

보리 幼苗期の 水分不足이 몇가지 生理的 反應에 미치는 影響***

崔元烈* · 權容雄** · 蘇昌鎬**

Physiological Responses of Water Stress at Seedling Stage in Barley

Won Yul Choi*, Yong Woong Kwon** and Chang Ho Soh**

ABSTRACT: To cope with increasing importance of water stress in food crop production, characteristics and cultivar differences in physiological responses of winter barley plants to water stress during seedling stage were studied employing three covered-barley, Milyang 12, Durubori, and Olbori, one naked-barley, Baekdong, and one two-row beer-barley, Hyangmaeg. Water stress was given to barley plants by withholding watering in soil-culture pots or by adding P.E.G. (polyethylene glycol, M.W. 4,000) to the nutrient culture solution.

When water stress was imposed by withholding watering for 10 days to the seedlings grown in pot-soil for 10 days after emergence, leaf water potential of 5 cultivars was decreased almost to the same degree, from control -3.5 bar to the water stressed -26.6 bar. However, growth and some physiological responses were differently affected by cultivars: The plant height was decreased by 16~26% ; seedling dry weight by 25~42% ; chlorophyll content by 21~39% ; second leaf survival rate by 8~18% ; and free proline content per gram of leaf dry weight was increased from control 0.2~0.5mg to the water stressed 5.8~13.2mg.

Drought resistances of 5 barley cultivars, based on the leaf survival rate and the decreased rate in seedling dry weight at the end of stress treatment, were high in the order of 3 covered-barley > naked-barley > two-row barley.

Key words : Barley, Water potential, Water stress, Free proline.

작물의 성장에서 수분 부족은 작물의 광합성율을 저하시키고 수분 포텐셜이 낮아지게 되면 乾物重과 성장량의 감소 및 형태 변화 등이 誘發되며, -15 bar 이상의 수분부족 상태에서는 호흡작용이 감소되며⁹⁾ 수분 부족이 심해짐에 따라 아미노산 결합과 단백질의 합성이 억제되어, 遊離 아미노산

조성을 변화시키게 된다. 아미노산중에서 특히, 유리proline의 경우 韃靼에서는 그 이용의 감소와 합성증가, 그리고 단백질의 분해로 인한 蓄積이 이루어지며¹³⁾ 탄소와 질소의 저장물질로서 기여하여 보호적 기능을 한다는 보고도 있다²⁾. 유리proline은 높은 親水性을 가지며 교질을 안정하게

* 전남대학교 농학과 (Dept. of Agronomy, Chonnam National Univ., Kwangju 500-757, Korea)

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

*** "이 논문은 1995년도 교육부 학술연구조성비(농업과학)에 의한 연구의 일부임"

< '96. 11. 14 接受 >

하는 능력이 있고 암모니아를 중화하고 보수력을 증대해 주며 단백질 합성의 질소원이 되며 또 엽록소 합성과 간접적인 관계가 있다^{15,19)}. 일반적으로 旱害反應은 작물의 종류 및 품종에 따라 차이를 보이게 되는데 심한 旱害에서 proline 축적 능력과 耐旱性은 正의 상관관계를 가지며¹⁶⁾ 旱害 후의 관수에 의한 재생장은 旱害中에 축적된 proline 함량과 正의 상관을 가져 유리 proline이 관수 계획과 耐旱性 품종선발을 위한 좋은 媒介變數라고 하였다¹⁴⁾.

보리는 우리나라의 기후 특성상 월동 후 봄 가뭄이 발생하기 쉽기 때문에 旱害를 입을 가능성이 매우 높은 작물이다. 따라서 토양수분의 부족은 보리 재배에서 생육과 수량에 영향을 미치는 주요한 요인중의 하나이며, 수분 부족 현상은 토양수분이 부족할 경우, 흡수한 수분보다 작물체로부터 손실이 많을 경우와 토양수분이 넉넉하여도 흡수 지연에 의하여 야기될 수 있다.

