

## Cooling Efficiency and Growth of Tomato as Affected by Root Zone Cooling Methods in Summer Season

J. H. Lee<sup>1\*</sup> · J. K. Kwon<sup>1</sup> · O. K. Kwon<sup>2</sup> · Y. H. Choi<sup>1</sup> · D. K. Park<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Pusan Horticultural Experiment Station, Yeongnam Agri. Exp. St., RDA, Pusan 618-300, Korea

<sup>2</sup>National Horticultural Research Institute, RDA, Suwon 441-440, Korea

### Abstract

This study was conducted to investigate the cooling efficiency and growth of tomatoes by root zone cooling device using a pad-box and cultivated system. The structure of the root zone cooling system using a pad-box was four piece of pads bonded on the side and a fan set at the bottom. Cool wind was generated by the outside air which was punched at intervals of 10 cm along three rows. Cold wind flowed to the root zone in the culture medium. The root zone cooling efficiency of cold wind generation by using a pad-box flowing through a wet-pad was determined. Major characteristic of this cultural system consist of bed filled with a perlite medium and a ventilation pipe using PVC. The cold wind generation by a pad box (CWP) was compared to that of cold wind generation by a radiator (CWR), cold water circulation using a XL-pipe (CWX) and the control (non-cooling). When the temperature of water supplied was 16.2~18.4°C, temperatures in the medium were 20.5~23.2°C for CWP, 22.7~24.2°C for CWR, 22.8~24.2°C for CWX and 23.1~29.6°C for the control. The results show that the cold wind temperature using the pad-box was lower by 1~2°C than that of cold water circulation in the XL-pipe and lower by 5~6°C than that of the control. Growth such as leaf length, leaf width, fresh weight and dry weight, was greater in three root zone cooling methods than in the control. Root activity was higher in the root zone cooling methods than in the control. However, there was no significant difference among root zone cooling methods.

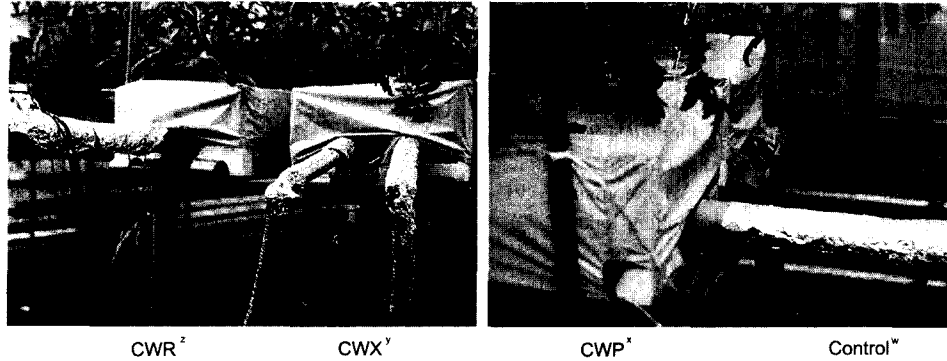
**Key words:** root zone cooling, XL-pipe, pad, cold wind

\*Corresponding author

## 서 론

시설원예는 '90년대 이후부터 자동화·대형화 추세로 변화되어 현대화된 고정시설이 점차 증가하고 있다. 이러한 현대화시설은 기존시설에 비해 환경관리 및 작업성 등이 편리한 반면에 초기투자비가 많이 소요되기에 투자비의 회수기간을 단축시키기 위해 생산성 증대와 주년생산이 이루어져야 한다. 그러나 농가에서의 이용은 주로 동절기에 집중되어 있고, 하절기에는 시설내의 고온화 현상으로 시설내 작물 재배는 못하고 휴작함으로써 시설의 주년이용에 문제점으로 대두되고 있다(Woo 등, 1996). 지금까지 개발되어 있는 방법을 이용하여 냉방을 할 경우 시설의 주년이용은 가능하나, 과도한 시설비와 운영비 등으로 적극적인 냉방을 하는 농가는 거의 없는 실정이다(Lee, 1994). 일부 농가에서 비

