

Effect of Root Zone Temperature during the Night on the Growth and Yield of Perlite Cultured Tomato in Winter

Han Cheol Rhee* · Kyung Hee Kang · Ki Bum Kweon · Young Hah Choi

Pusan Horticultural Exp. Sta., Pusan 618-300, Korea

Abstract

This experiment was undertaken to investigate the effect of root zone temperature during the night on absorption of mineral nutrients, growth, and fruit yield of the truss-limited hydroponic tomatoes in winter. The root zone temperature was either controlled to 10, 15, 20, 25°C, or left uncontrolled at ambient temperatures. Temperature of the covered beds rose as root zone temperature was raised, but it in all treatments was less than 3°C higher than that in the control. Raising root zone temperature, except 25°C, showed positive effect on plant height, leaf length, stem diameter, and plant fresh and dry weights, but not on T/R ratio which was the greatest in the control. Root activity in all treatments except 25°C increased as compared to the control. Mean fruit weight, fruit count per plant, and fruit yield were the greatest in 20°C treatment. Root zone temperature did not significantly affect the contents of total nitrate and magnesium in leaves, stems and roots. Concentrations of phosphate and calcium increased in leaves and stems, but decreased in roots as root zone temperature increased. Overall, 20°C treatment gave the greatest growth and energy efficiency.

Key words: root activity, mineral nutrient absorption

* Corresponding author

서 론

겨울철의 토마토재배는 저온기에 이루어지므로 지상 부나 지하부의 온도가 작물의 생육에 가장 큰 영향을 미치는 환경 요인이다. 특히, 근권 온도(배지온도)는 뿌리의 생리작용에 관여하여 작물의 생육에 큰 영향을 미칠 것이다. 뿌리는 근권의 온도에 따라 근의 활력이 달라지며, 그에 따라 양분의 흡수 능력에 차이가 있는 것으로 보고(Udagawa 등, 1991)되어 있다. 높은 근권 온도는 뿌리의 신장은 촉진하지만 뿌리의 갈변과 신장의 정지가 빠르며, 뿌리의 호흡속도가 높아져 열면적당 광합성 속도가 저하된다고(Udagawa 등, 1989) 한다. Fujishige 등(1991)은 토마토의 생육이 지온 25°C에서 가장 좋으며, 15°C 이하에서는 현저히 억제된다고 하였다. 특히 낮은 지온에서는 식물체의 수분과 무기양분 특히 인산의 흡수가 억제된다고 보고하였다. 그러나 토마토의 생육에 알맞은 지온은 생육단계에 따라 다르다는 보고(Fujishige 등, 1991; No, 1993)에서 볼 때 재배시기, 생육단계 및 재배방법에 따라 지온이 지상부

의 생육에 영향을 미치는 정도가 다를 것으로 추측된다. 최근 양액재배에서도 근권 온도가 중요하여 지하부 가온시설을 하고있는 추세이므로 재배에 적합한 배지의 근권온도의 설정이 필요하다.

따라서 본 연구는 토마토 양액재배시 펠라이트 배지에 적합한 야간의 근권온도와 양분의 흡수 특성을 조사코자 수행하였다.

재료 및 방법

본 실험은 1998년부터 1999년까지 2년간 부산원에 시험장의 유리온실에서 '하우스 모모타로'(Takii Seed Co., Japan) 품종을 공시하여 수행하였다. 육묘는 cell 당 부피가 50 cm³인 20공 연결 포트에서 피트모스(Sunshine, Genuine Co., Canada)와 펠라이트(No. 1, 삼손(주), 한국)를 1:1(v/v)로 혼합한 상토를 이용하였다. 육묘시 양수분관리는 아마자키 양액 1/3배액을 생육초기에는 1일 1회, 그리고 5엽 전개 후에는 1일 2회씩 관주하였고, 정식은 제1화방의 꽃이 1~2개 피기

겨울철 토마토 2단밀식 필라이트경에서 야간 근권 온도가 토마토의 생육 및 수량에 미치는 영향

시작할 때 하였다.

