

배액전극제어법을 이용한 토마토 펄라이트 자루재배시 일회급액량 구명

김성은^{1*} · 심상연² · 이상돈¹ · 김영식¹

¹상명대학교, ²경기도농업기술원

Appropriate Each Irrigation Quantity in Irrigation System Controlled by Drainage Level Sensor for Perlite Bag Culture of Tomato

Sung Eun Kim^{1*}, Sang Youn Sim², Sang Don Lee¹, and Young Shik Kim¹

¹Sangmyung University, Cheonan 330-720, Korea

²Gyeonggi-do Agricultural Research & Extension Services, Hwasung 445-300, Korea

Abstract. This research was conducted to investigate the effects of irrigation quantity in irrigation management system controlled by drainage level sensors for perlite bag culture on the growth and yields of tomatoes during different growth stages. Tomato plants were irrigated with four selected methods; supplying small quantity (~70 mL) during entire growth (S-S), large quantity (~145 mL) during entire growth (L-L), small quantity before harvesting the first cluster fruits and large quantity after harvesting (S-L), and large quantity until harvesting the first cluster fruits and small quantity after harvesting (L-S). The irrigation quantity supplied in each time was gradually adjusted along with the ratios as the tomato crop grew during different growth stages. The growth of the tomato plants was unstable and slow during the entire cropping period when the plant was irrigated by small or large quantities (S-S or L-L). In L-S treatment, the growth phase of the tomato was changed from vegetative to generative growth on the basis of the plant development index when each irrigation quantity was changed. The L-S treatment exhibited the largest root volume and yields with stable drainage ratios. Therefore, the optimum irrigation quantity was determined as 145 mL before harvesting the first cluster fruits and 70 mL after harvesting.

Additional key words: generative growth, growth phase, hydroponics, *Solanum lycopersicum*, vegetative growth

서 언

작물의 총생산비용에서 물과 비료의 비용이 차지하는 부분은 크지 않지만, 환경문제 등을 고려하여 물과 비료의 사용을 제한하는 방향으로 연구가 진행되고 있다(Biernbaum, 1992; Bonachela et al., 2010). 수경재배에서 급액제어법과 급액 관리는 용수와 비료를 아끼면서 생산성을 높이는 중요한 인자이다(Rouphael et al., 2005). 토마토에 대해서도 급액제어법과 급액관리에 관한 연구가 많이 진행되고 있다(Bonachela et al., 2010; Sezen et al., 2010; Wu and Kubota, 2008).

한국에서 가장 일반적으로 사용하는 급액제어법으로는 타이머제어법과 일사량제어법이 있으며, 수분센서를 이용한 방법 및 배액전극제어법(Kim, 2003)의 사용이 최근 늘고

있다. 배액전극제어법을 비교 실험한 결과 배액전극제어법이 작물의 생육과 배지내 수분조절에 가장 바람직한 제어법이라고 보고하였다. 또한, 급액횟수가 적산일사량, 온도, 습도 등 다양한 환경 변화에서 식물체의 요구에 능동적으로 변하며 배지내 수분함량이 안정적으로 유지되었다고 밝혔다(Kim et al., 2010).

급액관리는 배지내 적정 수분함량을 유지하고 변화폭을 조절하기 위해 행해지며, 식물생육에 직접적으로 큰 영향을 미친다. 급액관리에 관여하는 인자로는 급액시간대, 급액간격, 일회급액량 등이 있다. 급액간격이나 급액횟수는 타이머 제어법이나 일사량제어법에서는 중요한 고려인자이지만, 배액전극제어법을 적용할 경우, 작물의 수분요구도에 적극적으로 반응하여 자동으로 수분공급이 이루어지기 때문에 그다지 중요하지 않은 인자이다. 참외 수경재배 시 타이머

*Corresponding author: kimsuda72@hanmail.net

※ Received 29 September 2010; Accepted 19 November 2010. 이 논문은 농촌진흥청 연구비에 의하여 연구되었음.

제어법에 의해 급액 횟수가 조절될 때, 그 횟수는 EC와 pH의 변화에 큰 영향을 미치지 않았지만, 배양액의 무기이온별 외관상 흡수농도에는 직접적인 영향을 미쳤다(Jun et al., 2001). 특히 생육단계에 적절한 급액 횟수의 조절은 참외의 수량과 과실의 품질을 결정하는 중요한 요소였다. 또한, 오이의 수정재배에서도 급액 스케줄이 오이의 생육과 수확량 향상에 큰 영향을 미쳤다(Park et al., 2003). 토마토 수정재배에서는 근권제한이나 극단적인 급액횟수관리를 통한 고당도 토마토재배가 시도되고 있는데 과실의 비대가 억제되어 총수확량이 감소되고, 과피의 경도가 높아져 식감이 떨어지는 등 생산성과 품질의 문제점들이 보고되고 있다(Araki, 1993; Ohkawa and Hayashi, 1996).

