

# 접목 토마토의 생육 특성, 엽 내 양분 함량 및 엽록소형광 분석을 통한 황화잎말림바이러스(TYLCV)에 대한 대목 성능 검정

이혜원<sup>1</sup> · 정효봉<sup>2</sup> · 이준구<sup>3</sup>  · 황인덕<sup>4</sup> · 권덕호<sup>1</sup> · 안윤균<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>국립한국농수산대학교 원예학부, <sup>2</sup>농촌진흥청 국립원예특작과학원 채소과, <sup>3</sup>전북대학교 농업생명과학대학 원예학과, <sup>4</sup>부농종묘 육종연구소

## Evaluation of Grafted Tomatoes with Different Levels of Resistance of Rootstocks to TYLCV by Analyzing the Growth Characteristics, Leaf-macronutrient Content, and Chlorophyll Fluorescence

Hyewon Lee<sup>1</sup>, Hyo Bong Jeong<sup>2</sup>, Jun Gu Lee<sup>3</sup> , Indeok Hwang<sup>4</sup>, Deok Ho Kwon<sup>1</sup>, and Yul Kyun Ahn<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Horticulture, Korea National University of Agriculture and Fisheries, Jeonju 54874, Korea

<sup>2</sup>Vegetable Research Division, National Institute of Horticultural & Herbal Science, RDA, Wanju 55365, Korea

<sup>3</sup>Department of Horticulture, University of Agriculture & Life Sciences, Jeonbuk National University, Jeonju 54896, Korea

<sup>4</sup>R&D Center, Bunongseed Co., Ltd., Gimje 54324, Korea

Received: December 30, 2022

Revised: April 18, 2023

Accepted: May 5, 2023

\*Corresponding author: [aykyun@korea.kr](mailto:aykyun@korea.kr)

 OPEN ACCESS



HORTICULTURAL SCIENCE and TECHNOLOGY  
41(5):571-583, 2023

URL: <http://www.hst-j.org>

pISSN : 1226-8763

eISSN : 2465-8588

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Copyright©2023 Korean Society for Horticultural Science.

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호 PJO 13561032022)의 지원에 의해 수행되었음.

## Abstract

The grafting technique has widely been used with fruits and vegetables in an effort to increase productivity for long-term cultivation. For long-term cultivation, the result is increased vigor provided by the rootstock, which allows the scion to grow longer, even in the presence of a virus. This study was conducted to evaluate the performance of rootstocks having different TYLCV-resistance levels by comparatively analyzing the growth, yield, nutrient concentration in the petiole sap, and chlorophyll fluorescence in tomatoes grown via a hydroponics system. The domestic cultivars ‘HSF4’ and ‘BWM’ were used as the TYLCV-susceptible rootstocks, and ‘21LM’ and ‘21A701’ were used as the TYLCV-resistant rootstocks. The tomato variety ‘Red250’ was used as the TYLCV-resistant scion and the non-grafted control plants. The tomato plants were infected overall with TYLCV at ten weeks after transplanting. Grafted tomatoes on the TYLCV-resistant rootstocks ‘21A701’ and ‘21LM’ were vigorous, and the yields were 7,999g and 7,754g respectively, correspondingly higher by 25% and 22% than those using the TYLCV-susceptible rootstock ‘BWM’. Moreover, the growth strength of ‘21A701’ was highest compared to the others. The NO<sub>3</sub>-N concentration of ‘21A701’ was highest at 1,211mg·L<sup>-1</sup>, and that of ‘BWM’ was lowest at

835mg·L<sup>-1</sup> at 36 weeks after transplanting. The K<sup>+</sup> concentration of '21A701' was highest at 4,050mg·L<sup>-1</sup>, and the non-grafted case was lowest at 3,350mg·L<sup>-1</sup>. The maximum quantum yield of the primary PSII photochemistry (F<sub>v</sub>/F<sub>M</sub>) and the performance index based on the absorption (PI<sub>ABS</sub>) of '21LM' were highest at 0.803 and 2.990, respectively. The non-grafted samples were lowest at 0.739 and 1.422, respectively. The grafted plants on the TYLCV-resistant rootstocks had high vigor of the root system and greater mineral and water uptake levels, leading to an increased yield, likely due to the high concentrations of nutrients reaching the leaves and the high photosynthetic efficiency. The use of TYLCV-resistant rootstocks was required to improve the yields up to the late harvest stage. We concluded that tomato grafting onto TYLCV-resistant rootstocks can increase the uptake of mineral nutrition and the photosynthetic efficiency, thereby affecting plant growth and the fruit yield.

**Additional key words:** growth strength, nutrient uptake, photosynthetic efficiency, plant vigor, *Solanum lycopersicum* L.

## 서 언

우리나라 토마토 수경재배 면적은 2008년 기준 182ha에서 2020년 기준 582ha로 증가하였다(KOSIS, 2022). 토마토 수경 재배시설은 토양전염성 병의 발병률을 낮추고 재배기술에 따라 30년 이상의 장기재배가 가능하다. 무엇보다 시설 내 환경조절이 용이하여 고온 및 저온 스트레스나 수분 스트레스, 양분 결핍에 의한 생리장해 피해를 줄일 수 있다. 하지만 해충에 의한 생물적 스트레스 피해는 아직 만연하다. 토마토 황화잎말림바이러스(Tomato yellow leaf curl virus, TYLCV)는 전 세계 토마토 재배지에서 수량 손실을 크게 일으키는 바이러스 병으로 담배가루이(*Bemisia tabaci* Genn.)에 의해 전염되고 한번 감염된 후에는 약제로 회복이 불가하다. TYLCV 감염 증상은 잎이 황화되고 말리는 증상을 보이며 바이러스 발병 정도에 따라 식물체 전체가 위축된다(Kim et al., 2011). 매개충인 담배가루이는 세대 기간이 짧고 증식률이 높아 살충제 살포를 하면 갈수록 약제 저항성이 높아져 화학적 방제가 어렵다. 물리적 방제로 방충망을 설치하여 유입 자체를 차단하는 방법이 있으나 기존 온실에 방충망을 설치하는 투자 비용이 높을뿐더러 환기율이 떨어져 고온이 온실 내 온도 제어가 어렵기 때문에 방충망을 설치하지 않는 실정이다(Ko et al., 2016). 이렇게 TYLCV는 화학적 또는 물리적 방제가 어려워 바이러스 내병성 토마토 품종을 사용하는 것이 최선의 방법이나 TYLCV 내병성 품종이든 온실 내 매개충의 밀도가 높으면 바이러스 발병 확률이 높아져(Kim and Kim, 2016) 저항성을 더 높일 수 있는 방안을 찾는 것이 필요하다.

초기 접목기술은 풋마름병과 같은 토양전염성 병의 피해를 줄이기 위해 사용되기 시작하였으나 현재는 생육 후기까지 작물 세력을 유지하여 수확 기간을 늘리기 위해 사용하는 등 사용범위가 확대되었다(Nawaz et al., 2017). 접목 토마토는 대목의 뿌리 활력이 높아 수분 이용 효율이 증가하여 접수의 생육을 증진시켜 각종 환경 스트레스 저항성을 키우고 결과적으로 수량이 증가한다(Al-Harbi et al., 2018). 대목의 사용은 토마토 장기재배를 위해 필수적이고, TYLCV 저항성이 토마토 접수뿐 아니라 대목에도 있으면 수량 손실 피해는 줄어든다(Mahmoud, 2014). 바이러스 저항성이 있는 대목은 접수가 바이러스 병에 감염되어도 생육을 유지시켜 작기 후반까지 재배가 가능하다(King et al., 2008). TYLCV에 감염된 식물체는 뽑아 제거하는 것이 상책이지만 높은 밀도의 매개충에 의해 동시다발적으로 감염되기 때문에 감염된 개체를 모두 뽑아버리는 것은 농가에 더 큰 손실을 야기한다. 실제 농가에서는 바이러스 증상을 확인하여도 작기를 이어가는 경우가 많아 대목과 접수 모두 바이러스 저항성인 품종을 사용하는 것이 필요하다. 국내 수경재배 농가 대부분은 유럽이나 일본 등 해외 대목 품종에 의지하고 있는 실정이며 TYLCV 저항성 대목 종류는 적다. 그러므로 저렴한 가격에 보급 가능하고 TYLCV 저항성을 가지는 국내 개발 대목의 보급이 필요하다.

