

ORIGINAL ARTICLE

토양 건조 스트레스와 기온상승에 의한 고추의 생리반응 및 생산량 변화

이상규 · 이희주* · 김성겸 · 문보흠 · 이진형 · 이희수 · 도경란¹⁾

농촌진흥청 국립원예특작과학원 채소과, ¹⁾농촌진흥청 국립원예특작과학원 과수과

Influence of Drought and High Temperature on the Physiological Response and Yield in Hot Pepper

Sang Gyu Lee, Hee Ju Lee*, Sung Kyeom Kim, Bo heum Mun, Jin Hyoung Lee,
Hee Su Lee, Kyung Ran Do¹⁾

¹⁾Vegetable Research Division, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Wanju 55365, Korea

²⁾Fruit Research Division, National Institute of Horticultural and Herbal Sciences, Suwon 16341, Korea

Abstract

This study was conducted to determine the effects of combination of air temperature and soil water content on the growth, physiological disorder rate, and yield of hot peppers. The study was carried out in a typical plastic house (open on one side and with ventilation fans on the other side), which was maintained with gradient air temperature (maximum difference in air temperature: 6°C). The deficit irrigation (DI) treatment commenced 65 days after transplanting. The height of plant and fresh and dry weights of the stem increased at high air temperature (ambient + 6°C, extreme high temperature; EHT). Furthermore, the leaf area decreased significantly with the DI treatment. There were no significant differences in the stem diameter, number of branches, and fresh and dry weights of the leaves among all the treatments. The net photosynthesis rate of the full irrigation (FI) treatment was higher than that of the DI treatment. The photosynthesis rate at ambient air temperature was 19.7 $\mu\text{mol CO}_2\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, the highest among all the treatments; however, the photosynthesis rate of the EHT treatment decreased by 60% (12.3 $\mu\text{mol CO}_2\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). Additionally, the formation of guard cells in the leaf was abnormal with the EHT treatment, and there was a decrease in translocation efficiency. The effects of air temperature treatment were more pronounced on the physiological disorder rate and yield. The physiological disorder rate of the EHT treatment was the highest under the DI treatment condition. The yield of the AFI (ambient air temperature with full irrigation) treatment was 3,771 kg/10a, the highest among all the treatments; however, the yield of the EHT treatment with DI and FI was 1,282 and 1,327 kg/10a, respectively. These results indicate that growth and physiological disorder rate improved with the EHT treatment; however, there was a decrease in yield. Furthermore, the formation of guard cells was abnormal and malfunctional.

Key words : *Capsicum annum* L., Chlorophyll, Deficiency irrigation, Photosynthesis, Soil moisture, Stomatal conductance

Received 26 January, 2018; Revised 26 February, 2018;

Accepted 15 March, 2018

*Corresponding author: Hee Ju Lee, Vegetable Research Division, National Institute of Horticultural & Herbal Sciences, Wanju 55365, Korea.

Phone : +82-63-238-6661

E-mail : perpetuaa@korea.kr

The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

지구의 온도는 화석연료의 사용 증가 등으로 지난 100년간 꾸준히 증가하여 약 0.7°C 상승하였는데 1980년 이후 온도 상승속도는 2배 이상 빠르게 진행 중에 있고, 우리나라의 온도 상승은 지구의 상승보다 훨씬 큰 것으로 발표되고 있다 (IPCC, 2013). 따라서 온난화의 주범인 온실가스 배출을 규제하지는 대책이 발표되었으며 이산화탄소의 배출을 제한하기 위하여 탄소거래권 제도 도입 등 다양한 방법으로 지구 환경을 보전하기 위한 각국의 대책이 발표되고 있다. 우리나라도 기후변화시나리오인 RCP 8.5 (representative concentration pathway)를 선택하여 환경 영향 평가를 수행하고 있다. RCP 8.5 조건은 2100년이 되면 온도가 현재보다 약 6.0°C 상승하고, 이산화탄소 농도는 940 ppm 으로 높아지며 강수량이 현재보다 20.4% 증가한다는 가상 시나리오이다. 따라서 농업분야에서도 RCP 8.5 조건 시에 작물별로 어떤 영향을 받게 되는 지에 대한 다양한 연구가 필요하다. 고추 (*Capsicum annuum* L.)는 양념채소의 중요한 재료로 사용되고 있으며 생산액이 1조원에 달할 정도로 농가 소득원으로써 중요한 작물이고, 1인당 연간 소비량이 3.4 kg 에 달한다 (KOSTAT, 2017). 우리나라에서 고추는 온도가 높은 여름철에 노지에서 대부분 생산되고 있기 때문에 기상조건의 영향을 크게 받아 이상기상 발생시 생산량이 크게 감소하여 가격이 폭등하게 된다

(Menzel, 2000; Hwang and Tae, 2001). 특히 지구온난화로 인한 여름철 고온과 집중호우, 가뭄 등 불규칙적인 기상조건은 고추 생산량 감소의 주 원인이다 (Smittle et al., 1994; Hwang et al., 2010). 고추의 광합성에 적합한 온도는 $25\sim 30^{\circ}\text{C}$ 로 다른 채소작물에 비해서 비교적 높은 편이고, 생육에 적합한 온도는 24°C 범위이지만(Lee et al., 2008), 30°C 이상의 고온에서도 생육이 지연되며 화분의 임성이 떨어진다 (Pagamas and Nawata, 2008)고 알려져 있다. 또한 토양의 수분 부족은 염류 농도를 상대적으로 증가시키며 수분 및 염류 스트레스를 받은 고추의 뿌리는 생장이 저해되고 잎의 크기가 줄어든다 (De Pascale et al., 2003).

