Journal of Environmental Science International
28(9); 729~735; September 2019

pISSN: 1225-4517 eISSN: 2287-3503
https://doi.org/10.5322/JESI.2019.28.9.729

ORIGINAL ARTICLE

토마토 양액재배시 배지 환경조성이 생육 및 생산성에 미치는 영향

이재수[#] · 이현동[#] · 이상규[*] · 곽강수 · 김밝금 · 김태현 · 백정현 · 노시영 · 홍영신
농촌진흥청 국립농업과학원 스마트팜개발과

Effects of Environmental Substrate Composition on the Growth and Yield of Hydroponically Grown Tomato

Jaesu Lee[#], Hyundong Lee[#], Sanggyu Lee[*], Kangsu Kwak, Balgeum Kim, Taehyun Kim, Jeonghyun Baek, Siyoung Rho, Youngsin Hong
Division of Smart Farm Development, National Institute of Agricultural Science, RDA, Jeonju 54875, Korea

Abstract

The aim of this study was to determine the effects of different compositions of environmental substrates on hydroponic tomato cultivation. Three different substrates were used in coir chip:dust (v/v=50:50; CP1), coir chip:dust (v/v=80:20; CP2), and rock wool cube with CP2 (CPR). The amount of irrigation during the cultivation period was 190 mL/(plant·time) in all substrates. The pH and EC were 5.8-6.2 and 2.6-2.9 dS/m, respectively. The drainage rate in CP1 was 31%, in CP2 was 36%, and in CPR was 29%. The growth of tomato plants in terms of height was higher in CP1 and CPR. The leaf area was greater in CP2. The fresh and dry weights were greater in CP2 and CPR treatments. The net photosynthesis in CP2 (19.31 μmol CO_2/m^2s) and root activity in CP2 were higher among all three treatments. The soluble solid content of fruit was not significantly different among treatments. The yield per plant in CP2 and CPR treatments was 17% greater than the yield per plant in CP1. Therefore, the most suitable substrate for hydroponic tomato cultivation is the substrate mixed with coir chip:dust (v:v=80:20; CP2), i.e., CPR.

Key words : Coir chip, Leaf area, Photosynthesis, Root activity, Soluble solid content

1. 서 론

국내 양액재배면적은 6,196 ha로 시설재배 면적의 12% 정도를 차지하고 있고, 양액재배면적에서 코이어 배지를 사용하는 면적은 3,983 ha로 64%를 차지할 정도로 코이어 배지 사용률이 높다(MAFRA, 2017). 토마토는 대부분 시설재배이며 코이어, 펄라이트, 암면+코코피트, 토양재배 형태로 재배되어 생산되고 있다. 수경재배에서 배지는 배지의 종류, 입자의 크기, 용기의 모양과 크기 등에 따라 물리적인 특성이 달라지고(Milks et al., 1989; Nelson, 1991), 또한 배지의 화학적 특성도 식물에 적합한 근권환경을 결정하는 요인이며 pH, EC, 다량

Received 28 June, 2019; **Revised** 5 August, 2019;
Accepted 26 August, 2019
[*]**Corresponding author**: Sanggyu Lee, Division of Smart Farm Development, National Institute of Agricultural Science, RDA, Jeonju 54875, Korea
Phone: +82-63-238-4193
E-mail: sanggyul@korea.kr
[#]These two authors contributed equally to this work.

ⓒ The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

원소 및 미량원소 함량 등이 중요한 역할을 한다(Gabriels et al., 1986). 코이어 배지는 코코넛 과실의 과피에서 추출된 섬유질로 배지로서의 적합한 물리성과 화학성을 가지고 있으며 코이어 섬유와 가루 등을 혼합한 dust와 코코넛 중과피를 자른 chip으로 구성된다(Evans and Stamps, 1996; Nazari et al., 2011). 최근 국내에서도 코이어 배지의 사용이 늘어나면서 토마토 양액재배시 배지로 사용되는 비율이 점점 높아가고 있는데 국내 생산이 안되기 때문에 외국에서 전량 수입되고 있는 실정이다. 코이어 배지는 재료나 제조공정이 까다로워 배지가 균일하지 못하는 등 문제가 발생하였지만 최근에는 chip을 첨가하여 이러한 단점을 해결하고 있다(An et al., 2009). 코이어 배지는 무기양분을 함유한 유기배지이면서 배지의 pH가 낮고, 초기의 수분 흡수력이 낮은 특성이 있기 때문에 이러한 점을 감안하여 적절하게 사용해야 한다. 코이어 배지는 코이어 chip과 dust를 적당한 비율로 혼합하여 사용하는데 chip을 첨가함으로써 공극을 확보하고 이로 인해 생육중에 함수율 조절이 쉬울뿐 만 아니라 근권 함수율과 EC 등을 측정하는 기기 사용이 용이하므로 많이 사용하고 있다. 파프리카에서는 chip이 80% 함유된 배지를 사용하면 배수력이 높기 때문에 50% 함유된 배지보다 급액량을 높여주는 것으로 알려져 있다(An et al., 2009). 토마토 재배 농가에서는 chip과 dust 혼합비율을 5:5나 8:2로 하는 경우가 많은데 농가마다 비율에 따른 효과를 다르게 얘기하고 있어 이에 대한 연구가 필요하다.

