

토마토 육묘 시 변온이 생육과 저온 스트레스에 미치는 영향

김동역¹ · 이운용¹ · 배광수¹ · 신윤아¹ · 강정균¹ · 우영희^{1*} · 강동현²

¹한국농수산대학 · ²국립농업과학원

Effects of Night Alternating Temperature on Growth and Cold Stress at Nursing Stage in Tomato

D. E. Kim¹, W. Y. Lee¹, K. S. Bae¹, Y. A. Shin¹, J. K. Kang¹, Y. H. Woo^{1*} and D. H. Kang²

¹*Korea National College of Agriculture & Fisheries, 1515, Kongjwipatjwi-ro, Wansan-gu, Jeonju-si, Jeollabuk-do, 54874, Korea*

²*Department of Agricultural Engineering, National Academy of Agricultural Science, RDA, 310, Nongsaengmyeong-ro, Wansan-gu, Jeonju-si, Jeollabuk-do, 54875, Korea*

Abstract

This study was carried out to investigate the applicability of alternating temperature control during night time in a nursery seedling production. Three groups of samples were exposed to three different environmental conditions for 6 days from 18:00 to 09:00; one was constantly 15 °C, another was alternating between 15 °C for 2 hours and 11 °C for 2 hours, and the other was alternating between 15 °C for 2 hours and 11 °C for 4 hours. Leaf temperature and stem temperature was measured in real time. The influence of cold stress was analyzed by flavonoid content and growth of tomato seedling. The temperature of leaves and stem became equal to the ambient temperature over time, furthermore, there was no significant difference among the treatments. In conclusion, it is considered that heating costs can be saved considerably, as the alternating temperature has fewer effects on cold stress reaction by tomato seedling growth.

Key words : Night Alternating Temperature, Flavonoid, Cold Stress, Tomato

* 교신저자 한국농수산대학 wooyh612@korea.kr

I. 서론

육묘는 작물 생산의 전초단계로서 생산의 성패를 좌우할 만큼 중요하며(Yoon 등, 1995; Yu 등, 2002), 작물의 품질과 높은 생산성을 확보하기 위해서 양질의 묘를 양성하는 것은 매우 중요한 요소이다(Byun 등, 2012). 공정육묘장에서는 주년생산을 위해 하절기의 냉방, 동절기의 난방이 필수적이다. 이 중 동절기의 난방비가 경영비의 30~50%를 차지하여 시설원에 농가에 큰 부담이 되고 있다. 이에 난방비를 절약하는 다양한 연구가 꾸준히 진행되고 있다(Kim 등, 2016).

토마토(*Solanum lycopersicum* L.)는 비타민C, 비타민E, 라이코펜, 페놀화합물 등이 풍부한 가지과 작물로서 세계적으로 소비되고 있다(Kim 등, 2015). 공정육묘장에서 생산되는 6대 주요 작목 중의 하나인 토마토는 다른 작목에 비해 육묘기간이 길고 육묘기간 중에 꽃눈 분화가 개시된다. 토마토는 육묘기간 중 생식생장이 동시에 이루어지기 때문에 육묘관리가 초기 생산력이나 품질에 미치는 영향이 크며, 방울토마토의 겨울철 육묘에서는 본엽이 5~6매 나올 때 까지는 최저야간온도를 6~7°C 이상 확보하는 것이 중요하다(Chae, 2008).

육묘과정에서 온도는 꽃눈 분화, 초기 결실절위, 광합성, 무기양분 흡수 등 작물의 생장과 발육에 영향을 미친다(Kim 등, 1999). 특히 엽온은 식물의 광합성속도, 증산속도, 기공저항 등과 밀접한 연관이 있다. 따라서 엽온을 이용하여 작물의 증발산량을 추정하고 스트레스를 분석한 결과를 관수 등에 활용하는 연구가 이루어져 왔다(Lee & Lee, 2001; Woo 등, 2000).

