

Effect of High Concentrations of Sodium or Chloride Salts in Soil on the Growth of and Mineral Uptake by Tomatoes

Han Cheol Rhee* · Gyoung Hye Kang · Ki Bum Kweon · Yuong Han Choi · Hoe Tae Kim

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

Abstract

This study was conducted to investigate the effect of high concentration of sodium salts and chlorides in soil on the growth of tomato and the uptake of minerals. The growth inhibition rates of plant height and dry weight were different depending on salts, but they were not related to the electric conductivities (EC) and acidities (pH) in the soil solution. The orders of growth inhibition were Cl , SO_4 , CO_3 , $\text{PO}_4 > \text{NO}_3$ in the sodium salts series, and Na , K , Mg , $\text{NH}_4 > \text{Ca}$ in the chlorides. The growth inhibition rates of the sodium salts series tended to be larger than those of the chloride series. Yield was lower 30%~10% in the sodium salt and chloride series than in the control. Chlorophyll content, photosynthetic rate and stomatal conductance were lower in the sodium salts and chloride series than in the control. Mineral concentration was lower in sodium salts and chlorides than in control. The nitrate absorption was inhibited in all salts except for NaNO_3 and NH_4Cl , and specially in NaCl and Na_2SO_4 treatments of the sodium salts and in KCl treatment of chloride series. K concentration was reduced NaCl and Na_2SO_4 treatments compared with the other salts. In the sodium salt series, calcium and magnesium concentration were decreased antagonistically when sodium concentration was increased.

Key words: chlorophyll content, photosynthetic rate, stomatal conductance

*Corresponding author

서 언

토마토의 시설재배는 시설의 연속사용과 연작재배로 내부환경과 근권토양의 이화학성이 불량해져 생육장해가 빈번하게 발생하고 수량과 품질이 낮아지는 경우가 많다. 이러한 생육장해 원인 중의 하나가 염류집적이다. 염류집적은 재배관리면에서 보면 과도한 시비와 부적절한 토양관리 및 연작에 기인된다. 또한 시설내는 배수에 의한 염류의 용탈이 적고, 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 NaCl 함량은 다른 이온의 흡수를 억제하고(Yamaguchi, 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 이

온의 흡수를 억제하거나, Cl 이온 그 자체가 지나치게 많이 흡수되어 독성작용을 나타낸다(Mizrahi, 1982). Bresler 등(1982)은 Na 이온의 함량이 잎 건물중의 0.25% 이상이 되면 장해가 나타난다고 하였고, Mohammad(1994)는 Na 이온이 토양에 많이 있어도 식물체에 흡수되는 양은 Cl 이온에 비해 아주 적다고 하였다.

따라서 본 연구는 토양에 과잉 집적될 수 있는 NaCl 등의 Na 계와 KCl 등의 Cl 계의 염류가 토마토의 생육 및 무기성분 흡수에 미치는 영향을 비교 검토코자 수행되었다.

