

염분에 대한 콩의 생리학적 반응지표 연구

천상욱* · 박종환¹⁾

동신대학교 생물자원산업화지원센터*, 그린2000¹⁾
(2003년 3월 14일 접수, 2003년 6월 24일 수리)

Parameters on Physiological Responses of Soybean (*Glycine max* Merr.) to Salinity

Sang-Uk Chon* and Jong-Hwan Park¹⁾ (Biotechnology Industrialization Center, Dongshin University, Naju 520-811, Korea, ¹⁾Green 2000, Dongshin University, Naju 520-811, Korea)

ABSTRACT : The mechanism imparting salt tolerance to crop plants remains still unsolved, although soybean has been classified as a susceptible plant to NaCl. To determine optimum parameters on physiological responses for improving sensitivity of salinity in breeding program, soybean (*Glycine max* Merr., cv. "Gwan-gan") plants were grown in a greenhouse, treated 20 days after emergence for 7 days with NaCl at 0, 30, 60, and 90 mM, corresponding to electric conductivity of 1.2, 4.4, 7.3, and 10.4 dS/m, respectively, and assessed 30 days after treatment. Chlorophyll contents were significantly decreased by NaCl (0.4~1.0 mg/g) compared to control (1.2 mg/g). Photosynthesis rate by NaCl treatment at 0~90 mM at flowering stage was ranged from 5.0 (control) to 9.6 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Oxygen for respiration was consumed from 5.4 to 9.7 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ so that the ratio of O_2 (evolution:consumption) was increased with the increase of NaCl, indicating that O_2 consumption seems to go beyond O_2 evolution. Water potential of leaf at vegetative stage II was ranged from -0.6 to -1.8 MPa and the highest level was observed at mid-day. Water potential by salt stress was decreased with range of -2.1~-2.7 MPa compared to control. Transpiration was decreased from 17% to 20% by NaCl stress. Water vapor diffusing resistance of intercellular air space was affected significantly, increasing up to 16~24% compared to control by NaCl treatment. Salt-treated soybean tended to accumulate Na^+ , specially in root, with reduced absorption of N, P, K^+ , Ca^{2+} , and Mg^{2+} contents. Free proline content of soybean leaf as affected by different NaCl concentrations was increased 4.2 times (184~434 $\mu\text{g}/\text{g}$) more than control. NaCl also increased activities of nitrate reductase and peroxidase by 28~161% and 3~22%, respectively. The results show that physiological characteristics of soybean plants during assay were useful as the best parameters of salt stress or salt tolerance test to improve sensitivity in screening and breeding program among cultivars or germplasms.

Key words: physiological characteristics, salinity, soybean.

서론

간척지 등의 염류 토양은 염도가 높고 Na와 Cl의 함량이 극히 높아 작물생육에 대단히 불리한 여건이라 할 수 있다. 과거 오랫동안 염해반응 연구에 있어서 내염성 기작을 구명해 왔고 다양한 변이들을 조사해 왔다. 작물의 내염성 정도는 보통 상대적인 식물 성장 및 수량의 비율로 사용되고 있으나, 내염성 기작의 복잡성과 염해 반응의 다양성 등으로 단순화하는 것은 곤란하다고 본다. 염분 조건에서 작물의 다양한 피해정도 또는 피해과정 등 내염성 연구는 염분이 녹아 있는 물의 이용성 증대는 물론 염분이 높은 토양의 효율적인 활용

에 대한 대책을 수립할 수 있을 것이다. 또한 현 단계에서 보다 발전시키려면 한 식물체내에서 생리적인 염해 반응들을 통합하여 명확히 이해되어야 하고 염에 대해 적응하려는 조 절기작이 구명되어야 할 것이다.

염분 하의 식물은 엽록소 함량이 감소되며 그 대사작용과 생육에 영향을 받게 된다. 특히 염분이 처리된 벼는 무처리에 비하여 11% 정도의 엽록소 함량이 감소하였고¹⁾, 200 ppm의 Cl^- 농도에서 콩 잎의 백화현상이 나타나며 엽록소 함량이 유의적으로 감소하는 것으로 보고되었다²⁾. 염해는 토양용액에서 삼투능력이 감소됨으로 해서 식물이 생리적 한발을 유발하며³⁾ 수분장해가 발생되어 동화산물의 전류장해로 엽록체 내의 엽분의 축적이 일어나며 탄소고정 반응계에 관여하는 효소에 있어서 혼란이 유발되고⁴⁾, ATP합성이 왕성해지고⁵⁾, 기공이 폐쇄된다고 보고되고 있다^{6,7)}. Dettori⁸⁾는 식물의 수분 상태를 알 수 있는 중요한 척도로 기공전도도, 잎의 수분 포

*연락처:

Tel: +82-61-336-3109 Fax: +82-61-336-3118
E-mail: chon811@netian.com

텐셀 및 증산율이라 하였으며 수분장해의 경우 기공저항은 기공을 폐쇄하여 광합성 활동을 감소시킴으로 특히 중요하다 하였다. Cramer 등⁹⁾과 Lynch와 Lauchli¹⁰⁾는 염분에 의해 식물의 Ca^{2+} 와 K^+ 의 흡수가 저해되며 Gouia 등¹¹⁾도 Ca^{2+} , K^+ 및 Mg^{2+} 도 염분에 의해 흡수가 저해된다고 보고한 바 있다. 작물별로는 내염성의 차이는 있지만 대체로 염분처리에 따라서 체내 proline 축적량의 변화 등이 중요한 지표가 될 수 있음을 보고한 바 있다¹²⁻¹⁴⁾. 한편 Nitrate reductase 활성에 대한 NaCl의 영향은 Misra와 Dwivedi¹⁵⁾의 보고에서 언급하였듯이 녹두에 있어서 염분 농도의 증가에 따라 활성은 증가된다고 주장하는 반면 Bourgeais-Chailou 등¹⁶⁾에 의하면 콩 잎에서 NaCl은 별 영향을 받지 않았고 뿌리에서 약간 촉진되었다는 상반된 보고가 있다.

재래품종에 내염성 형질을 도입시키는 육종방법을 통해 내염성 작물을 개발하려는 연구들이 있는데 염분에 대한 유전적인 적응은 그 목표로 하는 작물 내에 충분한 유전변이가 존재해야 한다는 것이 필수적인데 몇몇 유용한 변이들이 관찰되어지고 있고 체세포 선발에 의하여 내염작물의 유전형질을 얻거나 원형질융합과 DNA조작에 의한 내염성 작물을 얻기 위한 노력들이 있다¹⁷⁻¹⁹⁾.

따라서 본 연구는 간척지에서 콩의 정상적인 생산을 위한 내염성 품종의 육성과 염해 경감을 위한 재배방법의 개발에 필요한 생리학적 산정기준에 관한 기초자료를 얻을 목적으로 염분농도에 따른 잎의 생리적 반응 그리고 양이온 함량, 유리 proline의 함량 및 효소활성을 조사하였다.

재료 및 방법

재배조건

본 연구는 전남대학교 농업생명과학대학의 유리온실에서 수행하였으며, 식물재료로는 농촌진흥청에서 나물용 우량품종으로 선발되어 전국에서 재배가 가능한 '광안콩'을 공시하여 발토양으로 충전된 사각 포트(36L×24W×23H)에 2 cm 깊이로 파종하여 포트당 2본씩 6주를 생육시켜 실험 재료로 사용하였다. 시비는 N, P_2O_5 및 K_2O 를 유효성분으로 각각 10a당 4, 7 및 6 kg을 전량 기비로 사용하였다. 본 시험에 사용된 토양의 물리 화학성은 다음 Table 1과 같다.

토양의 염처리는 순수 NaCl을 이용하여 출현 후 20일 째에 이루어졌고 전기전도도로 1.2, 4.4, 7.3, 10.4 ds/m에 해당하는 0, 30, 60, 90 mM의 NaCl을 4수준으로 7일간 각각 처리하였다. 처리 후 30일 째 염분처리에 따른 생리학적 특성 조

Table 1. The general properties of soil used in pot experiments

pH	OM	T-N	Avail. P_2O_5	C. E. C.	Ex. cation (me/100 g)		
(1.5 H ₂ O)	(%)	(%)	(mg/kg)	(me/100 g)	K	Ca	Mg
6.23	0.65	0.08	76.2	10.9	0.63	5.3	7.2

OM, Organic matter; C.E.C., Cation exchange capacity.

사를 실시하였다.

염분에 대한 생리학적 특성 변화

엽록소 함량 측정

엽록소 함량은 각 농도별로 처리된 콩의 제 4엽을 4 g씩을 취하여 80% acetone에 넣고 3일간 암소에 방치한 후 분광광도계(Ultrospec 400, Pharmacia Biotech, USA)를 이용하여 흡광도 648과 664 nm에서 각각 측정하여 엽록소 a와 b의 함량을 다음과 같이 산출하였다²⁰⁾.

$$\text{Chl. a} = 13.16 \times A_{664} - 5.19 \times A_{648}$$

$$\text{Chl. b} = 27.43 \times A_{648} - 8.12 \times A_{664}$$

광합성 및 호흡량 측정

광합성 및 호흡량은 산소전극(Renk Brothers Model 10, England)을 이용하여 측정하였다. 반응조에 완충액 (0.5 mM $CaSO_4$ 가 포함된 50 mM HEPES buffer pH 7.2) 3 mL를 넣고 교반기는 반응액 중의 용존산소량을 안정시킨 후 콩 잎을 직경 6 mm로 절단하여 진공펌프로 가라앉힌 후 절편 10개를 넣고 광합성 기질로 0.625 M $NaHCO_2$ 100 μ L을 넣고 광을 조사하여 광합성 반응을 개시시켜 10분간 증가되는 용존산소량을 기록하여 광합성량 (μ mol O_2 /m²/s)을 산출하였다. 호흡량은 광을 차단하기 위하여 반응조를 검은 천으로 덮고 난 다음 용존 산소량이 감소되는 양을 측정하여 산출하였다.

