

PLANT&FOREST

Changes in inorganic element concentrations in leaves and nutrient solution of supplied and drained during retarding cultivation of *Lycopersicum esculentum* var. 'Dafnis' and 'TY Tiny'

Eun Mo Lee¹, Bong Chun Lee¹, Hee Chul Lee², Yeo Uk Yun¹, Sang Kyu Park¹, Soo Bok Park³, Sun Ok Chung⁴, In Sook Park⁵, Jong Myoung Choi^{5*}

¹Chungcheongnam-do ARES, Fruit & Vegetable Research Institute, Buyeo 33119, Korea

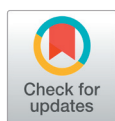
²Chungcheongnam-do ARES, Strawberry Research Institute, Nonsan 32914, Korea

³Chung-oh Engineering Co., Ltd., Research Institute, Daejeon 34364, Korea

⁴Department of Biosystems Machinery Engineering, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

⁵Department of Horticultural Sciences, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

*Corresponding author: choi1324@cnu.ac.kr



OPEN ACCESS

Citation: Lee EM, Lee BC, Lee HC, Yun YU, Park SK, Park SB, Chung SO, Park IS, Choi JM. Changes in inorganic element concentrations in leaves and nutrient solution of supplied and drained during retarding cultivation of *Lycopersicum esculentum* var. 'Dafnis' and 'TY Tiny'. Korean Journal of Agricultural Science 49:629-641. <https://doi.org/10.7744/kjoas.20220057>

Received: May 13, 2022

Revised: August 05, 2022

Accepted: August 13, 2022

Copyright: © 2022 Korean Journal of Agricultural Science



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract

This research was conducted to secure fundamental data for development of a recirculating hydroponic system. To achieve this, *Lycopersicum esculentum* var. 'Dafnis' and 'TY Tiny' were grown with Yamazaki hydroponic solution and the inorganic element concentrations of plant leaves and nutrient solution of supplied and drained were analyzed periodically. The T-N and P contents in both varieties of tomato leaves showed gradual decreasing tendencies with the passage of time. The 'TY Tiny' tomato had higher contents of those two nutrients than 'Dafnis' tomato in the late stage. The K content of 'Dafnis' tomato was high in the early growth stage, but low in the late stage. However, that of 'TY Tiny' tomatoes rose in the late stage. The Ca content gradually increased in both varieties of tomato in the latter stages. The EC of the drained nutrient solution in both varieties of tomato showed increasing tendencies as time had passed, but the pH was get lowered in the drained solution. The concentrations of NO₃-N, K, Ca, Mg, Na, Fe, and B, except PO₄-P in the drained nutrient solution were generally higher than those in the supplied solution, especially in the period of October through December. The above results can be used for controlling of nutrient concentrations in the recirculated hydroponic cultivation of tomato.

Key words: electric conductivity, growth characteristics, inorganic element, pH, yield

Introduction

국내의 토마토 생산은 재배면적 5,521 ha, 생산량은 344천 톤으로 보고되었다(MAFRA, 2021). 국내의 전체 토마토 재배면적 및 생산량은 다소 감소하고 있지만 시설원예 현대화를 위한 정부의 지원으로 수경재배 시설을 갖춘 1 ha 이상의 대형 토마토 생산 온실은 매년 증가하여 1,853농가, 918.2 ha에서 재배되고 있다(RDA, 2021).

시설원예의 경쟁력을 강화시키고 수출 증가를 위한 생산방법이 된 수경재배는 무기양분의 흡수 효율 증대, 토양 전염되는 병 발생 감소, 연작장해 감소, 생산과정의 생력화, 그리고 수량 증대 및 품질 향상 등 많은 장점을 갖는다(Park and Kim, 1998; Sonneveld and Voogt, 2009; Raviv and Lieth, 2020). 수경재배는 순수 수경재배와 인공배지를 사용하는 배지경 재배로 구분할 수 있으며(Lee et al., 2011; Nelson, 2012) 국내의 토마토 수경재배는 대부분 배지경 재배방법으로 이루어지고 있다. 또한 농가 스스로 양액을 조제하여 공급하여야 하기 때문에 전문화된 지식이 필요하며 재배환경 및 재배방식에 따라 양액을 적절하게 관리하여야 최적의 생육 및 수량을 확보할 수 있다(Park and Kim, 1998; Sung et al., 2014).

국내에서 재배되고 있는 일반토마토의 일본품종은 도색계로 단기재배에 적합하지만 유럽품종은 일반적으로 적색계이며 내병성 및 착과 비대가 우수하고 장기간 초세 관리가 용이하여 장기간 재배에 적합하다. 반면에 최근 재배면적이 늘고 있는 방울토마토와 대추형 방울토마토는 일반토마토에 비해 생육속도 및 숙기가 빠르고 당도는 높지만 과실크기는 작은 특성을 갖고 있다(Kim et al., 2011). 이렇게 품종별로 특성이 다름에도 농가에서는 동양계 품종은 일본원시, 한국원시, 야마자키 배양액을, 유럽계 품종은 그로단 치양액을 사용하고 있다. 또한 국내 방울토마토 수경재배 면적비율이 44.8%로 높은 편임에도 불구하고(RDA, 2021) 상기 배양액을 관행적으로 사용하고 있다. 아울러 Lee 등(2017; 2019)은 방울토마토 및 일반토마토의 반축성 재배 시 생육단계별로 엽, 공급양액, 배액의 무기성분에 대한 연구를 수행한 바 있으나, 억제작형에서 토마토 품종별 무기성분 분석에 관하여 보고된 연구결과가 없다. 식물체의 무기원소 분석을 주기적으로 수행하여야 식물체의 영양 상태를 알 수 있으며, 특히 양액 재순환 재배에서는 과도한 무기원소에 의해 영양분의 흡수가 잠재적으로 억제될 수도 있고, 재배하는 작물의 양분 요구도에 따라 양액 공급 및 배액 방법이 다르고, 작물의 수확량과 수확물의 품질에 영향을 미치므로 양액재배 시 급배액 관리는 매우 중요하다(Park et al., 2019a).

따라서 토마토를 보통재배 보다 늦은 가을철에 보온 및 가온재배 하면서(억제 작형) 생육 단계에 따른 생육 특성 그리고 공급양액, 배액 및 식물체의 무기원소 분석을 통한 효율적인 수경재배 관리방법 개발에 필요한 기초자료를 확보하고자 본 연구를 수행하였다.

Materials and Methods

실험장소, 품종 및 재배방법

충남농업기술원 과채연구소의 시설하우스 내에서 본 연구를 수행하였다. 40일 간 육묘한 토마토 'Dafnis' (*Lycopersicon esculentum* var. *commune* Baily, Syngenta Korea, Seoul, Korea)와 'TY Tiny' (*L. esculentum* var. *cerasiforme* Alef, Nongwoobio Co., Suwon, Korea) 품종의 플러그 묘를 구입하여 2016년 8월 18일 펄라이트 배지가 충전된 베드에 재식거리 160 cm × 20 cm로 정식하였다. 토마토 품종별로 4베드에 베드당 200식물체로 각각 800주씩 정식하였고 2017년 2월 10일까지 실험하였다.

