

생육기 온도상승이 고추의 생육 및 과실품질에 미치는 영향

송은영 · 문경환 · 손인창 · 김천환 · 임찬규 · 손다니엘 · 오순자*
농촌진흥청 국립원예특작과학원 온난화대응농업연구센터
(2014년 10월 31일 접수; 2014년 11월 9일 수정; 2014년 11월 9일 수락)

Impact of Elevated Temperature in Growing Season on Growth and Fruit Quality of Red Pepper (*Capsicum annuum* L.)

Eun Young Song, Kyung Hwan Moon, In Chang Son, Chun Hwan Kim,
Chan Kyu Lim, Daniel Son and Soonja Oh*

National Institute of Horticultural & Herbal Science, RDA, Jeju 690-150, Korea
(Received October 31, 2014; Revised November 9, 2014; Accepted November 9, 2014)

ABSTRACT

This study was conducted to determine the impact of elevated temperature in growing season on the growth and fruit quality of red pepper (*Capsicum annuum* L.) by cultivating pepper in the temperature gradient tunnels. Plant height, stem diameter, leaf number and total leaf area, fresh weight and dry weight increased at ambient + 2°C temperature, whereas each leaf area decreased as temperature increased. The plants grown under ambient + 2°C temperature showed the greatest number of flower and fruit. Fruit weight, fruit length and fruit diameter decreased as the temperature increasing gradually. Total fruit number, total fruit weight and total dry fruit weight was the highest at ambient + 2°C temperature. Major free sugars of red pepper fruit were fructose and glucose. Free sugar content of red pepper according to the differences in harvesting times and in growth temperature showed a little differences. The yield of red pepper fruit at ambient + 2°C temperature increased by 13% compared with the control. However, the yield of red pepper fruit at ambient + 4°C temperature decreased by 20% as compared to control. Non-marketable fruits (diseased fruit, malformed fruit and small sized fruit) increased as the temperature rised.

Key words: Red pepper, Elevated temperature, Fruit quality

I. 서 론

기후 변화에 관한 정부간 패널 보고서(IPCC, 2007)에 의하면 지구온난화로 인하여 지구 전체의 평균 온도는 매년 10년마다 0.3°C씩 상승할 것이며, 50-100년 후에는 현재의 기온보다 1.6~6.4°C가 높아질 것으로 예상하고 있다. 국립기상연구소(FAO, 2004)에서 제시한 한반도 기후변화 시나리오에 의하면

20세기말(1971~2000)에 비해 21세기말(2071~2100)에는 기온이 약 4°C 상승하고, 남한 내륙지방에서는 3.8°C 상승할 것으로 예측하고 있다.

또한 2030년경에는 한반도 전역에서 1.2°C 상승할 것으로 전망하였고, 작물재배에서 온도가 1°C 상승함에 따라 작물 재배가능 지역은 위도상으로 81km가 북상하며, 해발고도상으로는 154m 높아진다(Heo, 2013). 지구온난화는 작물의 개화, 출수시기 변화 등



* Corresponding Author : Soonja Oh
(osoonja@korea.kr)

생리적 변화를 일으키고 작물의 품질변화, 재배적지를 이 동시켜 큰 영향을 미칠 것으로 판단된다(FAO, 2004). Houghton *et al.*(1996)은 21세기말 경에는 작물은 현재보다 대기 중 CO₂ 농도는 2배, 기온은 2~5°C 높은 환경에서 생육할 것으로 예측하고 있고, 지구온난 화에 따른 기온상승은 작물에 따라 다르지만 대체적으 로 농업생산에 부정적 영향을 미칠 것으로 예측된다 (Wolfe *et al.*, 2005). 특히 저온성 작물에서는 지속적 인 기온상승에 의한 수량감소와 생육지연, 착색불량 및 당도 저하 등이 발생할 확률이 높고, 고온성 작물 인 경우 적정 범위 내에서 기온상승은 작물의 생육가 능 기간을 연장하여 생산성과 품질 향상에 유리한 측면이 있다. 식물은 동일종이라도 생육 환경의 변화에 따라 형태적 또는 생리적으로 성장 상태가 크게 달라 진다. 환경 요인 중에서도 온도는 식물의 지리적 분포 와 생존, 그리고 생산량에 직결되는 중요한 요인으로 일정 수준보다 낮거나 높으면 저온 또는 고온 스트레 스를 받게 된다(Oh *et al.*, 2014).

고온성 채소인 고추(*Capsicum annuum* L.)는 우리 식생활에서 가장 널리 이용되는 조미채소 가운데 하나 로 전 세계적으로 소비량이 점차 늘어나는 추세에 있 다(Andrew, 1995). 고추는 생육단계별로는 녹색기 (mature green), 변색기(breaker), 적숙기(red succulent) 등으로 구분되는데, 고추의 성숙단계별로 외형적 변화 와 함께 내적 성분변화에 대한 연구가 상당히 이루어 져 있다(Park *et al.*, 2001). 또한 고추 품종별 품질 연구도 활발하게 이루어졌으나(Jo *et al.*, 1999), 대부분 품종 육종을 위한 목적으로 수행되었다.

