

원적외선 면상발열체를 이용한 하우스난방시스템의 방울토마토 생육특성

The Growth Characteristics of Cherry Tomatoes of greenhouse Heating Systems Using Far Infrared Heater

李 赫* 김희준* 한충수* 조성찬* 노정근* 최종민* 김학주**
 정희원 정희원 정희원

H. Li H. J. Kim C. S. Han S. C. Cho J. G. Ro J. M. Choi H. J. Kim

1. 서론

현재 원예시설 난방시스템은 온풍난방이 주를 이루고 있으며, 사용 연료는 경유가 95% 이상을 차지하고 있기 때문에 시설재배 농가에서는 유가변동에 민감할 수밖에 없다. 또한 온풍난방은 공기 대류에 의한 난방으로 효율성이 낮고 난방 면적이 넓은 하우스 내에 온도 불균일로 인한 작물 생육 불균일 문제로 고효율 대체 난방시스템 개발이 필요하다. 원적외선은 복사에너지로 가열 매체 없이 직접 작물에 조사되므로 에너지 효율이 높고, 작물은 수분이 많이 함유되어 있어 원적외선 조사를 받으면 신진대사 촉진으로 생육이 왕성해 지고 품질이 향상되는 것으로 알려져 있으며, 또한 전기에 의한 난방시스템은 온도조절이 용이하고 공기가 오염되지 않아 위생적이며, 소음이 없기 때문에 대체 난방시스템으로 부각되고 있다. 따라서 본 연구에서는 방울토마토의 고품질화, 생육 촉진, 난방효율 향상 및 난방비 절감을 위한 원적외선 난방시스템 개발을 위해 복사에너지인 원적외선 가열 메카니즘을 도입하여 토마토의 생육특성을 비교분석하고, 원적외선을 이용한 하우스난방시스템의 개발의 기초 자료를 제시하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

원적외선 면상발열체의 원적외선 방사율과 방사에너지 측정결과로 80℃에서 원적외선 평균방사율은 92.1%, 방사에너지는 6.27×102(W/m²·μm)로 측정되어 양호한 것으로 나타났다.

실험온실은 연동 남·북향 총45평(15평×3동)형 규모로 2중 피복 구조이며, 각각 원적외선 면상발열체 측면설치 난방방식, 천정설치 난방방식, 온풍기 난방방식으로 구분하여 실험을 실시하였다. 원적외선 측면난방은 750W 용량의 면상발열체 10매를 좌우측면에 각각 5매씩 수직으로 설치하였으며, 원적외선 천정난방은 350W용량의 면상발열체 4매씩을 5열로 총 20매를 천정에 수평으로 설치하였다. 대조구 경유 온풍난방은 70,000 kcal용량의 경유온풍기 1대를 설치하였다. 실험 측정용 방울토마토는 화분에 이식하였으며 토양은 제품화된 판매 상토를 사용하였다.

다. 실험방법 및 측정항목

실험용 방울토마토 품종은 꼭긴으로 2005년 2월 2일에 60일 묘를 각 온실에 70주씩 30×150cm 재식거리로 정식하였다. 이식 전 방울토마토 평균 초장, 엽수, 제 5마디 엽의 엽장·엽폭, 경경은 각각 16.0cm, 9매, 10.8cm, 8.3cm, 3.87mm이었다.

This study was supported by the Ministry of Agricultural and Forestry.

* Dept. of Biosystems Engineering, Chungbuk National University.

** National Horticultural Research Institute Rural Development Administration

각 온실에는 작물의 옆은, 온실 천정(4m), 상(1.5m)·하부(0.5m) 기온, 지온 및 외기온도, 방사판 거리별 기온분포 등의 측정을 위해 다점온도기록계(DA-100, Yokogawa, Japan)를 실험온실 별로 설치하여 K-type 열전대로 각각 21곳의 온도를 기록하였고, 온습도계를 설치하여 각 온실의 상대습도를 측정하였다.

생육조사는 7일 간격으로 초장, 엽장·엽폭, 엽수, 경경, 주당 개화수, 착과수, 개당 토마토 중량, 색도, 당도, 주당 생산량 등을 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 원적외선 측면난방, 천정난방 및 온풍난방의 내부 온도분포 비교

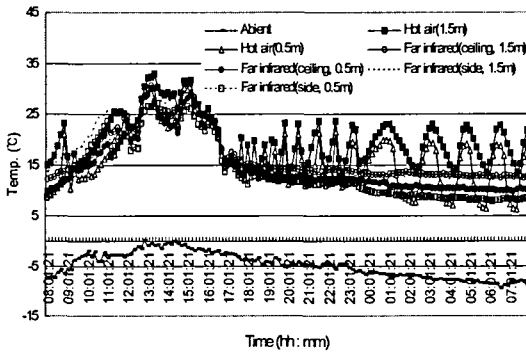


Fig. 1. Comparison of temperature of greenhouse using far infrared heater and hot air heater.

