

암면배지의 수분제어가 토마토의 생육 및 생산성에 미치는 영향

문두경* · 김소희 · 조명환 · 유인호 · 류희룡 · 최경이 · 권용희 · 이소진
농촌진흥청 국립원예특작과학원
(2018년 4월 23일 접수; 2018년 6월 26일 수정; 2018년 6월 27일 수락)

Effect of Plant Growth and Production of Tomato on the Water Content Control in Rockwool Culture

Doo-Gyung Moon*, So-Hee Kim, Myeng-Whan Cho, In-Ho Yu, Hee-Ryong Ryu,
Kyung-Hee Choi, Yong-Hee Kwon and So-Jin Lee

National Institute of Horticultural and Herbal Science, Rural Development Administration, 281,
Ayeonno, Jeju 63240, Korea

(Received April 23, 2018; Revised June 26, 2018; Accepted June 27, 2018)

ABSTRACT

This study was carried out to investigate the effect of plant growth and production of tomato (*Lycopersicon Esculentum* Mill cv. Tefunis) according to the water content of non-recycled rockwool culture in high-rise tomato greenhouse. Daily irrigation amount was 3.8 times higher in the irrigation control by Integrated Solar Radiation (ISR) than in the Frequency Domain Reflectometry (FDR) sensor. Water content of ISR and FDR was 90-95 and 60-65%, respectively. Plant height and weight of tomato fruit was 1.2-1.9 times longer and 1.2-2.0 times heavier in the ISR than in the FDR sensor, respectively. No significantly differed to sugar content of tomato by treatments. Marketable fruits were the higher 1.3 times in the ISR compared with the FDR sensor. Cracking percentage in the ISR was also the higher 2.0 times compared with FDR sensor. Therefore, Irrigation control by ISR was appropriate to improve of plant growth and production of tomato with non-recycled rockwool culture in greenhouse during long-term cultivation.

Key words: Hydroponics, Irrigation control, Rockwool culture, Water content

I. 서 론

수경재배에서 고행배지의 함수량은 식물 뿌리의 발달과 생육 및 수량과 품질에 영향을 미친다(Kim *et al.*, 2010; Kim, 2012). 하루 중 배지 내 함수량 차이를 이용해서 식물의 생육 조절이 가능하고, 함수량이 많으면 초장이 길어지거나 함수량이 지나치게 낮으면 수량과 과중이 적어질 수 있다. 배지 내 함수량이 지속적

으로 높으면 뿌리 발육이 저해되어 생육이 나빠진다(Kim, 2012)고 하였다. 따라서 균일한 급액관리는 배지 내 수분함량을 적절하게 유지하여 식물의 양분 흡수를 돕고 근권환경을 안정화하여 고품질화와 수량확보가 가능하다.

과채류재배 농가에서는 수경재배시 주로 일사량제어법을 이용하여 급액관리를 한다(Roh and Lee, 1997). 일사량제어법은 작물의 증산속도와 일사량과의 상관



* Corresponding Author : Doo-Gyung Moon
(dgmoon@korea.kr)

관계를 이용하여 일정한 적산 일사량에 도달하면 급액 하는 방식으로, 기상환경에 따른 작물의 상태를 고려하여 매일 1회 급액량을 추정한다(Choi *et al.*, 2001; Yoo, 2014). 한편 수분센서로 배지 내 수분함량을 직접 측정하여 급액 관리가 자동으로 이루어지는 방식의 사용도 증가하고 있다. 그 중에서도 FDR (Frequency Domain Reflectometry) 센서에 의한 방식은 정확성이 높고 모니터링을 통한 급액 관리의 예측이 가능하다(Park *et al.*, 2010; Yoo, 2014)고 하였다.

