

근권부 국부 냉방이 토마토 묘 생육에 미치는 영향

김은지^{1†} · 황현승^{2†} · 주세훈¹ · 나해영^{3,4*}

¹목포대학교 일반대학원 원예학과 대학원생, ²제주한라대학교 생명자원학부 환경원예과 교수,

³목포대학교 자연과학대학 원예학과 교수, ⁴목포대학교 자연자원개발연구소 교수

Effect of Root-zone Local Cooling on Seedling Growth of Tomato

Eun Ji Kim^{1†}, Hyunseung Hwang^{2†}, Se Hun Ju¹, and Haeyoung Na^{3,4*}

¹Graduate Student, Department of Horticulture, Graduate School of Mokpo National University, Muan 58554, Korea

²Professor, Department of Environmental Horticulture, School of Equine Science and Horticulture, Jeju 63092, Korea

³Professor, Department of Horticultural Science, Mokpo National University, Muan 58554, Korea

⁴Professor, Mokpo National University Nature Resource Institute, Muan 58554, Korea

Abstract. The effect of root-zone local cooling on seedling growth of tomato was investigated. Lower pipe cooling was used for local cooling of the root zone, and the root zone temperature was set at 20 and 25°C. There was no difference in plant height, root length, and leaf number according to local cooling temperature. Leaf area, fresh weight, dry weight, and chlorophyll content of the shoot and root was higher in the 25°C than those of 20°C at 28 DAS. These results showed that cooling for seedling growth of tomato 25°C is sufficient considering energy efficiency. This study will be helpful in the development of local cooling technology that can reduce the energy required for cooling during the production of tomato seedlings in the high temperature season.

Additional key words: high temperature, root-zone cooling, stress

서 론

한반도는 연평균기온이 지속적으로 상승하고 있으며, 2040년 연평균기온은 현재에 비해 1.8°C, 2100년의 연평균기온은 현재에 비해 7.0°C 상승할 것으로 전망된다(NIMS, 2020). 이러한 급격한 기후변화는 인류에게 공업, 어업 그리고 농업 등에 영향을 미칠 것이라 보고되었다(Lee 등, 2008; Mark, 2008). 농업은 고령화로 인한 노동력 부족, 물 및 에너지 부족과 더불어 지구 온난화로 인한 생산량 감소 등 종합적인 위기 상황이다(Jeong 등, 2020; Ji 등, 2019).

고온기 토마토 소비 증가로 연중 안정생산이 요구되고 있다. 2021년 기준 재배면적은 전년 대비 약9%, 평년 대비 3% 증가를 전망하였다. 생산량은 재배면적이 증가하여 전년 대비 약 10%의 증가를 전망하고 있다(Peet 등, 1997; KREI, 2022). 토마토와 같은 과채류 생산을 위한 여름철 냉방과 겨울철 난방이 필요한 경우 에너지 효율을 높이고자 하는 연구가 다양

하게 이뤄지고 있다(Kawasaki 등, 2014; Kwack 등, 2014; Lee 등, 2006; Pascual 등, 2019). 냉난방 부하는 에너지 수효와 운영비를 결정하는 중요한 요인 중 하나이다. 여름철 동서 방향으로 위치한 온실이 남북으로 위치한 온실보다 냉난방 부하가 더 낮게 나타나 여름철에는 125kWh/day, 겨울철은 87kWh/day의 에너지가 절약됨을 확인하였다(Stanciu 등, 2016). 겨울철 난방 부하보다 여름철 냉방 부하가 높으며(Park 등, 2020; Suh 등, 2009), 고온기 냉방은 초기 설치 비용과 에너지 소모에 따른 운영 비용이 높아 작물의 적정 생육 온도로 온실 환경을 제어하는 데 어려움이 있다(Choi 등, 2014; Seo 등, 2011).