용이 적게 소요되는 차광 및 환기 등의 방법을 이용하고 있으나 온도하강에는 한계가 있어 보다 적극적인 온도하강방법이 요구된다. 여름철 온실냉방에 관한 연구는 주로 기화열을 이용한 냉방(Carpenter와 Willis, 1959; Lee 등 1999), 국소냉방(Kojima 등, 1991), 양액냉각, 보조냉각법인 차광, 수막 등이 있다. 냉방장치에 의한 온실냉방의 경우 주간에는 과도한 일사량으로 경제성이 없어 야간에 하는 것이 효과적이라 하였다(Kozai 등, 1986; Quan과 Takakura, 1988). 양액재배의 경우 근권냉각은 양액의 온도를 낮추어 공급하거나, 근권부에 온수파이프를 매설하고 냉수를 순환시켜 부분냉방하는 것이 온실전체를 냉방하는 것에 비해 경제적이라고 하였다(Park 등, 1990). 본 시험은 고온기 안정생산을 위한 효율적인 냉방방식을 구명하고자, 근권냉방에 따른 온도하강효과와 토마토의 생육에 미치는 영향을 조사하였다.



**Fig. 1.** Comparison of root zone cooling methods in tomato.  
<sup>²</sup>CWx: Cold water circulation using a XL-pipe, <sup>³</sup>CWR: Cold wind generation by a radiator, <sup>⁴</sup>CWP: Cold wind generation by a pad box, and <sup>⁵</sup>Control: non-cooling

### 재료 및 방법

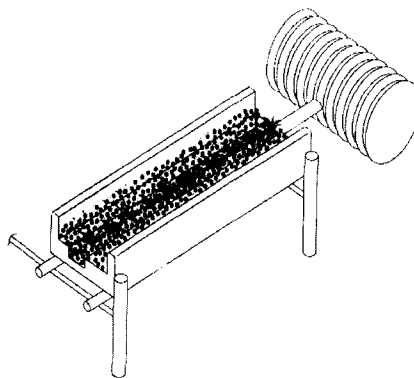
본 시험은 1999년부터 2000년까지 부산원예시험장 시험포장과 실험실에서 수행하였다. 시험작물은 모모타로 토마토를 5월 하순에 파종하여 7월 중순에 정식하였다. 재배방법은 양액재배용 스티로폼 성형베드(폭:30 cm, 깊이:13 cm)에 펠라이트 배지를 이용하여 토마토를 2화방까지 재배하였다. 배양액은 일본 원시액을 생육초기에 1/2배액, 15일후 이후에는 1배액의 농도로, 공급횟수는 6회~10회/일 기준하여 생육단계별로 조절하였다. 근권냉방은 Fig. 1과 같이 XL냉수순환구(Cold water circulation using a XL-pipe: CWX), 라디에이터 냉풍구(Cold wind generation by a radiator: CWR), 패드 냉풍구(Cold wind generation by a pad box: CWP)

및 대조구(non-cooling: Control) 등 4가지 방법을 적용하였다.

CWX구는 직경 20 mm XL 파이프를 베드 바닥에 2가닥 매설하고 순환모터(소비전력 490W)를 이용하여 냉수를 순환시켜 냉방하였다. CWR구는 직경 60 cm의 주름관의 입구쪽에 라디에이터를 설치하고 주름관 내부에 fan을 부착하여 만든 장치이고, CWP구는 두께 10 cm의 종이패드를 가로×세로 각각 1 m씩 4개의 옆면에 부착한 Fig. 2-A와 같이 상자모양으로 만든 장치이다. CWR와 CWP구에 냉풍은 냉수를 모터(소비전력:490W)로 라디에이터 내부와 종이 패드면에 흐르게 하고, 외부공기를 fan(소비전력:280W, 배기량:110 m<sup>3</sup>/min)을 이용 강제 흡입하여 만들었다. 라디에이터 및 패드 냉풍의 통로는 주름관에 직경 5 cm 송풍관(풍속



(A)



(B)

**Fig. 2.** Diagram of pad-box cooling equipment (A) and culture system using cold-wind (B).

## 고온기 근권냉방방식에 따른 냉방효과와 토마토 생육

:9 m/sec)을 연결하여 구멍(직경:1 cm, 간격:5 cm, 3줄)을 내어 배드 바닥에 매설하였다. 송풍관의 작은 구멍이 막히는 것을 방지하기 위해 망사로 덮어 펠라이트 배지를 채워 넣어 배지 사이로 냉기가 스며 나오도록 Fig. 2-B와 같이 하였다. 본 시험에 이용한 냉수의 온도는 16~18°C 범위였다.

