

고온기 야간시간 근권냉방이 파프리카 배지온도와 생리적 반응에 미치는 영향

최기영^{1†} · 고지연^{1†} · 최은영² · 이한철³ · 이성은⁴ · 이용범^{1*}

¹서울시립대학교 환경원예학과, ²건국대학교 녹색기술융합학과,
³국립원예특작과학원 시설원예시험장, ⁴제주한라대학교 마추자원학과

The Effect of Root Zone Cooling at Night on Substrate Temperature and Physiological Response of Paprika in Hot Climate

Ki Young Choi^{1†}, Ji Yeon Ko^{1†}, Eun Young Choi², Han Cheol Rhee³,
Sung Eun Lee⁴, and Yong-Beom Lee^{1*}

¹Department of Environmental Horticulture, The University of Seoul, Seoul 130-743, Korea

²Department of Green Technology Convergence, Konkuk University, Chungju 380-701, Korea

³Protected Horticulture Experiment Station, NHRI, RDA, Busan 618-800, Korea

⁴Department of Equine Resource, Cheju Halla University, Jeju, Jeju Special Self-Governing Province, 690-708, Korea

Abstract. This study examined a technique for cooling root zone aimed at lowering substrate temperature for sweet pepper (*Capsicum annuum* L. 'Orange glory') cultivation in coir substrate hydroponics during hot season, from the 16th of July to 15th of October in 2012. The root zone cooling technique was applied by using an air duct (Ø12 cm, hole size 0.1 mm) to blow cool air between two slabs during night (5p.m. to 3a.m.). Between the 23rd of July and 31st of August (hot temperature period), average daily substrate temperature was 24.7°C under the root zone cooling, whereas it was 28.2°C under condition of no cooling (control). In sunny day (600~700 W m⁻² · s⁻¹), average substrate temperatures during the day (6a.m. to 8p.m.) and night (8p.m. to 6a.m.) were lower about 1.7°C and 3.3°C, respectively, under the cooling treatment, compared to that of control. The degree of temperature reduction in the substrate was averagely 0.5°C per hour under the cooling treatment during 6p.m. to 8p.m.; however, there was no decrease in the temperature under the control. The temperature difference between the cooling and control treatments was 1.3°C and 0.6°C in the upper and lower part of the slab, respectively. During the hot temperature period, about 32.5% reduction in the substrate temperature was observed under the cooling treatment, compared to the control. Photosynthesis, transpiration rate, and leaf water potential of plants grown under the cooling treatment were significantly higher than those under the control. The first flowering date in the cooling was faster about 4 days than in the control. Also, the number of fruits was significantly higher than that in the control. No differences in plant height, stem thickness, number of internode, and leaf width were found between the plants grown under the cooling and control, except for the leaf length with a shorter length under the cooling treatment. However, root zone cooling influenced negligibly on eliminating delay in fruiting caused by excessively higher air temperature (> 28°C), although the substrate temperature was reduced by 3°C to 5.6°C. These results suggest that the technique of lowering substrate temperature by using air-duct blow needs to be incorporated into the lowering growing temperature system for growth and fruit set of health paprika.

Additional key words : photosynthesis, water potential, air-duct cooling, number of fruit, *Capsicum annuum* L.

*Corresponding author: hydropono@uos.ac.kr

Received October 2, 2013; Revised October 15, 2013;

Accepted October 22, 2013

[†]These authors contributed equally to this work.

서 론

국내에서 파프리카 재배는 20년도 안 되는 짧은 재배 역사를 지녔지만, 생산성은 ha당 100.6톤(MARFA, 2012)으로 토마토, 오이 등 다른 과채류에 비해 높다. 건강에 대한 관심 고조와 함께 파프리카는 소비자에게 고급 기능성 채소로 인식되면서 2011년 생산량 43,160톤 중 51.9%가 국내 소비되고, 48.1%를 수출하고 있다(aT, 2013).

