

보리 품종의 한발저항성과 생리적 지표와의 상관

부금동* · 백남천* · 김정곤** · 이변우*†

*서울대학교 식물생산과학부, ** 농촌진흥청 작물시험장

Relationship between Drought-Tolerance and Physiological Parameters in Korean Barley Genotypes

Jin-Dong Fu*, Nam Chon Paek*, Jung Gon Kim**, Byun Woo Lee*†

*Department of Plant Science, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

**National Crop Experiment Station, RDA, Suwon 441-100, Korea

ABSTRACT : Thirty-six barley varieties including Korean modern and local varieties were tested for drought-tolerance in the field of plastic rain shelter. Drought treatment was initiated at initial tillering stage (March 27, 2002) by withholding irrigation and lasted until harvest. Soil water potential maintained at around -0.05 MPa in the control plot and varied from -0.05 MPa (at the initial stage of drought treatment) to -0.29 MPa in the drought treatment plot. At forty days after drought treatment, relative water content (RWC), osmotic potential (OP), osmotic adjustment (OA), and ^{13}C discrimination (Δ) were measured and then plants were sampled for leaf area index (LAI) and dry weight (DW). Barley was harvested at maturity for determining DW, grain yield, 1000 grains weight and number of spikelet. The tested varieties revealed wide spectrum of drought tolerance. Dongbori-1, Chalbori, Changyeongjaerae, Samdohori and Weolseong87-31 showed strong drought-tolerance while Songhagbori and Suwonmaeg360 showed weak drought-tolerance. The drought injury indexes (drought/control ratio) of DW and yield revealed significant positive correlation with leaf RWC in drought treatment plot and Δ in the control plot, but obvious negative correlation with leaf OP and OA under drought condition. In addition, all the drought indexes of OP, Δ and RWC showed obvious positive correlation with the drought injury indexes of DW, 1000 grain weight and yield. Thus, OP and RWC under drought condition and Δ under well-watered condition would be used as the evaluation criteria for drought-tolerance of barley genotypes. However, further investigation is needed for the relationship between Δ and drought-tolerance as the other reports were not consistent with our result.

Keywords : barley, drought stress, water potential, relative water content, osmotic adjustment, ^{13}C discrimination, harvest

우리 나라에서 보리는 작부체계 상 중요한 작물이다. 남부지역의 논에서는 벼의 후작으로 재배되고, 밭에서는 콩 후작으로 재배되어 주요 농가소득원이 되고 있다. 보리는 비교적 서늘하고 건조한 기상에 적응하는 작물이지만 보통 10월에 파종하여 익년의 6월에 수확하기 때문에 기후 특성상 가장 강우량이 적은 기간동안 재배되므로 한발피해를 받기 쉽다.

물은 식물의 생장과 발육에 필요 불가결한 요소로서 자연계에서 식물의 지리적 분포와 식물의 생산력을 결정 짓는 가장 중요한 요인이다. 물은 작물 생체중의 85~90%를 차지하고 있으며 이 수준이하가 되면 생리활성이 크게 저해된다. 토양 중에 수분이 부족하여 식물이 수분 스트레스를 받으면 식물체 잎의 수분포텐셜(leaf water potential, LWP)과 상대수분함량(leaf relative water content, RWC)이 점차적으로 내려가고 이에 따라 기공저항이 증가하여 광합성이 저하되어 엽면적과 건물중이 감소되고(Park, 1995; Choi *et al.*, 1997; Costa *et al.*, 2000), 결국 작물의 수량이 낮아진다(Park, 1995; Agueda *et al.*, 1999). 식물은 조직의 낮은 수분 포텐셜에서도 삼투조정(osmotic adjustment, OA)을 통하여 팽압을 유지하고, 또한 원형질의 탈수에 저항하여 세포의 수분을 높게 유지하여 한발의 피해를 적게 받으려는 능력을 가지고 있으나, 작물이나 품종에 따라서 이와 같은 능력에 차이가 있다(Lewitt, 1980). Shangguan & Chen(1990)은 밭에서 급격한 한발처리조건 하에서는 삼투조정능력이 없으나 완만한 한발처리조건 하에서는 삼투조정작용이 일어나 한발처리기간이 길어짐에 따라 한발저항성이 다른 밭 품종간에 OA의 차이가 커졌고, 한발저항성은 OA와 정의 상관관계가 있었다고 하였다. Wu & Li (2001)도 밭에서 한발저항성이 강한 품종은 약한 품종에 비하여 삼투포텐셜(osmotic potential, OP)이 더 빠른 속도로 하강하여 삼투조정능력이 강하고 비교적 높은 RWC를 유지한다고 하였다.

한편 C_3 식물에서 ^{13}C discrimination(Δ)은 증산효율(transpiration efficiency, TE)을 잘 반영하는데(Farquhar & Richards,

†Corresponding author: (Phone) +82-02-880-4544 (E-mail) leebw@snu.ac.kr

<Received November 26, 2003>

1984; Hubick & Farquhar, 1989), 일반적으로 Δ와 TE간에 부의 상관성이 있다. Condon *et al.*(1987), Araus *et al.*(1993), Sayre *et al.*(1995)은 한발조건에서 밀 잎의 Δ와 곡물의 수량은 정의 상관관계가 있다고 보고하였고 Romagosa & Araus(1991), Voltas *et al.*(1998)도 한발조건에서 Δ와 보리 수량간에 정의 상관관계가 있다고 보고하였다.

이와 같이 수분 스트레스에 대한 작물의 저항성 생리에 대해서는 여러 연구자들에 의해 검토되어 왔으나(Sivakumar & Shaw, 1978; Wenkert *et al.*, 1978; Eastham *et al.*, 1984; Cortes & Sinclair, 1986; Cox & Jolliff, 1986; Park, 1995; Choi *et al.*, 1997), 보리에 대한 연구는 많지 않으며 특히 한국의 경우는 이에 대한 연구가 매우 제한적이다.

따라서 본 연구는 한국 재배종과 재래종을 포함한 36개 보리품종을 공시하여 이들의 한발 저항성 차이와 잎의 RWC, OP, OA, Δ 등 생리적 지표들과의 상관관계 분석을 통하여 한발 저항성 선발을 위한 지표를 탐색하고자 하였다.

재료 및 방법

이 실험은 서울대학교 부속 농장 비가림 플라스틱하우스 내의 토양에서 수행되었으며, 한국 재배종 25개, 재래 수집종 11개를 포함하는 36개 보리 품종을 공시하였다(Table 1). 2001년 10월 25일 비닐하우스에 재식밀도 25×5 cm로 점파하여 출아 후 생육이 균일한 1개체씩만 남겨놓고 솟아내었다. 비료는 기비를 N-P₂O₅-K₂O=6-9-7(kg/10a)로 주었고 2002년 3월 5일에 추비를 N-P₂O₅-K₂O=6-0-0(kg/10a)으로 주었다. 토양수분관리는 한발 처리 전까지는 모든 처리 구에 대하여 -0.05MPa이하로 떨어지면 관개하여 적습상태를 유지하도록 하였다.

