

## 여름철 시설 토마토 재배 시 Carbon Dioxide 처리가 광합성, 엽록소 형광, 항산화 효소 발현에 미치는 영향

### The effect of Photosynthesis, Chlorophyll Fluorescence, and Anti-Oxidation Enzyme Activity on Carbon Dioxide Treatment in Summer Greenhouse Cultivation for Tomato (*Solanum Lycopersicum*)

우영희 · 홍규현 · 오대근 · 이관호 · 김동억\*

Y. H. Woo, K. H. Hong, D. G. Oh, K. H. Lee and D. E. Kim \*

#### Abstract

The present study was performed to examine the high temperature adaptability with CO<sub>2</sub> treatment for tomato under the condition of greenhouse cultivation during summer season. The plants with the CO<sub>2</sub> concentration of 1000 ppm recorded higher scores in Fm/Fo and Fv/Fm but lower score in Fo than others through the measurement of chlorophyll fluorescence, which implicated that the plants with the CO<sub>2</sub> concentration of 1000 ppm had more adaptability to high temperature than the others. At the condition of the same air temperature as 30°C and 40°C, the photosynthetic rate was increased with the increase of CO<sub>2</sub> concentration. When in the high air temperature state of 40°C, although the photosynthetic rate was low in comparison with 30°C, its value was about 18.5 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> in case of 1000 ppm. The higher concentration of CO<sub>2</sub> made the more activated anti-oxidation enzyme (superoxide dismutase and peroxidase) for the both cultivars as 'momotaro' and 'minichal'. The cultivar of 'minichal' performed the high temperature limit as 41°C at the CO<sub>2</sub> condition of 500 ppm and 43°C at the CO<sub>2</sub> condition of 1000 ppm through the estimation on the variation of chlorophyll fluorescence Fo by CO<sub>2</sub> concentrations.

**Key Words** : high temperature, tomato, carbon dioxide, photosynthesis, chlorophyll fluorescence, anti-oxidation enzyme

---

\* 교신저자 : 한국농수산대학 교양공통학과 (54874, 전북 전주시 완산구 콩쥐팥쥐로 1515)  
Korea National College of Agriculture & Fisheries, 1515, Kongjwipatjwi-ro, Wansan-gu, Jeonju-si, Jeollabuk-do, Korea 54874,  
Tel : +82-63-238-9333, E-mail : kde1206@korea.kr

## I. 서론

여름철 시설 토마토 재배는 44°C 극한 고온(우 등, 2015)으로 인하여 기형과 발생, 낙화 및 낙과, 과색퇴화, 수분수정 불량 등 상품성 및 수량이 저조하여 국제경쟁력 제고에 큰 문제가 되고 있다.

여름철 토마토 시설재배는 차광이나 강제 환기에 의존하여 환경을 관리하고 있으나 토마토 최고 생육 한계 기온인 35°C이하로 하강시키기는 역부족이며, 최근 지열히트 펌프와 같은 장치를 이용 하더라도 냉방용량이 부족하여 평지에서 여름철 시설재배는 상당한 투자와 고도의 기술을 요하는 작형으로 간주되고 있으며, 여름철 시설재배를 위한 과도한 시설투자는 부실경영의 한 원인이 되고 있다. 따라서 대부분 농가는 휴작을 하거나 온실 소독 등으로 작물을 재배하지 못하고 있는 실정이다(우 등, 2006).

최근 여름철 시설 수시차광에 의한 광 호흡 완화 효과(우 등, 2014), 과산화수소 처리에 의한 항산화 효소 활성으로 고온적응성 향상(우 등, 2006) 등의 연구결과를 활용하여 여름철 시설 채소 재배에 실제로 사용 되고 있다. 본 연구는 추가적인 시설투자 없이 기존에 겨울철에 사용하고 있는 CO<sub>2</sub> 사용장치를 활용하여 여름철 고온기 시설 토마토 재배 활용 가능성을 검토하고자 수행하였다.

여름철 시설작물의 내서성향상과 관련하여 CO<sub>2</sub> 시용(Taub 등, 2000)등 연구가 일부 보고되고 있으나 실험실 수준의 연구여서 실용적인 측면에서 미흡한 실정이다.

