

NFT 수경재배시스템에서 주/야 양액농도변환이 토마토의 생육 및 품질에 미치는 영향

김기덕^{1*}·이응호¹·이재욱²·이병일³·손정익³·전창후³
¹고령지농업연구소, ²원예연구소, ³서울대학교 농업생명과학대학

Effects of Diurnal Alternation of Nutrient Solution Salinity on Growth and Fruit Quality of Tomatoes Hydroponically Grown in NFT System

Ki Deog Kim^{1*}, Eung Ho Lee¹, Jae Wook Lee², Byoung Yil Lee³,
Jung Eek Son³, and Chang Hoo Chun³

¹National Institute of Highland Agriculture, RDA, Pyeongchang 232-955, Korea

²National Horticultural Research Institute, RDA, Suwon 441-440, Korea

³Dept. of Horticultural Science, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

Abstract. This experiment was conducted to investigate the effects of diurnal alternation of nutrient solution salinity on growth and fruit quality of tomatoes (*Lycopersicon esculentum* cv. 'House momotaro') hydroponically grown in root intercept bag-NFT (RIB-NFT) system. Plant height was the lowest in the high concentration during daytime (6/1 dS \cdot m⁻¹, day/night). Yield was very high in the concentration of 1/1 dS \cdot m⁻¹, it decreased with increasing the concentration of nutrient. Yield was higher at low concentration (4/1 dS \cdot m⁻¹) at nighttime compared to the same concentration (4/4 dS \cdot m⁻¹) at daytime and nighttime, and the reverse (1/4 dS \cdot m⁻¹) was similar to the control (perlite culture). Yield was greatly reduced by higher concentration at daytime than nighttime, and the decrease was alleviated by lower concentration at nighttime. With increasing the concentration of nutrient solution during daytime, sugar content of tomato fruit was increased, but yield was decreased. In the other experiment, tomato plants were hydroponically cultured in NFT system diurnally alternated between Aichi's solution and Ca(NO₃)₂ solution. Ca(NO₃)₂ solution was supplied for 4 hours from 10:00 to 14:00 at daytime and from 22:00 to 2:00 at nighttime, respectively, and Aichi's solution was supplied for the time except the 4 hours. Ca content of leaves and sugar content of fruit were increased by supplying Ca(NO₃)₂ solution at daytime compared to nighttime, but plant growth was greatly suppressed by supplying Ca(NO₃)₂ solution with the concentration of 4 dS \cdot m⁻¹ (4/4 dS \cdot m⁻¹) at nighttime.

Key words : diurnal alternation of solution, hydroponics, root intercept bag, sugar content, tomato

*Corresponding author

서 언

토마토의 품질은 당도에 의해 크게 좌우된다. 이에 많은 연구자들은 토마토의 당도를 향상시키기 위한 노력을 기울여 왔는데, 양액의 농도를 높이거나 염 첨가에 의한 삼투압 조절, 양액 공급량을 조절하는 등 수분 스트레스를 주는 방법(Charbonneau 등, 1988; Okawa와 Hayashi, 1996; Rhee, 2000)을 시도하였다. 양액의 농도 증가 또는 염 첨가에 의한 품질 향상을 피하고자 한 연구는 수경재배는 물론 토양재배에서도 이루어졌다(Gough와 Hobson, 1990, Mitchell 등, 1991; Mizrahi, 1982).

그러나 이 경우 토마토의 당도는 향상시켰으나, 과실의 크기가 작아지고 착과수가 감소하며 배꼽썩음과가 증가함에 따라 수량이 감소되므로, 당도 향상을 위한 수분 스트레스 재배 시에는 수량감소 문제를 해결할 필요가 있다(Adams와 Ho, 1985).

이에 주/야 양액농도 변환에 의한 생장조절(Bruggink 등, 1987)로 수량 감소를 완화하고자 하였고, 주/야 양액농도 변환은 수량을 감소(Adams와 Ho, 1989)시키기도 하고, 증가(Van Ieperen, 1996)시키기도 하는 등 연구자에 따라 서로 상반된 결과를 보여, 양액농도 변환에 관한 명쾌한 효과를 판단하기가 곤란하였다. 한편 $4\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 양액농도에서도 토마토 과실 내 Ca 함량 감소가 나타나(Kim, 2004), 일반적인 양액조성의 양액농도 조절로는 특정한 화방으로의 Ca의 이동을 촉진시켜 배꼽썩음과 발생을 줄이기는 어려울 것으로 판단되었다. 그러나 목부 알비액, 양수분 흡수 및 도관류의 일변화 결과로부터 특정한 시간대의 양액공급, 주/야 양액농도 변환 등 양액 공급 방법을 달리하였을 때에는 과실 내 Ca 함량을 증가시킬 가능성이 있을 것으로 판단되었다.

