

보리 幼苗의 鹽濃度에 따른 細胞의 形態反應

이석영 · 김충수*

Cellular Structural Change of Barley Seedling on Different Salt Concentration under Hydroponic Culture

Sok Young Lee and Choong Soo Kim*

ABSTRACT: The salt stress at seedling stage of winter barley was examined in different concentrations of NaCl containing 1/2 Hoagland solution. Fresh weight of seedling at 30 days after seeding was highest at 25mM of NaCl concentration containing 1/2 Hoagland solution but if the NaCl concentration was more than 50mM it began to decrease seriously. Water content in plant was decreased according to increase of NaCl concentration in 1/2 Hoagland solution, so physiological mechanism of NaCl in barley was different from saline plant. Stoma number per cm² of first leaf was higher than that of control in case of stressed by NaCl but in that case the leaf length was decreased so the number of stoma per first leaf was slightly decreased. Chloroplast shape was not changed by 75mM of high NaCl contained 1/2 Hoagland solution but cell division at root growing point was inhibited by 75mM of NaCl. As the result of salt stress mitochondria was ruined in structure and irregular solid was found to be transferred from the cytoplasm to the cell wall in root growing point.

Key words: Salt, Stress, Cell division, Mitochondria, Chloroplast, Stoma

耐鹽性的 기구에는 여러가지가 있으며 이에 대하여는 Kim⁹⁾의 고찰에 잘 종합되어 있다. Kim에 의하면 내염성의 기구에는 생리적인 기구 이외에도 식물체의 형태를 변화시킴으로서 내염성을 증진시키는 경우를 들 수 있는데 이러한 변화는 진정 내염성이 강해서 어느 정도의 농도까지 염의 농도가 증가하여도 생육이 촉진되거나 감소되지 않는 경우와는 약간 다르다고 하였다. 동시에 식물체의 형태적인 변화를 유도함으로써 식물체의 생육량은 감소되거나 불량조건에서 중요한 의미를 생존에 두면서 종족번식 및 保存에의 역할을 하는 機構라고 할 수 있다^{1,7)}. 이러한 변화는 대개가 식

물체를 작게하는 방향으로 葉數나 葉面積을 감소 시킴으로서 증산량을 억제시키고⁸⁾, 단위엽면적당 氣孔의 수를 감소시키며, 잎의 두께를 증가시키고 다즙질화하여 CAM plant와 같은 형태로 변화시키고 잎의 표피를 두껍게 하고 표피에 납질층을 축적시켜 蒸散量을 억제하며⁹⁾ 通導組織의 형성 및 발달을 저해하여 수분의 이동을 느리게 하고⁶⁾ 뿌리 내피세포의 코르크화를 촉진시켜 체내수분의 이동을 느리게 하는 등의 역할을 함으로써²⁾ 염지에서 생존할 수 있게 한다고 하였다. 또한 Iraki는 식물체의 구조적인 면에서 세포의 형태적인 변화나 원형질막 및 세포벽의 변화 등이 염분 stre-

* 충남대학교 농학과(Dept. of Agronomy, Chungnam Nat'l Univ., Taejon 305-764, Korea)

〈'95. 4. 30 接受〉

ss와 관련되어 식물체의 생육에 영향을 미친다고 하였다⁴⁾. 본 실험에서는 식물체가 염지에서 생육될 경우 생육정도와 細胞의 구조적인 변화에 대하여 살펴보았다.

材料 및 方法

본 실험에서는 1990년 전남진흥원으로부터 분양받은 보리(*Hordeum vulgare* L. cv. Mudeung ssalbori)를 이용하였다. 보리는 1/2 Hoagland 수경액을 이용하여栽培하였으며 수경액에 산소를 공급하기 위하여 기포발생기를 사용하였고 염분 농도는 실험의 목적에 맞도록 NaCl을 이용하여 조절하였다. 형태적인 특성으로서 식물체의 잎에 대하여 초엽의 葉面積, 길이, 기공수 및 지상부의 무게 등을 조사하였고 지하부에 대하여는 根數 및 根長을 조사하였다. 또한 잎과 뿌리의 성장점부위를 光學 및 電子顯微鏡(TEM(Transmission electron microscope, Hitach H-600))을 이용하였으며 표본이 편기되지 않도록 5반복으로 표본을 취하였다. 성장점을 관찰하기 위해 2회에 걸쳐 표본을 고정하였는데 전고정은 식물체를 잎의 경우 가로, 세로 각각 5mm 정도로 자른 후 표본병에 넣고 2.5%의 Glutaraldehyde 용액을 3mm정도의 높이로 넣은 다음 탈기시켜 2시간 정도 실시하였다. 후고정은 2시간 정도의 전고정이 끝난 후 인산 buffer(0.1M, pH 7.0)로 前固定

