

장기 수경재배에서 급액량의 차이가 토마토 생육과 수량 특성에 미치는 영향

최경이¹ · 임미영¹ · 김소희¹ · 노미영^{2*}

¹국립원예특작과학원 시설원예연구소 연구사, ²국립원예특작과학원 시설원예연구소 연구관

Effect of Difference in Irrigation Amount on Growth and Yield of Tomato Plant in Long-term Cultivation of Hydroponics

Gyeong Lee Choi¹, Mi Young Lim¹, So Hui Kim¹, and Mi Young Rho^{2*}

¹Researcher, Protected Horticulture Research Institute, National Institute of Horticultural and Herbal Science, Haman 52054, Korea

²Senior Researcher, Protected Horticulture Research Institute, National Institute of Horticultural and Herbal Science, Rural Development Administration, Haman 52054, Korea

Abstract. Recently, long-term cultivation is becoming more common with the increase in tomato hydroponics. In hydroponics, it is very important to supply an appropriate nutrient solution considering the nutrient and moisture requirements of crops, in terms of productivity, resource use, and environmental conservation. Since seasonal environmental changes appear severely in long-term cultivation, it is so critical to manage irrigation control considering these changes. Therefore, this study was carried out to investigate the effect of irrigation volume on growth and yield in tomato long-term cultivation using coir substrate. The irrigation volume was adjusted at 4 levels (high, medium high, medium low and low) by different irrigation frequency. Irrigation scheduling (frequency) was controlled based on solar radiation which measured by radiation sensor installed outside the greenhouse and performed whenever accumulated solar radiation energy reached set value. Set value of integrated solar radiation was changed by the growing season. The results revealed that the higher irrigation volume caused the higher drainage rate, which could prevent the EC of drainage from rising excessively. As the cultivation period elapsed, the EC of the drainage increased. And the lower irrigation volume supplied, the more the increase in EC of the drainage. Plant length was shorter in the low irrigation volume treatment compared to the other treatments. But irrigation volume did not affect the number of nodes and fruit clusters. The number of fruit settings was not significantly affected by the irrigation volume in general, but high irrigation volume significantly decreased fruit setting and yield of the 12 – 15th cluster developed during low temperature period. Blossom-end rot occurred early with a high incidence rate in the low irrigation volume treatment group. The highest weight fruits was obtained from the high irrigation treatment group, while the medium high treatment group had the highest total yield. As a result of the experiment, it could be confirmed the effect of irrigation amount on the nutrient and moisture stabilization in the root zone and yield, in addition to the importance of proper irrigation control when cultivating tomato plants hydroponically using coir substrate. Therefore, it is necessary to continue the research on this topic, as it is judged that the precise irrigation control algorithm based on root zone-information applied to the integrated environmental control system, will contribute to the improvement of crop productivity as well as the development of hydroponics control techniques.

Additional key words: accumulated solar radiation, drainage, EC

서론

수경재배는 토양의 연작 장애를 극복할 수 있을 뿐 아니라 작물이 필요로 하는 양분을 가장 효과적으로 공급할 수 있어 (Lee와 Kim, 2019) 네덜란드 등 농업 선진국에서도 작물의

생산성과 품질 향상을 위한 필수적인 기술로 채택되고 있다.

국내에서는 1994년 우루과이라운드 협상 타결로 인한 개방화 물결 속에 세계자유무역으로 우리 농산물의 국제 경쟁력 강화 요구와 더불어 소비자의 친환경, 고품질 농산물 생산 요구가 증가되면서부터 수경재배 면적이 급격하게 증가하기 시작하였다(Sonneveld와 Voogt, 2009). 수경재배 면적은 초기 상승 후 2010년까지 1,000ha 내외로 답보하였으나 최근에 스마트팜을 적용하는 시설에서 가장 기본이 되는 재배형태로 인

*Corresponding author: rohmy17@korea.kr

Received October 7, 2022; Revised October 20, 2022;

Accepted October 21, 2022

식되면서 시설 채소류의 수경재배 면적은 3,883ha(RDA, 2021)까지 증가한 것으로 알려져 있는데 정부의 정책적인 지원, ICT 기술의 발전, 노동력 절감 효과와 여러가지 재배적인 장점을 기반으로 지속적으로 증가할 것으로 판단된다.

토경재배를 포함한 토마토 전체 재배면적은 2014년까지 증가하여 최고치 7,070ha 경신한 후 상승 추세가 꺾인 상태이지만 수경재배는 2014년 434ha에서 2020년 582ha로 지속적으로 증가하며(KOSIS, 2021) 수경재배 주 작물로 자리매김하고 있다. 재배형태도 토경에서는 4-6단을 수확하는 단기재배가 일반적이지만 수경재배는 30단 이상 재배하는 장기재배가 적용되고 있기 때문에 변화 발전하는 재배 환경에 기반한 수경재배 기술이 필요하다.