따라서 본 연구에서는 토마토의 수량 감소를 완화하면서 품질 향상 가능성을 알아보기 위하여 NFT에서의 주/야 양액 농도를 변환 재배한 토마토의 생육, 품질 및 무기성분 함량을 검토하였다.

재료 및 방법

본 실험은 완숙토마토 품종인 ‘하우스 모모타로 (Takii Seed Co., Japan)’를 사용하여 유리온실에서 실시하였으며, 주/야 양액농도 변환 실험은 1999년 4월부터 7월까지, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 액과 愛知液 교호공급 실험은 9월부터 이듬해 1월까지 수행하였다. 상토를 채운 50공 플러그묘판에 파종하여 육묘하였으며, 육묘 중 생육이 진전됨에 따라 愛知液 1/2배액을 관주하여 관리하였다. 제1화방 개화 시에 20cm 간격으로 구당 20주씩 폴리에스테르 천으로 만든 폭 20cm, 길이 30cm의 차근 주머니에 넣어 정식하였다. 재배베드는 길이 4m, 폭 40cm, 깊이 20cm 크기의 스티로폼으로 제작하여(Fig. 1) 처리별 3반복으로 설치하였다.

사용된 양액조성은 다량원소는 K 6, P 0.7, Mg 1.5, Ca 3, NO_3 12, NH_4 0.7mmol $\cdot \text{L}^{-1}$, 미량원소는 Fe 2, B 0.2, Mn 0.2, Zn 0.02, Cu 0.01, Mo 0.005 mg $\cdot \text{L}^{-1}$ 의 농도로 조제된 愛知液(Kato와 Ido, 1990)으로, 주/야 1/1, 1/4, 4/1, 4/4, 1/6 및 6/1dS $\cdot \text{m}^{-1}$ 등 6처리를 두어 농도변환하였다. 양액은 베드 측면에서 점적호스를 통하여 10분 공급/20분 정지의 간헐적인 공급을 하였으며, 1주일 간격으로 양액을 교환하였다. 생육 및 수량 비교를 위하여 펄라이트 배지경을 대조구로 두었으며, 펄라이트 배지경은 폭 40cm, 높이 20cm의 베드에 펄라이트 중립과 대립을 1:1로 섞은 배지에 토마토를 정식한 후, EC 2.0dS $\cdot \text{m}^{-1}$ 의 양액을 공급하였다.

또한 특정시간대 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 액과 愛知液 교호공급이 토마토의 생육, 과실 품질 및 무기성분 함량에 미치는 영향을 알아보기 위하여 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 비료염으로만 만든 EC 1^{Ca} 및 4^{Ca}dS $\cdot \text{m}^{-1}$ 의 양액을 낮 10시부터 14시까지 4시간 급액하고 그 이외의 시간은 愛知液 조성의 EC 4.0dS $\cdot \text{m}^{-1}$ 양액을 공급한 처리(1^{Ca}/4, 4^{Ca}/4)와, 밤 22시부터 다음날 02시까지 낮과 동일한 방법으로 급액한 처리(4/1^{Ca}, 4/4^{Ca})를 두었다.

토마토의 생육은 적심 전에 초장, 엽폭, 경경 등을 처리구 당 5주씩 조사하였으며, 수확한 과실 중 80g이상의 건전과를 상품과로 하고, 배꼽썩음과와 구분하여 조사하였다. 과실의 당도는 과실을 믹서로 간 뒤 즙액을 여과지(No. 2)로 여과한 후 디지털 당도계(ES-421, ATAGO, Japan)로 측정하였다. 과실의 경도는 경도계(CR500-DX, Sun Scientific Co. Japan)를 이용하여 과실의 중앙부위에서 측정하였다. 적정 산도는 과실을 믹서로 갈아 즙을 낸 후, 거저로 거른 액에 지시약

0.1% 페놀프탈레인을 넣고 0.1N 수산화나트륨으로 적정한 값을 구연산 함량으로 환산하여 표기하였다.

포도당과 과당의 함량은 완숙한 과실을 갈아 즙을 낸 후 거즈로 여과한 액을 10,000rpm에서 10분간 원심분리하여 그 상정액을 Sep-Pak C18 cartridge와 0.45 μ m millipore filter를 통과시킨 후 RI detector를 갖는 HPLC(Milford, MA, USA)로 측정하였다. 당의 분리에는 Sugar-Pak(Waters, USA) column을 사용하였으며, 이동상의 유속은 0.8ml \cdot min⁻¹이었다. 무기성분 분석은 건조된 식물 시료를 각 부위별로 분리하여 마쇄한 다음, 1g씩 칭량하여 T-N은 Kjeldahl법(Kjeltec Auto 2300, Foss, Sweden)으로 분석하였으며, P는 Vanadate법에 의한 비색계(Spectronic 601, Milton Roy, USA)로, K, Ca 및 Mg은 ICP(Integra-XL, GBC, Australia)로 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 주/야 양액농도 변환 시의 토마토 생육, 수량 및 품질

