

석사학위논문

여름철 고온이 온주밀감의
당함량에 미치는 영향



제주대학교 대학원

원예학과

변재웅

2008년 7월

여름철 고온이 온주밀감의 당함량에 미치는 영향

지도교수 문 두 길

변 재 응

이 논문을 농학 석사학위 논문으로 제출함

2008년 7월

변재응의 농학 석사학위 논문을 인준함

심사위원장 _____ 인

위 원 _____ 인

위 원 _____ 인

제주대학교 대학원

2008년 7월

High Temperature during Summer Lowers
Sugar Concentration in Fruit Juice of
Satsuma Mandarin

Jae-Woong Byun
(Supervised by Professor Doo-Khil Moon)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for
the degree of master of science in agriculture

July, 2008

DEPARTMENT OF HORTICULTURAL SCIENCE
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

목 차

목 차	i
ABSTRACT	ii
LIST OF TABLES	iii
LIST OF FIGURES	iv
I. 서 론	1
II. 재료 및 방법	3
1. 시험수와 처리내용	3
2. 과실 생육과 품질 조사	5
3. 과즙 내 유리당 함량분석	5
4. 효소 추출	7
5. 효소 활성 분석	7
6. 통계 분석	8
III. 결과 및 고찰	9
IV. 요 약	29
V. 참 고 문 헌	30

ABSTRACT

In order to evaluate the effect of high temperature during summer on the concentration of sugars in fruit juice of early-maturing satsuma mandarin, potted plants of two cultivars of 'Miyagwa' and 'Okitsu' were grown in four rooms of phytotron (two pots of each cultivar per room) from April 1 to harvest. For the period from July 11 until Sept. 10, two rooms were kept at 25°C of daily mean air temperature with diurnal range of 6°C, while the remaining two rooms at 30°C. During the remaining period before and after treatment, all rooms were kept under the identical temperature regime of the same daily mean air temperature with diurnal range of 6°C as that in outdoors. More increase in fruit diameters (both longitudinal and transversal) was observed in the room of 25°C during the treatment, and more increase in the room of 30°C after the treatment, resulting in the same size in November. Concentration of both fructose and glucose in the fruit juice was slightly higher in the room of 25°C on September 11, and the difference became larger during maturation. Concentration of sucrose was slightly higher in the room of 30°C on September 11, but more increase in the room of 25°C during maturation resulted in significantly higher sucrose concentration in the room by 25 mg·L⁻¹ comparing to the room of 30°C. Increase in the activity of sucrose synthase (SS) showed the same tendency as that of sucrose. Positive correlation between the activity of SS and the concentration of sugars, especially sucrose, was recognized. Changes in the activity of sucrose phosphate synthase were not consistent between cultivars. Decrease in acidity of fruit juice during maturation was not affected by the treatments. Peel coloration was delayed in the room of 30°C.

LIST OF TABLE

Table 1.	Leaf water potential in Satsuma mandarin in phytotron.···	11
Table 2.	Seasonal changes in fruit diameter in ‘Miyagawa Wase’ and ‘Okitsu Wase’ satsuma mandarin as affected by different daily mean air temperature during the period from July 11 to Sept.10.··········	12
Table 3.	.Increase in fruit diameter in satsuma mandarin as affected by different daily mean air temperature during the period from July 11 to Sept. 10.··········	13
Table 4.	Effect of summer temperature on fruit weight in 'Miyagawa wase' and 'Okitsu wase' satsuma mandarin.········	14
Table 5.	Correlation coefficients between the concentration of free sugars and the activity of enzymes in satsuma mandarin fruit juice.··········	24
Table 6.	Seasonal changes in acidity of fruit juice in ‘Miyagawa Wase’ and ‘Okitsu Wase’ satsuma mandarin as affected by different daily mean air temperature during the period from July 11 to Sept.10.··········	25

LIST OF FIGURES

Fig. 1.	Daily mean air temperature set in phytotron.....	4
Fig. 2.	HPLC chromatogram of free sugar standard.....	5
Fig. 3.	Examples of diurnal changes in temperature of phytotron recorded on the 18th of August in 2004.....	10
Fig. 4.	Changes in TSS(Total Soluble Solids) during fruit maturation in satsuma mandarin fruit juice as affected by different daily mean air temperatures during the period from July 11 to Sept.10	17
Fig. 5.	Changes in fructose concentration during fruit maturation in satsuma mandarin fruit juice as affected by different daily mean air temperatures during the period from July 11 to Sept. 10	18
Fig. 6.	Changes in glucose concentration during fruit maturation in satsuma mandarin fruit juice as affected by different daily mean air temperatures during the period from July 11 to Sept. 10	19
Fig. 7.	Changes in sucrose concentration during fruit maturation in satsuma mandarin fruit juice as affected by different daily mean air temperatures during the period from July 11 to Sept. 10.....	20
Fig. 8.	Changes in concentration of total sugars during fruit maturation in satsuma mandarin fruit juice as affected by different daily mean air temperatures during the period from July 11 to Sept. 10.....	21
Fig. 9.	Changes in activity of sucrose synthase enzyme during fruit maturation in satsuma mandarin fruit juice as affected by different daily mean air temperatures during the period from July 11 to Sept. 10.....	22

Fig. 10. Changes in activity of sucrose phosphate synthase enzyme during fruit maturation in satsuma mandarin fruit juice as affected by different daily mean air temperatures during the period from July 11 to Sept. 10. 23

Fig. 11. Effect of summer temperature on peel color in satsuma mandarin. 26



I. 서 론

국제식량농업기구 통계에 의하면(FAO, 2008) 감귤은 과수 중 전 세계 생산량이 가장 많아 2001~2004 4개년 연평균 1억7백만톤이 생산되었다. 그러나 추위에 약한 상록과수이기 때문에 남·북위 40° 사이에서도 최저기온이 -7°C 이상인 지역으로 재배지가 한정되어 있으며(Davies와 Albrigo, 1994), 연평균 기온이 16°C인 온대지방에서부터 26.4°C인 열대지방까지 재배되고 있다. 제주도에서는 해발고도 200m 이하인 지역에 재배되고 있는데 80% 이상이 조생온주밀감이며 가장 많이 재배되고 있는 품종은 궁천조생과 흥진조생이다.

제주도에서 생산되는 조생온주밀감은 대부분이 국내 생과용으로 소비되고 있는데 일반적으로 소비자의 기호를 충족시키기에는 당 함량이 낮고 산 함량이 높은 편이다. 감귤과즙의 당 조성은 자당, 포도당, 과당으로 이루어지며 성숙기에 당 농도가 꾸준히 증가되는데 특히 자당의 축적이 현저하다(Daito와 Sato, 1985; Han 등, 1970; Song과 Ko, 1997). Mukai 등(2000)은 온주밀감 과즙의 성숙기 당 함량 증가에 품종 간 현저한 차이는 인정되지 않았으며 자당 함량은 9월 1일 2~3%였는데 11월 말에는 7~8%가 될 정도로 뚜렷한 증가를 보였지만 포도당과 과당 함량은 각각 1~2%였다가 2~3%가 될 정도로 증가량이 적었다고 하였다. 제주도에서는 12월 이후에도 조생온주밀감 과즙의 당 함량이 꾸준히 증가하는 한편 산 함량은 감소하여 나무에 달린 상태로 월동한 과실의 식미가 탁월하다(Kim, 2002b).

과실의 성장과 성숙에 영향을 미치는 요인은 환경조건, 착과량, 수체의 영양상태, 비배관리, 수분관리 등 여러 가지가 있으며, 이들 요인은 단독으로 영향을 미치기도 하지만 일반적으로는 복합적으로 영향을 미친다. 환경조건 중 온도는 과실의 성장과 성숙뿐만 아니라 과실생산 전반에 매우 중요한 영향을 미친다(Yim과 Moon, 2004).

Utsunomiya 등(1982)이 삼산온주를 공시하여 10월 12일 부터 15°C, 23°C, 30°C 항온조건으로 온도를 조절한 결과를 보면 과중과 과피무게는 23°C에서 가장 무겁고 30°C에서 가장 가벼웠으며 비중은 30°C에서 가장 높았다. 또한 당도

증가는 23℃에서 가장 많았고 다음으로 30℃였으며, 유리산 함량은 온도가 높을수록 빨리 감소했다. 50일째 과즙의 유리당 함량은 과당과 포도당은 30℃에서 가장 높았고 다음으로 23℃, 15℃ 순이었으며 자당은 23℃에서 가장 높았고 (6.35%) 다음으로 15℃(4.15%), 30℃(3.00%) 순이었다. 30℃에서는 엽록소 분해는 억제되고 carotenoids는 거의 생성되지 않았다. 온주밀감의 과실비대나 (Kobayashi 등, 1968) 수체생장(Inoue와 Harada, 1988) 적온은 25℃이며, 과피 착색(Erickson, 1960; Young과 Erickson, 1961)은 이보다 낮은 온도에서 촉진되는 것으로 알려졌다.

제주도는 기온이 낮아 탕자 대목의 조생온주밀감 이외의 감귤은 노지 감귤원에서 재배가 어렵다. 그러나 가장 더운 시기인 7월 하순에서 8월 상순 사이는 순별 평균 기온이 26℃이상으로 좋은 품질의 온주밀감을 생산하는 지역으로 알려진 일본의 시즈오카보다 높다. 지구의 온난화로 평균기온이 상승하고 있는데 (Oh와 Jang, 2004), 제주에서 일평균기온이 30℃ 이상인 날이 3일 이상 계속된 횟수가 1960년대에는 1회였지만 1990년대에는 2회로 증가되었다.

이 연구는 여름철 고온이 조생온주의 품질에 미치는 영향을 알아보기 위하여 화분에 심은 궁천조생과 흥진조생을 인공환경조절실에서 재배하여 7월 11일부터 9월 10일까지 2개월 동안 일평균 25℃ 처리구와 30℃ 처리구로 나누어 관리하면서 과실 직경의 비대를 관찰하고 과실성숙기에 과즙 내의 유리당 농도와 더불어 당 축적 관련 효소인 sucrose synthase(SS)와 sucrose phosphate synthase(SPS) 활성의 변화를 분석하였다.

II. 재료 및 방법

1. 시험수와 처리 내용

이 시험은 직경 50cm 깊이 55cm의 화분에 심어있는 탕자 대목에 접목한 7년생 궁천조생과 흥진조생 두 품종의 온주밀감(*Citrus unshiu* cv. 'Miyagwa Wase' and 'Okitsu Wase')을 시험수로 하여 제주대학교 감귤화훼과학기술센터의 인공환경조절실에서 수행하였다.

