

코이어 배지 이용 토마토 장기 수경재배시 급액량이 근권부 무기이온에 미치는 영향

최경이¹ · 여경환¹ · 최수현¹ · 정호정¹ · 김승유¹ · 이성찬² · 강남준^{3*}

¹국립원예특작과학원 시설원예연구소, ²국립원예특작과학원 기술지원과, ³경상대학교 원예학과

Effect of Irrigation volume on Ions Content in Root Zone in Soilless Culture of Tomato Plant Using Coir Substrate

Gyeong Lee Choi¹, Kyung Hwan Yeo¹, Su Hyun Choi¹, Ho Jeong Jeong¹, Seung Yu Kim¹,
Seong Chan Lee², and Nam Jun Kang^{3*}

¹Protected Horticulture Research Institute, NIHHS, RDA, Haman, 52054, Korea

²Technology Services Division, NIHHS, RDA, Wanju, 55365, Korea

³Institute of Agric. & Life Sci., Gyeongsang National University, Jinju, 52828, Korea

Abstract. Also, t-cincreaseisdecreasein order In hydroponics, the accumulation of inorganic ions in the root zone are closely related to the irrigation volume. Therefore, the effects of irrigation volume on the growth and yield of tomatoes are very significant. This study was conducted to investigate the effect of irrigation volume on inorganic ions of root zone in hydroponic culture using coir substrate. The irrigation volume was adjusted to 4 levels depending on the integrated solar radiation for each growth period. The drainage ratio was calculated by daily amount of irrigation and drainage. The higher irrigation volume is, drainage ratio and water absorption tended to increase. But, the water absorption in the treatment of high irrigation volume was decreased in February and March compared to the treatment of medium high irrigation volume. By calculating monthly average irrigation volume and the drainage ratio, 120 to 140 J/cm² in January, 100 to 120 J/cm² in February, 80 to 100 J/cm² in March, 70 to 90 J/cm² in April and 60 to 75 J/cm² in May was detected as appropriate irrigation volume ranges which drainage ratio was 20-30%. The higher irrigation volume, the lower the concentration of ions decrease, which could prevent the accumulation of nutrients in the root zone. However, due to the characteristics of the coir substrate that absorbs ions, concentration of ions was significantly high when the drainage ratio was 20-30%. However, concentrations of P and K were sometimes lower in the drainage than that of irrigation water regardless of the treatment. Mg and S were the most highly accumulated ions even in the treatment of high irrigation volume. In low radiation season, there was no difference in the ion concentration in the drainage depending on the irrigation volume. In high radiation season, the lower irrigation volume, resulted to the higher ion concentration in the drainage. After March, it was difficult to prevent the increase of ions concentration in the drainage by only adjusting irrigation volume. Thus, it is necessary to decrease the EC of irrigation solution to prevent the accumulation of nutrients in the root zone.

Additional key words : accumulated solar radiation, drainage.

서 론

수경재배는 1920년대 후반 실용화 가능성이 제시 (Gericke, 1929)된 이래로 시설원예지의 연작장해 극복 뿐 아니라 작물이 필요로 하는 양분을 효과적으로 공급 하여 작물의 생산성과 품질 향상을 위한 필수적인 기술

로 채택되고 있다.

우리나라 수경재배 면적 2,264ha 중에서 575ha를 차지하는 토마토는 딸기와 함께 가장 중요한 수경재배 작물이다(RDA, 2016). 수경재배 배지는 이전에는 화학적으로 매우 안정되어 있는 무기배지를 이용하였으나, 코이어의 배지 적합성이 입증되면서(Grunert 등, 2008; Islam 등, 2008; Surrage 등, 2010; San Bautista 등, 2005) 토마토 수경재배 배지는 유기물인 코이어가 주로 이용되고 있다. 그런데 유기물인 코이어는 양분과 배지 간의 상호작용(양분 흡착과 용출)이 크기 때문에(Ao 등,

