

作物의 耐鹽性 機作 研究

II. 鹽分濃度에 따른 보리, 호밀, 이탈리아라이그래스 幼苗의 生理反應

金忠洙* · 趙振雄* · 李錫榮**

Mechanisms of Salt Tolerance in Crop Plants

II. Physiological Responses of Barley, Rye, and Italian Ryegrass Seedling to NaCl Concentration

Choong Soo Kim* · Jin Woong Cho* and Sok Young Lee**

ABSTRACT : Rye(*Secale cereale* cv. Chunchu), barley(*Hordeum vulgare* cv. Dusan 29#), and italian ryegrass(*Lolium multiflorum* cv. Barmultra) were treated at 0, 0.1, 0.3, and 0.6% of NaCl solution for 30 days. Plant height, leaf length, and leaf area were decreased with increasing NaCl level, and leaf area was decreased mainly due to decrease of leaf length. Root length was decreased at higher NaCl levels, but root number was increased. Shoot dry weight was decreased by increasing NaCl levels in rye and italian ryegrass, but barley did not show significant change. Dry weight of root was more decreased than that of shoot at higher NaCl levels. Chlorophyll content was decreased, but electric conductivity of shoots and roots was increased at higher NaCl levels.

Na⁺ content in shoot and root was increased with increasing NaCl level but the degree was not same. Reducing power of roots was that three crops as affected by NaCl was not equal. Barley was the most tolerant to NaCl stress.

Key word : Salt tolerance, Barley, Rye, Italian ryegrass, NaCl

幼苗期는 種子가 貯藏養分으로 성장을 하다가 독립적으로 生長을 해야하기 때문에 耐性에 민감한 時期라고 할수 있다^{3,7,10,15,16}. 또한 이 시기는 發芽期의 耐性發現機構가 幼苗期로 어떻게 연결되느냐 즉 從屬營養期에서 獨立營養期로 전환되면서 stress에 대한 耐性의 變化유무라는 측면에서도 문제를 제기 할 수 있겠다^{7,15,16}. 유묘기에서의 耐性發現

의 機作은 발아기와는 이들로부터 耐性에 관련된 물질들을 유도하고, 生育의 형태를 鹽地에서 잘 자랄수 있도록 最適化 시키고 이 이후로는 거의 비슷한 기구로서 生長기간동안 내성을 발현해야 한다는 점에서 生育에 필요한 양분을 저장양분에 의존할 때와는 조건이 매우 다르기 때문이다. 이러한 관점에서 내염성에 대한 考察은 種子의 발아기에

이 논문은 1991년도 문교부지원 학술진흥재단의 지방대육성과제 학술연구조성비에 의하여 연구되었음.

* 忠南大學校 農科大學(College of Agriculture, Chungnam National University, Taejeon 305-764, Korea)

** 農業遺傳工學研究所(Agricultural Biotechnology Institute, RDA, Suwon 441-100, Korea)

(93年 9月 1日 接受)

結果 및 考察

이어 유묘기로 행해져야 할 것이며 이 시기야 말로 앞으로의 내염성에 대한 기구의 정착단계로서 중요성이 크다고 할 수 있는데^{1,3,16)} 이에는 植物體의 形態의 · 構造의 變化를 비롯하여 식물체내 필수요소인 鈣^{7,9)}, 鹽分 stress에 의한 水分均衡과 이들에 關係하는 物質¹²⁾, 耐性誘導 蛋白質^{11,12)}, 調節遺傳子의 變化¹³⁾ 등이 關係한다고 할 수 있다.

材料 및 方法

본 실험에서는 보리(*Hordeum vulgare* cv. Duna 29#), 호밀(*Secale cereale* cv. Chunchu), 이탈리아 라이그래스(*Lolium multiflorum* cv. Bar-multra) 등의 飼料作物을 선택하였다.

시험재료 식물은 크기 30cm×20cm×15cm(길이×폭×높이)의 플라스틱 통에 NaCl로 염분의 濃度를 조절된 물을 넣어 水耕栽培를 하였으며 4일간격으로 電氣電導度計(EC meter)로 수경액의 전기전도도를 측정 한 후 NaCl의 농도를 조절하였다.