토마토는 여름철 고온조건에서 온도나 수분 등 다양한 스트레스를 받으면 생리적 또는 생화학적 인 변화가 나타난다(Kang 등, 2007). 저온 스트레스를 받으면 작물의 생산성과 성장에 영향을

미쳐 상당한 작물 손실을 가져오고(Xin & Browse, 2000), 수분이 부족하면 광합성이나 증산 과정에 장애가 발생한다(Woo 등, 2000). 그리고 환경조건이 적합하지 않을 때 체내에서 활성산소가 생성되며 이를 항산화 효소가 소거되는 작용을 한다(Ku 등, 2013). 이러한 활성산소는 식물의 내성을 증가시키는 것으로 알려져 있고 식물종에 따라서 정도가 다양한 것으로 보고되어 있다(Kang 등, 1999; Chung 등, 1981). 저온 스트레스를 받을 경우 토마토는 앞에서 활성산소(free radical)가 생성되어 환경 스트레스를 유발시키는 원인으로 알려져 있으며(Asada, 1992), 고추는 초기 육묘단계에서 저온스트레스를 준 결과, 초장과 엽록소 함량은 영향을 받지 않았으나 폴리페놀 함량은 온도가 낮을수록 많아졌으며 단기간의 저온스트레스는 항산화 물질에 영향을 미치지 않는다고 하였다(Rayhan 등, 2017). 저온 스트레스를 받은 후 정상 생육온도로 돌아올 경우 가시적인 피해는 나타나지 않지만 생육 및 발육이 저하되는 것으로 알려져 있다(Ku & Lee, 2000).

그동안 육묘기간 중 온도관리 방법은 주야간 온도를 다르게 관리하지만 심야시간대의 온도는 일정하게 유지하는 것이 일반적이다. 그러나 야간 온도관리에 있어 작물이 저온스트레스를 받지 않을 만큼의 단시간동안 저온에 노출되고 회복될 수 있는 온도로 조절된다면 작물의 생장발육에 지장을 주지 않으면서 난방에너지를 절감할 수 있을 것이다. 따라서 본 연구에서는 토마토 모종을 대상으로 육묘기간 중 야간에 단시간동안 저온에 노출시켜 토마토의 잎과 줄기의 온도변화를 실시간으로 측정하였으며, 항산화물질 중 하나인 플라보노이드 함량을 측정하였다. 이를 통하여 저온스트레스가 항산화물질 생성에 미치는 영향과 생육상태를 조사하여 육묘 시 단시간의 변온관리 가능 여부를 분석하였다.

II. 재료 및 방법

야간 변온에 따른 토마토 모종 생육실험은 2017년 10월 20일 18시부터 10월 26일 9시까지 실시하였다. 실험 작물인 토마토의 모종은 공영육묘장에서 구입하여 이용하였고, 야간 변온처리 실험은 11°C에서 4시간동안 저온스트레스를 주어도 큰 변화가 없다는 연구결과(Rayhan 등, 2017)를 바탕으로 챔버에서 15°C 향온, 15°C 2시간과 11°C 2시간 반복하는 변온, 15°C 2시간 후 11°C에서 4시간 반복하는 변온처리로 구분하여 실시하였으며, 주간에는 챔버에서 꺼내 유리온실에서 육묘하였다. 온실 기온은 호보센서(U12-011, Onsetcomp, USA)로 측정하였으며 엽, 줄기온도 측정은 T-type 써모커플 온도센서(TC6-T, Onset-comp, USA)를 사용하였다. 변온 실험 후 토마토 모종의 생육의 차이를 확인하고자 초장, 경경, 엽수, 엽장, 엽폭, 지상부중, 엽면적을 측정하였고 샘플링하여 플라보노이드(Flavonoid) 함량을 측정하였다. 플라보노이드 함량 측정(Kim 등,

2016)은 Davis 방법을 변경한 방법에 따라 측정하였고, 각 시료 추출물을 1mg/mL의 농도로 80% methanol을 이용하여 용해 한 다음 Diethylene glycol 10mL, 1N-NaOH 0.1mL을 가한 후, 37°C incubator에 1시간 반응시키고, 420nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질로는 Naringin을 사용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 야간 변온처리에 따른 식물체 온도변화

야간 기온을 15°C 향온 처리한 경우, 15°C 2시간과 11°C 2시간을 반복 처리한 경우, 15°C 2시간과 11°C 4시간을 반복 처리한 경우의 챔버 내부 온도는 Fig. 1과 같고 토마토 모종의 잎과 줄기 온도를 측정한 결과는 Fig. 2, Fig. 3과 같다.