본 연구는 보리품종들의 유묘기 수분부족에 따른 성장 및 생리적 반응에 미치는 영향을 구명하고자 수행하였다.

材料 및 方法

공시품종으로 겉보리는 밀양 12호, 울보리 및 두루보리와 쌀보리는 백동, 그리고 맥주보리는 향맥을 공시하여 비닐하우스내에서 4각 플라스틱 포트(가로 50× 세로 60× 높이 20cm)에 표 1과 같은 토양을 15cm 높이로 채운 후 파종하여 발아 후 10일까지 Hoagland 양액을 공급하여 재배하였다. 발아 후 10일된 유묘기에 관수를 중단하는 것으로 단수처리를 시작하였으며, 10일간 단수처리 종료 후에 다시 관수를 하였다. 단수처리 기간

중 비닐하우스내의 평균 기온은 14.9℃이었으며 습도는 평균 70%를 나타내었다. 10일간의 단수처리 종료시에 초장, 건물중, 엽록소함량, 유리 proline 함량 및 잎의 수분포텐셜을 조사 측정하였으며, 단수처리 후 관수를 한 후 40시간 및 88시간에 제2 엽신장의 枯死葉長의 비율을 10개체씩 3반복으로 조사하였다.

한편 토양 조건과는 별도로 발아 후 10일된 유묘를 삼투포텐셜(Ψ_s)이 -20bar가 되도록 Hoagland양액에 P.E.G. 를 가하여 이 용액에 48시간 동안 처리한 후 물로 잘 씻은 후 양액에 48시간 생장시켜 엽록소함량, 잎의 수분 potential 및 遊離 proline 함량을 측정하였다.

잎의 水分포텐셜은 Barrs방법³⁾으로, 엽록소함량은 Arnon방법¹⁾으로 측정하였으며, 유리 proline 함량은 Troll과 Lindsley방법¹⁸⁾을 이용하였으며 표준 아미노산으로는 L-proline을 사용하였다.

結果 및 考察

1. 草長과 乾物重의 變化

발아 후 10일이 지난 보리 유묘를 10일동안 斷水處理하여 수분 부족 상태를 유발한 후의 초장과 건물중의 변화는 표 2에서 보는 바와 같다. 5개 품종의 평균값으로 보면 초장은 정상 수분조건(대조구)에서 20.1cm인 반면 단수처리구는 16.3cm로써 초장의 감소가 매우 컸는데 초장의 감소율 [(대조구-단수구)/대조구(%)]은 19%였다. 품종별로는 밀양 12호가 감소율이 17%로 가장 낮았고, 향맥이 26%로서 가장 심하였다. 또한 건물중은 대조구가 81mg, 단수처리구가 55mg으로써 현저한 차이를 나타내었으며, 감소율은 평균 33%를 나타내었다. 품종별로는 백동과 향맥이 41~

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

Soil texture	pH	O.M (%)	Total N. (%)	C.E.C. (ppm)	Available P ₂ O ₅ (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 plant height and seedling dry weight of 5 cultivars imposed to water stress by withholding watering for 10 days at 10 days after emergence

Cultivar	Plant height(cm)			Seedling dry wt. (mg /plant)		
	Control(a)	Stress(b)	(a-b) /a(%)	Control(a)	Stress(b)	(a-b) /a(%)
Milyang 12	19.0	15.7	17	98	73	25
Olbori	20.3	16.0	19	74	52	30
Durubori	19.3	16.3	16	81	59	27
Baegdong	17.7	13.9	21	70	41	41
Hyangmaeg	24.0	17.7	26	84	49	42
Mean	20.1	16.3	18.9	81	55	33
LSD _{.05} between water stress:		0.562			7.189	
cultivars:		0.654			5.345	

42%, 올보리, 밀양12호 및 두루보리는 25~30%의 순으로 낮았다. 이들 초장과 건물중의 감소율로 보면 초장보다는 건물중이 수분 부족의 영향을 더 크게 받는 것으로 나타났다. Gates⁹⁾는 한발처리되면 생장이 감소하고 Lewin과 Sparrow²²⁾도 같은 정도의 수분부족에 처할 때 早熟化와 생육감소가 적은 것이 耐旱性이 강하다고 지적한 바와 유사한 경향이였다.

