

## 보리 生殖生長期의 水分不足이 收量 및 몇 가지 生理的 反應에 미치는 影響\*\*\*

崔元烈\* · 權容雄\*\* · 朴鍾煥\*

### Grain Yield and Physiological Responses of Water Stress at Reproductive Stage in Barley

Won Yul Choi\*, Yong Woong Kwon\*\* and Jong Hwan Park\*

**ABSTRACT :** To cope with increasing importance of water stress in food crop production, some physiological characteristics, their cultivar-differences and grain yield of winter barley cultivars in response to water stress during reproductive stages were studied employing three covered-barley cultivars, Milyang 12, Durubori, and Olbori, one naked-barley cultivar, Baegdong, and one two-row malting-barley cultivar, Hyangmaeg.

The barley grown in pot-soil was conditioned for 10 days under water stress, varying the time of water stress : 20 days before heading, 10 days before heading and the time of heading. The decrease in growth due to water stress varied greatly with the cultivars and time of water stress. The greatest injury occurred when water stress was imposed for 10 days from 10 days before heading : the culm length of water-stressed plants have shown reduced by 85~98% of the non-stressed; the number of spikes per plant by 52~83%; the number of grains per spike by 71~86%; 1,000-grain weight by 80~84%; yield per pot by 60~94%. The number of spikes per plant as one of yield components was most sensitively affected. As a whole, the drought resistance of cultivars was high in the order of Olbori > Milyang 12 and Durubori > Hyangmaeg > Baegdong.

On rewatering the plants after termination of the water stress treatment the recovery rate of free proline content and relative turgidity of flag leaf were higher in 3 covered-barley cultivars, and lower in cultivars Baegdong and Hyangmaeg.

**Key words :** Water stress, Barley, Reproductive stage, Yield component, Free proline.

일반적으로 보리는 越冬을 하며 夏作物에 비하여 재배기간이 길고, 강우량이 적은 계절에 재배되므로 旱魃의 피해를 입기 쉬우며, 특히 보리 開花期 무렵의 심한 가뭄은 종실수량에 커다란 영향

을 주어 수량을 격감시키는 경우가 많아 매년 적지 않은 감수를 보게 되므로 보리의 안전다수를 위해서는 生殖生長期頃의 한발 정도에 따른 수량의 반응에 관한 연구가 필요하다.

\* 전남대학교 농과대학(College of Agric., Chonnam National Univ., Kwangju 500-757, Korea)

\*\* 서울대학교 농학과(Dept. of Agronomy, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea)

\*\*\* 이 논문은 1996년도 교육부 학술연구조성비(농업과학)에 의한 연구의 일부임.

〈'96. 11. 14 接受〉

작물의 수량을 제한하는 가장 중요한 요인의 하나인 수분의 부족은 작물체로부터의 수분 손실과 흡수지연에 의하여 야기될 수 있다. 수분 부족의 정도는 토양수분, 대기의 증발요구도, 체내수분 이동 저항성에 의하며<sup>14)</sup> 수분 이동 저항성도 잎보다 뿌리에서 2배나 되며 저항성 정도는 수분상태에 따라 다르다고 하였다.<sup>15)</sup>

맥류의 경우 수분 부족에 가장 민감한 생육시기는 開化期 무렵이라는 보고<sup>4)</sup>가 있으며, Ha et al.<sup>5)</sup>도 旱魃條件에서는 엽면적, 절간장 및 엽신장이 현저히 감소하고 稈長과 종실수량은 출수기 무렵에 가장 심한 영향을 받는다고 하였다. Ryu et al.<sup>17)</sup>은 기상 재해대책에 있어서 작물의 생육단계별로 재배응용면에서 그 중요도가 다르다고 하였다.

따라서 본 연구는 보리의 주요 품종을 공시하여 생식생장기경에 斷水處理를 하여 수분 스트레스를 유발하여 종실수량과 수량구성요소 및 체내 proline 함량과 상대팽압도를 조사 분석하여 생식생장기 무렵의 水分不足이 수량성과 耐旱性 반응

기작에 미치는 영향을 구명하고자 수행하였다.