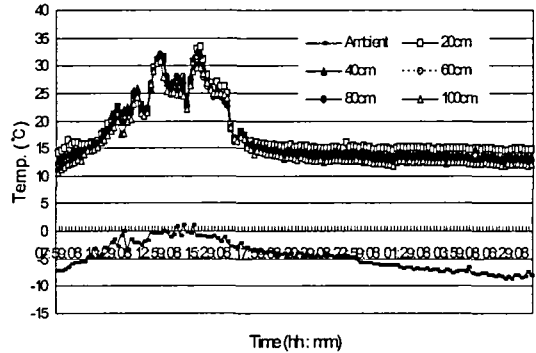


Fig. 2. Changes of temperature according to distance from far infrared heater.

원적외선 난방시스템 설치구와 온풍난방시스템 대조구의 실내기온변화를 비교한 결과를 그림 1에 나타내었다. 실외 기온은 최고온도 -0.4°C , 최저온도 -9.8°C , 실내 온도는 14°C 로 설정하였다. 그림에서 보는 바와 같이 원적외선과 온풍하우스내부의 상부기온은 하부기온보다 높은 것으로 나타났고, 원적외선 난방시스템의 경우 천정난방과 측면난방의 상·하 평균 기온차는 각각 $0.8, 1.9^{\circ}\text{C}$, 온풍난방의 상·하 평균 기온차는 3.5°C 로 높게 나타났다. 또한 원적외선 난방시스템의 경우 내부 평균온도는 13°C 를 중심으로 큰 편차 없이 균일하게 유지되는 반면, 온풍난방시스템은 $10^{\circ}\text{C} \sim 26^{\circ}\text{C}$ 로 온도변화가 큰 것으로 나타났다. 이처럼 온도변화가 클 경우 작물이 스트레스를 받기 때문에 작물생육에 부정적인 영향을 미치게 된다. 따라서 원적외선 난방시스템의 경우는 온풍난방시스템의 단점인 온도편차를 최소화 할 수 있다는 측면에서 난방시스템으로서 매우 효과적일 것으로 판단된다.

그림 2은 원적외선 면상발열체부터의 거리변화에 따른 온도분포특성을 나타내었다.

그림에서 보는 바와 같이 원적외선 면상발열체의 전기용량과 관계없이 면상발열체부터 거리의 비례하여 온도가 낮아지는 경향을 나타내었고 위치별 온도 편차는 $0 \sim 4.4^{\circ}\text{C}$ 정도 이었다.

나. 방울토마토의 생육반응 및 수확 후 품질평가

1) 방울토마토의 생육반응

방울토마토의 생육조사는 정식 후 7일 간격으로 토마토의 초장, 엽수, 제 5마디 엽장·엽폭 및 경경, 주당 개화수, 착과수 등을 측정 분석하여 표 1에 나타내었다.

표 1에서 보는 바와 같이 생육을 조사한 결과 원적외선 처리구에서 전반적으로 생육이 양호한 것으로 나타났다.

Table 1 The growth characteristics of cherry tomato according to greenhouse heating using far infrared rays and hot air

Item	Days after planting								
	14			28			42		
	Far (side)	Far (ceiling)	Hot air heating	Far (side)	Far (ceiling)	Hot air heating	Far (side)	Far (ceiling)	Hot air heating
Plant height(cm)	20.69	22.92	20.79	33.59	37.63	32.05	63.26	71.29	59.99
No. of Leaves(/plant)	11	12	12	13	15	15	19	19	19
Leaf Length(cm)	12.40	12.32	11.78	13.26	16.33	12.64	19.60	22.70	17.89
Leaf width(cm)	9.70	10.03	9.42	9.98	10.11	9.64	10.60	11.74	9.66
Stem diameter(mm)	4.67	4.71	4.85	5.45	6.00	5.43	7.32	7.74	6.89
No. of flowers(/plant)	8	8	10	21	22	21	49	47	50
No. of Fruiting(/plant)	2	2	3	4	4	4	9	10	9

초장은 정식 42일 후 원적외선 천정난방이 71.29cm로 가장 컸으며 다음은 원적외선 측면난방 63.26cm, 경유온풍난방이 59.99cm로 가장 작게 나타났다. 엽수는 대개 19매로 난방간의 차이가 없는 것으로 나타났다. 제 5마디 엽장, 엽폭, 경경은 초장의 경우와 같이 원적외선 난방이 경유온풍난방보다 큰 것으로 나타내었으며, 원적외선 난방의 경우 천정난방이 측면난방보다 양호한 것으로 나타났다. 이것은 원적외선의 균일한 난방효과가 토마토의 생육을 촉진시켰기 때문이라 판단된다. 주당 개화수 및 착과수는 난방별 차이가 없는 것으로 나타났다.

2) 방울토마토의 품질조사

표 2, 3, 4, 5는 정식 54일 후 7일 간격으로 7회 수확하여 난방별 각각 생산량, 적색도, 당도 및 개체중량을 비교분석하여 나타내었다.