고층고 토마토 전용하우스(층고:4.5m)는 기존의 1-2W형 하우스(저층고:2.7m)의 문제점을 보완하여 농가에 보급되고 있다. 저층고 하우스는 장기 수경재배 시 배지수분관리 및 수체관리 등에 어려움이 많고, 고층고 하우스에서 장기 수경재배 시 초장은 5% 길어지고, 과실의 생산량은 20% 많아져(Yu *et al.*, 2012), 고층고 토마토 전용하우스는 고품질의 토마토 생산 및 농가소득을 높일 수 있다. 그러나 고층고 하우스는 층고가 높아지면서 하우스 내 재배환경이 변화되어 수경재배 시 배지 내 양액 농도가 급변하여 일주일 간격의 보정을 필요로 한다(RDA, 2012). 양액 농도의 변화는 식물의 생육을 감소시키기 때문에(Ehret *et al.*, 2005), 기존의 재배법을 고층고 하우스에 적용하는데 문제가 있을 수 있다. 따라서 고층고 하우스에 기존 일사량제어법과 새로운 급액방식을 통해 토마토 생육에 적합한 재배 환경을 만들어 고품질의 과실을 다수확 할 수 있는지 검토 및 비교하였다.

본 연구에서는 고층고 토마토 전용하우스에서 비순환식 토마토 암면재배 시 일사량 및 FDR 센서에 의해 제어된 배지 내 수분함량이 토마토의 생육 및 과실의 생산성에 미치는 영향을 알아보고자 수행하였다.

II. 재료 및 방법

2.1. 재배관리

본 연구는 국립원예특작과학원 시설원예연구소(부산)의 고층고 토마토 전용 하우스(폭 7.0 x 층고 4.5 x 동고 6.5m)에서 수행되었다. 시험재료인 토마토 (*Lycopersicon Esculentum* Mill.) ‘데프니스’ 품종은 2013년 2월 25일 암면배지(10x10x6cm)를 사용하여 슬라브(90x15x7.5cm)당 3주씩 정식하였다. 데프니스는 원줄기로 15단까지 재배하였으며 측지는 제거하였다. 착과제는 토마토톤을 150배 처리하였고 화방당 3-4개의 과실을 남기고 적과하였다.

2.2. 수분제어

표준배양액은 EC 1.2-1.5, pH 5.8-6.0인 토마토 비순환식 PBG 배양액을 자동공급장치(NMC-PRO, NETAFIM)를 이용하여 공급하였으며, 처리는 일사량에 의해 수분제어하는 방법과 FDR(Frequency Domain Reflectometry)센서(CoCo-200, Mirae Sensor)에 의해 수분제어하는 방법으로 급액 방식을 달리하여 시험하였다. 일사량 제어는 적산일사량이 180J/cm²에 도달하였을 때 급액 되었고, FDR센서를 이용하여 배지 내 수분함량 측정 시에는 90-95%의 값을 보였다. 또한 일출 1시간 30분 후 양액을 공급하고 일몰 1시간 30분 전 공급을 중단하였다. 일사량이 기준보다 높을 경우 관수량이 20% 증가(10min → 12min)하였고 비가 오고 흐린 날은 관수량이 10% 감소(10min → 9min)하였다. 또한 FDR센서에 의한 수분제어는 배지 내 수분함량이 60~65% 이하로 내려가면 양액을 공급하였다. 제어판에서 FTR센서 수분제어를 할 수 있도록 컨트롤하여 배지 내 수분함량이 60~65%되면 양액을 공급하게 하였다(제어: 배지 내 수분함량 60~65% → FDR센서: 수분측정 → 양액 공급). 또한 양·수분 공급량은 각 처리별 배지에 공급되는 양·수분 점적 호스에 비이커를 연결하여 양·수분을 수집 후 메스실린더로 매일 한꺼번에 측정하였다.