급액시간대는 급액이 이루어지지 않는 시간대의 배지내 수분함량을 결정짓기 때문에 매우 중요하며, 이전의 토마토 펠라이트 자루재배 실험에서 고온기에는 일몰 2시간 전에 급액을 마감하는 것이 수확량 및 용수이용효율에서 가장 적합한 것으로 나타났다(Sim et al., 2009). 일회급액량은 급액 시간대에 배지의 수분함량과 수분함량의 변화폭을 결정짓는 매우 중요한 인자이다. 일반적으로 수정재배에서는 근권 환경을 안정시키기 위해 작물의 수분요구도보다 많은 양의 급액이 이루어지는데, 이는 배지의 과습과 토마토의 과번무를 초래하여 과실비대를 지연시키거나 생리장해과 발생의 원인이 된다(Cho et al., 1998; Choi et al., 1999). 따라서 토마토 수정재배에서도 급액제어법과 급액관리는 매우 중요하다고 할 수 있다.

타이머제어법이나 일사량제어법에 의한 급액제어시에는 일회급액량의 영향이 급액간격과 밀접한 관계를 갖기 때문에 이에 대한 연구가 많이 이루어졌으나(Jun et al., 2001; Park et al., 2003), 펠라이트자루재배에서 배액전극제어법을 적용한 경우에는 일회급액량에 대한 연구가 이루어지지 않았다. 따라서 본 연구는 토마토 펠라이트 자루재배에서 급액방법으로 배액전극제어법 적용시 생육단계별 적정 1회 급액량을 구명함으로써 적정급액관리방법을 도출하기 위해 수행되었다.

재료 및 방법

본 연구는 2009년 12월 9일부터 경기도농업기술원 양지봉식 유리온실(폭 9.6m, 길이 16m, 측고 4.6m, 동고 7m)과 벤토형 유리온실(폭 21.9m, 길이 24.4m, 측고 3.05m, 동고 4.85m)에서 수행하였다. 대과종 토마토 도테랑 골드(Takii. Co. Ltd, Japan)를 2009년 12월 9일 50공 플러그육묘판(상토:피트모스)에 파종했으며, 양지봉식유리온실에서 1일 1회

(오전 11시 30분) 급액하며 육묘하였다. 육묘기간중 35일 이후부터는 Yamazaki 토마토 전용배양액을 pH 6.5, EC $0.5\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 로 조정하여 시비하였다. 2010년 1월 26일 본엽 7-9매, 1화방 출현시 벤토형 유리온실에 정식하였다. 펠라이트 자루(W 350 × L 1,200 × H 150mm, 용량 40L)는 정식 전날 정식용 양액으로 포수한 후, 정식 직전 배액구를 뚫은 다음, 자루 당 3개의 구멍을 내고 한 구멍마다 2그루씩 정식하였다. 배액구는 자루의 한쪽 면에만 그루와 그루 사이의 정중앙에 바닥에서 3cm 높이에 수평으로 5cm 길이로 만들었다. 재식간격 40cm, 줄 간 간격은 1.8m로 하였다.

정식후 실험처리전의 급액량은 1회에 그루당 30초/회(약 38-40mL)씩이며, 1일 급액시간은 8시-17시(총 9회)로 하였다. 사용한 배양액은 Yamazaki 토마토 전용배양액이었으며, pH 6.5, EC $1.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 로 조정하였다. EC는 생육단계에 따라 $0.2\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 씩 상향조정하였으며 $2.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 을 넘지 않도록 하였다.

실험처리로는 Kim(2003)의 방법에 준해서 배액전극제어법을 적용하여 일회급액량을 전실험기간동안 적게 주는 S-S(약 70mL/회)처리와 많이 주는 L-L(145mL/회 급액처리)처리, 1화방수확기를 기점으로 적게 주다가(약 70mL/회) 두배로 급액량을 늘이는(약 145mL/회) S-L처리와 많이 주다가(약 145mL/회) 반으로 줄이는(약 70mL/회) L-S처리를 두었다. 적게 주는 처리에 설정된 일회급액량은 관행적 타이머 제어법에서 급액하는 양에 준하였고, 많이 주는 급액량은 적게 주는 처리의 두 배로 설정하였다. 실험특성상 실험은 단구제였으며, 각 처리당 3반복했으며, 반복당 2자루(12개체)를 사용하였다. 모든 실험구의 1일 급액시간은 8시-17시로 하였고, 배양액의 공급은 자동공급장치(Agronic 4000, Spain)를 이용하였다.