파프리카는 남부 지방과 강원도 지방을 중심으로 연중 생산되고 있다. 우리나라 여름철 일중 최고 온도는 30~35°C를 웃돌기 때문에 시설 내부 온도는 이보다 높은 40°C를 상회하기도 한다. 파프리카 재배 적정온도는 착과 이전에는 주간 25~27°C, 야간 18~20°C이며, 착과 후에는 일평균 온도를 21°C로 관리함을 권장 목표로 한다(Bakker와 Uffelen, 1988). 그러나 여름철 고온 다습한 시설 환경은 배꼽썩음과, 꼭지무름과, 일소과 등의 생리장해 뿐 아니라 낙화 및 낙과율이 증가하여 생산성과 품질 향상의 제한 요인이 된다(Cho 등, 2009; Rylski와 Spigelman, 1982).

시설 재배 온도가 생육 적온보다 높아지면 배지 온도 또한 상승하여 파프리카 근권부는 적정 온도인 17~24°C보다 높은 근권 온도에서 재배된다. 근권 온도는 뿌리 발달, 양·수분 흡수, 광합성 등 생육 영향 인자로서 높은 근권 온도는 작물 수량 저해 요인으로 작용할 수 있다(Behboudian 등, 1994; Rylski와 Spigelman, 1982).

시설 내 온도를 하강시키는 냉방 중 야간 또는 국소냉방을 이용하는 방식은 온실 전체를 냉방하는 것보다 더 경제적인 수 있다(Lee 등, 2002; Morgan, 2011). 최근에는 유공 덕트와 열 교환기를 이용하여 외기를 흡입한 후 각 덕트의 구멍으로부터 저온 건조한 공기가 뿜어나오는 구조를 이용한 강제 환기 방식(Na 등, 2011)으로 온도를 낮추고 있다.

따라서 본 실험은 고온기 파프리카 수경재배에서 작물과 작물 사이에 공기 순환 덕트를 이용하여 야간시간 냉방하였을 때 근권의 배지 온도 변화와 파프리카 생육에 미치는 영향을 알아보기로 수행하였다.

재료 및 방법

공시품종은 파프리카(*Capsicum annum*. L) 'Orange glory'(Semini Vegetable Seed Inc. USA)이며, 서울시립대 유리온실에 2012년 7월 16일 초장이 40cm인 묘를 정식하였다. 재배 방식은 비순환식 수경재배시스템으로 칩이 50% 함유된 코코넛슬라브(chip : dust = 5 : 5(v/v), 20(W) × 100(L) × 12(H)cm, Shinsung Minerals Co., Sri

Lanka)에 파프리카를 3주씩 심고, 두 줄기 유인하면서 10월 15일까지 재배하였다. 배양액은 네덜란드 파프리카 배양액을 사용하였고, 양액공급은 타이머를 사용하여 1회 100~200ml, 일출 후 2시간부터 일몰 1시간 전까지 하루 8~9회씩 생육단계에 따라 일일 급액량과 공급 EC 2.7~3.5dS·m⁻¹를 조정하였고, 근권 pH 5.7 ± 0.2로 조절하면서 재배하였다.

공기 순환 덕트 근권냉방은 지름 12cm의 폴리에틸렌 필름에 1.5cm 간격으로 0.1mm 크기의 작은 미세 구멍을 뚫어 이동식 에어컨(DQA-6000A, Daeil Co., Ltd., Korea)을 이용해 찬 공기를 공급하는 air duct(AD)방식이다. AD냉방은 식물체 사이 배지 상부에 설치하고 미세구멍을 통해 배지로 찬 공기가 스며들 수 있도록 하였고, 평균 풍량은 0.26m³·s⁻¹였다(Testco425, Germany). 7~8월에 AD로 송풍된 온도는 20 ± 2°C, 9월은 23 ± 2°C로 조절하였다. 냉방시간은 오후 5시부터 새벽 3시까지 10시간 냉방처리하였고, 7월23일 9월 23일까지 공급하였다.

온실 내 온도는 대기 온습도센서(SHT-110, Miraesensor Co., Korea)로 10분마다 계측하였고, 배지 온도는 FDR 센서(CoCo Sensor, Miraesensor Co., Korea)를 이용하여 작물과 작물 사이에 센서를 상부에서 5~7cm 깊이에 꽂아 10분 간격으로 계측한 후 Data logger(WP700, Miraesensor Co., Korea)에 자료를 수집하여 배지의 일평균온도, 최고 온도, 최저온도에 활용하였다.