겨울철에 사용하고 있는 CO<sub>2</sub> 시용 장치를 활용하여 여름철 고온기 시설 토마토 재배 시에 시용 농도를 달리하여 처리한 한 결과 고온상태에서 토마토 엽온이 기온보다 낮아지고 토마토 수분장해를 완화 시키는 긍정적인 결과(우 등, 2015)를 얻었으며 추가적으로 그 원인 규명의 필요성이

요구되어 본 연구를 수행하였다.

작물의 고온장해 발생 요인은 온도만이 아니라 다른 환경인자 또는 작물 자체의 내서성과 밀접한 관계가 있으며, 고온 산화스트레스는 두 가지 반응 즉 고온 산화작용 억제를 위한 신호로서, 또는 고온장해 원인으로 작용한다(Dat 등, 2000; Yordanov 등, 2000). 작물은 각종 스트레스에 의해 생성되는 활성산소를 무독화하기 위한 생체 내 방어기구를 가지고 있으며, 여기에는 SOD(superoxide dismutase), CAT(catalase), POD(peroxidase)등의 항산화효소가 크게 관여하고 있는 것으로 알려져 있다(Dat 등, 2000; Yordanov 등, 2000). 항산화효소 활성을 이용한 작물 내서성 향상에 관련된 연구는 작물자체의 적응성 향상을 위해 eu-stress 개념이 도입되고 있다. 즉 인위적으로 환경에 의한 장애나 병해를 미약하게 발생 시켜 작물이 이에 대한 적응성을 키움으로써 이를 방제에 이용하고 있다(우 등, 2006; Dat 등, 2000; Yordanov 등, 2000)

본 연구는 고온 장해 완화 및 내서성 향상을 위한 경제적인 환경조절 기술개발과 더불어 시설 비용 부담 없이 겨울철에 이용하는 탄산가스 공급 장치를 활용하여 여름철 토마토 시설 재배 시 CO<sub>2</sub> 시용 농도에 의한 광합성, 엽록소 형광 발현과 이에 관련한 고온 적응성 향상 등을 구명하고 그 가능성을 검토하고자 실시하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 엽록소형광 발현 및 광합성과 항산화효소 활성분석

시험 재료는 완숙토마토 슈퍼 모모타로(도태량)과 대추토마토 미니찰 두 품종을 이용하였다.

광합성측정과 엽록소형광측정은 기온, 습도, CO<sub>2</sub>, 광 조절이 가능한 Phytotron 환경조절 생장실에서 1화방이 전개된 모종(엽수 7-8매)을 와

그녀 포트(1/2000a)에 정식하여 CO<sub>2</sub> 처리농도 수준을 각각 무처리(340ppm), 500ppm, 1000ppm로 조절한 cell에 각각 5주씩 배치하였다. 액화 CO<sub>2</sub> 처리는 오전 7시부터 오후 4시까지 9시간동안 처리하였다. 기온조절은 cell 별로 기온을 각각 연구 목적에 맞게 32°C~47°C로 조절하여 사용하였으며, 모든 처리구의 습도는 60~70% 수준으로 자동 조절하여 유지하였으며 인공 광원은 최대 7만lux 범위 내에서 조절하였다. CO<sub>2</sub> 시용은 액화탄산가스 98% 사용하여 처리 목표농도로 Phytotron 시설 내에 공급하기 위해서 탄산가스 감지센서 및 자동공급 장치를 이용하였다. CO<sub>2</sub> 처리농도의 정확도를 높이기 위해 CO<sub>2</sub> 센서와 CR-3000와 CR-1000 data logger(Campbell Inc. USA)를 이용하여 Phytotron 시설 내 대기의 CO<sub>2</sub>농도를 측정하여 처리농도의 정확성을 기하였다.

광합성은 매일 오전에 측정하였다. 광합성측정은 각각 30, 40°C에서 왕성하게 활동하는 건전한 잎을 선택하여 1개체 당 5엽을 선정하여 CO<sub>2</sub> 농도별로 5개체 25엽을 3화방전개 시점까지(4주간) 측정 조사하였다. 본 실험에 이용된 광합성 측정기기는 LCpro+ system(ADC, Inc.)을 사용했다.

위 처리와 같은 방법으로 35~45°C 범위에서 20분씩 순차적으로 온도를 상승 시키면서 엽록소 형광측정기기인 Handy Fluor Cam(Photon system, Inc.)와 OSI 30P를 이용하여 CO<sub>2</sub> 시용 농도(무처리, 500ppm, 1000ppm)에 따른 엽록소 형광 발현을 leaf clip으로 20분 암흑상태 처리 후 측정 조사하였으며 평균값을 이용하였다.

