

토마토의 압면과 코이어 자루재배시 일사량제어법과 배액전극제어법에 의한 급액제어 방법 비교

김성은¹ · 심상연² · 김영식^{1*}
¹상명대학교, ²경기도농업기술원

Comparison on Irrigation Management Methods by Integrated Solar Radiation and Drainage Level Sensor in Rockwool and Coir Bag Culture for Tomato

Sung Eun Kim¹, Sang Youn Sim², and Young Shik Kim^{1*}
¹Sangmyung University, 300 Anseo-dong, Cheonan, Choongnam 330-720, Korea
²GyeongGi-Do Agricultural Research & Extension Services, Hwasung-si 445-300, Korea

Abstract. Irrigation management methods controlled by integrated solar radiation (ISR) or drainage level sensor were evaluated in rockwool or coir bag culture as tomato (*Solanum lycopersicum* L.) production system. Substrate water content and drainage percentage were more stable in the drainage level sensor method than in the ISR method regardless of substrate type. Total yield and marketable yield were high in the drainage level sensor method, but not between substrates in the same irrigation management method. Sugar content was affected more by the substrate type than irrigation method. The drainage level sensor method was elucidated to be better than the ISR method regardless of substrate type.

Key words : hydroponics, productivity, soilless culture, *Solanum lycopersicum* L., substrate

서 론

현재 우리나라의 수경재배는 90년대의 급성장 이후, 2008년 1,731ha로 재배면적이 크게 확대되고 있다. 전체 수경재배 면적 1,731ha 중에서 고품배지경의 면적이 960ha이며, 그 중 펄라이트가 233ha, 압면이 478ha를 차지하고 있으며 코이어의 재배면적도 점차 늘어나고 있다(RDA, 2008).

고형배지경에서 배지는 각각이 갖는 물리·화학적 특성과 장·단점을 갖고 있다. 압면은 입자가 균일하여 수분확산과 통기성이 좋고 유효수분 함량이 많아 안정적인 재배가 가능한 배지로 수경재배에서 널리 사용되고 있으나, 사용 후 폐기처리지 발생하는 환경오염 문제와 비싼 가격이 문제로 제기되고 있다. 코이어는 그 자체가 무기양분을 함유한 유기배지이며, 가소성이

좋아 쉽게 굳지 않고 보수성이 좋으나, 배지가 균일하지 못하고 압면에 비해 생육단계별 근권의 함수율과 EC 조절에 어려움이 있다. 이렇게 압면배지와 코이어 배지는 물리·화학적 성질의 차이가 존재하여 급액관리가 달라야 하지만 코이어배지에 대한 연구가 미약하여 압면배지경의 급액제어에 준하여 재배하고 있다(An 등, 2009).

수경재배에서 배지의 종류와 함께 급액제어 방법도 작물의 생육과 수확량에 영향을 주는 매우 중요한 인자이다. 급액제어의 목적은 작물의 생육을 최적화하여 수확량을 극대화하기 위한 것이지만, 이와 함께 경제성도 함께 고려해야 한다. 즉, 효용체감의 법칙에 의해 배양액 공급량을 늘리는 비용의 증가분이 수확량 증가에 의한 수익 증가분보다 높을 경우에는 효율이 떨어지는 것이므로 효율이 높은 급액제어를 행해야 한다(Warren와 Bilderback, 2004).

현재 농가에서 급액제어 방법으로 가장 많이 사용하고 있는 타이머에 의한 방법은 간단하고 설비가격이

*Corresponding author: advenia@empal.com
Received December 22, 2009; Revised March 19, 2010;
Accepted March 22, 2010

토마토의 암면과 코이어 자루재배시 일사량제어법과 배액전극제어법에 의한 급액제어 방법 비교

저렴하여 초기투자비용이 작은 장점이 있으나, 배양액의 소비가 많아 경제성이 낮고 농가의 경험에 의해 급액하기 때문에 관수안정성에 취약한 문제 등 많은 단점을 가지고 있다. 타이머에 의한 급액제어 방법이 갖는 문제점을 해결하기 위해 일사량에 의한 급액제어, 배액전극제어법 등의 다양한 방법들이 실험되어 실용화되고 있다(Sim 등, 2006a).

