Protected Horticulture and Plant Factory, Vol. 26, No. 4:418-423, October (2017)
DOI https://doi.org/10.12791/KSBEC.2017.26.4.418
pISSN 2288-0992
eISSN 2288-100X

코이어 배지 이용 토마토 장기 수경재배시 급액 EC가 근권부 무기이온과 생육에 미치는 영향

최경이[1] · 여경환[1] · 최수현[1] · 정호정[1] · 강남준[2]* · 최효길[3]
[1]국립원예특작과학원 시설원예연구소, [2]경상대학교 원예학과, [3]공주대학교 원예학과

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

Gyeong Lee Choi[1], Kyung Hwan Yeo[1], Su Hyun Choi[1], Ho Jeong Jeong[1], Nam Jun Kang[2]*, and Hyo Gil Choi[2]

[1]Protected Horticulture Research Institute, NIHHS, RDA, Haman, 52054, Korea
[2]Institute of Agric. & Life Sci., Gyeongsang National University, Jinju, 52828, Korea
[3]Department of Horticulture, Kongju National University, Yesan, 32439

Abstract. In hydroponics, the nutrient solution is supplied considering the water and nutrient uptake characteristics of crops. However, as the ionic uptake characteristics are changed as a result of the weather conditions or the growth response of the crops, the root zone can not be maintained in optimal condition. In addition, the coir substrate has been used mainly for the tomato cultivation in place of the inorganic substrate, there are few studies on long-term cultivation using coir substrate. Therefore, this study was conducted to investigate the effect of EC level of irrigation solution on tomato growth and inorganic ions of root zone in soilless culture using coir. Coir substrate mixed with 5 : 5 chip and dust was used. EC level of irrigation solution was 1.0, 1.5, 2.0, and 3.0 dS·m^{-1}. At the initial stage, NO_3-N, P, Ca and Mg in the drainage were lower than the irrigation level at 1.0 and 1.5 dS·m^{-1}. However, EC 2.0 dS·m^{-1} or higher, all the ions except P were highly concentrated in the drainage. The average fruit weight was not significantly different between 1.0 and 1.5 dS·m^{-1} until 3th cluster, but from the next cluster, the higher the EC level, the smaller the weight. The number of fruit and yield to 6th cluster was the highest at 1.5dS·m^{-1}. From the next cluster, The yield was decreased with the higher EC level. At the early stage of growth, BER occurred only in EC 3.0 dS·m^{-1}, but increased in all treatments with increasing irradiation. The incidence rate of EC 3.0 dS·m^{-1} was higher than that of the lower EC level treatment.

Additional key words : EC, drainage, blossom-end rot(BER), soluble solids content

서 론

최근 시설채소 수경재배 면적이 급격히 증가하고 있어 2010년, 971ha였던 재배면적은 2016년 2,264ha로 증가하였다. 이 중 토마토는 575ha로 지속적으로 생산면적이 증가하는 작목이다(농진청, 2016).

토마토 재배는 다양한 작형으로 4~7단으로 단기재배를 하는 것이 일반적이나 최근에 수경재배 농가에서는 연중재배하는 장기재배도 증가하고 있다. 장기재배 작형의 경우 대부분 전년 8~9월에 정식하여 익년 6~7월까지 재배하며 30~35화방까지도 수확하기 때문에 재배기간 동안 계절적인 환경변화가 매우 심하고 장기재배에 따른 작물 활력도 떨어지기 쉽기 때문에 재배자의 노력에도 불구하고 근권의 염류농도 변화가 커질 수밖에 없다.

또 최근에는 코이어가 토마토 수경재배 배지는 많이 이용되는데 급액된 무기이온이 배지에 흡착되거나 배지로부터 이온이 배출 될 수도 있는데(Ao 등, 2007), 장기재배에서는 이것이 크게 영향을 미칠 수 있기 때문에 이런 특성을 고려한 양분 관리가 필요하다. 그런데 코이어 배지를 이용한 수경재배에 관한 연구(Choi 등 2007; Kim 등 2008)가 많이 진행되고 있음에도 토마토 장기수경재배에서 배양액의 공급 조건이 근권부 무기이온과 생육에 미치는 영향을 구명하는 연구가 거의 이루어져 있지 않다.

