

시설 내 수경재배에서 암면, 재사용암면, 코이어 배지에 따른 토마토의 생육 및 생산성 비교

안철빈¹ · 신종화^{2*}

¹안동대학교 생명과학대학 원예육종학과 대학원생, ²안동대학교 생명과학대학 원예육종학과 교수

Comparion of Rockwool, Reused Rockwool and Coir Medium on Tomato (*Solanum lycopersicum*) Growth, Fruit Quality and Productivity in Greenhouse Soilless Culture

Cheol Bin An¹ and Jong Hwa Shin^{2*}

¹Graduate Student, Department of Horticulture and Breeding, Andong National University, Andong 36729, Korea

²Professor, Department of Horticulture and Breeding, Andong National University, Andong 36729, Korea

Abstract. This experiment was conducted to find out the possibility of use of reused rockwool and comparison of growth, productivity and quality of tomatoes according to the use of rockwool and coir medium. The experiment was conducted in an automatic controlled greenhouse at Andong National University, College of Life Science, located in Andong, Gyeongsangbuk-do.. As a result of the experiment, there was no difference in the number of leaves, plant height, and leaf area between treatments, and the crown diameter was slightly higher in rockwool medium, also there was no difference between reused rockwool and coir medium. Fruit productivity showed different responses depending on the cultivation environment, but there was no significant difference between rockwool, reused rockwool and coir medium. In addition, the quality of fruit was observed to be different according to the concentration of EC in the medium. Therefore, in tomato hydroponic cultivation, there was no difference in the type of medium in growth, productivity, fruit quality and the environmental and water management had a great effect, and it is expected that the reuse of rockwool will have a positive effect on the economic point of view.

Additional key words : artificial medium, coir, hydroponic, reused rockwool, rockwool, substrate

서 론

토마토(*Solanum lycopersicum*)는 수분요구도가 높은 세계에서 가장 중요한 작물 중 하나이다(Tzortzakakis와 Economakis, 2008; Zhang 등 2016). 수경재배는 유기질 및 무기질의 인공 배지를 사용하는 양액재배 시스템으로, 토양전염병의 피해를 감소시키고, 노지재배에 비해 생육에 적합한 환경조절이 가능하여 토마토 재배에 주로 이용된다(Salokhe 등, 2005). 수경재배에 사용되는 인공배지의 물리화학적 특성은 작물의 근권환경과 밀접한 관련이 있으며, 작물의 수확량 및 품질에 큰 영향을 미친다(Hanna, 2009; Urrestarazu 등, 2008). 수경재배에 이용되는 배지는 주로 무기배지인 암면과 유기배지인 코이어가 사용된다. 암면은 수분 조절이 가능하여 정밀한 관수

제어가 가능한 장점을 지니고 있지만(Nelson과 Fonteno, 1991), 양분 조절에 고도의 기술이 요구되며 폐암면의 폐기처리가 어려운 단점이 있다(Benoit와 Ceustermans, 1995). 하지만 선행연구에서 암면을 이용한 재배에서 고도의 양수분 조절기술이 접목되면 유기배지에 비하여 토마토의 수확량 및 과실의 품질을 증대시킬 수 있다고 보고되었으며, 유기배지에 비하여 배지의 수명이 길어 재사용의 효율이 좋다고 보고하였다(Hanna, 2005; Inden과 Torres, 2004; Wilson, 1988). 무기배지의 재사용은 환경문제뿐만 아니라 경제적 이익을 위해 중요하며, 재사용 배지의 사용 가능성에 대한 연구는 다양하게 진행되어왔다(Asaduzzaman과 Saifullah, 2015; Kang과 Jung, 1995). 재사용배지는 일반배지와 비교하여 화학적으로 큰 차이가 없으며(Acuna 등, 2005), Urrestarazu 등(2008)은 파프리카와 멜론의 경우 미사용암면과 비교하여 재사용암면에서도 수확량의 차이를 보이지 않았다고 보고하였다. 하지만, Borosić 등(2007)은 토마토 재배에서 재사용 암면이 미사용

*Corresponding author: shinhj@andong.ac.kr

Received March 29, 2021; Revised May 14, 2021;

Accepted May 16, 2021

암면에 비해 수확량을 감소시킬 수 있다고 보고하였다. 코이어는 완충능이 크기 때문에 양수분관리에 따른 근권의 화학적 변화가 크지 않아 안정적인 작물의 생산이 가능하지만 (Hellemans, 2006), 공급 원료의 산지나 환경 및 가공법에 따라 이화학적 특성이 다르며(Evans 등, 1996), 코이어 더스트와 칩의 비율에 따라서도 생육 및 생산량에 많은 차이를 보인다(Inden과 Torres, 2004). 이러한 이유로 작물의 종류에 따른 생육과 생산량 비교에서 배지에 따른 효과의 차이가 다양하게 나타난다. 이와 같이 재사용배지, 유기배지 및 무기배지의 종류가 생육 및 품질에 미치는 영향은 서로 다른 결과를 보이며, 작물과 재배조건 및 생육환경을 고려하여 적합한 배지 선정이 필요하다(Böhme, 1995). 따라서, 본 실험은 암면의 재사용 가능성과, 동일한 재배 조건 내에서 배지가 토마토 생육 및 과실생산성에 미치는 영향을 비교하기 위해 진행되었다.