재료 및 방법

본 실험은 1999년 부산원예시험장의 유리온실에서 ‘하우스 모모타로’(Takii Seed Co., Japan) 품종을 공시하여 수행되었다. cell 당 부피가 50 cm^3 인 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 이용하여 육묘하였다. 토마토 전용 아마자키 처방 양액의 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 1~2개 개화가 된 묘를 1주씩 정식하였다. 토마토 전용 아마자키 처방의 표준 양액($\text{me} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 0.6 NH_4^+ , 7.0 NO_3^- , $2.0 \text{ H}_2\text{PO}_4^-$, 4.0 K^+ , 3.0 Ca^{2+} , 2.0 Mg^{2+} 및 2.0 SO_4^{2-})을 정식 1일 전 및 제3화방 개화기에 각각 1회씩 공급하였다. 처리 내용은 무처리(이하 대조구), NaCl, Na_2SO_4 , NaHCO_3 , NaNO_3 , Na_2HPO_4 , MgCl_2 , CaCl_2 , KCl , NH_4Cl 으로 각각 20 mM씩 양액을 공급한 후 처리하였다. 그후 관수는 1일 1회씩 오전 10경에 실시하였다. 수확 후 처리 당 10주씩 3반복으로 식물체를 채취하여 지상부와 뿌리를 나누어 각각의 생체중을 측정한다. 시료를 80°C 건조기에서 32시간 건조한 후 건물중을 측정하고 건물율을 환산하였다. 또한 건조된 식물시료를 분쇄기로 마쇄하여 무기양분분석에 사용하였다. 시료 1 g씩 평량하여 질소는 Kjeldahl법(1030 analyzer, Kjeltec Auto)으로, 그리고 인산은 Vanadate법으로 분해하여 비색계(UV/VIS spectrophotometer, Lambda 18, Perkin Elmer)를 이용하여 측정하였다. 그리고 K, Ca 및 Mg는 tenery solution으로 분해한 후 원자 흡광 분광광도계(atomic absorption spectrophotometer 3300, Perkin Elmer)로 분석하였다. 아침 6시경에 pressure chamber(3015G2, Soil Moisture Equipment Co., USA)를 이용하여 “새벽녘 잎 수분포텐셜”을 측정하였으며, 각 처리당 3반복씩으로 제 1화방 상위엽을 채취하여 플라

스틱 봉지에 봉인한 다음, 암실에 24시간 동안 보관하여 포화상태가 되게 하였다. 다음날 pressure chamber를 이용하여 잎의 수분포텐셜을 측정하였다. 광합성 속도 및 기공 전도도는 portable photosynthesis analyzer(LI-6400, LI-COR, USA)를 이용하여 최선단의 2엽에서 측정하였다. 처리 후 30일의 오전 10시부터 11시 30분까지 잎당 10회씩, 그리고 처리당 3주씩 3반복으로 조사하였다. 엽록소 함량은 SPAD meter(SPAD502, Minolta, Japan)를 이용하여 측정하였으며, 값은 SPAD unit로 상대값을 산정하였다.

결과 및 고찰

각 염류를 처리한 후 20일까지는 잎에 황백화 현상이 가시적으로 나타나지 않았으나, 염 처리 30일 이후에는 NaCl, KCl, MgCl_2 및 CaCl_2 처리구에서 제1엽 및 제2엽의 가장자리에서 경미하게 황백화 현상이 일어나는 것을 관찰할 수가 있었다. 이러한 결과는 Cl 염을 함유한 처리구에서 일어났다.

Tsuneo(1996)는 오이에서도 본 실험과 같은 결과를 얻었으며, 잎에 Cl의 축적에 의하여 엽록소의 파괴나 분해가 일어나는 것으로 보고하였다. 그러나 본 실험에서는 NH_4Cl 처리구에서는 황백화 현상이 일어나지 않아 NH_4 이온 효과에 대한 연구가 더 필요한 것으로 생각되었다. Table 1은 염 종류에 따른 토마토의 생육을 나타낸 것이다. 토마토의 초장은 대조구가 138 cm로 가장 길어 다른 모든 염 처리구보다 8~18 cm 이상 차이를 나타냈다. 염 처리구에서는 NaCl과 Na_2

Table 1. Effect of high concentrations of sodium or chloride salts in soil on the plant height, fresh weight, dry weight, % dry matter and root fresh weight of tomato plants.

Salt	Plant height (cm)	Fresh weight (g)	Dry weight (g)	Dried matter rate (%)	Root fresh weight (g)
Control	138.0 a ^c	730 a	86.4 a	11.2 b	52.4 a
NaCl	120.3 c	450 d	56.0 e	12.5 a	43.2 c
Na_2SO_4	123.8 c	540 c	64.8 d	12.1 a	45.3 bc
NaHCO_3	130.5 b	595 c	71.4 c	12.2 a	46.2 b
NaNO_3	133.3 b	670 b	85.2 a	12.4 a	46.5 b
NaH_2PO_4	129.3 b	665 b	79.8 b	12.0 a	44.8 bc
MgCl_2	129.5 b	580 c	69.6 c	12.2 a	46.8 b
CaCl_2	128.3 b	650 b	78.0 b	12.3 a	47.1 b
KCl	129.0 b	540 c	64.8 d	12.4 a	42.6 c
NH_4Cl	129.5 b	595 c	71.4 c	12.0 a	44.9 bc

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

Table 2. Effect of high concentrations of sodium or chloride salts in soil on the fruit count, mean fruit weight and yield per plant of tomatoes.

