

여름철 과산화수소를 이용한 파프리카(*Capsicum annuum* L.) 안정생산기술

조일환¹ · 이우문¹ · 권기범² · 우영희^{3*} · 이관호³
¹국립원예특작과학원, ²농촌진흥청, ³한국농업대학

Stable Production Technique of Paprika (*Capsicum annuum* L.) by Hydrogen Peroxide Treatment at Summer

Ill-Hwan Cho¹, Woo-Moon Lee¹, Ki-Bum Kwan², Young-Hoe Woo^{3*}, and Lee Kwan-Ho³

¹National Institute of Horticultural & Herbal Science, R.D.A, Suwon 440-310, Korea

²Rural Development Administration, Suwon 441-707, Korea

³Korea National Agricultural College, Hwaseong 445-890, Korea

Abstract. Hydrogen peroxide, which is used in various crops as an oxidizer to improve high temperature adaptation, was evaluated on the effects on productivity and disease incidence in paprika (*Capsicum annuum* L.) by periodic leaf spray at summer. Hydrogen peroxide treatment not only increased the leaf thickness and SPAD (chlorophyll content) but also the fruit set numbers per plant by 2. Hydrogen peroxide content increase in leaf resulted in increase of catalase and peroxidase activities, and the powdery mildew disease (*Leveillula taurica*) was also suppressed by the treatment. Transpiration was improved by the reduced leaf stomata resistance in the hydrogen peroxide treatment. Therefore, hydrogen peroxide leaf spray is recommended for improvement of summer productivity in paprika.

Key words : hydrogen peroxide, paprika, catalase, peroxidase

서 언

우리나라에서 파프리카 재배는 1990년대 초반부터 시작하여 현재 연간 약 5,000만불 이상 수출하는 대표적인 수출작목으로 인정받고 있다. 재배 초기 파프리카 재배기술은 주로 네덜란드 기술자의 컨설팅 중심으로 이루어져 왔으나 그 후 학계와 시험연구기관 등의 적극적인 노력으로 괄목할 만한 기술개발을 이룩하였다. 그러나 아직까지 네덜란드나 뉴질랜드 등 선진국에 비하여 단위면적당 생산량은 저조하고 품질 면에서도 개선하여야 할 문제점들이 남아 있다. 파프리카의 생산성 및 품질의 문제는 네덜란드에 비하여 시설규모와 시스템이 영세하고 전문성 결여를 들 수 있다.

특히 여름철 상품과율은 겨울재배에 비하여 20% 정

도 낮은 약 50%에 머무르고 있다. 그 이유는 평지의 여름철 기상환경 특성이 네덜란드에 비하여 일사량이 많고 고온 다습할 뿐만 아니라 각종 생리장해가 발생하여 파프리카 농가는 생산성과 품질 면에서 상당한 어려움을 겪고 있다. 이를 극복하기 위하여 일부 선진농가는 파프리카의 여름철 생산을 위하여 시설차광, 환기, Fog system 등을 이용하고 있으나 시설 냉방을 위한 과도한 투자는 경영상 부담으로 작용하여 부실 경영의 한 원인이 되기 때문에 대부분의 파프리카 시설재배농가는 여름철 휴작 등으로 작기를 조절하고 있다.

과다한 시설투자 없이 기본적인 온도하강 장치인 차광 및 강제 환기를 사용하여 여름철에 작물을 재배할 경우에는 작물 체내의 내서성을 향상 시킬 수 있는 기술 개발이 필요하다(Woo 등, 1995).