한발처리는 월동 후 2002년 3월 27일부터 수확 시까지 하였는데 이 기간 중 적습처리(대조구)는 종전과 같이 관개를 하였고 한발처리는 관개를 하지 않았다. 실험기간 중 토양의 수

분 포텐셜(Fig. 1)은 대조구의 경우 평균 -0.04 MPa로 유지되었으며, 한발처리구는 관개를 중지한 후 28일에는 최저 -0.29 MPa까지 저하하였으며 많은 비로 인하여 다시 -0.08 MPa로 상승하였다가 다시 저하하였다. 한발 처리구의 처리 기간 중 평균 토양 수분포텐셜은 -0.15 MPa이었다. 실험은 분할구 3반복으로 배치하였다.

토양수분 측정

토양수분은 한발 처리 8일 전부터 매일 오후 6시에 용적함수량(volumetric water content)와 수분포텐셜(soil water potential, SWP)을 조사하였다. 용적함수량은 Time-Domain-Reflectometry(TDR, Santa Barbara, CA., USA)의 P3형 센서(길이는 15 cm)로 측정하였다. 토양 수분 포텐셜은 조사 시작 전 4일에 지하 10-15 cm 사이에 센서를 설치하여 watermark soil meter(1003-112, Rickly Inc., USA)로 용적함수량 측정과 같은 시간에 측정하였다.

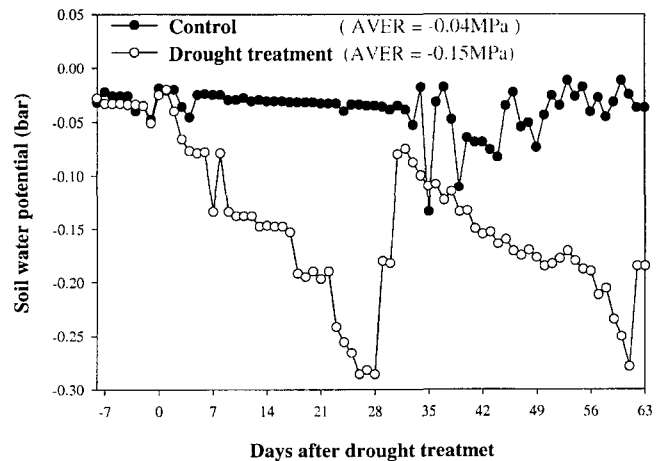


Fig. 1. Changes of soil water potential in control and drought treatment.

Table 1. Barley varieties used for the experiment.

No.	variety	No.	variety	No.	variety
1	Olbori	13	Duwonchapsalbori	25	Iljinbori
2	Tapgolbori	14	Songhagbori	26	Dongbori-1
3	Chalbori	15	Naehanssalbori	27	Pyeongtaegpo
4	Sangrogbori	16	Hinchalssalbori	28	Weolseong87-26
5	Albori	17	Kanghossalbori	29	Weolseong87-112
6	Alchanbori	18	Mudeungssalbori	30	Weolseong87-120
7	Milyanggketbori	19	Doosan29	31	Ogcheondeabu52
8	Saeolbori	20	Jinkwangbori	32	Weolseong87-31
9	Nagyeoungbori	21	Jejubori	33	Hwoiseonggwuanhang
10	Daebaegbori	22	Suwonmaeg360	34	Changyeongjaerae
11	Chalssalbori	23	Sinhobori	35	Hwaseongjeongnam
12	Suwonssalbori	24	Samdobori	36	Ogchuencheongsan

잎의 상대함수량 및 삼투포텐셜 측정

한발처리 40일 후에 최상위 완전 전개엽을 채취하여 곧바로 5 cm 정도로 절단하여 parafilm으로 싸서 수분증발을 억제하고 zipper bag에 넣어서 실험실로 옮겨 일부는 생체중을 칭량하고 일부는 삼투압을 측정하기 위해서 -20°C 냉동고에서 보관하였다. 또한 잎의 상대수분함량(leaf relative water content, RWC)을 측정하기 위하여 생체중을 칭량한 잎을 증류수에 띄어 4°C 압 조건에서 24시간 치상한 후 흡습지로 잎 표면의 물을 제거하여 포화중을 측정하였으며, 이 시료를 다시 70°C의 건조기에서 72시간 건조 시킨 후 건물중을 칭량하였다. 상대수분함량은 식 (1)에 의해서 계산하였다.

잎의 삼투 포텐셜(osmotic potential)은 냉동 시킨 잎을 이용해서 psychrometer(HR-33T, Wescor Inc., USA)로 측정하였으며 (2)와 (3)식(Wilson *et al.*, 1979)에 의해 삼투조정(osmotic adjustment, OA)을 계산하였다.

- Leaf relative water content(RWC)

$$RWC(\%) = (\text{생체중} - \text{건물중}) / (\text{포화중} - \text{건물중}) \times 100 \quad (1)$$

- Osmotic potential(Ψ_s) at full turgor(Ψ_{s100})

$$\Psi_{s100} = \Psi_s \times RWC / 100 \quad (2)$$

- Osmotic adjustment(OA)

$$OA = \text{droughted leaf } \Psi_{s100} - \text{irrigated leaf } \Psi_{s100} \quad (3)$$

^{13}C discrimination

한발 처리 후 40일에 최상위 완전 전개엽을 채취하여 곧바로 60°C에서 72시간 건조시켜, ball mill(Retch, MM2000, Germany)로 분쇄하여 분석에 이용하였다. 보리 잎 분말의 전체 탄소함량과 $\delta^{13}\text{C}$ 의 값은 continuous-flow stable isotope ratio mass spectrometer와 CN analyzer를 연결시켜 측정하였다. 다음 식을 이용하여 ^{13}C discrimination(Δ)값을 계산하였고, 공기 중의 $\delta^{13}\text{C} = -8\%$ 을 사용하였다.

$$\Delta(\%) = \{ \delta(\text{air}) - \delta(\text{plant}) \} / \{ 1 + \delta(\text{plant}) \} \times 1000 \quad (4)$$

엽면적과 건물중

엽면적은 LI3,100(Li-Cor Inc., USA) 엽면적 측정기를 이용해서 한발 처리 후 40일에 측정하였으며 건물중은 한발 처리 후 40일과 수확시에 2번 측정하였는데 식물체를 80°C 열풍건조기에서 72시간 건조한 후 칭량하였다.

수량 및 수량구성요소

수확기에 수량 및 수량구성요소를 각 품종당 3주 3반복으로 채취하여 탈립한 후 정선하여 수분함량 15%로 보정하여 구하였다.

통계처리

실험은 분할구 배치 3반복으로 수행하였으며 통계처리

SAS 프로그램(SAS 8.0)을 이용해서 F-검정을 거친 후 최소유의차검정을 실시하였다.

결 과

건물중과 엽면적

공시한 36개 품종에 대해 한발처리 후 40일의 지상부 건물중과 엽면적 및 수확시의 지상부 건물중을 조사한 결과는 Table 2와 같다. 지상부 건물중과 엽면적은 한발처리기간 및 품종간에 유의한 차이가 있었으며 또한 한발처리와 품종간에 유의한 상호작용이 인정되어 적습조건과 한발 처리조건에서 생육 반응이 품종간에 상이하였다. 한발처리 후 40일의 지상부 건물중과 엽면적 및 수확시의 지상부 건물중을 대조구와 처리구를 대비시켜 나타낸 것이 Fig. 2이다. 건물중과 엽면적의 대조에 대한 처리구의 비율을 보면 처리 후 40일의 건물중은 20~100%, 엽면적은 40~100%, 수확시 건물중은 60~100%의 품종간 변이를 보여 한발 저항성의 품종간 차이가 매우 컸다. 한발에 의해 건물중 억제가 적은 품종은 Dongbori-1(26)와 Changyeongjaerae(34) 등 이었고, 엽면적 억제가 적은 품종은 Olbori(1), Nagyeoungbori(9), Iljinbori(25), Changyeongjaerae(34) 등 이었다.