*Corresponding author: k284077@gnu.ac.kr
Received August 07, 2017; Revised November 09, 2017;
Accepted January 23, 2018

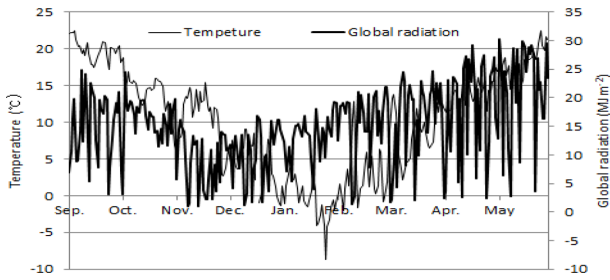


Fig. 1. Daily mean temperature and global radiation over experiment period.

2007) 무기배지와는 다른 양수분 관리가 필요하다. 코이어 배지를 이용한 토마토 수경재배에서 배양액의 공급 조건이 근권부 무기이온과 생육에 미치는 영향을 구명하는 연구가 거의 이루어져 있지 않아서 무기배지 이용 기준을 그대로 따르고 있는 실정이다.

그런데 수경재배에서 급액의 양이 근권의 무기이온 농도와 밀접한 관계(An 등, 2009; Chang 등, 2012)를 가지기 때문에 급액의 양(횟수)은 근권내 양분과 토마토의 생육 및 수량에 미치는 영향이 크다. 수경재배의 근권의 양은 토경재배의 5% 내외로(Sonneveld, 1981) 아주 적기 때문에 고농도의 양분을 투입하여 재배하는데 특히 유기물인 코이어를 이용한 수경재배에서 양분 집적이 발생하기 쉽다. 게다가 최근에 토마토 장기 수경재배가 증가하고 있기 때문에 단기 작형 보다 배지의 특성과 재배기간의 환경변화를 고려한 양분조절이 필요하지만 이에 대한 연구결과는 거의 없다. 따라서 본 시험에서는 코이어를 이용한 토마토 장기 수경재배에서 급액량이 근권의 무기이온에 미치는 영향을 구명하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 시험재료 및 처리내용

시험은 경상남도 함안군에 소재한 시설원예연구소에서 수행하였으며, 시험기간 동안 이지역의 일평균 온도와 적산일사량은 Fig. 1과 같다.

대과종 토마토 ‘대프니스’ 품종을 2015년 7월 29일에 파종하여 8월 12일 암면블록에 이식하였으며 9월 3일에 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 이용 10월 18일까지 모든 처리에 동일하게 급액하였다. 10월 19일부터 양액공급기의 급액 목표 적산일사량을 다르게 설정하여 급액량 4 수준으로 시험을 수행하였다. 처리별 생육시기에 따른 적산 일사량 설정치는 Table 1과 같다.

적산일사량에 의해 공급되는 급액량과 배액량을 처리

Table 1. Set value of integrated radiation of treatment for 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

별로 매일 조사하여 매일 1일 평균 급액 및 배액량 과 배액률을 계산하여 나타내었다.

급액의 EC는 정식 후부터 2.5dS·m⁻¹로 공급하다가 일사량이 많아지며 급액량이 증가하고 배액의 EC가 증가하였기 때문에 3월 11일부터 4월 12일까지는 2.1dS·m⁻¹로, 4월 13일 이후로는 1.6dS·m⁻¹ 변경하였다. 배액은 주 1회 채취하여 분석하였다.

2. 시험구 배치 및 급액방법

폭이 8m 길이가 25m인 유리온실에 길이 21.5m인 행잉거트를 4줄로 설치하고 7m마다 막음막을 설치하여 구역을 나누었다. 4처리 3반복으로 구역별로 관수관을 따로 설치하였고 배수는 3개 처리가 합쳐져 1개의 배수통에 집수되도록 하여 배액의 무기이온은 단구제로 조사하였다. 각 구역에 코이어 슬라브 7개를 배치하였으며, 구역당 29개의 점적핀을 설치하여 토마토 1주당 1개씩 꽂고 남은 1개의 핀은 급액조사에 이용하였다.