항산화효소 SOD(Superoxide Dismutase)와 POD(Peroxidase)활성 조사는 CO<sub>2</sub> 시용농도별로 생장점부근의 왕성하게 활동하는 건전한 어린잎을 선택하여 1개체 당 5엽을 선정하여 3개체를 조사하였다. 항산화효소분석은 Yamane 등(1999)이 사용한 방법에 준하여 분석하였다.

## 2. 시설 토마토의 고온 한계분석

CO<sub>2</sub> 시용농도에 따른 토마토의 고온 한계 분석은 대추 토마토인 미니찰을 이용하여 인공광원이 최대 7만 lux가 되는 Phytotron 환경조절 생장실에서 기온수준을 60분씩 단계적으로 32°C에서 47°C로 1°C씩 상승시키면서 leaf clip으로 20분 암흑 적용 후 엽록소형광 FO(initial fluorescence)반응을 조사하였다.

CO<sub>2</sub> 시용 농도는 무처리, 500ppm, 1000ppm으로 처리하였다. 엽록소형광 FO 측정부위는 왕성하게 활동하는 생장점부근의 건전한 잎을 선택하여 1개체 당 5엽을 선정하여 3개체를 측정 조사하였다. 기타 처리방법은 실험 1과 같다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 엽록소형광 발현 및 광합성과 항산화효소 활성분석

CO<sub>2</sub> 농도별 엽록소 형광을 측정한 결과 Fm/Fo과 Fv/Fm 값은 500ppm과 1000ppm 처리가 모두 무처리 비하여 높았으며, Fo는 낮았다(Fig. 1, 2, 3). 이는 500과 1000ppm의 CO<sub>2</sub> 처리는 무처리에 비하여 고온적응성이 높았음을 보여 주고 있다(Fig. 1, 2, 3). 일반적으로 작물이 고온스트레스를 받으면 Fo(initial fluorescence) 값은 증가하고 Fm(maximum fluorescence)값은 감소하며 이들 두 값은 엽록소의 함량이 많으면 큰 값을 나타내므로 잎의 두께나 나이에 따라 값에 차이가 있으므로 두 값의 비 즉 Fm/Fo 값은 작물의 스트레스 지표로 사용된다(Taub 등, 2000; Weis 등, 1988; Yamane 등, 1997). Fm에서 Fo를 뺀 값을 Fv(Variable fluorescence)라하며, Fv/Fm (Photochemical efficiency)로 광합성효율을 나타낸다. 이 값은 광화학반응에 대한 양자수율의 최대치를 나타낸다.

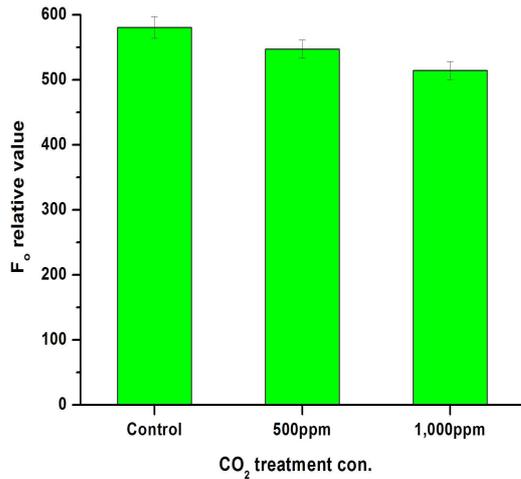


Fig. 1 Maximal efficiency of PSII(F<sub>0</sub>) in leaf discs of Minichal tomato according to CO<sub>2</sub> treatment concentration. Vertical bars(I) represent ±SE of means(n=25).