고추의 품질 및 수량은 착과 및 성숙기의 일조량, 강우량, 기온 등과 같은 기상환경 및 재배지의 토양조 건에 의해서 큰 영향을 받는 것으로 알려져 있고 (Hwang and Lee, 1978; Kim *et al.*, 1995), 생육저 해온도(35°C) 이하까지는 온도가 상승할수록 생육이 촉진되었지만 30°C 이상에서는 화분발아 불량으로 착 과하지 못하고 낙과가 발생한다고 알려져 있다(Kim *et al.*, 2013). 최근 기후변화에 의한 식물의 반응을 파악하기 위하여 작물의 재배적지 변화, 수확량 변동 예측 모형 개발 등에 관한 연구들이 활발하게 이루어 지고 있다. 그리고, 폐쇄형 챔버(closed chamber) 또는 반폐쇄형 챔버(open-top chamber) 등을 이용하여 변화된 온도 또는 CO₂ 농도 하에서의 작물의 성장과 발달, 수확량 변화 등에 관한 연구들도 진행되고 있다

(Hadley *et al.*, 1995; Porter and Semenov, 2005). 그 러나 이러한 시스템은 광량 등의 미세 기후를 실제 대기조건과 유사하게 만들기에는 다소 어려움이 있다. 반면에 온도구배터널(temperature gradient tunnel system)은 온도를 제외한 다른 환경인자(광량, 대기 CO₂ 농도 등)를 자연상태와 유사하게 유지할 수 있도록 고안한 반폐쇄형 장치이다. 입구를 개방하여 외부 공기가 터널 내부로 유입되도록 하고, 후미부는 6개의 소형 환기팬을 설치하여 배기속도를 제어함으로써 공기 흡입구에서부터 후미부 쪽으로 연속적인 온도구배 가 형성되도록 설계되어 고온에 대한 작물의 반응을 연구하는데 유용한 시스템이다(Oh *et al.*, 2014).

따라서 본 연구에서는 우리나라 대표적인 노지채소 인 고추를 온도구배터널에서 재배하면서 생육기 고온 조건이 고추의 생육 및 과실품질에 어떠한 영향을 미 치는지 파악함으로써 기후온난화에 대비한 안정 재배 의 기초자료를 마련하고자 수행되었다.

II. 재료 및 방법

본 시험에 사용한 품종은 노지 전용고추인 무한질주 (신켄타)이며, 실험은 국립특작과학원 온난화대응농업 연구센터내의 온도구배터널에서 수행되었다. 고추 종 자를 2013년 2월 25일에 원예상토를 채운 50구 육묘 용 플러그 트레이에 파종하여 20±1°C(day)/15±1°C (night)의 조건으로 육묘하였다. 파종 70일 후(5월 6일) 에 본엽이 10-13매 나온 균일하게 자란 개체를 선발 하여 온도구배터널에 정식하였고, 2013년 5월 6일부터 2013년 9월 11일까지 4개월간 시험을 수행하였다. 재 배포장은 정식 전 퇴비 3,000kg과 석회 150kg을 전 량 기비로 주었으며, 질소-인산-칼리(19-11.2-15kg/10a) 의 2/3(인산은 전량)는 기비로 사용하였고, 질소와 칼 리는 60%는 기비로 주고 나머지 40%를 4회 나누어 서 추비로 공급하였다. 정식 전 이랑 높이를 20cm 높여주고 고추 묘를 정식하였다. 기타 재배관리는 농 촌진흥청 표준영농재배법에 준하여 관리하였다.

온도구배터널 내부의 온도는 터널의 입구, 중앙부, 후미부에서 지상부로부터 2.5m 높이에 설치한 온도센 서(1400-101, LI-COR Inc., Lincoln, USA)를 이용 하여 측정하였다. 시험기간 동안 대기온도를 유지하는 터널 입구에 비해 중앙부, 후미부에서는 온도가 각각 2°C와 4°C 더 높게 유지되도록 복합환경제어시스템

(TGC-Soldan, Soldan Crop., Korea)을 이용하여 제어하였다. 재배기간 동안의 온도는 데이터로거(CR1000, Campbell Scientific Inc., Logan, USA)에 연결하여 1시간 간격으로 기록하였다.

고추의 초중기 및 중기 생육특성 조사는 2013년 7월 7일(정식 후 60일)과 8월 7일(정식 후 90일)에 2차례에 걸쳐 실시하였다. 조사방법은 시험구에서 반복당 3주의 묘를 채취하여 초장, 경직경, 엽면적, 엽수, 분지수, 마디수, 생체중 및 건물중 등을 조사하였다. 초장은 식물의 정단부까지의 길이를 5m 줄자로, 엽수는 잎의 길이가 1cm 이상인 것을 조사하였다. 마디수는 육안으로 조사하였고, 엽면적은 식물체의 전체 엽면적을 엽면적 측정기(LI-3100, LI-COR, USA)를 이용하여 측정하였고, 엽록소함량은 줄기 정단부부터 아래로 완전히 전개된 엽을 휴대용 엽록소측정기(SPAD-502, Minolta camera Co., Japan)를 이용하여 중간엽에서 5회 반복 조사하였다. 기관별 생체중 및 건물중은 식물체의 과실, 줄기, 잎으로 분리하여 각각 생체중을 측정 후 65°C 건조실에서 24시간 건조시켜 건물중을 측정하였다. 그리고 건물율은 건물중/생체중 ×100으로 하여 계산하였다.

붉은 고추는 7월 17일부터 9월 11일까지 5회(7월 17일, 7월 21일, 8월 14일, 8월 28일, 9월 11일)로 수확하여 열매의 크기와 무게를 측정하였고, 열매의 특성조사는 주당 붉은 과실의 수확량과 과중은 구당 5주에서 수확하여 조사하였다. 수확한 열매 중에서 비정상과(병충해과, 소과 등)를 제외한 총적과수에 대한 상품과율을 구했으며 수확 후 일정 크기 이상의 남은

열매 무게를 조사하였다. 수확한 적고추의 색도는 color spectrophotometer(CE-310, Macbeth, Minolta, Japan)로 측정하였다. Hunter 방식에 의한 L(lightness), a(redness), b(yellowness)값을 측정 후 다음 a×L 값을 계산하여 색도 품질 특성을 비교하였다. 유리당 함량은 고춧가루 1g에 증류수 9mL로 첨가한 후 24시간 잘 혼합하고, 3,000g에서 원심분리한 상등액을 milipore filter(0.45µm)로 여과한 후 초순수를 사용하여 1,000배 희석하여 분석시료로 사용하였다. 유리당 분석은 White(1990) 방법에 준하였으며, Bio-LC(Dionex, DX-500)를 이용하였고 detector는 ED 40 INT amperometry를 사용하였다. Carbopac™ PA1 column을 사용하였고, 이동상은 100mM NaOH로 하였고 시료용액 0.5µL를 주입하여 유속 0.6mL/min로 조절하였다. 조사된 자료의 통계분석은 SAS system(SAS institute Inc., Cary, NC, USA)를 이용하였으며, 평균과 표준오차를 구하여, P<0.05수준에서 Duncan's multiple range test를 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