양액 및 재배환경 관리

양액은 다량원소의 조성은($\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$) $\text{NO}_3\text{-N}$ 7, $\text{NH}_4\text{-N}$ 0.67, $\text{PO}_4\text{-P}$ 2, K 4, Ca 3, Mg 2, SO_4 2이며, 미량 원소는($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) Fe 3.0, B 0.5, Mn 0.5, Zn 0.05, Cu 0.02, Mo 0.01인 야마자키 토마토 전용액을 조제하고, 생육단계별로 electric conductivity (EC)를 변화시켜 공급하였다. 누적 일사량이 $600\text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$ 에 도달할 때 1회당 2분 동안 식물체당 125 mL의 양액을 공급하는 것을 기본으로 삼고 식물체가 어린 생육초기에는 적게 공급하고($564 - 871\text{ mL}\cdot\text{day}^{-1}$) 토마토 생육이 증가함에 따라 공급량을 늘렸다($803 - 1,192\text{ mL}\cdot\text{day}^{-1}$). 실험을 위한 재배기간 동안 1일 식물체당 평균 양액 공급량은 'Dafnis' 990 mL, 'TY Tiny' 품종은 900 mL이었으며, 재배기간 동안 'Dafnis'는 식물체당 총 149 L, 'TY Tiny'는 135 L 공급하였다. 공급양액의 EC 수준은 활착기(9월 상순)부터 11월 상순까지는 $1.9 - 2.1\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 로, 이후 생육 후기까지 $2.2 - 2.4\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 로 다소 높게 관리하였다. 양액의 pH는 6.6-6.9 범위에 있어 조절하지 않고 사용하였다.

실험기간 중 시설 내의 최저온도가 15°C 이하로 낮아지면 온수 보일러(KR-150, Kiturami Co., Seoul, Korea)가 자동으로 작동되도록 설정하였다. 평균온도는 정식 후 생육초기인 2016년 9월까지 $23.1 - 27.9^\circ\text{C}$ 그 이후는 낮아져 $19.0 - 20.7^\circ\text{C}$ 내외였으며, 최고온도는 $24.2 - 36.0^\circ\text{C}$, 최저온도는 $14.3 - 22.1^\circ\text{C}$ 였다. 근권부 온도는 시설 평균온도와 비슷하게 유지하거나 다소 높은 경향이였다. 또한 시설 내 평균 상대습도는 정식 후 11월까지는 50 - 74% 내외였고, 이후 동절기로 접어들면서 시설 내 난방 파이프가 가동되어 34 - 43%로 낮게 관리되었다(Fig. 1).

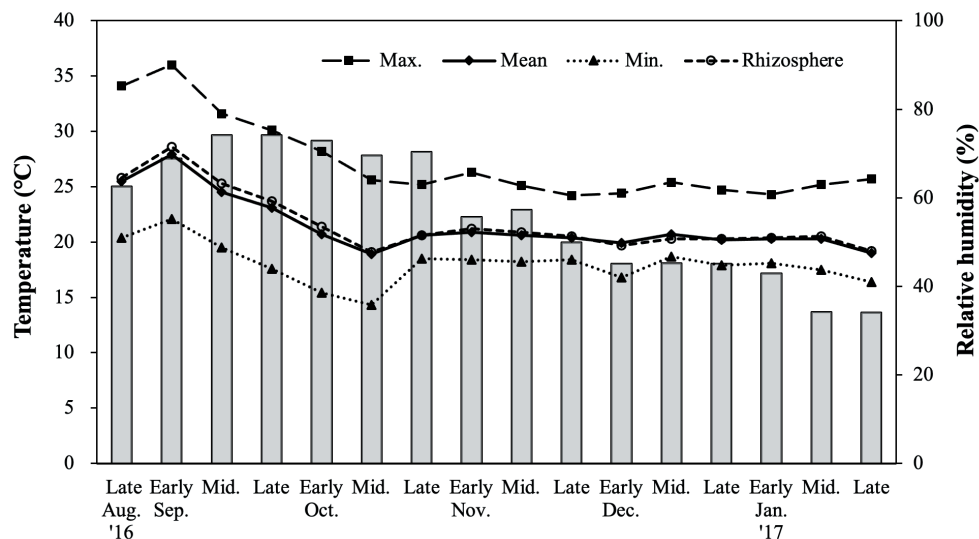


Fig. 1. Changes in the temperature and relative humidity inside of greenhouse during hydroponic retarding cultivation of tomatoes. Max., maximum; Min., minimum.

일반적으로 토마토 생육에 적합한 주간온도는 $20 - 30^\circ\text{C}$, 야간온도는 $13 - 17^\circ\text{C}$, 배지온도는 $15 - 22^\circ\text{C}$, 대기 상대 습도는 60 - 80%임을 고려할 때(Chae, 2012), 9월 하순까지는 주간 최고온도 및 배지온도가 생육 적정 범위보다 다소 높았고, 특히 11월 하순부터는 가온 재배로 시설 내 대기습도가 60% 이하로 낮게 유지되었다.

작물관리는 측지 길이가 약 10 cm 정도 되었을 때 제거하였고, 착과 유도를 위하여 4-CPA (동부토마토톤, Farm Hannong, Seoul, Korea)를 150배로 희석하여 1주일에 2회 분무기로 살포하였다. 재배 중 토마토반점위조바이러스, 작은뿌리파리 등 병충해 관리는 충남농업기술원 과채연구소 토마토 수경재배 방법에 준하였다(Chae, 2012; Kim et al., 2012).

생육 조사

초장, 엽수, 엽면적, 엽면적 지수 및 식물생장속도(crop growth rate, CGR) 등 식물 성장과 관련한 조사항목은 농촌진흥청 농업과학기술 연구 조사 분석기준(RDA, 2003)에 준하여 반복당 10주씩 30일 간격으로 조사하였다. 또한 반복당 3주씩 식물체를 채취하여 온도를 80°C로 조절된 건조기에서 48시간 건조시킨 후 건물중을 측정하였으며, 건조된 잎은 분쇄기를 이용하여 20 mesh 체를 통과하도록 분쇄하여 무기성분 분석에 이용하였다.

엽 및 양액의 무기성분 분석

식물체 엽 분석을 위해 화방별 3번화 개화기에 식물체 전체 잎을 채취하여 48시간 건조시킨 후 분석에 이용하였다. 질소는 Kjeldahl 장치(1030 analyzer, Kjeltec Auto, Jungil Science, Hwaseong, Korea)를 사용하여 분석하였다. Kjeldahl 장치를 사용한 질소분석 방법은 NIAST (2000) 방법을 따랐다. P, K, Ca, Mg, Na, Fe 및 B 분석을 위한 기자재는 ICP (Integra XM2, GBC Scientific Equipment, Braeside, Australia)였으며 시료 2 g을 정량하여 삼각플라스크에 담았고, 이후의 분석은 NIAST (2000) 방법에 준해 수행하였다. 정식된 식물체가 활착한 후 매일 공급액과 배액을 채취하여 EC 및 pH를 측정하여 순별로 평균값을 계산하였고, 무기성분 분석은 10일 간격으로 앞에서 설명한 바와 같이 동일한 ICP로 수행하였다.