수경재배에서는 근권부의 부피가 매우 적기 때문에 작물이 필요로 하는 양액으로 적시에 적정량을 공급하는 것이 매우 중요하다. 또한, 생산성, 자원의 이용 효율과 환경보전(Massa 등, 2010)의 측면에서도 양액 공급 기술이 중요하기 때문에 그와 관련된 다양한 연구가 진행되고 있다. 최근에 작물의 수분 흡수 기반으로 일사량, 재배 환경(습도, 온도), 작물 증산량(엽면적) 등 여러 요소(Monteinth와 Unsworth, 2007)를 고려한 정밀자동급액 시스템이 개발되어 재배 현장에서 사용되고 있고, ICT를 이용하여 시설내 환경과 급액 및 배액의 정보들을 분석하여 실시간으로 양액 공급을 제어하는 방식이 시도되고

있다. 그렇지만, 재배 현장에서 가장 일반적인 방법은 일사센서를 이용하여 설정된 관수개시점에 급액하는 방법(Lieth와 Oki, 2019)으로, 재배 시기와 작물의 생육단계에 따른 적정 급액량이 자동으로 반영되지 못한다는 아쉬움이 있다. 그래서 본 연구를 통해 토마토 장기 수경재배에서의 급액량에 따른 토마토 생육을 비교하여, 일사센서를 이용한 급액 관리 시 토마토의 생육 단계와 재배 시기에 따른 적정 급액량에 대한 정보를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 시험 재료 및 처리 내용

본 시험은 국립원예특작과학원 함안시설원예연구소(35.2°N, 128.4°E) 내의 유리온실에서 수행하였으며, 시험기간 동안 이 지역의 일평균 온도와 적산일사량은 Fig. 1과 같다.

대과종 적색계인 토마토(*Solanum lycopersicum* L. cv. Daphnis, Syngenta Korea, Korea)를 7월 29일에 파종하여 8월 12일 암면 블록(rockwool block)에 이식하였으며 9월 3일에 코이어 슬라브에 정식하였다. 네덜란드 온실작물연구소(PBG) 토마토 배양액 조성 16.0 NO₃-N, 1.2 NH₄-N, 4.5 P, 9.5 K, 10.8 Ca, 4.8 Mg, 8.8 S(me·L⁻¹)을 이용하여 10월 18일까지 모든 처리에 동일하게 급액하였다. 10월 19일부터 양액

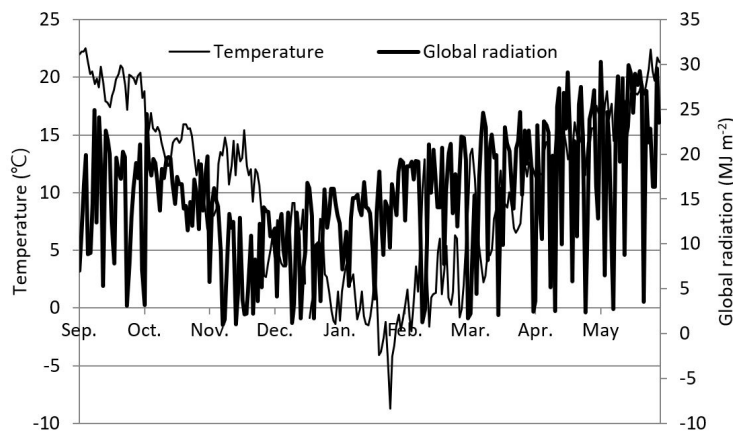


Fig. 1. Daily mean temperature and global radiation over experiment period.

Table 1. Set point of integrated radiation of treatment over cultivation period.

Treatment	Integrated radiation (J/cm ²)			
	Sep.-Dec.	Jan.-Mar.	April	May
Low	150	140	130	105
Medium low	130	120	110	90
Medium high	110	100	90	75
High	90	80	70	60

공급기 목표 적산일사량을 다르게 설정하여 급액 횟수가 달라 지도록 급액량 4 수준(Low, Medium low, Medium high, High)으로 시험을 수행하였다. 정식하여 12월 말까지 동일한 급액 기준을 적용하다가 작물 생육과 일사량 증가에 따른 증 산량을 반영하여 급액 처리 기준을 1-3월, 4월, 5월에 설정 치를 변경하여 급액량을 증가시켰다. 증산량을 기준으로 급 액량 처리 2와 3(Medium low, Medium high)의 월 평균 배 액률이 20-30%가 되도록 시기별로 조절한 적산 일사량 설 정치는 Table 1과 같고, 실제 적산일사량에 의해 공급된 급액 횟수는 매일 조사한 매월의 1일 평균 급액횟수는 Table 2와 같 다. 주당 1회 약 100mL를 급액하였다.

급액의 EC는 정식 후부터 2.5dS·m⁻¹로 공급하다가 일사량 이 많아지며 배액 EC가 상승하였기 때문에 3월 11일-4월 12 일은 2.1dS·m⁻¹로, 4월 13일 이후로는 1.6dS·m⁻¹로 변경하여 시험종료 날짜인 5월 27일까지 유지하였다. 배액은 주 1회 채 취하여 분석하였다.

2. 시험구 배치 및 급액 방법

폭이 8m 길이가 25m인 유리온실에 길이 21.5m인 행잉거 터(hanging gutter)를 4줄로 설치하고 7m마다 막음막을 설치 하여 구역을 나누었다. 난괴법 4처리 3반복으로 구역별 급액 관을 따로 설치하였고 배수는 3개 처리가 합쳐져 1개의 배수 통에 집수되도록 하여 배액의 무기 이온은 단구제로 조사하였 다. 각 구역에 코이어 슬라브(Daeyoung GS, Daegu, Korea) 7 개를 배치하였으며, 구역당 29개의 점적핀을 설치하여 토마토 1주당 1개씩 꽂고 남은 1개의 핀은 급액 조사에 이용하였다.