수량구성요소의 변화

수량 및 수량구성요소에 대한 조사한 결과를 나타낸 것이 Table 3이다. 수량 및 수량구성요소는 한발 처리간 및 품종간에 유의한 차이가 있었으나 이들간의 상호작용은 인정되지 않았다. 즉 적습조건에 비하여 한발처리 조건에서 수량과 수량구성요소가 유의하게 저하하였으나 대체로 적습조건에서 수량 및 수량구성요소가 높은 품종은 한발조건에서도 높은 경향이었는데, 이는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 처리구와 대조구 사이에 모두 유의한 정의 상관성을 보이는 데서도 확인할 수 있다.

36개 품종의 주당수수, 천립중 및 주당 수량에 대하여 대조구와 한발처리구를 대비시켜 나타낸 것이 Fig. 3이다. 대조에 대한 처리구의 비율을 보면 주당 수수는 55~100%, 천립중은 40~100%, 주당 수량은 40~100%의 품종간 변이를 보여 품종간 차이가 컸다. 주당 수수의 감소가 적은 품종은 Duwonchapssalbori(13), Samdabori(24), Iljinbori(25), Dongbori-1(26) 등이고, 천립중의 감소가 적은 품종은 Duwonchapssalbori(13), Samdabori(24), Dongbori-1(26), Weolseong87-31(32), Changyeongjaerae(34) 등이고, 수량의 감소가 적은 품종은 Chalbori(3), Duwonchapssalbori(13), Samdabori(24), Dongbori-1(26), Weolseong87-31(32), Changyeongjaerae(34) 등 이었다.

잎의 수분특성, 삼투 포텐셜 및 삼투조정의 변화

한발처리 40일 후에 잎의 상대함수량(RWC), 삼투압(OP) 및 삼투조정(OA)을 나타낸 것이 Table 4이다. RWC와 OP는 품

Table 2. Leaf area and shoot dry weight of 36 barley genotypes grown in irrigated and drought condition.

No.	Genotype	Leaf area at 40 DAT (cm ² /plant)		Shoot dry weight at 40 DAT (g/plant)		Shoot dry weight at harvest (g/plant)	
		Control	Drought	Control	Drought	Control	Drought
1	Olbori	892.01	896.63	13.1	10.0	31.7	21.0
2	Tapgolbori	426.08	426.88	9.2	4.4	16.3	12.9
3	Chalbori	1020.33	710.49	13.0	12.5	21.6	16.3
4	Sangrogbori	503.77	410.85	10.7	3.3	19.8	13.1
5	Albori	627.58	395.95	15.1	10.9	21.6	17.2
6	Alchanbori	1120.39	823.01	19.5	11.9	24.9	21.2
7	Milyanggketbori	549.75	475.93	10.5	6.0	15.5	14.1
8	Saeolbori	1103.31	756.38	16.5	13.4	22.6	18.1
9	Nagyeoungbori	644.87	711.19	18.7	9.0	18.8	13.6
10	Daebaegbori	536.65	256.86	21.7	9.7	24.0	17.4
11	Chalssalbori	757.40	612.69	19.1	11.5	16.7	12.3
12	Suwonssalbori	861.90	759.42	18.0	13.3	20.9	18.2
13	Duwonchapssalbori	834.20	693.26	18.0	15.8	22.5	22.9
14	Songhagbori	776.71	711.14	15.8	3.4	13.1	10.3
15	Naehanssalbori	1207.43	1007.98	20.0	15.7	42.9	24.2
16	Hinchalssalbori	642.55	493.60	8.8	5.0	14.9	11.4
17	Kanghossalbori	2204.77	779.19	20.1	13.4	26.8	19.8
18	Mudeungssalbori	951.17	391.55	7.5	5.5	16.2	12.7
19	Doosan29	516.49	555.28	9.4	7.4	21.9	17.0
20	Jinkwangbori	653.52	294.77	18.1	10.7	25.2	18.3
21	Jejubori	506.62	568.78	10.5	6.0	15.7	14.9
22	Suwonmaeg360	937.67	630.48	16.9	6.5	22.5	13.0
23	Sinhobori	541.86	347.75	13.1	6.5	18.6	12.0
24	Samdobori	784.29	409.91	10.0	10.0	15.0	12.4
25	Iljinbori	687.65	687.53	17.2	9.8	20.5	16.3
26	Dongbori-1	986.02	735.49	12.5	13.6	20.1	19.9
27	Pyeongtaegpo	604.03	325.60	9.8	7.1	17.1	13.8
28	Weolseong87-26	617.66	571.25	23.0	13.1	24.2	18.8
29	Weolseong87-112	559.55	530.32	13.1	6.6	21.4	14.7
30	Weolseong87-120	1443.70	790.73	12.2	8.3	21.1	17.0
31	Ogcheondeabu52	477.27	170.78	7.7	4.1	15.2	12.0
32	Weolseong87-31	2089.22	780.06	17.1	16.6	24.1	19.5
33	Hwoiseonggwuanhang	320.50	249.26	12.1	8.1	8.2	6.9
34	Changyeongjaerae	1392.59	1413.96	23.8	23.3	28.3	24.2
35	Hwaseongjeongnam	390.40	388.57	6.9	4.1	10.6	8.4
36	Ogchuencheongsan	707.93	482.15	15.0	10.5	21.2	14.3
	Mean	829.94	590.16	14.55	9.64	20.60	15.84
LSD at 5% level		Leaf area at 40 DAT		Shoot DW at 40 DAT		Shoot DW at harvest	
Genotype(G)		26.13		0.99		3.07	
Treatment(T)		6.16		0.23		0.72	
G*T†		37.01		1.40		4.34	

†Comparison among genotypes within treatment.n among genotypes within treatment.

종간 및 한발처리간에 유의한 차이가 있었으며 이들간의 상호 작용도 인정되어 한발처리에 따른 RWC와 OP의 반응이 품종 간에 차이가 있었다. 정상적으로 관개를 한 대조구의 RWC는

81~96%, OP는 -1.3~-1.9MPa의 품종간 변이를 보였으며, 한 발처리의 경우에 RWC는 46~88%, OP는 -1.6~-2.9Mpa의 품종간 변이를 보였고 대조에 비하여 유의하게 저하하였다. OP