에너지 효율을 높여 경제적인 냉방을 하기 위해 낮은 온도의 양액을 공급하거나 근권부에 파이프를 매설하여 냉수를 순환시키는 국부 냉방이 각광을 받고 있다(Park 등, 1990). 온실 전체 난방과 비교하였을 때 국부 냉난방은 식물 생장을 촉진시킬 뿐만 아니라 개화 촉진, 품질향상과 냉난방에 소요되는 에너지 약 26% 감소시킬 수 있다(Kawasaki와 Yoneda, 2019; Park 등, 2021). 고온기 토마토 육묘 시 생육 적온은 주간 28-30°C, 야간 18°C로 알려져 있으며(RDA, 2020), 육묘 시 고온 장애는 생리장애, 도장 등을 유발할 수 있다(Bae, 2018; Cho

†These authors contributed equally to this work

*Corresponding author: somerze@mokpo.ac.kr

Received August 3, 2022; Revised September 27, 2022;

Accepted September 28, 2022

등, 2009). 토마토 근권부 온도 조절은 초장과 근장, 생체중과 건물중에 변화를 주었고 20–25°C의 근권부온도는 양분의 흡수를 증가시켰다.

토마토 근권부 온도 조절을 통해 초장과 근장, 생체중과 건물중을 증가시킬 수 있을 것이라 판단하여 본 연구를 통해 토마토 묘 생산에 있어 근권부 냉방의 효과와 효율성을 확인하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 실험재료 및 재배조건

본 실험은 2021년 7월 6일부터 8월 10일까지 36일간 공시 품종 토마토(*Solanum lycopersicum*) ‘대프니스(Syngenta Korea, Korea)’를 이용하여 인공 환경 성장상(OS-SB2000, Onsol, Korea)에서 수행하였다. 성장상 내부 온도는 24시간 25°C로 설정하였다. 근권부 온도는 성장상 하부에 파이프를 설치하고 칠러를 이용하여 냉수를 순환 하는 방법으로 조절하였다. 근권부 온도 20°C 처리구는 플러그트레이가 냉각 파

이프와 맞게 하였으며, 25°C 처리구의 셀 트레이는 성장상 바닥 위 3.5cm에 위치 시켰다(Fig. 1과 Fig. 2). 펠트리디쉬(90×15mm)에 필터페이퍼(90mm)를 깔고 증류수 5mL 분주하고 종자를 치상 하였다. 치상한 종자가 담긴 펠트리디쉬는 기온 30°C, 24시간 암 조건에서 최아 하였다. 최아한 종자는 일반 상토(Eoulim, Shinsung Mineral Co., Korea)를 50공 트레이에 채워 수행하였다. 광원은 메탈할라이드였으며 광량은 80–100 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 이었다. 일장은 18시간으로 조절하였다. 관수는 파종 후 7일까지 상토가 충분히 포수될 수 있도록 저면 관수를 실시하였고, 이후에는 하루에 한 번씩 두상 관수 하였다.

2. 조사항목

초장과 엽수는 파종 후 14일부터 7일 간격으로 4주간 조사 하였다. 지상부와 지하부의 생체중과 건물중 그리고 엽면적은 파종 후 21일부터 7일 간격으로 3주간 조사하였다. 건물중은 생체중 측정 후 건조기(JSOF-250T, JSR, Korea)에 넣고 70°C로 72시간 건조한 후 측정하였다. 엽면적은 엽면적 측정기(LI-3100C, LI-COR Inc., USA)를 이용하였고 엽록소 함량은 엽록소 측정기(SPAD-502, Konica Minolta, Inc., Japan)를 이용하여 측정하였다.

3. 통계처리

시험구 배치는 난괴법으로 처리당 실험구 4반복으로 수행 하였다. 그래프는 Sigmaplot 12.5(Systat Software, USA)를 사용하여 작성하였다. 통계 분석은 SPSS 20.0(IBM, USA)을 이용하여 95%의 신뢰수준에서 t-검정하였다.



Fig. 1. Plant growth chamber used in this study.

