

동절기 수박 접목묘의 안정적 생산을 위한 나노탄소섬유적외선 램프의 난방효과에 대한 적정 설치간격

김혜민¹ · 정현우¹ · 황희성² · 황승재^{3,4,5*}

¹경상국립대학교 대학원 응용생명과학부 대학원생, ²경상국립대학교 대학원 작물생산과학부 대학원생,

³경상국립대학교 농업생명과학대학 원예학과 교수, ⁴경상국립대학교 농업생명과학연구원 교수,

⁵경상국립대학교 생명과학연구원 교수

Proper Installation Distance for Heating Effect of Nano-Carbon Fiber Infrared Heating Lamp for Stable Production of Watermelon Grafted Seedlings in Winter Season

Hye Min Kim¹, Hyeon Woo Jeong¹, Hee Sung Hwang², and Seung Jae Hwang^{3,4,5*}

¹Graduate Student, Division of Applied Life Science, Graduate School of Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

²Graduate Student, Division of Crop Science, Graduate School of Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

³Professor, Department of Horticulture, College of Agriculture & Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

⁴Professor, Institute of Agriculture & Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

⁵Professor, Research Institute of Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

Abstract. This study was carried out to investigate the proper wattage and installation distance for the efficient use of nano-carbon fiber infrared heating lamp (NCFIHL), a heating device advantageous for heating energy saving, when the production of watermelon plug seedlings in the plug seedling nursery in winter season. Six small beds were divided into plastic film, and 700 W and 900 W nano-carbon fiber infrared heating lamps were installed at 100 cm above the bed. 1 lamp at central (control), 60 cm interval (2 lamps), and 40 cm interval (3 lamps) heating lamps were installed in each bed inside the greenhouse. All treatments, except the control, were set to keep the night air temperature at 20 °C after lighting the NCFIHL. The leaf temperature showed a tendency to increase fast as the install distance was narrow. The leaf length and leaf width tended to increase as the installation distance of the 700 W heating lamp was narrow. The compactness was high in 700 W heating lamp with 40 cm of installation distance. Therefore, in consideration of maintaining the set temperature at night, installing 700 W electric lamps at 40 cm was an efficient power and installation distance for watermelon grafted seedlings considering economic feasibility.

Additional key words : air temperature, energy consumption, grafted seedling, watermelon

서 론

시설재배기술의 발달과 증가하는 공정묘의 수요와 함께 한국의 공정육묘장의 재배면적은 2003년 약 63ha에서, 2015년 약 178ha로 증가하였으며, 또한 공정육묘장의 수는 2003년 133곳에서 2015년 240곳으로 증가하였다(Jeong 등, 2016). 공정묘는 생육이 균일하고 이식 시 뿌리 상처가 적은 장점이 있어, 고추, 토마토, 수박, 오이 등의 시설원에 작물을 생산하는 많은 농가들은 공정육묘장에서 생산된 공정묘를 구입하여

사용하고 있다(RDA, 2001).

국내의 과채류 시설재배 면적은 29,958ha이며 그 중 수박 (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Manst.)은 8,957ha로 전국 과채류 시설재배 면적 1위를 차지하고 있는 재배 선호도가 높은 작물이다(KOSIS, 2021). 수박은 2월 중순에서 3월 하순에 파종과 접목이 이뤄진다(RDA, 2021). 하지만 2월과 3월의 전국 평균기온은 2018년 기준 각각 -0.2°C와 8.1°C로(KMA, 2021), 수박의 발아 적온인 28 - 30°C, 생육 적온인 25 - 30°C에 도달하지 않는다. 수박의 경우 10°C 전후의 저온에서 생장점에 장애가 발생하며, 이에 따른 순뻗이현상 등이 나타나게 된다(RDA, 2001). 그러므로, 동절기 수박의 육묘에 있어 시설 난방은 필수라고 할 수 있다.

*Corresponding author: hsj@gnu.ac.kr

Received September 16, 2021; Revised October 22, 2021;

Accepted December 9, 2021

시설 난방을 위한 방법으로 유닛 히터와 난방 파이프, 전기 열선, 그리고 적외선과 열선 등을 방출하여 직접 복사열을 제공하는 난방등 등이 사용되고 있다. 하지만, 시설 투자비와 고유가에 따른 난방비 상승으로 시설난방비용이 경영비 중 30 - 50%를 차지하는 문제가 발생하고 있다(Kim 등, 2016; Rearden, 2011). 따라서, 시설 투자 비용과 난방비를 절감하기 위한 난방기술 개발이 절실한 상황이다.