수분 potential, 증산량 및 기공저항

Pressure chamber (PMS, USA)를 이용하여 각 농도별로 염분을 처리한 후에 제 4엽의 수분 potential을 측정하였는데 완전히 전개된 잎을 잘라 gasket에 끼워 chamber에 고정시킨 후 압력을 가하여 자른 표면에 기포막이 형성될 시점의 수분 상태를 측정하였다. 증산량과 기공저항은 청명한 날에 Steady State Porometer (LI-1600, USA)로 최상위 완전 전개엽(제 4엽)의 중앙 부위 선단의 이면이 chamber 밑으로 향하도록 clamp에 끼워 고정시키고 chamber를 수평이 되게 하여 2시간 간격으로 4반복 측정하여 1일 변화를 조사하였다. 한편 콩 잎의 수분증산 저항을 기층, 기공 및 잎 경계층으로 나누어 각각 측정하였다.

염분에 대한 무기이온 함량, 유리 Proline 함량 및 효소활성 변화

무기이온 함량

총 질소량(T-N)은 식물체 분해액을 잘 혼합하여 그 중 10 mL를 semimicro-Kjeldahl flask에 넣고 45% NaOH 10 mL를 가하고 수증기 증류에 의해 증류하였고 수기로 2% Boric acid 10 mL를 사용하였으며 0.05 N H_2SO_4 를 사용하여 적정하고 다음 식에 의해 계산하였다.

$$\% = (T-B) \times f \times 0.05 \times 14 \times 100 / 500 \times 1 / 10 \times 100$$

(T: 황산표준액의 적정(mL수), B: Blank의 황산표준액 mL수, f: 황산표준액의 보정치(factor))

인산의 정량은 표준용액을 40°C에서 건조한 KH_2PO_4 0.2195 g을 평량하여 400 mL의 증류수에 용해하고 5 mL의 H_2SO_4 를 가한 후 1 L로 만들어 사용하였고, Vanadate용액은 25 g의 ammonium molybdate를 400 mL 증류수에 용해하고 따로 1.25 g의 ammonium meta vandate를 300 mL 증류수에 용해하고 250 mL의 HNO_3 를 가한 다음 냉각시키고 두 용액을 합쳐 1 mL를 만들어 사용하였다. 식물체 분해액 10 mL를 50 mL mess flask에 취하고 10 mL의 vanadate용액을 가하고 15분 후에 파장 470 nm에서 흡광도를 측정하고 다음 식에 의해 계산하였다.

$$\text{ABS} \times \text{STD} / \text{ABS} \times 100 / 0.5 \times 2.29 \div 10.000 \times \text{희석 배수} = \%$$

K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , 및 Mg^{2+} 정량은 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{H}_2\text{O}_2$ 습식 분해법을 이용하여 시료를 분해하였고 분석은 농촌진흥청 표준분석법²¹⁾에 따랐다. 시료 0.5 g을 100 mL micro-Kjeldahl flask에 평취한 후 H_2SO_4 5 mL를 가해 시료를 적신 다음 분해대에 놓고 낮은 온도에서부터 가열하여 분해하면서 H_2O_2 0.5 mL씩 넣으면서 점차 온도를 올려 백색으로 투명하여 질 때까지 분해하였다. 분해 후 냉각시키고 No. 7 여과지를 써서 100 mL mess flask에 여과하고 여액을 무기이온 정량에 사용하였다. 정량은 원자흡광도계 (Perkin-Elmer 2380, USA)를 이용하여 Ca^{2+} 는 422.7 nm, Mg 는 285.2 nm, K^+ 는 적색 광전관으로 768 nm에서 Na^+ 는 청색광 전관으로 589 nm에서 각각 측정하고 표준곡선에서 측정값을 찾았다.

유리 proline 함량

Bates 등²²⁾의 방법을 간편하게 변형하여 유리 proline을 측정하였다. 진탕관에 시료 150-200 mg과 Permutit resin 1.5 g 정도를 넣은 후 MCW(Methanol : Chloroform : Water=12 : 5 : 3, v/v) 용액 5 mL를 넣고 실온에서 마쇄한다. 마쇄한 시료에 증류수 8 mL를 첨가하여 혼합한 후 2000 rpm으로 10분간 원심 분리하여 그 상등액을 비등관에 옮겨 빙초산 5 mL와 ninhydrin reagent 5 mL를 넣고 수조에서 정확히 45분간 끓여 실온에서 냉각한 다음 toluene 5 mL를 첨가 교반한 후 30분간 정치하고 흡광도계를 520 nm에서 측정하였다. 표준시약은 L-proline을 사용하였다.

Table 2 Effects of NaCl on the chlorophyll content of soybean treated with salt for 30 days

NaCl concentration (mM)	Chlorophyll (mg/g fw.)		
	a	b	Total
0	0.8970	0.3663	1.2633(100) ^{a)}
30	0.8333	0.3730	1.1763(85)
60	0.6167	0.2635	0.8792(61)
90	0.3933	0.1467	0.5390(48)
LSD (0.05)	0.2960	0.1870	0.5486

^{a)} (); % to the control (0 mM).

