

고온 및 침수에 의한 고추의 생육 및 생리적 반응에 미치는 영향

이희주·박성태·김성겸·최장선·이상규*

농촌진흥청 국립원예특작과학원 채소과

The Effects of High Air Temperature and Waterlogging on the Growth and Physiological Responses of Hot Pepper

Hee Ju Lee, Sung Tae Park, Sung Kyeom Kim, Chang Sun Choi, and Sang Gyu Lee*

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

*Corresponding author: sanggyul@korea.kr

Abstract

This study was conducted to investigate the effects of waterlogging on the net photosynthetic rate, root activity and fruit yield of hot pepper. Plants were grown in two greenhouses: extractor fans and side ventilators began to operate when the inside temperature reached 25°C in one greenhouse and 35°C in the other. Waterlogging treatments were performed 54 days after transplanting (when fruit setting at the second flower truss was complete). The plot in each greenhouse was divided into five sections, and each section was watered for 0, 12, 24, 48 or 72 h using drip irrigation. Plants under 25°C and non - waterlogging treatment exhibited in the greatest growth among treatments. Plant growth generally decreased as the waterlogging period increased. The net photosynthetic rate was highest under non - waterlogging and 25°C treatment and lowest under 72 h waterlogging and 25°C treatment. The root activity decreased as the waterlogging period increased, except for plants under 72 h waterlogging treatment at 35°C. The number and weight of red pepper fruits per plant were highest under non - waterlogging treatment at 35°C. The greatest fruit yield was also observed under non - waterlogging treatment at 35°C, with production reaching 3,697 kg / 10a. At the appropriate temperature for hot pepper (25°C), yields were reduced by 25 - 30% under 12, 24 and 48 h waterlogging treatment compared to non - waterlogging treatment. These results indicate that longer waterlogging periods reduce the growth, net photosynthetic rate, root activity and yields of hot pepper. However, the net photosynthetic rate and stomatal conductance of hot pepper plants grown under 72 h waterlogging treatment recovered nine days after growth under normal growth conditions.

Additional key words: chlorophyll, fruit length, high temperature, normality, water - use efficiency

 OPEN ACCESS



Hortic. Sci. Technol. 35(1):69-78, 2017
<https://doi.org/10.12972/kjst.20170008>

pISSN : 1226-8763
 eISSN : 2465-8588

Received: May 24, 2016

Revised: September 13, 2016

Accepted: September 29, 2016

Copyright©2017 Korean Society for Horticultural Science.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution NonCommercial License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

본 성과물은 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호: PJ010136)의 지원에 의해 이루어진 것임.

서 언

고추는 우리나라 국민의 식생활에서 가장 널리 이용되는 조미채소 가운데 하나로 연중 소비량이 많아 국내 조미채소 생산 면적의 50%, 전체 채소 재배면적의 약 20%를 차지하는 중요한 경제 작물이다. 고추의 최근 재배면적은 36,120ha이고, 생산량은 85,068톤이며, 10a당 수량은 236kg로 2013년 대비 재배면적은 20.4%, 생산량은 27.8% 감소하였다(KOSTAT, 2015; Song et al., 2015). 김치의 주 재료로서 고추는 안정적인 생산과 공급이 중요한데, 풋고추는 대부분 시설내에서 재배되고 있지만 가공용 고추는 노지에서 재배(KOSTAT, 2015) 되기 때문에 토양 수분환경이나 기상에 따라 수량의 차이가 심한 작물이다(Lee et al., 2014). 고추는 강우가 많으면 습해와 더불어 역병과 탄저병의 피해가 심하고, 고온 건조하면 후기 착과가 불량하여 생산량이 감소된다. 강우 양상에 따른 근권부 침수는 고추의 생장과 수량에 많은 영향을 미치고(Hwang and Tae, 2001), 관수량은 과실의 크기나 과중과 밀접한 관계를 가진 것으로 보고되고 있다(Smittle et al., 1994; Hwang et al., 2010). 그리고 온도는 다양한 대사작용에 영향을 주는 인자이기 때문에 증일성 작물인 고추에 있어서 생육적온에 맞게 기온을 유지하는 것이 중요하나, 우리나라 여름철은 지나친 고온으로 인하여 고추의 생장을 저해하고 기형과 발생을 증가시켜 생산량을 감소시키는 문제가 있다(Lee et al., 2001; Heo et al., 2013). Song et al.(2015)은 고추 재배시 평년보다 2°C 증가된 조건에서 수확량이 증가하였으나 그 이상의 기온에서는 수확량이 감소되었다는 결과를 보고하였으며, Heo et al.(2013)은 초기 90일 동안 기온이 생육적온보다 5°C 증가하면 고추의 생장은 촉진되었으나 과실 수확량은 감소되었다고 하였다.

착색단고추에서도 여름철 기온상승이 생육적온 보다 크게 높아져 배꼽썩음과 발생, 병해충의 발생률 증가로 인하여 착과율과 과중이 감소하여 수량이 떨어졌다는 보고가 있었다(Lee et al., 2008). Heo et al. (2008)은 배추 결구시 강우일수의 증가는 토양내 수분을 증가시켜 포기 무게 저하로 생산량이 감소한다고 보고하였다. 이상기상에 따른 단기간 또는 장기간 침수가 광합성 특성, 근활력, 생육 및 수량에 미치는 영향에 대한 연구가 참외(Lee et al., 2004), 다섯 종의 고추속 작물(Ou et al., 2011; Ou and Zou, 2012), 고추유묘(Guh and Kuk, 1996a), 녹두(Ahmed et al., 2002), 보리(Pang et al., 2004) 등 여러 작물에서 보고되었고, 이는 잦은 이상기상에 따른 작물의 안정적인 생산을 위한 관심이 지속적으로 증가되고 있다는 것이다.