## 材料 및 方法

보리 품종 밀양12호, 올보리, 두루보리, 백동 및 향맥의 5품종을 포장에 추파한 후 이듬해 2월 중순에 4각플라스틱 포트(가로50×세로60×높이20cm)에 표 1과 같은 토양을 15cm 깊이로 담아서 포트당 20개체씩 이식하여 비가 내릴 때 강우를 차단하고 통풍이 잘 되도록 옆구리를 모두 터놓은 비닐하우스내에서 재배하였다. 단수처리는 출수 20일전, 출수 10일전 및 출수기의 3시기에 각각 10일간씩 하여 旱害를 誘發시켰다. 斷水處理 종료 후에는 다시 灌水를 충분히 하여 적정 수분상태가 유지되도록 재배 관리하였다. 단수처리 기간중 평균 기온은 15℃이었으며 습도는 평균 69.4%를 나타내었고 처리가 끝날 무렵의 토양 수분 포텐셜은 -25bar를 나타내었다. 처리구는 斷水

Table 1. The general properties of soil used in pot experiment

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

Table 2. The changes in dry straw weight, effective tiller rate and culm length of 5 cultivars imposed to water stress by withholding watering for 10 days before or at heading

Cultivars	Dry straw weight(g)				Effective tiller rate(%)				Culm length(cm)						
	Control (a)	Water stress before heading			Control (a)	Water stress before heading			Control (a)	Water stress before heading					
		20 days	10 days	0 day		20 days	10 days	0 day		20 days	10 days	0 day			
Milyang 12	29.7	28.3	24.7	26.3	83	64	59	45	64	70	54	53	47	47	87
Olbori	19.3	19.0	17.7	18.3	92	76	57	57	61	75	47	47	44	44	94
Durubori	24.0	22.0	18.7	23.7	78	37	45	37	44	100	57	55	49	56	86
Baegdong	24.0	23.3	22.3	23.0	93	66	46	59	50	89	46	46	39	42	85
Hyangmaeg	36.0	34.7	34.0	35.0	94	41	39	36	39	88	63	63	62	56	98
Mean	26.6	25.5	23.5	25.3	88	57	49	47	50	82	53	53	48	49	90

LSD<sub>.05</sub> between water stress: ns  
cultivars : 3.297

4.441  
5.526

2.291  
2.187

時期를 주구로 하고 품종을 세구로 하여 3반복으로 하였다. 주요 調査項目은 稈長, 有效莖比率, 種實收量 및 收量構成要素 그리고 잎의 相對膨壓도와 遊離 proline 함량을 꽃트당 균일한 10개체씩을 조사 및 측정하였다. 잎의 相對膨壓도는 Weatherley 방법<sup>18)</sup>, 遊離 proline 함량은 Troll & Linsley 방법<sup>16)</sup>으로 하였다.

## 結果 및 考察

### 1. 麥稈重 · 有效莖比率 · 稈長의 變化

단수처리에 다른 株當 麥稈重, 유효경비율 및 간장을 조사하여 표 2에 나타내었다. 맥간중, 유효경비율 및 간장은 공시품종 모두 대조구보다 斷水處理區에서 감소되었으며 단수처리 시간간의 차이는 유의성이 인정되었다. 즉 출수 10일전 > 출수기 > 출수 20일전 처리의 순으로 감소하여 출수 10일전 旱害誘發 처리에서 가장 피해가 컸음을 알 수 있었다. 단수처리에 의한 감소가 가장 심했던 출수 10일전 처리구의 결과를 대조구와 비교하여 보면 麥稈重은 88%, 유효경비율은 50% 그리고 간장은 90% 간장의 감소 정도가 가장 적었는데 이는 단수처리 시기가 간장 신장이 거의 완료된 시기 이후에 이루어졌기 때문인 것으로 생각되었다.