Nitrate reductase (NR) 및 peroxidase (PO) 활성

잎을 채취하여 증류수로 씻은 후 폭이 1 mm정도로 잘게 잘라서 0.5 g을 비이커에 넣고 0.1 M phosphate buffer(pH 7.5)와 계면활성제인 propanol을 3%가 되도록 가한 후 광에 의한 질소의 환원을 억제하기 위해 aluminium foil로 광을 차단하였다. 이것을 30°C 수조에서 30분간 반응시킨 후 반응액 1.5 mL를 micropipette으로 취하여 시험관에 옮긴 다음 1% sulfanilamide ($\text{C}_6\text{H}_5\text{N}_2\text{O}_2\text{S}$)와 0.02% N-(1-Naphthyl)ethylenediamine dihydrochloride ($\text{C}_{12}\text{H}_{14}\text{N}_2\cdot 2\text{HCl}$)이 함유된 3 N HCl을 1 mL 넣어 방치한 후 분광도계를 이용하여 540 nm에서 흡광도를 측정하였으며 KNO_2 를 표준물질로 하여 정량하였다²²⁾. 한편 POX는 0.1 M potassium phosphate buffer(pH 7.5) 94 mL에 1% H_2O_2 4 mL와 guaiacol 1 mL를 첨가하여 섞은 후 이 용액 3 mL를 cuvette에 넣고 희석한 조효소액(식물체 0.25 g을 0.1 mM EDTA를 함유한 50 mM potassium phosphate buffer (pH 7.8)로 조제된 조효소 추출액 5 mL로 마쇄하여 4°C에서 15분간 8000 g으로 원심 분리한 상등액) 100 μL 를 넣어 혼합한 후 25°C에서 470 nm의 흡광도 변화를 1분간 측정하였다. 1 mole of tetraguaiacol의 생성에는 4 mole의 H_2O_2 가 필요하며 tetraguaiacol의 흡광계수는 470 nm에서 26.6 mM/cm 이었다.

결과 및 고찰

염분에 대한 생리학적 특성 변화

엽록소 함량

엽록소는 a, b 그리고 총 함량 모두에서 무처리의 엽록소 함량 1.26 mg/g보다 30~90 mM에서는 각각 1.2~0.4 mg/g으로 염분 농도가 증가함에 따라 그 감소 폭이 커져 90 mM 농도에서는 엽록소의 함량이 52% 감소하였다(Table 2).

광합성 및 호흡량

산소전극을 이용하여 산소생산량에 근거한 잎의 광합성능력을 측정할 결과 대조구는 초당 m^2 당 9.6 μmol 을 생산하였으나 염분처리에서는 30~90 mM에서 각각 6.9~5.0 μmol 을 생산하여 염분농도의 증가에 따라 광합성 능력이 현저히 감소되었다. 한편 호흡은 대조구가 9.7 μmol 인데 염처리구에서는 8.1~6.4 μmol 을 소모하여 O_2 생산과 O_2 소모의 비는 각각의 농

Table 3. Effects of NaCl on the photosynthesis and respiration of soybean leaves treated with different NaCl concentrations at the 50th day after emergence

NaCl concentration (mM)	Photosynthesis	Respiration	O_2 consumption
	($\mu\text{mol O}_2/\text{m}^2/\text{s}$)	($\mu\text{mol O}_2/\text{m}^2/\text{s}$)	O_2 evolution
0	9.6 (100)	9.7 (100)	1.01 (100) ^{a)}
30	6.9 (72)	8.1 (84)	1.17 (116)
60	6.1 (64)	7.6 (78)	1.25 (123)
90	5.0 (52)	6.4 (66)	1.28 (127)

^{a)} (); % to the control (0 mM).

도처리에서 16~27% 증가하는 결과를 보였다(Table 3). 따라서 염분의 처리농도에 따라 광합성과 호흡량 각각이 최대 48%와 34%로 감소되어 광합성에서 생산된 O₂보다 호흡에 소모된 O₂양이 많아 결국 성장저하의 한 원인이 될 것으로 생각된다.

수분 potential, 증산량 및 기공저항

염분처리에 따른 콩 잎의 water potential의 변화는 무처리에서 -1.5 MPa 정도였고 염분농도 증가에 따라 거의 직선적으로 감소하여 30, 60 및 90 mM에서 각각 -2.1, -2.5 및 -2.7 MPa를 보여 염분 처리에 따른 심한 수분 부족현상이 초래됨을 알 수 있었다 (Table 4). 맑은 날(광량, 700 μmol/m²/s) 오후 2시경에 측정된 염분 농도에 따른 콩 잎의 증산량은 무염처리에 대비하여 90 mM 농도에서 22% 감소한 반면 증산저항은 무처리에 비해 90 mM에서 48% 증가하였다. 이러한 결과는 염분에 영향을 받은 작물은 형태적이고 생리적인 반응의 결과로 수분 potential, 증산량 및 기공저항이 증가된다는 다른 결과들과 일치하였다^{23,24)}.