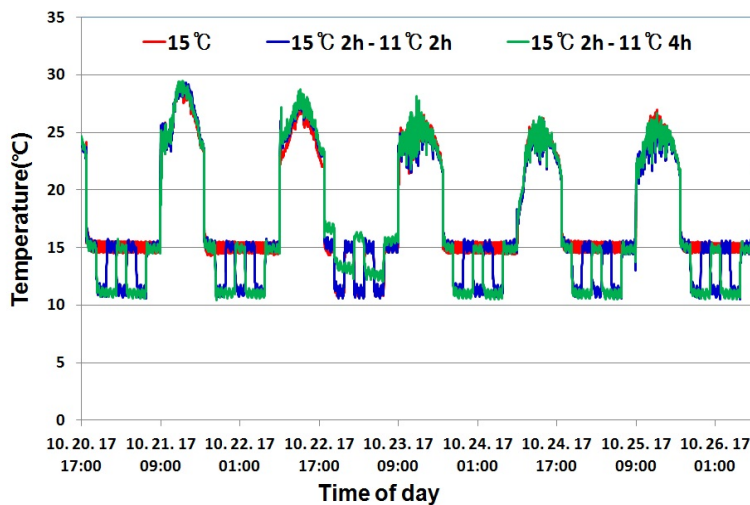


Fig. 1. Variations of internal temperature of plant growth chamber and greenhouse by three strategies

토마토 육묘 시 변온이 생육과 저온 스트레스에 미치는 영향

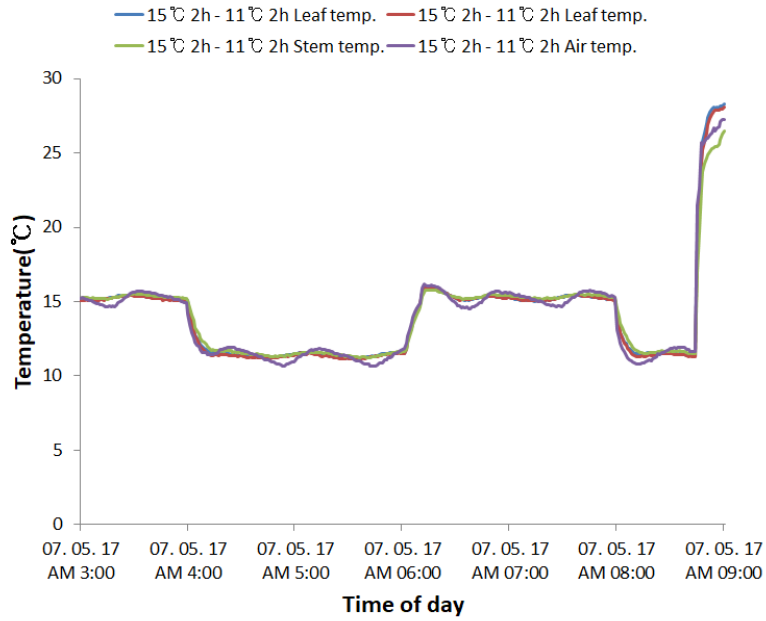


Fig. 2. Variation of leaf temperature and stem temperature of tomato seedlings on night alternating temperature(15°C-2h, 11°C-2h)