유묘기에서의 조사항목은 發芽 후 15일의 根長, 草長, 葉長, 葉幅, 根數 및 葉綠素含量이었으며, 독립영양기인 발아후 30일의 草長, 葉長, 體內水分含有率, 電氣電導度, 잎 및 뿌리의 Na⁺ 含量, 葉綠素含量, 葉面積과 根活力을 조사 또는 측정하였다.

식물체로부터 세포액의 유출정도를 알기위해 실시한 전기전도도의 측정은 식물체의 잎과 뿌리에 대하여 각각 실시하였는데 잎의 경우는 지름 3.5 mm 코르크 borer로 20절편씩 취한후 10 ml의 증류수에 24시간 담근후 침출하여 측정하였고 뿌리는 5 mm 간격으로 500 mg을 취한 후 100 ml의 증류수에 24시간 담근 후 EC meter(CM-40S, TOA Electronics)를 사용하여 측정하였다. 잎 및 뿌리의 Na⁺ 함량을 IRRI 방법으로 침출하여 Atomic absorption spectrometer를 이용하여 Na⁺ 함량을 측정하였다. 엽록소 함량은 IRRI 방법으로 측정하였으며 근활력은 Triphenyl-tetrasolium chloride 법(TTC-test)에 의해 실시하였다.

1. 幼苗期의 生育狀況

과종 15일 후의 형태적 지표인 생육상황은 표1과 같다. 호밀에 있어서 초장은 0.3%의 농도까지는 NaCl을 처리하지 않은 구와 차이가 없는 것으로 나타났다. 그러나 0.6%의 경우 NaCl을 처리하지 않은 구의 53% 정도밖에 生育하지 못하여 生育障害을 크게 받는것을 알 수 있다. 또한 葉幅에 있어서도 0.3%까지는 減少의 경향이 없었으나 0.6%의 경우 若干(대조구의 7%정도) 감소함을 보였다. 葉장은 초장과 비슷한 경향으로서 역시 0.6%의 농도에서 43%정도의 減少率을 보였다. 그러나 地下部 生育 정도인 根長에 있어서는 50% 이상의 감소를 보인 반면 根數는 증가하는 경향(10%정도 증가) 이어서 根長의 감소를 根數로 보상하는 것으로 생각되었다. 엽폭에 대한 葉長의 比率에 있어서는 역시 0.3%의 濃度까지는 차이가 없었으나 0.6%의 농도에서는 현저하게 감소 하는것을 보였다. 이것은 細胞의 生長過程에서 幅의 生長보다는 길이의 生長이 葉분농도의 영향을 크게 받음을 말해준다고 할 수 있다.

보리의 경우는 호밀과 유사한 경향이었으나 0.6%의 葉분농도에서의 생육정도가 호밀보다는 좋게 나타났으며 엽폭에 대한 葉長の 比가 호밀과 같이 심하지는 않았다. 또한 0.1%의 鹽條件에서는 생장이 오히려 촉진되는 것으로 나타났다. 지상부나 지하부의 生育抑制에서는 생장이 오히려 촉진되는 것으로 나타났다. 지상부나 지하부의 生育抑制程度를 비교해 볼때 지상부보다 지하부에서 stress에 대한 감소의 정도가 큰 것으로 나타나 1次 接觸部位인 뿌리에서 생육장애를 더 받는것이 또한 관찰되었다.