液을 씻어내고 동일한 완충액을 이용하여 Osmium tetroxide(O_3O_4)를 1%로 만든 후 4℃에서 2시간 동안하였다. 후고정이 끝난 후 전고정 세척에서 사용한 것과 같은 완충액을 사용하여 Osmium tetroxide를 씻어내고 25, 50, 70, 90, 99 및 100%의 Ethanol에 각각 20~60분씩 방치하여 탈수하였는데 99%의 Ethanol에 탈수할 때까지는 4℃에서 실시하였고 100% 無水 Ethanol 처리시부터는 서서히 실온으로 하였다. 그 후 Ethanol과 Propylene oxide의 1:1 혼합액에 30분씩 2회에 걸쳐 緩衝液을 치환하였으며 Propylene과 Epon의 1:1 혼합액에 6시간, 1:2 혼합액과 Epon에 각각 12시간 동안 치상 후 매몰하였고 37℃에서 24시간, 50에서 24시간, 60에서 48시간 동안 매몰체를 서서히 경화하여 제작하였다. 제작된 시료는 soval MT-5000형 초박편 절단기를 이용하여 0.5mm 두께로 박절하여 Alkind toluidine blue에 염색후 광학현미경으로 관찰대상 부위를 선정하였으며 선정된 부위는 동종의 박절기로 초박절하여 Rennold방법에 따라 Uranyl acetate와 Lead citrate로 이중염색하였다.

結果 및 考察

파종후 30일인 유묘기에 있어서 염분농도에 따른 무등쌀보리의 生體重, 乾物重 및 植物體의 水分含量의 변화는 표 1과 같다. 지상부 생체중은

Table 1. Fresh, dry weights and water content of barley seedlings cultured at different NaCl concentration containing 1/2 Hoagland solution at 30 days after seeding

Characters	Plant parts	NaCl (mM)				
		0	25	50	75	100
Fresh weight (mg /seedling)	Shoot	137	335	280	231	120
	Root	189	243	132	84	41
	Total	506	578	412	315	161
Dry weight (mg /seedling)	Shoot	21.9	25.5	22.9	20.2	10.4
	Root	11.9	17.5	11.1	6.9	3.4
	Total	33.8	43.0	34.0	27.1	13.8
Water content (%)	Shoot	93.0	92.4	91.8	91.3	91.3
	Root	93.7	92.8	91.6	91.8	91.7
	Total	93.3	92.6	91.8	91.4	91.4

Table 2. Fresh, dry weights and water content of barley seedlings cultured at different NaCl concentration containing 1/2 Hoagland solution for 7 days after cultured in 1/2 Hoagland solution for 30days

Characters	Plant parts	NaCl (mM)				
		0	25	50	75	100
Fresh weight (mg /seedling)	Shoot	343	347	363	344	325
	Root	217	211	209	189	187
	Total	555	558	572	533	512
Dry weight (mg /seedling)	Shoot	28.1	30.4	31.4	29.3	28.5
	Root	16.4	16.0	16.7	16.1	15.8
	Total	44.5	46.4	48.1	45.4	44.3
Water content (%)	Shoot	91.8	91.2	91.4	91.5	91.2
	Root	92.4	92.0	92.0	91.5	91.6
	Total	91.7	91.6	91.6	91.5	91.4

수경액에 염분을 처리하지 않은 구에서는 한 식물체당 317mg이었으나 25mM의 염분농도에서는 335mg으로 증가하였으며 염분농도 50mM 이상에서 280~120mg으로 염분을 처리하지 않거나 25mM의 염분농도에 재배할 때의 38~36%로 62~64%의 생체중 감소를 보였다. 이러한 경향은 뿌리에서도 유사하여 염분농도가 50mM 이상에서 생육시켰을 때 뿌리의 생체중은 132~41mg이었으나 수경액에 염분을 처리하지 않거나 25mM의 염분을 처리할 때는 189~243mg으로서 염해에 의한 근중 감소는 지상부에 비하여 더욱 심한 78~83%였다. 식물체의 水分含量은 수경액의 염분농도를 0에서 100mM까지 증가시키에 따라 지상부에서는 93~91.3%였고 지하부에서는 93.7~91.6%로 감소의 정도가 비슷하여 염지에서 30일 정도 재배할 경우 무등쌀보리는 CAM plant

와는 달리 葉肉의 다즙화는 일어나지 않음을 알 수 있었다.