주/야 양액농도 변환에 따른 토마토 생육을 Table 1에 나타내었다. 정식 70일 후의 생육을 보면 낮에 농도가 높은 6/1dS \cdot m⁻¹ 처리구에서 초장이 가장 짧았고, 다른 처리구에서는 대등한 생육을 보였으며, 특히 밤에 양액농도가 높은 1/6dS \cdot m⁻¹ 처리구에서도 1/1dS \cdot m⁻¹ 처리구와 동일한 초장을 보였다. 경경은 밤의 양액 농도를 높여줄 때 농도에 관계없이 커졌다. 이는 야간의 고농도에서 삼투압이 낮아 수분 흡수가 억제되다가 낮에 낮은 농도로 옮겨지면 줄기의 수분 퍼텐셜 저하가 적어 줄기생장이 더 촉진되지 않았나 추찰된다.

양액의 농도가 증가할수록 평균 과중이 감소하였는데, 주/야 양액농도 변환 시 밤의 양액 농도의 영향은 크지 않았다. 6/1dS \cdot m⁻¹ 처리구에서 과중의 감소가 두드러지게 나타났지만 1/6dS \cdot m⁻¹ 처리구에서는 1/1dS \cdot m⁻¹ 처리구와 큰 차이를 보이지 않아 야간의 농도는 수량에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 상품과 수는 낮 동안에 고농도처리구에서 감소하는 경향을 보였다. 낮의 양액 농도가 낮은 처리구에서 수량이 많았던 것은 주/야간 토마토의 수분 포텐셜이 다르므로 낮에는 양액의 농도를 낮게 하고, 밤에는 높게 관리하는 것이 좋다는 보고(Bruggink 등, 1987)와 유사한 결과를 보였다.

배꼽썩음과 수는 주/야 공히 높은 4/4dS \cdot m⁻¹ 처리구에서 가장 많았으며, 높은 농도의 영향은 밤보다는 낮의 영향이 컸다. Willumsen 등(1996)에 의하면 개화 후 1~3주 사이의 신속한 세포 팽창기의 Ca 결핍은 배꼽썩음과를 발생시키므로 이의 발생은 과실에 의한 부하와 과실 팽창속도에 크게 좌우되므로 고농도에 의한 수분 스트레스는 세포의 팽창률을 저하시키므로 지나친 스트레스는 Ca의 흡수 및 이동이 저해되어 배꼽썩음과가 발생된다고 한다. 토마토의 개화 전이나 개화 중의 Ca 제한은 배꼽썩음과 발생에 영향을 미치지 못한 반면, 개화 후 Ca 제한에서는 배꼽썩음과 발생이 나타나 개화 후 초기의 Ca의 흡수가 중요하다는 사실을 확인한 보고(Chiu와 Bould, 1976)와 송풍으로 과실부의 증산을 촉진시켜 배꼽썩음과의 발생을 줄일 수 있었다는 보고(Cho 등, 1997)로부터, 본 실험의 농도 상승에 의한 수분스트레스는 Ca의 절대 흡수량의 감소와 과실로의 이동량 부족에 의한 배꼽썩음과가 발생됐을 것으로 추찰된다.

한편 양액의 고농도에 의한 스트레스는 불과 몇 분 이내에 세포의 성장을 저해시키지만 45~48시간이 경과하면 성장을 다시 시작한다(Nakano, 1998)하여 회복의 주기가 2일 정도임을

밝히고 있다. 이 때의 수분 스트레스는 매우 건조한 조건인 반면, 본 실험의 농도에 의한 수분 스트레스는 그렇게 심한 스트레스 조건이 아니었으므로 빠르게 적응하여 다소 지연되기는 했지만 생장은 거의 정상적이었을 것으로 판단되었다.

한편 주/야 양액농도 변환에 따른 주당 과중과 당도의 관계를 살펴보면(Fig. 2), 양액의 농도가 높을수록 주당 과중은 떨어진 반면 당도는 높아졌다. 그런데 주당 과중 감소 및 당도 향상은 낮 양액 농도의 영향이 컸으나 밤 양액 농도의 영향은 상대적으로 적었다. 다만 낮에는 EC 1dS \cdot m⁻¹로 낮지만 밤에 높은 1/4 dS \cdot m⁻¹ 처리구와 1/6dS \cdot m⁻¹ 처리구를 비교하였을 때에도 밤에 농도가 더 높은 1/6dS \cdot m⁻¹ 처리구에서의 주당 과중의 감소와 당도 향상의 경향은 낮의 경우와 유사하였다. 양액의 농도를 낮에는 낮게 하고 밤에 높은 1/4dS \cdot m⁻¹ 처리구는 대조구인 펄라이트 재배구에 비해 당도와 수량이 모두 증가하였다. 1/6dS \cdot m⁻¹ 처리구에서도 주당 과중은 펄라이트 재배구와 대등하였고 당도도 더 크게 증가하였다. 이것은 당도가 증가하면 수량이 떨어진다는 결과(Ehret과 Ho, 1986)에 견주어 볼 때, 재배방식과 주/야 양액농도 변환에 의해서 수량 감소를 완화하면서 당도를 향상시킬 수 있음을 보여주는 결과로 생각되었다.