*Corresponding author: k284077@gnu.ac.kr
Received September 08, 2017; Revised October 21, 2017; Accepted October 23, 2017

따라서 본 시험에서는 코이어를 이용한 토마토 장기 수경재배에서 급액농도가 근권의 무기이온 및 토마토 생육에 미치는 영향을 구명하고자 하였다.

재료 및 방법

대과종 토마토 '수퍼도태랑' 품종을 2014년 8월 19일에 파종하여 9월3일 암면블록에 이식하였으며 9월 23일에 정식하였다. 야마자키 토마토 배양액(7.0 NO_3-N, 2.0 P, 4.0 K, 3.0 Ca, 2.4 Mg me·L^{-1})을 이용하여 정식 후 4주 동안(10월 20일까지) 모든 처리에 EC 1.5dS·m^{-1} 의 동일 한 농도로 양액을 공급하였다. 10월 21일부터 처리별 급액 EC를 1.0, 1.5, 2.0, 3.0dS·m^{-1}로 달리하여 급액하였으며 처리별 배양액의 이온 조성은 아래 표와 같다.

급액량은 토마토 암면재배에서 월별 양액공급량을 기준으로 주당 1일 급액을 10월 1.05L, 11월 0.81L, 12월 0.67L씩 공급하다가 급액량 부족으로 배액율이 감소하고 배액의 EC가 급격히 상승하였기 때문에 2015년 1월 19일부터는 급액량을 증가시켜 배액율이 20-30%가 유지되도록 하였다. 처리 후 24주(4월 8일)에는 배액율 20-30% 유지 조건에서도 배액의 EC가 너무 높아져, 4월 8일부터 4월 12일까지 급액량을 늘여 근권의 EC를 떨어뜨렸다. 배액의 무기이온은 매월 분석 예정으로 시험을 진행하였으나 분석 주기가 너무 넓다고 판단되어 처리 후 13주(2015년 1월 20일)부터 매주 화요일 오후 5시에 배액을 채취하여 분석하였다.

Table 1. The chemical composition of nutrient solution for experiment.

EC (dS·m^{-1})	NO_3-N	P	S	K	Ca	Mg
	(mg·L^{-1})					
1.0	99.9	16.5	32.0	141.6	61.7	28.2
1.5	142.6	25.7	47.3	201.6	85.9	38.3
2.0	184.2	35.7	69.0	284.5	118.7	53.9
3.0	280.6	52.0	94.1	426.4	167.2	78.7

4처리 3반복으로 관수관을 따로 설치하였고 배수는 3개 처리를 합쳐 1개의 배수통에 집수하여 배액 무기이온 분석은 단구제로 조사하였다.

배액내 무기이온 분석에서 음이온(NO_3^-, PO_4^{3-}, SO_4^{2-})은 IC(DX-500, Dionex, Massachusetts, USA), 양이온(K, Ca, Mg)은 ICP(ICAP7400, Massachusetts, Thermo Scientific, USA)를 사용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

코이어 배지를 이용한 수경재배에서 2014년 10월 21일부터 급액 EC를 달리 공급하였을 때 배출된 배액의 EC 및 pH를 분석한 결과를 Fig. 1에 나타냈다. 급액 EC에 따른 배액의 EC는 고농도 급액구에서 높았다. 처리 후 4-7주에 2.0dS·m^{-1} 처리구를 제외한 세 처리에서 배액의 EC가 낮아졌고 EC 2.0dS·m^{-1}과 3.0dS·m^{-1} 처리구에서는 7주후에는 EC가 상승하였다. 배액의 분석 주기가 길어서 정확한 시기를 유추하기는 어렵지만 이 시기에 양분의 요구도가 높아서 배액의 EC가 낮아졌을 것으로 추정된다. 2015년 1월 19(처리 후 13주)일부터 증가시킨 급액량과 생육 반응의 결과로 3.0dS·m^{-1}, 2.0dS·m^{-1}, 1.0dS·m^{-1} 처리구 각각 처리 후 14주-19주, 15-19주, 16-21주 사이에 배액의 EC가 낮아졌다. 급액 EC가 높은 처리일수록 빠른 시기에 최고점을 형성한 후 EC 하락폭이 크고, EC가 낮은 처리일수록 반응이 완만하였다. 이것은 배지내 양분이 너무 많이 집적된 상태에서는 급액량 증가의 결과가 빠르게 나타난 반면에, 양분의 집적이 적은 처리에서는 배지의 완충능으로 인하여 반응이 완만하였던 것으로 판단된다.

