

콩의 유묘기에 있어서 NaCl stress에 의한 생육특성과 광합성 반응

조진웅*, 김충수
충남대학교 농학과

Growth Characteristics and Photosynthesis of Soybean Seedling to NaCl stress in Sand Culture

Jin-Woong Cho and Choong-Soo Kim (College of Agr., Chungnam National Univ., Taejeon 305-764, Korea, jucho@hanbat.chungnam.ac.kr)

ABSTRACTS : This study was conducted to determine the growth characteristics and photosynthesis of soybean (*Glycine max* L. cv. Keumjongkong1) 30 day old seedling to 100mM NaCl concentration containing 1/2 Hoagland's nutrient solution in sand culture.

The nodule formation of root is not found perfectly with NaCl stress. The leaf dry matter weight (g/plant) of stressed plant is more reduction in 77% to control than any other characters. The water content (%) is tend to increase but water potential (MPa) is tend to decrease at NaCl stress. The chlorophyll content (SPAD) is tend to increase at growing leaf age of control but decrease at NaCl stress. The photosynthesis, stomatal conductance and transpiration are tend to decrease sharply at NaCl stress.

Key words : soybean, NaCl, photosynthesis, chlorophyll content, sand culture

서 론

염해는 작물이 염을 흡수하여 생장 및 발육이 저하되고 결과적으로 생산성을 감소시키거나 고사시키는 것으로 그 반응 기구는 매우 복잡하고 생육시기별로 다양하다. 작물의 내염성은 생리적 기구뿐만 아니라 형태적인 변화로써 내염성을 증대할 수 있는데 Lee¹⁾와 Kim²⁾은 이러한 염에 의한 식물의 형태적 변화는 생육은 감소하지만 생존과 번식 및 보존의 역할을 하는 기구라고 설명하였다. 이는 대체적으로 식물체의 염수와 염면적을 감소시켜 왜소화하거나 엽 두께를 증가시켜 다즙질화 하거나 표피를 두껍게 하고 납질이나 통도조직의 발달을 저해시키거나 뿌리 내피세포의 코르크화를 촉진시켜 수분의 이동을 느리게 하여 염해 지에서의 식물이 생존할 수 있게 한다고 하였다.

Greenway와 Munns³⁾는 식물의 염해 정도를 구분한 바 4가지로 분류한 바, 이 중 콩은 비교적 내염성이 약한 작물로 구분하였으나 미국 염해 연구소에서 실시한 연구에 의하면 Lee라는 콩 품종은 내염성이 상당히 강한 작물이라고 하였다⁴⁾.

따라서 본 연구는 콩이 염해를 받을 경우 작물의 형태적 변화를 살펴 보면서 염해를 받는 기관이나 부위를 알고자 실시하였다.

재료 및 방법

공시재료 및 시험내용

본 연구는 충남대학교 농과대학 부속농장에서 실시하였으며 공시품종으로는 김정콩1호를 이용하였다. NaCl의 농도는 1/2 Hoagland 용액에 100mM로 조절하여 처리하였다. 파종은 6월 5일에 하였으며, 6월 9일에 1/5000 a 와그너 포트에 3개체 씩 이식하였다. 배지는 모래를 이용하였고 깨끗한 물로 깨끗하게 수세하여 이용하였으며 관수는 이식 후 10일까지는 2일 간격으로 pot 당 200 ml 씩 관수하였으며, 나머지 기간은 매일 관수하였다. 그리고 NaCl 처리는 이식 후 10일까지는 2일 간격으로 pot 당 200ml, 나머지 기간은 5일간격으로 처리하였다.

조사는 이식 후 30일째인 7월 9일에 실시하였으며, 조사항목으로는 초장, 주경장, 잎 두께, 엽면적, 건물중, 엽록소 함량, 광합성, 수분포텐셜 등을 조사하였다.

