

## 온도와 관수 주기가 오이 포트 묘의 광합성, 생육 및 성장 해석에 미치는 영향

안진희<sup>1</sup> · 최은영<sup>2</sup> · 이용범<sup>3</sup> · 최기영<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>강원대학교 농산업학과 대학원생, <sup>2</sup>한국방송통신대학교 농학과 교수, <sup>3</sup>국제원예연구원 원장,  
<sup>4</sup>강원대학교 미래농업융합학부 교수

## Effects of Temperature and Irrigation Intervals on Photosynthesis, Growth and Growth Analysis of Pot-grown Cucumber Seedlings

Jin Hee An<sup>1</sup>, Eun Yong Choi<sup>2</sup>, Yong Beom Lee<sup>3</sup>, and Ki Young Choi<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>Graduate Student, Department of Agriculture and Industries, Kangwon National University Graduate School, Chuncheon 24341, Korea

<sup>2</sup>Professor, Department of Agricultural Science, Korea National Open University, Seoul 03087, Korea

<sup>3</sup>President, International Horticulture Institute, Seoul 02024, Korea

<sup>4</sup>Professor, Division of Future Agriculture Convergence, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

**Abstract.** This study was conducted in an indoor cultivation room and chamber where environmental control is possible to investigate the effect of temperature and irrigation interval on photosynthesis, growth and growth analysis of potted seedling cucumber. The light intensity ( $70 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ ) and humidity (65%) were set to be the same. The experimental treatments were six combinations of three different temperatures, 15/10°C, 25/20°C, and 35/25°C, and two irrigation intervals, 100 mL per day (S) and 200 mL every 2 days (L). The treatments were named 15S, 15L, 25S, 25L, 35S, and 35L. Seedlings at 0.5 cm in height were planted in pots (volume: 1 L) filled with sandy loam and treated for 21 days. Photosynthesis, transpiration rate and stomatal conductance at 14 days after treatment were highest in 25S. These were higher in S treatments with a shorter irrigation interval than L treatments. Total amount of irrigation water was supplied evenly at 2 L, but the soil moisture content was highest at 15S and lowest at 25S > 15L > 25L, 35S and 35L in that order. Humidity showed a similar trend at 15/10°C (61.1%) and 25/20°C (67.2%), but it was as high at 35/25°C (80.5%). Cucumber growth (plant height, leaf length, leaf width, chlorophyll content, leaf area, fresh weight and dry weight) on day 21 was the highest in 25S. Growth parameters were higher in S with shorter irrigation intervals. Yellow symptom of leaf was occurred in 89.9% at 35S and 35L, where the temperature was high. Relative growth rate (RGR) and specific leaf weight (SLA) were high at 25/20°C (25S, 25L), RGR tended to be high in the S treatment, and SLA in the L treatment. Water use efficiency (WUE) was high in the order of 25S, 25L > 15S > 15L, 35S, and 35L. As a result of the above, the growth and WUE were high at the temperature of 25/20°C.

**Additional key words:** leaf area ratio, relative growth rate, soil water content, specific leaf area, water use efficiency, yellow symptom leaf

### 서 론

오이(*Cucumis sativus* L.)의 생육 적온은 기온 22–28°C, 지온 20–23°C이며, 35°C 이상의 고온이나 5°C 이하의 저온에서는 생육이 정지된다(RDA, 2018). 국내 오이의 재배 면적은 2020년 기준 4,721ha이며, 이중 시설 재배 면적이 3,652ha로 대부분이 시설에서 재배되고 있다(KOSIS, 2022).

시설내 환경은 노지와 달리 온도 변화가 급변하므로 적합한 온도조절이 필요하다. 고온기 시설 재배에서는 환기시설을 모두 작동하여도 실내온도가 35–40°C 이상 상승하는 경우가 많아 작물은 고온 장애를 받게 되며, 겨울철에는 급격한 온도 하강으로 저온 장애를 받게 된다(RDA, 2018). 식물은 고온, 고광, 건조한 조건에서 증산을 억제하기 위해 기공을 닫으며, 잎 내부의 CO<sub>2</sub> 농도가 저하, 광호흡을 하게 되며 광합성 효율이 낮아지게 되고, 저온에서도 광계II 활성화에 비가역적인 손상으로 광합성 효율이 감소하게 되는데(Moon과 Yu, 2013; Kim 등, 2020), 고온의 묘삼, 저온의 참외, 오이, 문주란 재배에서 이상 기온에 따른 광합성 감소, 생육 저하를 보고하였다

\*Corresponding author: choiky@kangwon.ac.kr  
Received May 25, 2022; Revised April 20, 2023;  
Accepted April 24, 2023

(Lee 등, 2007; Seo 등, 2008; Oh와 Koh, 2004).

오이는 다른 채소 작물에 비교하여 함수량이 96%로 수분 요구도가 높은 작물이다. 강우 등이 차단된 온실에서 수분은 식물 생장에 중요한 환경 요인으로 수분이 부족하면 생육이 불량하게 되고 수확량이 감소하게 된다(Okunlola 등, 2015). 작물 재배에 있어 물은 무기 양분을 이동시키는 용매, 양분의 이동시키는 용매, 광합성의 기본적인 재료 물질로 작물 생육에 있어 중요한 필수 요소이다. 근권의 조성이 균일한 수경 재배에서는 급액 시간대, 급액 간격, 일회 급액량 등의 관수 조절을 통하여 배지 내 적정 수분함량을 유지하고 변화폭을 조절, 급액 관리를 통한 생육, 수확량, 당도, 경도 등을 조절하는 방법 등을 오이, 토마토의 수경재배에서도 보고하고 있다(Park 등, 2003; Ohkawa와 Hayashi, 1996). 하지만 시설 토경 재배에서는 수경재배와 비교하여 토양은 토성, 통기성, 염류 집적 정도 등에 따라 토양의 함수량 변화 폭이 크다. Kim 등(2009)은 사양토(sandy loam), 양질사토(loamy sand), 양토(loam) 3종류를 대상 20cm의 간격으로 설치된 점적관을 이용 관수하였을 때 수분확산 폭은 양토가 더 넓고 속도가 느렸지만 양질사토의 경우는 수분 확산폭이 낮았으며 물 빠짐 정도가 큰 것으로 토양 특성에 따른 토양 함수량의 차이를 보고하였다.

