



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](#)

석사학위논문

다공질 시트 피복재배시 토양수분 함량변화가  
온주밀감의 과실품질 및 수체 스트레스에  
미치는 영향

강 남 호

제주대학교 일반대학원  
원예학과

2023년 8월

다공질 시트 피복재배시 토양수분 함량변화가  
온주밀감의 과실품질 및 수체 스트레스에  
미치는 영향

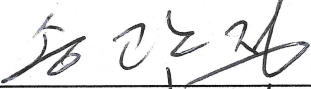

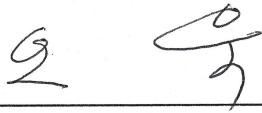
지도교수 한 상 현

강 남 호

이 논문을 농학 석사학위 논문으로 제출함

2023 년 6 월

강남호의 농학 석사학위 논문을 인준함

|       |           |                                                                                      |
|-------|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 심사위원장 | 송 관 정 교수님 |  |
| 위 원   | 한 상 현 교수님 |  |
| 위 원   | 오 욱 교수님   |  |

제주대학교 일반대학원

2023 년 8 월

Effects of Soil Moisture Content Variations on Fruit  
Quality and Tree Stress in Satsuma Mandarin during  
Porous Sheet Mulching Cultivation

Nam Ho Kang

(Supervised by professor Dr. Sang-Heon Han)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for the  
degree of Master of Agricultural Science

2023. 8

Department of Horticultural Science  
GRADUATE SCHOOL  
JEJU NATIONAL UNIVERSITY

# 목 차

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| 목차                                  | i  |
| List of Figures                     | ii |
| 초록                                  | v  |
| I. 서언                               | 1  |
| II. 재료 및 방법                         | 4  |
| 1. 시험수 처리내용과 미기상 및 토양수분함량 측정        | 4  |
| 2. 잎과 과실사양조직 수분상태 및 수분함량 측정         | 5  |
| 3. 엽록소 형광 및 광합성 속도 측정               | 5  |
| 4. 과실품질과 과실 생육의 변화 측정               | 5  |
| 5. ABA 와 JA 농도 측정                   | 6  |
| 6. 통계처리                             | 6  |
| III. 결과 및 고찰                        | 7  |
| 1. 미기상과 토양수분 함량변화에 따른 잎과 사양조직의 수분상태 | 7  |
| 2. 엽록소 형광 및 광합성 속도                  | 15 |
| 3. 과실품질과 과실 생육의 변화                  | 23 |
| 4. ABA 와 JA 농도 변화                   | 31 |
| IV. 인용문헌                            | 38 |
| V. 부록                               | 45 |
| VI. Abstract                        | 50 |

## LIST OF FIGURES

- Fig. 1. Changes of leaf water potential before down in satsuma mandarin porous sheet mulching cultivation as control (non-sheet mulching), mulching and mulching + drip irrigation. Different letters indicated significant difference at  $P<0.05$ , Duncan' s multiple range test (n=4). ----- 11
- Fig. 2. Changes of vesicle tissue water potential before down in satsuma mandarin porous sheet mulching cultivation as control, non-sheet mulching, mulching and mulching + drip irrigation. Different letters indicated significant difference at  $P<0.05$ , Duncan' s multiple range test (n=4). ----- 12
- Fig. 3. Changes of vesicle tissue osmotic potential before down in satsuma mandarin porous sheet mulching cultivation as control, non-sheet mulching, mulching and mulching + drip irrigation. Different letters indicated significant difference at  $P<0.05$ , Duncan' s multiple range test (n=4). ----- 13
- Fig. 4. Changes of vesicle tissue turgor pressure before down in satsuma mandarin porous sheet mulching cultivation as control, non-sheet mulching, mulching and mulching + drip irrigation. Different letters indicated significant difference at  $P<0.05$ , Duncan' s multiple range test (n=4). ----- 14
- Fig. 5. Changes of chlorophyll fluorescence parameter as vegetative (A) and bearing (B) branch in Satsuma mandarin porous sheet cultivation as the porous sheet treatment in September 22th. Different letters indicated significant difference at  $P<0.05$ , Duncan' s multiple range test (n=6).----- 20

- Fig. 6. Changes of chlorophyll fluorescence parameter as vegetative (A) and bearing (B) branch in Satsuma mandarin porous sheet cultivation as the porous sheet treatment in October 18th. Different letters indicated significant difference at  $P < 0.05$ , Duncan's multiple range test (n=6). ----- 21
- Fig. 7. Changes of photosynthesis rate as vegetative (A) and bearing (B) branch in Satsuma mandarin porous sheet cultivation as control (non-sheet mulching), porous sheet mulching and drip + mulching treatment during the fruit growth season. Different letters indicated significant difference at  $P < 0.05$ , Duncan's multiple range test (n=6). ----- 22
- Fig. 8. Changes of fruit juice total soluble solids (A) and acidity (B) in Satsuma mandarin porous sheet cultivation as control (non-sheet mulching), porous sheet mulching and drip + mulching treatment. Different letters indicated significant difference at  $P < 0.05$ , Duncan's multiple range test (n=6). ----- 26
- Fig. 9. Changes of peel (A) and flesh (B) dry ratio in Satsuma mandarin porous sheet cultivation as control (non-sheet mulching), porous sheet mulching and drip + mulching treatment during the fruit growth season. Different letters indicated significant difference at  $P < 0.05$ , Duncan's multiple range test (n=6). ----- 27
- Fig. 10. Changes of fruit length(A) and width (B) in Satsuma mandarin porous sheet cultivation as the porous sheet treatment during the fruit growth and maturing season. Different letters indicated significant difference at  $P < 0.05$ , Duncan's multiple range test (n=6). ----- 28
- Fig. 11. Changes of fruit firmness(A) and peel thickness (B) in Satsuma mandarin

porous sheet cultivation as control (non-sheet mulching), porous sheet mulching and drip + mulching treatment during the fruit growth season. Different letters indicated significant difference at  $P < 0.05$ , Duncan's multiple range test (n=4). ----- 29

Fig. 12. Changes of fruit peel chroma values (a; red-greenness) in Satsuma mandarin porous sheet cultivation as the porous sheet treatment during the fruit maturing and harvest season. Different letters indicated significant difference at  $P < 0.05$ , Duncan's multiple range test (n=6). ----- 30

Fig. 13. Changes of leaf (A), fruit peel (B) and flesh (C) endogenous ABA concentration before down in Satsuma mandarin porous sheet cultivation as control (non-sheet mulching), porous sheet mulching and drip + mulching treatment during the fruit growth season. Different letters indicated significant difference at  $P < 0.05$ , Duncan's multiple range test (n=4). ----- 35

Fig. 14. Changes of leaf (A) and fruit peel (B) endogenous jasmonic acid (JA) concentration before down in Satsuma mandarin porous sheet cultivation as control (non-sheet mulching), porous sheet mulching and drip + mulching treatment during the fruit growth season. Different letters indicated significant difference at  $P < 0.05$ , Duncan's multiple range test (n=4). ----- 37

Fig. 15. Changes of micro weather condition (A: humidity, temperature and B: sunlight quantum yield) at Satsuma mandarin orchard. ----- 45

Fig. 16. Changes of soil moisture as porous sheet treatment (A: Non-sheet, B: Mulching and C: Mul. + Drip) at Satsuma mandarin orchard. ----- 47



## 초 록

본 연구에서는 온주밀감 고품질 안정 생산을 위한 다공질 시트 피복 재배에 있어 수체 수분 스트레스 정도에 따른 손상 정도의 지표를 찾기 위해 과실 품질 변화를 생리학적으로 해석함과 동시에 산화적 손상 및 건조스트레스와 관련해 자스몬산(jasmonic acid, JA)와 아브시스산(abscisic acid, ABA)의 농도 변화 조사를 목적으로 수행하였다.

미기상 및 토양수분함량변화에 따른 변화를 phychrometer 측정방법으로 잎의 수분퍼텐셜, 사양조직의 수분, 삼투퍼텐셜 측정 및 팽압을 계산했다.

엽수분퍼텐셜은 토양수분함량 변화에 따라 변동을 했는데 9월의 무처리구  $-1.3\text{MPa}$ 로 시트 피복처리구  $-2.53\text{MPa}$ , 점적관수처리구  $-2.32\text{MPa}$ 보다 높은 값을 나타냈다. 10월에는 초순의 일시적인 강우 이후 지속적인 건조의 날씨로 무처리구  $-3.0\text{MPa}$  및 시트 피복처리구가  $-4.0\text{MPa}$  이하로 점적관수처리구  $-2.64\text{MPa}$ 보다 낮았다. 11월초에도 건조 날씨로 무처리구  $-4\text{MPa}$ , 시트 피복처리구는  $-4.7\text{MPa}$ 로 떨어졌으며 점적관수처리구도  $-2.82\text{MPa}$ 로 감소했다. 11월 10일부터 12일까지의 강우로 무처리구  $-1.98\text{MPa}$ , 시트 피복처리구  $-2.08\text{MPa}$ 로 회복했으나, 점적관수처리구  $-1.13\text{MPa}$ 보다 낮았다. 사양조직의 수분퍼텐셜도 엽수분퍼텐셜과 비슷하게 변동이 되었으나, 삼투퍼텐셜은 무처리구가 시트 피복처리구 및 점적관수처리구보다 높았으나 유의한 차이는 없었다. 팽압은 9월의 수분스트레스를 적게 받던 때를 제외한 10월과 11월에  $0.5\text{MPa}$ 로 일정했으며 이에 따른 수확기의 과실 당도가 무처리구  $11.05^\circ\text{Brix}$ 에 비해 시트 피복처리구  $14.55^\circ\text{Brix}$  및 점적관수처리구  $13.96^\circ\text{Brix}$  높아서 유의한 차이를 보이며 삼투 조절에 의한 당도 상승이 인정되었다.

건조스트레스에 의한 수체 수분 스트레스 정도에 따른 산화적 손상 정도를 엽록소 형광측정기로 PSII의 최대양자 효율 값( $F_v/F_m$ ), 초기형광 값( $F_o$ ) 값 및 광합성속도의 변

화를 비교했다. 9월에 발육지의  $F_o$  값은 무처리 및 점적관수처리구가 시트 피복처리구보다 낮았고 결과지는 무처리구의  $F_v/F_m$  값이 시트 피복처리구 및 점적관수처리구보다 높았다. 10월의 발육지  $F_o$  값은 다른 처리구에 비해 점적관수처리구가 낮았으나,  $F_v/F_m$  값도 무처리구에 비해 낮았다. 결과지에서는 특히,  $F_o$  값이 다른 처리구에 비해 점적관수처리구가 낮았다.

광합성속도는 10월에 시트 피복처리구가 다른 처리구에 비해 낮았다. 잎, 과피 및 과육의 ABA 농도는 잎의 수분스트레스 및 과실의 당도와 연관이 있었으며, 특히, 과피의 착색, 경도 및 두께 변화에 따라 농도의 변화가 있었다. JA 농도는 ABA 농도 변화와 같이 변화가 있었다.

이상의 결과, 수체 수분 스트레스 정도에 따른 손상 정도의 지표로 광합성 산화적 손상 관련 엽록소 PSII의  $F_v/F_m$ ,  $F_o$  및 ABA를 찾을 수가 있었다.

## I. 서 언

제주에 온주밀감은 1,900년대 초반 일본에서 도입되어 1955년부터 외국산 감귤의 수입금지로 감귤나무 몇 그루만 있으면 대학 학비를 충당할 수 있다고 해서 ‘대학나무’라고 불릴 정도로 1990년대까지는 소득이 보장되었다(Moon et al., 2007). 하지만 최근에 다자간 FTA 협상 발효로 고당도의 외국산 과실류 수입 물량 증가 및 기후변화에 의한 과실성숙기의 빈번한 강우 등으로 인해 노지 온주밀감의 품질 저하로 가격이 계속 떨어지고 있는 상황에 있다(Ko, 2015; Moon et al., 2018).

일본의 온주밀감은 1975년 366만 톤을 정점으로 감소를 계속해 최근에 75만 톤 전후의 추이를 보이고 있다(Japan Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, 2021). 감소의 원인으로는 생산 과잉으로 시장가격의 폭락으로 원지 전환, 오렌지 수입 자유화, 과실 소비의 다양화, 과실 수요의 감소, 품질 지향 등을 이유로 들 수가 있다(Kazuki and Takahashi, 1995; Iwasaki, 2014). 시트 피복재배는 현재 행해지고 있는 품질 향상 대책 중 비교적 간단하게 할 수 있는 재배법으로 당도 향상, 착색 촉진의 목적으로 널리 행해져 왔다(Hayashi, 2006). 하지만 1997년의 다우와 1998년의 고온건조 등 시트 피복재배의 효과를 나타나기 어려운 기상조건의 해가 계속됨과 동시에 수체에 강한 건조스트레스가 너무 장기간에 걸쳐 일어나 감산이 늦어짐에 따라 수확시기의 지연과 수세의 저하 등 시트 피복재배의 문제점이 되어 재배법에 대한 생산자의 의욕을 저하시켰다(Masaya and Machida, 1980; Nakazato and Kishino, 1999). 또한, 착과 과실에 수분스트레스를 주어 나무를 손상시켜 수량을 감소시키거나 해거리를 크게 하는 결점이 있다(Kihara and Konakahara, 2000). 고품질 과실 생산이 가격을 좌우하는 중요한 요인으로 관수관리에 의한 품질 제어의 중요성이 제기되어 감귤원에서도 스프링클러 등의 관수시설이 적극적으로 도입되었지만 최근에 한발과 다우 등의 기상변화에 대응한 정밀 품질관리가 생산현장에서 가능한 새로운 관리 시스템 또는 수원 확보가 곤란한 경사

지에서도 이용할 수 있는 절수형 관수시스템이 요구되어 왔다. 이러한 이유로 과수에서는 거의 도입이 되지 않았던 새로운 절수형 관수시비관리로 양액 토경재배 일종인 ‘주년 피복 점적관수 동시 시비법’을 개발해 피복재배가 갖는 효과를 활용하면서 강우와 한발 등의 기상변화를 대응해 강우의 차단 또는 관수·시비를 행해 생력적으로 고품질과실 안정생산을 목적으로 보급하고 있다(Morinaga, 2014).

제주특별자치도에서는 노지 온주밀감의 당도 향상을 위해 원지정비사업의 일환으로 2009년부터 노지감귤 성목이식 사업이 지속적으로 확대 추진되고 있으나 과다착과에 의한 수세 약화로 고사주 발생의 문제점이 있고 이식 및 다공질 시트 피복에 따른 나무에 대한 스트레스로 착과 불안정 및 나무가 고사하는 경우가 발생해 그 보급이 미급한 형편으로 가지별 부분 착과로 연년 안정생산 기술을 보급하려고 하고 있다(Yang et al., 2022).

온주밀감의 수분스트레스에 의한 과실의 당도 상승은 수분생리학적인 연구에서 수체가 극도의 수분스트레스를 받았을 때 과실 조직의 팽압 유지를 위해 삼투조절에 의한 것으로 보고를 한 바가 있다 (Nonami, 2001; Yakushiji et al., 1996). 또한 점적관수에 의한 과실의 유기산 함량 감소에 대한 수분생리학적 해석과 과실 호흡 변화로 조사한 바 있다 (Morinaga, 1993; Han et al., 2014). Mantías et al.(2012)은 수체의 수분스트레스에 대한 산화적 손상과 개화 정도의 관계를 조사해 전반적으로 스트레스를 받는 동안 감귤류 잎의 산화적 손상의 강도는 각 품종에서 개화 강도의 지표로 작용할 수 있음을 암시했다. 식물호르몬은 수많은 건조스트레스와 같은 환경 조건을 감지하고 신호전달에 중심적인 역할을 하는데 De Ollas et al.(2013)은 감귤 대목인 ‘Citrumelo CPB 4475’의 건조스트레스 조건 하에 뿌리의 자스몬산(jasmonic acid, JA)의 일시적인 축적이 아브시스산(abscisic acid, ABA) 증가에 필요한 것을 밝힌 적이 있다. 수분스트레스를 심하게 받은 복숭아 과실이 당도 상승과 함께 내성 ABA 함량이 증가한다고 보고했다(Kobashi et al,

1997).