각 처리는 급액제어용 재배틀과 급액과 배액의 계측을 위한 weighing bed와 weighing sensor로 구성하였다. Weighing sensor로는 Load cell(model: SB-50L, CAS Corporation, Korea)을 사용하였으며, 중량값은 indicator(AI-1600, CAS Corporation, Korea)를 통해 24channel multiplexer(MOXA Corporation, Korea)에 연결되도록 설계하였고 1분마다 저장하였다.

재배시 측지는 7cm 이상에서 모두 제거했으며, 2010년 3월 2일부터 매주 3회 맑은 날에 착과제(토마토톤, 영일화학)를 500배 희석하여 살포하였다. 적엽은 수확이 끝난 화방 이하에서, 적화 및 적과는 기형과 발생률이 높은 1번과 5번 이하에서 실시하여 화방당 과실이 2-3개가 수확되도록 조절하였다. 수확은 과실이 80%정도 착색되었을 때 처리별, 화방별로 수확하였고, 2화방에서 5화방까지의 상품과(100-400g

내외의 등근 구형)와 기형과(배꼽씩음과, 창문과, 난형과 등), 소과(100g 이하), 당도 등을 조사하였다. 2010년 4월 12일에 1단 수확을 시작으로 6월 3일에 수확을 종료하였다.

생육조사는 2010년 6월 7일에 실시하였고, 처리별로 36주의 생체중, 초장, 엽장, 엽폭, 경경, 마디수 등을 측정하였다. 각각의 개체에서 가장 긴 잎을 선정하여 엽장과 엽폭을 측정하였고, 경경은 배지에 가장 가까운 지제부의 넓은 부분을 측정하였다.

실험처리가 작물의 성장양상에 미치는 영향을 알아보기 위해 각 처리별로 36개체를 대상으로 주 1회(목요일), 성장



Fig. 1. Method to measure the stem diameter at the uppermost flowering truss. The upper arrow and the lower arrow show the place of growing tip and the uppermost flowering truss.

강도(경경)와 성장균형 정도(개화위치)를 조사하여 식물생육지표를 작성하였다. 경경은 성장점의 위치를 유인줄에 표시한 후 주 1회(목요일) 같은 시간에 1주일 전의 성장점 위치에 있는 줄기 직경을 측정하였고, 그 부분이 마디인 경우 바로 아래 부분을 측정하였다. 원형이 아닌 경우 굽은 곳의 줄기를 측정하였다. 개화위치는 성장점의 끝 부분에서 개화한 최상위 화방이 달려있는 화경(줄기)의 밑 부분까지의 거리를 측정하였다(Fig. 1). 이 자료를 바탕으로 횡축에는 개화위치, 종축에는 경경을 바탕으로 식물생육지표를 작성했으며, 작물의 성장양상 판단에 사용하였다.

또한, 일회급액량 처리가 뿌리발달에 미치는 영향을 알아보기 위해, 생육조사와 함께 처리당 2자루씩 견본을 선택하여 Sim et al.(2009)의 방법에 준하여 자루를 횡단면으로 잘라서 뿌리 단면을 Schiff's Reagent(Sigma-Aldrich.Inc, UK)로 염색하여 촬영하여 이미지 분석프로그램(I-solution, INNERVIEW Co.)을 사용하여 분석하였다. 통계처리에는 SAS 통계패키지를 이용하였다.

결과 및 고찰

급액제어법으로 채택한 배액전극제어법에서는 다양한 일일 적산일사량, 온도, 습도에서도 식물체의 요구에 능동적으로 급액 횡수가 변하며 배지내 수분함량이 안정적으로 유지되었다(Fig. 2). 또한 작물의 전 생육기간 중 배지무게가 일정한 범위 내에서 움직였으며, 이를 통해 배지내 수분함량이 안정적으로 유지되었음을 알 수 있었다(자료 미제시). 따라서 배액전극제어법은 생육시기에 관계없이 작물이 필요로 하는 고유의 적정 함수율 변화에 적극적으로 대처가 가