고추의 주생육기인 2014년 5월 7일부터 9월 30일까지 온도구배터널 내부의 일평균 대기온도는 터널 입구의 대기온도를 기준으로 중앙부, 후미부의 온도가 주야를 통하여 각각 2°C, 4°C가 높게 유지되고 있는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 1). 고추의 성장 및 발달에 있어서 중요한 개화 및 착과시기인 6월 상순~7월 상순(정식 후 30일~60일간)경 터널 입구의 일평균 대

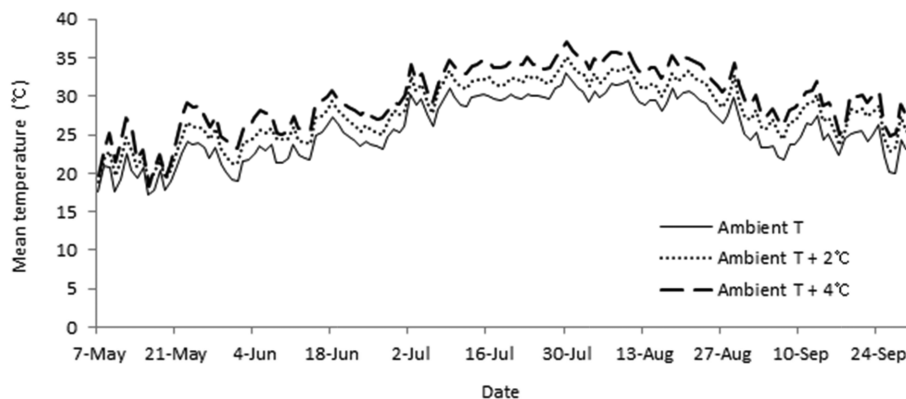


Fig. 1. Changes in daily mean air temperature in the Temperature Gradient Tunnel (TGT) where the red pepper (*Capsicum annuum* L.) grown. Solid line represents daily mean temperature in the entrance of the TGT, dot line represents ambient temperature + 2°C in the middle part of the TGT and thick dot line represents ambient temperature+ 4°C in innermost part.

Table 1. Plant height, stem diameter, leaf number and leaf area of red pepper (*Capsicum annuum* L.) grown under different temperature in the temperature gradient tunnel at 60 and 90 days after planting

Days after planting	Treatment	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	Leaf number (ea/plant)	Total leaf area (cm ² /plant)	Average leaf area (cm ² /ea)
60	Ambient T	0157.5±6.1 b ^Z	20.1±0.9 b	1020.7±42.9 c	17272.5±1550.6 b	16.9±0.8 ab
	Ambient T+2	174.7±4.0 a	22.9±0.3 a	1347.3±69.1 a	23185.3±1210.0 a	17.2±0.1 a
	Ambient T+4	170.9±8.2 a	21.2±0.3 b	1223.7±55.3 b	19540.8±418.1 b	16.0±0.5 b
	Significant level	*	**	**	**	*
90	Ambient T	176.4±4.4 b	21.8±0.6 ab	1165.0±120.6 b	14708.0±1073.7 b	12.7±1.6
	Ambient T+2	202.7±0.9 a	22.9±0.1 a	1709.3±29.1 a	19564.2±1441.3 ab	11.4±0.7
	Ambient T+4	199.8±3.7 a	20.5±0.5 b	1923.3±258.7 a	21774.3±4265.1 a	11.2±0.9
	Significant level	**	*	**	*	ns

The data are represented as the mean±SE of three replicates, which were analyzed with ANOVA and Duncan's multiple test. * and ** represent significant differences among means at 0.05 and 0.01 levels, respectively. ns: non-significant.

Table 2. Branch characteristics of red pepper (*Capsicum annuum* L.) grown for under different temperature in the temperature gradient tunnel at 60 and 90 days after planting

Days after planting	Treatment	Length of main stem (cm)	No. of Node (ea/plant)	No. of Branch (ea/plant)
60	Ambient T	30.5±2.0	63.0±0.9	10.7±0.3
	Ambient T+2	30.0±0.9	61.6±2.3	10.0±0.4
	Ambient T+4	30.8±0.8	63.4±0.6	10.0±0.8
	Significant level	ns	ns	ns
90	Ambient T	32.0±1.2	63.9±1.1	13.0±0.4b ^Z
	Ambient T+2	31.7±1.1	63.2±0.8	15.3±0.5a
	Ambient T+4	32.2±1.6	65.7±2.9	15.0±0.4ab
	Significant level	ns	ns	*

The data are represented as the mean±SE of three replicates, which were analyzed with ANOVA and Duncan's multiple test. * and ** represent significant differences among means at 0.05 and 0.01 levels, respectively. ns: non-significant.

기온도가 24.8°C(일최저평균 21.4°C, 일최고평균 30.2°C)를 나타내었으며, 터널의 중앙부에서는 일평균 26.8°C(일최저평균 24.4°C, 일최고평균 32.6°C), 후미부에서는 일평균 28.5°C(일최저평균 25.0°C, 일최고평균 34.1°C)로 터널입구에 비해 각각 1.7, 3.8°C가 높았다. 재배기간 동안 터널 입구에는 일평균 35°C(생육저해온도) 이상을 넘는 날이 없는데 비하여 중앙부는 35°C 이상의 일수가 1일, 후미부에는 14일이었다.