따라서 본 실험은 고추재배 시 외기대비 온도가 지속적으로 고온이고, 생육중기 이후부터 건조조건이 되었을 때 고추의 생리적인 반응과 수량에 미치는 영향을 분석하고자 실시하였다.

2. 재료 및 방법

시험재료는 슈퍼마니파 (cv. 'Super Manita', Nongwoo Bio Co., Suwon, Korea) 고추품종이었고, 파종은 2월 6일에 하였다. 종자는 72공 플러그트레이에 바이오상토 1호 (Hungnong seed co., Seoul, Korea)를 채우고 1셀당 2립씩 파종하였고, 발아 후에 1주씩 남기고 솟아 주었다. 정식은 고추 1화방이 개화하기 전인 파종후 80일경인 4월 24일 온도차하우스 (길이 25 m, 폭 2 m)

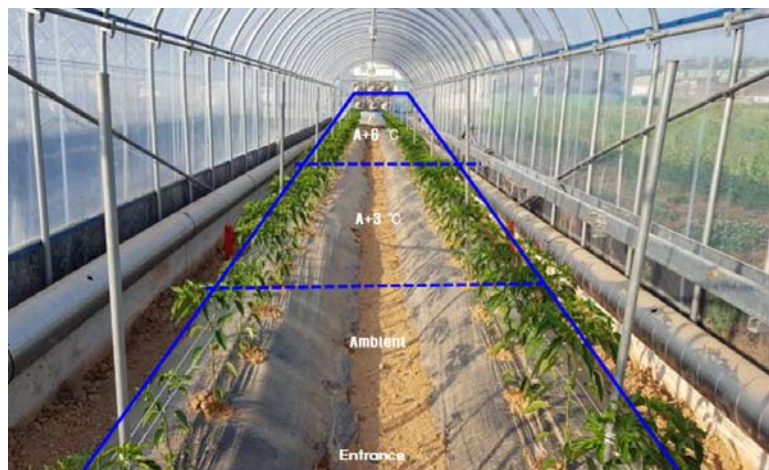


Fig. 1. The status of air temperature in a plastic tunnel. The letter 'A' is a ambient temperature.

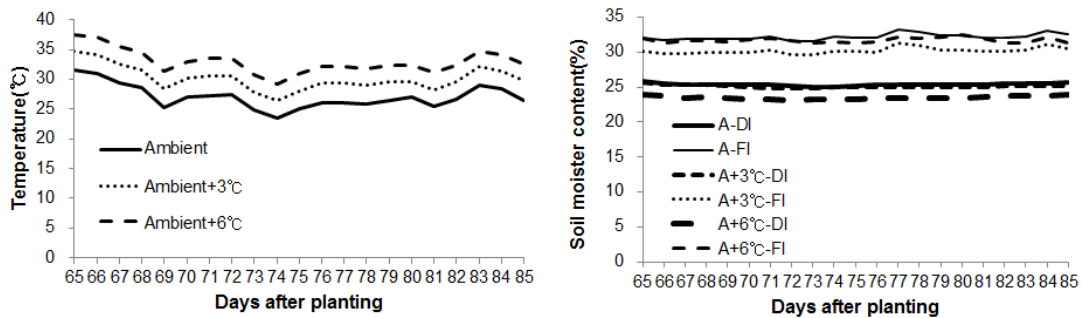


Fig. 2. Changes in air temperature (A) and soil moisture contents (B) in a gradient temperature plastic tunnel. The letter 'A', 'DI', and 'FI' represents ambient, deficiency irrigation, and fully irrigation, respectively.

에 주간거리 40 cm 간격으로 정식하였고, 과실 수확은 6월 26일부터 10월 10일까지 하였다. 온도는 외기 (Ambient)를 기준으로 중앙부는 외기보다 3°C (A+3°C), 안쪽부에서는 6°C (A+6°C) 높게 유지 (Fig. 1) 되도록 복합환경제어시스템 (CR-1000과 SDM-CD16, Campbell Sci. Co., USA)을 이용하여 제어하였다 (Fig. 2A). 토양수분은 생육중기 (정식후 65일)부터 수확종료시까지 점적호수를 사용하여 적습처리 (FI; Fully Irrigation, 30-33%)와 건조처리 (DI; Deficiency Irrigation, 23-25%)를 하였다(Fig. 2B).