이처럼 주요한 환경 요인들은 작물의 생장에 중요한 영향을 미치므로 생육 단계별 적합한 환경조건이 충족되어야 하며 이를 만족하지 못할 경우 생육이 정지되거나 비정상적인 경향을 띤다. 최근 지구온난화로 인한 급격한 기온상승 및 이상기상 발생과 같은 기후변화가 가속화됨에 따라 식물의 지리적 분포와 생존을 분석하고 그 영향을 최소화하기 위한 다양한 방안 수립이 요구되고 있다(Heo et al., 2008; Kim et al., 2013). 또한 집약적 재배로 소득을 올리는 고추의 경우, 고온과 침수 피해양상을 파악하고 대처할 수 있는 적용기술을 체계화할 필요가 있다(Guh and Kuk, 1996b). 따라서, 본 실험은 여름철 고추재배시 집중 강우로 인하여 침수가 되었을 때 생리적인 피해를 주는 침수기간과 피해양상을 구명하고자 실시하였다.

재료 및 방법

실험 재료

공시재료는 ‘슈퍼마니따’ 고추(cv. ‘Super Manita’, Nongwoo Bio Co., Suwon, Korea)로 2015년 3월 4일에 72공 플러그 트레이에 시판용 경량상토인 바이오상토 1호(Hungnong seed co., Seoul, Korea)를 채우고 1셀당 2립씩 파종하여 유리온실내 온도를 25 - 30°C 유지하였고, 발아 후에 1주씩 남기고 솟아 주었다. 비가림 시설에 이랑폭을 150cm로 만든 후 점적호수를 이랑당 1줄로 설치하였고 흑색 폴리에틸렌 필름으로 멀칭한 후 파종 후 70일에 주간거리를 35cm로 하여 한줄로 정식하였다. 재배지 토양은 식양토이고, 고추재배를 처음하는 땅으로써 pH는 5.85, EC농도는 0.6mS·m⁻², 유기물 함량은 2.6%이다. 따라서 시비량은 고추 표준영양고본의 시설재배 기준량인 퇴비 200kg, 질소 : 인산 : 칼리를 10a당 22.5 : 6.4 : 10.1kg 으로 하여 질소와 칼리는 총시비량의 60%를 사용하고 인산은 전량기비로 하였다.

온도 및 침수 처리

비가림시설내 온도처리는 정식후 뿌리활착이 완료된 시점인 정식 2주후부터 173일간 하였으며, 하우스 1동은 적온구, 다른 1동은 고온구로 하였다. 처리방법은 적온구는 하우스내 중앙부에 온도 센서를 두어 온도가 25°C가 되면 자동으로 앞뒷면 환기팬 작동 및 측창이 열려서 환기가 되도록 하였고, 고온구는 35°C가 되어야 자동으로 환기팬 및 측창이 열리도록 설정하였다. 침수처리는 정식후 54일(정식후 2화방 착과가 완료된 시점)에 각 하우스를 5등분하여 무침수(0시간) 처리구와 침수(12, 24, 48 및 72시간) 처리구를 두고 1회 처리하였다. 구획 구분은 처리구간 사이를 1m간격을 두었으며 중간지점을 70cm 깊이로 판 후 비닐막을 설치하여 물이 다른 처리구로 이동하는 것을 막아 주었고 침수처리는 점적호스를 이용하여 처리시간동안 계속적으로 관수를 하였다(Fig. 1-A, B). 또한 집중호우로 인한 침수시 고추의 생리적 피해양상을 조사하기 위하여 30°C가 되면 자동으로 환기가 되는 유리온실에서 깊이 45cm, 직경 35cm의 화분에 70일묘를 정식하여 54일간 재배하여 착화 및 착과를 한 식물체를 지제부 상위 5cm 부위까지 완전히 잠기도록 하여 0.5 - 3일까지 침수처리후 광합성과 근활력을 측정하였다(Fig. 1-C). 또한 침수후 회복정도를 침수처리 완료후 9일간 조사하였다.

생육, 광합성 및 근활력 조사

생육조사는 정식 후 152일(침수처리후 98일)에 처리구의 반복별로 초장, 엽수, 엽면적(LI - 3100, Area meter, LI - COR Inc., Lincoln, NE, USA), 생체중 및 건물중을 조사하였다. 수량 조사는 붉은 고추 수확과의 수와 무게를 조사하였다. 광합성특성 조사는 광합성측정기(LI - 6400, portable photosynthesis system, LI - COR Inc., Lincoln, NE, USA)를 사용하여 화분재배 고추 선단부에서 4 - 5번째 잎을 침수처리 종료 후 바로 조사하였다. 광합성 측정기의 측정 조건은 온도 25°C, 상대습도 60%, CO₂ 농도는 400 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$, 광량은 500 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 하였다. 물이용효율(water - use efficiency)은 다음 식 (1)로 구하였다.

$$\text{WUE (water - use efficiency)} = \text{net photosynthetic rate} / \text{transpiration rate} \quad (1)$$