온도구배터널에 정식한 후 정식 60일과 90일 후에 초장, 줄기직경, 엽수 및 엽면적 등의 생육에 미치는 온도 영향을 살펴보았다(Table 1). 정식 90일까지 초장은 대기온도 +2°C 고온조건에서 자라는 고추가 202.7cm로 대조구인 대기온도 조건의 176.4cm보다 신장생장이 좋았다. 줄기직경도 대기온도에서 자라는 고추 21.8mm보다는 대기온도 +2°C 조건에서 자라는

고추 22.9mm로 줄기직경이 두꺼웠다. Heo *et al.* (2013)은 고추의 생육적온인 25°C보다 고온에서 재배하면 엽수는 증가하였고, 엽면적도 높았고, 이러한 경향은 고온인 30°C에서 생육일수가 진전될수록 뚜렷하였다. 본 실험에서도 엽수 및 식물체당 총엽면적은 생육 초중기에 해당하는 정식 60일 후에는 대기온도 +2°C 고온조건에서 많았고, 생육 중기에 해당하는 정식 90일 후에는 대기온도 +4°C 고온조건에서 엽수 및 식물체당 총 엽면적이 증가되는 양상을 보였으나 평균 엽면적은 생육온도가 높아질수록 점점 줄어드는 경향을 보였다.

고추 생육기 온도상승에 따른 생육 초중기 및 중기의 분지특성으로 온도구배 터널에 정식 60일과 90일 후에 주경장, 마디수 및 분지수 등을 조사하였다(Table 2). 생육 초중기 정식 60일과 생육 중기인 90일 후에는 주경

Table 3. Growth characteristics of red pepper (*Capsicum annuum* L.) grown for 60 and 90 days after planting under different temperature in the temperature gradient tunnel

Days after planting	Treatment	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)	No of flower (ea/plant)	No of fruit (ea/plant)
60	Ambient T	1029.3±43.6 b ^Z	159.0±5.3 b	180.0±30.1 ab	179.3±13.3 a
	Ambient T+2	1275.7±19.9 a	195.0±6.2 a	214.3±39.5 a	179.3±15.2 a
	Ambient T+4	1093.3±9.5 b	166.6±3.1 b	162.3±18.8 b	148.7±43.7 ab
	Significant level	**	*	*	*
90	Ambient T	1099.0±127.4	229.7±46.4	133.7±16.5	127.3±4.5
	Ambient T+2	1539.3±125.4	293.3±6.1	138.7±17.0	121.3±9.1
	Ambient T+4	1451.3±58.3	309.3±31.7	114.7±53.5	114.7±13.3
	Significant level	ns	ns	ns	ns

The data are represented as the mean±SE of three replicates, which were analyzed with ANOVA and Duncan's multiple test. * and ** represent significant differences among means at 0.05 and 0.01 levels, respectively. ns: non-significant.

장, 마디수 등은 처리 간 유의성을 보이지 않았으나 생육 중기인 정식 90일 후에는 대기온도 +2°C 고온조건에서 분지수가 15.3개로 대조구인 대기온도 조건의 13개보다 분화의 정도가 큼을 알 수 있었다.

고추 생육기 온도조건별 주당 생체중 및 건물중을 조사한 결과(Table 3), 생육 초중기에 해당하는 정식 60일 후 주당 생체중은 대조구인 대기온도 조건에서 1029.3g에 비해 대기온도 +2°C 조건에서 1275.7g으로 246.4g이나 무거웠고, 주당 건물중도 대기온도 +2°C 조건에서 195.0g으로 대조구인 대기온도 조건의 159.0g에 비해 36g이나 많이 나갔다. Heo *et al.* (2013)은 고추의 생체중 및 건물중은 생육적온인 25°C보다 고온인 30°C에서 재배된 식물체에서 높은 경향을 보였고, 고추는 25°C에서 균형적인 생육과 생식생장이 전개되었으나 30°C의 고온에서는 영양생장이 높아 전체적으로 웃자라는 경향을 보였으며, 고온조건에서는 생식생장보다는 영양생장을 유도하는 것으로 보고하였다. 본 시험에서도 생체중 및 건물중은 생육 초중기에 해당하는 정식 60일 후 대기온도 +2°C 조건에서 생장이 빨랐다. 이 시기에 생육온도를 보면 고추 생육적온인 25°C 범위에 속함을 알 수 있었다. 또한, 고온성 채소인 고추의 경우 생육한계온도인 35°C까지 상승할수록 생육이 촉진될 수 있다고 하였는데 본 시험에서도 생육 중기에 해당하는 정식 90일 후부터는 생육온도가 30°C이상 고온조건에서 고추의 생식생장이 계속해서 진행되는 경향이었고 대조구인 대기온도 조건보다 고온조건에서 생체중과 건물중이 증가되는 경향이었으나 처리간 유의성을 보이지 않았다.

Kim *et al.*(2013)은 생육적온에서 고추재배는 수정에 크게 문제되지 않지만, 30°C 고온에서는 화분발아와 화분관 신장이 되지 않아 착과되지 않는 문제점이 있다고 하였다. 고추에서 화분발아에 최적온도는 25°C로 판단된다고 하였는데 본 시험에서도 고추 생육 초중기인 정식 60일 후 개화수 및 착과수를 조사한 결과 대기온도 +2°C 조건에서 개화수 및 착과수가 가장 많았다. 주개화 및 착과시기인 6월 상순~7월 상순(정식 후 30일~60일간)경 일평균 대기온도가 대기온도 +2°C 조건에서는 일평균 26.8°C로 이에 부합하는 결과를 얻었다. 하지만, 대기온도 +4°C 조건에서는 일평균 28.5°C로 높아 개화 및 착과가 현저히 떨어짐을 알 수 있었다. 그리고, 고추 생육 중기인 7월 상순~8월 상순(정식 후 60일~90일간)경 개화 및 착과수는 대기온도 +4°C 조건에서 가장 적었으나 처리간 유의한 차이를 보이지 않았는데, 이 시기 터널 내 일평균 대기온도가 대조구인 대기온도 조건이 30.2°C, 대기온도 +2°C 조건이 32.3°C, 대기온도 +4°C 조건이 34.4°C로 최적 화분발아온도인 25°C보다 높기 때문이라고 판단된다.

