

作物의 耐鹽性 機作研究

I. 鹽分濃度에 따른 보리, 호밀, 이탈리아인 라이그래스 種子의 發芽生理反應

金忠洙* · 趙振雄* · 李錫榮**

Mechanisms of Salt Tolerance in Crop Plants

I. Physiological Responses of Barley, Rye and Italian Ryegrass Seed Germination to NaCl Concentrations

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

ABSTRACT : This experiment was conducted to elucidate the salt tolerance mechanism of crop plants. Plants used in this experiment were rye, barley, Italian ryegrass. Seeds were treated at saline condition and the saline conditions were controlled by NaCl. The results were summerized as follows.

In rye, germination ratio and speed were above 90% and 80% at NaCl concentrations below 0.5% but germination ratio was seriously decreased at NaCl concentration above 0.6%. In barley germination ratio was not less than 80% at NaCl concentration below 0.8%. In italian ryegrass germination ratio was decreased gradually by increasing NaCl concentration but germination speed was seriously decreased at NaCl concentration above 0.6% as not more than 7.5%.

Water absorption rate was low in barley than rye and it was decreased by increasing NaCl concentration and duration of absorption.

In barley, carbohydrate content was decreased slightly in response to increased NaCl concentration and content of reducing sugar was independent of NaCl concentration. In rye, reducing sugar content was increased until 0.3% of NaCl and increased seriously after 20 hours.

β -Amylase activity was high at control and 0.6% lot of NaCl, but it was not general tendency.

Key word : Salt tolerance, Germination ratio, NaCl, Carbohydrate content, β -Amylase activity

세계적으로 볼때 鹽類土壤은 9억 5천만 ha 정도에 이르며 이는 지구상 作物栽培가 가능한 면적의 10%정도에 해당하고 우리나라 경지 면적의 약 440 배나 된다^{4,11)}. 그러나 鹽類土壤은 土性이 매우 불

량하고 鹽分濃度가 매우 높아 作物의 生育에 부적합 하다^{4,8,10,11,12)}. 이의 해결을 위해서는 토양을 改良하고 除鹽을 하며 근본적으로 이러한 토양에 잘 자랄수 있는 作物을 선택해서 재배해야 할 뿐 아니

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. 9. 1 接受>

라 植物이 鹽類土壤에서 鹽分의 含量에 따라 生育 障害을 받는 機構과 받지않는 機構를 알고 이를 토 대로하여 育種的·生態的으로 접근한다면 鹽類土壤에서의 作物栽培는 요원한일이 아니라고 생각된다. 우리나라에 존재하는 일부 南西海岸의 干拓地 뿐만이 아니라 세계적으로 널리 분포하는 이러한 鹽類土壤에 作物을 재배한다는 것은 세계적으로 심각한 食糧問題를 해결하는데 一익을 담당할 뿐만 아니라 세계의 産業構造 변화에 따른 環境變化에 대한 완충제로도 역할을 하게 될 것이다. 이러한 견지에서 植物이 염분조건에 처하면 어떻게 形態的, 生理的으로 변화하는가를 알고 鹽分과 作物 生育과는 어떤 관계가 있으며 作物의 生育을 증대 시키거나 減收를 최소화하기 위해서는 어떠한 조치를 해야 하는가에 대한 기초자료를 얻기 위해 본 실험을 실시하였다.

材料 및 方法

본 실험의 供試材料로는 보리, 호밀, 이탈리아 라이그래스 등의 飼料作物을 선택하였다. 공시작물의 품종은 보리가 두산 29호, 호밀은 춘추, 그리고 이태리안 라이그래스는 Barmultra 였다. 종자의 置相은 직경 9cm의 petri dish에 濾過池(watman No 1)를 2장 깔고 NaCl 濃度別로 5ml 씩 水分을 공급한 후 소독된 종자를 1 petri dish당 50粒씩 1處理當 5반복으로 試하였다.