시설 토경 재배에서 작물은 수분 공급을 관수에만 의존하여 야 하기 때문에 식물 생육에 필요한 수분을 적시에 관수하는 재배 전략이 중요하다. 2021년 기준 시설채소 재배 면적 53,239ha이며, 토경 재배가 48,968ha, 수경재배가 4,271ha로 대부분이 토경에서 재배되고 있다(KOSIS, 2022). 배추 토경 재배에서 가뭄에 광합성률과 증산 속도가 낮았으며, 지상, 지하부 상대생장을 저하 등을 보고하는 등 재배 환경에 따른 작물의 생리적, 형태적 변화를 구명하기 위해 성장 해석과 광합성 등이 이용되고 있다(Kim 등, 2017; Lee 등, 2015). 하지만, 시설 토경 재배에서 온도와 토양 함수량의 복합적인 재배 환경에 의한 작물의 생리 반응, 형태적 변화 등에 대한 연구는 미비한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 토양 볼륨을 동일하게 하여 온도와 관수 주기에 따른 오이의 광합성, 생육, 수분이용효율을 측정하고 생육 자료를 이용 성장 분석하여 생육 온도와 관수 주기가 식물에 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

## 재료 및 방법

실험은 환경이 조절되는 강원대학교 내 실내 재배실 [3.1(W) × 3.4(L) × 2.4(H)m]과 재배용 챔버(501PL, Sejong Scientific Co., Korea)에서 수행하였다. 공시 품종은 백다다기 계통의 ‘아시아은천’(Asia Unchun, Asia Seed, Korea) 오

이(*Cucumis sativus* L.)를 사용하였다. 오이 종자를 상토가 충진된 32구 플레이 트레이에 2021년 3월 31일 파종하였다. 발아된 오이는 25°C 실내 재배실에서 육묘하였고, 초장이 0.5cm, 염수가 2매일 때 갈색 고무포트(Up ø: H: Low ø = 13: 11.5: 8.5cm)에 건조한 양질사토 1L를 채우고 충분히 포수한 후 옮겨 심었다.

실험 처리는 광주기에 따라 재배실의 주간 및 야간 온도를 15/10°C(15), 25/20°C(25) 및 35/25°C(35)로 3처리하였고, 각 온도별 관수 주기를 매일 100mL(S)와 격일 200mL(L)로 달리 공급하는 처리를 조합하여 총 6처리(15S, 15L, 25S, 25L, 35S, 35L)하여 4월 13일 정식 후 3주간 수행하였다.

재배 광도는 70 W·m<sup>2</sup>로 백색 LED(ZVAS, Sunghyun Hightech Co., Ltd., Korea)를 사용하였고, 광주기는 주야간 16/8시간이었다. 상대습도는 65%로 동일하게 설정하였으며, 온도는 처리별로 달리 설정되어 운영되었다. 재배상의 광, 온도와 상대습도는 Watchdog 데이터 로거(Model 1650, Spectrum Technologies Inc., USA)와 광센서(#36701, Spectrum Technologies Inc., USA)를 설치한 후 10분 간격으로 측정 저장된 자료를 생육 환경 자료로 활용하였다.

토양 분석은 풍건한 토양을 2mm 표준 메쉬 체를 사용하여 체질 후 국립농업과학원의 토양 분석법에 준하여 분석하였다(RDA, 2000). 포트에 사용된 토양을 비중계분석법으로 측정된 결과 물 빠짐이 좋은 양질사토(모래 78.3%, 미사 18.4%, 자갈 3.3%)로 나타났다(자료 미제시). 토양의 pH와 EC는 토양시료를 증류수와 1:5의 비율로 혼합하여 pH와 EC meter(HI 9813-6, Hanna Instruments, Romania)로 측정하였다. 처리 전 토양은 pH 4.9, EC 0.64dS·cm<sup>-1</sup>, 유기물 15.63g·kg<sup>-1</sup>, 유효인산 198.96mg·kg<sup>-1</sup>, 치환성 양이온 칼륨, 칼슘, 마그네슘 및 나트륨 함량은 각각 0.27, 2.50, 0.57 및 0.07cmol·kg<sup>-1</sup>인 척박한 토양이었다(자료 미제시). 토양 화학성이 낮아 작물 생육을 도모하고자 포트의 관수는 필수 원소가 함유된 수경재배용 오이 배양액(NO<sub>3</sub>-N 13, NH<sub>3</sub>-N 1, P 3, K 6, Ca 7, Mg 4, SO<sub>4</sub>-S 4me·L<sup>-1</sup>)을 EC 2.5dS·m<sup>-1</sup>, pH 6.0으로 조제하여 오전 9-10시 사이에 1일 또는 2일 간격으로 관수하였다.

재배 기간 동안 총 공급량은 2L로 동일 하였다. 관수 처리 30분 후에 4개의 포트에서 배액 된 총 물량을 측정하여 1개 포트의 배액량으로 환산하였다. 물 소요량은 공급량에서 배액량을 뺀 물량이다. 배액률(DR, drainage ratio, %)은 배액량/관수량 × 100으로 계산하였다. 토양 함수율은 휴대용 FDR 센서(WT1000N, Mirae-Sensor, Korea)를 사용 처리 10일과 14일째 측정하였다.

광합성 특성은 휴대용 광합성 측정기(LI-6400XT, Li-COR, Lincoln, NE, USA)를 사용하여 처리 14일째 성장점으로부

터 3번째 동일한 잎을 대상으로 광합성률, 기공전도도, 증산율 및 잎의 증기압차를 측정하였다. 측정 조건은 광도(PPFD) 1,000 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , CO<sub>2</sub> 400 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ , flow meter 400 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 하였으며, 챔버 내 온도는 각 처리구 재배 온도로 설정하였다.