야외에서 월동한 시험수를 2004년 3월 23일에 실험 품종별 2본씩 합계 16본을 4개의 인공환경조절실로 옮겨 10일간 10℃ 항온조건에 두었다. 4월 2일부터 7월 10일까지 그리고 9월 11일 이후 수확기까지는 4실 모두 같은 온도조건 즉 서귀포 순별평균기온과 비슷하게 순별 평균기온을 설정하여 관리하였다(Fig. 1). 7월 11일부터 9월 10일까지 2개월 동안 일평균기온을 달리한 2개의 처리를 두어 2실은 25℃, 나머지 2실은 30℃로 설정하였다. 온도의 일변화는 일교차를 6℃로 하여 낮 11시부터 오후 5시까지는 평균기온보다 3℃ 높게 그리고 밤 11시부터 다음날 새벽 5시까지는 평균기온보다 3℃ 낮게 하고 중간에는 1시간에 1℃씩 변온시켰다.

관수는 모든 처리에서 동일하게 하였다. 8월 10일까지는 3일에 1회 화분당 5L의 물을 주었으며 8월 11일부터는 2일에 1회 2L로 관수량을 감소시켰다. 수분관리가 적절히 이루어지고 있는지를 확인하기 위하여 10월 25, 27, 및 29일 새벽 일출 전에 화분당 2매의 잎을 채취하여 가압상법으로 잎수분퍼텐셜(Ψ_{max})을 측정하였다.

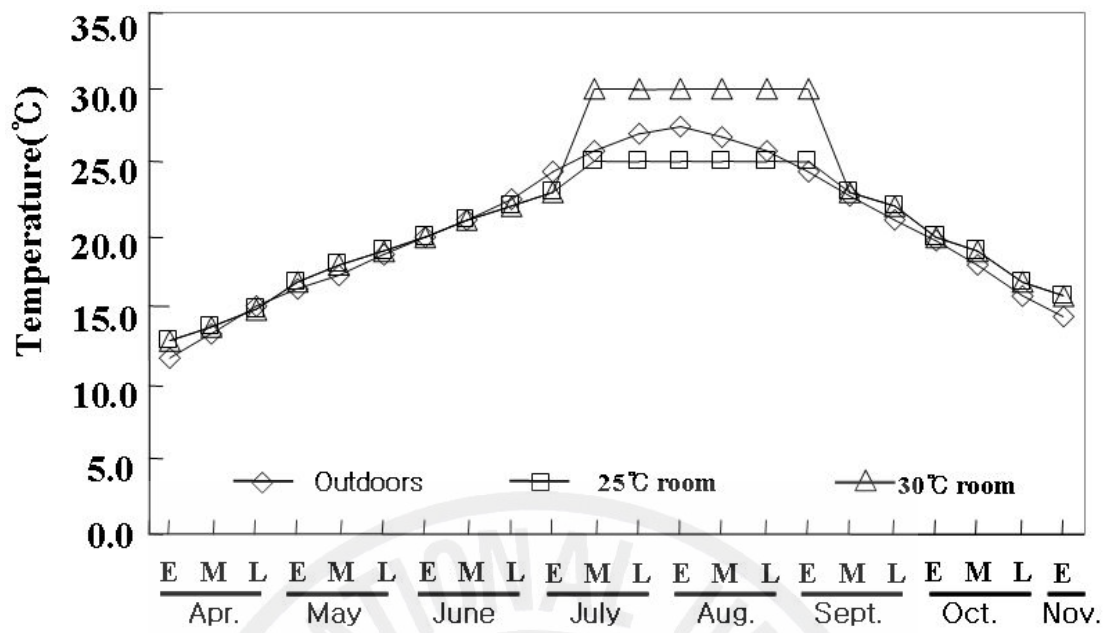
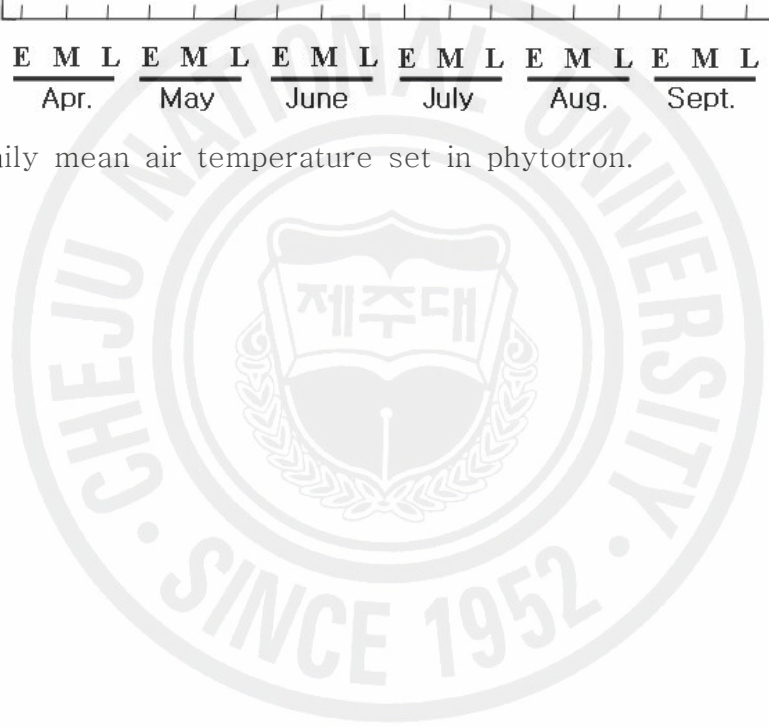


Fig. 1. Daily mean air temperature set in phytotron.



2. 과실 생육과 품질 조사

나무당 5과를 표지하여 8월 11일부터 10월 간격으로 캘리퍼를 이용하여 중경과 횡경변화를 조사하였다. 9월 11일과 10월 11일에는 나무당 3과 그리고 11월 11일에는 나무당 5과를 채취하여 과중, 비중, 과육율, 과즙당도, 유리당 함량, 당 관련 효소 활성 등을 조사하였다. 11월 11일에는 과피의 착색정도를 파악하기 위하여 측색색차계(CR200, Minolta Co., 일본) 로 과실 적도부 4곳에서 적록도(a*값)을 측정하여 평균하였다.

채취한 과실은 실험실로 운반 즉시 비중 계산을 위한 수중 무게를 달고 나서 종이수건으로 바로 물기를 닦아내어 다시 무게를 달고 과피를 제거한 다음 과육의 무게를 달아 과육율을 산출하였다. 과육 일부는 착즙하여 당도측정과 유리당 분석에 사용하고 일부는 두 겹의 가아제로 싸서 사양조직만을 떼어내어 액체질소에서 즉시 냉동시켜 초저온 냉동고(-70℃)에 보관하였다가 효소활성 분석에 이용하였다. 과즙당도는 휴대용 당도계(PR-101, ATAGO, 일본)를 이용하여 측정하였다. 산함량은 0.1N NaOH로 중화적정하여 구연산 함량으로 환산하였다.

3. 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 0.25µm 여과지로 여과한 후 이용하였다. 당분석 컬럼으로는 carbohydrate column (3.9×300mm Waters Co., 미국)을 사용하였으며, 분석조건은 유속 1.0mL·min⁻¹, 시료주입 10 µL, 분리시간 18분으로 하였다.

표준곡선은 Fructose, Glucose, Sucrose의 표준용액 각각 50, 100, 250, 500, 1000ppm을 이용하여 계산하였다. 유리당 분석에서 분석 시작후 8분 후 과당이 검출되고, 10분 후 포도당이 검출되었다. 14분 후에는 자당이 검출되었으며 이 결과를 토대로 과실 과즙의 유리당 함량 분석을 실시하였다(Fig. 2).

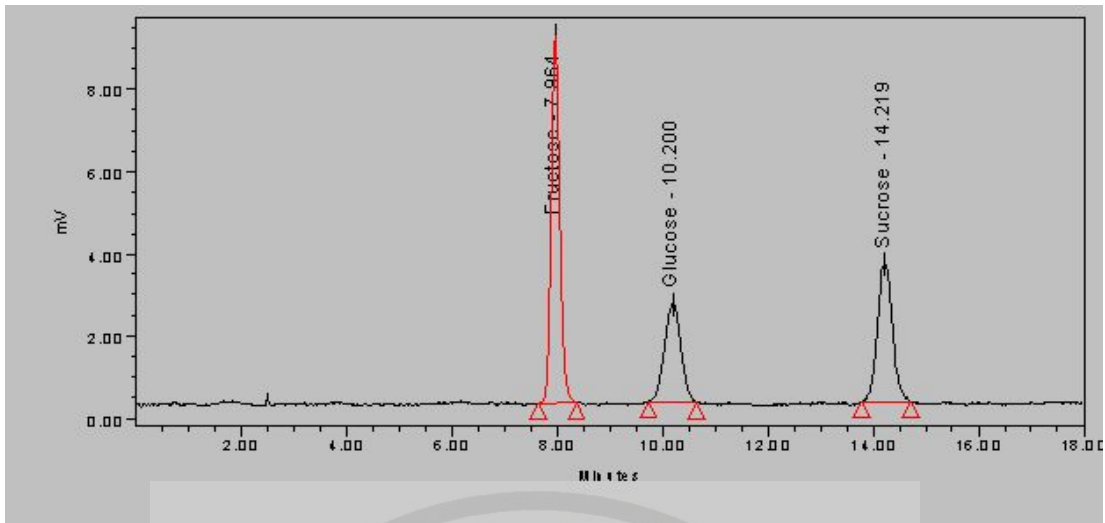
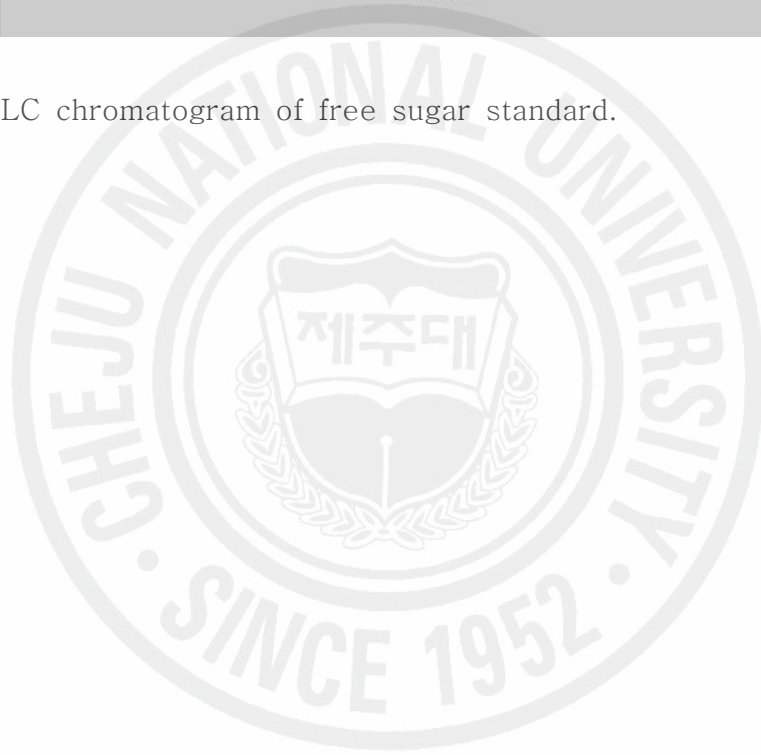


Fig 2. HPLC chromatogram of free sugar standard.