### 2. 一穗粒數 · 株當穗數의 變化

단수처리에 따른 一穗粒數와 株當수수의 변화를 표 3에서 보면 공시 품종 모두 출수 10일전 > 출수기 > 출수 20일전 처리의 순으로 피해가 적었으며, 품종간에도 유의성이 인정되었다. 株當수수가 일수립수보다 단수처리에 의한 한발에 鈍感한 것은 분얼이 거의 끝나가는 시기에 단수처리가 이루어졌기 때문으로 생각되었다. 출수 10일전 단수처리구에서 품종간 일수립수의 감소율은 올보리가 29%로 가장 컸으며 백동이 14%로 가장 적었다.

株當수수는 출수 10일전 단수처리에 의해 크게 감소하였는데, 품종간에는 두루보리가 정상적인 수분조건(대조구)에 비하여 83%를 보인 반면 향맥은 52%로 감소율이 가장 큰 것으로 나타났다. 향맥의 경우는 지연분얼이 있었기 때문에 株當수수의 감소가 컸던 것으로 생각되었다.

### 3. 千粒重과 種實收량의 變化

천립중과 꽃트당 종실수량의 변화를 표 4에서 보면 출수 10일전 > 출수기 > 출수 20일전 처리의 순으로, 맥간중, 유효경비율, 간장, 株當수수 및 穗當粒數와 같이 출수 10일전 처리에서 가장 피해가 컸다. 대조구에 대한 출수 10일전 처리구에서 천립중은 올보리, 두루보리, 백동은 80~

Table 3. The changes in number of grains per spike and number of spikes per plant of 5 cultivars imposed to water stress by withholding watering for 10 days before or at heading

Cultivars	Number of grain / spike					Number of spike / plant				
	Control (a)	Water stress before heading			b/a (%)	Control (a)	Water stress before heading			b/a (%)
		20 days	10 days	0 day			20 days	10 days	0 day	
Milyang 12	42	41	30	34	71	3.8	3.3	2.9	3.5	76
Olbori	41	37	32	37	78	4.3	3.5	3.3	3.5	77
Durubori	43	40	34	30	79	3.6	3.2	3.0	3.5	83
Baegdong	28	27	24	36	86	3.2	2.1	2.3	2.7	72
Hyangmaeg	27	25	22	24	78	4.2	2.4	2.2	2.4	52
Mean	36	34	28	32	78	3.8	2.9	2.7	3.1	72
LSD <sub>.05</sub> between water stress:		2.455					0.245			
cultivars:		2.473					0.277			

**Table 4.** The changes in 1,000 grain weight and grain yield of 5 cultivars imposed to water stress by withholding watering for 10 days before or at heading

Cultivars	1000 grain weight (g)					Grain yield (g) /10 hills				
	Control (a)	Water stress before heading			b/a (%)	Control (a)	Water stress before heading			b/a (%)
		20 days	10 days	0 day			20 days	10 days	0 day	
		(b)					(b)			
Milyang 12	40.7	40.3	35.0	37.7	86	34.0	30.7	25.7	29.3	75
Olbori	40.7	38.0	32.7	38.7	80	38.7	38.0	36.3	38.0	94
Durubori	33.3	32.3	27.0	31.5	81	39.3	37.0	29.0	36.0	74
Baegdong	32.7	29.0	26.7	29.0	82	25.3	19.0	15.3	18.0	60
Hyangmaeg	47.0	46.3	44.3	46.3	94	45.3	38.3	32.3	35.3	71
Mean	38.9	33.1	33.1	35.6	85	36.5	32.6	27.7	31.3	76
LSD <sub>.05</sub> between water stress:		1.182				3.333				
cultivars:		1.923				2.421				

**Table 5.** The changes in the recovery rate of free proline and relative turgidity in flag leaf of 5 cultivars to rewatering for 0, 24 and 48 hours after an imposition to water stress by withholding watering for 10 days at 10 days before heading

Cultivars	Free proline (mg /g DW)					Relative turgidity (%)			
	Control	Rewatering after stress			b/a (%)	Control	Rewatering after stress		
		0 hr(a)	24 hr	48 hr(b)			0 hr	24 hr	48 hr
Milyang 12	0.4	9.0	1.9	0.8	8.8	89	70	80	83
Olbori	0.3	10.3	2.0	0.5	5.0	90	72	84	89
Durubori	0.3	11.1	0.7	0.4	3.6	88	74	85	88
Baegdong	0.3	3.2	1.2	0.6	18.7	88	77	84	85
Hyangmaeg	0.6	1.8	1.2	0.8	44.4	88	72	83	83
Mean	0.4	7.1	1.4	0.6		89	73	83	86
LSD <sub>.05</sub> between water stress:		0.370				3.378			
cultivars:		0.464				ns			