800 cm×70 cm×15 cm(길이×너비×깊이)의 플라스틱 재배상의 바닥에 0.05 mm 두께의 PVC필름(가야(주), 한국)을 깔고 1~3 mm³ 입径의 필라이트를 채운 다음, 20 cm 간격으로 2주씩 정식하여 재식거리를 70 cm×20 cm가 되게 하였다. 정식 후 20 cm 간격의 점적용 관수 호스(슈퍼타이폰 80, 푸른(주))를 2줄로 깔고, 흑백필름을 이용하여 표면이 백색이 되게 멀칭하였다. 양액은 토마토 재배용 아미자키 표준 양액(mg·L⁻¹로 0.6 NH₄⁺, 7.0 NO₃⁻, 2.0 H₂PO₄⁻, 4.0 K⁺, 3.0 Ca²⁺, 2.0 Mg²⁺ 및 2.0 SO₄²⁻)을 1일 5회로 나누어 주당 1.5 L을 공급하였다.

실험에 사용한 지하수의 K, Ca, Mg 및 Na 이온의 농도는 각각 2.4, 5.4, 2.5 및 1.7 mg·L⁻¹이었고, pH는 6.9, 그리고 EC는 0.16dS·m⁻¹이었으며 양액조성은 지하수의 무기염 함량을 고려하여 조성하였다.

제 2화방이 완전히 개화한 후 2화방 상위 2엽을 남기고 적심하였으며, 측지는 발생할 때마다 제거하였다. 착과 유도를 위해 토마토톤(동양화학(주))을 150배(w/v)로 희석하여 화방마다 2~3개의 개화가 이루어졌을 때 분무기(A1-450, 푸른(주))를 이용하여 살포하였다. 하우스내 터널피복은 피복재 선발 시험에서 보온효과가 좋은 트로피칼을 이용하여 전 생육기간에 걸쳐 야간에만 수행하였다.

시설내 야간의 상온을 최저 10°C이상 유지하기 위하여 온수보일러를 가동하였다. 근권의 야간 처리온도는 무처리(8.5°C), 10, 15, 20 및 25°C로 각각의 처리는 배지내 10 cm 깊이에 전열선을 5 cm 간격으로 깔아 처리별 온도를 유지시켰다. 하루중 피복 처리시간은 17:00~07:00이며 정식후부터 전 생육기간 처리하였다. 시험구 배치는 난괴법이며 3반복이었다. 주당 착과수 및 과실중은 80 g 이상의 기형과 등을 제외한 상품과를 기준으로 처리 당 10주씩 3반복으로 조사하였다. 다른 생육조사는 농촌진흥청 조사기준에 준하였다. 수확 후 처리 당 10주씩 3반복으로 식물체를 채취하여 잎과 줄기의 지상부와 뿌리의 지하부(이하 지상부와 지하부로 표기)를 나누어 각각의 생체중을 측정하고, 시료를 80°C 건조기에서 32시간 건조한 후 건물중을 측정하고 T/R 율을 환산하였다. 또한 건조된 식물시료를 각 부위별로 분리하여 마쇄기로 마쇄하여 무기양분 분석에 사용하였다(Agricultural Research Institute,

1988). 각 부위별 시료 1 g씩 평량하여 질소는 Kjeldahl 법(1030 analyzer, Kjeltac Auto)으로, 그리고 인산은 Vanadate법으로 분해하여 비색계(UV/VIS spectrophotometer, Lambda 18, Perkin Elmer)를 이용하여 측정하였다. 그리고 K, Ca 및 Mg는 tenery solution으로 분해한 후 원자 흡광 분광 광도계(atomic absorption spectrophotometer 3300, Perkin Elmer)로 분석하였다.