2.1. 생육 및 수량특성 조사

고추의 생육은 초장, 경경, 엽면적, 생체중, 건물중 등을 정식후 147일에 조사하였고, 엽록소 함량은 엽록소함량 측정기 (SPAD 502, Minolta Co. Ltd., Osaka, Japan)를 사용하여 SPAD 값을 측정하였다. 광합성특성은 광합성측정기 (Li-6400XT, LI-COR Inc., NE, USA)를 사용하여 정식 후 124일에 측정하였는데, 성장점에서 8~10번째 잎중 햇빛을 바라보는 잎을 대상으로 하여 측정하였다. 측정시 온도는 25°C, 광량은 1,000 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, CO₂ 농도는 400 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 으로 하였다. 뿌리의 활력은 흡광광도계를 사용하여 측정하였다. 고추 적과 수량은 6주를 대상으로 최종 수확시까지 수확과수, 과중을 조사하였고, 병과, 열과 등 비정상과수를 별도로 조사하였다. 소과의 기준은 과장이 5 cm 미만인 과실을 대상으로 조사하였다. 수확까지 소요일수는 3회에 걸쳐서 개화일을 표시한 후 적과가 될 때까지 소요된 일자를 계산하였다.

2.2. 엽육조직 및 기공 형태적 관찰

고추의 엽육조직 관찰은 처리별로 앞(2×3 mm² leaf strips)을 채취하여 1차 고정액 2.5% glutaraldehyde 에서 90분간 고정을 위한 처리, 0.1M phosphate buffer (pH 7.2)로 15분 간격 4~5회 세척, 2차 고정 1% osmium tetroxide 90분간 처리, 위와 동일한 세척 과정 후 하룻밤을 침지시켰다. 탈수는 상온에서 40, 60, 80, 90, 95% ethanol로 각각 5분씩, 100% ethanol로 5분, 15분, 15분, 30분간 처리로 이루어졌으며 propylene oxide로 치환 후 최종적으로 epon에 포매 (embedding)하여 60°C의 항온기에서 4일간 중합시켰다. 중합된 epon block을 초미세절편기 (Ultracut R, Leica Co., North Ryde, Australia)를 이용하여 1,500 nm의 두께로 시료를 절단하여 P.A.S. 염색법으로 염색한 후 광학현미경 (Axioskop 2, Carl Zeiss Co., Oberkochen, Germany)으로 검경하였다 (Chang, 1973; Dorange and Penneec, 1989). 기공의 형태학적 검경을 위한 SEM 시료 전처리 과정의 고정탈수는 상기 엽육조직 관찰 전처리 과정과 동일하며 iso-amylacetate로 40분간 2회 치환하여 CPD (Critical Point Dryer)로 임계 건조시켜 시료대에 고정, Ion-Sputter (MC1000; Hitachi, Tokyo, Japan)로 gold coating하여 SEM (SU-3500, Hitachi, Japan)으로 검경하였다(Clement et al., 1994).

2.3. 통계처리

실험 처리구는 완전임의배치 3반복으로 두었다. 재배환경 조건인 온도처리 그리고 토양수분 결핍 처리의 2요인 분산분석을 하였다. 그리고 각 처리구별 생장

Table 1. Growth of Hot Pepper as affected after transplanting 147 days by drought and high temperature

Soil moisture (A)	Temperature (B)	Plant height (cm)	Stem diam. (mm)	No. of branch (ea)	Leaf area (cm ² /plant)	Chlorophyll (SPAD)	Fresh wt.(g/plant)		Dry wt. (g/plant)	
							Leaf	Stem	Leaf	Stem
Fully irrigation	Ambient	181ab ^z	19.5a	21.7a	19,709a	73.0a	469a	705ab	106a	167ab
	Ambient+3°C	177ab	19.0a	22.0a	24,794a	60.2a	490a	829ab	106a	178ab
	Ambient+6°C	193a	20.5a	24.0a	27,923a	52.3a	522a	1,023a	113a	255a
Deficiency irrigation	Ambient	149b	18.9a	19.7a	15,886a	68.9a	313a	525b	80a	126b
	Ambient+3°C	179ab	19.8a	22.7a	16,228a	57.9a	376a	677ab	94a	152ab
	Ambient+6°C	190a	19.2a	22.3a	18,286a	54.7a	370a	819ab	90a	194ab
Significance ^y										
A		ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
B		ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns
A × B		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at P = 0.05

^yNS, *, **, and *** Nonsignificant or significant at P ≤ 0.1, 0.05, and 0.01 by 2-way factorial analysis, respectively.

