

근권온도가 수박성형묘의 생육, 무기성분 흡수 및 항산화 효소활성에 미치는 영향

허무룡* · 김영석 · 서영국 · 박중춘

경상대학교 농과대학 원예학과, 시설원예연구소

Effects of Root-Zone Temperature on Antioxidative Enzyme Activities, Mineral Contents, and Growth of Grafted Watermelon Plug Seedlings

Moo-Ryong Huh, Young-Suk Kim, Young-Guk Seo, and Joong-Choon Park

Dept. of Horticulture, Gyeongsang Nat'l Univ. Chinju 660-701, Korea

*corresponding author

ABSTRACT This study was carried out to examine the effect of root-zone temperatures on seedling growth, mineral contents and antioxidative enzyme activities of grafted watermelon. The grafted watermelon seedlings were grown in greenhouse bed for 20 days at root-zone day temperatures of 10, 15, 25°C while night temperature was maintained at 10°C. Growth such as shoot height, leaf length, leaf number, stem diameter, and fresh and dry weights increased as increasing root-zone temperatures, and leaf area with 25°C(52.79mm²) was two times that of control(21.50mm²). As increasing the root-zone temperatures, Mn, Ca, Fe contents increased, K, P, Mg were non significant, and Na decreased. The activities of ascorbate peroxidase(APX) and guaiacol peroxidase(GPX) known as antioxidative enzyme were higher at 10°C than 25°C.

Additional key words: ascorbate peroxidase, guaiacol peroxidase

서 언

작물의 생육에 있어서 근권 온도는 뿌리의 신장과 양수분의 흡수에 관여하여 작물 생육에 영향을 미치고, 세근 및 뿌리의 발달에 관여하여 생육에 영향을 미치지만 뿌리가 요구하는 적정 근권 온도는 작물의 종류와 생육의 단계에 따라 차이가 있다(Noh, 1997). 적절한 근권온도와 작물 생육과의 관계를 이해하고, 알맞은 지하부 온도를 파악하여 건설한 육묘의 생산과 에너지 절감이 더욱 필요시 되게 되었다. 따라서 과채류 반축성 재배를 위해 12월에서 1월까지 하우스내 야간의 대기온도를 일정하게 고정하고, 근권온도를 조절하면서 건전한 묘를 생산하는 것이 중요재배기술로 부각되고 있다. 육묘시 20°C - 25°C 범위의 근권온도에서 생육된 포인세티아(Harry와 MacAvoy, 1982), 복숭아(Tagliavini와 Looney, 1991), 토마토(Park, 1999) 등의 생육이 양호하였다는 연구결과가 있다. 하지만 근권 부위의 적온을 벗어난 조건하에서는 뿌리의 신장, 세근이 억제되어 양수분 흡수에 지장을 초래하게 된다. 그리고 식물은 온도 변화나 영양소 부족, 수분 스트레스, 오존노출 등과 같은

환경조건이 악화되었을시 체내에 활성산소가 생성되며 이들을 소거하는 체계를 가지고 있다(Ismail과 Horst 1991; Tanaka 등 1999). 근권부 가온에 따라서 세포질 속에 존재하는 항산화 효소인 ascorbate peroxidase, guaiacol peroxidase 등의 수준이 변화 될 것으로 생각된다. 작물은 스트레스 환경에 적응하기 위해 효소 활성도가 증가하는 변화가 일어나 독성 물질에 대항하게 되는 기능을 가지게 된다.

따라서 본 실험은 저면관비재배시 근권부 가온이 수박접목묘의 생육과 항산화효소활성에 미치는 영향을 알아보고자 수행하였다.

재료 및 방법

1. 생육 실험

본 실험은 경상대학교 부속농장 유리온실에서 수행되었다. 저면 관비시스템(가로 184×세로 368×높이 62cm)의 벤치위에 15cm 간격으로 지름 0.5cm의 온수관을 매설하여 온수보일러로부터 80°C의 온수를 공급받아 다시 보일러로 돌려보내는 순환식 온수공급방식을 택하였으며, 공간에는 스티로폼을 설치하였다. 그리고 매트를 두겹

* 본 연구는 농림부에서 시행한 농림수산물특정연구사업 연구결과의 일부임.