Salts	Fruit count per plant	Mean fruit weight (g)	Yield per plant (g)
Control	17.7 a ^z	229.2 a	3,349 a
NaCl	13.0 c	170.1 c	2,211 c
Na ₂ SO ₄	15.0 b	183.3 c	2,750 b
NaHCO ₃	17.3 a	181.0 c	2,911 a
NaNO ₃	15.5 b	201.3 b	3,223 a
NaHPO ₄	16.5 b	176.4 c	3,121 a
MgCl ₂	13.8 c	201.4 b	2,753 b
CaCl ₂	17.3 a	193.2 bc	3,258 a
KCl	15.3 b	159.9 d	2,715 b
NH ₄ Cl	16.8 a	167.0 d	3,172 a

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

SO₄ 처리구에서 각각 120.3 cm 및 123.8 cm로 타 처리구에 비해 유의적으로 짧았으나, 다른 염 처리구 간에는 유의차는 없었다. 식물체의 생체중 및 건물중은 대조구에서 각각 730 g 및 86.4 g으로 타 처리구에 비해 유의적으로 적었다. 그리고 염 처리구에서는 NaCl 및 KCl 처리구가 다른 처리구에 비해 가벼웠다. 뿌리의 생체중은 지상부의 생체중과 같은 경향으로 NaCl 및 KCl 처리구에서 각각 43.2 g, 42.6 g으로 타 처리구에 비해 유의적으로 적었다. 대조구에 비해 모든 염 처리구의 저조한 생육은 토양내의 높은 염류에 의해 수분흡수가 억제되고, 그 결과 기공이 닫히고 광합성 속도가 낮아진 것(Table 3)이 한 요인으로 작용한 것으로 판단되었다. 그리고 NaCl과 KCl 처리구의 저조한 생육은 광합성 속도의 저하와 더불어 무기이온의

흡수억제와 Cl 이온의 과잉흡수에 의한 것이며, Rhee 등(2001)의 결과가 이를 뒷받침한다. 식물체의 건물중은 모든 염 처리구가 대조구보다 높은 경향을 보였는데, 이는 식물체의 수분흡수억제의 영향이 큰 것으로 생각되었다.

Table 2는 염 종류에 따른 토마토의 주당 착과수, 평균과중 및 수량을 나타낸 것이다.

주당 착과수는 대조구, NaHCO₃, CaCl₂ 및 NH₄Cl 처리구에서는 17.7~16.8개로 각 처리간에 유의적인 차이가 없었으나, NaCl 및 MgCl₂ 처리구에서는 타 처리구에 비해 유의적으로 적었다. 평균과중은 대조구에 비해 여타 처리구에서 유의적으로 낮았다. 그러한 결과로 주당 수량은 대조구(3,349 g) 보다 모든 염 처리구에서 30~10% 감소하였으며 NaCl 처리구에서 가장 적었다. 염 처리구의 착과수와 평균과중은 상위화방으로 갈수록, 즉 염 처리기간이 길수록 더 적고 작았다. 토마토 생육 억제에 대한 각 염류의 영향하는 정도는 Na 계열에서는 Cl, SO₄, HCO₃, PO₄ > NO₃, 그리고 Cl 계열에서는 Na, K, Mg, NH₄ > Ca 순으로 컸으며 전자가 후자보다 컸다. Shimada(1969)는 무기 염 종류에 대한 생육 반응을 양액재배로 시험한 결과, Cl 계열에서는 MgCl₂, NH₄Cl 처리구에서, 그리고 Na 계열에서는 Na₂SO₄, Na₂HPO₄ 처리구에서 오이의 생육이 매우 억제되었다고 하였다. 그러나 본 시험에는 Na계열의 Na₂SO₄ 처리구에서 토마토 생육이 매우 억제되었으나 Na₂HPO₄, MgCl₂, NH₄Cl 처리구에서는 생육저해정도가 비교적 적었다. 이는 작물의 종류가 다른 원인도 있겠지만, 수경 혹은 사경재배에 비해 토경