재료 및 방법

1. 실험조건

실험은 경북 안동시에 위치한 안동대학교 생명과학대학 3P 자동제어온실(N36°5, E128°8, 4연동, polyolefin 필름 일중피복, 폭: 25m, 길이: 24m, 동고: 9.6m, 측고: 6m)에서 2020년 4월 28일부터 2020년 8월 25일까지 진행되었다. 실험에 사용된 토마토는 ‘도태랑’ 품종의 접목묘로, 육묘장으로부터 유묘를 구입하여 사용하였다. 시설 내 온도, 습도데이터는 열전대(Thermocouple Wire Type-T, On digital Instruments Co., Ltd., Korea)를 이용하여 데이터로거(CR1000, Campbell scientific, USA)에 1초 간격으로 수집되었으며, 실험기간 동안 온실 내부의 환경은 주간온도 24–35°C, 야간온도 11–21°C, 습도 50–85% 범위에서 유지될 수 있도록 관리하였다(Fig. 1).

2. 배지조건 및 생육관리

재사용암면, 암면 및 코이어배지에 따른 생육과 과실품질의 비교를 위해 가식 시기부터 각각의 배지에 식재하였다. 재사용암면은 2019년 11월부터 2020년 3월동안 딸기재배에 이용되었던 암면슬라브를 사용하였다. 암면큐브(100 × 100 × 65mm, UR media, Korea)와 코이어 큐브(100 × 100 × 65mm, UR media, Korea)에 2020년 4월 28일 가식하여 큐브 외부에서 뿌리의 돌출이 확인될 때까지 육묘하였다. 코이어 슬라브(Coco-peat, Satis international Co., Ltd, Sri lanka), 암면 슬라브(1000 × 150 × 75mm, UR media, Korea), 재사용 암면 슬라브(1000 × 150 × 75mm, UR media, Korea)를 사용하여 2020년 5월 7일 재식간격 33cm, 줄간격 1m로 정식하였으며, 원줄기 재배 방식으로 주 2회 유인, 적심 관리하였다. 과실의

수정을 위하여 서양뒤영벌(*Bombus terrestris*)이 이용되었다. 과실의 생산성이 높았던 선행연구에 따라 엽면적지수(leaf area index)는 최대 4.0 수준으로 적엽관리 하였다(Jo와 Shin, 2020).

3. 양액 조성 및 관수처리

관수는 시설 내 설치된 일사량계(LI200X, Pyranometer, USA)를 이용하여 누적광량이 100J에 도달하였을 때 1회 급액하였다. 점적드리퍼를 이용하여 Yamazaki 토마토 전용배양액(NO₃-N 7.0meq·L⁻¹, NH₄-N 0.7meq·L⁻¹, P 2.0meq·L⁻¹, K⁺ 4.0meq·L⁻¹, Ca²⁺ 3.0meq·L⁻¹, Mg²⁺ 2.0meq·L⁻¹, S 2.0 meq·L⁻¹)을 식물 개체당 관수 1회에 100mL씩 공급하였다. EC는 생육단계별로 유묘기 0.8ds·m⁻¹부터 0.3ds·m⁻¹씩 상향 조정하여 과실이 착과되는 시기에 2.5ds·m⁻¹까지 높여주었다. 공급양액의 pH는 5.8–6.3 범위에서 유지될 수 있도록 관리하였다.

4. 생육조사

토마토의 생육 측정은 2020년 5월 28일부터 1주일 간격으로 초장, 엽수, 줄기직경, 화방수, 착과수를 측정하였고 각 처

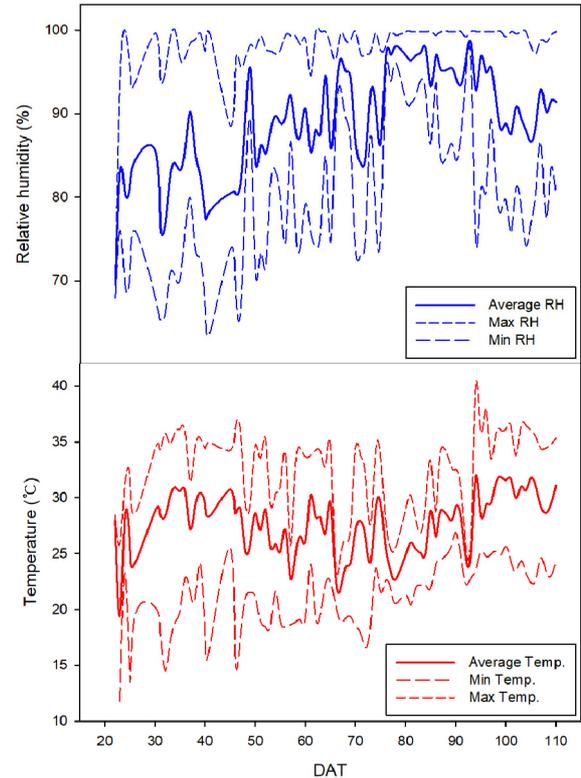


Fig. 1. Changes of average air temperature and relative humidity during the experiment in plastic house.