작물체내의 내서성 향상에 관련된 연구는 화학물질 처리(Dat 등, 2000)와 CO₂사용(Taub 등, 2000) 등이 일부 보고되고 있으나 대부분 실험실 차원의 연구로

*Corresponding author: wooyh612@rda.go.kr
Received September 9, 2008; Revised August 3, 2009;
Accepted August 28, 2009

실용적인 측면에서는 다소 미흡하다. 또한 작물의 고온 장해 발생 요인은 작물체온뿐만이 아니라 다른 환경요인과 작물의 유전적 특성인 내서성까지도 밀접한 관계가 있다. 작물의 고온산화스트레스는 두 가지 반응으로 고온 산화작용억제를 위한 신호, 또는 고온장해원인으로 작용한다(Dat 등, 2000; Yordanov, 2000). 고온스트레스를 받은 작물은 강한 산화물질을 생성하고 이들 산화물질들은 세포막지질, 단백질, DNA 등에 작용하여 세포를 파괴한다. 그러나 정상적인 조건하에서는 superoxide dismutase, catalase, peroxidase 등의 항산화 효소들은 산화물질들의 독성과 축적을 막는 분해작용 역활을 하여 스트레스를 방지한다(Dat 등, 2000; Yordanov, 2000).

일반적으로 산화제인 과산화수소를 전 처리하면 저온 장해(Prasad 등, 1994) 및 병해 방제 등(Chamnongpol 등, 1998)에 효과가 있는 것으로 보고는 되고 있다. 또한 원예연구소에서는 경제성 있는 고온극복 기술을 개발하기 위하여 2000년부터 과산화수소를 이용하여 고온스트레스를 경감하는 연구를 수행하였으며 작물에서 여름철 고온 스트레스 및 병해방제 효과가 인정되었다(Woo 등, 2006).

따라서 본 연구는 기 개발한 여름철 고온 극복위한 과산화수소이용 신기술을 농가현장에 접목시키기 위하여 강원도 철원군 김화원에 영농조합법인에서 3월 1일부터 9월 30일까지 수행한 결과이다.

재료 및 방법

본 실험은 3월부터 9월까지 강원도 철원군 김화읍 김화원에 영농조합법인에 있는 파프리카 재배 연동비닐하우스에서 수행하였다. 실험에 사용한 파프리카(Paprika, *Capsicum annuum* L) 품종은 빨간색 'Special'이었고, 3월 15일에 파프리카 그로단표준액(EC 1.5dS · m⁻¹, pH 5.5)으로 충분히 흡수시킨 240공 암면플러그에 파종하여 본엽이 전개되기 시작한 3월 25일에 배양액(EC 2.0dS · m⁻¹, pH 5.5)으로 충진한 암면블럭(10cm*10cm*7.5cm)에 이식하였다. 육묘기간 중에는 그로단표준액(EC 2.0~3.0dS · m⁻¹, pH 5.5)을 급액하였다. 정식일(5월 1일)까지 점진적으로 양액의 EC를 3.0dS · m⁻¹까지 상승시켜 45일간 육묘하였다. 본엽이 10매 내외로 전개되었을 때인, 5월 1일에 암면배지(90*15*7.5cm)를

배양액(EC 3.0dS · m⁻¹, pH 5.5)으로 충분히 흡수시킨 다음 암면 배지당 3주씩 180*30cm 간격으로 2주씩 정식하여 배치하였다. 배양액 조성은 농가에서 가장 일반적으로 사용되고 있는 그로단표준액을 기본배양액으로 하였다. 파프리카 재배 중 배지 내 조건은 함수율 범위 60~70%, EC 3.0~5.0dS · m⁻¹, pH 5.5~7.0가 유지하도록 공급액과 공급량을 조절 하였다. 기타 환경관리 등 재배관리는 농가관행에 준하여 수행하였다.

과산화수소 살포기간은 파프리카 재배기간중 냉방이 필요한 기간인 6월 16일부터 5일 간격으로 9월 15일까지 무인방제기를 이용하여 작물체 전체에 충분히 살포하였으며, 살포시간은 오전 10시 이전에 수행하였다. 실험에 이용한 과산화수소 순도는 30%이며, 살포농도는 물 1ℓ당 과산화수소 10ml 즉 0.3%로 희석하여 단용으로 5일 주기로 살포하였다.

파프리카의 과산화수소 효과를 측정하기 위하여 잎 두께, 엽록소함량, 기공저항을 측정하였다. 생육 측정 장비로는 잎두께는 전자캘리퍼스, 엽록소는 chlorophyll meter(SPAD-502, Minolta, Japen), 기공저항 속도는 porometer(LI-COR-1600)를 이용하여 작물체 상단부의 신엽 30매씩을 각각 측정하였다. 착과수는 8월 30일 3주를 조사하였다.