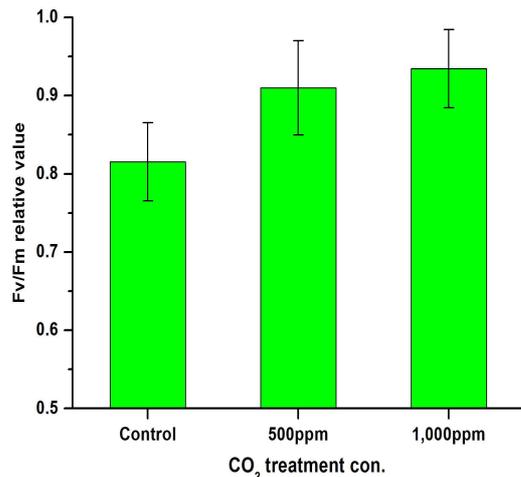
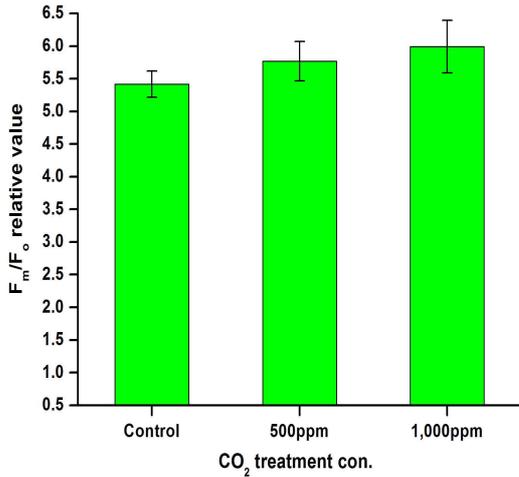


Fig. 2 Maximal efficiency of PSII(F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>) in leaf discs of Minichal Tomato according to CO<sub>2</sub> treatment concentration. Vertical bars(I) represent ±SE of means(n=25).

암 적응된 잎의 F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub> 값은 작물의 광합성을 수행할 수 있는 최대값 즉 잠재력을 의미하며 스트레스 생리학을 포함하여 광합성 연구 분야에서 가장 널리 이용되는 지표이다. 정상상태의 모든 식물의 잎에서 측정된 최대 광자효율(광합성효율)의 값은 0.832±0.04로 일정한 비율을 보이며 이보다 낮은 값을 가지는 경우는 광계II(PSII)의 반응 중심이 손상을 입은 경우이거나 스트레스 환경에 있는 경우이다(Moore 등, 1999; Yamane 등, 1997). 본 실험 결과 고온 조건하에서 F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub> 값을 보면 CO<sub>2</sub> 무처리는 0.815, 500ppm은 0.909, 1000ppm은 0.934이다(Fig. 2).

무처리는 0.832이하로 광계II(PSII)의 반응 중심이 손상되어 고온장해를 받았음을 알 수 있었으며, 500과 1000ppm은 0.9이상으로 비장애 상태를 추정할 수 있었다. 가뭄 상태를 측정할 수 있는 신기술이라는 보고서에서 F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub> 파라미터 감소를 생존력 감소와 통계적으로 상관시키면 물 부족조건 하에서 생존력을 감시할 수 있다고 Pogson(2008)은 보고하였으며, 엽록소 형광 측정을 이용하여 F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub> 파악은 작물의 수분부족 장애상태를 비파괴적으로 측정이 가능하므로 효율적이라고 하였다. 본 연구 결과와 기존의 연구결과(우 등, 2015; Pogson, 2008; Moore 등, 1999; Yamane 등, 1997)를 고려할 경우 여름철 CO<sub>2</sub> 시용은 작물의 수분장애를 완화하고 고온에 대한 적응성을 높여주는 것으로 판단되었다. 이는 여름철 기공개폐의 활성을 높여 기공전도를 원활하게 작용하기 때문에 고온장해를 극복하는 것으로 판단되나 추후 더 연구할 과제라 생각된다.

엽록소형광 지표인 F<sub>m</sub>/F<sub>0</sub> 값은 정상상태의 경우 최대 6정도이다(Moore 등, 1999). 본 연구 결과 CO<sub>2</sub> 시용농도가 높을수록 F<sub>m</sub>/F<sub>0</sub> 값은 상승하여 1000ppm에서 6에 거의 근접한 5.99 값을 보여 비록 고온 상태에서 토마토를 재배하여도 CO<sub>2</sub> 시용으로 비교적 정상에 근접한 광합성 효

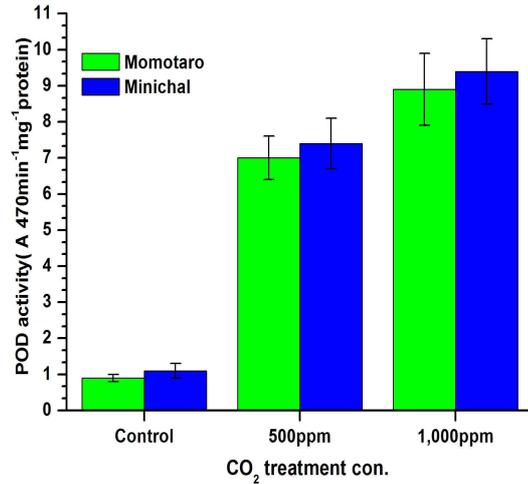


**Fig. 3** Maximal efficiency of PSII(Fm/Fo) in leaf discs of Minichal Tomato according to CO<sub>2</sub> treatment concentration. Vertical bars(I) represent ±SE of means(n=25).