급액제어는 타이머와 일사비례제어 혼합방식으로, 12월-2월은 9시에 첫 급액이 되도록 하였으며 그 외의 달은 일출 후 2시간-2시간 30분 사이에 급액되도록 매일 1일에 첫 급액시간을 변경하였다. 마지막 급액시간을 일몰 전 2시간으로 설정하여 이후에는 적산일사량에 관계없이 급액이 되지 않도록 하였다. 목표 적산일사량에 도달하여도 급액 후 30분 이내에는 급액이 되지 않도록 하였고, 목표 일사량에 도달하지 않아도 3시간에 1회씩은 급액이 되도록 하였다. 주당 1회 약 100mL를 급액하였다.

3. 배액 분석 방법

배액의 음이온(NO₃⁻, PO₄³⁻, SO₄²⁻)은 IC(DX-500, Dionex, USA)의 유속을 0.7mL/min으로 고정하여 용리액 및 재생액을 흘려보내면서 기준선을 안정화 시킨 후 혼합 표준액을 이용하여 NO₃⁻와 SO₄²⁻는 0, 5, 10, 20ppm, PO₄³⁻, 10, 20, 40ppm의 표준 검량선을 작성하였다.

양이온(K, Ca, Mg)은 ICP(ICAP7400, Thermo Scientific, USA)를 사용하여 분석하였다. 표준액을 이용

Table 2. Monthly irrigation and drainage volume as affected by irrigation volume over cultivation period.

Treatment	Irrigation volume (L/plant/day)					Drainage volume (L/plant/day)				
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May
Low	0.74	1.12	1.19	1.11	1.18	0.18	0.22	0.17	0.13	0.14
Medium low	0.87	1.31	1.35	1.32	1.37	0.29	0.28	0.17	0.15	0.14
Medium high	1.07	1.53	1.58	1.57	1.62	0.41	0.49	0.35	0.32	0.28
High	1.31	1.76	1.89	2.13	2.22	0.58	0.81	0.73	0.86	0.80

Table 3. Monthly water uptake and drain ratio as affected by irrigation volume over cultivation period.

Treatment	Water uptake (L/plant/day)					Drainage ratio (%)				
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May
Low	0.56	0.90	1.02	0.98	1.04	24.1	20.1	14.3	11.6	11.7
Medium low	0.58	1.03	1.18	1.17	1.23	33.8	21.7	12.9	11.2	8.6
Medium high	0.66	1.04	1.23	1.25	1.34	38.9	32.1	21.9	20.2	17.4
High	0.73	0.95	1.16	1.27	1.42	44.3	45.8	38.6	40.1	35.8

하여 K, Ca는 0, 25, 50, 100ppm, Mg는 0, 12.5, 25, 50ppm의 표준 검량선을 작성하여 분석치에 희석배수를 곱하여 이온농도를 계산하였다.

결과 및 고찰

적산일사량에 의해 공급되는 급액량과 배액량을 처리 별로 매일 조사하여 매일 급액량과 배액량(Table 1)을 나타내었으며, 수분 흡수량과 급액량에 대한 배액의 비율(Table 2)을 계산하여 나타내었다. 주당 1일 평균 급액량은 1월에는 소량 급액구부터 0.74, 0.87, 1.07, 1.31L였고, 배액량은 0.18, 0.29, 0.41, 0.58L, 급액량에서 배액량을 뺀 것을 흡수량으로 가정하였는데 각각 0.56, 0.58, 0.66, 0.73L로 급액량이 많을수록 흡수량이 많았다. 2월은 1월보다 급액량이 증가하였으며 계산된 흡수량은 0.90, 1.03, 1.04, 0.95L였다. 3월, 4월, 5월의 수분흡수량은 3월에 1.02, 1.18, 1.23, 1.16L, 4월에 0.98, 1.17, 1.25, 1.27L, 5월에 1.04, 1.23, 1.34, 1.42L였다. 2월과 3월에는 급액량이 가장 많았던 처리구가 중간 수준의 급액구보다 수분흡수가 적었다. Morard 등(2000)은 수경재배에서 근권의 산소 부족은 이온의 흡수뿐 아니라 수분의 흡수도 저해한다고 하였는데, 겨울동안 뿌리 활력이 저하된 상태에서 급액량 증가(일사량 증가)로 근권내 수분함량이 증가하며 산소부족이 수분흡수를 저해하는 요인으로 작용하였을 가능성이 있다.

