



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

'스위트골드' 키위에서 과실 성숙기 토양
수분 조절에 따른 광합성 및 과실품질의
특성

박재홍

제주대학교 일반대학원
원예학과

2024년 2월

'스위트골드' 키위에서 과실 성숙기 토양 수분 조절에 따른 광합성 및 과실품질의 특성

이 논문을 농학 석사학위 논문으로 제출함

박 재 흥

제주대학교 일반대학원

원예학과

지도교수 송 관 정

박재흥의 농학 석사학위 논문을 인준함

2023년 12월

심사위원장

조 영 열 교수

위 원

한 상 현 교수

위 원

송 관 정 교수



목 차

목 차	i
요 약	ii
LIST OF TABLES	iv
LIST OF FIGURES	v
I. 서언	1
II. 재료 및 방법	3
1. 식물재료	3
2. 토양수분의 처리	3
3. 광합성 특성의 측정	5
4. 과실 품질특성의 평가	5
5. 가용성 당 및 전분 함량의 분석	6
6. 통계분석	7
III. 결과 및 고찰	8
IV. 인용문헌	19
V. ABSTRACT	23
VI. 부록	25

'스위트골드' 키위에서 과실 성숙기 토양수분 조절에 따른

광합성 및 과실품질의 특성

박 재 홍

제주대학교 일반대학원 원예학과

요약

제주지역 황색과육 '스위트골드' 키위에서 과실 성숙기(만개후 120일~170일) 관수 및 토양수분 조절에 따른 광합성 특성과 과실 품질의 변화를 분석하였다. 광합성 특성은 관수량을 줄여 토양수분 함량이 낮을수록 관행 관수에 비해 광합성률은 10-19%, 기공 전도도는 24-47%, 증산율은 8-25% 내외로 감소하였으나, 세포 간 CO₂ 농도는 광합성률과 기공 전도도와는 반대의 경향으로 나타났다. 과실 무게는 수확기까지 증가하는 경향으로, 토양수분이 낮을수록 과실 무게의 증가 폭은 저하하였으나, 통계적인 유의차는 없었다. 건물률은 과실 무게의 변화와 비슷한 경향으로 나타났다. 당도는 130일 이후 지속적으로 증가하였고 관수량이 감소하여 토양수분 함량이 낮을수록 높게 나타났으며, 황색과육 품종의 수확 기준인 8° Brix에는 10일 정도 빨리 도달하였다. Hue값(h°)은 만개

140일 이후 지속적으로 감소하였으며, 토양 수분 함량이 낮을수록 감소하였다. 전분 함량은 만개 150일 이후 서서히 감소하기 시작하였고, 가용성 당 함량은 만개 130일 이후 급격히 증가하였으나, 관행 관수에서 증가폭이 낮은 경향이 있었다. 본 연구 결과, 황색과육 ‘스위트골드’ 키위에서 과실 성숙기에 관수량 및 토양수분 함량을 줄여 관리하면 과중은 다소 감소하나 건물률, 당도 및 과육색 발현을 증가시켜 과실 품질의 향상과 더불어 숙기를 앞당길 수 있음을 확인하였다.

LIST OF TABLES

Table 1. Photosynthetic characteristics of leaves in the bearing shoots of kiwifruit vines under adjusted soil water contents at the fruit maturation stage in 2022	9
--	---

LIST OF FIGURES

- Fig. 1.** Changes of volumetric soil water content in kiwifruit orchard irrigated with different quantities and intervals (W100; conventional irrigation with 16-17 tons/10a once a week; W80 and W70, 80% and 70% of W100, respectively) at the fruit maturation stage for 2021 and 2022 4
- Fig. 2.** Changes of fruit weight(A: 2021, B: 2022) and dry matter(C: 2021, D: 2022) in kiwifruit vines under adjusted soil moisture contents at the fruit maturation stage for 2021 and 2022 11
- Fig. 3.** Changes of fruit soluble solid content(A: 2021, B: 2022) and acidity in kiwifruit vines under adjusted soil moisture contents at the fruit maturation stage for 2021 and 2022 12
- Fig. 4.** Changes of fruit firmness(A: 2021, B: 2022) and hue angel in kiwifruit vines under adjusted soil moisture contents at the fruit maturation stage for 2021 and 2022 13
- Fig. 5.** Changes of starch and total soluble sugar (A), fructose (B), glucose (C), and sucrose contents (D) in kiwifruit vines under adjusted soil moisture contents at the fruit maturation stage for 2022 17
- Fig. 6.** Mean daily air temperature, relative humidity and sunshine duration in the experimental site from April to October in 2021 and 2022 25

I. 서언

키위는 다래나무과(Actinidiaceae) 다래나무속(*Actindia*)에 속하는 다년생 덩굴성 낙엽과수로, 비타민 C 함량이 높고 면역력 강화에 효과가 뛰어난 과수로 알려져 있다(Collins et al. 2003; Kim et al. 2018). 또한 키위는 식이섬유, 카로티노이드, 폴리페놀, 플라보노이드, 미네랄 등 기능성 영양소도 풍부하게 함유하고 있어 최근 세계적으로 생산이 확대되고 있는 상업적으로 중요한 과수 작물의 하나이다(He et al., 2018; Ali et al., 2021).

제주지역에서는 ‘헤이워드’, ‘골드3’, ‘스위트골드’ 등이 가장 널리 재배되고 있는 품종이다. 이중 녹색과육인 ‘헤이워드’와 황색과육 ‘골드 3’는 뉴질랜드에서 개발되어 도입한 품종이다. ‘스위트골드’는 국내에서 육성된 품종으로 과실의 형태는 타원형이며, 과육은 황색 또는 녹황색으로 과즙이 많고 부드럽고, 당도가 16.3° Brix로 높아 소비자 선호도가 높은 편이다(Kim et al., 2018). 제주지역은 온난한 기후와 배수가 양호한 화산회토양으로 키위재배에 적합한 환경요건을 가졌으며, 대부분 시설재배로 과실품질이 우수하고 균일함은 물론, 다수확 생산이 가능한 지역이다. 2021년 기준 재배면적은 327.8ha로 전남, 경남과 더불어 국내 주요 재배지로 전국 1,322ha의 24.8% 점유하고 있다. 키위는 품종, 재배 방법, 환경요인 등에 따라 건물률, 당도 등 핵심 품질요인에 차이가 커서 품질관리에 어려움을 겪고 있는 실정이다(Oh et al., 2021). 특히 ‘스위트골드’의 경우 과육색 발현이 균일하지 않아 과원에 따른 수확기 설정이 쉽지 않은 특징을 나타내고 있다. 또한 외국산 수입 과실은 물론 국산 과실의 공급 확대로 타 과실과의 경쟁이 더욱 치열해짐에 따라 당도를 높이기 위한 생산기술 개발이 요구되고 있다.

제주 토양은 유기물 함량 및 토양의 유형 등에 따라 토양수분 특성의 차이가 커서 과실의 비대기 및 성숙기 품질향상을 위한 효율적인 수분관리 기술개발이 요구되고 있다(Moon et al., 2012). 토양수분은 작물 생산성에 광범위한 영향을

미치는 중요한 환경요인으로 과실의 생육단계에서 과실의 크기와 품질에 매우 중요하게 작용한다. 사과, 감귤류, 망고 등 여러 과수에서 과실 성숙기 토양수분 조절로 과실의 품질이 향상되었다는 다수의 연구들이 보고된 바 있다(Wan, 2009; Navarro et al., 2015; Liu et al., 2021). 그러나 키위의 경우 토양수분 조절에 따른 과실품질의 반응에 관한 연구는 국내외적으로 매우 부족한 실정이다(Miller et al., 1998; He et al., 2023). 특히 황색과육 키위에서의 광합성 및 과실품질 관련 토양수분 조절에 관한 연구는 거의 보고된 바 없다.