수경액에 30일간 재배한 후 염분 농도별로 7일간 생육시킨 결과는 표 2에서 보는 바와 같다. 이 경우에도 성장량 감소의 경향은 30일 동안 지속적으로 염분이 포함된 수경액에 생육시킨 경우와 동일하였다. 다만 성장량 감소의 정도에 있어서는 수경액의 NaCl 농도가 100mM에서 성장한 것이 지상부 325mg, 지하부 187mg으로서 염분을 공급하지 않은 구의 생체중인 343mg 및 217mg에 비하여 지상부에서는 5% 정도, 지하부의 경우에는 12% 정도의 성장량 감소를 보여 기간에 대한 환산을 한 값(각각 $\times 37/7$)으로 비교해 볼 때 지상부의 경우 28%, 지하부의 경우 73%로서 파종시부터 배지에 염분을 공급한 경우보다 생육량 감소의 정도가 지상부에서는 현저하게 약하였으

Table 3. Morphological traits of Barley seedlings to NaCl containing 1/2 Hoagland solution at 30 days after seeding

Characters	Unit	NaCl(mM)				
		0	25	50	75	100
First leaf area	(cm ² /seedling)	4.0	3.8	3.3	2.7	2.5
width	(mm)	5.2	5.3	5.4	4.9	4.8
length	(cm)	9.0	8.8	7.4	6.7	6.3
Shoot length	(cm)	16.8	16.8	14.5	12.5	10.2
Root length	(cm)	20.5	28.6	22.2	15.6	11.4
Root number	(each)	5.1	5.0	5.0	5.3	5.6
Stoma number	(each /cm ²)	3,683	3,846	3,886	4,788	5,153

나 지하부에서는 거의 비슷하였다.

초엽 및 초장의 길이, 엽면적은 수경액의 염분 농도가 증가함에 따라 감소하였고 엽폭은 뚜렷한 변화의 경향이 없었다. 뿌리 길이는 지상부의 경우와 성장정도가 일치하여 25mM의 염분을 함유한 수경액에서 뿌리의 길이가 28.6cm로 가장 길었으며, 근수는 배지에 염분이 공급된 구중 50mM까지는 개체당 5.0~5.1개로 비슷하였으나 100mM의 경우 5.6개로 약간 증가함을 볼 수 있는데 이는 신장생장의 억제제가 근수의 증가를 유도하는 결과를 가져온 것으로 사료된다. 또한 초엽의 기공수는 수경액의 염분농도가 증가함에 따라 단위 면적당 수가 증가하는 경향을 볼 수 있어

무처리구에서는 3,683개/cm², 염분농도 100mM구에서는 5,153개/cm²였는데, 염분 처리구에서는 초엽의 길이가 감소하여 엽신의 면적과 단위 면적당 수를 고려해 볼 때 무처리구가 14,732개(엽면적×단위면적당 기공수)인 반면 100mM구는 12,883개를 보여 생육중 염분 농도 증가에 따라 기공수가 다소 감소되는 경향을 보였다.

수분 Stress의 경우에는 엽록체의 구조에 있어서 뒤틀린다든지 切斷 等이 일어나는데³⁾ 반하여 엽지에서 식물을 재배할 경우에는 75mM의 고농도에서 재배할 경우에도 엽록체의 구조변화는 일어나지 않음을 알 수 있는데 葉綠體가 있는 주위의 부분과 엽록체에 대하여 살펴본 결과는 사진 1과 같다. 뿌리의 성장점에서는 배지의 염분농도가 높아 NaCl에 의해 stress를 받을 경우 받지 않은 경우에 비해 核分裂이 둔화되는 것을 볼 수 있고(사진 2), 이 부분에 대하여 전자현미경을 통하여 확대해 보면 분열이 왕성하지 않은 세포에서는 불규칙형의 고형물질이 세포벽 쪽에 많이 위치해 있어 세포질로부터 세포벽 쪽으로 움직이



Photo 1. Structure of chloroplast of barley leaf cultured at 75mM of NaCl containing 1/2 Hoagland solution; untreated(↑) and treated by 75 mM NaCl(↓). × 24,000