4. 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. 사양조각 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.

5. 효소 활성 분석

Song 등(1998)의 방법을 일부 변형하여 sucrose synthase(SS) 및 sucrose phosphate synthase(SPS)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℃ 항온수조를 이용하여 30분간 반응시킨 후 100℃에서 2분간 가열하여 반응을 종결시켰다. 곧바로 얼음을 이용하여 식힌 후 혼합액 50 μ L을 취하고 30% KOH 100 μ L를 가하여 잘 혼합한 후 100℃에서 10분간 가열하고 합성된 자당 농도를 anthrone 방법 (Van Handel, 1968)으로 분석하였다. 미리 3시간 전에 조제하여 안정화시킨 anthrone solution 3mL를 냉각된 혼합액과 40℃에서 10분간 발색시키고 620nm에서 비색계로 흡광도를 측정하여 표준 용액으로 비교 정량하였다. SPS 활성은 SS 활성분석용 기질 중 fructose 대신에 F-6-P와 G-6-P를 첨가하여 동일한 방법으로 측정하였다.

6. 통계 분석

동일 품종에서 두 처리 간 유의차가 있는지를 확인하기 위하여 Microsoft Office 2000 Professional의 Excel 프로그램을 이용하여 t-검정(등분산 가정 두집단)을 수행하였다. 또한 The SAS system 8.02를 이용하여 유리당 함량과 효소활성 사이의 단순상관관계를 분석하였다.



Ⅲ. 결과 및 고찰

환경조절실내 온도를 자동기록계로 관찰한 결과 Fig. 3의 예에서 보는 바와 같이 설정한 온도가 그대로 유지되었다. 4개의 환경조실에서 똑같이 4월 6일 발아하고 5월 13일 만개하여 노지와 비슷한 생육을 보였다. 10월 하순에 측정된 잎수분퍼텐셜(Ψ_{max})은 대략 $-0.9 \sim -1.0$ MPa 범위로 과즙의 총당 함량을 가장 높이는 건조 정도라고 알려진 $-0.6 \sim -0.7$ MPa(Maotani와 Machida, 1990; Mukai 등, 1996)보다 다소 낮았지만, 시설감귤 생산현장에서 이루어지고 있는 품질향상을 위한 수분관리 수준이라고 생각되었다(Table 1).

과실의 종경과 횡경은 궁천조생과 흥진조생 두 품종 모두 온도처리기간 30℃구에서 비대가 불량하였다가 이후 회복되는 경향였다. 동일 품종 내 동일 관찰일에 종경과 횡경의 처리 간 유의차는 인정되지 않았지만(Table 2), 처리기간과 그 이후의 종경과 횡경 증가량은 온도처리 영향이 유의하였다. 즉 온도 처리기간의 후반인 8월 11일부터 9월 11일 사이 종경과 횡경 증가량은 30℃구에서 보다 25℃구에서 증가량이 많았으며 온도처리가 끝나 같은 조건으로 관리한 9월 11일부터 11월 11일 사이에는 반대로 30℃ 처리구에서 증가량이 많아 11월 11일에는 처리 간 차이가 거의 없어졌다(Table 3). 과실무게도 9월 11일에는 두 품종 모두 25℃구에서 무거운 편이었다가 11월에는 비슷해지는 경향이었으나 처리 간 유의차는 인정되지 않았다(Table 4). 과육율은 전구간 25℃구에서 높은 편이었으며, 과실비중은 9월 11일에는 30℃구에서 높은 편이었 는데 11월에는 처리 간 차이가 없어졌다. 이 결과들은 온주밀감 과실의 비대 적온은 20~25℃이며(Kobayashi 등 1968) 과실비중은 23℃에서 보다 30℃에서 높았다는(Utsunomiya 등, 1982) 기존의 보고와 일치한다. 즉 일평균 30℃ 정도의 고온은 온주밀감의 과실발육을 저해할 정도로 나무에 스트레스를 주지만 온도가 낮아지면 회복되는 것으로 해석되었다.

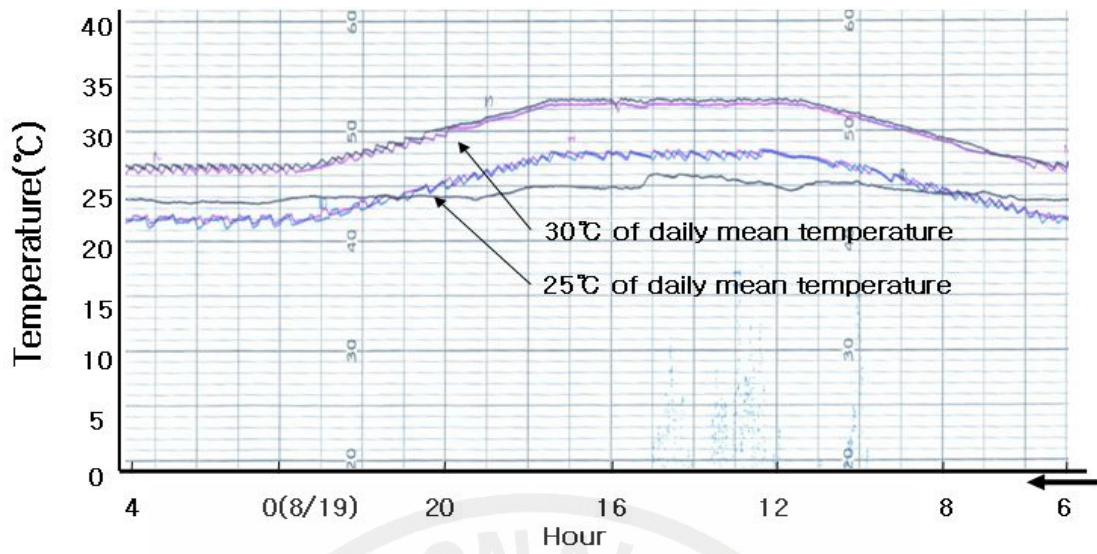


Fig. 3. Examples of diurnal changes in temperature of phytotron recorded on the 18th of August in 2004.

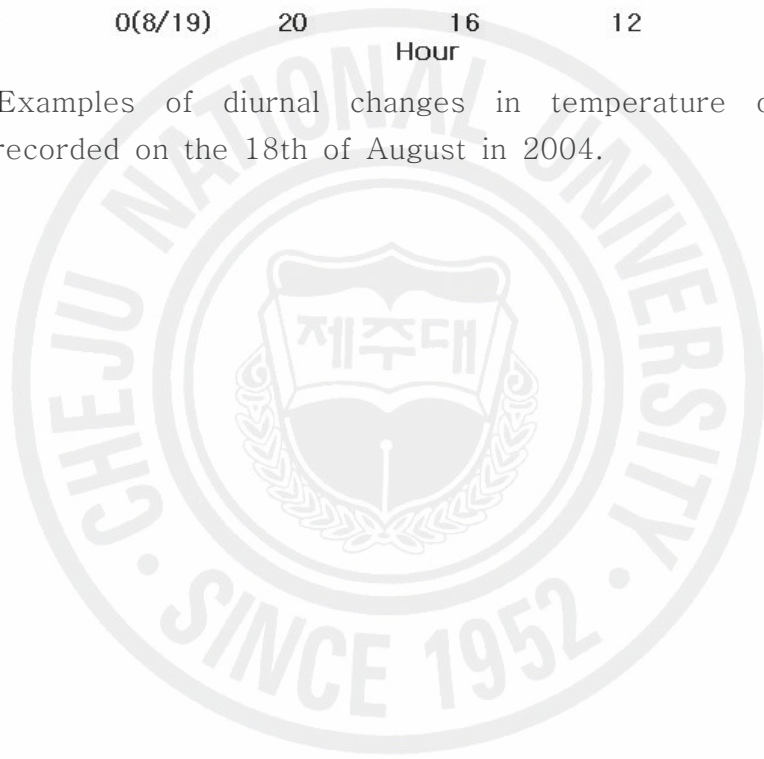


Table 1. Leaf water potential in Satsuma mandarin in phytotron

Room	Oct. 25	Oct. 27	Oct. 29
	Leaf potential(MPa)		
Room 1	-1.00	-1.03	-1.00
Room 2	-0.93	-0.91	-0.95
Room 3	-0.87	-0.93	-0.89
Room 4	-0.90	-0.98	-0.96



Table 2. Seasonal changes in fruit diameter in ‘Miyagawa Wase’ and ‘Okitsu Wase’ satsuma mandarin as affected by different daily mean air temperature during the period from July 11 to Sept.10.

Cultivar	Treatment	Aug.		Sept.			Oct.			Nov.	
		22	1	11	21	1	11	21	1	11	
Miyagawa		Longitudinal (mm)									
	25°C	38	41	44	46	48	48	50	51	52	52
	30°C	38	40	41	44	46	47	50	51	54	54
		Transversal (mm)									
	25°C	44	49	53	56	59	61	64	66	68	69
	30°C	41	45	46	49	53	56	61	62	67	67
Okitsu		Longitudinal (mm)									
	25°C	40	43	45	48	49	50	52	53	54	56
	30°C	40	42	44	47	49	51	53	54	56	57
		Transversal (mm)									
	25°C	45	50	53	57	60	62	66	68	69	72
	30°C	45	47	49	52	56	59	63	65	70	71

NS between treatments.

Table 3. Increase in fruit diameter in satsuma mandarin as affected by different daily mean air temperature during the period from July 11 to Sept. 10.

Treatment	‘Miyagawa Wase’		Okitsu Wase’	
	Aug. 11 Sept. 11	Sept. 11 Nov. 11	Aug. 11 Sept. 11	Sept. 11 Nov. 11
	Longitudinal (mm)			
25°C	8.5	5.9	7.6	8.0
30°C	6.2	9.9	7.3	10.1
Significance ^z	**	ns	ns	ns
	Transversal (mm)			
25°C	12.5	12.9	12.0	14.5
30°C	8.0	18.1	7.3	19.3
Significance	ns	ns	***	*

^zns, not significant; *, **, or ***, significant at 5, 1, or 0.1% level, respectively.