따라서 본 연구는 제주지역에서 최근 재배면적이 확대되고 있는 국내 육성 ‘스위트골드’ 키위 품종에 대하여 과실 성숙기의 토양수분 조절에 따른 과실 성숙 및 품질에 미치는 영향을 평가하고 고품질 과실 생산을 위한 기초자료로 활용코자 수행되었다.

II. 재료 및 방법

1. 식물재료

제주특별자치도 제주시 애월읍 어음리에 있는 농가(33° 24' 28" N, 128° 20' 18" E)의 무가온 하우스에 재식된 5년생 '스위트골드' 키위(*A. chinensis* var. *chinensis*)를 식물재료로 이용하여 2021년에서 2022년까지 수행하였다. 시험포장의 토양 물리적 특성은 용적밀도 0.71g/cm³, 공극률 69.1%, 유기물 함량 177g/kg으로 자갈이 많고, 배수가 양호한 토양이었다. 전정, 적화, 인공수분, 시비, 병해충 관리 등의 재배 관리는 일반재배법에 따라 수행하였다.(JAE, 2022). 반복수는 처리구별 수체 생육, 수세 및 착과 정도가 유사한 나무를 임의로 3주 선정하여 설정하였다.

2. 토양수분의 처리

토양수분 처리는 만개 후 120일부터 수확기까지 과실 성숙기에 관수 조절을 통한 토양 용적 수분함량을 35%, 30% 및 25% 내외가 되도록 수행하였다. 주 1회 16-17t/10a의 관행 관수를 대조구(다습구)로 설정하였으며, 관행관수의 80% 수준 및 70% 수준의 2개 소습구를 설정하여 토양수분 조절을 수행하였다. 관수는 전자밸브(AD24-50, Korea valve control, Korea)로 조절되는 자동관수시스템을 이용하여 스프링클러로 덕 아래 지표관수로 수행하였으며 과실 성숙기 동안 대조구는 6회, 관행관수의 80% 수준 및 70% 수준은 3회, 1회 실시하였다.

토양 용적 수분 함량은 5-7일 간격으로 100cm³ 코어를 이용한 깊이 20cm의 토양 채취, 중량수분함량과 용적밀도를 측정하여 토양 용적 수분함량을 계산하였으며(RDA, 2022), 관수량 조절을 위한 지표로 이용하였다(Fig. 1). 관수 조절로 수행한 토양 용적 수분의 함량은 2021년 35.8%, 30.9% 및 24.3%, 2022년

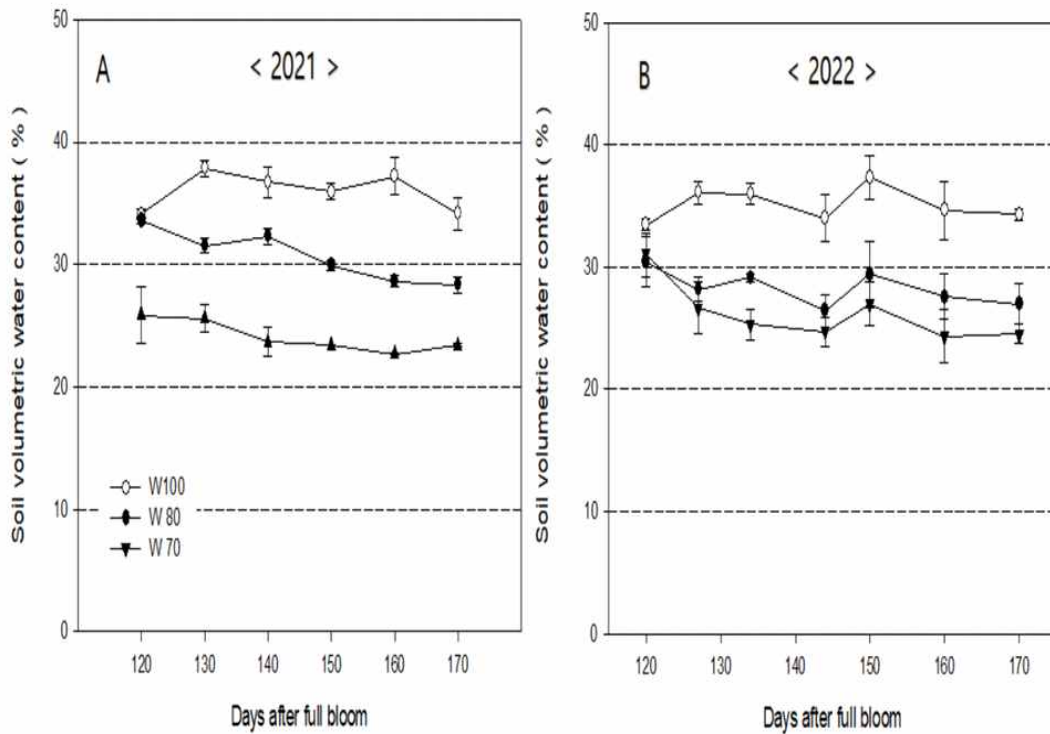


Fig. 1. Changes of volumetric soil water content in kiwifruit orchard irrigated with different quantities and intervals (W100; conventional irrigation with 16-17 tons/10a once a week; W80 and W70, 80% and 70% of W100, respectively) at the fruit maturation stage for 2021(A) and 2022(B). Vertical bars indicate SE(n=3).

35.1%, 28.3% 및 26.2% 내외로 당초 설정한 용적수분의 함량에 근접하였다.

3. 광합성 특성의 측정

광합성 특성은 순광합성률($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), 증산속도($\text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), 기공 전도도($\text{mol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) 및 세포간 CO_2 농도($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$)에 대하여 휴대용 광합성 측정장치(LI-6400, LI-COR, USA)를 이용하여 측정하였다. 구름이 없고 맑은 날에 10시부터 12시 사이에 광합성 특성을 측정하였으며, 2022년 만개 후 130일부터 7일 간격으로 총 5회 조사한 다음 평균값으로 제시하였다. 나무당 3개의 결과지에서 과실 주변의 건전한 잎 3개를 선정하여, 총 9개의 잎에서 측정하고 평균값을 산출하였다. 광합성 측정장치의 광도와 CO_2 농도는 LED 챔버와 CO_2 주입 시스템을 사용하여 CO_2 농도 $400\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 온도 25°C 및 광량 $1,000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 제어하였다(Lim, 2016).