수경재배에서 급액량을 제어하는 방법은 여러 가지가 있지만 작물재배에는 여러 가지 변수(작물의 생육, 기상 환경의 변화 등)가 작용하기 때문에 한가지 방법으로만 제어하기 충분하지 않기 때문에 몇 가지 변수를 고려하여 복합제어를 하는 경우가 많다. 그 중 한가지 방법이 배액율을 기준으로 하는 제어방법인데, 최근에 무배액재

배 가능성 연구가 수행되고는 (Hwang 등, 2012) 있지만 배액을 통하여 근권의 EC를 낮추고 양분 불균형을 감소시킨다는 것(An 등, 2005)에는 이견이 없다. 그러나 지나친 관수로 인한 과습 방지와 양분과 수분의 이용효율을 고려하여 배액율을 결정하고 있는데 Klaring(2001)은 30-50%가 적정하다고 하였으나 우리나라는 작물과 환경을 전체적으로 고려하여 일반적으로 20-30%를 적정 범위로 규정하고 있다.

이와 같은 관점에서 적산일사제어를 위한 일사량은 1월에는 소량 급액 두 처리구(Low, Medium low)인 120-140J/cm², 2월은 Medium low, Medium high처리인 100-120J/cm², 3월은 Medium high와 High 처리인 80-100J/cm²을 적정한 범위로 제시할 수 있다. 4월과 5월은 Medium high와 High 처리구인 70-90J/cm², 60-75J/cm²가 가장 적정한 범위였다(Table 2).

Fig. 1은 시험기간 동안 급액량에 따른 배액내 무기이온의 농도 변화를 나타낸 것이다. NO₃-N의 배액내 농도는 생육 전반기 9, 10월 높은 일사량의 영향으로 높았다가 11월 20일경부터 낮아지기 시작하여 12월 상순까지 낮아졌다가 이후 상승하였는데 1월 상순까지는 처리에 따른 배액내 농도 차이가 없었다. 급액량이 가장 적었던 Low 처리구는 1월과 2월에 배액을 통한 충분한 이온용탈이 이루어지지 않았으며 배지의 양분 흡착 특성 때문에 배액 내 이온농도는 600mg·L⁻¹ 이상 지속적으로 유지되었다. 다른 세 처리구는 1월의 급액량 조절에 의해 배액내 농도 저하가 나타났는데 Medium high와 High 처리구에서는 1월 7일부터, Medium low 처리구는 그 보다 2주 지연된 1월 21일부터 낮아져 2월 5일까지 낮아진 후 상승하였다. 2월 말부터는 배액내 이온 농도가 급격히 높아져서 3월 11일에 급액 EC를 2.5dS·m⁻¹에서 2.1dS·m⁻¹로 변경하여 NO₃-N의 급액농도를 257mg·L⁻¹