접목 토마토는 식물체 내 질소 이용 효율을 향상시키기 위해 사용되기도 한다(Albornoz et al., 2020). 질소는 식물이 가장 많이 필요로 하는 무기원소 중 하나로 C, H, O 다음으로 체 내 함량이 높다. 질소는 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>나 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>의 형태로 흡수되어 옥신과 시토키닌과 같은 식물 호르몬, 단백질, 핵산 그리고 엽록소를 포함하는 많은 유기 화합물들의 구성 원소이다(Lee et al., 2016).

접목 토마토는 실생 토마토에 비해 질소요구량이 많고(Djidonou et al., 2013) 식물체 내 질소 함량 수준은 토마토 수량을 결정 짓는 요인으로 작용되기도 한다(Llanderal et al., 2020). 접목 토마토가 실생 토마토보다 수량이 많은 이유는 대목이 양수분을 효율적으로 흡수하고 흡수된 양분이 과실로 전류되기 때문이다(Albornoz et al., 2018). 칼륨은 식물체 내에서  $K^+$ 의 형태로 존재하고 세포의 삼투퍼텐셜을 조절하며 호흡과 광합성에 참여하는 효소들의 활성화에 역할을 한다(Lee et al., 2016). 접목한 수박은 비접목 처리구에 비해 체 내 칼륨 함량이 높고 수량과 품질이 우수하다(Huang et al., 2013). 작물의 영양생장과 과실 수량 및 품질에 중요한 역할을 하는 질소와 칼륨은(Beverly, 1994) 고성능 액체 크로마토그래피(HPLC) 분석이나 비색법(Colorimetric method)을 이용해 식물체 내 함량 수준을 알 수 있다(Bischoff et al., 1996). HPLC는 가장 정확한 측정값을 도출할 수 있으나 고가의 기기로 측정하는데 시간이 오래 걸리는 반면, 비색법 중 test strip을 사용하는 양분 함량 분석 도구인 Reflectometer는 HPLC와 견주어 그 측정값이 정확하고 농가현장에서도 실시간으로 사용 가능하다(Rodrigo et al., 2005). Reflectometer를 활용한 식물의 양분 함량 분석은 잎을 사용하는데 엽신보다는 엽병의 즙액을 이용하는 것이 효율적이다(Kim and Kim, 2003). 엽병 즙액 내  $NO_3^-$  농도 측정을 통해 작물 전체 질소 함량 수준을 알 수 있으며(Llanderal et al., 2020),  $NO_3^-$  농도뿐 아니라  $K^+$  농도를 측정함으로써 작물의 영양상태를 판단할 수 있다(Hochmuth, 1994; Taber, 2001). 뿌리 활력이 강한 대목은 점수 생육을 증진시키는데 이러한 성장물에 따라 양분 이용 효율이 달라지기 때문에(Albornoz et al., 2020) 대목 종류에 따라 엽병 즙액 내 양분 함량이 차이가 있을 것이며 그 차이를 Reflectometer 기기를 통해 알 수 있을 것으로 판단한다.

엽록소형광 기법은 스트레스를 받은 작물의 광합성 효율을 비파괴적인 방법으로 대량 분석할 수 있어 많은 연구에 사용된다(Oh and Koh, 2005). 엽록소형광 기법 중 JIP test는 작물 생육에 따라 달라지는 광계 II의 광화학적 활성상태를 검정하는데 적합하다(Kalaji et al., 2011). JIP test는 암상태를 거친 엽록소가 원래의 상태로 돌아오는 네 단계의 과정을 수치로 표현하는 방식으로 OJIP(Origin Jump Intermediate Peak)라고 부른다(Govindjee, 1995). OJIP의 단계에 따라 산출된 여러 지수는 광계 II 전자전달의 흐름에 따라 측정된 것이며(Baghbani et al., 2019)  $F_v/F_m$ ,  $PI_{ABS}$ ,  $ET_0/RC$  및  $DI_0/RC$  등이 있다. 이러한 OJIP 지수를 통해 대목 종류에 따른 광합성 효율을 평가 가능할 것으로 판단된다.

따라서 본 연구는 대목 종류에 따라 나타나는 수경재배 토마토 생육과 수량 차이를 비교 분석하고 Reflectometer와 OJIP를 이용해 엽병 즙액 내 질산염 질소와 칼륨 함량, 그리고 광합성 효율을 측정하여 국내 개발 대목의 성능의 객관적인 평가와 TYLCV 저항성 수준을 검증하고자 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 실험재료

본 실험에 사용한 대목은 계통 4종류로, TYLCV 감수성 대목 ‘HSF4’(National Institute of Horticultural and Herbal Science, Korea)와 ‘BWM’, TYLCV 저항성 대목 ‘21LM’(Bunongseed, Korea)과 ‘21A701’(Bunongseed, Korea)을 사용하였다. 접수와 실생묘로 TY 내병계 토마토(*Solanum lycopersicum* L.) 품종 ‘Red250’(Namnung, Korea)을 사용하여 접목한 처리구 4개와 비접목 처리구 1개를 실험에 사용하였다. 모든 대목 계통은 풋마름병에 저항성을 가지고 있는 국내 개발 품종으로 TYLCV에 대한 저항성 유무에 따라 2종류씩 나누어 선정하였다. 접수 ‘Red250’은 TYLCV에 감염되었을 때 대목에 따라 접수 생육이 어떻게 변화하는지 알아보고자 TY 내병계 품종으로 선정하였다. 2021년 7월 23일에 대목과 접수 종자를 128구 트레이에 파종하였고, 파종 후 20일에 대목묘를 40구 트레이에 가식하였다. 파종 후 31일에 합접법으로 접목하였고 접목 직후, 접목 활착실(온도 26°C 및 습도 80% 이상)에 6일간 두었다. 실생묘는 접목묘와 같은 식물체 크기로 정식하기 위해 7월 30일에 40구 트레이에 파종하여 육묘하였다.

### 식물재배 및 재배환경

본 실험은 연동형 수경재배 비닐온실(폭 9.6m, 길이 115m, 동고 7m; 전복 정읍 소재)에서 수행했다. 접목 처리구 4개와 비접목 처리구 1개를 재식거리 160cm × 25cm로 하여 15주씩 난괴법 3반복으로 코코피트 배지(Duck Yang Coco, Korea, 가로 20cm, 세로 100cm, 높이 10cm)에 2021년 9월 7일에 정식하여 2022년 5월 31일까지 수확하였다. 실험에 사용한 배양액은 pH 6.0, EC 2.5dS·m<sup>-1</sup> 수준으로 조정된 Grodan 토마토 표준용[5{Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O}·NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> 75.48kg, Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O 16.42kg, KNO<sub>3</sub> 37.37kg, Fe-EDTA 2.75kg, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 22.22kg, MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 54.68kg, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 27.16kg]을 처방하였다. 배양액 공급은 자동 공급 장치(Magma 1000 Ver. 2.0, Green Control System Ltd, Korea)를 이용하여 겨울철에 오전 10시부터 일몰 4시간 전까지 하루 5-6회(80mL/주) 공급하였고 여름철에 오전 8시부터 일몰 2시간 전까지 하루 17-18회(100mL/주) 공급하였다. 식물체 관리는 정식 후 파스칼 유인하여 측지를 제거하고 화방 내 과실은 3개로 적과하였으며 엽수는 약광기인 겨울철에 15-20매를, 강광기인 여름철에 10-15매를 유지하였다. 일일 온실 내부 온도와 적산광량은 정식 후부터 수확이 끝날 때까지의 데이터를 복합 환경 제어시스템(Magma multivariable controller Ver. 2.4, Green Control System Ltd, Korea)를 이용하여 수집해 그래프로 나타내었다(Fig. 1).