본 연구에서는 온주밀감 고품질 안정생산을 위한 다공질 시트 피복 재배에 있어 수체 수분 스트레스 정도를 psychrometer 측정법에 의한 엽수분퍼텐셜 변화에 따른 스트레스의 지표를 찾기 위해 과실 품질 변화를 수분생리학적으로 해석함과 동시에 광합성 산화적 손상 및 건조스트레스 연관 JA와 ABA의 농도 변화를 조사하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 시험수 처리내용과 미기상 및 토양수분함량 측정

본 실험은 서귀포시 남원읍 수망리 소재 화산회토의 행원통에 속하는 미사질 양토 모재로 구성된 감귤원(33°19'50.9"N 126°42'54.8"E)에 열간 및 주간 간격을 4×3m의 재식 거리로 밀식재배 과원에 약 20년생의 ‘궁천조생(Miyagawa Wase)’을 공시했다. 2022년 6월 23일에 다공질 시트(Tyvex, DuPon, USA)를 과원 전체에 피복해 멀칭(mulching)구를 설정했으며, 모든 처리에 이미 설치된 점적 호수(Inline drip, 50cm×400m, Jain Irrigation, Korea)를 통해 약 2주 간격으로 2-4톤의 물을 물탱크 및 직수 연결을 통해 농업용 펌프(PU-1700M, 단상2HP, Willow, Korea)를 통해 관수했다.

8월 15일에 1열의 5그룹에 대해 다공질 피복 시트를 벗겨내 무처리구(control)를 설정했고, 점적관수(Mul. + Drip)구는 6월 20일경부터 2주간격으로 실험기간 종료까지 관수했다. 과원시비 관리로 10a당 연간 질소, 인산 및 칼리질 비료를 28, 40과 28kg의 표준 시비를 행했다. 9월 1일에 감귤원 중간지대에 무선 중계기(Wireless repeater, ZF-10F, USEM, Korea), 센서 유닛(Senor Unit, ZF-8S1/8S2, USEM, Korea)에 광량센서(quantum sensor; ZF-150, LI-COR, USA)와 온·습도센서(temperature and humidity sensor; ZF-100H, USEM, Korea)를 설치했다. 토양수분 함량을 측정하기 위해 각 시험구의 중간지대에 토양수분 함량센서(soil moisture sensor, HA-M05, Decagon, USA)를 수관둘레에서 가지의 가장자리 부분에 약 25cm 토양 깊이(탱자 대목 뿌리의 수직으로 0-30cm 이내에 96%가 분포; Katoya, 2000)에 그리고 점적호스로부터 약 30cm 거리에 굴토 토양을 잘 반죽해 처리별로 9월 1일에 매설했다. 토양수분 함량센서의 보정은 Decagon(USA)의 메뉴얼에 따라 USEM(Korea)의 보정식( $Raw = amv + b$ ,  $mv =$  측정된 전압 값)에 따라 보정했으며, 미기상 정보 및 토양수분함량을 1시간 간격으로 태

풍이 지나간 후인 9월 10일부터 11월 30일까지 측정하여 기록했다.

## 2. 잎과 과실 사양조직 수분 상태 및 수분함량 측정

잎 및 과실사양조직의 수분 상태를 측정하기 위해 9월 12일부터 약 2주 간격으로 11월 17일까지 6회에 걸쳐 새벽 4시부터 6시 사이에 시료채취 후 zipper bag에 넣고 밀폐한 후에 제주대학교 감귤화훼과학기술센터 내 난지과수학 실험실에서 psychrometer sample chamber(C-52, Wescor, USA)에 장착시키고 3시간 동안 평행시키고 노점 microvolt meter(HR-33T, USA)로 측정해 Han et al.(2014)의 방법으로 수분, 삼투 및 팽압을 계산하여 나타냈다.

## 3. 엽록소 형광 및 광합성 속도 측정

엽록소 형광 측정은 암 클립으로 약 15분간 암 처리한 후에 OS5-FL1 휴대용 형광측정기(Opti-Science, Inc., Hudson, NH, USA)를 사용하여 Fo(초기형광 값) 및 PSII(Fv/Fm)의 최대 양자 효율을 측정했다. 동시간 대에 광합성 속도는 과실비대기인 9월 22일 및 성숙기인 10월 18일에 광합성측정기(portable photosynthesis system, LI-6400, LI-COR, USA)를 이용해 처리 별 착과지 및 발육지에 대해 나무 하나당 6매씩 6그루에 대해 오전 10부터 11시 30분 사이에 측정했다.

## 4. 과실품질과 과실 생육의 변화 측정

9월 1일에 각 처리별 3그루에 대해 상·중·하의 착과 위치에 미리 표시하여 약 2주 간격으로 버니어캘리퍼스(Mituyo, Japan)를 이용해 과실의 횡경 및 종경을 측정했다. 과실 품질 조사용 과실을 이용해 과실경도계(fruit hardness tester; Fujiwara Factory, Japan)로 과실 한 개당 6곳을 약 2주 간격으로 측정했다. 과피의 착색 정도는 색차계(Chromameter, Konica Minolta, CR-400, Japan)로 과실성숙기인 11월 11일과 수확

기인 11월 26일에 측정했다. 또한 과실의 과피 및 과육의 건물중과 수분함량 및 품질 분석을 행했다.

## 5. ABA 와 JA 농도 측정

잎과 과실사양조직의 수분 상태 측정을 위해 이용된 시료를 액체 질소로 순간 동결시킨 후  $-80^{\circ}\text{C}$ 의 초저온 냉동고(deep freezer, Refrigerant, Nihon Freezer, Japan)에 저장한 다음에 순차적으로 동결건조기(Iyophilizer; CleanVac 8, Hanill Scientific Industry, Korea)로 동결 건조한 잎, 과피 및 과육 시료를 80% methanol로 하룻밤 추출한 다음 Jikumaru et al.(2007)의 방법으로 분리된 산성 식물호르몬 층을 분획한 다음 HLB(제염) 및 wax(음이온 치환)의 cartridge로 정제된 시료를 제주대학교 휴면인터페이스미디어센터의 UHPLC(Nexera X2, Shimadzu, Japan) 및 MSMS(LCMS-8050, Shimadzu, Japan) 장비를 이용해 측정했다.

## 6. 통계처리

통계프로그램 Sigma Plot 15(USA)를 이용해 평균값을 최소 유의성(LSD) 검정을 한 후에 Duncan's multiple range test로  $P<0.05$  수준에서 통계적 유의성을 분석했다.



### III. 결과 및 고찰

#### 1. 미기상과 토양수분 함량 변화에 따른 잎과 사양조직의 수분상태

본 실험은 psychrometer 측정방법으로 온주밀감 다공질 시트 피복재배 농가에 무처리구(Control), 시트 피복처리구(Mulching) 및 점적관수처리구(Mul. + Drip)를 설정해 미기상 및 토양수분함량 변화에 따른 잎과 과실 사양조직에 대한 수분상태 변화를 조사했다.

Fig. 1에 각 처리 별 잎의 수분상태 변화를 나타내었다. 엽수분퍼텐셜의 변화를 보면, 9월 초순경 태풍 이후에 맑은 날 연속으로 9월에 12일에 무처리구는  $-1.3\text{MPa}$ 에서 12일 이후 몇 일에 걸친 강우로  $-0.88\text{MPa}$ 로 회복했다가 10월초순 일시적 강우 이후 지속적인 건조의 날씨로  $-2.48\text{MPa}$ 로 감소했다. 10월의 건조 날씨의 영향으로 11월 4일에 약  $-4.0\text{MPa}$ 까지 감소하다가 11월 10일 이후 2-3일의 강우로  $-1.98\text{MPa}$ 로 회복했다. 한편, 시트 피복 및 점적관수처리구는 9월에 12일에 무처리구보다 낮은  $-2.53$ ,  $-2.32\text{MPa}$  보였고, 일시적인 강우에도 24일에 무처리구 보다 낮은  $-2.67$ 과  $-2.17\text{MPa}$ 로 처리 간에도 유의적인 차이가 없었고 일시적인 강우의 효과가 없었다. 10월 이후에는 지속적인 건조 날씨로 유의한 처리 간에 차이가 없었으나, 점적관수는  $-1.96\sim-2.64\text{MPa}$ 로 다른 처리에 비해 높은 경향을 보였으며, 시트 피복처리구는 그 평균값이  $-3.29\sim-4.60\text{MPa}$ 로 낮았다. 11월초까지 10월의 지속적인 건조 날씨로 무처리구와 시트 피복처리구는  $-4.00$ 과  $-4.70\text{MPa}$ 이었지만 점적관수처리구는 이때 점적관수의 영향으로  $-2.82\text{MPa}$ 를 나타냈다. 11월 10일부터 12일까지의 강우로 무처리구 및 시트 피복처리구는  $-1.98$ 과  $-2.08\text{MPa}$ 이었으나, 점적관수처리구는 관수의 효과로  $-1.23\text{MPa}$ 로 제일 높은 값을 나타냈다. 10월에 일시적인 강우가 있었으나, 지속적인 건조의 날씨로 처리 간에 유의한 차이를 보이지 않았다. 특히, 2주간의 2톤의 물을 점적관수 했음에도 불

구하고 토양수분 함량에 변화가 없어서 4톤의 물을 관수해도 처리 간 유의한 차이를 보이지 않았다.

9월부터 11월의 과원의 미기상(온·습도 및 광량)과 다공질 시트 피복에 따른 토양수분 함량의 변화를 Fig. 15-16에 나타내었다. 9월은 태풍의 영향으로 15일전까지는 강우가 지속되어 높은 상대습도와 낮은 광량을 나타내었으나, 맑은 날에는 약  $2,500 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 를 보였다. 이러한 날씨의 영향으로 피복 처리에 따른 토양의 수분함량은 무처리구와 점적관수처리구는 평균 30-50%을 유지했으나, 시트 피복처리구는 30-40%의 낮은 함량을 보였다. 10월달에는 간헐적인 강우가 있었으나, 대부분 맑은 날씨를 보였으나, 광량은 9월달과는 다르게 광량이 평균  $1,500 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 를 유지했다. 토양수분 함량은 9월과는 다르게 무처리구는 초반에 강우로 약 55%을 나타냈다가 맑은 날이 지속되면서 점진적으로 감소해 최저 30%까지 떨어지는 경향이 이었다. 하지만 피복 처리는 빗물 차단으로 건조 상태인 평균 30%를 유지했으며, 점적관수처리구는 무처리구와는 다르게 2주간격의 관수의 영향으로 그 함량이 높아졌다가 다시 건조상태를 유지되는 경향을 보여 무처리구와 시트 피복처리구의 중간 상태인 평균 35% 정도의 수분함량을 유지했다. 11월에는 상대습도와 광량의 변화로 보아 10-12일 및 19-20일에 비날씨가 판단되었다. 광량은 10월보다 낮은 평균  $1,200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 를 기록했다. 잦은 강우로 무처리구는 10일 이후에 토양수분 함량이 최저 약 35-40%를 나타냈으나, 시트 피복처리구는 건조 상태인 평균 25%를 유지했으며, 점적관수처리구는 초반에 2주 간격의 관수의 영향에 의한 관수 점이 나타났고 그 영향으로 평균 36%의 함량을 유지하였다. Han et al.(2014)은 온주밀감의 과실 품질에 미치는 타이백 멀칭 및 점적관수의 효과에서 토양수분 함량이 가장 낮을 때 10%를 나타냈다. 이 토양은 아래통으로 현무암에서 발생한 주요한 재료로 하여 용암 대지류에 분포하고 있는 화산회토 실트질 토양으로 배수가 양호하고 유효 토심은 10cm 이하 매우 얇은 특성 가지고 있다

(google.com/search?q). 본 실험은 화산회토의 행원통에 속하는 미사질 양토 모재로 아라통 토양보다 보수성(<https://jeju.granddculture.net>)이 있어 건조해도 25%이상의 값을 나타낸 것으로 생각이 되었다.

Fig. 2-4에는 과실 사양조직에 수분 상태변화를 나타냈었다. Fig. 2의 수분퍼텐셜은 엽수분퍼텐셜과 비슷한 경향으로 9월 12일에 무처리구는  $-0.67\text{MPa}$ , 시트 피복처리구  $-2.53\text{MPa}$  및 점적관수처리구는  $-1.95\text{MPa}$ 로 무처리구와 시트 피복처리구 사이에 유의적인 차이가 있었으나, 시트 피복처리구와 점적관수처리구 간에는 차이가 없었다. 24일에는 무처리구인 경우 엽수분퍼텐셜과 다르게 12일 이후의 강우에도 불구하고 무처리구가  $-1.01\text{MPa}$ 로 떨어졌고, 시트 피복처리구와 점적관수처리구의 경우에는  $-1.69$ ,  $-1.45\text{MPa}$ 로 올라갔다. 엽수분퍼텐셜과 마찬가지로 10월 초순에 일시적인 강우에도 불구하고 지속적인 건조의 날씨로 10월 10일에 무처리 및 시트 피복처리구는  $-1.90\text{MPa}$ 로 일정한 반면에 점적관수처리구는 10월 3일에 약 2톤의 점적관수의 영향으로  $-1.80\text{MPa}$ 를 보였으나, 처리 간에 유의적 차이를 보이지 않았다. 10월 23일의 무처리구는 10월 초순의 강우에 의한 영향인지 몰라도 시트 피복처리구  $-1.68\text{MPa}$ 보다 높은  $-1.45\text{MPa}$ 이었으며 점적관수처리구는 14일 약 2톤과 23일의 4톤의 점적관수 영향으로  $-1.08\text{MPa}$ 로 상승했다. 11월 4일에는 10월의 지속적인 건조 날씨의 영향으로 11월 4일에 측정된 값이 무처리구가  $-2.02$ , 시트 피복처리구  $-2.20$  및 점적관수처리구는 11월 3일의 약 4톤의 관수에도 불구하고  $1.33\text{MPa}$ 로 감소했다. 11월 17일에는 11일의 강수 및 점적관수의 영향으로 무처리구와 점적관수처리구는  $-1.52\text{MPa}$ 이었으나, 시트 피복처리구는  $-2.00\text{MPa}$ 를 나타냈다.

Fig. 3의 삼투퍼텐셜의 값은 수분퍼텐셜과는 달리 처리 평균값이 편차가 심해서 처리 간에 유의한 차이를 나타내지 않았으나, 시트 피복처리구가 무처리구에 비해 낮은 값을 나타내는 경향을 보였다. 9월 12일에 무처리구  $-2.31\text{MPa}$ , 시트 피복처리구  $-3.58\text{MPa}$

및 점적관수처리구  $-2.99\text{MPa}$ 의 값을 보였지만 12일 이후 몇일의 강우로 9월 24일에 무처리구  $-2.02\text{MPa}$ , 시트 피복처리구  $-2.20\text{MPa}$  및 점적관수처리구  $-2.30\text{MPa}$ 로 10월 23일까지 비슷한 값 이후에 11월 4일에 무처리구  $-2.53\text{MPa}$ , 시트 피복처리구  $-2.88\text{MPa}$  및 점적관수처리구는  $-2.06\text{MPa}$ 의 값을 보이다 11월 강우로 무처리구  $-2.02\text{MPa}$ , 시트 피복처리구  $-2.69\text{MPa}$  및 점적관수처리구  $-2.06\text{MPa}$ 의 값을 보였다.

Fig. 4의 팽압은 9월에 12일 무처리구에서  $1.64$ , 시트 피복처리구  $1.05\text{MPa}$  및 점적관수처리구  $1.04\text{MPa}$ 로 무처리구와 시트 피복처리구 사이에 유의한 차이가 있었으나, 시트 피복처리구와 점적관수처리구 간에는 차이를 나타나지 않았다. 9월24일에도 무처리구와 점적관수처리구는  $1.00\text{MPa}$  및  $0.88\text{MPa}$ 로 유의한 차이가 없었고 시트 피복처리구는  $0.5\text{MPa}$ 를 나타냈다. 그 이후에는 모든 처리에서 약  $0.5\text{MPa}$ 로 일정했다.