엽록소함량(SPAD)은 엽록소 측정기(SPAD 502, Minolta Camera Co., Ltd., Osaka, Japan)로 1주당 5회 측정하여 평균값을

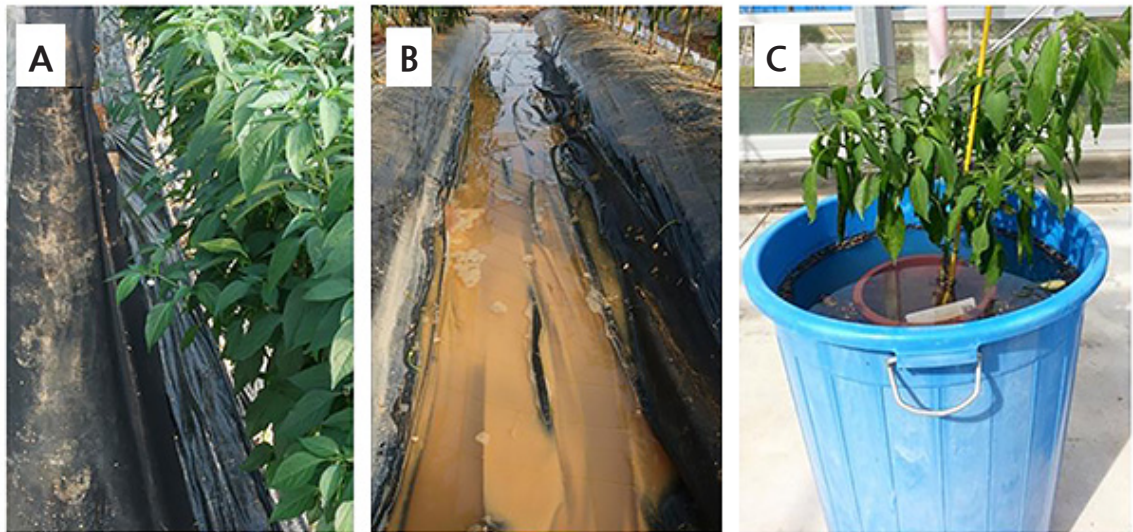


Fig. 1. State of plants under regular irrigation (A), flooding in furrow after waterlogging treatment (B) and waterlogging treatment in a plastic container (C).

사용하였다. 근활력 조사는 Berridge et al.(2005)의 방법으로 측정하였는데 뿌리 채취는 침수처리 종료 후 정식부위를 중심으로 반경 50cm, 깊이 30cm 부위의 뿌리를 채취하여 증류수에 세척 후 측정에 이용하였다. 뿌리 시료는 세균을 약 0.5cm 길이로 절단하여 균일하게 혼합한 후 0.1g을 취해 2mL test tube에 넣었다. 그 후 1mL의 증류수를 첨가하여 혼합한 후 Premix WST - 1 cell proliferation assay system (Takara Inc., Tokyo, Japan) 시약 10 μ L를 가하였다. 이것을 암상태로 25°C에서 3시간 동안 반응시킨 후 ELISA reader (Microplate Spectrophotometer, Eon™, BioTek Inc., Winooski, VT, USA)를 이용하여 흡광도 420nm에서 분석하였다. Premix WST - 1 cell proliferation assay system 시약 10 μ L를 증류수에 혼합하여 blank로 이용하였다. 하우스 시설내 환경조건 측정은 데이터로거(HOBO® weather station data logger, U30, Onset Computer, MA, USA)를 이용하여 1시간 간격으로 기온과 상대습도 (S - THB - M002, Onset Computer, MA, USA), 광량 (S - LIA - M003, Onset Computer, MA, USA)은 지표에서 약 1m, 토양수분함량(S - SMC - M005, Onset Computer, MA, USA)은 센서를 지표에서 약 5cm 깊이에서 조사하였다.

통계처리

시험구는 난괴법 3반복으로 배치하여 생육 특성, 수량 및 엽록소함량은 각 처리구별로 5주씩 3반복으로 조사하였고, 근활력은 처리구별로 6주씩 3반복으로 측정하였다. 통계분석은 SAS 프로그램(SAS 9.2, SAS Institute Inc., USA)을 이용하여 각 처리구별 생장, 수량, 광합성, 및 근활력 차이에 대해 95% 신뢰수준에서 Duncan's Multiple Range Test (DMRT) 검정을 실시하였다.