요인들과 수량에 대해 Duncan의 다중 검정을 실시하였다. 통계처리는 SAS 프로그램 (SAS 9.2, SAS Institute Inc., NC, USA)을 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

고추 정식 후 147일의 생육특성은 초장은 적습구와 건조구의 외기보다 6°C 고온처리구가 193 cm와 190 cm로 컸으며, 줄기의 생체중과 건물중은 적습처리의 6°C 고온처리가 건조의 외기온도 처리구에 비해서 컸지만 경경, 분지수, 엽생체중 및 엽건물중은 처리간 유의성이 없었다 (Table 1). 엽면적은 적습처리구가 건조처리구에 비해서 컸으며 엽록소함량은 온도가 낮았던 외기처리구가 온도가 높았던 처리구보다 높은 것으로 나타났다. 이와같은 결과는 고추는 온도가 증가함에 따라 초장이 증가하였고 (Song et al., 2015), 관수결핍 처리시에 초장, 경경, 생체중 및 건물중이 정상적인 관수처리구에 비해 감소하였다 (Ahmed et al., 2014; Lee et al., 2015)는 결과와 유사하였다. 또한 고추 엽면적은 24일, 30일간 관수를 하지 않은 처리구가 충분히 관수한 처리구에 비해서 각각 60과 68% 정도였다는 결과 (Anjum et al., 2012)와 유사하였다. 피망 (Lim et al., 1997a)과 토마토 (Lim et al., 1997b)에서

일평균 온도가 증가함에 따라서 엽수나 유묘의 건물중이 증가하였다는 결과와도 유사하다.

광합성속도는 토양수분 적습처리구가 건조처리구보다 높았고, 특히 적습처리의 외기처리구가 19.74 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로써 가장 높았으며 건조의 6°C 고온처리구가 12.34 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로써 적습처리의 외기보다 60% 정도 낮았다. 기공확산은 적습구의 외기와 적습구의 3°C 고온처리구가 각각 0.65, 0.64 $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 컸으며 건조구의 6°C 고온처리구가 0.3 $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 작았다. 또한 기공전도도도 기공확산과 유사하게 적습구의 외기와 적습구의 3°C 고온처리구가 컸고, 건조구의 6°C 고온처리구가 작았다. 엽육내 이산화탄소 농도는 적습구와 건조구 모두 3°C 고온구가 높은 경향을 보였지만 통계적인 유의성은 없었다. 이것은 RCP 8.5조건 (외기보다 온도 6°C, CO₂ 농도 940 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$, 강수량 20.4% 증가 조건)에서 재배된 고추의 경우 대기조건에서 재배된 고추보다 광합성능력이 24% 정도가 떨어졌다는 보고 (Lee et al., 2017)와 유사하다.

뿌리활력은 적습구가 건조구보다 높았고, 특히 적습구의 6°C 고온처리구가 가장 높았으며 건조구의 외기 처리구가 가장 낮았다. 꽃이 핀 후 수확까지 소요일은 적습구의 외기 처리구가 49일이 소요되어 가장

Table 2. Photosynthesis of Hot Pepper as affected after transplanting 124 days by drought and high temperature

Soil moisture (A)	Temperature (B)	Net photosynthesis ($\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Stomatal conductance ($\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Ci ($\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$)	Trmmol ($\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
Fully irrigation	Ambient	19.74a ^Z	0.65a	294.09a	4.95a
	Ambient+3°C	16.83abc	0.64a	308.10a	4.63a
	Ambient+6°C	16.59abc	0.46ab	291.91a	3.96ab
Deficiency irrigation	Ambient	14.82bcd	0.46ab	303.09a	4.02ab
	Ambient+3°C	13.70cd	0.53ab	314.78a	3.92ab
	Ambient+6°C	12.34d	0.30b	293.28a	2.86b
Significance ^y					
A		*	*	ns	*
B		ns	ns	*	*
A × B		ns	ns	ns	ns

^ZMean separation within columns by Duncan's multiple range test at P = 0.05

^yNS, *, **, and *** Nonsignificant or significant at P ≤ 0.1, 0.05, and 0.01 by 2-way factorial analysis, respectively.

많이 걸렸으며 건조구의 6°C 고온처리구가 35일이 소요되어 가장 짧게 걸려 고온에 따른 수확소요일이 14일정도 빨라지는 것으로 나타났다. 과실의 과장, 과폭은 토양수분보다는 온도의 영향이 컸으며 적습구와 건조구 모두 외기온도 처리구가 6°C 고온처리구보다 큰 것으로 나타났다. 생육 기간 동안 고온 스트레스를 받은 고추 과실은 길이와 폭이 정상적으로 온도 관리한 고추의 과실에 비해 50% 정도 감소되었고 (Pagamas and Nawata, 2008), 고추는 수분 결핍에 민감한 작물

이기 때문에 가뭄기간이 길어질수록 과실의 생장은 크게 감소하였다 (Correia et al., 2001; Cabuslay et al., 2002)는 결과와 유사하였다.