Han et al.(2014)은 온주밀감의 과실 품질에 미치는 타이백 멀칭 및 점적관수의 효과에서 pressure chamber를 이용하여 엽수분퍼텐셜을 측정하였으나 그 chamber에 잎사루를 고정하는 고무 패킹 틈 사이로 압축 질소가스가 새는 등의 단점이 문제시되었다. 이러한 이유로 본 실험에서는 phychrometer 측정방법으로 측정해서 약  $-1\text{MPa}$ 정도 낮은 값을 나타냈다.

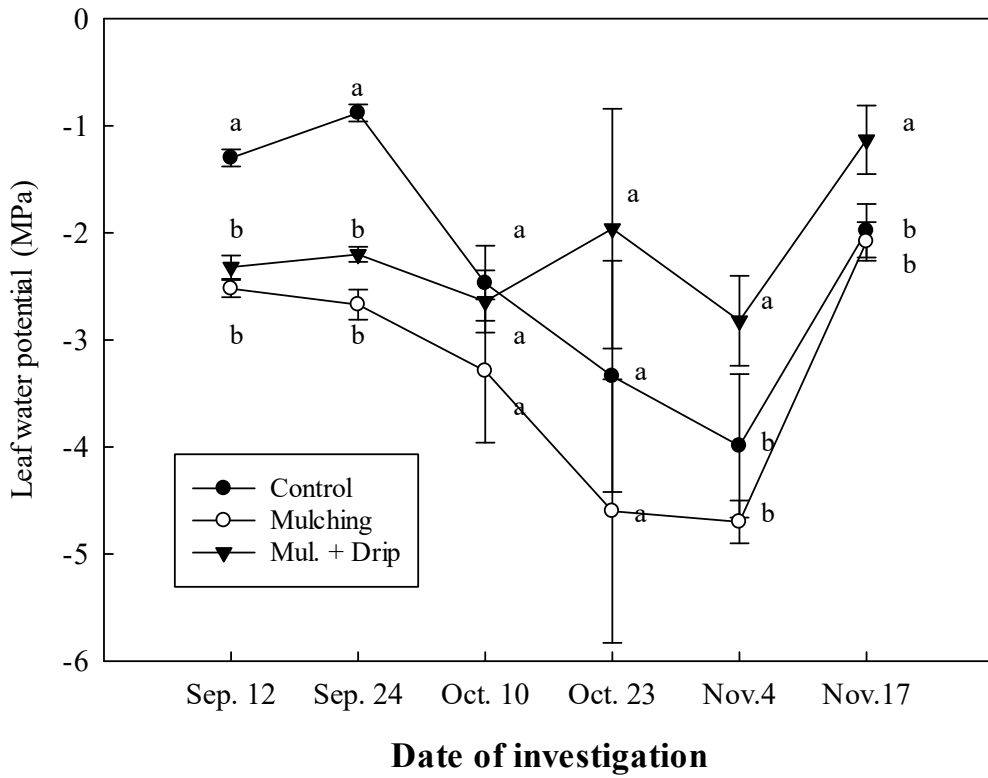


Fig. 1. Changes of leaf water potential before down in satsuma mandarin porous sheet mulching cultivation as control (non-sheet mulching), mulching and mulching + drip irrigation. Different letters indicated significant difference at  $P < 0.05$ , Duncan's multiple range test ( $n=4$ )

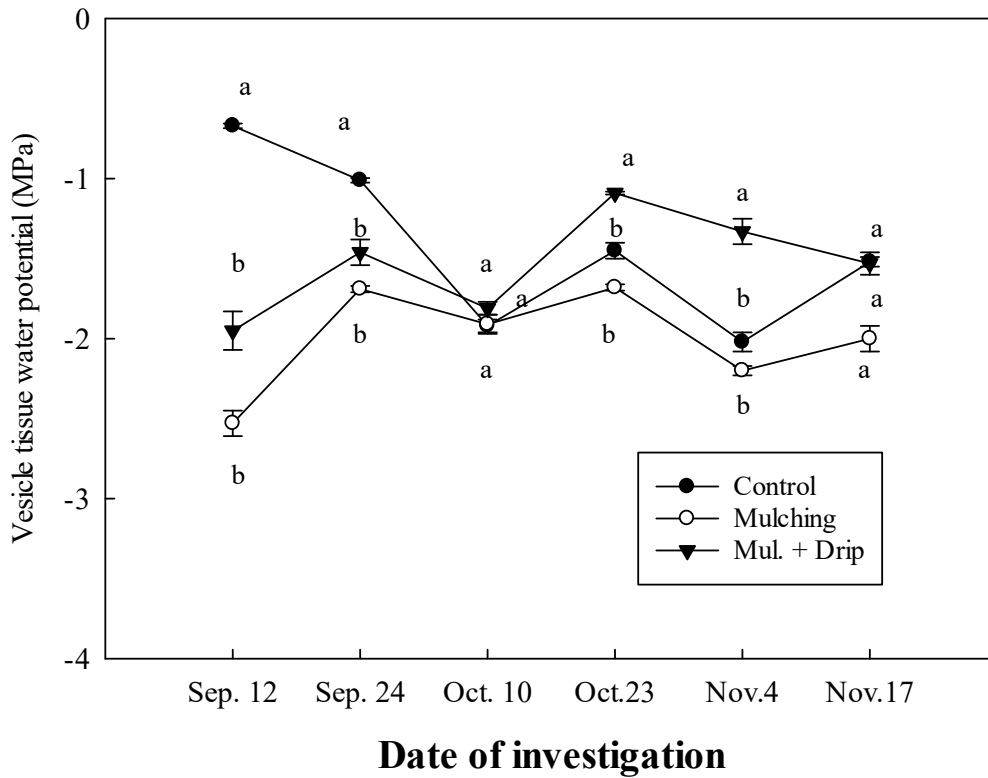


Fig. 2. Changes of vesicle tissue water potential before down in satsuma mandarin porous sheet mulching cultivation as control, non-sheet mulching, mulching and mulching + drip irrigation. Different letters indicated significant difference at  $P < 0.05$ , Duncan's multiple range test ( $n=4$ ).

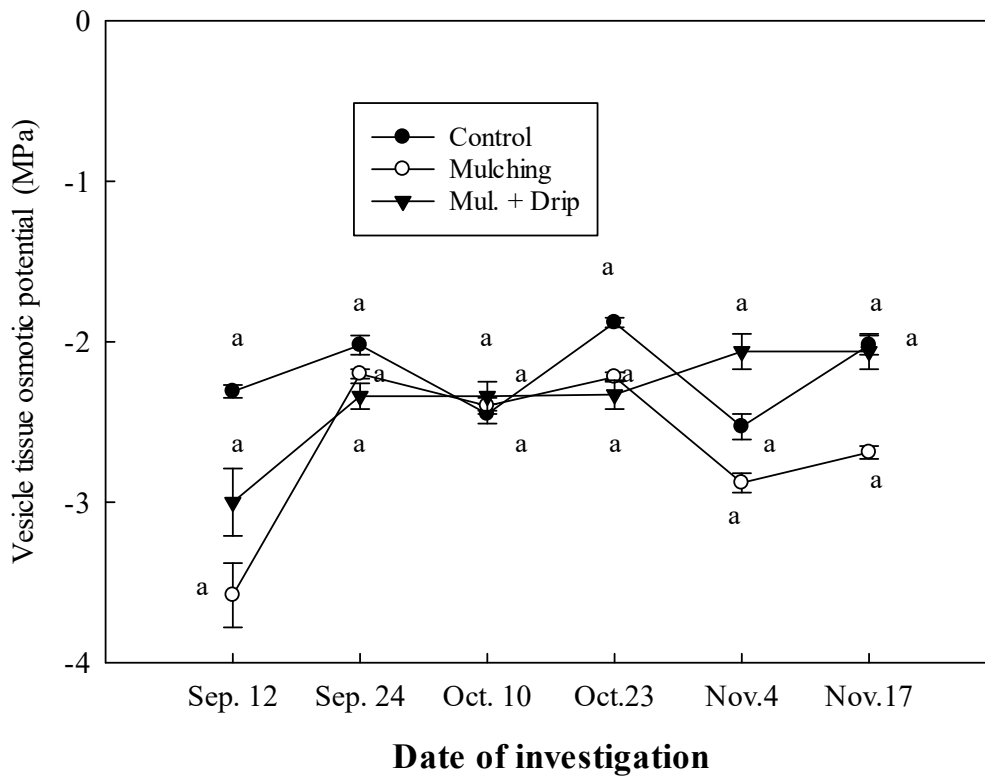


Fig. 3. Changes of vesicle tissue osmotic potential before down in satsuma mandarin porous sheet mulching cultivation as control, non-sheet mulching, mulching and mulching + drip irrigation. Different letters indicated significant difference at  $P < 0.05$ , Duncan's multiple range test ( $n=4$ ).

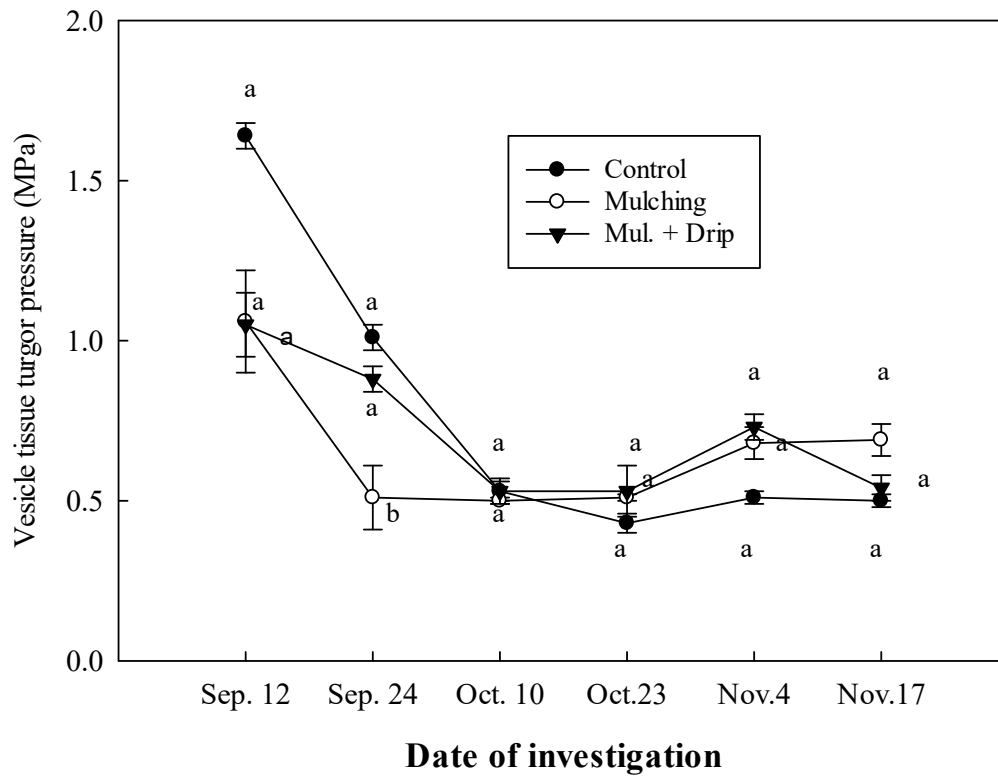


Fig. 4. Changes of vesicle tissue turgor pressure before down in satsuma mandarin porous sheet mulching cultivation as control, non-sheet mulching, mulching and mulching + drip irrigation. Different letters indicated significant difference at  $P < 0.05$ , Duncan's multiple range test ( $n=4$ ).



## 2. 엽록소 형광 및 광합성 속도

다공질 시트 피복에 따른 엽록소 형광 측정값을 과실비대기인 9월 22일과 과실성숙기인 10월 18일에 발육지와 결과지에 대한 처리 별 Fo인 초기형광 값과 PSII(Fv/Fm)의 최대양자 효율 값을 Fig. 5과 Fig. 6에 나타냈다. 9월 22일의 발육지의 초기형광 값은 시트 피복처리구가 116.6으로 다른 처리보다 유의하게 높았고 무처리구와 점적관수처리구는 차이가 없었다. 양자효율은 무처리구 0.6, 시트 피복처리구 0.5 및 점적관수처리구가 0.6으로 처리 간에 통계적 유의성이 없었다.

결과지의 초기형광 값은 무처리구 109.8과 시트 피복처리구 107.3으로 처리 간에 차이가 없었으나, 점적관수처리구는 90.0로 처리 중 제일 낮았다. 또한, 결과지의 양자효율은 무처리구 0.6, 시트 피복처리구 0.4 및 점적관수처리구 0.5로 무처리구와 시트 피복처리구 간에는 유의차가 있었고 시트 피복처리구와 점적관수처리구 간에는 유의차가 없었다. 10월 18일에 측정된 발육지의 초기형광 값은 무처리구 100.2, 시트 피복처리구가 108.0으로 처리 간에 차이가 없었으나, 점적관수처리구는 92.3으로 제일 낮았다. 양자효율은 무처리구 0.6, 시트 피복처리구 0.2 및 점적관수처리구가 0.4로 무처리구가 제일 높았으며 시트 피복처리구와 점적관수처리구 간에 유의한 차이가 있었다. 한편, 결과지의 초기형광 값은 무처리구 109.8과 시트 피복처리구 107.3으로 처리 간에 차이가 없었고 점적관수처리구는 89.7로 다른 처리구보다 낮았다. 하지만 양자효율은 무처리구 0.6, 시트 피복처리구 0.4 및 점적관수처리구 0.5로 처리 간에 유의차가 없었다. 9월 22일의 발육지의 시트 피복처리구의 초기형광 값이 116.6으로 다른 처리보다 유의하게 높았고 무처리구와 점적관수처리구는 차이가 없었다.

이러한 결과로 보았을 때 양자효율보다 초기형광 값이 가지별 및 시기에 관계없이 점적관수처리구가 다른 처리에 비해 낮은 값을 나타냈으나, 9월 22일에 양자효율은

발육지는 차이가 없었고 결과지는 무처리구가 높았다. 10월 18일에는 발육지에서는 시트 피복처리구가 0.2로 제일 낮았고 착과지는 처리 간에 차이를 보이지 않았다.

광합성 명반응은 식물체가 빛 에너지를 이용하여 전자수용체를 환원시키고  $O_2$ 를 생성하는 과정이며 광합성 색소가 빛 에너지를 화학에너지로 바꾸는 광화학반응이다. 명반응은 700nm 부근의 파장을 주로 이용하는 광계 I과 680nm 부분의 파장을 주로 이용하는 광계 II로 구성되어 있다. 빛 에너지의 흡수는 주로 광계 II에서 일어나며 이때 빛 에너지를 흡수한 광합성 색소는 들뜬 상태가 되어 에너지를 다음 전자전달체인 plastoquinone에 전달하게 되는데 이때 발생하는 빛을 형광이라고 한다. 그러므로 식물체의 형광은 광계 II의 엽록소 형광과 관련이 높다(Schreiber et al., 1994). 엽록소 형광은 잎의 환경스트레스에 대한 의미 있는 정보를 제공하는데(Long et al., 1994), 자연조건에서의 환경스트레스(Somersalo and Krause, 1990; Lee et al., 1995)에 따른 엽록소 형광 등에 관한 연구가 활발히 진행되었다.

많이 이용되는 변수로는  $F_o$ ,  $F_m$ ,  $F_v/F_m$  등이 있는데  $F_o$ 는 QA가 완전히 산화되어 있는 상태에서 발하는 형광을  $F_m$ 은 완전히 환원되어 있는 상태에서 발하는 형광을 의미하며,  $F_v/F_m$ 은  $F_m$ 과  $F_o$ 의 차이인  $F_v$ 를  $F_m$ 으로 나눈 값으로 엽록체에 의해 흡수된 광양자(photon)가 반응에 이용되는 효율을 뜻한다(Kitujima and Bultier, 1975).  $F_v/F_m$ 은 대부분의 식물에서 대개 0.80~0.83의 범위에 존재하며 이 변수는 광계 II의 최대 광효율을 나타내는 척도 중 하나로 알려져 있다 (Demming and Björkman, 1987). 다시 말하면, 이 값은 식물의 잎이 광합성을 수행할 수 있는 잠재력을 의미하므로, 광합성 기구의 건강도 또는 반대로 스트레스에 의한 손상 정도를 알 수 있는 지표로 사용된다(Lee et al., 2011). Mantías et al.(2012)은 15L의 포트에 2년생의 'Valencia' 오렌지와 'Ellendaie' tangor 묘목을 엽수분퍼텐셜( $\psi_w$ )  $-4.00MPa$  이하의 심한

수분스트레스 환경에 70일 동안 두고 PSII(Fv/Fm)의 최대양자 효율 값 및 기공전도도(g<sub>s</sub>) 등을 조사했다. 스트레스 상태의 10일 이후에 스트레스를 받은 묘목이 처음으로 제일 낮은 수분퍼텐셜을 나타냈다. 이 그룹의 식물의 기공전도도 동시에 감소했다. 두 품종에 대해 20일 이후 수분스트레스를 받지 않는 식물보다 상당히 낮은 값에 도달했다. 그리고 Fo(초기형광 값)이 처리 후 50일에 'Valencia' 오렌지에서 제일 높은 값인 약 250을 나타냈다. 최대 양자효율 값도 스트레스를 받은 양 품종에서 처리 후 37일과 50일에 감소했는데 스트레스를 받은 'Valencia' 오렌지는 최대 양자효율 값이 약 0.67을 나타냈다.