결과 및 고찰

실험 처리 환경

정식 직후의 고추재배 하우스 내부의 온도 일변화는 고온구인 35°C 처리구는 한낮에 32°C 정도로 약간 낮게 유지되었고, 적온구인 25°C 처리구는 설정 온도에 근접하게 유지되었다(Fig. 2 - A). 생육기간동안의 주간 적산온도는 고온구가 다소 높았고 생육 전반기보다는 생육 후반기의 일교차가 커지는 시기에 차이가 커지는 것을 알 수 있었다(Fig. 2 - B). 두 처리구의 상대습도는 맑은날 야간에 80% 이상으로 유지되다가 일출과 함께 상대습도가 낮아지며 5월에는 최저 20%까지 낮아지나 이후 기간에는 50 - 60% 수준으로 낮아지며 일몰과 함께 상승하였다. 침수처리시 토양수분 함량변화는 관수를 통한 침수처리가 시작된 이후 증가하였다가 수분공급이 종료되면서 감소하는 패턴을 확인할 수 있었다(Fig. 3 - A,B). 모든 온도에서 대조구는 기본적으로 공급되는 주간 관수에 의해 수분함량이 일시적으로 상승하다가 급격히 감소하였고 12시간 처리구는 처리종료와 함께 급격히 수분함량이 낮아지는 경향을 보였다. 24, 48, 그리고 72시간 처리구들은 온도처리별 변화경향이 다르게 나타났다. 적온구(25°C)에서는 처리종료 후 수분감소가 완만하게 나타난 반면, 고온구(35°C)에서는 24시간 처리시 종료 후 급격히 감소하였고 48시간 처리구는 처리종료 후 24시간 정도 높은 함수량이 유지되다가 낮아졌으며 72시간 처리구는 완만하게 함수량이 감소되었음을 확인할 수 있었다. 침수처리후 짧은 시간의 토양수분함량의 변화는 재배지의 지하수위(물의 토양내 확산)와 지온에 따른 증발 효과로 생각되며, 고온구에서는 적온구보다 지하수위가 낮아 침수후 토양내 함수량 변화 폭이 크게 나타났다.

고온 및 침수에 따른 고추의 생장

정식후 152일(침수 처리후 98일)의 생장조사 결과는 Table 1과 같다. 초장은 35°C 12시간 침수 처리구가 209cm 로 가장 컸으며 25°C 48시간이 159cm, 35°C 24시간이 165cm 및 35°C 72시간 침수 처리구가 161cm로 가장 작았다. 또한 엽면적은 25°C 무침수 처리구가 22,249cm² / 주로, 다른 처리구보다 유의성 있게 컸으며 생체중과 건물중 역시 25°C 무침수 처리구가

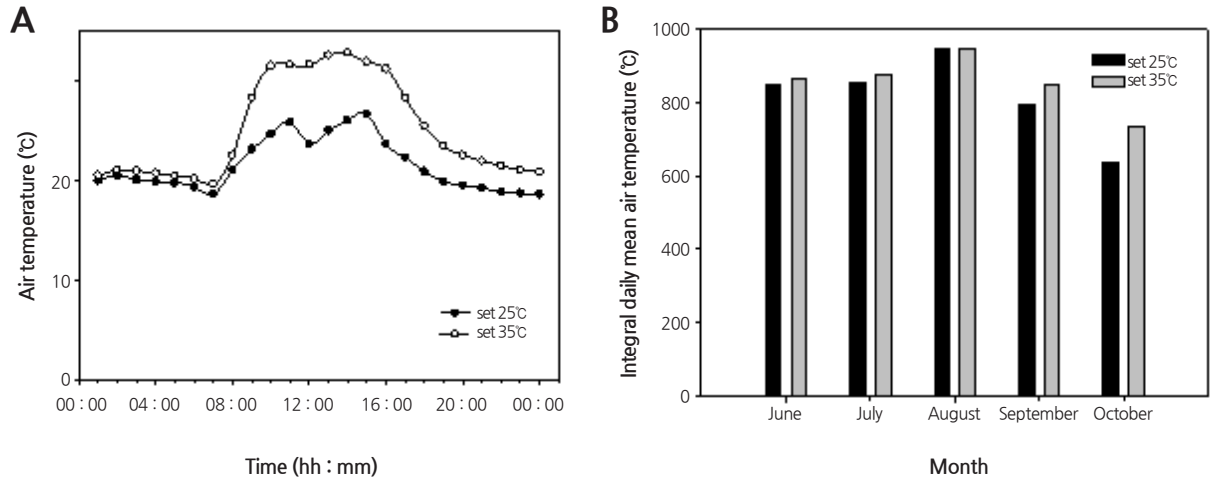


Fig. 2. Changes in daily air temperature (A) and comparison of integral daily mean air temperature (B) between 25°C and 35°C treatment. The daily mean air temperature was calculated in a single photoperiod (from 6:00 to 18:00).

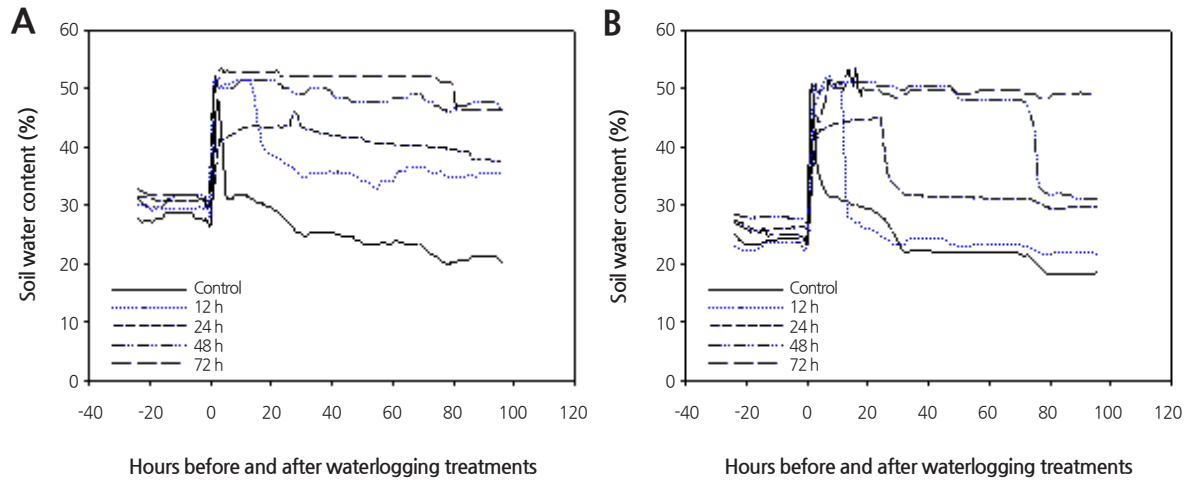


Fig. 3. Changes in water content of soil at 25°C (A) and 35°C (B) under different treatments.