發芽狀態에 있어서의 調査는 鹽分濃度에 따른 發芽率, 發芽勢, 鹽分濃度와 時間經過에 따른 吸水率, 還元糖 및 澱粉含量, 種子의 NaCl 含量, 發芽 關聯酵素인 β -amylase의 活力등을 調査하였다. 종자의 發芽率 및 吸水率 調査는 25℃의 發芽床에서 實施하였으며 이것을 30℃의 drying oven에 2日間 乾燥시킨 후 Willey-Miller에 40mesh로 마쇄한 후 吸收한 鹽分含量과 β -amylase의 活力測定 및 還元糖, 澱粉含量의 測定을 하였다. β -amylase의 活力은 Somogy-Nelson method에 의하여 Spectrophotometer를 이용하여 測定하였으며 還元糖 및 澱粉含量은 Anthrone 發色試藥을 이용한 방법으로 Spectrophotometer를 이용하여 調査測定하

였다. 그리고 종자의 鹽分含量은 1N HCl을 사용하여 鹽分을 침출한 후 Atomic absorption spectrophotometer를 이용하여 測定하였다.

結果 및 考察

Stress에 대한 作物의 耐性에는 生育時期別로 차이가 있고 生育時期는 각각의 특성이 있으므로 發芽에서 收穫時까지 耐性의 發現機作은 그 종류나 發現量에 있어서 동일하지 않을 것으로 생각된다. 發芽期에 있어서 stress를 받을 경우 耐性發現이 강하게 誘導된다면 發芽期(播種時)에 종자가 강한 saline stress를 줄 경우 준비된 耐性機構로 그 다음의 生育期에 대처함으로써 發芽期보다 낮은 鹽分條件에서 좋은 生育을 보일수도 있겠으나 반대의 경우는 發芽期에 養分을 다 消耗해 버림으로서 다음 生育期에 生育이 매우 불량 할수도 있겠다. 그런 의미에서 종자의 發芽는 중요한 의미를 가진다. 즉 발아에서 문제되는 종자는 粒苗의 확보가 어렵기 때문에 재배에는 더욱 어렵게 될 것이다. 이에는 發芽關聯酵素의 作用, 종자에의 水分의 吸水, 貯藏澱粉의 單糖類로의 異化등의 요인들이 關여한다고 할 수 있겠다.

1. 發芽率 및 發芽勢

鹽分濃度에 따른 發芽率 및 發芽勢는 표1과 같다. 호밀에 있어서는 종자가 鹽分에 대한 어떤 耐性이 있다는 것보다는 종자 自體의 活力이 매우 강한 것으로 나타났다. 그 이유는 0.5%의 鹽分濃度까지는 90%以上の 發芽率을 보였고 80% 以上の 發芽勢를 보였던 반면, 그 이상의 濃度인 1.0%정도의 농도에서는 50%정도의 발아세를, 70.5%의 발아율을 보였는데 이는 종자가 특별히 염분에 대한 耐性이 높다고 하기 보다는 종자 자체의 活力이 왕성하다고 표현해야 할 것이다. 보리의 경우 비교적 높은 염분농도인 0.8%까지 80% 이상의 발아율을 보였다. 그러나 그때의 발아세(4일간의 발아율)는 51% 정도로서 初期 發芽가 불량하고 불균일함을 의미한다. 이는 실제 파종에서도 문제가 될뿐 아니라 발아가 되더라도 生育이 若干은 불균일할

것임을 예측할 수 있다. 또한 小粒種子인 이탈리아 라이그래스의 경우에는 1.0%의 高鹽濃度까지 66%정도의 發芽率을 보였다. 그러나 鹽分을 處理하지 않은 對照區의 發芽率이 89%인것을 감안할 때 발아율 減少의 정도는 호밀, 보리와 비슷하다고 할 수 있다. 또한 4日 동안의 발아율인 發芽勢는 0.5%이상의 鹽分濃度에서 10% 이하로 떨어짐을 볼 수 있어 종자자체가 보다 對立種인 보리나 호밀보다는 불균일한 면을 보였지만 시간이 경과함에 따라 염분을 처리하지 않은구의 74%정도 수준까지 발아함을 볼 수 있었다.(표1)

2. 種子の 吸水率

종자의 吸水率은 小粒인 이탈리아인 라이그래스에서는 측정하기가 어려워 大粒인 호밀과 보리만 조

사 측정하였다. 호밀의 경우 침지 후 4시간에 種子重의 30% 정도의 수분을 흡수하기 시작하여 32시간 후에는 46~59% 정도의 흡수했다. 이는 실제 발아에 필요한 水分含量이 種子重의 25% 정도라고 생각할 때 培地의 鹽分濃度가 높음으로 인한 發芽 障害와는 직접적인 관련이 없다고 할 수 있겠으나 鹽分濃度가 높아짐에 따라(0.6%의 염분농도에서) 9%정도의 수분을 덜 흡수함을 알 수 있었다. 보리의 경우도 호밀의 경우나 거의 비슷한 양상이었으며 단지 수분흡수량에 있어서 種子重에 대한 比率은 호밀보다 낮음을 알 수 있었다.(표2)

