

토양 염류농도가 시설토마토의 생육, 수량, 광합성속도 및 무기양분 흡수에 미치는 영향

이한철^{1*} · 조명환¹ · 이시영¹ · 최경이¹ · 이재한²
¹원예연구소 시설원예시험장, ²원예연구소 원예기획조정과

Effect of Salt Concentration in Soil on the Growth, Yield, Photosynthetic Rate, and Mineral Uptake of Tomato in Protected Cultivation

Han Cheol Rhee^{1*}, Myeung Whan Cho¹, Si Young Lee¹, Gyeong Lee Choi¹, and Jae Han Lee²

¹Protected Horticulture Experiment Station, NHRI, RDA, Busan 618-300, Korea

²National Horticultural Research Institute, RDA, Suwon 440-706, Korea

Abstract. This study was conducted to investigate the effects of high concentrations of salts in soil on the growth, yield, quality, photosynthetic rate, and mineral uptake of tomato ('House Momotaro') in pot cultivation.

The growth of tomato such as plant height, top plant weight and root weight decreased as the concentrations of salts in soils increased. Yield decreased by 31% and 41% in EC 5.0 and 7.5 dS·m⁻¹, respectively compared with the salt concentration of EC 1.5 dS·m⁻¹.

Yield reduction was caused by low mean weight and number of fruit if at high salt concentration in soil, and affected by low photosynthetic rate and water potential in leaf. The rate of blossom-end rot was highest (16.7%) in EC 7.5 dS·m⁻¹ and increased as the concentrations of salts in soils increased. The contents of soluble solids and titratable acids showed a tendency to increase with increasing the concentrations of salts in soils.

Photosynthetic rate, water potential and stomatal conductance in leaf decreased as the salt concentration in soil increased. The higher the salt concentration in soil, the lower the mineral uptake such as T-N, P, K, Ca and Mg but, the higher the content of Na.

Key words : high salt concentration, photosynthetic rate, tomato, yield

*Corresponding author

서 언

시설재배는 노지재배와 달리 폐쇄된 상태에서 작물을 재배하므로 내부환경과 토양의 물리화학적 성질이 불량해져 생육장애가 빈번하게 발생하고 수량과 품질이 낮아지는 경우가 많다. 이러한 생육장애의 원인 중의 하나가 재배지의 염류집적이다. 염류집적은 재배관리 면에서 보면 과도한 시비와 부적절한 토양 관리 및 연작에서 기인된다. 또한 시설내 토양은 배수에 의한 염류의 용탈이 적고 시설 내의 고온에 의한 모관수의 상승으로 심토의 염류가 표토로 이동되어 염류농도가

높아진다. 한편 해안지대에서는 관개수에 상당한 염류가 함유되어 있으므로 표토에 염류가 집적되기 쉬운 조건을 가진다.

토양내 과도한 염류집적이 일어나면 특정이온에 의한 독성 또는 토양내 수분포텐셜의 감소에 따른 수분 흡수의 장애가 나타나 작물의 생육이 억제된다. 염류 스트레스는 작물의 생장 억제, 즉 건물중, 개화율, 착과수 감소 등을 초래하고 근활력을 낮추어 노화를 촉진시킨다(Flower 등, 1977). 토양 중의 높은 염류 함량은 여러 이온의 흡수를 억제하고(Yamaguchi, 1989), 작물에 수분 스트레스를 유도하여 생리대사에

크게 영향을 주며(Boyer, 1970), 기공전도도를 낮추고, 광합성속도를 감소시킨다(Rhee 등, 2001).

토마토는 염류농도에 강한 것으로 알려져 있고 (Mass, 1985; Kinett와 Peet, 1997), 어느 정도의 염류농도 증가는 토마토 품질, 특히 당 함량의 증가와 같은 품질을 향상시킨다고 한다(Balibrea 등, 1997; Martines 등, 1987). 그러나 염류농도가 일정 수준 이상 높아지면 생장억제와 수량감소를 초래한다(Li 등, 2001; Martines 등, 1987).

따라서 본 연구는 토마토를 공시하여 토양 중 염류농도에 대한 성장반응 및 장해농도를 찾고, 양분흡수, 광합성, 수분포텐셜 등을 조사하여 생육장해의 원인구명을 위한 기초 자료를 제공코자 수행되었다.