생육 조사는 처리 21일째 지체부에서 성장점까지의 길이를 초장으로, 엽장과 엽폭은 가장 큰 잎의 길이와 폭을 측정하였고, 그 잎의 엽록소 함량(SPAD, SPAD-502, Minolta, Japan), 각각의 식물체의 엽면적(Li-3100c, Li-cor Inc., USA)을 측정하였다. 각각의 식물체의 생체중(CUW420HX, CAS Corporation, Korea)을 측정하고, 80°C 항온 건조기(OF-22GW, JEIO TECH, Korea)에서 48시간 건조 후 건물중을 측정하였다.

식물의 성장 해석을 위해 상대성장률(RGR, relative growth rate)과 비엽중(SLA, specific leaf area) 및 재배 기간 중 들어간 물량을 측정하여 건물중에 대한 수분이용효율(WUE, water use efficiency) 아래와 같이 산출하였다(Cho 등, 2008; Lee 등, 2012; Burnett와 van Iersel, 2008).

$$\text{RGR (g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{day}^{-1}) = \frac{1}{W} \times \frac{dw}{dt} \quad (1)$$

$$\text{SLA (cm}^2\cdot\text{g}^{-1}) = \frac{\text{Leaf A}}{\text{Leaf W}} \quad (2)$$

$$\text{WUE (g}\cdot\text{L}^{-1}) = \frac{W}{IU} \quad (3)$$

이 때, Leaf A(cm<sup>2</sup>)는 엽면적, W(g)는 식물체의 건물중,

Leaf W(g)는 잎 건물중, dt(days)는 처리 기간, dw(g)는 처리 후 건물중에서 처리 전 건물중 빼 건물중 증가량, IU(L)는 재배 기간 중 들어간 총 급액량에서 총 배액량을 제외한 물량이다.

실험은 완전임의배치 4반복으로 하였다. 통계분석은 SAS package(Statistical Analysis System, version 9.4, SAS Institute Inc.)를 이용하여 유의수준  $p < 0.05$ 에서, 생육은 ANOVA 분석(analysis of variance)과 Duncan's multiple range test(DMRT)로 실시하였다.

## 결과 및 고찰

처리 14일째 오이의 광합성 측정 결과 온도에 따라 광합성률, 기공전도도 및 증산량은 25/20°C, 수증기압차는 35/25°C에서 높았으며, 관수 주기에 따라 광합성률, 기공전도도 및 증산량은 S, 수증기압차는 L에서 높았다. 광합성률, 증산율과 기공전도도는 25S, 엽육 내 수증기압차는 35L에서 가장 높았다(Table 1). Moon과 Yu(2013)은 식물은 물이 부족하면 빠져나가는 물량을 줄이기 위해 기공을 닫게 되고, 세포 내 CO<sub>2</sub>는 확산되지 못하게 되며 광합성률이 감소하게 된다고 보고하였는데, 본 실험에서도 고온인 35S와 35L에서 광합성률, 기공전도도와 증산율이 낮았으며 수증기압차가 높고 고온 처리구에서 물이 부족하였던 것으로 생각된다. 이는 배추 재배에서 토양수분이 극도로 결핍(0 $\text{mL}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{plant}^{-1}$ )된 처리에서 광합성률이 약 6.5 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  미만으로 관수량이 많은(500 $\text{mL}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{plant}^{-1}$ ) 처리구보다 약 3.5배 낮았던 것과 같은 결과이다(Kim 등, 2017). 온도가 높았던 35S와 35L에서 토양 함

**Table 1.** Effects of temperature and irrigation intervals on photosynthesis (Pn), stomatal conductance (Sc), transpiration rate (Tr) and leaf to air vapor pressure deficit (La VPD) of pot-grown cucumber seedlings at 14 days after treatment.

Temperature (day/night, °C)	Irrigation intervals <sup>z</sup>	Pn ( $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	Sc ( $\text{mol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	Tr ( $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	La VPD (kPa)
15/10	S	12.3 ab <sup>y</sup>	0.20 b	4.9 bc	2.6 c
	L	8.3 bc	0.14 b	3.1 c	2.3 cd
25/20	S	16.2 a	0.56 a	8.4 a	1.9 d
	L	11.1 b	0.24 b	5.0 bc	2.5 c
35/25	S	8.9 bc	0.18 b	6.2 b	3.8 b
	L	5.7 c	0.09 b	4.0 bc	4.4 a
Significance <sup>x</sup>					
Temperature (A)		**	***	**	***
Irrigation intervals (B)		**	**	***	*
(A) × (B)		ns	*	ns	**

<sup>z</sup>S: 100 mL per day, L: 200 mL every 2 days.

<sup>y</sup>Means with different letters in each column are significantly different by DMRT at  $p < 0.05$  ( $n = 4$ ).

<sup>x</sup>Probability of significant F values: ns, \*, \*\*, \*\*\*: non-significant or significant at  $p < 0.05$ , 0.01, or 0.001, respectively.

수율이 4.3%와 3.1%로 매우 낮았으며, 광합성률이 8.9와 5.7  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  낮았다. 저온인 15L 처리에서는 광합성률, 기공 전도도, 증산율, 증기압차가 유의적으로 낮았는데, Seo 등 (2008)의 보고에서도 참외와 오이의 광합성 능력이 15°C 처리에서 현저하게 감소하였던 것과 같다. Mielke 등(2003)은 침수 등 과습한 토양에서는 식물체내 수분 스트레스가 높아지며 기공전도도가 감소되고, 기공 폐쇄가 유도되어 증산율이

감소된다고 보고하였고, 오미자 광합성률이 50kPa 처리구에서 가장 높았고 40, 30, 10kPa 순으로 토양수분이 많았던 처리에서 낮았다고 보고하였는데(Seo 등, 2015), 본 실험에서도 저온인 15/10°C 처리에서 토양 함수율이 높았으며 기공전도도와 증산율이 낮아 부적합하였다.

처리 21 일째 오이 묘의 생육 특성과 황화 발생률을 측정 한 결과, 초장, 엽장, 엽폭, 엽면적, 생체중 및 건물중은 25/20°C

**Table 2.** Effects of temperature and irrigation intervals on total drainage amount (TDA), water consumption amount (WCA) and drainage ratio of cucumber seedlings grown in soil pot for 21 days after treatment supplied total 2 L per plant.