급액 제어는 타이머와 일사비례제어 혼합방식으로, 12월에 서 2월은 9시에 첫 급액이 되도록 하였으며 그 외의 달은 일출 후 2시간부터 2시간 30분 사이에 급액되도록 매월 1일에 첫 급액 시간을 변경하였다. 마지막 급액 시간을 일몰 전 2시간으 로 설정하여 이후에는 적산일사량에 관계없이 급액이 되지 않 도록 하였다. 목표 적산일사량에 도달하여도 급액 후 30분 이 내에는 급액이 되지 않도록 하였고, 목표 일사량에 도달하지 않아도 3시간에 1회씩은 급액이 되도록 하였다.

3. 재배 방법 및 생육조사

육묘용 240공 암면플러그에 파종하였으며, 본엽이 2-3매 발생한 시기에 유공 암면블록(10×10×6.5cm)을 EC 1.5dS·m⁻¹ 인 양액으로 포수한 후에 이식하였다. 본엽이 발생하는 시기 부터 EC 1.2dS·m⁻¹인 양액을 투입하였으며 본엽이 완전히 전 개한 시기부터 정식 직전까지 EC 1.5dS·m⁻¹인 양액을 공급하 였다. 정식용 재배 배지는 더스트와 칩의 비율이 5:5인 코이어 슬라브(15×10×100cm)를 이용하였으며, 정식 전에 1주일 이상 1일에 점적핀 당(2L·h⁻¹) 10L씩(슬라브당 40L) 물을 관 수하여 배지 내 염분을 제거하여 근권 내 무기이온이 균일해 지도록 하였다. 정식 전일 EC 2.0dS·m⁻¹인 배양액을 슬라브 당 20L 관수하여 배지를 포수하였다. 슬라브당 4주씩 정식하 여 시간당 2L씩 관수되는 점적핀 1개를 꽂아 관수하였다.

정식 이후 발생하는 측지는 모두 제거하여 1줄기로 유인하 였으며, 하엽은 수확을 하는 가장 아래 화방의 과일이 수확되 는 시기를 기준으로 수확 화방 아래 잎까지 수시로 제거하였 다. 화방당 4개 이상(과실 직경이 1cm 내외) 착과된 것은 적과 하여 화방당 4개 이내로 착과되도록 조절하였으며 뒤영벌을 이용하여 수정하였다.

토마토의 생육은 처리별 총 24주(반복 당 8주, 3반복)를 조 사하였다. 초장, 마디수, 화방 발생수는 시험이 종료되는 5월 27일에 조사하였고, 착과된 화방수와 화방별 착과수는 월 1회 조사하였다. 과실 특성 및 생산량은 주 1-2회 조사하였다.

실험에서 얻은 결과값의 통계 분석은 SAS 통계 프로그램 (Statistical Analysis System Ver9.4, SAS Inc., USA)을 이용 하였고 평균 간 비교는 Duncan's multiple range test(DMRT) 로 5% 유의수준에서 검정하였다.

결과 및 고찰

1월 1일부터 조사한 처리별 1일 주당 급액량과 배액률은 Fig. 2와 같았다. 적산일사 제어 설정은 1월부터 3월까지의 140, 120, 100, 80J/cm²으로 고정하였는데 계절변화에 따른 일사량 증가로 급액량이 증가하였다. 2월 말에는 급격한 일사 량의 증가가 없음에도 배액률은 모든 처리에서 급격히 감소하

Table 2. The number of daily irrigation for each treatment by irrigation set point over cultivation period.

Treatment	Irrigation (no./plant/day)				
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May
Low	5.44	8.29	8.82	8.19	8.77
Medium low	6.44	9.71	9.96	9.87	10.15
Medium high	7.89	11.36	11.71	11.62	12.00
High	9.67	13.04	14.04	15.81	16.46

는데 이것은 외부 평균기온이 상승하면서 뿌리 활력이 왕성해지면서 증산량이 증가하였기 때문이라고 판단된다. 배액물에는 당일의 급액량뿐 아니라 전일의 배지 수분 함량도 영향을 미친다. 일사량이 적은 시기(1-2월)에 지속적으로 흐린 날이 계속되어 뿌리 활력이 떨어져 있는 상태에서 다음날 급작스럽게 일사량이 증가하여 급액량이 많아지면 급액량이 가장 많은 처리에서는 급액된 대부분이 배액되면서 배액률이 80% 이상인 경우도 발생하였다. 반면에, 일사량이 많은 시기에는 지속적으로 맑은 날이 계속되어 급액량이 많아 전일 배지내 수분함량이 높았던 상태에서 다음날 흐린 날에는 급액량의 80% 이상 배출되며 배액률이 높아지기도 하였다.

Fig. 3은 급액량에 따른 재배 시기별 배액 내의 무기 이온의 EC와 pH 변화를 나타낸 것이다. 이전의 여러 연구결과와 같이 급액량이 적을수록 배액의 EC가 높은 경향을 나타내었다 (Savvas 등, 2007; An 등, 2009; Choi 등, 2018b). 급액의 EC를 $2.5\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 로 공급하는 기간(정식-3월 10일)에는 11월에 약 $3.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 이었던 구간을 제외하고 배액률을 40% 이하로

유지하지 않으면 $EC\ 3.5\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 이상으로 상승하였다. 급액량이 가장 많은 처리에서도 급액보다 2배 이상 높은 EC를 나타내어 무기배지에서 적정 배액 EC 범위로 설정하는 급액보다 $0.5\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 정도 높은 수준을 나타내는 경우는 거의 없었다. 이것은 유기 배지의 양분 흡착에 의한 것으로 유기 배지를 이용한 여러 보고들(Lee 등, 2018; Choi 등, 2017)과 일치하는 결과이다.

