

보리 출수기 염처리가 수량 및 지잎의 생리적 특성에 미치는 영향

최원열*[†] · 김영민* · 박종환*

*전남대학교 농업생명과학대학 농업과학기술연구소

Effects of Salt Treatment on Yield and Physiological Characteristics of Flag Leaf at Heading Stage in Winter Barley

Won Yul Choi*[†], Young Min Kim*, and Jong Hwan Park*

*Insti. of Ag. Sci. and Tech., College of Agriculture & Life Science, Chonnam Nat'l. Univ., Gwangju 500-757, Korea

ABSTRACT : This research was conducted to obtain the fundamental data on salt injury and different responses among cultivars in winter barley (*Hordeum vulgare* L.). Salts did not affect yield components including number of panicles, stem length, grain number per ear and grain yield while reduced stem dry weight and thousand seed weight significantly with increasing concentrations of salt from 60 to 180 mM. NaCl had less injury effect on barley straw dry weight and thousand seed weight than did MgSO₄. Chlorophyll content and relative turgidity in flag leaf were reduced when treated with both salts, while free proline in the salt-treated leaf was increased. Content of proline in salt-treated barley was about 10 folds compared to the control. Based on yield components and physiological traits of flag leaf, the tolerance to salt injury was the greatest in Baegdong, followed by Dongbori#1, Mogpo#55, and Gangbori. The results suggested that salt-stressed barley at reproductive stage had higher free proline content, and that special management in this stage must be considered because salt stress at heading stage affect flag leaf growth as well as yield components harmfully.

Keywords : barley, heading, cultivars, salt.

간척지와 해안지방의 농경지는 직간접적으로 염분이 작물생산성에 제한요인으로 작용하므로 그에 대한 체계적이고 실질적인 연구가 절실히 요청되고 있는 실정이다.

작물내염성의 품종간 차이에 대한 근본적인 결론은 없으나, 품종자체의 생리적 특성인 왕성한 광합성 능력을 지닌 품종일수록 내염성이 강하며 또한 왕성한 발근력을 가진 품종은 염분이 다량 집적되어 있는 표층을 빨리 탈피할 수 있기 때문에 유리하다고 할 수 있다(Gepstein, 1979). 일반적으로 염조건하에서 자라는 식물의 내성의 차이는 형태적인 차이뿐만 아니라

주요 효소들의 다양한 대사과정과 밀접한 연관성이 있다(Gorham *et al.* 1997). 또한 당, 아미노산, 질산화합물 같은 저분자 물질의 식물체내 축적은 stress 조건에서 세포대사과정과 밀접한 관련이 있다(Zhu *et al.* 1997).

식물체의 수분이 부족하여 식물조직의 water potential이 저하되면 아미노산인 proline이 축적되는 경향이 있다(McMichael & Eleore, 1977). 식물체내의 proline 축적은 proline 자체의 감소가 억제되거나 proline 생합성 증가, 단백질합성이나 proline을 이용하는 대사과정의 감소, 그리고 단백질의 가수분해 등의 결과로 생각될 수 있다(Charest & Phan 1990).

토양중 염 축적은 식물생육과 수량을 제한하는 중요한 환경요인으로써, 그런 토양에서의 생육저해요인의 하나는 높은 농도의 Na⁺이다(Bergmann 1992). 염류에 대해 식물이 저항성을 나타내는 것은 식물 고유의 유전적 특성차이에 기인한다(Cerda *et al.* 1995, Gorham *et al.* 1997).

염조건에서 식물 생장율은 세포내의 염농도에 의하여 영향을 받으나 내염성은 조직의 이온함량조절 능력과 관련되므로 흡수된 염의 삼투와 이온효과를 분명히 구분한다는 것은 매우 어렵다(Greenway, 1962).

본 연구는 비교적 내염성이 강한 맥류를 대상으로 생식생장기에 품종간 내염성의 차이를 구명함과 아울러 내염성에 관련된 요인을 탐색함으로써 내염성 품종개발의 기초자료를 얻고자 수행하였다.