조사방법

엽면적은 엽면적계 (Li Cor, Li-3100)를 이용하여 전수조사를 하였으며, 건물중은 80℃ 건조기에 5일간 건조시킨 후 1시간동안 실온에서 방치한 후 측정하였다. 광합성, 기공전도도 및 증산량

은 휴대용 광합성 측정기(Li Cor, Li-6400)를 이용하여 이식 후 3주제인 6월 21일부터 5회에 걸쳐 엽위 별로 측정하였으며, 수분 포텐셜은 노점식 방식(psychometry method)으로 수분포텐셜 측정기(Tru Psi, SC 10X)를 이용하여 하위엽, 중위엽, 상위엽으로 구분하여 측정하였다. 또한 엽록소 함량도 portable chlorophyll meter (Minolta, SPAD 502)를 이용하여 엽위별로 6월 21일부터 5회에 걸쳐 측정하였다.

결과 및 고찰

NaCl stress에 따른 콩 유묘의 생육특성

100mM의 NaCl stress를 받은 검정콩 1호의 30일 유묘 생육 특성은 표 1과 같다. 전체적으로 NaCl stress를 받은 경우 무처리에 비하여 생육은 현저하게 저하되었다. 초장은 무처리가 46.8cm 였으나 처리는 30.0cm 로 약 35.9%감소하였으며, 주경장 역시 NaCl stress로 38.9% 감소를 보였다. 경직경의 경우 15.5%의 감소를 보였으며 주경절수는 3.0개로 37.5% 감소를 보였다. 생체중 및 건물중은 작물체 부위를 잎, 줄기, 뿌리 등으로 구분하여 살펴본 결과 잎의 생체중은 무처리가 7.42g였으며 NaCl 처리는 4.20g으로 43.4%의 생체중 감소를 보였으며, 줄기는 NaCl stress 처리로 2.57g을 보여 무처리와 비교하여 66.4% 감소하였다. 또한 뿌리는 NaCl stress 처리가 4.39g으로 48.8% 감소하였으며 NaCl 처리로 뿌리혹은 전혀 형성되지 않았다. 건물중 변화를 보면, 잎의 경우 NaCl 처리로 77.3% 감소하였으며, 줄기는

61.2%, 그리고 뿌리는 62.3% 감소하여 건물중으로 볼 때 잎의 감소가 가장 크게 나타내었다. 또한 엽면적은 NaCl 처리가 232.5 cm²으로 37.4%의 감소를 보였다. 그러나 수분함량은 오히려 NaCl 처리로 증가하였는데 잎이 14.2%, 줄기 4.2% 그리고 뿌리가 3.1% 각각 증가하였다. 이와 같이 16가지의 형질로 살펴볼 때 콩 생육감소 정도는 뿌리혹 형성을 가장 크게 저해시켰고, 다음 이 잎의 건물중, 줄기 생체중, 뿌리 및 줄기 건물중, 주경장, 주경절수, 엽면적, 초장, 경직경 순으로 염해를 받는 것을 알 수 있다. 이와 같이 NaCl 처리에 의한 뿌리혹이 형성되지 않는 이유를 Tu는 토양내의 NaCl이 근류균의 증식과 생장을 감소시키고 근묘의 감수성과 수용성의 감소된데 그 원인이 있다고 하였다.