일사량에 의한 급액제어는 작물의 수분흡수량과 일사량과의 상관관계를 이용하여 적산일사량이 일정수준에 도달하면 급액이 이루어지도록 하는 방법(Choi 등, 2001)으로 타이머제어법보다 식물의 생리적인 면을 고려한 방법이다. 그러나 식물체의 증산량 관여 인자 중 식물의 활력과 증기압포차(VPD)를 고려하지 않아 수분의 과부족이나 급액 지연 등의 문제가 있다(Kim과 Kim, 2004). Sim 등(2006a)은 토마토 펄라이트 자루재배에서 타이머제어법과 일사량제어법, 배액전극제어법을 비교실험한 결과, 배액전극제어법이 작물의 생육과 배지내 수분조절에 가장 바람직한 급액제어법이라고 보고했다. 또한 배액전극제어법은 작물의 생육기간 동안 필요로 하는 배지내 적정 함수율 변화에 민감하게 반응하여 생육시기에 관계없이 작물이 필요로 하는 고유의 적정 함수율 변화에 적극적으로 대처가 가능한 급액방법으로 보고했다(Sim 등, 2006b).

본 연구는 토마토를 대상으로 암면과 코이어를 사용한 자루재배에서 일사량제어와 배액전극제어법의 급액제어 능력을 구명하여, 효과적인 급액제어 방법을 제시하기 위해 수행되었다.

재료 및 방법

본 연구는 2008년 2월 18일부터 7월 30일까지 경기도농업기술원 양지봉식 유리온실(폭: 9.6m, 길이: 16m, 측고: 4.6m, 동고: 7m)과 벤로형 유리온실(폭: 9.6m, 길이: 16m, 측고: 4.6m, 동고: 5.3m)에서 수행되었다. 공시품종인 대과종 토마토 로꾸산마루(SAKATA, Japan)를 2008년 2월 18일 피트모스 상토를 채운 50공 플러그육묘판에 파종했으며, 양지봉식 유리온실에서 1일 1회(오전 11시30분) 관수하며 육묘하였다. 육묘중 비료를 시비하지는 않았다.

실험처리로는 암면배지에 일사량 제어법을 적용한 처리(R-S), 암면배지에 배액전극제어법을 적용한 처리

(R-E), 코이어배지에 일사량 제어법을 적용한 처리(C-S), 코이어배지에 배액전극제어법을 적용한 처리(C-E) 총 4개 처리를 하였다. 실험에 사용한 암면의 규격은 W 200 * L 1,000 * H 70mm, 용량 30L, 흑백비닐 두께 0.1mm였으며, 코이어는 W 300 * L 1,000 * H 150mm, 용량 30L, 흑백비닐두께 0.1mm이었다. 배액전극법 처리구는 배지자루를 포수 전에 하단 면을 일정한 부위로 잘라낸 후 친수성 매트를 양면테이프를 붙인 후 재배부에 올려놓고 정식 전날 배액구를 막고 다른 자루와 함께 포수시켰다. 코이어는 실험전처리를 실시하였는데, 코이어배지 내 염소와 나트륨의 농도를 낮추기 위해 질산칼슘 2.5~3kg/1000L를 배액이 나올 때까지 포수하여 세척작업을 실시하였다. 세척작업은 여름철의 경우 48시간, 겨울철의 경우 72시간이 소요되는 것이 일반적인데 본 실험의 처리시기가 봄인 점을 감안하여 세척작업에 약 60시간을 소요하였다. 세척이 끝난 후, 일반적으로 토마토재배 초기에 공급하는 EC인 1.0보다 30~50% 높은 1.5로 포수하여 EC가 안정화 될 때까지 배양액관리를 해주었다.