2.3. 생육, 품질 및 수량조사

수분함량에 따른 ‘데프니스’의 생육을 조사하기 위하여 각 처리별 3반복으로 5개체를 선정하여 초장을 10일 마다 측정하였다. ‘데프니스’ 과실은 2013년 4월 10일부터 2013년 8월 12일까지 15화방을 착과하여, 과피의 색이 80% 정도 되었을 때 7일 마다 화방별로 수확하고 과중, 과고, 과폭 및 당도를 조사하였으며 과고와 과폭은 버니어캘리퍼스를 이용하여 과실의 가장 긴 부분을 측정하였고 당도는 당도계(PAL-1, ATAGO)를 이용하여 측정하였다. 상품과는 수확과실의 130g이상의 과실을 선별하여 정상과와 열과로 분리하였다. 분리된 과실의 개수와 무게를 조사하여 1주당 평균과수와 평균과중 및 재배면적에 따른 전체수량을 나타내었다. 통계분석은 SAS program를 이용하여 토마토의 초장 및 화방의 무게는 평균±표준편차로 나타내었으며, 생육 및 과실의 길이, 직경 그리고 당 함량, 수량, 열과 발생량에 대하여 두 처리 간의 T-test검정을 유의수준 5%와 1%에서 각각 실시하였다.

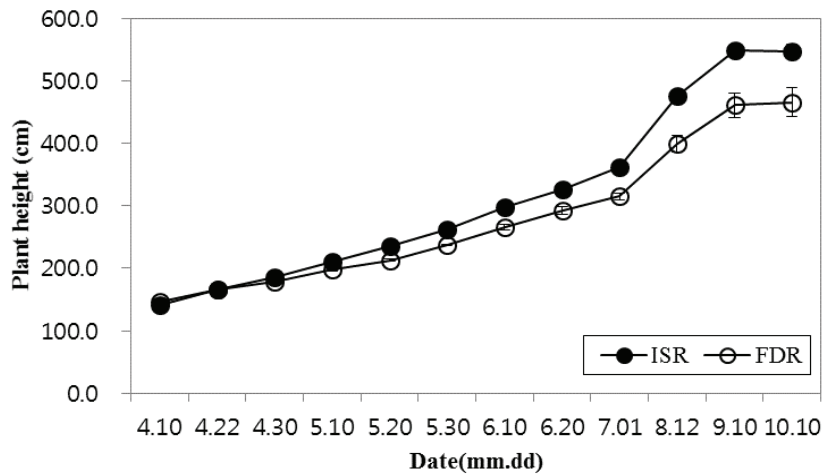


Fig. 1. Plant height of tomato during tomato fruit growth in high-rise greenhouse by the irrigation control of ISR(Integrated Solar Radiation, water content was 90-95%) and FDR(Frequency Domain Reflectometry, water content was 60-65%). Bars represent standard deviation of the means.

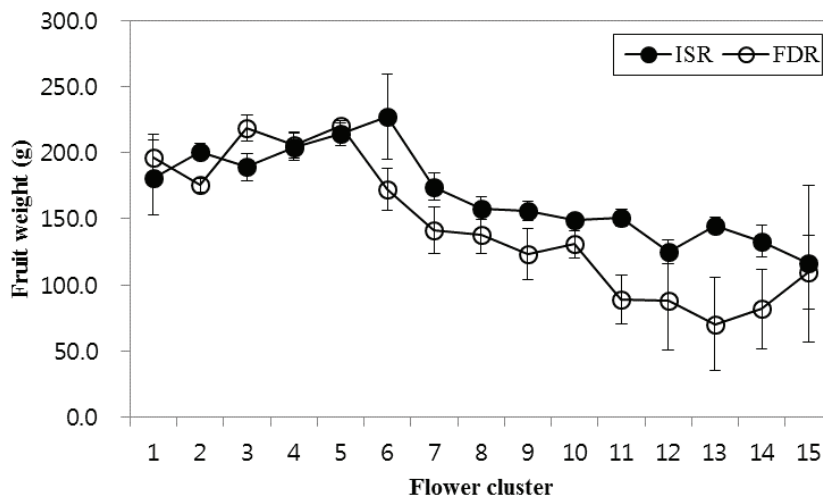


Fig. 2. Weight of tomato during tomato fruit growth in high-rise greenhouse by the irrigation control of ISR(Integrated Solar Radiation, water content was 90-95%) and FDR(Frequency Domain Reflectometry, water content was 60-65%). Bars represent standard deviation of the means.