하루 중 배지 온도는 8월 1일(일사량 600~700W·m⁻²) 수집 자료 중에서 주간(오전 5시~오후 8시)과 야간(오후 8시~오전 5시)으로 나눠 분석하였으며, 배지 깊이에 따른 온도 차이를 알아보기로 CR10X data logger(Campbell Scientific, USA)로 같은 날의 배지 온도를 하부와 상부로부터 각각 2cm 떨어질 부분의 배지 온도를 10분 간격으로 수집한 후 배지온도 차(냉방처리-대조구)배지온도)로 분석하였다.

처리 15일 째 파프리카 상부로부터 3번째 전개된 잎을 휴대용 광합성 측정기(Li6400xt, Licor, USA)로 증산율 기공전도도를 측정하였다. 측정조건으로는 공기 유량 500 ± 2m³·s⁻¹, CO₂ 농도 400ppm, 광합성유효광양자밀도 700μmol·m⁻²·s⁻¹로 설정하였다. 처리 43일 째 오전 9시부터 3시간 간격으로 다음날 오전 6시까지 상부에서 3번째 마디의 전개 잎을 채취하여 휴대용 잎 수분퍼텐셜 측정기(SKPM 1400, SKYE, UK)로 질소 가스 압력에 의해 수액이 엽병 밖으로 나오는 시점의 값으로 잎 수분퍼텐셜을 측정하였다. 처리 기간 중 첫 개화시기와 착과 수(처리 63일, 77일) 및 처리 81일째 초장, 경경, 마디 수, 엽장, 엽폭 등의 생육조사를 하였다.

통계분석은 SAS version 9.1(SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)를 이용하였으며, 평균과 표준오차를 구하여

$P < 0.05$ 수준에서 Duncan's multiple range test를 실시하였다.

결과 및 고찰

7월 23일부터 8월 31일까지 40일 동안 야간시간 AD 근권냉방이 이루어졌을 때 파프리카 배지의 일평균 온도는 24.7°C ($23.5\sim 27.1^{\circ}\text{C}$)로 대조구 28.2°C ($26.8\sim 29.3^{\circ}\text{C}$)에 비해 일평균 배지온도가 3.5°C ($3.0\sim 5.6^{\circ}\text{C}$) 낮아졌다(Fig. 1). 기간 중 온실 일평균 온도는 28.7°C ($22.6\sim 32.9^{\circ}\text{C}$)로 대조구 일평균 배지 온도와 차이가 없었다. 배지의 최대온도와 최저온도는 냉방처리구에서는 28.8°C ($27.1\sim 31.4^{\circ}\text{C}$), 20.9°C ($18.3\sim 22.1^{\circ}\text{C}$)였으며, 대조구는 31.2°C ($29.9\sim 32.9^{\circ}\text{C}$), 23.9°C ($21.9\sim 24.7^{\circ}\text{C}$)였다(자료미제시). 냉방처리로 최대온도는 2.4°C , 최저온도는 3.0°C 하강함으로써 야간 냉방으로 배지 온도 하강이 주간 최대 온도에도 영향을 준 것을 볼 수 있다.

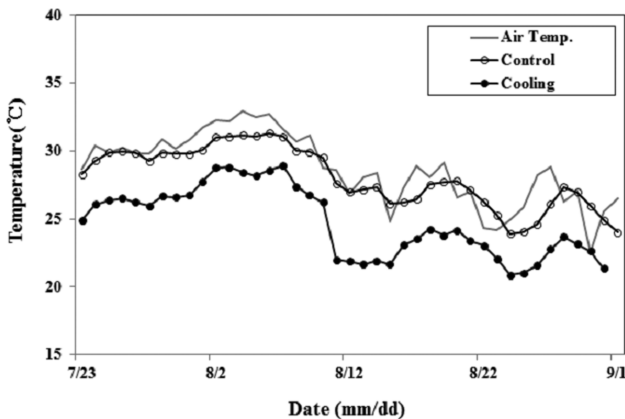


Fig. 1. Average daily temperature of substrate as influenced by cooling root zone at night. Cooling was applied during 5p.m. to 3a.m by using an air duct to blow cool air between two slabs. Data were recorded every 10 minutes between the 23rd of July and 31st of August, 2012.