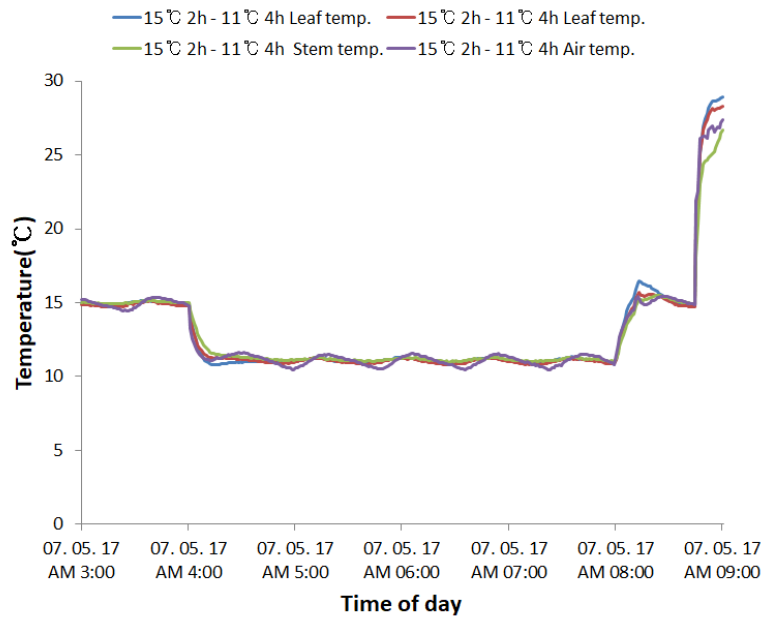


Fig. 3. Variations of leaf temperature and stem temperature of tomato seedlings on night alternating temperature(15°C-2h, 11°C-4h)

엽온은 야간에 기온이 하강할 때는 기온보다 낮았다가 높아지면서 주위 기온과 비슷해지고, 반대로 기온이 상승할 때는 엽온이 기온 보다 높았다 낮아지면서 주위 기온과 비슷해지는 경향이였다. 줄기온도는 엽온과 같은 양상을 보였으나 그 반응이 엽온 보다 둔감한 것으로 나타났다. 야간 변온에 따른 온도변화 편차는 주간외 온도변화 편차 보다 작게 나타났다. 챔버에서 아침에 꺼낸 직후 기온이 급격하게 상승할 때 줄기온도는 기

온보다 덜 상승하는 것으로 나타났으며, 엽온은 기온보다 더 높게 상승하는 것으로 나타났다.

챔버 온도 설정이 15°C에서 11°C로 바뀌었을 때 기온은 15°C에서 11°C로 하강하는데 8분 정도 걸리는 것으로 나타났다. 줄기온도는 엽온 보다 하강속도가 느렸으며, 30분 후에는 엽온과 줄기 온도가 비슷한 온도를 유지하는 것으로 나타났다 (Fig. 4).

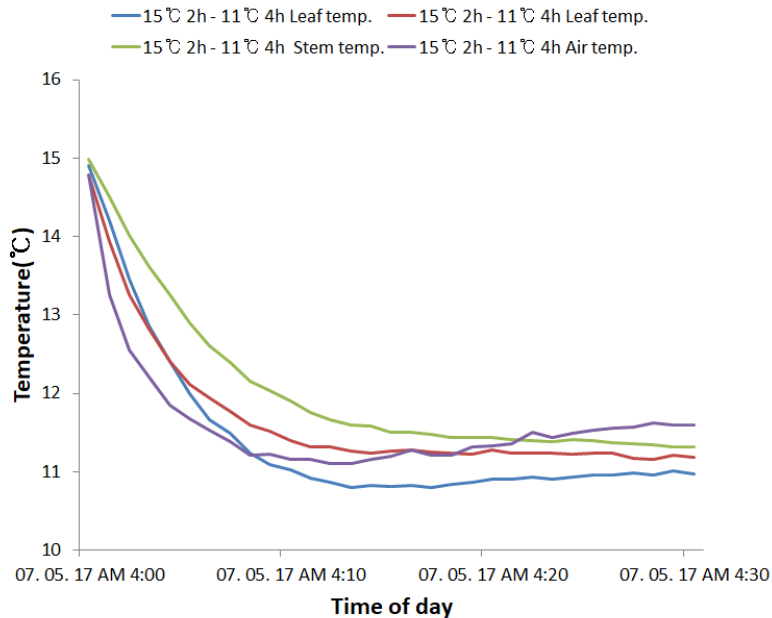


Fig. 4. Variations of leaf temperature and stem temperature of tomato seedlings when temperature in growth chamber changed from 15°C to 11°C

Fig. 5에서 보는 바와 같이 야간 기온을 15°C 2시간과 11°C 2시간을 반복한 결과, 온도 변화가 작은 구간에는 기온과 엽온의 차이가 적게 변화 하였으며, 온도변화가 큰 구간에는 기온과 엽온의 차이가 크게 변화한 것으로 나타났다. 온도가 하강하다 14.8°C를 기점으로 15.6°C로 기온이 0.