조사시기 및 통계 처리

수경재배 시 식물체의 생육 조사는 정식 후 30일 간격으로 90일까지, 엽 분석은 착과 절위별 3번화 개화기에 공급액과 배액의 무기성분은 정식 후 1주일 간격으로 조사하였다. 통계 분석은 Excel 프로그램(Microsoft Excel 2016, Redmond, USA)으로 평균 및 표준오차를 구하였다.

Results and Discussion

품종별 식물 성장 변화

정식 후 재배일수가 길어짐에 따라 모든 조사항목에서 성장량이 뚜렷하게 증가하였다(Fig. 2). 초장은 'Dafnis' 품종보다 'TY Tiny'가 유의하게 길었고 정식 90일 후에 'Dafnis'는 292 cm, 'TY Tiny'는 313 cm로 조사되었다. 엽수도 초장과 유사한 경향으로 정식 90일 후 'Dafnis' (38.1매) 보다 'TY Tiny' (45.2매)가 유의하게 많았다. 그러나 엽면적은 'TY Tiny'보다 'Dafnis'가 2.3 - 2.9배 유의하게 넓었고, 엽면적 지수도 비슷한 경향이였다. 생육초기의 성장 속도(CGR)는 정식 30일과 60일 후에 일반토마토는 각각 $1.96 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ 와 $2.27 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ 로서 'TY Tiny'의 $0.39 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ 및 $1.3 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ 보다 유의하게 왕성하였다. 반면에, 정식 90일에는 두 품종 모두 $1.05 - 1.25 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ 으로 비슷하였다. 건물중은 'Dafnis'가 'TY Tiny'보다 무거워 'Dafnis'는 활착기에 $3.1 \text{ g}\cdot\text{plant}^{-1}$, 정식 30일에 $38.0 \text{ g}\cdot\text{plant}^{-1}$, 60일에는 30일보다 2.6배가 증가한 $99.2 \text{ g}\cdot\text{plant}^{-1}$, 90일에는 3.4배가 증가한 $130.7 \text{ g}\cdot\text{plant}^{-1}$ 로 급격히 성장하였다. 'TY Tiny'는 정식 30일에는 $13.7 \text{ g}\cdot\text{plant}^{-1}$, 60일에는 $52.8 \text{ g}\cdot\text{plant}^{-1}$ 로 3.9배가 증가하였고, 90일에는 6.6배가 증가한 $90.3 \text{ g}\cdot\text{plant}^{-1}$ 로 동일한 조사시기의 'Dafnis' 품종보다 지상부 성장량이 상대적으로 유의하게 적었다.

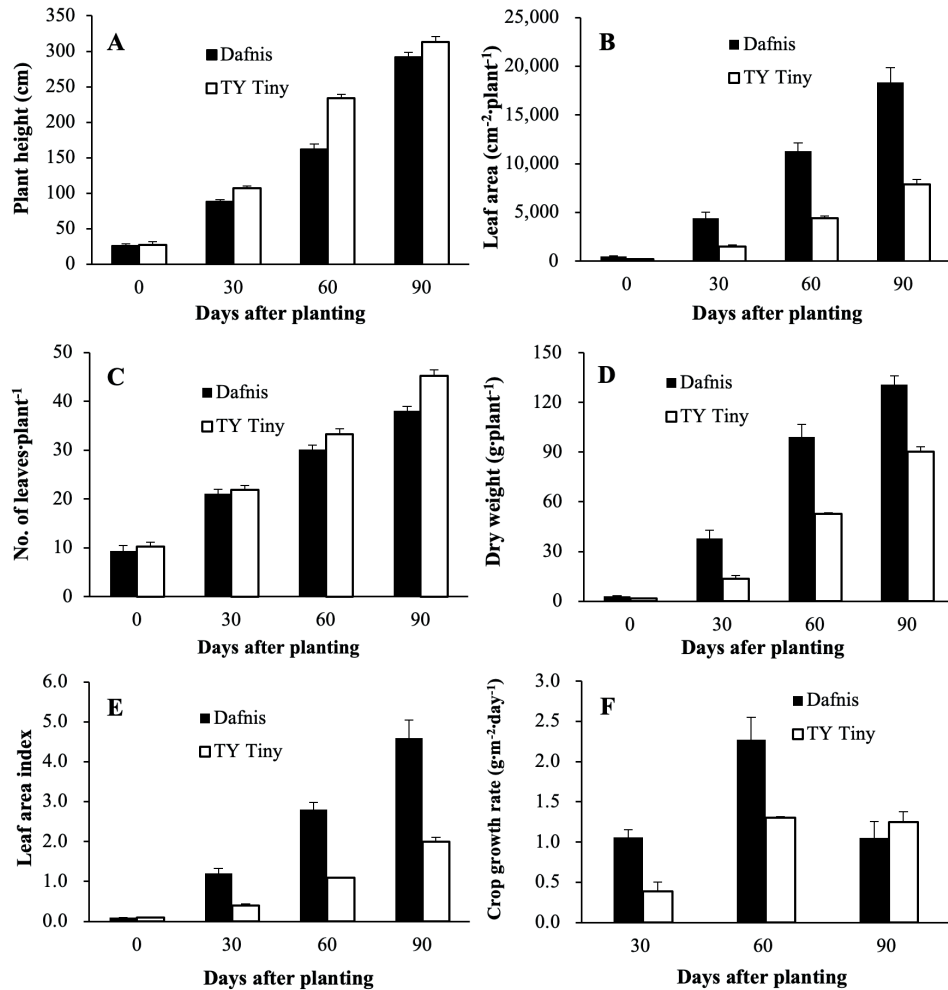


Fig. 2. Growth characteristics of *Lycopersicon esculentum* var. 'Dafnis' and 'TY Tiny' during the retarding cultivation. Vertical bars indicate the mean of 4 replications \pm SE.

착과 절위에 따른 엽의 무기성분 함량

각 착과 절위별 3번화가 개화하는 시기에 토마토 잎을 채취하여 무기성분 함량을 분석한 결과는 Fig. 3에 나타내었다. 'Dafnis'의 T-N 함량은 생육초기 1화방 개화기(4.92%)부터 4화방 개화기(4.25%)까지는 높았으나, 5화방 개화기 이후에는 점차 낮아졌고, 10화방 개화기에서는 2.99%로 분석되었다. 'TY Tiny'의 경우 2화방 개화기에 4.61%로 약간 높았지만 2화방 개화기 이후의 다른 착과 절위에서는 잎의 N 함량이 3.56 - 4.0% 범위로 분석되었고 생육시기 별로 뚜렷한 경향을 보이지 않았다. 'Dafnis'의 P 함량은 0.43 - 0.55% 범위로 분석되었고 3, 4 및 7화방의 개화기 P 함량이 2, 5 및 6화방 개화기의 분석결과 보다 뚜렷하게 높았지만 인산 함량 변화에서 일정한 경향을 찾을 수 없었다. 'TY Tiny'의 P 함량은 0.26 - 0.34%의 범위였고, 분석한 모든 시기의 함량이 'Dafnis' 보다 낮았으며 생육초기 1화방부터 후기 10화방까지 착과 절위별로 큰 차이를 보이지 않았다. Wilcox (1993)는 재배후기의 지상부 성장량이 재배초기 보다 크고 지상부 성장량이 많아짐에 따라 희석효과가 발생하여 지상부 전체를 대상으로 한 무기원소 함량이 낮아진다고 하였다. 특히 과일 착과 이후에는 흡수된 대부분 무기원소가 과일에 축적되고 잎의 무기원소 함량이 낮아지며 식물체 내 이동성이 높은 N, P와 K 함량에서 이러한 경향이 뚜렷하다고 보고한 바 있고, 본 연구에서도 두 품종 모두 재배후기의 N 및 P 함량이 낮아지는 유사한 경향을 보인 것으로 판단된다.

