

Ameliorating Effect of $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ or CaCl_2 on the Growth and Yield of NaCl-Stressed Tomato Grown in Plastic Pots Filled with Soil

Han Cheol Rhee* · Kyung Hee Kang · Gi Bum Kwon · Young Hah Choi · Hoe Tae Kim

Busan Horticultural Expt. Station, Busan 618-300, Korea

Abstract

Enhanced supply of Ca^{2+} as well as NO_3^- is known to restrict the uptake of the Na^+ and Cl^- ion and ameliorate growth under saline conditions. This test was conducted to investigate the ameliorating effects of $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ or CaCl_2 on the growth and yield of NaCl-stressed tomato plants grown in plastic pot filled with soil. All treatments except for the control were supplied with 80 mM NaCl for two weeks after transporting. The saline solutions with nutrient were supplemented with either 0, 10 or 20 mM $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ and either 0, 10 or 20 mM CaCl_2 during harvesting time from two weeks after transporting. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ or CaCl_2 application enhanced the growth such as plant height, fresh weight, dry weight, fruit number, and fruit weight, and yield of NaCl-stressed tomato, and also their effects increased greater as concentration of supplemented $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ or CaCl_2 increased. Yield increased in 20 mM $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ compared with the others except for the control. Photosynthetic rate in Ca treatments was lower than that of the control, but higher than that of NaCl treatment. Leaf chlorophyll content was higher in Ca treatments compared with the others, especially in younger leaf, while that was not affected by concentration of supplemented Ca. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ or CaCl_2 supply increased the K^+ and Ca^{2+} concentration of tomato plants, whereas the Na^+ transport to the leaves was inhibited. There was a strong increase in the K^+/Na^+ ratio in plants treated $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ or CaCl_2 . Cl^- content of plants was decreased by supplemental $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ but Cl^- was increased in plants with CaCl_2 compared with $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$. N concentration in plants of tomato increased with enhanced $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ or CaCl_2 supply. In conclusion, our study confirms the potential of $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ or CaCl_2 to alleviate NaCl-induced growth reductions in tomato.

Key words: chlorophyll content, photosynthetic rate, mineral concentration.

*Corresponding author

서 언

시설재배지역이나 간척지 등에서 염류집적에 의한 작물의 생육장해가 빈번하게 발생하고 수량과 품질이 낮아지는 경우가 많다(Ghassemi 등, 1995). 토양내 과도한 염류집적이 일어나면 특정 이온에 의한 독성 또는 토양내 수분 퍼텐셜의 감소에 따른 수분흡수의 장해가 나타나 작물의 생육을 억제한다. NaCl 함량은 다른 이온의 흡수를 억제하고(Yamauchi, 1989), 작물에 수분 스트레스를 유도하여 생리대사에 크게 영향을 주며(Boyer, 1970), 기공 전도도가 낮아지고, 광합성 속도가 감소한다(Mohammad, 1994, Rhee 등, 2001). Cl 이온은 단독 혹은 Na 이온과 함께 작용하여 다른 이온의 흡수를 억제하거나, Cl 이온 그 자체가 지나치

게 많이 흡수되어 독성작용을 나타낸다(Mizrahi, 1982). Ca 이온이나 NO_3^- 이온은 Na와 Cl 이온의 흡수를 억제시키고, NaCl 스트레스를 받은 작물에 생육을 촉진하는 것으로 보고(Banuls, 1991; Bar 등, 1987)되어 있으나, 그에 따른 생리적인 원인과 처리농도, 작물간의 차이가 명확하지 않다. 따라서 본 연구에서는 토마토를 공시하여 NaCl 처리에 따른 Ca 사용 효과를 찾고, 양분흡수, 광합성, 수분 퍼텐셜 등을 조사하여 생리적인 반응을 구명하는 기초자료를 제공하고자 수행되었다.