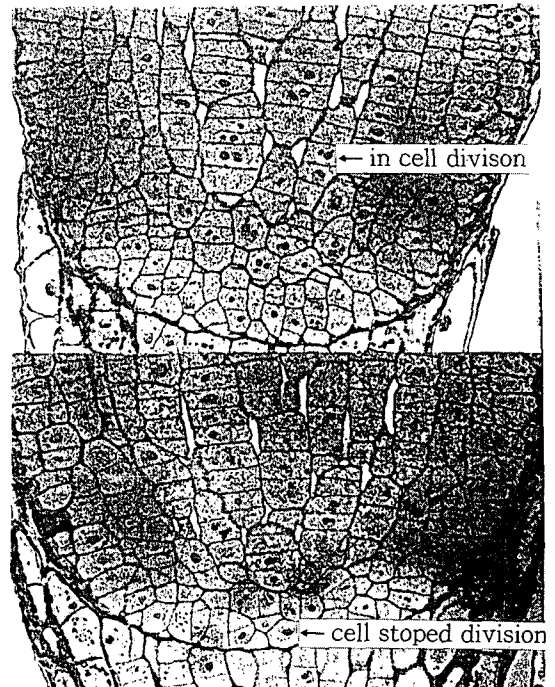


Photo 2. Growing point of barley root; untreated(↑) and treated by 75 mM of NaCl(↓). × 400

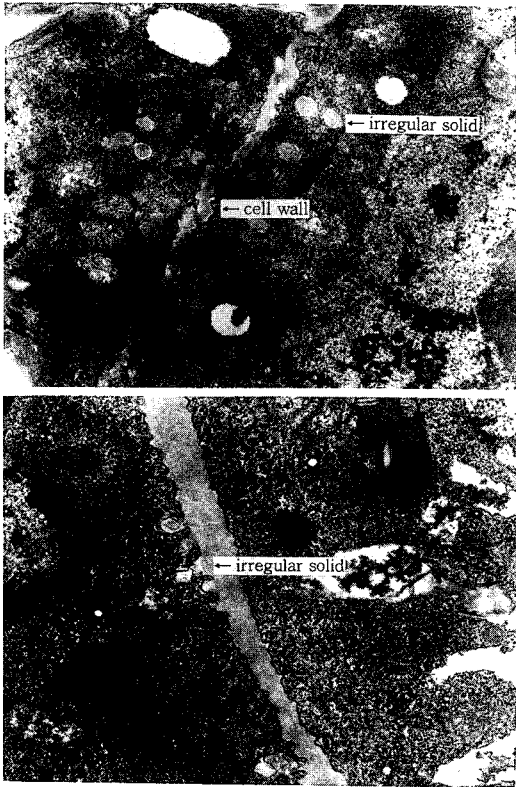


Photo 3. Transfer of irregular solid from the cytoplasm to the cell wall at root growing point, cultured at 75mM of NaCl containing 1/2 Hoagland solution. × 24,000

지 않나 하는 추측을 갖게 하는데(사진 3) 이는 보리가 갖는 내염성 기구의 하나로서 세포내에 흡수된 Na를 액포에 저장하거나 도관외로 배출하고 배출된 Na를 목부의 유조직에 저장한다든지 세포벽등의 후형질 조직에 저장하는 기구⁵⁾의 발현으로 여겨지는 바 불규칙형의 고형물질은 Na의 농도가 높을 것으로 사료된다. 또한 세포내 微小器官의 변화로서는 높은 NaCl 농도에 의해 stress를 받을 경우에 mitochondria가 파괴되는 현상을 볼 수 있었다(사진 4). Mitochondria는 식물체의 대사작용에 가장 중요한 역할을 하는 energy(ATP) 생산 장소로서 이것이 파괴되기

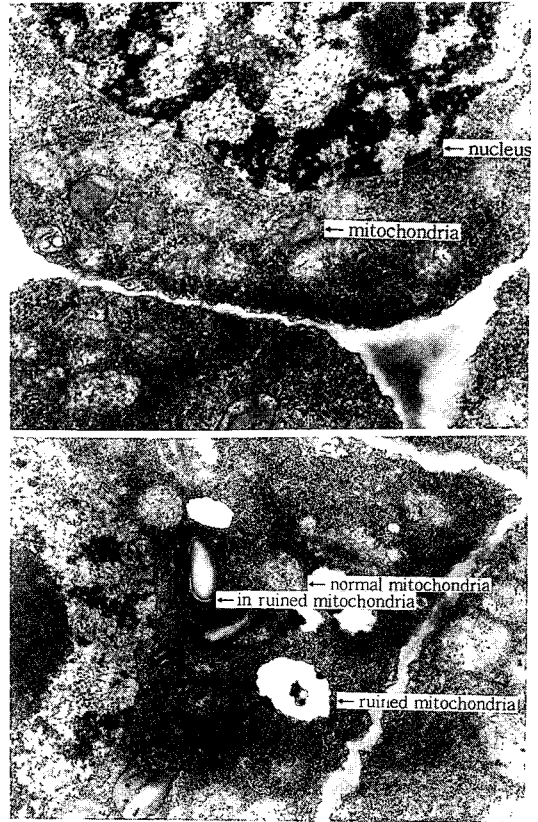


Photo 4. Malformation of mitochondria at root growing point; untreated(↑) and treated by 75 mM NaCl(↓). × 24,000