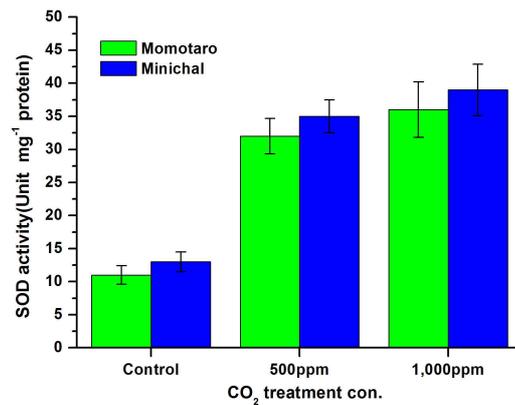
을 보여 주는 것으로 판단되나 앞으로 고온, 고광도에 의한 C3 작물의 특성인 광호흡에 따른 기공폐쇄와 관련한 추가적인 연구가 필요한 것으로 판단된다(Fig. 3)

본 연구는 Moore 등(1999)이 고온 스트레스에 의해 광계II(PSII)를 통한 전자전달계가 가장 민감하게 손상을 받아 Fo 값이 증가한다는 보고와 일치하였으며(Fig. 1) Fm/Fo과 Fv/Fm 값을 일련의 연구결과(Fig. 2, 3)와 비교하면 CO<sub>2</sub> 1000ppm처리가 다른 처리에 비하여 높으므로 토마토 체내는 비장해 수분 상태로 고온적응성이 향상되었음을 알 수 가 있었다. 이는 기존에 발표한 연구 결과(우 등, 2015)와도 일치되었다.

CO<sub>2</sub> 농도에 따른 POD(Peroxidase), SOD(Superoxide Dismutase) 항산화효소 변화를 보면 슈퍼 모모다로(도태랑), 미니찰 두 품종 모두 CO<sub>2</sub> 농도가 높을수록 항산화 효소인 POD, SOD의 활성 높았으며 1000ppm 처리가 다른 처리보다 활성 정도가 가장 높았다. 품종 간에도 차이가



**Fig. 4** Effects of CO<sub>2</sub> treatment concentration on activity of Peroxidase in Momotaro and Minichal Tomato. Vertical bars(I) represent ±SE of means(n=15).



**Fig. 5** Effects of CO<sub>2</sub> treatment concentration on activity of Superoxide Dismutase in Momotaro and Minichal Tomato. Vertical bars(I) represent ±SE of means(n=15).

나타났는데 완숙 토마토인 슈퍼 모모다로 보다는 대추 토마토인 미니찰 품종이 더 고온 적응성이 높음을 알 수 있었다(Fig. 4, 5)

본 실험결과 대기 중의 CO<sub>2</sub> 농도를 증가시킴으로써 PSII의 고온스트레스 저항성을 향상시킬 수 있다는 보고(Taub 등, 2000; Moore 등, 1999)와 유사한 경향을 보였다.

SOD, POD, CAT는 작물의 세포구성요소에 유해한 독성 활성 산소종을 물분자와 산소분자로 분해시키므로써 산화 스트레스를 경감시키는 것으로 알려져 있다(Chamnongpol 등, 1998; Dat 등, 2000; Prasad 등, 1994; Yordanov 등, 2000). Sairam와 Saxena(2000)는 품종에 따라 수분 스트레스에 의한 항산화효소 활성의 차이를 보고하였다.

연구결과 고온적응성 비교적 높은 미니찰 품종을 동일한 기온 조건하(30°C, 40°C)에서 CO<sub>2</sub> 처리농도에 따른 광합성률을 조사한 결과 광합성률은 CO<sub>2</sub> 농도에 따라 증가하였으며, 고온상태인 40°C조건하에서도 1000ppm의 CO<sub>2</sub>시용은 30°C 조건보다 광합성률은 비록 낮았지만 그 값은 약 18.5 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 였다(Fig. 6). 이 결과는 40°C의 높은 고온상태일지라도 CO<sub>2</sub> 1000ppm 처리를 함으로써 광합성이 이루어짐을 알 수 있었다(Fig. 6).