리별 8개체를 조사하였다. 초장은 기저부에서 성장점까지 측정하였고, 엽수는 완전히 전개한 것을 기준으로 조사하였다. 줄기직경은 디지털 버니어캘리퍼스(CD-20APX, Mitutoyo Co., Ltd., Japan)를 이용하여 기저부를 측정하였다. 배지 종류에 따른 근권영역의 EC 측정을 위해 주사기로 배지 내 양액 시료를 주 2회 채취하였다. EC의 측정은 EC 미터(Seven Duo, Mettler Toledo Co., USA)를 이용하였다. 실험 종료일에 지상부 생체중 및 전체중, 엽면적은 파괴조사를 통해 측정하였다. 생체중 및 전체중의 측정에는 전자저울(Libra-Ls450, G&G Co., Ltd., China)을 사용하여 측정하였고, 전체중은 순환 건조기(JSOF-400T, JSR Co., Ltd., Korea)를 사용해 60°C에서 7일간 고온건조한 후 측정하였으며 엽면적은 엽면적 측정기(LI-3100 Area Meter, LI-COR Inc., USA)를 이용하여 측정하였다.

5. 과실 품질분석

토마토의 수확량은 pink stage 단계에서 상시 수확하여 측정된 무게를 누적하여 계산하였으며, 품질조사를 위하여 화방별로 완숙된 과실을 기준으로 수확 직후 당도, 산도 및 경도

를 측정하였다. 당도와 산도는 착즙 하여 전자식 당산도계(ATAGO PAL-BXACID3(°Brix 0-60%, ACID 0.1-3.0%), Atago Co., Ltd., Japan)로 3개체를 3반복 측정하였다. 정형이고 중량이 50g 이상인 과실을 시장성이 있는 상품과로 구분하였다.

6. 통계분석

실험결과의 통계분석은 SPSS(IBM SPSS Statistics 26, SPSS inc., USA)를 이용하여 일원배치 분산분석(ANOVA)을 통해 유의성을 검정하였으며, Duncan의 다중범위검정(Duncan's multiple range test)으로 5% 유의수준에서 처리 평균 간 비교를 하였다. 그래프는 Sigmaplot 12.5(Sigma Plot 12.5, Systat Software Inc, USA)를 사용하여 나타내었다.

결과 및 고찰

초장은 생육일수에 따라 일정하게 증가하였으며, 처리 간 유의한 차이가 없었다(Fig. 2A). 생육 기간 중 엽수는 암면처리구에서 약간 높은 경향을 보였다. Koning(1994)에 따르면

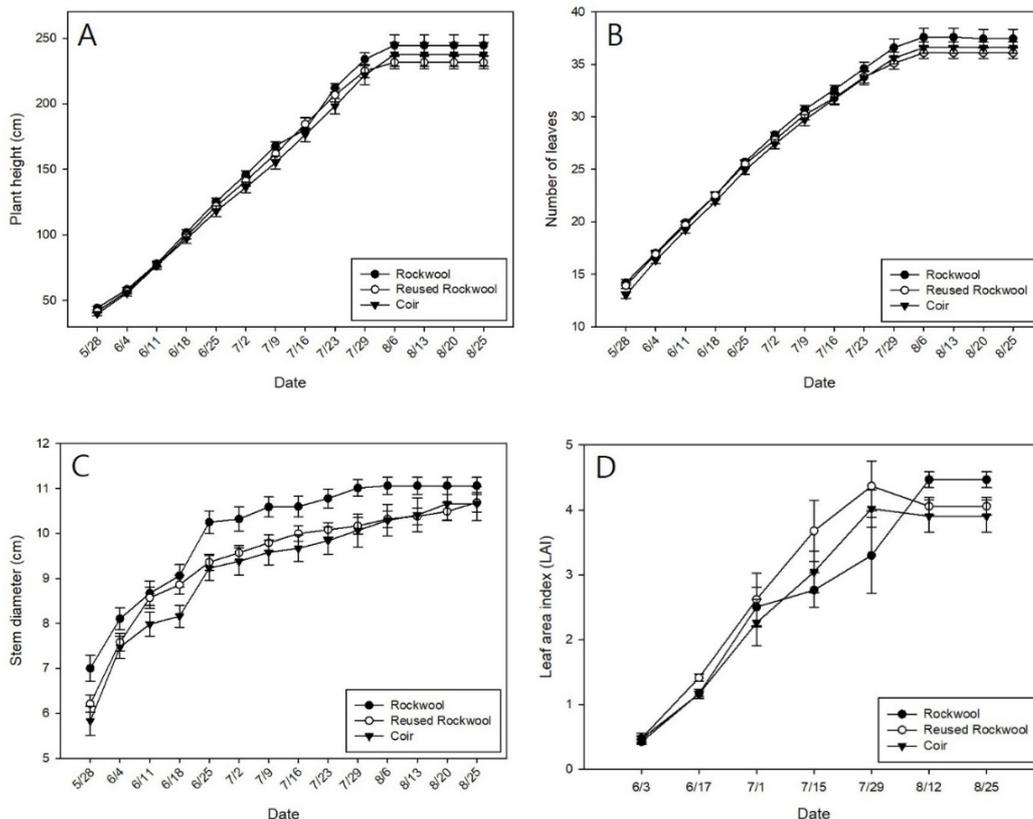


Fig. 2. Plant height (A), number of leaves (B), stem diameter (C) and leaf area index (D) changes of plants grown under 'Rockwool', 'Reused Rockwool' and 'Coir' substrates during the experimental period.