9월 10월에는 일사량이 많았고 생육 전반기 건조한 관리로 배액의 EC가 높게 나타났으나 11월 20일 이후 급격히 낮아져 $EC\ 3.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 가까이 떨어졌다. 이것은 11월 5일부터 8일까지, 11월 12일부터 22일까지 지속된 강우의 영향으로 배지 내 수분함량이 높았고, 양분요구도가 높은 시기라는 것도 영향을 미쳤을 것으로 판단된다(Voogt, 1993).

급액량이 가장 적은 Low 처리는 1월 상순부터 배액내 EC가 높아졌으며 3월 11일에는 $6.6\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 까지 급격히 상승하였고 2월 말경 모든 처리의 배액 EC가 높아지고 배액률도 감소하였다. Medium low 처리는 Low 처리보다는 급액량이 많고

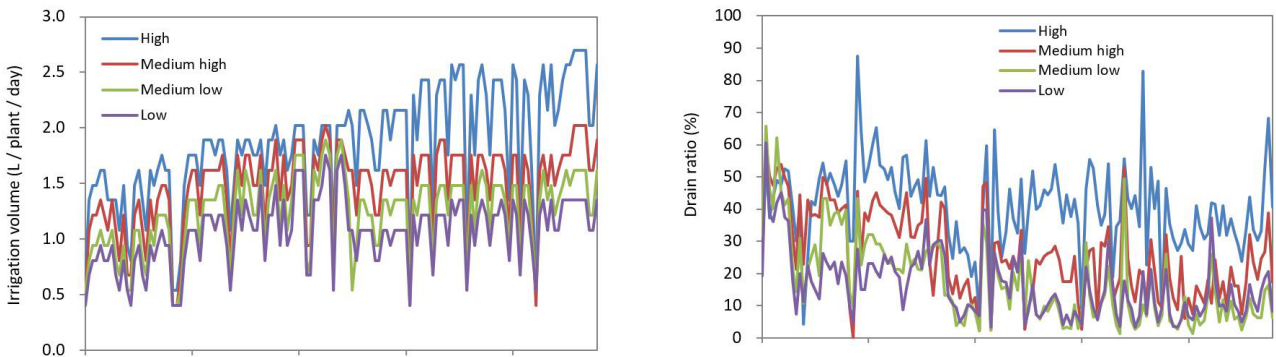


Fig. 2. Irrigation volume and drain ratio by irrigation treatment over cultivation period.

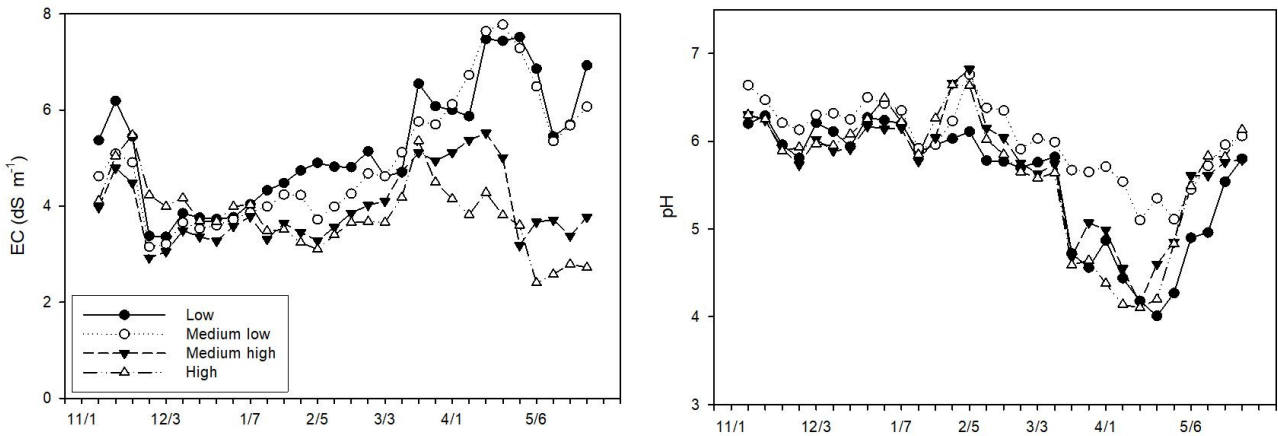


Fig. 3. Change in EC and pH of the drainage as affected by irrigation volume. EC of irrigation was $2.5\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ from planting to March 11, $2.1\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, from March 12 to April 12, and $1.6\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ from April 13 to the last day of experiment.

배액률이 높기 때문에 배액내 EC가 1-2월에는 Low 처리 보다는 낮았으나 급액량이 많은 Medium high와 High 처리에 비하여는 높아졌다. 3월 이후에는 Low 처리와 거의 유사한 수치를 나타내거나 4월부터는 오히려 더 높은 경향을 나타내었다. 이것은 Low 처리 보다는 급액량이 많아서 공급되는 양분의 총량이 많았기 때문이라고 생각된다.