한편, 엽위별 잎 두께를 살펴보면, NaCl stress 처리로 잎 두께는 두꺼워졌는데 제1엽의 경우 무처리가 0.28mm 였지만 NaCl 처리는 0.41mm였으며, 제3엽은 무처리가 0.30mm였고, NaCl 처리가 0.33mm였다. NaCl 처리로 잎의 두께는 엽령이 증대할수록, 노엽일수록 잎 두께가 증대하는 것을 볼 수 있으나 무처리는 노엽이나 신엽 모두 일정한 두께를 보이고 있다 (그림 1). 또한 엽위 별 수분포텐셜을 측정된 결과 전체적으로 NaCl stress를 받은 잎이 그렇지 않은 것보다 20~25% 정도 감소하였다 (표 2). 이들 중 하위엽의 수분포텐셜 이 -19.3 Mpa로 가장 높았으며, 2엽과 3엽은 비슷한 값을 보였다. 이와 같이 잎 두께 와 수분함량 (표 1)의 증가 및 수분포텐셜의 감소는 배지의 높은 NaCl로 인하여 보다 많은 Na 또는 Cl이 식물체로 다량 흡수됨에 따라 잎의 수분포텐셜이 감소되고 또한 팽압의 증가되어 잎 두께가 증대한다는 Munns와 Termaat⁸⁾의 결과와 비슷하였으며 또한 수분

Table 1. Biomass and morphological changes of 30 day old soybean seedlings grown under NaCl concentration in sand culture

Characters	NaCl concentration (mM)		1 - a/b(%)
	0 (a)	100 (b)	
Plant height (cm)	46.8 ± 2.1	30.0 ± 2.3	35.9
Main stem length (cm)	29.3 ± 1.5	17.9 ± 2.2	38.9
Stem diameter (mm)	6.00 ± 0.63	5.07 ± 0.38	15.5
Node number (no.)	4.8 ± 0.3	3.0 ± 0.3	37.5
Leaf fresh meter weight (g/plant)	7.42 ± 1.02	4.20 ± 0.62	43.4
Stem fresh meter weight (g/plant)	7.66 ± 0.99	2.57 ± 0.42	66.4
Root fresh meter weight (g/plant)	8.57 ± 1.04	4.39 ± 0.71	48.8
Nodule fresh meter weight (g/plant)	0.417 ± 0.012	0	100.0
Leaf dry meter weight (g/plant)	1.41 ± 0.18	0.32 ± 0.02	77.3
Stem dry meter weight (g/plant)	1.21 ± 0.09	0.47 ± 0.04	61.2
Root dry meter weight (g/plant)	0.883 ± 0.021	0.333 ± 0.014	62.3
Nodule dry meter weight (g/plant)	0.081 ± 0.007	0	100.0
Leaf area (cm ² /plant)	374.1 ± 41.7	232.5 ± 38.27	37.4
Leaf water content (%)	80.9 ± 0.8	92.4 ± 0.5	114.2
Stem water content (%)	84.2 ± 0.7	87.7 ± 0.9	104.2
Root water content (%)	89.7 ± 0.2	92.5 ± 0.4	103.1

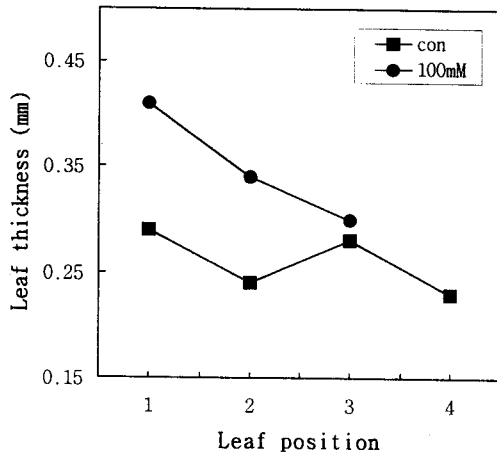


Fig. 1. Changes of leaf thickness by leaf position of 30 old days soybean seedling under 100mM NaCl concentration in sand culture.

함량의 증가는 흡수된 이온과 생리적 반응물질인 proline, glycine 등의 삼투압조절물질이 생성되어 보다 많은 수분을 확보 하려는 생체방어적인 현상으로 생각된다.