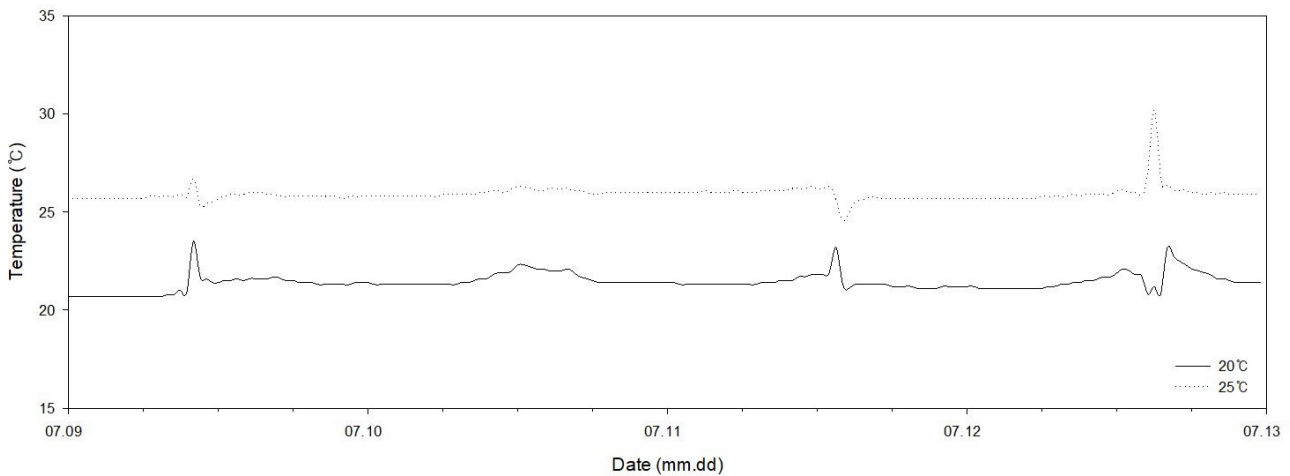


Fig. 2. Data of root-zone temperature for 4 days.

결과 및 고찰

근권부 온도 조절에 따른 토마토 초장은 파종 후 14일 근권부 온도 20°C에서 7.4cm, 25°C는 8.6cm의 결과로 처리에 따른 유의적인 차이가 없었다(Fig. 3). 토마토의 근장 또한 전 생육기간동안 처리구에 따른 유의적인 차이가 없었다. 토마토는 근권 온도 20°C 이하와 30°C 이상의 온도에서 뿌리 생육뿐만 아니라 양수분 흡수에도 영향을 미쳐 근권부 생육 적은은 25°C라고 하였으며(Tindall 등, 1990), 뿌리 생육이 양수분 흡수와 관련하여 지상부 생육에 영향을 미친다고 보고 되었다(Mizuno 등, 2022).

토마토 묘의 엽수는 생육 기간 동안 근권부 온도 20°C와 25°C 처리구간 유의한 차이를 나타내지 않았다(Fig. 4). Huh 등(2001)의 연구결과에 따르면 근권부 온도를 무가온, 10°C, 15°C, 25°C로 처리한 토마토의 경우 근권부 온도가 25°C와 가까워질수록 토마토의 지상부 생육이 유의하게 증가하였다. 토마토의 근권부 적정 온도로 알려진 20°C - 25°C 내에서 20°C와 25°C의 생육 차이가 보이지 않았으며, 냉방 에너지 효율을 고려하였을 때 25°C의 에너지 효율이 더 높을 것으로

판단한다.

토마토 묘의 엽면적은 파종 후 28일 20°C 19.2cm², 25°C 30.0cm²로 근권부 온도 25°C 처리구에서 더 넓었다. 파종 후 35일 근권부 온도 20°C 41.2cm³, 25°C 34.4cm³로 20°C의 엽면적이 넓었으나 처리에 따른 통계적인 차이는 없었다. Lee 등(2002)은 근권부 온도 25°C 이상이 조건에서 뿌리의 호흡이 증가하여 생육이 불량해진다고 하였다.

파종 후 21일 토마토 지상부의 생체중은 근권부 온도 20°C와 25°C의 처리구 간 유의한 차이를 나타내지 않았다(Fig. 5). 파종 35일 경과 시 20°C 4.88g, 25°C 5.51g으로 근권부 온도 25°C의 처리구의 지상부 생체중이 더 컸으나 통계적인 차이를 보이지 않았다. Noh(1997)는 토마토 생육 초기에는 뿌리 발달을 위해 21°C 이상으로 관리하는 것이 좋다고 하였다. 따라서 추후 다양한 근권온도에서의 토마토 묘 생육에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