CR23X Datalogger(Campbel, Co)를 이용하여 온도, 상대습도 및 일사량을, 휴대용 풍속계(TSI, Co)를 이용하여 배지표면에서 풍속과 온도를 측정하였다. 뿌리의 활력은 효소활성 측정법인  $\alpha$ -나프트라민법(Youshita, 1996)을 이용하여, 정식 후 45일 경과된 식물체 뿌리를 처리당 3반복으로 5주씩 채취하였다. 뿌리를 1 cm 길이로 잘라 2 g을 정량하고,  $\alpha$ -나프탈렌( $C_{10}H_9N$ ) 40 mg·g<sup>-1</sup>과 1/10 M의 인산완충액을 혼합하여 2 mL를 반응전의 시료로 이용, 남은 것은 24~27°C에서 6시간 반응시켜 반응후의 시료로 이용하였다. 시료에 10 mL의 증류수, 1% Sulfanilic acid와 1% NaNO<sub>2</sub>를 각각 1 mL 첨가하여 5분간 실온에서 발색시킨 후 분광광도계(Beckman, 510 nm)에서 측정하여 나프탈렌 산화량으로 표시하였다. 생육조사는 재배기간 중과 수확종료시에, 수량조사는 2화방까지의 상품과 비상품과를 구분하여 착과수, 과중 및 상품율을 3반복하여 조사하였다.

## 결과 및 고찰

본 실험에 이용된 냉방방법별 온·습도변화는 Table 1과 같다. 외기온보다 CWX구는 10.2°C가 낮은 17.8°C, CWR구는 5.8°C가 낮은 22.2°C, CWP구는 7.7°C 낮은 20.3°C가 근권부에 공급되었다. 이론적으로 물의 기화열을 이용한 증발냉각은 상대습도가 100%

수준까지 높인다면 습구의 온도까지 기온하강이 가능하며, 절대습도가 같은 상태에서는 온도가 낮아지면 상대습도는 높아진다(Woo, 1996). 따라서 물의 증발열을 이용한 패드 냉풍(CWP)이 라지에이터 냉풍(CWR)에 비해 온도를 1.9°C 더 낮은 냉풍을 얻을 수 있었다.

Table 2는 근권부 배지 깊이별 주간의 온도변화를 나타낸 결과로, CWX구 22.8~24.7°C, CWR구 22.7~24.2°C, CWP구 20.5~23.2°C, Control구는 25.9~29.6°C였다. 배지표면에서 10 cm 깊이의 온도는 근권냉방 처리구는 17.5°C~23.0°C 범위로 Control구 23.1~28.3°C에 비해 5.3~5.6°C 낮으며, 7 cm 및 4 cm 깊이에서도 비슷한 경향이였다. CWX구는 XL파이프를 통해 근권부에 공급된 온도는 17.8°C로 낮았으나(Table 1), 배지내 온도분포는 CWP구와 CWR구에 비해 비슷하거나 높았다. 이것은 냉기류가 CWX구는 파이프 주변에 정체된 반면에 CWP와 CWR구는 배지의 공극을 통해서 이동이 쉬웠던 것으로 판단된다.

근권부에서 냉기가 스며나오는 정도를 조사하기 위해 온실내 모든 환기창 및 출입구를 닫은 상태에서 조사한 결과는 Table 3과 같다. 조사위치는 배지표면에서 위로 1 cm와 30 cm 지점에서 풍속과 온도를 오전(07:00~09:00)에 측정하였다. 배지표면에서 위로 1 cm 지점에서의 풍속은 CWX구와 Control구가 각각 0.01 m/s, 0.01 m/s로 차이가 없었으나, CWR구와 CWP구에서는 각각 0.43 m/s, 0.44 m/s로 미세한 바람이 배지표면으로 스며 나오는 것을 확인할 수 있었다. 온도는 CWX구와 Control구가 각각 30.1°C, 30.3°C로 차이가 없었으나, CWR구와 CWP구에서는 각각 29.0°C, 28.7°C로 근권부에 송풍처리한 구에서 Control구에 비해서 각각 1.3°C, 1.6°C 더 낮은 것으로 나타났다. 반면에 배지표면에서 위로 30 cm 지점에서의 풍

**Table 1.** Difference in temperature and relative humidity investigated by different cooling methods of root zone on August 2 to 3, 1999<sup>1</sup>.