82% 이었으며, 밀양 12호와 향맥은 86%와 94%로 나타났다. 10주당 종실수량은 올보리는 대조구와 유의적인 차이를 보이지 않는 반면 나머지 4품종들은 현저하게 감소하였는데 특히 백동은 60%로 수량의 감소가 가장 심하였다.

#### 4. 止葉의 遊離 proline함량 및 相對膨壓度의 變化

지엽의 유리 proline 함량 및 상대팽압도는 출수 10일전에 10일간 단수처리 직후와 처리 후 관수를 충분히 한 후 24 및 48시간에 측정 및 분석을 하여 그 결과를 표 5에 제시하였다. 止葉의 遊離 proline함량은 5품종의 평균치로 대조구인 정상

수분조건의 앞에서는 0.4mg이었으나 10일간 斷水處理를 한 앞에서는 7.1mg으로 단수처리에 의한 수분 부족조건에서 유리 proline의 함량이 크게 증가하였으며 품종간에 현저한 차이를 나타내었다. 밀양 12호, 올보리 및 두루보리는 9~11.1mg으로 대조구에 비하여 크게 증가하였으나, 백동 및 향맥은 1.8~3.2mg으로 함량의 증가 정도가 상대적으로 적었다. 그러나 10일간 단수처리한 다음 다시 灌水한 후 24 및 48시간 후에는 유리 proline 함량이 급속히 감소하였다. 즉, 관수 후 48시간에는 유리 proline 함량이 대조구의 수준으로 낮아졌으나, 향맥은 상대적으로 높은 수준을 유지하고 있었는데 이는 체내 대사작용이 다른 품

**Table 6.** Correlation coefficients in the decreased rate of water stress to control between the investigated characters of 5 cultivars imposed to water stress by withholding watering for 10 days at 20, 10 and 0 day before or at heading, respectively

Characters	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Grain yield (1)	-0.256	0.270	-0.062	-0.447	0.404	0.617*	-	-
	-0.573*	-0.398	-0.033	-0.083	-0.257	0.665**	-0.883**	-0.184
	0.324	-0.229	-0.258	0.328	0.127	0.435	-	-
1000 grain weight (2)		0.353	-0.420	-0.360	0.208	-0.241	-	-
		-0.128	0.201	0.262	0.063	-0.515*	0.570*	-0.114
		-0.056	-0.203	0.213	0.196	-0.251	-	-
No. of kernel /spike (3)			0.404	-0.566*	0.120	0.212	-	-
			0.271	0.246	0.136	-0.260	0.240	-0.059
			-0.154	-0.326	-0.640*	-0.519*	-	-
Dry straw weight (4)				0.370	-0.082	-0.176	-	-
				0.463	-0.051	-0.410	0.219	-0.343
				0.040	0.145	-0.022	-	-
Culm length (5)					-0.436	-0.305	-	-
					-0.096	-0.394	0.148	-0.590*
					0.147	0.469	-	-
Effective tiller rate (6)						0.459	-	-
						0.005	0.105	0.063
						0.250	-	-
Number of spike /plant (7)							-0.624*	0.188
							-	-
Free proline in flag leaf (8)								0.214
								-
Relative turgidity in flag leaf (9)								-

@ \* and \*\* means significant at 5% and 1% level respectively.

@ Stress treatment : upper line(20 days), middle line(10 days) and bottom line(0 day) before or at heading, respectively.

@ In case of (8) : Increased rate of water stress to control

중에 비하여 활발하지 않았던 것에 기인된 것으로 생각되었다.