Temperature (day/night, °C)	Irrigation intervals <sup>z</sup>	TDA (mL·plant <sup>-1</sup> )	WCA (mL·plant <sup>-1</sup> )	Drainage ratio (%)
15/10	S	857.5	1142.5	42.9 a <sup>y</sup>
	L	765.0	1235.0	38.3 b
	Mean	811.3	1188.8	40.6
25/20	S	522.5	1477.5	26.1 d
	L	797.5	1202.5	39.9 c
	Mean	660.0	1340.0	33.0
35/25	S	50.0	1950.0	2.5 f
	L	387.5	1612.5	19.4 e
	Mean	218.8	1781.3	11.0

<sup>z</sup>S: 100 mL per day, L: 200 mL every 2 days.

<sup>y</sup>Means with different letters in each column are significantly different by DMRT at  $p < 0.05$  (n = 4).

**Table 3.** Effects of temperature and irrigation intervals on growth characteristics of cucumber seedlings grown in soil pot at 21 days after treatment.

Temperature (day/night, °C)	Irrigation intervals <sup>z</sup>	Plant height (cm)	Leaf			Fresh weight (g)	Dry weight (g)	SPAD (value)	Yellow symptom leaf (%)
			Length (cm)	Width (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )				
15/10	S	5.5 bc <sup>y</sup>	9.8 b	15.0 b	417.8 c	33.1 c	4.7 c	60.0 a	0.0 b
	L	4.8 c	10.0 b	13.5 bc	319.6 c	22.6 cd	3.3 d	53.6 a	0.0 b
	Mean	5.2	9.9	14.3	368.7	27.9	4.0	56.8	0.0
25/20	S	57.6 a	16.8 a	21.4 a	1958.5 a	103.3 a	9.6 a	53.2 a	0.0 b
	L	53.8 a	15.6 a	20.3 a	1796.1 b	90.4 b	8.3 b	49.2 a	0.0 b
	Mean	55.7	16.2	20.8	1877.3	96.9	9.0	51.2	0.0
35/25	S	9.9 b	8.8 b	10.5 d	253.8 c	19.7 d	4.1 cd	30.8 b	89.7 a
	L	6.7 bc	9.0 b	11.5 cd	282.5 c	18.3 d	3.3 d	24.6 b	90.1 a
	Mean	8.3	8.9	11.0	268.2	19.0	3.7	27.7	89.9
Significance <sup>x</sup>									
Temperature (A)		***	**	***	***	***	***	***	***
Irrigation interval (B)		*	ns	ns	ns	*	**	ns	ns
(A) × (B)		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

<sup>z</sup>S: 100 mL per day, L: 200 mL every 2 days.

<sup>y</sup>Means with different letters in each column are significantly different by DMRT at  $p < 0.05$  (n = 4).

<sup>x</sup>Probability of significant F values: ns, \*, \*\*, \*\*\*: non-significant or significant at  $p < 0.05$ , 0.01, or 0.001, respectively.

(25S와 25L) 처리에서 높았고, 35/25°C(35S와 35L) 처리에서는 엽록소 함량이 낮았으며 잎끝에 황화가 나타났고, 관수 주기에 따라 S에서 초장, 생체중과 건물중이 높았다(Table 3, Fig. 1). 파프리카 육묘기 23°C 처리에서 15°C와 31°C보다 초장, 생체중과 건물중이 높았다고 보고한 것과 같은 결과로 25S와 25L 처리에서 생육이 높았다(Cho 등, 2016). 식물은 필요로 하는 적정 온도 범위가 있는데 오이의 생육 적온은 주간 22-28°C, 야간 15-18°C로 35°C 이상의 고온과 5°C 이하의 저온에서 생육이 중지되는 것으로 보고되었다(RDA, 2018). 본 실험의 15S와 15L, 35S와 35L 처리에서는 오이 생육 적온보다 낮거나 높아 생육이 저조하였다. 고추 재배에서 생육 적온인 25°C보다 2.5°C와 5°C 낮은 처리에서 초장, 경경, 엽수와 엽면적이 감소하였고, 칼슘 결핍증상이 증가하였으며, 배추 재배에서 밤기온이 10°C보다 5°C에서 기간이 5일, 10일, 15일로 길어질수록 유묘의 생육이 저조하였다고 보고하였던 것처럼 본 실험에서도 저온인 15S와 15L에서 생육이 낮았다(Park 등, 2014; Lee 등, 2011). 대기 온도보다 4°C와 7°C 높은 처리에서 배추의 엽장이 작았으며, 묘삼 재배의 고온(30°C) 처리구에서 증산량 증가로 인하여 토양 수분함량과 엽록소 함량이 저하되고, 결국 잎이 타는 증상인 고온 장해율이 증가되었다고 보고하였는데 본 실험에서도 생육 적온보다 높았던 35/25°C(35S와 35L) 처리는 관수 전 함수율이 낮았으며, 엽록소 함량이 낮았고, 90% 이상 잎끝이 마르는 황화가 발생하였다(Lee 등, 2015; Lee 등, 2007).

Table 2는 실험 기간 동안 총 관수량, 물 소비량 및 배액률이다. 처리 기간 동안 각 처리에 공급된 총 관수량은 2L로 동일하였으나, 평균 배액률이 35/25°C에서는 11.0%, 25/20°C에서는 33.0%, 15/10°C에서는 40.6%로 온도가 낮을수록 높았다. 이는 딸기 수경재배에서도 온도가 낮을수록 배액량이 증가하였던 것과 같은 결과로 온도가 낮은 15/10°C 처리에서 배액률

이 높아 저온에서는 관수량을 줄여야 할 것으로 생각된다(Lee 등, 2020). Oh와 Lee(2000)가 온실 내부의 기온이 증산량과 정의 상관( $R^2=0.49$ )이 있었다고 보고하였는데 온도가 높아 질수록 식물은 필요로 하는 물량이 많아진다. 본 실험은 관수량이 동일한 조건에서 온도가 높아질수록 물 요구량이 많음에도 불구하고 관수량은 동일하여 온도가 높을수록 배액률이 낮았으며, 관수량에서 배액량을 뺀 물 이용량은 온도가 높았던 35/25°C에서  $1.8L \cdot plant^{-1}$ 로 높았다.