뿌리의 활력은 효소활성 측정법인 α-나프트라핀 법에 준하였다. 제 1화방의 2번화를 기준으로 개화후 30일, 50일 및 70일에 각 처리당 3반복으로 10주씩 뿌리를 채취하였다. 뿌리를 세척한 다음, 1 cm 길이로 잘라 혼합한 후 2 g을 정량하여 100 mL 삼각플라스크에 넣었다. 그리고 40 mg·g⁻¹의 α-나프탈렌(C₁₀H₉N)과 1/10 M의 인산 완충액을 등량 혼합하여 50 mL 정량한 다음, 시료가 담긴 플라스크에 넣고 5~10분 진동하여 흡착시켰다. 이때 2 mL를 시험관에 채취하여 반응전의 시료로 이용하였고, 남은 것은 진동기에 걸어 20~30°C에서 6시간 동안 반응시켜 반응후의 시료로 이용하였다. 채취된 각각의 시료(2 mL)에 10 mL의 증류수, 1 mL의 1% Sulfanilic acid 및 1 mL의 1% NaNO₂을 첨가하여 5분간 실온에 방치하여 발색 시킨 후 분광 광도계(510 nm)로 측정하였다.

계산법은 N(μg)=(최초 채취한 시험액×25)-(반응후 액×25)/(blank test의 최초액×25)-(blank test의 반응후 액×25)와 같다.

결과 및 고찰

시설내 터널 피복은 국부적으로 상온을 높이기 위한 방법으로 이용되고 있는데 본 실험에서 사용한 트로피칼(TP300×300 denier, 한진) 피복재는 전 실험에서 다른 피복재보다 보온 유지가 좋으며 무피복에 비해 3°C 이상의 상온을 유지할 수 있었다. Fig. 1은 근권(배지)온도(이하 근권온도) 처리별 터널 피복내 하루중 야간의 온도변화를 나타낸 것이다.

근권온도 처리를 하지 않은 무처리(대조구)는 야간의 온도가 10°C 정도 유지되었으나 근권 10°C 처리구는 야간의 피복내 온도가 12°C 내외로 무처리보다 2°C정도 높게 유지되었다. 반면 근권의 온도는 무처리가 10°C 내외로 근권 10°C 처리구와 비슷한 경향이였다. 근권온도가 높을수록 피복내 온도는 높아지는 경향이

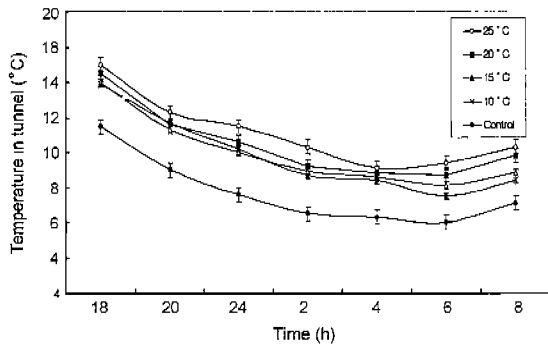


Fig. 1. Changes of temperature in tunnel covering as affected by night root zone temperatures of second truss-limited tomatoes in winter perlite culture. The temperature was measured from Dec. 1 to Dec. 30, 1999.

었으나 모든 근권온도 처리구에서 무처리구보다 3°C 이상의 증가를 나타내지는 않았다. 근권온도의 증가로 터널내 온도의 증가를 기대하였으나 온도가 크게 증가하지 않았다. 이것은 배지가 필름으로 피복이 되어 있어 열전도가 많이 되지 않은 것으로 추측되며, 또한 재배상이 지상 10 cm 높이에 설치되어 있고, 터널의 밀폐도가 낮아 터널 외부의 상온에 영향을 많이 받은 것으로 추측된다.

Table 1은 근권온도에 따른 생육을 나타낸 것이다.

Table 1. Effects of night root zone temperatures on the growth of second truss-limited tomatoes in winter perlite culture.

Night root zone temp.	Plant height (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Stem diameter (mm)	Node order of first truss
Control	69.0a ^z	24.0a	12.9a	9.8a	11.6a
10	64.6a	24.4a	13.8a	9.3a	12.2a
15	75.8a	27.2a	14.8a	9.2a	15.8a
20	75.4a	31.6a	14.4a	10.9a	14.8a
25	70.6a	25.8a	13.8a	9.3a	13.0a

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

Table 2. Effects of night root zone temperatures on fresh and dry weight, and T/R ratio of second truss-limited tomatoes in winter perlite culture.