Table 3. Effect of high concentrations of sodium or chloride salts in soil on the water potential, chlorophyll content, stomatal conductance and photosynthetic rate of tomato plants.

Salts	Water potential (-MPa)	Chlorophyll content (SDAD unit)	Stomatal conduct. (mol H ₂ O · m ⁻² · S ⁻¹)	Photosynthetic rate (μmol CO ₂ · m ⁻² · S ⁻¹)
Control	0.07 b ^z	52 a	0.28 a	12.1 a
NaCl	0.12 a	46 b	0.18 c	6.8 c
Na ₂ SO ₄	0.13 a	45 b	0.16 d	6.7 c
NaHCO ₃	0.09 b	43 b	0.21 bc	9.5 b
NaNO ₃	0.11 a	51 a	0.24 ab	9.5 b
NaHPO ₄	0.07 b	48 ab	0.19 c	8.9 b
MgCl ₂	0.08 b	45 b	0.20 b	10.1 ab
CaCl ₂	0.08 b	46 b	0.23 b	8.6 b
KCl	0.13 a	41 c	0.18 c	6.7 c
NH ₄ Cl	0.08 b	53 a	0.25 ab	8.8 b

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

재배가 Na_2HPO_4 처리구에서는 인산고정능력이 큰 것에 기인하는 것으로 생각되었다. 그리고 CaCl_2 , MgCl_2 처리구에서는 토양의 양이온 흡착능력이 Ca나 Mg가 K나 Na 보다도 크기 때문에 그 영향이 적었던 것으로 생각되었다.

Table 3은 염 종류에 따른 잎의 엽록소 함량, 광합성속도 및 수분포텐셜을 나타낸 것이다.

잎의 엽록소 함량은 NaNO_3 및 NH_4Cl 처리구를 제외한 여타 처리구에서 대조구보다 낮았다. NaNO_3 및 NH_4Cl 처리구에서 엽록소 함량이 대조구와 같은 수준으로 유지되었는데, 이러한 결과는 Grattan과 Grieve (1999)의 실험에서도 같은 결과를 보여 NaNO_3 및 NH_4Cl 처리구에서 질소의 공급원이 엽록소의 합성과 관련이 있는 것으로 추측되었다. 잎의 광합성 속도는 모든 염 처리구에서 대조구보다 낮았으며, NaCl이나 KCl 처리구가 여타 염처리구보다 더욱 낮았다. 모든 염 처리구의 광합성 속도가 낮아지는 정도와 엽록소 함량의 낮아지는 정도와는 일치하지 않았다. 이러한 결과에서 염 처리에서 광합성 속도의 증감은 엽록소 함량보다는 잎의 수분포텐셜과 기공 전도도가 더 관련이 있는 것(Table 3)으로 추측되었다. 특히 NaCl이나 KCl 처리구의 낮은 광합성 속도는 작물의 생육억제에 크게 영향을 준 것으로 판단되었다.

Table 4는 토마토 수확 후 토양의 pH, EC 및 Cl 함량을 나타낸 것이다. 토양의 pH는 NaHCO_3 , NaHPO_4 및 KCl 처리구가 6.54~6.75로 가장 높았으나 비교적 작물의 생육이 양호한 대조구가 pH 6.1이고 여타 처리구에서는 pH 6.0 전후였다. 작물의 생육에 적합한 토

Table 4. Effect of high concentrations of sodium or chloride salts in soil on pH, EC and Cl content of soils.