토양 함수율은 15S에서 가장 높았으며, 35S와 35L에서 낮았고, 관수 주기에 따라 15/10°C와 25/20°C에서는 S에서 높았지만 35/25°C에서는 차이가 없었다(Fig. 2). 오이 시설 재배에서 정식 후 30-40일까지는 토양 함수율을 10-15%로 유지하는 것이 적합하다고 보고되었던 것(Hyun 등, 2011)과 같이 정식 후 10일과 14일에 측정된 평균 토양함수율이 15S, 15L과 25S 처리에서는 10% 이상이었으나, 25L, 35S와 35L 처리는 토양 함수율이 5% 이하로 토양 수분이 부족하였다. 적온인 25L에서 토양함수율이 낮았던 것은 관수 주기가 길었기 때문으로 25/20°C의 생육 적온에서 관수 주기는 S가 적합한 것으로 나타났다. 고온인 35S와 35L 처리에서는 토양 함수율이 5% 이하로 매우 낮았던 것을 고려하여 보면 온도가 높은 처리에서는 수분 부족이 발생하지 않도록 관수량을 늘리거나 관수 주기를 줄여야 할 것으로 생각된다.

오이 재배실의 상대습도를 측정한 결과 온도가 높은 처리에서 상대습도가 높았다(Fig. 3). 본 실험은 환경이 조절되는 챔버와 재배실에서 수행하여 15/10°C와 25/20°C에서는 설정 상대습도가  $65 \pm 5\%$ 로 제어되는 것으로 나타났으나 온도가 높았던 35/25°C에서는 73.3-84.1%로 높았으며, 광이 있는 시간대에 상대습도가 높아지는 것을 확인할 수 있었다. 반밀폐형 온실에서 일반형 온실보다 상대습도가 높게 형성되며, 일반적인 시설 재배에서 온도 하강을 막기 위해 환기량을 제한



Fig. 1. Effects of temperature and irrigation intervals on cucumber seedlings grown in soil pot at 21 days after treatment. Irrigation intervals (S: 100 mL per day, L: 200 mL every 2 days).

하면 상대습도가 높아지게 된다(Jeon 등, 2022). 본 실험은 밀폐형 챔버로 고온처리에서 급격히 온도가 높아지며 토양에 관수한 물이 식물이 사용하지 못하고 토양에서 증발하여 환기팬이 작동하여도 상대습도가 높아진 것으로 생각된다.

처리 21일째 오이 묘의 성장 해석과 수분이용효율을 보면 (Fig. 4와 5), 상대성장률(RGR)과 비엽중(SLA)은 25S와 25L 처리에서 높았고, 관수 주기에 따라 S 처리에서 RGR, L 처리에서 SLA이 높은 경향을 보였다(Fig. 4). 수분이용효율은 적온인 25/20°C(25S, 25L)에서 높았고 저온인 15/10°C(15S, 15L)와 고온인 35/25°C(35S, 35L)에서 낮아 온도의 영향을 크게 받는 것으로 나타났다(Fig. 5). 적온인 25S와 25L 처리를 제외한 처리에서 RGR이 낮았던 것은 고온과 저온 조건이 오이의 생육에 부적합 하였기 때문에 Table 1의 결과에서도 고온과 저온 처리에서 광합성률이 낮아 광합성 산물의 전류가 적어 RGR이 낮은 것으로 생각된다. Lim 등(2006)은 오이 수경재배에서 일평균 온도에 따라 RGR은 정의 상관이 있었다고 보고하였는데 본 실험에서도 15/10°C(15S, 15L)보다는 25/20°C(25S, 25L)에서 RGR이 높았던 것은 온도에 영

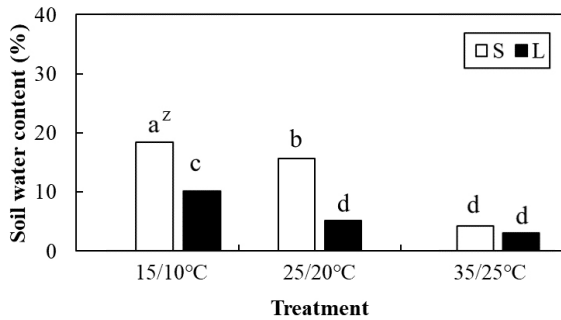


Fig. 2. Effects of temperature and irrigation intervals on soil water content in pot from 10 to 14 days after treatment. Irrigation intervals (S: 100 mL per day, L: 200 mL every 2 days).

<sup>z</sup>Means with different letters on the bars are significantly different by DMRT at  $p < 0.05$  ( $n = 4$ ).

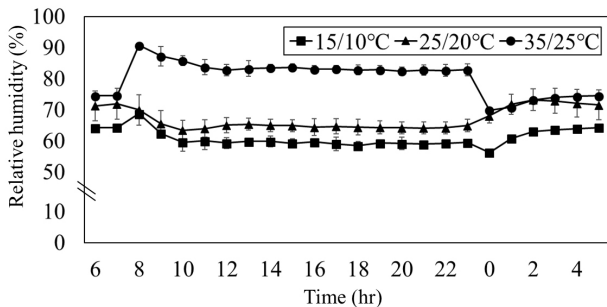


Fig. 3. Changes in relative humidity by temperature in measured for 10 days after treatment.

향을 받은 것으로 생각된다. 하지만 온도가 높고 토양수분이 부족하였던 35/25°C(35S, 35L)에서도 RGR이 낮았는데 식물은 온도가 높아지면 필요로 하는 물량이 많아지지만 공급되는 물량이 적게 되면 수분 스트레스를 받게 된다. 실험 기간 동안 들어간 급액량은 동일하였으나 고온인 35/25°C(35S, 35L)