재료 및 방법

본 실험은 2000년 부산원예시험장의 유리온실에서

토마토(하우스 모모타로)를 공시하여 수행하였다. Cell 당 부피가 50 cm³인 20공 연결 포트(중앙중묘(주))에 피트모스(Sunshine, Genuine Co., Canada)와 펄라이트(No. 1, 삼손(주), 한국)를 1:1(v/v)로 혼합한 상토를 채운 후 직파(1월 9일)하였다. 육묘 중 양분관리는 토마토용 아마자키 양액 1/3배액을 생육초기에는 1일 1회, 그리고 5엽 전개 후에는 1일 2회씩 관주하였다. PVC pot(직경 30 cm, 높이 25 cm)에 흙을 채운 다음, 제1화방에서 1~2개정도 개화된 묘(3월 15일)를 1주씩 정식하였다. 정식 후 토마토용 아마자키 표준양액 (me·L⁻¹로 0.6 NH₄⁺, 7.0 NO₃⁻, 2.0 H₂PO₄⁻, 4.0 K⁺, 3.0 Ca²⁺, 2.0 Mg²⁺ 및 2.0 SO₄²⁻)을 모든 처리구에, 그리고 80 mM NaCl을 대조구를 제외한 모든 처리구에 1일 1회(1 L)씩 2주일간 공급하였다. 이때 대조구와 80 mM NaCl 처리구의 토양 중 EC는 각각 2.3 dS·m⁻¹ 및 4.5 dS·m⁻¹였고, pH는 각각 6.2 및 6.9였다. 정식 2주부터는 Ca(NO₃)₂과 CaCl₂을 처리당 각각 0, 10, 20 mM을 첨가하여 공급하였다. 처리내용은 대조구, 80 mM NaCl, 80 mM NaCl+10 mM Ca(NO₃)₂ 및 80 mM NaCl+20 mM Ca(NO₃)₂이다. 초장은 적심전에 조사하였으며, 적심은 제5화방의 상위 2엽을 남기고 실시하였다. 수확후 처리 당 10주씩 3반복으로 식물체를 채취하여 잎과 줄기의 지상부와 뿌리의 지하부(이하 지상부와 지하부로 표기)를 나누어 각각의 생체중을 측정한다. 시료를 80°C 건조기에서 32시간 건조한 후 건물중을 측정하고 T/R 율을 환산하였다. 또한 건조된 식물시료를 각 부위별로 분리하여 분쇄기로 마쇄하여 무기양분 분석에 사용하였다 (Agricultural Research Institute, 1988). 시료 1 g씩

평량하여 질소는 Kjeldahl법(1030 analyzer, Kjeltec Auto)으로, 그리고 K, Ca 및 Na는 tenery solution으로 분해한 후 원자 흡광 분광 광도계(atomic absorption spectrophotometer 3300, Perkin Elmer)로 분석하였다. 광합성 속도는 portable photosynthesis analyzer (LI-6400, LI-COR, USA)를 이용하여 최선단의 2엽에서 측정하였다. 처리후 30일의 오전 10시부터 11시 30분까지 잎 당 10회씩, 그리고 처리당 3주씩 3반복으로 조사하였다. 엽록소 함량은 SPAD meter(SPAD 502, Minolta, Japan)를 이용하여 새로운 잎과 오래된 잎으로 구분하여 측정하였으며, 값은 SPAD unit로 상대값을 산정하였다.

결과 및 고찰

처리에 따른 초장, 지상부 및 지하부의 생육의 결과는 Table 1과 같다. 토마토의 초장, 지상부 및 지하부의 생육은 NaCl을 처리함으로써 억제되었다. 그러나 Ca(NO₃)₂이나 CaCl₂의 첨가는 NaCl 처리에 의해 억제된 생육을 촉진할 수 있었으며, Ca(NO₃)₂ 처리가 CaCl₂ 보다 효과적이었다.