2008년 4월 7일 본엽 7~8매, 1회방 출현시 정식하였고, 정식 후 활착되는 동안인 4월 16일까지는 타이머로 오전 6시부터 18시까지 2시간 간격으로 관수하였다. 활착 후 배액전극제어법 처리는 Kim(2003)의 방법에 준해서 적용하였다. 배액전극제어법은 배지와 재배틀 사이에는 친수성 매트가 연결되어 있어 배지가 건조해지면 재배틀의 배액이 모세관 현상에 의해 배지로 재흡수되는 현상을 이용하여 점적관으로 급액을 개시하는 제어법으로 재배틀의 가운데에 배지를 올려놓고, 관수 후 배액이 발생하면 배지보다 아래 부분에 배액이 모이도록 하고, 배지의 밑면보다 낮은 일정 높이의 부분에 배액구를 만들어 배액이 배액구보다 높은 경우에는 배액구를 통해서 배액이 배출되도록 하는 장치를 구축한 것이다. 전극 2개 중 하나는 재배틀 하단에 밀착시키고 나머지 하나의 높이는 재배틀 하단에서 2.8cm에 위치시킨 다음 배액구 높이를 3.2cm로 맞추어 두 전극간 높이차이가 4mm가 되게 하였다. 적산 일사량을 사용한 일사량 제어법은 적산일사량(integrated solar radiation, ISR)이 150Wh(540kJ)에 도달할 때마다 급액하였다. 정식 후 배양액의 EC는 암면배지는 1.2, 코이어배지는 1.5에서 시작하여 각 화방의 착과시마다 0.2씩 높여주었으며, 6월 17일에 두 배지

모두 1.9까지 식물체의 생육상태를 보이카며 적절하게 조절해 주었다. 실험처리 시작기의 1회 급액량은 약 58mL이었으며, 급액 지연시간은 30분으로 설정하였다. 이후 1회 급액량은 생육단계에 따라 배액을 15~20%를 고려하여 70mL, 100mL, 130mL, 240mL로 점차 늘려주었다. 사용한 배양액은 Yamazaki 토마토 전용배양액이었으며, 배양액의 공급은 자동공급장치(Agronic 4000, Spain)를 이용하였다. 재식간격 30cm, 줄 간격 2m, 5단 적심 외대가꾸기로 재배하였다. 실험은 단구제였으며, 각 처리당 3반복 했으며, 반복당 5자루(30개체)를 사용하였다.

각 처리의 배지와 배액의 계측에는 weighing sensor로 load cell(model: SB-50L, CAS Corporation)을 사용하였으며, 중량값은 indicator(AI-1600, CAS Corporation)를 통해 24channel multiplexer (MOXA)에 연결되도록 설계하였고 1분마다 저장하였다.

재배시 측지는 7cm 이상에서 제거했으며, 뿌리발달을 위해 지체부로부터 5마디까지의 측지는 제거하지 않았다. 2008년 4월 16일부터 매주 3회 맑은 날에 착과제(토마토톤)를 살포하였다. 수확은 토마토가 80% 정도 착색 되었을 때 처리별, 화방별로 하였고, 총수확량과 100g 이하(소과), 기형과(배꼽썩이, 창문과), 당도 등을 조사하였다. 2008년 5월 27일에 코이어배지 배

액전극제어법 처리(C-E)의 1단부터 수확을 시작하였고, 수확종료는 7월 30일 이었다.

생육조사는 2008년 7월 30일 실시하였고, 처리별로 10개체씩 3반복으로 30개체를 무작위 선정하여 생체중, 초장, 엽장, 엽폭, 경경, 마디수 등을 측정하였다. 엽장과 엽폭은 선정된 개체의 가장 긴 잎을 선정해 측정하였다. 또한 실험기간 중 급액과 배액의 pH와 EC를 조사하였고, 통계처리에는 SAS 통계패키지를 이용하였다.

결과 및 고찰

정식 후 안정된 활착을 위해 타이머법으로 급액제어를 하다가 4월 17일부터 급액제어 처리를 시작한 결과(Fig. 1), 배지 종류에 관계없이 일사량제어법(R-S, C-S) 처리에 비해 배액전극제어법 처리(R-E, C-E)에서 배지의 무게, 즉 배지함수량이 8% 이내에서 일정하게 안정되었다. 반면, 일사량제어법 처리(R-S, C-S)는 배지의 무게변화가 암면배지 처리에서 14.7~19.26kg, 코이어배지 처리에서 13.3~17.5kg 범위로 변동폭이 크고 불안정했다. 이는 펄라이트를 사용한 연구결과보고(Sim 등, 2006a, b, c)에서와 같이 배액전극제어법이 타이머 제어법이나 일사량제어법에 비해 다양한 외기환경에서도 식물체의 요구에 능동적으로 급액회수가 변하며 배