재료 및 방법

본 실험에 공시한 재료는 껍질보리 2품종(동보리 1호, 강보리)과 쌀보리 2품종(목포55호, 백동)이었고, 본 연구는 1999년부터 2000년 사이에 전남대학교 실험포장에서 실시하였다.

직경 27 cm×높이 30 cm의 원통포트에 표1과 같은 특성의 흙을 담아서 10월 하순에 파종하여 포트당 5주씩으로 고정하여 포장에 치상하였다가 다음해 2월 중순에 하우스내로 옮겨

[†]Corresponding author: (phone) +82-62-530-2053 (E-mail) wychoi@chonnam.ac.kr

<Received December 5, 2001>

서 0.5% 요소용액을 추비로 2회 살포한 후 정상 관수하였다. 처리내용은 NaCl과 MgSO₄ 각각 0, 60, 120, 180 mM의 4 수준으로 하여 출수기에 이른 품종(강보리, 동보리1호, 목포55호, 백동)의 풋트를 처리용액에 10일 동안 치상하였다. 처리후에는 충분한 물을 관수하여 가능한 빠른 시일 내에 제염이 되도록 하여 성숙 후 수확하였다.

출수기 10일 동안 염 처리 후 채취한 지엽의 유리 proline 함량은 Troll & Lindsley 방법(1955)에 의하여 분석하였고, 잎 상대팽압도(leaf relative turgidity)는 다음과 같이 Weatherley (1950)법으로 측정하였다.

$$\frac{Fw-Dw}{Ft-Dw} \times 100(\%)$$

Fw: 생체중, Ft: 팽만중(24시간 증류수에 침지후), Dw: 건물중.

결과 및 고찰

출수직후 10일간 염처리하여 염 종류별, 농도별, 품종별 각 조사항목의 변화는 보면 Table 2에서 보는 바와 같다.

염 종류에 따른 반응을 살펴보면 수수, 간장, 일수립수, 그리고 수량은 염류간에 유의한 차이가 없었으나 건경중과 천립중은 MgSO₄ 보다 NaCl에서 유의하게 높은 편이었다. 지엽의 엽록소와 유리 proline은 염 종류간에 유의한 차이가 있었는데, 엽록소는 NaCl 보다 MgSO₄에서 높았으나 유리 proline 축적은 MgSO₄ 보다 NaCl에서 높았다.

염 농도간에는 모든 조사항목이 유의한 차이가 있었다. 종실수량을 포함한 모든 항목이 전반적으로 60>120>180 mM의 순으로 고농도일수록 낮았다. 지엽의 조사항목에서도 염 농도 증가에 따라 생건비는 유의하게 증가하는 경향이나 상대팽압도와 엽록소는 유의하게 감소하는 경향이었다. 이 결과는 Lee 등(1996)이 엽록소 함량과 광합성 능력은 수경액의 NaCl 농도에 의해 직접적인 영향을 받지 않았다는 것과는 상이한 결과를 보였다. 유리 proline 함량은 염 농도증가에 따라 축적량이 증가되었는데 대조에 비하여 많은 경우 10배까지 증가되었고 상대팽압도와는 반비례의 경향을 나타내었다.

품종간 비교에서는 조사항목에 따라 차이가 있었으나 전반적으로 백동과 동보리1호가 강보리와 목포55호에 비해 염 처리의 영향을 적게 받았다. 또한 지엽의 엽록소 함량 감소도 백동과 동보리1호가 적었고 유리 proline 함량은 모든 품종이 염처리로 증가하였고 동보리1호, 백동, 그리고 목포55호의 증가폭이 크게 나타났다.