토마토의 엽은 주3매가 발생한다고 보고하였으며, 본 실험에서도 같은 결과를 보였다(Fig. 2B).

줄기직경은 생육 기간동안 암면처리에서 높았으며, 생육이 진전됨에 따라 처리에 따른 차이를 보이지 않았다(Fig. 2C). 식물의 줄기는 수분의 흐름으로 인해 주간에 수축되고 재수로 인해 야간에 확장된다(Kozlowski, 1972; Molz와Klepper, 1973). 일반적으로 수분 스트레스를 받은 식물은 스트레스를 받지 않은 식물에 비해 일일 줄기 수축이 더 크고 줄기 성장률이 낮다(Goldhamer와Fereses, 2001; Molz와Klepper, 1973). 1회 관수량은 염류집적을 고려하여 급액량의 30%가 배액으로 배출되도록 설정하였으며(Shin과 Son, 2015), 본 실험에서는 배액 조절을 위해 초기 생육기간 동안 1회 관수량의 조절이 이루어졌다. 이 기간 동안 암면배지에 비해 코이어배지 처리 및 재사용암면배지 처리에서는 수분 부족으로 인한 스트레스로 위와 같은 차이를 보인 것으로 생각된다.

Jo와Shin(2020)는 충분한 엽면적의 확보가 토마토의 생육 및 과실 생산성에 중요한 요인이라고 보고하였다. 따라서, 실험종료시점을 고려하여 생식생장의 성장을 촉진하기 위해 7월 29일 이후 엽면적을 엽면적지수(leaf area index(LAI)) 4.0

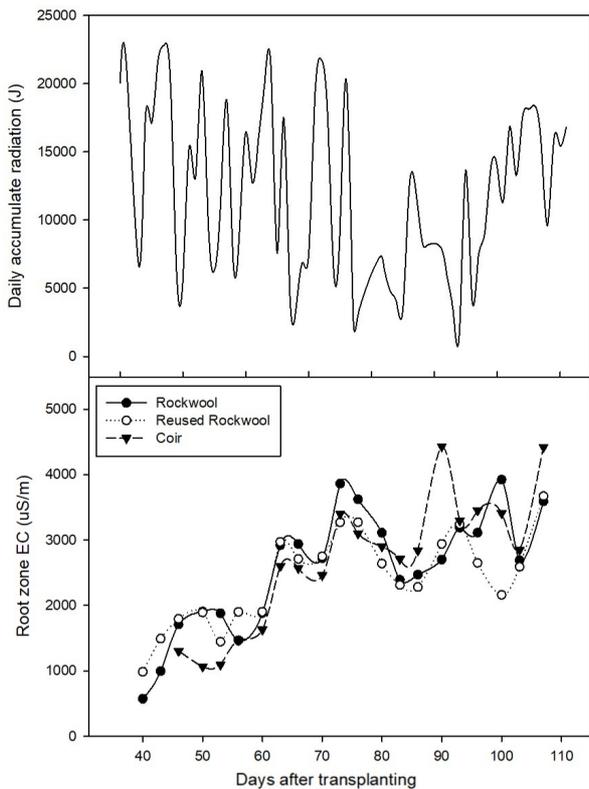


Fig. 3. Daily accumulate radiation and root zone electrical conductivity changes among 'Rockwool', 'Reused Rockwool' and 'Coir' substrates during the experimental period.

수준으로 제한하였다. 모든 처리에서 실험종료 시 까지 목표 엽면적을 유지하였으며 엽면적의 발달은 실험 기간동안 처리에 대한 차이를 보이지 않았다(Fig. 2D).

본 실험에서는 개화와 과실의 발달을 고려하여 공급양액의 EC를 DAT35 : 2.0ds·m⁻¹, DAT60 : 2.3ds·m⁻¹, DAT70 : 2.5 ds·m⁻¹ 수준으로 높여주었다. 근권 내 EC는 DAT75일에 가장 높았으며, 이후 감소하였다가 DAT 110에 다시 상승하였다 (Fig. 3). 본 실험에서는 누적광량을 기반으로 관수가 진행되었다. 하지만, 장마로 인한 광량부족으로 정상적인 급액공급 조건보다 급액빈도가 감소하였으며, 배지 내 EC의 변화는 관수량 및 광합성량의 부족으로 인한 수분흡수 저해가 영향을 미쳤을 것으로 사료된다(Heuvelink 등, 2005).

개화는 화방이 진전됨에 따라 증가하는 경향을 보였다(Fig. 4). Suhandy(2014)는 양액의 EC가 3.0ds·m⁻¹ 까지 증가함에 따라 토마토의 수확량이 증가한다고 보고하였다. 본 실험에서도 생육 단계를 고려하여 양액의 EC를 상승시켜 주었고, 이로 인해 개화수가 증가한 것으로 사료된다.

착과율은 모든 처리에서 3화방이 높았으며, 4화방에서 감소했다(Fig. 4). 시설에서의 토마토 재배는 화분매개 곤충이 필요하며(Lee 등, 2010), Peat and Goulson(2005)은 실험에 사용된 서양뒤영벌의 화분매개 활동이 높은 습도에서 낮아진다고 보고하였다. 또한, 토마토 개화 및 착과의 최적 습도는 40-70%로 최적 범위 외 고습 조건에서의 착과율은 낮아진다(Mills, 1988; Ozores-Hampton과McAvoy, 2010). 4화방의 개화 및 착과는 DAT65-DAT75에 이루어 졌으며, 4화방의 착과율 감소는 장마로 인한 시설 내 고습 조건에 따른 영향으로 사료된다.