비가 온 날을 제외한 1월의 평균 1일 평균 적산일사량은 7.32MJ/m^2 이었는데(Fig. 1) 이 시기에는 Medium high와 High 처리에서 큰 차이 없이 배액의 EC가 $3.0 - 3.5\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 로 유지되었다. 이 때 두 처리의 평균 배액률은 38.9%과 44.3%였다. 2월의 1일 평균 적산일사량은 9.39MJ/m^2 이었는데 일사량 증가로 Medium high 처리의 배액률이 32.1%로 감소하였고 High 처리의 배액률은 45.8%(Fig. 1과 Fig. 2)로 1월에 비하여 감소하지 않았음에도 배액의 EC는 점진적으로 상승하였다. 3월의 평균 1일 평균 적산일사량은 11.44MJ/m^2 이었는데(Fig. 1) 2월부터 점진적으로 상승하기 시작한 EC는 3월에는 Medium high와 High 처리에서도 급격한 변화를 보이며 3월 11일의 급액 농도 조정 전에는 배액의 EC가 각각 $5.4\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, $5.1\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 가 되었다. Medium high 처리는 이후에도 점진적인 EC 상승이 지속되다가 4월 15일 급액 EC 조정에 의해 배액의 EC가 낮아졌다. High 처리는 3월 11일의 급액 농도 조정과 4월 1일의 급액량 조정에 의해 점진적으로 배액의 EC가 떨어졌으며 4월 15일의 급액 EC 조정에 의해 4월 말 배액 EC가 급격히 떨어졌으나 5월의 급액량 조정에 의한 배액의 EC 하락 효과는 거의 없었다.

결국, 급액량이 많으면 배액률이 증가되기 때문에 배지내 양분 집적을 상당 부분 해소시킬 수 있었다. 그러나 농업 생산이 유발하는 환경오염을 최소화하기 위하여 수경재배에서 물과 비료의 이용을 줄이는 노력은 필수적이다. 따라서 근권이 EC를 적정하게 유지하기 위하여 배액률을 늘리는 것 외에 다른 방법이 있다면 우선적으로 사용하여야 할 것이다.

우선, 적정 배액률 20-30%를 코이어 배지에 적용하였을 때 배액의 EC가 상당히 높아졌는데 유기물 배지의 완충능을 고려할 때 배액의 EC 허용 범위를 넓게 설정하는 것이 바람직할 것이다. 또한 급액량이 가장 적은 처리에서 1월에 배액률이

24.1%임에도 배액 EC가 높아지기 시작하였으므로 배지의 완충능을 고려하여 1-2월부터 선제적으로 급액 EC를 조정하여 3월 이후 근권 EC가 급격히 상승하는 것을 방지할 필요가 있을 것이다.

pH는 배액의 EC가 $4.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 로 유지될 때까지는 pH 적정 수준인 5.5-6.5를 크게 벗어나지 않았다. 그러나 배액의 EC가 높아지기 시작하는 2월 상순을 기준으로 pH가 급격히 떨어지기 시작하였고 3월 상순부터 배액 EC가 급격히 상승할 때 더욱 급격한 하락이 발생하였다. 이와 같은 경향은 Medium low 처리를 제외한 다른 처리에서는 공통적으로 나타났는데 배액 pH가 가장 하락한 시기는 4월 1일부터 8일까지였으며 이 때 Low, Medium high, High 처리 각각의 배액은 pH 4.0, 4.2, 4.0이었다. Medium low 처리의 경우 4월 8일과 22일에 배액의 pH가 5.1까지 떨어지기는 하였으나 대부분 pH 5.5 이상으로 유지되었는데 Medium low 처리가 다른 처리와 다른 pH 범위를 나타내는 뚜렷한 원인을 구명할 수는 없었다. 토마토 재배에서 배액의 EC와 pH가 상당한 영향을 미치는 것은 Choi 등(2017)의 연구에서도 확인된 바 있다.

초장은 급액량이 가장 적은 처리구가 다른 처리구에 비하여 작았다. 마디수와 화방의 발생 수는 급액량에 영향을 받지 않았다. 급액량이 가장 많은 처리가 다른 처리에 비하여 착과하지 못한 화방이 많아서 착과 화방수가 적었다(Table 3).

Low와 Medium low 처리의 과중, 과고, 과정은 급액량이 더 많은 두 처리에 비하여 작았다. 이것은 급액량 즉 근권 수분의 직접적인 영향뿐만 아니라 근권의 EC 상승으로 인한 삼투압이 뿌리의 수분흡수에 영향을 미쳤기 때문이라고 생각된다. 과실의 당도는 급액량이 적을수록 높은 경향을 보였다(Table 4).

Table 5는 급액량에 따른 1화방부터 24화방까지 화방별 착과수를 조사한 결과이다. 화방별 착과수는 전체적으로는 급액량의 영향을 크게 받지 않는 것으로 나타났으나, 12-15화방에서는 급액량이 가장 많았던 처리구가 다른 처리에 비하여 착과수가 적었다. 이것은 12-15화방의 개화 및 착과 시기가 1-2월로 일사량이 가장 적고, 기온도 낮았기 때문에 뿌리 활력의 저하된 상태였고, 이 시기에는 다른 시기에 비하여 급액량 High 처리의 배액률이 44.3-45.8%(Fig. 2)로 높아서 급

Table 3. Growth characteristics of tomato plant as affected by irrigation volume.

Treatment	Plant height (cm)	No. of nodes	No. of clusters	No. of fruit setting clusters
Low	687.9 b ^c	119.7 a	26.7 a	26.1 ab
Medium low	705.3 ab	120.6 a	26.7 a	26.4 ab
Medium high	745.7 a	122.7 a	27.4 a	27.2 a
High	724.5 a	120.1 a	26.7 a	25.5 b

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

액 과다가 착과에 영향을 미쳤다고 판단되었다.