Treatment	Temp. of cooling methods		RH of cooling methods	Outdoor	
	input <sup>2)</sup> (°C)	supply <sup>3)</sup> (°C)	supply <sup>3)</sup> (%)	Temp. (°C)	RH (%)
CWX	17.8	17.8	-		
CWR	17.8	22.2	84	28.0	65
CWP	17.8	20.3	99		

<sup>1</sup>It was measured between 10:00 and 14:00.

<sup>2</sup>Input: Temperature of water circulation using a cooling methods.

<sup>3</sup>Supply: CWX (Temperature of water circulation using a XL-pipe), CWR (Temperature and RH of cold wind generation by a radiator, CWP (Temperature and RH of the cold wind generation by a pad box).

**Table 2.** Changes of temperature according to depth of medium by different cooling methods of root zone on August 24.

Treatment	Depth of medium (cm)	Temperature (°C)								
		10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
CWX	4	24.3	26.0	26.7	27.9	27.9	27.2	27.4	27.7	27.5
	7	22.1	22.6	22.6	23.0	23.6	23.5	23.7	24.3	24.1
	10	22.1	22.0	21.5	21.8	22.0	21.9	22.3	22.6	22.5
	Mean	22.8	23.5	23.6	24.2	24.5	24.2	24.5	24.9	24.7
CWR	4	24.3	25.8	25.5	26.5	25.7	25.3	26.1	25.9	25.5
	7	22.9	22.6	23.2	24.0	23.7	23.1	23.3	23.7	23.5
	10	21.1	21.9	22.3	22.8	22.3	22.2	22.7	23.0	22.5
	Mean	22.7	23.4	23.7	24.3	23.9	23.5	24.0	24.2	23.8
CWP	4	23.7	24.3	25.1	25.7	24.1	24.8	25.9	26.3	25.4
	7	20.4	21.3	22.0	23.2	22.2	22.8	23.5	23.5	23.0
	10	17.5	18.1	18.8	19.3	18.9	19.3	19.9	19.9	19.4
	Mean	20.5	21.2	22.0	22.7	21.7	22.3	23.1	23.2	22.6
Control	4	28.5	29.7	30.3	32.1	31.8	31.4	31.7	32.7	31.9
	7	26.2	27.3	28.7	30.0	29.3	28.7	29.1	29.6	28.6
	10	23.1	24.1	25.2	26.4	27.1	27.6	28.0	28.3	28.3
	Mean	25.9	27.0	28.1	29.5	29.4	29.2	29.6	30.2	29.6
<sup>z</sup> Temp. of outside (°C)		26.8				30.1				26.3
<sup>y</sup> Radiation (W · m <sup>-2</sup> )		609				988				140

**Table 3.** Changes of temperature and wind velocity investigated by different cooling methods of root zone on August 18.

Treatment	Wind velocity (m · s <sup>-1</sup> )		Temp. (°C)		Inside	
	1 cm <sup>z</sup>	30 cm <sup>z</sup>	1 cm <sup>z</sup>	30 cm <sup>z</sup>	Temp. (°C)	Wind velocity (m · s <sup>-1</sup> )
CWX	0.01b <sup>y</sup>	0.01a	30.1a	30.4a	31.4	0.02
CWR	0.43a	0.02a	29.0b	30.4a		
CWP	0.44a	0.02a	28.7b	30.5a		
Control	0.01b	0.01a	30.3a	30.5a		

<sup>z</sup>1 cm, 30 cm: height just above medium surface.