7월 17일부터 9월 11일까지 5차례 수확하여 적과(붉은 고추)의 길이와 폭, 과중 및 과건물중을 조사한 결과(Fig. 2), 과장이나 과폭 및 과중은 수확초기인 7월 17일 수확구에서 가장 컸으며 수확후기로 갈수록 작아지는 경향을 보였고, 고추 생육기 온도조건별 과실크기는 대조구인 대기온도 조건에 비해 대기온도 +4°C 고온조건에서 과실크기도 더 작아지는 경향을 보였다. 고추 생육기 온도조건별 과실크기를 비교해

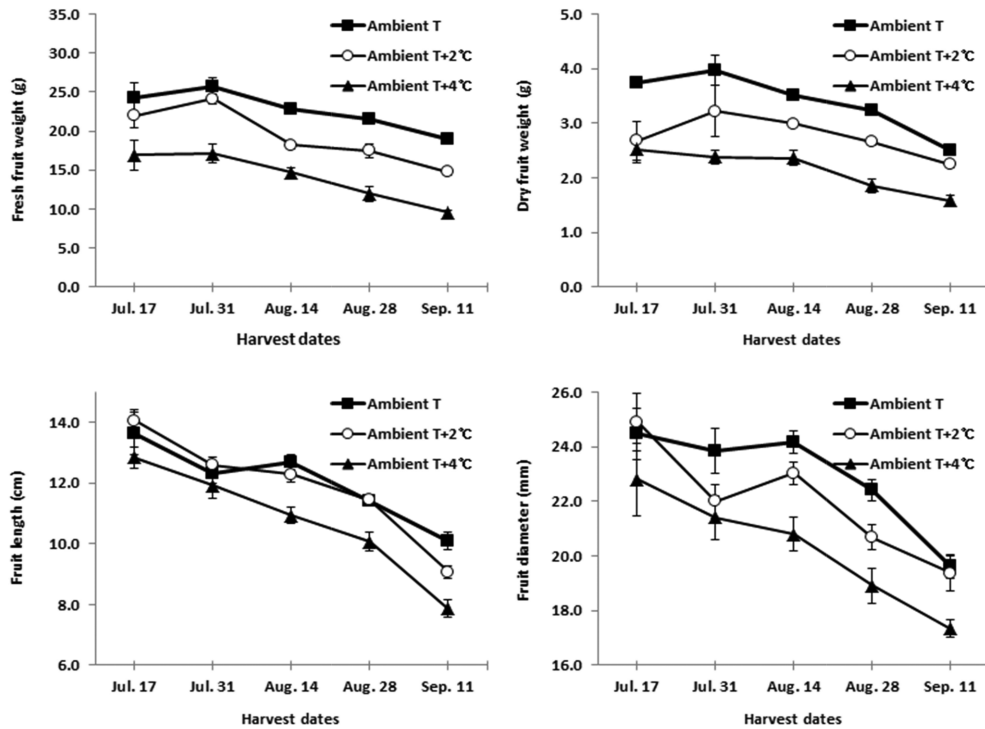


Fig. 2. Changes in fresh fruit weight, dry fruit weight, fruit length and fruit diameter of red pepper grown at different temperature in the temperature gradient tunnel.

보면 최종 수확일인 9월 11일에 과중은 대조구인 대기온도 조건에서 19.0g으로 대기온도 +4°C 조건 9.5g에 비해 2배나 무거웠고, 과장은 대조구인 대기온도 조건에서 10.1cm로 대기온도 +4°C 조건 7.9cm에 비해 2.2cm나 길었고, 과폭도 대조구인 대기온도 조건에서 19.6mm로 대기온도 +4°C 조건 17.3mm에 비해 2.3mm나 두꺼웠다.

고추 생육기 온도상승에 따른 수확시기별 과실 적과수, 적과 수량 및 건조과 중량을 조사한 결과(Fig. 3), 시기별 적과수는 8월 14일 수확시 대기온도 +4°C 고온 조건에서 적과수 46.2개로 대조구인 대기온도 조건의 28.6개보다 17.6개나 더 많았고, 그 이후에는 대기온도 +2°C 고온조건에서 타 조건에 비해 적과수가 많았다. 시기별 적과 수량을 보면 8월 14일 수확 시 적과 수량이 가장 많았는데 대기온도 +2°C 고온조건에서 주당 634.7g로 대조구인 대기온도 조건의 주당 613.3g보다 21.4g 더 많았고, 건조과 중량도 동일한 경향을 보였다.

고추의 붉은색 기준은 a×L값(quality index)으로 정리되며, a×L값 700 이상을 밝은 적색(brilliant red)으로 분류하고 있다(Jang *et al.*, 2000). 고추 생육기

온도차리에 따른 완숙 적고추 건조과의 붉은 색소는 a×L값은 7월 31일 수확하였을 때 가장 높았고, 그 이후 점차 감소하였다. 고추 생육기 온도상승에 따른 색깔변화는 특별한 차이를 보이지 않았다. 시중에 유통되는 고춧가루의 a×L값은 747~990(Lee *et al.*, 1992)과 614~822(Yun *et al.*, 2002) 정도로 보고되었는데 이와 비교하면 약간 높게 측정되었는데 이는 시험용이기 때문에 건조방법과 정선을 잘 실시하는데 따른 차이로 판단된다. 건조방법에 따라 색상 등이 달라져 상품성에 차이를 보인다는 것은 이미 잘 알려져 있다.