나노탄소섬유 적외선 난방등(nano-carbon fiber infrared heating lamp)을 이용한 난방방식은 난방등에서 발생하는 복사열을 이용한 적외선 난방 시스템의 일종으로 식물체, 벤치 등의 물체를 직접 가열하여 온도를 빠르게 올릴 수 있으며, 기존 난방방식보다 설치 비용이 저렴하며, 가격이 저렴한 농업용 전기를 사용하기 때문에 화석 연료를 이용한 난방방식보다 유지 및 운영 비용이 저렴한 장점이 있다(Kim과 Choi, 2008). 나노탄소섬유 적외선 난방등을 사용하였을 때, 온수난방에 비해 75% 난방비가 절약된다는 보고가 있으며(An 등, 2013), 절화 장미 생산 시 나노탄소섬유 적외선 난방등을 사용하여 난방할 경우, 작물의 생육에 지장을 주지 않으면서 난방비를 절약시켜 난방 효율을 향상시킬 수 있다는 보고가 있다(Lim 등, 2009).

앞선 연구에서 수박의 동절기 육묘에 필요한 적정 난방등 전력 및 설치 높이에 관한 연구가 이뤄진 바 있다(Kim 등, 2016). 하지만, 육묘 시설에서 공정묘 생산 시 적절한 난방등 설치 간격 및 효율적인 적정 전력의 난방등에 관한 연구는 미비하다.

따라서, 본 연구는 상대적으로 난방비가 저렴하며, 연소 과

정이 없어 연료가 불필요한 난방장치인 나노탄소섬유 적외선 난방등의 수박과 토마토 육묘 시 생육 및 난방에 효과적인 적정 설치 간격과 난방 효율성을 구명하기 위해 수행되었다.

재료 및 방법

1. 실험재료 및 재배환경

본 연구는 경상국립대학교 농업생명과학대학 부속 농장 벤로형 유리온실에서 수행되었다. 수박 접목묘는 접수로 수박 (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Manst.) ‘스피드 플러스(Nongwoobio Co., Ltd., Suwon, Korea)’와 대목으로 박(*Lagenaria siceraria* (Molina) Standl.) ‘볼로장생(Syngenta Korea Co., Ltd., Iksan, Korea)’ 품종으로 각각 2015년 1월 10일, 2015년 1월 3일에 32구 트레이에 파종하였다. 2015년 1월 19일에 접수와 대목을 편엽합접의 방법으로 접목한 후 7일 동안 온도 25°C, 상대습도 90 - 95%의 접목 활착실에서 활착시켰다. 각 묘는 벤로형 온실 내부에 설치한 소형 베드 위에 베드 당 4 트레이씩 배치하였다. 수박 접목묘는 2015년 2월 9일부터 2월 25일까지 총 17일간 육묘하였다. 주간 기온(9:00 - 18:00)이 22°C 이하, 야간 기온(18:00 - 9:00)이 20°C 이하로 내려갈 경우, 나노탄소섬유 적외선 난방등이 가동되도록 설정하였다.