다른 처리에 비해서 높았다. 엽록소 함량은 25°C 72시간 침수 처리구가 가장 낮았고, 35°C 무침수 처리구가 낮아 엽록소 함량에는 온도와 침수시간에 따라 함량 변화가 다른 것을 알 수 있었다. 생체중과 건물중은 침수처리보다는 온도처리에 의한 효과가 커서 적온구가 고온구보다 유의하게 높았다.

고추는 기온이 상승할수록 생육시기가 빨라지고(Cho, 2008) 적산온도가 증가할수록 수확량이 증가되며(Heo et al., 2008), 육묘시 주야간 온도차가 클수록 초장, 절간장 등 생육 억제효과가 크고 온도차가 작을수록 생육이 우수하다고(Seo et al., 2006) 알려져 있다. 또한, 고추를 30°C에서 재배시 생육이 증가되어 웃자라는 경향이 나타난다고 보고되었다(Heo et al., 2013; Song et al., 2015). 고추 유묘기와 개화기에 침수시간이 길수록 생장량(초장, 엽수, 생체중 등)이 감소한다고 하였다(Guh and Kuk, 1996a; Guh and Kuk, 1996b). 25°C의 적온조건에서 12시간 이상의 침수는 고추 생육을 저해하였으나 35°C의 고온조건에서 단기간 침수처리시 생육이 고온 대조구와 비슷하거나 약간 우수한 경향을 나타내었다. 이러한 결과는 고온시 추가적인 수분공급이 온도 스트레스에 의한 피해를 경감시켜주는 것으로 사료된다.

Table 1. Effects of temperature and waterlogging on the growth of hot pepper at 152 days after transplanting.

Temperature (A) ^z	Waterlogging (B) ^y	Plant height (cm)	Leaf area (cm ² /plant)	Chlorophyll (SPAD)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)
25°C	0 h	189 ab ^x	22,249 a	72 a	1,678 a	417 a
	12 h	175 bc	14,373 b	73 a	1,215 b	283 b
	24 h	171 bc	14,223 b	73 a	1,103 bc	273 b
	48 h	159 c	11,741 b	70 a	933 bc	219 b
	72 h	172 bc	14,045 b	65 c	1,039 bc	279 b
35°C	0 h	169 bc	12,088 b	68 bc	887 bc	198 b
	12 h	209 a	12,095 b	70 ab	1,008 bc	242 b
	24 h	165 c	11,885 b	72 a	858 c	205 b
	48 h	169 bc	13,512 b	70 ab	1,010 bc	247 b
	72 h	161 c	11,923 b	73 a	925 bc	240 b
Significance						
A		ns	**	ns	***	***
B		**	*	**	*	ns
A × B		**	**	***	**	**

^zDate of temperature treatment: 23 May - 30 October

^yDate of waterlogging treatment: 6 - 9 July

^xMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p < 0.05$.

고온 및 침수에 따른 배추의 광합성률과 근활력

침수처리 후 고추의 광합성률과 근활력을 조사한 결과는 Table 2와 같다. 광합성 속도는 25°C 무침수 처리구가 19.6 μmol CO₂·m⁻²·s⁻¹ 로 가장 좋았으며, 25°C 72시간 침수처리구가 16.5 μmol CO₂·m⁻²·s⁻¹ 로 가장 낮았다. 광합성률을 증산률로 나눈 수분이용효율(WUE)은 25°C 72시간 침수처리구가 4.78로 가장 높았고, 35°C 72시간 침수처리구에서 3.22로 가장 낮았다. 근활력은 25°C 24시간 침수처리구와 35°C 72시간 침수처리구가 0.042로 가장 높았으며 25°C 12시간 침수처리구가 0.020로, 25°C 무침수처리구의 0.032에 비해서 63% 수준으로 가장 낮아 침수처리후 12시간째에 낮았다가 점차 좋아지는 경향을 보였다. 광합성률과 근활력은 온도처리의 효과는 인정되지 않았으나 침수처리의 효과는 유의성을 나타내어 침수시간이 길어지면 낮아지는 경향을 확인할 수 있었다. 침수처리시 고추속 작물의 광합성률이 3일째 50%이하로 감소하였고(Ou et al., 2011), 침수시 기공폐쇄와 더불어 대부분의 식물에서 광합성이 감소되는 것으로 널리 알려져 있다(Ahmed et al., 2002; Lee et al., 2004). 본 연구결과에서도 72시간 침수처리가 무침수처리보다 더 낮은 광합성률을 나타내었다. 침수처리 72시간에서 적온구와 고온구 간에 수분이용효율이 차이가 있었는데, 이러한 결과는 고추가 적온(25°C)에서 침수스트레스시 증산을 많이 감소시키고, 고온(35°C)에서는 적은 침수스트레스 상태와 다르게 근권수분을 이용하고자 근활력이 증가됨과 함께 수분이용효율을 낮추어 스트레스에 따른 광합성률의 감소보다 증산률의 감소가 상대적으로 낮아진다는 것을 의미한다. Ou et al. (2011)은 다섯 종의 고추속 작물을 침수처리시 수분이용효율이 높아진다고 보고하여 적온구 침수처리구(25°C 72시간)와 유사한 결과를 나타내었다. 이에 작물은 각각의 스트레스 조건에서 피해를 완화시키는 방향으로 생리적 반응이 변화한다고 판단할 수 있다. 근활력이 침수처리 초기에 낮았다가 시간이 지나면서 점차 회복되어 가는 경향을 나타낸 본 실험과 다르게 Ou et al. (2011)는 고추의 침수처리시 근활력이 낮아졌다고 보고하였는데, 이것은 침수처리후 평균을 제시하였고, 본 실험에서는 침수처리후 시간별 조사를 하였기 때문으로 사료된다.