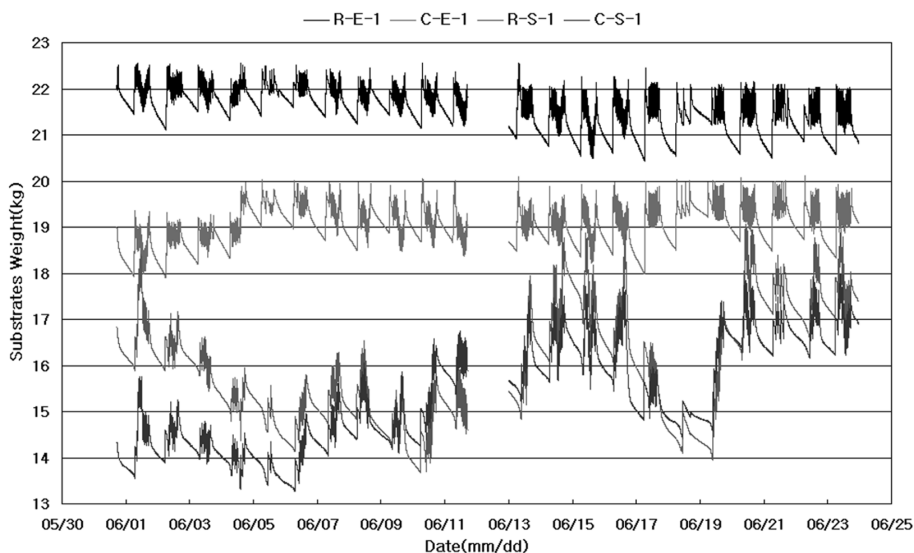


Fig. 1. Substrates weight by various irrigation management methods. R-E-1: Rookwool Substrate and control by drainage electrodes, C-E-1: Coir Substrate and control by drainage electrodes, R-S-1: rookwool substrate and control by integrated solar radiation, C-S-1: coir substrate and control by integrated solar radiation.

토마토의 암면과 코이어 자루재배시 일사량제어법과 배액전극제어법에 의한 급액제어 방법 비교

지내 수분함량이 안정적으로 유지되는 현상이 암면과 코이어에서도 동일하게 적용됨을 의미한다. 일사량제어법의 가장 큰 단점은 생육속도에 따라서 일회급액량을 적절히 설정해야 된다는 점인데, 이 요인은 일사량과 전혀 관계가 없기 때문에 설정하는데 애로가 많은 것이 사실이다. 또한 시설내는 노지와 달리 일사량과 온도의 상관성이 낮으며, 증산과 관련이 깊은 공기중 상대습도를 반영하지 않아서 관수안정성이 낮다(kim, 2003). 암면배지 처리에 비해 코이어배지 처리에서의 변동폭이 다소 적은 것은 코이어배지가 암면에 비해 보수성이 좋기 때문으로 사료된다.

배액량은 암면배지와 코이어배지 모두에서 배액전극제어법 처리(R-E, C-E)에서 많았고, 일사량제어법 처리(R-S, C-S)에서는 배액이 매우 소량 발생하였다(Fig. 2). 처리별 배액발생량을 비교하면 암면배지 배액전극제어법 처리(R-E), 코이어배지 배액전극제어법 처리(C-E), 코이어배지 일사량제어법 처리(C-S), 암면배지 일사량제어법 처리(R-S) 순으로 많았다. 따라서 배액량은 급액제어 처리간 차이는 보였으나, 배지 처리간 차이는 없었다. 배액률의 경우, 배액전극제어법 처리(R-E, C-E)에서는 배액률이 10~25% 범위로, 배지경 재배시 바람직한 20~30%의 배액률(Roh, 1997; Schon과 Compton, 1997) 보다는 다소 큰 변화폭을 나타내었으나,

0~25% 사이에서 전혀 안정되지 않는 일사량제어법 처리(R-S, C-S)보다는 훨씬 안정된 경향을 보였다(Fig. 3). 즉, 배액전극제어법을 적용한 처리의 경우, 배액량과 배액률이 비교적 안정되어 배지내 수분함수율도 안정적이었음을 알 수 있었다.