기공저항은 대조구에서 45.9 S/m이었고 농도증가에 따라 증가하여 90 mM에서는 56.6 S/m이었다. 그러나 기공저항(st)은 염분농도가 증가함에 따라 대조구 6.4에서 90 mM 농도에서 6.9 S/m로, 엽경계층(bl)의 저항은 39.4 S/m에서 -38.6 S/m으로 큰 변화를 보이지 않았다(Table 4).

Cuticle 저항을 제외한 증산저항의 세 요인 중에서 기공저항이 가장 뚜렷한 변화를 보였는데 이는 잎의 크기나 기공의 수와 크기보다 세포뚜껑의 영향이 가장 컸기 때문인 것으로 생각된다.

염분에 대한 무기이온 함량, 유리 Proline 함량 및 효소활성 변화

무기이온의 함량

질소의 함량은 엽건물중 g당 대조구에서는 45.5 mg인데 염분 처리구에서는 37.7~39.8 mg으로 염분처리에 의하여 12~13% 정도 감소하였다. 한편 뿌리는 건물 g당 대조구에서는 28 mg, 염분구에서는 18.2~23.1 mg으로 17~35% 감소하여

잎보다 심한 감소를 나타냈다(Table 5). 이는 직접 염분을 접촉하는 뿌리에 더 큰 영향을 미쳤을 것으로 생각되며 식물체당 질소량을 비교하였을 때 그 정도는 더욱 뚜렷하였다. 염분농도와 질소흡수에 관해서 여러 연구들이 뒷받침 해 주고 있는데^{25,27)} 작물이 염분의 영향을 받으면 전질소 흡수량이 심하게 감소된다고 보고되고 있는데 전질소 함량의 감소는 건물 생산에도 큰 영향을 미쳤다. 즉, 흡수된 질소는 단백질로 동화되고 결국 성장발육과 밀접한 관련이 있기 때문에 질소흡수의 저해는 이들 대사작용과 성장발육을 저해하게 된다²⁷⁾. 따라서 염분에 의한 질소 대사작용의 변화는 작물의 비정상적인 대사와 생육감소에 중요한 요인의 하나로 생각된다. 본 연구에서도 농도간 차이를 보이며 잎의 전질소 함량이 감소하였는데 이는 염분에 대한 질소흡수의 장애에서 비롯된 것으로 보인다. 한편 인산의 이온 함량은 NaCl 처리에 따라서 뚜렷한 감소를 보였으며 뿌리보다 잎에서 더 많은 양이 축적되었다(Table 5). 이는 잎과 뿌리조직에서 인산대사의 교란에 의한 것으로 해석된다²⁸⁾.

염분의 농도가 증가함에 따라 양이온의 흡수가 영향을 받는데 Na⁺의 경우 잎에서는 무처리 대조구에 비해 염분농도에서 약 30% 증가하였으나 염분농도간에 큰 차이를 보이지 않았으나, 뿌리에서는 대조구 2.5 mg에 비해, 최고 10배 이상의 증가를 보였다(Table 6). Gouia 등¹¹⁾이 보고한 바 대두 줄기에서 Na⁺양은 총 양이온의 10%에도 미치지 못하였으나 뿌리에서는 60%까지는 함유한다는 보고가 이를 뒷받침해 주고 있다. K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺의 경우 염분농도에 따라 흡수저해가 커졌는데 모두 뿌리의 함량감소가 잎에서 함량 감소보다 심하였다. 여러 연구결과에 따르면 염분에 의해 Ca²⁺, K⁺, Mg²⁺의 흡수가 저해된다고 알려져 있는데^{9,11)} 이러한 양이온 함량의 증가는 양분흡수의 불균형을 초래할 가능성이 크며 본 실험에서도 Na⁺는 잎에서 약간 증가하나 뿌리에서는 증가가 뚜렷한 반면 K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺의 경우 특히 잎에서의 흡수는 상당히 저해됨을 볼 수 있었다.

Proline 함량

염분처리에 따른 proline의 축적율은 염농도에 비례하여 직선적으로 증가하였다(Fig. 1). 무처리에서 건물 g당 105 μg 정도였는데 90 mM의 처리에서는 4.2배로 증가한 434 μg으로

Table 4. Effects of NaCl on the water potential, transpiration, and diffusive resistance of soybean leaves treated with different NaCl concentration at the 30 days after treatment

NaCl Concentration (mM)	Water potential (MPa)	Transpiration (μg/cm ² /s)	Diffusive resistance (S/m)		
			ias ^{a)}		bl ^{c)}
			r _{wv}	st ^{b)} r _{wv}	r _{wv}
0	-1.5	13.3 (100) ^{d)}	45.9	6.4	39.4
30	-2.1	11.8 (89)	53.5	6.7	39.2
60	-2.5	10.9 (82)	59.6	6.8	39.0
90	-2.7	10.4 (78)	56.6	6.9	38.6

^{a)}Intercellular air space, ^{b)}Stomata, ^{c)}Air boundary of leaf, ^{d)}(): % to the control (0 mM).