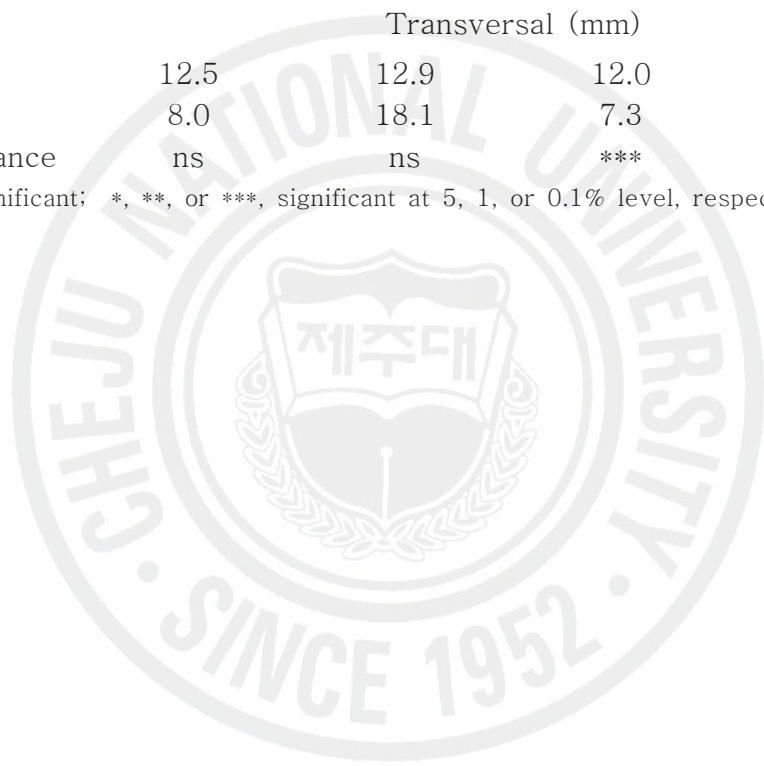


Table 4. Effect of summer temperature on fruit weight in 'Miyagawa wase' and 'Okitsu wase' satsuma mandarin.

Treatment	'Miyagawa'			'Okitsu'		
	Sept. 11	Oct. 11	Nov. 11	Sept. 11	Oct. 11	Nov. 11
	Fruit wt(g)					
25°C	71.30	98.87	133.88	69.17	88.75	147.06
30°C	53.27	77.25	128.65	61.22	89.10	148.36
p	0.069	0.085	0.529	0.216	0.87	0.954
	Flesh ratio(%)					
25°C	81.59	84.79	82.74	80.42	84.82	83.10
30°C	77.14	81.34	82.25	79.11	81.64	81.43
p	0.006	0.013	0.37	0.558	0.078	0.012
	Specific gravity					
25°C	0.964	0.956	0.919	0.960	0.961	0.904
30°C	0.977	0.966	0.921	0.981	0.964	0.904
p	0.154	0.080	0.684	0.010	0.339	0.967

과실 성숙기 과즙 당도의 변화는 Fig. 4와 같았다. 온도처리가 끝난 시점인 9월 11일 궁천조생의 과즙 당도는 25℃구와 30℃구에서 각각 7.7, 7.6° Brix로 비슷하였다. 이후 성숙기 당도 증가는 25℃구에서 많아 10월 11일에는 두 처리 간 차이가 1.2° Brix가 되었으며 11월 11일에는 2.6° Brix로 더욱 커졌다. 흥진조생 과즙 당도의 변화도 궁천조생에서와 매우 비슷하였다. 9월 11일에는 과즙 당도에 처리 간 차이가 없었지만 10월 11일에는 25℃구에서 1° Brix 이상 높았으며 11월 11일에는 그 차이가 더 커졌다.

Fig. 5는 과즙 중 과당 농도의 변화를 나타낸 것이다. 온도처리가 끝난 시점인 9월 11일 비록 통계적 유의차는 인정되지 않았지만 두 품종 모두 25℃구에서 높은 경향이었는데 성숙이 진행될수록 25℃구에서는 과당 농도가 증가되었지만 30℃구에서는 거의 증가되지 않아 11월 11일에는 두 품종에서 다 같이 처리 간 차이가 5mg·L⁻¹ 정도로 25℃구에서 높았다.

과즙 중 포도당 농도는 9월 11일 비록 통계적 유의차는 인정되지 않았지만 두 품종 모두 25℃구에서 높은 경향이었는데(Fig. 6) 성숙이 진행될수록 25℃구에서는 포도당 농도가 다소 증가되었지만 30℃구에서는 오히려 감소되는 경향을 보여 11월 11일에는 두 품종에서 다 같이 처리 간 차이가 약 4.5mg·L⁻¹ 정도로 25℃구에서 높았다.

과즙 중 자당 농도의 변화도 두 품종에서 같은 경향을 보였다(Fig. 7). 9월 11일에는 비록 통계적 유의차는 인정되지 않았지만 과당이나 포도당과는 달리 자당 농도는 30℃구에서 오히려 높은 경향이었는데, 이후 2개월 동안 25℃구의 자당 농도는 두 품종 모두에서 매월 30~40mg·L⁻¹씩 꾸준히 증가되었지만 30℃구에서는 처음 1개월간의 증가량은 15mg·L⁻¹ 미만이었다가 나중 1개월은 25~30mg·L⁻¹ 정도로 회복되었다. 두 품종 공히 과실 성숙이 진행될수록 25℃구의 과즙 자당 농도가 30℃구에서 보다 높아져 11월 11일에는 그 차이가 25mg·L⁻¹나 되었다.

과즙 중 총당 농도의 변화는 Fig. 8에서 보는 바와 같이 온도 처리가 끝난 시점인 9월 11일에는 두 품종 다 같이 처리 간 차이가 없었으나 이후 변화는 자당 농도의 변화와 비슷하였지만 11월 11일 처리 간 차이가 자당 농도의 차이보다 10mg·L⁻¹ 더 많은 35mg·L⁻¹ 정도였다.

궁천조생의 sucrose synthase(SS) 효소 활성은 9월 11일에는 처리 간 차이가 없었으나(Fig. 9), 이후 두 처리구에서 모두 활성이 증가되었는데 25℃구에서 증가량이 많아 처리 간 유의한 차이를 보였다. 흥진조생의 SS 활성 변화는 처리 간 차이가 유의하지 않았지만 궁천조생에서와 비슷한 경향을 보였다.

Sucrose phosphate synthase(SPS)의 활성은 궁천조생에서는 9월 11일과 10월 11일에는 두 처리 간 차이 없이 비슷하게 유지되다가 11월 11일에는 25℃구에서는 약간 높아진 반면 30℃구에서 오히려 낮아져 처리 간 차이가 유의하였다(Fig. 10). 그러나 흥진조생에서는 두 처리 모두 시간이 경과하면서 비슷하게 감소되었다.

유리당 농도와 효소활성과의 상관계수는 품종에 따라 다소 다른 경향이었다(Table 5). 궁천조생에서는 SS 활성과 자당과 5% 수준에서 유의한 상관이 인정되었고 과당과 포도당과는 상관이 인정되지 않았으나 SPS 활성은 11월 11일 분석에서 모든 유리당과 상관이 인정되었다. 그러나 흥진조생에서는 SS 활성이 10월과 11월에 모든 유리당과 1% 또는 0.1% 수준에서 상관이 인정되었고 SPS 활성은 어떤 유리당과도 상관이 인정되지 않았다.

구연산 함량으로 나타낸 과즙의 산도는 두 품종에서 다 같이 꾸준히 감소되었는데 처리 간 차이는 없었다(Table 6).

11월 11일 관찰한 과피의 적록도(a*값)는 처리 간 유의차는 인정되지 않았지만(Fig. 11), 두 품종에서 다 같이 30℃구의 값이 25℃구보다 절반 이하였다.

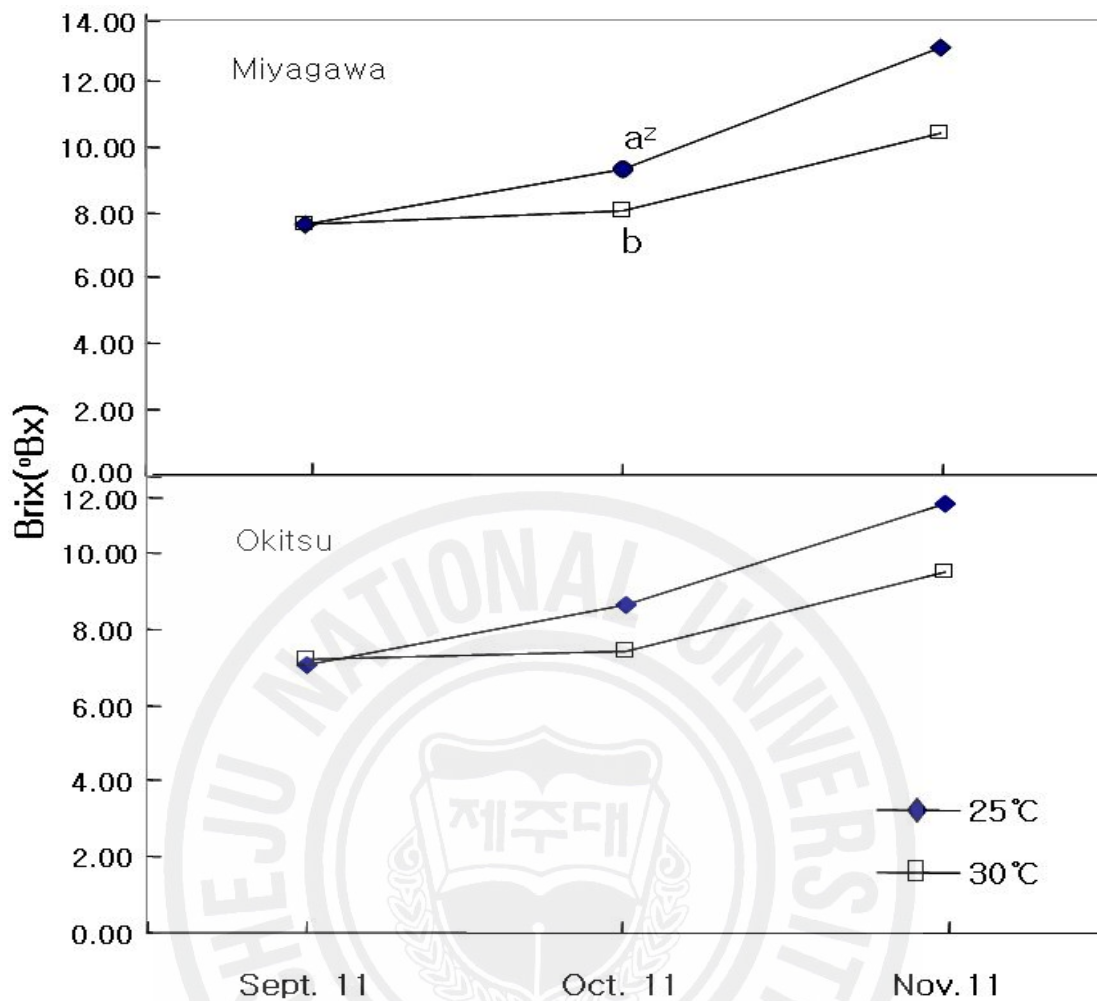


Fig. 4. Changes in TSS (Total Soluble Solids) during fruit maturation in satsuma mandarin fruit juice as affected by different daily mean air temperatures during the period from July 11 to Sept. 10.
²Mean separation by t-test at 5% level within the same cultivar on the same date, observations without letter are not significantly different between treatments.