Salts	pH	EC ($\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$)	Cl ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ dry soil)
Control	6.13 b ²	0.76 e	62 b
NaCl	5.72 c	3.71 a	4,568 a
Na_2SO_4	5.64 c	2.84 c	78 b
NaHCO_3	6.54 a	1.63 d	86 b
NaNO_3	5.98 b	3.52 b	78 b
NaHPO_4	6.64 a	1.65 d	75 b
MgCl_2	5.82 b	3.57 b	4,534 a
CaCl_2	5.91 b	3.85 a	4,621 a
KCl	6.75 a	3.12 b	4,612 a
NH_4Cl	6.12 b	3.46 b	4,236 a

²Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

양 pH가 5.5~6.5이나 생육이 억제된 염처리구도 이 범위에 있는 것으로 미루어 보아 토양 pH가 생육억제에 크게 관여하지는 않은 것으로 생각되었다. 토양의 EC는 대조구가 $0.75 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 였고 다른 염처리구에서는 $3.5 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 전후로 매우 높았다. 그러나 NaHCO_3 및 MgCl_2 처리구에서는 토양 EC가 $1.6 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 으로 다른 염처리구에 비해 매우 낮았다. 본 실험에서 NaHCO_3 및 MgCl_2 처리구는 토양의 EC가 낮지만 작물의 생육이 억제되지 않아 이에 대한 세밀한 연구가 필요할 것으로 생각되었다. 건토당 Cl 함유율은 대조구 및 Na 계열에서는 $62 \sim 82 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 였으나 Cl 계열에서는 $4,500 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 정도로 높았으며 염처리간에는 차이가 없었다.

Table 5는 엽경 무기성분 함량을 나타낸 것이다. 무

Table 5. Effect of high concentrations of sodium or chloride salts in soil on the concentration of inorganic salts of tomato plants.

Salts	T-N(%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	P (%)	Na (%)	Cl (%)
Control	7.5	7.6	3.5	1.5	2.9	0.2	0.01
NaCl	5.5	5.5	2.2	0.8	2.5	4.5	0.75
Na_2SO_4	6.0	3.5	2.5	1.4	2.6	4.2	0.01
NaHCO_3	5.8	5.5	1.5	1.5	2.5	3.5	0.02
NaNO_3	12.0	6.0	1.5	0.8	2.5	3.5	0.01
Na_2HPO_4	8.0	5.6	1.2	0.6	5.0	3.5	0.02
MgCl_2	8.0	4.5	1.1	1.8	2.5	0.2	0.78
CaCl_2	8.5	7.8	4.4	1.2	2.6	0.1	0.75
NH_4Cl	7.3	6.5	1.2	0.2	2.6	0.1	0.86
KCl	6.0	8.5	0.5	0.1	2.5	0.1	0.92

기양분 함량은 대조구보다 모든 염류에서 대체적으로 낮은 경향이였다. N 함량은 NaNO_3 , NH_4Cl 및 대조구가 11% 내외로 가장 높았으나 Na 계열에서는 NaCl 및 NaHCO_3 처리구가, Cl 계열에서는 KCl 처리구가 5.5~6.0% 내외로 낮았다. K 함량은 Cl 계열보다 Na 계열이 적었으며, 특히 NaCl 과 Na_2SO_4 처리구에서 더욱 낮았다. Na 계열에서 K 함량이 적은 것은 두 이온의 길항작용에 의하여 흡수가 억제된 것으로 생각되며 Tsuneo(1996)는 오이의 염류시험에서도 같은 결과를 보고하였다. Mg 및 Ca 함량은 대조구보다 낮았으며, NaCl 과 KCl 처리에서 매우 낮아 Na 및 K 이온과 상당한 길항관계를 보였다. 전반적으로 각 이온의 흡수는 KCl 및 NaCl 처리구에서 가장 낮은 경향이였으며, 생육도 가장 억제적이었다. Tamura(1992)는 NaCl 에 의한 팔의 초기생육 억제는 Na 이온보다 Cl 이온의 영향이 크다고 보고하였다. 그러나 본 실험에서는 Na 이온이 Cl 이온보다 토마토의 생육에 더 억제적이었으며, Cl 계열의 생육억제는 Cl 이온의 독소로서의 작용보다는 Cl 계열에 있는 양이온의 흡수억제에 기인하는 것으로 생각되었다. Swano(1976)는 고농도 염에 의한 작물 생육장해의 첫째 원인으로서는 ‘고농도의 염을 구성하는 원소에 의한 특이한 생육장해’를 들었으며, 본 실험에서도 같은 결과를 얻었다.