고추 지체부 5cm까지 침수 후 순광합성률과 기공전도도를 조사한 결과(Fig. 4 - A, B), 광합성률은 침수 1일부터 떨어지기 시작하여 침수 3일까지 낮아졌으며 회복시키기 시작한 4일(회복처리 1일)에 가장 낮았다가 5일(회복처리 2일)부터는 높아지기 시작하여 12일(회복처리 9일)에는 정상으로 회복되었다. 기공전도도는 광합성률과 마찬가지로의 경향을 보였다. 고추에서 광

Table 2. Effects of temperature and waterlogging on the net photosynthetic rate and root activity of hot pepper.

Temperature (A)	Waterlogging (B)	Net photosynthetic rate ($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	WUE ²	Root activity (Absorbance at 420 nm)
25°C	0 h	19.6 a ^y	3.67 ab	0.032 abc (100) ^x
	12 h	18.8 ab	3.56 ab	0.020 c (63)
	24 h	18.9 ab	3.61 ab	0.042 a (131)
	48 h	18.6 ab	3.52 ab	0.030 abc (94)
	72 h	16.5 b	4.78 a	0.028 bc (88)
35°C	0 h	18.6 ab	3.94 ab	0.036 ab (113)
	12 h	18.7 ab	3.56 ab	0.027 bc (84)
	24 h	17.9 ab	3.64 ab	0.035 ab (109)
	48 h	18.0 ab	4.18 ab	0.028 bc (88)
	72 h	17.3 ab	3.22 b	0.042 a (131)
Significance				
A		ns	ns	ns
B		*	ns	**
A × B		ns	ns	ns

²WUE (water - use efficiency) = net photosynthetic rate/transpiration rate

^yMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p < 0.05$

^x(): Ratio compared to 25°C, 0 h

합성률이 침수처리후 1일에 낮아지기 시작하여 3일에 0에 가까울 정도로 매우 낮아졌으며(Ou et al., 2011), 3일간 침수시 침외의 광합성률이 대조구의 50% 수준을 보였고 12일간 침수했을 때 0에 가깝게 낮아졌고(Lee et al., 2004), 녹두에서 침수 1일 후부터 광합성률이 낮아지기 시작하고 기공전도도와 증산률은 침수 2일부터 낮아졌다(Ahmed et al., 2002)는 연구결과들이 보고되었다. 이러한 광합성 감소는 침수로 인한 기공전도도와 8 - amino - propyl acetate 합성 감소로 인한 CO₂ 흡수와 엽록소 생성의 감소가 주요 원인이며(Ou et al., 2011), 침수시 나타나는 양자수율(Fv/Fm)의 감소도 광합성률 감소에 직접적으로 영향을 준다고 알려져 있다(Ahmed et al., 2002). 본 실험에서도 침수처리 후 1일부터 광합성률과 기공전도도가 감소하였고, 침수기간이 길어짐에 따라 점차적으로 줄어들었다(Table 1).

고온 및 침수에 따른 고추의 과실 특성과 수량

고추 과실의 특성을 조사한 결과는 Table 3과 같다. 적색과의 과장은 고온구(35°C)가 적온구(25°C)에 비해서 유의성있게 컸고, 과폭은 뚜렷한 경향을 보이지 않았다(결과 미제시). 주당 청과의 수확과수와 수량은 35°C인 고온구에서 많았는데, 35°C 무침수처리구가 수확과수는 97개 / 주, 수량은 776g / 주로 가장 많았고, 오히려 적온구인 25°C 24시간 침수처리구가 25개 / 주와 191g / 주로 가장 적었다. 주당 적과의 수확과수 및 수량 역시 고온구인 35°C 무침수 처리구가 162개 / 주, 1,662g / 주로 가장 많았고, 적온구인 25°C의 12, 24 및 48시간 침수처리구가 낮았다. 고추의 이병과, 열과, 소과 등을 제외한 정상과 비율은 84 - 89% 정도로 처리간 통계적인 유의성이 없었다. 수량은 고온인 35°C 무침수 처리구가 수확과수가 3,697kg / 10a 로 가장 많았으며 적온구인 25°C 12, 24 및 48시간 처리구는 25°C 무침수처리구 대비 수량지수가 75 - 70% 수준으로 적었다.