엽록소함량 및 광합성 변화

작물에 대한 NaCl stress에 대한 내성 기준을 1차적으로 엽록소함량 변화로 기준을 정해야 된다는 많은 연구보고가 있다. Lee 등은 벼의 경우 내염성이 강한 품종은 엽록소 함량이 비교적 높다고 하며, Robinson¹²⁾은 비교적 내염성이 강한 작물인 시금치의 경우 엽록 함량은 큰 변화가 없다고 하였으며, Lee¹³⁾ 등은 이탈리아라이그래스의 경우 배지의 염류농도가 높을 때 엽록소함량이 증가한다고 하였다. 그러나 대부분의 결과는 염해를 받을 경우 엽록소 함량은 감소하며 내염성 기준을 판단하기는 곤란하다고 하였다. 그림 2는 100mM NaCl를 처리할 경우 콩 잎의 엽록소 함량 변화이다. 제 1엽부터 4엽까지를 경시적으로 측정할 결과 NaCl를 처리한 것과 처리하지 않은 것 모두 출엽당시는 모두 비슷한 함량으로 나타났지만 생육이 진전될수록 NaCl 처리는 엽록소함량이 감소됨을 알 수 있다. 즉, 제2차 엽의 경우 무처리 32 SPAD이고, NaCl 처리는 32.5 SPAD였지만, 파종 후 30일째는 무처리가 39.5 SPAD로 증가한 반면 NaCl 처리는 28.4 SPAD 로 감소되었다.

Table 2. Changes of water potential (MPa) by leaf positions of 30 day old soybean seedling under NaCl concentration in sand culture

Leaf position	NaCl concentration (mM)		1 - a/b(%)
	0 (a)	100 (b)	
Base	-15.5	-19.3	24.5
Medium	-14.2	-17.1	20.4
High	-13.8	-17.3	25.3

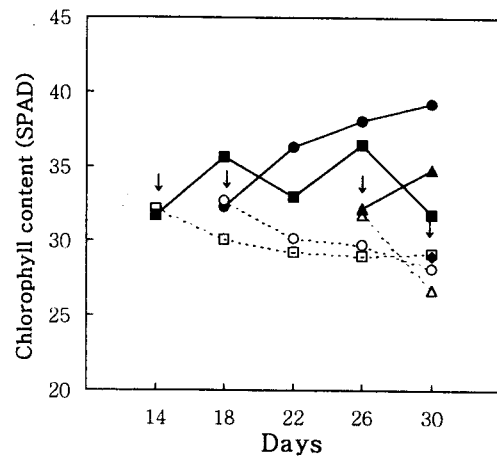


Fig. 2. Changes of chlorophyll content by leaf position of 30 old days soybean seedling under 100mM NaCl concentration in sand culture. ■ and □ is first leaf position, ● and ○ is 2nd leaf position, ▲ and △ is 3rd leaf position and ◆ is 4rd leaf position. Close mark is non NaCl and open mark is 100mM NaCl treatment. ↓ is perfectly developed leaf emergence time.

한편, NaCl stress에 의 콩 엽위 별 광합성 능력, 기공전도도, 증산량의 변화는 그림 3과 같다. 광합성의 경우 무처리 20~26 ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ S}^{-1}$)을 보였지만 NaCl stress를 받은 잎은 10 ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ S}^{-1}$)으로 NaCl 처리로 광합성은 현저하게 감소됨을 알 수 있다. 기공전도도 역시 NaCl 처리로 감소되었는데 무처리의 경우 엽위별로 살펴볼 때 1차엽보다는 2차엽, 2차엽보다는 3차엽이 높게 나타내었으나 NaCl stress를 받은 것은 엽위별 큰 차이 없이 감소되었다. 또한 증산량의 변화 역시 NaCl stress로 감소되었다. 엽위별 증산량의 경시적 변화는 기공전도도와 비슷한 경향으로 나타났다. 이와 같이 NaCl stress로 광합성과 기공전도도가 감퇴된다는 보고^{12), 14), 15), 16), 17)}는 많이 있는데 염해를 받으면 1차적으로 기공 폐쇄가 일어나고 CO_2 고정능력이 억제되어 광합성이 억제된다고 하며, Ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase 활력저하, 탄소 동위체 감소 등에 의하여 광합성 억제을 보인다고 한다. 또한 증산량의 감소는 체내의 수분 포텐셜의 감소와 ABA 함량 증가로 체내 수분 보유력 확대로 인하여 증산량이 감소되는 것으로 생각된다.