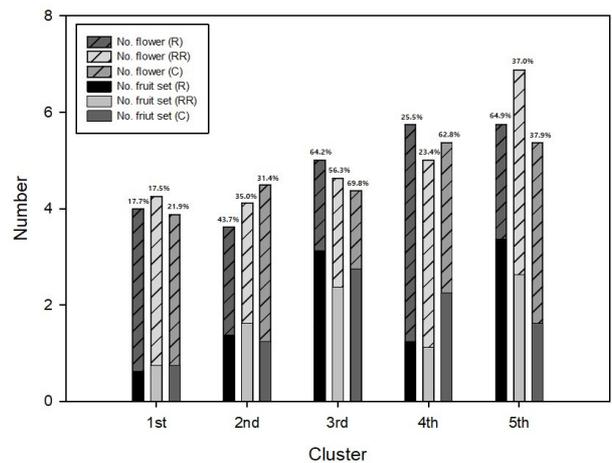


Fig. 4. Number of flower, number of fruit set and percentage of fruit set changes among R, Rockwool; RR, Reused Rockwool; C, Coir substrate during the experimental period.

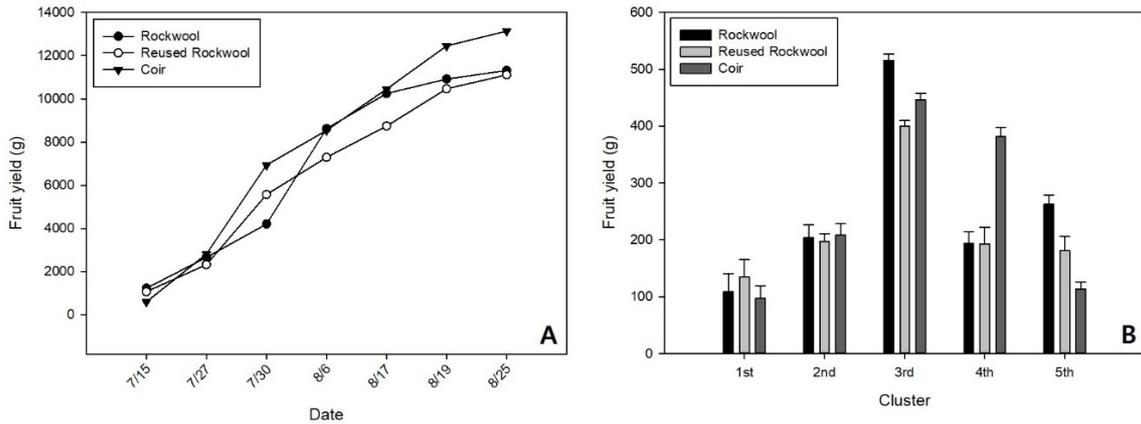


Fig. 5. Fruit yield (A) and average fruit yield by flower cluster (B) changes among 'Rockwool', 'Reused Rockwool' and 'Coir' substrates during the experimental period.

과실의 총 수확량은 코이어 처리에서 높았다(Fig. 5A). 화방 별 과실의 평균 생산량은 모든 처리에서 3화방이 가장 좋았으나, 4화방에서 감소하였다(Fig. 5B). 작물의 생산량은 증산과 관련이 있으며, 작물의 증산은 광량 및 수분스트레스에 의해 제한 될 수 있다(Morris, 1957; Okuya와 Okuya, 1988). 또한, 작물의 수분 스트레스는 식물이 수분을 유지하기 위해 기공을 닫고, 이것은 작물의 생육 및 증산량 감소로 이어진다(Stewart 등, 1977). 본 실험에서도 4화방의 착과 및 과실비대기에 불리한 기상조건으로 광량 및 관수량이 감소하였고(Fig. 3), 이로 인한 증산 및 수분스트레스에 의해 생산량이 감소한 것으로 사료된다.

4화방에서 수확량의 감소는 코이어배지에 비해 암면과 재사용암면에서 높았다(Fig. 4). 또한, 4화방에서 암면과 재사용암면의 수확량 감소에 대한 차이는 총 생산량의 차이와 일치한다. 코이어배지는 암면에 비하여 무게, 밀도 및 최대포화용수량이 높다(Shin과 Son, 2015). 따라서, 암면 및 재사용암면 배지에 비해 코이어 배지의 생산량이 높았던 것은 4화방의 착과 및 과실 비대기에 코이어배지 특성상 암면배지에 비해 보유수분량이 많아 수분스트레스를 비교적 덜 받았기 때문으로 생각된다.

토마토의 평균 과중은 1화방에서 코이어 처리가 유의적으로 낮았으며, 3화방에서는 처리에 관계없이 동일하게 나타났다(Fig. 6).