Table 5. Effects of NaCl on total nitrogen and phosphate content of soybean leaves treated with different NaCl concentration 50 days after emergence

NaCl concentration (mM)	T-N (mg/g dw.)		P (mg/g dw.)	
	Leaf	Root	Leaf	Root
	0	45.5 a ^{a)}	28.0 a	6.10 a
30	38.4 b	19.4 b	4.50 b	1.40 c
60	37.7 b	18.2 b	4.20 b	2.00 b
90	39.8 b	23.1 ab	4.30 b	3.20 b

^{a)}Means followed by the same letter within each column are not significantly different at 5% level by DMRT.

서 생성되는데 염분 장해 하에서도 proline의 축적되는 것으로 보고되고 있다^{29,31)}. 작물체의 체내 수분부족이나 고농도의 이온집적은 삼투압의 불균형을 야기하고, 삼투압의 불균형은 proline등과 같은 삼투조절물질에 의하여 조절되는 것으로 알려져 있다. Proline은 삼투조절, 가용질소의 sink로서의 생리적 기능을 수행하며 이것은 하나의 노쇠징후로 설명되고 있다.

Nitrate reductase (NR) 및 peroxidase (PO) 활성

Nitrate reductase의 활성변화는 농도증가에 따라 증가하였으나 고농도인 90 mM에서는 증가폭이 둔화되었다(Fig. 2). Misra와 Dwiverdi¹⁵⁾는 염해 반응에 있어서 NR이 증가된다고 하였고 Bourgeois-Chaillou¹⁶⁾은 대두 잎에서는 영향받지 않으나 뿌리에서는 증가된다고 보고한 바 본 실험에서는 대두 잎의 NR활성이 염분농도에 비례적으로 증가하여 이들 보고와 같은 경향을 보였다. 그러나 Gouia 등¹¹⁾은 뿌리나 잎의 NR활성은 염분처리에 따라 감소되며 NO₃⁻의 감소가 수반된다고 보고한 바 있어 본 실험의 결과와는 상이한 경우도 있음을 보여주고 있다.

한편 peroxidase의 활성 역시 염분의 농도가 증가함에 따라 점진적으로 증가하는 경향이였다(Fig. 2). Gossett 등³²⁾은 목화에서 염분처리는 peroxidase의 활성이 30~72% 증가되었고 이는 막의 손상과 세포 내 Ca²⁺수준의 변화 때문이며 peroxidase 관련 유전자나 내생 조효소의 활성증가에서 기인하기 때문으로 보고하였다. 또한 제초제에 대해 저항성을 보인 ryegrass나 염분의 영향을 받은 taro에서도 peroxidase의 활성이 증가하였다고 보고한 연구들³³⁻³⁴⁾도 있다.

이상의 결과로 볼 때 염분처리에 따른 생리학적 특성 변화로서 엽록소 함량, 광합성 및 호흡량, 수분 potential, 증산 기층저항, 유리 proline 함량, nitrate reductase와 peroxidase 활성 측정은 염분 stress 또는 염해 저항성 연구는 물론 품종간 또는 germplasm간 내염성 선발 및 육종을 위한 좋은 지표가 될 것으로 기대된다. 그러나 본 연구는 "광안콩"이라는 한 품종을 대상으로 실험이 이루어졌기 때문에 전체 콩 품종 모집단에 대한 결과로 이해되기에는 다소간의 무리와 한계가 있을 것으로 생각되며 여러 품종 또는 germplasm에 대한 정

Table 6. Effects of NaCl on various ion concentration in soybean plants treated with different NaCl concentrations at the 45th day after emergence

NaCl (mM)	Ion concentration (mg/g dw.)							
	Na ⁺		K ⁺		Ca ²⁺		Mg ²⁺	
	Leaf	Root	Leaf	Root	Leaf	Root	Leaf	Root
0	0.7 b	2.5 b ^{a)}	27.7 a	12.0 a	13.8 a	3.5 a	15.9 a	12.1 a
30	0.9 a	11.3 c	25.7 a	10.1 a	12.6 b	2.7 b	13.1 ab	10.7 ab
60	1.0 a	19.1 b	22.4 b	8.1 b	13.2 a	2.4 b	12.8 ab	9.4 b
90	0.9 a	27.2 a	17.9 a	7.0 b	8.4 b	2.5 b	11.4 b	5.5 c

^{a)}Means followed by the same letter within each column are not significantly different at 5% level by DMRT.

밀한 보충시험들이 뒤따라야 할 것으로 본다.

요 약

본 연구는 "광안콩"의 20일 묘를 공시하여 0~90 mM의 염분조건에서 콩의 생리학적 피해정도를 산정하고 내염성 품종선발과 육종계획에 요구되는 기초자료로 활용하고자 수행되었다. 엽록소의 함량은 정상적인 관수를 실시한 대조구에 비해 염분 처리에서 15~60% 감소하였고 농도증가에 따라 감소정도가 크게 나타났다. 염분 처리에 따른 광합성과 호흡량은 각각 28~48%와 16~34% 감소하였고 O₂ 생산 비율보다 O₂ 소모 비율이 높게 나타났다. 수분 potential은 정상 잎(-1.5 MPa)에 비해 염분처리에서는 농도별로 -2.13에서 -2.69 MPa로 직선적으로 감소하였다. 개화기 염처리에서 대조구 13.3 µg의 약 17~22%로 감소한 11.8~10.4 µg이었으며 증산저항은 1.08~1.70 S/m로 증가하는 경향이였다. 콩 잎의 수분증산 저항에 미치는 염분의 영향은 잎 내부의 기층저항이 가장 심한 차이를 보였고 무처리에서 45.9 S/m인 반면 염분처리에서는