영년생의 목본작물인 감귤류의 재배에서 수체생장을 유지하면서 연년 안정된 과실 생산량을 확보하는 것이 아주 중요하다(Nakamura et al., 2010). Nagatani et al.(2011)은 온주밀감에 있어 과다 착과에 따른 착과 부담으로 여름철에 수분스트레스로 잔 뿌리량이 감소한다고 보고했다.

본 실험의 무처리구는 성목으로 여름철인 8월 15일부터 약 2주간 건조 날씨로 9월의 일시적인 강우에도 불구하고 점적관수처리구보다 착과 부담으로 여름철에 수분스트레스로 잔뿌리량이 감소해 그 결과로 초기형광 값이 낮은 것으로 판단되었다. 그리고 시트 피복처리구는 10월의 계속되는 건조날씨로 발육지에서 제일 낮았고 결과지는 결과에 의한 모든 처리구에서 착과 부담으로 처리구 간에 차이가 없는 것으로 생각이 되었다.

과실비대기인 9월 22일과 성숙기인 10월 18일에 잎의 광합성속도를 발육지와 착과지로 구분해 측정된 결과를 Fig. 7에 나타냈다. 9월 22일에는 처리 간에 유의한 차이를 나타내지 않았으나, 10월 18일의 측정결과 발육지 및 결과지에서 무처리구와

점적관수처리구가 시트 피복처리구 보다 유의적으로 높았다. 10월 18일에 조사된 당도는 무처리구 10.35°Brix에 비해 시트 피복처리구 11.68°Brix 및 점적관수 처리구 11.63°Brix로 높았다(Fig. 8).

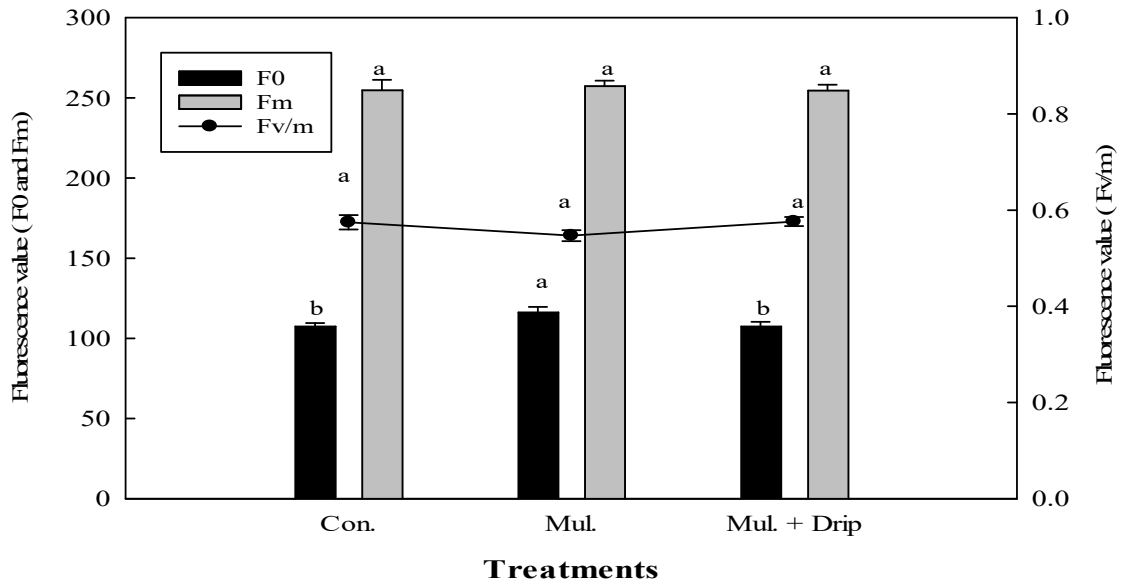
온주밀감의 과실은 그 성장과 성숙과정에 있어 항상 광합성 동화양분의 큰 sink 기관이다. 건조스트레스가 다당류 합성을 저해해 과실의 당도를 증가시키는 가능성이 있지만 정미의 과실의 당도의 증가에는 과실로 광합성산물의 전류 및 증가가 보다 중요하다고 생각이 되고 있다(Yakushiji, 2000). 세포 비대는 건조스트레스에 매우 민감하며 성장과 관련된 수분퍼텐셜의 구배 변화와 관련이 있다(Molz and Boyer, 1978; Nonami and Boyer, 1987, 1990, 1993; Nonami et al., 1997). 삼투조절 기능이 수분스트레스 하에서 작용할 때, 세포의 용적과 세포의 팽압은 세포내로 능동적 용질의 축적에 의해 유지되는 것으로 알려져 있다(Morgan, 1984). 건조스트레스를 받은 온주밀감에 있어서도 삼투압 조절 기능에 이용된 용존 물질의 축적에 의해서 과실의 성장이 유지할 수 있다고 Yakushiji(2000)는 생각했다.

Kadoya(1973)는  $^{14}\text{C}$  라벨을 붙인 탄산 가스를 온주밀감나무에 적용했을 때 토양 건조구의 과일로 에탄올 불용성 분획보다 에탄올 가용성 분획의  $^{14}\text{C}$  활성량이 높았다. 이 에탄올 가용성 분획 중의  $^{14}\text{C}$  활성량의 증가는 광합성 동화산물이 과실로 전류되어, 알코올 가용성 물질인 당류, 아미노산 및 유기산으로서 대사 및 축적된 결과라고 생각했다. Grapefruit(자몽)을 이용한  $^{14}\text{C}$ 의 동화 시험에서도, 과육 중 광합성 동화 산물의 전류 물질의 대부분은 에탄올 가용성 분획이었다(Yen and Koch, 1990). Yakushiji(2000)의 실험에서도 완만한 스트레스구의 과육 조직(양낭 및 사양)에서 광합성 동화산물의 분배율과 흡수량이 처리 간에 가장 높았다. 그 결과 완만한 건조스트레스구의 과실의 당 축적은 높은 싱크 활성을 갖는 사양의 광합성 동화산물의 소스로부터의 전류가 증가했다는

것을 설명할 수가 있었다.

피복처리에 따른 건조스트레스로 광합성 감소에도 불구하고 Kadoya(1973)의 보고와 같이 건조스트레스구의 과실의 당 축적은 높은 싱크 활성을 갖는 사양의 광합성 동화산물의 소스로부터의 알코올 가용성 당류 등의 전류가 증가했다는 결과라고 생각이 되었다. Fig. 9와 Fig. 10에서는 다공질 시트 피복에 따른 과피 및 과육의 건물률, 중경과 횡경의 변화를 나타냈다. 특히, 과육에서는 과실비대기에는 시트 피복처리구가 무처리구에 비해 높은 경향을 보였으며, 성숙기인 11월에는 무처리구에 비해 처리구가 유의적으로 높았으나, 시트 피복처리구와 점적관수처리구 사이에는 유의차가 없었다. 과실비대는 처리구보다 무처리구가 유의적으로 높았다. 과실성숙기인 11월에 조사된 과육의 건물률 변화율의 변화에서도 무처리구에 비해 시트 피복처리구 및 점적관수처리구가 높은 비율을 나타내고 있어 Kadoya(1973)의 건조스트레스구의 과실의 당 축적은 높은 싱크 활성에 의한 것이라는 것을 간접적으로 증명해 주고 있다.

A



B

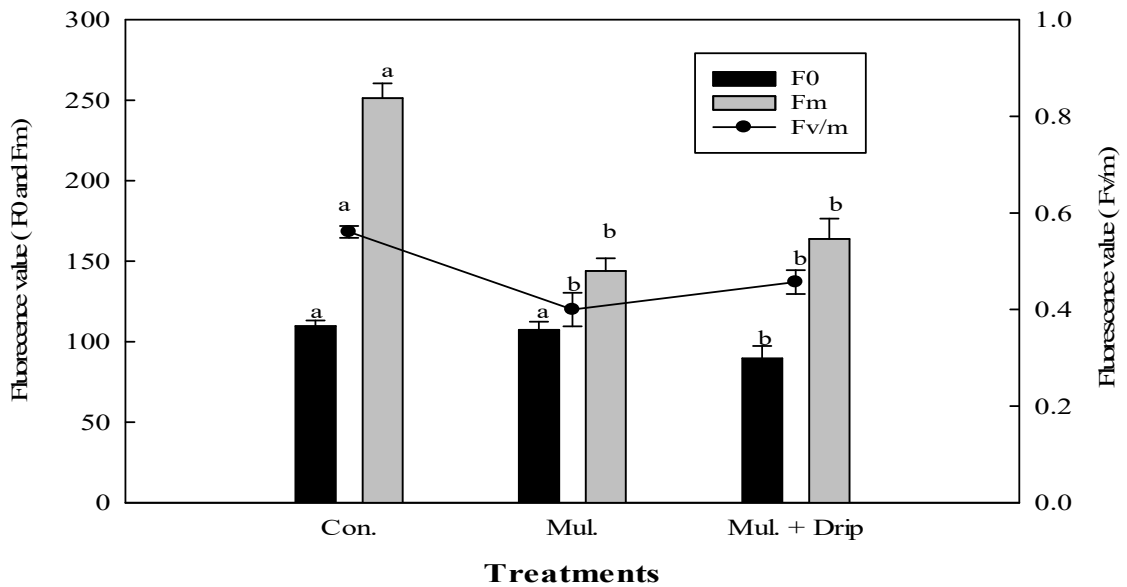
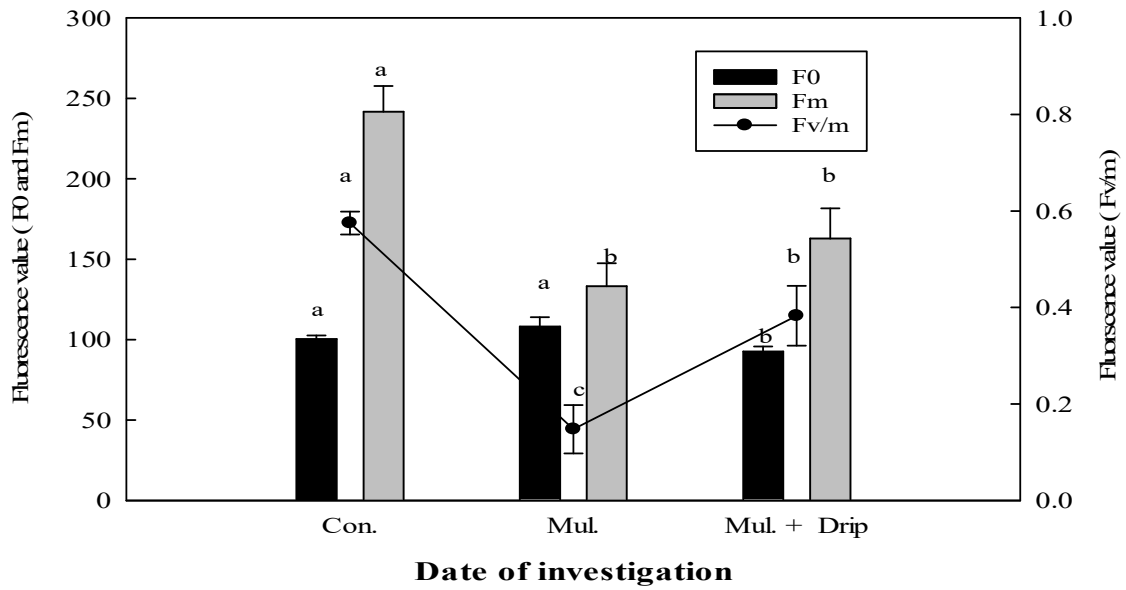


Fig. 5. Changes of chlorophyll fluorescence parameter as vegetative (A) and bearing (B) branch in Satsuma mandarin porous sheet mulching cultivation as the porous sheet treatment in September 22th. Different letters indicated significant difference at  $P < 0.05$ , Duncan's multiple range test ( $n=6$ ).

A



B

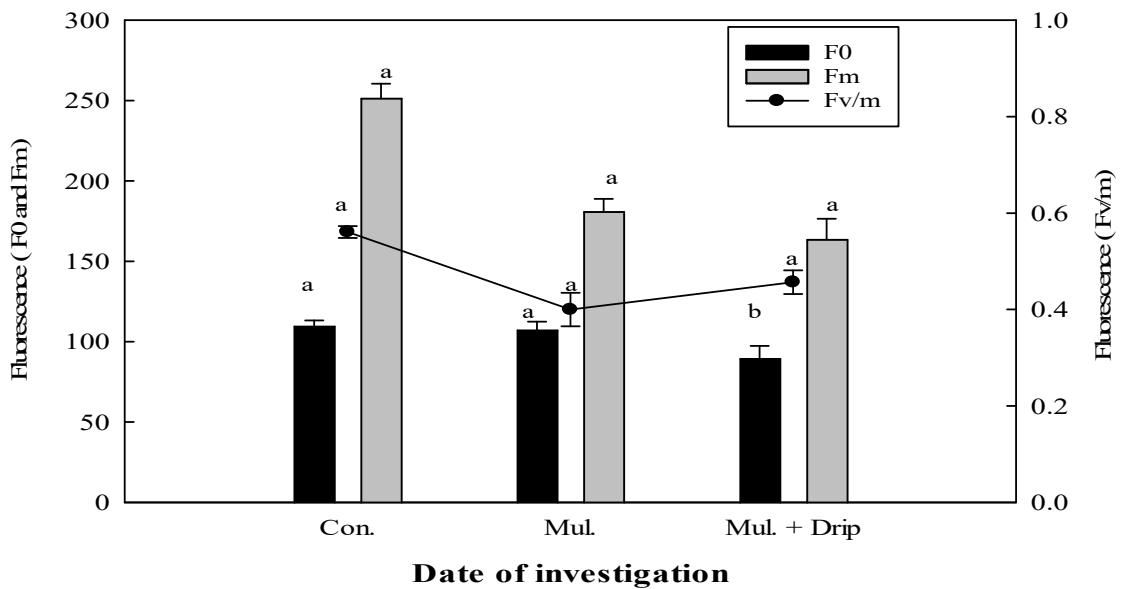
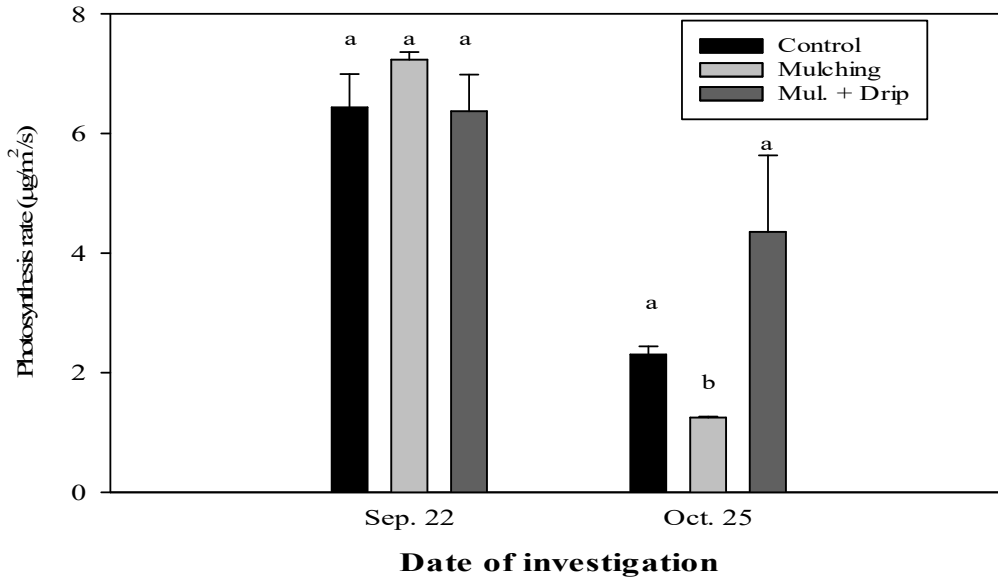


Fig. 6. Changes of chlorophyll fluorescence parameter as vegetative (A) and bearing (B) branch in Satsuma mandarin porous sheet mulching cultivation as the porous sheet treatment in October 18th. Different letters indicated significant difference at  $P < 0.05$ , Duncan' s multiple range test ( $n=6$ ).