토마토 지하부의 생체중과 건물중은 지상부의 생체중, 건물중과 비슷한 경향을 나타냈다(Fig. 6). Dalton 등(1997)은 근권부 온도를 18°C와 25°C로 설정하여 실험하였을 때 지상부

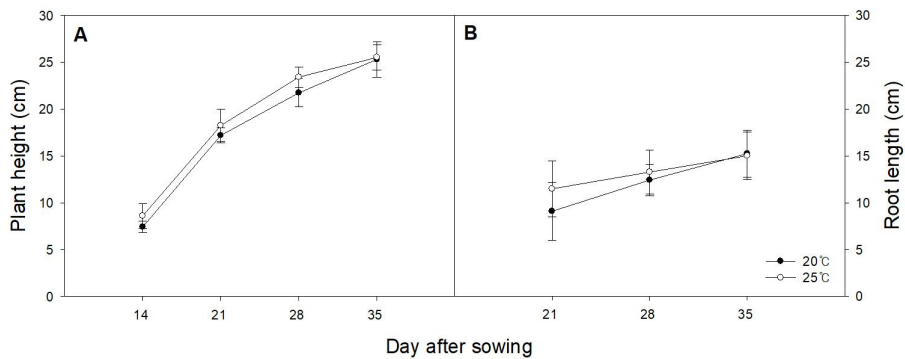


Fig. 3. Plant height (A) and root length (B) of the tomato seedlings at root zone temperature of 20°C and 25°C. The error bars represent the standard deviation of the mean.

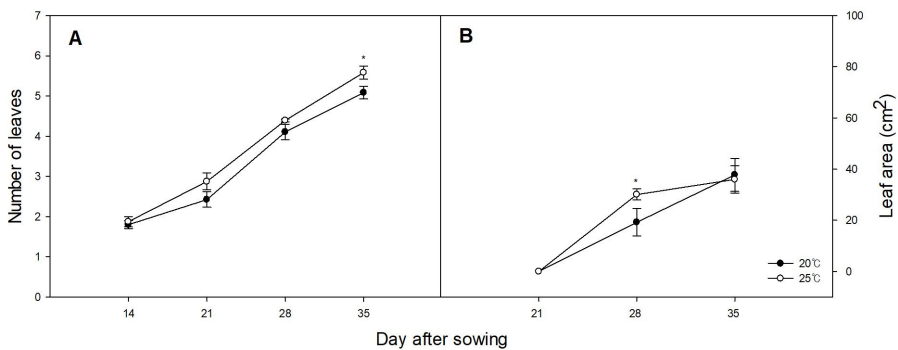


Fig. 4. Number of leaves (A) and leaf area (B) of the tomato seedlings at root zone temperature of 20°C and 25°C. The error bars represent the standard deviation of the mean. Star mark indicate significant difference at $p < 0.05$.

근권부 국부 냉방이 토마토 묘 생육에 미치는 영향

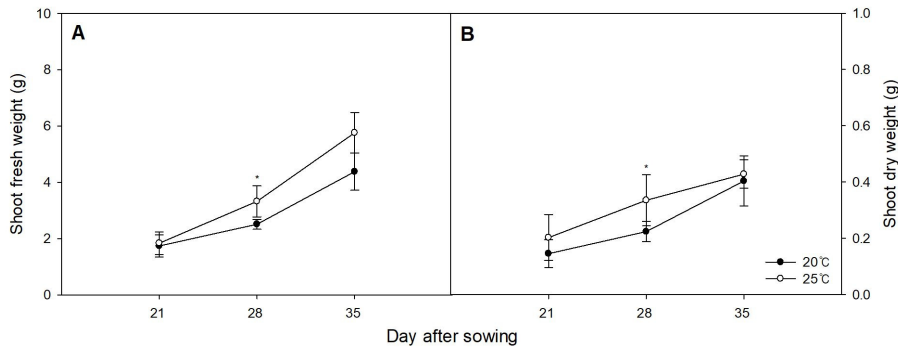


Fig. 5. The shoot fresh weight (A) and dry weight (B) of the tomato seedlings at root zone temperatures of 20°C and 25°C. The error bars represent the standard deviation of the mean. Star mark indicate significant difference at $p < 0.05$.