Fig. 3은 주/야 양액농도 변환에 따른 토마토의 환원당 함량을 나타낸 것이다. 포도당과 과당은 양액 농도가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였으며, 모든 처리구에서 포도당 함량보다는 과당의 함량이 높았다. 환원당의 함량은 토마토의 당도 변화와 유사하였는데, 이들 환원당이 토마토 당도의 주성분으로 생각되었으며, 성숙 과실 중 자당은 미량의 흔적만 검출되었다(data not shown). 이처럼 고농도의 양액에서 재배된 토마토의 당도가 향상되고 특히 주간의 고농도 처리에서 더 향상된 것은 고농도의 양액이 성숙기 과실의 자당의 환원당으로의 전환을 촉진하여 당 농도를 높이고, 과실의 당도는 야간의 양액 농도보다는 주간의 농도에 의해 더 많이 영향을 받기 때문(Du와 Tachibana, 1990)으로 풀이된다.

Hojo 등(1996)은 토마토 양액재배 시 상단 화방의 수량 및 품질을 확보하고 근활력을 높게 하기 위해서는 양액 농도를 서서히 상승시켜 관리하는 것이 바람직하지만, 초기부터 양액을 고농도로 관리하여도 급격한 농도변화를 피한다면 고품질 과실의 생산이 가능하다고 하였다. 양액의 농도 상승에 의한 수분 스트레스는 물관을 통한 과실로의 물의 유입은 감소시키지만 체관을 통한 당류의 전류에는 영향을 미치지 못하였기 때문에 과실로의 당 집적이 촉진된 것으로 보였으나, 과실의 수분 퍼텐셜이 낮은 것이 시그널이 되어 과실에 수분을 머무르게 하기 위해 당류 등의 용질을 증가시키는 생리반응이 활성화되어 당도를 상승시켰을 것(Nakano, 1998)으로 판단되었다.

한편 과실의 산도도 당도와 마찬가지로 주간 양액의 농도가 높을수록 높아지는 경향을 보였고, 밤 양액의 영향은 적었으며, 과실의 비중은 대체로 1을 초과하였고, 처리 간 차이를 보이지 않았다. 과실의 경도는 EC 4dS \cdot m⁻¹까지는 모든 처리구에서 비슷하나 주간의 농도가 높은 6/1dS \cdot m⁻¹ 처리구에서 크게 높았다(Table 2). 이는 주간에 고농도인 6/1dS \cdot m⁻¹ 처리구에서의 과실의 평균 과중이 가장 작았던 결과(Table 1)로 미루어 볼 때, 수분 스트레스에 의한 세포의 신장이 적고 조직이 치밀해졌기 때문으로 판단되었다.

2. Ca(NO₃)₂액과 愛知液 교호공급에 따른 무기성분 함량, 생육 및 품질

Table 3은 Ca 흡수를 촉진할 목적으로 Ca(NO₃)₂액만으로 제조된 액을 특정한 시간대에 공급하여 재배했을 때의 토마토의 각 부위별 무기성분 함량을 조사한 결과이다. 전체적으로 보면 T-N과 P는 뿌리에서 많았고, K는 과실, 잎 줄기, 뿌리에 고르게 분포하였으며, Mg와 Ca은 잎에서 높았다. 특히 과실은 잎이나 줄기, 뿌리 부위에 비해 Ca 함량이 매우 낮았다. 토마토 잎과 과실에서 Ca(NO₃)₂액을

낮에 공급한 처리구는 밤에 공급한 처리에 비해 Ca 함량이 많았으며, 과실에서 T-N과 K함량은 오히려 낮았고, 잎에서는 Mg 함량이 낮았다. 본 실험은 과실내 Ca 함량을 증가시키기 위하여 특정시간대에 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 만으로 만든 양액을 공급하고자 한 것으로, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 액 공급으로 과실의 Ca함량을 증가시킬 수 있는 가능성을 보인 것으로 생각되었다.