2. 나노탄소섬유 적외선 난방등 설치 및 실험 구획 설정

폭 1.2 × 길이 2.4 × 높이 0.75m인 소형 베드 6개를 플라스틱 필름으로 구획을 나눈 후, 베드 위 100cm 높이에 나노탄소섬

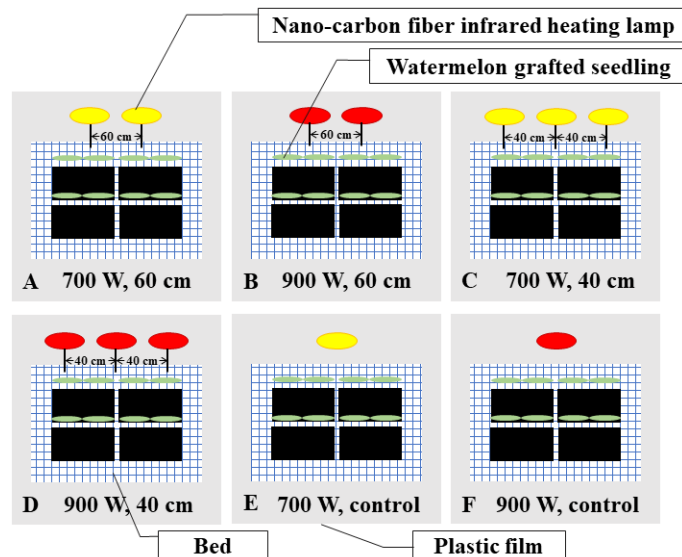


Fig. 1. Scheme of wattage and install distance of nano-carbon fiber infrared heating lamp. A, 700 W, 60 cm; B, 900 W, 60 cm; C, 700 W, 40 cm; D, 900 W, 40 cm; E, 700 W, control; and F, 900 W, control.

유 적외선 난방등(Golden energy Co. Ltd., Chilgok, Korea)을 설치하였으며, 구역 별로 700W, 900W 난방등을 이용하여 설치 간격을 각각 중앙 1개(Control), 60cm 간격(2개), 40cm 간격(3개)으로 설치하였다(Fig. 1). 실험 처리에 사용된 난방등의 전력 소모량은 Table 1과 같다.

3. 온실 환경측정 및 생육 조사

온실 환경측정은 베드 주변에 측정 센서(GH-101, Youjeong system Co. Ltd., Seoul, Korea)를 배치하여 기온을 측정하였고, 버튼식온도계(ibutton DS1923L-F5, Maxim Integrated, San Jose, CA, USA)를 이용하여 온실 전체 평균기온을 측정하였다. 적외선 온도계(IR-302, Custom Corp., Sotokanda, Japan)를 이용하여 24시간 접목묘 엽온의 변화를 실시간 관찰하였다. 나노탄소섬유 적외선 난방등이 작동된 후 시간에 따른 식물체의 표면온도를 알아보기 위해 열화상 측정기(Testo 880-1, Testo Co. Ltd., Lenzkirch, Germany)로 촬영하였다. 또한 전력량계측기(KEM2000, Korins Inc., Seongnam, Korea)를 이용하여 소비전력량을 측정하였다.

서로 다른 전력 및 간격으로 설치된 나노탄소섬유 적외선 난방등에 의한 접목묘의 생육 특성을 비교하기 위해 수박 접목묘의 초장, 접수 길이, 근장, 경경, 엽장, 엽폭, 엽면적, 지상부와 지하부의 생체중 및 건물중, 묘의 충실도, 엽수를 조사하였다. 묘의 경경은 버니어캘리퍼스(CD-20CPX, Mitutoyo Co. Ltd., Kawasaki, Japan)를 이용하여 지제부 상단 1cm를, 엽면적은 엽면적 측정기(LI-3000, LI-COR Inc., Lincoln, NE, USA)를 이용하여 측정하였고, 지상부의 생체중과 건물중은 전자저울(EW220-3NM, Kern&Sohn GmbH., Balingen, Germany)을 이용하여 측정하였고, 지상부의 건물중에 초장의 값을 나누어 compactness를 계산하였다. 건물중은 시료를 70°C 항온 건조기(Venticell-222, MMM Medcenter Einrichtungen GmbH., Planegg, Germany)에서 72시간 건조 후 측정하였다.

Table 1. Energy consumption for lamp wattage and installation distance of nano-carbon fiber infrared heating lamp during 1 hour.

Wattage (W)	Install distance (cm)	Energy consumption (kW/h)
	Control	0.6
700	60	1.4
	40	2.0
	Control	1.0
900	60	1.8
	40	3.0

4. 통계분석

실험은 4 반복의 완전임의배치법으로 수행되었다. 통계분석은 SAS 프로그램(SAS 9.3, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)을 이용하여 분산분석(ANOVA)을 실시하였고, 처리 간 평균 차이는 Duncan의 다중검정을 이용하여 5% 유의수준에서 검증하였다. 그래프는 SigmaPlot 프로그램(Sigma Plot 12.0, Systat Software Inc., San Jose, CA, USA)을 이용하여 작성하였다.