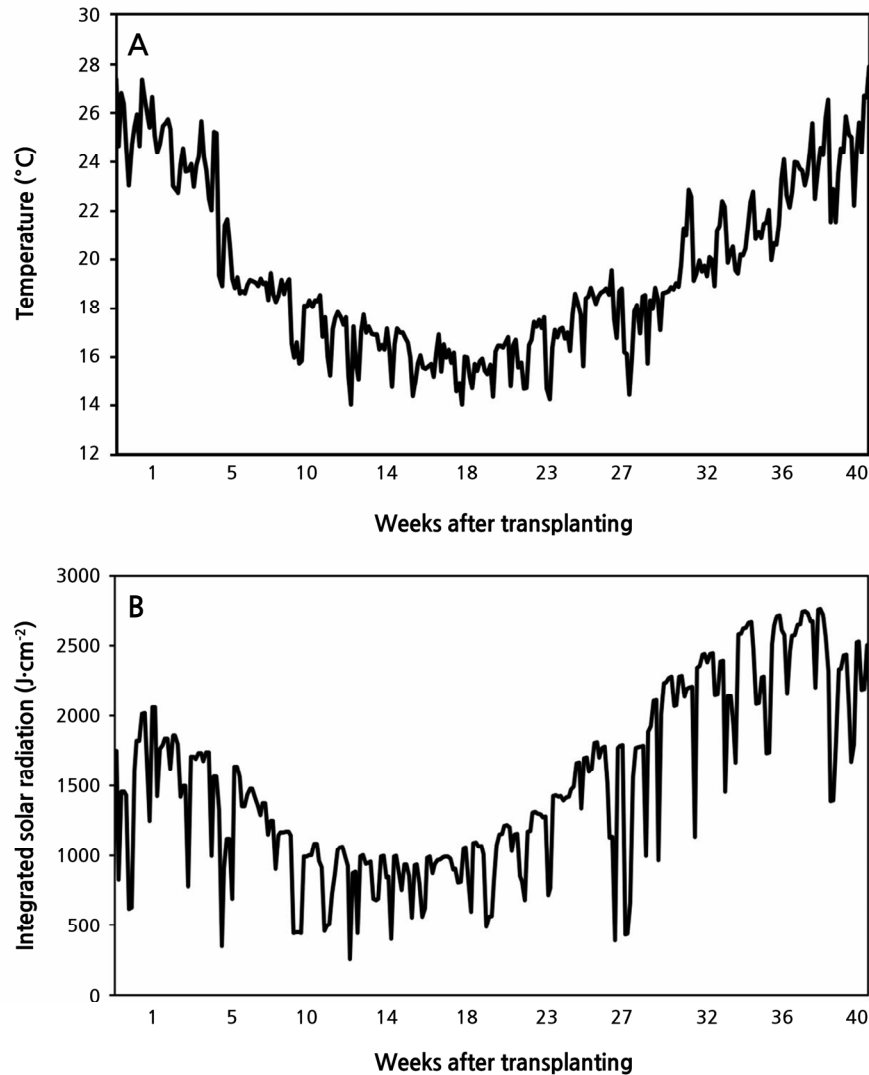


Fig. 1. Changes in the average air temperature (A) and integrated solar radiation (B) in the hydroponics greenhouse.

### 바이러스 PCR 진단

토마토 바이러스 증상을 보이는 잎을 처리구별로 채집하여 PCR 검정하였다. 바이러스 검정을 위한 시료로부터 total RNA 추출은 Ribospin™ Seed/Fruit(GeneAll Biotechnology, Korea)를 이용하여 추출 매뉴얼에 따라 분리하였다. TYLCV를 진단하기 위한 프라이머는 TYLCV-specific primer(PCR 산물 약 502bp)로 dTYLCVF3(ATTGTCCAAGGCACAAACAA GCGACGAT)와 dTYLCVR3(TAACTAATGCCTGTTCTTCATTCCAGA)를 이용하였다. PCR 진단과정은 다음과 같이 실시하였다. PCR 조성액은 RNase free water 3µl, Forward primer 1µl, Reverse primer 1µl, 2X CellScript™ RT-PCR Master Mix 10µl, RNA 5µl로 반응시켰다. PCR(PCR Thermal Cycler Dice® Gradient, TaKaRa, Japan) 조건은 42°C 30분 후 95°C 60초 항온처리를 실시한 다음 94°C 20초, 55°C 30초, 72°C 1분, 35회 증폭하고 마지막으로 72°C 300초간 처리하여 반응을 종료시켰다. PCR 반응을 확인하기 위해 1.5% agarose gel로 전기영동하여 자외선 조사기로 PCR 산물을 확인하였다.

### 생육조사 항목 및 측정방법

토마토 생육 비교를 위해 정식 후 30주(2022년 4월 5일)부터 정식 후 34주(2022년 5월 3일)까지 5주 동안 생장강도, 개화위치, 생장길이, 화방 간 거리, 엽장 및 엽폭을 조사했다. 생장강도는 생장점을 유인줄에 표시한 뒤 7일 후 표시된 위치의 줄기직경을 디지털 버니어 캘리퍼스 150mm(IP67, Futuro, Switzerland)를 이용하여 측정하였다(Kim et al., 2010). 개화위치는 한 개라도 만개한 꽃이 있는 최상위 화방과 생장점 사이 거리를 측정하였다. 생장길이는 지난 주 생장점에서 금주 생장점의 길이를 측정하였고 화방 간 거리는 최상위 화방과 그 아래 화방 사이의 거리를 측정하였다. 엽장과 엽폭은 최상위 화방의 하부엽 전체의 세로길이와 가로너비를 측정하였다.

### 수량 및 과실특성 조사방법

토마토 수량은 1주일 간격으로 처리당 15주를 정식 후 13주(2021년 12월 6일)부터 38주(2022년 5월 31일)까지 조사하였다. 수확한 토마토는 개체별로 평균 과중, 개수, 과실 세로길이(과경) 및 가로길이(과폭)를 측정하였다. 과중은 전자저울(KS-308, Dretec, Japan)로 조사하였으며 과경과 과폭은 디지털 버니어 캘리퍼스 150mm(IP67, Futuro, Switzerland)를 이용하여 처리별로 과실 5개를 1회씩 조사하였다.

### 엽병 즙액 내 양분 함량 측정 방법

토마토 엽병 즙액 내 질산태 질소(NO<sub>3</sub>-N)와 칼륨(K<sup>+</sup>) 함량은 정식 후 27주, 32주 및 36주에 생장점으로부터 5-6번째 위치한 잎을 1주당 2장씩 9주에서 총 18장을 채취하여 실험에 사용하였다. 엽 채취 후 1시간 이내에 엽병을 분리하고 처리별 엽병 무게를 동일하게 맞춰 가위로 자른 후 갈릭프레스를 사용하여 엽병 즙액을 확보하였다. 50mL 튜브에 엽병 즙액 0.5mL를 증류수와 10배 희석하여 Reflectometer RQflex® 20(Merch, Germany)을 이용해 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 농도를 측정하였다. NO<sub>3</sub>-N 함량은 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 측정값에 희석배율 100을 곱해주고 4.43으로 나누어 계산하였다(Hochmuth, 1994). K<sup>+</sup> 함량은 5mL 튜브에 엽병 즙액 0.5mL를 증류수와 10배 희석하여 동일한 기기를 이용해 측정하였다.