III. 결과 및 고찰

3.1. 토마토의 생육

고층고 토마토 전용하우스에서 장기간 암면 재배 시 일사량제어와 FDR센서에 의한 수분제어로 배지 내 수분함량 조절에 따른 토마토 ‘데프니스’ 품종의

생육과 과실 특성 차이를 비교하였다. 생육조사에서 초장은 일사량제어가 FDR센서 수분제어보다 1.2-1.9 배 길었다(Fig. 1). 과실 특성조사에서 과중은 1화방에서 5화방까지는 차이가 없었으나, 6화방부터 일사량제어가 FDR센서 수분제어보다 무거웠으며 1.2-2.0배 차이를 보였다(Fig. 2).

Table 1. Tomato fruit characteristic during tomato fruit growth in high-rise greenhouse by the irrigation control

Flower cluster		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Fruit length(mm)	ISR ^z	54.1	56.5	51.3	59.8	64.0	64.5	63.1	62.5	64.2	62.5	62.1	58.9	63.1	62.0	62.0
	FDR	55.2	54.9	59.0	59.3	63.5	60.3	59.8	61.4	58.1	59.7	51.8	51.5	32.6	51.3	51.3
	T-test ^y	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS	NS	NS
Fruit diameter(mm)	ISR	73.3	74.6	67.0	76.8	77.1	77.9	70.6	67.0	67.1	65.3	65.3	61.2	65.0	63.5	57.5
	FDR	76.4	69.9	79.0	75.8	77.3	71.1	65.1	64.5	61.5	62.9	55.2	53.9	33.3	50.0	59.1
	T-test	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS
Sugar content(°Bx)	ISR	2.7	3.2	3.7	3.8	3.9	4.0	4.3	4.0	3.9	3.9	4.0	4.5	4.3	4.2	4.5
	FDR	3.1	3.4	3.5	3.7	3.9	4.4	4.2	4.3	4.0	4.3	4.5	4.4	4.5	4.5	4.3
	T-test	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

^zISR : Control by Integrated Solar Radiation(ISR): water content was 90-95%, FDR : Frequency Domain Reflectometry(FDR) : water content was 60-65%.

^yNS, *, ** : Non-significant or significant at P<0.05 or 0.01, respectively.

Table 1은 과실의 과고, 과폭 및 당도를 화방별로 나타내었다. 과고 및 과폭은 일사량 제어와 FDR센서 수분제어 간에 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 당도 또한 처리간 차이가 없었다. 이는 각 처리간 배지 내 함수량에 따라 근권의 환경이 달라지면서 뿌리의 활력에 따라 생육과 과실에 영향을 미친다고 하였다(Martin *et al.*, 1970; Ito and Kawai, 1994). 일사량제어는 적절한 배지 내 수분함량이 90-95%로 재배기간 동안 근권이 일정하게 안정화 되었고, FDR센서에 의해 수분함량이 60-65% 제어보다는 생육이 우수하고 과중이 무거웠다고 볼 수 있다(Fig. 1 and Fig. 2). 이러한 이유는 일사량제어가 FDR센서 제어보다 배지 내 수분함량이 높았기 때문으로 생각한다.

3.2. 수량 및 열과

토마토 ‘데프니스’ 품종을 수확한 후, 정상과와 열과의 1주당 평균과수와 평균과중 및 재배면적에 따른 전체수량을 비교하였다(Table 2). 정상과는 주당 평균과수 및 평균과중과 재배면적에 따른 전체수량에서 일사량제어가 16.9개/주, 5.2kg/주, 15,600kg으로 FDR센서 수분제어 13.5개/주, 3.9kg/주, 11,700kg보다 많았으며 전체수량이 1.3배 차이를 보였다. 열과는 주당 평균과수는 일사량제어에 비해 FDR센서 수분제어가 2.9개/주로 높았으나, 주당 평균과중과 재배면적에 따른 전체수량은 일사량제어가 FDR센서 수분제어보다 2배 높았다. 이는 토마토 ‘Dabok’ 품종에서 일사량제어가 FDR센서 수분제어에 비해 수량이 많았다는 결