염처리에 의한 종실 수량 감소율과 조사형질간의 상관

출수기 10일간 염처리에 따른 종실수량 감소율과 각 조사형질간의 상관관계를 나타낸 결과는 Table 3과 같다. 전체적으로 볼 때 수수, 간장, 건경중 그리고 일수립수 감소율과 종실수량 감소율간에 고도로 유의한 정 상관관계가 있으며, 염별로 보면 NaCl 처리에서 일수립수, MgSO₄ 처리에서는 수수, 간장, 건경중, 일수립수에서 상관관계가 있었다. Bergmann(1992)은 토양염 축적은 식물생육과 수량을 제한하는 중요한 환경요인이고, 그런 토양에서의 생육저해요인의 하나는 높은 농도의 Na⁺이라고 하였다.

농도별 비교에서는 60 mM 처리에서만 유효경율, 간장 그리고 건경중에서 고도의 정 상관관계를 보였고 120 mM과 180 mM에서는 상관관계가 없었다. 품종별로는 강보리에서 간장, 동보리1호에서 수수, 유효경율 그리고 간장이, 백동에서는 간장과 일수립수에서 고도의 정 상관관계가 있었으나 목포55호는 상관관계가 없었다. Greenway(1962)는 내염성이 강한 것이 총건물중과 수량구성요소의 감소가 적었다고 지적하였고 Cerda 등(1995)과 Gorham 등(1997)은 염류에 대해 식물이 저항성을 나타내는 것은 식물 고유의 유전적 특성차이에 기인한다고 지적한 바와 같이 품종간 내염성 차이가 나타나는 등 비교적 유사한 경향을 보였다.

지엽에 대한 조사를 보면 생건비는 염 종류, 농도 그리고 품종별 어느 경우도 상관관계가 없었으며 상대팽압도 감소율은 전체적으로 염종류에 관계없이 유의한 정 상관관계를 보였고, 품종별로는 강보리와 백동에서만 유의한 정 상관관계를 보여 수량의 증감과 밀접한 관계가 있었다. 유리 proline 증가율은 염종류에 관계없이, 그리고 품종별로는 강보리와 백동에서만 수량감소율과 유의한 부의 상관관계를 보였으나, 각 염도내에서는 상관관계가 없었다. Chu 등(1976)은 대맥에서 염 농도와 proline 함량과는 부의 상관관계가 있으며, 품종간 proline 축적율의 차이가 있다는 보고와 상당히 일치하였다. 그러므로 유리 proline의 증가율이 높으면 수량의 감소율이 낮고 증가율이 낮으면 수량의 감소율이 높아져 어느정도 염분하에 내염성 정도의 지표로 삼을 수 있을 것으로 생각된다.

적 요

본 시험에서는 원형 포트에 재배한 맥류(피맥 2품종, 과맥 2품종)의 염(NaCl, MgSO₄)을 농도별(0, 60, 120, 180 mM)로 출수기에 10일 동안 처리하여 출수기의 내염성 정도와 이에 수반된 몇 가지 대사물질의 변화와 수량구성요소의 변이를 조사하여 재배법개선, 그리고 내염성이 큰 품종육성을 위한 기

Table 1. General properties of soil used for pot experiment.

Soil texture	pH	O.M. (%)	Total N. (%)	C.E.C. (ppm)	Available P ₂ O ₅ (ppm)	Exchangeable cation (me/100 g)		
						K	Ca	Mg
Sandy loam	6.2	2.5	0.05	11.58	157	0.15	2.65	3.00

Table 2. Growth and yield of four barley cultivars subjected to different salinity stress for 10 days from heading.