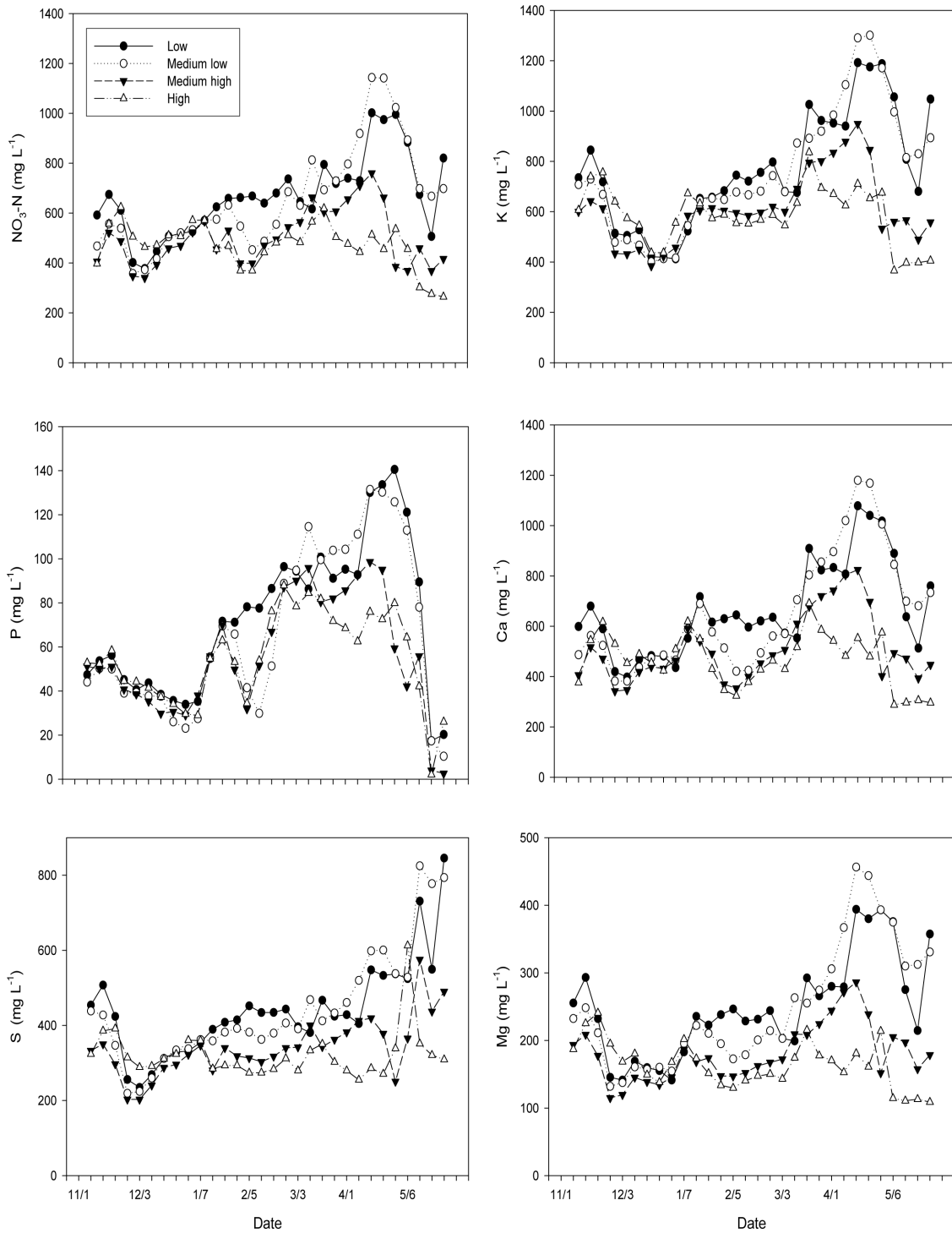


Fig. 2. Change in ion contents in the drainage as affected by irrigation volume.