**Table 1.** Definitions of parameters obtained from the recorded chlorophyll fluorescence OJIP (Origin Jump Intermediate Peak) transients

Fluorescence parameters	Definition
DI <sub>0</sub> /RC	Dissipated energy flux per PS II reaction center Electron
ET <sub>0</sub> /RC	Transport flux from Q <sub>A</sub> to Q <sub>B</sub> per PS II reaction center
F <sub>v</sub> /F <sub>M</sub>	Maximum quantum yield of primary PS II photochemistry
PI <sub>ABS</sub>	Performance index on the basis of absorption

### OJIP 측정 방법 및 지수

OJIP는 정식 후 27주, 32주 및 36주에 엽록소형광 측정기(Fluorpen FP-110, Photon Systems Instruments, Czech Republic)를 이용하여 개화한 최상위 화방의 하부엽의 정단엽을 대상으로 측정하였다. 잎은 leaf clip을 사용하여 1시간 암처리 후 처리별로 7개체를 1회씩 측정하였다. OJIP 측정 후 FluorPen(Photon Systems Instruments, 1.1.0.3 Version, Czech Republic) 프로그램을 통해 산출된 OJIP 지수  $F_v/F_m$ ,  $PI_{ABS}$ ,  $ET_0/RC$  및  $DI_0/RC$  등을 사용하였고 각 지수를 표에 정의하였다 (Table 1).  $F_v/F_m$ 은 광계 II 최대 광화학적 효율을 나타내고 수치가 0.8 이하면 광계 II 반응중심이 손상을 입은 것이라고 할 수 있다(Bolhár-Nordenkampf et al., 1989; Oh et al., 2012).  $PI_{ABS}$ 는 광계 II 의 광에너지 흡수 능력, 전자고정효율 및 전자전달효율의 세 가지 광합성 활성 정도를 통합적으로 나타낸 지수이다(Thach et al., 2007).  $ET_0/RC$ 는 광계 II 의 전자전달효율을 나타내고 스트레스를 받으면 지수는 감소한다(Yoo et al., 2013).  $DI_0/RC$ 는 흡수된 빛에너지가 광합성에 사용되지 못하고 열로 소실됨을 뜻하는 지수이다(Thwe and Kasemsap, 2014).

### 통계분석

통계분석은 R(RStudio, 2022.02.0 Version, USA)을 이용하여 평균 간 비교를 Duncan’s multiple range test (DMRT) 검정을 통해 95% 신뢰수준에서 차이를 확인하였다.

### 결과 및 고찰

토마토 주당 총 수량은 ‘21A701’ 처리구가 7,999g으로 가장 많았고 그 다음으로 ‘21LM’이 7,754g, ‘HSF4’가 6,484g으로 많았으며, 비접목 처리구와 ‘BWM’이 각각 6,542g과 6,013g으로 수량이 적었다(Table 2). 주당 총 과실 개수는 ‘21LM’과 ‘21A701’이 각각 51.8개와 51.2개로 비슷하였으나 ‘21A701’의 평균 과중이 ‘21LM’보다 6.4g 더 높았다. ‘BWM’의 평균 과중은 138.3g으로 ‘21A701’에 비해 11% 낮았다. 평균 과폭은 ‘21A701’이 79.2mm로 컸다. 모든 처리구는 TYLCV에 감염되었지만(Fig. 2) 접수인 ‘Red250’이 TY내병계 품종이어서 생육 후기까지 수확이 가능하였던 것으로 판단된다. TYLCV 저항성 대목은 뿌리 활력을 유지해 바이러스 감염 후에도 접수 세력을 키워 생육 후기까지 재배가 가능하다(Mahmoud, 2014). ‘21LM’과 ‘21A701’은 대목과 접수 모두 TYLCV 저항성을 가져 총 수량과 과실 개수가 많은 것으로 판단된다. ‘HSF4’는 비접목 처리구와 비슷한 총 수량을 보여 접목의 효과를 보지 못하였다. ‘BWM’은 ‘21A701’에 비해 총 수량이 25% 낮고 비접목 처리구에 비해 8% 낮아 TYLCV 감수성 대목의 성능을 확인한 결과라고 판단된다. 접목 친화성에 따라 이병률은 다르지만, 담

**Table 2.** Total yield, the total number of fruits, average fruit weight, average fruit length, and average fruit diameter of grafted and non-grafted tomatoes grown hydroponically

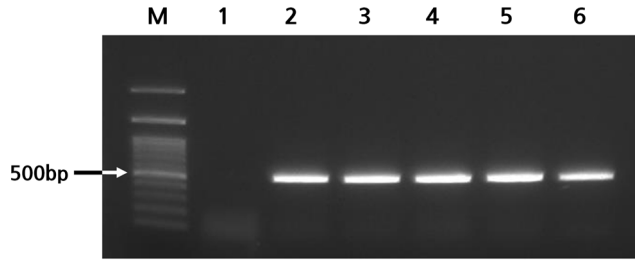
Graft combination		Total yield (g per plant)	The number of fruits	Fruit weight (g)	Fruit length (mm)	Fruit diameter (mm)
Scion	Rootstock					
Red250	HSF4	6,484 b <sup>z</sup>	45.1 b	143.6 c	56.1 a	76.3 ab
Red250	21LM	7,754 a	51.8 a	149.7 b	57.1 a	77.3 ab
Red250	21A701	7,999 a	51.2 a	156.1 a	59.2 a	79.2 a
Red250	BWM	6,013 c	43.5 b	138.3 d	56.4 a	73.9 b
Red250	- <sup>y</sup>	6,542 b	46.1 b	141.9 cd	56.0 a	73.5 b

<sup>z</sup>Values represent the mean of fifteen biological replications. Different letters within a column indicate a significant difference at  $p < 0.05$  according to Duncan’s multiple range test.

<sup>y</sup>Non-grafted treatment.

배모자이크바이러스(TMV)에 감염된 접수는 바이러스 저항성 대목을 사용하면 발병 증상이 악화된다(Lee et al., 2010). 접수에 따라 어떤 대목을 사용하느냐는 식물 성장과 발달에 영향을 미치고 적합한 대목이 아니면 수량 증가 효과가 떨어진다(Romano and Paratore, 2001). ‘BWM’ 처리구는 TYLCV 감수성 대목인데 더불어 접수와 접목 친화성이 낮아 바이러스 감염 후 수량이 감소한 것으로 판단된다. 이에 반해 ‘21A701’은 TYLCV에 감염되었음에도 바이러스 저항성 대목으로 접수 세력을 유지시켜 다른 처리구에 비해 수량이 많은 것으로 판단된다.

‘21A701’의 성장강도는 생육조사 전 기간 동안 7–9mm로 처리구 중 가장 높았다(Table 3). 정식 후 31주의 ‘BWM’과 비접목 처리구의 성장강도는 각각 7.48mm와 6.88mm로 낮았다. 정식 후 32주에 ‘HSF4’의 성장강도는 6.53mm로 정식 후 31주인 8.10mm에 비해 급격히 감소하였다. 정식 후 34주의 ‘HSF4’와 ‘BWM’의 성장강도는 5.87mm와 5.93mm로 낮았으며 ‘HSF4’의 경우 정식 후 31주에 비해 28% 감소되었다. 성장강도는 줄기직경을 측정하여 일반적으로 대과종의 줄기직경이 11mm보다 가늘면 작물 세력이 약한 것으로 판단할 수 있는데(Lee et al., 2022a; Stradiot and Battistel, 2003), 본 연구결과 모든 처리구의 성장강도는 11mm 미만으로 TYLCV 피해 증상 때문에 세력이 약화된 것으로 판단된다. TYLCV의 대표적인 증상은 잎이 황화되는 것으로 광합성률이 떨어져 체 내 동화산물 생성이 감소한다. 생육조사를 진행할수록 전체적으로 성장강도가 감소한 이유는 정식 후 32주 전후로 온실 내 온도가 상승하여(Fig. 1) 주간 호흡률은 높음에 광합성률이 낮아 작물 세력이 급격히 약화된 것으로 판단된다. 접목 토마토의 줄기직경은 실생 토마토의 줄기직경보다 두껍고(Huang et al., 2016) 이러한 토마토의 생육과 발달은 접목 조합에 따라 다르게 나타난다(Soe et al., 2018). ‘21A701’은 대목의 TYLCV 저항성이 있어 세력을 유지해 다른 처리구에 비해 성장강도가 높은 반면, ‘HSF4’와 ‘BWM’은 대목이 TYLCV 감수성이어서 접목의 효과를 보지 못해 성장강도가 낮은 것으로 판단된다.



**Fig. 2.** Diagnosis of TYLCV from tomato leaves by means of the electrophoresis of PCR. PCR products amplified from DNA extract with TYLCV-specific primers were analyzed on 1.5% agarose gel. Each lane from 1 to 6 corresponds to the tomato accession ‘Control’, ‘HSF4’, ‘21LM’, ‘21A701’, ‘BWM’, and ‘non-grafted’, respectively. M, 500-bp size marker.