으로 깔고 심지를 30cm 간격으로 설치하여 양액이 충분히 흡수하도록 하여 저면관비가 가능하도록 하였다. 초기 1주일간은 두상관수를 실시하여 배지가 물을 충분히 흡수하도록 하였다. 온도는 대조구, 10℃, 15℃, 25℃로 설정하였고, 온실내 기온은 야간 최저 대기온도 10℃를 유지하였다. 대조구의 온도는 최저기온을 8.5℃로 유지하였다. 저면관비의 시용은 Ca^{2+} 1, Mg^{2+} 0.25, K^+ 0.65, NO_3^- 2, NH_4^+ 0.75, SO_4^{2-} 0.25, H_2PO_4 1.33 $\text{me} \cdot \text{L}^{-1}$ 를 주성분으로 조제되어진 물거름 ‘양실이’(신안그로(주), 진주)의 1000배 희석액을 양액탱크를 통하여 지속적으로 급액하였다. 상토는 육묘전용 ‘토실이’(신안그로(주), 진주)를 이용하였으며 공시작물은 박(*Lagenaria siceraria*, 대목용 참박 ‘FR-엄마손’, 南都交配)과 수박(*Citrullus lanatus*, ‘달고나’, 서울종묘)을 50구 트레이에 파종하여 평균 온도가 28℃인 발아실에서 4일간 발아시킨 후 각 처리 온도별로 난괴법 3반복으로 배치하여 육묘하였다. 박과 수박은 파종 20일이 경과되었을 때 접목하여 접목활착실에서 8일을 경과한 후 다시 저면관비 매트위로 옮겼다. 매트 위에서 20일간 육묘한 후 조사하였으며, 초장, 엽록소 농도, 엽면적, 엽수, 생체중, 건물중 등을 조사하였다. 식물체의 무기성분분석은 농촌진흥청 토양화학분석법에 따른 전처리법을 하여 유도플라즈마 분광분석기(ICP, TJA Atomscans25, U.S.A.)를 사용하여 분석하였다. 엽록소 농도는 각 실험구에서 식물체의 잎을 채취하여 80% (v/v) 아세톤으로 추출하여 분광광도계(Uvikon 922, Kotron Instruments, Italy)를 이용하여 645nm와 663nm에서 흡광도를 측정하여 산출하였다. 통계분석은 SAS(Statistical Analysis System, V. 6.12, Cary, NC, U.S.A.) 프로그램을 이용하여 통계분석을 실시하였다.

2. 항산화효소의 활성측정

식물체의 뿌리 0.5g을 액체질소로 동결, 분쇄한 후 5mM EDTA 및 5mM dithiothreitol을 포함한 50mM potassium phosphate buffer(pH 7.0) 5mL와 10% polyvinyl pyrrolidone(w/w)을 넣어 마쇄, 추출하였다. 이 추출액을 20분간 12,000g로 원심분리하여 상정액을 각 효소활성측정에 사용하였다. 각 효소 활성은 25℃에서 UV-vis spectro-photometer로 단위 시간내에 흡광도의 경시적 변화를 측정하여 결정하였다.

1) Ascorbate peroxidase(APX) 활성 측정

반응액(1.0mL)은 50mM potassium phosphate buffer(pH 7.0), ascorbic acid 0.5mM, H_2O_2 0.1mM 및 조효소액으로 조성하였다.

H_2O_2 의 첨가로 반응을 개시하여 ascorbic acid의 산화를 290nm에서 흡광도 감소로 Nakano와 Asada(1981)의 방법으로 측정하였다.

2) Guaiacol peroxidase(GPX)

반응액(1.0mL)은 50mM potassium phosphate buffer(pH 7.0), ascorbic acid 1mM, H_2O_2 0.1mM 및 조효소액으로 조성하였다. H_2O_2 의 첨가로 반응을 개시하여 guaiacol 산화를 470nm의 흡광도 감소에서 Blume와 McClure(1980)의 방법으로 측정하였다.