4. 과실 품질특성의 평가

과실 품질특성은 만개 후 120일부터 170일까지 10일 간격으로 나무 당 과실 6개를 임의 선정하여 과중(g), 건물률(%), 당도($^\circ\text{Brix}$), 산함량(%), 경도(Kgf) 및 Hue 값(h°)에 대해 평가하였다. 과중(g)은 전자저울(EL-2000S, Setra, USA)을 이용하여 측정하였고, 건물률(%)은 과실의 적도 부분을 3mm 두께로 절편을 내어 60°C 에서 24시간 동안 건조한 후 건조 전후의 무게로 산출하였다(Burden et al., 2016). 당도($^\circ\text{Brix}$)와 산함량(%)은 디지털당산분석기(GMK707R, G-won, Korea)를 사용하여 측정하였고, 경도(Kgf)는 과피를 1-2mm 두께로 벗겨 $\phi 8\text{mm}$ plunger가 부착된 5kg 과실 경도계(FHM-5, Takemura, Japan)로 측정하였다. Hue 값은 과피를 2-3mm의 두께로 벗긴 후 색차계(CR-400 chroma meter, Minolta, Japan)를 이용하여 측정하였다. 과실

품질특성은 만개 후 120일부터 170일까지 10일 간격으로 나무 당 과실 6개를 임의 선정하여 과중(g), 건물률(%), 당도($^{\circ}$ Brix), 산함량(%), 경도(Kgf) 및 Hue값(h°)을 측정하였다. 과중(g)은 전자저울(EL-2000S, Setra Inc., USA)을 이용하여 측정하였고, 건물률(%)은 과실의 적도 부분을 3mm 두께로 절편을 내어 60 $^{\circ}$ C에서 24시간동안 건조한 후 건조 전후의 무게로 산출하였다(Burden et al., 2016). 당도($^{\circ}$ Brix)와 산함량(%)은 디지털당산분석기(GMK707R, G-won Co., Korea)를 사용하여 측정하였고, 경도(Kgf)는 과피를 1~2mm 두께로 벗겨 ϕ 8mm plunger가 부착된 5kg 과실 경도계(FHM-5, Takemura co., Japan)로 측정하였다. Hue값(h°)은 과피를 2~3mm의 두께로 벗긴 후 색차계(CR-400 chroma meter, Minolta co.,Japan)를 이용하여 과육 색을 측정하였다.

5. 가용성 당 및 전분 함량의 분석

가용성 당 및 전분 함량은 나무 당 3개의 과실을 채취하여 72시간 동안 동결 건조 후 분말로 마쇄한 다음 초저온 냉동고(-70 $^{\circ}$ C)에 보관하여 분석에 이용하였다. 가용성 당 분석은 Witchaya et al.(2015)의 분석 방법을 일부 변형하여 수행하였다. 과실 분말 시료 1g을 10mL 80% 에탄올로 30분간 상온에서 섞어 준 뒤, 4 $^{\circ}$ C에서 10분간 2,000 g_n 로 원심분리한 후 여과지(Toyo Roshi Kaisha, Japan)로 상등액을 여과시켜 분석시료로 이용하였다. 남은 침전물은 10mL 80% 에탄올로 세척한 후 여과지에 남은 침전물을 60 $^{\circ}$ C로 24시간 동안 건조하여 이를 전분 분말로 이용하였다. 가용성 당 분석시료는 농축기(Laborota 4000, Heidolph, Germany)에서 농축한 시료를 3mL의 3차 증류수로 현탁시켜 C-18 Sep-Pak cartridge(Waters, USA) 및 0.45 μ m syringe filter로 여과시킨 후 Shimpak(250x4, 6mm, Shimadzu, Japan) 컬럼이 장착된 HPLC(LC-20AT, Shimadzu, Japan)로 분석하였다. 이동상은 85%(v/v)

acetonitrile/ddH₂O을 이용하였고, 1.7mL · min⁻¹의 유속으로 시료의 과당, 포도당, 자당을 Refractive index detector(RID-10A, Shimadzu, Japan)로 검출하여 정량하였다.

전분의 추출 및 분석은 Magel(1991)의 방법을 일부 수정하여 수행하였다. 전분 분말 0.2g을 18% HCl 4mL로 넣고 혼합한 후 상온에 30분간 정치하였다. 그 후 36mL의 3차 증류수로 희석하고 2,000g_n로 10분 동안 원심분리 후 50μL 상장액과 450μL의 1.8% HCl을 첨가하여 섞어주었다. 이후 Lugol's solution(0.25g I₂, 0.5g KI)을 첨가하여 비색계(UV-1650PC, Shimadzu, Japan)로 전분 함량을 정량하였다.

6. 통계 분석

통계 분석은 SPSS 소프트웨어(Ver. 22.0; SPSS, Chicago, USA)를 사용하여 95% 신뢰 수준에서 수행하였다. 처리 평균 간의 차이는 DMRT(Duncan Multiple Range Test)로 분석하였다. 통계분석은 SPSS 소프트웨어(버전 22.0; SPSS, Armonk, NY)를 사용하여 95% 신뢰 수준에서 수행되었습니다. 처리 평균 간의 차이는 DMRT(Duncan Multiple Range Test)분석을 하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

과실 성숙기의 토양 수분 함량에 따른 ‘스위트골드’ 키위 잎의 광합성 반응은 Table 1과 같다. 관수량 조절에 따른 토양 용적수분 함량이 낮을수록 광합성률, 기공전도도 및 증산율 모두 감소하는 경향이었으나, 세포 간 CO₂ 농도는 반대의 경향을 나타내었다. 관행 관수의 토양 용적수분 35% 내외 다습구에서 광합성률, 기공전도도 및 증산율은 각각 10.2 μmol CO₂ · m⁻² · s⁻¹, 0.22 mol H₂O · m⁻² · s⁻¹ 및 3.7 mmol H₂O · m⁻² · s⁻¹으로 가장 높은 값을 나타냈다. 관행 관수보다 적은 관수 조절로 용적수분 30% 및 25% 내외의 소습구에서는 관행 관수의 다습구에 비해 광합성률은 10-19%, 기공 전도도는 24-47%, 그리고 증산율은 8-25% 감소하였으며, 토양수분 함량이 낮을수록 감소하는 경향이였다. 반면 세포 간 CO₂ 농도는 토양수분 함량이 낮을수록 9-14% 증가하였다.

Zhang et al.(2018)은 ‘홍양’ 키위의 잎에서 수분 스트레스가 증가함에 따라 광합성률, 기공전도도 및 증산율이 크게 감소한 반면, 세포 간 CO₂ 농도는 증가하였다고 보고하였는데, 본 연구결과도 유사하였다. 광합성률의 감소는 주로 잎의 상대적 수분함량 감소로 인한 기공의 닫힘과 관계된다(Rodrigues et al., 2019). 기공의 닫힘은 식물 내 수분 이동 장애로 공변세포의 팽압 감소에 따른 것으로 수분 스트레스 단계에서 세포 내 수분 퍼텐셜을 유지시키고 증산율의 감소로 식물체의 수분 손실을 방지하는 중요한 조절 기능이다(Banchi et al., 2018; Resco de Dios et al., 2018). 하지만 외부로부터의 CO₂ 가스 유입을 방해하여 엽육세포 내 CO₂ 농도를 감소시켜 광합성에 의한 탄소동화작용을 억제시킨다(Negin and Moshelion, 2016). 또한 과도한 수분 스트레스는 엽록소의 생성을 방해하여 잎의 엽록소 농도를 낮추고 광계(PS II)의 전자전달을 억제시켜 엽육 세포 내의 광합성 활성을 감소시킨다(PirzadAlireza et al., 2011). 키위

Table 1. Photosynthetic characteristics^z of leaves in the bearing shoots of kiwifruit vines under adjusted soil water contents at the fruit maturation stage in 2022.