본 실험은 토마토 양액재배 시설 내에서 코이어 배지의 chip과 dust 비율을 다르게 조성하여 생육과 수량 분석을 통해 최적의 배지 조건을 구명하고자 수행하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 파종 및 양액관리

토마토품종은 국내에서 많이 재배되고 있는 “데프니스(Syngenta, Netherland)” 품종을 2018년 6월 30일 72공 플러그트레이 시판 육묘용 상토를 채운 후 구멍을 뚫고 2립씩을 파종하였고, 발아 후 1개체만 남기고 솎아주었다. 육묘기간중에 토마토 육묘용 양액(Electrical Conductivity, EC 1.8 dS/m, pH 5.5)을 매일 공급하였다. 정식은 본엽이 10매 내외로 전개된 2018년 8월 16일에 국립농업과학원 테스트베드에 정식하였다. 재배배지는 코코피트 슬라브(100×20×10cm, Daeyoung GS, Korea)에 코이어 chip과 dust 비율을 5:5(CP1), 8:2(CP2)로 하였고, 8:2 스라브 위에 암면큐브(rock wool cube)를 올린 배지(CPR)로 하였다(Fig. 1). 정식주수는 1개 슬라브당 3개의 구멍을 뚫고 정식하였으며, 정식 1주일전에 코코피트 슬라브 내에 물을 충분히 담아 흡습시키고, 옆면에도 배수를 위해서 3개씩 배수 구멍을 뚫었다. 실험에 사용한 코코피트의 코이어 chip의 크기는 1.0-10.0 mm가 78%, 수분함량은 약 9%, EC는 0.7 ms/cm, pH는 6.09 정도이었고, 암면의 섬유는 1-8 μm, 공극량이 97% 정도이었다. 양액은 토마토 전용 한방양액(Coseal Co., LTD., Korea)을 사용하였는데, 조성표는 A제(N-P-K : 8.5-5.0-26.0), B제(N-Ca : 11.0-22.0)이고 미지근한 물에 혼합하여 사용하였다. 재배중 공급양액의 EC는 2.6-2.9 dS/m, pH는 5.8-6.2의 범위를 유지하도록 하였다. 양액공급은 생육단계별로 생육초기(정식부터 4주간), 착과기(정식 5-8주간), 과실 비대기(정식 9주간 이후)로 구분하여, 맑은날을 기준으로 생육초기에는 하루에 4-5회 1회당 180 mL, 착과기에는 하루에 6회,

Fig. 1. Different substrates were used in coir chip:dust (left: v/v=80:20; CP2), and rock wool cube with CP2 (middle: CPR) and cultivated picture (right).

1회당 200 mL, 과실 비대기에는 하루에 5~7회 1회당 190 mL로 공급하였다. 정지 유인은 원줄기 재배를 하였고, 기타 작물관리와 환경관리는 관행에 준하였으며 시설내 환경조건 측정은 데이터로거(HOBO® weather station data logger, Onset, USA)를 이용하여 1시간 간격으로 기온, 상대습도, 광량, 토양수분함량을 조사하였다.