요 약

본 연구는 우리 나라 콩 장려품종인 검정콩1호를 대상으로 100mM NaCl 처리에 따른 30일묘의 생육특성 및 광합성 반응을 조사하여 다음과 같은 결과를 얻었기에 보고하는 바이다.

NaCl stress에 의한 콩 유효기는 뿌리혹이 전혀 형성되지 않았으며, 잎의 건물중이 77.3% 감소로 염해가 가장 크게 나타났으며, 경직경의 감소는 가장 적었다. 그러나 수분함량은 NaCl

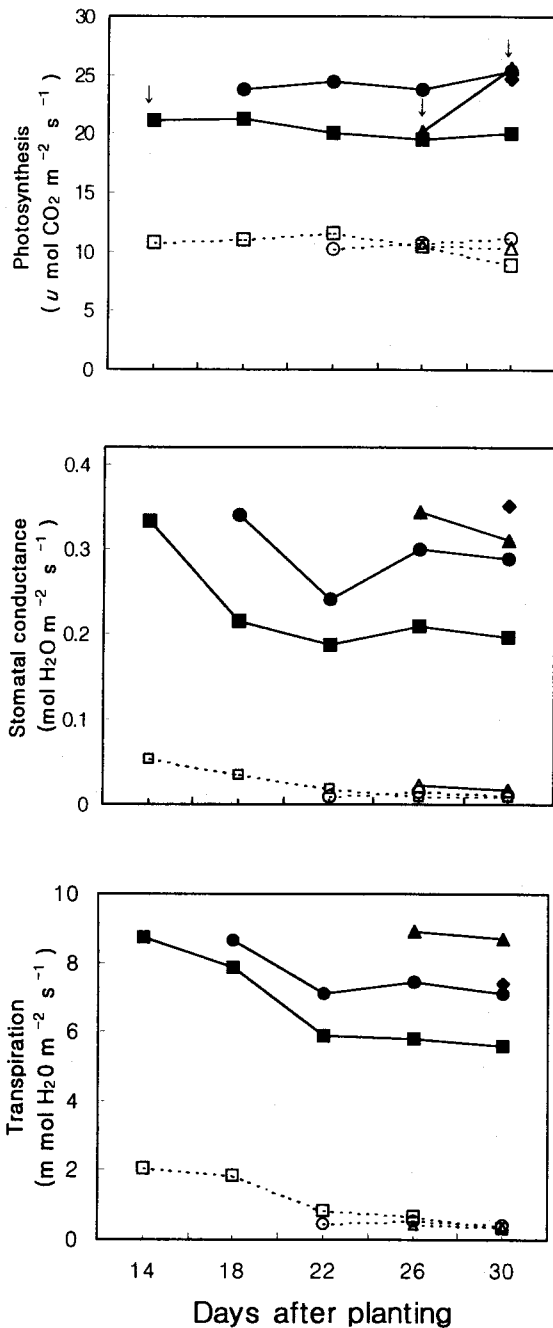


Fig. 3. Changes of photosynthesis, stomatal conductance and transpiration by leaf position of 30 old days soybean seedling under 100mM NaCl concentration in sand culture. ■ and □ is first leaf position, ● and ○ is 2nd leaf position, ▲ and △ is 3rd leaf position and ◆ is 4rd leaf position. Close mark is non NaCl and open mark is 100mM NaCl treatment. ↓ is perfectly developed leaf emergence time.