3. 時間經過에 따른 種子の 炭水化合物 含量變化

호밀에 있어서 種子の 澱粉含量은 시간이 경과함에 따라 減少하였고 鹽分濃度에 따라서는 염분

Table 1. Germination ratio and speed in response to NaCl concentration

NaCl concentration (%)	Rye		Barley		Italianryegrass	
	% ger*	Ger. speed	% ger.	Ger. speed	% ger.	Ger. speed
0.0	99.0	97.0	96.5	96.0	89.0	56.5
0.1	100.0	90.5	97.0	92.5	88.0	53.5
0.2	99.0	90.5	97.0	90.5	85.0	38.5
0.3	99.0	90.0	94.5	86.0	83.0	18.5
0.4	97.2	85.5	83.5	70.5	76.0	15.5
0.5	92.0	80.5	80.0	60.0	74.0	10.0
0.6	79.0	74.5	80.5	54.0	74.0	7.5
0.7	76.5	70.0	80.0	52.5	72.0	5.5
0.8	75.0	60.5	80.0	51.0	71.0	3.0
0.9	70.0	55.0	76.5	50.0	68.5	2.5
1.0	70.5	50.0	75.0	48.0	66.0	2.5

* germination

Table 2. Water absorption rate of rye and barley in response to NaCl concentration and duration of absorption time

Species	NaCl con. (%)	Duration of absorption times(hour)							
		4	8	12	16	20	24	28	32
Rye	0	29.5	32.9	49.0	42.5	46.1	50.4	54.2	57.6
	0.1	29.8	32.8	35.2	43.3	45.6	49.3	52.4	58.7
	0.3	26.8	31.9	36.3	40.2	44.0	46.9	50.6	52.2
	0.6	27.0	32.0	35.9	38.1	42.3	43.1	46.2	48.8
Barley	0	26.4	29.2	33.2	36.2	37.4	37.6	41.1	43.5
	0.1	27.3	30.8	33.5	35.6	36.4	37.7	39.8	44.4
	0.3	27.8	30.0	33.2	35.1	36.7	36.7	38.1	38.9
	0.6	27.5	35.0	31.6	34.5	35.7	35.4	36.5	36.5

Table 3. Changes in reducing sugar content of seed in different NaCl concentration and duration of absorption time

Species (cultivar)	NaCl con. (%)	Duration of absorption times(hour)							
		4	8	12	16	20	24	28	32
Rye	0	3.0	3.4	3.4	4.5	10.7	11.9	10.7	12.7
	0.1	4.6	4.7	4.6	5.1	11.0	11.4	11.7	12.1
	0.3	3.6	5.8	6.5	7.3	10.0	11.2	12.6	9.3
	0.6	2.8	4.9	4.4	5.3	9.4	9.3	9.4	7.6
Barley	0	3.4	9.3	3.5	3.8	3.6	3.5	2.5	4.4
	0.1	7.8	8.1	6.5	6.0	5.8	6.1	6.1	7.3
	0.3	6.1	6.1	5.1	4.9	3.4	5.0	5.6	3.4
	0.6	3.5	4.9	3.4	2.2	2.1	2.6	4.6	2.5

Table 4. Na⁺ content(ppm) of rye and barley seed in different concentration of NaCl solution and duration of absorption

Species	NaCl con. (%)	Duration of absorption times(hour)							
		4	8	12	16	20	24	28	32
Rye	0	8.4	8.4	15.3	7.2	10.8	11.8	7.2	5.1
	0.1	254.4	284.2	322.8	422.2	410.6	458.4	630.2	594.6
	0.3	288.6	322.8	364.2	390.2	424.2	594.6	594.6	594.6
	0.6	326.2	492.6	522.8	580.4	662.4	764.4	832.2	1002.0
Barley	0	15.3	11.8	8.4	8.4	8.4	15.3	18.6	15.3
	0.1	186.6	153.0	254.4	288.6	390.6	388.6	390.6	454.4
	0.3	390.6	426.2	458.4	490.6	528.2	594.6	558.4	526.2
	0.6	429.6	532.2	628.2	662.4	798.0	865.8	696.6	730.2

의 농도가 높아짐에 따라 澱粉含量減少정도가 염분을 처리하지 않은 대조구에 比하여 적음을 보여주고 있다. 이러한 경향은 보리에 있어서도 마찬가지였다.