호밀이나 보리와 같이 월년생 飼料作物인 이탈리아 라이그래스에서는 호밀이나 보리와는 약간 다르게 낮은 葉분 농도에서도 초장이나 근장이 모두 감소하였으며 이러한 경향은 葉분농도가 증가함에 따라 정도가 더 심하였다. 또한 根長은 호밀이나 보리의 경우와 같이 葉분 농도가 높아짐에 따라 直線的인 감소의 경향을 보였으나 근수에서는 증감의 경향이 없어 호밀이나 보리와는 약간 다른

Table 1. Growth characters of seedlings of three crop species in different NaCl levels observed at 15 days after sowing

Species	NaCl conc. (%)	Plant hight	Leaf width	Leaf length	Root length	No. of root				
		(cm)	(mm)	(cm)	(cm)	(each)	C/B	B×C	A/D	D×E
		A	B	C	D	E				
Rye	0	13.6	4.2	9.2	12.2	6.0	21.9	3.86	1.11	73.2
	0.1	13.4	5.0	9.8	12.2	6.2	19.6	4.90	1.10	75.6
	0.2	13.8	4.5	9.6	14.1	6.2	21.3	4.32	0.98	87.4
	0.3	13.6	4.3	9.6	14.0	6.4	22.3	4.13	0.97	89.6
	0.6	7.2	3.9	5.2	6.0	6.6	13.3	2.03	1.20	39.6
Barley	0	17.6	6.7	11.6	16.1	5.8	17.3	7.77	1.09	93.4
	0.1	19.4	7.2	14.6	18.6	6.6	20.3	10.51	1.04	122.8
	0.2	18.6	6.8	12.8	11.7	6.8	18.8	8.70	1.59	79.6
	0.3	18.5	6.8	12.6	11.2	7.0	18.5	8.57	1.65	78.4
	0.6	12.4	6.5	9.6	10.7	7.4	14.8	6.24	1.16	79.2
Italian ryegrass	0	13.4	-	11.0	11.3	2.8	-	-	1.19	31.6
	0.1	11.4	-	9.8	11.0	2.0	-	-	1.04	22.0
	0.2	10.2	-	8.7	9.1	2.2	-	-	1.12	20.0
	0.3	10.2	-	8.2	8.5	2.1	-	-	1.20	17.9
	0.6	8.4	-	5.4	5.9	2.0	-	-	1.42	11.8

Table 2. Chlorophyll content of three crop species in different NaCl levels

Species	NaCl(%)	Chlorophyll content(mg /F.W)				
		0	0.1	0.2	0.3	0.6
Rye		1.01	1.07	1.16	1.17	1.19
Barley		1.07	1.00	1.11	1.05	1.09
Italian ryegrass		1.02	1.20	1.22	1.22	1.27

결과를 보였다. 이들간의 내성의 차이는 作物 自體의 遺傳的 背景도 다르긴 하겠으나 호밀이나 보리의 경우는 종자에 自體養分이 많은 반면 이탈리아 라이그래스는 小粒種子로 저장양분이 적기 때문에 stress에 대한 耐性이 상대적으로 낮은 것으로 생각된다(표1).

葉綠素 함량은 호밀과 이탈리아 라이그래스에서는 배지의 鹽分 含量이 증가함에 따라 單位 生體重 當 葉綠素 含量이 증가하는 경향이었으나, 보리에서는 배지의 염분농도가 증가하여도 엽록소 함량의 변화에는 큰 차이가 없었는데 이것은 세포의 크기나 엽록소의 구조등이 다르기 때문일 것으로 생각되나 이에 대하여는 계속 검토할 예정이다(표 2).

2. 獨立營養期의 草長 및 葉長

파종 후 30일에 있어서 초장은 호밀, 보리, 이탈

리안 라이그래스 모두 鹽分濃度가 높을수록 감소하는 경향이였으며 그러한 경향은 염분농도가 0.6% 정도인 수경액의 경우 더욱 심하였다. 제 2葉을 측정한 葉長에 있어서도 草長의 경우와 마찬가지로 염분농도가 높아짐에 따라 葉長이 짧아지는 경향이였으며 이러한 경향은 염분농도가 0.6% 정도로 높을 경우 더욱 심하게 나타났다(그림 1).

