가 완성되기까지 여러 가지로 부족한 저에게 아낌없는 격려와 늦은 밤까지 논문을 세심하게 바로 잡아주신 문두길 교수님께 충심으로 감사드립니다. 아울러 바쁘신 일정에도 불구하고 시간을 내어 심사위원장을 맡아주시면서 많은 조언을 아끼지 않으신 강훈 교수님, 학부 시절부터 많은 가르침을 주신 소인섭 교수님, 훌륭한 논문이 될 수 있도록 도와주신 송관정 교수님과 한상헌 교수님께 마음 깊이 감사드립니다. 그리고 평소에 많은 가르침과 비평을 해주신 한해룡 교수님, 백자훈 교수님, 장전익 교수님과 박용봉 교수님께 깊은 감사드립니다. 또한 난지농업연구소 서효덕 소장님, 김창명 박사님과 김영효 박사님께 감사드립니다.

이 연구를 수행하는 동안 많은 실험과 자료정리 등 이루 말할 수 없는 노력을 함께한 시현이형, 강석범, 변재웅 조교에게 특별히 감사드립니다. 또한 시험 분석을 도와주신 난지농업연구소 임한철 과장님과 김대운 선생님께도 감사드립니다.

학과 사무실에서 묵묵히 일하면서 여러 가지로 도움을 준 임찬규 조교, 고은경 조교와 낯선 작업에 당황해 하는 저에게 귀중한 조언을 아끼지 않으신 박영철 연구사님과 문영일 연구사님과 늘 곁에서 편안한 웃음과 많은 인생의 의미를 선사해주신 오진보 선배님, 김상엽 선배님, 귀찮은 자문 부탁에도 늘 명쾌한 답을 해주신 고성욱 선배님, 오현우 선배님, 현윤규 선배님, 현상철 선배님에게 고마움을 전합니다.

늘 곁에서 따뜻한 커피한잔을 권하며 삶의 여유를 느끼게 해준 영웅과 귀찮은 부탁을 마다하지 않고 도움을 준 보경, 동엽, 성림, 창건, 범석에게 고마움을 전한다.

지난 학부 시절부터 많은 정이 들었던 상우, 재진, 광일, 형주, 재영, 성미, 왕석, 세철, 명성, 기필 등 동기들과 늘 곁에서 힘이 되어준 친구들 승철, 병식, 덕현, 영오, 준, 동수, 제우, 광철, 정우 정말 고맙고, 멋진 동생 명석, 경아 그리고 기열 고마움을 전합니다.

매번 바쁘다는 핑계로 챙겨주지 못한 동생 광원, 동원 그리고 윤성 고맙다.

저 자신보다도 나를 더 사랑하여 주는 아내 이윤하와 언제나 학업에 정진할 수 있도록 염려와 따뜻한 마음으로 격려해주신 아버님, 어머님, 장인, 장모님께 이 논문을 바칩니다.

GP 약제에 대한 정보와 시약을 제공해준 일본 岐阜大學의 Y. Kamuro 박사과 서울의 (주) 삼창사정화의 강운홍 사장님께 감사드립니다.