고추재배시 20°C 이하의 저온조건이 되면 25°C에 비해서 생육이 지연되며 낙화가 많아져 수량이 떨어지며(Lee et al., 2001), 적산온도가 증가하면 수량이 증가하여(Heo et al., 2008) 본 실험에서도 35°C 처리구의 주간 적산온도가 많아서 수량이 증가된 것으로 사료되며 따라서 침수 발생 후에 주간 적산온도를 높일 경우 수량감소 피해를 일부 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

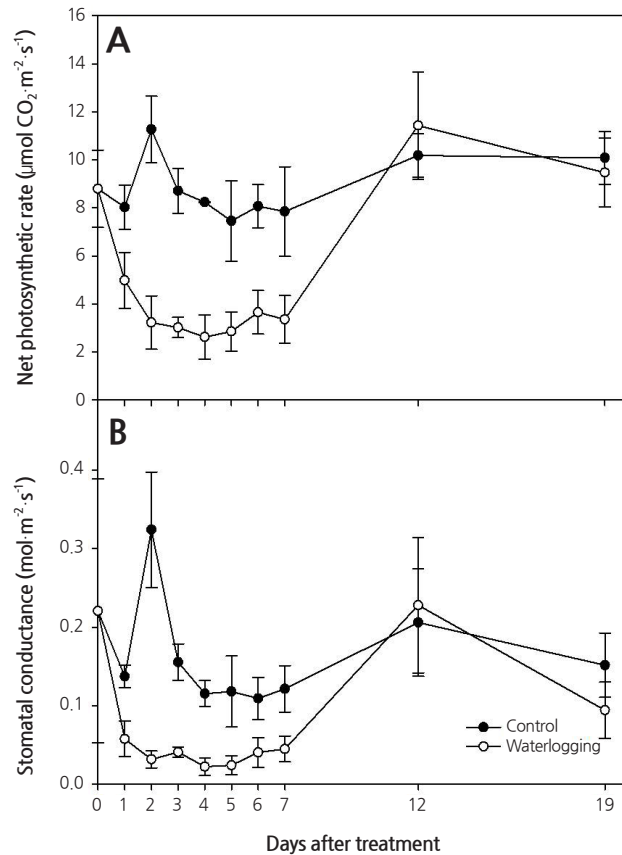


Fig. 4. Changes in net photosynthetic rate (A) and stomatal conductance (B) in pepper treated with 1, 2 or 3 days of waterlogging.

Table 3. Effects of temperature and waterlogging on fruit characteristics and yield.

Temperature (A) ^z	Waterlogging (B) ^y	Fruit length (cm)	Green pepper		Red pepper		Percentage of normality (%)	Yield (kg / 10a)	Index
			No. of fruits	Weight (g / pl.)	No. of fruits	Weight (g / pl.)			
25°C	0 h	11.90 abc ^x	50 cd	355 d	128 ab	1,417 ab	88 a	3,117 ab	100
	12 h	11.67 cde	28 e	203 ef	118 b	1,108 c	84 a	2,326 c	75
	24 h	11.38 f	25 e	191 f	110 b	1,036 c	85 a	2,201 c	71
	48 h	11.46 ef	38 de	343 de	106 b	986 c	88 a	2,169 c	70
	72 h	11.53 def	57 bcd	552 bc	126 ab	1,177 bc	87 a	2,560 bc	82
35°C	0 h	12.07 a	97 a	776 a	162 a	1,662 a	89 a	3,697 a	119
	12 h	11.75 abc	76 b	672 ab	135 ab	1,273 bc	86 a	2,737 bc	88
	24 h	11.82 abc	69 bc	616 bc	129 ab	1,251 bc	88 a	2,752 bc	88
	48 h	12.01 ab	77 b	656 ab	142 ab	1,224 bc	88 a	2,692 bc	86
	72 h	11.84 abc	68 bc	552 bc	131 ab	1,263 bc	89 a	2,810 bc	90
Significance									
A		***	***	***	**	**	ns	***	
B		***	**	*	ns	**	ns	***	
A × B		*	*	**	ns	ns	ns	ns	

^zDate of temperature treatment: 23 May - 30 October

^yDate of waterlogging treatment: 6 - 9 July

^xMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p < 0.05$.

초 록

고온기 고추재배시 고온과 침수에 따른 피해를 구명하고자 시험을 실시하였다. 온도처리는 비가림하우스 1동은 적온구, 다른 1동은 고온구로 하여 적온구는 하우스내 온도가 25°C가 되면 자동으로 환기팬 및 측창이 열려서 환기가 되도록 하였고, 고온구는 35°C가 되면 자동으로 환기팬 및 측창이 열리도록 설정하였다. 침수처리는 정식후 54일(정식후 2회방 착과가 완료된 시점)에 하우스를 5등분하여 무침수(0시간) 처리구와 침수(12, 24, 48 및 72시간) 처리구를 두었고, 점적호스를 이용하여 계속적으로 관수를 하였다. 그 결과 생육특성은 25°C 무침수 처리구가 다른 처리구보다 좋은 경향을 보였다. 광합성속도는 25°C 무침수 처리구가 19.6 $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 처리구중에서 가장 좋았으며 25°C 72시간 침수처리구가 16.5 $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 가장 낮았다. 근활력은 25°C 24시간 침수처리구와 35°C 72시간 침수처리구가 0.042로 처리구중에서 가장 높았으며 25°C 12시간 침수처리구가 0.02로, 25°C 무침수처리구의 0.032에 비해서 63% 수준으로 가장 낮았다. 주당 적과의 수확과 수 및 수량 역시 고온구인 35°C 무침수 처리구가 162개/주, 1,662g/주로 처리구중에서 가장 많았고, 적온구인 25°C의 12, 24 및 48시간 침수처리구가 적었다. 수량은 고온인 35°C 무침수 처리구가 수확과수가 많아서 3,697kg/10a 로 처리구중에서 가장 높았으며 적온구인 25°C 12시간, 24시간 및 48시간 처리구가 25°C 무침수처리구 대비 수량지수가 75-70% 수준으로 낮았다. 따라서 고추는 침수시간이 길어질수록 생육, 광합성률, 근활력 및 수량을 감소시키며, 72시간 침수된 고추포장은 물을 빼 주고 정상적인 환경관리를 9일정도 해주면 광합성과 기공전도도가 정상으로 회복되는 것으로 나타났다.