배액의 pH는 재배기간이 경과할수록 낮아지는 경향을

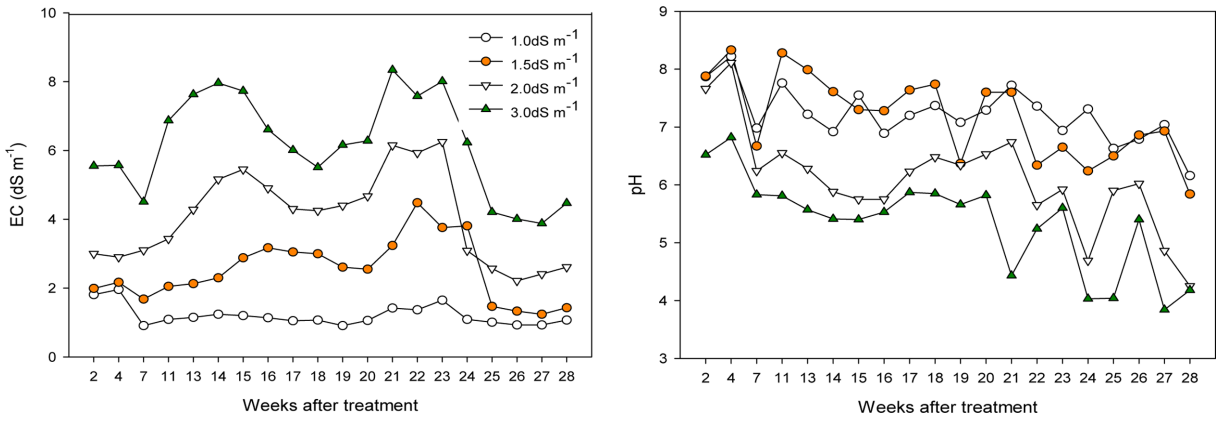

Fig. 1. Change in EC and pH in drainage solution as affected by EC level of irrigation solution.

나타내었으며 급액의 EC가 높아질수록 더 낮은 pH를 나타내었다. 수경재배에서는 pH 5.5-6.5가 가장 적정하나 5.0-7.0까지는 허용 가능하다고(Adams, 2002; Sonneveld, 2002) 하였는데 EC 1.0dS·m^{-1}, EC 1.5dS·m^{-1} 처리에서는 처리 후 24주까지 pH 6.5이상으로 적정 범위 보다는 높은 수준으로 유지되었다. 처리후 20주경부터는 pH가 떨어지기 시작하였는데 EC 2.0dS·m^{-1} 이상 처리구는 5.0이하로 떨어지기도 하였다. 이것은 낮은 EC에서 높은 EC보다 NO_3-N, P 같은 음이온을 양이온에 비하여 상대적으로 많이 흡수하였기 때문이라고 판단된다.

Fig. 2는 급액 EC에 따른 배액내 무기이온의 농도의 변화를 나타낸 것이다. NO_3-N은 EC 1.0dS·m^{-1} 처리구에서 처리 후 7주(12월 9일, 파종 후 16주)까지 급액농도 100mg·L^{-1} 보다 낮은 80mg·L^{-1} 정도 농도로 지속되다가 11주부터는 급액농도 수준과 비슷하거나 약간 높은 농도에서 유지되었다. EC 1.5dS·m^{-1} 처리구는 급액농도가 143mg·L^{-1}였으며 처리 후 4주(11월 10일)까지는 110mg·L^{-1} 내 정도로 급액농도 보다 낮게 유지되다가 농도가 가장 높았던 처리 후 18주에는 444mg·L^{-1} 까지 높아졌다. EC 2.0dS·m^{-1} 처리구는 급액농도가 184mg·L^{-1}였으며 처리 후 지속적으로 급액농도보다 배액농도가 높게 나타났고 농도가 가장 높았던 시기는 처리 후 15주에는 833mg·L^{-1} 까지 높아졌다. 급액의 EC가 가장 높았던 3.05dS·m^{-1} 처리구는 급액농도가 280mg·L^{-1}였으며 처리 후 2주부터