**Table 3.** Changes in the growth strength (mm) of grafted and non-grafted tomatoes grown hydroponically

Graft combination		Growth strength <sup>z</sup> (mm)			
Scion	Rootstock	31 <sup>y</sup>	32	33	34
Red250	HSF4	8.10 bc <sup>x</sup>	6.53 b	6.10 b	5.87 b
Red250	21LM	8.98 ab	7.58 ab	6.44 b	6.68 ab
Red250	21A701	9.64 a	8.36 a	7.98 a	7.70 a
Red250	BWM	7.48 c	6.58 b	6.30 b	5.93 b
Red250	- <sup>w</sup>	6.88 c	6.68 b	6.28 b	6.28 ab

<sup>z</sup>Growth strength is expressed as the average diameter of the stem. The stem diameter was measured at the point where the growing tip was at seven days before measurements were taken.

<sup>y</sup>Weeks after transplanting.

<sup>x</sup>Values represent the mean of fifteen biological replications. Different letters within a column indicate a significant difference at  $p < 0.05$  according to Duncan’s multiple range test.

<sup>w</sup>Non-grafted treatment.

정식 후 32주에 ‘21A701’의 생장길이는 21.5cm로 처리구 중 가장 길었다(Table 4). 정식 후 33주에 ‘21A701’의 생장길이는 20.2cm로 긴 반면, ‘BWM’은 14.8cm로 짧았다. 정식 후 30주에 ‘21LM’의 화방 간 거리는 27.4cm로 길었고 ‘HSF4’는 22.0cm로 짧았다(Table 5). 정식 후 30주에 ‘HSF4’의 엽장은 30.8cm로 길었고 비접목 처리구는 22.2cm로 짧았다(Table 6). 정식 후 31주와 34주에 ‘21A701’의 엽폭은 23.0cm와 23.2cm로 처리구 중 가장 넓었다. 정식 후 30주의 개화위치는

**Table 4.** Changes in the growth length (cm) of grafted and non-grafted tomatoes grown hydroponically

Graft combination		Growth length <sup>z</sup> (cm)			
Scion	Rootstock	31 <sup>y</sup>	32	33	34
Red250	HSF4	16.9 ab <sup>x</sup>	16.3 b	18.0 ab	16.1 ab
Red250	21LM	14.4 b	17.4 b	17.0 ab	15.3 b
Red250	21A701	18.6 a	21.5 a	20.2 a	18.7 a
Red250	BWM	15.4 b	18.1 b	14.8 b	15.4 b
Red250	- <sup>w</sup>	15.3 b	18.3 b	17.4 ab	16.8 ab

<sup>z</sup>Growth length was measured the distance from the last growing tip to the current growing tip.

<sup>y</sup>Weeks after transplanting.

<sup>x</sup>Values represent the mean of fifteen biological replications. Different letters within a column indicate a significant difference at  $p < 0.05$  according to Duncan’s multiple range test.

<sup>w</sup>Non-grafted treatment.

**Table 5.** Changes in the distance between the clusters (cm) of grafted and non-grafted tomatoes grown hydroponically

Graft combination		The distance between the clusters (cm)				
Scion	Rootstock	30 <sup>z</sup>	31	32	33	34
Red250	HSF4	22.0 b <sup>y</sup>	21.4 b	23.8 ab	21.0 c	21.5 b
Red250	21LM	27.4 a	24.5 ab	22.4 b	21.8 bc	22.1 b
Red250	21A701	26.0 ab	25.2 a	26.2 a	25.5 a	25.3 a
Red250	BWM	23.2 ab	21.8 b	22.6 b	22.8 abc	21.4 b
Red250	- <sup>x</sup>	24.0 ab	23.4 ab	24.6 ab	25.1 ab	23.9 ab

<sup>z</sup>Weeks after transplanting.

<sup>y</sup>Values represent the mean of fifteen biological replications. Different letters within a column indicate a significant difference at  $p < 0.05$  according to Duncan’s multiple range test.

<sup>x</sup>Non-grafted treatment.

**Table 6.** Changes in the leaf length and width (cm) of grafted and non-grafted tomatoes grown hydroponically

Graft combination		Leaf length and width (cm)									
Scion	Rootstock	30 <sup>z</sup>		31		32		33		34	
		Leaf length	Leaf width	Leaf length	Leaf width	Leaf length	Leaf width	Leaf length	Leaf width	Leaf length	Leaf width
Red250	HSF4	30.8 a <sup>y</sup>	22.8 b	27.0 ab	20.0 b	25.0 a	18.6 b	24.0 a	15.4 a	24.2 ab	20.8 b
Red250	21LM	24.8 bc	20.6 b	23.0 b	19.2 b	23.6 a	20.4 ab	21.4 a	18.2 a	22.5 ab	20.6 b
Red250	21A701	28.4 ab	27.2 a	28.2 a	23.0 a	26.0 a	23.2 a	22.4 a	18.6 a	26.6 a	23.2 a
Red250	BWM	25.2 bc	24.4 ab	24.6 ab	20.4 b	23.4 a	20.0 ab	21.6 a	17.4 a	22.1 b	20.1 b
Red250	- <sup>x</sup>	22.2 c	20.8 b	24.8 ab	20.8 b	24.6 a	20.4 ab	24.8 a	19.6 a	22.4 ab	19.4 b

<sup>z</sup>Weeks after transplanting.

<sup>y</sup>Values represent the mean of fifteen biological replications. Different letters within a column indicate a significant difference at  $p < 0.05$  according to Duncan’s multiple range test.

<sup>x</sup>Non-grafted treatment.



‘21A701’이 25.8cm로 값이 높았고 ‘HSF4’와 ‘BWM’, 비접목 처리구는 각각 17.3cm와 18.5cm, 18.3cm로 값이 낮았다 (Table 7). 정식 후 31주에 ‘21A701’의 개화위치는 21.8cm인 반면, 비접목 처리구는 11.8cm로 46% 낮았다. 정식 후 32주와 33주에 ‘21LM’의 개화위치는 각각 16.5cm와 16.1cm로 처리구 중 가장 높은 값을 보였다. 개화위치를 측정함으로써 성장상의 균형을 판단할 수 있는데, 일반적으로 대과종 토마토의 개화위치가 20cm 이상이면 영양생장상으로, 15cm 이하면 생식생장상으로 이행됨을 판별할 수 있다(Lee et al., 2022a; Stradiot and Battistel, 2003). 정식 후 30주와 31주에 ‘21A701’의 개화위치는 20cm 이상으로 영양생장상을 보인 반면, 다른 처리구는 정식 후 31주부터 생식생장상으로 전환되는 모습을 보였다. ‘21A701’의 개화위치는 Table 3의 성장강도 결과와 유사하게 다른 처리구에 비해 세력을 더 오래 유지하는 양상을 가졌다. 대목을 사용함으로써 옥신과 시토키닌 등의 식물호르몬의 생성과 지상부로의 수송이 원활해지고 이는 생육을 증진시켜 각종 환경 스트레스 피해를 저감시킨다(Nawaz et al., 2017). 하지만 대목과 접수의 조합에 따라 생육 차이가 나타나고, 접목 친화성이 높은 토마토는 지상부 영양생장이 활발하다(Leonardi and Giuffrida, 2006). 스트레스 피해로 인해 지상부 영양생장이 약화되면 작물 세력이 감소돼 수량이 줄어든다(Ennis et al., 2005). 이때 작물의 뿌리 활력이 강하면 지상부 영양생장을 증진시키고 이것이 수량성 증가로 이어진다(Khah et al., 2006). TYLCV 저항성 대목을 사용하면 뿌리 활력으로 지상부 생육을 유지한다는 이점이 있어(Mahmoud, 2014) 본 실험에서 ‘21A701’과 ‘21LM’의 수량성이 높았던 것으로 판단된다.