맑은 날($600\sim 700\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$) 하루(8월 1일) 중 배지의 일평균온도, 주간(오전 5시~오후 8시)과 야간시간(오후 8시~오전 5시) 평균 배지 온도를 측정된 결과는 Table 1과 같다. 냉방처리구의 온실 일평균 온도가 28.2°C 였을 때, 냉방처리구 일평균 배지온도는 27.8°C 였으며, 주간/야간 온도는 $28.6/26.4^{\circ}\text{C}$ 였다. 대조구의 온실 일평균 온도는 31.6°C , 배지 일평균 온도는 30.1°C , 주간/야간 온도는 $30.3/29.7^{\circ}\text{C}$ 를 보였다. 근권냉방으로 냉방처리구의 일평균, 주간/야간 온도는 대조구보다 각각 2.3°C , $1.7^{\circ}\text{C}/3.3^{\circ}\text{C}$ 낮아졌다. 그러나 대조구의 배지온도는 주간/야간 온도가 차이가 없었으며, 오후 8시까지 배지 온도가 상승하여, 일몰 이후의 야간시간인 오후 8시~오전 7시 사이의 배지온도는 온실 온도보다 높았다(자료미제시). 하루 중 냉방처리구의 배지 온도는 야간 냉방으로 야간 시간 배지 온도가 하강하였고, 다음 날 주간 배지 온도에 영향을 줌으로써 주간/야간 온도가 대조구보다 낮아져 일평균 배지 온도가 대조구보다 2.3°C 낮아졌다. 야간 시간 시간당 배지온도 평균 하강속도는 대조구 $0.20^{\circ}\text{C}/\text{h}$, 냉방처리구는 $0.28^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 였다. 한편 오후 6시에서 8시까지 2시간 동안의 시간당 배지 온도 하강속도는 냉방처리구에서는 평균 $0.5^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 로 대조구($0^{\circ}\text{C}/\text{hr}$)에 비해 초저녁 배지 온도를 하강시키는 효과가 컸다. 그러나 오전 9시에서 11시까지 2시간 동안 시간당 배지 온도 상승 속도 또한 냉방처리구에서 $1.38^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 로 대조구($0.62^{\circ}\text{C}/\text{h}$)보다 높아 배지 내 온도 변화가 크게 나타나 변이계수에 차이를 보였다. 근권냉방에 의한 배지 온도 변화는 XL 파이프를 이용한 냉수 순환 근권 방식을 적용한 결과에서도 동일한 변화 양상을 얻었다(Choi 등, 2012).

배지 위치에서의 대조구 대비 처리구의 배지 온도의 차를 측정된 결과 AD와 가까운 배지의 상부가 하부보다 온도차가 컸다(Fig. 2). 상부의 하루 평균 온도차는 상부 1.3°C ($0.4\sim 3.5^{\circ}\text{C}$)였으며, 하부는 0.6°C ($0\sim 1.4^{\circ}\text{C}$)로 배지 깊이 12cm 길이에서 상부와 하부 간의 온도 차는 2.2배 차이를 보였다. 하루 중 시간에 따른 배지 온도

Table 1. Average substrate temperature for daily, day and night on a sunny day as influenced by cooling root zone at night. Solar radiation at midday was $600\sim 700\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ at the 1st of August, 2012.

	Average substrate temperature ($^{\circ}\text{C}$)			Greenhouse temperature ($^{\circ}\text{C}$)
	Daily	Day (6a.m. to 8p.m)	Night (8p.m. to 6a.m)	
Control	30.1 ± 1.4^z	30.3 ± 1.5^y	29.7 ± 1.2	31.6 ± 3.7
CV ^x (%)	4.5	4.8	4.2	11.6
Cooling	27.8 ± 2.0	28.6 ± 2.0	26.4 ± 1.3	28.2 ± 1.9
CV (%)	7.1	7.0	4.9	6.8

^zStandard deviation of 144 replications.

^yStandard deviation of 78 replications.

^xCoefficient of variation.