재료 및 방법

본 실험은 2003년에 부산원예시험장의 유리온실에서 토마토 ‘하우스모모타로’ 품종을 공시하여 수행되었다. 육묘시에는 cell 당 부피가 50cm³인 20공 연결포트에 피트모스(Dunshine, Genuine Co., Canada)와 펄라이트(No.1, 삼승(주), 한국)를 1:1(v/v)로 혼합한 상토를 이용하였다. 토마토 종자를 1월 9일에 파종하였으며 정식은 3월 9일에 수행하였다. 육묘시 양수분 관리는 토마토 전용 아마자키 처방양액 1/3 배액을 생육초기에는 1일 1회, 그리고 5엽 전개 후에는 1일 2회씩 관주하였다. 토양중 EC 수준에 의한 작물생육 평가는 포트(직경 30cm)에 사질양토를 채워서 수행하였다. 토양중 염류농도 처리는 EC 1.0, 2.5, 5.0 및 7.5 dS·m⁻¹로 하였으며 배치법은 난괴법 3반복이었다.

토마토는 4단 적심재배를 하였고 재배방법은 농촌진흥청 표준재배법, 그리고 주요 생육조사방법은 농촌진흥청 표준 조사기준에 준하였다. 정식은 포트당 2주를 재식하였으며 관수테이프(1L/시간,주)를 이용하여 관수

하였다. 아침 6시경에 pressure chamber(3015G2, Soil Moisture Equipment Co., USA)를 이용하여 “새벽녘 잎 수분 퍼텐셜” 측정하였다. 각 처리당 3반복씩으로 제 1화방 상위엽을 채취하여 플라스틱 봉지에 봉인한 다음, 암실에 24시간 동안 두어 포화상태가 되게 하였다. 다음날 pressure chamber를 이용하여 잎의 수분 퍼텐셜을 측정하였다.

광합성속도 및 기공전도도는 portable photosynthesis analyzer(LI-6400, LI-COR, USA)를 이용하여 최선단의 2엽에서 측정하였다. 잎당 10회씩, 그리고 처리당 3주씩 3반복의 평균값을 구하였다. 엽록소 함량은 SPAD meter(SPAD502, Minolta, Japan)를 이용하여 측정하였으며, 값은 SPAD unit으로 상대값을 산정하였다. 처리 개시후 7일, 14일 및 21일의 7일 간격으로 적심한 상단의 잎부터 아래로 7번째 잎까지 잎당 10번씩, 그리고 처리당 10주씩 3반복의 평균값을 나타내었다. 건조된 식물시료를 마쇄기로 마쇄한 다음, 1g 씩 칭량하여 질소는 Kjeldahl법(1030 analyzer, Kjeltect Auto)으로, 그리고 인산은 Vanadate법으로 분해하여 비색계(UV/VIS spectrophotometer, Lambda 18, Perkin Elmer)를 이용하여 측정하였다. 그리고 K, Ca 및 Mg는 tenrery solution으로 분해한 후 원자 흡광분광 광도계(atomic absorbtion spectrophotometer 3300, Perkin Elmer)로 분석하였다.

결과 및 고찰

Table 1은 토양 중 EC 수준에 따른 작물의 초기생육을 나타낸 것이다. 토마토의 초장, 생체중, 건물중 등 생육은 토양 중 염류농도가 높을수록 억제되었으며 특히 EC 5.0dS·m⁻¹ 이상의 염류농도에서 큰 차이를 나타내었다.

초장 및 절간장은 토양 중 염류농도가 높을수록 짧

Table 1. Effect of salt concentration in soil on the growth of tomato in protected cultivation.

Salt con. (dS·m ⁻¹)	Plant height (cm)	Stem diam (cm)	Internode length (cm)	Fresh weight (g)		Dry weight (g)	
				Top	Root	Top	Root
EC 1.0	87.0 a ²	1.23 a	45.3 a	192.8 a	17.2 a	20.4 a	1.8 a
EC 2.5	83.2 a	1.24 a	46.2 a	174.5 b	15.5 bc	21.6 a	1.9 a
EC 5.0	71.4 b	0.93 b	41.5 b	163.4 c	14.5 cd	20.1 a	1.8 a
EC 7.5	68.4 b	0.82 c	40.5 b	154.5 d	13.7 d	16.9 b	1.5 b

²Mean separation within columns by Duncan’s multiple range test at P≤0.05.

Table 2. Effect of salt concentration in soil on the mean fruit weight, fruit number, and yield of tomato in protected cultivation.