2.2. 생육 및 수량조사

생육조사는 정식 후 130일에 처리구의 반복별로 초장, 엽수, 엽면적, 엽록소함량, 생체중 및 건물중을 조사하였다. 엽면적 측정은 엽면적 측정기(LI-3100, Area meter, LI-COR Inc., USA)를 사용하여 생장점에서 5-8번째 잎 중에서 햇빛을 바라보는 잎을 측정하였다. 엽록소 함량은 엽록소 측정기(SPAD 502, Minolta Co. Ltd., Osaka, Japan)를 사용하여 동일한 위치의 잎을 대상으로 한 잎당 5회를 측정하여 평균값을 활용하였다. 수확은 과실이 90% 이상 착색된 과실을 기준으로 하였고, 정상과는 수확한 과실중 100 g 이상인 것을 조사하였고, 비정상과는 100 g 미만인 소과, 병과, 기형과로 구분하여 조사하였다. 시험구배치는 완전임의배치 3반복으로 하였고, 누적 수량조사는 반복당 2주씩 3반복으로 조사하였다.

2.3. 광합성 및 근활력 분석

광합성특성 조사는 광합성측정기(LI-6400, portable photosynthesis system, LI-COR Inc., Nebraska, USA)를 사용하여 토마토 선단부에서 8-10번째 잎을 처리구별로 2주씩 3반복으로 조사하였다. 측정 조건은 온도 25℃, 상대습도 60%, CO_2 농도는 400 ppm, 광량은 500 μmol/m^{2}s로 하였다. 근활력 조사는 Berridge et al.(2005)의 방법으로 하였는데, 처리구별로 2주씩 3반복으로 측정하였다. 뿌리 채취는 정식부위를 중심으로 반경 50 cm, 깊이 30 cm 부위의 뿌리를 채취하여 증류수에 세척 후 측정에 이용하였다. 뿌리 시료는 세근을 약 0.5 cm 길이로 절단하여 균일하게 혼합한 후 0.1 g을 취해 2 mL test tube에 넣었다. 그 후 1 mL의 증류수를 첨가하여 혼합한 후 Premix WST-1 cell proliferation assay system (Takara Inc., Tokyo, Japan) 시약 10 μL를 가하였다. 이것을 암상태로 25℃에서 3시간 동안 반응시킨 후 ELISA reader (Microplate Spectrophotometer, EonTM, BioTekInc., Vermont, USA)를 이용하여 흡광도 420 nm에서 분석하였다. Premix WST-1 cell proliferation assay system 시약 10 μL를 증류수에 혼합하여 blank로 하였다.

2.4. 통계분석

통계분석은 SAS 프로그램(SAS 9.2, SAS Institute Inc., USA)을 이용하여 각 처리구별 생장, 수량, 광합성, 및 근활력 차이에 대해 95% 신뢰수준에서 Duncan's Multiple Range Test (DMRT) 검정을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 배액의 EC 및 pH 분석

근권부의 배액되는 양액의 EC 농도는 초기에는 모든 처리구에서 2.8 dS/m 정도 유지되었으나 3주차부터 급격하게 농도가 올라가 8주차에는 CP1과 CPR 처리구는 8.0 dS/m까지 높아졌고, 점차 낮아지다가 15주차부터는 5.0 dS/m 정도로 낮아져 꾸준하게 유지되었는데 CP2는 5.0 dS/m까지 높아져 전반적으로 CP2 처리구가 낮게 유지되었다(Fig. 2). 배액의 pH는 5.5-6.8 정도이었으며 CPR 처리구가 초기에는 높게 유지되었고, 후기에는 낮게 유지되었는데 CP2 처리구가 큰 차이를 보이지 않고 꾸준하게 유지되는 것으로 나타났다. 배액율은 세처리구 모두 비슷한 경향을 보였는데 CP2 처리구가 나머지 두 처리구보다 배액이 많이 되는 것으로 나타났고, 따라서 배지 내 함수율이 낮은 것으로 나타났다. 재배온실 내 상대습도는 60-83% 정도로 유지되었고, 온도는 18-29℃ 정도 유지되었다(Fig. 2). Lee et al.(2006)은 코이어 배지의 pH 안정화를 위해서 정식전 물로 4일 씻어내고 배양액으로 3일 씻어냈을 때 pH는 5.5-6.0 범위를 유지하였다고 보고한 바 1주일 전부터 흡습 작업을 하였기 때문에 초기에는 pH가 높게 나왔지만 추후 안정이 된 것으로 생각된다.