결과 및 고찰

Table 1은 나노탄소섬유 적외선 난방등의 전력과 설치 간격에 따른 1시간당 전력 소비량을 나타낸 것이다. 나노탄소섬유 적외선 난방등의 전력이 높고 설치 간격이 짧을수록 전력 소비량은 증가하였다. 대조구와 40cm 간격처리는 3배 차이가 났으며, 700W와 900W 처리 간에는 1.5배 차이가 났다. 이를 통해 700W 보다는 900W 난방등이 설치 간격이 좁을수록 소비전력이 높은 것을 확인할 수 있었다. 따라서, 전력 소비량을

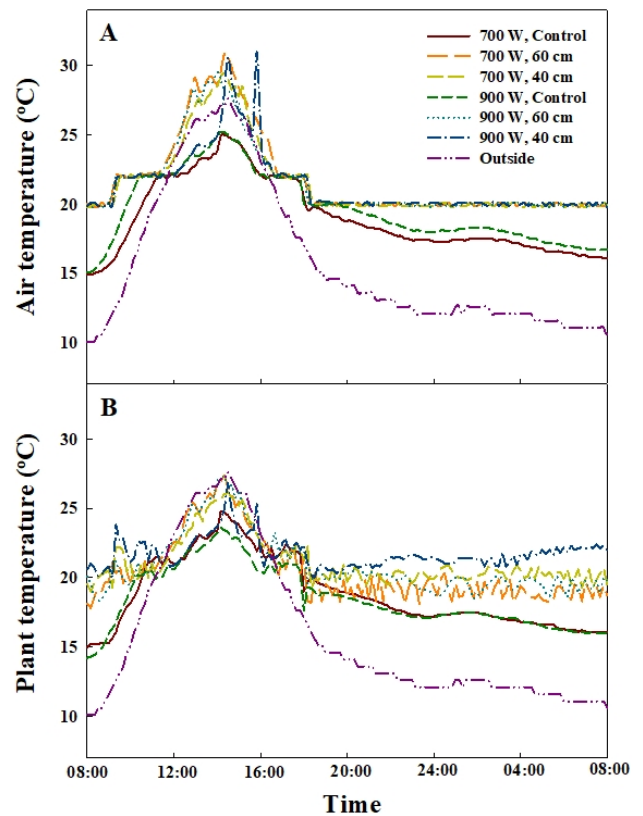


Fig. 2. Changes of air (A) and plant (B) temperature as affected by lamp wattage and install distance of nano-carbon fiber infrared heating lamp during 1 day.

고려하였을 때 900W 난방등을 60cm 간격으로 설치하는 것보다 700W 난방등을 40cm로 설치하는 것이 식물체 온도를 빠르게 조절하면서 시설 내 기온 유지에 더 효율적일 것으로 판단된다.

Fig. 2는 나노탄소섬유 적외선 난방등 하에서 오전 08시부터 익일 오전 08시까지의 기온과 식물체 엽온의 변화를 나타낸 그래프이다. 나노탄소섬유 적외선 난방등의 온도 설정 기준을 기온으로 하였기 때문에, 16:00시 이후부터 기온보다 엽온의 변화 폭이 큰 것을 확인할 수 있다. 적외선 난방등은 매질을 통해 열이 전달되는 전도나 대류와 달리 물체에서 물체로 직접 열이 전달되는 복사를 통해 열에너지를 전달하기 때문에 (Jim, 2011), 열이 식물체에 먼저 영향을 준 후 기온이 상승하게 되며, 난방등이 켜지고 꺼짐에 따라 16시 이후부터 엽온의 변화가 기온의 변화에 비해 다소 불안정한 그래프를 보이는 것으로 판단된다. 대조구에서의 기온과 엽온은 야간 설정 온도(20°C)를 유지하지 못했다. 이는 난방등의 개수 부족에 따른 처리 체적 당 열에너지 발생량 차이로 판단된다. 대조구를 제외한 나머지 처리에서는 모두 설정 온도를 유지하였기 때문에, 겨울철 나노탄소섬유 적외선 난방등을 이용하여 난방할

때 기온을 20°C로 유지하기 위해서는 700W와 900W 난방등 처리를 60cm 간격 이하로 설치하면 시설 온도를 목표 수준으로 일정하게 유지할 수 있을 것으로 판단된다.