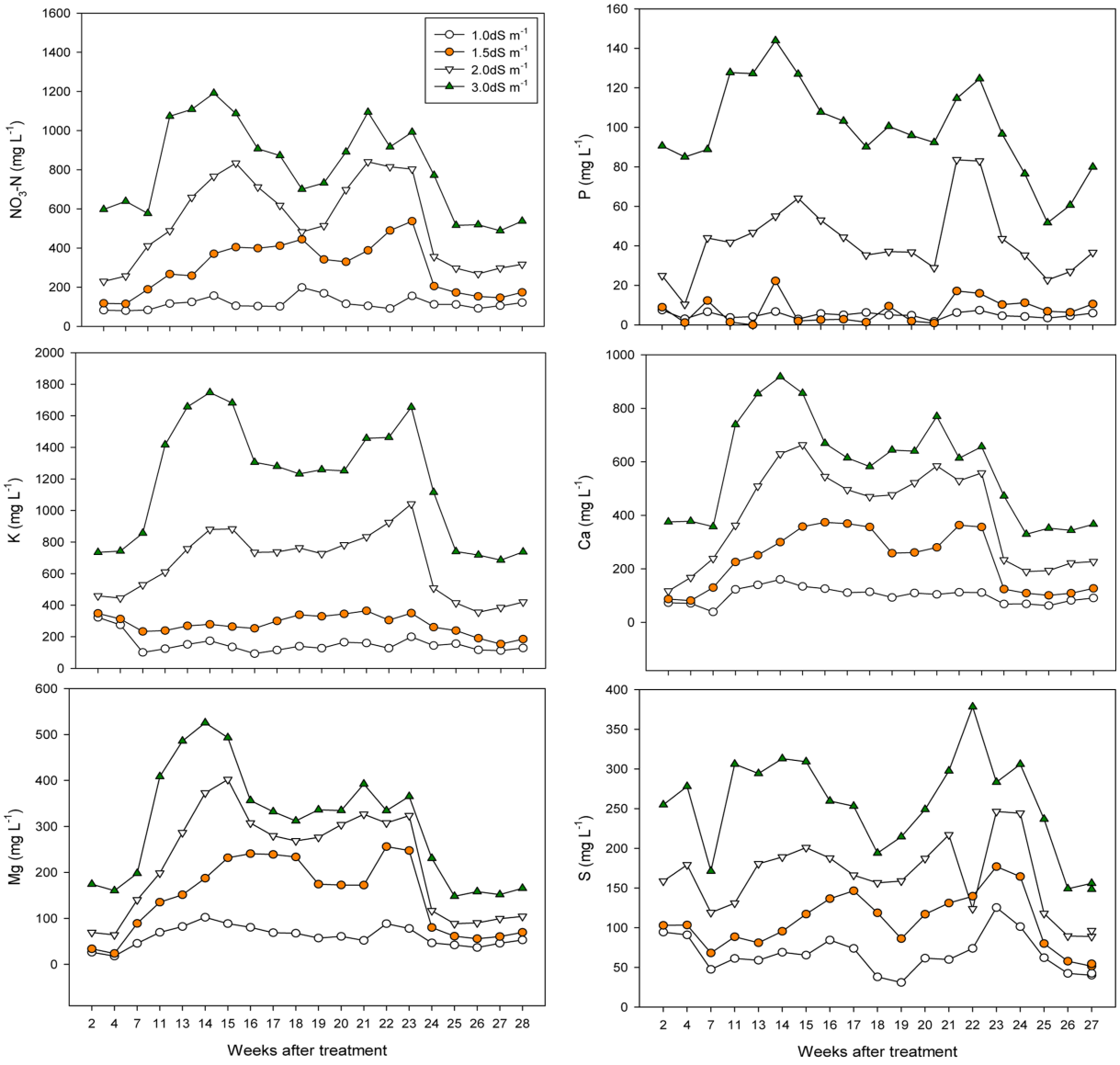

Fig. 2. Change in ion contents in the drainage as affected by EC level of irrigation solution.

Table 2. Growth of tomato plants as affected by EC level of irrigation solution.