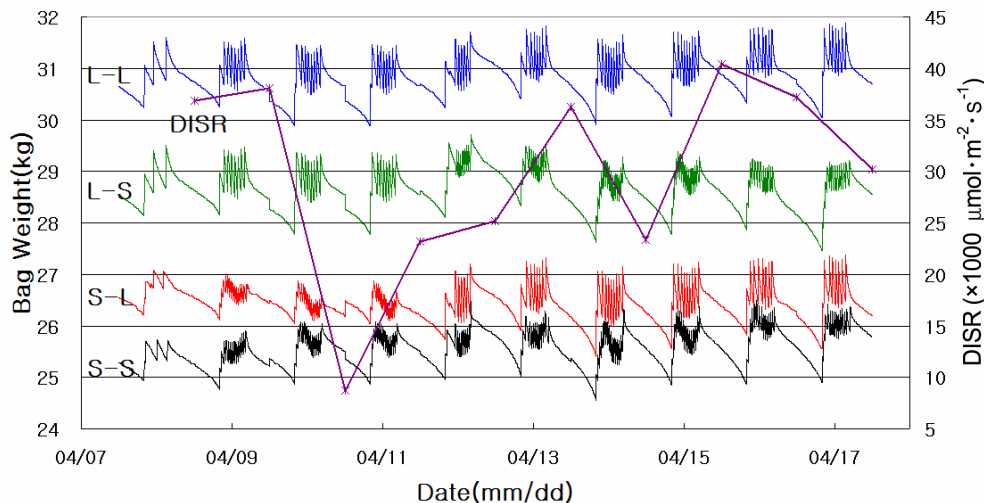


Fig. 2. Bag weight and daily integrated solar radiation (DISR) by various irrigation management methods. L-L: Irrigation time was longer still, L-S: Irrigation is a long time has been shortened, S-L: Irrigation is a short time has been prolonged, S-S: Irrigation time was shorter still.

능한 급액방법이라는 보고(Kim et al., 2010)가 확인되었다. 소량급액 처리(S)와 다량급액 처리(L) 사이에 급액횟수가 약 두 배 정도 차이가 있는데, 이는 일회급액량이 많으면 소회 급액(다량소회)이 되고 일회급액량이 적으면 다회 급액(소량다회)이 됐기 때문이며, 하루 중 총 급액량은 모든 처리에서 거의 비슷한 것으로 조사되었다. 이는 급액방법으로

적용한 배액전극제어법이 작물의 생육기간동안 필요로 하는 배지내 적정 함수율 변화에 능동적으로 반응하는 급액제어법임을 증명한다.

배액율의 경우 실험초기에는 처리간 차이가 크지 않았으나, 실험후기로 갈수록 S-S처리, S-L처리, 및 L-S처리에서는 8-15% 범위로 다소 낮았지만 일정한 배액율을 나타냈으

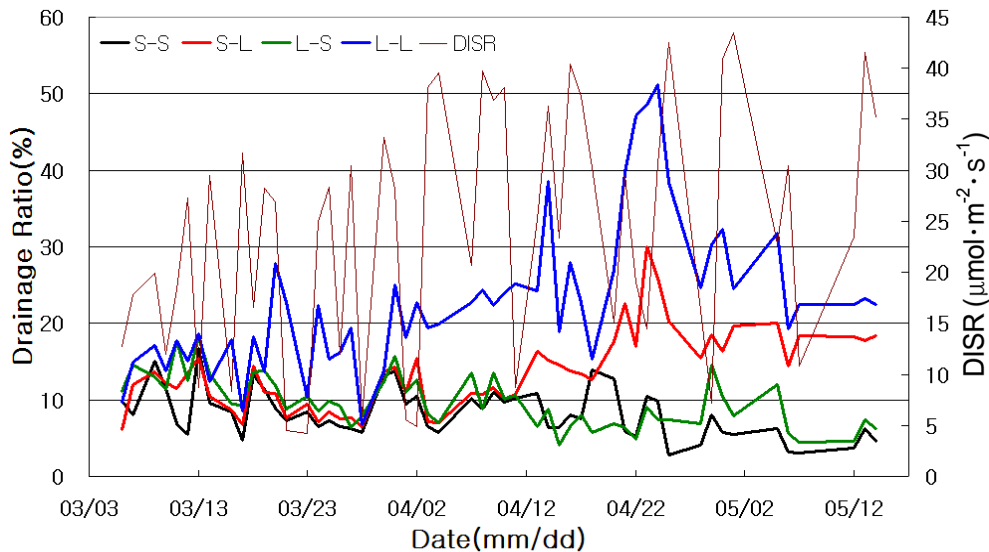


Fig. 3. Drainage ratio (%) in various irrigation management methods. S-S: Irrigation time was shorter still, S-L: Irrigation is a short time has been prolonged, L-S: Irrigation is a long time has been shortened, L-L: Irrigation time was longer still, DISR: Daily integrated solar radiation.

Table 1. Growth characteristics of tomato in perlite bag culture in various irrigation management methods (June 7, 2010).

Treatment ^z	Plant height (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Stem diameter (mm)	Number of node	Fresh weight (g/plant)
S-S	249	50.2	59.5	12.0	32.2 b	1500 c
S-L	246	51.5	60.4	12.3	32.2 b	1754 a
L-S	250	52.2	61.0	12.2	32.4 b	1585 b
L-L	246	52.0	62.6	12.4	33.0 a ^x	1581 b
F-test	ns ^y	ns	ns	ns	**	**

^zS-S: Irrigation time was shorter still, S-L: Irrigation is a short time has been prolonged, L-S: Irrigation is a long time has been shortened, L-L: Irrigation time was longer still.

^yNo statistical significance.

^xMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $P = 0.05$.