Table 2 Comparison of yield of cherry tomato according to greenhouse heating using far infrared rays and hot air(g/plant)

Treatment	0	7	14	21	28	35	42
Far infrared heater(side)	6.37	6.97	6.05	13.28	28.2	40.64	86.26
Far infrared heater(ceiling)	6.28	6.98	6.45	10.9	26.28	41.14	100.55
Hot air heating	6.21	5.21	4.08	11.7	22.77	36.01	91.55

표 2에 나타낸 바와 같이 7, 14, 28, 35, 42일 수확한 방울토마토의 생산량은 난방 시스템간의 통계적인 유의성이 나타나 원적외선 천정 및 측면난방이 온풍난방에 비해 생산량이 많았으므로 원적외선난방 효과가 토마토의 생산량을 향상시킨 요인으로 판단된다. 원적외선난방의 경우 천정난방이 측면난방보다 생산량이 많은 것으로 나타나 면상방열체 천정설치방식이 측면설치방식보다 원적외선 효과가 좋은 것으로 판단된다.

표 3에서 보는 바와 같이 토마토의 평균 적색도 값은 원적외선 천정난방과 측면난방, 온풍난방의 경우 각각 17.95, 17.52, 17.05로 나타나 난방간의 통계적인 유의성이 나타나지 않았다.

표 4에 방울토마토의 당도를 나타내었다.

표 4에서 보는 바와 같이 수확한 방울토마토의 당도는 난방 시스템간의 통계적인 유의성

은 인정되지 않았지만, 원적외선 천정 및 측면난방이 경유온풍난방에 비해 당도가 약간 높은 경향을 나타내 원적외선의 효과가 토마토의 당도에 영향을 미친 것으로 판단된다. 원적외선난방의 경우 천정난방과 측면난방간의 당도는 거의 차이가 없는 것으로 나타났다.

Table 3 Comparison of redness of cherry tomato according to greenhouse heating using far infrared rays and hot air

Treatment	0	7	14	21	28	35	42
Far infrared heater(side)	17.83	19.61	17.64	18.66	16.38	16.93	18.62
Far infrared heater(ceiling)	19.74	18.48	17.28	19.20	15.93	16.05	16.02
Hot air heating	19.56	20.13	18.60	16.28	15.67	14.00	15.13

Table 4 Comparison of sugar contents of cherry tomato according to greenhouse heating using far infrared rays and hot air(°Brix)

Treatment	0	7	14	21	28	35	42
Far infrared heater(side)	9.40	9.48	10.01	10.02	11.01	11.71	10.64
Far infrared heater(ceiling)	9.26	9.43	10.41	10.12	10.50	10.40	11.00
Hot air heating	9.06	9.62	10.21	9.78	10.37	10.29	10.28

표 5에서는 방울토마토 수확 후 개체 토마토 중량을 비교분석하였다. 표에서 알 수 있듯이 초기에는 원적외선 난방이 온풍난방보다 무게가 약간 무거운 것으로 나타났다. 이것은 원적외선 난방의 온도분포가 균일하여 토마토의 생육을 촉진시켰기 때문이다.

Table 5 Comparison of weight of cherry tomato according to greenhouse heating using far infrared rays and hot air(g/per)

Treatment	0	7	14	21	28	35	42
Far infrared heater(side)	9.59	10.52	9.68	9.74	7.14	8.09	9.69
Far infrared heater(ceiling)	8.35	9.70	9.92	9.54	8.25	8.59	9.49
Hot air heating	8.41	8.18	8.26	9.29	7.96	8.89	9.52

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 원적외선을 이용하여 토마토 생육촉진 및 품질 향상을 위한 난방방법과 적정 난방조건을 제시하기 위하여 원적외선 난방과 대조구인 온풍난방의 온도분포, 토마토의 생육특성, 품질 등을 평가하여 분석하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

가. 원적외선 난방의 내부 기온분포는 경유온풍난방보다 상하 온도편차가 작고 균일한 것으로 나타났다. 원적외선 난방의 경우 천정난방이 측면난방보다 비교적 기온분포가 균일한 것으로 나타났다.

나. 원적외선 난방이 온풍난방보다 초장, 엽장, 엽폭, 경경 등이 양호한 것으로 나타났고, 원적외선난방의 경우 천정난방이 측면난방보다 생육이 양호한 것으로 나타났다.

다. 방울토마토의 적색도는 난방방법에 따라 차이가 없는 것으로 나타났다.

라. 당도는 원적외선과 경유온풍난방 간에 큰 차이가 없는 것으로 나타났지만, 원적외선 난방이 경유온풍난방보다 약간 높은 경향을 나타내었다.

마. 생산량과 개체무게는 초기에 원적외선난방이 경유온풍보다 양호한 것으로 나타났다.

5. 참고문헌

1. 한충수, 박완서 역. 1995. 원적외선 가열의 이론과 실제. 원적외선응용연구소.
2. 농촌진흥청 원예연구소. 2000. 시설원예 생산비용 절감기술 연구보고서.
3. 한국생산기술연구원. 세카파 원적외선 면상발열체를 이용한 시설원예 난방시스템 개발의 기술성 및 사업성 평가. 연구보고서. 2002.