생육조사에서 초장, 엽장, 엽폭, 생체중은 암면배지 배액전극제어법 처리(R-E)에서 가장 크고 무거웠으나 통계적 유의성은 없었다. 암면배지 처리(R-S, R-E)보다 코이어배지 처리(C-S, C-E)에서 마디수가 많았으나 통계적 유의성은 없었다. 본 실험에서 토마토의 생육은 배지의 종류와 급액제어 방법의 차이에 영향을 받지 않고 비교적 양호하였다(Table 1).

총수확량과 상품과량은 배액전극제어법 처리(R-E, C-E)에서 많았으며, 동일한 급액제어 처리 안에서는 배지간 차이는 없었다. 100g 이하 소형과의 발생은 암면배지 일사량제어법 처리(R-S)에서 많았고 다른 처리들은 유사하였다. 기형과 발생도 암면배지 일사량제어법 처리(R-S)에서 가장 많았고, 배액전극제어법 처리에서 현저히 적었으며, 배액전극제어법 처리(R-E, C-E) 내에서는 배지간 차이는 없었다. 당도는 코이어배지 배액전극제어법 처리(C-E), 코이어배지 일사량제어법 처리(C-S), 암면배지 배액전극제어법 처리(R-E) 순으로 낮았다. 이를 통해 당도는 급액제어 방법의 차이보다는

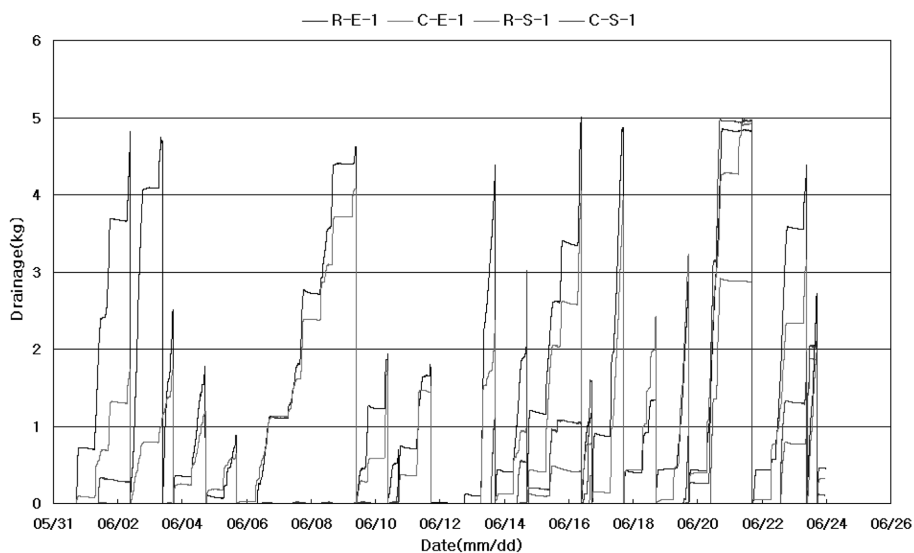


Fig. 2. Drainage (kg) in various management methods. R-E-1: Rookwool Substrates and Drainage Electrode Irrigation System, C-E-1: Coir Substrates and Drainage Electrode Irrigation System, R-S-1: Rookwool Substrates and Control by Integrated Solar Radiation (ISR), C-S-1: Coir Substrates and Control by Integrated Solar Radiation (ISR).