Table 2. Yield and fruit quality of tomato in perlite bag culture in various irrigation management methods (investigated on June 3, 2010).

Treatment ^z	Total yield (g/plant)	Marketable yield (g/plant)	Small fruit < 100 g (g/plant)	Marketable yield ratio (%)	Sugar contents (°Brix)
S-S	1575 b	1499 b	76.0 b	95.2	5.6
S-L	1478 bc	1385 c	92.8 b	93.7	5.6
L-S	1786 a	1678 a	108 ab	93.9	5.6
L-L	1446 c	1330 c	116 a	91.9	5.5
F-test	**	**	**		ns

^zS-S: Irrigation time was shorter still, S-L: Irrigation is a short time has been prolonged, L-S: Irrigation is a long time has been shortened, L-L: Irrigation time was longer still.

^yNo statistical significance.

^xMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $P = 0.05$.

며, L-L처리만이 7-39% 범위의 큰 편차를 보였다(Fig. 3). Kim et al.(2010)은 배액전극제어법을 적용한 경우, 급액량과 배액율이 DISR(Daily Integrated Solar Radiation)에 많은 영향을 받는다고 보고하였는데, 본 실험에서는 작물 생육이 나뉘던 L-L처리에서 배액율이 불안정했던 것에 미루어보아 작물 생육도 영향을 주는 것으로 사료된다(Tables 1 and 2). 배지경 재배시 배액율을 보통 20-30%로 유지하는 것이 좋은 것으로 알려져 있으나(Roh, 1997; Schon and Compton, 1997), 본 실험에서는 15% 이내의 배액율에서도 생육이 양호하였다(Table 1).

토마토는 생육기간 동안 영양생장과 생식생장을 동시에 하는 작물이다. 성장강도(경경)와 성장상(개화위치)을 그래프로 나타낸 식물생육지표(Stradiot and Battistel, 2003)를 실험기간동안 조사하여 일회급액량 처리가 작물의 성장양상에 어떤 영향을 미치는지를 판단하였다(Fig. 4). 모든 실험구에서 처리 전에는 영양생장과 생식생장을 반복하는 성장양상을 보였다. 그러나 처리 후에 S-S처리에서는 성장강도와 균형의 변화가 일정하지 않았고, S-L처리와 L-L처리에서는 영양생장 방향으로 움직였다. S-L처리와 L-L처리에서 성장균형이 영양생장쪽으로 움직이고(Fig. 4), 수확량도 다른 처리에 비해 적은 것은(Table 2) 과습이 토마토의 과번무를 초래하여 과실비대를 지연시키거나 생리장해과 발생의 원인이 된다는 Cho et al.(1998)과 Choi et al.(1999)의 보고와 유사하였다. L-S처리는 성장균형이 생식생장으로 바뀌는 변화를 볼 수 있는데, 적당한 수분 스트레스가 과실

발달에 유리하다는 Araki(1994)의 실험보고와도 같았다. 이러한 성장양상의 차이는 수확량에서도 비슷하게 나타났다(Table 2).

식물생육을 조사한 결과, 생체중은 S-L처리가 가장 좋았다(Table 1). 마디수는 배액율이 가장 높고, 균일하지 못했던 L-L처리에서 많았다. 이는 An et al.(2005)의 토마토 실험에서 배액율이 높을수록 초장이 길고, 마디수가 많아져 웃자란다는 보고와 일치했다. 다른 항목들에서는 통계적 유의성이 없었다.

수확량은 2화방에서 5화방까지 조사하였다. 1화방을 조사에서 제외된 이유는 육묘온실로 사용한 양지봉식 유리 온실 난방기가 1월 1일부터 4일까지 4일간 고장이 나서 이 기간의 야간기온이 10℃ 이하로 내려가(자료 미제시) 1화방 화아분화기에 저온장해를 입었을 것으로 판단되었기 때문이었다(Hanke et al., 2007; Thakur et al., 2010). 총수확량과 상품과량은 L-S처리가 가장 좋았다. 소과는 L-L처리에서 가장 많았고, 당도는 처리간 차이를 보이지 않았다(Table 2). 또한, 모든 처리에서 상품과율이 90%이상으로 높게 나타났다.

실험종료후 생육조사와 함께 펠라이트 자루를 횡단면으로 잘라서 처리에 따른 뿌리 분포를 측정하여 차이를 조사하였다(Table 3). 전 실험기간 동안 일회급액량 처리에 따라 급액횟수는 차이가 났지만, 1일 총급액량의 차이는 거의 없었는데, 뿌리분포는 지상부 생육이 가장 좋지 않은 L-L처리가 가장 적었고, S-S처리, S-L처리, L-S처리 순으로 많았다.