에서 $216\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 로 낮추었고, 4월부터는 적산 일사 기준을 변경하여 급액량도 증가시켰다. 그럼에도 배액 내 농도가 지속적으로 증가하여 Low 처리구는 4월 22일에는 $1,002\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, Medium low 처리구는 4월 15일에 $1,143\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,

Medium high 처리구는 4월 8일 $760\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 까지 높아진 이후 급격하게 하락하였다. 이 시기의 급격한 하락은 4월 13일부터 급액되는 EC를 $1.6\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 으로 변경시켜 급액농도가 $164\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 로 낮아졌을 뿐 아니라 4월부터의

급액량 증가가 복합적으로 영향을 미쳤기 때문이라고 판단된다. High 처리구는 3월 11일 $619\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 이 가장 높은 농도였고 4월 29일까지 $400\text{-}500\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 을 유지하다가 $300\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 이하로 떨어졌다.

P는 초기 급액 농도가 $39.4\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 였는데 11월 말부터 12월 말까지는 모든 처리에서 급액농도 보다 배액내 농도가 낮은 상태로 12월 24일까지 낮아졌다가 모든 처리가 3주일 동안 상승하여 1월 14일에는 Low, Medium low, Medium high, High 처리구 각각 $66.5\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, $64.6\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, $64.9\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, $58.4\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 로 높아졌다가 급액량이 가장 적은 처리만 제외하고 다시 2-3주간 하락하였다 상승하는 형태를 나타내었다. 급액량이 가장 많은 High 처리는 2월 19일에 $81.6\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 로 전 생육기간 중 가장 높은 P 농도를 나타내었다가, 3월 11일의 급액농도 조정을 통해 4월 1일까지 하락후 4월 22일까지 상승한 후 배액 내 농도가 급격히 떨어져 5월 13일에는 $1.9\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 로 배액으로 거의 배출되지 않는 수준이 되었다. Voogt (1993)는 토마토 연중재배에서 토마토의 생육주기에 따라서 4-8주일 간격으로 주기적인 흡수형태를 나타냈는데 본 연구에서 코이어 배지 이용, 급액량 및 급액농도 조정, 재배기간의 일사량의 변화 등 배액내 이온의 농도에 영향을 미치는 여러 가지 요인의 변화에도 불구하고 P는 다른 이온에 비하여 생육주기에 따른 배액 내 농도 변화가 뚜렷하였다. 또 코이어 배지가 완충능이 높음에도 불구하고 시기별 배액의 EC와 각 이온의 변화가 상당 부분은 토마토의 양분 요구도 변화에 의한 것임을 유추할 수 있었다.

S는 다른 음이온과 비교하여 급액농도 대비 배액의 이온의 농도가 높았다. 1월 이후 배액의 EC가 높아지는 시점부터는 급액량 처리에 따른 배액의 이온의 차이도 뚜렷해 급액량이 적을수록 배액의 S의 농도가 높았고 다른 음이온($\text{NO}_3\text{-N}$, P) 보다 훨씬 높은 농도로 집적되었다. 순환식 수경재배에서 S의 집적은 일찍부터 알려져 있는데(Böhme, 1995; Zekki 등, 1996), Boivin (1990)은 토마토의 잎에서 800ppm 이상에서는 장애가 날 가능성이 있다고 하였고, Lopez 등 (2002)는 S의 집적으로 인하여 Ca 결핍을 유발할 있다고 보고하여 근권에 집적되기 쉬운 S의 영향을 검토한 바 있다.

K는 급액농도와 비교한 배액의 농도는 다른 이온에 비하여 낮았다. 11월 20일 기점으로 감소하기 시작하여 12월 24일경까지 감소한 후 증가하였다. 급액량이 많은 처리구는 다른 처리에 비하여 농도가 늦게 떨어지고 일찍 높아졌다. 배액의 Ca와 Mg의 농도 변화 형태는 매우 유사하였다. 그러나 급액농도와 비교한 배액의 농도는 Mg가 훨씬 높았다.

급액량에 따른 배액내 각 무기이온의 변화 추이를 요

약하면 급액량의 증가로 배액율이 증가되기 때문에 배지 내 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 배액율을 늘리는 것 외에 다른 방법이 있다면 우선적으로 사용하여야 한다.