EC ($dS \cdot m^{-1}$)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of cluster	No. of node
1.0	597.3 a	16.1 a	19.9 a	96.7 a
1.5	587.5 ab	17.2 a	20.5 a	98.1 a
2.0	589.7 ab	17.4 a	21.0 a	96.3 a
3.0	574.2 b	16.4 a	20.2 a	96.3 a

[Z] Means separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

급액농도 보다 2배 이상 높은 597mg·L^{-1} 였으며 가장 높았던 처리 후 14주에는 1,191mg·L^{-1} 까지 높아졌다 (Table 1 and Fig 2).

Voogt (1993)는 암면배지를 이용한 토마토 재배에서 파종 후 10주까지 NO_3-N를 높은 농도로(20mmol·L^{-1}) 흡수한 후 흡수농도가 10mmol·L^{-1} 내외로 감소한다고 하였다. 그런데 저농도 급액구에서 NO_3-N이 파종 후 13-16주까지 급액보다 배액에서 낮은 농도를 나타내는 것을 토마토의 NO_3-N흡수가 많기 때문이라고 판단한다면 Voogt의 결과와는 상당히 다른 결과인데 EC의 변화 추이에서도 나타났듯이 배지의 양분 흡착 혹은 완충능으로 인하여 공급된 양분의 변화가 배액에서는 상당히 지연되어 나타나는 것을 고려해서 해석해야 할 것이다.

그 외 다른 이온도 NO_3-N과 거의 비슷한 양상을 나타내었다. S와 K를 제외한 모든 이온이 저농도 급액구에서는 초기에 급액한 농도보다 배액에서 낮은 농도를 나타내었다. K는 처리후 4주까지 저농도 급액구에서도 농도가 높게 나타났는데 이것은 코이어 배지가 높은 농도로 K를 함유하고 있어서(Kipp 등, 2000; Noguera 등, 2003) 이것이 재배 이후 상당기간까지 배출되었기 때문으로 판단된다. 저농도 급액 처리구에서 배액에 특히 농도가 낮은 이온은 P와 K였으며 Ca, Mg, S는 근권에 쉽게 집적 되는 이온이었다.

결국, 배지 자체가 보유하고 있지 않거나 아주 저농도로 보유한 이온에 대해서는 재배 초기에 배액내 이온농도가 급액농도 보다 낮아서(NO_3-N, P, Mg) 배지에 의한 양분 흡착과 작물 뿌리의 양분 흡수의 경합이 상당 기간은 일어나는 것으로 판단되며 K는 코이어 배지에 높은 농도로 함유되어 초기에 방출되는 것으로 판단된다. 따라서 배액의 무기이온을 기준으로 적정한 급액 EC를 결정한다면 정식 후에는 2개월 정도는 약간 높은 농도로 급액하고, 배지의 양분흡착이 완료되는 시점부터는 농도가 상승하기 쉬우므로 급액농도가 지나치게 높지 않도록 유지하여야 할 것이다. 또 재배기간이 경과함에 따라서 공급 농도가 낮아도 집적되기 쉬운 이온(Ca, Mg, S)은 양액의 조성 비율을 낮게 하여 공급해야 할 것으로 판단된다. 또한 저농도 급액에서 배액에서 농도가 매우 낮게 나타났던 K와 P 이온을 보정할 필요가 있는지에 대한 추가적인 검증 연구가 필요하다고 판단된다.

Table 3. Characteristics of tomato fruit as affected by EC level of irrigation solution.

EC ($dS \cdot m^{-1}$)	Fruit			Soluble solids content (^{o}Brix)
	Weight (g)	Length (mm)	Width (mm)	
1.0	168.6 a	57.3 a	72.2 a	5.6 bc
1.5	155.9 b	56.2 ab	70.1 ab	6.0 b
2.0	117.9 c	50.4 b	63.0 b	7.1 a
3.0	98.4 d	48.0 c	59.2 c	7.2 a

[Z] Means separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

초장은 급액의 EC가 높을수록 작았으며 경경은 1.0dS·m^{-1}, 3.0dS·m^{-1}에서 중간 농도보다 작은 경향을 나타내었다. 그러나 엽수 및 화방의 발생 수 즉, 생육의 속도는 급액농도에 따라서 차이를 나타내지 않았다 (Table 2).