Night root zone temp.	Plant ($g \cdot plant^{-1}$)		Root ($g \cdot plant^{-1}$)		T/R ratio
	Fresh wt.	Dry wt.	Fresh wt.	Dry wt.	
Control	120c ^z	12.4c	12c	1.05c	11.8
10	136b	13.3b	12c	1.43a	9.3
15	144b	14.4a	16b	1.46a	11.4
20	176a	14.2a	18a	1.47a	10.1
25	148b	13.6b	12c	1.32b	8.8

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

초장은 15~20°C의 근권온도에서 75 cm로 가장 길었으며, 엽장, 착과절위 등의 생육은 이 온도 범위에서 가장 양호하였다. 이러한 결과는 근권의 온도가 지상부의 생육에도 영향을 미친다는 것을 나타내고 있다. 무처리와 10°C의 낮은 근권온도에서 지상부의 생육이 억제된 것은 뿌리의 발육이 저조하고 근활력이 낮아 양분의 흡수가 억제된 것으로 생각되었다. 반면 25°C의 근권온도에서 생육이 저조한 것은 뿌리의 노화가 빨라 근활력이 낮아지고, 양분의 흡수억제에 기인되는 것으로 생각된다.

Udagawa 등(1989)은 딸기 양액재배에서 23°C 이상의 근권온도에서 뿌리의 초기신장은 빠르나 뿌리의 노화가 빨라 결국 지상부의 생장이 억제된다고 보고하여 본 실험의 결과를 뒷받침해주고 있다. 이러한 결과로 미루어 볼 때 토마토 생육에 알맞은 근권온도는 15~20°C인 것으로 생각되나 Cooper(1973)는 25°C가 최적지온이라고 하였다. 그러나 이는 유표기에서의 결과이다. 이러한 결과에서 토마토의 생육단계에 따라 근권의 생육적온이 다소 차이가 있음을 미루어 짐작할 수 있다.

Table 2는 근권온도 처리별 식물체의 생체중과 건물중을 나타낸 것이다. 지상부의 생체중은 20°C 처리구에서 176 g으로 가장 많았으며, 다음은 15°C 처리구였

겨울철 토마토 2단밀식 펄라이트경에서 야간 근권 온도가 토마토의 생육 및 수량에 미치는 영향

으나 25°C 처리구는 무처리보다도 적었다. 뿌리의 생체중은 15°C와 20°C 처리구에서 각각 16 g와 18 g으로 가장 무거웠으며 건물중도 같은 경향을 나타냈다. 15°C 및 20°C의 근권온도에서는 뿌리의 생장이 양호하여 지상부의 생육을 촉진하였으나 무처리나 10°C의 낮은 근권온도와 25°C의 높은 근권온도에서는 뿌리의 생장이 저조하여 지상부의 생육이 억제된 것으로 판단되었다.

Fig. 2는 근권온도에 따른 생육단계별 근활력을 나타낸 것이다. 개화후 30일에는 근권온도가 높을수록 근활력이 증가하는 경향을 보였으나, 개화후 70일에는 모든 처리구에서 감소하였다. 근권온도별 근활력은 20°C에서는 개화후 30일까지는 25°C에서보다 낮았으나 그 이후부터는 다른처리보다 높아 58~55 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$ 수준을 유지하였다. 반면에 25°C의 높은 온도에서는 개화 후 30일부터 급격히 낮아져 50 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$ 정도로 15°C 처리구와 같았다. 15°C, 10°C 및 무처리에서는 근권온도가 낮을수록 근활력도 감소하는 경향을 보였다. 이상의 결과에서 근권온도가 높을수록 근활력

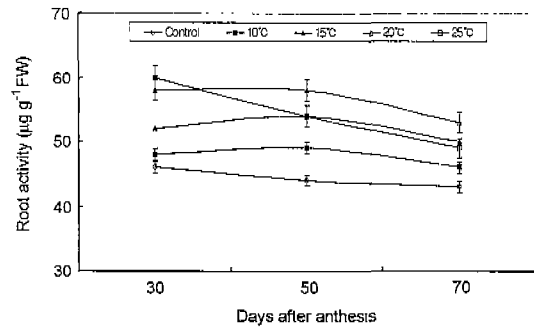


Fig. 2. Changes of root activities as affected by night root zone temperatures of second truss-limited tomatoes in winter perlite culture.