그러나 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 액 공급으로 과실의 K나 Mg의 흡수가 줄어 들지 않았고, 밤 동안의 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 액 공급으로 오히려 T-N 등의 함량을 떨어뜨린 것으로 보아, 주간의 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 액 공급이 과실 중 Ca의 함량을 직접적으로 증가시기보다는 주간의 근권 스트레스 후 밤 동안에 정상적 양액조건에 두었을 때 과실의 Ca의 함량이 상대적으로 증가되었을 가능성도 배제할 수 없다. 즉 Ca의 함량이 과실 뿐 아니라 잎에서도 많았던 것이 이를 입증하는 것으로 판단되었다.

적심 시의 생육은 愛知液으로 주/야 양액농도의 변화가 없는 $4/4\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 처리구에서 초장, 경경 및 엽수가 가장 길거나 많았으며, 밤에 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 액으로 $4.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 인 $4/4^{\text{Ca}}\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 처리구에서 생육이 가장 억제되었다(Table 4). 이는 愛知液의 주/야 양액농도 변화에서 농도에 상관없이 생육에서의 차이가 크지 않았던 결과(Table 1)와는 달랐는데, 이처럼 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 액은 농도가 높을 경우 짧은 시간 동안의 공급이라 하더라도 동일한 EC의 愛知液에 비해 생육억제 효과가 더 크므로 농도를 낮게 공급하는 것이 좋을 것으로 판단되었다. 본 실험은 토마토의 당도 향상과 배꼽썩음과 발생을 줄이기 위한 방법으로 양액 농도 조절 시 칼슘염 중에서 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 가 뿌리에 저해하는 정도가 가장 적고(Shimada, 1972), Ca를 상대적으로 더 많이 공급하면서 길항작용을 하는 K와 NH_4 의 양을 뺀 양액을 공급하는 것이 더 좋은 결과를 나타낼 것(Chiu와 Bould, 1976; Nukaya 등, 1995)으로 판단하여 수행된 실험이었으나, 모든 처리에서 배꼽썩음과의 발생이 나타나지 않아 이에 관한 영향은 알 수 없었다. 또한 상품과 수와 상품과중은 $2\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 로 낮게 관리하였던 펄라이트 재배구에서 가장 많았고, $4/4^{\text{Ca}}\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 에서 가장 적었으며, 그 밖의 처리에서는 차이가 없었다.

낮에 4시간 동안 愛知液 또는 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 액 처리는 농도와 상관없이 밤 동안 愛知液 $4.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 의 양액으로 관리했을 때 토마토의 수량이 어느 정도 유지된 반면, 주간에 愛知液으로 농도가 높고, 야간에 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 액으로 농도를 높게 관리할 경우는 $1\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 에서보다 $4\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 에서 수량이 상당히 감소하였다. 한편 초장이나 엽수에서 길거나 많았던 $4/4\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 처리구에서의 수량이 $1^{\text{Ca}}/4\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 나 $4^{\text{Ca}}/4\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 처리구의 수량에 비해 낮았는데 $4/4\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 처리구에서의 토마토의 생장이 영양생장으로 치우쳤기 때문으로 판단되었다.

Table 5는 처리에 따른 토마토 과실의 생육 및 품질을 조사한 결과로, 과폭은 처리간 차이를 보이지 않았으며, 과고는 펄라이트 재배에서 가장 낮았고, $4^{\text{Ca}}/4\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 처리구에서 가장 높았다. 경도는 생육이 나쁘고 수량이 낮았던 $4/4^{\text{Ca}}\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 처리구에서 높아 농도 상승에 의한 수분 스트레스로 경도가 높아진 것으로 보인다. 주/야 양액을 $4/4\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 농도로 재배했을 때에 비해 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 액을 주간 또는 야간에 교호로 처리한 $4^{\text{Ca}}/4\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 또는 $4/4^{\text{Ca}}\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 에서 당도가 향상되었는데, 이는 농도에 의한 스트레스 영향보다도 愛知液액과 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 액의 교호공급에 의한 스트레스가 과실의 당도를 향상시키지 않았나 생각되었다. 그러나 적정산도는 낮 양액의 EC가 높은 것이 더 높은 경향을 보여 당도와는 다른 양상을 보였으며, 대체로 당도가 높은 것에서 적정산도도 높았다. 당도는 낮에 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 액을 공급하는 $4^{\text{Ca}}/4\text{dS} \cdot$

m^{-1} 처리구에서 가장 높았으나 당산비는 오히려 $1^{Ca}/4dS \cdot m^{-1}$ 처리구에서 가장 높았다. 한편 펄라이트에서는 수량은 높았으나 당도, 적정산도, 경도 등에서 낮았다.