2. 엽록소 및 遊離 proline함량의 變化

10일간의 단수처리에 의한 엽록소 및 유리 proline함량의 변화는 표 3에서 보는 바와 같다. 5개 품종의 평균 엽록소함량은 대조구가 10.8mg인데 비하여 단수처리구는 7.7mg으로서 수분 부족으로 인하여 엽록소함량의 감소가 심하였는데, 감소율은 29%였다. 품종별로는 백동과 향맥이 32~

39%로서 가장 감소가 심하였으며 밀양12호가 21%로서 낮았다. 잎 건물중당 유리 proline함량은 대조구가 0.5mg인데 반하여 단수처리구는 3mg으로 10일간의 단수처리로 인하여 엽신내 유리 proline 함량의 증가가 현저하게 이루어졌다. 품종별로는 밀양 12호, 올보리 및 두루보리는 9~13.2mg 이었으나 향맥과 백동은 5.8~8.1mg의 수준을 보여 품종간에 큰 차이를 보여 주었다.

3. 잎의 수분포텐셜 및 생존율의 變化

10일간의 단수처리로 인한 잎의 수분포텐셜의 변화 및 제2엽의 엽신중 고사되지 않고 녹색을 나타낸 부분의 비율을 구하여 표 4에 나타내었다. 잎의 수분포텐셜은 대조구의 경우 -3.5bar을 나타내었으나, 단수처리구의 경우 -26.6bar로서 수분포텐셜이 현저히 낮아져 단수처리에 의한 수

Table 3. The changes in chlorophyll and free proline content of 2nd leaf of 5 cultivars imposed to water stress by withholding watering for 10 days at 10 days after emergence

Cultivar	Chlorophyll content (mg /g. D.W.)			Free proline content (mg /g D.W)		
	Control(a)	Stress(b)	(a-b) /a(%)	Control(a)	Stress(b)	(a-b) /a(%)
Milyang 12	11.0	8.7	21	0.5	11.3	23
Olbori	12.3	9.3	24	0.7	13.2	19
Durubori	11.7	8.3	29	0.5	12.9	26
Baegdong	10.3	7.0	32	0.4	8.1	20
Hyangmaeg	8.7	5.3	39	0.3	5.8	19
Mean	10.8	7.7	29	0.5	10.3	21
LSD _{.05} between water stress:		0.412			1.542	
cultivars:		0.653			0.888	

Table 4. The changes in water potential of 2nd leaf of 5 cultivars imposed to water stress by withholding watering for 10 days at 10 days after emergence, and 2nd leaf survival 40 and 88 hours after relief from water stress by rewatering

Cultivar	Water potential (-bar)			Leaf survival ratio(%) after	
	Control(a)	Stress(b)	b/a(%)	40hr(a)	88hr
Milyang 12	3.0	26.1	8.7	47	18
Olbori	3.1	25.4	8.2	48	16
Durubori	4.0	26.6	6.7	50	15
Baegdong	3.6	27.3	7.6	35	14
Hyangmaeg	4.0	27.8	7.0	30	8
Mean	3.5	26.6	7.6	42	14
LSD _{.05} between water stress:		0.541		1.542	
cultivars:		0.856		2.439	

분 부족 현상이 야기되었음을 알 수 있었다. 그러나 단수처리에 의한 잎의 수분포텐셜은 품종간에는 큰 차이를 나타내지 않았다. 제2엽의 생존율은 발아 후 10일된 유묘를 10일간의 단수처리를 한 후 다시 관수하여 정상적인 토양수분 상태가 되도록 한 후 40시간과 88시간이 경과된 다음 제2엽의 엽신중 고사하지 않고 녹색을 나타낸 부분을 생존한 것으로 하여 잎의 면적을 생존율로 산출하였다. 5품종의 평균 생존율은 40시간이 경과한 후에는 42%, 88시간이 경과한 후에는 14%로서 생존율이 현저하게 낮아졌다. 특히 관수 88시간 후의 생존율을 품종별로 보면 향맥이 8%로서 가장 낮았고, 나머지 4품종은 14~18%를 나타내었다. 이러한 면에서 루트에 대한 내수성은 草長과 葉身長

의 감소가 적어야 내수성이 높다는 보고^{7,8)}와도 같은 경향이었다.