토마토 과실은 수분스트레스에 많은 영향을 받으며, 과실 비대기에 물의 공급이 부족할 경우 과실의 크기는 감소한다(Nuruddin 등, 2003). 1화방에서 코이어배지의 과실 크기가 작았던 것은 코이어배지가 암면배지와 비교하여 밀도가 높아 포화에 필요한 용수량이 컸으나 생육 초기의 관수량이 암면배지에 비해 충분하지 못하여 수분 스트레스를 받은 것으로 판

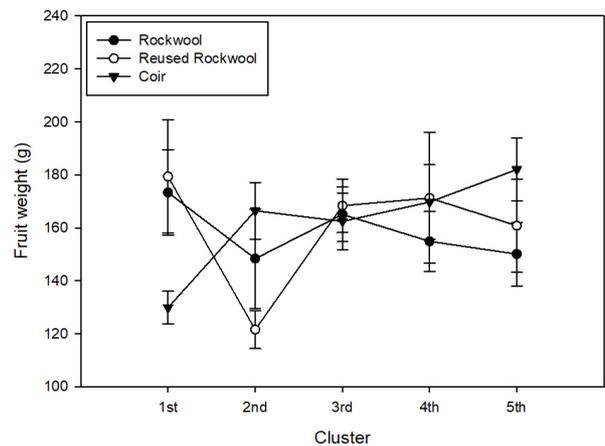


Fig. 6. Fruit average weight changes among 'Rockwool', 'Reused Rockwool' and 'Coir' substrate during the experimental period.

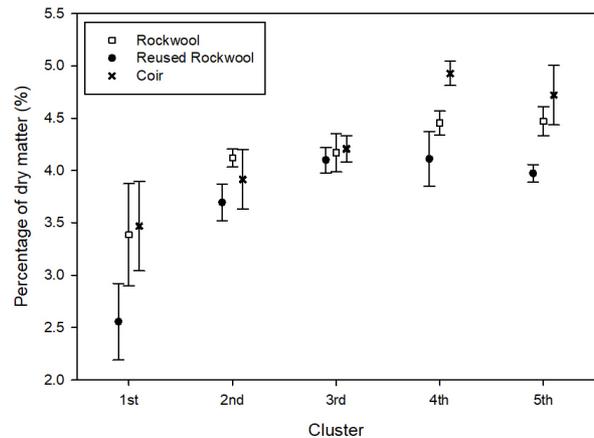


Fig. 7. Percentage of fruits dry matter changes among 'Rockwool', 'Reused Rockwool' and 'Coir' substrate during the experimental period.

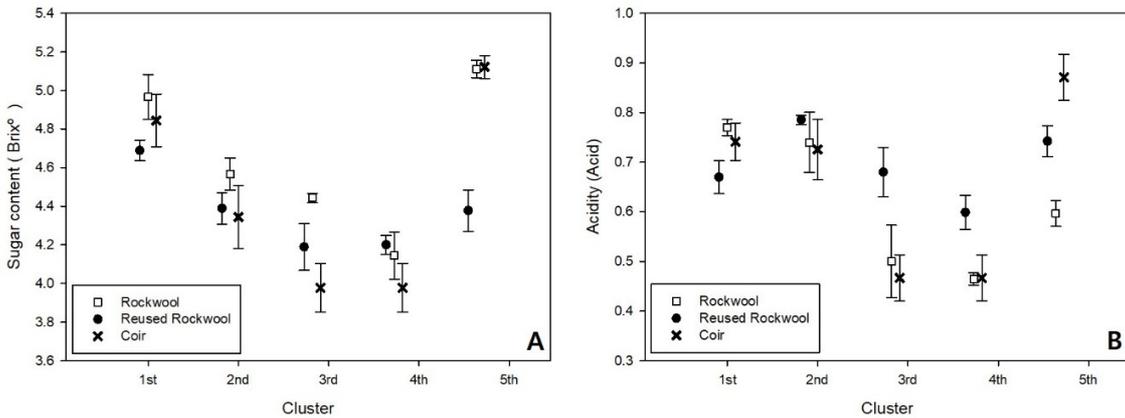


Fig. 8. Fruit quality changes among 'Rockwool', 'Reused Rockwool' and 'Coir' substrate during the experimental period.

단된다. 또한, 3화방에서의 평균과중이 균일한 것은 다른 화방에 비해 과실 비대기의 관수 처리 및 생육환경이 비교적 적합했기 때문으로 판단된다.

과실의 건물물은 암면 및 재사용 암면배지에 비해 코이어배지에서 높았으며, 생육이 진전됨에 따라 증가하는 경향을 보였다(Fig. 7). Mitchell 등(1991)은 부족한 관수처리가 토마토의 건물물을 높일 수 있다고 보고하였다. 본 실험에서, 생육기간 동안 코이어 처리에서 건물물이 높았던 것은 생육기간 동안 코이어배지의 관수량이 암면 및 재사용 암면에 비해 부족했다는 것을 의미한다. 또한, Zhang 등(2016)은 근권의 염분 스트레스가 토마토 과실의 건물축적을 증가시킬 수 있다고 보고하였다. 따라서, 생육이 진전됨에 따라 건물의 축적률이 높아진 것은 관수 처리에서 점진적으로 EC를 높여주었기 때문으로 판단된다.