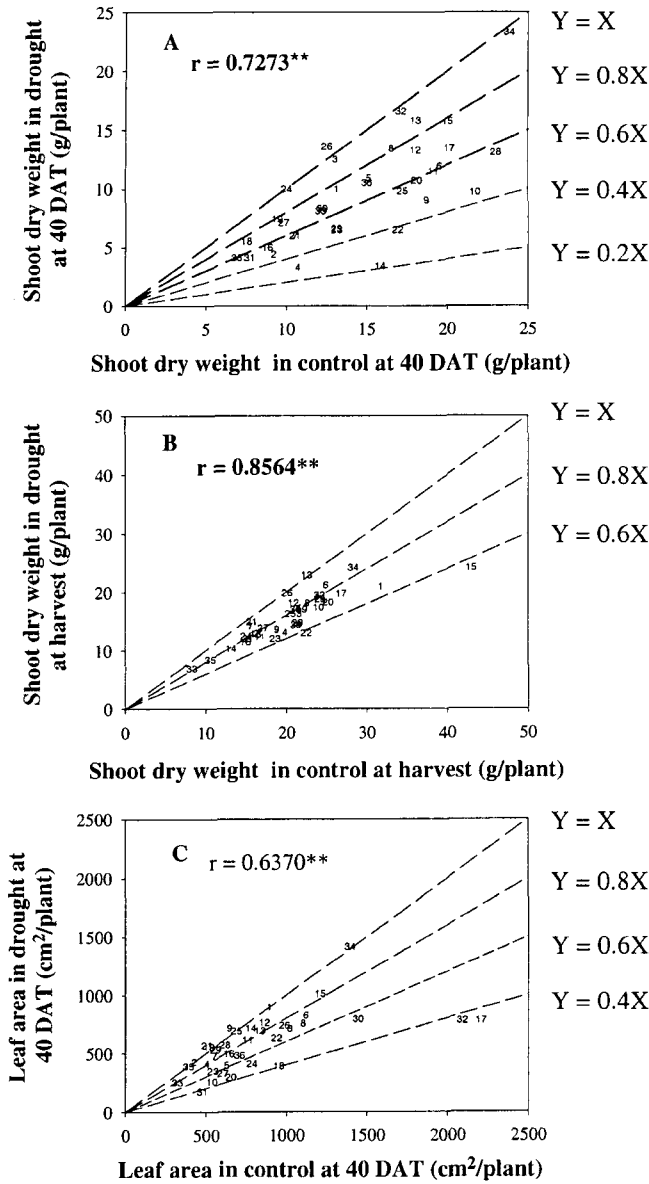


Fig. 2. Shoot dry weight and leaf area of 36 barley genotypes in control and drought treatment. Number in the graph corresponds to variety number in Table 1.

의 한발치리에 따른 저하 정도는 품종간에 상이하여 OA는 -0.8~0.7MPa의 품종간 변이를 보였다.

한발치리 40일 후에 측정된 RWC, OP, OA를 대조와 처리를 대비시켜 나타낸 것이 Fig. 4이다. 모든 품종에서 대조에 비하여 RWC가 낮아졌으나 품종간에 현저한 차이가 있었으며 Chalbori(3), Samdabori(24), Dongbori-1(26), Weolseong87-31(32), Changyeongjaerae(34) 등은 대조구의 90% 이상으로 감소정도가 가장 작았고 Sangrogbori(4), Songhagbori(14), Suwonmaeg360(22) 등은 대조구의 50%이하로 가장 많이 감소하였다. 모든 품종에서 대조구에 비하여 처리구에서 OP가

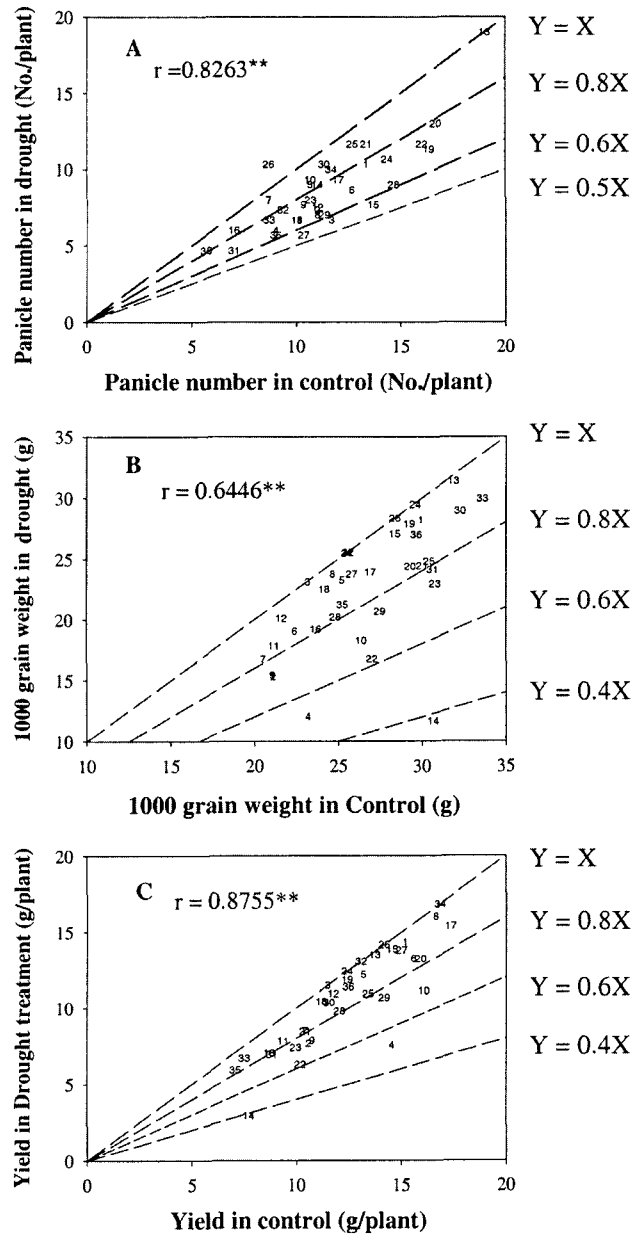


Fig. 3. Spikelet number, 1000 grain weight and grain yield at harvest of 36 barley genotypes in control and drought treatment. Number in the graph corresponds to variety number in Table 1.

낮아졌는데 저하정도는 품종간에 현저한 차이가 있어서 Olbori(1), Chalbori(3), Naehansalbori(15), Samdabori(24), Dongbori-1(26), Weolseong87-31(32), Changyeongjaerae(34) 등은 대조에 비하여 2배정도까지 저하하였으나 Sangrogbori(4), Nagyeongbori(9), Daebaegbori(10), Songhagbori(14), Suwonmaeg360(22) 등은 오히려 1.2배 정도 증가하였다. Wilson *et al.*(1979)의 방법에 의하여 계산한 한발 치리 후 40일의 OA의 경우 OA가 일어나지 않은 품종에서 -0.8 MPa 정

Table 3. Grain yield and components for 36 barley genotypes in control and drought plots.