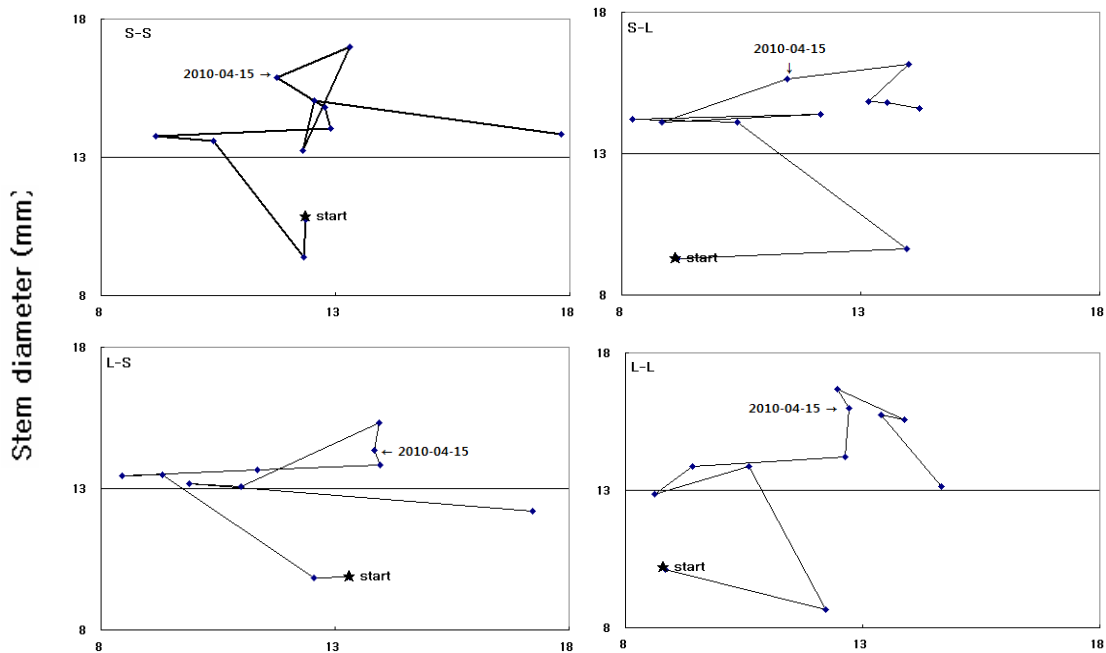
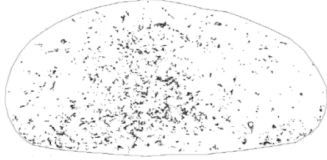
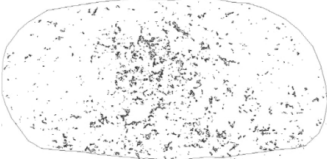
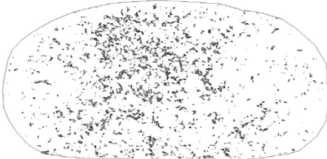
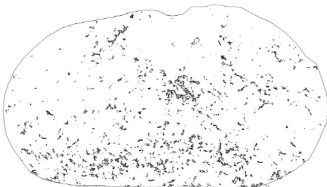


Fig. 4. Plant Development Index from Mar. 5, 2010. - May. 14, 2010. Black circles show the start day for the measurement. Arrow shows the first day (April 15, 2010) to measure after the treatment was changed.

Table 3. Root distribution and area in perlite bag according to various irrigation management methods.

Treatment ^z	1 cm from the stem	Root area in substrate (%)
S-S		15.5 b ^y
S-L		17.2 a
L-S		18.1 a
L-L		11.9 c
F-test	*	

^zS-S: Irrigation time was shorter still, S-L: Irrigation is a short time has been prolonged, L-S: Irrigation is a long time has been shortened, L-L: Irrigation time was longer still.

^yMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $P = 0.05$.

뿌리는 모든 실험구에서 자루전체에 일정하게 분포되어 처리간 차이가 없었다. Li et al.(2001)은 1일 총급액량이 동일할 때, 일회급액량이 적고 급액횟수가 많아질수록 근권부 전체에 균일하게 양액을 공급받을 수 없으므로 작물은 수분 스트레스를 받는다고 보고하였는데, 본 실험에서 1일 총급액량은 차이가 없었으나 일회급액량이 적은 경우 뿌리발달은 양호하였다. 즉 본 실험에서는 소량급액의 경우라도 수분 스트레스는 없었던 것으로 사료된다.