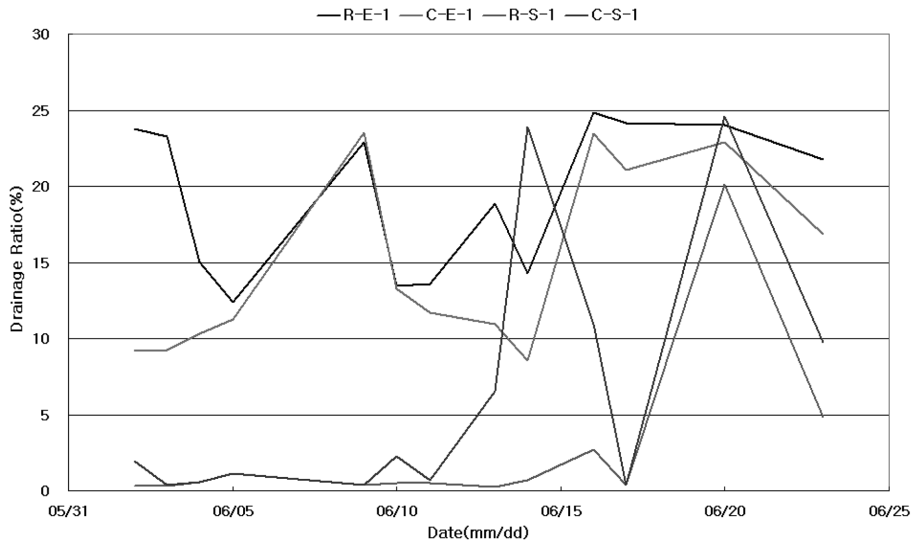


Fig. 3. Drainage ratio (%) in various management methods. R-E-1: Rookwool Substrates and Drainage Electrode Irrigation System, C-E-1: Coir Substrates and Drainage Electrode Irrigation System, R-S-1: Rookwool Substrates and Control by Integrated Solar Radiation (ISR), C-S-1: Coir Substrates and Control by Integrated Solar Radiation (ISR).

Table 1. Growth characteristics of tomato in various irrigation management methods.

Treatment ^z	Plant height (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Stem diameter (mm)	Fresh weight (g/plant)
R-S	181.2 ^y	49.3	51.9	15.0	960
R-E	188.2	51.6	53.8	14.8	1,044
C-S	182.9	50.8	52.9	16.0	969
C-E	180.1	51.5	49.9	16.6	951
F-test	ns	ns	ns	ns	ns

^zR-S-1: Rookwool Substrates and Control by Integrated Solar Radiation (ISR), R-E-1: Rookwool Substrates and Drainage Electrode Irrigation System, C-S-1: Coir Substrates and Control by Integrated Solar Radiation (ISR), C-E-1: Coir Substrates and Drainage Electrode Irrigation System.

^yMean separation within columns by Duncan's multiple range test at P = 0.005.

Table 2. Yield and fruit quality of tomato in various irrigation management methods.

Treatment ^z	Total yield (g/plant)	Marketable yield (g/plant)	Small fruit 100g > (g/plant)	Malformed fruit (g/plant)	Marketable yield ratio (%)	Sugar contents (°Brix)
R-S	1,839b ^y	1,616b	74 1a	148a	87.9	5.1bc
R-E	2,252a	2,134a	99b	19c	94.8	4.9c
C-S	1,787b	1,627b	102b	59b	91.1	5.4ab
C-E	2,371a	2,241a	107b	22c	94.5	5.8a
F-test	*	*	**	**	ns	**

^zR-S-1: Rookwool Substrates and Control by Integrated Solar Radiation (ISR), R-E-1: Rookwool Substrates and Drainage Electrode Irrigation System, C-S-1: Coir Substrates and Control by Integrated Solar Radiation (ISR), C-E-1: Coir Substrates and Drainage Electrode Irrigation System.

^yMean separation within columns by Duncan's multiple range test at P = 0.005.

배지의 종류에 영향을 많이 받았고, 당도가 높은 토마 토 생산을 위해서는 암면배지보다 코이어배지를 사용 하는 것이 좋을 것으로 사료된다(Table 2). 각 화방의 수확개시일을 조사하였는데(Table 3), 각

토마토의 암면과 코이어 자루재배시 일사량제어법과 배액전극제어법에 의한 급액제어 방법 비교

Table 3. The first harvesting time of each tomato cluster in various irrigation management methods.

Cluster	Treatment ²			
	R-S	R-E	C-S	C-E
1	5/29	5/27	5/29	5/27
2	6/16	6/13	6/10	6/10
3	6/25	6/25	6/25	6/22
4	6/30	6/27	6/30	6/27
5	7/2	7/2	7/2	6/30

²R-S-1: Rookwool Substrates and Control by Integrated Solar Radiation (ISR), R-E-1: Rookwool Substrates and Drainage Electrode Irrigation System, C-S-1: Coir Substrates and Control by Integrated Solar Radiation (ISR), C-E-1: Coir Substrates and Drainage Electrode Irrigation System.