3.2. 생육분석

배지종류별 토마토 생육을 조사한 결과는 Table 1과 같다. 토마토의 초장과 절간장은 CPR과 CP1 처리구가 CP2 처리구보다 컸다. 그러나 엽면적에 있어서는 CP2 처리구가 13,654 cm^2/주로 가장 컸으며 CPR 처리구는 10,854 cm^2/주, CP1 처리구는 9,171 cm^2/주 이었다. 생체중

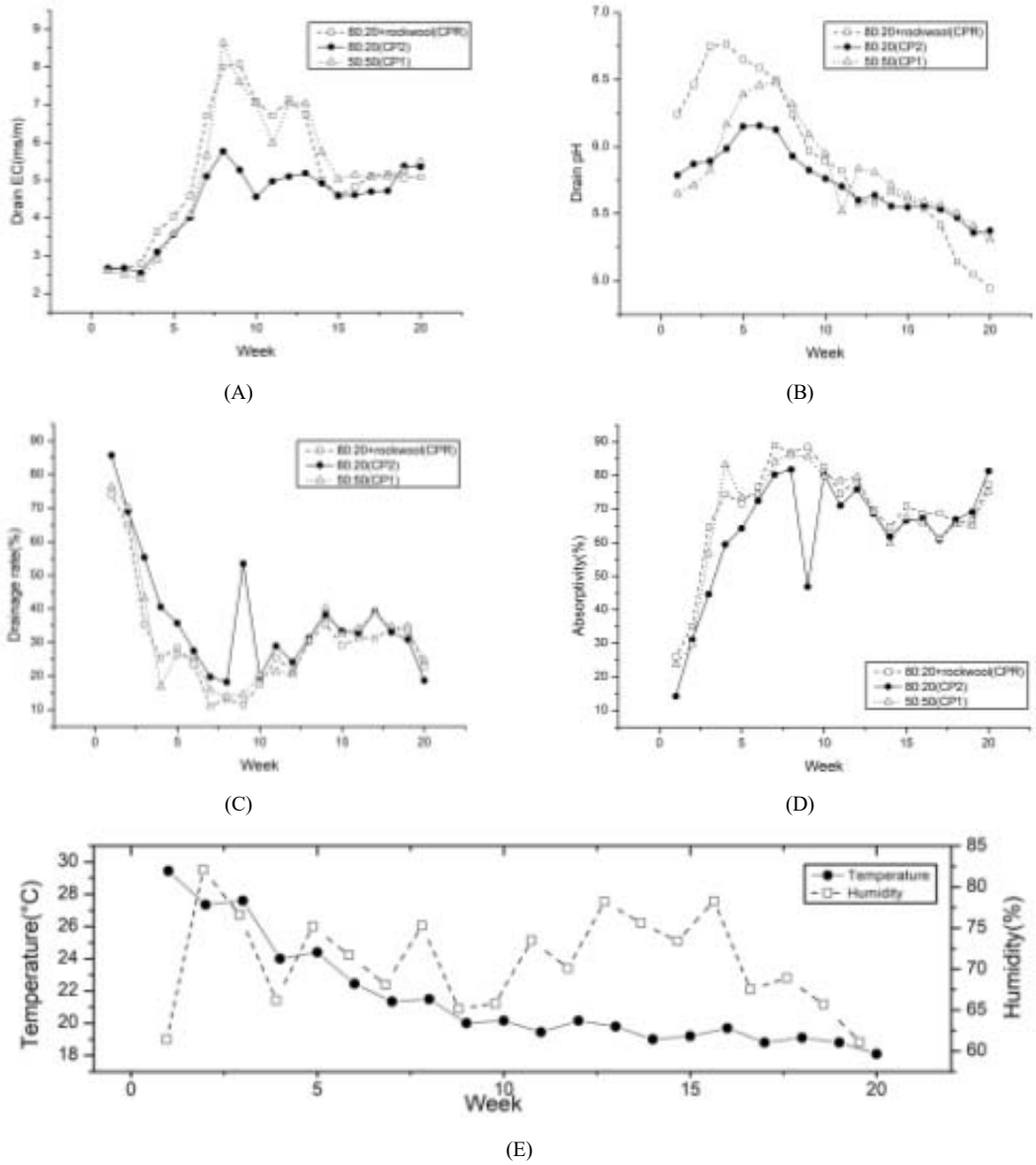

Fig. 2. Changes in weekly drain EC (A), drain pH (B), drainage rate (C), absorptivity (D) and temperature & humidity in the greenhouse (E).