우선, 무기배지 재배의 적정 배액율 20-30%를 코이어 배지에 적용하였을 때는 배액의 무기이온 농도가 상당히 높아졌는데 유기물 배지의 완충능을 고려할 때 배액의 EC 상승 허용 범위를 넓게 설정하는 것이 바람직 할 것이다. 또한 3월 이후에는 급액량 조절로는 배액 EC를 조절할 수 없었는데 급액량이 가장 적은 처리에서 1월에 배액율이 24.1%로 높음에도 배액 EC가 높아지기 시작하였으므로 배지의 완충능을 고려하여 1-2월부터 선제적으로 급액 EC를 조정하여 3월 이후 근권 EC가 급격히 상승하는 것을 방지할 필요가 있다. 그러나 근권의 EC만을 기준으로 적정한 범위로 유지하기 위하여 급액량, 급액농도를 조정하는 것은 작물의 흡수 요구도가 높은 P와 같은 이온은 결핍이 발생할 수도 있기 때문에 장기재배에서 집적되기 쉬운 이온은 배양액에서 조성 비율을 조정하여 특정 성분이 근권에 집적되지 않도록 공급하여야 할 것이다.

근권이 적정한 양-수분을 유지하도록 하기 위하여 근권에 양분이 지나치게 집적되지 않도록 급액량과 급액농도를 조합한 양액 관리가 필요하고, 적정한 양액관리를 위해서는 토마토의 양분과 수분 흡수에 미치는 생육 주기와 재배시기의 환경 요인을 고려한 종합적인 양액 관리가 요구된다.

적 요

수경재배에서는 근권내 양분의 집적 정도는 급액의 양과 밀접한 관계를 가지기 때문에 급액의 양(횟수)이 토마토의 생육과 수량에 미치는 영향이 크다. 따라서 본 시험에서는 코이어를 이용한 토마토 장기 수경재배에 급액량이 근권의 무기이온에 미치는 영향을 구명하고자 하였다.

적산일사량을 기준으로 급액량을 조절하였으며 생육시기별로 적산일사량 설정치를 변경하며 급액량을 4수준으로 처리하였다.

처리별 매일의 급액량과 배액량을 조사하였고 배액율을 계산하였다. 급액량이 많을수록 토마토의 수분 흡수량은 증가하는 경향이였다. 그러나 High 처리구는 2월과 3월에 Medium high 처리구에 비하여 수분 흡수가 감소하였다. 월별 평균 급액량과 배액율을 계산하여 배액율

이 20-30%되는 급액 구간으로 1월은 120-140J/cm², 2월은 100-120J/cm², 3월은 80-100J/cm², 4월은 70-90J/cm², 5월은 60-75J/cm²로 적정한 범위를 정할 수 있었다. 급액량이 많을수록 이온들의 농도가 낮아서 근권의 양분집적을 상당 부분 방지할 수 있었는데 양분을 흡착하는 코이어 배지의 특성 때문에 배액율이 20-30%인 경우 근권의 무기이온의 농도는 상당히 높았다.

그런데 P와 K는 처리에 관계없이 배액에서 급액농도보다 낮아지는 경우가 발생하였으며, 급액량이 많은 처리에서도 Mg와 S가 가장 잘 집적되는 이온이었다. 일사량이 적은 시기에는 급액량에 따른 배액내 무기이온의 농도는 큰 차이를 나타내지 않았으나, 일사량이 많은 시기에는 급액량이 적을수록 배액의 무기이온의 농도가 높았다. 특히, 3월 이후에는 급액량 조정만으로는 배액의 이온농도 상승을 방지하기 어려워 우선적으로 급액 EC를 낮춰 근권에 양분이 집적되는 것을 막을 필요가 있었다.