앞에서의 결과와 Bruggink 등(1987) 및 Adams와 Ho(1989)의 보고에서 주/야 양액농도 변환 시 양액농도가 $8/3(주/야, dS \cdot m^{-1})$ 으로 너무 높아 수량감소 완화 효과를 보지못했다는 사실로 미루어 볼 때, 주/야 양액농도 변환 시에는 적어도 펄라이트 재배수준의 수량을 유지하면서 당도를 높이기 위한 양액의 농도로 $4dS \cdot m^{-1}$ 수준이 적당할 것으로 판단되며, $Ca(NO_3)_2$ 액의 교호공급 효과에 대하여는 공급시간, 농도 등에 관한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

적 요

차근주머니를 이용한 NFT시스템(RIB-NFT)에서 주/야 양액농도 변환이 하우스 모모타로 토마토의 생육과 과실 품질에 미치는 영향을 구명하였다. 주/야 양액농도 변환 시 토마토의 초장은 낮에 양액농도가 높은 $6/1dS \cdot m^{-1}$ 처리구에서 가장 작았으며, 수량은 양액농도가 낮은 $1/1dS \cdot m^{-1}$ 처리구에서 가장 많았고, 농도가 높을수록 적었다. 주/야 농도가 동일한 $4/4dS \cdot m^{-1}$ 처리구보다 밤에 양액농도가 낮은 $4/1dS \cdot m^{-1}$ 처리구에서 수량이 많았고, $1/4dS \cdot m^{-1}$ 처리구는 펄라이트 재배구와 차이가 없었다. 토마토의 수량감소는 낮의 고농도 처리에서 더 컸으며, 밤의 저농도에 의해 완화되었다. 토마토의 당도는 양액 농도가 높아질수록 향상되었으나 수량은 감소하였다.

$Ca(NO_3)_2$ 액을 낮, 밤 각각 10시부터 2시까지 4시간 동안 공급하고 나머지 시간에는 愛知液을 교호공급한 실험에서는, 낮에 $Ca(NO_3)_2$ 액의 공급으로 과실의 Ca 함량과 당도가 높아졌으며, $Ca(NO_3)_2$ 액을 $4dS \cdot m^{-1}$ 의 농도로 밤에 공급한 $4/4^{Ca}dS \cdot m^{-1}$ 처리구에서 생육이 가장 억제되었다.

주제어 : 당도, 수경재배, 주/야 양액농도변환, 차근주머니, 토마토

인 용 문 헌

1. Adams, P and L.C. Ho. 1985. Two disorders but one cause. *Grower* 103:17-27.
2. Adams, P and L.C. Ho. 1989. Effects of constant and fluctuating salinity on the yield, quality and calcium status of tomatoes. *J. Hort. Sci.* 64:725-732.
3. Bruggink, G.T., H.E. Schouwink, and E.A. J.M. Coolen. 1987. Effects of different day and night osmotic pressure of nutrient solutions on growth, water potentials and osmotic potentials of young tomato plants in soilless culture. *Soilless Culture* 3(2):9-19.
4. Charbonneau, J.M., A. Gosselin, and M.J. Trudel. 1988. Effects of electric conductivity and intermittent flow of the nutrient solution on growth and yield of greenhouse tomato in NFT. *Soilless Culture* 1(1):19-30.
5. Chiu, T. and C. Bould. 1976. Effects of shortage of calcium and other cations on ^{45}Ca mobility, growth and nutritional disorders of tomato plants(*Lycopersicon esculentum*). *J. Sci. F. Agric.* 27:969-977.
6. Cho, I.H., Y.H. Woo, E.H. Lee, and H.J. Kim. 1997. Changes in cuticular transpiration and calcium content of tomato fruits and prevention of blossom-end rot through environmental control. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 38(2):98-102 (in Korean).
7. Du, Y.C. and S. Tachibana. 1990. Influence of day/night fluctuation of nutrient concentrations on fruit yield and quality of hydroponically grown tomatoes. *J. Japan Soc. Hort. Sci.(Supp.)* 59(2):356-357 (in Japanese).
8. Ehret, D.L. and L.C. Ho. 1986. Effects of salinity on dry matter partitioning and fruit growth in tomatoes grown in nutrient film culture. *J. Hort. Sci.* 61:361-367.
9. Gough, C. and G.E. Hobson. 1990. A comparison of the productivity, quality, shelf-life characteristics and consumer reaction to the crop from cherry tomato plants grown at different levels of salinity. *J. Hort. Sci.* 65:431-439.
10. Hojo, M., T. Ito, and A. Tanaka. 1996. Growth, yield, quality and physiological characteristics of tomato grown in NFT alternated electric conductivity of nutrient solution by growth stage. *Environ. Cont. in Biol.* 34(2):129-134 (in Japanese).