Irrigation level ^y	Photosynthetic rate ($\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Conductance to H ₂ O ($\text{mol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Intercellular CO ₂ concentration ($\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-1}$)	Transpiration rate ($\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
W100	10.23 a ^x	0.217 a	265.0 c	3.66 a
W 80	9.20 ab	0.164 b	288.8 b	3.37 a
W 70	8.31 b	0.114 c	303.0 a	2.76 b

^z Photosynthetic characteristics were measured during the morning time (10-12 AM) at a 7 days interval and represented with mean value.

^y W100 indicated conventional irrigation with 16-17 tons/10a once a week and W80 and W70, 80% and 70% of W100, respectively.

^x Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $P = 0.05$.

는 생리적으로 기공조절 능력이 낮아 적절한 수분 상태 유지를 위해 빈번한 관수가 요구되는 작물로 알려져 있다(Buwalda et al., 1992). 본 연구에서는 관수 조절에 의한 25% 및 30% 내외의 토양 용적수분 처리가 관행 관수에 비해 광합성을 10-19%, 기공전도도 24-47% 및 증산율 8-25% 저하시켰는데, 나무가 토양수분 스트레스를 상당 정도 받고 있는 것으로 판단되었다. 또한, 토양수분 스트레스에 의한 기공의 폐쇄로 광합성률 및 기공전도도가 감소함에도 불구하고 세포 간 CO₂ 농도는 오히려 증가하였다. Je and Kim(2016)에 의하면 엽육세포 내 CO₂ 농도는 기공 폐쇄로 인한 요인과 광합성 관련효소의 활성 저하와 광색소와 같은 성분의 감소에 기인하는 요인이 단독 혹은 복합적인 작용으로 초래될 수 있다고 하였다. 그러므로 기공 폐쇄에도 불구하고 세포 간 CO₂ 농도가 감소하지 않은 것은 광합성률의 감소 및 호흡 증가 등 복합적 요인이 작용한 것으로 판단되었다.

국내육성 ‘스위트골드’ 키위의 성숙기 관수량 조절에 의한 토양 수분함량에 따른 과실 무게와 건물률의 변화를 Fig. 2에 제시하였다. 만개 120일 후부터 160일까지 과실 무게는 지속적으로 증가하는 경향을 보였으나, 이후의 증가는 거의 나타나지 않았으며 연차간 반응은 비슷한 경향이였다. 관행 관수의 토양 용적수분 35% 내외의 다습구에서 과실 무게는 가장 높게 나타났으며, 관수 조절에 의한 토양 용적수분 25%의 소습구에서 가장 낮게 나타났다. 그러나 1년차보다 2년차에 처리간 과실 무게의 차이는 적게 나타났다. 건물률은 과실 무게의 변화와는 반대의 경향으로 관수량 감소에 따른 토양 용적 수분 함량이 낮아질수록 높게 나타났다. 건물율은 만개 후 170일까지 꾸준히 증가하는 경향을 보였는데, 그 양상은 과실 무게 경우와 매우 비슷하였다. 다만, 과실 무게에서는 통계적 유의차가 없었는데 반해, 건물률에서는 만개 150일 이후에 유의적인 차이가 나타났다.

과실의 당도와 산 함량의 변화는 Fig. 3에, 그리고 경도와 Hue 값에 대해서는 Fig. 4에 각각 제시하였다. 과실의 당도는 만개 후 140일부터 급격히 증가하기

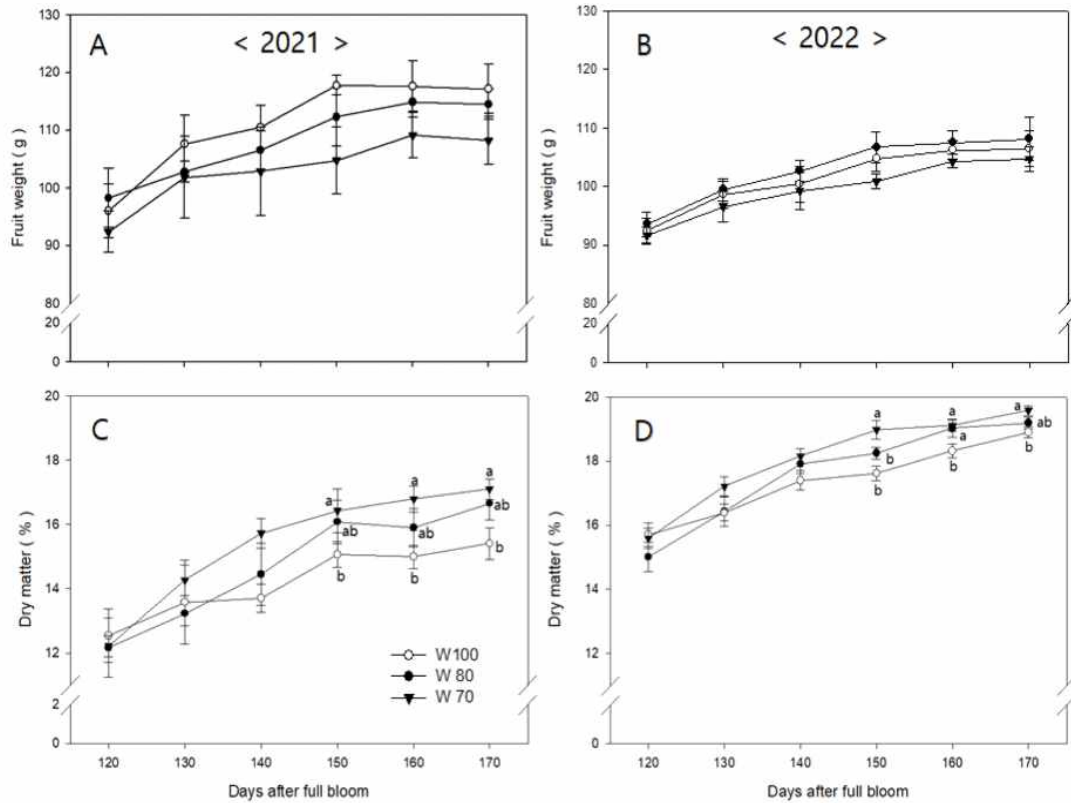


Fig. 2. Changes of fruit weight(A: 2021, B: 2022) and dry matter(C: 2021, D: 2022) in kiwifruit vines under adjusted soil moisture contents at the fruit maturation stage for 2021 and 2022. Vertical bars indicate SE (n=18) and different letters indicate significant differences by Duncan's multiple range test ($p=0.05$).