Ca(NO₃)₂이나 CaCl₂의 처리가 NaCl을 처리하지 않은 대조구보다는 생육이 저조하였다. Ca의 사용 농도가 높을수록 생육이 좋았으며, 20 mM CaCl₂ 처리구보다 20 mM Ca(NO₃)₂ 처리구가 좋았다. 지상부의 건물중은 20 mM Ca(NO₃)₂ 처리구가 57.6 g으로 대조구를 제외한 모든 처리구보다 무거웠으며, 뿌리의 건물중도 같은 경향이었다. 지상부와 지하부의 건물중은 Ca(NO₃)₂ 처리구에서는 농도간에 유의차가 인정되었으

Table 1. Plant height, fresh and dry weight and T/R ratio of tomato as affected by NaCl and supplemental Ca(NO₃)₂ or CaCl₂.

| Treatment | Plant height (cm) | Fresh weight (g) | | Dry weight (g) | | T/R ratio |
|---------------------|--------------------|------------------|--------|----------------|--------|-----------|
| | | Top plant | Root | Top plant | Root | |
| Control | 185 a ^y | 676 a | 66.0 a | 62.6 a | 7.35 a | 8.5 |
| NaCl | 160 d | 567 b | 47.0 c | 50.7 c | 5.32 d | 8.2 |
| 10 NCN ^z | 173 b | 587 b | 48.6 c | 52.9 c | 5.37 c | 9.2 |
| 20 NCN | 177 b | 630 a | 62.2 b | 57.6 b | 6.92 b | 9.5 |
| 10 NCC | 166 c | 565 b | 48.2 c | 50.5 c | 5.32 c | 9.3 |
| 20 NCC | 171 bc | 586 b | 50.8 c | 52.8 c | 5.62 c | 9.4 |

^z10 NCN, NaCl+10 mM Ca(NO₃)₂; 20 NCN, NaCl+20 mM Ca(NO₃)₂; 10 NCC, NaCl+10 mM CaCl₂; 20 NCC, NaCl+20 mM CaCl₂.

^yMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

나 CaCl₂ 처리구에서는 유의차가 없었다. 본 실험의 결과는 토마토에서 Lopez 등(1996)의 Ca(NO₃)₂ 처리와 Angela 등(1999)의 CaCl₂ 처리의 효과에 대한 보고와 일치하였다. 이러한 결과는 Ca 처리에 의한 N, K 및 Ca의 흡수 촉진(Fig. 2)과 광합성 속도의 증가(Fig. 1)와 관련이 있는 것으로 추측되었다. Ca(NO₃)₂ 처리가 CaCl₂ 보다 효과적인 것은 NO₃ 이온에 의한 상승효과로 추측되며, Ebert 등(2002)의 보고가 이를 뒷받침하였다. Ca(NO₃)₂ 및 CaCl₂ 처리농도는 본 실험에서는 20 mM(80 mM NaCl-induced tomato)에서 생육이 좋았으나 Ebert 등(2002)의 보고에서는 10 mM(60 mM NaCl-induced guava)에서 좋았다. 이는 NaCl의 스트레스 농도나 작물의 종류에 따라 차이가 있을 것으로 생각되었다.

T/R율은 NaCl 처리구가 8.2로 가장 낮았으며, Ca(NO₃)₂이나 CaCl₂ 처리구가 각각 9.5, 9.4로 대조구 8.5 보다 높았다. 이러한 결과는 Ca 처리가 지하부보다 지상부의 생장을 촉진시키고, 뿌리에 잔류하고 있는 Na 및 Cl 이온에 의해 뿌리의 생육을 억제하기(Schreiner와 Ludder, 1996) 때문으로 생각되었다.

Table 2는 NaCl, Ca(NO₃)₂ 및 CaCl₂ 처리에 따른 토마토의 평균과중, 착과수 및 수량을 나타낸 것이다.

평균과중은 Ca(NO₃)₂이나 CaCl₂ 처리구에서 대조구보다 가벼웠으나 NaCl 처리구보다는 무거웠다. 20 mM Ca(NO₃)₂이나 20 mM CaCl₂ 처리구의 평균과중은 각각 162 g, 151 g으로 174 g인 대조구에 비해 23~12 g 정도 가벼웠다. 주당 착과수는 20 mM Ca(NO₃)₂ 처리구에서 14.2개로 NaCl 처리구보다 2개정도 많았으

Table 2. Fruit weight, fruit number and yield of tomato as affected by NaCl and supplemental Ca(NO₃)₂ or CaCl₂.