8°C 상승했을 때 기온과 엽온의 차는 -0.4°C에서 점차 줄어들다 0.15°C 까지 상승한 것으로 나타났다. 또한, 14.8°C에서 13.1°C로 기온이 1.7°C 하강했을 때 기온과 엽온의 차는 -0.5°C에서 -1.1°C로 0.6°C 더 하강하는 것으로 나타났다. 따라서 실제 온도변화를 적용할 경우에는 급격한

토마토 육묘 시 변온이 생육과 저온 스트레스에 미치는 영향

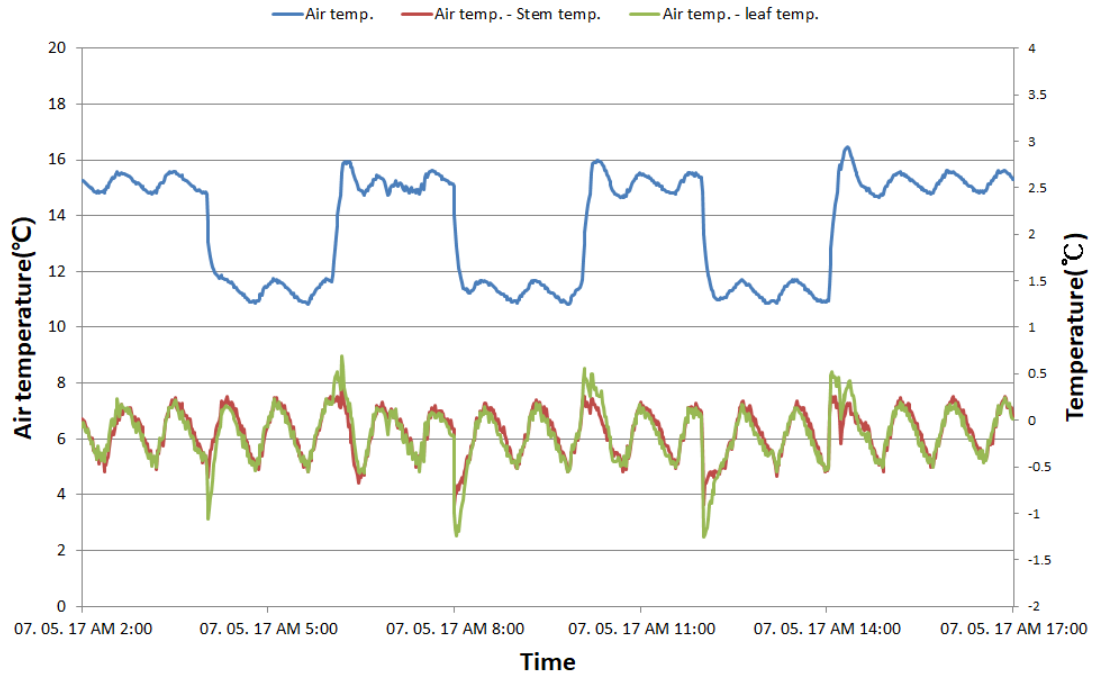


Fig. 5. Difference of plant temperature of tomato seedling and ambient temperature on night alternating temperature(15°C-2h, 11°C-2h)

온도변화는 피하고 완만한 온도 변화를 줄 필요가 있을 것으로 판단된다.

2. 플라보노이드 활성화

플라보노이드 함량은 15°C 항온에서 생육한 토마토 모종이 69.59±3.94mg/g extract, 15°C 2시간과 11°C 2시간 반복 변온처리를 한 토마토 모종이 68.59±3.18mg/g extract, 15°C 2시간과 11°C 4시간 반복 변온처리를 한 토마토 모종이 76.78±1.40mg/g extract로 나타났다(Table. 1). 15°C 항온과 15°C 2시간과 11°C 2시간 반복 변온처리를 한 토마토 모종의 플라보노이드는 차이가 거의 없는 것으로 나타났으나 15°C 2시간과 11°C 4시간 반복 변온처리를 한 토마토 모종의 플라보노이드는 다른 실험에 비해 높은 것으로 나타났다. Rayhan(2017)은 초기 육묘 단계에서

3시간 동안 7°C, 11°C, 15°C의 온도에 노출된 고추(Capsicum annuum) 모종의 플라보노이드 함량은 7°C에 노출된 고추 모종에서 11°C와 15°C보다 약간 높았고 고추의 초장과 엷록소 함량은 저온에 영향을 받지 않았다고 하였다.