<sup>y</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

**Table 4.** The mean of temperature at 7 cm and 10 cm in the medium by different cooling methods of root zone.

Treatment	Temp. of medium (°C)								Temp. of outside (°C)	
	Aug.				Sep.				Aug.	Sep.
	Early	Middle	Late	Mean	Early	Middle	Late	Mean		
CWX	25.3	25.0	23.9	24.7	23.4	22.6	21.8	22.6	29.3	27.2
CWR	25.5	25.4	24.1	25.0	24.3	24.6	22.9	23.2		
CWP	25.1	23.8	23.4	24.1	22.7	22.3	20.2	21.8		
Control	29.3	29.2	27.1	28.6	26.7	26.6	23.8	25.7		

속은 각 처리별로 0.01~0.02 m/s로 온실내부의 0.02 m/s와 비슷한 수준이었고, 온도는 각 처리별로 30.4°C~30.5°C로 온실내부의 31.4°C에 비해 다소 낮았으나 처리간에는 차이가 없었다.

Table 4는 8월, 9월의 외기온과 배지내 7 cm, 10 cm 깊이의 평균온도 변화(11:00~12:00)를 조사한 결과이다. 근권부 배지내의 8월의 평균온도는 CWX구가 24.7°C, CWR구 25.0°C, CWP구 24.1°C로 Control구

**Table 5.** Effects of different cooling methods of root zone on the growth in tomato.

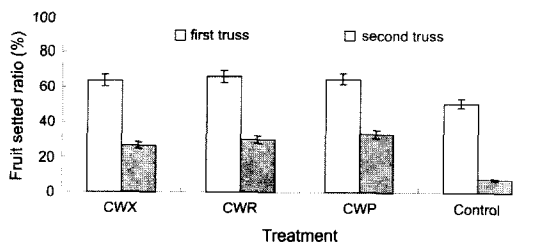
Treatment	Leaf width (cm)	Leaf length (cm)	FW (g/plant)		DW (g/plant)	
			Shoot	root	Shoot	Root
CWX	36.9a <sup>z</sup>	32.8a	201a	21.5a	23.7a	2.1a
CWR	35.2a	32.6a	226a	22.0a	23.8a	2.2a
CWP	36.3a	32.3a	231a	19.8a	24.6a	2.2a
Control	34.2b	28.0b	159b	15.0b	18.5b	1.7b

<sup>z</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

의 28.6°C에 비해 각각 3.9°C, 3.6°C, 4.5°C 더 낮아서 대조구에 비해서는 냉방효과가 컸으나 냉방처리구 간에는 그 차이는 적었다.

Table 5는 근권 냉방방법별 토마토의 생육을 조사한 결과로, 엽장과 엽폭은 Control구에 비해 CWX, CWR, CWP가 컸으며, 생체중과 건물중의 경우에서도 같은 경향이였다. 통계적 유의성은 Control구와는 인정되었지만, 근권냉방 처리구 CWX, CWR 및 CWP간에는 유의성이 인정되지 않았다. 여름철 지상부의 온도 관리에 관한 연구는 다수 있으나, 지하부와 연계한 연구는 아직 미흡하다. 따라서 보다 체계적인 연구와 더불어 경제적인 온도하강 및 관리방법이 이루어져야 할 것이다. 본 시험에서 배지내 7 cm, 10 cm 깊이의 순별 평균온도는 냉방처리구가 근권부를 25°C 이하로 유지할 수 있었으나 Control구는 27°C~29°C로 나타났다. 냉방처리구간에는 CWX구 24.7°C에 비해 CWR구는 0.3°C 높았고 CWP구는 0.9°C 낮아 CWP 방식이 온도하강효과를 컸으나, 토마토 생육은 큰 차이가 없었다. 지상부가 고온조건에서 근권부 1°C 내외의 온도 차이에서는 유의성이 없는 것으로 나타났다.