3. 生體內 水分含量

식물생체 1g당 지상부 乾物重의 경우 호밀에서는 염분농도의 증가에 따라 건물중이 감소한 반면 보리와 이탈리아 라이그래스에서는 염분농도의 증가에 따라 별다른 차이를 보이지 않고 있다. 이러한 결과를 미루어 볼때 호밀의 경우 뿌리에서 吸收한 NaCl이 地上部로 移行했을 가능성이 높으며 이로 인해 高鹽濃度에서 生育할 경우 체내의 수분 요구도가 높아짐을 추측할 수 있고 반대로 이탈리아 라이그래스의 경우 염분을 처리하지 않는 구와 염분을 처리한 구 간에 별다른 차이를 보이지 않는 것으로 보아 염분이 지상부로 크게 이동하지 않았을 것을 추측할 수 있다(표 3).

生體 1g에 대한 地下部 乾物重의 경우 호밀과 이탈리아 라이그래스에서는 염분 농도가 증가함에 따라 생체 1g에 대한 건물중은 감소의 경향을 보인

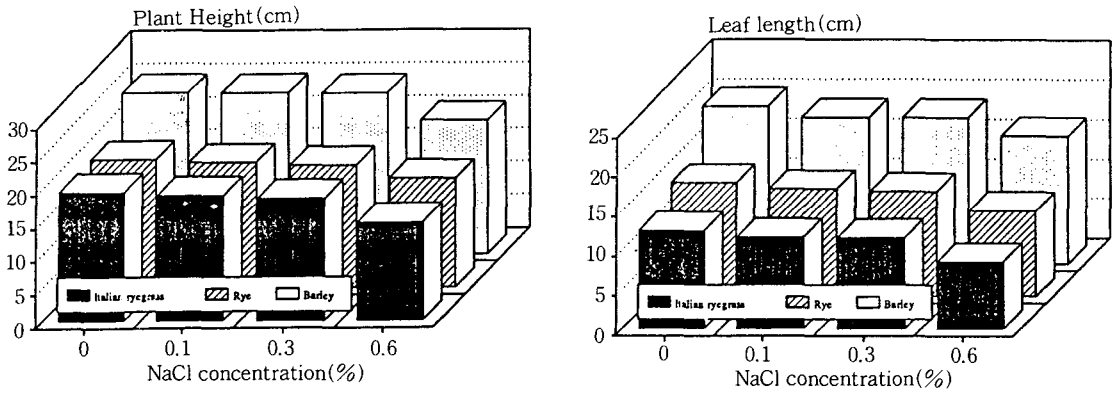


Fig. 1. Plant height and leaf length of three crop species in different NaCl levels.

Table 3. Shoot and root dry weight of three crop species in different NaCl levels

NaCl level (%)	Shoot dry weight (mg /F.W)			Root dry weight (mg /F.W)		
	Rye	Barley	Italian ryegrass	Rye	Barley	Italian ryegrass
0	117	97	98	54	60	58
0.1	117	102	101	44	61	64
0.3	106	95	99	40	58	58
0.6	91	100	90	30	56	38

Table 4. Chlorophyll content of three crop species in to different levels

NaCl level (%)	Rye	Barley	Italian ryegrass
	-mg chlorophyll /g F.W-		
0	1.780	1.554	1.472
0.1	1.770	1.554	1.380
0.3	1.592	1.512	1.160
0.6	1.480	1.392	1.020

반면 보리에서는 염분농도가 0.6%까지 증가함에 도 불구하고 건물중 변화의 경향은 인정할 수 없었다. 이는 호밀과 이탈리아라이그래스에서는 염분 함량이 높은 배지에서 생육할 경우 염분의 흡수에 이어 수분의 흡수가 행해져 植物體 内部에 수분의 함량이 많은 것으로 생각되나 보리와 같은 작물에서는 그 영향이 크지 않은 것을 짐작할 수 있다.