Salt con. ($\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$)	Mean fruit weight (g)	No. of fruiting	Fruit weight (kg/pl.)	Yield (kg/10a)	Percentage of Marketable fruit (%)
EC 1.0	129.0 a ^z	11.4 a	1.47 a	5,488 a	77.2
EC 2.5	129.0 a	11.4 a	1.47 a	5,498 a	74.6
EC 5.0	92.0 b	11.1 a	1.02 b	3,810 b	58.6
EC 7.5	87.0 c	9.9 b	0.86 c	3,216 c	55.6

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

Table 3. Effect of salt concentration in soil on the soluble solids and titratable acidity of tomato in protected cultivation.

Salt con. ($\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$)	Soluble solids ($^{\circ}\text{Brix}$)	Titratable acidity (%)	Ratio of sugar to acidity	Percentage of Blossom-end rot (%)
EC 1.0	4.2 b ^z	0.43 b	9.8 a	3.2 c
EC 2.5	4.5 b	0.42 b	10.7 a	3.7 c
EC 5.0	5.2 a	0.50 a	10.4 a	9.7 b
EC 7.5	5.6 a	0.55 a	10.2 a	16.7 a

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

아지는 경향이었으나 EC $2.5\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 까지는 통계적인 유의차가 없었으나 EC $5.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 이상에서는 유의차가 인정되었다. 지상부의 생체중과 건물중은 초장과는 달리 EC $2.5\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 이상에서 감소하였다. 반면 뿌리의 생체중과 건물중은 지상부와는 달리 EC $5.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 까지는 차이가 없어 유의차가 인정되지 않았으나 EC $7.5\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 에서는 매우 감소하였으며 통계적 유의차가 인정되었다. 토양 중 염류농도에 따른 지상부와 지하부의 생육반응은 다르게 나타났다. Cuartero와 Rafael(1999)은 토마토의 토양 중 염류처리 시험에서 고농도의 토양염도는 뿌리보다는 지상부의 생육에 더 억제적이라고 보고하였으며 본 실험에서도 같은 결과를 얻었다. 이러한 결과는 염류 스트레스를 받은 작물이 광합성 동화산물을 지상부보다 지하부에 상대적으로 많이 축적하기 때문이다(Perez-Alfocea 등, 1993). 식물체의 건물중은 토양염도가 높을수록 증가하는 경향이였다. 이는 토양의 높은 염류농도로 수분포텐셜이 토양보다 식물체가 높아 뿌리로부터 식물체내로 수분의 흡수가 억제된 것에 기인되는 것으로 생각된다.

Table 2는 토양 중 EC 수준에 따른 작물의 수량을 나타낸 것으로 토마토의 평균과중, 착과수 및 수량은 염류농도가 증가할수록 감소하였다. 평균과중은 염류농도가 증가할수록 감소하는 경향으로 EC $5.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 이상에서 유의차가 인정되었으며 EC $5.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 에서 92g 으로 EC $1.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 의 129g 보다 37g 이나 가벼웠

다. 착과수는 평균과중과는 달리 EC $7.5\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 이상에서 유의차가 인정되었다. 수량은 EC 5.0, EC 7.5 $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 에서 각각 3,810, 3,216kg/10a로 EC 1.0 $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 의 5,488kg/10a보다 각각 31%, 41% 감소하였다.

토마토의 수량 감소는 평균과중과 착과수의 감소에 기인되었으며 평균과중 감소가 더 큰 요인임을 상기의 결과에서 알 수 있었다. 이러한 결과는 수량의 감소가 과실중 감소에 기인된다는 Bernstein(1959)의 보고와 과실수의 감소에 의해서라는 Jobes 등(1981)과 Pasternak 등(1986)의 보고와 일치하며 염의 처리 농도에 따라서 결과가 달라질 수 있음을 나타내었다. 수량 감소는 광합성속도의 감소가 큰 요인 중 하나이며 또한 염류농도의 증가에 의한 식물체내 생리적인 장애 요인도 무시할 수 없다. 염류농도가 높아짐에 따른 광합성속도 저하와(Table 4) 수량감소(Table 2)가 이러한 가능성을 뒷받침한다.

토마토 과실의 당도와 산도는 염류농도가 높을수록 증가하는 경향이였으며 토양중 EC $5.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 이상에서 과실당도가 5.2% 이상으로 유의차가 있게 증가하였다. 방울토마토(Gough와 Hobson, 1990)와 대과종 토마토(Mizrahi, 1982; Mizrahi 등, 1988)에서 염류농도의 증가는 당과 유기산의 함량이 증가한다는 보고와 일치하였으나, Pasternak 등(1986)은 품종에 따라 염류에 대한 민감도가 다를 수 시사하였다. 한편 염류농도가

Table 4. Effect of salt concentration in soil on the chlorophyll concentration, water potential, and photosynthesis of tomato leaf in protected cultivation.