Fig. 3은 토마토의 화방별 착과율(%)을 나타낸 결과로 냉방처리구(CWX, CWR, CWP) 및 Control구의 착과율에 있어 1화방은 각각 63, 66, 64 및 51%, 2화방은 각각 26, 30, 30 및 7%였다. 통계적 유의성

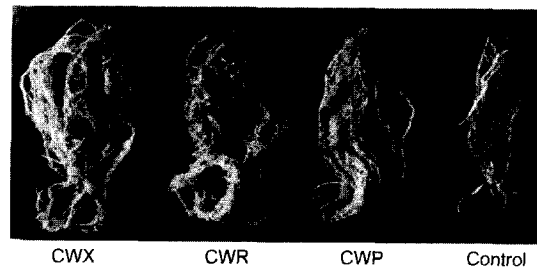


**Fig. 3.** Fruit set in tomato as affected by different cooling methods of root zone.

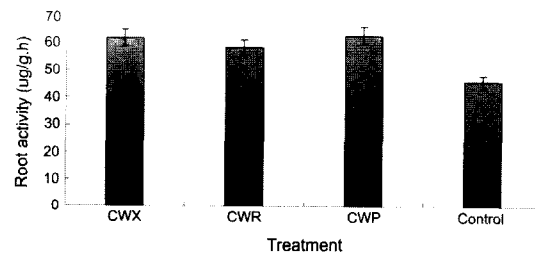
은 냉방처리구와 Control구간에는 인정되었으나, 냉방처리구간에는 없었다.

토마토의 경우 지온이 지상부 생육에 영향을 주는 정도는 생육단계별로 차이가 있다고 보고(Fujishige, 1991)하였고, 토마토의 적지온은 15~20°C이고, 13°C 이하에서는 양분흡수가 억제되며 25°C 이상에서는 뿌리의 호흡이 증가하여 생육이 불량해 진다. Fig. 4와 같이 냉방처리구는 양호한 반면에 control구는 생육이 빈약하고 갈변한 부분이 많아서, 근권온도가 높으면 뿌리의 호흡속도가 높아져 엽면적당 광합성 속도가 저하되고 노화가 촉진된다는 보고(Udagawa 등, 1989)와 같이 뿌리의 활력저하와 양수분의 흡수가 불량한 결과로 판단된다.

Fig. 5는 나프탈렌 산화량으로 근활력을 표시한 결



**Fig. 4.** Comparison of the root growth as affected by different cooling methods of root zone.



**Fig. 5.** Root activity in tomato as affected by different cooling methods of root zone.

**Table 6.** Number and weight of fruit as affected by different cooling methods of root zone.

Treatment	Marketable fruit		Non-marketable fruit		Ratio of marketable fruit (%)
	Fruit no./plant	Fruit weight (g/plant)	Fruit no./plant	Fruit weight (g/plant)	
CWX	3.3a <sup>c</sup>	429a	2.1b	99b	81
CWR	3.1a	403a	2.3b	107b	79
CWP	3.3a	433a	2.5b	145a	75
Control	2.5b	308b	3.1a	154a	67

<sup>c</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

과로, 근활력은 CWR구 58.5 ug/g·h, CWX구 61.9 ug/g·h, CWP구 62.8 ug/g·h로 control구 45.0 ug/g·h로, control구와는 유의성이 있었으나 냉방처리구간에는 없었다. Control구는 냉방처리구에 비해 양수분의 흡수억제로 작물의 대사생리에 영향을 주어 Table 5에서와 같이 생육이 부진한 것으로 추측된다.

Table 6은 토마토의 근권냉방방식간의 수량을 조사한 결과로, 토마토 상품과실 수량(g/주)은 CWP가 433 g으로 가장 많았고, CWX구 429 g, CWR구 403 g, Control구 308 g 순으로 나타났다. 상품율은 근권냉방처리구가 75%~81%인 반면에 Control구가 67%로 낮게 나타났다. Control구는 고온으로 생육, 근활력 및 착과율 등이 저조하여 수량저하로 이어진 것으로 여겨진다. 이상의 결과에서 온도하강효과는 냉방처리구가 Control구에 비해 높았고, 냉방방법간에는 외부기상이 맑은 날에서는 Table 2와 같이 2°C 내외의 온도차가 있었으나, Table 4와 같이 2개월 간의 평균온도에서는 차이가 적었다. 따라서 고온기의 냉방에 있어서 차광 및 환기 면적확대 등의 저렴한 냉방방식을 이용함과 더불어 근권냉방을 병행할 경우 냉방효과를 더 높일 수 있을 것으로 사료된다.