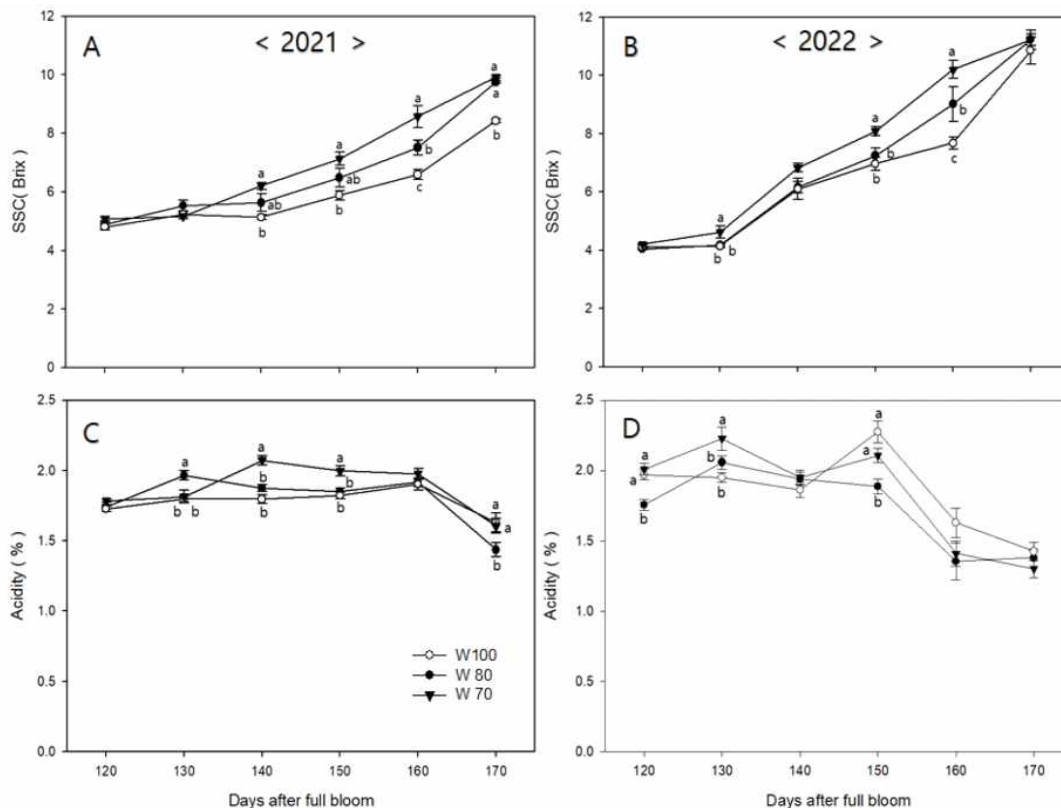


Fig. 3. Changes of fruit soluble solid content(A: 2021, B: 2022) and acidity(C: 2021, D: 2022) in kiwifruit vines under adjusted soil moisture contents at the fruit maturation stage for 2021 and 2022. Vertical bars indicate SE (n=18) and different letters indicate significant differences by Duncan's multiple range test ($p=0.05$).

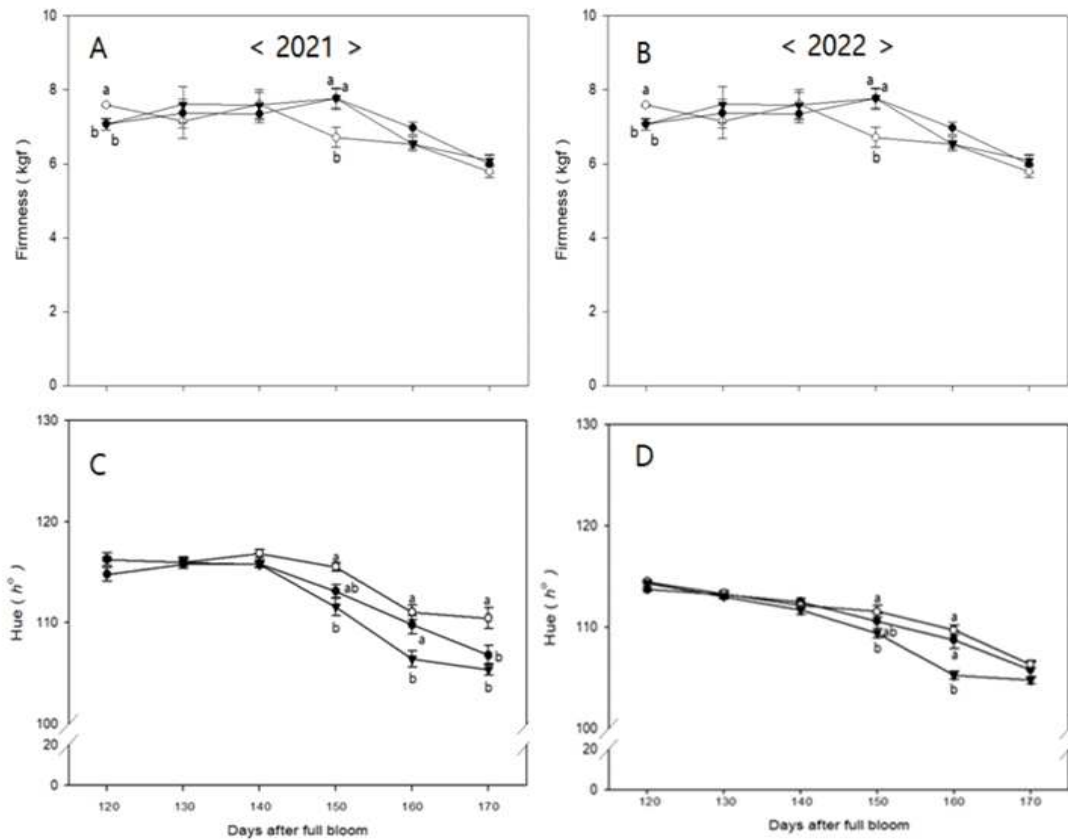


Fig. 4. Changes of fruit firmness(A: 2021, B: 2022) and hue angle(C: 2021, D: 2022) in kiwifruit vines under adjusted soil moisture contents at the fruit maturation stage for 2021 and 2022. Vertical bars indicate SE (n=18) and different letters indicate significant differences by Duncan's multiple range test ($p=0.05$).

시작하였는데, 2년 모두 관수량을 줄여 토양수분 함량이 낮아질수록 높은 경향이였다. 황색과육의 키위에서 수확 기준이 되는 8° Brix 이상의 당도에 도달하는 시기는 관수량 조절에 의한 토양수분 감소에 따라 관행 관수에 비해 1년차에는 5-10일, 2년차에는 10-20일 정도의 차이가 있었는데, 관수량을 줄여 토양수분 함량을 낮출수록 수확기가 빨라지는 경향을 보였다. 반면 산 함량은 처리간에 뚜렷한 경향을 보이지 않았으며, 수확기 이전에는 2.0% 내외를 유지하다가, 수확기가 지나면서 1.5% 내외로 급격히 낮아지는 경향이였다. 과실의 연화 정도를 나타내는 지표인 경도는 1년차의 경우 만개 150일 이후 점차 감소하였고, 2년차의 경우 만개 120일 이후 지속적으로 감소하는 경향이였으나, 관수량 조절 및 토양수분 함량의 처리간 유의적인 차이는 없었다. 과육색을 나타내는 Hue값은 황색과육 키우에서 중요한 수확기 지표로 이용되고 있다(Richardson et al., 2011; Lim et al., 2018). 이러한 Hue 값의 변화는 경도의 변화와 유사하게 나타났다으며, 수확기 착색도는 관수량을 줄여 토양수분 함량이 낮아질수록 좋아져, 수확 기준이 되는 110 이하의 착색도에 이르는 시기를 비교하면 관행 관수의 70%와 관행 관수의 80% 및 관행 관수 처리 간에는 10-20일 정도의 차이를 보였다.