화방마다 일사량제어법 처리(R-S, C-S)에서 보다는 배액전극제어법 처리(R-E, C-E)에서 평균 2일 정도 일찍 수확이 시작되었고, 배지간 차이는 없었으며, 단지 배액전극제어법 처리 내에서 암면배지 처리(R-E)에서 보다 코이어배지 처리(C-E)에서 일찍 시작되었다. 이와 같이 생식생장도 배액전극제어법 처리에서 일찍 시작됨으로써 배액전극제어법이 영양생장과 생식생장 모두에서 작물이 요구하는 적정 함수율을 만족시키는 매우 효과적인 관수방법임을 알 수 있었다(Sim 등, 2006a, b). 화방당 과실수를 결정하기 위한 적화나 적과를 수행하지 않아서 수확마감일은 처리간의 의미가 없었다.

실험결과 배지의 종류에 따른 처리간 차이는 아주 미미했으며, 급액제어 처리간 차이는 명확하였다. 생육 시기별로 완벽하게 일화급액량을 조절하지는 못했지만, 배액전극제어법은 일사량제어법에 비해 작물의 생육시기별로 변화하는 수분요구에 적극적으로 반응하며 배액율을 비교적 균일하게 유지하는 급액제어법이었다. 또한, 토마토의 영양생장과 생식생장의 균형유지에 효과적이며, 수확시기를 앞당길 수 있었으며, 용수량과 비료량을 절약하고, 생산량도 높은 등 경제적 경쟁력도 갖추고 있음을 확인하였다. 본 실험을 통해 펄라이트 배지(Sim 등, 2006b) 뿐만 아니라 암면배지와 코이어 배지에서도 범용적으로 배액전극제어법을 적용하는 것이 유리한 것으로 나타났다.

적 요

토마토를 대상으로 암면과 코이어를 사용한 자루재

배에서 일사량제어와 배액전극제어법의 급액제어 능력을 실험한 결과, 배지 종류에 관계없이 일사량제어법에 비해 배액전극제어법에서 배지함수량과 배액량이 안정적이었다. 총수확량과 상품과량은 배액전극제어법에서 많았으며, 동일한 급액제어 처리 안에서는 배지간 차이는 없었다. 당도는 급액제어 방법의 차이보다는 배지의 종류에 영향을 많이 받았다. 배액전극제어법은 펄라이트뿐만 아니라 암면과 코이어배지에서도 범용적으로 일사량제어법에 비해 유리한 것으로 나타났다.

주제어 : 급액제어법, 무토양재배, 생산성, 수경배지

사 사

본 연구는 농촌진흥청의 지원으로 수행되었습니다.

인 용 문 헌

1. 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. Soc. Hort. Sci. Technol.* 27(2):233-228.
2. Choi, E.Y., Y.B. Lee, and J.Y. Kim. 2001. Determination of total integrated solar radiation range for the optimal absorption by plant in different substrates. *Kor. J. Soc. Hort. Sci.* 42(3):271-274.
3. Kim, H.J., and Y.S. Kim. 2004. Evaluation of irrigation system by balance and integrated solar radiation on the fruit quality of muskmelon in closed perlite culture system. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 45(3):127-130.
4. Kim, Y.S. 2003. Possibility of water management in hydroponics by electrical signal. *Industrial Science Researches of Sangmyung University* 14:1-10.
5. 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.*
6. Rural Development Administration (RDA). 2008. Hydroponic culture dissemination present status 2008. Suwon, Korea.
7. Schon, M.K. and M.K. Compton. 1997. Comparison of cucumbers grown in rockwool or perlite at two leaching fractions. *Hort-Technology* 7:30-33.
8. 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. *Journal of Bio-Environment Control*, 15(3):225-230.
9. Sim, S.Y., S.Y. Lee, S.W. Lee, M.W. Seo, J.W. Lim, S.J. Kim, and Y.S. Kim. 2006. Improvement of water and fertilizer use efficiency by daily last irrigation time for tomato perlite bag culture. *Journal of Bio-Environment Control*, 15(4):327-334.
10. 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.