나 손상될 경우 ATP의 생산량 및 효율이 떨어질 것이며 결과적으로 뿌리에서는 세포분열이 불안정하고 지상부에서는 물질생산의 가장 중요한 역할인 광합성이 간접적으로 큰 피해를 받게 된다. 또한 뿌리로부터 지상부로의 염분의 이행 억제를 위해서는 energy(ATP)의 요구도가 큰 바 ATP가 부족할 경우 NaCl의 무조건적 흡수 및 이행으로 인한 식물체의 사멸을 초래할 수 있다.

摘 要

염분농도가 상이한 1/2 Hoagland 수용액에

보리 유식물을 생육시켰을 때 수경액의 염분농도가 높아짐에 따른 몇가지 변화의 양상을 관찰한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 지상부나 지하부의 생육량은 수경액에 25mM 정도 NaCl이 함유된 때에 오히려 많았으나, NaCl 농도가 50mM 이상일 때에는 현저하게 감소하기 시작했다.
2. 식물체내의 수분함량은 수경액의 NaCl 농도가 높아질수록 낮아져 염생식물과는 달리 식물체내에 있는 NaCl이 삼투압 조절물질로 작용하지는 않았다.
3. 수경액의 NaCl의 농도가 높아짐에 따라 초엽에 있어서 단위 면적당(cm²) 기공의 수는 많았으나(무처리:3,683, 100mM NaCl처리:5,153) 길이가 짧아져 약간씩 감소하였다.
4. 뿌리의 성장점은 수경액의 NaCl 농도가 75mM 이상인 경우에 핵분열이 심하게 저해되었다.
5. 수경액의 NaCl 농도가 75mM 이하의 경우 엽록체는 NaCl에 의해 stress를 받지 않아 형태적인 면에서 변화가 없었으나 근단 성장점의 Mitochondria가 파괴되는 현상을 볼 수 있었고 NaCl 75mM구에서 불규칙한 고형물질이 세포벽쪽에 밀집한 것을 관찰할 수 있었다.

引用文獻

1. 천중은, 이은섭, 정동희, 정태영. 1993. 수분 및 salt stress하에서 대맥품종의 발아력과 출현력의 차이. 한작지 28(1):121-127.
2. Hanson, A.D. and W.D. Hitz. 1982. Metabolic response of mesophytes to plant water deficits. Ann. Rev. Plant Physiol. 33:163-203.
3. Hinch, D.K., R. Hofner, K.B. Schuab, U. Heber and J.M. Schmitt. 1987. Mem-

brane rupture is the common cause of damage to chloroplast in leaves injured by freezing or excessive wilting. Plant Physiol. 83:251-253.

4. Iraki, N.M., N. Singh, R.A. Bressan and N.C. Carpita. 1989. Cell walls of tobacco cells and changes in composition associated with reduced growth upon adaptation to water and saline stress. Plant physiol. 91:48-53.
5. Kim, C.S. 1992. Physiological mechanism of halophytes. Crop Experiment Station Symposium, 17:100-123.
6. Kramer, D., A. Lauchli, A.R. Yeo and J. Gullasch. 1977. Transfer cells in roots of *Phaseolous coccineus*; ultrastructure and possible function in exclusion of sodium from the shoot. Ann. Bot. 41:1031-1040.
7. Narele, R.P., T.K. Subramanyam and R. K. Mukherjee. 1969. Influence of salinity on germination, vegetative growth and grain yield of rice(*Oryza sativa* var. Dular). Agron. J. 61:341-344.
8. Navetiyal, R.C., V. Ravindra and Y.C. Joshi. 1989. Germination and early seedling growth of some ground nut(*Arachis hypogea* L.) cultivars under salt stress. Indian J. Plant Physiol. 32:251-253.
9. Winter, K. and R. Gademann. 1991. Daily changes in CO₂ and water vapor exchange, chlorophyll fluorescence and leaf water relations in the halophyte *Mesembryanthemum crystallinum* during the induction of Crassulacean acid metabolism in response to high NaCl salinity. Plant Physiol. 95:768-776.