과실의 크기는 과실로의 탄수화물 및 수분 공급과 관련되어 착과 초기 유과기의 세포 분열과 비대기 이후의 세포 비대에 의해 결정된다(Ripoll et al., 2014). 키위의 과실 생육 초기 토양수분의 제한적 환경은 과실의 세포분열 및 비대를 저하시켜 과실 크기와 중량에 큰 영향을 주지만, 성숙 단계에서의 토양수분 제한은 거의 영향을 미치지 않는 것으로 보고된 바 있다(Mitchell et al., 1991; He et al., 2023). 이는 과중에 따라 광합성 등 생리적 대사와 관련한 생육 단계별 수분 요구량이 다르기 때문이다(Liu et al., 2021). 특히 ‘스위트골드’ 키위에서 성숙이 시작하는 시기로 알려진 만개 후 120일경에 이미 과실 비대는 거의 90% 수준에 이르고 있다(Fig. 2). 그러므로 성숙기 토양수분 함량 조절에 의한 과실 중량의 변화에 미치는 영향은 미미하다고 판단된다.

키위 수확기 품질의 지표로 이용되는 건물률과 수확기를 결정하는 당도와 착색도의 경우 관수량 조절 및 토양 용적수분 함량에 의한 영향이 가장 크게 나타났다(Fig. 2, 3 and 4). 토양수분 함량은 수체 동화물질의 이동, 당 대사 변환 및 과실의 수분균형에 영향을 주어 과실의 가용성 당 축적에 영향을 미치게 된다(Liu et al., 2021). 토양수분 스트레스 조건에서 과실의 당 축적은 과실의 탈수 때문이 아니라 토양수분 스트레스에 대응하기 위한 삼투압 조절 때문이며, 이와 관련하여 과실의 높은 수용부위 활력이 과실로의 탄수화물 전류를 증가시키게 되고, 이는 탄수화물의 축적으로 연결되어 나타나게 되는 것이다(Yakushiji et al., 1998). 이러한 수용부위 활력 증가에 따른 탄수화물의 축적은 수분 스트레스에 대한 생리학적 반응으로 키위(He et al., 2023)는 물론 감귤(Moon et al., 2008), 포도(Medrano et al., 2003) 및 사과(Cenk et al., 2013)를 포함한 많은 과수에서 보고된 바와 같은 경향으로 보아진다.

황색과육 키위에서 황색 발현은 품질 결정의 중요한 요인의 하나로 알려져 있다. 황색의 과육색 발현은 녹색을 나타내는 엽록소의 함량 저하와 카로티노이드의 하나인 크산토펜의 축적과 관계된다고 알려져 있다(Tony et al., 2002). 엽록소는 수확기에 접어들면 분해가 급격히 진행되는데, 온도, 수분, 착과량, 시비량 등의 영향을 받는다(Oh et al., 2021). 또한 토양수분 스트레스는 엽록소의 생성 억제와 분해 촉진으로 엽록소의 농도를 감소시켜, Hue 값이 감소하게 되는데(Pirzad et al., 2011), 본 연구에서도 유사한 결과를 보이는 것으로 판단된다.

He et al.(2023)는 키위 성숙기의 토양수분 함량 감소는 세포벽 구성의 셀룰로오스와 펙틴의 분해를 늦춰 과실의 연화를 지연시킨다고 보고하였지만, 본 연구에서는 토양수분 함량 정도에 따른 과실 경도에 미치는 영향은 거의 나타나지 않았다. 한편 키위에서는 과실 생육기 전분 입자는 세포벽 근처에 축적되어 경도를 증가시키지만, 전분이 분해되기 시작하면 세포 구조의 조밀도가 떨어져 경도의 감소로 이어진다(Macrae et al., 1992; Lu et al., 2019). 본 연구에서

2년차(2022년)의 경도가 만개 후 170일에 4Kgf 이하로 떨어져 1년차(2021년)에 비해 과실의 연화가 빨리 진행되었다(Fig. 4). 과실 당도의 경우 2년차에 1년차에 비해 높게 나타났는데, 전분의 분해 촉진 및 당도의 증가에 따른 경도의 감소와 관계될 수 있는 것으로 생각된다.

따라서 본 연구 결과 토양 용적수분 함량이 낮을수록 ‘스위트골드’ 키위 과실의 건물물과 당도는 증가되고, Hue 값의 감소로 착색도도 증가하여, 토양수분 조절에 의한 과실품질의 향상과 함께 10일 내외의 숙기 촉진 효과가 나타날 수 있는 것으로 판단되었다.

과실 성숙기 관수량 조절 및 토양 용적수분 함량에 따른 과실 전분 및 가용성 당 함량의 변화는 Fig. 5와 같다. 전분의 함량은 만개 후 140일까지 증가하다가 150일 전후 급격히 감소하였으며 170일째 전분 함량이 가장 낮았다. 관수량을 줄여 토양 용적 수분함량이 낮아질수록 만개 후 150일에 전분 함량이 낮아져 일시적으로 전분 분해의 시작이 빨라지는 경향을 보였으나, 이후 전분 분해 속도는 반대의 경향처럼 나타났다. 총 가용성 당 함량은 만개 120일 이후 급격히 증가하는 경향을 보였는데, 만개 후 150일부터 관행 관수의 토양 용적수분 35% 다습구의 경우 상승폭이 가장 낮게 나타난 반면, 관수량을 줄인 소습구에서는 비슷하게 높은 상승폭을 나타냈으며, 만개 160일 이후에는 수분 공급이 가장 낮은 관행 관수 70%의 소습구에서 다시 상승폭이 저하하는 경향을 보였다. 개별 가용성 당의 비교에서는 과당과 포도당은 비슷한 수준으로 자당보다 약간 높은 함량을 나타내었으나, 증가하는 경향은 총 가용성 당의 변화와 거의 동일한 경향이였다.

키위에서 토양 수분 함량의 적절한 제한은 과실의 조기 숙성과 과실 내 전분의 분해를 촉진하여 총 가용성 당 함량을 증가시키고 과실의 품질을 향상시킬 수 있다(Liu et al., 2021; He et al., 2023). 자몽에서도 수분스트레스는 과당, 포도당, 자당의 축적을 촉진하여 가용성 당 함량을 증가시켰는데, 이는 과실의 삼투압 조절과 관계된다고 하였다(Navarro et al., 2015). 과실 내 용질의 축적