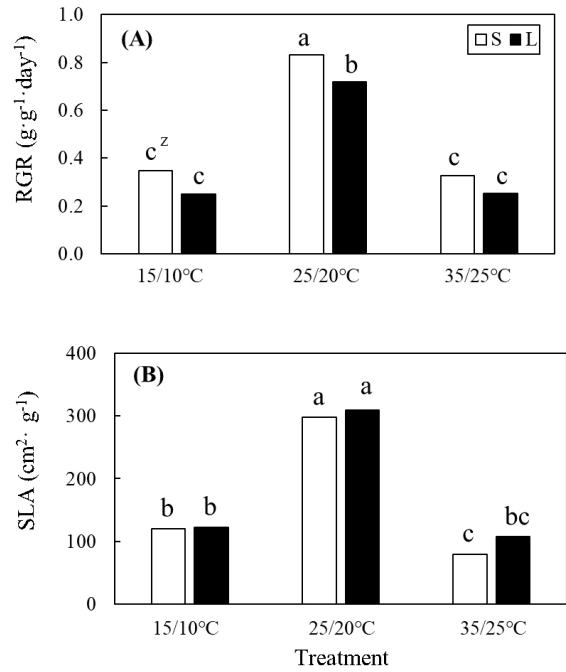


Fig. 4. Effects of temperature and irrigation intervals on relative growth rate (RGR) and specific leaf area (SLA) of cucumber seedlings grown in soil pot at 21 days after treatment. Irrigation intervals (S: 100 mL per day, L: 200 mL every 2 days).

<sup>z</sup>Means with different letters on the bars are significantly different by DMRT at  $p < 0.05$  ( $n = 4$ ).

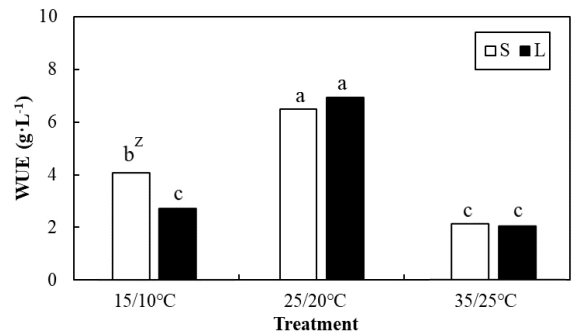


Fig. 5. Effects of temperature and irrigation intervals on water use efficiency (WUE) of cucumber seedlings grown in soil pot for 21 days after treatment ( $n = 4$ ). Irrigation intervals (S: 100 mL per day, L: 200 mL every 2 days).

<sup>z</sup>Means with different letters on the bars are significantly different by DMRT at  $p < 0.05$  ( $n = 4$ ).

에서 배액량과 토양 함수율이 낮았고, 상대습도가 높아 식물이 물을 제대로 이용하지 못하였다. 배추에서 기온보다 4°C와 7°C 더 높은 처리와 갖에서 30–40°C의 높은 고온 처리구에서 수분이용효율이 낮았던 것(Hayat 등, 2009; Oh 등, 2014)과 같이 본 실험에서도 기온이 높았던 35S와 35L에서 수분이용효율이 낮았다.

국화 18–23°C에서 잎의 두께를 나타내는 SLA는 온도가 증가할수록 선형적으로 증가한다고 하였던 것(Lee와 Heuvelink, 2003)처럼 15S와 15L 처리보다 25S와 25L 처리에서 SLA가 2배 이상 증가하였다. 하지만, 35S와 35L 처리에서는 감소하였는데, 고온이 세포 손상을 유발하여 세포가 사멸하였기 때문이라고(Lee 등, 2015) 선행 연구되었던 것과 같이 본 실험에서도 고온인 35S와 35L 처리에서 생육이 낮았으며, 잎끝이 마르는 황화가 발생한 것으로 보아 고온이 식물의 세포 손상을 유발하였을 것으로 생각된다. 토양 함수율이 높은 경우 식물의 생육이 높았는데, 감자 재배에서도 초장은 관수량에 따라 증가하였으며, 가뭄 스트레스가 길어 질수록 SLA가 낮았고 토양수분장력에 따라 변화한다고 보고하였다(Yuan 등, 2003). 본 실험에서도 관수 주기가 길었던 L 처리에서 SLA가 낮았으며, 관수량은 동일하였지만 배액량이 적었던 S 처리에서 RGR이 높았던 것은 토양 함수율에 영향이 있었을 것으로 생각된다.

생육 적온보다 기온이 낮았던 15S와 15L에서는 수분이용효율이 낮았는데, 토마토 겨울 재배에서 저온인 무가온 처리가 가온 처리보다 수분이용효율이 낮았다는 결과와 같이 저온에서도 물을 제대로 이용하지 못하였다(Cho 등, 2021). Nam 등(2006)은 오이 묘의 내냉성을 높이기 위해 2°C에서 48시간 처리하였을 때 적습인  $-0.3 \pm 0.2$ bar에서는 생존율이 28%,  $-2.5 \pm 0.5$ bar에서는 67%,  $-5.5 \pm 1.0$ bar에서는 83%가 생존하였으며 저온 시 토양수분감소가 식물의 생존율을 높인다고 보고하였다. 이는 광합성에 의한 세포 내 탄수화물의 축적과 관련이 있는데, 식물체 내에 ABA(abscisic acid) 함량이 증가하여 기공을 닫음으로써 수분 손실이 줄어들게 되며, 세포 내에 당함량이 증가되어 삼투압을 저하시켜 내냉성이 높아진다고 보고하였던 것처럼 식물은 저온에 적응하기 위한 생리적 반응으로 물 사용량이 줄어든다(Nam 등, 2006). 본 실험에서도 저온 처리구인 15/10°C(15S, 15L)에서 광합성률과 기공전도도가 유의하게 낮아졌던 것과 같은 결과이다. 저온 조건에서는 관수 주기가 길며 일회 관수량이 많았던 것이 식물 생육 지연을 초래하였을 것으로 저온 처리에서 관수 주기가 짧은 15S에서 15L보다 수분이용효율이 높았고 생육이 높았던 것으로 보아 저온의 조건에서는 관수 주기가 짧은 S처리가 적합한 것으로 나타났으며, 관수량을 줄이는 것이 식물에 온도에 대한

스트레스를 줄이는 방법일 것으로 생각된다.

본 결과와 기존 결과들을 고려하면 오이의 생육 적온 범위인 25/20°C(25S와 25L)에서는 광합성, RGR, SLA와 WUE가 높았다. 15/10°C(15S와 15L)에서 배액량과 토양 함수율이 높았고, 광합성률, RGR과 SLA이 낮았다. 뿐만 아니라 35/25°C(35S와 35L)에서 토양 함수율과 배액량이 낮았고, 잎끝에 황화현상이 있었으며, 광합성, RGR 및 SLA가 낮았다. 관수 주기가 짧은 S에서 광합성, 생육과 RGR이 높았고, 관수 주기가 긴 L 처리에서 S 처리보다 토양 함수율, 광합성률, 생육과 수분이용효율이 낮았다.