4. 엽록소 함량, 잎의 수분포텐셜 및 유리 proline함량의 변화

발아 후 10일된 유묘에 P.E.G.로 삼투포텐셜이 -20bar가 되도록 조정된 용액을 가하여 수분스트레스 조건을 조성하여 48시간 처리한 다음 P.E.G. 용액을 세척한 후 관수하여 48시간 동안 성장시킨 다음 수분스트레스 처리 종료시와 재관수 후 48시간이 되었을 때 엽록소함량과 잎의 수분포텐셜은 표 5에서 유리 proline함량은 표 6에서 보여주고 있다. 엽록소함량은 대조구가 12.1 mg이었으나 48시간 동안의 P.E.G. 용액 처리에

Table 5. The changes in the recovery rate of water potential and chlorophyll content of 2nd leaf of 5 cultivars 0 and 48 hours after relief from water stress by adding P. E. G. solution ($\Psi\pi = -20\text{bar}$) in the rooting medium for 48 hr at 10 days after emergence

Cultivar	Chlorophyll content (mg/g. D.W.) after				Water potential (-bar) after			
	Control	0 hr(a)	48hr(b)	(b-a)/a(%)	Control	0 hr(a)	48hr(b)	(a-b)/a(%)
Milyang 12	12.0	6.7	8.9	33	3.0	28.0	17.0	39
Olbori	12.4	8.3	10.0	21	4.0	28.0	17.9	36
Durubori	11.0	7.3	9.3	27	3.0	28.1	17.4	38
Baegdong	10.8	7.0	8.4	20	3.0	27.9	16.8	40
Hyangmaeg	10.7	5.7	7.2	26	4.0	28.2	16.0	43
Mean	12.1	7.0	8.8	25	3.0	28.0	17.0	39
LSD _{.05} between water stress:		0.395			1.483			
cultivars:		1.028			ns			

Table 6. The changes in the recovery rate of free proline content of 2nd leaf of 5 cultivars 0 and 48 hours after relief from water stress by adding P. E. G. solution ($\Psi\pi = -20\text{bar}$) in the rooting medium for 48 hr at 10 days after emergence

Cultivar	Free proline content (mg /g D.W.) after			
	Control	0 hr(a)	48 hr(b)	(b-a) /a(%)
Milyang 12	0.3	12.0	2.9	76
Olbori	0.5	14.0	2.1	85
Durubori	0.4	13.8	2.9	87
Baegdong	0.3	7.0	2.9	59
Hyangmaeg	0.2	4.3	3.1	56
Mean	0.3	10.2	2.8	73
LSD _{.05} between water stress:			1.732	
cultivars:			1.072	

서는 7.0mg으로 함량이 낮아졌으나 다시 관수한 후 48시간에는 8.8mg으로 약간 증가하였다. 품종 간에는 대조구에 비하여 수분스트레스 처리 종료 시에는 향맥과 밀양 12호가 53.2~55.8%를, 올보리, 두루보리 및 백동이 64.8~66.9%를 나타내었고, 관수후의 증가율은 밀양12호가 33%로서 가장 높았으나, 올보리와 백동이 20~21%로 낮았다(표 5). 이러한 결과는 투촉 조건에 처하게 되면 엽록소가 감소하며 수분 부족 현상이 약간만 발생하여도 엽록소 합성이 억제된다는 보고들^{5,20)}과 같은 경향이었으며 밀양12호가 한발시 세포의 구조와 기능 및 효소변성이 적고 관수후 회복율이 가장 높아 **내수성이 강한 품종으로** 생각된다.