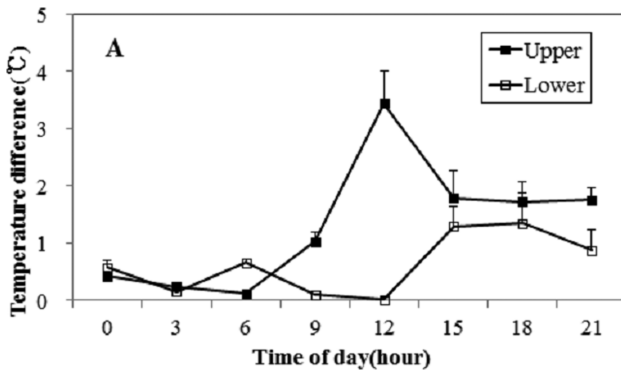


Fig. 2. Temperature difference between the cooling and control treatments in the upper and lower part of the slab on a sunny day as influenced by cooling root zone at night. Solar radiation at midday was 600~700 W · m⁻² at the 1st of August, 2012.

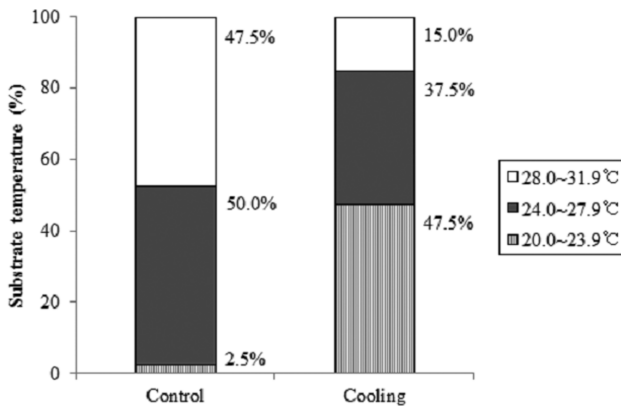


Fig. 3. Range of substrate temperature as influenced by cooling root zone at night. The observations were made between the 23rd of July and 31st of August, 2012.

치는 정오 12시 상부에서 3.5°C로 가장 컸다. 상부와 하부에서의 최대 온도차 시간대가 상부는 정오, 하부는 오후 6시로 차이를 보였다. 이는 냉방이 공급되지 않는 낮 시간대 정오를 시작으로 배지온도는 배지 상부에서부터 급상승하여 하부로 전달됨에 따라 하부의 온도 변화가 적음에 따라 온도 차가 작았다. 그러나 상부 온도는 낮 시간 배지 온도를 상승시켰고, 배지 온도의 상승 속도가 오전 9~11시였으며, 정오인 12시 배지 온도는 오전에 비해 급격히 높아진 대조구의 온도가 상부 냉방처리구의 온도와 큰 차를 줌으로써 배지 위치별 온도차가 하루

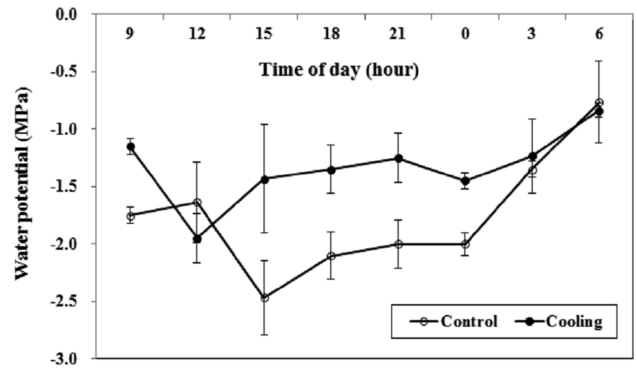


Fig. 4. Leaf water potential of sweet pepper leaves at 43 days after treatment. Vertical bars indicate standard errors of three replications.

중 배지 온도 차에 영향을 준 것으로 판단된다.

고온기(7월23일부터 8월31일까지) 40일 동안 일평균 배지온도를 이용하여 배지온도 분포율(%)를 작성한 결과는 Fig. 3과 같다. 대조구 배지온도가 20.0~23.9°C로 계측된 날은 1일로 2.5%였으며, 24.0~27.9°C 분포율은 50%, 28.0~32.0°C 분포율은 47.5%였다. 그러나 냉방처리구는 20.0~23.9°C 분포율이 47.5%, 24.0~27.9°C 분포율은 37.5%, 28.0~31.9°C 분포율은 15%로 대조구보다 28.0~32.0°C 배지의 고온 노출율을 32.5% 감소시켰다.