| Treatment | Fruit weight (g) | No of fruit (ea/plant) | Yield (g/plant) |
|---------------------|--------------------|------------------------|-----------------|
| Control | 174 a ^y | 15.6 a | 2,711 a |
| NaCl | 144 d | 12.2 c | 1,757 c |
| 10 NCN ^z | 151 c | 14.2 b | 2,147 b |
| 20 NCN | 162 b | 14.2 b | 2,295 b |
| 10 NCC | 146 d | 12.4 c | 1,805 c |
| 20 NCC | 151 c | 13.6 bc | 2,054 bc |

^z10 NCN, NaCl+10 mM Ca(NO₃)₂; 20 NCN, NaCl+20 mM Ca(NO₃)₂; 10 NCC, NaCl+10 mM CaCl₂; 20 NCC, NaCl+20 mM CaCl₂.

^yMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

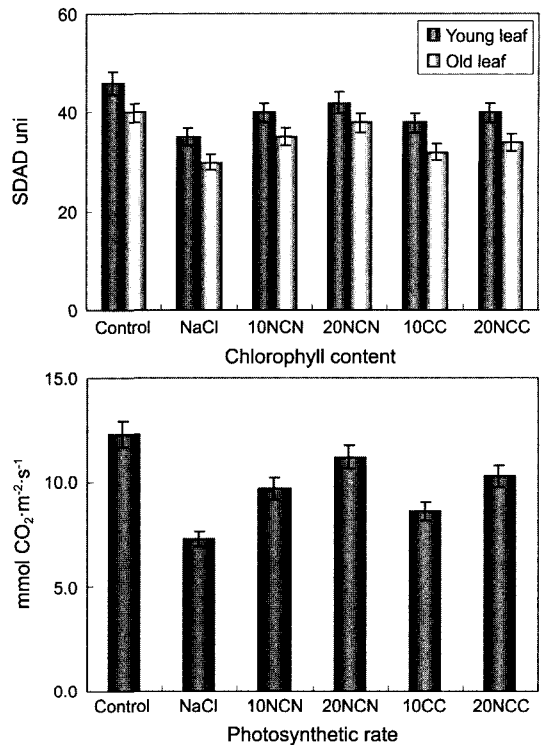


Fig. 1. Chlorophyll content and photosynthetic rate in the leaf of tomato as affected by NaCl and supplemental Ca(NO₃)₂ or CaCl₂. 10 NCN, NaCl+10 mM Ca(NO₃)₂; 20 NCN, NaCl+20 mM Ca(NO₃)₂; 10 NCC, NaCl+10 mM CaCl₂; 20 NCC, NaCl+20 mM CaCl₂.

며, 농도에 관계없이 Ca(NO₃)₂ 처리구가 CaCl₂ 처리구보다 많았다. 수량은 대조구가 2,711 g으로 가장 많았고, 20 mM Ca(NO₃)₂, 10 mM Ca(NO₃)₂, 20 mM CaCl₂, 10 mM CaCl₂, NaCl 처리구 순이었다. 수량 증가는 Ca(NO₃)₂ 처리구에서는 평균과중과 착과수의 증가에 기인되었으나 CaCl₂ 처리구에서는 착과수보다 평균과중의 증가에 기인된 것으로 생각되었다.

Fig. 1은 NaCl, Ca(NO₃)₂ 및 CaCl₂ 처리에 따른 엽록소 함량 및 광합성 속도를 나타낸 것이다.

엽록소 함량은 Ca(NO₃)₂ 및 CaCl₂ 처리구에서 대조구보다 많았으며, 새로운 잎이 오래된 잎보다 많았다. 그들의 농도간에는 큰 차이가 없었으나, Ca(NO₃)₂ 처리구에서 CaCl₂ 처리구보다 다소 많았다. NaCl 처리구에서 토마토의 오래된 잎의 가장자리가 황화현상이 일어난 것은 엽록소의 파괴에 의한 것이고, 이는 Cl 함량이 많은 것에 기인되는 것으로 추측되었다. 엽

록소 함량은 NaCl를 처리하면 오래된 잎에서 많이 감소되고(Ebert 등, 2002), 그리고 NaCl 스트레스를 받은 작물에 NO₃를 처리하면 증가한다(Shadad 등, 1988)고 한다.