11. Kato, T. and Y. Ido. 1990. Effects of phosphorus concentration on growth, yield and fruit quality of tomato in solution culture. J. Japan Soc. Hort. Sci. (Supp.) 59(2):358-359 (in Japanese).
12. Kim, K.D. 2004. Development of root intercept bag-NFT system for production of high quality tomatoes. PhD Diss. Seoul National Univ. (in Korean).
13. Mitchell, J.P., C. Shennan, S.R. Grattan, and D.M. May. 1991. Tomato fruit yields and quality under water deficit and salinity. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 116:215-221.
14. Mizrahi, Y. 1982. Effects of salinity on tomato fruit ripening. Plant Physiol. 69:966-970.
15. Nakano, M. 1998. Problem in quality and production technique of vegetable. Research J. 21(7):17-22 (in Japanese).
16. Nukaya, A., K. Goto, H. Jang, A. Kano, and K. Ohkawa. 1995. Effect of K/Ca ratio in the nutrient solution on incidence of blossom-end rot and gold specks of tomato fruit grown in rockwool. Acta Hort. 396:123-130.
17. Okawa, H. and G. Hayashi. 1996. Production of high soluble solid tomatoes by hydroponics using capillary mats and root restriction sheets. I. The characteristics of hydroponics used for capillary mats and root restriction sheets and their effects on the supply of culture solution of a higher nutrient concentration. Research Bulletin of the Aichi Ken Agricultural Research Center 28:117-126.
18. Rhee, H.C. 2000. Fruit quality and yield of truss-limited tomatoes by KCl or NaCl supplement to nutrient solution. PhD Diss. Seoul National Univ. (in Korean).
19. Shimada, S. 1972. Special Reports 6:1-10. Faculty of Horticulture, Chiba University Japan (in Japanese).
20. Van Ieperen, W. 1996. Effects of different day and night salinity levels on vegetative growth, yield and quality of tomato. J. Hort. Sci. 71(1):99-111.
21. Willumsen, J., K.K. Petersen, and K. Kaack. 1996. Yield and blossom-end rot of tomato as affected by salinity and cation activity ratios in the root zone. J. Hort. Sci. 71(1):81-98.

Table 1. Effects of diurnal alternation of nutrient solution salinity on growth and incidence of blossom end-rot of tomatoes hydroponically grown in RIB-NFT system.

EC of nutrient solution (dS m ⁻¹ , day/night)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	Leaf width (cm)	Average fruit wt. (g)	No. of marketable fruit	No. of BER ^y
1/1	192 ab ^z	12.7 b	36.5 a	175.7 a	24.7 a	0.2 d
1/4	202 a	14.0 a	38.9 a	174.7 a	21.5 b	0.6 c
4/1	186 ab	12.5 b	40.2 a	153.2 bc	20.3 bc	1.0 bc
4/4	189 ab	12.3 b	41.2 a	149.9 c	18.1 c	3.2 a
1/6	193 a	13.9 a	43.1 a	170.4 ab	19.6 bc	1.3 bc
6/1	174 c	13.2 ab	41.3 a	110.5 d	18.3 c	1.7 b
Perlite	186 ab	12.2 b	42.5 a	164.7 abc	21.4 b	0.0 bc

^zMean separation within columns by DMRT, *P*=0.05.

^yFruit of blossom-end rot.

*Transplanting date: April 9, 1999.

*Investigating date of growth: Jun. 17, 1999.

*Harvesting period: Jun. 14 to Jul. 26, 1999.

Table 2. Effects of diurnal alternation of nutrient solution salinity on fruit quality of tomatoes hydroponically grown in RIB-NFT system.

EC of nutrient solution (dS m ⁻¹ , day/night)	Titration acidity (citric acid, %)	Soluble solid /acidity(%)	Specific gravity	Hardness of fruit (kg cm ⁻²)
1/1	0.36 c ^z	15.3 a	1.04 a	1.37 ab
1/4	0.38 c	15.7 a	1.03 a	1.33 ab
4/1	0.51 ab	12.3 c	1.05 a	1.34 ab
4/4	0.46 b	13.9 b	1.07 a	1.35 ab
1/6	0.40 bc	15.1 a	1.05 a	1.29 b
6/1	0.55 a	12.7 c	1.06 a	1.60 a

^zMean separation within columns by DMRT, P=0.05.

Table 3. Nutrient contents in various parts of tomato plants hydroponically grown in RIB-NFT system when nutrient solution of the system was diurnally alternated between Aichi's solution and only Ca(NO₃)₂ salt solution.