No.	Genotype	No. of spikelet		1000 grain WT(g)		Grain yield (g/plant)	
		Control	Drought	Control	Drought	Control	Drought
1	Olbori	13.3	10.3	29.9	28.2	15.2	14.3
2	Tapgolbori	11.0	7.3	21.1	15.3	10.6	7.7
3	Chalbori	11.7	10.7	23.1	23.1	11.5	11.5
4	Sangrogbori	9.0	6.0	23.2	12.0	14.5	7.6
5	Albori	10.7	9.0	25.2	23.2	13.2	12.2
6	Alchanbori	12.7	8.7	22.4	19.0	15.6	13.3
7	Milyangketbori	8.7	8.0	20.5	16.7	10.4	8.5
8	Saeolbori	11.0	7.0	24.6	23.7	16.6	16.0
9	Nagyeoungbori	10.3	7.7	21.0	15.4	10.7	7.9
10	Daebaegbori	10.7	9.3	26.3	18.3	16.1	11.1
11	Chalssalbori	10.0	6.7	21.1	17.8	9.3	7.8
12	Suwonssalbori	11.0	7.5	21.6	20.1	11.7	10.9
13	Duwonchapsalbori	19.0	19.0	31.8	31.4	13.7	13.5
14	Songhagbori	11.0	9.0	30.6	11.7	7.7	2.9
15	Naehanssalbori	13.7	7.7	28.3	27.0	14.5	13.9
16	Hinchalssalbori	7.0	6.0	23.6	19.2	8.7	7.0
17	Kanghossalbori	12.0	9.3	26.9	23.9	17.3	15.4
18	Mudeungssalbori	10.0	6.7	24.1	22.5	11.2	10.4
19	Doosan29	16.3	11.3	29.2	27.9	12.4	11.8
20	Jinkwangbori	16.7	13.0	29.3	24.4	15.9	13.2
21	Jejubori	13.3	11.7	30.0	24.4	10.4	8.5
22	Suwonmaeg360	16.0	11.7	27.0	16.8	10.2	6.3
23	Sinhobori	10.7	8.0	30.7	22.9	9.9	7.4
24	Samdobori	14.3	10.7	29.6	29.5	12.4	12.4
25	Iljinbori	12.7	11.7	30.4	24.8	13.4	10.9
26	Dongbori-1	8.7	10.3	28.4	28.3	14.2	14.2
27	Pyeongtaegpo	10.3	5.7	25.8	23.7	15.0	13.8
28	Weolseong87-26	14.7	9.0	24.8	20.2	12.0	9.8
29	Weolseong87-112	11.3	7.0	27.5	20.7	14.2	10.7
30	Weolseong87-120	11.3	10.3	32.3	28.9	11.5	10.4
31	Ogcheondeabu52	7.0	4.7	30.6	24.1	8.8	6.9
32	Weolseong87-31	9.3	7.3	25.6	25.5	13.1	13.1
33	Hwoiseonggwuanhang	8.7	6.7	33.6	29.9	7.5	6.7
34	Changyeongjaerae	11.7	10.0	25.5	25.5	16.8	16.8
35	Hwaseongjeongnam	5.7	4.7	25.2	21.2	7.1	5.9
36	Ogchuencheongsan	9.0	5.7	29.6	27.0	12.5	11.4
	mean	11.4	8.8	26.7	22.6	12.4	10.6
LSD at 5% level		No. of spikelet		1000 grain WT		Grain yield	
Genotype(G)		2.11		4.32		2.03	
Treatment(T)		0.50		1.02		0.48	
G*T†		NS		NS		NS	

†Comparison among genotypes within treatment.

도까지 OA가 큰 품종까지 품종간 차이가 매우 컸다. OA가 큰 품종은 Olbori(1), Chalbori(3), Naehanssalbori(15), Samdobori(24), Dongbori-1(26), Weolseong87-31(32), Changyeongjaerae(34) 등이었으며 그 중에서 Samdobori(24), Dongbori-1(26)의

OA가 가장 컸다.

잎의 ¹³C discrimination의 변화

한발 처리 개시 후 40일에 최상위 완전 전개엽의 ¹³C

Table 4. Leaf relative water content (RWC), osmotic potential (OP), osmotic adjustment (OA) for 36 genotypes grown in control and drought plots.

No.	Genotype	RWC (%)		OP (MPa)		OA (MPa)
		Control	Drought	Control	Drought	
1	Olbori	93	79	-1.73	-2.61	-0.5
2	Tapgolbori	96	60	-1.74	-2.23	0.3
3	Chalbori	83	80	-1.55	-2.44	-0.7
4	Sangrogbori	95	54	-1.47	-1.71	0.5
5	Albori	90	72	-1.64	-2.35	-0.2
6	Alchanbori	83	62	-1.37	-1.78	0
7	Milyangketbori	92	68	-1.85	-2.61	-0.1
8	Saeolbori	92	79	-1.52	-2.22	-0.3
9	Nagyeoungbori	92	55	-1.36	-1.58	0.4
10	Daebaegbori	91	57	-1.39	-1.66	0.3
11	Chalssalbori	87	63	-1.36	-1.75	0.1
12	Suwonssalbori	93	76	-1.46	-2.05	-0.2
13	Duwonchapssalbori	93	83	-1.55	-2.33	-0.5
14	Songhagbori	93	46	-1.63	-1.83	0.7
15	Naehanssalbori	87	73	-1.93	-2.94	-0.5
16	Hinchalssalbori	81	59	-1.71	-2.34	0
17	Kanghossalbori	88	68	-1.67	-2.36	-0.1
18	Mudeungssalbori	84	68	-1.49	-2.10	-0.2
19	Doosan29	88	76	-1.47	-2.14	-0.3
20	Jinkwangbori	90	64	-1.41	-1.82	0.1
21	Jejubori	86	59	-1.55	-2.01	0.2
22	Suwonmaeg360	85	46	-1.42	-1.60	0.5
23	Sinhobori	85	53	-1.57	-1.93	0.3
24	Samdobori	89	88	-1.49	-2.36	-0.8
25	Iljinbori	91	65	-1.76	-2.41	0
26	Dongbori-1	85	83	-1.58	-2.52	-0.7
27	Pyeongtaegpo	84	68	-1.47	-2.07	-0.2
28	Weolseong87-26	87	61	-1.82	-2.49	0.1
29	Weolseong87-112	83	55	-1.94	-2.63	0.2
30	Weolseong87-120	88	70	-1.63	-2.31	-0.2
31	Ogcheondeabu52	92	63	-1.63	-2.14	0.2
32	Weolseong87-31	81	78	-1.39	-2.13	-0.5
33	Hwoiseonggwuanhang	96	81	-1.42	-2.02	-0.3
34	Changyeongjaerae	87	84	-1.34	-2.05	-0.6
35	Hwaseongjeongnam	90	67	-1.57	-2.14	0
36	Ogchuencheongsan	83	67	-1.55	-2.20	-0.2
	Mean	88	67	-1.57	-2.16	-0.09
LSD at 5% level		RWC		OP		OA
Genotype(G)		0.019		0.059		
Treatment(T)		0.045		0.014		-
G*T [†]		0.324		0.084		-

[†]Comparison among genotypes within treatment.

discrimination(Δ)을 나타낸 것이 Fig. 5이다. 대조구의 Δ 는 품종에 따라 21.2~25.5% 범위였고 한발처리구는 21~25.8% 범

위였다. 대부분의 품종이 한발처리에 의하여 Δ 가 감소하였으나 일부 품종에서는 대조구와 같거나 대조구보다 다소 높았다.