정식 후 27주에 엽병 즙액 내 NO<sub>3</sub>-N과 K<sup>+</sup> 농도는 처리 간 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 8). 정식 후 32주에 ‘BWM’의

**Table 7.** Changes in the flowering position (cm) of grafted and non-grafted tomatoes grown hydroponically

Graft combination		Flowering position <sup>z</sup> (cm)				
Scion	Rootstock	30 <sup>y</sup>	31	32	33	34
Red250	HSF4	17.3 b <sup>x</sup>	16.1 ab	13.3 b	12.6 b	13.2 a
Red250	21LM	19.5 ab	16.0 ab	16.5 a	16.1 a	15.9 a
Red250	21A701	25.8 a	21.8 a	15.2 a	13.8 ab	15.8 a
Red250	BWM	18.5 b	14.3 ab	12.3 b	10.4 ab	13.2 a
Red250	- <sup>w</sup>	18.3 b	11.8 b	11.5 b	10.6 ab	12.8 a

<sup>z</sup>Flowering position is expressed as the distance between the flowering truss and the head of the plant.

<sup>y</sup>Weeks after transplanting.

<sup>x</sup>Values represent the mean of fifteen biological replications. Different letters within a column indicate a significant difference at  $p < 0.05$  according to Duncan’s multiple range test.

<sup>w</sup>Non-grafted treatment.

**Table 8.** Tomato fresh petiole sap NO<sub>3</sub>-N and K<sup>+</sup> concentration throughout the harvesting season at 27, 32, and 36 weeks after transplanting in grafted and non-grafted tomatoes in a hydroponics system

Graft combination		Fresh petiole sap concentration (mg·L <sup>-1</sup> )					
Scion	Rootstock	27 <sup>z</sup>		32		36	
		NO <sub>3</sub> -N	K <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> -N	K <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> -N	K <sup>+</sup>
Red250	HSF4	1,480 a <sup>y</sup>	4,233 a	1,279 a	3,900 a	1,038 b	3,535 b
Red250	21LM	1,547 a	4,400 a	1,354 a	3,825 a	1,016 b	3,400 bc
Red250	21A701	1,570 a	4,133 a	1,324 a	3,750 a	1,211 a	4,050 a
Red250	BWM	1,345 a	4,067 a	1,159 b	3,775 a	835 c	3,500 b
Red250	- <sup>x</sup>	1,367 a	4,267 a	1,339 a	3,775 a	1,068 b	3,350 c

<sup>z</sup>Weeks after transplanting.

<sup>y</sup>Values represent the mean of nine biological replications. Different letters within a column indicate a significant difference at  $p < 0.05$  according to Duncan’s multiple range test.

<sup>x</sup>Non-grafted treatment.

NO<sub>3</sub>-N 농도는 1,159mg·L<sup>-1</sup>로 낮았고 K<sup>+</sup> 농도는 처리 간 유의한 차이가 없었다. 정식 후 36주의 NO<sub>3</sub>-N 농도는 ‘21A701’이 1,211mg·L<sup>-1</sup>로 가장 높았고 ‘BWM’이 835mg·L<sup>-1</sup>로 가장 낮았으며, K<sup>+</sup> 농도는 ‘21A701’이 4,050mg·L<sup>-1</sup>로 가장 높았고 비접목 처리구가 3,350mg·L<sup>-1</sup>로 가장 낮았다. 정식 후 생육 후기로 갈수록 체 내 양분 농도는 감소한다는 연구 결과와 같이 (Rodrigo et al., 2005) 본 연구에서도 NO<sub>3</sub>-N과 K<sup>+</sup> 농도 수치가 점점 감소하는 양상을 보였다. 엽병 즙액 내 질산태 질소 함량을 측정하여 작물 전체 질소 함량 수준을 알 수 있고(Llanderal et al., 2020), 체 내 질소 함량은 총 수량을 결정짓는 요인이다 (Taber, 2001). 뿌리 활력이 강한 식물체는 질소 이용 효율이 높고 흡수된 질소는 접수의 생장과 발달을 증진시켜 많은 수량을 기대할 수 있다(Colla et al., 2010). 줄기직경이 두꺼운 토마토는 질소 흡수량이 많은데(Albornoz et al., 2020) ‘21A701’은 생육조사 전 기간 동안 처리구 중 줄기직경이 가장 두꺼웠고 그 결과 생육 후기에 엽병 즙액 내 NO<sub>3</sub>-N과 K<sup>+</sup> 농도가 가장 높았고 그 영향으로 생육 후기까지 과중을 유지해 수량이 많이 나타난 것으로 판단된다. 대목 뿌리는 양수분 흡수율이 높아 접수의 생육을 증진시키고, 이는 엽 내 질소와 칼륨 함량이 높은 결과를 가져오지만 대목과 접수 간의 접목 친화성에 따라 결과는 달라진다(Ruiz et al., 1997). 토마토 품종별 유전적 요인에 따라 생육과 발달은 차이를 보이고 이에 질소 이용 효율도 다르기 때문에 (Albornoz et al., 2020) 대목별로 엽병 즙액 내 양분 함량 차이를 보이는 것으로 판단된다. TYLCV에 감염된 상태에서 감수성 대목인 ‘BWM’은 뿌리 활력이 약해져 양수분 흡수 능력이 떨어져 정식 후 36주에 엽병 즙액 내 NO<sub>3</sub>-N 농도가 급격히 감소한 것으로 판단된다. 대목 종류에 따라 생육 후기에 엽병 즙액 내 질산태 질소와 칼륨 농도가 차이를 보였고 이는 TYLCV에 대한 대목 성능을 객관적인 수치를 통해 분석한 결과로 판단된다.

정식 후 27주의 F<sub>v</sub>/F<sub>M</sub>은 ‘21LM’이 0.857로 높았고 ‘BWM’이 0.816으로 낮았다(Table 9). 정식 후 32주의 F<sub>v</sub>/F<sub>M</sub>은 ‘HSF4’와 ‘21A701’이 0.820 이상으로 높았고 ‘BWM’이 0.8 이하의 값을 보이기 시작하였다. 정식 후 27주의 PI<sub>ABS</sub>는 ‘21LM’이 7.358로 F<sub>v</sub>/F<sub>M</sub>과같이 처리구 중 가장 높았다. 정식 후 32주의 PI<sub>ABS</sub>는 ‘BWM’이 2.367로 낮았으며 이 때 F<sub>v</sub>/F<sub>M</sub>도 0.790으로 처리구 중 가장 낮았다. 정식 후 36주에 ‘21LM’의 F<sub>v</sub>/F<sub>M</sub>과 PI<sub>ABS</sub>는 각각 0.803과 2.990으로 높았고 비접목 처리구

**Table 9.** Maximum quantum yield (F<sub>v</sub>/F<sub>M</sub>), performance index (PI<sub>ABS</sub>), electron transport flux (ET<sub>0</sub>/RC), and dissipated energy flux (DI<sub>0</sub>/RC) measured at 27, 32, and 36 weeks after transplanting in grafted and non-grafted tomatoes in a hydroponics system

Weeks after Transplanting	Graft combination	F <sub>v</sub> /F <sub>M</sub>	PI <sub>ABS</sub>	ET <sub>0</sub> /RC	DI <sub>0</sub> /RC
27	HSF4	0.845 ab <sup>z</sup>	5.213 b	0.986 a	0.286 a
	21LM	0.857 a	7.358 a	0.964 a	0.240 a
	21A701	0.847 ab	5.622 ab	0.972 a	0.274 a
	BWM	0.816 b	5.210 b	0.912 a	0.350 a
	non-grafted	0.830 ab	4.398 b	0.957 a	0.328 a
32	HSF4	0.826 a	4.267 a	0.932 ab	0.495 a
	21LM	0.801 ab	3.119 ab	0.897 b	0.405 ab
	21A701	0.820 a	3.962 a	0.971 a	0.390 ab
	BWM	0.790 b	2.367 b	0.977 a	0.352 b
	non-grafted	0.811 ab	2.981 ab	0.984 a	0.323 b
36	HSF4	0.791 ab	2.520 ab	0.926 b	0.441 b
	21LM	0.803 a	2.990 a	1.036 a	0.428 b
	21A701	0.786 ab	2.379 abc	0.955 ab	0.466 ab
	BWM	0.755 ab	1.716 bc	0.939 ab	0.615 ab
	non-grafted	0.739 b	1.422 c	0.854 b	0.758 a

<sup>z</sup>Values represent the mean of seven biological replications. Different letters within a column indicate a significant difference at  $p < 0.05$  according to Duncan's multiple range test.