## 적 요

본 연구는 오이(*Cucumis sativus* L.)의 광합성, 생육 및 수분이용효율을 분석하고 생장해석을 통해 생육 온도와 관수 주기가 식물에 미치는 영향에 대해 알아보고자 환경 제어가 가능한 실내 재배상에서 광도( $70 \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ )와 상대습도(65%)를 동일하게 설정하여 수행하였다. 처리는 주/야간 온도(°C)를 15/10°C, 25/20°C 및 35/25°C로 3 처리하였고, 각 온도별 관수 주기를 1일 1회 100mL(S), 2일 1회 200mL(L)로 달리 공급하는 처리를 조합하여 총 6개(15S, 15L, 25S, 25L, 35S, 35L) 처리를 하였다. 초장이 0.5cm인 오이묘 ‘아시아 은천’을 양질사토로 충진한 1L 원형 포트에 정식하여 21일간 처리하였다. 처리 14일째 광합성, 증산율과 기공전도도는 25S에서 가장 높았고, 관수 주기가 짧은 S 처리에서 L 처리보다 높았다. 처리 기간 중 총 관수량이 2L로 동일하게 공급되었지만 토양 함수율은 15S에서 가장 높았고 25S > 15L > 25L, 35S, 35L 순으로 낮았다. 상대습도는 15/10°C(61.1%)와 25/20°C(67.2%)는 비슷한 경향을 보였지만 35/25°C에서는 80.5%로 높았다. 21일째 오이 생육은 25S에서 가장 높았고, 초장, 생체 중량과 건물중은 관수 주기에 영향을 받았다. 잎끝 황화 현상은 온도가 높았던 35S, 35L에서 89.9% 발생하였다. 상대생장률(RGR)과 비엽중(SLA)은 25/20°C(25S, 25L)에서 높았고, RGR은 관수 주기가 짧은 S 처리, SLA은 L 처리에서 높은 경향을 보였다. 수분이용효율(WUE)은 25S, 25L > 15S > 15L, 35S, 35L 순으로 높았다. 이상의 결과 적온인 25/20°C에서 생육과 수분이용효율도 높았다. 그러나 35/25°C(35S, 35L) 처리에서는 토양 함수율이 낮았고, 잎끝 황화현상이 발생하였으며, 15/10°C(15S, 15L)에서 토양 함수율이 높고 광합성과 생장이 낮았다.

**추가 주제어 :** 비엽중, 상대생장률, 수분이용효율, 토양함수율, 황화현상



## 사 사

본 결과물은 한국연구재단의 기본연구지원사업(과제번호: 2021R1F1A106428511)과 (재)스마트팜연구개발사업단의 스마트팜다부처패키지혁신기술개발사업(과제번호: 421009-04)의 지원을 받아 연구되었음.

## Literature Cited

- Burnett S.E., and M.W. van Iersel 2008, Morphology and irrigation efficiency of *Gaura lindheimeri* growth with capacitance sensor-controlled irrigation. HortScience 43: 1555-1560.
- Cho E.K., I.H. Cho, J.S. Park, K.Y. Choi, and E.Y. Choi 2021, Impact of the heating greenhouse and root-zone prior to sunrise on water uptake, photosynthesis, plant growth and yield for tomato rockwool hydroponics. Hort Sci Technol 39:71-85. (in Korean) doi:10.7235/HORT.20210007
- Cho M.S., K.W. Kwon, G.N. Kim, and S.Y. Woo 2008, Chlorophyll contents and growth performances of the five deciduous hardwood species growing under different shade treatments. Korean J Agric For Meteorol 10:149-157. (in Korean) doi:10.5532/KJAFM.2008.10.4.149
- Cho Y.H., C.S. Kim, J.M. Kim, Y.G. Ku, and H.C. Kim 2016, Qualities and early growth responses of paprika seedlings grown in high and low temperatures. Hort Sci Technol 34:719-726. (in Korean) doi:10.12972/kjhst.20160075
- Hayat S., A. Masood, M. Yusuf, Q. Fariduddin, and A. Ahmad 2009, Growth of Indian mustard (*Brassica juncea* L.) in response to salicylic acid under high-temperature stress. Braz J Plant Physiol 21:187-195. doi:10.1590/S1677-04202009000300003
- Hyun B.K., S.J. Jung, Y.J. Jung, J.Y. Lee, J.K. Lee, B.C. Jang, and N.D. Chio 2011, Soil management techniques for high quality cucumber cultivation in plastic film greenhouse. Korean J Soil Sci Fert 44:717-721. (in Korean) doi:10.7745/KJSSF.2011.44.5.717
- Jeon Y.H., E.J. Kim, S.H. Ju, D.J. Myung, K.H. Kim, S.J. Lee, and H.Y. Na 2022, Comparison of climate between a semi-closed and conventional greenhouse in the winter season. Hort Sci Technol 40:400-409. (in Korean) doi:10.7235/HORT.20220036
- Kim D.E., J.K. Kwon, S.J. Hong, J.W. Lee, and Y.H. Woo 2020, The effect of greenhouse climate change by temporary shading at summer on photo respiration, leaf temperature and growth of cucumber. Protected Hort Plant Fac 29: 306-312. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2020.29.3.306
- Kim H.J., D.W. Son, S.O. Hur, M.Y. Roh, K.Y. Jung, J.M. Park, J.Y. Rhee, and D.H. Lee 2009, Comparison of wetting and drying characteristics in differently textured soils under drip irrigation. J Bio-Env Con 18:309-315. (in Korean)
- Kim S.K., H.J. Lee, H.S. Lee, B.H. Mun, and S.G. Lee 2017, Effect of soil water content on growth, photosynthetic rate, and stomatal conductance of kimchi cabbage at the early growth stage after transplanting. Protected Hort Plant Fac 26:151-157. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2017.26.3.151
- Korean Statistical Information Service (KOSIS) 2022, Korean statistical information service. Domestic statistics (Agriculture, Crop production research, Vegetable yield). <http://kosis.kr/index/index.do>
- Lee D.G., J.E. Lee, Y. Paek, T.S. Lee, R.G. Lim, and J.K. Jang 2020, Drainage from hydroponic cultivation of strawberries. Proc Korean Soc Agric Mach & ARCs 25:93. (in Korean)
- Lee J.G., J.W. Lee, S.Y. Park, Y.A. Jang, S.S. Oh, T.C. Seo, H.K. Yoon, and Y.C. Um 2011, Effect of low night-time temperature during seedling stage on growth of spring Chinese cabbage. J Bio-Env Con 20:326-332. (in Korean)
- Lee J.H., and E. Heuvelink 2003, Simulation of leaf area development based on dry matter partitioning and specific leaf area for cut chrysanthemum. Ann Bot 91:319-327. doi: 10.1093/aob/mcg015
- Lee K.C., H.B. Lee, W.G. Park, and S.S. Han 2012, Physiological response and growth performance of *Parasenecio firmus* under different shading treatments. Korean J Agric For Meteorol 14:79-89. (in Korean) doi:10.5532/KJAFM.2012.14.2.079
- Lee S.G., H.J. Lee, S.K. Kim, C.S. Choi, S.T. Park, Y.A. Jang, and K.R. Do 2015, Effects of vernalization, temperature, and soil drying periods on the growth and yield of Chinese cabbage. Korean J Hort Sci Technol 33:820-828. (in Korean) doi:10.7235/hort.2015.15076
- Lee S.W., D.Y. Hyun, C.G. Park, T.S. Kim, B.Y. Yeon, C.G. Kim, and S.W. Cha 2007, Effect of soil moisture content on photosynthesis and root yield of *Panax ginseng* C. A. Meyer seedling. Korean J Med Crop Sci 15:367-370. (in Korean)
- Lim J.M., B.S. Kwon, D.Y. Shin, K.H. Hyun, H.J. Kim, S.J. Chung, B.S. Lee, and J.T. Lim 2006, Effects of climatic factors varied due to the type of plastic house, cultural season and locations in the plastic house on the growth of cucumber plants grown in rockwool. Korean J Plant Resour 19:218-222. (in Korean)
- Mielke M.S., A.F. de Almeida, F.P. Gomez, M.A.G. Aguilar, and P.A.O. Mangaberia 2003, Leaf gas exchange, chlorophyll fluorescence and growth response of *Genipa americana* seedling to soil flooding. Environ Exp Bot 50:221-231.
- Moon W., and D.J. Yu 2013, Plant physiology. KNOU Press, Seoul, Korea. (in Korean)
- Nam Y.I., Y.H. Woo, and K.H. Lee 2006, Effect of soil moisture and chemical application on low temperature stress of cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedling. J Bio-Env Con 15:377-384. (in Korean)
- Oh S., K.H. Moon, I.C. Son, E.Y. Song, Y.E. Moon, and S.C.