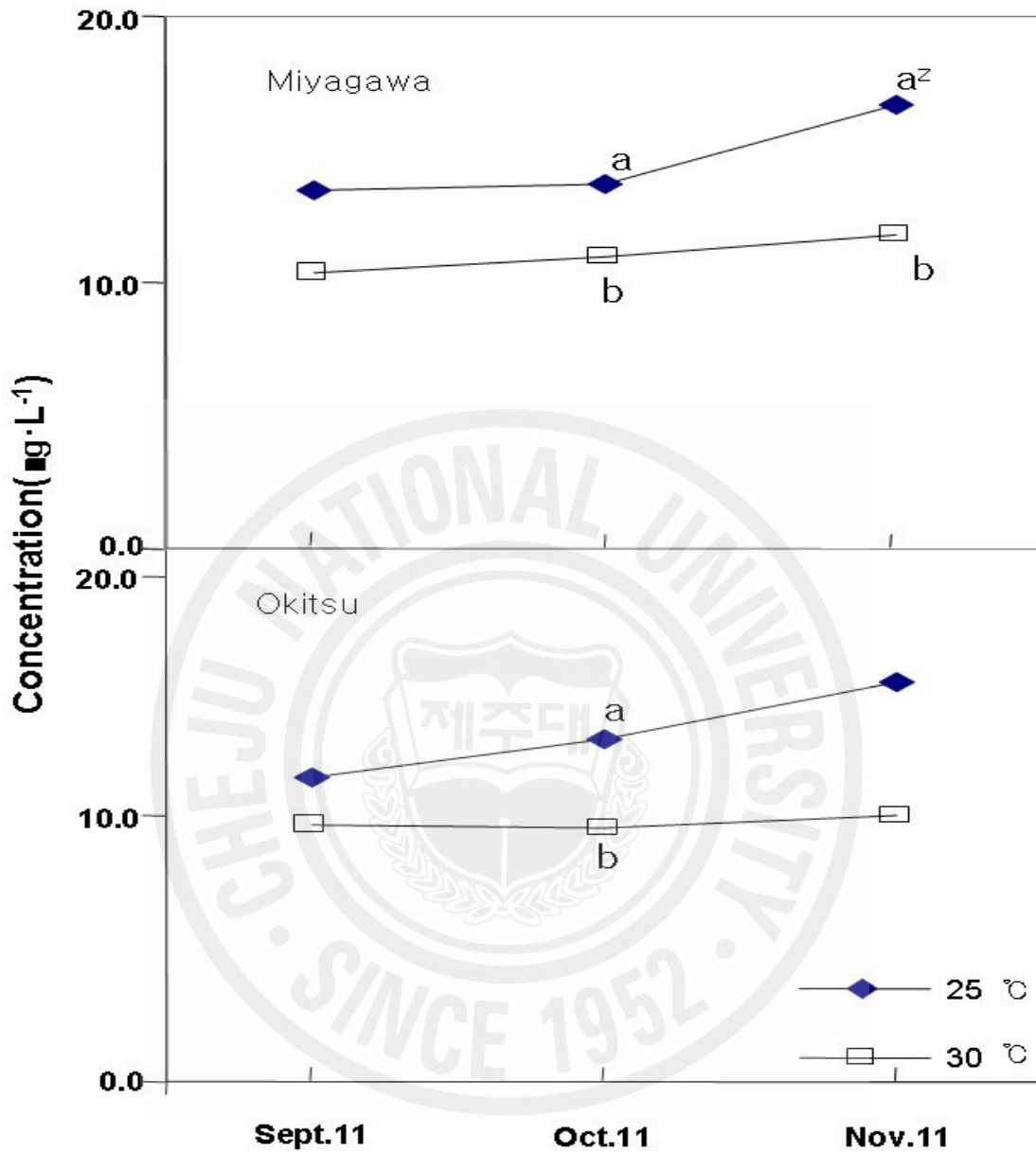


Fig. 5. Changes in fructose concentration during fruit maturation in satsuma mandarin fruit juice as affected by different daily mean air temperatures during the period from July 11 to Sept. 10. ^zMean separation by t-test at 5% level within the same cultivar on the same date, observations without letter are not significantly different between treatments.

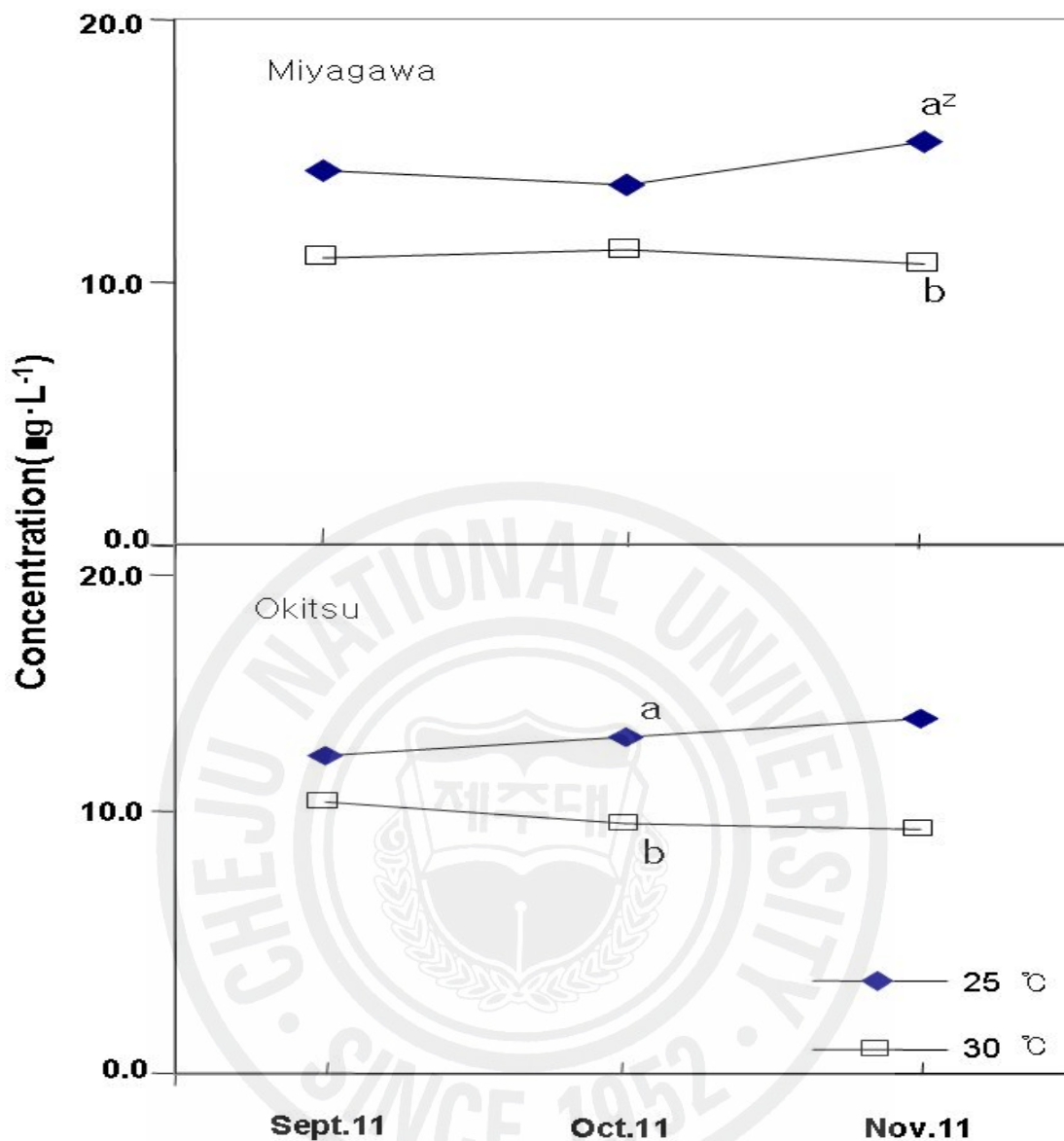


Fig. 6. Changes in glucose concentration during fruit maturation in satsuma mandarin fruit juice as affected by different daily mean air temperatures during the period from July 11 to Sept. 10.

^zMean separation by t-test at 5% level within the same cultivar on the same date, observations without letter are not significantly different between treatments.