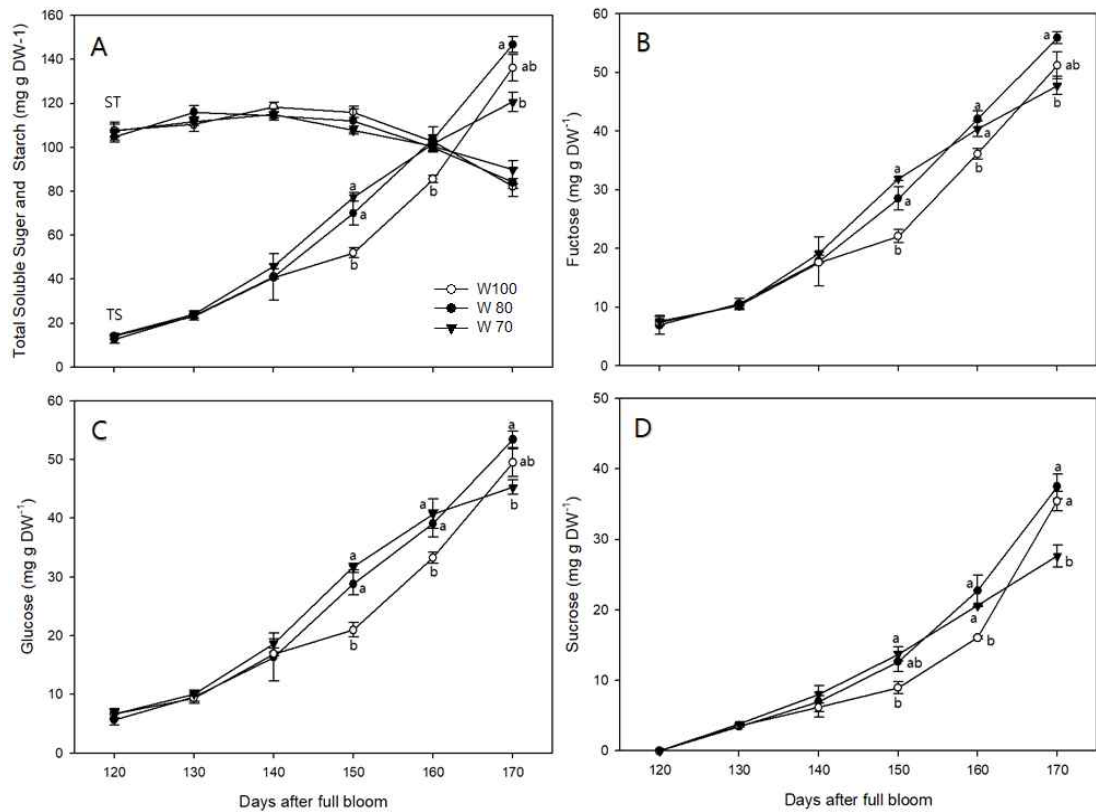


Fig. 5. Changes of starch and total soluble sugar (A), fructose (B), glucose (C), and sucrose contents (D) in kiwifruit vines under adjusted soil moisture contents at the fruit maturation stage for 2022. Vertical bars indicate SE (n=9) and different letters indicate significant differences by Duncan's multiple range test ($p=0.05$).

은 광합성 산물의 이동과 자당 대사관련 효소 활성의 증가와 관계되는데, 특히 sucrose synthase가 언로딩의 과정에서 자당의 분해를 촉진하여 체관부와 과실 간 당의 농도 구배를 증폭시켜 과실로의 당 축적을 활발하게 촉진시키게 되는 것이다(Yakushiji et al., 1998; Navarro et al., 2015). 총 가용성 당과 전분 함량을 비교하여 살펴보면, 전분의 분해가 시작하는 시기 이전부터 과실로의 당의 전류가 증가하기 시작하는데, 수분 스트레스를 받게 되는 경우 당의 유입이 더욱 급격하게 진행함과 동시에 전분의 분해를 촉진하여 가용성 당의 증가에 의한 삼투압 조절로 이행하게 되는 것으로 판단되었다. 그러나 이에 대해서는 당의 언로딩에 관여하는 당대사 관련 효소의 활성은 물론 유전자 발현 분석 등의 추가적인 연구가 뒷받침되어야 분명해질 것으로 보인다.

IV. 인용문헌

- Ali M, Raza MA, Li S, Zhou L, Huan C, Shuling S, Zheng X** (2021) 1-MCP regulates ethanol fermentation and GABA shunt pathway involved in kiwifruit quality during postharvest storage. *Hortic. Plant J.* 7 (1), 23–30.
- Banchi E, Candotto Carniel F, Montagner A, Petruzzellis F, Pichler G, Giarola V, Bartels D, Pallavicini A, Tretiach M** (2018) Relation between water status and desiccation-affected genes in the lichen photobiont *Trebouxia gelatinosa*. *Plant Physiol. Biochem.* 129:189–197.
- Burdon J, Pidakala P, Martin P, Billing D, Bolding H** (2016) Fruit maturation and the soluble solids harvest index for ‘Hayward’ kiwifruit. *Sci Hortic.* 213:193-198.
- Buwalda JG, Green TGA, Curtis JI** (1992) Canopy photosynthesis and respiration of kiwifruit (*Actinidiu deliciosa* var. *deliciosa*) vines growing in the field. *Tree Physiol.* 10, 327–341.
- Cenk K, Emel KA, Halit Y** (2013) Effects of different deficit irrigation strategies on yield, fruit quality and some parameters: ‘Brae burn’ apple cultivar. *Not Bot Hortic Agrobi.* 41: 510–517.
- Collins AR, Harrington V, Drew J, Melvin R** (2003) Nutritional modulation of DNA repair in a human intervention study. *Carcinogenesis* 24: 511-513.
- He J, Wu D, Zhang Q, Chen H, Li H, Han Q, Lai X, Wang H, Wu Y, Yuan J, Dong H, Qin W** (2018) Efficacy and mechanism of cinnamon essential oil on inhibition of *Colletotrichum acutatum* isolated from ‘Hongyang’ kiwifruit. *Front. Microbiol.* 9
- He Z, Lu X, Cui N, Jiang S, Zheng S, Chen F, Qiu R, Liu C, Fan J, Wang Y, Jin X** (2023) Effect of soil water content threshold on kiwifruit quality at different growth stages with drip irrigation in the humid area of Southern China. *Sci*

Hortic. 307.

Jeju Special Self-Governing Province Agricultural Research and Extension Services(JAE) (2022) Kiwi cultivation technology in 2023. JAE. pp.5-180.

Je SM, Kim SM (2016) Effects of CaCl₂ on Gas Exchange and Stomatal Responses in the Leaves of *Prunus serrulata*. J. Korean For. Soc. 105(3):303-308.

Kim CH, Kim SC, Jang KC, Song EY, Ro NY, Moon DY, Lee JS, Seong KC (2018) ‘Sweet Gold’, A Kiwifruit Variety with High Firmness. Korean J Breed Sci 50: 245-248.

Lim CK (2016) Fruit Quality and Vegetative Growth Response to Canopy Management Practices in ‘Jecy Gold’ Kiwifruit. Ph. D. thesis Jeju Nat’l. Univ.

Lim YJ, Lim CK, Eom SH (2018) Changes in bioactive components, antioxidant radical scavenging activities and cholinesterase inhibition activities in periodically harvested and post-harvested kiwifruits. Korea J Hortic Sci. 36;245-255.

Liu X, Peng Y, Yang Q, Wang X, Cui N (2021) Determining optimal deficit irrigation and fertilization to increase mango yield, quality, and WUE in a dry hot environment based on TOPSIS. Agric. Water Manag. 245, 106650.

Lu Z, Wang X, Cao M, Li Y, Su J, Gao H (2019) Effect of 24-epibrassinolide on sugar metabolism and delaying postharvest senescence of kiwifruit during ambient storage. Sci. Hortic. Amsterdam 253, 1–7.

Macrae E, Quick WP, Benker C, Stitt M (1992) Carbohydrate metabolism during postharvest ripening in kiwifruit. Planta 188 (3), 314–323.

Magel E (1991) Qualitative and quantitative determination of starch by a colorimetric method. Starch 43:384-387.

Medrano H, Escalona JM, Cifre J, Bota J, Flexas J (2003) A ten-year study on the

physiology of two Spanish grapevine cultivars under field conditions: effects of water availability from leaf photosynthesis to grape yield and quality. *Func. Plant Biol.* 30: 607-619.

Miller SA, Smith GS, Bolding HL, Johansson A (1998) Effects of water stress on fruit quality attributes of kiwifruit. *Ann Bot*, 81:73–81.

Mitchell JP, Shennan C, Grattan S (1991) Tomato fruit yields and quality under water deficits and salinity. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 116 (2), 215–221.

Navarro JM, Botía P, Pérez-Pérez JG (2015) Influence of deficit irrigation timing on the fruit quality of grapefruit (*Citrus paradisi* Mac.). *Food Chem.* 175, 329–336.