추가주요어: 엽록소, 과장, 고온, 정상과율, 수분이용효율

Literature Cited

- Ahmed S, Nawata E, Hosokawa M, Domae Y, Sakuratani T (2002) Alterations in photosynthesis and some antioxidant enzymatic activities of mungbean subjected to waterlogging. *Plant Sci* 163:117-123 doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00080-8
- Berridge MV, Herst PM, Tan AS (2005) Tetrazolium dyes as tools in cell biology: new insights into their cellular reduction. *Biotechnol Ann Rev* 11:127-152 doi.org/10.1016/S1387-2656(05)11004-7
- Cho L (2008) The impacts of climate change on phenology of crops; In the case of farming diary. *J Climate Res* 3:96-106
- Guh JO, Kuk YI (1996a) Effects of depth and duration of flooding on growth and yield at different growth stage in pepper (*Capsicum annuum* L.). *Kor J Environ Agri* 15:325-334
- Guh JO, Kuk YI (1996b) Effects of depth and duration of water-logging on growth and yield at transplanting and flowering stage in pepper. *Kor J Environ Agri* 15:425-433
- Heo I, Kim S, Lee K, Kwon WT, Lee S (2008) Impacts of climate change on agriculture in Naju. *J Climate Res* 3:17-30
- Heo Y, Kim SH, Park EG, Son BG, Choi YW, Lee YJ, Park YH, Suh JM, Cho JH, Hong CO, Lee SG, Kang JS (2013) The influence of abnormally high temperatures on growth and yield of hot pepper (*Capsicum annuum* L.). *J Agri Life Sci* 47:9-15
- Hwang JM, Tae GS (2001) Changes in the growth of red pepper (*Capsicum annuum* L.) and soil moisture according to irrigation and cultivating methods. *Hort Environ Biotechnol* 42:295-299
- Hwang SM, Kwon TR, Doh ES, Park MH (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
- Kim SH, Heo Y, Park EG, Son BG, Choi YW, Lee YJ, Park YH, Suh JM, Cho JH, Hong CO, Lee SG, Kang JS (2013) The influence of temperature, amino acid and polyamine on pollen germination of pepper (*Capsicum annuum* L.). *J Agri Life Sci* 47:1-8
- Lee JN, Lee EH, Im JS, Kim WB, Yeoung YR (2008) Fruit characteristics of high temperature period and economic analysis of summer paprika (*Capsicum annuum* L.) grown at different altitudes. *Korean J Hort Sci Technol* 26:230-233
- Lee JS, Paek KY, Shin YA, Park SH, Jeong ST, Hwang JH (2004) Effect of soil waterlogging at three developmental stages on growth, fruit yield and physiological responses of oriental melon (*Cucumis melon* L. var. makuwa Makino). *Kor J Hort Sci Technol*. 22:1-6
- Lee SG, Choi CS, Lee JG, Jang YA, Lee HJ, Chae WB, Do KR (2014) Influence of shading and irrigation on the growth and development of leaves tissue in hot pepper. *Kor J Hort Sci Technol* 32:448-453 doi.org/10.7235/hort.2014.14015
- Lee SG, Lee HW, Kim KD, Lee JW (2001) Effects of shading rate and method on inside air temperature change in greenhouse. *J Bio-Environ Con* 10:80-87
- Ou LJ, Zou XX (2012) The photosynthetic stress responses of five pepper species are consistent with their genetic variability. *Photosynthetica* 50:49-55

- Ou LJ, Dai XZ, Zhang ZQ, Zou XX (2011) Responses of pepper to waterlogging stress. *Photosynthetica* 49:339-345 doi.org/10.1007/s11099-011-0043-x
- Pang JY, Zhou MX, Mendham N, Shabala S (2004) Growth and physiological responses of six barley genotypes to waterlogging and subsequent recovery. *Aus J Agri Res* 55:895-906. doi.org/10.1071/AR03097
- Seo JU, Hwang JM, Oh SM (2006) Effects of night temperature treatment of raising seedlings before transplanting on growth and development of pepper. *J Bio-Environ Con* 15:149-155
- Smittle DA, Dickens WL, Stansell JR (1994) Irrigation regimes affect yield and water use by bell pepper. *J Amer Soc Hort Sci* 119:936-939
- Song EY, Moon KH, Son IC, Wi SH, Kim CH, Lim CK, Oh S (2015) Impact of elevating temperature based on climate change scenarios on growth and fruit quality of red pepper (*Capsicum annuum* L.). *Kor J Agri Forest Meteorol* 17:248-253 doi.org/10.5532/KJAFM.2015.17.3.248
- KOSTAT statistics Korea (2015) Crop production statistics. <http://www.kosis.kr>. Accessed 30 August 2015