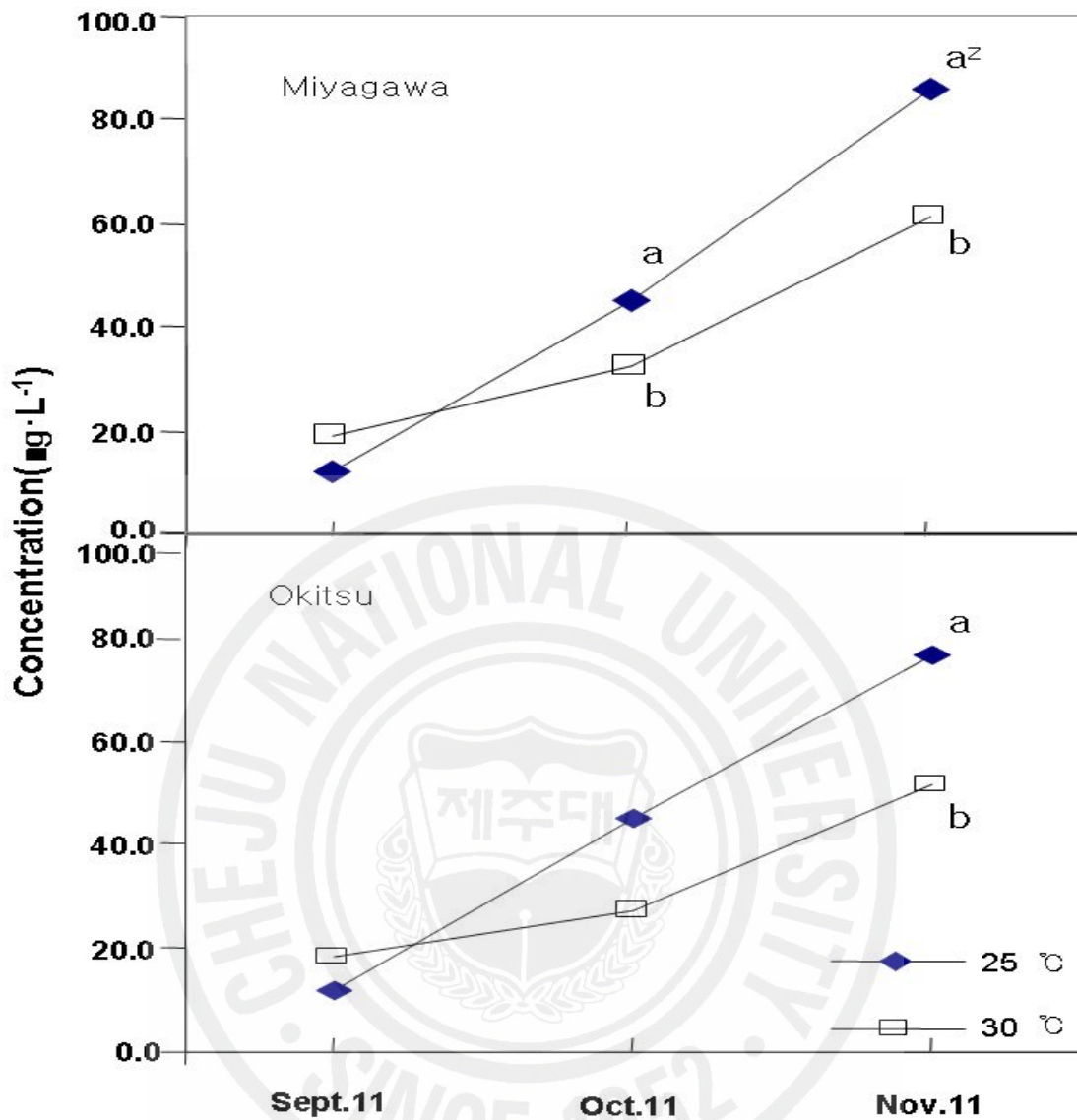


Fig. 7. Changes in sucrose concentration during fruit maturation in satsuma mandarin fruit juice as affected by different daily mean air temperatures during the period from July 11 to Sept. 10.

^zMean separation by t-test at 5% level within the same cultivar on the same date, observations without letter are not significantly different between treatments.

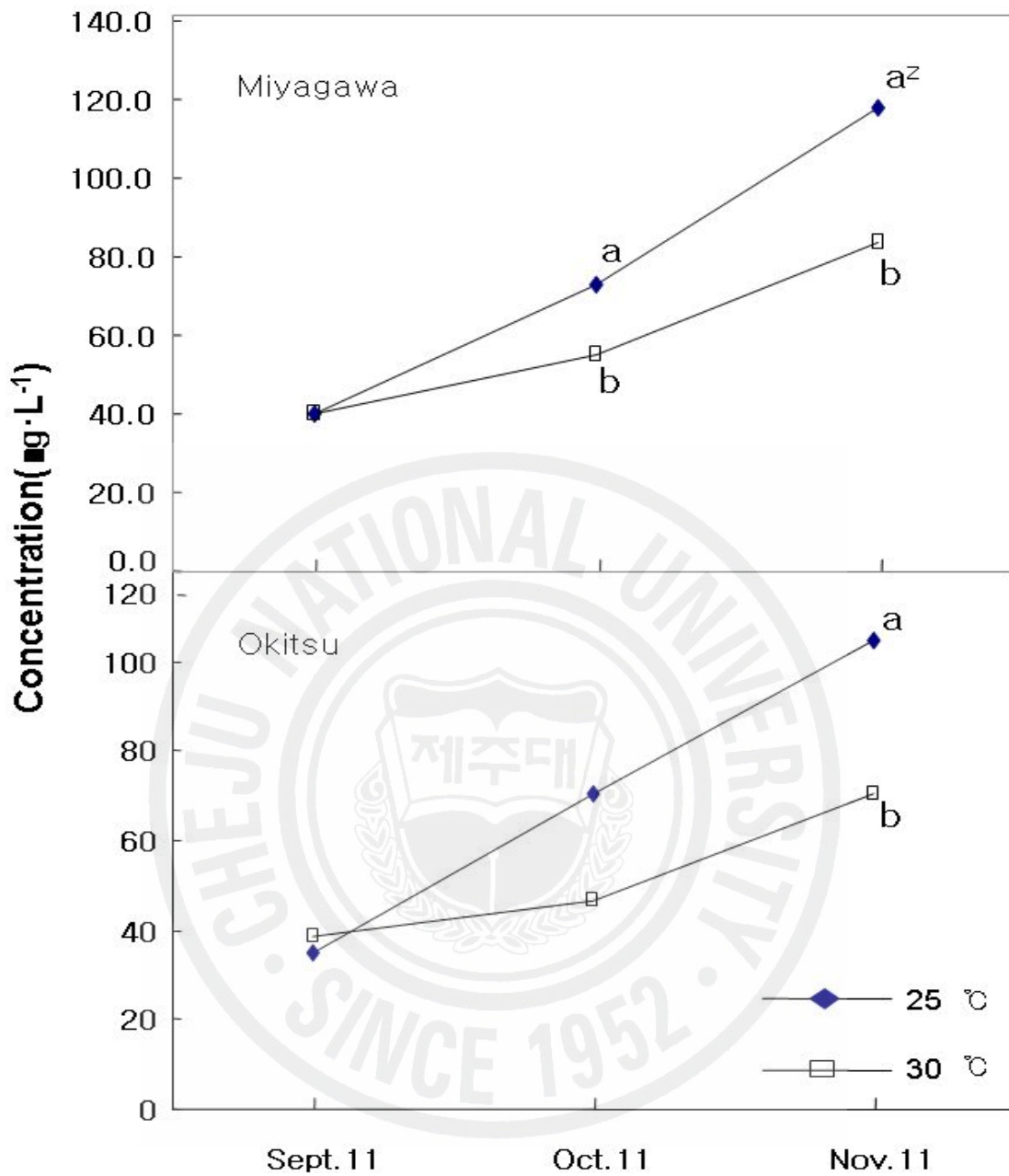


Fig. 8. Changes in concentration of total sugars during fruit maturation in satsuma mandarin fruit juice as affected by different daily mean air temperatures during the period from July 11 to Sept. 10.

^zMean separation by t-test at 5% level within the same cultivar on the same date, observations without letter are not significantly different between treatments.

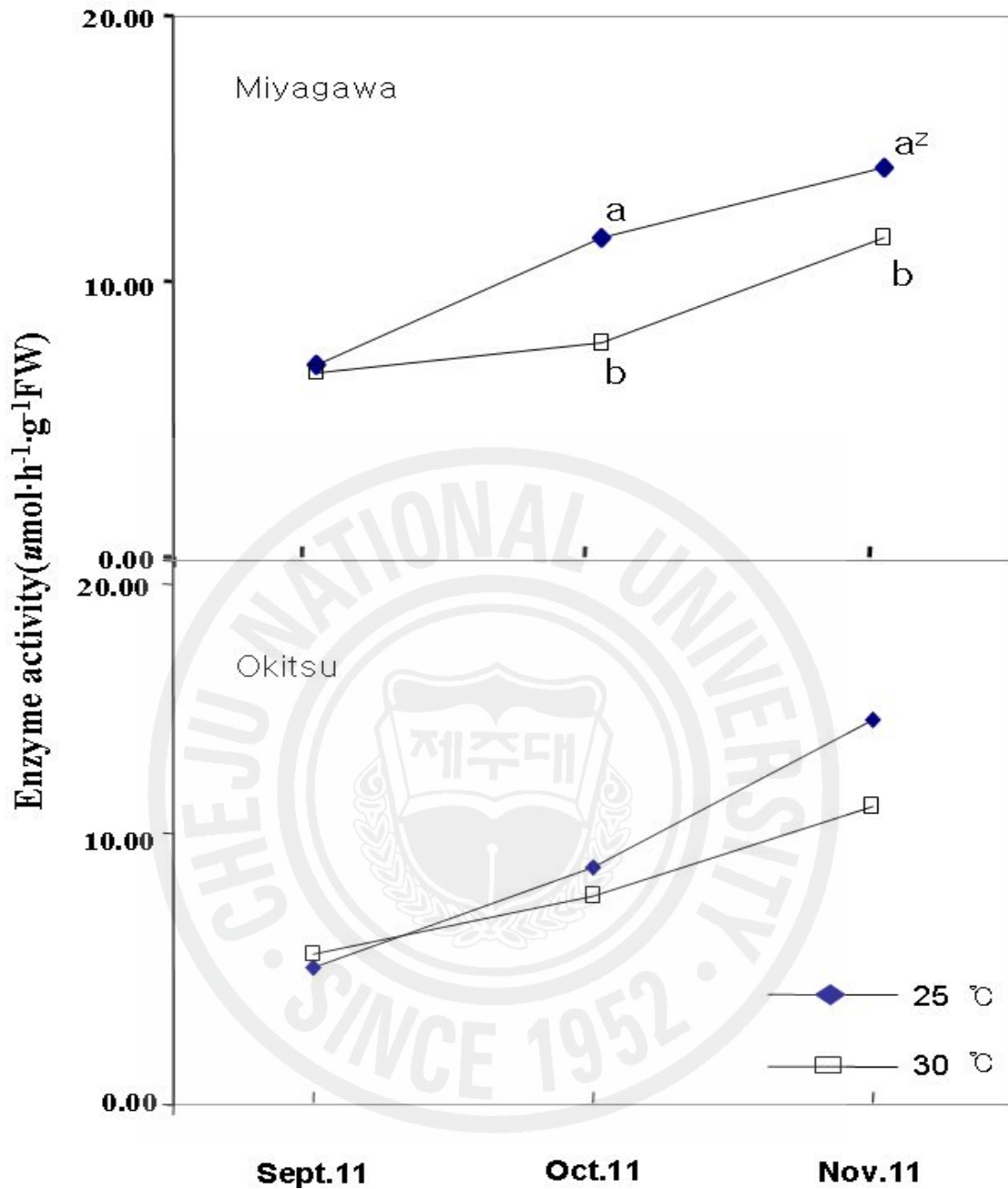


Fig. 9. Changes in activity of sucrose synthase enzyme during fruit maturation in satsuma mandarin fruit juice as affected by different daily mean air temperatures during the period from July 11 to Sept. 10.

²Mean separation by t-test at 5% level within the same cultivar on the same date, observations without letter are not significantly different between treatments.