배꼽썩음과는 흡수된 Ca가 과실에 분배되지 않기 때문에 발생하는 생리장해로 여러 가지 원인에 의해 발생하는데(Bakker, 1990; Saure, 2001) 급액량 부족이 발생을 조장(Savvas 등, 2007) 하는 요인 중 하나로 알려져 있다. 배꼽썩음과는 생육초기에는 처리에 관계없이 거의 발생하지 않았고, 4월 이후부터 발생하기 시작하였다. 일사량이 많아지며 배꼽썩음과가 발생하기 시작하였으며 급액량이 가장 적은 처리에서 발생률이 높고, 발생 시기도 빨랐다. 급액량이 가장 많은 처리에서는 전 생육기 동안 배꼽썩음과 발생률이 5% 이내로 낮았다(Fig. 4).

화방별 평균 과중은 급액처리에 따른 뚜렷한 차이를 나타내지 않았다. 이것은 시험 품종인 ‘대프니스’가 대과종 중에서는 약간 과실이 작고, 불량한 환경에서도 비교적 잘 적응하는 품종(Choi 등, 2018a)일 뿐 아니라, 배지경 재배에서는 배지의 수분보유력의 영향으로 급액량이 수량에 영향을 미치지 않았다는 Nikolaou 등(2017)의 연구 결과에서 근거를 찾을 수 있을 것이다(Fig. 5).

Fig. 6은 급액량에 따른 월별 수확 과수와 수확량을 나타낸 것이다. 수확 과수는 화방별 착과수와 일치하지는 않았는데 이것은 착과 후 낙과나 비대 과정 중에 도태되었기 때문이라고 생각된다. 급액량이 많았던 두 처리에서 3-4월 수확 과수가 현저히 감소하였는데 이것은 12-15화방의 착과 불량과 관련이 있다. 위와 같은 결과에서 저온-저일조 시기(12-2월)에는 근권 내 수분의 함량이 착과와 비대에 크게 영향을 미치는 것으로 판단되어 안정적인 착과를 위하여 근권이 과습하지 않도록 관리하는 것이 중요하다고 판단되었다.

수량은 착과수와 과중에 의해 결정되었으며, 고온기 재배(11월, 4월, 5월 수확)의 경우 급액량이 적었던 처리에서 수량이 적었는데 이것은 온도가 높고, 일사량이 많아서 증산량이 증가하므로 급액량 부족으로 인한 과실 비대가 제한되기 때문이라고 생각된다. 반면 1-2월 저온기 재배에서는 급액량이 많은 처리에서 수량이 적은 경향을 나타내었는데 이 시기 근권부가 장기간 과습한 상태로 유지되어 이산화탄소(CO₂)의 확산이 어려워지면서 물(H₂O)과 이산화탄소의 탄산(H₂CO₃)

Table 4. Characteristics of tomato fruits as affected by irrigation volume.

Treatment	Fruit			Soluble solids content (°Brix)
	Weight (g)	Length (mm)	Width (mm)	
Low	123.7 b ²	54.2 b	61.9 b	4.4 a
Medium low	127.6 b	54.2 b	62.9 b	4.3 a
Medium high	136.5 a	55.6 ab	64.6 a	4.1 a
High	136.1 a	56.1 a	64.2 a	4.1 a

²Mean separation within columns by Duncan’s multiple range test at $p \leq 0.05$.

Table 5. Number of fruit settings in a cluster as affected by irrigation volume.

Treatment	Number of clusters							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Low	2.80 a ²	2.73 a	2.67 a	2.33 a	2.47 a	2.60 a	2.67 a	2.72 a
Medium low	2.56 a	2.98 a	2.36 a	2.64 a	2.29 a	2.20 a	2.00 a	2.49 a
Medium high	3.08 a	2.77 a	2.08 a	2.52 a	1.95 a	2.87 a	2.55 a	2.73 a
High	2.53 a	2.53 a	2.33 a	2.33 a	1.73 a	2.47 a	2.27 a	2.20 a
	9	10	11	12	13	14	15	16
Low	2.47 a	2.80 a	3.33 a	3.53 a	3.60 a	2.80 a	3.00 b	3.27 a
Medium low	2.78 a	3.18 a	3.29 a	3.24 ab	3.09 ab	3.53 a	3.40 a	3.56 a
Medium high	2.80 a	2.23 a	2.83 a	3.33 ab	2.83 ab	2.97 a	3.48 a	3.45 a
High	3.00 a	2.93 a	2.67 a	2.73 b	2.67 b	2.67 a	3.20 ab	3.33 a
	17	18	19	20	21	22	23	24
Low	3.67 a	3.40 a	3.47 a	3.33 a	3.07 a	2.93 a	3.40 a	3.13 a
Medium low	3.53 a	3.49 a	3.40 a	2.67 a	3.42 a	2.56 a	3.20 a	3.56 a
Medium high	3.40 a	3.33 a	3.42 a	3.37 a	3.37 a	3.20 a	3.43 a	3.17 a
High	3.67 a	2.93 a	2.80 a	3.47 a	3.27 a	2.93 a	3.40 a	3.20 a

²Mean separation within columns by Duncan’s multiple range test at $p \leq 0.05$.