Table 1. Total flavonoid contents of extracts from tomato seedling leaves

Sample	Temperature type	Total flavonoid (mg/g extract)
Tomato	15°C	69.59±3.94
	15°C 2h - 11°C 2h	68.59±3.18
	15°C 2h - 11°C 4h	76.78±1.40

육묘기간에 장시간 저온에 노출될 경우 스트레스에 대한 반응으로 플라보노이드 함량이 높아지는 것에서 알 수 있듯이 15°C 2시간과 11°C 2시

간 반복 변온처리에서는 저온 스트레스를 거의 받지 않은 것으로 판단된다.

3. 토마토 생육 특성

항온과 변온처리에 따른 토마토의 생육 측정결과를 Table 2와 같다. 표에서 보는 바와 같이 초

장, 경경, 엽수, 엽장, 엽폭 등 생육에 있어 항온 처리에 비해 15°C 2시간과 11°C 4시간 반복 변온 처리의 경우는 엽면적에서 13%의 차이를 보인 반면 15°C 2시간과 11°C 2시간 반복 변온처리에서는 5%의 생육차이를 보여 15°C 2시간과 11°C 2시간 반복 변온처리가 적용 가능할 것으로 판단된다.

Table 2. Tomato growth on constant temperature and alternating temperature

Temperature Type	Plant height (mm)	Stem thickness (mm)	Number of leaves (unit)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Shoot fresh weight (g/plant)	Leaf area (cm ²)
15°C	14.1±1.63	4.1±0.25	6.3±0.82	9.9±0.69	6.5±0.35	3.7±0.76	78.0±5.98
15°C 2h - 11°C 2h	14.2±1.16	4.1±0.41	6.3±0.82	9.8±0.84	6.5±0.84	3.7±0.46	73.9±9.32
15°C 2h - 11°C 4h	14.0±1.27	4.0±0.40	6.2±0.41	9.8±0.81	6.5±0.67	3.6±0.34	68.0±4.16

본 연구를 통해 변온 처리방법에 따른 생육차이 및 플라보노이드 함량을 통해 저온 스트레스 영향을 알 수 있었다. 6일 동안 항온 및 변온처리를 한 결과, 토마토 모종은 기온에 따라 엽, 줄기 온도가 비슷해지는 경향을 보였으며 15°C 항온에 비해 15°C 2h - 11°C 4h 변온처리의 생육 정도 및 플라보노이드 함량은 차이가 나타났지만 15°C 2h - 11°C 2h의 생육 및 플라보노이드 함량은 차이가 거의 없는 것으로 나타나 저온 스트레스 영향이 적은 것으로 판단된다. 따라서 15°C 2h- 11°C 2h 변온처리로 토마토 모종을 육묘한다면 난방 에너지 절약이 가능하여 육묘 비용 절감이 가능할 것으로 사료된다.

IV. 적 요

본 연구에서는 토마토 모종을 대상으로 육묘기간 중 야간에 단시간 동안의 저온 노출에 따른

토마토의 잎과 줄기의 온도변화를 실시간으로 측정하였으며, 저온 스트레스가 항산화물질 생성에 미치는 영향과 생육을 분석하여 육묘 시 단시간의 변온관리 가능 여부를 구명하였다. 야간 변온 실험은 첫날 18시부터 6일 후 9시까지 15°C 항온, 15°C 2시간과 11°C 2시간 변온, 15°C 2시간과 11°C 4시간 변온처리를 하여 잎과 줄기의 온도, 생육정도 및 플라보노이드 함량을 측정하여 저온 스트레스 영향을 분석하였다. 실험결과, 토마토 모종은 기온에 따라 엽과 줄기 온도가 비슷해지는 경향을 보였으며, 15°C와 11°C 각각 2시간씩 반복 변온처리한 토마토 묘와 15°C 항온처리한 토마토 묘의 생육과 플라보노이드 함량 간의 차이가 작은 것으로 나타났다. 본 실험을 통해 육묘시 야간온도를 15°C 2시간과 11°C 2시간으로 반복하도록 관리하여도 저온 스트레스 영향이 적은 것으로 나타났다. 이러한 결과로 미루어 볼 때 육묘시 야간의 변온처리로 난방비 절감이 가능할 것으로 사료된다.