Salts (A)	Conc. (mM) (B)	Cultivars (C)	No. of spike /plant	Effective tiller rate (%)	Culm length (cm)	Straw dry weight (g)	No. of kernel /spike	1000 kernel weight (g)	Grain yield (g/pot)	Flag leaf			
										Dry to fwt (%)	Relative turgidity (%)	Chlorophyll (mg/g.dwt.)	Free proline (mg/g.dwt.)
NaCl	60	Gangbory	2.4	44	50.8	17.5	37.6	36.3	15.5	20	87	7.4	2.4
		Dongbory#1	3.0	49	51.0	19.4	30.7	35.8	15.1	19	86	6.7	5.2
		Mogpo#55	2.6	54	50.3	13.0	37.8	33.0	15.3	20	86	6.6	2.5
		Baegdong	3.0	61	41.7	18.4	35.8	32.1	14.3	19	84	7.8	3.7
		Submean	2.8	52	48.5	17.1	35.5	34.3	15.1	20	86	7.1	3.5
	120	Gangbory	2.0	40	49.3	16.0	39.8	35.4	14.0	21	82	5.0	3.4
		Dongbory#1	2.8	46	44.0	14.0	28.0	35.7	13.7	21	80	6.0	6.4
		Mogpo#55	2.3	48	39.5	12.0	30.6	32.5	14.8	22	83	5.8	3.8
		Baegdong	2.0	53	41.8	14.8	36.9	32.9	13.7	21	79	6.5	4.1
		Submean	2.3	47	43.7	14.2	33.8	34.1	14.1	21	81	5.8	4.4
	180	Gangbory	1.6	34	42.3	14.0	35.8	34.3	13.5	23	75	5.5	4.0
		Dongbory#1	2.6	40	39.8	15.0	27.5	35.1	14.3	23	75	5.7	9.1
		Mogpo#55	2.0	46	38.7	10.6	30.0	34.0	11.1	22	79	5.1	5.4
		Baegong	2.2	57	34.7	13.0	35.4	29.4	9.8	24	73	6.2	5.9
		Submean	2.1	44	38.9	13.2	32.2	33.2	12.2	23	76	5.6	6.1
Mean		2.4	48	43.7	14.8	33.8	33.9	13.8	21	81	4.6	4.7	
MgSO ₄	60	Gangbory	3.0	40	50.0	21.9	42.8	36.0	17.0	19	85	7.6	2.0
		Dongbory#1	2.7	50	43.8	13.6	29.8	33.5	13.0	18	88	7.6	4.4
		Mogpo#55	2.7	61	39.2	8.8	32.2	33.5	13.7	20	86	6.0	2.1
		Baegdong	2.3	51	46.5	16.8	40.0	30.1	18.5	20	86	8.0	3.1
		Submean	2.7	51	44.9	15.3	36.2	33.3	15.6	19	86	7.3	2.9
	120	Gangbory	1.9	43	44.7	17.3	40.2	37.4	14.8	20	83	6.9	2.9
		Dongbory#1	2.4	43	43.7	12.6	28.4	33.3	13.7	19	83	7.0	5.8
		Mogpo#55	2.0	50	40.3	10.4	38.2	33.2	12.7	21	85	6.8	4.0
		Baegdong	1.9	47	40.8	11.4	37.8	29.3	13.7	21	81	7.4	3.8
		Submean	2.1	46	42.4	12.9	36.2	33.3	13.7	20	83	7.0	4.1
	180	Gangbory	1.8	38	42.2	17.0	38.0	36.6	11.8	22	77	6.3	3.4
		Dongbory#1	2.0	33	39.8	14.6	27.1	28.7	11.3	24	77	6.4	6.1
		Mogpo#55	2.7	79	42.8	10.0	32.6	31.0	11.0	21	81	6.6	4.4
		Baegong	1.6	31	32.3	12.0	33.0	28.3	12.5	19	75	6.6	5.1
		Submean	2.0	45	39.3	13.4	32.7	31.2	11.7	22	78	6.5	4.8
Mean		2.3	47	42.2	13.9	35.0	32.6	13.7	20	82	6.9	3.9	
Control	Gangbory	2.8	55	51	19.3	39.2	37.4	17.3	19	90	8.4	0.4	
	Dongbory#1	3.0	59	58	18.0	31.0	35.5	18.5	18	92	7.6	0.6	
	Mogpo#55	3.8	75	53	18.6	34.8	33.0	18.9	20	89	7.4	0.4	
	Baegdong	3.5	66	49	16.5	40.0	35.1	20.0	20	91	8.6	0.5	
	Mean		3.3	64	53	18.1	36.3	35.3	18.7	19	91	8.0	0.5
LSD 5% between			No. of spike /plant	Effective tiller rate (%)	Culm length (cm)	Straw dry weight (g)	No. of kernel /spike	1000 kernel weight (g)	Grain yield (g/pot)	Flag leaf			
										Dry to fwt (%)	Relative turgidity (%)	Chlorophyll (mg/g.dwt.)	Free proline (mg/g.dwt.)
Salt(A)			NS	0.359	NS	1.130	NS	2.241	NS	NS	NS	0.729	0.390
Concentrations(B)			0.351	2.064	1.530	0.633	1.349	1.366	0.902	2.467	2.013	0.494	0.181
Cultivars(C)			0.284	2.318	1.804	1.018	2.244	1.322	0.874	NS	2.362	0.424	0.179
A1B1-A1B2			NS	NS	2.164	0.895	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0.257
A1B1-A2B1			NS	NS	2.957	1.323	NS	NS	NS	NS	NS	NS	1.141
A1C1-A1C2			0.401	3.278	NS	1.439	NS	1.870	1.236	NS	NS	NS	0.254
B1C1-B1C2			NS	4.015	3.125	1.762	NS	NS	1.514	NS	NS	NS	0.310
B1C1-B2C1			NS	3.297	2.535	1.338	NS	NS	1.297	NS	NS	NS	0.264
A1C1-A2C1			0.410	2.855	NS	1.590	NS	2.581	1.695	NS	NS	NS	0.419
A1B1C1-A1B1C2			NS	5.678	4.420	2.492	NS	NS	2.141	NS	NS	NS	0.439
A1B1C1-A1B2C1			NS	5.710	4.391	2.334	NS	NS	2.247	NS	NS	NS	0.458
A1B1C1-A2B1C1			NS	5.467	5.209	2.476	NS	NS	2.479	NS	NS	NS	0.553