광합성 속도는 Ca(NO₃)₂과 CaCl₂ 처리구에서 각각 11.2, 10.3 μmol로 NaCl 처리구의 7.3 μmol 보다 3~4 μmol정도 높았으며, Ca(NO₃)₂ 및 CaCl₂ 처리구 모두 농도가 증가할수록 높았다. 본 실험의 Ca(NO₃)₂ 및 CaCl₂ 처리에 의한 광합성 속도의 증가는 아보카도에서 NO₃ 이온의 첨가(Bar 등, 1987), 그리고 면화에서 Ca 이온을 첨가한 실험보고(Cramer 등, 1987)와 일치하였다. 특히 Ali-Dinar 등(1999)은 NaCl의 스트레스를 받은 guava 식물에서 Ca(NO₃)₂ 처리는 기공 저항성을 줄이는 것으로 보고하였다.

Fig. 2는 NaCl, Ca(NO₃)₂ 및 CaCl₂ 처리에 따른 경엽의 T-N, K 및 Ca 함량을 나타낸 것이다.

T-N 함량은 Ca(NO₃)₂이나 CaCl₂ 처리구에서 NaCl 처리구보다 많았으며, 처리농도가 증가할수록 많았다. K 및 Ca 함량도 T-N과 같은 경향으로 많았으며, Ca(NO₃)₂ 처리구에서 CaCl₂ 처리구보다 많았다. 반면에 Na 함량은 Ca(NO₃)₂과 CaCl₂ 처리구에서 대조구보다 매우 적었으며 그들의 농도가 높을수록 적었다. 본 실험

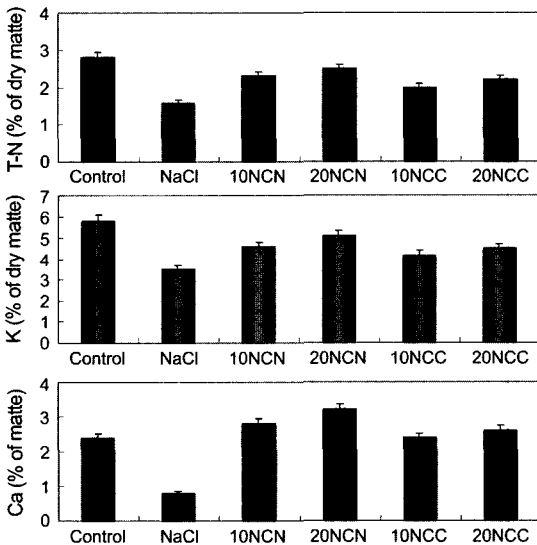


Fig. 2. Mineral concentration (T-N, K and Ca) in the leaf-stem of tomato as affected by NaCl and supplemental Ca(NO₃)₂ or CaCl₂. 10 NCN, NaCl+10 mM Ca(NO₃)₂; 20 NCN, NaCl+20 mM Ca(NO₃)₂; 10 NCC, NaCl+10 mM CaCl₂; 20 NCC, NaCl+20 mM CaCl₂.