주당 수확과수는 토양수분 조건보다는 온도의 영향이 컸는데, 건조구의 3°C 고온처리구가 가장 많았고, 외기, 6°C 고온처리구 순이었으며 주당 과중은 외기처리구가 가장 컸고, 3°C, 6°C 고온처리구 순으로 온도가 높을수록 작았고, 평균과중 역시 온도가 높았던 6°C 고온처리구가 작았다. 고추 수량은 토양수분보

Table 3. Root activity and Harvest day of Hot Pepper as affected by drought and high temperature

Soil moisture (A)	Temperature (B)	Root activity (ab. 420nm)	Harvest day	Fruit length (cm)	Fruit width (mm)
Fully irrigation	Ambient	0.445ab ^Z	49b	10.6a	14.9a
	Ambient+3°C	0.391abc	41ab	10.8a	12.9b
	Ambient+6°C	0.542a	41ab	8.5b	12.6b
Deficiency irrigation	Ambient	0.166d	41ab	11.4a	14.7a
	Ambient+3°C	0.289bcd	42ab	9.7ab	13.0bc
	Ambient+6°C	0.257cd	35a	8.0b	11.9c
Significance ^y					
A		***	*	ns	ns
B		ns	*	**	***
A × B		ns	ns	ns	ns

^ZMean separation within columns by Duncan's multiple range test at P = 0.05

^yNS, *, **, and *** Nonsignificant or significant at P ≤ 0.1, 0.05, and 0.01 by 2-way factorial analysis, respectively.

Table 4. Fruit weight and Marketable yield and Harvest day of Hot Pepper as affected by drought and high temperature

Soil moisture	Temperature	Harvest No.	Fruit weight	Average weight	Yield ^z	Marketable rate ^y	Marketable yield	Yield index
(A)	(B)	(ea/plant)	(g/plant)	(g/fruit)	(kg/10a)	(%)	(kg/10a)	
Fully irrigation	Ambient	150.7b ^x	1,396.8a	9.27a	3,771a	83.6	3,152a	100
	Ambient+3°C	108.5cd	929.8b	8.57a	2,510b	74.0	1,857b	58.9
	Ambient+6°C	96.0cd	475.0c	4.95b	1,282c	46.5	596c	18.9
Deficiency irrigation	Ambient	113.8c	1,089.2ab	9.57a	2,940ab	86.9	2,554ab	81.0
	Ambient+3°C	174.7a	953.5b	5.46b	2,574b	63.2	1,626b	51.5
	Ambient+6°C	89.0d	491.5c	5.52b	1,327c	41.0	544c	17.2
Significance ^w								
A		ns	ns	ns	ns		ns	
B		***	***	**	***		***	
A × B		***	ns	ns	ns		ns	

^zYield : 2,700 plant/10a (planting distance 90 cm×40 cm) × Fruit weight

^yMarketable rate : Harvested fruit except small size (fruit length under 5 cm), diseased fruit, cracking fruit

^xMean separation within columns by Duncan's multiple range test at P = 0.05

^wNS, *, **, and *** Nonsignificant or significant at P≤0.1, 0.05, and 0.01 by 2-way factorial analysis, respectively.

다는 온도의 영향이 큰 것으로 나타났는데, 적습구의 외기처리구가 3,771 kg/10a 로 가장 컸으며 적습구와 건조구의 6°C 고온처리구가 각각 1,282와 1,327 kg/10a 로 가장 작아 온도가 높아질수록 크게 감소하는 것으로 나타났다. 상품수량 역시 적습구와 건조구의 6°C 고온처리구에서 크게 감소하여 수량지수가 적습구의 외기처리구 대비 적습구와 건조구의 6°C 고

온처리구가 각각 18.9와 17.2로 크게 낮았다. 고추에서 온도가 35°C 까지는 온도가 증가함에 따라 생육은 촉진될 수 있으나 그 이상 고온에서는 수량 감소 (Heo et al., 2013), 과실품질이 저하 (Song et al., 2015) 된다는 결과와 유사하였다. 고추재배시 토양의 수분 함수량이 감소할수록 고추의 상품과수와 중량이 감소하였고 (Abayomi et al., 2012), 관수결핍 처리구에서

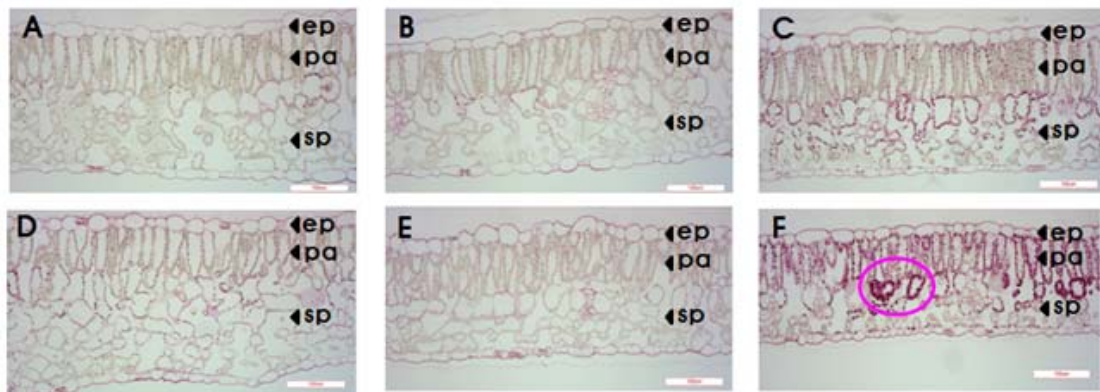


Fig. 3. The leaf of Hot pepper observed through light microscope (bar represent 100 μm) as affected by drought and high temperature. A, Ambient-Fully irrigation; B, Ambient+3°C-Fully irrigation; C, Ambient+6°C-Fully irrigation; D, Ambient-Deficiency irrigation; E, Ambient+3°C-Deficiency irrigation; F, Ambient+3°C-Deficiency irrigation. ep: epidermal, pa: palisade, sp: spongy parenchyma.