이상의 결과, 배액전극제어법에 의한 토마토 펄라이트 자루재배에서 일회급액량은 작물의 생육과 수확량에 영향을 주는 것으로 나타났다. 작물의 전 생육기간동안 일회급액량이 많거나, 적으면 배액율이 낮고 불안정해지며 생육에 좋지 않았다. 안정적인 배액율과 뿌리량 및 수확량을 고려한다면 일회급액량을 생육단계에 맞게 변화시키는 것이 좋은 것으로 사료된다. 즉, 정식 후 1단 수확기 이전까지는 일회급액량을 약 145mL로 많이 주다가 이후에 70mL까지 줄여주는 L-S처리가 가장 뿌리량과 수확량이 가장 많았고,

배액율도 안정적이었다. 또한, L-S처리로 일회급액량에 변화를 주었을 때, 토마토의 성장양상이 영양생장에서 생식생장으로 바뀌는 것도 확인하였다. 따라서 토마토 재배시 일회급액량을 생육단계에 따라 달리 해 주어 급액패턴을 다량소회에서 소량다회로 변화시켜 주는 것이 토마토의 생육과 수확량에 효과적이라는 사실을 알 수 있었다. 본 실험은 8단까지 재배하여 5단까지 수확량을 조사하였으므로 장기재배를 할 경우에 대한 연구는 더 진행되어야 할 것으로 사료된다.

초 록

토마토 펄라이트 자루재배에서 급액방법으로 배액전극제어법 적용시 일회급액량이 작물의 생육과 수확량에 미치는 영향을 알아보고, 생육단계별 적정 일회급액량을 구명함으로써 적정 급액관리방법을 도출하기 위해 연구가 수행되었다. 처리로는 일회급액량을 적게 주는 처리(S-S)와 많이 주는 처리(L-L), 1화방수확기를 기점으로 적게 주다가 두 배로 급액량을 늘이는 처리(S-L)와 많이 주다가 반으로 줄이는 처리(L-S)를 두었다. 작물의 전 생육기간동안 일회급액량이 많거나 적은 처리에서는 배액율이 낮고 불안정해지며 생육이 좋지 않았다. 생육단계에 맞게 정식 후 1단 수확기 이전까지는 일회급액량을 약 145mL로 많이 주다가 이후에 70mL까지 줄여주는 L-S처리에서 뿌리분포가 좋고, 수확량이 가장 많았고, 배액율도 안정적이었다. 따라서 토마토 재배시 일회급액량을 생육단계에 따라 달리 해 주어 급액패턴을 다량소회에서 소량다회로 변화시켜 주는 것이 토마토의 생육과 수확량에 효과적임을 알 수 있었다. 또한, L-S처리로 일회급액량에 변화를 주었을 때, 토마토의 성장양상이 영양생장에서 생식생장으로 바뀌는 것을 식물생육지표 조사에서 확인하였다.

추가 주요어 : 생식생장, 성장상, 수경재배, *Solanum lycopersicum*, 영양생장

인용문헌

- Abou-Hadid, A.F., M.Z. El-Shinawy, A.S. El-Beltagy, and S.W. Burrage. 1993. Relation between water use efficiency of sweet pepper grown under nutrient film technique and rockwool under protected cultivation. *Acta Hort.* 323:89-96.
- Albaho, M.S. and J.L. Green. 2004. Comparative study on the effect of two greenhouse production system on selected tomato cultivars. *Acta Hort.* 648:91-97.
- An, C.G., Y.H. Hwang, H.S. Yoon, H.J. Hwang, C.W. Rho, and