A



B

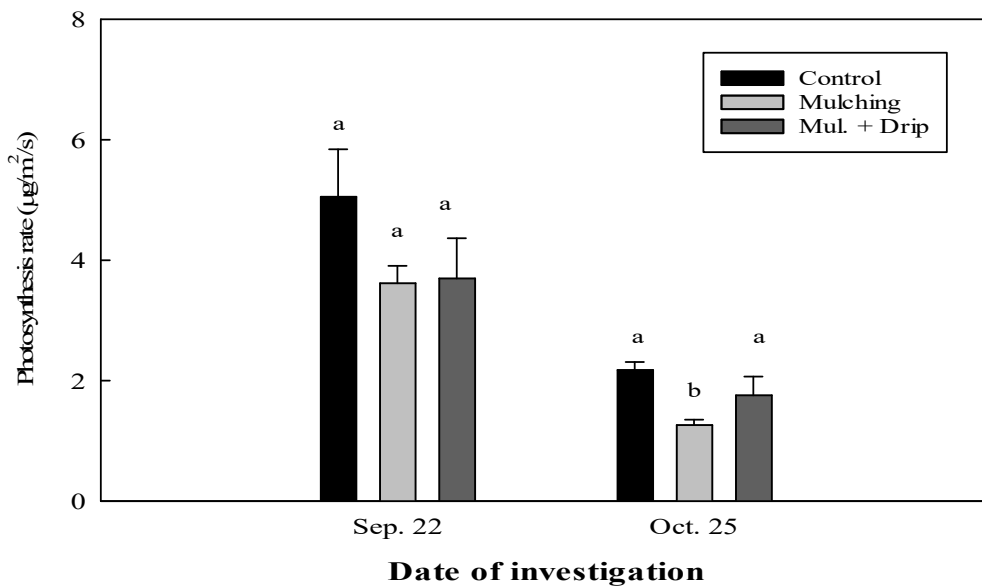


Fig. 7. Changes of photosynthesis rate as vegetative (A) and bearing (B) branch in Satsuma mandarin porous sheet mulching cultivation as control (non-sheet mulching), porous sheet mulching and drip + mulching treatment during the fruit growth season. Different letters indicated significant difference at  $P < 0.05$ , Duncan's multiple range test ( $n=6$ ).



### 3. 과실품질과 과실 생육의 변화

다공질 시트 피복에 따른 과실의 당도 및 산함량의 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 무처리구와 시트 피복처리구 간에 유의적인 차이가 인정되었으며 11월 26일에 측정된 무처리구의 당도가 11.05°Brix, 시트 피복처리구 14.55°Brix를 나타냈다.

온주밀감의 과실은 꽃의 기관을 구성하는 있는 자방벽이 발달해서 생기기 때문에 자방벽이 돌출해 사양(vesicle)이라는 특수 조직을 만든다(Kadoya, 2000). 이 사양은 내과피의 세포분열에 의해 돌기는 개화기에 생기고 과실의 성장과 함께 세포분열과 비대에 의해 크게 되고 성숙기에는 양낭(juice sac) 내를 다즙의 사양이 점하고 있다. 사양의 내부는 큰 액포에 풍부한 유조직으로 되어 있어 다즙은 여기에 축적한다(Iwahori, 1998). 건조스트레스는 과실의 당도를 증가시키지만 동시에 과실의 비대를 억제하거나, 광합성 활동을 저하시킨다. 식물이 수분스트레스를 받을 때 최초로 성장 억제가 관찰되고 계속해서 광합성과 증산속도를 감소한다(Boyer, 1970; Hsiao, 1973). 온주밀감의 광합성 속도는 토양 pF가 2.7 이하가 되면 반쯤 저하했다(Ono, 1985). 또한 엽수분퍼텐셜이  $-1.30 \sim -1.50\text{MPa}$  이하가 되면 광합성속도는 저하하기 시작하고 약  $-2.50\text{MPa}$ 에서는 약 반쯤 감소했다(Morinaga, 1993). 수경재배의 온주밀감에 있어 잎의 광합성속도와 수분 특성의 일변화를 보면, 고농도양약의 일중 엽수분퍼텐셜이 약  $-2.5\text{MPa}$ 로 저농도의 양액구에 비교해서 현저하게 광합성속도가 낮았다(Yakushiji, 2000).

온주밀감의 과실의 맛은 과즙의 당 및 유기산 농도에 의해서 결정되는데 이와 같이 강한 건조스트레스를 여름과 가을철에 받지 않으면, 온주밀감의 고당도 과실 생산이 곤란하다. 온주밀감의 맛은 과즙의 당 및 유기산 농도에 의해 결정되는데 최근 기후변화에 따른 과실성숙기의 빈번한 강우에 대처로 일본 및 제주의 감귤재배 농가에서는 다공질 시트 피복 재배와 하우스재배로 고품질의 과실을 생산하고 있다(Yakushiji et al., 1996;

Han et al., 2014). 온주밀감의 수분스트레스에 대한 당집적의 mechanism에 대해 몇 안 되는 보고가 있다(Kadoya, 1972, 1973; Sugai and Torikata, 1979). 하지만 나무에 대한 수분관계의 관점에서 수분스트레스의 생리적 mechanism에 대해 연구되지 않았다. Yakushiji et al.(1996)은 다공질 시트 피복 재배에 대한 토양, 잔뿌리, 과피 및 사양에 대해 phychrometer 측정방법으로 측정해 스트레스 정도가 심해짐에 따라 관수가 잘 된 나무에 비해 멀칭재배의 나무에서 잔 뿌리와 과피의 수분퍼텐셜과 삼투퍼텐셜이 유의하게 감소하였다. 수분스트레스를 받은 나무의 뿌리와 과피 및 사양조직의 팽압(turgor pressure)은 감소하지 않았다. 팽압을 유지하기 위해 수분스트레스와 반응하여 온주밀감 나무에서 삼투조절이 일어났다. 수분스트레스를 받은 과실의 사양에서 삼투퍼텐셜이 점진적으로 감소함과 동시에 사양조직에 당이 집적되었다. 이들 결과로 온주밀감의 당집적은 수분스트레스에 대한 탈수가 아니고 오히려 수분스트레스에 반응하여 능동적인 삼투조절에 의해 당이 집적되었음을 시사했다. 이상의 결과 9월 초순경 태풍과 9월 12일의 일시적인 강우의 날씨로 토양수분 함량이 무처리 및 점적관수처리구의 30-40%을 시트 피복처리구는 30% 이하의 값을 보이고 있으나, 9월 3일부터 12일까지는 태풍에 동반된 강우의 영향을 무처리 및 점적관수처리구가 영향을 받았을 것으로 생각되어 9월에는 심한 건조스트레스를 나타나지 않았다. 본 실험의 결과와 Yakushiji et al.(1996)의 보고와 비슷한 값을 나타냈으며 11월 26일에 측정된 무처리의 당도가 11.05°Brix, 시트 피복이 14.55 °Brix을 나타냈다. 이 당도 12월 초순에 측정된 Yakushiji의 보고와 일치했다. 이들 결과를 종합했을 때, 다공질 시트 피복에 의한 당도 상승은 삼투조절에 의한 것으로 생각이 되었다.

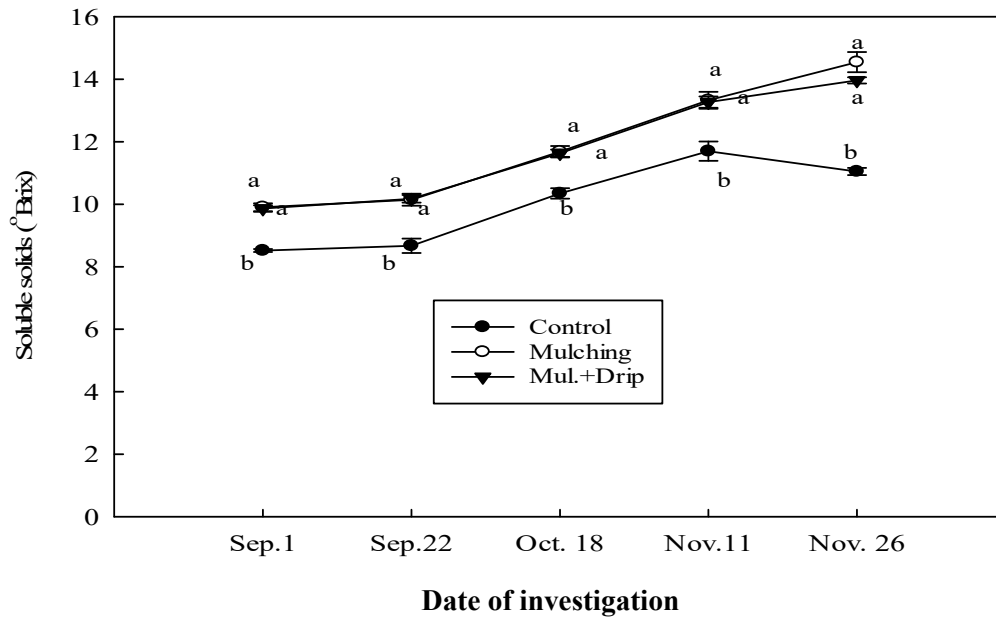
과실비대에 미치는 영향을 본 실험에서는 측정용 과실에 표시를 해서 종경 및 횡경의 경시적인 변화를 조사한 결과 무처리구 과실에 비해 처리구 과실이 유의적으로 감소를 나타냈다(Fig. 10).

수확기인 11월 26일에 측정된 적녹도(a) 값이 무처리구 25.59, 시트 피복처리구 29.72 및 점적관수처리구 30.64로 피복처리구에 비해 무처리구의 과실 착색 정도가 낮았다(Fig. 12). 과피 신장에 관련된 경도와 두께 변화를 조사했다. 수확기인 11월 26일의 경도는 무처리구 2.02, 시트 피복처리구 2.53, 점적관수처리구 2.39kg/cm<sup>2</sup>로 시트 피복처리구가 무처리구에 비해 높은 값을 나타냈다. 또한, 과피 두께도 무처리구 1.92mm, 시트 피복처리구 2.44mm 및 점적관수처리구 2.56mm로 시트 피복처리구가 무처리구에 비해 높은 값을 나타냈다(Fig. 11).

일본에서 온주밀감에 대한 기후변화 영향과 앞으로 대응방침으로 부피과 발생 등의 생리장해에 대해 중요하다고 했다. 부피과의 발생은 다음과 같은 두 단계를 걸쳐 진행된다고 보고한 바가 있다(Kuraoka, 1962). 첫 단계로 과실이 성숙함에 따라 과피의 알베도층의 붕괴가 일어나 과피 및 과육 사이에 틈이 생긴다. 그 후에 제2단계에서는 과피가 비와 이슬로 수분을 흡수 후에 팽윤해 과피와 과육 사이의 간극이 증대해 부피과 현저하게 된다고 고찰했다. Inoue et al.(2018)은 부분 시트피복재배가 조생계 온주밀감 과실품질 및 수량에 미치는 영향에서 100% 및 90% 피복구에서 90% 이상의 착색이 현저했다고 보고했다.

이시기에 빈번한 강우에도 불구하고 이러한 결과들이 나타나 다공질 시트 피복재배 과실은 당도가 높으면서 부피과 발생이 없는 고품질 과실 생산 가능성이 시사되었다.

A



B

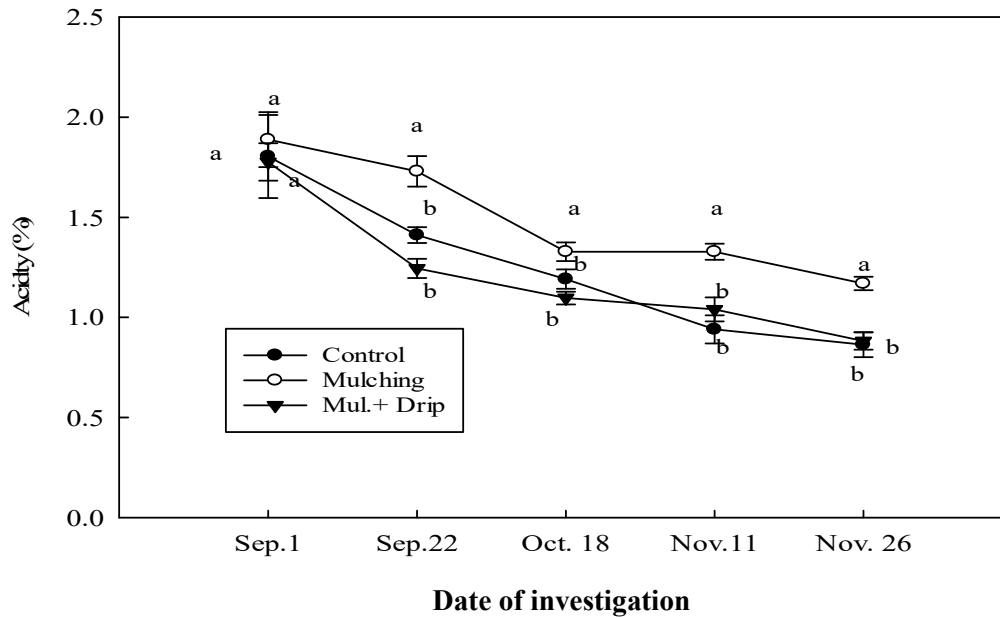
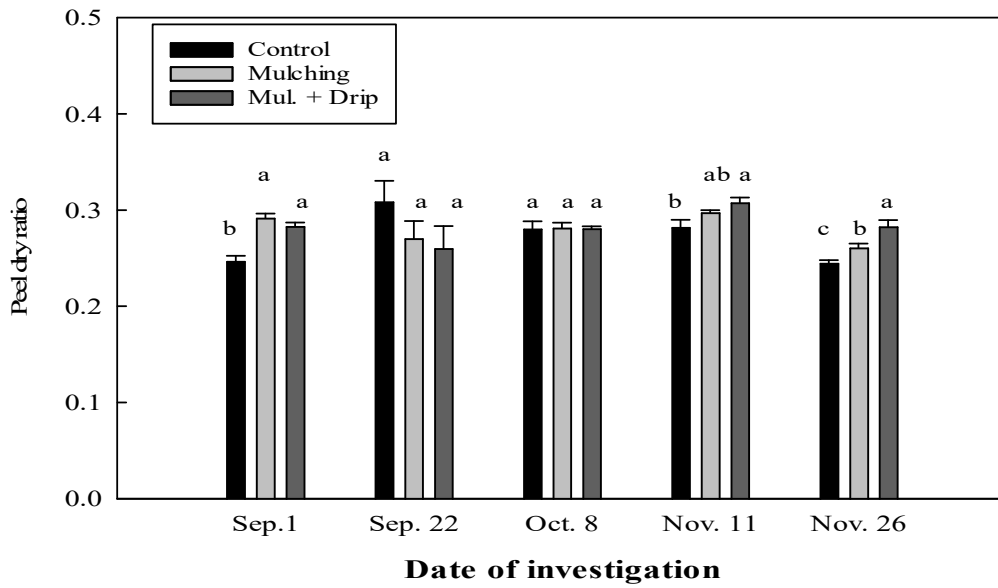


Fig. 8. Changes of fruit juice soluble solids (A) and acidity (B) in Satsuma mandarin porous sheet mulching cultivation as control (non-sheet mulching), porous sheet mulching and drip + mulching treatment. Different letters indicated significant difference at  $P < 0.05$ , Duncan's multiple range test ( $n=6$ ).