과(Na *et al.*, 2013)와 일치하며, 멜론(Kim and Kim, 2001), 축성 오이(Kim *et al.*, 2003), 방울토마토(Kim *et al.*, 2003)등에서도 일사량제어 시 수량 증가의 보고가 있다. FDR센서 수분제어에 의한 열과의 주당 평균과수는 일사량제어보다 높은 것은 일사량제어에 비해 양분과 수분이 지속적으로 공급이 안되어졌기 때문에 열과 발생이 많아졌다고 생각한다. 배지의 수분함량 편차가 높으면 배지의 수분에 의해서 열과 발생량은 높다(Kang *et al.*, 2007)고 한 결과와 일치하였다. 반면 전체 열과 발생 수량은 일사량제어가 FDR센서 수분제어보다 높은 것은 일정하게 양분과 수분이 지속적으로 공급되었지만, 과실의 전체 생산량이 많아 과실 간의 양·수분 경쟁 등에서 오는 가능성이 있기에 이에 대한 추후 연구가 필요하다고 생각한다.

또한 본 실험에서는 일사량제어의 경우 맑은 날과 흐린 날 및 생육단계에 따라 공급량의 차이는 있었지만 평균적으로 일사량제어가 FDR센서 수분제어에 비해 양·수분함량이 3.8배 정도 많이 공급되었다(Fig. 3). 즉 매일 한 개의 토마토 식물 배지에 양·수분 공급량은 일사량제어가 약 2,700ml, FDR센서 수분제어가 약 700ml 공급되었다. Na *et al.*(2008)의 양액소모량이 많을수록 수량이 많아졌다는 결과와 비슷하다. 반면 FDR센서 수분제어의 과실의 경우 주당 평균과수에 비해 평균과중이 낮으므로 양액의 공급량이 적으면 소형과의 발생이 많아진다고 판단되었다. FDR센서 수분제어는 배지의 수분함량이 60~65% 제어에 의해 한 개의 토마토 식물에 약 700ml 정도 양·수분량이 일사량제어 보다 적게 공급되어서 토마토의 생육 및

Table 2. Number of fruit, yield and total yield of tomato during fruit growth in high-rise greenhouse by the irrigation control

	Treatment	No. of fruit(ea/plant)	Yield(kg/plant)	Total yield(kg/10a)
Non-cracking	ISR ^z	16.9	5.2	15,600
	FDR	13.5	3.9	11,700
	t-test ^y	**	**	**
Cracking	ISR	2.3	0.2	600
	FDR	2.9	0.1	300
	t-test	*	**	**

^zISR : Control by Integrated Solar Radiation(ISR): water content was 90-95%, FDR : Frequency Domain Reflectometry(FDR) : water content was 60-65%.

^yNS, *, ** : Non-significant or significant at P<0.05 or 0.01, respectively.

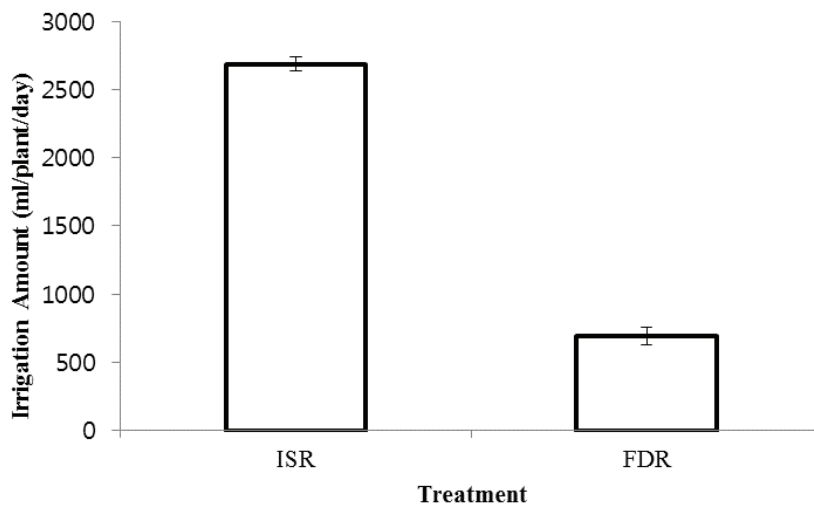


Fig. 3. Daily irrigation amount by the irrigation control of ISR and FDR. ISR : Control by Integrated Solar Radiation(ISR, water content was 90-95%), FDR : Frequency Domain Reflectometry(FDR, water content was 60-65%). Bars represent standard deviation of the means.