잎의 수분포텐셜은 48시간 동안 수분스트레스 처리 종료시에는 -28.0 bar로 표 4에서 10일간의 단수처리한 것(-26.6 bar) 과 비슷하였으며, 다시 관수한 후 48시간에는 -17.0 bar로서 수분포텐셜이 많이 상승하였으나 품종간 유의성은 없었다(표 5). 이는 **투촉**에서 수분포텐셜이 감소된다는 보고^{6,7,8,17)}와 **내수성**은 품종과 환경 등에 따라 다르나 수분부족에 대한 피해반응은 느리고, 관수하면 쉽게 원상회복 되는 것이 바람직하다는 견해¹¹⁾와 일치하는 경향을 보였다.

遊離 proline의 함량의 변화를 표 6에서 보면 대조구는 0.3mg이나 처리구에서는 10.2mg으로

서 현저히 증가하였는데, 이는 표 3의 10일간의 단수처리구의 결과와 같은 경향을 나타내었다. 따라서 수분포텐셜의 결과를 비교하면 토양재배시 10일간의 단수처리와 -20 bar의 P.E.G. 용액에 48시간 처리한 것은 같은 정도의 수분 부족 상태를 나타내는 것으로 판단되었다. 48시간 수분스트레스 처리 후에 다시 관수하여 48시간 후에는 유리 proline함량이 2.8mg으로서 현저하게 감소하였는데, 감소율을 보면 두루보리, 올보리 및 밀양 12호의 경우 76~87%로 매우 높았고, 백동과 향맥의 경우 56~59%로 낮았다.

이와 같은 결과는 품종별 **내수성**의 차이라고 볼 수 있을 것으로 생각되었는데 이는 작물이 **투촉**에 처하면 遊離 proline이 현저하게 증가한다는 보고^{2,16)}와 일치하며 질소의 저장물질,²⁴⁾ 교질의 안정화와 암모니아의 중화, 효소의 불활성화 抑制에 寄與하고 **내수성** 정도와 생장율과는 正의 相關關係이며 **내수성** 정도와도 밀접한 관계¹⁰⁾가 있음을 示唆하여 주고 있다.

摘 要

보리 유묘기의 수분스트레스가 생장 및 생리적 반응에 미치는 영향과 품종간 차이를 밝히고자 밀양 12호, 올보리, 두루보리, 백동 및 향맥을 공시하여 수행하였다. 공시종자를 포트에 파종하여 발아 후 10일이 경과한 다음 단수처리를 10일간 한 후 다시 관수하여 40시간 및 88시간에 초장, 건물중, 엽록소함량 및 유리 proline함량을 조사하였다. 또한 발아 후 10일된 유묘를 P.E.G.로 -20bar가 되도록 조정된 용액에 48시간 처리한 후 다시 재 관수하여 48시간 후에 엽록소함량, 잎의 수분포텐셜 및 유리 proline함량을 조사하였다.

1. 초장과 건물중은 10일간의 단수처리에 의하여 현저하게 감소하였는데 5 품종의 평균으로 보면 초장보다는 건물중의 감소가 심하였고, 백동과 향맥이 밀양 12호, 올보리 및 두루보리보다 감소 정도가 심하였다.
2. 엽록소함량 및 잎의 수분포텐셜은 10일간의 단

수처리에 의하여 현저하게 감소하였으나, 재관수 후에 증가하는 경향을 보였으며, 유리 proline 함량은 단수처리 종료시에 함량이 증가하였다가 재관수 후에 낮아지는 경향을 나타내었다. 생존율은 재관수후 40시간에는 42%, 88시간 후에는 14%를 나타내었다.