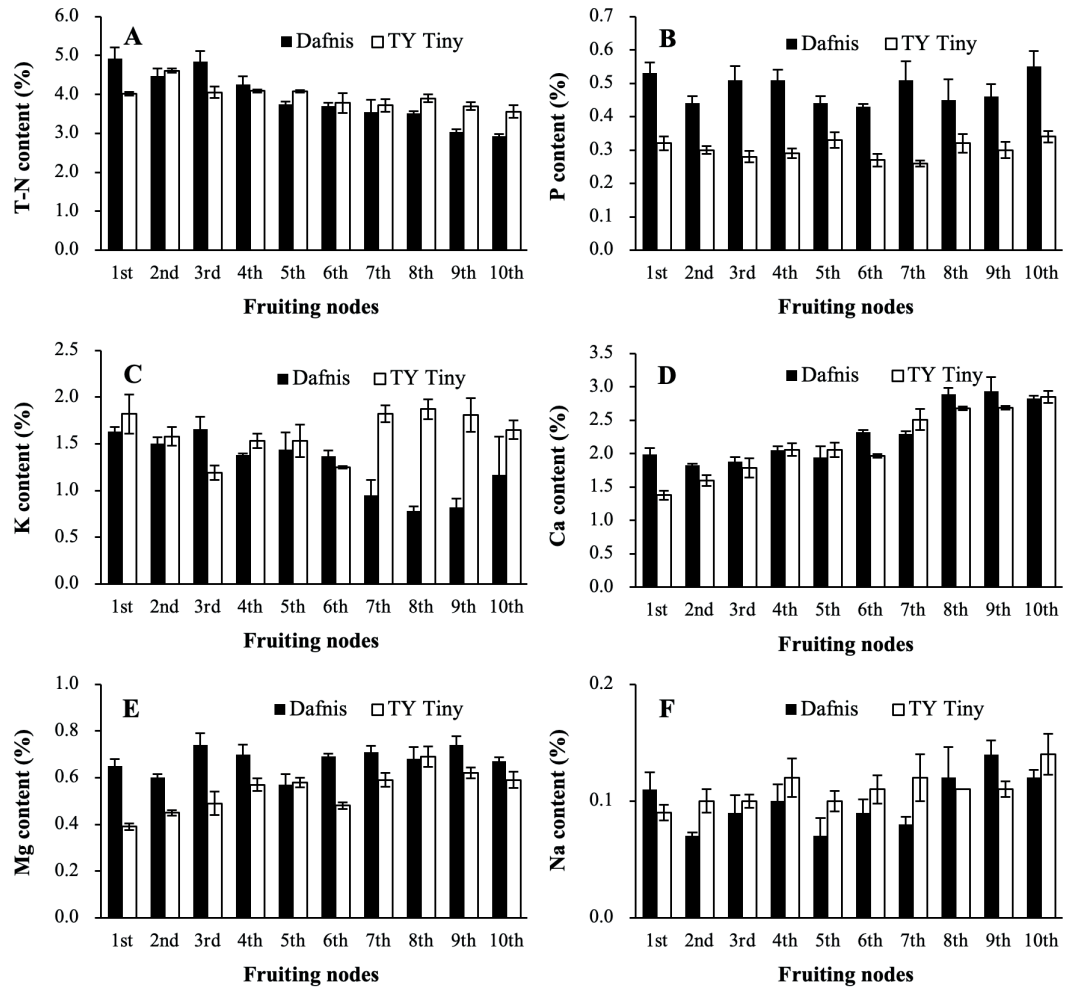


Fig. 3. Changes in tissue macro-element concentrations of *Lycopersicon esculentum* var. 'Dafnis' and 'TY Tiny' leaves collected at flowering stage in each fruiting node during the retarding cultivation. Vertical bars indicate the mean of 4 replications \pm SE.

'Dafnis'는 3화방 개화기까지 식물체 내 K 함량이 1.50 - 1.66%로 분석되었지만 7-10화방 개화시기에 0.78 - 1.17%로 낮아졌다. 'TY Tiny'의 경우 3 - 6화방 개화기의 식물체내 K 함량이 1.0 - 1.2%로 낮게 유지되었지만 7화방 개화기 이후에 1.53 - 1.87%로 높아졌다. 생육시기별로 식물체 내 K 함량의 차이는 희석효과와 함께 배액을 차이에서도 원인을 찾을 수 있다(Fig. 4A and B). 'Dafnis'는 배액의 양이 재배후기에 증가하였고, 'TY Tiny' 품종 역시 상대적인 배액량이 증가하였지만 'Dafnis' 만큼 크지 않았다. Choi (2014)와 Park 등(2019a)은 배액률이 높은 경우 상토 내 무기염 농도를 점차 낮추며, 이로 인해 식물체 내 무기원소 함량이 점차 낮아지는 원인이 됨을 보고하였고, 본 연구의 결과도 유사한 경향을 보였다고 판단한다. 또한 Choi (2014)는 상토의 조성에 따라 양이온치환용량이 다르며 배액률이 동일한 경우 양이온치환용량이 높은 상토 보다 낮은 상토의 무기염 농도가 쉽게 낮아진다고 보고하였으며, 양이온치환용량이 매우 낮은 펄라이트 상토에서 배수율 차이로 인한 무기염 농도 차이가 뚜렷하게 발생하였다고 생각한다.