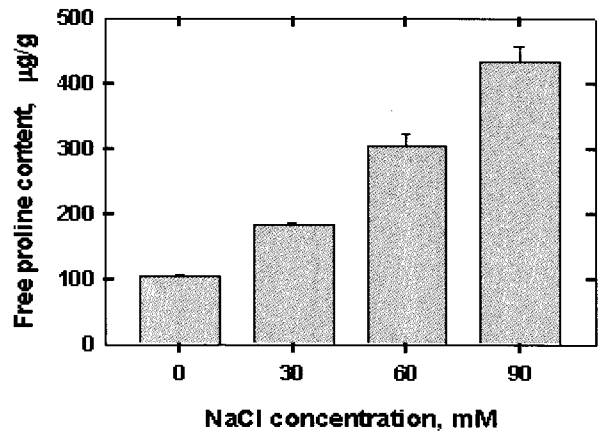


Fig. 1. Effects of NaCl on free proline content of soybean leaves treated with different concentrations 25 days after treatment (n=3).

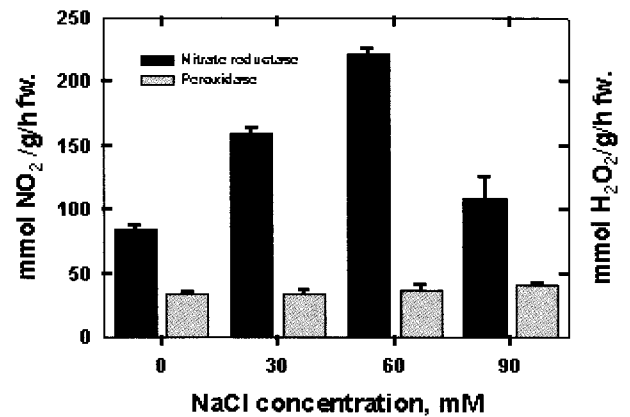


Fig. 2. Effects of NaCl on activities of nitrate reductase (NRA) and peroxidase (PO) of soybean leaves treated with different NaCl concentrations 30 days after treatment (n=3).