나노탄소섬유 적외선 난방등의 전력에 따른 설치 간격별 점등 후 1, 2, 4, 8, 16분 후의 수박 접목묘의 표면온도를 이미지 상으로 구현해 주는 열화상 카메라로 측정하였다(Fig. 3). 식물체 온도는 난방등을 켜 후 시간이 지남에 따라 높아졌으며, 대조구에서 온도가 가장 더디게 증가하였고, 40cm 간격으로 설치한 처리에서 온도가 가장 빠르게 상승하였다. 이는 40cm 간격으로 설치한 처리구에서 난방등 수에 따른 단위면적당 열전도량이 많았기 때문으로 판단된다.

수박 접목묘의 초장, 접수 길이, 근장, 경경, 엽면적, 지상부 생체중, 엽수와 같은 지상부 생육은 처리 간 유의적인 차이가 없었다(Table 2). 수박 접목묘의 엽장은 전력과 설치 간격에 각각 영향을 받았으며, 700W 대조구와 40cm 간격처리에서 유의적으로 가장 길었다. 엽폭은 전력과 설치 간격에 모두 영향을 받았으며 700W 난방등의 대조구에서 유의적으로 가장 길었고, 900W 난방등을 60cm 간격으로 설치한 처리에서 유의적으로 가장 짧게 나타났다. 지상부의 생체중은 대부분의

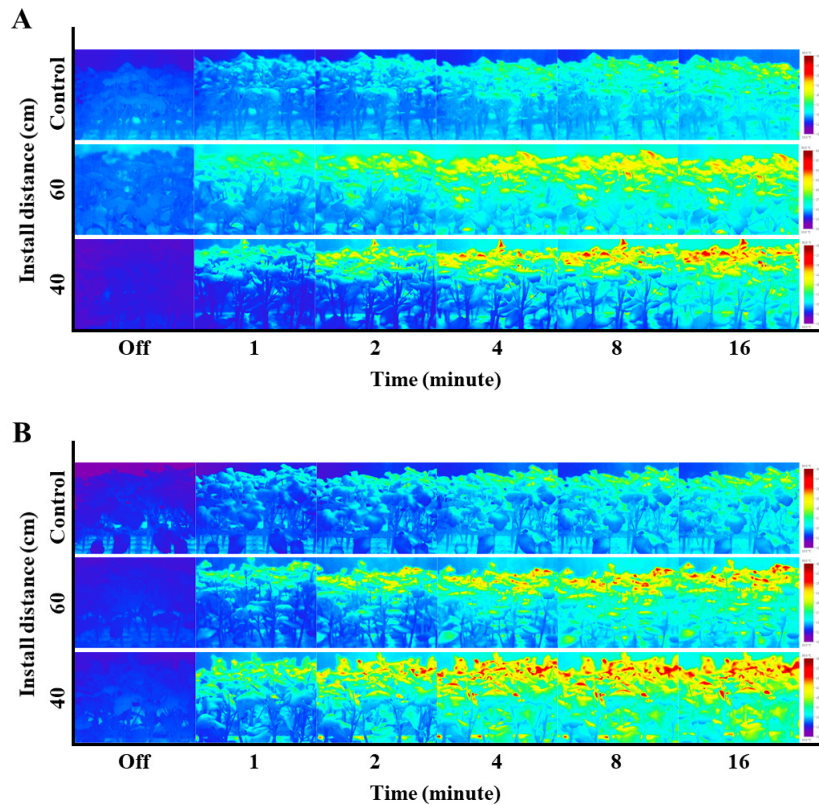


Fig. 3. Thermal images of watermelon grafted plug seedlings as affected by lamp wattage and install distance of nano-carbon fiber infrared heating lamp. A, thermal images of 700 W nano-carbon fiber infrared heating lamp; and B, thermal images of 900 W nano-carbon fiber infrared heating lamp.

Table 2. Growth characteristics of watermelon grafted seedlings as affected by lamp wattage and install distance of nano-carbon fiber infrared heating lamp at 17 days after treatment.