파프리카 엽내의 과산화수소 함량변화와 항산화효소 분석은 살포농도를 무처리, 0.6%, 0.15% 3수준으로 처리하였으며 과산화수소 함량변화는 Jiang와 Zhang(2001)가 이용한 방법으로 분석하였으며, 항산화효소인 catalase와 peroxidase 함량변화는 Hongxiao Zhang(2005) 등의 방법을 준용하였다. 과산화수소에 의한 흰가루병 방제효과는 일반농약과 과산화수소는 0.3%액으로 처리하여 처리당 상위엽 100매를 유관 조사하였으며, 엽에 1개 이상의 병반점이 발생되면 발병 엽으로 조사하였다. 온실의 환경조사는 중앙부분의 높이 1.2m에서 기온 등(data logger CR-1000) 필요한 환경조사를 실시하였다.

결과 및 고찰

고온기인 6월 16일부터 3개월간 과산화수소를 파프리카에 처리한 결과 잎 두께는 무처리에 비하여 약 0.15mm 두꺼워졌고 엽록소 SPAD값이 4.0 정도 높아서 생육이 무처리에 비하여 양호하였으며, 기공저항속

Table 1. Change growth of paprika by hydrogen peroxide treatment at level of 38 in greenhouse.

| Treatment | Thickness of leaf (mm) | Chlorophyll (SPAD) | Stomatal resistance ($s \cdot cm^{-1}$) | Fruiting (fruits/plant) | Average temperature |
|-------------------|------------------------|--------------------|---|-------------------------|---------------------|
| Hydrogen peroxide | 1.14 ± 0.10 | 59.4 ± 2.1 | 0.58 ± 0.13 | 15.3 ± 3.0 | 38°C |
| Control | 0.99 ± 0.07 | 55.2 ± 3.5 | 0.73 ± 0.10 | 13.0 ± 2.0 | |

[†]The values represent mean \pm SD.

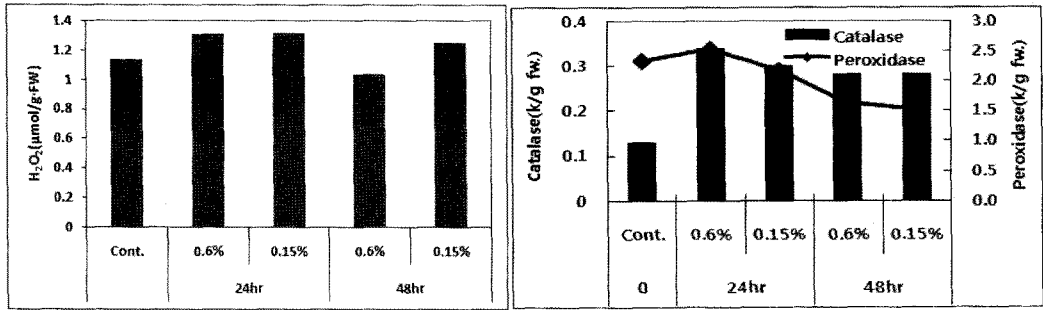


Fig. 1. Change of hydrogen peroxide content and anti oxidation enzyme in paprika.

도는 과산화수소 처리구에서 약 $0.15s \cdot cm^{-1}$ 낮아 증산이 무처리구에 비하여 수조롭게 진행되어 수분스트레스가 적었다(Table 1). 따라서 혹서기 시설내 기온이 38°C 이상 되었을 때 무처리구의 파프리카는 상단엽부터 시들음현상이 발생하였는데도 불구하고 처리구의 파프리카는 초기위조 조차 나타나지 않았다. 이와 같이 파프리카의 여름철 고온을 과산화수소처리로 극복되었기에 주당 착과수도 2개 정도 많았다.