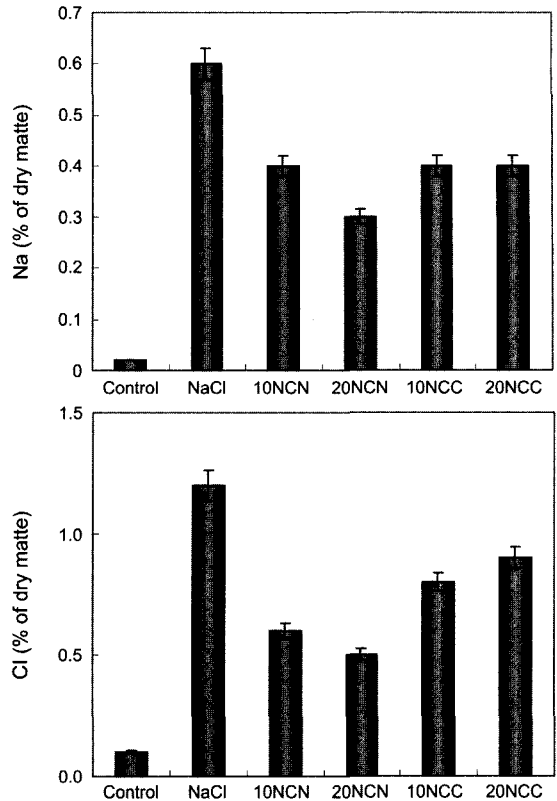


Fig. 3. Na and Cl concentration in the leaf-stem of tomato as affected by NaCl and supplemental Ca(NO₃)₂ or CaCl₂. 10 NCN, NaCl+10 mM Ca(NO₃)₂; 20 NCN, NaCl+20 mM Ca(NO₃)₂; 10 NCC, NaCl+10 mM CaCl₂; 20 NCC, NaCl+20 mM CaCl₂.

험에서 Ca 이온의 공급은 Na 및 Cl 이온의 흡수를 억제시켰고(Fig. 3), 상대적으로 다른 이온의 흡수를 촉진시켰다. 그 결과로 엽록소 함량 및 광합성 속도가 증가하고(Fig. 1), 또한 작물의 생육이 촉진된 것으로 생각되었다. Cl 함량은 대조구를 제외하고 20 mM Ca(NO₃)₂ 처리구에서 다른 처리구보다 낮았으며, NaCl 처리구보다 2배 이상, CaCl₂ 처리구보다 1.5배 이상 낮았다(Fig. 3). 특히 Ca(NO₃)₂ 처리구에서 Cl 함량이 낮은 것은 NO₃ 이온에 의해 흡수가 억제되었기 때문이며(Awang와 Atherton, 1994; Bar 등, 1996) 이에 대한 원인은 아직 명확하게 밝혀지지 않았다.

본 실험에서 Ca(NO₃)₂ 및 CaCl₂ 처리는 토마토의 생육을 촉진하였고 잎의 엽록소 함량, 광합성 속도 및 무기양분 흡수를 증가시켰다. 이 결과는 명확하게 NaCl에 의해 생육이 억제된 작물을 치유하는 효과가

있었다. 그리고 Ca 공급원으로는 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 가 CaCl_2 보다 생육촉진에 효과적이었으며, 그때의 농도는 20 mM이었다.