으로 반응이 촉진되어 배지 내 중탄산(HCO₃)이 축적되며 (Park 등, 2017; Nelson, 2002) pH를 높게 되어 착과율 저하와 수량에 영향을 미쳤기 때문이라 판단된다. 수경재배에

서는 재배 환경과 작물의 생육 상황을 고려한 급액 관리를 통하여 수량 향상을 기대할 수 있을 것이다. 그런데 장기 수경재배에서 일사량 등 재배 환경의 급격한 변화가 수시로 발생할 수 있어서 급액량과 배액률 변화, 근권의 양·수분의 불안정으로 이어질 수 있고, 이 시기 잘못된 급액 관리는 배꼽썩음, 착과 및 과실 성숙 불량 등의 생리장애를 유발할 수 있다. 따라서 수경재배 급액 제어를 위하여 다양하게 시도되고 있는 복합환경 제어 알고리즘 개발을 위한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

적 요

최근 토마토 수경재배가 증가하며 장기 재배가 일반화 되고 있다. 수경재배에서는 작물의 양분과 수분 요구도를 고려하여 적정 양액을 공급하는 것이 생산성, 자원의 이용, 환경보전 측면에서도 매우 중요한데 장기재배에서는 계절적인 환경변화가 심하므로 이것을 고려한 급액 관리가 매우 중요하다. 따라서 코이어 배지를 이용한 토마토 장기재배에서 급액량이 생육과 수량에 미치는 영향을 구명하고자 하였다. 온실 외부에 설치된 일사 센서로 적산일사를 기준으로 급액 횟수를 조절하였으며, 생육시기별로 급액 기준을 변경하며 4수준(High, Medium high, Medium low, Low)으로 급액량을 달리 처리하였다. 급액량이 많을수록 배액률이 높았으며 배액의 EC가 지나치게 높아지는 것을 방지 할 수 있었다. 재배기간이 경과 하면서 배액 EC가 높아졌는데 급액량이 적은 처리일수록 상승 폭이 컸다. 초장은 급액량이 가장 적은 처리구가 다른 처리구에 비하여 작았고 마디수와 화방의 발생 수는 급액량에 영향을 받지 않았다. 착과수는 전체적으로는 급액량의 영향을 크게 받지 않았으나 저온기에 발생한, 12-15화방에서는 급액량이 가장 많았던 처리구가 착과수가 적었다. 배꼽썩음과는 급액량이 가장 적은 처리구가 많았고 발생 시기도 빨랐다.

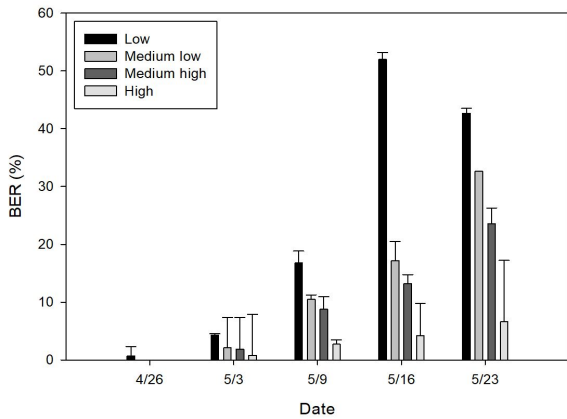


Fig. 4. Incidence of blossom-end rot of tomato (fruit as affected by irrigation volume). Values represent the means ± standard deviations.

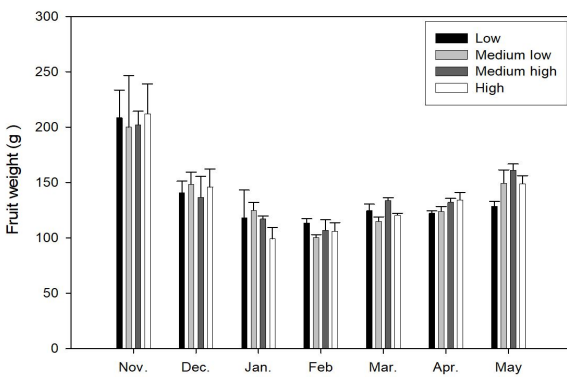


Fig. 5. Distribution of fruit weight of each cluster as affected by irrigation volume. Values represent the means ± standard deviations.

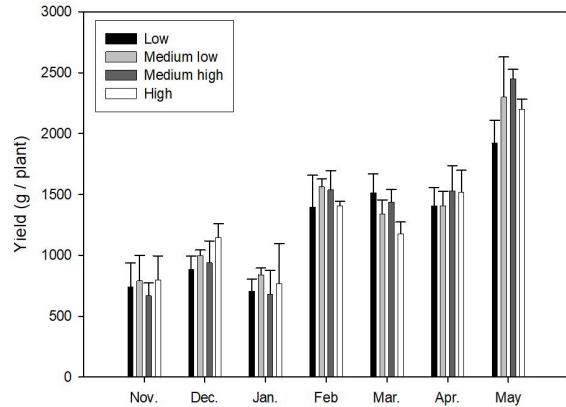
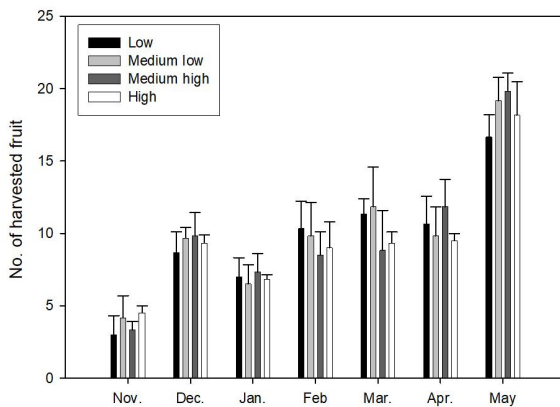


Fig. 6. Monthly number of harvested fruit and yield of tomato as affected by irrigation volume. Values represent the means ± standard deviations.