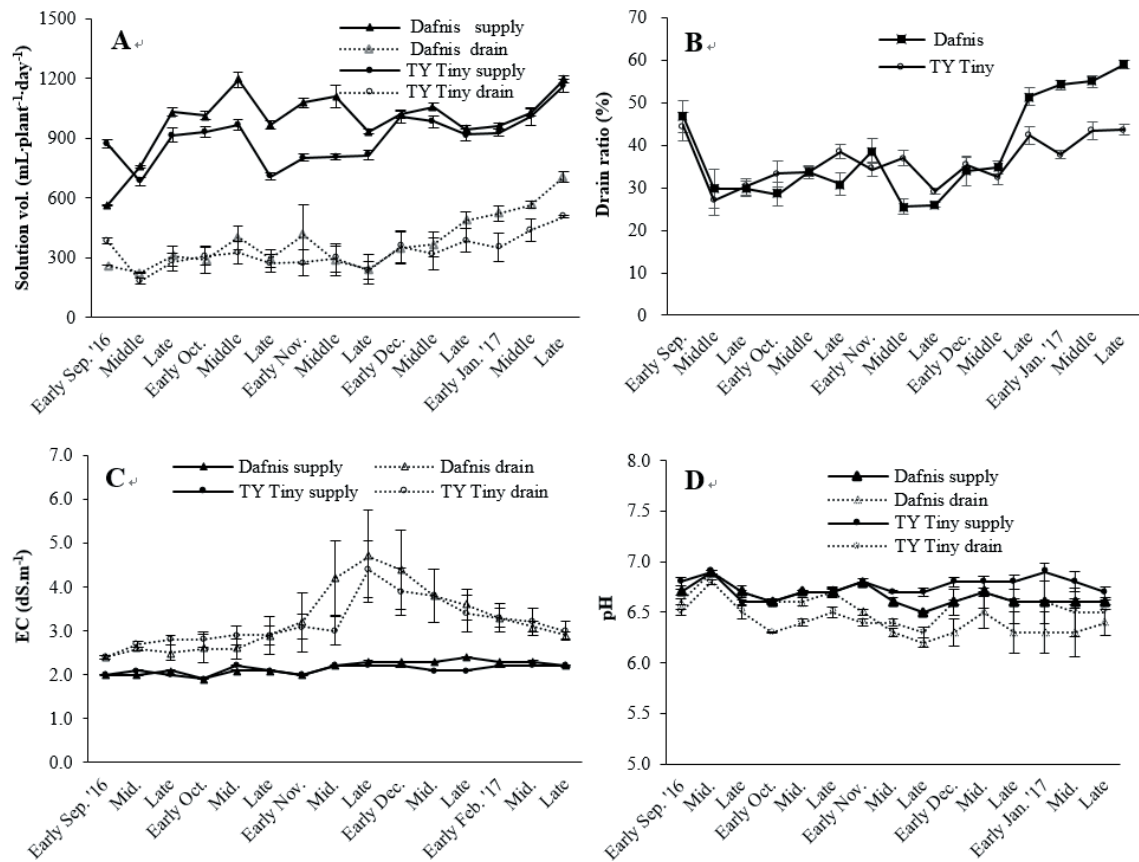


Fig. 4. Changes in volume of supplied and drained solution, drainage rate, electric conductivity (EC) and pH of supplied and drained solution during the retarding cultivation of *Lycopersicon esculentum* var. 'Dafnis' and 'TY Tiny'. Vertical bars indicate mean \pm SE.

'Dafnis'나 'TY Tiny' 모두 생육초기에는 Ca 함량이 낮지만 생육후기로 갈수록 높아지는 경향이였다. 'Dafnis'는 6화방부터 Ca 함량이 높아져 9화방 개화기에는 1화방 개화기 때 보다 1.5배 많은 2.94%였고, 'TY Tiny'는 7화방 (2.51%) 개화기부터 함량이 높아져 생육후기인 10화방에는 2.85%로 1화방 개화기 보다 2.1배 높았다. 'Dafnis'의 Mg 함량은 전 생육기간 동안 0.57 - 0.74%의 범위로, 'TY Tiny'는 0.39 - 0.69%로 분석되었고 'Dafnis'의 Mg 함량이 보다 약간 높은 경향이였다. 'Dafnis'의 Na 함량은 0.07 - 0.14%로 생육단계별 개체 차이가 심하였으나, 'TY Tiny'는 0.09 - 0.14%로 분석되었다. 재배후기로 갈수록 'Dafnis' 및 'TY Tiny' 모두 Ca 및 Mg 함량이 높아지는 경향을 보인 것은 배지 내 Ca 집적량이 증가한 것이 원인이 되었다고 생각된다. 즉, 공급양액의 EC를 유사한 수준으로 조절하였음에도 배액의 EC가 점차 높아졌으며, 이는 배지 내 다량원소의 집적량이 많아짐을 의미하고 배지에 존재하는 Ca 또는 Mg이 인과 결합하여 배지 내에 침전된 것이 Ca의 집적량 증가와 흡수량 증가의 원인이 되었다고 생각한다(Raviv and Lieth, 2020). 수경재배 방법으로 지속적으로 Ca를 공급한 본 연구에서는 토경재배를 통한 Wilcox (1993)의 연구와 달리 잎의 Ca 함량이 증가하는 경향을 보인 원인이 되었다고 사료되며, 생육초기 Ca 비율을 높이거나 생육 중·후기에는 낮게 조성하는 등 추후 정밀한 보완 연구가 필요한 부분이라고 생각한다.

양액의 공급량, 배액량, EC 및 pH의 변화

'Dafnis'는 생육초기인 9월 상순에 1일 564 mL·plant⁻¹로 공급량을 적게 조절하였으나 생육이 왕성해지는 9월 하순부터 재배종료까지 933 - 1,196 mL·plant⁻¹로 공급량을 늘렸으며 재배기간 중 총 공급량은 149 L, 식물체당 1일 평균 공급량은 991 mL였다. 'TY Tiny'의 경우 재배기간 중 1일 평균 683 - 1,164 mL·plant⁻¹를 공급하여, 총 공급량은 135 L, 평균공급량은 901 mL·plant⁻¹로 'Dafnis' 보다 공급량이 적었다(Fig. 4). 'Dafnis' 및 'TY Tiny' 품종 모두 12월 중순까지는 1일 평균 200 - 400 mL·plant⁻¹의 배액이 발생하였으나, 'Dafnis'는 12월 하순, 'TY Tiny'는 1월 중순부터 수확 말기까지 400 mL 이상 배액량이 발생하여 재배기간 동안 1일 평균 배액량은 'Dafnis' 품종은 382 mL·plant⁻¹, 'TY Tiny'는 329 mL·plant⁻¹였다. 일반적으로 토마토 재배시 배액률을 약 30%로 조절하도록 추천하고 있지만(Sonneveld and Voogt, 2009) 본 실험에서 9월 상순 및 12월 하순 이후에는 40% 이상으로 조절되었다. 이는 11월 중순부터 12월 중순까지의 배액 EC가 높아 동절기 임에도 불구하고 배액 EC를 낮추기 위하여 12월 하순부터 수확 종료까지 양액 공급량 및 배액 발생률을 늘린 것이 원인이 되었다고 생각한다.

토마토 억제작형 재배방법으로 수행한 본 연구에서 공급양액의 EC를 정식 후 10일간은 1.5 - 1.7 dS·m⁻¹로, 9월 상순부터 11월 중순까지는 1.9 - 2.2 dS·m⁻¹로, 이후 수확 말기까지는 2.2 - 2.4 dS·m⁻¹로 억제작형의 다른 연구에서 제시한 1.36 - 1.85 dS·m⁻¹ 보다 다소 높게 관리하였다(Park et al., 2019b). 'Dafnis'의 경우 배액의 EC가 생육 전반기인 9 - 10월에는 2.4 - 3.9 dS·m⁻¹, 동절기인 11 - 1월에는 2.9 - 4.7 dS·m⁻¹ 정도로 높게 측정되었다. 'TY Tiny'의 경우 배액 EC가 9월 중순부터 11월 중순까지는 2.4 - 3.1 dS·m⁻¹ 내외로 측정되었고, 그 이후에는 'Dafnis' 보다 낮은 3.0 - 4.4 dS·m⁻¹ 범위로 측정되었으며, 'TY Tiny'의 변동폭이 적었다.