이와 같이 일련의 연구결과를 보면 CO<sub>2</sub> 처리는 작물체에 항산화 효소의 생성을 유도함으로써 고온장해에 대한 방어시스템을 형성하여 내서성 향상과 아울러 비장해 수분상태가 되는 것으로 추정되며, 앞으로 토마토뿐 만아니라 수출 전략품목인 파프리카를 비롯한 여러 시설채소작물에서도 CO<sub>2</sub> 처리가 내서성을 향상시킬 가능성이 있으므로 추가적인 연구가 필요하다고 판단된다.

## 2. 시설토마토의 고온 한계분석

미니찰 품종에서 CO<sub>2</sub> 농도와 온도변화에 따른 엽록소 형광 Fo의 변화양상을 조사하여 고온한계 온도를 추정하였다(Fig. 7). 일반적으로 엽록소 형

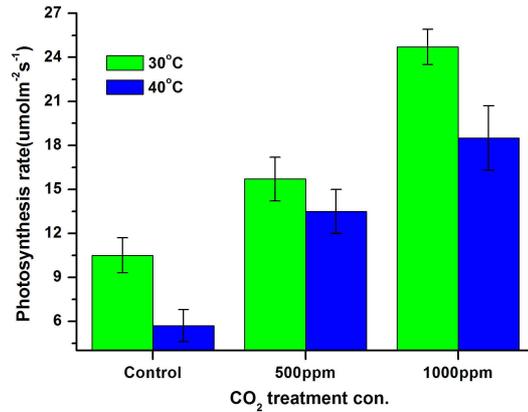


Fig. 6 Photosynthesis rates for leaves of Minichal Tomato following a 4 weeks treatment at 30°C or 40°C. Leaves were from plant grown at Control, 500ppm and 1000ppm CO<sub>2</sub> at between am 7h and pm 4h in greenhouse. Vertical bars (I) represent  $\pm$ SE of means(n=25).

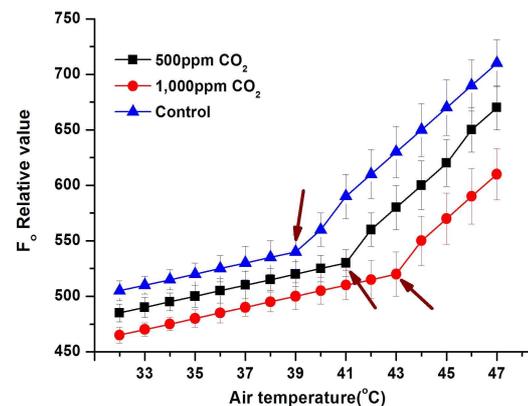


Fig. 7 Representative fluorescence traces for the determination of the critical temperature for PSII(Fo) damage. Changes of Fo relative value of Minichal Tomato according to control, 500ppm and 1000ppm CO<sub>2</sub>. Vertical bars (I) represent  $\pm$ SE of means(n=15).

광 Fo 값이 높을 수록으로 광합성 효율이 떨어진 다. 장애조건하에서 엽록소 형광 Fo 값은 장애정도에 따라 점차 증가하였다가 어느 시점에서 급격하게 상승하는 비가역적인 현상이 나타나는데 이 시점 값이 작물이 stress로 인하여 회복될 수 없는 시점으로 한계 값을 표현 하는 데 이용하고 있다(Taub 등, 2000; Weis 등, 1988; Yamane 등, 1997).

본 연구에서도 CO<sub>2</sub> 농도 1000ppm으로 처리할 경우 43°C, 500ppm으로 처리할 경우 41°C로서 1000ppm 처리가 고온에 더 잘 견디는 것으로 판단되었다. 따라서 본 연구 조건하에서 CO<sub>2</sub> 시용은 토마토의 고온적응성을 향상시키는 것으로 추정된다.