Salt con. (dS·m ⁻¹)	Chlorophyll con. (SPAD unit)	Water potential (-Mpa)	Stomatal conduc. (mol·m ⁻² ·s ⁻¹)	Photosynthesis (ol·m ⁻² ·s ⁻¹)
EC 1.0	65.0 a ^z	0.2 c	0.2 a	8.0 a
EC 2.5	62.0 a	0.3 c	0.2 a	7.5 a
EC 5.0	42.0 b	0.6 b	0.1 b	5.2 b
EC 7.5	40.0 b	0.8 a	0.1 b	4.3 b

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

Table 5. Effect of salt concentration in soil on the inorganic ion content of tomato plant in protected cultivation.

Salt con. (dS·m ⁻¹)	T-N (%)	P ₂ O ₅ (%)	CaO (%)	MgO (%)	K ₂ O (%)	Na ₂ O (%)
EC 1.0	1.4 a ^z	0.7 a	2.9 a	1.8 a	2.4 a	0.3 b
EC 2.5	1.8 a	0.7 a	2.8 a	1.6 b	2.3 a	0.7 b
EC 5.0	1.6 a	0.7 a	2.5 b	1.3 c	1.8 b	2.0 a
EC 7.5	1.8 a	0.9 a	2.5 b	1.5 b	1.4 c	2.2 a

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

증가할수록 과실의 당도 등 품질은 향상되었으나 배꼽 썩음과 등(Table 3) 과실의 생리장해 발생과 수량감소 등 부정적인 요인이 매우 높았다. 따라서 염류농도에 따른 품질과 수량의 적절한 효과에 대하여 보다 많은 연구가 필요할 것이다.

Table 4는 염류농도에 따른 토마토 잎의 엽록소 함량, 수분포텐셜, 기공전도도 및 광합성속도를 나타낸 것이다. 염류농도에 따른 수분 스트레스 정도를 알기 위해 아침 6시경에 pressure chamber를 이용하여 잎의 수분포텐셜을 측정하였다. 염류농도가 높을수록 수분포텐셜이 낮아지는 경향이었으며 EC 5.0dS·m⁻¹에서 -0.6Mpa, EC 7.5dS·m⁻¹에서 -0.8Mpa로 EC 1.0 dS·m⁻¹에 비해 유의차가 있게 낮았다. 이와 같이 높은 염류농도에서 잎의 낮은 수분포텐셜로 수분의 증발을 억제하기 위하여 기공이 닫혔을 것이고 그로 인하여 기공전도도도 낮아졌고 광합성속도도 감소되었을 것이다(Table 4). 이와 같이 광합성속도의 감소는 작물의 수분 스트레스에 적응하기 위한 기공의 닫힘에도 영향이 있지만 엽록소 함량 감소의 영향이 큰 것을 배제할 수 없다(Rhee 등, 2001). 토마토에서 기공전도도의 감소는 증산 및 자연증발에 의한 수분의 손실을 억제하려는 자기방어 기작이며(Kebede 등, 1944) 이러한 과정에서 광합성속도의 감소와 더불어 식물의 형태적 또는 체내의 생리, 생화학적 변화가 일어나는 것으로 생각된다.

Table 5는 염류농도에 따른 작물별 수확 후 식물체의 무기성분 함량을 나타낸 것이다. T-N과 P의 함량은 염류농도가 높아질수록 증가하는 경향이었으나 통계적인 유의차가 인정되지 않았다. 반면 Ca, Mg 및 K 함량은 염류농도가 높을수록 감소하였으나 Na 함량은 증가하는 경향이였다. 높은 염류농도에서 Na 함량이 높은 것은 Ca 이온과 Mg 이온의 길항관계에서 이동이 쉬운 Na 이온이 선택적으로 흡수되었을 것이고 Na 이온이 K 이온과 대체된 것으로 생각되었다.

적 요

본 연구는 토양 염도(EC)에 따른 토마토의 생육효과를 검토코자 토양 중 염류농도(EC)를 각각 1.0, 2.5, 5.0 및 7.5dS·m⁻¹로 두어 포트 실험을 수행하였다.

토마토의 초장, 생체중, 건물중 등 생육은 토양 중 염류농도가 높을수록 억제되었으며 특히 EC 5.0dS·m⁻¹ 이상의 염류농도에서 큰 차이를 나타내었다. 지상부의 생체중과 건물중은 초장과는 달리 EC 7.5dS·m⁻¹에서 감소하였다. 반면 뿌리의 생체중과 건물중은 지상부와는 달리 EC 5.0dS·m⁻¹까지는 차이가 없었으나 EC 7.5dS·m⁻¹에서는 매우 감소하였다.