- B.R. Jeong. 2005. Effect of first irrigation time after sunrise on fruit quality and yield of sweet pepper in rockwool culture. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 23:146-152.
- Araki, Y. 1994. Relationship between plant water status and water movement in tomato. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 62:121-128.
- Araki, Y. 1994. Growth of greenhouse-grown tomato irrigated on the basis of plant or soil moisture status. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 63:91-97.
- Bhattacharai, S.P., L. Pendergast, and D.J. Midmore. 2006. Root aeration improves yield and water use efficiency of tomato in heavy clay and saline soils. *Scientia Hort.* 108:278-288.
- Biernbaum, J.A. 1992. Root-zone management of greenhouse container-grown crops to control water and fertilizer use. *HortTechnology* 2:127-132.
- Bonachela, S., J. Quesadaa, R.A. Acuña, J.J. Magán, and O. Marfà. 2010. Oxyfertilization of a greenhouse tomato crop grown on rockwool slabs and irrigated with treated wastewater: Oxygen content dynamics and crop response. *Agricultural Water Mgt.* 97:433-438.
- Cho, I.H., E.H. Lee, T.Y. Kim, Y.H. Woo, and Y.S. Kwon. 1998. Effects of high humidity on occurrence of tomato blossom-end rot. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 39:247-249.
- Choi, Y.H., H.C. Rhee, G.B. Kweon, J.H. Lee, D.K. Park, and J.K. Kwon. 1999. Effects of soil moisture, night temperature, humidity and harvesting interval on cracking fruit of cherry tomato. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 40:169-173.
- Marcucci, M., G. Ciardelli, A. Matteucci, L. Ranieri, and M. Russo. 2002. Experimental campaigns on textile wastewater for reuse by means of different membrane processes. *Desalination* 149:137-143.
- Hanke, M.V., H. Flachowsky, A. Peil, and C. Hättasch. 2007. No flower no fruit-genetic potentials to trigger flowering in fruit trees. *Genes, Genomes, Genomics* 1:1-20.
- Jun, H.J., D.H. Kim, J.G. Hwang, M.H. Choi, and M.S. Cho. 2001. Effect of growth media and nutrient solution application schedule on the characteristics of nutrient elements absorption of *Cucumis melo* var. *Makuwa* cv. *eunchun*. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 19(Suppl. II):53. (Abstr.)
- 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. *J. Bio-Env. Con.* 19:12-18.
- Kim, S.E., S.Y. Sim, and Y.S. Kim. 2010. Application time of Irrigation management by drainage level sensor in tomato perlite bag culture. *J. Bio-Env. Con.* 19:19-24.
- Kim, S.E., S.Y. Sim, and Y.S. Kim. 2010. Control of daily first drainage time by irrigation management with drainage level sensor in tomato perlite bag culture. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 28:409-414.
- Kim, Y.S. 2003. Possibility of water management in hydroponics by electrical signal. *Industrial Science Researches of Sangmyung University* 14:1-10.
- Li, X.R., H.N. Cao, K.C. Yoo, and I.S. Kim. 2001. Effect of limited supplying frequency and amount of nutrient solutions on the yield and fruit quality of tomato grown in ash ball. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 42:501-505.
- Martin, B. and Y.R. Thorstenson. 1988. Stable carbon isotope composition (^{13}C), water use efficiency, and biomass productivity of *lycopersicon esculentum*, *lycopersicon pennellii*, and the F1 hybrid. *Plant Physiol.* 88:213-217.
- Ohkawa, H. and G. Hayashi. 1996. Production of high soluble solids tomato by hydroponics used for capillary mat and root restriction sheet. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 65:366-367. (Abstr.)
- Park, S.K., Y.H. Lee, Y.B. Lee, K.M. Yu, D.H. Lee, and S.Y. Choi. 2003. Effects of irrigation amount on growth and yield in cucumber fertilization. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 21(Suppl. II):51. (Abstr.)
- Roh, M.Y. 1997. Development of irrigation control system based on integrated solar radiation and nutrient solution suitable for closed system in substrate culture of cucumber. PhD. Diss., Univ. of Seoul, Seoul, Korea.
- Rouphael, Y., G. Colla, M. Cardarelli, S. Fanasca, A. Salerno, C.M. Rivera, A. Rea, and F. Karam. 2005. Water use efficiency of greenhouse summer squash in relation to the method of culture: Soil VS. soilless. *Acta Hort.* 697:81-86.
- Schon, M.K. and M.K. Compton. 1997. Comparison of cucumbers grown in rockwool or perlite at two leaching fractions. *HortTechnology* 7:30-33.
- Sezen, S.M., G. Celikel, A. Yazar, S. Tekin, and B. Kapur. 2010. Effect of irrigation management on yield and quality of tomatoes grown in different soilless media in a glasshouse. *Sci. Res. Essays* 5:41-48.
- Sim, S.Y., S.Y. Lee, S.W. Lee, M.W. Seo, J.W. Lim, S.J. Kim, and Y.S. Kim. 2006. Characteristics of root media moisture in various irrigation control methods for tomato perlite bag culture. *J. Bio-Env. Con.* 15:225-230.
- Sim, S.Y. and Y.S. Kim. 2009. Improvement of water and fertilizer use efficiency by daily last irrigation time for tomato perlite bag culture. *J. Bio-Env. Con.* 18:413-419.
- Stradiot, P. and P. Battistel. 2003. Improved plant management with localised crop heating and advice on distance in the Mediterranean climate. *Acta Hort.* 614:461-467.
- Thakur, P., S. Kumar, J.D. Malik, J.D. Berger, and H. Nayyar. 2010. Cold stress effects on reproductive development in grain crops: An overview. *Environmental Experimental Bot.* 67: 429-443.
- Warren, S.L. and T.E. Bilderback. 2004. Irrigation timing: Effect on plant growth, photosynthesis, water-use efficiency and substrate temperature. *Acta Hort.* 644:29-37.
- Wu, M. and C. Kubota. 2008. Effects of high electrical conductivity of nutrient solution and its application timing on lycopen, chlorophyll and sugar concentrations of hydroponic tomatoes during ripening. *Scientia Hort.* 116:122-129.
- Zabri, A.W. and S.W. Burrage. 1998. The effects of vapour pressure deficit (VPD) and enrichment with CO_2 on photosynthesis, stomatal conductance, transpiration rate and water use efficiency (WUE) of sweet pepper (*Capsicumannuum* L.) grown by NFT. *Acta Hort.* 458:351-356.