4. 葉綠素 含量

엽록소함량은 전체적으로 염분농도가 높은 곳에서 생육된 식물체가 염분이 없이 생육한 植物體보다 葉綠素 含量이 감소하는 경향으로 나타났는데

호밀과 이탈리아 라이그래스는 그러한 경향이 심하였으며 보리는 염분농도가 증가하여도 엽록소함량은 큰 변화가 없는 것으로 나타났다. 이 결과는 식물체의 單位生體重當 엽록소 함량이 높았던 生育初期와 比較해 볼때 중요한 점을 시사한다고 할 수 있다. 즉 염분 함량이 높은 경우 초기에는 種子의 耐性發現이 誘導되어 初葉의 展開는 늦고 그 크기가 작았으나 엽록소 함량이 높은 것을 볼 수 있었으나 그러나 생육이 진전되면서 組織이 딱 짜여져 있는 상태에서 엽록소함량이 낮은 것을 볼때 植物體 内部에 異狀이 있음을 추측해 볼수 있겠으며 엽록소함량이 光合成能力과 相關關係가 높다는 많은 보고^{5,6,10,14,15,16)}들을 참고로 할때 엽록소함량이 수준이하로 낮아진다는 것은 광합성능력이 감소하여 생육에 지장을 초래한다는 것을 의미한다.

5. 잎 및 뿌리의 細胞液流出

잎 및 뿌리에 있어서의 세포액유출정도 측정은 식물체가 염분에 의한 stress를 받을때 야기되는 膜의 변화와 이로인한 細胞液의 유출을 알기 위해

실시한 실험이다. 재료 및 방법에서 언급했던 바와 같이 지상부와 지하부에 있어서의 세포액 유출정도를 전기전도도 값으로 측정한 결과는 표 5와 같다.

전기전도도는 뿌리나 잎의 경우를 막론하고 염분농도가 높은곳에서 자란 植物體일수록 높은 것으로 나타났다. 이것은 염분농도가 높은곳에서 성장한 식물체 일수록 細胞液의 유출정도가 크다는 것을 의미한다. 그러나 이 유출된 세포액이 어떤 經路 즉 膜의 破壞인지 아니면 膜의 構造의 變化인지는 더욱 세밀한 고찰이 있어야 할 것이다. 또한 측정된 전기전도도가 단순히 細胞液인지 아니면 식물체에 흡수된 염분이 포함되어 있는가 하는 것도 고찰되어야 할 것이다.

그림 2는 Na⁺ 지상부 이동 정도에 대하여 알기 위해 식물체 지상부와 지하부의 Na⁺ 함량을 조사한 결과이다. 염분농도가 높아짐에 따라 지상부나 지하부의 Na⁺ 함량은 증가하였으며 작물의 종류별로 볼때 호밀은 지상부와 지하부의 함량이 유사하였으나 보리와 이탈리아 라이그래스는 지하부에

비해 지상부에서 함량이 낮음으로 인해 지상부로 이행시키지 않는 것으로 생각된다. 이는 但野¹⁶⁾가 밀과 무우에서 지상부 이행 정도를 실험한 결과에서 무우가 Na⁺를 지상부로 이행시키는 식물임에 비해 밀은 이탈리아 라이그래스의 경우에서처럼 지상부의 함량이 지하부의 함량에 비해 낮다는 결과와 일치한다고 할 수 있다.

6. 根活力

Triphenyl-tetrazoliumchloride 法(TTC method)에 의해 측정된 根活力은 표 7과 같다. TTC 法에 의한 根의 活力은 單位乾物重에 대한 시간에 따른 생성된 포 fromazan 量(mg /g.h)으로 나타내는데 호밀에 있어서는 수경재배한 경우에 활성이 0.75로 가장 높은 것으로 나타났으며 약한 鹽分濃度인 0.1%에서도 활성은 떨어지지만 높은 값을 나타내었다. 그러나 鹽分濃度의 농도가 높아질수록 유의하게 활성이 감소하는 것을 볼수 있다. 보리와 이탈리아 라이그래스에서는 이와는 相異하게 나타

Table 5. Electric conductivity of solution extracted from leaf and root cultured in different NaCl levels