이와 같이 과산화수소 처리에 따라 생육 및 수량이 개선되는 효과는 다음과 같이 고찰 할 수 있다. 엽의 기공저항속도가 과산화처리에서 $0.15s \cdot cm^{-1}$ 로 낮다는 것은 시설내 고온에 의한 수분스트레스가 적었음을 나타내는 것이다. 일반적으로 식물체의 수분스트레스를 나타내는 단위로 VPD(Vapor Pressure Deficit)를 많이 이용하고 있으며 포화수증기압과 수증기압의 차이로써 VPD 값은 작물의 증산작용과 고도의 유의성이 인정되어 VPD 값이 높아질수록 증산작용은 활발하게 일어나게 되며, 증산작용이 활발하게 일어난다는 것은 엽온이 낮아진다는 것을 의미한다(Idso 1982; Jackson 등, 1981; Woo 등, 2000). 엽기온차는 엽온에서 대기 온도를 뺀 값으로 일반적으로 증산작용이 원활하게 일어나면 엽온은 낮아지게 되어 엽온-기온의 값은 음의 값(-)이 된다. 엽온-기온의 값이 음의 값(-)이 되면 그 작물은 스트레스가 없는 상태가 된다는 것을 의미한다.

엽온-기온의 값이 양의 값(+)이 되면 증산작용이 억제되어 엽온이 기온보다 높아진 상태이며 이런 상태를 스트레스를 받았다고 할 수 있다(Idso 1982; Jackson 등, 1981).

파프리카 엽내의 과산화수소 함량변화는 무처리에 비하여 증가하는 경향을 보이고 있으며 과산화수소 희석배율이 높을수록 엽내 함량이 많았다. 과산화수소 농도별 살포후 catalase와 peroxidase의 경시적 변화를 보면 무처리에 비하여 항산화효소 생성이 많았으며, 살포후 48시간 경과하면 엽내 catalase효소량의 차이는 보이지 않았다(Fig. 1). 반면, peroxidase효소는 무처리한 엽에서도 높은 함량을 보였다. 이는 이들 항산화효소들이 상호작용으로 체내의 고온장애에 대한 방어시스템을 가동하여 무처리에 비하여 고온적응성이 높아 고온장애가 작았음을 보여 주고 있다(Dat 등, 2000).

여름철 파프리카 생산에 있어서 대표적인 어려운 점은 고온건조와 다습으로 인하여 빈번하게 발생하는 흰가루병이다. 생산되는 파프리카는 대부분 수출되고 있으며 생산물의 정기적인 농약잔류검사로 인하여 안심하고 농약 살포하는데도 많은 어려움이 남는다. 일부 흰가루병 방제용으로 잔류기간이 짧은 농약이 사용되고 있으나 농약가격이 비싸서 농가에서는 사용하는데 한계가 있다.

과산화수소처리에 따른 흰가루병 방제효과는 일반농

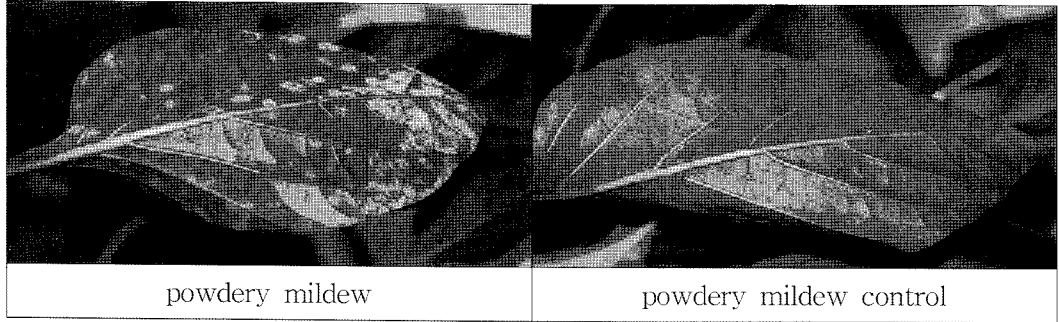


Fig. 2. The effect of powdery mildew control by hydrogen peroxide treatment.