결과 및 고찰

1. 수박접목묘 생육 및 무기성분 흡수

수박과 박을 육묘하여 접목한 다음 접목활착실에서 8일간 활착시킨 후 저면관비 베드에서 육묘한 실험 결과는 Table 1, Fig 1과 같다. 접목후 초장, 엽수, 생체중, 건물중 모두 25℃에서 유의성 있게 증가하였다. 특히 엽록소 농도는 25℃에서 유의성이 있었으며, 지상부 생체중은 무처리구가 5.32g인 데 비해서 10℃일 때 5.43g, 15℃일 때 5.43g, 25℃일 때 8.84g으로 근권온도에 유의성 있게 증가하였다. 이상의 결과는 Noh(1997)의 연구에서 근권온도의 증감 및 감소에 따른 토마토의 식물체내의 질소, 인산, 칼륨 등의 함량이 증가함에 따라 생육이 양호하였다는 결과와 일치하였다. 그러나 지하부의 경우는 무가온처리에서도 생육이 대체적으로 양호하였다. Tagliavini와 Looney(1991)의 연구에서 복숭아 육묘시 근권온도 22℃일 때 생육이 가장 양호하다는 결과와 비슷한 경향을 나타내었다.

따라서 야간 대기 최저 온도를 10℃로 설정한 온실에서 근권온

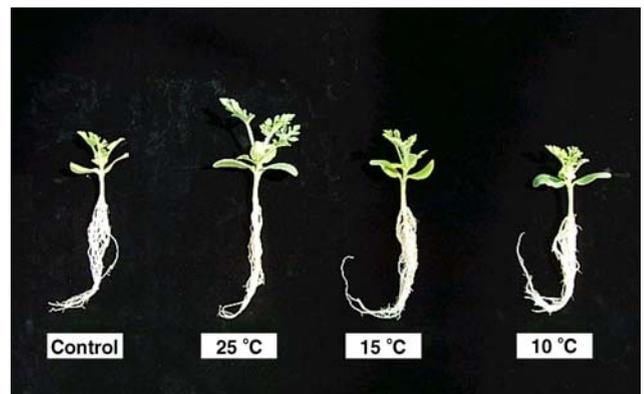


Fig. 1. Grafted watermelon in greenhouse for 20 days.

Table 1. Growth of watermelon seedlings at 48 days after planting as affected by root-zone temperature.

| Root-zone temperature (°C) | Shoot | | | | | | Root | |
|----------------------------|-------------|--|-------------|-----------------------------|------------------|----------------|------------------|----------------|
| | Height (cm) | Chlorophyll ($\mu\text{g} \cdot \text{mg}^{-1} \text{fw}$) | Leaf number | Leaf area (mm^2) | Fresh weight (g) | Dry weight (g) | Fresh weight (g) | Dry weight (g) |
| Control | 5.07 | 0.54 | 3.6 | 21.50 | 0.96 | 0.29 | 1.77 | 0.12 |
| 10 | 5.07 | 0.50 | 3.6 | 21.50 | 3.13 | 0.33 | 1.81 | 0.11 |
| 15 | 5.42 | 0.43 | 3.6 | 22.09 | 3.43 | 0.38 | 2.37 | 0.12 |
| 25 | 7.72 | 0.61 | 4.6 | 52.79 | 4.99 | 0.48 | 2.95 | 0.16 |
| LSD .05 | 1.16 | 0.08 | 0.5 | 19.13 | 0.19 | 0.03 | 0.26 | 0.01 |

도별로 육묘하였을 때 근권온도가 증가함에 따라 생육이 증가하는 것을 확인할 수 있었으며, 무가온의 경우 근권가온처리구에 비하여 생육이 현저하게 저하되었다.

Table 2는 근권가온에 따른 수박의 무기성분의 흡수변화를 나타낸 것이다. 무기성분은 칼슘의 경우 무가온처리에서 $3.46\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 이었으나 25°C 처리의 경우 $5.20\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 로 근권 온도가 높아질수록 흡수량이 증가하였는데 철의 경우도 동일한 결과를 보였다. 수박에서 칼슘의 경우 온도가 증가함에 따라 흡수량의 증가가 뚜렷하였다. 칼슘은 세포벽 구성성분으로서 증층에 있는 펙틴과 결합하여 세포를 서로 결합하는 역할을 함으로써 세포분열과 생장에 중요한 요소로 알려져 있는데 저온으로 인해 칼슘의 흡수가 제대로 되지 않았으며 25°C 의 경우는 뚜렷하게 흡수가 증가하는 결과를 보였다. 그러나 무가온처리의 경우 칼슘흡수는 현저히 감소하였다. 근권온도가 25°C 일 경우 칼륨의 흡수가 증가하였는데 이것은 근권온도가 25°C 일 때 토마토의 칼륨흡수가 증가한다는 연구(Noh, 1997)와 일치한다. 그리고 칼슘, 마그, 철의 흡수도 증가하는 결과를 나타내었다. 특히 철은 무가온의 경우 $59.1\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 이었지만 25°C 의 경우 $165.9\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 로 높아졌다. 그러나 칼륨, 마그네슘은 10°C , 15°C 처리구에서 흡수상태가 불량한 결과를 보였다. 또한 나트륨은 토마토와 수박에서 근권온도가 높아질수록 흡수량이 낮아지는 것을 알 수 있었다.