Literature cited

1. Ali-Dinar, H.M., G. Ebert and P. Ludders. 1999. Growth, chlorophyll content, photosynthesis and water relations in guava (*Psidium guajava* L.) under salinity and different nitrogen supply. *Gartenbauwissenschaft* 64:54-59.
2. Angela, M.C and C. Shennan. 1999. Interactive effects of Ca^{2+} and NaCl salinity on the growth of two tomato genotypes differing in Ca^{2+} use efficiency. *Plant Physiol. Biochem.* 37:569-576.
3. Awang, Y.B. and J.G. Atherton 1994. Salinity and shading effects on leaf water relations and ionic composition of strawberry plants grown on rockwool. *J. Hort. Sci.* 69:377-383.
4. Banuls, J., F. Legaz, and E. Primo-Millo. 1991. Salinity-calcium interactions on growth and ionic concentration of citrus plants. *Plant Soil* 133:39-46.
5. Bar, Y., U. Kafkafi, and E. Lahav. 1987. Nitrate Nutrition as a Tool to Reduce Chloride Toxicity in Avocado. *Yearbook. South African Avocado Growers Association* 10:47-48.
6. Bar, Y., A. Apelbaum, U. Kafkafi, and R. Goren. 1996. Polyamines in chloride-stressed citrus plants: alleviation of stress by nitrate supplementation via irrigation water. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 121:507-513.
7. Boyer, J. S. 1970. Leaf enlargement and metabolic rates in corn, soybean and sunflower at various leaf water potentials. *Plant Physiol.* 46:233-235.
8. Ebert, G., J. Eberle, H. Ali-Dinar, and P. Ludders. 2002. Ameliorating effects of $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ on the growth, mineral uptake and photosynthesis of NaCl-stressed guava seedlings (*Psidium guajava* L.). *Sci. Hort.* 93: 125-135.
9. Lopez, M.V. and S.M.E. Satti. 1996. Calcium and potassium-enhanced growth and yield of tomato under sodium chloride stress. *Plant Science* 114:19-27.
10. Cramer, G.R., J. Lynch, A. Lauchli, and E. Epstein. 1987. Influx of Na^+ , K^+ , and Ca^{2+} into roots of salt-stressed cotton seedlings. Effects of supplemental Ca^{2+} . *Plant Physiol.* 83:510-516.
11. Ghassemi, F., A.J. Jakeman and H.A. Nix. 1995. *Salinisation of Land and Water Resources*. CAB International, Wallingford, UK.
12. Mohammad, P. 1994. *Handbook of Plant and Crop Stress*. Marcel Dekker Press, New York. p. 235-250.
13. Rhee, H.C., B.Y. Lee, Y.H. Choi, and Y.H. Choi. 2001. Physiological and anatomical characteristics of 2nd truss-limited tomatoes as affected by KCl or NaCl supplement to nutrient solution. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 42(1):25-31.
14. Schreiner, M. and P. Ludders. 1996. Gas exchange of apple trees under salinity and various levels of K^+ supply. *Gartenbauwissenschaft* 61:130-138.
15. Shadad, M.A., A.M. Ahmed, and K.A. Fayez. 1988. Alleviation of adverse effects of soil salinity by N fertilization. *Biol. Plant* 30:343-350.
16. Yamauchi, Y. 1989. Initiation mechanism on the salt tolerance of rice varieties. *Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr.* 60:210-219.

NaCl 스트레스를 받은 토마토의 생육 향상을 위한 Ca(NO₃)₂ 및 CaCl₂ 처리 효과

이한철* · 강경희 · 권기범 · 최영하 · 김희태

영남농업시험장 부산원예시험장

적 요

시설토양내 Na나 Cl 이온의 과다집적은 직접 또는 간접적으로 작물의 생육에 장애를 준다. 따라서 본 실험은 플라스틱 포트재배에서 NaCl에 의해 생육이 억제된 작물에 Ca을 토양에 시용함으로써 치유효과를 검토코자 수행되었다. 토마토(하우스 모모타로)를 공시하여 80 mM NaCl를 처리하고 Ca(NO₃)₂과 CaCl₂을 각각 0, 10, 20 mM을 토마토 재배용 아마자키 표준양액에 첨가하여 공급하였다. NaCl 집적토양에 Ca을 시용함으로써 모두 초장, 생체중, 건물중, 착과수, 과중의 생육을 촉진하였다. 이러한 효과는 Ca의 농도가 높을수록 좋았고 Ca(NO₃)₂이 CaCl₂보다 좋았다. 수량은 NaCl 집적+Ca(NO₃)₂ 20 mM 처리구에서 대조구를 제외한 여타 처리구보다 많았다. 광합성 속도는 Ca 처리구가 NaCl 처리구보다 높았으며, Ca의 농도가 증가할수록 높았다. 엽록소 함량은 Ca 처리구에서 대조구보다 많았으며, 새로운 잎이 오래된 잎보다 많았으나 Ca의 농도간에는 큰 차이가 없었다. Ca(NO₃)₂이나 CaCl₂을 처리함으로써 식물체의 Na 함량은 감소하였고 N, K 및 Ca함량은 증가하였다. 특히 K/Na 비율이 현저하게 증가하였으나, Cl 함량은 감소하였다. 이상의 결과에서 NaCl의 스트레스를 받은 작물에 Ca(NO₃)₂ 및 CaCl₂을 처리함으로써 생육이 촉진되고 수량이 증가되거나 대조구보다는 저조함을 알 수 있었다.

주제어 : 엽록소 함량, 광합성 속도, 무기성분 함량