#### IV. 적 요

여름철 토마토 시설 재배 시 CO<sub>2</sub> 시용에 의한 고온적응성 향상을 구명하고 그 가능성을 검토하고자 실시하였다. CO<sub>2</sub> 시용 농도별 엽록소 형광을 측정된 결과 Fm/Fo과 Fv/Fm은 1000ppm 처리가 타 처리에 비하여 높았으며, Fo은 낮았다. 이는 1000ppm의 CO<sub>2</sub> 처리는 다른 처리에 비하여 고온 적응성이 높았음을 보여 주고 있다. 동일한 기온 조건하(30°C, 40°C)에서 광합성률은 CO<sub>2</sub> 농도에 따라 증가하였으며, 고온상태인 40°C 조건하에서도 1000ppm의 CO<sub>2</sub> 시용은 30°C 조건보다 광합성률은 낮았으나 그 값은 약 18.5μmolm<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>이었다. 슈퍼 도태랑(모모타로), 미니찰 두 품종 모두 CO<sub>2</sub> 농도가 높을수록 항산화 효소인 Superoxide Dismutase 와 Peroxidase의 활성은 높았다. 미니찰 품종에서 CO<sub>2</sub> 농도와 온도변화에 따른 엽록소 형광 Fo의 변화양상을 조사하여 고온한계 온도를 추정된 결과 500ppm은 41°C, 1000ppm은 43°C였다.

#### V. 인용문헌

1. Chamnongpol S., Willekens H., Moeder W., Langebartels C., Sandermann H. Jr, van Montagu M. et al. 1998. Defens activation and enhanced pathogen tolerance induced by H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in transgenic plants. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 95:5818-5823.
2. Dat J., S. Vandenabeele, E. Vranová, M. Van Montagu, D. Inzé and F. Van Breusegem. 2000. Dual action of the active oxygen species during plant stress responses. Cell. Mol. Life Sci. 57:779-795
3. Moore, B. D., S. H. Cheng, D. Sims & J. R. Seemann. 1999. The biochemical and molecular basis for photosynthetic acclimation to elevated atmospheric CO<sub>2</sub>. Plant, Cell and Environment. 22:567-582.
4. Pogson, B. J. 2008. A rapid, non-invasive procedure for quantitative assessment of drought survival using chlorophyll fluorescence. Plant Methods. 4:27-37
5. Prasad, T. K., Anderson M. D. and Stewart C. R. 1994 Acclimation, hydrogen peroxide, and abscisic acid protect mitochondria against irreversible chilling injury in maize seedlings. Plant Physiol. 105:619-627.
6. Sairam, R. K. and D. C. Saxena. 2000. Oxidative stress and antioxidants in wheat genotypes: Possible mechanism of water stress tolerance. J. Agronomy & Crop Science. 184:55-61.
7. Taub, D. R., J. R. Seemann and J. S. Coleman 2000. Growth in elevated CO<sub>2</sub>

- protects photosynthesis against high-temperature damage. *Plant, Cell and Environment*. 23:649-656.
8. Weis, E. and J. A. Berry. 1988. Plants and high temperature stress. *Experimental Biology*. 1004:329-346.
  9. Yamane, K., S. Kawabata, and N. Fujishige. 1999. Change in activities of superoxide dismutase, catalase, and peroxidase during senescence of gladiolus florets. *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.* 68:798-802.
  10. Yamane, Y., Y. Kashino, H. Koike and K. Satoh. 1997. Increases in the fluorescence  $F_0$  level and reversible inhibition of Photosystem II reaction center by high-temperature treatments in higher plants. *Photosynthesis Research* 52:57-64.
  11. Yordanov L., V. Velikova and T. Tsonev. 2000. Plant responses to drought, acclimation, and stress tolerance. *Photosynthetica* 38(1):171-186.
  12. 우영희, 이관호, 강인철, 김동익. 2015. 여름철 시설 토마토 재배 시 Carbon Dioxide 처리가 Water Stress에 미치는 영향. *한국농수산대학 현장농수산연구지*. 17(1):93-100.
  13. 우영희, 조일환, 이관호, 홍규현, 오대근, 강인철. 2014. 여름철 시설재배에서 일사량에 따른 수시차광이 오이생육에 미치는 영향. *한국농수산대학 현장농수산연구지*. 16(1):67-75.
  14. 우영희 외 10명. 2006. Hydrogen Peroxide 처리가 여름철 시설오이의 수분 스트레스, 광합성, 내서성에 미치는 영향. *한국생물환경조절학회, 생물환경조절학회지* 15(1):39-45.