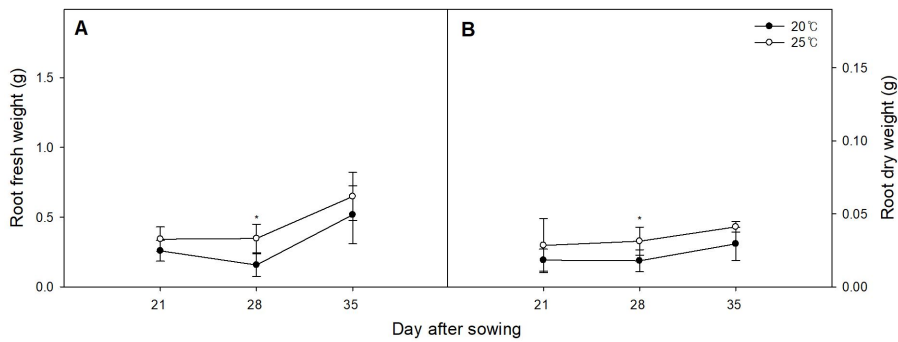


Fig. 6. The root fresh weight (A) and dry weight (B) of the tomato seedlings at root zone temperatures of 20°C and 25°C. The error bars represent the standard deviation of the mean. Star mark indicate significant difference at $p < 0.05$.

와 지하부의 생육이 비슷한 경향을 보였으며 18°C보다 25°C의 건물중이 더 높았다고 보고하였다.

엽록소 함량은 파종 후 21일 20°C 33.18, 25°C 37.84로 처리구 간 유의적인 차이를 확인하였다(Fig. 7). 하지만 파종 후 28일부터 처리구 간 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 재배 기간이 경과함에 따라 근권부 온도 25°C에서 재배된 토마토의 엽록소 지수가 감소폭이 컸다. 생육 초기의 근권부 온도는 엽록소 함량에 영향을 미쳤으나, 시간 경과에 따라 근권부 온도는 엽록소 함량에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. Odhiambo 등(2018)은 후추 재배 시 근권부의 낮은 온도는 저온 스트레스를 야기하여 엽록소 함량 감소를 초래한다는 연구와 일치하였다. 엽록소는 광합성에 영향을 미치는 중요한 요소 중 하나이며(Woo 등, 2004), 근권부 온도는 지상부 생육뿐만 아니라 광합성에도 영향을 미치고 하여 광합성산물의 분배, 영양 및 식물의 전체적인 생육 등에 영향을 미친다(Kim 등, 2010; Li 등, 2015). 토마토의 영양생장기 적온은 18–25°C이며, 과방의 출현은 17–27°C로 온도가 올라갈수록 선형적으로 증가한다고 알려져 있다. 주간 온도가 25°C에서 16°C로 낮아지면 광합성 감소가 보고되었다(Venema 등,

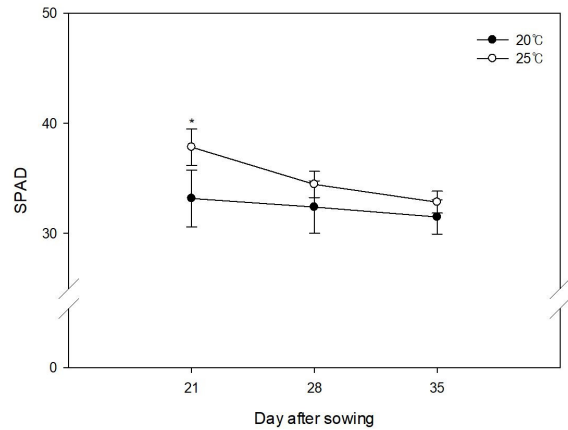


Fig. 7. SPAD value of tomato seedlings at root zone temperatures of 20°C and 25°C. The error bars represent the standard deviation of the mean. Star mark indicate significant difference at $p < 0.05$.