과실의 크기에 영향을 주었다고 생각한다. 반면 일사량제어는 충분한 양·수분을 배지에 공급시켜서, 토마토의 생육 및 과실의 생산량은 FDR센서 수분제어보다 많아졌다고 생각한다.

일사량제어는 생육기간 동안 식물이 수분을 필요로 할 때, 식물의 상태에 따라 식물이 원하는 만큼의 급액 조절이 가능하다(Kim and Kim, 2000). FDR센서 수분제어는 배지 내 수분함량을 측정하여 입력한 기준값만큼 급액이되므로 양액의 양을 조절할 수 있어 불필요한 낭비를 막을 수 있다(Park *et al.*, 2014). 본 실

험에서는 FDR센서에 의한 수분제어보다 식물의 상태를 고려한 일사량제어에서 초장, 과실의 과중, 상품과의 주당 평균과수와 평균과중이 우수하였다. 그러나 주당 열과의 수가 적게 발생하였는데, 이는 토마토의 양분 흡수가 생육단계에 따라 변하지만(Kim and Kim, 2000), 실험 마지막 시기까지 같은 양의 양분을 계속적으로 공급하여 과다한 배지 내 함수량이 토마토의 생육에 영향을 미친 것으로 판단된다. 이러한 결과로 고측고 토마토 전용하우스에서 비순환식 암면배지에 수분제어 처리에 따른 ‘테프니스’ 품종을 재배할 때,

생육 및 과실의 생산성을 향상시키기 위해서는 FDR 센서로 낮은 수분제어보다는 일사량제어에 의한 방법이 적당하다고 판단된다. 또한 FDR 센서로 배지의 수분함량을 70~90% 범위에서 제어하여 생육, 수량 및 양액소모량 등을 측정할 필요가 있다고 판단된다. 앞으로 스마트팜 구현을 위해 재배지의 기상 및 배지의 환경조건과 양분손실을 줄이 수 있는 제어알고리즘 및 센서개발 등을 통한 최적조건을 구명할 필요가 있다고 생각한다. 따라서 생육단계별 계획적인 배지 내 수분함량 조절을 통해 수확시기에 열과 발생을 감소시켜 토마토 과실의 생산량과 품질을 향상시키기 위한 연구도 필요하다.

적 요

고층 토마토 전용 하우스에서 비순환식 토마토 암면재배 시 배지 내 수분함량이 토마토 ‘데프니스’ 품종의 생육 및 과실의 생산성에 미치는 영향을 보고자 수행하였다. 양액공급량은 일사량제어가 FDR 센서 수분제어보다 3.8배 많았다. 일사량제어의 수분함량은 90-95%였고, FDR 센서 수분제어의 수분함량은 60-65%였다. 초장의 길이 및 토마토의 과중은 일사량제어가 FDR 센서 수분제어보다 1.2-1.9배 길었고, 1.2-2.0배 무거웠다. 상품과는 일사량 제어가 FDR 센서 수분제어보다 1.3배 많았다. 과실의 당도는 처리간 차이가 없었다. 열과 발생량은 일사량 제어가 FDR 센서 수분제어보다 2.0배 높았다. 따라서 비순환식 암면 배지에서 토마토의 생육 및 생산성을 향상시키기 위해서는 일사량제어가 적당하다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 대한민국 농촌진흥청 공동연구사업(과제 번호: PJ00883101)의 지원에 의한 연구 결과의 일부입니다.