는 각각 0.739와 1.422로 낮았다. 정식 후 27주의  $ET_0/RC$ 와  $DI_0/RC$ 는 처리 간 유의한 차이를 보이지 않았다. 정식 후 36주에 ‘21LM’의  $ET_0/RC$ 는 1.036으로 높았고  $DI_0/RC$ 는 0.428로 낮았으며 비접목 처리구는 반대로  $ET_0/RC$ 가 0.854로 낮았고  $DI_0/RC$ 는 0.758로 높았다. OJIP 지수 간의 상관관계에서  $F_v/F_m$ 과  $PI_{ABS}$ 는 고도의 정의 상관관계( $r^2 = 0.86$ )를 나타내었다 (Lee et al., 2022b). 작물이 스트레스를 받으면  $F_v/F_m$ 과  $PI_{ABS}$ ,  $ET_0/RC$ 의 값은 감소하고(Yoo et al., 2013; Sousaraei et al., 2021)  $DI_0/RC$ 는 값이 증가한다(Ajigboye et al., 2016).  $F_v/F_m$ 이 0.8 이하면 광계 II 반응중심이 불활성 상태나 손상을 고려할 수 있다(Bolh ar-Nordenkampf et al., 1989; Oh et al., 2012). 정식 후 36주에 ‘21LM’을 제외한 모든 처리구의  $F_v/F_m$ 이 0.8 이하인 것으로 보아 TYLCV 피해로 잎이 황화되어 엽록소가 광에너지를 흡수하지 못해 광계 II 반응중심이 불활성 상태인 것으로 판단된다. 접목 토마토는 실생 토마토보다 상대생장률이 커 줄기직경이 두껍고 엽면적이 넓어 순동화율이 높다(Latifah et al., 2021). ‘21LM’은 비접목 처리구에 비해 광계 II의 전자전달효율이 높고 빛에너지가 열로 소실되기보다 광합성에 쓰인 비율이 높아  $DI_0/RC$  값이 낮은 것으로 판단된다. TYLCV에 감염되어 잎이 황화되었는데 그 정도가 ‘21LM’이 가장 낮아 광합성 효율이 높았고 이에 따라 수량이 많은 것으로 판단된다. 처리 간 엽록소형광 수치와 수량 정도가 일치하는 양상을 보여 광합성 효율을 측정함으로써 대목 성능을 평가할 수 있는 것으로 판단된다.

## 초 록

토마토 접목묘는 재배기술이 향상됨에 따라 장기재배를 위해 많이 사용되고 있을 뿐 아니라 토마토 바이러스에 대한 저항성을 가진 대목의 경우 바이러스에 감염되어도 접수 생육을 유지시켜 작기 후반까지 재배 가능하도록 돕는다. 본 연구는 수경재배 시 토마토 대목 종류에 따른 생육과 수량 차이, 엽병 분석 및 광합성 효율을 측정하여 국내 개발 대목의 성능과 TYLCV 저항성 수준을 검증하고자 수행하였다. 실험재료는 국내 개발 대목 중 TYLCV 감수성 계통으로 ‘HSF4’와 ‘BWM’을, TYLCV 저항성 계통으로 ‘21LM’과 ‘21A701’을 사용하여 접목한 처리구 4개와 TY 내병계 품종 ‘Red250’을 사용하여 접수와 비접목 처리구로 사용하였다. 모든 처리구는 정식 후 10주에 TYLCV 감염을 진단받고 정식 후 18주부터 수확이 시작되었다. TYLCV 저항성 대목을 사용한 ‘21A701’와 ‘21LM’ 처리구는 주당 총 수량이 7,999g과 7,754g으로 TYLCV 감수성 대목을 사용한 ‘BWM’보다 각각 25%와 22% 높았고 생장강도는 ‘21A701’이 처리구 중 가장 높았다. 정식 후 36주의 엽병 즙액 내  $NO_3-N$  농도는 ‘21A701’이  $1,211mg \cdot L^{-1}$ 로 가장 높았고 ‘BWM’이  $835mg \cdot L^{-1}$ 로 가장 낮았으며,  $K^+$  농도는 ‘21A701’이  $4,050mg \cdot L^{-1}$ 로 가장 높았고 비접목 처리구가  $3,350mg \cdot L^{-1}$ 로 가장 낮았다. 정식 후 36주에 ‘21LM’의  $F_v/F_m$ 과  $PI_{ABS}$ 는 각각 0.803과 2.990으로 높았고 비접목 처리구는 각각 0.739와 1.422로 낮았다. TYLCV 저항성 대목을 사용한 접목 처리구는 바이러스에 감염되었음에도 뿌리 활력이 강해 생육 후기까지 양분 흡수와 광합성 효율이 높아 접수의 생육을 유지해 총 수량이 많은 것으로 판단된다. 처리 간 생육과 수량의 정도가 엽병 즙액 내 양분 함량과 엽록소형광 수치와 비례하여 체 내 영양진단과 광합성 효율 측정을 통해 대목의 성능을 검증할 수 있는 것으로 판단된다.

**추가 주요어 :** 광합성 효율, 생장강도, 양분 흡수, 작물 세력, *Solanum lycopersicum* L.

## Literature Cited

- Ajigboye OO, Bousquet L, Murchie EH, Ray RV (2016) Chlorophyll fluorescence parameters allow the rapid detection and differentiation of plant responses in three different wheat pathosystems. *Funct Plant Biol* 43:356-369. doi:10.1071/FP15280
- Albornoz F, Gebauer M, Ponce C, Cabeza RA (2018) LeNRT1.1 Improves nitrate uptake in grafted tomato plants under high nitrogen demand. *Int J Mol Sci* 19:3921. doi:10.3390/ijms19123921
- Albornoz F, Nario A, Saavedra M, Videla X (2020) Rootstock x Environment interactions on nitrogen-use efficiency in grafted tomato plants at different phenological stages. *Agronomy* 10:350. doi:10.3390/agronomy10030350