식물체의 당함량은 환경요인, 특히 이산화탄소 함량, 온도, 광량과 광질에 큰 영향을 받는다(Seong and Lee, 2002). Ku *et al.*(2001)은 고춧가루의 단맛을 나타내는 유리당은 fructose와 glucose가 대부분을 차지하며, sucrose와 maltose는 시료에 따라 미량만 분석되었다. 즉, 고추의 환원당은 주로 fructose와 glucose로 그 함량에 있어서는 재배지역, 재배 조건, 가공 조건에 따라 당 함량의 편차가 많았다고 보고하였다. 당성분은 광합성에 의해 생성되고 호흡에 의해 소모되기 때문에 주간에는 광합성을 통해 당이 다량

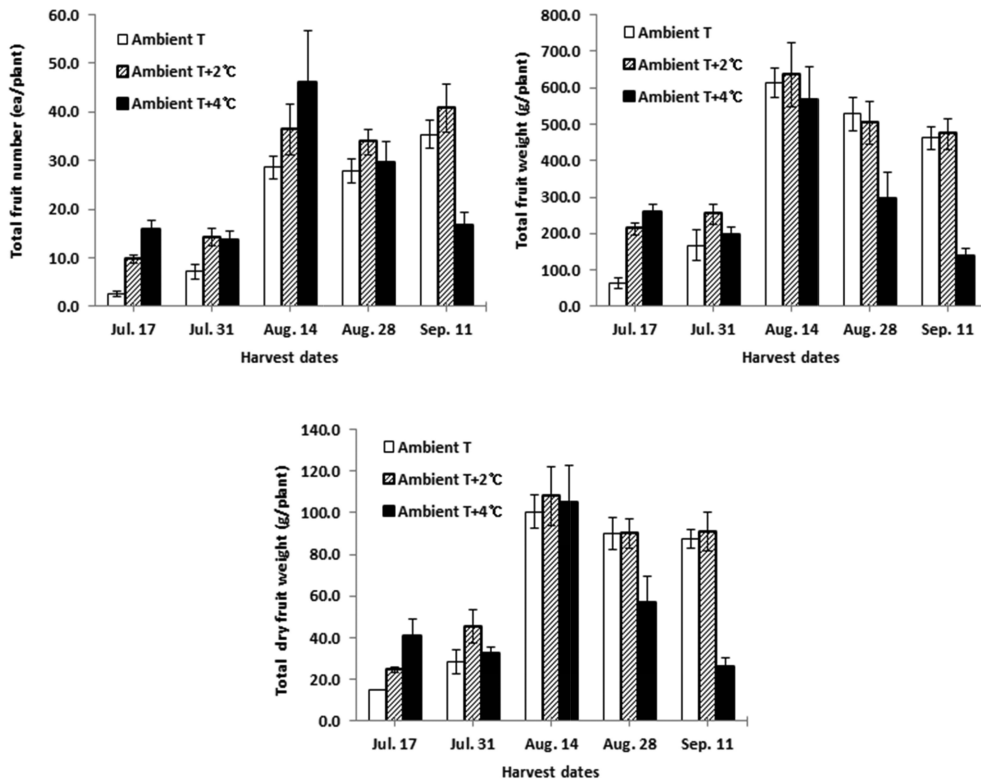


Fig. 3. Changes in total fruit number, total fruit weight and total dried fruit weight of red pepper grown at different temperature in the temperature gradient tunnel.

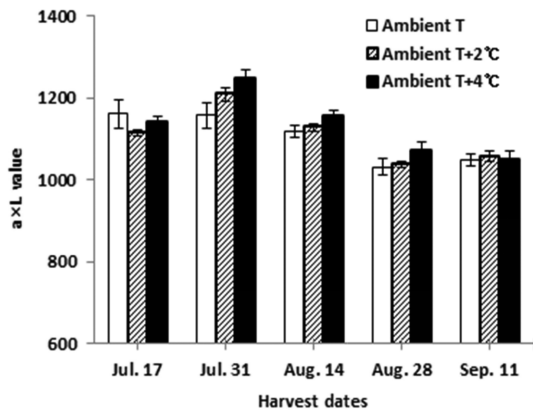


Fig. 4. Differences in a x L value of dried red pepper fruit grown at different temperature in the temperature gradient tunnel.

생성되고, 야간의 저온에 의한 호흡 저해로 당이 많이 축적되어 일교차가 큰 고지대가 당함량이 높은 것으로 알려져 있다. Park and Lee(1975)은 재배지역 환경조건에 따라 당함량이 많이 줄어든다고 하였으며, 이는

고추 재배지대별로 기온과 일조시수, 토양조건 등이 다르기 때문에 당함량의 차이가 있다고 하였다. 본 시험에서도 건고추의 유리당 함량을 조사한 결과(Fig. 4), 당함량은 fructose가 가장 많고 다음으로 glucose 순 이었고 sucrose는 거의 측정되지 않았다. 수확시기 별 glucose 함량은 수확초기인 7월 31일 수확하였을 때 대기온도 +4°C 고온조건에서 8.3%로 대조구인 대기온도 조건의 5.6%보다 2.7%나 많았으나, 수확후기인 9월 11일 수확 시에는 7.5%로 점차 감소하였다. 이에 반해 대조구인 대기온도 조건에서는 수확초기인 7월 31일 수확 시 5.6%에서 수확후기인 9월 11일 수확 시 8.8%로 점차 증가되는 경향을 보였다. 고추 생육기 온도조건에 따른 fructose 함량도 glucose 함량 변화와 유사한 경향을 보였다.

고추의 생육기 온도조건별 7월 17일부터 9월 11일 까지 5차례 수확한 과실의 누적 적과수, 누적 적과중 및 누적 건과중을 조사한 결과(Table 4), 주당 누적 적과수는 대기온도 +2°C 고온조건에서 135개로 대조구인 101.6개보다 33.4개 더 많았다. 누적수량 및 누

Table 4. Accumulated fruit number, accumulated fruit weight and accumulated dried fruit weight of red pepper fruits as influenced by the difference in temperature grown in the temperature gradient tunnel

Treatment	Accumulated fruit number (ea/plant)	Accumulated fruit weight (g/plant)	Accumulated dried fruit weight (g/plant)
Ambient T	101.6± 9.8 b ^z	1833.4±52.2 b	309.2±13.3 b
Ambient T+2	135.0±15.5 a	2076.6±239.8 a	353.9±48.1 a
Ambient T+4	122.0± 2.4 a	1460.3± 88.1 c	262.1±23.1 c
Significant level	*	***	**

^zMeans followed by the same letters are not significantly different at p=0.05 by Duncan's multiple range test.