REFERENCES

- An, C. G., Y. H. Hwang, H. S. Yoon, H. J. Hwang, G. M. Shon, G. W. Song, and B. R. Jeong, 2005: Effect of drain ratio during fruiting period on growth and yield of sweet pepper in rockwool culture. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology* **23**(3), 256-260.
- Ehret, D. L., J. G. Menzies, and T. Helmer, 2005: Production and quality of greenhouse roses in recirculating nutrient systems. *Scientia Horticulturae* **106**(1), 103-113.
- Ito, H., and S. Kawai, 1994: Effects of watering control on the fruit qualities of tomato and cherry tomato. *Research Bulletin of the Aichi-ken Agricultural Research Center* **26**, 191-199.
- Kang, N. J., M. W. Cho, and Y. H. Choi, 2007: Effects of deficit irrigation on the reduction of green shoulder fruits in fresh tomato. *Journal of Bio-Environment Control* **16**(3), 186-193.
- Kim, S. E., S. Y. Sim, and Y. S. Kim, 2010: Comparison on irrigation management methods by integrated solar radiation and drainage level sensor in rockwool and coir bag culture for tomato. *Journal of Bio-Environment Control* **19**(1), 12-18.
- Kim, H. J., and Y. S. Kim, 2000: Effects of irrigation control by time and integrated solar radiation on muskmelon quality in perlite culture. *Journal of Bio-Environment Control* **9**(1), 66-72.
- Kim, H. J., and Y. S. Kim, 2001: Effects of the irrigation management by integrated solar radiation and timer on water use efficiency and the fruit quality of muskmelon in perlite culture. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology* **19**(2), 48-48.
- Kim, H. J., D. K. Ko, W. S. Kim, M. Y. Roh, J. H. Lee, Y. I. Kang, J. H. Kim, Y. I. Nam, and Y. S. Kim, 2003: Effect of irrigation control by integrated radiation level on the growth and quality of cherry tomato in the limited quantity of perlite. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology* **21**(2), 49-49.
- Kim, Y. S., S. J. Lee, J. H. Sohn, and J. K. Kim, 2003: Effect of proportional control of amount solar radiation on forcing nutriculture white spine cucumber for export. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology* **21**(1), 35-35.
- Kim, Y. S., 2012: Conquest of hydroponics. Research center of tomato. Chungnam, Korea.
- Martin, P. E., J. C. Lingle, R. M. Hagan, and W. J. Flocker, 1970: Irrigation of tomatoes in a single harvest program. *California Agriculture* **20**(6), 13-14.
- Na, T. S., J. G. Kim, K. J. Choi, G. Y. Gi, and Y. K. Yoo, 2008: Study on optimum water supply by solar radiation in cut rose. *Journal of Bio-Environment Control* **17**(3), 215-220.
- Na, T. S., K. J. Choi, M. S. Cho, B. K. Yun, H. G. Kim, D. M. Son, and H. J. Kim, 2013:

- Affected sugar content by FDR moisture sensor on medium moisture regulate in hydroponics of *Solanum lycopersicum* 'Dabok'. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology* **31**(1), 50-50.
- Park, S. T., K. Y. Choi, and Y. B. Lee, 2010: Water content characteristics of coconut coir substrates on different mixture ratios and irrigation rates and times. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology* **28**(2), 227-233.
- Park, S. T., G. H. Jung, H. J. Yoo, E. Y. Choi, K. Y. Choi, and Y. B. Lee, 2014: Measuring water content characteristics by using frequency domain reflectometry sensor in coconut coir substrate. *Protected Horticulture Plant Factory* **23**(2), 158-166.
- Roh, M. Y., and Y. B. Lee, 1997: Control of amount and frequency of irrigation according to integrated solar radiation in cucumber substrate culture. *Acta Horticulturae* **440**, 332-337.
- RDA (Rural Development Administration), 2012: Development of stable production technology for tomato by the improvement of greenhouse. (www.rda.go.kr)
- Yoo, H. J., S. T. Park, S. H. Lee, H. J. Lee, and Y. B. Lee, 2008: Effects of irrigation control by FDR sensor on drain ratio and growth of sweet pepper hydroponics in coconut coir. *Protected Horticulture Plant Factory* **17**(1), 340-343.
- Yu, I. H., E. H. Lee, M. W. Cho, H. R. Ryu, and Y. C. Kim, 2012: Development of multi-span plastic greenhouse for tomato cultivation. *Journal of Bio-Environment Control* **21**(4), 428-436.