Literature Cited

1. Boyer, J.S. 1970. Leaf enlargement and metabolic rates in corn, soybean and sunflower at various leaf water potentials. *Plant Physiol.* 46:233-235.
2. Bresler, E., B.L. McNeal, and D.L. Carter. 1982. Saline and sodic soils. Principle-dynamics modeling, Springer-Verlag, Berlin.
3. Grattan, S.R and C.M. Grieve. 1999. Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops, *Sci. Hort.* 78: 127-157.
4. Mizrahi, Y. 1982. Effects of salinity on tomato fruit ripening. *Plant Physiol.* 69:966-970.
5. Mohammad, P. 1994. Handbook of plant and crop stress. Marcel Dekker Press, New York. p. 235-250.
6. 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.
7. Shimada, G. 1969. Effects of salts concentrations on the growth of plant. *Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr.* 40:26-31.
8. Swano, D. 1976. Mechanisms on the salt tolerance of plants. *Chemistry and Biology* 21:439-445.
9. Tamura Y. 1992. Effects of Cl induced NaCl on the early growth and rooting of red bean. *Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr.* 63:411-414.
10. Tsuneo, M. 1996. Effect of high concentrations of sodium salts or chlorides in soil on the growth and mineral uptake of cucumber plants. *Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr.* 67:377-382.
11. Yamaguchi, Y. 1989. Initiation mechanism on the salt tolerance of rice varieties. *Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr.* 60:210-219.

토양에의 고농도 Na 및 Cl 염류가 토마토의 생육 및 무기성분 흡수에 미치는 영향

이한철* · 강경희 · 권기범 · 최영하 · 김희태

영남농업시험장 부산원예시험장

적 요

본 연구는 토양에의 고농도 Na 및 Cl 염류처리가 토마토의 생육과 무기성분 흡수, 광합성 속도 및 수분 포텐셜에 미치는 효과를 검토코자 수행되었다. 초장, 생체중, 건물중 등 생육은 대조구에 비해 모든 염 처리구에서 억제되었으나, 토양의 pH와 EC와는 관계가 없었다. 토마토의 생육억제 효과는 Na 계열에서는 Cl, SO₄, CO₃, PO₄, NO₃ 순으로, 그리고 Cl 계열에서는 Na, K, Mg, NH₄, Ca 순으로 컸으며, Na 계열이 Cl 계열보다 컸다. 토마토의 수량은 대조구보다 모든 염 처리구에서 30%~10% 적었으며, 특히 NaCl 처리구에서 더욱 적었다. 엽록소 함량, 광합성 속도, 기공전도도는 대조구에 비해 염 처리구에서 낮았다. 무기양분 함량은 대조구보다 모든 염류에서 낮았다. N 함량은 NaNO₃, NH₄Cl 및 대조구가 11% 내외로 가장 높았으나 Na 계열에서는 NaCl 및 NaHCO₃ 처리구가, Cl 계열에서는 KCl 처리구가 5.5~6.0% 내외로 낮았다. K 함량은 Cl 계열보다 Na 계열이 적었으며, 특히 NaCl과 Na₂SO₄ 처리구에서 더욱 낮았다. Mg 및 Ca 함량은 대조구보다 낮았으며, NaCl과 KCl 처리에서 매우 낮아 Na 및 K 이온과 상당한 길항관계를 보였다. 전반적으로 각 이온의 흡수는 KCl 및 NaCl 처리구에서 가장 낮은 경향이었다.

주제어 : 엽록소 함량, 광합성 속도, 기공전도도