還元糖含量에 있어서는 시간의 경과에 따라 일정한 변화의 경향은 없었고 특이한 것은 0.1%, 0.3%의 鹽分濃度에서 鹽分을 處理하지 않은 구에 比하여 還元糖의 含量이 높은것을 볼 수 있으며 호밀에서도 비슷한 경향을 보였다. 보리에서는 0.6%의 濃度에서 還元糖의 含量이 鹽分을 處理하지 않은 구보다 낮았던 반면 호밀에서는 0.6%의 염분농도에서도 염분을 처리하지 않은 구보다 환원당의 含量이 낮긴 하였으나 發芽에 關係된 還元糖의 수준은 다른 發芽 가능한 구와 比較해 볼때 낮지 않음을 볼 수 있었다. 또한 보리가 全 時期에 걸쳐 還元糖의 含量에 일정한 경향이 없었던 반면 호밀에 있어서는 置床 후 20시간 정도에서 환원당의 含量이 鹽分濃度 어느 處理區를 불구하고 급격히 높아지

는 것을 볼 수 있었다.

4. 種子の 鹽分吸收率

종자의 鹽分吸收率은 종자에 Na⁺의 흡수량이 어느 정도인가를 알기 위해 실시하였다.

염분농도가 높을수록 많은 량의 Na⁺이 종자에 蓄積되는 것이 당연하다고 생각할 수 있겠으나 호밀의 경우 0.1%의 낮은 농도라도 長時間 동안 吸收할 경우 0.3% 수준과 비슷하게 吸收하는 것이 재미있는 結果이다. 이는 發芽率에 있어서 0.6%의 鹽分濃度에 相當할 경우 염분을 처리하지 않은 구의 80% 이상에 이르는 것을 볼때 종자에 吸收되는 鹽分の 含量은 발아자체(종자의 발아가 되는 단계까지)에는 큰 영향을 미치는 것이 아니라고 생각한다. 다만 높은 농도의 염분이 종자에 축적되는 경우 그로인한 代謝障害에 문제가 되지 않나 하는 점을 지적하고 싶다. 또한 종자내 염분함량에 있어서 때때로 낮은 염분농도에서 보다 높은 염분농도

Table 5. β -amylase activity(μ M maltose /Min) of barley seed in response to different NaCl solution and duration of absorption

NaCl concentration(%)	Duration of absorption times(hour)							
	4	8	12	16	20	24	28	32
0	63.0	112.8	149.3	174.7	187.1	141.6	141.9	128.8
0.1	84.2	82.6	88.6	83.2	89.5	89.5	91.1	91.4
0.3	98.8	88.2	91.4	86.4	88.4	85.3	87.4	97.1
0.6	99.2	89.5	95.9	103.9	95.0	100.8	116.9	128.7

에서 Na⁺ 함량이 오히려 적을 경우가 있었는데 이는 단순히 실험오차라고 하기 보다는 어느 정도의 흡수가 일어난 후에는 종자 자체에서 염분함량 조절이 있을 것으로 생각되나 이에 대하여는 앞으로 더 많은 검토를 해야 할 것이다.