급액 EC별 토마토 과일의 크기는 EC가 높을수록 작아져서 과중, 과경, 과고가 작았다. 과실의 평균 과중은 1.0dS·m^{-1}처리구가 168.6g으로 가장 무겁고 3.0dS·m^{-1} 처리구는 98.4g이었다(Table 3). 배양액의 농도와 과실 크기 및 당도에 대한 연구(Cornish, 1992; Cuartero and Fernandez-Munoz, 1999)에서 공통적으로 EC가 높아지면 당도가 높아진다고 한 결과와는 일치한다.

Fig. 3은 급액 EC에 따른 배꼽썩음과의 발생율을 시기별로 조사한 것이다. 배꼽썩음과는 급액의 EC가 높을수록 발생율이 높았고 생육초기에는 EC 3.0dS·m^{-1}에서만 주로 발생하다가 일사량이 많아지는 시기에 모든 처리에서 발생율이 급격히 증가하였다. 고온기에 배꼽썩음과 발생이 많은 것은 Ca는 물관을 통하여 운송되는데 여름에는 증산이 많기 때문에 흡수된 Ca가 잎으로 이동하여 과일까지 분배되지 않기 때문이라고 하였으며(Bakker, 1990), 배꼽썩음과는 급액 EC가 높아 Ca 농도가 높았던 처리에서 다른 처리에 비하여 발생시기가 빠르고 발생율도 높았는데 염류가 높은 환경에

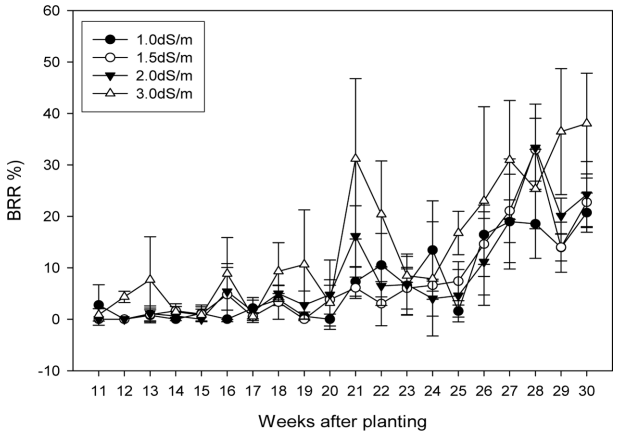

Fig. 3. Incidence of blossom-end rot of tomato fruit as affected by EC level of irrigation solution. Values represent the means ± standard deviations.

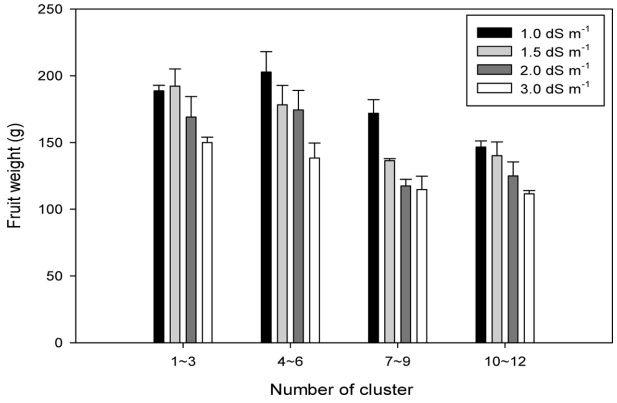

Fig. 4. Distribution of fruit weight as affected by EC level of irrigation solution. Values represent the means ± standard deviations.

서는 배양액에 고농도의 Ca투입만으로는 배꼽썩음과를 막을 수 없다고 하였던 Hossain (2012)의 결과와 일치하였다.

12월 25일 첫 수확을 시작으로 2월까지는 평균적으로 1화방 수확까지 15일이 소요되었으며 3월 이후는 약간씩 단축되어 4월 23일 12화방까지 수확하였다. 급액의 EC에 따른 평균과중은 1-3화방까지는 1.0dS·m^{-1}과 1.5dS·m^{-1}농도에서 차이가 없고 2.0dS·m^{-1}이상에서는 과중이 가벼웠다. 4화방 이후 화방에서는 급액 EC가 높을수록 과중이 가벼웠다. 배양액의 높은 EC로 인한 과실크기의 감소는 많은 결과(Verkerke 등, 1992; Verkerke and Gielesen, 1991)를 통하여 알려져 있으며 과실의 수량과 당도 등의 품질특성도 상품성을 결정하는 중요한 요인이기 때문에 이를 고려한 배양액 농도 관리가 필요하다(Fig. 4).