처리 15일 째 파프리카의 광합성, 증산율 및 기공전도도는 대조구에 비해 유의($p = 0.05$)하게 높았다(Table 2). 처리 43일 째 3시간 간격으로 측정된 파프리카 잎 수분포텐셜은 오후 3시부터 1.0MPa 차이를 보이면서 자정까지 0.5MPa 이상 높은 수분포텐셜을 유지하였다(Fig. 4). 파프리카 잎 수분포텐셜이 급격하게 낮아진 시간이 냉방처리구는 오전 9시 이후, 대조구는 정오 이후였다. 이는 냉방처리구의 하루 중 배지 온도 상승 시간대가 오전 9시에서 11시에 이루어졌던 반면, 대조구는 정오 이후 상승속도가 커짐에 따른 고온의 근권온도 시간대와 유사함에 따라(Table 1), 근권 온도가 고온으로 올라간 시간대 수분포텐셜에 영향을 주었으리라 생각한다. Nilsen과 Orcutt(1996)은 고온에서 수증기압차의 증가는 수분결핍을 유도하고 기공과 엽 수분포텐셜을 감소시켜 결국 광합성이 감소했음을 보고한 바와 같이, 고온에서의 식물의 생리적 반응으로 양 · 수분 흡수(Tan 등, 2002), 광합

Table 2. Photosynthesis, transpiration rate and stomatal conductance of sweet pepper leaves at 15 days after treatment.

	Photosynthesis ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	Transpiration rate ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	Stomatal conductance ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
Control	13.37 b	10.23 b	0.98 b
Cooling	15.05 a	11.28 a	1.34 a

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

Table 3. 1st flowering time and number of fruiting of sweet pepper as influenced by cooling root zone at night.

Treatment	1 st flowering time (mm/dd)	Number of fruits/(plant)	
		63th DAT	77th DAT
Control	9/7	5.7 b ²	7.0 b
Cooling	9/3	8.3 a	9.0 a

²Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $P = 0.05$.

성(Behboudian 등, 1994), 수분포텐셜(Moon 등, 2007)이 낮아질 수 있다. 그러나 고온에서 파프리카는 잎의 광합성에도 영향을 주지 않고 꽃눈과 꽃으로의 ¹⁴C 당 분배는 감소시키는 반면, 어린 잎으로 증가시켜 낙화와 착과 감소 요인으로 작용했음을(Aloni 등, 1991), 25°C보다 33°C에서의 파프리카 기공전도도와 광합성은 증가했음을(Erickson과 Markhart, 2001) 보고하여 고온에서 파프리카는 영양생장을 유도할 수 있음을 시사했다.

파프리카 첫 개화일은 냉방처리구에서 4일 빨리 개화하였으며, 과수도 대조구보다 유의하게($p < 0.05$) 많아 근권냉방으로 인한 배지 온도 하강이 개화 일을 앞당기고 식물체당 착과 수에도 영향을 주었다(Table 3). 이러한 결과는 근권냉방에 의한 배지 온도 하강으로 토마토 화방별 착과율이 증가(Lee 등, 2002)하였으며, 파프리카의 양액 냉각 처리로 과실 착과율과 A등급 수량이 증가(Jang 등, 2010)하였고, 초저녁 냉방시스템 온도를 16°C로 설정하여 파프리카를 재배하였을 때, 일평균 온도 25.2°C(대조구)에 비해 처리구 온도가 2.1°C 낮아졌으며, 착과율을 증가시켜 과실 동화산물의 분배에 효과적이라고 보고(Lee 등, 2011)한 결과들과 유사하였다. 그러나 주간 온도가 $\geq 32^\circ\text{C}$ 고온인 경우는 착과가 감소(Rylski와 Spigelman, 1982; Khan과 Passam, 1992)한다는 결과와 같이, 본 실험은 에어덕트의 낮은 풍속(평균 0.26m/s), 송풍 온도 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 로 조절하여 야간에 근권냉방함으로써 일평균 배지온도 $3.0 \sim 5.6^\circ\text{C}$ 를 낮추었으나, 고온기 온실 내 일평균 온도가 28.7°C, 최고 40.4°C을 보여 주간 온도를 낮추지는 못하여 파프리카 착과를 위한 적정 온도(21°C)보다 높음에 따라 낙화율이 많아짐으로써 착과 시기가 늦어졌다.