53.5~56.6 S/m로 농도증가에 따라 증가하였으며 기공저항과 잎 경계면의 저항은 큰 차이를 보이지 않았다. 대부분의 무기물 함량은 뿌리보다 잎에서 축적량이 더 많게 나타났으나 Na^+ 만이 뿌리에 더 많이 축적되었고 N, P, K^+ , Ca^{2+} 및 Mg^{2+} 는 무처리에 비해 오히려 그 축적량이 감소하였다. 염분처리에 따른 콩 잎의 유리 proline은 무처리(10.5 μg) 대비 1.8~4.2 배(184~434 μg)로 염 농도가 증가함에 따라 축적량이 증가하는 경향이었다. Nitrate reductase의 활성은 염 농도가 증가함에 따라 증가하였으나 농도가 90 mM 염분 처리에서의 증가 폭은 다소 둔화되는 경향이었다. 한편 peroxidase 활성 역시 염분농도가 증가함에 따라 증가하는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 임형빈, 황종서 (1970) 간척지에서 수도 및 기타작물의 내염성에 관한 연구, *한국식물학회지* 8, 47-68.
2. Akira, N., Masso, M. and Krira, I. (1981) Relationships between salt tolerance of green soybean and calcium sulfate applications in sand culture, *Jpn. Soc. Hort. Sci.* 50, 326-331.
3. Bernstein, L. and Hayward, H. E. (1958) Physiology of salt tolerance, *Annu. Rev. Plant Physiol.* 9, 25-46.
4. Johnson, R. R., Frey, N. N. and Moss, D. N. (1974) Effect of water stress on photosynthesis and transpiration of flag leaves and spikes of barley and wheat, *Crop Sci.* 14, 728-731.
5. Hsiao, T. C. (1973) Plant response to water stress. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 24, 519-570.
6. Dubbe, D. R., Farquhar, G. D. and Raschke, K. (1978) Effect of abscisic acid on the gain of the feedback loop involving carbon dioxide and stomata, *Plant Physiol.* 62, 413-417.
7. Radin, J. W. (1981) Water relation of cotton plants under nitrogen deficiency. III. Stomatal conductance, photosynthesis and abscisic acid accumulation during drought, *Plant Physiol.* 67, 115-119.
8. Dettori, L. (1985) Leaf water potential, stomatal resistance and transpiration response to different watering in almond, peach, and Pixy plum, *Acta Hort.* 171, 112-117.
9. Cramer, G. R., Lauchli, A. and Polito, V. P. (1985) Displacement of Ca^{2+} by Na^+ from the plasmalemma of root cells, *Plant Physiol.* 29, 207-211.
10. Lynch, J. and Lauchli, A. (1984) Potassium transport in salt stressed barley roots, *Planta* 161, 295-301.
11. Gouia, H., Ghorbal, M. H. and Touraine, B. (1994) Effects of NaCl on flows of N and mineral ions and on NO_3^- reduction rate within whole plants of salt-sensitive bean and salt-tolerant cotton, *Plant Physiol.* 105, 1409-1418.
12. Ericson, M. C. and Alfinito, S. H. (1984) Proteins produced during salt stress in tobacco cell culture, *Plant Physiol.* 74, 506-509.
13. Chandler, S. F. and Thorner, T. A. (1987) Proline accumulation and sodium sulfate tolerance in callus cultures of *Brassica napus* L. cv. Wester, *Plant Cell Reports* 6, 176-179.
14. Klein, A. and Itai, C. (1989) Is proline involved in stomata regulation of *Commelina communis* plants recovering from salinity stress?, *Plant Physiol.* 75, 399-404.
15. Misra, N. and Dwivedi, U. N. (1990) Nitrogen assimilation in germinating *Phaseolus aureus* seeds under saline stress, *J. Plant Physiol.* 135, 719-724.
16. Bourgeais-Chaillou, P., Perez-Alfocea, F. and Guerrier, G. (1992) Comparative effects on N-source on growth and physiological responses of soybean exposed to NaCl-stress, *J. Exp. Bot.* 43, 1225-1233.
17. Epstein, E., Norlyn, J. D., Rush, D. W., Kingsbury, R. W., Kelly, D. B., Cunningham, G. A. and Wrona, A. F. (1980) Saline culture of crops: A genetic approach, *Science* 210, 399-404.
18. Singh, P., Kanemasu, E. T. and Singh, P. (1983) Yield and water relation of pearl millet genotypes under irrigated and non-irrigated conditions, *Agron. J.* 7, 886-890.
19. Tanksley, S. D., Young, N. D., Paterson, A. H. and Bonierbale, M. W. (1989) RFLP mapping in plant breeding : new tools for an old science, *Biotech.* 7, 257-264.
20. Hageman, R. H. and Reed, V. (1980) Nitrate reductase from higher plants, *Methods in Enzymology* 1. 69, 270-280.
21. 농촌진흥청 (2000) 토양 및 식물체 분석법 - 물리, 화학, 미생물. 삼미기획, 수원, 한국, p.1-202.
22. Bates, L. S., Waldren, R. P. and Teare, I. D. (1973) Rapid determination of free proline for water-stress studies, *Plant Soil* 39, 205-207.
23. Longstreth, D. J. and Nobel, P. S. (1979) Salinity effects on leaf anatomy(Consequences for photosynthesis), *Plant Physiol.* 63, 700-703.
24. Bonghi, G. and Loreto, F. (1989) Gas-exchange properties of salt-stressed olive(*Olea europea* L.) leaves, *Plant Physiol.* 90, 1408-1416.
25. Greenway, H. and Munns, H. R. (1980) Mechanisms of salt tolerance in nonhalophyte, *Annu. Rev. Plant Physiol.* 31, 149-196.
25. Pessaraki, M., Huber, J. H. and Tucker, T. C. (1981) Protein synthesis in green beans under salt stress with two nitrogen sources, *J. Plant Nutr.* 12, 1361-1377.
27. Pessaraki, M. (1991) Dry matter yield, nitrogen-15 absorption, and water uptake by green bean under sodium chloride stress, *Crop Sci.* 31, 1633-1640.

-
28. Chavan, P. D. and Karadge, B. A. (1986) Growth, mineral nutrition, organic constituents and rate of photosynthesis in *Sesbania grandiflora* L. grown under saline conditions, *Plant Soil* 93, 395-404
 28. Storey, R. and Wyn Jones, R. G. (1977) Quaternary ammonium compounds in plants in relation to salt resistance, *Phytochem.* 16, 447-453.
 29. Wyn Jones, R. G. and Storey, R. (1978) Salt stress and comparative physiology in the Graminae. 2. Glycine, betaine and proline accumulation in two salt and water stressed barley cultivars, *Aust. J. Plant Physiol.* 5, 817-829.
 30. Weinberg, R., Lerner, H. R. and Poljakoff-Mayber, A. (1982) A relationship between potassium and proline accumulation in salt-stressed *Sorghum bicolor*, *Physiol. Plant.* 55, 5-10.
 32. Gossett, D. R., Millhollon, E. P. and Lucas, M. C. (1994) Antioxidant response to NaCl stress in salt tolerant and salt-sensitive cultivars of cotton, *Crop Sci.* 34, 706-714.
 33. Harper, D. B. and Harvey, B. M. R. (1978) Mechanisms of paraquat tolerance in perennial ryegrass. II. Role of superoxide dismutase, catalase, and peroxidase, *Plant Cell Environ.* 1, 211-215.
 34. Chang, H., Siegel, B. Z. and Siegel, S. M. (1984) Salinity induced changes isoperoxidase in taro, *Colocasia esculenta*, *Phytochem.* 23, 233-235.
-