약보다도 방제효과가 높았다(Fig. 2). 이는 메론, 오이 등 다른 작물에서도 확인된 효과로서 앞으로 보다 많은 이용으로 안전농산물 생산에 기여가 기대 된다. 과산화수소 처리는 내한성(Prasad 등, 1994) 및 내병성 향상(Chamngopol 등, 1998)에 관련이 있다는 연구결과와 유사한 경향을 보였다. 특히 peroxidase나 catalase는 작물의 세포구성요소에 유해한 독성 활성산소를 물분자와 산소분자로 분해함으로써 산화 스트레스를 경감시키는 것으로 알려져 있다(Chamngopol 등, 1998; Dat 등, 2000; Prasad 등, 1994; Yordanov 2000). 또한 Chamngopol 등(1998)은 작물의 종류에 따라서는 과산화수소처리에 의해 병에 대한 유도저항성이 형성될 뿐만 아니라 과산화수소는 작물조직에 흡수되더라도 peroxidase나 catalase와 같은 항산화효소의 작용에 의해 빠르게 분해되므로 수확 후 과실에 잔류하지 않으며 기존의 농약과는 달리 강한 산화작용을 통하여 살균력을 나타내므로 저항성 균주 출현빈도가 적다고 하였다(Lu와 Higgins 1999). 이와 같이 연구결과를 종합해보면 과산화수소 처리는 작물체에 항산화 효소의 생성을 유도함으로써 고온장해에 대한 방어시스템

Table 2. The effect of powdery mildew control by hydrogen peroxide treatment.

| Treatment | Diseased leaf (%) | Control value (%) | Nooflesion per leaf |
|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------|
| Hydrogen peroxide | 40 | 60 | 18 |
| Agrichemical | 50 | 50 | 34 |
| Control | 100 | 0 | 453 |

을 형성하여 내서성이 향상되는 것으로 생각되며, 또한 파프리카를 비롯한 여러 시설채소작물에서 과산화수소 처리가 내서성 향상뿐만 아니라 흰가루병 방제에도 효과가 인정되어 시설재배농가에서 실용적인 이용이 기대된다.

또한 엽의 형태로 보면 과산화수소처리에서 약 0.15mm 두꺼웠고, 고온으로 인한 수분 스트레스 없이 증산이 진행되었기 때문에 체내 생리활성을 유지하는데 무처리 보다 저항이 적었던 것도 많은 영향을 미쳤다고 생각되어 진다.

파프리카에 과산화수소처리로 착과수 증가와 흰가루병 방제 효과가 있는 반면 농도장해도 나타난다(Fig. 3). 과산화수소 농도장해는 같은 농도를 살포하더라도

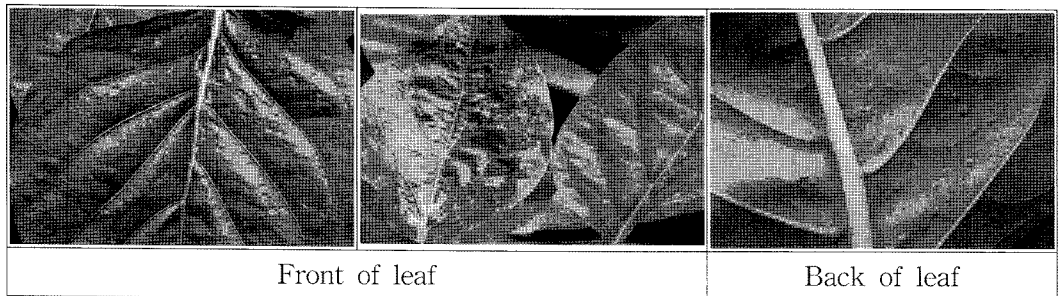


Fig. 3. Injury of hydrogen peroxide concentration.

살포시기, 시설내 환경 등에 따라서 반응이 상이하게 나타난다. 또한 과잉증상도 잎 전면에 반점형태, 잎 뒷면에 반점형태 등 다소 차이를 보이고 있다. 과산화수소를 보다 안정적으로 사용하기 위하여는 과잉발현기작에 대하여 금후 면밀한 검토가 필요하다고 생각된다.