1999a, 1999b). 주간온도가 19°C로 동일한 경우 야간 온도가 14°C에서 6°C로 감소하여도, 잎 면적 기준으로 순 광합성에 영향을 미치지 않았다(Van de Dijk와 Maris, 1985). 가지 과작물인 토마토의 경우 영양생장과 생식생장이 동시에 진행

되는 특성을 갖고 있으며, 온도에 따른 작물의 반응은 평균온도와 독립적으로 반응한다고 보고되었다(De Koning, 1990). 생육 초기의 근권부 온도가 엽록소 함량에 영향을 미친 이유는, 토마토를 포함한 대부분의 작물이 생육 적온의 온도를 벗어날 경우, 작물은 환경에 적응하기 위하여 광합성 기구와 특히 광합성에 직접적으로 영향을 미치는 엽록소를 분해하여, 2차 대사산물의 합성을 증가시킨다(Kim 등, 2018; Kim 등, 2020). 고온에 의한 막 구조의 이동성 문제를 해결하고, 저온에 의한 효소 활성의 저하뿐만 아니라 광조건 하에서의 광저해를 방지하고자 하는 반응이다(Lee 등, 2016). 환경에 적응한 이후에 엽록소 함량이 변하지 않은 것도 이 때문이라 판단한다. 기존의 연구에 따르면 토마토의 경우 고온 스트레스는 최적온도 보다 10-15°C 높을 때 발생하였으며(Wahid 등, 2007), 10°C의 저온조건에서 엽록소 분해와 2차 대사산물의 증가를 통해 생존율을 높였다(Barrero-Gil 등, 2016).

적 요

본 연구는 근권부 냉방이 토마토 육묘 시 묘 생육에 미치는 영향을 구명하고자 수행되었다. 성장상 하부 파이프 냉방을 이용하여 근권부 온도를 20°C와 25°C로 설정하여 실험을 수행하였다. 전 생육기간동안 초장, 근장, 엽수는 두 온도 처리구 간 차이를 보이지 않았다. 엽면적, 지상부와 지하부의 생체중 및 건물중, 엽록소 함량은 파종 28일 경과 시 25°C 처리구가 더 높았으며, 실험 종료 시 두 처리구 간 유의한 차이를 보이지 않았다. 이상의 결과로 근권부 온도 20°C와 25°C에서 토마토 생육 차이를 확인하지 못했다. 따라서, 본 연구는 고온기 토마토 묘 생산 시 온실 냉방 효율을 높이기 위한 국부 냉방 기술 확립에 도움을 줄 수 있을 것이다.

추가 주제어: 근권부 국부 냉방, 고온, 스트레스

사 사

본 결과물은 농림축산식품부 및 과학기술정보통신부, 농촌진흥청의 재원으로 농림식품기술기획평가원과 재단법인 스마트팜연구개발사업단의 스마트팜다부처패키지혁신기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(421041-03).

Literature Cited

Bae H.J. 2018, Sweet pepper fruit growth analysis according to fruit set season. MS Thesis. Chonnam University, Gwangju,