및 건물중에 있어서는 CP2 처리구와 CPR 처리구에서 컸으며 CP1 처리구가 작은 것으로 나타났다. 전반적으로 생육은 배지 내 함수량이 낮았던 CP2 처리구가 CP1, CPR 처리구보다 좋은 경향을 보였다. Park et al.(1999)은 무등산 수박에서 초장, 엽면적 등 생육이 암면, 코코피트+펄라이트 처리구가 다른 배지보다 큰 것으로 보고하였다.

3.3. 광합성 및 근활력 분석

배지종류별 광합성특성은 순광합성률은 CP2 처리구가 19.31 μmol CO_2/m^2s로 가장 높았으며 CPR 처리구가

Table 1. Growth of tomato as affected after transplanting 130 days by environmental substrate composition

Treatment[z]	Plant height (cm)	Stem diam. (mm)	Root length (cm)	Internode length (cm)	Leaf area (cm^2/pl.)	Chlorophyll (SPAD)	Fresh wt. (g/pl.)	Dry wt. (g/pl.)
CP1	371 a[y]	10.12 a	79.3 a	27.7 a	9,171 c	45.0 a	1,034 b	125 b
CP2	325 b	10.87 a	81.6 a	23.8 b	13,654 a	41.6 b	1,181 a	144 ab
CPR	372 a	10.67 a	86.6 a	27.5 a	10,854 b	41.2 b	1,174 ab	149 a

[z]CP1; Coir chip 50%+dust 50%, CP2; Coir chip 80%+dust 20%, CPR; CP2+rockwool
[y]Mean separation within by Duncan's multiple range test at p=0.05.

Table 2. Photosynthesis and root activity of tomato as affected after transplanting 130 days by environmental substrate composition

Treatment[z]	Net photosynthesis (μmol CO_2/m^2s)	Stomatal conductance (mol H_2O/m^2s)	Transpiration rate (mmol H_2O/m^2s)	Root activity (Absorb., at 420 nm)
CP1	12.95 b[y]	0.45 b	6.45 b	0.13 b
CP2	19.31 a	0.66 a	8.06 a	0.24 a
CPR	17.30 ab	0.70 a	8.40 a	0.17 b

[z]CP1; Coir chip 50%+dust 50%, CP2; Coir chip 80%+dust 20%, CPR; CP2+rockwool
[y]Mean separation within by Duncan's multiple range test at p=0.05.

17.30, CP1 처리구가 12.95 μmol CO_2/m^2s 로 가장 낮았다(Table 2). 기공확산 및 전도율에 있어서도 CP1 처리구에서 낮았다. 근활력에 있어서도 광합성특성과 유사하게 CP2 처리구가 0.24 Absorb., at 420 nm로 가장 높았고, CPR 처리구가 0.17, CP1 처리구가 0.13으로 나타났다. 코이어 chip이 80%가 들어감으로써 50%나 암면이 들어간 처리에 비해서 상대적으로 공극량이 많았기 때문에 CP2 처리구가 다른 처리구보다 광합성과 근활력이 좋았던 것으로 사료된다. 이것은 Yang et al.(1999)이 펄라이트+피트모스 혼합배지가 훈탄이나 암면배지에 비해서 공극량이 높아 방울토마토 뿌리 발육이 좋았다는 것과 유사한 결과이다.

3.4. 과실특성 및 당도

과실특성을 조사한 결과는 Table 3과 같다. 과장은 5.79-5.88 cm로 처리간 유의차가 없었으며 과폭 역시 6.93-7.01 cm로 큰 차이를 보이지 않았다. 평균과중에 있어서는 CP2 처리구가 164 g으로 CP1 처리구의 157 g보다 약 7 g정도 무거웠지만 통계적인 유의성은 없었다. 당도에 있어서는 CP2 처리구가 4.2 °Brix, CP1 처리구가 3.7 °Brix, CPR 처리구가 3.9 °Brix 이었다. 이것은 무등산 수박 양액재배시 물빠짐이 좋은 펄라이트배지가 다른 배지보다 당도가 높았고(Park et al., 1999), 딸기재배시 펄라이트, 피트모스, 코이어 chip과 dust 비율 등을 혼합하여 시험한 결과 배지조성별로 당도에는 영향을 미치지 않았다(Jun et al., 2006; Lee et al., 2017)는 내용을 볼 때 작물별로 차이가 있는 것으로 나타나 본 실험에서는 배지별로 유의성이 없는 것으로 나타났다. 또한 Jun et al.(2006)은 딸기의 과중과 과경은 코이어배지와 코이어배지+펄라이트 배지에서 가장 높았으며, An et al.(2009)은 파프리카에서 코코피트 배지가 암면배지에 비해 과실이 큰 것으로 보고하여 배지별로 수분 보유력이 높고, 근권의 변화가 적은 처리가 과실 비대발달에는 좋은 것으로 알려졌으나 본 실험에서는 유의성이 없었다.