- Al-Harbi AR, Al-Omran AM, Alqardaei TA, Abdel-Rassak HS, Alharbi KR, Obadi A, Saad MA (2018) Grafting affects tomato growth, productivity, and water use efficiency under different water regimes. *J Agr Sci Tech* 20:1227-1241
- Baghbani F, Lotfi R, Moharramnejad S, Bandehagh A, Roostaei M, Rastogi A, Kalaji HM (2019) Impact of *Fusarium verticillioides* on chlorophyll fluorescence parameters of two maize lines. *Eur J Plant Pathol* 154:337-346. doi:10.1007/s10658-018-01659-x
- Beverly RB (1994) Stem sap testing as a real-time guide to tomato seedling nitrogen and potassium fertilization. *Commun Soil Sci Plant Anal* 25:1045-1056. doi:10.1080/00103629409369097
- Bischoff M, Hiar AM, Turco RF (1996) Evaluation of nitrate analysis using test strips: comparison with two analytical laboratory methods. *Commun Soil Sci Plant Anal* 27:2765-2774. doi:10.1080/00103629609369739
- Bolh ar-Nordenkampf HR, Long SP, Baker NR,  quist G, Schreiber U, Lechner EG (1989) Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrumentation. *Funct Ecol* 3:497-514. doi:10.2307/2389624
- Colla G, Suarez CMC, Cardarelli M (2010) Improving nitrogen use efficiency in melon by grafting. *HortScience* 45:559-565. doi:10.21273/HORTSCI.45.4.559
- Djidonou D, Zhao X, Simonne EH, Koch KE, Erickson JE (2013) Yield, water-, and nitrogen-use efficiency in field-grown, grafted tomatoes. *HortScience* 48:485-492. doi:10.21273/HORTSCI.48.4.485
- Ennis IL, Bussell WT, Lewthwaite JR, Triggs CM, Egginton Z, McKennie S (2005) Growth and yield measurements to detect treatment differences in tomato crops in modern greenhouses. *Agronomy N Z* 35
- Govindje E (1995) Sixty-three years since Kautsky: chlorophyll *a* fluorescence. *Aust J Plant Physiol* 22:131-160. doi:10.1071/PP9950131
- Hochmuth G (1994) Plant petiole sap-testing for vegetable crops. UF/IFAS Extension, University of Florida, USA
- Huang Y, Li J, Hua B, Liu Z, Fan M, Bie Z (2013) Grafting onto different rootstocks as a means to improve watermelon tolerance to low potassium stress. *Sci Hortic* 149:80-85. doi:10.1016/j.scienta.2012.02.009
- Huang Y, Zhao L, Kong Q, Cheng F, Niu M, Xie J, Muhammad AN, Bie Z (2016) Comprehensive mineral nutrition analysis of watermelon grafted onto two different rootstocks. *Hortic Plant J* 2:105-113. doi:10.1016/j.hpj.2016.06.003
- Kalaji HM, Govindjee, Bosa K, Koscielniak J, Zuk-Golaszewska K (2011) Effect of salt stress on photosystem II efficiency and CO<sub>2</sub> assimilation of two Syrian barley landraces. *Environ Exp* 73:64-72. doi:10.1016/j.envexpbot.2010.10.009
- Khah EM, Kakava E, Mavromatis A, Chachalis D, Goulas C (2006) Effect of grafting on growth and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) in greenhouse and open-field. *J Appl Hortic* 8:3-7. doi:10.37855/jah.2006.v08i01.01
- Kim JS, Lee SH, Choi HS, Kim MK, Kwak HR, Nam M, Kim JS, Choi GS, Cho JD, et al. (2011) Occurrence of virus diseases on major crops in 2010. *Res Plant Dis* 17:334-341. doi:10.5423/RPD.2011.17.3.334
- Kim KR, Kim KH (2003) Rapid nutrient diagnosis of cucumber by test strip and chlorophyll meter. *Korean J Soil Sci Fert* 36:272-279
- Kim MK, Kim YK (2016) Tomato yellow leaf curl virus, nematode, Cladosporium resistant cherry tomato 'TY Candy'. *Korean J Breed Sci* 48:85-91. doi:10.9787/KJBS.2016.48.1.085
- Kim SE, Sim SY, Lee SD, Kim YS (2010) Appropriate root-zone temperature control in perlite bag culture of tomato during winter season. *Hortic Sci Technol* 28:783-789
- King SR, Davis AR, Liu W, Levi A (2008) Grafting for disease resistance resistance. *HortScience* 43:1673-1676. doi:10.21273/HORTSCI.43.6.1673
- Ko SJ, Kim HJ, Lee JH, Ma KC, Choi DS, Park YH, Choi SK, Kim MK, Choi HS (2016) Resistance evaluation of commercial tomato cultivars against *Tomato yellow leaf curl virus*. *Res Plant Dis* 22:297-302. doi:10.5423/RPD.2016.22.4.297
- KOSIS (2022) Korean Statistical Information Service. <https://kosis.kr/index/index.do>. Accessed 18 November 2022
- Latifah E, Krismawati A, Saeri M, Arifin Z, Warsiati B, Setyorini D, Prahardini PER, Subagio H, Sihombing D, et al. (2021) Analysis of plant growth and yield in varieties of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) grafted onto different eggplant rootstocks. *Hindawi Int J Agron* 2021:1-11. doi:10.1155/2021/6630382
- Lee H, Lee JG, Cho MC, Hwang I, Hong KH, Kwon DH, Ahn YK (2022a) Growth characteristics of tomatoes grafted with different rootstocks grown in soil during winter season. *J Bio-Env Con* 3:194-203. doi:10.12791/KSBEC.2022.31.3.194
- Lee H, Lee JG, Cho MC, Hwang I, Hong KH, Kwon DH, Ahn YK (2022b) Rootstock performance of cherry tomatoes grown in soil cultivation: Evaluation of growth, yield and photosynthesis. *Hortic Sci Technol* 40:376-387. doi:10.7235/HORT.20220034
- Lee JB, Koh SC, Moon BY, Park IH, Park HB, Chun HS (2016) Plant physiology (Korean edition). Lifescience, Seoul, Korea, pp 42-43
- Lee JM, Kubota C, Tsao SJ, Bie Z, Echevarria PH, Morra L, Oda M (2010) Current status of vegetable grafting: diffusion, grafting techniques, automation. *Sci Hortic* 127:93-105. doi:10.1016/j.scienta.2010.08.003
- Leonardi C, Giuffrida F (2006) Variation of plant growth and macronutrient uptake in grafted tomatoes and eggplants on three different rootstocks. *Eur J Hortic Sci* 71:97-101
- Llenderal A, Garc a-Caparr s P, P rez-Alonso J, Contreras JI, Segura ML, Reca J, Lao MT (2020) Approach to petiole sap nutritional diagnosis method by empirical model based on climatic and growth parameters. *Agronomy* 10:188. doi:10.3390/agronomy10020188
- Mahmoud AMA (2014) Grafting as a tool to improve TYLCV-tolerance in tomato. *J Hortic Sci Ornament Plants* 6:109-115
- Nawaz MA, Wang L, Jioa Y, Chen C, Zhao L, Mei M, Yu Y, Bie Z, Huang Y (2017) Pumpkin rootstock improves nitrogen use efficiency of watermelon scion by enhancing nutrient uptake, cytokinin content, and expression of nitrate reductase genes. *Plant Growth Regul* 82:233-246. doi:10.1007/s10725-017-0254-7
- Oh S, Koh SC (2005) Analysis of O-J-I-P transients from four subtropical plant species for screening of stress indicators under low

- temperature. *J Environ Sci* 14:389-395. doi:10.5322/JES.2005.14.4.389
- Oh S, Lee JH, Ko KS, Koh SC** (2012) Chlorophyll fluorescence and CO<sub>2</sub> fixation capacity in leaves of *Camellia sinensis*, *Camellia japonica*, and *Citrus unshiu*. *Korean J Environ Biol* 30:98-106
- Rodrigo MC, Ginestar J, Boix M, Ramos C** (2005) Evaluation of rapid methods for nitrate plant sap analysis of globe artichoke grown in sand culture. *Acta Hort* 697:393-397. doi:10.17660/ActaHortic.2005.697.50
- Romano D, Paratore A** (2001) Effects of grafting on tomato and eggplant. *Acta Hort* 559. doi:10.17660/ActaHortic.2001.559.21
- Ruiz JM, Belakbir A, Lopez-Cantarero I, Romero L** (1997) Leaf-macronutrient content and yield in grafted melon plants: A model to evaluate the influence of rootstock genotype. *Sci Hortic* 71:227-234. doi:10.1016/S0304-4238(97)00106-4
- Soe DW, Win ZZ, Thwe AA, Myint KT** (2018) Effect of different rootstocks on plant growth, development and yield of grafted tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *J Agric Res* 5:30-38
- Sousaraei N, Mashayekhi K, Mousavizadeh SJ, Akbarpour V, Medina J, AliniaEIFARD S** (2021) Screening of tomato landraces for drought tolerance based on growth and chlorophyll fluorescence analyses. *Hortic Environ Biotechnol* 62:521-535. doi:10.1007/s13580-020-00328-5
- Stradiot P, Battistel P** (2003) Improved plant management with localized crop heating and advice on distance in the Mediterranean climate. *Acta Hort* 614:461-467. doi:10.17660/ActaHortic.2003.614.69
- Taber H** (2001) Petiole sap nitrate sufficiency values for fresh market tomato production. *J Plant Nutr* 24:945-959. doi:10.1081/PLN-100103783
- Thach LB, Shapcott A, Schmidt S, Critchley C** (2007) The OJIP fast fluorescence rise characterizes *Graptophyllum* species and their stress response. *Photosynth Res* 94:423-436. doi:10.1007/s11120-007-9207-8
- Thwe A, Kasemsap P** (2014) Quantification of OJIP fluorescence transient in tomato plants under acute ozone stress. *Kasetsart J Nat Sci* 48:665-675
- Yoo SY, Lee YH, Park SH, Choi K, Park JY, Kim AR, Hwang SM, Lee MJ, Ko TS, et al.** (2013) Photochemical response analysis on drought stress for red pepper (*Capsicum annuum* L.). *Korean J Soil Sci Fert* 46:659-664. doi:10.7745/KJSSF.2013.46.6.659