Korea. (in Korean)
 Barrero-Gil J., R. Huertas, J.L. Rambla, A. Granell, and J. Salinas 2016, Tomato plants increase their tolerance to low temperature in a chilling acclimation process entailing comprehensive transcriptional and metabolic adjustments. *Plant Cell Environ* 39:2303-2318. doi:10.1111/pce.12799
 Cho I.H., W.M. Lee, K.B. Kwan, Y.H. Woo, and K.H. Lee 2009, Stable production technique of paprika (*Capsicum annuum* L.) by hydrogen peroxide treatment at summer. *J Bio-Env Con* 18:297-301. (in Korean)
 Choi K.Y., J.Y. Ko, H.J. Yoo, E.Y. Choi, H.C. Rhee, and Y.B. Lee 2014, Effect of cooling timing in the root zone on substrate temperature and physiological response of sweet pepper in summer cultivation. *Hortic Sci Technol* 32:53-59. (in Korean) doi:10.7235/hort.2014.13123
 Dalton F.N., A. Maggio, and G. Piccinni 1997, Effect of root temperature on plant response functions for tomato: comparison of static and dynamic salinity stress indices. *Plant Soil* 192:307-319. doi:10.1023/a:1004263505595
 De Koning A.N.M. 1990, Long-term temperature integration of tomato. Growth and development under alternating temperature regimes. *Sci Hortic* 45:117-127. doi:10.1016/0304-4238(90)90074-O
 Huh M-R., Y-S. Kim, Y-G. Seo, Y-G. Shon, and J-C. Park 2001, Effect of root zone temperature on the growth, mineral contents, and activities of antioxidative enzymes of tomato plug seedlings. *Hortic Environ Biotechnol* 42:147-150. (in Korean)
 Jeong H-K., J-H. Sung, and H-J. Lee 2020, Analysis of social demand for countermeasures in response to extreme weather events in Korean agricultural sector. *J Clim Chang Res* 11:235-246. (in Korean) doi:10.15531/ksccr.2020.11.4.235
 Ji S-T., J-G. Jeong, C-H. Lim, and C-H. Rhew 2019, A case study of innovation in the agricultural sector of Chinese IT companies: Focusing on Jing-dong (京東). *Chin Stud* 78: 291-318. (in Korean)
 Kawasaki Y., and Y. Yoneda 2019, Local temperature control in greenhouse vegetable production. *Hortic J* 88:305-314. doi:10.2503/hortj.UTD-R004
 Kawasaki Y., S. Matsuo, Y. Kanayama, and K. Kanahama 2014, Effect of root-zone heating on root growth and activity, nutrient uptake, and fruit yield of tomato at low air temperatures. *J Jpn Soc Hortic Sci* 83:295-301. doi:10.2503/jjshs1.MI-001
 Kim D.H., J.H. Yang, H.J. Kim, J.H. Rhee, J.Y. Lee, and S.H. Lim 2020, Recent advances in genetic regulation of chlorophyll metabolism in plants. *Korean J Breed Sci* 52:281-297. (in Korean) doi:10.9787/KJBS.2020.52.4.281
 Kim S., G. Bok, and J. Park 2018, Analysis of antioxidant content and growth of *Agastache rugosa* as affected by LED light qualities. *J Bio-Env Con* 3:260-268. (in Korean) doi: 10.12791/KSBEC.2018.27.3.260