3.5. 수량분석

토마토 수확 초기부터 3개월까지의 주당 총 수확과수는 CP2 처리구가 18.8개로 많았으며 CP1 처리구 18.0개,

Table 3. Characteristics of tomato fruit as affected by environmental substrate composition

Treatment[z]	Fruit length (cm)	Fruit width (cm)	Fruit weight (g/ea)	Soluble solid content (°Brix)
CP1	5.79 a[y]	6.93 a	157.9 a	3.7 a
CP2	5.88 a	6.97 a	164.0 a	4.2 a
CPR	5.80 a	7.01 a	163.8 a	3.9 a

[z]CP1; Coir chip 50%+dust 50%, CP2; Coir chip 80%+dust 20%, CPR; CP2+rockwool
[y]Mean separation within by Duncan's multiple range test at p=0.05.

Table 4. Number of harvested fruit, normality percentage and yield as affected by environmental substrate composition

Treatment[z]	Harvested fruit		No. of normality fruit[y]	Percentage of normality (%)	Yield (g/pl.)	Yield index
	Fruit no.	weight (g/pl.)				
CP1	18.0 a[x]	3,080 b	14.8 b	82.5	2,541 b	100
CP2	18.8 a	3,324 a	16.8 a	89.4	2,972 a	117
CPR	17.2 a	3,151 ab	16.2 a	94.2	2,968 a	117

[z]CP1; Coir chip 50%+dust 50%, CP2; Coir chip 80%+dust 20%, CPR; CP2+rockwool
[y]Normality fruit is over 100 g weight.
[x]Mean separation within by Duncan's multiple range test at p=0.05.

CPR 처리구 17.2개 순으로 CP2 처리구가 CPR 처리구보다 1.6개정도 많이 수확되었다(Table 4). 1주당 과실 무게가 100 g 이상인 정상과수는 CP2 처리구가 16.8개로 가장 많았으며 CPR 처리구는 16.2개, CP1 처리구는 14.8개이었다. 상품과율은 CPR 처리구는 94.2%로 가장 높았고, CP2 처리구는 89.4%, CP1 처리구 82.5% 순이었다. 주당 수량은 CP2 처리구가 2,972 g/주, CPR 처리구 2,968 g/주로, CP1 처리구의 2,541 g/주보다 17% 정도 높았다. 딸기 수경재배시 배지의 종류별로 코이어 배지가 암면이나 펄라이트 단용 배지보다 수량이 높은 것으로 보고(Jun et al., 2006; Lee et al., 2017)하여 본 실험에서도 코이어 배지의 조성을 chip과 dust 비율을 8:2로 조성하거나 8:2+암면배지로 조성하면 공극률이 높아져 광합성능력과 근활력이 좋아지기 때문에 5:5 조성보다 수량이 높은 것으로 나타났다. 따라서 토마토 양액재배시 코이어배지를 사용할 경우, 코이어 chip과 dust 비율을 8:2 정도로 혼합하여 사용하거나 8:2+암면배지로 조성하면 좋을 것으로 판단된다.

4. 결 론

토마토 양액재배시 배지종류를 코이어 chip과 dust 비율을 50:50(CP1), 80:20(CP2) 및 80:20+암면(CPR) 등 3종류로 하여 배지종류별 생육과 수량을 비교 분석하였다. 재배 중 양액공급량은 모든 처리에서 평균적으로 190 mL/주/회이었고, 급액 EC는 2.6-2.9 dS/m, pH는 5.8-6.2의 범위를 유지하도록 공급하였다. 배수율은 배지별로 약간의 차이가 있었는데, CP1은 31%, CP2는 36%, CPR은 29% 이었다. 초장은 CP1과 CPR 처리구가 CP2 처리구보다 컸고, 엽면적은 CP2 처리구가 가장 컸으며 생체중 및 건물중에 있어서는 CP2 처리구와 CPR 처리구가 컸다. 광합성특성은 순광합성률은 CP2 처리구가 19.31 μmol CO_2/m^2s로 가장 컸으며 CP1 처리구가 12.95 μmol CO_2/m^2s로 가장 낮았고, 근활력 역시 CP2 처리구가 0.24 absorb. at 420 nm로 가장 높았다. 과실의 당도는 CP2 처리구가 4.2 °Brix, CP1 처리구는 3.7 °Brix, CPR 처리구는 3.9 °Brix이었으나 통계적인 유의성은 없었다. 토마토 1주당 수량은 광합성능력과 근활력이 좋았던 CP2 처리구가 2,972 g/주, CPR 처리구