Table 3. Correlation coefficients between the reduction ratio of grain yield and those of other characteristics due to salt stress imposed for 10 days after heading in four barley cultivars.

Treatment (At heading)	No. of spike/plant	Effective tiller rate /spike	Culm length /spike	Stem dry weight	No. of kernel (%)	1000 kernel	Dry to fresh wt.	Relative turgidity %	Chlorophyll (mg/g.dwt.)	Free proline (mg/g.dwt.)	
Salts	NaCl & MgSO ₄	0.367**	0.010	0.609**	0.444**	0.418**	0.216	-0.165	0.416**	0.287*	-0.473**
	NaCl	0.320	-0.178	0.479**	0.158	0.385*	0.353	-0.180	0.442**	0.299	-0.346*
	MgSO ₄	0.406*	0.121	0.712**	0.667**	0.461**	0.115	-0.170	0.425**	0.357**	-0.702**
Concent	60 mM	0.132	-0.489*	0.715**	0.447*	0.249	-0.057	0.105	0.261	0.050	-0.381
	120 mM	0.310	0.223	0.270	0.337	0.387	0.231	-0.083	-0.062	0.138	0.233
	180 mM	0.122	-0.319	0.227	0.151	0.135	0.263	0.113	-0.099	-0.205	-0.094
Cultivars	Gangbori	0.557*	0.223	0.631**	0.477	0.212	0.032	-0.611	0.708**	0.648**	-0.715**
	Dongbori#1	0.612**	0.608**	0.533*	0.456	-0.020	0.573	-0.165	0.020	-0.049	-0.051
	Mogpo#55	-0.086	-0.420	0.281	0.357	0.456	0.073	0.119	0.245	0.281	-0.461
	Baegdong	0.226	0.094	0.699**	0.533	0.581*	-0.001	-0.382	0.665**	0.778**	-0.761**

초자료를 얻고자 수행하였다.