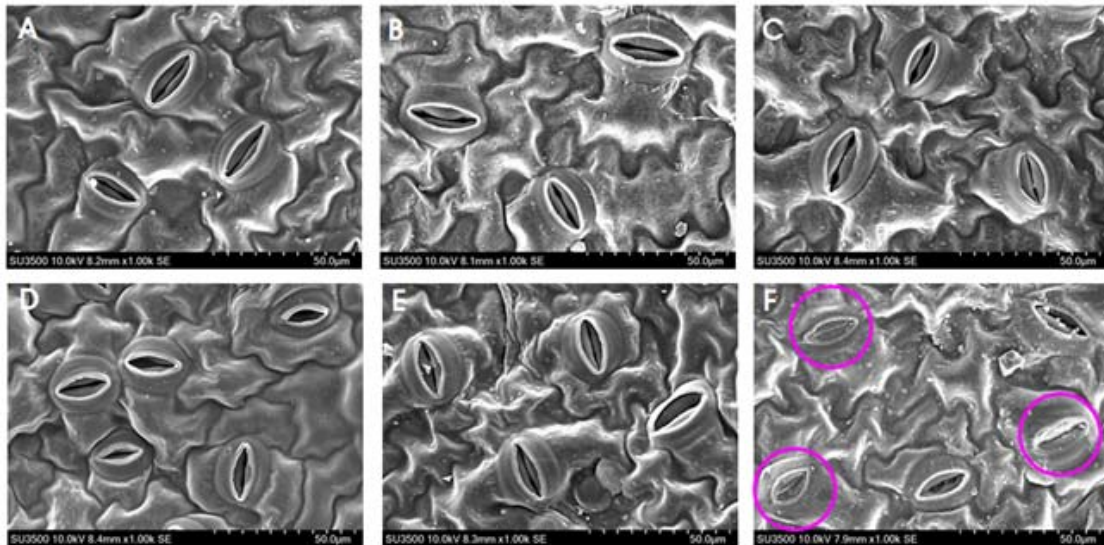


Fig. 4. The Guard cell Hot pepper observed through light microscope (bar represent 50 μm) as affected by drought and high temperature. A, Ambient-Fully irrigation; B, Ambient+3 $^{\circ}\text{C}$ -Fully irrigation; C, Ambient+6 $^{\circ}\text{C}$ -Fully irrigation; D, Ambient-Deficiency irrigation; E, Ambient+3 $^{\circ}\text{C}$ -Deficiency irrigation; F, Ambient+3 $^{\circ}\text{C}$ -Deficiency irrigation.

고추의 고형 단백질의 함량은 늘어났지만 수량은 감소하였다 (Anjum et al., 2012)는 결과와 일치 하였다. 또한 고추에서 고온조건과 20일 이상 관수를 하지 않은 처리구는 대조구 대비 수량이 약 42% 수준으로 낮았다 (Lee et al., 2015)는 보고와도 유사하였다.

고추 잎의 조직을 광학현미경으로 관찰한 결과는 Fig. 3과 같다. 적습구와 건조구의 외기처리구는 정상적인 조직형태를 보였지만 6 $^{\circ}\text{C}$ 고온처리구에서는 율타리조직이 단층으로 구성되어 두께가 얇았고, 조직이 치밀하였으며 저장 양분 (분홍색-전분양임)이 많이 남아 있었다. 이것은 고온처리구에서 광합성능력도 떨어졌지만 탄수화물 전류가 정상적으로 되지 않았기 때문으로 생각되지만 이에 대해서는 추후 연구가 더 필요하다.

고추 잎의 기공을 관찰한 결과, 기공수는 처리별로 차이가 없었으나, 공변세포를 보면 건조구의 6 $^{\circ}\text{C}$ 고온 처리구가 다른 처리와 다르게 기공이 정상적이지 못하고 공변세포의 팽압이 낮아져 변형이 되어 있었다 (Fig. 4). 이것은 세포의 발생 및 신장에 수분의 역할이 중요하게 관여하여 관수 결핍시 세포내 수분 결핍으로 이어져 잎, 과실 등의 작물 기관의 발달 등을 저해

(Tadesse, 1997; Sayyari and Ghanbari, 2012) 한다는 내용과 유사하였다. 또한 공변세포가 다른 세포조직과 다르게 두꺼운 큐티클층이 없어서 수분부족시 직접적으로 수분이 빠져 나갔기 때문으로 생각되며, 공변세포는 부피가 줄어들게 되며 한계에 도달하기 전에 잎의 기공을 닫아서 팽압을 유지하게 된다 (Mansfield and Atkinson, 1990). 또한 가뭄 스트레스에 의해 공변세포에서 K^+ 방출이 빠르게 되지 않기 때문에 기공을 닫을 수 없어 위태롭게 된다 (Sergey and Pottosin, 2014). 칼륨(K^+) 흡수는 건조 스트레스에 의해서 감소 (Hu and Schmidhalter, 2005)하고, 이러한 감소는 토양내 K의 이동성, 증산률 감소와 뿌리 세포막 수송 활성의 저해에 의한 것 (Hu and Schmidhalter, 2005; Hu et al., 2013)으로 생각된다.