파프리카의 생육은 엽장을 제외한 초장, 주 경경, 분지

수, 엽폭, 엽형비(엽장/엽폭)에서 처리에 따른 차이가 없었다(Table 4). 본 실험은 고온으로 영양 생장이 우세하였지만, 냉방처리 49일 이후 파프리카 엽장과 엽폭이 짧아지는 경향을 보여(자료 미제시), 근권냉방에 의한 배지 온도 하강이 파프리카 엽형 변화, 성장패턴에 영향을 줄 수 있으리라 생각되어 추후 이에 대한 연구가 필요하리라 본다.

따라서 근권 냉방으로 배지 온도를 낮추어 뿌리 활력, 수분 포텐셜 등 생리적 반응에 유의하더라도 지상부 고온($> 28^\circ\text{C}$)으로 파프리카 개화가 늦어짐에 따라 고온기 근권 냉방은 차광, 환기 면적 확대 등 주간 온도를 낮추면서 근권냉방이 병행했을 때 냉방효과를 더 기대할 수 있으리라 본다. 특히 AD냉방방식은 덕트의 방향과 위치, 천공의 크기에 따른 풍속이 배지 온도, 기류 변화에 영향을 줄 수 있으므로, 식물의 양·수분 흡수, 생리적 반응 뿐 아니라 생육과 수량에 미치는 요인을 추후 검토해야 하리라 생각한다.

적 요

본 실험은 고온기 근권냉방이 파프리카의 배지온도 하강과 파프리카의 생리적 반응에 미치는 영향을 알아보고자 7월 16일부터 10월 15일까지 코이어 배지에서 재배하였다. 냉방방식은 공기순환 덕트(지름 12cm, 미세구멍(0.1mm)으로 찬 공기(7월~8월; $20 \pm 2^\circ\text{C}$, 9월; $23 \pm 2^\circ\text{C}$)를 야간시간(오후 5시~오전 3시) 공급하였다.

고온기(7월 23일부터 8월 31일) 중 파프리카 배지의 일평균 온도가 냉방처리구는 24.7°C, 대조구는 28.2°C로, 냉방처리구에서 대조구보다 $3.0 \sim 5.6^\circ\text{C}$ 배지온도가 낮아졌다. 하루 중 맑은 날($650 \sim 700\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$) 주간(오전 5시~오후 8시)야간(오후 8시~오전 5시) 냉방처리구 배지 온도는 대조구보다 $1.7^\circ\text{C}/3.3^\circ\text{C}$ 낮아졌다. 오후 6시에서 8시까지 초저녁 배지온도 하강속도가 냉방처리구에서는 평균 $0.5^\circ\text{C}/\text{h}$, 대조구는 $0^\circ\text{C}/\text{h}$ 였다. 배지 상부와 하부 간의 대조구 대비 냉방처리구의 온도차도 각각 1.3°C , 0.6°C 였다. 냉방처리는 고온($28 \sim 32^\circ\text{C}$) 배지 온도 노출율을 대조구 대비 32.5% 감소시켰다.

냉방처리구의 파프리카 광합성, 증산율 및 수분포텐셜은 대조구보다 높았다. 첫 개화시기도 대조구보다 4일

Table 4. Plant growth of sweet pepper at 81 days after treatment as influenced by cooling root zone at night.

Treatment	Plant height (cm)	Main stem diameter (mm)	Number of internode (No.)	Leaf (cm)		A/B
				Length (A)	Width (B)	
Control	132.7 a ²	12.2 a	19.7 a	16.6 b	10.3 a	1.7 a
Cooling	136.7 a	13.0 a	20.6 a	19.0 a	11.4 a	1.7 a

²Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $P = 0.05$.

앞당겨지고, 착과수도 증가하였다. 냉방처리구의 엽장은 짧아졌으나, 초장, 경경, 분지수, 엽폭 등은 차이가 없었다. 야간 근권냉방으로 배지 온도가 3.0~5.6°C를 낮추었으나, 고온기 온실 온도가 고온에서는 파프리카 착과가 지연되므로, 지상부 온도 하강 방법을 병행하면 파프리카 생육과 착과에 효과적이라 판단된다.