Table 5. Changes of proportion of marketable and non-marketable fruit per plant as influenced by difference in temperature grown in the temperature gradient tunnel

Treatment	Harvest time	Marketable fruit (%)	Non-marketable fruit (%)			
			Diseased fruit	Damaged fruit by insect	Malformed fruit	Small sized fruit ^z
Ambient T	Jul. 17	86.7	6.7	6.7	0.0	0.0
	Jul. 31	85.7	2.4	0.0	2.4	9.5
	Aug. 14	95.3	1.3	1.3	0.7	1.3
	Aug. 28	91.4	0.7	5.3	2.6	0.0
	Sep. 11	81.9	13.4	0.5	4.2	0.0
Means		88.2	4.9	2.7	2.0	2.2
Ambient T+2	Jul. 17	83.1	10.2	6.8	0.0	0.0
	Jul. 31	97.3	2.7	0.0	0.0	0.0
	Aug. 14	93.3	5.6	0.0	0.0	1.0
	Aug. 28	88.9	3.7	1.6	5.8	0.0
	Sep. 11	77.9	11.1	2.3	8.4	0.4
Means		88.1	6.7	2.1	2.8	0.3
Ambient T+4	Jul. 17	87.8	12.2	0.0	0.0	0.0
	Jul. 31	97.2	2.8	0.0	0.0	0.0
	Aug. 14	84.0	14.9	0.0	0.0	1.1
	Aug. 28	75.1	19.3	0.0	2.0	3.6
	Sep. 11	58.5	5.6	4.9	16.9	14.1
Means		80.5	11.0	1.0	3.8	3.7

^zSmall sized fruit : less than 5 cm.

적 건고추의 수량을 조사한 결과에서도 대기온도 +2°C 고온조건에서 가장 많았다. 하지만 대기온도 +4°C 고온조건에서는 대조구에 비해 누적수량 및 누적 건고추 수량을 비교하였을 때 수량이 떨어짐을 알 수 있었다. 우리나라의 대표적인 고온성 노지작물인 고추는 현재 생육 온도조건보다 +2°C 조건에서는 수량이 13% 증가하나 +4°C 고온조건에서는 수량이 20% 이상 감소하는 결과를 보였다.

고추의 생육기 온도상승에 따른 온도조건 및 수확시기별 그루당 상품과율과 비상품과율을 조사한 결과 (Table 5), 대조구인 대기온도 조건에 비해 대기온도

+4°C 고온조건에서 비상품과율이 높은 경향을 보였고 특히 병해과의 비율이 높았다. 생육기 온도가 상승됨에 따라서 병해과, 기형과 및 소과 발생은 증가되는 양상을 보였으나 충해과의 발생은 줄어드는 경향을 보였다. 고온성 작물에 있어서 적정범위 내에서의 기온 상승은 작물의 생육가능 기간을 연장하여 생산성과 품질 향상에 유리한 측면이 있다 고온성 작물인 고추는 생육한계온도(35°C)까지 온도가 상승할수록 생육이 촉진될 수 있으나 이상고온에서는 회복발아율이 낮아 낙과율이 증가할 것이며, 이는 수량 감소로 이어질 수 있다(Heo, 2013). 본 실험 결과 대기온도 +2°C 조건

에서는 수량이 증가되고 및 품질도 유지되는 경향을 보였으나 그 이상의 온도조건에서는 수량감소 과실품질 저하 및 병피해가 발생될 것으로 판단된다.

적 요

본 연구는 생육기 온도상승이 고추의 생육 및 과실 품질에 미치는 영향을 살펴보고자 온도구배터널을 이용하여 수행하였다. 생육기 온도상승에 따른 고추의 생육을 조사한 결과, 대기온도 조건에 비해 2°C 높은 고온조건에서 자라는 고추가 초장도 길었고, 줄기직경도 두꺼웠으며, 엽수, 식물체당 총엽면적, 생체중 및 건물중도 증가되었다. 평균 엽면적은 생육온도가 높아질수록 점점 줄어드는 경향을 보였다. 주된 개화 및 착과시기인 6월 상순 7월 상순(정식 후 30일 ~ 60일간)의 일평균 대기온도가 26.8인 대기온도 +2°C 조건에서 개화수 및 착과수가 가장 많았다. 고추 생육기 온도가 높을수록 과중은 적었고 과장도 짧아지며 과경도 얇아지는 경향을 보였다. 과실 적과수, 적과량, 건조과 중량, 주당 누적 적과수, 누적수량 및 건조추 수량을 조사한 결과 대기온도 +2°C 조건에서 가장 많았다. 건조추의 유리당 함량을 조사한 결과 fructose가 가장 많고 다음으로 glucose 순 이었고 sucrose는 거의 측정되지 않았다. 고온성 노지작물인 고추는 생육 온도조건보다 2°C 상승되었을 때 수량이 13% 증가하나 4°C 상승되었을 때에는 20% 이상 감소하는 결과를 보였다. 생육기 온도가 상승됨에 따라서 병해과, 기형과 및 소과 발생은 증가되는 양상을 보였으나 충해과의 발생은 줄어드는 경향을 보였다. 본 실험 결과 대기온도보다 2°C 상승시킨 조건에서는 수량이 증가하고 품질도 유지되었으나 그 이상의 온도에서는 수량 및 과실품질이 저하되고 병피해도 발생될 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 시험연구 사업(과제번호: PJ009292)의 지원으로 이루어졌습니다.

REFERENCES

Andrew, J., 1995: *Peppers; The domesticated capsicum*.

Univ. Texas Press. Austin.

Brown, D., and W. Blackburn, 1987: Impacts of freezing temperatures on crop production in Canada. *Canadian Journal of Plant Science* **67**, 1167-1180.