NaCl level (%)	Root			Leaf		
	Rye	Barley	Italian ryegrass	Rye	Barley	Italian ryegrass
	-μS-			-μS-		
0	399	293	303	230	360	370
0.1	424	485	417	390	550	370
0.2	584	618	577	490	580	510
0.4	656	680	657	740	760	590

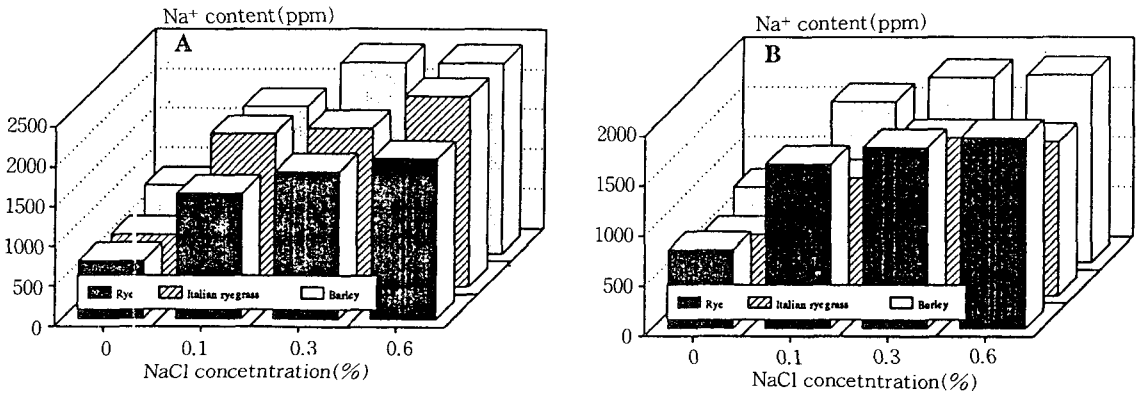


Fig. 2 Na⁺ content of plant leaf and root cultured in different NaCl levels. A : Root B : Leaf

Table 6. Root activity of three crop species in different NaCl levels(mg Formazan /g D.W.h)

NaCl level(%)	Rye	Barley	Italian ryegrass
0	0.75	0.45	0.31
0.1	0.65	0.56	0.31
0.3	0.46	0.71	0.48
0.6	0.43	0.71	0.51

났는데 염분을 처리하지 않은 구 보다도 염분을 처리한 구에서 根의 活力이 크게 높은 것으로 나타났다. 이들의 경우를 비교해 볼 때 호밀은 자체의 활력이 강한 작물로서 염분농도가 높아짐에 따라 근활력이 감소하나 보리와 이탈리아 라이그래스는 높은 농도의 염지에서도 활력을 유지하는 작물로 생각된다.

摘 要

보리, 호밀, 이탈리아 라이그래스를 實驗材料로 하여 鹽分濃度가 다른 培養液에서 수경재배하면서 염분농도에 따른 幼苗期의 生育反應을 조사하였다.

1. 播種 후 15日째의 草長과 葉面積은 세 작물 모두 鹽分濃度가 높아짐에 따라 감소하는 경향이었으며 葉面積의 감소는 葉幅의 減少보다는 葉長의 減少가 그 原因이었으며 鹽分濃度가 높아짐에 따라 根長은 감소하는 경향이였다.
2. 염분농도의 증가에 따른 生長량 감소의 정도는 보리 > 이탈리아 라이그래스 > 호밀의 순이었다.
3. 엽록소함량은 호밀과 이탈리아 라이그래스는 염분농도가 높아짐에 따라 증가하는 경향을 보였으나 보리는 변화의 경향이 없었다.
4. 生體重 1g에 대한 乾物重은 호밀과 이탈리아 라이그래스는 鹽分의 濃度가 높아짐에 따라 減少하여 高鹽條件에서 生育할 경우 生體內 水分의 含量이 높아졌으며 보리는 변화의 양상이 없었다.
5. 葉綠素含量은 鹽分濃度가 0.6%로 높은 경우에는 세 작물 모두 減少하는 傾向이었고 電氣電導度는 鹽分의 濃度가 높아짐에 따라 增加하는 傾向을 보였다.
6. 뿌리와 잎에 함유된 Na^+ 은 鹽分의 濃度가 높아

질수록 증가하였는데 호밀의 경우는 잎과 뿌리의 含有量은 비슷한 반면 보리와 이탈리아 라이그래스에서는 뿌리보다 잎에서 Na^+ 의 含量이 낮은 것으로 나타나 鹽分을 잘 이동시키지 않는 機構를 가지고 있다고 할 수 있다.