4. 결론

고추를 대상으로 온도는 정식부터 수확까지 외기보다 3 $^{\circ}\text{C}$, 6 $^{\circ}\text{C}$ 고온조건 및 토양수분을 생육중기 이후인 정식후 65일부터 수확시까지 건조처리를 한 후 생리장애 발생과 수량에 미치는 영향을 구명하고자 실험을 실시하였다. 그 결과, 초장과 줄기의 생체중 및

건물중은 외기보다 6℃ 고온처리구가 컸고, 엽면적은 적습처리구가 건조처리구에 비해서 컸으며 엽록소함량은 온도가 낮았던 외기처리구가 온도가 높았던 처리구보다 높은 것으로 나타났다. 그러나 경경, 분지수, 엽생체중 및 엽건물중은 처리간 유의성이 없었다. 광합성속도는 토양수분 적습처리구가 건조처리구보다 높았고, 특히 적습처리의 외기처리구가 19.74 $\mu\text{mol CO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 로써 가장 높았으며 건조의 6℃ 고온처리구가 12.34 $\mu\text{mol CO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 로써 60% 정도 낮았다. 기공확산과 기공전도도는 적습구의 외기와 적습구의 3℃ 고온처리구가 각각 0.65, 0.64 $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 컸으며 건조구의 6℃ 고온처리구가 0.3 $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 작았다. 주당 수확과수는 토양수분 조건보다는 온도의 영향이 컸는데, 건조구의 3℃ 고온처리구가 가장 많았고, 외기, 6℃ 고온처리구 순으로 적었으며 주당 과중은 외기처리구가 가장 컸고, 3℃, 6℃ 고온처리구 순으로 작았고, 평균과중 역시 온도가 높았던 6℃ 고온처리구가 작았다. 고추 수량은 토양수분보다는 온도의 영향이 큰 것으로 나타났는데, 적습구의 외기처리구가 3,771 kg/10a 로 가장 컸으며 적습구와 건조구의 6℃ 고온처리구가 각각 1,282와 1,327 kg/10a 로 가장 작아 온도가 높아질수록 크게 감소하는 것으로 나타났다. 잎의 현미경 관찰결과 고온처리구에서 광합성산물의 전류가 정상적으로 되지 않았고, 공변세포 조직이 6℃ 고온구에서 정상적인 형태를 갖추지 못하고 있었다. 따라서 외기온도보다 6℃ 고온시에 생육은 촉진되지만 수량이 감소하고 세포조직의 비정상상을 초래하는 것으로 나타났다. 따라서 기후변화는 지속적으로 일어날것으로 생각되며 현재 재배되고 있는 채소 품종으로는 안정적인 생산량 확보가 곤란하므로 새로운 품종 개발 및 피해경감 기술 개발이 이루어져야 할 것으로 생각된다.

감사의 글

본 성과물은 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호: PJ012666)의 지원에 의해 이루어진 것임.

REFERENCES

- Abayomi, Y. A., Aduloju, M. O., Egbewunmi, M. A., Seleiman, B. O., 2012, Effects of soil moisture contents and rates of NPK fertilizer application on growth and fruit yields of pepper (*Capsicum spp.*) genotypes, *Intl. J. Agr. Sci.*, 2, 651-663.
- Ahmed, A. F., Yu, H., Yang, X., Jiang, W., 2014, Deficit irrigation affects growth, yield, vitamin C content, and irrigation water use efficiency of hot pepper grown in soilless culture, *HortScience*, 49, 722-728.
- Anjum, S. A., Farooq, M., Xie, X., Liu, X., Ijaz, M. F., 2012, Antioxidant defense system and proline accumulation enables hot pepper to perform better under drought, *Sci. Hortic.*, 140, 66-73.
- Cabuslay, G. S., Ito, O., Alejal, A. A., 2002, Physiological evaluation of responses of rice (*Oryza sativa* L.) to water deficit, *Plant Sci.*, 63, 815-827.
- Chang, S. C., 1973, Compounding of Luft's epon embedding medium for use in electron microscopy with reference to anhydride: Epoxide ratio adjustment, *Mikroskopie*, 29, 337-342.
- Clément, C., Chavant, L., Burrus, M., Audran, J., 1994, Anther starch variations in *Lilium* during pollen development, *Sex. Plant Reprod.*, 7, 347-356.
- Correia, M. J., Coelho, D., David, M. M., 2001, Response to seasonal drought in three cultivars of *Ceratonia siliqua*; leaf growth and water relation, *Tree Physiol.*, 21, 645-653.
- De Pascale, S., Ruggiero, C., Barbieri, G., Maggio, A., 2003, Physiological responses of pepper to salinity and drought, *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 128, 48-54.
- Dorange, G., Le Penec, M., 1989, Ultrastructural characteristics of spermatogenesis in *Pecten maximus* (Mollusca: Bivalvia), *Invertbr. Reprod. Dev.*, 15, 109-117.
- Heo, Y., Park, E. G., Son, B. G., Choi, Y. W., Lee, Y. J., Park, Y. H., Suh, J. M., Cho, J. H., Hong, C. O., Lee, S. G., Kang, J. S., 2013, The Influence of Abnormally High Temperatures on Growth and Yield of Hot pepper (*Capsicum annum* L.), *J. Agriculture & Life Sci.*, 47, 9-15. (in Korea with English abstract)
- Hu, L. X., Wang, Z. L., Huang, B. R., 2013, Effects of cytokinin and potassium on stomatal and photosynthetic recovery of Kentucky bluegrass from drought stress, *Crop Sci.*, 53, 221 - 231
- Hu, Y. C., Schmidhalter, U., 2005, Drought and salinity: A Comparison of their effects on mineral nutrition of