Kim 등(2018)은 토마토 재배 시 ΔEC(배액의 EC 측정값 - 공급액의 EC 측정값) 관리는 생육초기에는 1.0 dS·m⁻¹ 이하, 중·후기에는 1.0 - 1.5 dS·m⁻¹로 관리하도록 추천하고 있지만, 본 연구에서는 ΔEC가 생육초기부터 11월 상순까지는 0.4 - 1.2 dS·m⁻¹, 11월 중순부터 12월 중순까지는 0.8 - 2.4 dS·m⁻¹로 변동폭이 컸고, 12월 하순부터 수확 말기까지는 0.7 - 1.3 dS·m⁻¹로 다시 변동폭이 적게 관리되었다. 본 연구에서 10 - 11월에 배액의 EC가 높은 것은 작물이 성장하면서 양분흡수량 보다 수분흡수량이 증가하거나(Seo et al., 2003; Zhang et al., 2010), Ca²⁺, Mg²⁺ 및 K⁺ 등 흡착력이 높은 양이온을 중심으로 배지에 집적되는 양이 증가하므로 배액의 EC가 점차 높아졌다고 생각된다(Sonneveld and Voogt, 2009). 즉, 양액을 공급하면 양액 속의 무기원소가 빠른 속도로 배지의 양이온치환 부위에 흡착되며, 양이온의 흡착량이 일정 수준에 도달된 후에야 식물이 흡수할 수 있는 양이 증대되고, 이 이후에는 점차 배액의 EC가 높아지는 경향을 보인다(Bar-Yosef, 2008). 이상과 같은 일련의 과정이 본 연구에서 재배중기의 배액 EC가 높아진 또 다른 원인이 되었다고 생각한다.

본 연구를 위한 원수의 pH가 작물생육에 적합한 범위에 포함됨으로써 양액공급 시 pH를 조절하지 않았으며, 공급액 pH가 9월 중순경에는 6.9, 그 외 시기에는 pH 6.5 - 6.9 범위로 다소 높게 유지되었다. 'Dafnis'는 10월 하순까지 공급액 및 배액의 pH가 비슷한 수준으로 변화되었으나, 그 이후에는 배액의 pH가 점차 낮아졌다. 그러나 'TY Tiny'는 생육초기부터 1월 하순까지 배액의 pH가 계속 낮게 유지되었다. 일반적으로 토마토 수경재배시 적정 pH 범위는 5.5 - 6.5로 알려져 있으며(Nelson, 2012; Raviv and Lieth, 2020) pH 변화에 따라 각종 필수원소의 식물 이용도가 달라짐을 고려하여 적정 범위로 조절하기 위한 적극적인 조치가 필요하다고 생각한다. 아울러 'TY Tiny'는 전 생육기간, 'Dafnis'는 생육 중·후기에 배액의 pH가 낮아졌는데 이는 생장이 진전됨에 따라 K⁺ 등 양이온의 흡수가 많아 뿌리에서 수소이온(H⁺), 유기산, 아미노산 등이 많이 용출된 결과라고 생각한다(Park and Kim, 1998).

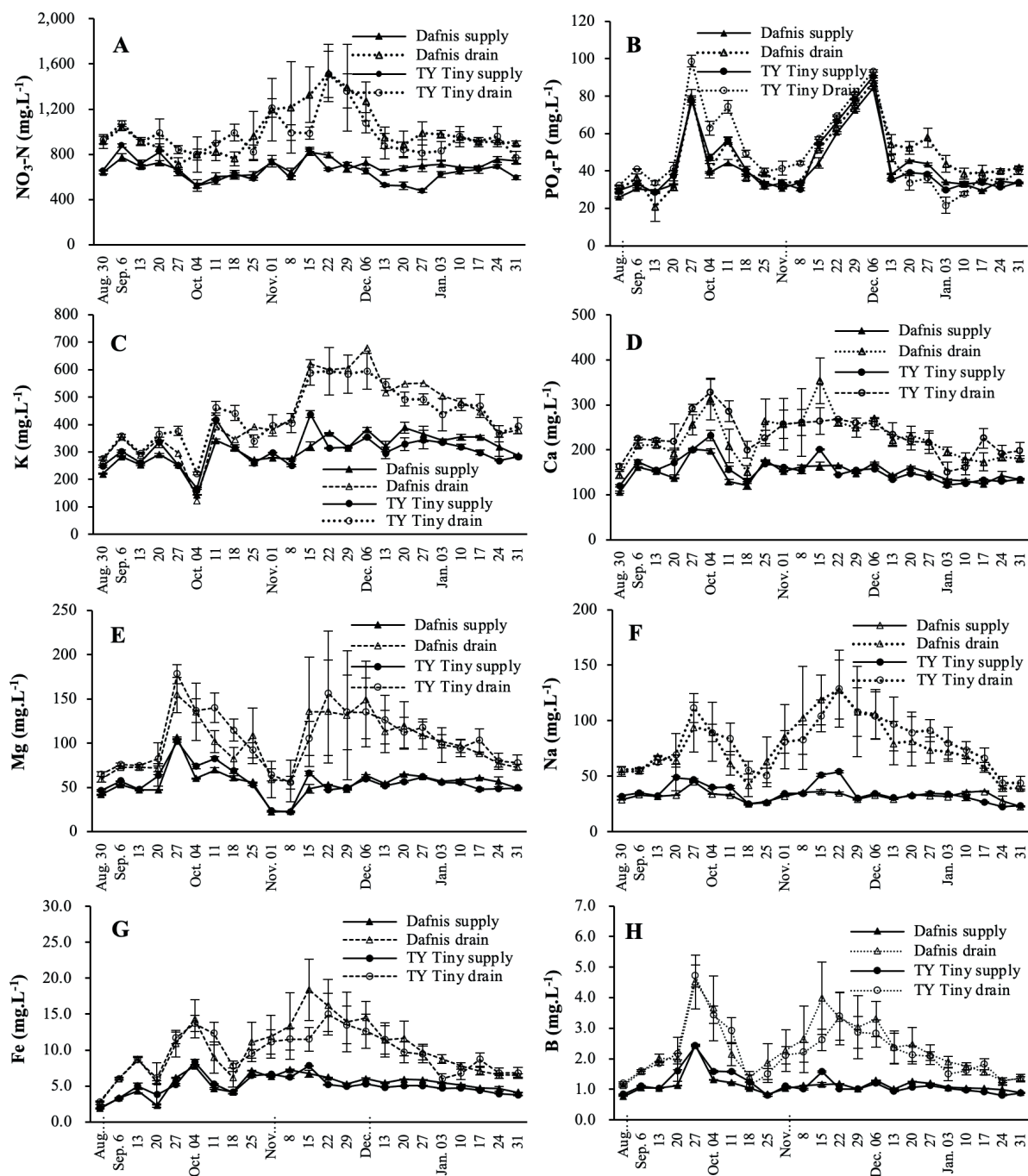


Fig. 5. Changes in macro-element concentrations of supplied and drained nutrient solution during the retarding cultivation of *Lycopersicon esculentum* var. 'Dafnis' and 'TY Tiny'. Vertical bars indicate the mean of 4 replications ± SE.