2,968 g/주로, CP1 처리구의 2,541 g/주보다 17% 정도 높았다. 따라서 토마토 양액재배시 코이어 chip과 dust 비율을 80:20으로 혼합하거나 CPR 배지로 조성하는 것이 생산성에 좋을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 성과물은 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호 : PJ01389101)의 지원에 의해 이루어진 것임.

REFERENCES

An, C. G., Hwang, Y. H., Shon, G. M., Lim, C. S., Cho, J. L., Jeong, B. R., 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, 223-238.

Berridge, M. V., Herst, P. M., Tan, A. S., 2005, Tetrazolium dyes as tools in cell biology: new insights into their cellular reduction, Biotechnol. Ann. Rev., 11, 127-152.

Evans, M. R., Stamps, R. H., 1996, Growth of bedding plant in Sphagnum peat and coir dust based substrates, J. Environ Hortic., 14, 187-190.

Gabriels, R., Verdonck, O., Mekers, O., 1986, Substrate requirements for pot plants in recirculating water culture, Acta Hortic., 178, 93-100.

Jun, H. J., Hwang, J. G., Kim, I. G., Son, M. J., Lee, K. M., Udagawa, Y. J., 2006, Effect of double layered substrate on the growth, yield and fruit quality of strawberry in elevated hydroponic system, Kor. J. Hortic. Sci. Technol., 24, 157-161.

Lee, H. H., Kim, K. H., Kang, J. Y., 2006, Comparison of the European Standard Methods and the Rural Development Administration Methods for determining chemical properties of horticultural substrates, Kor. J. Hortic. Sci. Technol., 24, 425-430.

Lee, S. G., Choi, E. Y., Lim, G. H., Choi, K. Y., 2017, Yield and inorganic ion contents in drained solution by different substrate for hydroponically grown strawberry, Kor. J. Hortic. Sci. Technol., 36, 337-349.

MAFRA (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs), 2017, Primary statistics for agrictulrue production (http://www.mafra.go.kr/main.jsp).

Milks, R. R., Fonteno, W. C., Larson, R. A., 1989, Hydrology of horticultural substrate:III. Predicting air and water content of limited-volume plug cells, J. American Soc. Hortic. Sci., 114, 57-61.

Nazari, F., Farahmand, H., Khosh-Khui, M., Salehi, H., 2011, Effects of coir as a component of potting media on growth, flowering and physiological characteristics of hyacinth, Int. J. Agric. Food Sci., 1, 34-38.

Nelson, P. V., 1991, Root substrate, In greenhouse operations and management, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA, 198-223.

Park, S. G., Lee, B. S., Chung, S. J., 1999, Effects of substrates on the growth and fruit quality of ‘Mudeungsan’ watermelon grown in hydroponics, J. Kor. Soc. Hort. Sci., 40, 419-424.

Yang, S. K., Choi, K. J., Kim, W. S., Kim, S. C., 1999, Effect of culture media on rooting and root growth of lateral shoots of cutting in cherry tomato, J. Kor. Soc. Hort. Sci., 40, 294-296.

• 이재수, 농촌진흥청 국립농업과학원 농업연구사
butiman@korea.kr
• 이현동, 농촌진흥청 국립농업과학원 농업연구관
z951246@korea.kr
• 이상규, 농촌진흥청 국립농업과학원 농업연구관
sanggyul@korea.kr
• 곽강수, 농촌진흥청 국립농업과학원 농업연구관
kskwak@korea.kr
• 김밝금, 농촌진흥청 국립농업과학원 농업연구사
bgkim8732@korea.kr
• 김태현, 농촌진흥청 국립농업과학원 농업연구사
thkim8205@korea.kr
• 백정현, 농촌진흥청 국립농업과학원 전문연구원
butterfy@korea.kr
• 노시영, 농촌진흥청 국립농업과학원 전문연구원
addio2423@korea.kr
• 홍영신, 농촌진흥청 국립농업과학원 연구원
honge159@gmail.com