이상의 결과로 볼 때 25°C 에서의 무기이온의 흡수가 가장 높은 경향을 보였으며 10°C 와 15°C 처리구에서는 흡수상태가 비슷한 경향을 보였는데 이것은 토마토의 생육적온 $20\text{-}25^\circ\text{C}$ 에 미치지 못하

는 온도에 위치하기 때문에 온도스트레스로 인한 무기양분의 흡수 감소가 있었을 것으로 판단된다.

2. 항산화효소의 활성변화

항산화효소는 유해한 활성산소를 소거하는 작용이 있으며, 활성의 증가는 환경스트레스에 대한 식물의 내성을 증가시키는 것으로 알려져 있고, 식물의 종류에 따라서도 그 정도가 다양한 것으로 보고되어 있다(Chung 등, 1999 ; Kang 등, 1999; Shon 등, 2000). 또한 식물에 피해를 일으키는 활성산소는 여러 환경스트레스에 의해 유발되는 것으로 알려져 있다(Asada, 1992). 본 실험에서 APX, GPX 활성은 수박의 생육적온에 가까운 25°C 에서보다 저온인 10°C 에서 각각 높은 것으로 나타났다(Fig. 2).

15°C 의 저온에서는 10°C 의 경우보다는 그 활성이 낮았으나, 25°C 보다는 활성이 높은 것으로 나타났다. 이와 같이 수박육묘 재배시 근권온도의 차이에 따라 APX, GPX 등의 항산화효소의 활성이 차이가 나는 것은 25°C 처리의 경우 수박의 생육에 근접한 온도인 까닭에 저온스트레스에 의한 항산화적 손상의 발생이 적었으므로 그것을 소거하기 위한 항산화 효소들의 활성도 10°C 와 15°C 의 저온조건일 경우에 비해 적었던 것으로 사료된다.

이상의 결과에서, 수박육묘재배시 근권온도가 생육가능한 온도범위 내에서 생육적온보다 낮을 경우, 저온으로 인한 과산화적 손상을 소거하기 위해 APX, GPX 같은 항산화효소들의 활성을 증가시키는 것으로 나타났다.

Table 2. Contents of minerals in the grafted watermelon seedlings as affected by root-zone temperature.

| Treatment ($^\circ\text{C}$) | Na | P | K | Ca | Mg | Mn | Fe |
|-----------------------------------|-----------------------------|------|------|------------------------------|------|------|------|
| | (g · kg ⁻¹ / DW) | | | (mg · kg ⁻¹ / DW) | | | |
| Control | 1.03 | 1.38 | 3.73 | 3.46 | 2.04 | 10.3 | 11.7 |
| 10 | 0.78 | 1.10 | 3.02 | 3.53 | 1.80 | 9.9 | 15.0 |
| 15 | 0.72 | 1.08 | 3.27 | 3.80 | 1.80 | 9.1 | 19.2 |
| 25 | 0.57 | 1.37 | 3.71 | 5.20 | 2.04 | 13.0 | 18.5 |
| LSD .05 | 0.09 | 0.26 | 0.13 | 0.82 | 0.13 | 0.80 | 2.32 |