은 증가하는 경향이나 25°C 이상의 높은 온도에서는 유효기에는 근활력이 증가되지만 생육이 진전될수록 근활력이 급격히 감소하는 것을 알 수 있었다. 따라서 이러한 근활력 감소는 양수분의 흡수억제로 작물의 대사생리에 영향을 주어 생육이 억제되는 결과를 가져오는 것으로 추측되었다.

Table 3은 근권온도에 따른 수량과 기형과율을 나타

Table 3. Effects of night root temperatures on fruit number, mean fruit weight, yield and malformed fruit ratio of second truss-limited tomatoes in winter perlite culture.

Night root zone temp.	Number of fruit	Mean fruit wt (g)	Yield (kg/10a)	Malformed fruit ratio (%)
Control	4.6c ²	139b	4,567c	31.9
10	4.4c	142b	4,463c	32.0
15	5.2b	165a	6,129b	21.4
20	5.8a	168a	6,960a	18.5
25	5.0b	163a	5,822b	16.8

²Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

Table 4. Effects of night root temperatures on mineral nutrient content of second truss-limited tomatoes in winter perlite culture.

Position	Night root zone temp.	T-N (%)	P (%)	Ca (%)	Mg (%)	K (%)
Plant ¹	Control	3.94a ²	1.42c	5.23d	2.68a	10.2b
	10	4.23a	1.51c	5.74c	2.78a	12.8a
	15	4.21a	2.85b	6.81a	2.79a	13.0a
	20	4.25a	3.40a	6.31b	2.76a	12.0a
	25	4.29a	3.48a	6.15b	2.90a	10.2b
Root	Control	2.80a	1.86a	1.85a	0.71a	4.0a
	10	2.61a	1.89a	1.53b	0.63a	2.2b
	15	2.62a	0.87b	1.08c	0.56a	4.1a
	20	2.38a	0.81b	1.10c	0.72a	3.7a
	25	2.65a	0.87b	1.06c	0.67a	3.7a

¹Plant presents leaf and stem.

²Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

낸 것이다. 주당 착과수와 평균과중은 온도가 높을수록 많고 무거운 경향이었으나, 25°C 처리구에서는 15~20°C 처리구에서보다 적고 가벼웠다. 10a 당 수량은 20°C 처리구가 6,960 kg으로 가장 많았으며, 15°C, 25°C 그리고 10°C순으로 많았다. 20°C 처리구보다 낮은 온도에서 수량이 적은 것은 기형과의 발생이 많은 것과 과실비대의 억제, 그리고 25°C 처리구에서는 20°C 처리구보다 착과수가 적은 것에 기인되었다. 특히 기형과 발생은 낮은 근권온도에서 많았다. 기형과율은 대조구 및 10°C 처리구가 32%로 가장 많았고 온도가 높을수록 감소하여 25°C 처리구에서는 16.8%로 가장 적었다. 이러한 기형과의 대부분은 과육 비대의 억제와 공동과에 의하여 발생하였는 데 야간 온도를 10°C 이하로 관리한 것에 원인이 있는 것으로 생각되었다.

Table 4는 근권온도 처리별 식물체의 지상부와 지하부의 무기양분 함량을 나타낸 것이다.

질소와 마그네슘함량은 지상부와 지하부 모두 온도 처리간에 차이가 없었다. 그러나 인산과 칼슘함량은 처리온도에 따라 지상부와 지하부에서 다르게 나타났다. 인산과 칼슘함량은 지상부에서는 근권온도가 높을수록 증가하였으나, 지하부에서는 감소하는 경향을 나타냈다. Roberts and Kenworthy(1956)는 딸기재배시 지온이 낮을수록 칼슘의 흡수가 억제된다고하였다. 또 Proebsting(1957)은 지온이 낮을수록 인산의 흡수가 억제된다고 하였다. 이러한 결과들은 비록 작물은 다르지만 본 실험과 일치하는 결과이다.