공급액과 배액의 무기원소 농도 변화

토마토를 재배하면서 생육이 진전됨에 따라 $\text{NO}_3\text{-N}$, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, B 등의 농도 변화를 파악하기 위하여 활착기 이후 공급양액의 무기원소 농도 변화는 Fig. 5와 같다. 음이온인 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 공급액 농도를 $600 - 800 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 범위로 조절할 경우 'Dafnis' 및 'TY Tiny' 품종 모두 생육초기부터 후기까지 공급액 보다 배액의 농도가 높았다. 'TY Tiny'는 재배 전기간을 통하여 공급액 보다 배액에서 $200 - 400 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 정도 높았고, 11월 하순경에는 약 $600 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 이상으로 더 높아졌다. 'Dafnis' 품종 배액도 11월 상순경 변화가 있었지만 전 재배기간 배액 농도가 공급액 농도 보다 $100 - 400 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 더 높은 경향을 보여, 코이어 배지를 이용한 토마토 장기재배 연구결과(Choi et al., 2017)와 반촉성 작형으로 실험한 다른 연구결과와 유사하였다(Lee et al., 2017; 2019). 공급양액의 $\text{PO}_4\text{-P}$ 농도를 약 $25 - 80 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 로 조절하여 공급하였을 때 'Dafnis'와 'TY Tiny' 품종의 배액은 재배기간 전반에 걸쳐 공급액 보다 다소 높은 농도로 분석되었지만 공급액과의 농도 차이는 크지 않았다. 'Dafnis'는 9월 중순, 'TY Tiny'는 12월 중순부터 1월 중순까지 공급액보다 다소 낮은 농도로 분석되었음에도 이상의 기간을 제외한 기간 동안에는 전반적으로 공급액 보다 배액의 $\text{PO}_4\text{-P}$ 농도가 높았다. 배액의 $\text{PO}_4\text{-P}$ 농도가 공급액 보다 높은 것은 Lee 등(2017; 2019)의 보고 내용과 유사한 결과이다.

공급양액의 K 농도를 $200 - 400 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 의 범위로 조절하였을 때 'Dafnis'의 배액은 11월 상순까지 $300 - 400 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 의 농도를 유지하였고, 11월 중순부터 1월 중순까지 $400 - 650 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 의 범위로 K 농도가 상승하였다. 'TY Tiny'도 배액의 K 농도가 계속 높아져 11월 하순 - 12월 상순에는 $600 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 로 분석되었지만, 이후 약 $400 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 로 배액 농도가 낮아졌다. 공급양액의 Ca 농도를 $100 - 200 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 으로 조절하였을 때 'Dafnis' 및 'TY Tiny' 두 품종 모두 K 이온과 유사하게 배액 농도가 높았으며, 특히 9월 하순, 10월 상순 그리고 11월 중순에서 더 높았다. Mg와 Na도 'Dafnis' 및 'TY Tiny' 모두 생육초기부터 후기까지 공급액보다 배액 농도가 높았다. 토마토 반촉성재배를 하면서 보고된 연구결과에 의하면 식물체의 K 흡수량이 증가하면 길항작용으로 인해 Ca 및 Mg 흡수가 억제되어 배지에 잔존하는 이들 원소의 농도가 상승한다고 하였지만(Rhee et al., 2003), 본 실험은 억제작형으로서 K, Ca 및 Mg 모두 공급액 보다 배액의 농도가 높았으며, 동절기에 실험이 수행됨으로써 근권부의 온도가 낮아 식물체의 물 및 양이온 흡수량이 적은 원인이 되었고, 이로 인해 배액 농도가 높아졌다고 생각한다. 미량원소인 Fe과 B도 배액 농도가 높았고, 농도 변화 경향 역시 다른 무기원소 농도 변화 경향과 비슷하였다.

일반적인 토마토 양액재배의 EC 수준 조절에서 활착기까지는 약 $1.7 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 로 낮게 관리하다가 활착이 완료되면 양액의 EC를 높이며, 가을 및 겨울철에 재배하는 경우 봄이나 여름철 재배 보다 EC를 높게 관리한다. 본 실험에서도 EC를 높게 관리한 것이 원인이 되어 공급액 및 배액의 무기원소 농도가 높았다고 생각하며, 작물생육이 진전됨에 따라 생육후기에는 배출되는 배액량이 적어 배지 내에 집적된 무기원소 양이 증가하였고 배액의 EC가 높아진 원인이 되었다고 생각한다(Choi et al., 2017).

토마토 과실 특성 및 수량성

'Dafnis'와 'TY Tiny' 품종을 억제작형으로 재배할 때 생산량 및 수확한 과실의 특성은 Table 1과 같다. 'Dafnis'는 과장 6.4 cm , 과경은 7.7 cm , 과중은 218 g 이었으며, 과중에 따른 수량성은 $101 - 150 \text{ g}$ 이 전체수량의 31.1% 인 $2,079 \text{ kg}\cdot 10 \text{ a}^{-1}$ 이었고, $151 - 200 \text{ g}$ 은 34.2% 인 $2,284 \text{ kg}\cdot 10 \text{ a}^{-1}$ 으로 가장 많았으며, $201 - 250 \text{ g}$ 이상은 전체수량의 18.6% 였다. 'TY Tiny'는 과장이 3.5 cm , 과경은 2.8 cm , 과중은 15.5 g 이었으며, 상품성에 따른 수량은 20 g 이상은 23.5% 인 $759 \text{ kg}\cdot 10 \text{ a}^{-1}$ 이었고, $11 - 20 \text{ g}$ 은 45.7% 인 $1,475 \text{ kg}\cdot 10 \text{ a}^{-1}$ 으로 가장 많았다. 10 a 당 수량은 'Dafnis'는 $6,683 \text{ kg}\cdot 10 \text{ a}^{-1}$, 'TY Tiny'는 $3,228 \text{ kg}\cdot 10 \text{ a}^{-1}$ 으로 'Dafnis'가 2배 높았다.

Table 1. Fruit characteristics and yield during the retarding cultivation of *Lycopersicon esculentum* var. 'Dafnis' and 'TY Tiny'.

Variety	Fruit length (cm)	Fruit diameter (cm)	Fruit weight (g)	Yield (kg·10 a ⁻¹)					Total
Dafnis	6.4±0 ^z	7.7±0	21.8±0.2	< 100 g	100 - 150 g	150 - 200 g	200 - 250 g	250 g<	6,683
				1,075±41	2,079±102	2,284±131	1,018±91	227±12	
TY Tiny	3.5±0	2.8±0	15.5±0.2	< 10 g	10 - 20 g		20 g<		3,228
				759±16	1,475±79		994±43		

^z All values are presented as the mean ± SE. of triplicate determination.