A



B

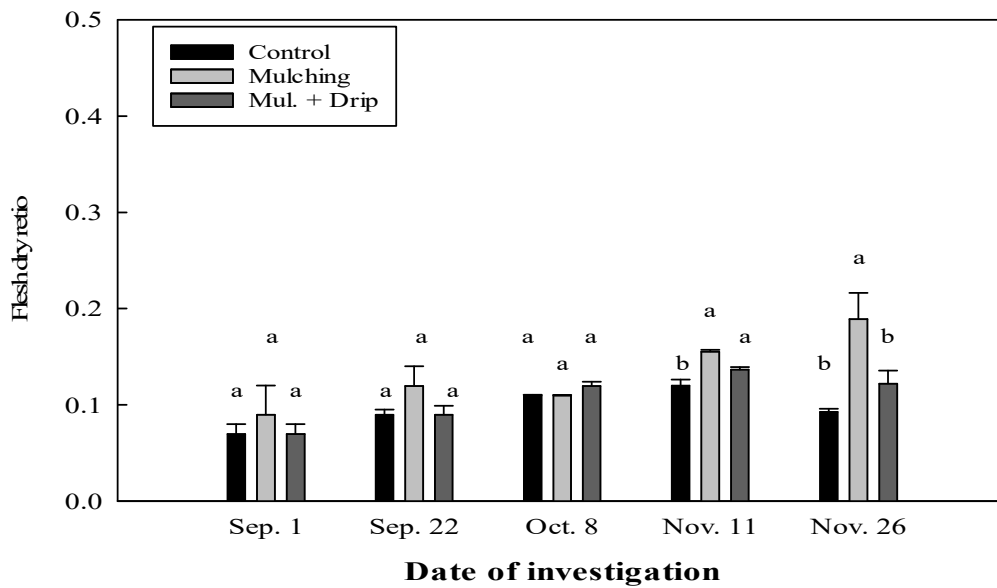
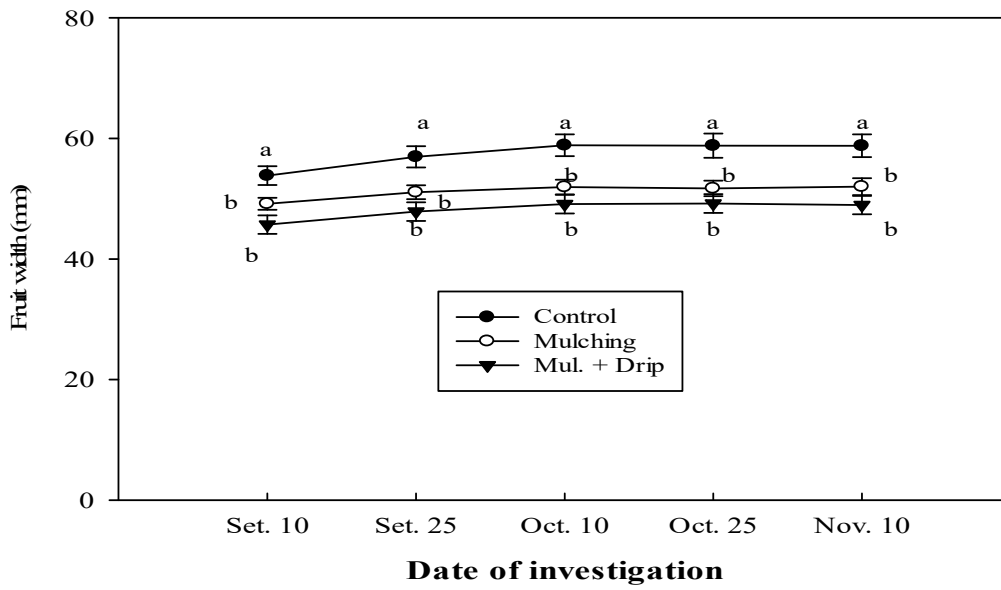


Fig. 9. Changes of peel (A) and flesh (B) dry ratio in Satsuma mandarin porous sheet mulching cultivation as control (non-sheet mulching), porous sheet mulching and drip + mulching treatment during the fruit growth season. Different letters indicated significant difference at  $P < 0.05$ , Duncan's multiple range test ( $n=6$ ).

A



B

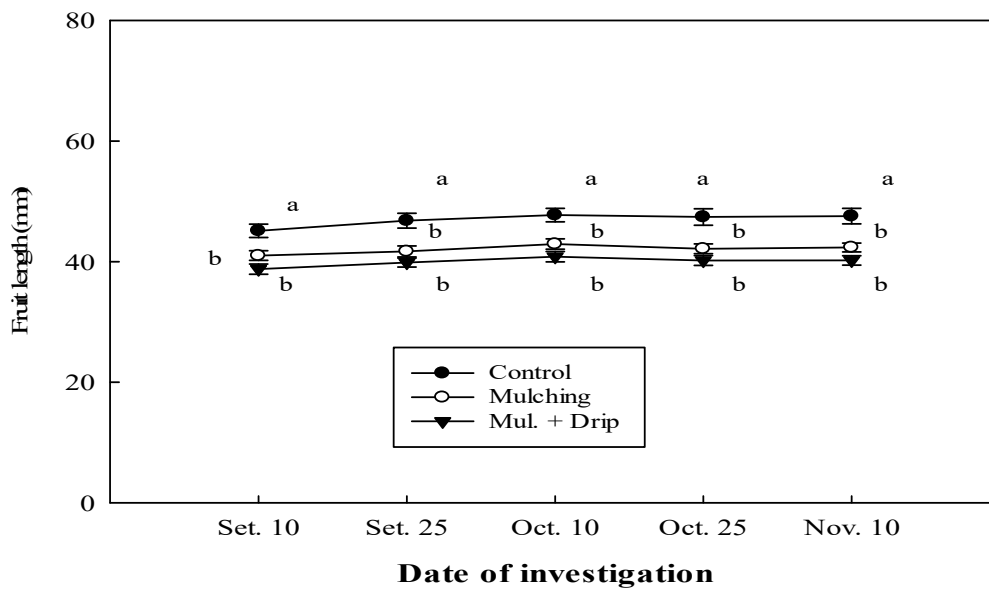
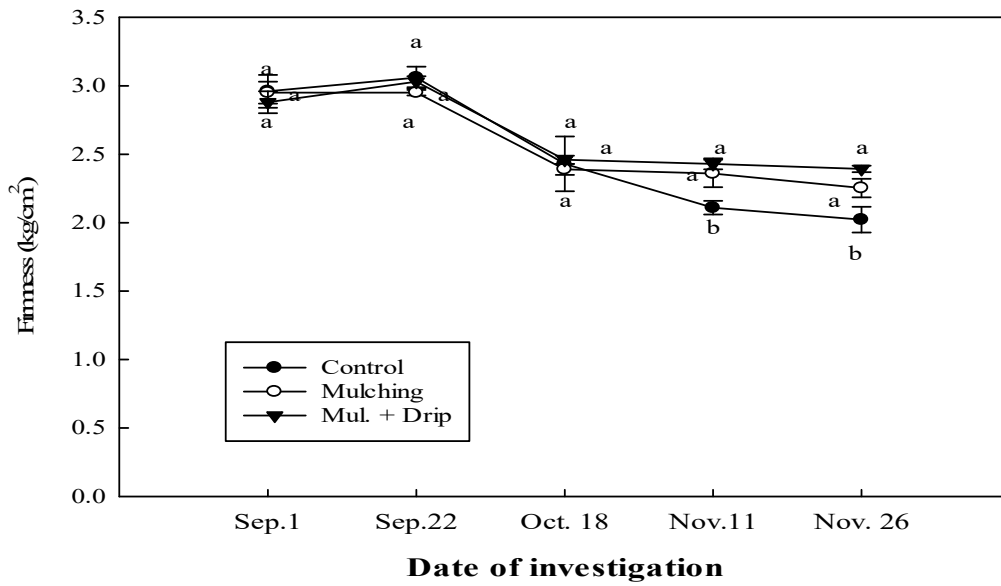


Fig. 10. Changes of fruit length(A) and width (B) in Satsuma mandarin porous sheet mulching cultivation as the porous sheet treatment during the fruit growth and maturing season. Different letters indicated significant difference at  $P < 0.05$ , Duncan' s multiple range test ( $n=6$ ).

A



B

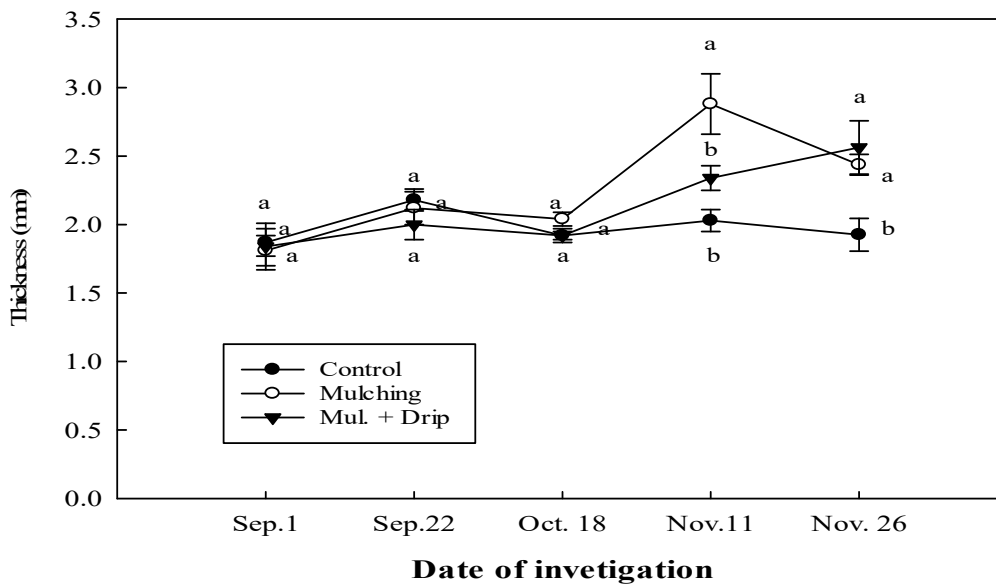


Fig. 11. Changes of fruit firmness(A) and peel thickness (B) in Satsuma mandarin porous sheet mulching cultivation as control (non-sheet mulching), porous sheet mulching and drip + mulching treatment during the fruit growth season. Different letters indicated significant difference at  $P < 0.05$ , Duncan's multiple range test ( $n=4$ ).

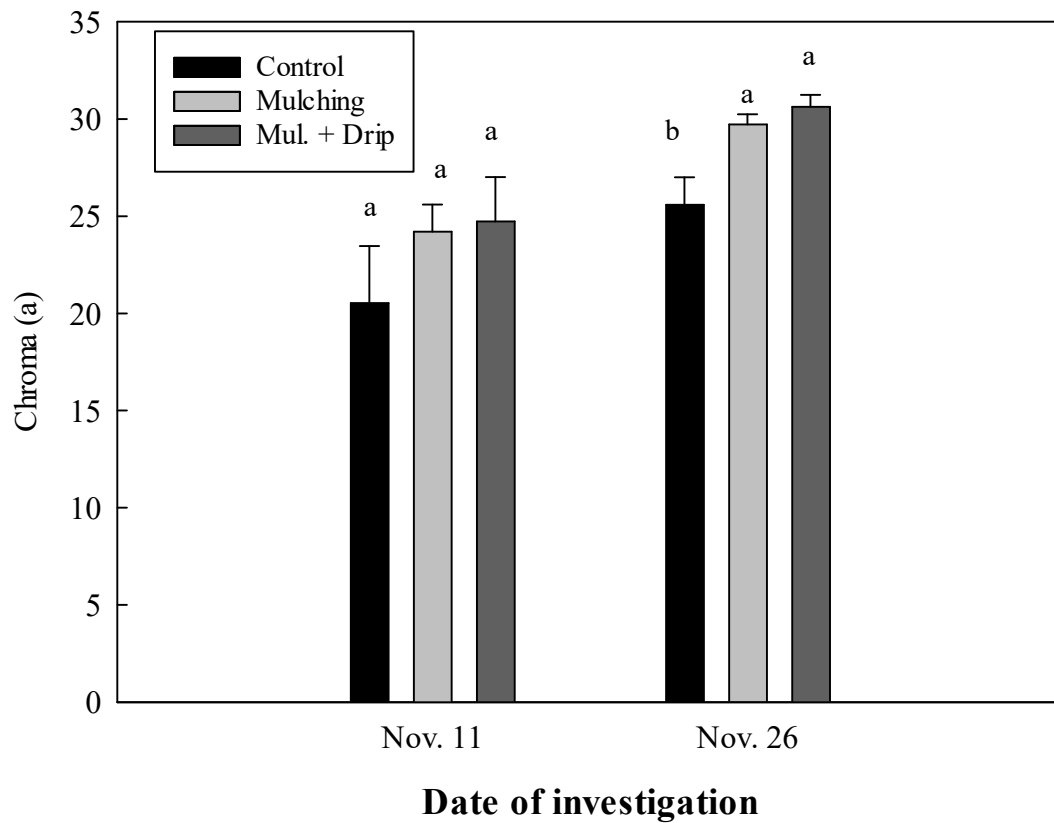


Fig. 12. Changes of fruit peel chroma values (a; red-greenness) in Satsuma mandarin porous sheet mulching cultivation as the porous sheet treatment during the fruit maturing and harvest season. Different letters indicated significant difference at  $P < 0.05$ , Duncan's multiple range test ( $n=6$ ).



#### 4. ABA 와 JA 농도 변화

수체에 건조스트레스의 손상 정도를 동트기 전 엽수분퍼텐셜 측정 시료를 이용해 내생 ABA 및 JA의 시기와 처리 별 농도 변화를 Fig. 13과 Fig. 14에 나타내었다. 9월 12일에는 엽수분퍼텐셜 변화와 같이 무처리구가 시트 피복처리구보다 낮은 농도를 보였으나, 건조 날씨가 지속된 10월 23일 조사에서는 무처리구가 역으로 제일 높은 값으로 13.4ng/g FW을 나타냈다. 이 값은 다른 처리구의 약 3배가 되었으며, 11월에 들어 몇 번에 강우로 전 처리에서 낮은 값을 보였으나, 처리구 간에 유의한 차이는 없었다.

대부분의 ABA가 식물 조직에 축적되는 동안 수분 스트레스 조건에서(Rodrigo et al., 2006). 기공 폐쇄를 포함한 건조에 대한 식물의 대응 그리고 기관 탈리는 ABA 생리학적 강도를 조절하는 데 중요한 역할을 하고 있다. De Ollas et al.(2013)은 감귤대목인 'Citrumelo CPB 4475'의 건조스트레스 조건 하에 뿌리의 JA의 일시적인 축적이 ABA 증가에 필요한 것을 밝힌 적이 있다. 수분스트레스를 심하게 받은 복숭아와 온주밀감의 과실이 당도 상승과 함께 내생 ABA 함량이 증가한다고 보고했다(Kobashi et al., 1997; Okuda et al., 1995). Okuda et al.(1995)은 온주밀감의 착과가 발육지의 광합성속도, 암 호흡속도, 엽중 유리 ABA 농도 및 다음해 착화에 미치는 영향에 대한 보고에서 엽중 ABA 농도가 0-4nmol/g FW이었다. 이 보고의 엽중 유리 ABA 농도 분석은 GC-ECD로 측정한 결과이다. 본 실험에서도 그 농도가 0-13.4ng/g FW이었다. ABA의 분자량은 264.32로 환산해 1nmol은 약 2.64ng으로 4nmol은 약 9ng이었다. 본 실험은 수분스트레스를 받고 있어서 최대 13ng까지 나타났다.