추가 주제어 : 광합성, 수분포텐셜, 에어덕트 냉방, 착과수, *Capsicum annuum* L.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호:PJ008408)의 지원에 의해 이루어짐.

Literature Cited

- Aloni, B., T. Pashkar, and L. Karni. 1991. Partitioning of ¹⁴C sucrose and acid invertase activity in reproductive organs of pepper plants in relation to their abscission under heat stress. *Ann. Bot.* 67:371-377.
- Bakker, J.C. and J.A.M. van Uffelen. 1988. The effects of diurnal temperature regimes on growth and yield of sweet pepper. *Neth. J. Agri. Sci.* 36:201-208.
- Behboudian, M.H., W.R. Graves, C.S. Walsh, and R.F. Korkak. 1994. Water relations, mineral nutrition, growth and ¹³C discrimination in two apple cultivars under daily episodes of high root-medium temperature. *Plant and Soil* 162:125-133.
- Cho, I.H., W.M. Lee, K.B. Kwan, Y.H. Woo, and K.H. Lee. 2009. Stable production technique of paprika (*Capsicum annuum* L.) by hydrogen peroxide treatment at summer. *J. Bio-Environ. Cont.* 18:297-301 (in Korean).
- Choi, K.Y., J.Y. Ko, H.C. Rhee, S.T. Park, G.H. Jung, and Y.B. Lee. 2012. Effect of Cooling method and time in root zone on leaf temperature and substrate temperature of sweet pepper in summer season. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 30(Suppl II):80 (in Korean).
- Erickson, A.N. and A.H. Markhart. 2001. Flower production, fruit set and physiology of bell pepper during elevated temperature and vapor pressure deficit. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 126(6):697-702.
- Jang, Y.A., J.G. Lee, Y.C. Um, S.Y. Kim, S.S. Oh, and S.H. Cha. 2010. Effects of nutrient solution cooling on fruit setting and yield of paprika in summer hydroponics. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 28(Suppl I):58-59 (in Korean).
- Khah, E.M. and H.C. Passam. 1992. Flowering, fruit set and development of the fruit and seed of sweet pepper cultivated under conditions of high ambient temperature. *Journal of Horticultural Science* 67:251-258.
- Korea Agro-Fisheries & Food Trade Corp. (aT). 2013. Import&export statistics.
- Lee, J.H., K.J. Kwon, O.K. Kwon, Y.H. Choi, and D.K. Park. 2002. Cooling efficiency and growth of tomato as affected by root zone cooling methods in summer season. *J. Bio-Environ. Cont.* 11:81-87 (in Korean).
- Lee, E.J. D.H. Kim, D.J. Myoung, J.H. Bae, and J.H. Lee. 2011. Effect of early-night temperature in summer season on plant growth and development of sweet pepper. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 29(Suppl II):81 (in Korean).
- Ministry of Agriculture Food and Rural Affairs (MARFA). 2012. Greenhouse status and crop production of vegetables (in Korean).
- Moon, J.H., Y.K. Kang, and H.D. Suh. 2007. Effect of root-zone cooling on the growth and yield of cucumber at supraoptimal air temperature. *Acta Hort.* 761:271-274.
- Morgan, L. 2011. Root zone chilling. <http://www.thctalk.com/cannabis-forum/archive/index.php/t-50357.html>.
- Na, T.S., K.J. Choi, B.K. Yun, M.S. Cho, H.G. Kim, and H.J. Kim. 2011. Cooling effect on bell pepper on glass house in summer. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 29(Suppl II):79-80 (in Korean).
- Nilson, E. and D. Orcutt. 1996. *Physiology of plants under stress: Abiotic factors.* Wiley, New York.
- Tan, L.P., H.E. Jie, and S.K. Lee. 2002. Effect of root zone temperature on the root development and nutrient uptake of *Lactuca sativa* L. "PANAMA" grown in an aeroponic system in the tropics. *J. Plant Nutrition* 25:297-314.
- Rylski, I. and M. Spigelman. 1982. Effects of different diurnal temperature combinations on fruit set of sweet pepper. *Scientia Horticulture* 17:101-106.