은 낮아졌다. 엽록소함량은 NaCl stress로 감소하였으며 생육이 진전됨에 따라 감소되었지만 무처리는 증가하는 경향을 보였다. 광합성, 기공전도도, 증산량 모두 NaCl stress로 감소하였으며 NaCl stress에 의한 엽위별 차이는 적은 것을 알 수 있었다.

참고 문헌

1. Lee, S. Y. and C. S. Kim (1995) Cellular structure change of barley seedling on different salt concentration under hydroponic culture. Korean J. Crop Sci., 40 : 481-486.
2. Kim, C. S. (1991) Physiological mechanisms of halophytes. RDA Symposium, 17 : 100-123.
3. Greenway, H. and R. Munns (1980) Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. Ann. Rev. Plant Physiol., 31 : 149-190.
4. Choi, W. Y. and K. Y. Park (1991) Development and production of saline tolerant upland crops. RDA Symposium, 17 : 53-78.
5. Tu, J. C. (1981) Effect of salinity on rhizobium-root-hair intetaction, nodulation and growth of soybean. Can. J. Plant Sci., 61 : 231-239.
6. Velagaleti, R. and S. M. Schweitzer (1994) General effects of salt stress on growth and symbiotic nitrogen fixation in soybean. in M. Pessarakli. Handbook of plant and crop stress. pp:461-471. Marcel Dekker, Inc. New York.
7. Grattan, S. R. and E. V. Maas (1985) Root control of leaf phosphorus and chlorine accumulation in soybean under salinity stress. Agron. J., 77 : 890-895.
8. Munns, R. and A. Termeat (1986) Whole-plant response to salinity. Aust. J. Plant Physiol. 13:143-160
9. Lee, K. S., J. S. Lee and K. H. Han (1992) Changes in content of chlorophyll and free proline as affected by NaCl in rice seedling. Korean J. Crop Sci., 37 : 178-184
10. Lee, S. Y., C. S. Kim, J. W. Cho and Y. G. Kang (1996) Physiological response of barley seedlings to salt stress. Korean J. Crop Sci., 41 : 665-671.
11. Cho, J. W., C. S. Kim, S. Y. Lee and K. S. Park (1998) Growth and histological characteristics of barley (*Hordeum vulgare* L.) seedling to NaCl stress. Korean J. Environ. Agri., 17 : 335-340.
12. Robinson, S. P., W. J. Downton and J. A. Millhouse (1983) Photosynthesis and ion content of leaves and isolated chloroplast of salt-stressed spinach. Plant Physiol., 73 : 238-242
13. Lee, K. S., S. Y. Choi, C. W. Choi (1995) Effect of NaCl concentration on germination and seedling growth of

stress로 증가하였는데 잎이 가장 많은 수분함량을 보였다. 또한 엽위별 엽두께는 NaCl stress로 두꺼워졌으며, 잎의 수분포텐셜

- italian ryegrass. Korean J. Crop Sci., 40 : 340-350.
14. Seemann, J. R. and C. Critchley (1985) Effects of salt stress on the growth, ion content, stomatal behaviour and photosynthetic capacity of a salt-sensitive species, *Phaseolus vulgaris* L. Planta., 164 : 151-162.
 15. Brugnoli, E. and M. Läuteri. (1991) Effects of salinity on stomatal conductance, photosynthetic capacity, and carbon isotope discrimination of salt tolerant (*Gossypium hirsutum* L.) and salt sensitive (*Phaseolus vulgaris* L.) C3 non-halophytes. Plant Physiol., 95 : 628-635.
 16. Seemann, J. R. and T. D. Sharkey (1986) Salinity and nitrogen on photosynthesis ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase and metabolite pool sizes in *Phaseolus vulgaris* L. Plant Physiol., 82 : 555-560.
 17. Cho, J. W. and C. S. Kim (1998) Effect of NaCl concentration on photosynthesis and mineral content of barley seedlings under solution culture. Korean J. Crop Sci., 43 : 152-156.