또한 止葉의 상대팽압도를 보면 대조구가 89% 였으나 단수처리구는 73%로서 대조구보다 무려 16%나 낮았다. 다시 灌水한 후 48시간에는 86%로 대조구 수준에 도달할 정도로 수분회복이 비교적 빨랐으며, 품종간에는 유의한 차이를 보이지 않았다.

이상의 결과에서와 같이 단수처리에 의한 한발 유발 효과는 종실수량과 수량구성요소 모두 출수 10일전 > 출수기 > 출수 20일전 처리의 순으로 나타나 출수 10일전의 단수처리에서 피해가 가장 컸으며, 품종간에는 종실수량의 경우 울보리가 가장 강하였고 백동이 제일 약하였다. 이는 禾穀類에서 穗에 가장 敏感한 생육단계는 개화기 직전이나 개화기 무렵이라는 Salter & Goode의 결과<sup>10)</sup>와

매우 일치하며 또한 Lewin & Sparrow<sup>8)</sup>는 맥류에서 수분 부족 정도가 같으면 早熟 품종이 심하지 않고 생육과 수량의 減少率이 적어야 耐旱性이 크다고 지적한 바와 같다.<sup>1,2,3,5,8)</sup>

### 5. 主要 形質間의 相關

출수 20일전과 10일전 그리고 출수기에 각각 10일간 斷水處理하여 5개 공시품종의 결과를 평균하여 대조구에 대한 감소율로 표시된 주요 조사 항목의 相關은 표 6과 같다. 출수 20일전과 출수 10일전 단수처리에서 수량과 주당수수와는 正의 상관으로서 주당수수의 감소율이 낮으면 수량의 감소율도 낮았으며, 출수 10일전 처리의 수량과 천립중은 負의 상관을 보였다. 또한 출수 10일전 처리의 수량과 遊離 proline함량과는 負의 상관을 보였으나 遊離 proline함량은 증가비이므로 遊離 proline함량이 많이 증가되면 수량의 감소율이 적어진다는 것을 나타낸다고 하겠다.

출수 20일전 처리의 일수립수와 간장 그리고 출수기 처리의 주당수수와는 負의 상관이었다. 또한 출수 10일전 처리의 유리 proline함량과 주당수수는 負의 상관으로서 수량에서와 같이 유리 proline 함량이 많이 증가하면 주당수수의 감소가 되는 관계를 나타내었으나 유리 proline함량의 증감이 수량 및 수량구성요소들에 직접적인 영향을 주는 것이라고 설명하기에는 어려움이 있다. 그러나 Singh et al.<sup>12,13)</sup>은 耐旱性과 생장율과는 正의 상관관계가 있다고 하였으며, 따라서 본 연구의 결과에 있어서도 旱魃時에 축적되는 遊離 proline함량은 耐旱性 品種 선발의 기준으로나 耐旱性 지수로서 이용이 가능하다고 지적한 Palfi et al.<sup>9)</sup>과 Hanson et al.<sup>7)</sup>의 보고와 상당히 일치한 경향을 나타내고 있다.

### 摘 要

보리는 생식생장기에 수분 스트레스에 민감하게 반응하여 수량에 크게 영향을 준다. 보리 5품종 (걸보리:밀양 12호, 울보리, 두루보리, 쌀보리 : 백동, 맥주보리: 향맥)을 공시하여 생식생장기

에 해당되는 출수전 20일, 출수전 10일 및 출수기에 각각 10일간씩 단수처리를 하여 한발을 유발하였으며 처리 후에는 관수를 하여 정상적으로 재배하였다. 보리 품종들을 10월에 포장에 파종하여 익년 2월에 대형 포트에 이식하여 재배하였으며, 건물중, 유효경비율, 간장, 수량 및 수량 구성요소를 조사하였고, 유리 proline함량과 상대팽압도를 측정하였다.