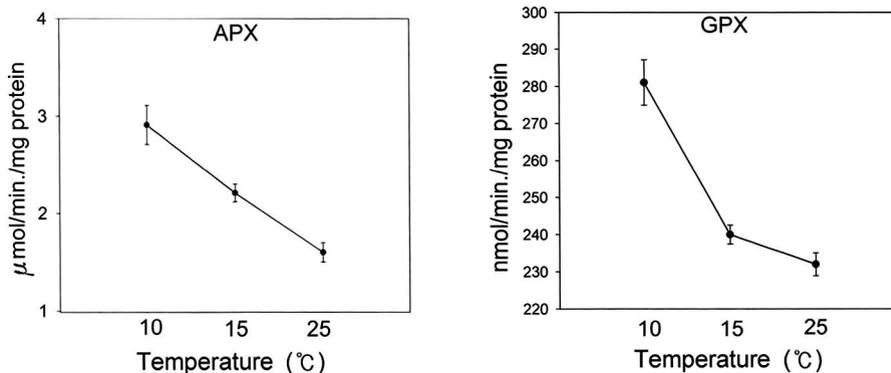


Fig. 2. Effects of root-zone temperatures on activities of APX and GPX in grafted watermelon roots. Vertical bars represent standard error.

초 록

저면관비 육묘재배시 근권온도의 차이가 접목수박묘의 생육, 양분흡수 그리고 효소활성에 미치는 영향을 알아보기로 실험을 수행하였다. 근권온도 처리는 각각 무가온, 10℃, 15℃, 25℃로 처리하였으며, 야간 최저온도는 10℃로 유지하였다. 생육 20일후의 초장, 엽장, 엽수, 경경, 그리고 생체중 및 건물중은 온도가 증가함에 따라 증가하였으며, 엽면적에서는 무가온(21.50mm²)에 비해 25℃에서 52.79mm²으로 2배 이상의 증가를 나타내었다. Mn, Ca, Mg, Fe는 온도가 증가함에 따라 흡수량이 증가하였고, K, P, Mg는 유의성이 없었으며 Na는 역으로 감소하였다. Stress저항성 항산화효소인 ascorbate peroxidase(APX)와 guaiacol peroxidase(GPX)의 활성은 온도가 10℃에서 가장 높은 활성을 보였으며 온도가 높아질수록 감소하였다.

인용문헌

- Asada, K. 1992. Ascorbate peroxidase-a hydrogen peroxidase-scavenging enzyme in plants. *Physiol. Plant.* 85:235-241.
- Blume, E. and J.W. McClure. 1980. Developmental effects of Sandoz 6706 on activities of enzymes of phenolic and general metabolism in barley shoots grown in the dark or under low or high intensity light. *Plant Physiol.* 65:238-244.
- Chung, I.M., K.H. Kim, D.K. Song, and B.H. Kang. 1999. Physiological responses of rice (*Oryza sativa* L.) varieties to ozone. *Kor. J. Environ. Agr.* 18:11-17.
- Harry, W.J. and R. MacAvoy. 1982. Effects of root-zone heating on growth of poinsettia. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 107:525-530.
- Ismail, C. and M. Horst. 1991. Magnesium deficiency and high light intensity enhance activities of superoxide dismutase, ascorbate peroxidase and glutathione reductase in bean leaves. *Plant Physiol.* 98:1222-1227.
- Kang, S.J., J.Y. Oh, and J.D. Jung. 1999. Changes of antioxidant enzyme activities in leaves of lettuce exposed to ozone. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 40:541-544.
- Nakano, Y. and K. Asada. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidase in spinach chloroplast. *Plant Cell Physiol.* 22:867-880.
- Noh, M.Y. 1997. Management of root-zone temperature in substrate culture of tomato. *Kor. Res. Soc. Protected Hort.* 10:97-105.
- Park, J.C. 1999. Root temperature control for winter and summer season. *Kor. Res. Soc. Protected Hort.* 12:87-93.
- Shon, Y.G., J.J. Lee, J.C. Park, and M.R. Huh. 2000. The response to oxidative stress induced by magnesium deficiency in egg plants. *Kor. Hort. Sci. & Technol.* 18(2): 165(#22).
- Tagliavini, M. and N.E. Looney. 1991. Response of peach seedlings to root-zone temperature and root-applied growth regulators. *HortScience* 26:870-872.
- Tanaka, K., Y.G. Shon, S.H. Lee, H.Y. Kim, M.S. Moon, and J.J. Lee. 1999. The response to oxidative stress induced by magnesium deficiency in kidney bean plants. *J. Plant Biology* 42:294-298.