**Literature cited**

1. Carpenter, W.J. and W.W. Willis. 1959. Comparison of evaporative fan-and-pad and high pressure mist-systems for greenhouse cooling. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 74:711-718.
2. Fujishige, A.J. 1973. Influence of rooting-medium temperature on growth of *Lycopersicon esculentum*. Ann. appl. Biol. 74:379-385.
3. Kojima, K. and H. Suhardiyanto. 1991. Studies on the

- zone cooling system in greenhouse(1). Performance of the system in a model sized greenhouse. Environ. Control in Biol. 29(1):1-10.
4. Kozai, T., Z. Quan, and M.H. ayashi, I. Watanabe, T. Shinko, and H. Higuchi. 1986. Cooling load of a greenhouse (2). Reduction of the cooling load in nighttime. J. Agr. Met. 41:351-357.
5. Lee, B.S., S.J. Chung, J.G. Kang, B.S. Sea. 1999. Effects of bed structures on the growth and cut flower-quality of hydroponically grown chrysanthemum. J. kor. Soc. Hort. Sci. 40(1):112-116 (in Korean).
6. Lee, J.S., Y.H. Kim, B.Y. Ryu and H.S. Noh. 1999. Experimental analysis of several dropping method air temperature for summer culture flower crops in the experimental plastic house. J. kor. Soc. Hort. Sci. 40(4):495-499 (in Korean).
7. Lee, G.M. 1994. Management for fruit vegetables of greenhouse in warm season. Protected Horticulture. The Korean Research Society for Protected Horticulture. 7(1):23-31 (in Korean).
8. Park, K.W., Y.B. Lee, N.H. Choi and J.C. Jeong. 1990. Effects of culture media and nutrient solution on the yield and quality of cucumber (*Cucumis sativus* L.) and tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Korea J. Environ. Agric. 9:143-151 (in Korean).
9. Quan, Z. and T. Takakura. 1988. Estimation of the seasonal cooling or heating load using a simulation model. J. Agr. Met. 44:187-194.
10. Udagawa, Y., T. Ito, and K. Gomi. 1991. Effects of root temperature on the absorption of water and mineral nutrients by strawberry plants 'Reiko' grown hydroponically. J. Japan. Soc. Hort. Soc. 59:711-717 (in Japanese).
11. Woo, Y.h., J.M. Lee, H.J. Kim and Y.S. Kwon. 1996. Prediction of maximum air temperature and cooling load of glasshouse during summer. J. kor. Soc. Hort. Sci. 37(3):479-485.
12. Youshia, M. 1996. Activity measurement of root. J. Sci. Soil Manure 37(1) : 63-68.

고온기 근권냉방방식에 따른 냉방효과와 토마토 생육

## 고온기 근권냉방방식에 따른 냉방효과와 토마토 생육

이재한<sup>1\*</sup> · 권준국<sup>1</sup> · 권오근<sup>2</sup> · 최영하<sup>1</sup> · 박동금<sup>1</sup>

<sup>1</sup>부산원예시험장, <sup>2</sup>원예연구소

### 적 요

근권냉방 방식에 따른 냉방 효율과 토마토 생육 특성을 검토하고자 XL냉수순환, 라디에이터 냉풍, 패드 냉풍 및 대조구를 처리한 결과는 다음과 같다. 근권부 냉방온도는 공급수온이 17.8°C일 때 XL 냉수순환구는 18.0°C, 라디에이터 냉풍구는 22.2°C, 패드 냉풍구는 20.3°C였다. 배지 깊이와 시간대별 평균온도는 XL 냉수순환구 22.8~24.7°C, 라디에이터 냉풍구 22.7~24.2°C, 패드 냉풍구 20.5~23.2°C, 대조구 25.9~29.6°C를 나타내어 냉방처리구가 대조구에 비해 5~6°C 더 낮았다. 토마토의 생육에 있어 엽장, 엽폭은 대조구에 비해 컸으며, 생체중 및 건물중의 경우에서도 비슷한 경향이었다. 근활력에 있어 대조구는 45.0 ug/g에 비해 근권냉방 처리구는 58.5~62.8 ug/g으로 높았으나, 근권냉방 처리구간에는 큰 차이가 없었다.

---

**주제어** : 근권냉방, XL-파이프, 패드, 냉풍