- Kim S-E., S-Y. Sim, S-D. Lee, and Y-S. Kim 2010, Appropriate root-zone temperature control in perlite bag culture of tomato during winter season. *Hortic Sci Technol* 28:783-789. (in Korean)
- KREI 2022, Agricultural outlook 2022 Korea. Korea Rural Economic Institute, Naju, Korea, pp 539-551.
- Kwack Y., D.S. Kim, and C. Chun 2014, Root-zone cooling affects growth and development of paprika transplants grown in rockwool cubes. *Hortic Environ Biotechnol* 55:14-18. doi:10.1007/s13580-014-0117-3
- Lee J.B., S.C. Koh, B.Y. Moon, I.H. Park, H.B. Park, and H.S. Chun 2016, Plant physiology (Korean edition). Lifescience, Seoul, Korea, pp 126. (in Korean)
- Lee J.H., J.K. Kwon, O.K. Kwon, Y.H. Choi, and D.K. Park 2002, Cooling efficiency and growth of tomato as affected by root zone cooling methods in summer season. *J Bio-Env Con* 11:81-87. (in Korean)
- Lee J.H., Y.B. Lee, J.K. Kwon, N.J. Kang, H.J. Kim, Y.H. Choi, J.M. Park, and H.C. Rhee 2006, Effect of greenhouse cooling and transplant quality using geothermal heat pump system. *J Bio-Env Con* 15:211-216. (in Korean)
- Lee S.H., I.H. Heo, K.M. Lee, S.Y. Kim, Y.S. Lee, and W.T. Kwon 2008, Impacts of climate change on phenology and growth of crops: In the case of Naju. *J Korean Geogr Soc* 43:20-35. (in Korean)
- Li Y., X. Wen, L. Li, and M. Song 2015, The effect of root-zone temperature on temperature difference between leaf and air in tomato plants. *Acta Hort* 1107:251-256. doi:10.17660/ActaHortic.2015.1107.34
- Mizuno S., Y. Muramatsu, A. Tateishi, K. Watanabe, F. Shinmachi, M. Koshioka, and S. Kubota 2022, Effects of root-zone cooling with short-day treatment in pot-grown strawberry (*Fragaria ×ananassa* Duch.) nurseries on flowering and fruit production. *Hortic J* 91:1-7. doi:10.2503/hortj.UTD-290
- NIMS 2020, Korean climate change prospect report 2020. National Institute of Meteorological Sciences, Korea, pp 14-15.
- Noh M.Y. 1997, Management of root-zone temperature in substrate culture of tomato. *Kor Res Soc Protected Hort* 10:97-105.
- Park G.E., E.J. Kim, J.S. Kim, B. Lee, and H. Na 2021, Effect of root zone temperature on germination and growth of paprika seedlings. *J Kor Soc Int Agric* 33:376-380. doi:10.12719/ksia.2021.33.4.376
- Park K-W., Y-B. Lee, N-H. Choi, and J-C. Jeong 1990, Effects of culture media and nutrient solutions on the yield and quality of cucumber (*Cucumis sativus* L.) and tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Korean J Environ Agric* 9:143-151. (in Korean)
- Park S.H., J.P. Moon, J.K. Kim, and S.H. Kim 2020, Development of fog cooling control system and cooling effect in greenhouse. *Protected Hort Plant Fac* 29:265-276. (in Korean) doi:10.12791/ksbec.2020.29.3.265
- Pascual C.S., I.C. Agulto, A.N. Espino, and V.U. Malamug 2019, Effect of ground heat exchanger for root-zone cooling on the growth and yield of aeroponically-grown strawberry plant under tropical greenhouse condition. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. doi:301:10.1088/1755-1315/301/1/012006
- Peet M.M., D.H. Willits, and R. Gardner 1997, Response of ovule development and post-pollen production processes in male-sterile tomatoes to chronic, sub-acute high temperature stress. *J Exp Bot* 48:101-111. doi:10.1093/jxb/48.1.101
- RDA 2020, Tomato. Rural Development Administration, Jeonju, Korea, p 68.
- Seo S-M., J-C. Park, and E-K. Rhee 2011, An analysis of thermal loads depending on korea building insulation standard and the optimum insulation standard. *J Korean Sol Energy Soc* 31:146-155. (in Korean) doi:10.7836/kse.2011.31.5.146
- Stanciu C., D. Stanciu, and A. Dobrovicescu 2016, Effect of greenhouse orientation with respect to e-w axis on its required heating and cooling loads. *Energy Procedia* 85:498-504. doi:10.1016/j.egypro.2015.12.234
- Suh W-M., Y-H. Bae, H-J. Heo, C-S. Kwak, S-G. Lee, J-W. Lee, and Y-C. Yoon 2009, Analyses of heating and cooling load in greenhouse of protected horticulture complex in Taean. *J Korean Soc Agric Eng* 51:45-52. (in Korean) doi:10.5389/ksae.2009.51.6.045
- Tindall J.A., H.A. Mills, and D.E. Radcliffe 1990, The effect of root zone temperature on nutrient uptake of tomato. *J Plant Nutr* 13:939-956. doi:10.1080/01904169009364127
- Van de Dijk S.J., and J.A. Maris 1985, Differences between tomato genotypes in net photosynthesis and dark respiration under low light intensity and low night temperatures. *Euphytica* 34:709-716. doi:10.1007/BF00035408
- Venema J.H., F. Posthumus, and P.R. Van Hasselt 1999a, Impact of suboptimal temperature on growth, photosynthesis, leaf pigments and carbohydrates of domestic and high-altitude wild *Lycopersicon* species. *J Plant Physiol* 155:711-718. doi:10.1016/S0176-1617(99)80087-X
- Venema J.H., F. Posthumus, M. De Vries, and P.R. Van Hasselt 1999b, Differential response of domestic and wild *Lycopersicon* species to chilling under low light: Growth, carbohydrate content, photosynthesis and the xanthophyll cycle. *Physiol Plant* 105:81-88. doi:10.1034/j.1399-3054.1999.105113.
- Wahid A., S. Gelani, M. Ashraf, and M.R. Foolad 2007, Heat tolerance in plants: An overview. *Environ Exp Bot* 61:199-223. doi:10.1016/j.envexpbot.2007.05.011
- Woo S-Y., S.H. Lee, and D-S. Lee 2004, Air pollution effects on the photosynthesis and chlorophyll contents of street trees in Seoul. *Korean J Agric For Meteorol* 6:24-29. (in Korean)