1. 한발에 의한 피해는 출수전 10일 > 출수기 > 출수전 20일 처리의 순으로 나타났으며, 출수전 10일 처리구의 경우 대조구에 비하여 간장은 85~98%, 주당수수는 52~83%, 일수립수는 71~86%, 천립중은 80~84%, 그리고 10주당 수량은 60~94%를 나타내었다.
2. 출수 10일전 斷水處理에서 수량 및 수량구성요소들의 감소율이 가장 컸고, 수량구성요소 중에 주당수수와 일수립수가 비교적 旱害에 敏感하게 反應하였다.
3. 울보리 > 밀양 12호 · 두루보리 > 향맥 > 백동의 순으로 耐旱性이 약하였다.
4. 旱魃處理를 끝낸 후에 다시 灌水하여 止葉의 遊離 proline함량의 감소율과 상대팽압도의 회복율을 품종별로 보면 피맥 3품종이 높고 백동과 향맥이 매우 낮았다.

### LITERATURE CITED

1. Choi W.Y. 1980. Effects of water stress at anthesis on growth and grain maturation in barley. Korean J. Crop Sci. 25 (3):9-14.
2. \_\_\_\_\_ and Min K.S. 1982. Studies on the drought-resistance of major food crops. II. Effect of water stress on the activity of nitrate reductase and protease and the accumulation of free proline in barley and wheat ay seedling stage. Korean J. Crop Sci. 27(1):60-65.
3. \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ and Kim Y.H. 1981. Studies on the drought-resistance of ma-

- major food crops. I. Effect of water stress on the plant height, seedling dry weight, relative turgidity, protein and reducing sugar in barley and wheat seedling stage. *Korean J. Crop Sci.* 26(4):304-310.
4. Goas G, Goas M and Larher F. 1982. Accumulation of free proline and glycine betaine in aster tripolium subjected to a saline shock: A kinetic study related to light period. *Plant Physiol.* 55:383-388.
  5. Ha Y.W, Shin M.G, Bae S.H and Seko H. 1980. Effect of water stress at different growth stages on the number and size of stomata. Commemoration of the sixtieth anniversary of Dr. Eung-Ryong Son's birthday. 179-184.
  6. \_\_\_\_\_, Yoon E.B, Youn K.B, Lee E.S and Bae S.H. 1979. Effect of water stress at different growth stages on growth and yield of wheat and barley. Commemoration of the sixtieth anniversary of Dr. Chae-Young Cho's birthday. 122-133.
  7. Hanson A.D, Nelsen C.E and Everson E. H. 1977. Evaluation of free proline accumulation as an index of drought resistance using two barley cultivars. *Crop Sci.* 17:720-726.
  8. Lewin L.G and Sparrow D.H. 1975. The genetics and physiology of resistance to stress. In: *Barley Genetics III* (Proceedings of the 3rd international barley genetics symposium, Garching) pp.486-501.
  9. Palfi G, Bitó M and Palfi Z. 1973. Free proline and water deficits in plant tissues. *Soviet Plant Physiol.* 20:189-193.
  10. Salter P.J and Good J.E. 1967. Crop responses to water at different stages of growth. *Commonw. Bur. Anim. Health Rev. Ser.*
  11. Shevyakova N.I and Strogonove. B.P. 1968. Accumulation of sulfoxides of S-amino acid in cabbage leaves in the presence of  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . *Soviet Plant Physiol.* 14:622-624.
  12. Singh T.N, Aspinall D, Paleg L.G and Boggess S.F. 1973. Stress metabolism. II. Changes in proline concentration in excised plant tissues. *Aust. J. Biol. Sci.* 26:57-63.
  13. \_\_\_\_\_, Paleg L.G and Aspinall D. 1973. Stress metabolism. III. Variations in response to water deficit in barley plants. *Aust. J. Biol. Sci.* 26:65-76.
  14. Slatyer R.O. 1967. *Plant Water Relationships*. Academic Press, New York.
  15. Stevenson K.R and Shaw R.H. 1971. Effects of leaf orientation on leaf resistance to water vapor diffusion in soybean leaves. *Agron. J.* 63:327-329.
  16. Troll W and Lindsley J. 1955. A photometric method for the determination of proline. *J. Biol. Chem.* 215:655-660.
  17. Ryu I.S, Lee J.H and Kwon Y.W. 1982. Improvement in rice cultural techniques against unfavorable weather condition. *Korean J. Crop Sci.* 27(4):385-397.
  18. 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.