평균과중은 EC 5.0dS·m⁻¹에서 92g으로 EC 1.0dS·m⁻¹의 129g보다 37g이나 가벼웠고 착과수는 평균과중과는 달리 EC 7.5dS·m⁻¹ 이상에서 감소하였다.

수량은 EC 5.0, EC 7.5dS·m⁻¹에서 각각 3,810, 3,216kg/10a로 EC 1.0dS·m⁻¹의 5,488kg/10a보다 각각 31%, 41% 감소하였다.

토마토 과실의 당도와 산도는 염류농도가 높을수록 증가하는 경향이었으며 토양 중 EC 5.0dS·m⁻¹ 이상에서 과실당도가 5.2% 이상 증가하였다.

잎의 수분퍼텐셜 및 엽록소, 기공전도도 및 광합성 함량은 염류농도가 높을수록 억제되었다. 총 T-N, P 및 Na 함량은 염 농도가 높아질수록 증가하는 경향이 었으나, Ca, Mg 및 K 함량은 염류농도가 높을수록 감소하였다. Na 함량은 증가하였으며 다른 성분은 처리간에 차이가 없었다.

주제어 : 고염류농도, 광합성, 토마토

인 용 문 헌

- Balibrea, M.E., E. Cayuela, F. Artes, and F. Perz-Alfocea, 1997. Salinity effects on some postharvest quality factors in a commercial tomato hybrid. *J. Hort. Sci.* 72:885-892.
- Bernstein, L. 1959. Salt tolerance of vegetable crops in the west. *USDA Info. Bull.* p. 205.
- Boyer, J.S. 1970. Leaf enlargement and metabolic rates in corn, soybean and sunflower at various leaf water potentials. *Plant Physiol.* 46:233-235.
- Cuartero, J. and F.M. Rafael. 1999. Tomato and salinity. *Sci. Hort.* 78:83-125.
- Flower, T.J., P.F. Troke, and A.R. Yeo. 1977. The mechanism of salt tolerance in halophytes. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 28:89-121.
- Gough, C. and G.E. Hobson. 1990. A comparison of the productivity, quality, shelf life characteristics and consumer reaction to the crop from cherry tomato plants grown at different levels of salinity. *J. Hort. Sci.* 65():431-439.
- Jobs, J.A., G.J. Hoffman, and J.D. Wood. 1981. Leaching requirement for salinity control. *Oat, tomato, and cauliflower. Agri. Water Manag.* 4:393-407.
- Li, Y.L., C. Stanghellini, and H. Challa. 2001. Effect of electrical conductivity and transpiration on production of greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). *Scientia Hort.* 88:11-29.
- Kebede, H., N. Martin, J. Nienhuis, and G. King. 1994. Leaf anatomy of two *Lycopersicon* species with contrasting gas exchange properties. *Crop Sci.* 34:108-113.
- Kinett, J.M. and M.M. Peet. 1997. Tomato, p. 227-245. In: H.C. Wien(ed.). *The physiology of vegetable crops.* CAB International.
- Martines, V., A. Cerda, and F.G. Fernandez. 1987. Salt tolerance of four tomato hybrids. *Plant & Soil* 97:233-242.
- Mass, E.U. 1985. Crop tolerance to saline sprinkler water. *Plant & Soil* 89:372-384.
- Mizrahi, Y. 1982. Effects of salinity on tomato fruit ripening. *Plant Physiol.* 69:966-970.
- Mizrahi, Y., E. Taleisnik, V. Kagan-Zur, Y. Zohar, R. Offenbach, E. Matan, and R. Golan. 1988. A saline irrigation regime for improving tomato fruit quality without reducing yield. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 113(2):202-205.
- Pasternak, D., Y. De-Malach, and I. Borovic. 1986. Irrigation with brackish water under desert condition. Effects of time of application of brackish water on production of processing tomatoes. *Agri. Water Mang.* 12:149-158.
- Perez-Alfocea, F., M.T. Estan, A.S. Cruz, and M.C. Bolarin. 1993. Effects of salinity on nitrate, total nitrogen, soluble protein and free amino acid levels in tomato plants. *J. Hort. Sci.* 68:1021-1027.
- 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.* 42:25-31.
- Yamaguchi, Y. 1989. Initiation mechanism on the salt tolerance of rice varieties. *Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr.* 60:210-219.