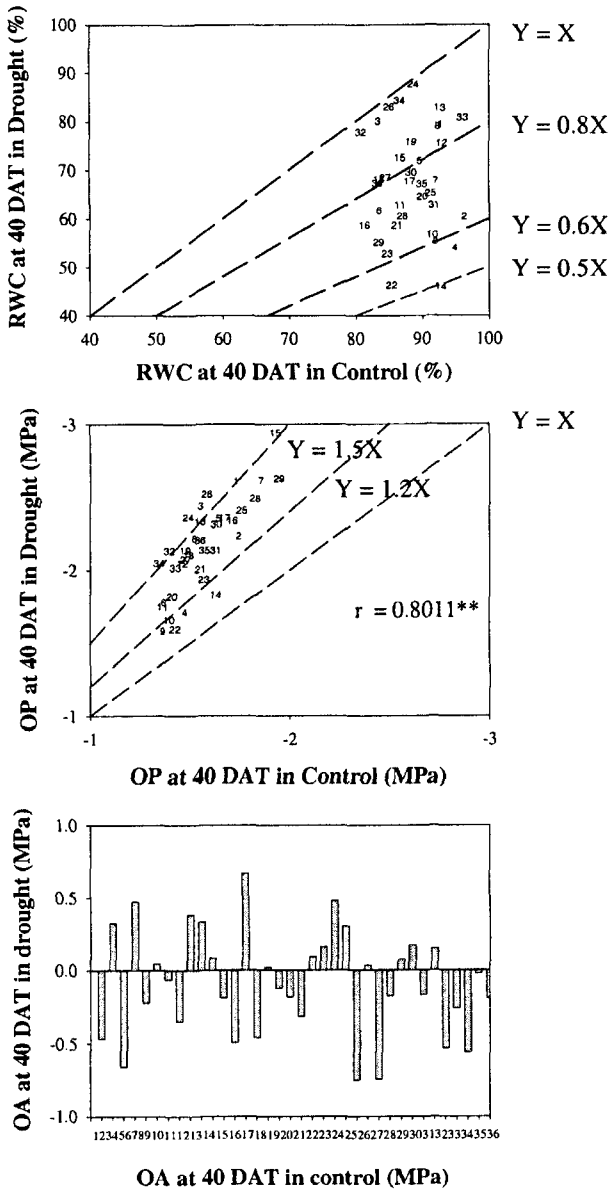


Fig. 4. Leaf relative water content (RWC), leaf osmotic potential (OP) and osmotic adjustment (OA) at 40 days after drought treatment DAT of 36 barley genotypes in control and drought treatment. Number in the graph corresponds to variety number in Table 1.

형질간의 상관 관계

품종의 한발저항성 정도와 생리적 특성과의 관계를 검토하기 위하여 한발처리 40일 후의 건물중, 수확시의 건물중 및 수량의 한발피해지수(처리구/대조구 비)와 한발처리 40일 후의 대조구와 한발처리구의 ^{13}C discrimination(Δ), 상대함수량(RWC), 삼투압(OP), 삼투조정(OA)과 상관관계를 계산한 것이 Table 5이다. 대조구의 Δ 와 처리 40일 후의 건물중, 수량 및 이들의 한발피해지수 간에는 유의한 정도의 상관관계를 나타내어 관개조건에서 Δ 가 큰 품종이 한발저항성이 큰 경향을 나

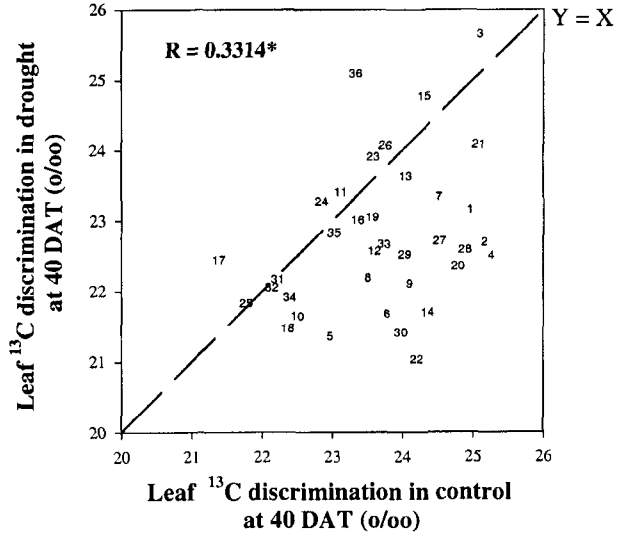


Fig 5. Leaf ^{13}C discrimination (Δ) of 36 barley genotypes in control and drought treatment at 40 days after drought treatment DAT. Number in the graph corresponds to variety number in Table 1.

타냈으나 대조구의 RWC, OP와는 상관이 없었다. 그러나 한발 처리구의 Δ 는 건물중 및 수량의 한발피해지수와 상관이 없었지만 한발조건 하에서의 RWC값과 건물중 및 수량한발피해지수와 높은 정도의 상관관계를 나타내어 한발조건에서 높은 RWC를 유지하는 품종일 수록 한발저항성이 강하다. 또한 한발조건 하에서의 OP와 건물중 및 수량 한발피해지수 간에는 고도로 유의한 부의 상관관계를 나타내었고, 또한 한발처리 후 40일에 측정된 OA는 동일한 날의 건물중, 수확시 건물중 및 수량에 대한 한발피해지수와 각각 -0.974^{**} , -0.372^* , -0.920^{**} 의 매우 높은 부의 상관을 보여 수분 부족시 삼투조정이 잘 일어나는 품종이 한발저항성이 강하였다.

Table 6은 몇 가지 생리적 형질의 한발 지수(한발/대조 비), 생육 및 수량관련 형질들의 한발피해지수 간의 상관관계를 나타낸 것이다. 한발처리 40일 후에 측정된 Δ , OP 및 RWC의 한발 지수 간에는 유의한 정도의 상관이 있었으며 특히 OP와 RWC지수 간에는 $r=0.956^{**}$ 으로 매우 높은 상관을 나타내었다. 한편 이들 생리적 형질들의 지수와 생육 및 수량관련 형질들의 지수와의 상관을 보면 Δ , OP 및 RWC의 한발지수는 건물중, 천립중 및 수량 한발피지수와 유의한 정도의 상관을 보였다.

고 찰

본 연구는 한국 재배종 25개와 재래 수집종 11개, 총 36개의 보리 품종(Table 1)을 공시하여 비가림 프라스틱 하우스에서 월동 후부터 수확기까지 장기간에 걸쳐 한발처리를 하여 품종의 한발저항성과 생리적 지표와의 관계를 검토한 것이다. 한발처리 후 40일 건물중 및 엽면적과 수량 조사 결과

Table 5. Correlations between ¹³C discrimination (Δ), leaf relative water content (RWC), osmotic potential (OP), and osmotic adjustment (OA) at 40 days after drought treatment (DAT) and drought injury indexes of shoot dry weight and grain yield.

	Dry weight at 40 DAT			Dry weight at harvest			Yield		
	Control	Drought	Index	Control	Drought	Index	Control	Drought	Index
Δ-control	0.327*	0.333*	0.351*	0.087	0.096	0.101	0.394*	0.389*	0.400*
Δ-drought	0.100	0.048	0.021	0.007	0.006	0.008	0.010	0.024	0.022
RWC-control	0.314	0.271	0.315	0.097	0.107	0.130	0.296	0.256	0.303
RWC-drought	0.942**	0.843**	0.923**	0.416*	0.275	0.453**	0.785**	0.433**	0.880**
OP-control	-0.017	-0.026	-0.010	-0.048	-0.083	-0.088	-0.065	-0.064	-0.068
OP-drought	-0.481**	-0.449**	-0.501**	-0.039	-0.033	-0.154	-0.478**	-0.362*	-0.504**
OA	-0.987**	-0.894**	-0.974**	-0.286	-0.143	-0.372*	-0.811**	-0.942**	-0.920**

*, ** is Significantly different at 0.05 and 0.01, respectively

Table 6. Correlation among drought indexes (drought/control ratio) of several characters