Gómez-Cadenas et al.(2002)은 'Salustiance' [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck]오렌지

나무에 100mM NaCl의 염분스트레스를 받은 식물은 많은 양의 엷화물을 축적하고 에틸렌 생성을 증가시키며 낙엽이 되었다. 또한, 기공전도도 및 광합성 속도도 급격히 저하했다. 하지만 염분스트레스에 노출되기 10일 전에 영양용액으로 10mM ABA를 처리로 에틸렌 생성 및 낙엽을 감소시켰다. 염 스트레스를 받지 않는 나무는 ABA가 기공전도도 및 CO<sub>2</sub> 동화를 감소되었으나, 염분 스트레스를 받은 식물은 상기 parameter를 조금 증가시키는 결과로 염분스트레스 하의 감귤에 대해 ABA의 식물체에 대한 보호 역할을 하는 것을 암시한 바가 있다. 무처리구 엷중 ABA 농도가 다른 처리에 비해 급격하게 증가한 것은 10월의 급격한 건조 날씨의 환경에 대응하기 위한 식물체 조절 기능으로 ABA가 활성화된 것으로 생각이 된다.

Kobashi et al.(1997)은 수분스트레스가 복숭아 과실의 품질과 ABA 함량에 미치는 영향에서 과실의 당도 상승을 위해 과실 성숙기인 7월에 심한 토양수분스트레스 처리(-0.06MPa)로 엷수분퍼텐셜이 -2.0MPa로 무처리구 당도 7.60°Brix에서 8.27°Brix의 상승과 함께 내성 ABA 함량도 7월 10일에 209.12ng/F.W g에서 321.61ng/F.W g로 증가했고 수확기인 7월 20일에는 800에서 1,350ng/F.W g으로 증가했다. 그리고 스트레스처리를 받은 나무의 광합성 속도 및 기공전도도도 조사결과, 무처리구 13.6에 비해 11.9  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 감소했다. 또한, 과실무게 및 과피의 착색 정도를 적록도(a) 값을 비교했는데 처리구 및 무처리구 간에 유의적 차이가 없었다.

본 실험의 과육의 결과에서는 다공질 시트 피복처리구에서 최대 약 500ng/g FW을 나타냈는데 과피의 1,283ng/g FW을 더하면 약 1,700ng/g FW으로 복숭아 과실보다 높은 함량이 나타났으며, 9월 22일에 착과지의 광합성 속도는 무처리구 5.05에 비해 시트 피복처리구는 3.62  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 감소를 나타냈다(Fig. 7).

과실의 당도는 수확기인 11월 26일에 무처리과 11.05°Brix, 시트 피복처리과

14.55°Brix 및 점적처리과 13.96°Brix로 나타났으며 11월 17일에 과육의 ABA 농도로 무처리과 127.6ng/g FW, 시트 피복처리과 254.6ng/g FW 및 점적처리과 180.6ng/g FW로 복숭아 과실의 결과와 같이 과실성숙기 수분스트레스는 건물 생산을 감소시켰지만, 과실의 ABA 농도를 증가시키는 것에 의해 과실에의 동화산물의 분배를 촉진시키고 그것에 의해 과실의 당도를 상승시킨 것으로 생각할 수 있었다. 특히, 본 실험에서는 과피에 대한 ABA 농도도 조사해 보았다. 11월 17일에 무처리구 169.67, 시트 피복처리구 1,283 및 점적관수처리구 706 ng/F.W g으로 처리가 무처리구에 비해 고농도이었다. 이에 따른 수화기인 11월 26일의 과피의 적녹도(a) 값이 무처리구 25.6에 비해 시트 피복처리구 29.7 및 점적관수처리구 30.6으로 처리구가 높은 값을 나타냈고, 경도 및 과피 두께가 무처리구에 비해 처리구가 높은 것도 ABA 농도 변화에 의한 것으로 생각이 되었다.

JA 및 그 대사물은 집합적으로 jasmonate로 알려진 것으로 지질에서 파생된 동물에서 발견되는 prostaglandins(Agrawal et al., 2004)로 jasmonate는 지질산화 경로에서 유래하는 주목할만한 구조식 및 기능적 특성을 공유하고 있는 신호이다. Jasmonate의 신호는 방어반응을 포함한 곤충과 병원체와 같은 생물학적 스트레스 요인들과 오존과 같은 생물학적 환경요인에 대한 반응(Sasaki et al., 2005) 및 상처(Lorenzo et al., 2004)와 관련된 스트레스 반응을 포함하고 있다.

감귤류는 목본식물의 스트레스 연구(Gómez-Cadenas et al., 2003)의 생물학적 스트레스 모델로 제안되어 왔다. 식물호르몬은 수많은 건조스트레스와 같은 환경 조건을 감지하고 신호전달에 중심적인 역할을 하는데 De Ollas et al.(2013)은 감귤대목인 'Citrumelo CPB 4475'의 건조스트레스 조건 하에 뿌리의 JA의 일시적인 축적이 ABA 증가에 필요한 것을 밝힌 적이 있다.

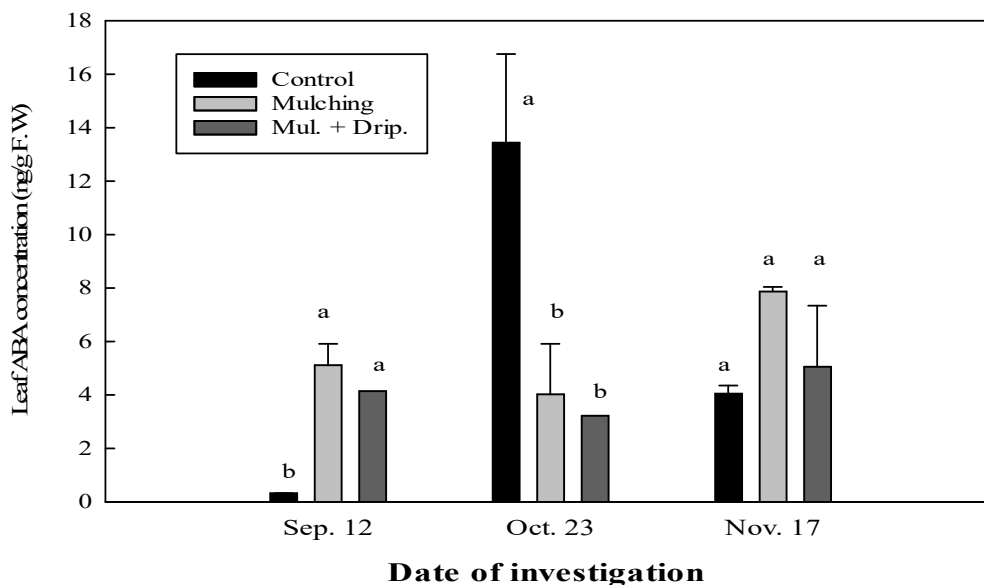
본 실험에서도 잎과 과피에서만 수분스트레스 정도에 따른 JA 활성이 나타났으며, 과육에서도 무처리구에서 아주 적은 농도가 나타났다. 대체적으로 ABA 농도 상승 시 JA 농도가 상승하는 경향이 나타나고 있어 De Ollas et al.(2013)이 발표한 JA의 일시적인 축적이 ABA 증가에 필요한 것을 암시하고 있다.

Yakushiji(2000)은 현재의 온주밀감 품종에서는 건조스트레스를 부여하는 것이 고당도 과실 생산에 필수적이다. 하지만 건조스트레스 제어를 잘못하면 과실의 품질을 손상시킬 뿐만 아니라 영양생장 기관인 세근이나 신초 등에의 양분 공급이 현저하게 감소하게 한다. 이 때문에 다음해 봄의 생육에 필요한 양분이 극단적인 부족 상태에 빠져 수세의 저하를 초래하기 쉬워진다. 그러나 과일에서 삼투압 조절 기능이 허용되는 수준의 건조스트레스 조건에서는 과실 당도의 증가에 효율적이며 수체의 부담은 적다고 생각했다. 또한, 건조스트레스 처리에 수반하는 마이너스 요인을 최소화하기 위해 간단한 수분특성 평가법의 확립 생체정보에 기초한 수세유지기술, 또한 감산 기술의 확립이 요구된다고 하였다. 본 실험에서도 온주밀감 다공질 시트 피복 재배에 있어 과실 당도 상승과 수체 수분스트레스 정도에 따른 손상 정도의 지표로 찾기 위해 과실품질 변화를 생리학적으로 해석함과 동시에 산화적 손상 및 건조스트레스 연관 JA와 ABA 농도 조사를 목적으로 수행했다.

이상의 결과, 수체 수분 스트레스 정도에 따른 손상 정도의 지표로 광합성 산화적 손상 관련 엽록소 PSII의 최대양자 효율 값( $F_v/F_m$ ), 초기형광 값( $F_o$ ) 및 건조스트레스 연관 호르몬인 JA와 ABA를 찾을 수가 있었다.

앞으로 삼투압 조절기능에 관련된 주요 효소 해명 및 유전자 조작이나, 단백질 공학의 진전에 의해, 온주밀감의 내건성이나 내염성 개선이나 습윤 조건 하에서도 고품질 과실을 생산할 수 있는 품종 개량이 가능해질 것으로 기대한다.

A



B

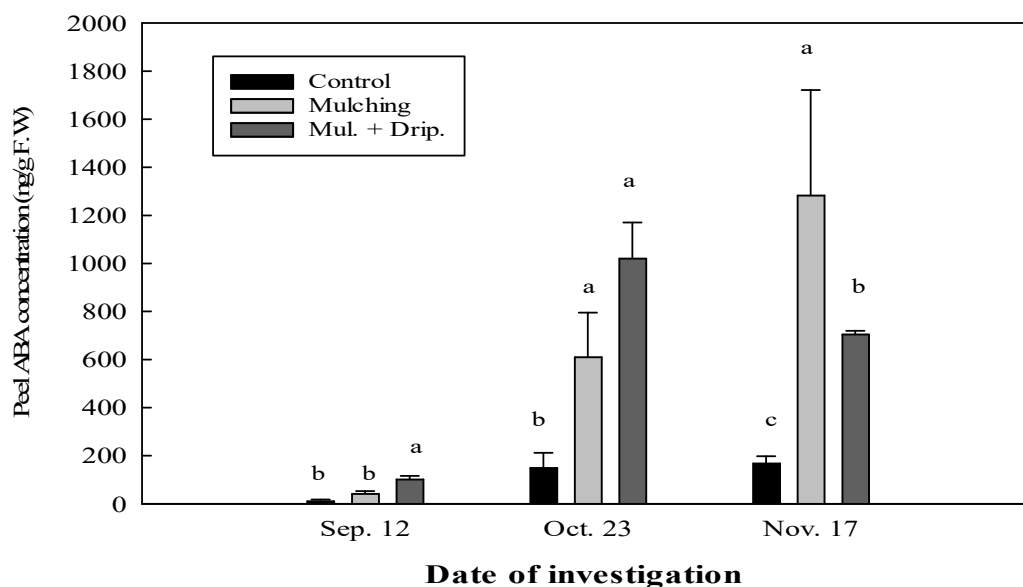


Fig. 13. Changes of leaf (A), fruit peel (B) and flesh (C) endogenous ABA concentration before down in Satsuma mandarin porous sheet mulching cultivation as control (non-sheet mulching), porous sheet mulching and drip + mulching treatment during the fruit growth season. Different letters indicated significant difference at  $P < 0.05$ , Duncan's multiple range test ( $n=4$ ).

C

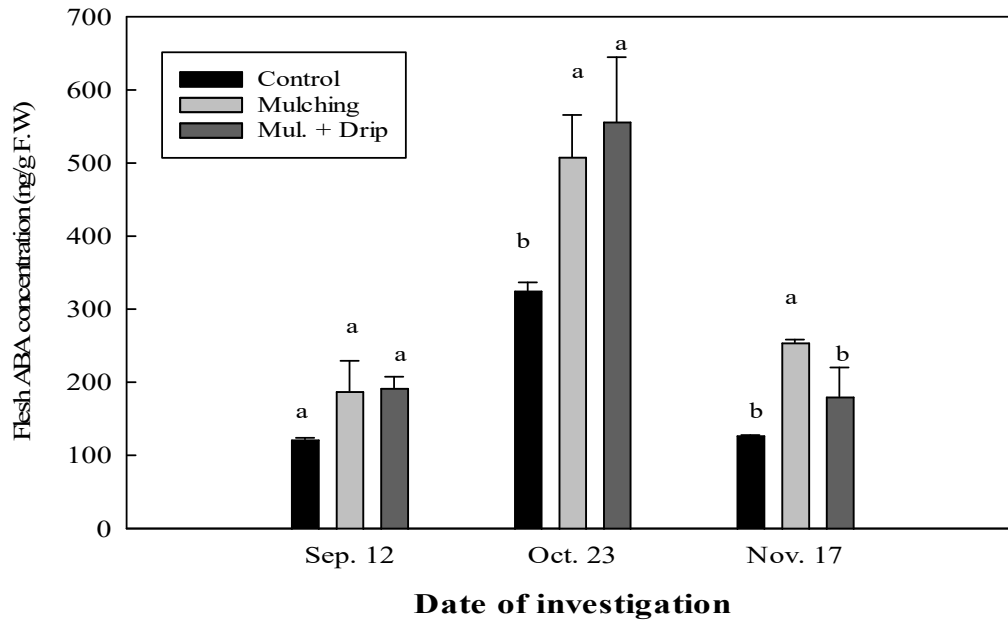
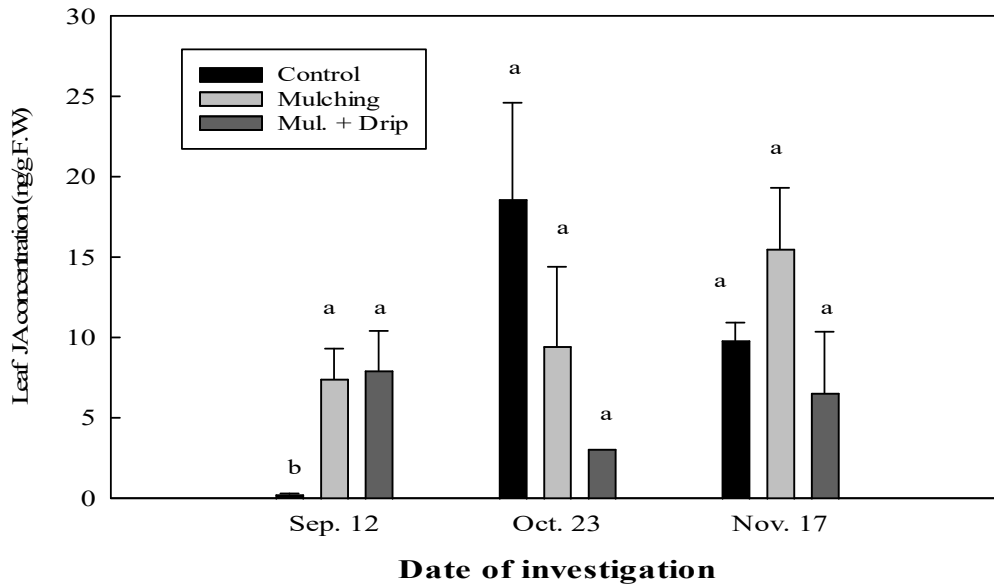


Fig. 13. (Continued)

A



B

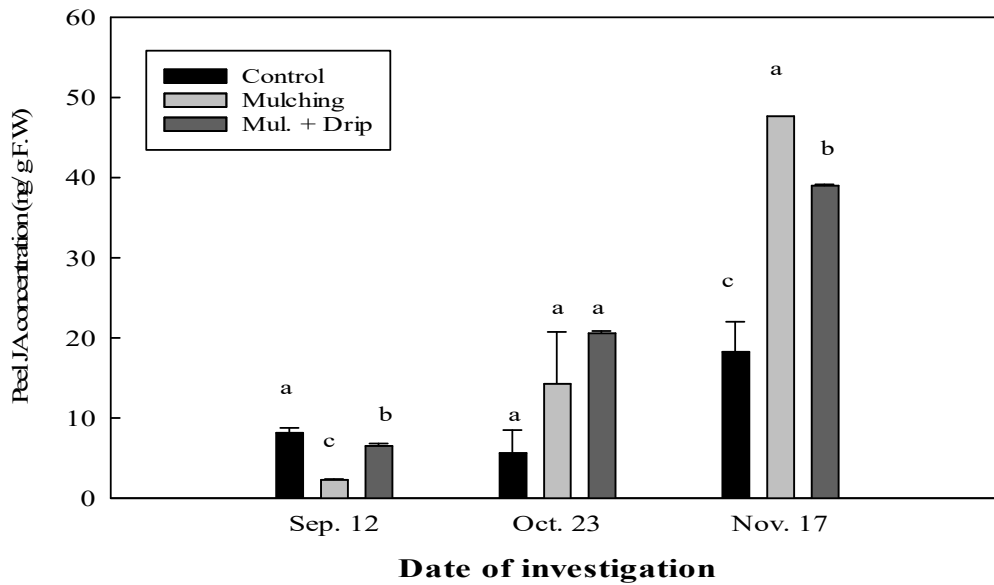


Fig. 14. Changes of leaf (A) and fruit peel (B) endogenous jasmonic acid (JA) concentration before down in Satsuma mandarin porous sheet mulching cultivation as control (non-sheet mulching), porous sheet mulching and drip + mulching treatment during the fruit growth season. Different letters indicated significant difference at  $P < 0.05$ , Duncan's multiple range test ( $n=4$ ).