- plants, *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 168, 541 - 549.
- Hwang, J. M., Tae, G. S., 2001, Changes in the growth of red pepper (*Capsicum annuum* L.) and soil moisture according to irrigation and cultivating methods, *Hortic. Environ. Biotechnol.*, 42, 295-299.
- Hwang, S. M., Kwon, T. R., Doh, E. S., Park, M. H., 2010, Growth and physiological adaptations of tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill) in response to water scarcity in soil, *J. Bio-Environ. Con.*, 19, 266-274.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2013, Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of working group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- KOSTAT statistics Korea, 2017, Crop production statistics., <http://www.kosis.kr>. Accessed 30 August 2017.
- Lee, H. J., Lee, S. G., Choi, C. S., Kim, J. H., Kim, S. K., Jang, Y. A., Lee, S. J., 2015, Influence of Air Temperature and Soil Moisture Conditions on the Growth and Yield of Hot Pepper under a Plastic Tunnel Culture, *J. Environ. Sci. Intl.*, 24, 623-631.
- Lee, J. H., Nasanjargal, T., Choi, K. Y., Lee, Y. B., 2008, Effects of shading on photosynthetic response and growth characteristics in hydroponics for wasabi leaf production, *J. Bio-Environ. Con.*, 17, 9-13.
- Lee, S. G., Kim, S. K., Lee, H. J., Lee, H. S., Lee, J. H., 2017, Impact of moderate and extreme climate change scenarios on growth, morphological features, photosynthesis, and fruit production of hot pepper, *Ecol. Evol.*, 8, 197-206.
- Lim, K. B., Son, K. C., Chung, J. D., 1997a, Influences of difference between day and night temperature (DIF) on growth and development of bell pepper plants before and after transplanting, *J. Bio. Fac. Env.*, 6, 15-25.
- Lim, K. B., Son, K. C., Chung, J. D., 1997b, Influences of DIF on growth and development of plug seedlings of *Lycopersicon esculentum* before and after transplanting, *J. Bio. Fac. Env.*, 6, 34-42.
- Mansfield, T. A., Atkinson, C. J., 1990, Stomatal behavior in water stress plants, In: Alscher, R.G., Cummings (eds), *Stress responses in Plants: Adaptation and Acclimation Mechanisms*, New York: Wiley-Liss, 241-264.
- Menzel, A., 2000, Trends in phenological phases in Europe between 1951 and 1996, *Int. J. Biometeorol.*, 44, 76-81.
- Pagamas, P., Nawata, E., 2008, Sensitive stages of fruit and seed development of chili pepper (*Capsicum annum* L. var. Shishito) exposed to high-temperature stress, *Sci. Hortic.*, 117, 21-25.
- Sayyari, M., Ghanbari, F., 2012, Effects of super absorbent polymer A200 in the growth, yield and some physiological responses in sweet pepper (*Capsicum annum* L.) under various irrigation regimes, *Intl. J. Agr. Food Res.*, 1, 1-11.
- Sergey, S., Pottosin, I., 2014, Regulation of potassium transport in plants under hostile conditions: implications for abiotic and biotic stress tolerance, *Physiol. Plant*, 151, 257-279.
- Smittle, D. A., Dickens, W. L., Stansell, J. R., 1994, Irrigation regimes affect yield and water use by bell pepper, *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 119, 936-939.
- Song, E. Y., Moon, K. H., Son, I. C., Wi, S. H., Kim, C. H., Lim, C. K., Oh, S. J., 2015, Impact of Elevating Temperature Based on Climate Change Scenarios on Growth and Fruit Quality of Red Pepper, *Kor. J. Agric. For. Meteorol.*, 17, 248-253.
- Tadesse, T., 1997, Some factors affecting the yield and quality of sweet pepper (*Capsicum annum* L.) cv. Domino, PhD thesis, Massey University, New Zealand.