염류간의 비교에서 수수, 간장, 일수립수, 그리고 수량에 있어서는 유의성이 없었으며 건경중과 천립중에서는 염종류간 차이가 있어서 유의성이 인정되었는데 MgSO₄ 보다 NaCl에서 높았다. 지엽의 조사에서는 엽록소와 유리 proline이 유의성이 있었는데, 엽록소는 NaCl 보다 MgSO₄에서 높았으나 유리 proline 축적은 MgSO₄ 보다 NaCl에서 높았다.

농도간 비교에서는 모든 조사항목이 유의성이 있어서 농도간의 차이가 나타났는데 중실수량을 포함한 모든 항목이 전반적으로 저농도에서 높고 고농도일수록 낮았다. 지엽의 조사항목에서도 모두 유의성이 인정되었는데 농도증가에 따라 생건비는 증가하는 경향이지만 상대팽압도와 엽록소는 상당히 감소하는 경향이었다. 그리고 유리 proline 함량은 대조적으로 농도증가에 따라 축적량이 증가되었는데 대조에 비하여 많으면 10배까지 증가되었다.

종합적으로 볼 때 생식생장기의 생육단계에서 유리 proline 축적이 많으며 수량구성요소와 중실수량의 감소가 적은 백동이나 동보리1호가 상대적으로 내염성이 높게 나타났으나, 출수기의 염 stress는 생육장해가 커 수량감소를 초래하므로 이 시기의 관리가 중요하다고 하겠다.

사 사

이 논문은 1999년도 전남대학교 연구년교수연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

- Bergmann, W. 1992. Nutritional Disorders of plants. Development, visual and analytical diagnosis. In G Fisher, ed. Jena, Stuttgart, Germany. 1992.
- Cerda, A., J. Pardines, M. A. Botella, and V. Martines 1995. Effect of potassium on growth, water reaction, the inorganic and organic solute contents two maize variety grown under saline conditions. *Journal of Plant Nutrition* 18 : 839-851.
- Charest, C. and C. T. Phan 1990. Cold acclimation of wheat (*Triticum aestivum*): Properties of enzymes involved in proline metabolism. *Physiol. plant* 80 : 159-168.
- Chu, T.M., D. Aspinall, and L.G. Paleg. 1976. Stress metabolism. VIII. Salinity and proline accumulation in barley. *Aust. J. Plant Physiol.* 3 : 219-228.
- Demidchik, V. and M. Tester 2002. Sodium fluxes through nonselective cation channels in the plasma membrane of protoplasts from *Arabidopsis* roots. *Plant physiol.* 128(2) : 379-387.
- Gepstein, S. 1979. Hormonal regulation of the activity of hydrolytic enzyme in cotyledons of been seedlings. *Plant Cell physiol.* 11 : 57-63.
- Gorham, J., J. Bridges, J. Dubcovsky, J. Dvorak, P. A. Hillington, M. C. Luo, and J. A. Khan. 1997. Genetic analysis and physiology of trait for enhanced K⁺/Na⁺ discrimination in wheat. *New Phytologist.* 137 : 109-116.
- Greenway, H. 1962. Plant response to saline substrates. I. Growth and ion uptake of several varieties of *Hordeum* during and after sodium chloride treatment. *Aust. J. Biol. Sci.* 15 : 16-38.
- 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(6) : 665-671.
- McMichael, B. L. and G. D. Eleore, 1977. Proline accumulation in water stressed cotten leaves. *Crop science*, 17 : 905-908.
- Troll, W. and J. Lindsley. 1955. A photometric method for the determination of proline. *Biol. Chem.* 215-655-660.
- Weatherley, P. E. 1950. Studies in the water relations of the cotton plant. I. the field measurement of water deficits in leaves. *New Phytol.* 49 : 81-97.
- Zhu, J. K., P. M. Hasegawa, and R. A. Boesson 1997. Molecular aspects of osmotic stress in plants. *Crit. Rev. Plant Sci.* 16 : 253-277.