과실의 당도 및 산도는 4화방까지 코이어 배지에 비해 암면 및 재사용 암면배지에서 높은 경향을 보였다(Fig. 8). Dobričević 등(2008)은 암면배지에 비해 코이어배지에서 생산된 과실의 품질이 더 좋다고 하였다. 하지만, 본 실험에서는 기존의 연구결과와 상반되는 양상을 보였다. DAT 80까지의 배지 내 EC 농도가 암면에 비해 코이어에서 낮게 유지되었으며(Fig. 3), 이는 4화방까지의 착과 및 과실 비대기와 일치한다. 또한, 5화방에서는 코이어처리에서 당도 및 산도가 높은 것을 확인할 수 있었다. 5화방의 과실 비대기에 근권 EC 농도는 암면 및 재사용 암면에 비해 높기 때문에 과실의 품질은 근권 내 EC 농도의 영향을 받는다는 것을 알 수 있었다.

결론

본 실험을 통해 토마토 작물에서 인공배지의 종류 및 배지 재사용에 따른 생육 및 과실 생산성을 확인하였다. 모든 처리

간 생육과 과실 품질의 차이는 없으며 재사용 암면과 암면은 과실생산성 및 품질에서 차이가 없었다. 과실의 생산성은 암면 및 재사용 암면에 비해 코이어에서 우수하였지만 배지의 종류보다 생육환경 및 수분관리의 영향이 더 큰 것을 확인하였다. 또한, 관수전략은 암면배지에 비해 코이어배지의 1회 관수량을 높게 설정해야 한다. 따라서, 인공배지를 이용한 수경재배에서 수분에 민감한 가짓과 작물인 토마토는 배지의 물리화학적 특성과 재배환경 및 생육단계를 고려하여 생육단계별 정밀 관수 처리기술이 요구될 것으로 사료된다.

적요

본 실험은 암면과 코이어 배지의 이용에 따른 토마토의 생육, 생산성 및 품질 비교 및 재사용 암면 이용가능성을 알아보기 위해 경북 안동시에 위치한 안동대학교 생명과학대학 자동 제어온실에서 진행되었다. 실험결과 토마토의 엽수, 초장, 엽면적은 처리간 차이가 없었으며 줄기직경은 암면배지에서 약간 높은 경향을 보였지만 재사용 암면 및 코이어배지간의 차이는 없었다. 과실생산성은 기상 조건에 따라 상이한 반응을 보였지만, 암면, 재사용 암면 및 코이어배지간의 큰 차이를 보이지 않았다. 또한 과실의 품질은 배지 내 EC의 농도에 따른 차이를 보였다. 따라서, 수경재배에서 토마토의 생육 및 과실 품질은 배지의 종류에 대한 차이가 없었으며 환경 및 급액관리에 따른 영향이 컸다. 본 실험을 통해 토마토 수경재배에서 생육단계별 적정 수분관리기술이 적용된다면 암면의 재사용에 따른 경제성 향상에 기여될 수 있을 것으로 판단된다.

추가주제어: 배지, 수경재배, 암면, 인공배지, 재사용 암면, 코이어

사 사

이 논문은 안동대학교 기본연구지원사업에 의하여 연구되었음.