Conclusion

순환식 수경재배 도입을 위한 기초 자료를 확보하고자 본 연구를 수행하였다. 'Dafnis'와 'TY Tiny' 품종을 억제작형으로 재배하면서 야마자키 토마토 전용액의 EC를 생육단계별로 변화시켜 공급하고 식물체, 공급액 및 배액의 무기원소 농도 변화를 분석하였다. 잎의 N 및 P 함량은 두 토마토 품종 모두 생육초기 보다 생육후기로 갈수록 낮아졌으나 'Dafnis'는 초기 함량이 높고 재배후기에 더 큰 폭으로 감소하였다. K 함량의 경우 'Dafnis'는 생육초기에는 높았으나 후기에는 낮았고, 'TY Tiny'는 후기에 높아졌다. Ca 함량은 두 품종 모두 생육후기로 갈수록 증가되는 경향이였다. 또한 두 품종 모두 양액의 공급액 보다 배액의 EC가 높았으나, pH는 배액에서 낮았다. 인산을 제외한 NO₃-N, K, Ca, Mg, Na, Fe 및 B의 농도는 공급액 보다 배액에서 높았고, 특히 생육중반부인 10 - 12월 사이에 더 높았다. 'Dafnis' 품종이 'TY Tiny' 보다 생장량이 많고 재배기간 중 총 수량이 높은 것은 재배기간 동안 공급액 및 배액 중 무기원소의 농도 변화 보다는 품종의 고유 특성에 기인하는 것으로 생각된다. 아울러 재배시기별 공급액 및 배액의 EC, pH 변화에 대한 본 연구결과는 토마토 순환식 배액 재활용 방법에 따른 무기원소 농도 교정을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

Conflict of Interests

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

Acknowledgements

본 연구는 농림축산식품부 생명산업기술개발사업(No. 315084-03)에 의해 이루어진 것임.

Authors Information

Eun Mo Lee, Chungcheongnam-do ARES, Agricultural senior researcher

Bong Chun Lee, Chungcheongnam-do ARES, Agricultural senior researcher

Hee Chul Lee, Chungcheongnam-do ARES, Strawberry Research Institute, Agricultural junior researcher

Yeo Uk Yun, Chungcheongnam-do ARES, Fruit & Vegetable Research Institute, Agricultural junior researcher

Sang Kyu Park, Chungcheongnam-do ARES, Fruit & Vegetable Research Institute, Agricultural junior researcher

Soo Bok Park, Chung-oh Engineering Co., Ltd., Research Institute, Director

Sun Ok Chung, Department of Biosystems Machinery Engineering, Chungnam National University, Professor

In Sook Park, <https://orcid.org/0000-0003-4642-9497>

Jong Myoung Choi, Department of Horticultural Sciences, Chungnam National University, Professor

References

- Bar-Yosef B. 2008. Fertigation management and crops response to solution recycling in semi-closed greenhouse. pp. 341-424. In *Soilless culture: Theory and practice* edited by Raviv M, Lieth JH. Elsevier VB, Sandiego, CA, USA.
- Chae Y. 2012. *Cultivation manual of high quality tomato*. Korea Tomato Association, Seoul, Korea. [in Korean]
- Choi GL, Yeo KH, Choi SH, Jeong HJ, Kang NJ, Choi HG. 2017. 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. *Protected Horticulture and Plant Factory* 26:418-423. [in Korean]
- Choi JM. 2014. Performance of seedling grafts of tomato as influenced by root medium formulations and leaching fractions in irrigation or fertigation. *Protected Horticulture and Plant Factory* 23:235-243. [in Korean]
- Kim GJ, Lee HG, Lee MH, Hwang SH, Lee HG, Park SK, Choi JJ. 2012. *Easy to understand manual of tomato hydroponic cultivation*. Chungcheongnam-do ARES, Buyeo Tomato Experiment Station, Buyeo, Korea. [in Korean]
- Kim GJ, Lee MH, Lee HG, Lee EM, Kim YS. 2018. Influence of mid and late electrical conductivity control on growth and yield in tomato perlite hydroponic. p. 87. In *Proceeding of Korean Journal of Horticultural Science and Technology*. [in Korean]
- Kim YS, Park KS, Yoo SH, Lee MH. 2011. *Species of tomato*. Chungnam Tomato Industry-Academic Cooperation Group, Cheonan, Korea. [in Korean]
- Lee EM, Park SK, Kim GJ, Lee BC, Lee HC, Yun YU, Park SB, Choi JM. 2017. Changes in inorganic element concentrations of drained nutrient solution and leaves compliance with numerical increment of fruiting node during hydroponic cultivation of cherry tomato. *Protected Horticulture and Plant Factory* 26:361-367. [in Korean]
- Lee EM, Park SK, Lee BC, Kim HH, Yun YU, Park SB, Chun SO, Choi JM. 2019. Changes in inorganic element concentrations in leaves, supplied and drained nutrient solution according to fruiting node during semi-forcing hydroponic cultivation of 'Bonus' tomato. *Protected Horticulture and Plant Factory* 28:1-8. [in Korean]
- Lee PO, Lee JS, Choi JM. 2011. Effect of pre-planting liming fertilization in peatmoss based substrates on plug seeding growth of 'Red Madness' petunia and changes in soil chemical properties. *CNU Journal of Agricultural Science* 38:17-23. [in Korean]
- MAFRA (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs). 2021. *Statistical yearbook of agriculture, food and rural affairs*. p. 100. MAFRA, Sejong, Korea. [in Korean]
- Nelson PV. 2012. *Greenhouse operation and management*, 7th ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, USA.
- NIAST (National Institute of Agricultural Sciences and Technology). 2000. *Methods of soil chemical analysis*. NIAST, RDA, Suwon, Korea. [in Korean]
- Park IS, Kim DY, Yoon HS, Choi JM. 2019a. Influence of volumetric water content in a peat-perlite medium on mother plant growth and daughter plant occurrence during 'Seolhyang' strawberry propagation. *Horticultural Science and Technology* 37:499-508. [in Korean]
- Park KW, Kim YS. 1998. *Hydroponics in horticulture*, 1st ed. pp. 76-90. Academy Books, Seoul, Korea. [in Korean]
- Park SB, Lee EM, Choi JM. 2019b. Development of a nutrient control system for nutrient-recycling and integrated environment control using ICT. p. 191. *Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry*, Naju, Korea. [in Korean]
- Raviv M, Lieth JH. 2020. *Soilless culture; theory and practice* (2nd ed.). Elsevier, New York, USA.
- RDA (Rural Development Administration). 2003. *Manual for agriculture investigation*. pp. 439-479. RDA, Suwon, Korea. [in Korean]

- RDA (Rural Development Administration). 2021. 2021 Statistical data of soilless culture area in Korea. RDA, Jeonju, Korea. [in Korean]
- Rhee HC, Kang KH, Kwon GB, Choi YH, Kim HT. 2003. Supplement method of drained solution in tomato cultivation using recycling systems. *Journal of Bio-Environment Control* 12:89-94. [in Korean]
- Seo TC, Kim YC, Lee JW, Yun HK, Lee SG. 2003. Optimal supply amount and strength of nutrient solution for ripe-harvesting tomatoes grown under perlite culture system of semi-forcing cropping. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology* 21:79-85. [in Korean]
- Sonneveld C, Voogt W. 2009. Plant nutrition of greenhouse crops. pp. 83-102. Springer, New York, USA.
- Sung JK, Lee SY, Lee YJ, Ha SK, Son YK. 2014. Effect of high temperature on mineral uptake, soluble carbohydrates partitioning and cucumber yield. *CNU Journal of Agricultural Science* 41:291-298.
- Wilcox GE. 1993. Tomato. pp. 137-141. In *Nutrient deficiencies & toxicities in crop plants* edited by Bennett WF. The American Phytopathological Society, St Paul, USA.
- Zhang CH, Xu ZH, Kang HM, Kim IS. 2010. Effect of waste nutrient solution and fertigation nutrient solution on the growth and qualities of tomato grown by fertigation. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology* 28:574-579. [in Korean]