V. 참고문헌

1. Asada, K. (1992). Ascorbate peroxidase a hydrogen peroxidase-scavenging enzyme in plants. *Physiol. Plant.* 85:235-241.
2. Byun, H. J., Y. S. Kim, H. M. Kang and I. S. Kim. (2012). Physicochemical characteristics of used plug media and its effect on growth response of tomato and cucumber seedlings. *J. Bio-Environ. Control.* 21:207-212.
3. Chung, I. M., K. H. Kim, D. K. Song and B. H. Kang. (1999). Physiological responses of rice (*Oryza sativa* L.) varieties to ozone. *Kor. J. Environ. Agric.* 18:11-17.
4. Kang, N. J., M. W. Cho, H. C. Rhee, Y. H. Choi and Y. C. Um. (2007). Differential responses of antioxidant enzymes on chilling and drought stress in tomato seedlings(*Lycopersicon esculentum* L.). *J. Bio-Environ. Control* 16:121-129.
5. Kang, S. J., J. Y. Oh and J. D. Jung. (1999). Changes of antioxidant enzyme activities in leaves of lettuce exposed to ozone. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 40:541-544.
6. Kim, H. C., B. G. Heo, J. H. Bae, S. Y. Lee, D. H. Kang, C. S. Ryu, D. E. Kim, I. J. Choi and Y. G. Ku. (2016). Comparison of plant growth characteristics and biological activities of four asparagus cultivars by cultural method. *Korean J. Plant Res.* 29(4):495-503.
7. Kim, H. K., J. H. Chun and S. J. Kim. (2015). Method development and analysis of carotenoid compositions in various tomatoes, *Korean J. Environ. Agric.* 34(3):196-203.
8. 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 Horticulture and Plant Factory* 25(4):302-307.
9. Kim, O. I., Y. S. Chae and B. R. Jeong. (1999). Effect of day/night temperatures, and N concentration and $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ ratio of nutrient solution on the differentiation of flower buds, node of early fruit set, and growth of 'Sukwang' tomato. *Horticulture Environment and Biotechnology* 40(3):287-293.
10. Ku, J. H. and Y. B. Lee. (2000). Alleviation of Low and high temperature injury n tomato plants by uniconazole. *J. Agri. Sci.* 27(2):86-94.
11. Ku, Y. G., J. H. Bae, P. H. Jeong, I. H. Yu and H. O. Boo. (2013). Effect of seedling age on plant growth characteristics. Photosynthetic rate and antioxidant enzymes of tomato grown in soil culture. *J. Kor. Soc. People Plants Environ.* 16:407-413.
12. Lee N. H. and H. S. Lee. (2001). Using leaf temperature for irrigation scheduling in greenhouse. *The Korean Society of Agricultural Engineers*, 43(6):103-112.
13. Rayhan, A. S., D. H. Kang, C. S. Ryu, D. E. Kim, S. Y. Lee, J. H. Bae, Y. O. Kim and Y. G. Ku. (2017). Physiological responses and antioxidative enzyme activities in pepper(*Capsicum annuum*) seedlings under low temperature stress.

- Journal of Agriculture & Life Science 51(6):67-77.
14. Woo, Y. H., H. J. Kim, Y. I. Nam, I. H. Cho and Y. S. Kwon. (2000). Predicting and measuring transpiration based on phytomonitoring of tomato in greenhouse. Horticulture Environment and Biotechnology 41(5):459-463.
 15. Woo, Y. H., Y. I. Nam, I. H. Cho and Y. S. Kwon. (2000). Moisture measuring and control in soil and plant. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 18:414-419.
 16. Xin, Z. and J. Browse. (2000). Cold comfort farm: the acclimation of plants to freezing temperatures. Plant, Cell & Environment 23(9):893-902.
 17. Yoon, K. E., C. M. Hee and H. Kyung. (1995). Effect of Light and Water Stress on Seed Germination of Cucumber. Hort. Environ. Biotechnol. 36:767-773.
 18. Yu, Y. M., J. W. Lee, K. Y. Kim, Y. C. Kim, S. G. Lee, T. C. Seo and H. K. Yun. (2002). Effect of nutrient deficiencies on seedling quality, lateral vine development and yield in white-spin cucumber. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 43(1):25-28.
 19. <http://www.gba.go.kr>(Chae Young, Cherry tomato cultivation techniques, Gyeongsangbuk-do agricultural research & extension services, 2008.)