	At 40 DAT				At harvest			
	OP	RWC	Dry weight	Leaf area	Dry weight	Panicle number	1000 grain weight	Yield
At 40 DAT Δ	0.4455**	0.3711*	0.3660*	0.0149	0.1163	0.0451	0.3999*	0.4002*
OP		0.9561**	0.9344**	0.1115	0.3650*	0.1296	0.8975**	0.8992**
RWC			0.9822**	0.1679	0.4024*	0.1323	0.9252**	0.9269**
Dry weight				0.1706	0.4031*	0.1507	0.9288**	0.9298**
Leaf area					0.1105	0.0819	0.1670	0.1685
At harvest Dry weight						0.5840**	0.3450*	0.3463*
Panicle number							0.0539	0.0538
1000 grain weight								0.9877**

*, ** is Significantly different at 0.05 and 0.01, respectively

(Table 2, Fig. 2; Table 3, Fig. 3)에 의하면 한발 처리에 의하여 모든 품종의 생장이 현저하게 억제하였는데, 억제 정도는 품종간에 현저한 차이가 있었다. 동보리1호, 창영재래 등은 건물중, 엽면적, 수량이 한발처리에 의하여 크게 억제되지 않아 한발 저항성이 컸으나 탐골보리, 송학보리 등은 현저하게 억제되어 한발 저항성이 매우 약하였다.

보리 수량은 단위면적당 수수, 이삭당 립수 및 천립중에 의해 결정된다. 따라서 어느 시기에 한발이 오느냐에 따라서 수량구성요소에 대한 영향도 다르다. 구체적으로 말하면 영양 생장기의 한발은 분얼수를 감소시켜 수수의 감소를 초래하고, 개화기의 한발은 이삭당 립수의 감소를 초래하고 생육후기의 한발은 주로 천립중을 감소시킨다(Asana, 1976). 월동 후 분얼기부터 수확기까지 한발처리를 한 본 실험의 한발조건 하에서는 수량감소가 적거나 감소하지 않은 품종은 주당수수와 천립중도 매우 적게 감소되었다. 그러나 수량이 현저하게 낮아진 품종 중에서는 일부 품종은 주당수수가 현저히 감소되었고 일부 품종은 천립중이 현저히 감소되었으며 일부품종은 두 가지 모두 감소되었다(Table 3, Fig. 3). 주당수수가 현저히 감소된 내한(耐寒)쌀보리 등은 분얼기에 수분부족에 대한 민감도가 다른 품종보다 높았고 천립중이 현저히 감소된 송학보리 등은 등숙기 수분부족에 대한 민감도가 다른 품종보다 높았던 것으

로 판단되었는데 밀의 한발해 연구에서도 이와 유사한 결과가 보고되었다(Zhang, 2000; Zhao, 2001).

한발처리에 의하여 잎의 상대함수량(RWC), 삼투압(OP)이 모든 품종에서 대조구에 비하여 저하하였으나 저하정도는 품종에 따라 매우 상이하였다. 동보리1호, 창영재래 등의 RWC는 한발처리조건에서도 대조구와 큰 차이가 없었으나 상록보리, 송학보리 등은 대조구의 30%이하로 낮아졌다. 찰보리, 동보리1호 등은 한발처리에 의하여 OP가 현저히 저하하여 삼투조정(OA)이 크게 일어난 반면 상록보리, 수원맥360, 송학보리 등은 OP의 하강이 적고 삼투조정(OA)이 일어나지 않았다(Table 4, Fig. 4).

품종의 한발저항성과 잎의 수분관련 특성과의 관계를 검토하기 위하여 건물중과 수량의 한발피해지수(한발처리구/대조구 비)와 한발처리 40일의 대조와 처리구의 RWC, OP, 이들의 한발지수(한발처리구/대조구 비) 및 OA와의 상관관계를 분석하였다. 대조구의 OP 및 RWC와 건물중 및 수량의 한발 피해지수와의 상관관계가 없었으나(Table 5) 한발처리구의 OP 및 RWC, 이들의 지수 및 OA와는 매우 높은 유의한 상관관계가 있었다(Table 6). 즉, 한발에 의한 건물중과 수량의 피해가 작은 품종은 한발조건에서도 비교적 높은 RWC값을 나타냈고 OP 값의 하강정도가 커서 삼투조정(OA)능력이 비교적 강한 경향이

있고 반면 한발의 피해가 큰 품종은 RWC가 낮게 나타났고 OP의 하강정도가 작아 삼투조정(OA)능력이 약한 경향을 나타냈다. 이는 삼투조정능력이 강한 보리 품종은 자체 수분조절 능력이 강하여 높은 상대함수량이 유지되고 수분손실이 지연되어 세포팽압의 유지능력이 컸기 때문에 광합성작용의 억제 가 작았기 때문인 것으로 판단된다. 이 결과는 한발조건 하에서 생장이 양호한 대두품종은 그 잎의 수분유지능력이 강하고 OP를 효율적으로 하강시켰으며 생장이 부진한 대두품종은 그 잎의 수분유지능력이 약하고 OP를 효율적으로 하강시켰다는 결과(Costa *et al.*, 2000)와 일치하였다. 또한 Morgan(1984), Shangguan & Chen(1991) 등은 밀에서 지엽의 삼투조정정도가 한발저항성 및 전체 건물중과 정의 상관관계가 있다고 보고하였으며, Li *et al.*(1992)은 한발조건에서 한발저항성이 강한 밀 품종의 삼투조정능력이 한발저항성이 약한 밀 품종의 삼투조정능력보다 강하다고 하였으며, Blum(1989)은 보리에서 삼투조정능력과 건물생성 및 수량과 정의 상관성이 있음을 보고 하였다.

C₃ 식물에서 ¹³C discrimination(Δ)은 증산효율(transpiration efficiency, TE)을 잘 반영하는데(Farquhar & Richards, 1984; Hubick & Farquhar, 1989), Δ와 TE간에 부의 상관성이 있다(Condon *et al.*, 1993). 이는 TE가 높은 식물체 조직에서 ¹³C를 많이 집적하여 ¹³C/¹²C의 비율이 높아지기 때문이다(Voltas *et al.*, 1998). 본 실험에서 대부분의 품종이 한발처리에 의하여 Δ(¹³C discrimination)가 감소하였으나 일부 품종에서는 대조구와 같거나 대조구보다 다소 높았다(Fig. 5). 대조구의 Δ는 대조구와 한발처리구의 건물중 및 수량, 이들의 한발 피해지수와 정의 상관관계를 나타내었으나 한발 처리구의 건물중 및 수량과는 상관성이 인정되지 않았다(Table 6). 그런데, Condon *et al.*(1987), Araus *et al.*(1993), Sayre *et al.*(1995)은 한발 조건에서 밀 잎의 Δ와 수량, Romagosa & Araus(1991), Voltas *et al.*(1998)은 Δ와 보리 수량 간에 정의 상관 관계가 있는 것으로 보고하여 본 연구 결과와는 상이 하였다.

이상의 결과를 종합하여 보면 한발 처리조건에서의 RWC, OP 및 OA와 적습조건에서 Δ는 한발저항성 품종의 선발지표로서 이용될 수 있을 것으로 판단되며 Δ와 한발저항성의 관계에 대해서는 보다 구체적인 검토가 필요한 것으로 판단된다.