#### IV. 인용문헌

- Agrawal GK, Tamogami S, Han O, Iwasaki H, Rakwal R (2004) Rice octadecanoid pathway. *Biochem Biophys Res Commun* 317:1–5
- Boyer JS, Knipling EB (1965) Isopiestic technique for measuring leaf water potentials with a thermocouple psychrometer. *Proc Natl Acad Sci* 54:1044–1051
- Boyer JS (1970) Leaf enlargement and metabolic rates in corn, soybean, and sunflower at various leaf water potentials. *Plant Physiol* 46:233–235
- De Ollas C, Hernando B, Arbona V, Gómomez–Cadenas A (2013) Jasmonic acid transient accumulation is needed for abscisic acid increase in *Citrus* roots under drought stress conditions. *Physiol Plant* 147:296–306
- Demming B, Björkman O (1987) Comparison of the effect of excessive light on chlorophyll fluorescence(77K) and photon yield of O<sub>2</sub> evolution in leaves of higher plants. *Planta* 171:171–184
- Gómez–Cadenas A, Arbona V, Jacas J, Primo–Millo E, Talón M (2002) Abscisic acid reduces leaf abscission and increases salt tolerance in *Citrus* plants. *Journal Plant Growth Regul* 21:234–240
- Gómez–Cadenas A, Iglesias DJ, Arbona V, Colmenero–Flores JM, Primo–Millo E, Talón M (2003) Physiological and molecular responses of *Citrus* to salinity. In: Pandalai SG (ed.) *Recent Research Developments in Plant Molecular Biology* Vol. 1. Trivandrum Kerala, India, p. 282–298
- Han SH, Kang H, Chae CH (2014) Effect of Tyvex mulching and trickle irrigation on



fruit quality in Satsuma mandarin. Korean J Horticult Sci Technol 32:18–25

**Hayashi F (2006)** Current stage of high-quality production in Satsuma mandarin production areas; Spread of mulching culture and product difference in Nagasaki prefecture. Farm Manag Res 44:63–66

**Hirano S, Kanematsu T, Takagi Y, Abei, T (1979)** A simple infrared spectroscopic method for the measurement of expired  $^{14}\text{CO}_2$ . Anal Biochem 96:64–69

**Hsiao TC (1973)** Plant responses to water stress. Annu Rev Plant Physiol 24:519–570

**Inoue H, Fujii E, Nishiyama T (2018)** Effect of partial sheet mulching on quality and yield of early ripening Satsuma mandarin. Ehime Prefecture Fruit Tree Center Res Rep 6:11–28

**Iwasaki M (2014)** Research on high-quality fruit production on water physiology in *Citrus*. PhD Thesis, Kyoto Pref University, Kyoto, Japan

**Japan Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries (2021)** *Citrus* production statistical data, <https://www.maff.go.jp/j/tokei/>

**Iwahori S, Kadoya K (1999)** *Citrus* general theory, Fruit p. 20. Yokendo, Japan

**Jikumaru Y, Hanada A, Sato M, Hiroyuki K, Nambara E, Yamaguchi S, Kamiya Y (2007)** Simultaneous analysis of plant hormones by LC-ESI-MS/MS. Regul Plant Growth Dev 42:167–175

**Kadoya K (1972)** Studies on the translocation of photosynthates in Satsuma mandarin II. Effects of root environmental conditions on translocation of  $^{14}\text{C}$ . J

Jpn Soc Hortic Sci 41:210–366

**Kadoya K (1973)** Studies on the translocation of photosynthates in Satsuma mandarin III. Effects of water stress on the metabolism of sugars in fruit. J Jpn Soc Hortic Sci 42:210–214

**Kadoya K (2000)** Orchard gardening university 100 subject 1 *Citrus*: Form and function of roots, p. 64–68. Agricultural and Fishing Village Cultural Association, Japan

**Kadoya K (2000)** *Citrus*, Growth and Physiology p. 52. Fishing Village Cultural Association, Japan

**Katsuki T, Takahashi K (1995)** Trends in high quality production of Satsuma mandarin. Agric Gen Res 49:59–120

**Kihara T, Konakahara M (2000)** Current status and countermeasures for biennial fruiting in Satsuma mandarin. Fruit Tree Rep 34:111–136

**Kitujima M, Butler WL (1975)** Quenching of chlorophyll fluorescence and primary photochemistry in chloroplasts by dibromothymoquinone. Biochim Biophys Acta 376:105–115

**Kobashi K, Gemma H, Iwahori (1997)** Effect of water stress on fruit quality and endogenous abscisic acid (ABA) content in peach fruit. Environ Control Biol 35:275–282

**Ko BH (2015)** Key details of the Trans–Pacific partnership agreement (TPP) and Jeju’s plans. Jeju Development Institute Policy Issue Brief 240:8–9

- Kuraoka, T (1962)** A systematic study on the development of Satsuma mandarin fruit; especially on the mechanism of puffing development. Ehime Univ Fac Agric Res Rep 8:106–154
- Lee CB, Lee CH, Chang HS, Ha SB (1995)** Mercury–induced light dependent alterations of chlorophyll a fluorescence kinetics in barley leaves. J Plant Biol 38:11–18
- Lee JB, Koh SC, Moon BY, Park IH, Park HB, Jeon HS (2011)** Plant physiology: Photosynthesis. p. 96–67, Life Science, Korea
- Long SP, Humpried S, Falkowski PG (1994)** Photo inhibition of photosynthesis in nature. Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol 45:633–662
- Mantías M, Borsani O, Díaz P, Rivas F (2012)** Relationship between flower intensity, oxidative damage and protection in *Citrus* under water stress conditions. XII International *Citrus* Congress, Valencia, Spain, p. 1243–1245
- Masaya T, Machida Y (1980)** Leaf water potential as a water management index for Satsuma mandarin trees in summer. J Jpn Soc Hortic Sci 49:41–48
- Moon DG, Hyeon GN, Kim DJ, Kim YH, Han KS, Kang YK, Kang YJ, Jeong MJ (2008)** History of *Citrus* industry development. Jeju *Citrus* Cluster Innovation Committee.
- Molz FJ, Boyer JS (1978)** Growth–induced water potentials in plant cells and tissues. Plant Physiol 62:423–429
- Morgan JM (1984)** Osmoregulation and water stress in high plant. Annu Rev Plant

Physiol 35:299–319

- Morinaga K, Yoshigawa H, Kusaba S, Hoshi N, Shimazaki M, Nakao S, Hoshi N, Hasegawa M (2010)** Development and dissemination of mulching–drip irrigation fertilization system for *Citrus*. *Hortic Res (Japan)* 9:129–135
- Morinaga K (1993)** Study on enhancement of photosynthesis and fruit production in *Citrus*. *Shikoku Agric Rep* 57:135–205
- Moon YI, Kang SB, Lee HJ, Han SG (2018)** Analyzing *Citrus* growth response to abnormal development of stable production technology, p 67–90. Korea Rural Development Administration Research Report, Jeonju, Korea
- Nakazato I, Kishino I (1999)** Effect of methods time of irrigation on decrease acid content and reduction of dry stress in sheet–mulching Satsuma mandarin trees. *Bull Nagasaki Fruit Tree Exp Stn* 6:1–9
- Nakamura T, Chikaizumi S, Mizutani (2010)** Effects of crop loads on growth nutrient content of two–year–old ‘Miyagawa Wase’ Satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) trees. *Bull Exp Farm Fac Agric Ehime Univ* 32:7–16
- Nagatani S, Yamamoto G, Miyamo K (2011)** Effect of Satsuma mandarin fruit setting burden at summer season on fine root content and water stress. <http://www.pref.wakayama.lg.jp/prefg/070109/seika/h22/H22seikajoho>
- Nodrigo M, Alquezar B, Zacarías L (2006)** Cloning and characterization of two 9–cis–epoxycarotenoid dioxygenase genes, differently regulated during maturation and under stress condition, from orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck).

**Nonami H, Boyer JS (1987)** Origin of growth–induced water potential. *Plant Physiol* 83:596–601

**Nonami H, Boyer JS (1990)** Primary events regulating stem growth at low water potentials. *Plant Physiol* 93:1601–1609

**Nonami H, Boyer JS (1993)** Direct demonstration of a growth–induced water potential gradient. *Plant Physiol* 102:13–19

**Nonami H, Wu Y, Boyer JS (1997)** Decreased growth–induced water potential: A primary cause of growth inhibition at low water potentials. *Plant Physiol* 114:501–509

**Nonami H (2001)** Measurements of soil, root, and leaves on water physiology of crops. *Jpn Crop Sci* 70:151–163

**Okuda H, Kihara T, Iwagaki I (1995)** Effect of cropping on photosynthesis, dark respiration, leaf ABA concentration and inflorescence induction in Satsuma mandarin. *J Japan Soc Hortic Sci* 64:9–16

**Ono Y (1985)** Yield factors from the viewpoint of photosynthesis and production structure of Satsuma mandarin. PhD Thesis, Kyoto Univ, Kyoto, Japan

**Sasaki K, Ohara K, Yazaki K (2005)** Gene expression and characterization of isoprene synthase from *Populus alba*. *FEBS Lett* 579:2514–2518

**Scheiber U, Bilger W, Neubauer C (1994)** Chlorophyll fluorescence as a noninductive indicator for rapid assessment of in vivo photosynthesis, p. 49–70. In

Ecophysiology of Photosynthesis, (Ed. Schulze ED, Caldwell MM). Springer-Verlag, Berlin, Germany

**Somersalo S, Krause GH (1990)** Reversible photo inhibition of unhardened and cold acclimated spinach leaves at chilling temperature. *Planta* 180:181–187

**Sugai H, Tprkata H, (1979)** Effects of soil moisture content in early autumn on growth and juice constituents of Satsuma mandarin fruit. *J Jpn Soc Hortic Sci* 44:330–337

**Yakushiji H, Nonami H, Ono S, Takagi N, Hashimoto Y (1996)** Sugar accumulation enhanced by osmoregulation in Satsuma mandarin fruit. *J Am Soc Hortic Sci* 121:466–472

**Yakushiji H (2000)** Study on the moisture characteristics of *Citrus* and the production of high quality fruit. Ph. D. Thesis, Kyushu University, Kyushu, Japan

**Yang WS, Kang JH, Oh MH, Yang CJ (2022)** Development of annual stable fruiting technology for cultivation of Satsuma mandarin adult tree transplanting in the open field. *J Subtrop Agric Biotechnol* 38:1–10

**Yen CR, Koch KE (1990)** Development changes in translocation and of  $^{14}\text{C}$ -labeled assimilates in grapefruit: Light and dark  $\text{CO}_2$  fixation by leaves and fruit. *J Am Soc Hortic Sci* 115:815–819













## VI. ABSTRAT

In this study regarding a porous sheet mulching cultivation for high-quality, stable production of Satsuma mandarin, changes in fruit quality were physiologically analyzed to find indicators of the degree of damage according to water stress level. At the same time, the concentrations of JA (jasmonic acid) and ABA (abscisic acid) regarding oxidative damage and drought stress were investigated.

Changes according to microclimate and soil moisture content changes were analyzed using the psychrometric measurement method to measure and calculate the water potential, moisture of vesicle tissue, osmotic potential and turgor pressure.

Leaf water potential fluctuated according to the change in soil moisture content. In September, the untreated group showed  $-1.30$  MPa, which was higher than that of the sheet mulching group ( $-2.53$  MPa), and the sheet mulching-drip irrigation group ( $-2.32$  MPa). In October, due to continuous dry weather after temporary rainfall in the first ten days, the results of the untreated group and sheet mulching group were respectively  $-3.0$  MPa and  $-4.0$  MPa or below, which were lower than the sheet mulching-drip irrigation group ( $-2.64$  MPa). Also, in November, due to dry weather in the first ten days, the results dropped to as low as  $-4$  MPa in the untreated group,  $-4.7$  MPa in the sheet mulching group, and  $-2.82$  MPa in the sheet mulching-drip irrigation group. Due to the rainfall that lasted from Nov 10 to 12, the figures rebounded up to  $-1.98$  MPa in the untreated group and  $-2.08$  MPa in the sheet mulching group, which were still lower than  $-1.13$  MPa of the drip irrigation group. The water potential of vesicle tissue also fluctuated similarly to that of the leaf water

potential. The osmotic potential was higher in the untreated group than in the sheet mulching group and sheet mulching–drip irrigation group but with no significant difference. The turgor pressure remained constant at 0.5 MPa in October and November except for the time in September when there was little slight water stress.

The sugar content of fruit at harvest was higher at 14.55°Brix in the sheet mulching group and 13.96°Brix in the sheet mulching–drip irrigation group, which were both higher than 11.05°Brix in the untreated group, showing significant difference and confirming a rise in the sugar content caused by osmotic control.

The degree of oxidative damage according to water stress level caused by drought stress was investigated by the comparison of the maximum quantum efficiency value of (Fv/Fm) of PSII, the initial fluorescence value (Fo) value and the change in photosynthetic rate using a chlorophyll fluorometer. In September, in the vegetable branches, the Fo values of the untreated group and sheet mulching–drip irrigation group were lower than those of the sheet mulching group. In the bearing branches, the Fv/Fm values of the untreated group were higher than those of the sheet mulching and sheet mulching–drip irrigation groups. In October, in the vegetable branches, the Fo value was lower in the sheet mulching–drip irrigation group than in the other treated groups, with its Fv/Fm value even lower than that of the untreated group. In the bearing branches, the Fo value was particularly lower in the sheet mulching–drip irrigation group than in the other treated groups.

The photosynthetic rate was lower in October in the sheet mulching group than in the other treated groups. The concentrations of ABA in the leaf, pericarp, and pulp were relevant to the leaf moisture stress and fruit sugar content. In particular, the

concentrations varied according to the changes in coloration, hardness, and thickness of the pericarp. The concentration of JA varied as the concentration of ABA changed.

In conclusion,  $F_v/F_m$  and  $F_o$  of chlorophyll PSII and ABA regarding photosynthetic oxidative damage were found as indicators of the degree of damage according to tree water stress levels.

## 감사의 글

이 논문이 완성되기까지 물심양면으로 모든 도움을 주신 한상헌 지도교수님께 감사드립니다. 어려울 때에 제가 내민 손을 붙잡아 주신 교수님께 진심으로 존경과 감사의 마음을 전합니다.

논문이 완성되기까지 논문을 봐주시고 수정에 도움을 주신 송관정 교수님, 오 옥 교수님, 조영열 교수님께 감사드리고 수업시간이 재미있는 박수국 교수님께도 감사의 마음을 전합니다.

농사지으면서 농업마이스터 대학을 졸업하고, 원예학과 대학원 석사과정까지 4년여의 시간동안 힘들 때도 있었지만 나름대로 재미있고 보람찬 시간이었습니다. 기회가 된다면 앞으로도 박사과정까지 공부를 더 해 보고 싶네요

실험하느라 혹독한 환경을 견뎌준 나무들에게도 감사하고 항상 나의 발길을 인도하고 전적으로 나를 지원해주는 아내 김지희에게도 고마움을 전합니다.