추가 주요어 : 적산일사량, 배액

사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구(PJ012061)의 지원에 의해 수행되었음

Literature cited

An, C.G., Y.H. Hwang, H.S. Yoon, H.J. Hwang, G.M. Shon, G.W. Song, and J.B. Ryong. 2005. Effect of drain ratio during fruiting period on growth and yield of sweet pepper (*Capsicum annuum* 'Jubilee') in rockwool culture. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 23(3):256-260.

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. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 27(2):233-238.

Ao, Y., M. Sun, and Y. Li. 2007. Effect of organic substrates on available elemental contents in nutrient solution. *Biore-sour. Technol.* 99:5006-5010.

Böhme, M. 1995. Effects of closed systems in substrate culture for vegetable production in greenhouses. *Acta Hort.* 396:45-54.

Boivin, C. 1990. La recirculation des solutions nutritives en culture sur laine de roche. *Cahier des confences. journ& d'infonnation sur les cultures abrites.* p:76-80.

Chang, Y.H., Y.H. Hwang, C.G. An, H.S. Yoon, J.U. An, C.S. Lim, and G.M. Shon. 2012. Effects of non-drainage hydroponic culture on growth, yield, quality and root environments of muskmelon (*Cucumis melo* L.). 2012. *Journal of Bio-Environment Control*, 21(4):348-353.

Gericke, W.F. 1929. Aquaculture a means of crop production. *Amer. J. Bor.* 16:826.

Gericke, W.F. 1929. Aquaculture a means of crop production. *Amer. J. Bor.* 16:826.

Grunert, O., M. Perneel, and S. Vandaele. 2008. Peat-based organic growbags as a solution to the mineral wool waste problem. *Mires and Peat* 3:1-5.

Hwang, Y.H., C.G. An, Y.H. Chang, H.S. Yoon, J.U. An, G.M. Shon, C.W. Rho, and B.R. Jeong. 2012. Effect of Zero Drainage Using Drainage Zero Sensor on Root Zone Environment, Growth and Yield in Tomato Rockwool Culture. *Protected Hort. Plant Fac.* 21(4):398-403.

Islam, S. 2008. Evaluating performance of ecologically sound organic substrates under different temperature regimes *International Journal of Agriculture and Biology* 10:297-300.

Klaring, H.P. 2001. Strategies to control water and nutrient supplies to greenhouse crop. A review. *Arnonimie* 21:311-321.

Lopez, J., L.E. Parent, N. Tremblay and A. Gosselin. 2002. Sulfate accumulation and calcium balance in hydroponic tomato culture. *Journal of Plant Nutrition.* 25(7): 1585-1597.

Morard, P., L. Lacoste, and J. Silvestre. 2000. Effect of oxygen deficiency on uptake of water and mineral nutrients by tomato plants in soilless culture. *Journal of Plant Nutrition.* 23(8):1063-1078.

Rural Development Administration. 2016. Statistical data of soilless culture in Korea.

San Bautista, A., R. Rueda, B. Pascual, J.V. Maroto, and S. Lopez-Galarza. 2005. Influence of different substrates and nutrient solutions on the yields and the incidence of abiotic disorders of Broccoli. *Acta Hort.* 697:275-280.

Surrage, V.A., C. Lafrenière, M. Dixon, and Y. Zheng. 2010. Benefits of vermicompost as a constituent of growing substrates used in the production of organic greenhouse tomatoes. *HortSci* 45:1510-1515.

Sonneveld, C. 1981. Items for application of macro-elements in soilless culture. *Acta Hort.* 126:187-195.

Voogt, W. 1993. Nutrient uptake of year round tomato crops. *Acta Horticulturae* 339:99-112.

Zekki, H., L. Gauthier, and A. Gosselin. 1996. Growth, productivity and mineral composition of hydroponically cultivated greenhouse tomatoes with or without nutrient solution recycling. *J. Amer. Soc. Hort. Sci* 121(6):1082-1088.