Cho, B. C., K. W. Park, H. M. Kang, and H. K. Yun, 2004: Correlation between climatic elements and External characteristics of red pepper fruit in different growing periods. *Journal of Bio-Environment Control* **13**(2), 73-80. (in Korean with English abstract)

Cho, B. C., K. W. Park, H. M. Kang, W. M. Lee, and J. S. Choe, 2004: Correlation between climatic elements and internal characteristics of red pepper fruit in different growing periods. *Journal of Bio-Environment Control* **13**(2), 67-72. (in Korean with English abstract)

Choi, J.-Y., and J. I. Yun, 2002: Implementing the Urban Effect in an Interpolation Scheme for Monthly Normals of Daily Minimum Temperature. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **4**, 203-212. (in Korean with English abstract)

Chung, U., H.-C. Seo, J. I. Yun, and K.-H. Lee, 2003: An Optimum Scale for Topoclimatic Interpolation of Daily Minimum Temperature in Complex Terrain. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **5**, 261-265. (in Korean with English abstract)

Chung, U., H.-H. Seo, K.-H. Hwang, B. S. Hwang, and J. I. Yun, 2002: Minimum Temperature Mapping in Complex Terrain Considering Cold Air Drainage. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **4**, 133-140. (in Korean with English abstract)

FAO., 2004: Impact of climate change on agriculture in Asia and the Pacific. *Twenty-seventh FAO Regional Conference for Asia and the Pacific*. Beijing, China, 17-21 May 2004.

Hadley, P., G. R. Batts, R. H. Ellis, J. I. L. Morison, S. Pearson, and T. R. Wheeler, 1995: Temperature gradient chamber for research on global environment change. II. A twin-wall tunnel system for low-stature, field-grown crops using a split heat pump. *Plant, Cell & Environment* **18**, 1055-1063.

Heo, Y., E. G. Park, 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, 2013: The Influence of abnormally high temperature on growth and yield of hot pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Agriculture & Life Science* **47**(2), 9-15. (in Korean with English abstract)

Houghton, J. T., L. G. Meira Filho, B. A. Callander, N. Harriss, A. Katenberg, and K. Maskell, 1996. *Climate change 1995. The science of climate change*. Cambridge Univ. Press, Cambridge.

Hwang, J. M., and B. Y. Lee, 1978: Studies on some horticultural characters influencing quality and yield in the pepper (*Capsicum annuum* L.). II. Correlations and selection. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology* **19**, 48-55. (in Korean with English abstract)

- Hwang, K.-H., J.-T. Lee, J. I. Yun, S.-O. Hur, and K.-M. Shim, 2001: Characteristics of Nocturnal Cooling at a Pear Orchard in Frost-Prone Area. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **3**, 206-214. (in Korean with English abstract)
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007: *Climate change 2007: Mitigation of climate change, contribution of working group III*. contribution to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, Cambridge University Press, Cambridge, New York, USA.
- Jang, K. S., D. J. Choi, D. H. Pae, J. T. Yoon, and S. K. Lee, 2000: Effects of altitudes on growth and fruit quality in red pepper (*Capsicum annuum* L.). *Korean Journal of Horticultural Science & Technology* **41**(5), 485-489. (in Korean with English abstract)
- Jung, J. E., U. Chung, J. I. Yun, and D. K. Choi, 2004: The Observed Change in Interannual Variations of January Minimum Temperature between 1951-1980 and 1971-2000 in South Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **6**, 235-241. (in Korean with English abstract)
- Kim, B. S., K. Y. Kim, S. K. Kim, and J. K. Sung, 1995: *Pepper profitable techniques and marketing strategy*. Nongminshinmunsa.
- Kim, S. H., H. You, E. G. Park, B. G. Son, Y. W. Cho., Y. J. Lee, Y. H. Park, J. M. Suh, J. M. Suh, J. H. Cho, C. O. Hong, S. G. Lee, and J. S. Kang, 2013: The influence of temperature, amino acid and polyamin on pollen germination of pepper(*Capsicum annuum* L.). *Journal of Agriculture & Life Science* **47**(2), 1-8.
- Ku, K. H., N. Y. Kim, J. B. Park, and W. S. Park, 2001. Characteristics of color and pungency in the red pepper for Kimchi. *Korean Society of Food Science and Technology* **22**(2), 231-237. (in Korean with English abstract)
- Lee, H. D., M. H. Kim, and C. H. Lee, 1992: Relationships between the taste components and sensory preference of Korean red peppers. *Korean Journal of Food Science and Technology* **24**, 266-271. (in Korean with English abstract)
- 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 Journal of Horticultural Science & Technology* **32**(3), 318-329. (in Korean).
- Park, C. R., and K. J. Lee, 1975: A study on the influence of drying methods upon the chemical changes in red pepper. II. change of free amino acid, free sugar. *The Korean Journal of Nutrition* **8**(4), 167-171. (in Korean with English abstract)
- Park, J. C., S. M. Park, K. C. You, and C. S. Jeong, 2001: Changes in postharvest physiology and quality of hot pepper fruits by harvest maturity and storage temperature. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology* **42**, 289-294. (in Korean with English abstract)
- Poster, J. R., and M. A. Semenov, 2005: Crop response to climatic variation. *Philosophical Transactions B* **360**, 2021-2035.
- Seong, R. C., and H. J. Lee, 2002: *Physiology of crop plants*. Korea Univ. Press, Seoul (in Korean).
- Yun, J. I., J.-Y. Choi, and J.-H. ahn, 2001: Seasonal Trend of Elevation Effect on Daily Air Temperature in Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **3**, 96-104. (in Korean with English abstract)
- Yun, J. Y., D. O. Kim., G. W. Choi, and S. K. Park, 2002: *Breeding of hot pepper varieties for the international market*. Ministry of Agriculture and Forestry, Korea. 279pp.
- White, D. R., and W. W. Wider, 1990: Application of high performance anion-exchange chromatography with pulsed amperometric detection to sugar analysis in citrus juice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **38**, 1918.
- Wolfe, D. W., M. D. Schwartz, A. N. Lakso, Y. Otsuki, R. M. Pool, and N. J. Shaulis, 2005: Climate change and shifts in spring phenology of three horticultural woody perennials in northeastern USA. *International Journal of Biometeorology* **49**, 303-309.