Moon DG, Kim CH, Kim SC, Son D, Joa Jh, Seong KC, Jung HC, Lim HC, Lee YJ (2012) Kiwifruit Quality of ‘JecyGold’ as Affected by Soil Type in Jeju Island. *Korean J Agriculture & Life Sci.* 46:17-24.

Moon DG, Ko SW, Han SG, Choi YH, Kim YH (2008) Sugar and acid contents in different portions of ‘Shiranuhi’ mandarin fruit as affected by water stress. *Hort. Environ. Biotechnol.* 49;216-220.

Negin B, Moshelion M (2016) The evolution of the role of ABA in the regulation of water-use efficiency: from biochemical mechanisms to stomatal conductance. *Plant Sci.* 251,82–89

Oh MH, Go SC, Yang WS (2021) Investigation of optimal harvesting stage for domestic cultivating in ‘sweet gold’ gold kiwifruit. *JAMS*, 37: 59-66.

Pirzad A, Shakiba MR, Zehtab-Salmasi S, Mohammadi SA, Darvishzadeh R, Samadi A (2011) Effect of water stress on leaf relative water content, chlorophyll, proline and soluble carbohydrates in *Matricaria chamomilla* L. *Plants Research* Vol. 5(12), pp. 2483-2488

Resco de Dios V, Loik ME, Smith RA, Tissue DT (2018) Effects of a heat wave

- on nocturnal stomatal conductance in *Eucalyptus camaldulensis*. *Forests* 9, 319
- Richardson AC, Bolding HL, McAtee PA, Gunaseelan K, Luo Z, Atkinson RG, David KM, Burdon JN, Schaffer RJ** (2011) Fruit development of the diploid kiwifruit, *Actinidia chinensis* 'Hort16A'. *BMC Plant Biol.* 11;182.
- Ripoll J, Urban L, Staudt M, Lopez-Lauri F, Bidel LPR, Bertin N** (2014) Water shortage and quality of fleshy fruits—making the most of the unavoidable. *J. Exp. Bot.* 65 (15), 4097–4117.
- Rodrigues J, Inze D, Nelissen H, Saibo NJM** (2019) Source–Sink regulation in crops under water deficit. *Trends in Plant Sci.* V 24, 652-663.
- Rural Development Administration (RDA)** (2022) Farmland soil physical property investigation method and analysis method, RDA, Korea, pp 48-51.
- Tony KM, Gary D** (2002) Color in fruit of the genus *Actinidia*: carotenoid and chlorophyll compositions. *J of Agriculture Food chemistry* 50:117-121.
- Yakushiji H, Morinaga K, Nonami H** (1998) Sugar accumulation and partitioning in satsuma mandarin tree tissues and fruit in response to drought stress. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 123 (4), 719–726.
- Wan Z** (2009) Regulation of fruit colour development, quality and storage life of 'Cripps Pink' apple with deficit irrigation and plant bioregulators [Ph. D. Dissertation]. Curtin University of Technology, Perth.
- Witchaya, Lim CK, Oh EU, Lee KU, Kim SC, Park KS, Song KJ** (2015) Effect of artificial defoliation on cane growth and fruit development in 'Jecy Gold' kiwifruit. *Hortic Environ Biotechnol* 56:22-26
- Zhang Y, Chen Q, Haoru T** (2018) Variation on photosynthetic performance in kiwifruit seedling during drought stress and rewatering. *Adv. Biol. Sci. Res.* 5, 56–59.

**Characteristics of Leaf Photosynthesis and Fruit Quality in
'Sweet Gold' Kiwifruit under Adjusted Soil Water Content at the
Fruit Maturation Stage**

Jae Hong Park

**Department of Horticultural Science
The Graduate School Jeju National University**

ABSTRACT

Changes in photosynthetic characteristics and fruit quality according to irrigation and soil moisture control during fruit maturity (120 to 170 days after full bloom) were analyzed in yellow-fleshed 'Sweet Gold' kiwifruit in Jeju. As for the photosynthetic characteristics, the photosynthetic rate decreased by 10-19%, the stomatal conductance by 24-47%, and the transpiration rate by 8-25%, compared to conventional irrigation, as the amount of irrigation was reduced and the soil moisture content was lowered. Fruit weight tended to increase until harvest, and the lower the soil moisture, the lower the increase in fruit weight, but there was no statistically significant difference. The dry matter rate showed a similar trend to the change in fruit weight. The sugar content continuously increased after 130 days, and the irrigation amount decreased, so the lower the soil moisture content, the higher it

appeared. The Hue value (h°) continuously decreased after 140 days of full bloom, and decreased as the soil moisture content decreased. The starch content began to decrease slowly after 150 days of full bloom, and the soluble sugar content increased rapidly after 130 days of full bloom, but the increase tended to be low in conventional irrigation. As a result of this study, it was confirmed that in the yellow-fleshed 'Sweet Gold' kiwifruit, management by reducing the amount of irrigation and soil moisture during the ripening period can reduce fruit weight but increase dry matter, sugar content, and flesh color expression, thereby improving fruit quality and accelerating ripening.

VI. 부록

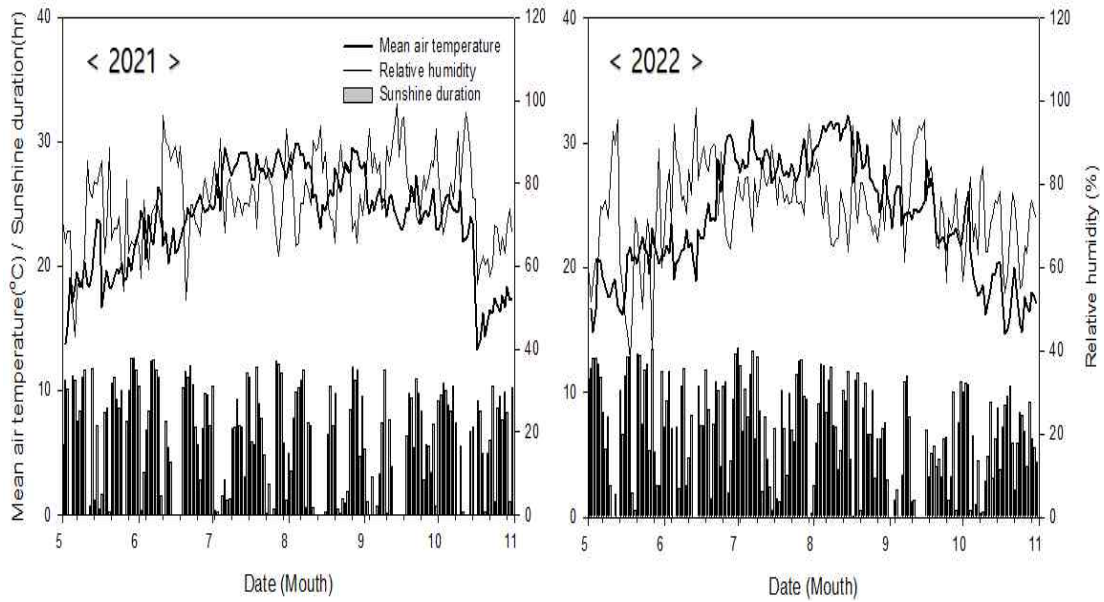


Fig. 6. Mean daily air temperature, relative humidity and sunshine duration in the experimental site from April to October in 2021 and 2022.