적 요

본 연구는 파프리카 재배농가에서 과산화수소를 이용하여 여름철 고온극복에 관한 연구수행 결과이다. 고온기 과산화수소(순도 30%)를 0.3%로 희석하여 5일주기로 살포한 결과 파프리카의 엽이 두꺼워지고 기공저항속도가 낮아 순조로운 증산작용이 가능하였다. 주당 착과수는 무처리에 비하여 약 2개가 많았다. 또한 과산화수소처리에 따라 엽내 과산화수소량이 증가하는 경향이었고, 항산화효소인 catalase와 peroxidase의 활력이 증가되었다. 여름철 파프리카 재배에서 가장 많이 발생하는 흰가루병 방제를 위하여 농약사용이 불가피한 상황이지만 생산물의 농약잔류 등으로 사용에 많은 제한이 있는 현 상황에서 과산화수소의 주기적인 이용으로 흰가루병을 방제할 수 있고 생산량도 높일 수 있어 금후 파프리카 재배농가의 많은 이용이 기대 된다.

주제어 : hydrogen peroxide, paprika, catalase, peroxidase

인 용 문 헌

1. Chamnongpol, S., H. Willekens, W. Moeder, C. Langebartels, H. Sandermann, and M. van Montagu. 1998. Defens activation and enhanced pathogen tolerance induced by H₂O₂ 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. Hongxiao Zhang, Yan Xia, Guiping Wang and Zhen-guo Shen. 2005. Excess copper induces accumulation of hydrogen peroxide and increases lipid peroxidation

and total activity of copper-zinc superoxide dismutase in roots of *Elsholtzia haichowensis*. *Planta An International Journal of Plant Biology* 47:258-264.

4. Idso, S.B. 1982. Non-water-stressed baselines: a key to measuring and interpreting plant water stress. *Agricultural Meteorology* 27:59-70.
5. Jackson, R.D., S.B. Idso, R.J. Reginato, and P.J. Pinter. 1981. Canopy temperature as a crop water stress indicator. *Water Resources Research* 17:11-33.
6. Jiang, M. and J. Zhang. 2001. Effect of abscisic acid on active oxygen species, antioxidative defence system and oxidative damage in leaves of maize seedlings. *Plant Cell Physiol.* 42:1265-1273.
7. Lu, H. and V.J. Higgins. 1999. The effect of hydrogen peroxide on the viability of tomato cells and of the fungal pathogen *Cladosporium fulvum*. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 54:131-143.
8. Prasad, T.K., M.D. Anderson, and C.R. Stewart. 1994. Acclimation, hydrogen peroxide, and abscisic acid protect mitochondria against irreversible chilling injury in maize seedlings. *Plant Physiol.* 105:619-627.
9. Taub, D.R., J.R. Seemann, and J.S. Coleman. 2000. Growth in elevated CO₂ protects photosynthesis against high-temperature damage. *Plant, Cell and Environment* 23, 649-656.
10. Woo, Y.H., H.J. Kim, T.Y. Kim, K.D. Kim, Y.C. Huh, H. Chun, I.H. Cho, Y.I. Nam, K.D. Ko, K.H. Lee, and K.H. Hong. 2006. The influence of hydrogen peroxide treatment on water stress, photosynthesis and thermo-tolerance of cucumber (*Cucumis sativus*) in greenhouse cultivation during summer. *J. Bio-Environment Control* 15(1):39-45.
11. Woo, Y.H., H.J. Kim, Y.I. Nam, I.H. Cho, and Y.S. Kwon. 2000. Predicting and measuring transpiration based on phytomonitoring of tomato in greenhouse. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 41(5):459-463.
12. Woo, Y.H., J.M. Lee, H.J. Kim, and Y.I. Nam. 1995. Forced ventilation number of air changes to set point of inside air temperature in summer glasshouse. *J. Bio-Environment Control* 4(2):223-231.
13. Woo, Y.H., J.M. Lee, H.J. Kim, and Y.S. Kwon. 1996. Prediction of maximum air temperature and cooling load of glasshouse during summer. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 37(3):479-485.
14. Yordanov, L., V. Velikova, and T. Tsonev. 2000. Plant responses to drought, acclimation, and stress tolerance. *Photosynthetica.* 38(1):171-186.