Literature Cited

- Acuna R., S. Bonachela, and J.J. Magan 2005, Response of a sweet pepper crop grown in new and two-year-old reused rockwool slabs in greenhouse on the Mediterranean coast of south-east Spain. *Acta Hortic* 697:189-194. doi:10.17660/ActaHortic.2005.697.23
- Asaduzzaman M., and M. Saifullah 2015, Influence of soilless culture substrate on improvement of yield and produce quality of horticultural crops. Intech, London, UK. doi: 10.5772/59708
- Benoit F., and N. Ceustermans 1995, Horticultural aspects of ecological soilless growing methods. *Acta Hortic* 396:11-24. doi:10.17660/ActaHortic.1995.396.1
- Böhme M. 1995, Effects of closed systems in substrate culture for vegetable production in greenhouses. *Acta Hortic* 396: 45-54. doi:10.17660/ActaHortic.1995.396.4
- Borošić J., B. Benko, B. Novak, N. Toth, I. Zutić, and S. Fabek 2007, Growth and yield of tomato grown on reused rockwool slabs. *Acta Hortic* 819:221-226. doi:10.17660/ActaHortic.2009.819.24
- Dobričević N., S. Voća, J. Borošić, and B. Novak 2008, Effects of substrate on tomato quality. *Acta Hortic* 779:485-490. doi:10.17660/ActaHortic.2008.779.61
- Evans M.R., S. Konduru, and R.H. Stamps 1996, Source variation in physical and chemical properties of coconut coir dust. *HortScience* 31:965-967. doi:10.21273/HORTSCI.31.6.965
- Goldhamer D.A., and E. Fereres 2001, Irrigation scheduling protocols using continuously recorded trunk diameter measurements. *Irrigation Science* 20:115-125. doi:10.1007/s002710000034
- Hanna H.Y. 2005, Properly recycled perlite saves money, does not reduce greenhouse tomato yield, and can be reused for many years. *HortTechnology* 15:342-345. doi:10.21273/HORTTECH.15.2.0342
- Hanna H.Y. 2009, Influence of cultivar, growing media, and cluster pruning on greenhouse tomato yield and fruit quality. *HortTechnology* 19:395-399. doi:10.21273/HORTSCI.19.2.395
- Hellemans B. 2006, Environmental Control and Paprika Growing Technique. Substratus Res Center, Netherlands.
- Heuvelink E., M.J. Bakker, A. Elings, R. Kaarsemaker, and L. Marcelis 2005, Effect of leaf area on tomato yield. *Acta Hortic* 691:43-50. doi:10.17660/ActaHortic.2005.691.2
- Inden H., and A. Torres 2004, Comparison of four substrates on the growth and quality of tomatoes. *Acta Hortic* 644:205-210. doi:10.17660/ActaHortic.2004.644.27
- Jo W.J., and J.H. Shin 2020, Effect of leaf-area management on tomato plant growth in greenhouses. *Hortic Environ Bio* 61:981-988. doi:10.1007/s13580-020-00283-1
- Kang T.M., and H.B. Jung 1995, Effect of rockwool classification on the growth and yield in long term culture of tomatoes. *J Kor Soc Hort Sci* 13:352-353.
- Koning A.N.M. de 1994, Development and dry matter distribution in glasshouse tomato: a quantitative approach. Wageningen university and research, Netherlands.
- Kozłowski T.T. 1972, Water deficits and plant growth, Vol 3. USA.de Koning A.N.M. 1994. Development and dry matter distribution in glasshouse tomato: a quantitative approach, Vol 31. De Koning. Netherlands.
- Lee S.B., W.T. Kim, K.H. Park, Y.C. Choi, N.G. Ha, and S.R. Kim 2010, Comparison on Life Span Elongation and Economic Effect of *Bombus terrestris* Hives Released According to Setting Height of Hive in Cherry-tomatoes Houses. *J Apic* 25:91-96.
- Mills L. 1988, Common Tomato Disorders under Desert Conditions. FS-88-60. Reno: University of Nevada Cooperative Extension, USA.
- Mitchell J., C. Shennan, S.R. Grattan, and D.M. May 1991, Tomato fruit yields and quality under water deficit and salinity. *J Am Soc Hortic Sci* 116:215-221. doi:10.21273/JASHS.116.2.215
- Molz F.J., and B. Klepper 1973, On the Mechanism of Water-Stress-Induced Stem Deformation 1. *Agron J* 65:304-306. doi:10.2134/agronj1973.00021962006500020035x
- Morris L.G. 1957, The transpiration of glasshouse crops and its relationship to the incoming solar radiation. *J Agric Eng Res* 2:111-122.
- Nelson P.V., and W.C. Fonteno 1991, Physical analysis of rockwool slabs and effects of fiber orientation, irrigation frequency and propagation technique on chrysanthemum production. *J Plant Nutr* 14:853-866. doi:10.1080/01904169109364247
- Nuruddin M.M., C.A. Madramootoo, and G.T. Dodds 2003, Effects of water stress at different growth stages on greenhouse tomato yield and quality. *HortScience* 38:1389-1393.
- Okuya A., and T. Okuya 1988, The transpiration of greenhouse tomato plants in rockwool culture and its relationship to climatic factors. *Acta Hortic* 230:307-312. doi:10.17660/ActaHortic.1988.230.39
- Ozores-Hampton M., and G. McAvoy 2010, What causes blossom drop in tomatoes?. *The Tomato Magazine* 14:4-5.
- Peat J., and D. Goulson 2005, Effects of experience and weather on foraging rate and pollen versus nectar collection in the bumblebee, *Bombus terrestris*. *Behav Ecol Sociobiol* 58: 152-156. doi:10.1007/s00265-005-0916-8
- Salokhe V.M., M.S. Babel, and H.J. Tantau 2005, Water

- requirement of drip irrigated tomatoes grown in greenhouse in tropical environment. *Agric Water Manage* 71:225-242. doi:10.1016/j.agwat.2004.09.003
- Shin J.H., and J.E. Son 2015, Comparisons of water behavior and moisture content between rockwools and coir used in soilless culture. *J Biol Environ Sci* 24:39-44. doi:10.12791/KSBEC.2015.24.1.039
- Stewart J.I., R.M. Hagan, W.O. Pruitt, R.E. Danielson, W.T. Franklin, and R.J. Hanks 1977, Optimizing crop production through control of water and salinity levels in the soil. Reports. Paper 67.
- Suhandy D., R.A.B. Rosadi, M. Senge, and A. Tusi 2014, The effect of EC levels of nutrient solution on the growth, yield, and quality of tomatoes (*Solanum lycopersicum*) under the hydroponic system. *JAEB* 2:7-12.
- Tzortzakis N.G., and C.D. Economakis 2008, Impacts of the substrate medium on tomato yield and fruit quality in soilless cultivation. *Hort Sci* 35:83-89. doi:10.17221/642-HORTSCI
- Urrestarazu M., P.C. Mazuela, and G.A. Martínez 2008, Effect of substrate reutilization on yield and properties of melon and tomato crops. *J Plant Nurt* 31:2031-2043. doi:10.1080/01904160802405420
- Wilson G.C.S. 1988, The effect of various treatments on the yield of tomatoes in reused perlite. *Acta Hort* 221:379-382. doi:10.17660/ActaHortic.1988.221.42
- Zhang P., M. Senge, and Y. Dai 2016, Effects of salinity stress on growth, yield, fruit quality and water use efficiency of tomato under hydroponics system. *Rev Agric Sci* 4:46-55. doi:10.7831/ras.4.46