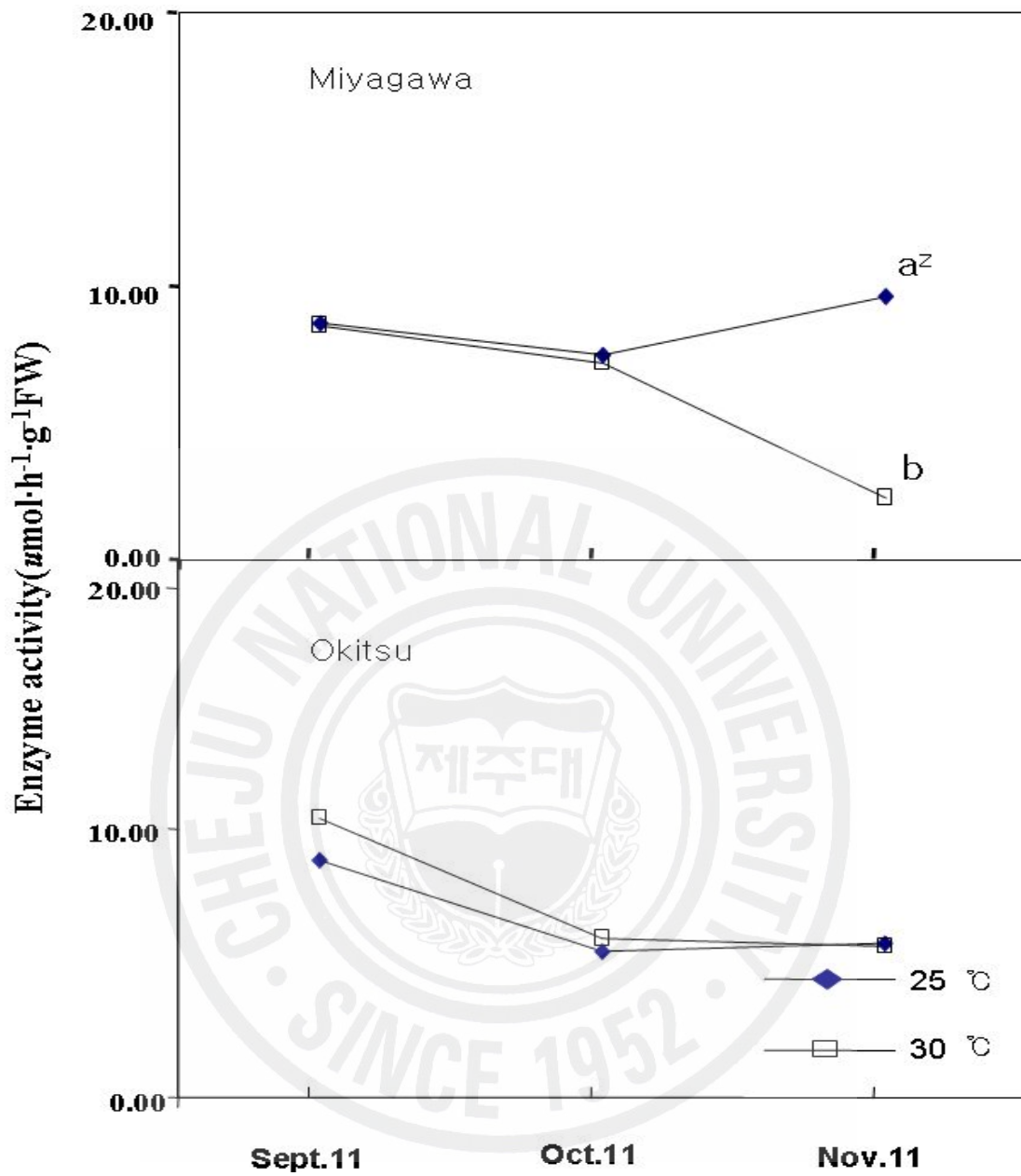


Fig. 10. Changes in activity of sucrose phosphate synthase enzyme during fruit maturation in satsuma mandarin fruit juice as affected by different daily mean air temperatures during the period from July 11 to Sept. 10.

²Mean separation by t-test at 5% level within the same cultivar on the same date, observations without letter are not significantly different between treatments.

Table 5. Correlation coefficients between the concentration of free sugars and the activity of enzymes in satsuma mandarin fruit juice.

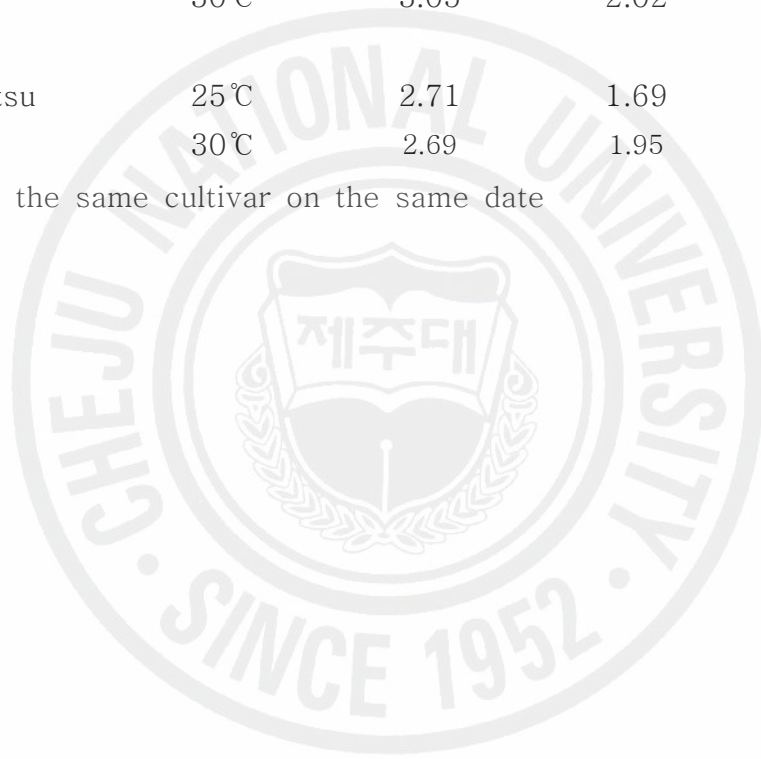
Sugar	Sucrose synthase			Sucrose phosphate synthase		
	Sept.11	Oct.11	Nov.11	Sept.11	Oct.11	Nov.11
'Miyagawa Wase'						
Fructose	0.072	0.683	0.641	-0.231	0.646	0.797*
Glucose	0.065	0.633	0.624	-0.254	0.704	0.794*
Sucrose	-0.227	0.891*	0.824*	-0.234	0.367	0.944***
'Okitsu Wase'						
Fructose	-0.011	0.838**	0.925***	-0.540	0.615	0.486
Glucose	0.026	0.840**	0.922**	-0.489	0.634	0.504
Sucrose	-0.120	0.726	0.897**	-0.098	0.308	0.457

*, ** and *** significant 5%, 1% and 0.1% level, respectively.

Table 6. Seasonal changes in acidity of fruit juice in ‘Miyagawa Wase’ and ‘Okitsu Wase’ satsuma mandarin as affected by different daily mean air temperature during the period from July 11 to Sept.10.

Cultivar	Treatment	Date of observation		
		Sept. 11	Oct. 11	Nov. 11
		% as citric		
Miyagawa	25°C	3.00	1.58	1.23
	30°C	3.05	2.02	1.21
Okitsu	25°C	2.71	1.69	1.13
	30°C	2.69	1.95	1.18

NS within the same cultivar on the same date



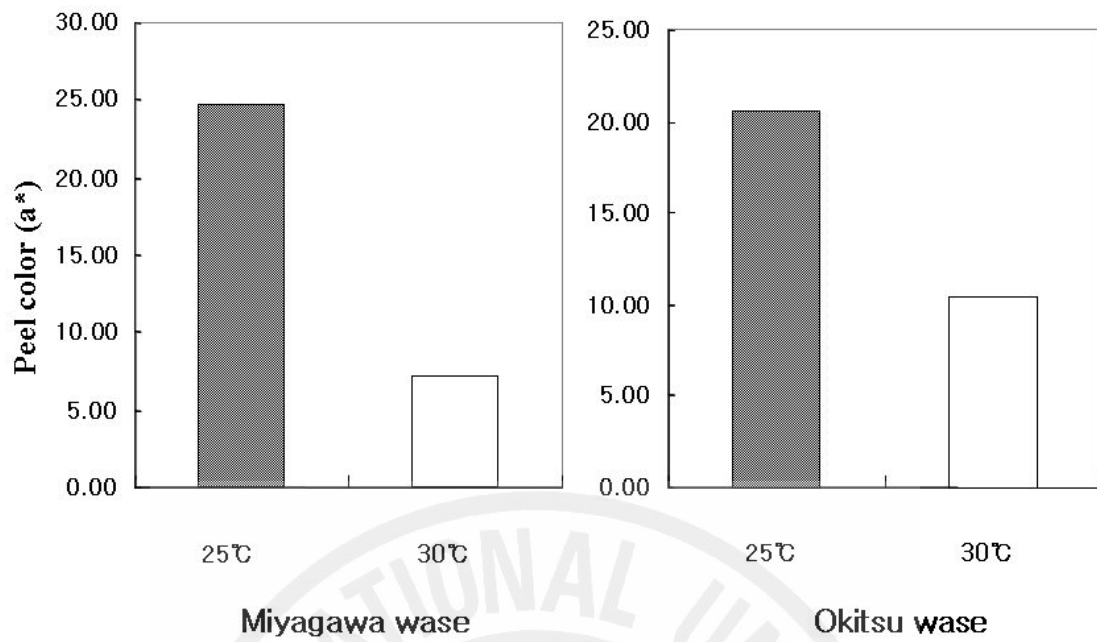


Fig. 11. Effect of summer temperature on peel color in satsuma mandarin.

환경조절실 시설의 제한으로 2반복 시험이어서 자유도가 작다는 점을 감안하면 처리효과를 판단함에 있어서 유의성 유무에 잡착하기 보다는 두 품종에서 같은 경향으로 나타나고 있는 점에 주목할 필요가 있다고 생각되었다. 여름철 기온이 성숙기 과즙의 유리당 농도에 미친 영향을 요약하면 온도처리기간 중 과당과 포도당 농도는 25℃구에서보다 30℃구에서 낮아졌으며 그 차이는 성숙기에 다소 커지는 경향이였다. 자당 농도는 처리가 끝나는 시점인 9월 11일에는 30℃구에서 높은 경향이였으나 이후 성숙기 자당 증가량은 25℃구에서 훨씬 커 11월 11일에는 25℃구의 자당농도가 30℃구보다 유의하게 높았다.