본 실험에서 인산과 칼슘이 낮은 지온에서 지하부에 많이 축적되어 있는 것으로 미루어 짐작할 때, 근권의 온도가 낮아짐으로써 수분흡수가 억제되어 지상부로의 양분이동이 억제된 것으로 추측된다. 그러나 칼륨함량

이 25°C 처리구에서 15~20°C 처리구에서보다 낮은 것은 생장의 후기에 근활력이 낮은 것과 관련이 있으며, 또한 생육의 억제와 관계가 있는 것으로 생각된다.

Literature cited

1. Agricultural Research Institute. 1988. Methods for chemical analysis of soil and plant. RDA. MOAF (in Koeran).
2. Cooper, A. J. 1973. Influence of rooting-medium temperature on growth of *Lycopersicon esculentum*. *Ann. appl. Biol.* 74:379-385.
3. Fujishige, N., T. Sugiyama and R. Ogata. 1991. Effect of root temperature on the flower formation and fruit yield of tomatoes. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 60:97-103 (in Japanese).
4. No, M. Y. 1993. Effect of root zone temperature, pH and concentration of nutrient solution on growth, early yield and fruit quality of tomato in substrate culture. PhD Diss., University of Seoul (in Korean).
5. Proebsting, E. L. 1957. The effect of soil temperature on the mineral nutrition of the strawberry. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 69:278-281.
6. Roberts, A. N. and A. L. Kenworthy. 1956. Growth and composition of the strawberry plant in relation to root temperature and intensity of nutrition *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 68:157-168.
7. Udagawa, Y., T. Ito and K. Gomi. 1989. Effects of root temperature on some physiological and ecological characteristics of strawberry plants 'Reiko' grown in nutrient solution. *J. Japan. Soc. Hort. Soc.* 58:627-663 (in Japanese).
8. 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).

겨울철 토마토 2단밀식 펠라이트경에서 야간 근권 온도가 토마토의 생육 및 수량에 미치는 영향

겨울철 토마토 2단밀식 펠라이트경에서 야간 근권 온도가 토마토의 생육 및 수량에 미치는 영향

이한철* · 강경희 · 권기범 · 최영하
영시 부산원예시험장

적 요

본 연구는 겨울철 토마토 펠라이트경에서 야간 근권온도를 10°C, 15°C, 20°C, 25°C 및 대조구로 설정하여 생육과 근활력 및 양분의 흡수 특성을 조사코자 수행하였다. 터널 피복내 온도는 근권온도가 높을수록 다소 증가하였으나 대조구에 비해 3°C 이상 증가되지 않았다. 초장, 엽장, 엽폭 등의 생육은 20°C 처리구에서 가장 좋았다. 경엽의 생체중 및 건물중은 20°C 처리구에서 가장 높았으나, 뿌리의 생체중 및 건물중은 대조구에서 가장 낮았다. 근활력은 제 1화방 개화기에는 근권온도가 높을수록 증가하는 경향이었으나, 과실 수확기에는 20°C 처리구가 가장 높았고 15°C, 25°C, 10°C 및 대조구 순으로 높았다. 칼륨 함량은 경엽과 뿌리 모두 근권온도가 높을수록 많았으나, 질소와 마그네슘 함량은 처리간에 차이가 없었다. 인산과 칼슘 함량은 경엽에서는 근권온도가 높을수록 증가하였으나, 뿌리에서는 감소하는 경향을 나타냈다. 주당 착과수와 평균과중은 온도가 높을수록 많고 무거운 경향이었으나 25°C 처리구에서는 15°C 또는 20°C 처리구에서보다 적고 가벼웠다. 이러한 결과로 10a당 수량은 20°C 처리구가 6,960 kg으로 가장 많았으며 15°C, 25°C, 10°C, 대조구 순으로 많았다. 20°C 처리구보다 낮은 온도에서의 수량감소는 기형과의 발생이 많은 것에, 그리고 25°C 처리구에서의 수량감소는 착과수가 적은 것에 기인되었다.

주제어 : 근활력, 양분흡수