Fig. 5는 급액 EC에 따른 화방별 수확 과수와 수량을 조사한 결과이다. 수확 과수와 수량은 9화방까지는 EC 1.0과 1.5dS·m^{-1}처리 간의 차이가 없었다. 재배기간 동안 발생한 생리장해(마그네슘 결핍)의 영향으로 7-9화방의 수량은 처리에 관계없이 매우 적었다(데이타 생략). 10화방 이상(4월 이후에 수확)에서 수확 과수는 EC 1.0dS·m^{-1} 처리만 10-15화방까지 화방 당 3과 이상 수확되었고, 그 보다 높은 EC 처리구는 수확 과수가 훨씬 적었는데 2-3월의 배액내 무기이온 농도 상승과 관련이 있을 것으로 판단된다. 10-15화방의 수량은 착과수와 과중의 영향으로 급액농도가 높을수록 수량이 감소하였다. 16화방부터 18화방에서는 1.5dS·m^{-1} 처리구에서 수확 과수가 많아 수량이 1.0dS·m^{-1}보다 많았다. 이것은 4월의 인위적인 급액 증가로 인한 근권의 이온농도가 저하가 영향을 미친 것으로 판단된다.

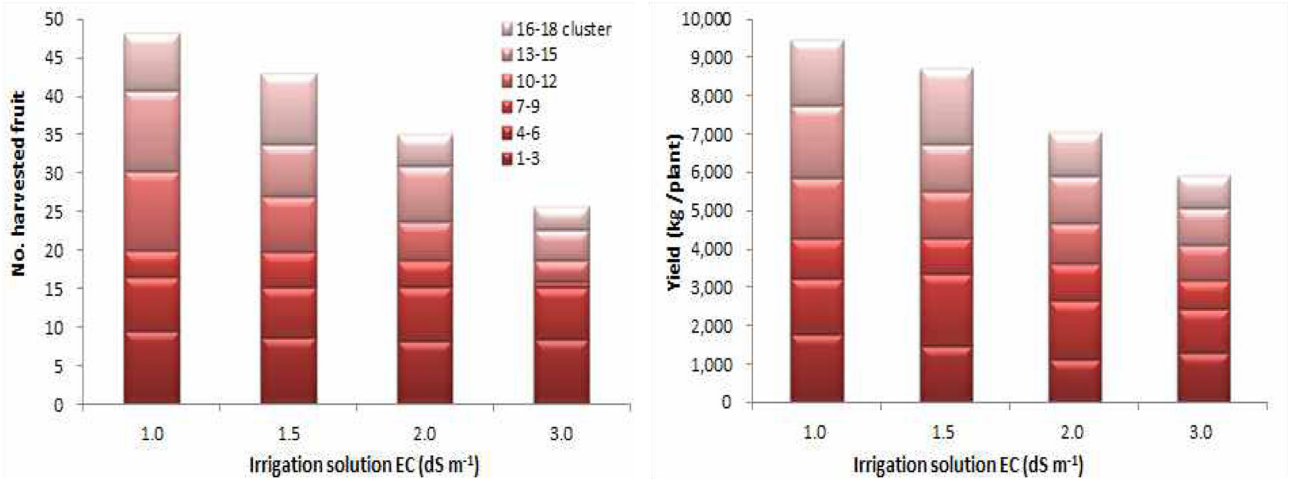

Fig. 5. Distribution of harvested fruit number and yield as affected by EC level of irrigation solution.

적 요

수경재배에서는 제한된 근권에서 작물의 양수분 흡수 특성을 고려하여 양액을 공급하여 재배하고 있지만 작물의 무기이온 흡수는 기상조건이나 작물의 생장에 의해 이온간 흡수비율이 달라지므로 근권내 이온의 균형이 깨지기 쉽다. 그런데 최근에는 토마토 재배에는 무기배지인 암면을 대체하여 코이어 배지가 주로 이용되고 있는데 코이어 배지를 이용한 장기재배에서 양액의 공급이 근권과 생육에 미치는 영향에 관한 연구는 거의 없다. 따라서 본 시험에서는 코이어를 이용한 토마토 장기 수경재배에 급액의 EC농도가 근권의 무기이온과 생육에 미치는 영향을 구명하고자 하였다.