EC of nutrient solution (dS m ⁻¹ , day/night)	T-N	K	Ca	Mg	P
	------(%)-----				
Fruit					
4/1 ^{Ca}	1.98 c ^y	3.69 a	0.11 b	0.21 abc	0.44 a
4/4 ^{Ca}	1.89 c	3.14 b	0.11 b	0.16 c	0.37 b
1 ^{Ca} /4	2.25 bc	4.11 a	0.18 a	0.17 bc	0.47 a
4 ^{Ca} /4	2.70 a	3.92 a	0.19 a	0.25 a	0.45 a
4/4	2.52 ab	4.10 a	0.12 b	0.25 a	0.44 a
Perlite	2.25 bc	3.95 a	0.14 ab	0.22 ab	0.37 b
Leaf					
4/1 ^{Ca}	2.70 b	4.62 ab	4.68 b	0.65 bc	0.54 a
4/4 ^{Ca}	2.88 ab	4.36 ab	6.49 ab	0.84 ab	0.55 a
1 ^{Ca} /4	2.97 a	3.97 b	7.66 a	0.47 c	0.52 a
4 ^{Ca} /4	3.06 a	4.43 ab	7.27 a	0.71 b	0.47 a
4/4	2.88 ab	5.12 a	5.35 b	0.81 ab	0.52 a
Perlite	2.97 ab	4.57 ab	5.08 b	0.89 a	0.47 a
Stem					
4/1 ^{Ca}	2.52 a	4.87 ab	1.94 b	0.36 b	0.43 a
4/4 ^{Ca}	2.25 a	5.42 a	1.45 d	0.33 b	0.38 ab
1 ^{Ca} /4	2.25 a	3.62 b	1.68 c	0.26 c	0.29 b
4 ^{Ca} /4	2.43 a	4.68 ab	1.70 c	0.25 c	0.34 ab
4/4	2.52 a	4.90 ab	1.75 c	0.32 bc	0.42 a
Perlite	2.34 a	3.68 b	2.15 a	0.47 a	0.19 c
Root					

4/1 ^{Ca}	4.14 a	4.60 a	1.53 c	0.35 a	0.97 b
4/4 ^{Ca}	3.60 a	3.60 b	3.25 a	0.29 a	1.21 a
1 ^{Ca} /4	3.87 a	3.26 b	2.81 ab	0.33 a	1.13 ab
4 ^{Ca} /4	3.96 a	3.70 b	2.72 ab	0.33 a	1.11 ab
4/4	4.14 a	4.87 a	1.89 bc	0.36 a	1.09 ab

^zThe nutrient solution composed only Ca(NO₃)₂ salt.

^yMean separation within columns by Tukey's studentized range test, *P*=0.05.

Table 4. Effects of diurnal alternation of nutrient solution salinity on growth and yield of tomatoes hydroponically grown in RIB-NFT system.

EC of nutrient solution (dS · m ⁻¹ , day/night)	Plant height (cm)	No. of leaves	Diameter of stem (mm)	No. of marketable fruit (g)	Marketable fruit wt. (g)	No. of BER ^x
4/1 ^{Ca^z}	224.5 a ^y	20.0 ab	13.5 a	14.2 b	1838 b	0
4/4 ^{Ca}	204.2 b	17.2 b	10.7 b	13.0 b	1358 c	0
1 ^{Ca} /4	220.6 ab	20.8 ab	14.4 a	14.9 b	1932 b	0
4 ^{Ca} /4	223.8 a	19.8 ab	13.4 a	14.7 b	1929 b	0
4/4	232.1 a	21.7 a	14.5 a	14.3 b	1729 b	0
Perlite	219.2 ab	19.9 ab	14.3 a	17.2 a	2345 a	0

^zThe nutrient solution composed only Ca(NO₃)₂ salt.

^yMean separation within columns by Tukey's studentized range test, *P*=0.05.

^xFruit of blossom-end rot.

Table 5. Effects of diurnal alternation of nutrient solution salinity on growth and fruit quality of tomatoes hydroponically grown in RIB-NFT system.

EC of nutrient solution (dS · m ⁻¹ , day/night)	Width of fruit (mm)	Height of fruit (mm)	Hardness of fruit (kg · m ⁻²)	Soluble solid (°Brix)	Titration acidity (citric acid,%)	Soluble solid /acidity (%)
4/1 ^{Ca^z}	64.8 a ^y	53.3 ab	1.94 ab	5.90 ab	0.41 a	14.4 b
4/4 ^{Ca}	67.3 a	51.9 ab	2.37 a	6.47 a	0.43 a	15.1 ab
1 ^{Ca} /4	69.0 a	55.8 ab	1.65 b	6.07 a	0.34 b	17.8 a
4 ^{Ca} /4	71.4 a	56.9 a	2.03 ab	6.53 a	0.43 a	15.2 ab
4/4	68.4 a	52.7 ab	1.95 ab	5.67 b	0.41 a	13.8 b
Perlite	59.2 a	47.1 b	1.81 ab	5.63 b	0.34 b	16.6 a

^zThe nutrient solution composed only Ca(NO₃)₂ salt.

^yMean separation within columns by Tukey's studentized range test, *P*=0.05.