7. 根活力은 호밀이 鹽分의 濃度가 높아짐에 따라 活力이 減少하는 반면 보리에서는 鹽分濃度의 增加에도 活力이 오히려 높아졌다.

參 考 文 獻

1. Dennis Lajof, and John M. Cheeseman 1988. Sodium and Potassium Compartmentation and Transport in the Roots of Intact Lettuce Plants. *Plant Physiol.* 88 : 1279-1284.
2. D.P. Schachtman, Rana Munns, and M.I. Whitecross 1991. Variation in Sodium Exclusion and Salt Tolerance in *Triticum tauschii*. *Crop Science* 31 : 992-997.
3. D. Kramer, A. Lauchli and A. R. Yeo 1977. Transfer Cells in Roots of *Phaseolus coccineus* : Ultrastructure and Possible Function in Exclusion of Sodium from the Shoot. *Ann. Bot.* 41 : 1031-1040.
4. Eduardo Blumwald, Edward J. Cragoe, Jr., and Ronald J. Poole 1987. Inhibition of Na^+ / H^+ Antiport Activity in Sugar Beet Tonoplast by Analogs of Amiloride. *Plant Physiol.* 85 : 30-33.
5. 金忠洙. 1990. Saline stress하에서의 光合成 및 呼吸. *韓國作物學會誌.* 35 : 362-369.
6. ———. 1992. 鹽生植物의 生理的 特性. *農振廳심포지엄* 17호. 100-123.
7. Matoh Toru 1991. Salt-tolerance mechanisms of higher plants. *Plant Cell Engineering.* 4(4) : 268-272.
8. M.G. Pitman and H.D.W. Saddler 1967. Active Sodium and Potassium Transport in Cells of Barley Roots. *Botany* 57 : 44-49.

9. Nicholas C. Carpita 1985. Tensile Strength of Cell Walls of Living Cells. *Plant Physiol.* 79 : 485-488.
10. Peter M. Neumann, Elizabeth Van Volkenburgh, and Robert E. Cleland 1988. Salinity Stress Inhibits Bean Leaf Expansion by Reducing Turgor, Not Wall Extensibility. *Plant Physiol.* 88 : 233-237.
11. Subbanaidu Ramagopal 1987. Salinity Stress Induced Tissue-Specific Proteins in Barley Seedlings. *Plant Physiol.* 84 : 324-331.
12. Trou Matoh, Junko Watanabe, and Eiichi Takahashi 1987. Sodium, potassium, Chloride, and Betaine Concentrations in Isolated Vacuoles from Salt-Grown *Atriplex gmelini* Leaves. *Plant Physiol.* 84 : 173- 177.
13. William J. Hurkman, Charlene K. Tanaka, and Frances M. Dupont 1988. The Effects of Salt Stress on Polypeptides in Membrane Fractions from Barley Roots. *Plant Physiol.* 88 : 1263-1273.
14. Yukihiisa Shimada, Ayumi Tanaka, Yoshito Tanaka, Tetsuko Takabe, Teruhiro Takabe and Hideo Tsuji 1990. Formation of Chlorophyll-protein Complexes during Greening 1, Distribution of Newly Synthesized Chlorophyll among Apoproteins. *Plant Cell Physiol.* 31(5) : 639-647.
15. 但野利秋. 1983. 作物の耐鹽性とその機構. *化學と生物.* 21(7) : 439-445.
16. 但野利秋. 1983. 植物の耐鹽性と生理學的機構. 沙丘利用研究施設創立30周年記念誌. pp : 19-35.