칩과 더스트가 5:5로 혼합된 코이어 배지를 이용하였으며, 급액의 EC를 1.0, 1.5, 2.0, 3.0 $dS \cdot m^{-1}$ 로 달리 공급하였다.

급액 EC가 낮은 1.0$dS \cdot m^{-1}$, 1.5$dS \cdot m^{-1}$ 처리구에서는 NO_3-N, P, Ca, Mg 이온이 초기에 급액농도 보다 배액의 농도가 낮았다. 그러나 P를 제외한 모든 이온이 EC 2.0$dS \cdot m^{-1}$ 농도 보다 농도로 급액한 것은 배지내 농도가 매우 높아졌다. 배액에 특히 높아지는 이온은 S와 Mg였다. 평균 과중은 3화방까지는 EC 1.0$dS \cdot m^{-1}$, 1.5$dS \cdot m^{-1}$ 간에 큰 차이가 없었으나 이후로는 급액의 EC가 높을수록 과중이 작았다. 6화방까지 수확 과수와 수량이 1.5$dS \cdot m^{-1}$가 가장 많았으나 재배기간이 경과할수록 고농도 급액구의 수량이 감소하였다. 배꼽썩음과는 생육초기에는 주로 EC 3.0$dS \cdot m^{-1}$ 처리에서만 발생하였으나 일사량이 증가하면서 모든 처리에서 발생하였다. 발생율은 EC 3.0$dS \cdot m^{-1}$ 처리구가 높고, 더 낮은 농도 처리에서는 발생율의 차이가 없었다.

추가 주제어 : EC, 배액, 배꼽썩음병, 당도

사 사

본 연구는 농촌진흥청 기관고유사업(PJ011385)의 지원에 의해 수행되었음.

Literature Cited

Adams, P. 2002. Nutritional control in hydroponics. In D. Savvas & H.C. Passam, eds. Hydroponic production of vegetables and ornamentals. p. 211-261.

Bakker, J.C. 1990. Effects of day and night humidity on yield and fruit quality of glasshouse tomatoes (Lycopersicon esculentum Mill.). J. Hort. Sci. 65(3):323-331.

Choi, E.Y., K.Y. Choi, and Y.B. Lee. 2013. Scheduling non-drainage Irrigation in coir substrate hydroponics with different percentages of chips and dust for tomato cultivation using a frequency domain reflectometry sensor. Protected Horticulture and Plant Factory 22(3):248-255.

Cornish, P.S. 1992. Use of high electrical conductivity of nutrients solution to improve the quality of salad tomatoes grown in hydroponic culture. J. Expt. Agr. 32:513-520.

Cuartero, J. and F.M. Rafael. 1999. Tomato and salinity. Scientia Hort. 78:83-125.

Hossain, M.M. and H. Nonami. 2012. Effect of salt stress on physiological response of tomato fruit grown in hydroponic culture system. Horticultural Science 39(1):26-32.

Kim H.C., H.S. Cha, C.S. Kim, H.J. Jin, Y.B. Lee, and J.H. Bae. 2008. Optimum concentration of supply nutrient solution in hydroponics of sweet pepper using coir substrates. J. Bio-Env. Con. 17(3):210-214.

Kipp, J.A., W. Wever, and de Kreji. 2000. International substrate manual. Elsevier International Business Information.

Noguera, M., R. Abad, and A. Marquiera. 2003. Coconut coir waste, a new and viable ecologically friendly peat substitute. Acta Hort. 517:279-286.

Rural Development Administration. 2016. Statistical data of rural development in Korea.

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

Sonneveld, C. 2002. Composition of nutrient solution. In: D. Savvas and H. Passam (eds.). Hydroponic production of vegetables and ornamentals. Embryo publications, p. 179-210.

Verkerke, W. and W. Gielesen. 1991. Tomaat. Hoge EC verbetert stevigheid. Groenten +Fruit/Glasgroenten 13:38-39.

Verkerke, W., W. Gielesen, and R. Engelaan, 1992. Tomaat-langer houdbaar door stevigere schil. Groenten + Fruit/Glasgroenten 7:22-23.

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