Wattage (W) (A)	Install distance (cm) (B)	Plant height (cm) (C)	Scion height (cm) (D)	Root length (cm) (E)	Stem diameter (mm) (F)	Leaf length (cm) (G)	Leaf width (cm) (H)	Leaf area (cm ² /plant) (I)	Fresh weight (g/plant)		Dry weight (g/plant)		Compactness (mg·cm ⁻¹) (J)	No. of leaves (K)
									Shoot	Root	Shoot	Root		
700	Control	37.7 a ^z	31.0 a	13.7 a	5.9 a	8.9 a	7.9 a	120.9 a	9.7 a	1.7 a	0.50 abc	0.06 a	13.39 bc	5.3 a
	60	37.5 a	31.8 a	13.6 a	5.9 a	8.3 b	7.4 b	109.2 a	9.6 a	1.2 d	0.48 bc	0.06 a	12.81 c	5.5 a
	40	37.4 a	30.7 a	13.5 a	5.9 a	8.7 a	7.4 b	117.8 a	9.7 a	1.5 b	0.54 a	0.06 a	14.47 a	5.3 a
900	Control	36.8 a	30.4 a	13.6 a	5.7 a	8.0 b	7.4 b	104.5 a	9.4 a	1.4 c	0.47 bc	0.06 a	12.78 c	5.4 a
	60	38.5 a	32.3 a	14.0 a	5.9 a	8.0 b	6.7 c	112.6 a	9.7 a	1.1 d	0.46 c	0.05 b	11.90 d	5.3 a
	40	37.8 a	31.2 a	14.5 a	6.0 a	8.2 b	7.3 b	113.0 a	10.1 a	1.2 d	0.53 ab	0.05 b	14.06 ab	5.4 a
F-test ^y	A	NS	NS	NS	NS	***	***	NS	NS	***	NS	**	*	NS
	B	NS	NS	NS	NS	**	***	NS	NS	***	***	**	***	NS
	A×B	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	*	NS	**	NS	NS

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

^yNS, *, **, ***: Nonsignificant or significant at $p \leq 0.05, 0.01, 0.001$, respectively.

처리에서 유의적인 차이를 보이지 않았지만, 지상부 건물중은 700W 전력에서 900W 전력보다 높았고 난방등의 간격이 감소할수록 증가하는 경향을 보였다. 지하부의 생체중 및 건물중은 난방등의 전력이 높고, 간격이 좁아질수록 감소하는 경향을 보였다. 수박 접목묘가 도장하지 않고 짧으면서 경경이 굵은 정도를 나타내기 위한 지표로 사용되는 묘의 충실도는 설치간격이 좁을수록 증가하는 경향을 보였으며, 700W 난방등과 900W 난방등을 40cm 간격으로 설치한 처리에서 유의적으로 높은 값을 나타내었다. Kim 등(2016)은 나노탄소섬유적외선 난방등의 간격에 의한 작물의 온도가 높을수록 초장이 짧고 지상부 건물중이 높은 묘를 만들 수 있었다고 보고 하였으며, Sonstebly 등(2016)은 식물의 동화산물 분배는 지상부가 지하부보다 많은 양의 동화산물을 소비하기 때문에 온도가 증가할수록 지상부로 분배되는 동화산물의 양이 많아짐에 따라 지하부의 생육이 상대적으로 낮아질 수 있다고 보고 하였다. 생육 조사 결과 대부분의 생육에서 통계적으로 유의적인 차이가 없는 것을 확인할 수 있는데, Kim 등(2016)과 Jeong 등(2018)은 나노탄소섬유적외선 난방등이 식물의 생육에 영향을 끼치지 않으면서 시설 난방이 가능함을 통해 공정육묘장에서의 나노탄소섬유적외선 난방등의 이용가능성을 입증한 바 있다. 따라서, 700W 난방등을 40cm 간격으로 설치하였을 때, 농가가 원하는 묘의 충실도가 높은 수박 접목묘를 생산할 수 있을 것으로 판단된다.

따라서, 나노탄소섬유 적외선 난방등을 이용한 난방 시, 시설 내부 온도 관리 효율성과 전력 소비량 및 묘의 생육을 고려하였을 때, 농가에서 원하는 compactness가 우수한 묘를 생산

하기 위해서는 전력 소비량이 높은 900W 난방등 보다 700W 난방등을 40cm 간격으로 설치하여 사용하는 것이 전력 소비량을 줄이면서 시설 내 온도를 유지할 수 있는 경제성이 높은 방법일 것으로 판단된다.