- Koh 2014, Growth, photosynthesis and chlorophyll fluorescence of Chinese cabbage in response to high temperature. Korean J Hortic Sci Technol 32:318-329. (in Korean) doi:10.7235/hort.2014.13174
- Oh S.J., and S.C. Koh 2004, Photochemical efficiency and *psb-A* gene expression of *Crimum* leaves under natural environmental stress in winter. J Environ Sci 13:359-365. (in Korean) doi:10.5322/JES.2004.13.4.359
- Oh S.T., and N.H. Lee 2000, Estimation of reference crop evapotranspiration in the greenhouse. Proc Korean Soc Agric Eng Conf 10a:193-199. (in Korean)
- Ohkawa H., and G. Hayashi 1996, Production of high soluble solids tomato by hydroponics used for capillary mat and root restriction sheet. J Jpn Soc Hortic Sci 65:366-367.
- Okunlola G.O., A.A. Adelusi, E.D. Olowolaju, O.M. Oseni, and G.L. Akingboye 2015, Effect of water stress on the growth and some yield parameters of *Solanum lycopersicum* L. Int J Biol Chem Sci 9:1755-1761. doi:10.4314/ijbcs.v9i4.2
- Park E.J., Y. Heo, B.G. Son, Y.W. Choi, Y.J. Lee, Y.H. Park, J.M. Suh, J.H. Cho, C.O. Hong, S.G. Lee, and J.S. Kang 2014, The influence of abnormally low temperatures on growth and yield of hot pepper (*Capsicum Annum* L.). J Environ Sci 23:781-786. (in Korean) doi:10.5322/JESI.2014.5.781
- Park S.K., Y.H. Lee, Y.B. Lee, K.M. Yu, D.H. Lee, and S.Y. Choi 2003, Effects of irrigation amount on growth and yield in cucumber fertilization. Korean J Hortic Sci Technol 21(Suppl II):51. (in Korean)
- Rural Development Administration (RDA) 2000, Analyses of soil and plant. RDA, Suwon, Korea. (in Korean)
- Rural Development Administration (RDA) 2018, Cucumber-Agricultural technology guide 107. RDA, Jeonju, Korea, pp 24-25, 91. (in Korean)
- Seo Y.J., B.S. Kim, J.P. Lee, J.S. Kim, K.C. Park, C.G. Park, Y.S. Ahn, and S.W. Cha 2015, Effects of soil water potential and nitrogen fertilization on characteristics of photosynthesis and chlorophyll fluorescence induction in *Schisandra chinensis* Baillon. Korean J Soil Sci Fert 48:705-711. (in Korean) doi:10.7745/KJSSF.2015.48.6.705
- Seo Y.J., J.S. Kim, C.Y. Kim, S.D. Park, and M. Park 2008, Effect of sodium in artificial substrate on the growth, gas exchange and leaf water status of cucumber (*Cucumis sativa* L.) and Korea melon (*Cucumis melo* L.). Korean J Soil Sci Fert 41:177-183. (in Korean)
- Yuan B.Z., S. Nishiyama, and Y. Kang 2003, Effects of different irrigation regimes on the growth and yield of drip-irrigated potato. Agric Water Manag 63:153-167. doi:10.1016/S0378-3774(03)00174-4