적 요

본 실험은 한국 재배종과 재래 수집종을 포함하는 36개 보리 품종을 공시하여 비가림 플라스틱 하우스의 포장 조건에서 실시하였다. 대조구는 전 생유기간에 걸쳐서 토양 수분 포텐셜이 -0.05 Mpa이 유지되도록 관개를 하였고, 한발 처리구는 월동 후 재생기부터 수확기까지 관개를 하지 않았다. 한발 처리구의 토양 수분 포텐셜은 최저 -0.29 Mpa까지 저하하였고 처리기간 중 평균은 -0.15 Mpa이었다. 처리에 따른 생장, 수

량 및 수량구성요소, 잎의 상대수분함량(RWC), 삼투포텐셜(OP), 삼투조정(OA), ¹³C discrimination(Δ), 등의 변화를 조사하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 공시한 품종 중 한발 처리에 따른 건물 중과 수량 저하가 작아서 한발 저항성이 강한 품종은 동보리1호, 찰보리, 창영재래, 삼도보리, 월성87-31 등이었으며, 상록보리, 송학보리, 수원맥360 등은 한발저항성이 낮았다.
2. 건물중 및 수량의 한발피해지수(한발처리구/대조구 비)와 한발조건하 RWC와는 높은 정의 상관성이, 한발조건하 OP 및 OA는 매우 높은 부의 상관관계가 있었으며, 대조구의 Δ와는 유의한 정의 상관관계가 있었다.
3. OP, Δ 및 RWC의 한발지수(한발처리구/대조구 비)는 건물중, 천립중 및 수량의 한발피해지수와 매우 높은 정의 상관관계를 나타내었다.
4. 이상의 결과를 종합해 보면 한발 저항성이 큰 품종은 삼투 조정능력이 커서 잎의 수분함량을 높게 유지하는 특성을 가지고 있어서 한발 처리 조건에서 OP와 RWC는 보리의 한발저항성 선발지표로 이용될 수 있을 것으로 판단되었다. 그러나 Δ와 한발 저항성간의 관계에 대해서는 보다 구체적인 연구가 필요한 것으로 생각된다.

사 사

이 연구는 농촌진흥청 산학연공동연구사업비 지원에 의하여 이루어진 것임.

인용문헌

Agueda, G., M. Isaura, and A. Luis. 1999. Barley yield in water stress conditions. The influence of precocity, osmotic adjustment and stomatal conductance. *Field Crops Research*. 62 : 23-34.

Araus, J.L., M. P. Reynolds, and E. Acevedo. 1993. Leaf posture, grain yield, leaf structure, and carbon isotope discrimination in wheat. *Crop Sci*. 33 : 1273-1279.

Asana, R.D. 1976. Physiological Approaches to Breeding of Drought Resistant crops. I.C.A.R. Technical Bulletin (Agric) No. 52.

Blum, A. 1989. Osmotic adjustment and growth of barley genotypes under drought stress. *Crop Sci*. 29 : 230-233.

Choi, W.Y., Y.W. Kwon, and J.H. Park. 1997. Grain yield and physiological responses of water stress at reproductive stage in barley. *Korean J. Crop. Sci*. 42(3) : 263-269.

Condon, A.G., R. A. Richards, and G. D. Farquhar. 1987. Carbon isotope discrimination is positively correlated with grain yield and dry matter production in field-grown wheat. *Crop. Sci*. 27 : 996-1001.

Condon, A.G., R. A. Richards, and G. D. Farquhar. 1993. Relationships between carbon isotope discrimination, water use efficiency and transpiration efficiency for dryland wheat. *Aust. J. Agric. Res*. 44 : 1693-1711.

Cortes, P. M., and T. R. Sinclair. 1986. Gas exchange of field-grown soybean under drought. *Agron. J*. 78(3) : 454-458.

Costa, F. M. G., A. T. Pham, C. Pimentel, R. O. Pereyra Rossiello, Y.

- Zuily-Fodil, and D. Laffray. 2000. Differences in growth and water relations among *Phaseolus vulgaris* cultivars in response to induced drought stress. *Environ. Exp. Bot.* 43: 227-237.
- Cox, W. J., and G. D. Jolliff. 1986. Growth and yield of sunflower and soybean under soil water deficits. *Agron. J.* 78 : 226-230.
- Eastham, J., D. M. Oosterhuis, and S. Walker. 1984. Leaf water and turgor potential threshold values for leaf growth of wheat. *Agron. J.* 76 : 841-847.
- Farquhar, G.D., and R. A. Richards. 1984. Isotopic composition of plant carbon correlates with water use efficiency of wheat genotypes. *Aust. J. Plant Physiol.* 11 : 539-552.
- Hubick, K.T. and G. D. Farquhar. 1989. Carbon isotope discrimination and the ratio of carbon gains to water lost in barley cultivars. *Plant Cell Environ.* 12 : 795-804.
- Li, D. Q., Y. Q. Zhang, Q. Zou, and B. S. Cheng. 1992. Effect of soil water stress on water status, photosynthesis and yield of wheat with drought resistance. *Journal of Shandong Agricultural University.* 23(2) : 125-130.
- Morgan, J. M. 1984. Osmoregulation and water stress in higher plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 35 : 299-319.
- Park, M.E. 1995. The effect of soil moisture stress on the growth of barley and grain quality. *Korean J. Soc. Soil. Sci. Fert.* 28(2) : 165-175.
- Romagosa, I., and J. L. Araus. 1991. Genotype-environment interaction for grain yield and ¹³C discrimination in barley. *Barley Genet.* VI : 563-567.
- Sayre, K.D., E. Acevedo, and R. B. Austin. 1995. Carbon isotope discrimination and grain yield of three bread wheat germplasm groups grown at different levels of water stress. *Field Crops Res.* 41 : 45-54.
- Shangguan, Z. P., P. Y. Chen. 1990. Effects of water stress on photosynthesis of wheat leaves and their relation to drought resistance. *Acta. Bot. Boreal Occident Sin.* 10 : 1-7.
- Sivakumar, M. V. K., and R. H. Shaw. 1978. Relative evaluation of water stress indicators for soybeans. *Agron. J.* 70 : 619-623.
- Voltas, J., I. Romagosa. P. Munoz. J. L. Araus. 1998. Mineral accumulation, carbon isotope discrimination and indirect selection for grain yield in two-rowed barley grown under semiarid conditions. *Euro. J. Agro.* 9 : 147-155.
- Wenkert, W., E. R. Lemon, and T. R. Sinclair. 1978. Leaf elongation and turgor pressure in field-grown soybean. *Agron. J.* 70 : 761-764.
- Wilson, J.R., M.J. Fisher, E.D. Schulze, G.R. Dolby, and M.M. Ludlow. 1979. Comparison between pressure-volume and dew point-hygroscopy techniques for determining the water relations characteristics of grass and legume leaves. *Oecologia.* 41 : 77-88.
- Wu, Y.Y. and D. Q. Li, 2001. Effects of soil water stress on osmotic adjustment and chloroplast ultrastructure of winter wheat barley. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica* 16(2) : 87-93.
- Zhang, Q., H. Liu, F. Meng, S. Zhang, Z. Zhang, and G.Z. Kang. 2000. The effect of drought stress on physiological characters in leaves and seed-filling characteristics of new wheat cultivar Yumai 36 during the late developmental stage. *Scientia Agricultura Sinica* 33(4) : 94-96.
- Zhao, S. W., X. J. Guan, and J. S. Wu. 2001. Effects of water deficits on yield and WUE in winter wheat. *Irrigation and Drainage* 20(4) : 56-59.