적 요

본 연구는 동절기 공정육묘장의 수박 플러그 묘 생산 시, 난방 에너지 절감에 유리한 난방장치인 나노탄소섬유 적외선 난방등의 효율적인 사용을 위한 적정 전력과 설치 간격을 구명하기 위해 수행되었다. 유리온실 내 소형 베드 6개를 플라스틱 필름으로 구획을 나누었으며, 100cm 높이에 700W와 900W 난방등을 설치하였다. 난방등은 설치 간격을 각각 중앙 1개 (Control), 60cm 간격(2개), 40cm 간격(3개)으로 설치하였다. 나노탄소섬유 적외선 난방등을 점등한 후 대조구를 제외한 모든 처리에서 설정한 야간 기온(20°C)을 유지하였다. 엽온은 난방등 설치 간격이 좁을수록 빨리 상승하는 경향을 보였다. 나노탄소섬유 적외선 난방등을 사용함에 따른 처리구 간 수박 접목묘의 생육에는 뚜렷한 차이가 없었으나, 엽장과 엽폭은 700W 난방등에서 설치 간격이 짧을수록 길어지는 경향을 보였으며, 700W 난방등을 40cm 간격으로 설치하였을 때 묘의 충실도가 높은 값을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 야간 기온 유지와 묘의 충실도를 고려하였을 때, 700W 난방등을 40cm 간격으로 설치하는 것이 수박 접목묘를 생산하는데 경제성을 고려하여 효율적인 나노탄소섬유 적외선 난방등의 전력과 설치 간격으로 판단된다.

추가 주제어 : 기온, 소비전력, 수박, 접목묘

Literature Cited

- Agricultural Area Survey, Korean statistical information service (KOSIS). <https://kosis.kr/>. Accessed 17 August 2021 (in Korean)
- An J.U., C.G. An, Y.H. Hwang, H.S. Yoon, Y.H. Chang, G.M. Shon, and B.R. Jeong 2013, Effect of heating by infrared heating lamps on growth of strawberry and heating cost. *Protected Hort Plant Fac* 22:355-360. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2013.22.4.355
- Jeong B.R., S.J. Hwang, and N.J. Kang 2016, The plug seedling, Ed 1, In Gyeongsang National University, Jinju, Korea, pp 11-22. (in Korean)
- Jeong K.J., J.G. Yun, Y.S. Chon, H.S. Shin, and S.W. Lee 2018, Effect of supplementary or heating lamps on the yield, vase life, and leaf color of cut rose. *Protected Hort Plant Fac* 27:158-165. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2018.27.2.158
- Jim R. 2011, Greenhouse heating. In: Beytes C, ed, Ball redbook, Ball publishing, Illinois, USA, pp 116.
- Kim D.O., and C.S. Choi 2008, Cause analysis ignited at a far infrared radiation heater. *J of Korean Institute of Fire Sci & Eng* 22:91-96. (in Korean)
- Kim H.M., Y.J. Kim, and S.J. Hwang 2016, Optimum wattage and installation height of nano-carbon fiber infrared heating lamp for heating energy saving in plug seedling production greenhouse in winter season. *Protected Hort Plant Fac* 25:302-307. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2016.25.4.302
- Lim M.Y., C.H. Ko, M.S. Son, S.B. Lee, G.J. Kim, B.S. Kim, Y.B. Kim, and B.R. Jeong 2009, Effect of heating by nano-carbon fiber infrared lamps on growth and vase life of cut roses and heating cost. *J Bio-Env Con* 18:1-8. (in Korean)
- Rearden J. 2011, Greenhouse Heating, In: Beytes C, ed, Ball redbook, Ball publishing, Illinois, USA, pp 114-122.
- Rural Development Administration (RDA) 2001, High quality watermelon cultivation. Sammi design, Suwon, Korea, pp 45-96. (in Korean)
- Seasonal analysis of national temperature, Korea meteorological administration (KMA). <https://data.kma.go.kr/>. Accessed 17 August 2021 (in Korean)
- Sønsteby A., K.A. Solhaug, and O.M. Heide 2016, Functional growth analysis of 'Sonata' strawberry plants grown under controlled temperature and day length conditions. *Sci Hortic* 211:26-33. doi:10.1016/j.scienta.2016.08.003
- Watermelon farm work schedule, Rural Development Administration (RDA). <http://www.nongsaro.go.kr>. Accessed 17 August 2021 (in Korean)