3. 단수처리에 의한 旱害誘發處理 終了時의 엽록소와 유리 proline 함량의 변화, 잎의 생존율 및 건물중 감소율을 근거로 한 품종들의 耐旱性を 보면 공시품종내에서는 걸보리(밀양 12호, 울보리, 두루보리) > 쌀보리(백동) > 맥주보리(향맥)의 순이었으며, 걸보리 품종간에는 뚜렷한 차이가 없었다.
4. P.E.G. 용액($\Psi\pi = -20\text{bar}$)으로 조정된 48시간의 旱害誘發處理의 결과는 엽록소함량, 잎의 수분포텐셜 및 유리 proline 함량 모두 10일간 단수처리한 결과와 일양성을 나타내었다. 품종간에는 백동과 향맥이 수분스트레스시의 增加 및 灌水時의 減少反應이 모두 鈍하여 水分環境適應성이 낮은 경향이었다.

LITERATURE CITED

1. Arnon D.L. 1949. Copperenzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxidase in *veta vulgaris*. *Plant Physiol.* 24:1-15.
2. Barnett N.M and A.W Naylor. 1966. Amino acid and protein metabolism in bermuda-grass during water stress. *Plant Physiol.* 41:1222-1230.
3. Barrs H.D. 1968. Determination of water deficits in plant tissues. In "Water Deficits and Plant Growth" Vol. I. Kozlowski, T.T.(ed.), Academic Press, New York.
4. Blum A and A Ebercon. 1976. Genotypic responses in sorghum to drought stress. III. Free proline and drought resistance. *Crop Sci.* 16:428-431.
5. Bourque D.P and A.W Naylor. 1971. Large effects of samll water deficits on chlorophyll accumulation and ribonucleic acid synthesis in etiolated leaves of jack bean(*Canavalia ensiformis* L. DC.). *Plant Physiol. Lancaster* 47:591-594.
6. 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. (in Korean)
7. _____ and Y.J Kim. 1979. Studies on the effects of water stress at seedling stage on the accumulation of free proline and growth in barley and wheat. *Rural Development Review.* Vol. 14:109-116. (in Korean)
8. _____ K.S Min and Y.H Kim. 1981. Studies on the drought-resistance of 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. (in Korean)
9. Gates C.T. 1968. Water deficits and growth of herbaceous plants In "Water Deficits and Plant Growth." (Ed. T.T. Kozlowski.) Vol. 2. pp.185-190(Academic Press.)
10. Hanson A.D, C.E Nelson and E.H Everson. 1977. Evaluation of free proline accumulation as an index of drought resistance using two barley cultivars. *Crop Sci.* 17: 720-726.
11. Kozlowski T.T. 1968. "Water Deficits and Plant Growth." Vol. II. Academic Press: New York and London.
12. Lewin L.G and D.H Sparrow. 1975. The genetics and physiology of resistance to stress. In : *Barley Genetics III* (Proceedings of the 3rd international barley genetics symposium, Garching) 486-501.

13. McMichael B.L and C.D Elmore. 1977. Proline accumulation in water stressed cotton leaves, *Crop Sci.* 17:905-908.
14. Palfi G, M Bito and Z Palfi. 1973. Free proline and water deficits in plant tissues, *Soviet Plant Physiol.* 20:189-193.
15. Protsenko D.F, I.G Shmat'ko and E.A Rubanyuk. 1968. Drought resistance of winter wheat in relation to their amino acid content. *Soviet Plant Physiol.* 15:567-573.
16. Singh T.N, D Aspinal and L.G Paleg. 1972. Proline accumulation and varietal adaptability to drought in barley : a potential metabolic measure of drought resistance. *Nature New Biol.* 236:188-190.
17. Slatyer R.O. 1967. *Plant Water Relationships.* Academic Press, New York.
18. Troll W and J Lindsley. 1955. A photometric method for the determination of proline. *J. Biol. Chem.* 215:655-660.
19. Tyankova L.A. 1966. The influence of proline on the resistivity of wheat plants to drought. *AKAD Nauk*19:847-850.
20. Virgin H.I. 1965. Chlorophyll formation and water deficit. *Physiol. Plant* 18:994-1000.