5. 種子內 β -amylase 活力

β -amylase 活力은 발아를 위하여 치상시킨 종자를 가지고 시간이 경과함에 따라 측정된것인데 종자의 澱粉이나 還元糖의 함량과 같이 일정한 경향이 없었다. 전체적으로 볼때 鹽分을 처리하지 않은 구에서는 β -amylase 活力이 높은것으로 나타났으나 염분농도의 증가에 따른 일관적인 減少 혹은 增加의 양상은 보이지 않았다. 더우기 吸收 후 時間이 경과함에 따라 0.6% 鹽分濃度에서 염분을 처리하지 않은 구 보다도 β -amylase 活力이 높은것으로 나타나 자체내 防禦機構 혹은 耐鹽性 機構의 일환으로서 작용하지 않았나 생각한다. 또한 β -amylase 活力은 澱粉 함량이나 환원당의 함량과 직접적으로 깊은 관계는 인정되지 않는것으로 판단된다. 이는 β -amylase가 0.6%의 高鹽條件에서도 活力에는 영향을 받지 않으며 β -amylase가 貯藏炭水化合物의 분해와 관련되는 것을 고려해볼때 종자내에서 β -amylase에 의한 저장탄수화물의 分解前 혹은 分解後의 다른 과정에서 Na⁺나 Cl⁻이 작용하고 있음을 시사해주는 결과이다.

1. 종자의 발아율은 호밀이 種子自體의 活力에 의해 염분을 처리하지 않은 구와 0.5%이하의 鹽分條件에서 높은 發芽率과 發芽勢를 보였던 반면 高濃度의 鹽分條件에서는 發芽率이 떨어졌으나 보리의 경우는 0.8%의 염분농도까지는 發芽率이 80%이상을 보였고, 이탈리아라이그래스의 경우 鹽分濃度の 증가에 따른 發芽率 減少는 보리나 호밀에 비하여 심하지 않았다.
2. 水分 吸水率은 보리의 경우 호밀보다 낮았음에도 불구하고 發芽率은 증가했으며 또한 種子의 吸水率에 있어서 鹽分濃度가 높을 경우 吸收水分의 감소정도가 호밀보다 보리에서 심하지 않았다.
3. 炭水化合物은 보리의 경우 鹽分의 함량이 높아짐에 따라 澱粉은 감소의 정도가 약했고 還元糖은 鹽分濃度 吸收時間의 지속에 따라 별다른 변화의 양상이 없었다. 호밀의 경우는 0.3%의 염분농도까지는 환원당의 含量이 증가하는 경향이 있으며 吸收 20시간 이후에는 환원당의 함량이 급증하였다.
4. 鹽分의 吸收程度는 鹽分濃度가 높을수록 시간이 경과함에 따라 吸收의 정도가 증가하는 경향이었고 β -amylase 活力은 염분을 처리하지 않은 구와 0.6%의 鹽分濃度에서 높게 나타났다.

參 考 文 獻

1. Bhatti, A.S. and J. Wienke. 1984. Na⁺ and Cl⁻ extrusion retranslocation and root efflux in *Dilpachne fusca* (Kallar grass) grown in NaCl. J. Plant Nutr. 7 : 1233-1250.
2. B. Jacoby 1979. Sodium Recirculation and

摘 要

호밀, 보리, 이탈리아라이그래스에 대하여 NaCl로 염분농도를 높여가며 실험한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- Loss from *Phaseolus vulgaris* L. Ann. Bot. 43 : 741-744.
3. Choong-Soo Kim, Jea-Seong Jo 1973. Study on the Salt Tolerance of the Rape (*Brassica napus*) Chungnam Univ. Natural Sciences 12 : 61-68.
 4. ———. 1992. 鹽生植物의 生理的 特性. 農振廳심포지엄 17호. 100-123.
 5. Greenway, H. and R. Munns. 1980. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. Ann. Rev. Plant Physiol. 31 : 149-190.
 6. H. Greenway, C. b. Osmond 1972. Salt Response of Enzymes from Species Differing in Salt Tolerance. Plant Physiol. 49 : 256-259.
 7. John M. Cheeseman 1988. Mechanism of Salinity Tolerance in Plants. Plant Physiol. 87 : 547-550.
 8. 高田英夫. 1988. 鹽と生物-海洋生物開發基礎. 創元社. pp : 117-171.
 9. T.J. Flowers 1972. The Effect of Sodium Chloride on the Enzyme Activities from four Halophyte Species of Chenopodiaceae. Phytochemistry 11 : 1881-1866.
 10. 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.
 11. 但野利秋. 1983. 作物の耐鹽性と生物學的機構. 沙丘利用研究施設創立 20周年記念誌. pp : 19-35
 12. 田中明. 但野利秋, 多田洋司. 1974. 鹽基適應の物種間差. 第3報ナトリウム適應性. 土肥誌. 45 : 285-292.
 13. 植物營養實驗法編集委員會. 1990. 植物營養實驗法. 傳友社. 東京