과실의 크기는 High 처리구가 컸으나 전체 수량은 Medium high 처리구가 가장 많았다. 시험의 결과로 코이어를 이용한 토마토 수경재배에서 급액량이 근권의 양·수분 안정화와 생산성에 미치는 영향과 적절한 급액 관리의 중요성을 확인할 수 있었다. 따라서 최근에 보급되고 있는 복합환경제어시스템에 근권의 정보를 기준으로 정밀급액제어 알고리즘을 적용한다면 수경재배 제어기술 발전과 더불어 작물의 생산성 향상에도 기여할 수 있을 것으로 판단되므로 이에 대한 지속적인 연구가 필요할 것이다.

추가 주제어: 적산일사량, 배액, EC

사 사

본 연구는 스마트팜다부처패키지혁신기술개발사업(과제 번호: PJ016444202206)의 지원에 의해 수행되었음.

Literature Cited

- An C.G., Y.H. Hwang, G.M. Shon, C.S. Lim, J.L. Cho, and B.R. Jeong 2009, Effect of irrigation amount in rockwool and cocopeat substrates on growth and fruiting of sweet pepper during fruiting period. *Hortic Sci Technol* 27:233-238. (in Korean)
- Bakker J.C. 1990, Effects of day and night humidity on yield and fruit quality of glasshouse tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *J Hortic Sci* 65:323-331. doi:10.1080/00221589.1990.11516061
- Choi G.L., K.H. Yeo, S.H. Choi, H.J. Jeong, N.J. Kang, and H.G. Choi 2017, Effect of EC level of irrigation solution on tomato growth and inorganic ions of root zone in soilless culture of tomato plant using coir substrate. *Protected Hort Plant Fac* 26:418-423. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2017.26.4.418
- Choi G.L., K.H. Yeo, S.H. Choi, H.J. Jeong, and N.J. Kang 2018a, Effect of concentration of nutrient solution on water and nutrient uptake of tomato cultivars in hydroponics. *J Agric Life Sci* 53:13-21. (in Korean) doi:10.14397/jals.2019.53.1.13.
- Choi G.L., K.H. Yeo, S.H. Choi, H.J. Jeong, S.Y. Kim, S.C. Lee, and N.J. Kang 2018b, Effect of irrigation volume on ions content in root zone in soilless culture of tomato plant using coir substrate. *Protected Hort Plant Fac* 27:1-6. (in Korean) doi :10.12791/KSBEC.2018.27.1.1.
- Korean Statistical Information Service (KOSIS) 2021, Crop production survey. Available via https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1AG204087&vw_cd=MT_ZTITLE&list_id=MT_CTITLE_m_001_004&seqNo=&lang_mode=ko&language=kor&obj_var_id=&itm_id=&conn_path=MT_ZTITLE Accessed Oct. 08, 2021
- Lee S.G., E.Y. Choi, G.H. Lim, and K.Y. Choi 2018, Yield and inorganic ion contents in drained solution by different substrate for hydroponically grown strawberry. *Hortic Sci Technol* 36:337-349. (in Korean) doi:10.12972/kjhst.20180033
- Lee S.Y., and Y.C. Kim 2019, Water treatment for closed hydroponic systems. *J Korean Soc Environ Eng* 41:501-513. (in Korean) doi:10.4491/KSEE.2019.41.9.501
- Lieth J.H., and L.R. Oki 2019, Irrigation in soilless production. In *Soilless Culture: Theory and Practice*. Elsevier Science, Amsterdam, the Netherlands, pp 381-423. doi:10.1016/B978-0-444-63696-6.00009-8
- Massa D., L. Incrocci, R. Maggini, G. Carmassi, C.A. Campiotti, and A. Pardossi 2010, Strategies to decrease water drainage and nitrate emission from soilless cultures of greenhouse tomato. *Agric Water Manag* 97:971-980. doi:10.1016/j.agwat.2010.01.029
- Monteinth J.L., and M.H. Unsworth 2007, Principles of environmental physics. Academic press, London, UK.
- Nelson P.V. 2002, Greenhouse operation and management, 6th ed. Prentice Hall, NJ, USA.
- Nikolaou G., D. Neocleous, N. Katsoulas, and C. Kittas 2017, Effect of irrigation frequency on growth and production of a cucumber crop under soilless culture. *Emir J Food Agric* 29:863-871. doi:10.9755/ejfa.2017.v29.i11.1496
- Park I.S., C.Y. Shim, and J.M. Choi 2017, Influence of post-planting fertilizer concentrations supplied through sub-irrigation in winter season cultivation of tomato on the seedling growth and changes in the chemical properties of root media. *Protected Hort Plant Fac* 26:35-42. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2017.26.1.35
- Rural Development Administration (RDA) 2021, Statistical data of soilless culture area in Korea. RDA, Jeonju, Korea. (in Korean)
- Saure M.C. 2001, Blossom-end rot of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.): A calcium- or a stress-related disorder. *Sci Hortic* 90:193-208. doi:10.1016/S0304-4238(01)00227-8
- Savvas D., E. Stamati, I.L. Tsirogiannis, N. Mantzos, P.E. Barouchas, N. Katsoulas, and C. Kittas 2007, Interactions between salinity and irrigation frequency in greenhouse pepper grown in closed-cycle hydroponic systems. *Agric Water Manag* 91:102-111. doi:10.1016/j.agwat.2007.05.001
- Sonneveld C., and W. Voogt 2009, Plant nutrition of greenhouse crops. Springer, NY, USA. pp 393-403.
- Voogt W. 1993, Nutrient uptake of year round tomato crops. *Acta Hortic* 339:99-112. doi:10.17660/ActaHortic.1993.339.9