과즙의 당 농도에 미치는 과실 성숙기 온도의 영향에 대한 보고는 있으나 여름철 고온의 영향으로 성숙기에 과즙 자당 증가가 억제된다는 것은 흥미로운 관찰결과이다. 과실 성숙기 온도를 15℃, 23℃, 30℃ 항온조건으로 조절한 결과 과당과 포도당은 30℃에서 가장 높았고 자당은 23℃에서 가장 높았다(Utsunomiya 등, 1982). 흥진조생에서 9월 13일부터 9월28일까지 보름 동안 주야간의 온도처리를 30-25℃, 25-20℃, 20-15℃로 달리하여 과즙으로의 당류 집적을 조사한 결과 온도처리기간 뿐만 아니라 처리 후 1개월 동안의 당류집적량이 20-15℃구에서 가장 많았고 다음으로 25-20℃구였으며, 30-25℃구에서는 가장 적었다(Takagi 등, 1994). 일평균 기온 30℃가 과즙의 자당 집적을 방해하는 고온이라는 점은 과거의 결과와 일치한다. 그러나 여름철 고온효과가 어떤 경로를 거쳐 성숙기가 되어 나타나는지는 금후 연구과제이다.

감귤 과즙의 자당 함량과 SS 활성과의 밀접한 관련성은 여러 연구자에 의해 보고되었다(Chae 등, 2003; Hockema와 Etxeberria, 2001; Richardson, 1997; Song과 Ko, 1997). Chae 등(2007)은 건조스트레스 시기가 당 농도와 당 관련 효소 활성에 미치는 영향을 조사하여 SS 활성 차이는 건조에 의한 수용부위 강도 증가 정도를 나타내었으며 SPS 활성은 SS와 공동으로 또는 보조적으로 작용하는 것이라고 생각되었지만 오차가 심하여 판단이 어려웠다고 하였다. 이 연구에서도 SS 활성의 변화 양상은 두 품종 모두에서 자당 농도와 매우 흡사했는데 SPS 활성은 두 품종에서 경향이 달랐다.

과실 생육기간의 적산온도와 산 함량과는 부의 상관성이 있어서(Kim, 2002a) 성숙기가 온난한 해나 지역에서는 산함량이 일찍 감소된다. 그러나 이 시험에서 여름철 고온은 성숙기 산함량에 영향이 인정되지 않았다.

감귤 과피의 착색은 생육온도가 낮은 조건에서 양호하다는 것은 일찍부터 알려졌다(Erickson, 1960; Young과 Erickson, 1961). 성숙기 과실온도를 30℃로 유지하면 엽록소 분해가 억제되고 카로티노이드는 거의 생성되지 않는다(Utsunomiya 등, 1982). 감귤 과피의 당 함량과 착색과는 정의 상관성이 있으며 질소함량과 착색과는 부의 상관성이 있다(Takagi 등, 1989). 또한 과피의 당함량이 높으면 탈녹이 촉진된다(Huff, 1983). 이 시험에서 과피 성분을 분석하지 않아 확인할 수 없었지만 여름철 고온이 성숙기 과피 착색을 나쁘게 하는 것은 과피 성분에 영향을 미쳤기 때문이라고 추측된다.

지구의 온난화가 계속되어 여름철 일평균 기온이 30℃ 이상인 날이 많아진다는가 또는 시설감귤에서 하우스 내 기온이 30℃ 이상으로 올라가면 과즙의 당 함량 증가에 나쁜 영향을 미칠 수 있을 것으로 판단되었다.



IV. 요약

화분에 심은 궁천조생과 흥진조생 온주밀감(*Citrus unshiu* cv. 'Miyagwa Wase' and 'Okitsu Wase')을 시험수로 하여 인공환경조절실에서 7월 11일부터 9월 10일까지 2개월 간 일평균 기온 25℃와 30℃ 두 처리를 두어 관리하였다. 일교차는 모두 6℃로 하였으며 처리기간 이외의 생육기간은 두 처리 모두 서귀포 순별 평균기온에 준하여 순별로 평균기온을 설정하여 온도를 관리하였다. 과실 직경의 변화와 성숙기 과즙의 당도 및 유리당 함량의 변화를 조사한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 온도처리기간은 25℃구에서 과실의 중경과 횡경의 증가가 많았으나 그 이후에는 30℃구에서 증가량이 많아 11월에는 처리 간 차이가 없어졌다.
2. 과즙의 과당과 포도당 농도는 9월 11일 두 품종 다같이 25℃구에서 높은 경향이었으며 그 차이는 성숙이 진행될수록 더 커졌다.
3. 과즙의 자당 농도는 9월 11일에는 30℃구에서 높은 경향이었으나 성숙기 농도 증가는 25℃구에서 훨씬 많아 11월 11일에는 25℃구의 농도가 30℃구에 비하여 두 품종 다같이 $25\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 더 높았다.
4. 과즙의 sucrose synthase(SS) 활성 변화는 두 품종 다같이 자당 농도의 변화 양상과 비슷하였으나 sucrose phosphate synthase(SPS) 활성 변화 양상은 품종에 따라 달랐다.
5. 성숙기 유리산 함량변화는 온도 처리의 영향이 인정되지 않았다.
6. 30℃구에서는 과피 착색이 지연되었다.

V. 참고 문헌

- 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.
- Chae, C.W., K.J. Song, and D.K. Moon. 2007. Effect of the season of drought stress on the free sugar concentration and sugar-related enzyme activity in fruit juice of early-maturing satsuma mandarin. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 25:241-247.
- 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., and L.G. Albrigo. 1994. *Citrus*. CAB International. Wallingford. UK.
- Erickson, L.C. 1960. Color development in Valencia orange. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 75:257-262.
- FAO. 2008. (<http://faostat.fao.org/>).
- 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.
- Huff, A. 1983. Nutritional control of regreening and degreening in citrus

- peel segments. *Plant Physiol.* 73:243–249.
- Inoue, H., and Y. Harada. 1988. Tree growth and nutrient absorption of young satsuma mandarins under different temperature conditions. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 57:1–7.
- Kim, C.M. 2002. Effect of climatic parameters on flowering, fruiting and fruit quality of satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) in Jeju island. PhD Diss. Cheju Natl. Univ.
- 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.
- Kobayashi, A., N. Nii, K. Harada, and K. Kadowaki. 1968. Favorable day and night temperature combination for the fruit growths of Delaware grapes and satsuma oranges. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 37:15–20.
- 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.
- 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.
- Mukai, H., T. Takagi, N. Kajita, S. Nishikawa, H. Harada, and Y. Murai. 2000. Sugar accumulation in fruit of several satsuma mandarin cultivar. *J. Japan. 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.
- Oh, S.D., and H.I. Jang. 2004. Temperature climatology in Korea and global warming, p. 12–25. In: S.D. Oh (ed.) Fruit tree physiology in relation to temperature. Gilmoem, Seoul.
- Richardson, A.C., K.B. Marsh, and E.A. Macrae. 1997. Temperature effects on satsuma mandarin fruit development. Journal of Horticultural Science 72(6):919–929.
- 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.
- Takagi, T., Y. Masuda, T. Ohnishi, and T. Suzuki. 1989. Effects of sugar and nitrogen content in peel on color development in satsuma mandarin fruits. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 58:575–580
- Takagi T., H. Mukai., T. Ichikawa, and T. Suzuki. 1994. Effects of temperature and sugar accumulation in fruits on color development of satsuma mandarin. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 62:725–731.
- Utsunomiya, N., H. Yamada, I. Kataoka, and T. Tomana. 1982. The effect of fruit temperatures on the maturation of satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Mac.) fruits. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 51:135–141.
- Van Handel, E. 1968. Direct microdetermination of sucrose. Anal. Biochem.

22:280–283.

Yim, Y.J. and D.K. Moon. 2004. Fruit growth and maturation, p. 258–311. In: S.D. Oh (ed.) Fruit tree physiology in relation to temperature. Gilmoem, Seoul.

Young, L.B. and L.C. Erickson. 1961. Influence of temperature on color change in Valencia orange. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 78:197–200.



감사의 글

수많은 세잎클로버 속에서 행운이라는 네잎클로버만 찾기 위해 같은 장소를 헤메기만 하던 저에게 행운이 아닌 삶 속에 펼쳐진 행복이라는 세잎클로버의 소중함을 깨닫게 해주신 모든 분들께 감사드립니다.

생명공학이라는 학문이 사회 이슈로 떠오르던 시기에, 재배학의 소중함을 알려주시며 대학원 입학에서부터 본 논문 완성되기까지 많은 실수와 부족함을 시종 아낌없는 사랑과 지도로 이끌어 주신 문두길 지도교수님께 마음 깊이 감사드립니다.

수업시간마다 따뜻한 말 한마디로 학문의 부족함을 깨우쳐 주신 박용봉 교수님, 대학교 입학 때부터 많은 조언과 도움을 주신 소인섭 교수님, 바쁜 일정에도 불구하고 깊은 관심을 가지시고 논문의 심사를 맡아 주신 강 훈 교수님, 학교 생활에 안주하고 있을 때 앞으로 나아갈 수 있게 세심한 배려를 해주신 송관정 교수님, 조교시절 어려움이 있을 때마다 편안한 선배님으로서 자상한 교수님으로서 저를 도와주신 한상헌 교수님께도 감사드립니다.

연구수행을 위해 언제나 곁에서 힘이 되어 주신 시현이형, 분석수행과 논문작업에 큰 힘이 되어 준 치원이형, 학교생활을 하면서 실험실 생활을 이끌어준 석범이형을 비롯한 생리생태실험실 선배님들께도 감사합니다. 그리고 논문 제출까지 많은 도움을 준 학과사무실의 강동협 조교와 허유미 조교에게도 감사의 마음을 전합니다.

농협이라는 새로운 조직에서 파티션 건너편에서 조언을 해주는 동환이형을 비롯한 지도경제 사무실 식구들에게도 고마움을 표합니다.

덜렁거리는 큰아들을 항상 넓고 푸른 바다와 같은 마음으로 품어주시고 믿어주시는 아버지와 어머니, 여동생 수원이 그리고 막내 재호, 우리 가족들에게 감사의 글을 올립니다.

학교 생활을 하면서 추억을 만들었던 성림, 성건, 미선, 윤희, 효민, 윤숙이누나를 비롯한 저를 알고 있는 모든 지인들께 고맙다는 말을 전합니다.

평생의 반려자로서 인생의 첫발을 함께 내딛게 될 선임아, 곁에서 힘이 되어줘 고맙다.

졸업이 끝이 아니 새로운 시작이라는 각오로 항상 노력하는 모습으로 전진해 나아갈 수 있도록 거듭나겠습니다.