

양액재배를 이용한 인위적 습해유발조건에서 보리 유묘의 생육특성

박미은* · 최혜란* · 최재성** · 김정곤*** · 서세정*** · 강현중**** · 김정곤**** · 최경구* · 윤성중*†

*전북대학교 농업과학기술연구소, **호남농업시험장, ***작물시험장, ****농촌진흥청

Growth Characteristics of Barley Seedlings in Hydroponic Culture Conditioned Artificial Wet Injury

Mi Eun Park*, Heh Ran Choi*, Jae Seong Choi**, Jung Gon Kim***, Sae Jung Suh***, Hyeon Jung Kang****, Chung-Kon Kim****, Kyeong-Gu Choi*, and Song Joong Yun*†

*Institute for Agricultural Science and Technology, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea

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

****RDA, Suwon 441-707, Korea

ABSTRACT : This study was carried out to investigate the effects of induced wet-injury conditions on barley seedling growth. Barley seedlings at the three leaf stage were grown in culture solutions with various combinations of dissolved oxygen (DO), nutrients and citric acid (CA) concentrations. Seedling growth was reduced by hypoxia. Root length and root fresh weight were most severely reduced under 1 ppm DO. Shoot growth was slightly reduced but not root growth under low nutrient condition. Seedling growth was reduced by CA in a concentration-dependant manner. Response of seedling growth was efficiently differentiated in a solution containing 1 ppm DO, one tenth of the normal P, K and Mg concentration and 3 mM CA. Under this induced wet-injury condition, overall seedling growth of 6 cultivars was reduced by 11 to 19% compared to the control condition. The results suggest that the induced wet-injury condition can be used for the screening of resistant genotypes at the seedling stage.

Key words : barley, citric acid, dissolved oxygen, wet-injury.

2001년도 우리나라 보리(*Hordeum vulgare* L.) 재배 면적은 약 9만 ha로 이중 많은 면적이 답리작으로 재배되고 있다(농림부, 2002). 따라서 보리 생육기간 중 비가 많이 오거나 토양이 배수불량인 경우에는 습해를 입게 된다.

우리나라에서의 보리 내습성에 대한 연구는 1970년대와 1980년대 전반기에 걸쳐 수행되었으며(서, 1971, 1973, 1977, 1978, 1979, 1982), 주로 내습성 형질과 뿌리의 형태적 특성과의 관계를 조사하였다. 내습성이 강한 품종은 뿌리가 굵고, 부정근수가 많으며 근중이 무겁고 주경 하위절의 부정근수가

많고 근장이 길고 근의 산화력이 높은 것으로 나타났다.

보리 품종의 내습성 정도는 일반적으로 평후나 경사후 포장 을 4, 5월중에 40일간 관수처리하여 나타나는 경엽의 황화 속도와 정도에 따라 판정하고 있는데(서, 1982), 이러한 방법은 재배환경과 유사한 조건에서 선발이 이루어지는 유리한 점이 있는 한편, 시간과 노력이 많이 소요되며 포장상태에 따라 영향을 받게 되는 불리한 점도 가지고 있다. 또한 습해 저항성 형질은 다수의 유전자가 관여하는 양적형질로서 유전력이 낮으므로 전통적 교배육종과 포장선발에 의한 저항성 품종 육성 효율이 낮은 것으로 알려져 있다(兵地勇次, 1989). 그러나 내습성은 우성으로 작용하며, 세대진전에 따른 선발효과가 인정되므로 내습성이 강한 유전자원을 교배친으로 이용할 경우 내습성 선발 효율을 증진시킬 수 있는 가능성도 인정되고 있다(兵地勇次, 1989). 그러므로 내습성 육종 효율을 높이기 위해서는 간편검정법의 개발을 위한 체계적인 연구가 절실히 필요한 형편이다.

따라서, 본 연구에서는 간편 고효율 습해 저항성 검정법을 개발하기 위한 연구의 일환으로 양액재배 조건을 이용하여 동계습해와 춘계습해의 주요 유발요인이 보리의 생육에 미치는 영향을 조사, 분석하였다.

재료 및 방법

실험재료

공시품종으로는 내습성이 강한 것으로 보고된 내한쌀보리, 새찰쌀보리, 울보리, 진양보리, 흰찰쌀보리와 내습성이 약한 것으로 보고된 두원찰쌀보리, 울쌀보리, 찰쌀보리 등 8 품종을 사용하였다. 종자는 sodium hypochlorite 1% 용액에 20분 진탕 배양하여 소독한 다음 2차 증류수로 세척하고, 12시간 침종한 다음 20°C 배양상에서 발아시켰다. 발아된 식물체는 양액재배용 포트에 옮겨 심은 뒤 3.5엽기에 처리하였다.

†Corresponding author: (phone) +82-63-270-2508 (E-mail) sjyun@chonbuk.moak.ac.kr <Received October 9, 2002>

양액조성

전작물용-木村氏 양액(北條良夫, 1985)을 91 mM (NH₄)₂SO₄, 89 mM MgSO₄, 274 mM KNO₃, 91 mM KH₂PO₄, 63 mM Ca(NO₃)₂, 10 mM Fe-EDTA로 개량하여 사용하였다.

인위적 과습 스트레스 조건 설정

양분결핍처리는 P, K, Mg를 정상양액의 1/10로 조절하여 처리하였으며, 용존산소 농도는 공기(Air)와 질소가스(N₂)를 약 0.25 Kg f/cm² L/min으로 통기시켜 배양액의 산소농도를 0.5~1.5 ppm, 3~4 ppm, 8~10 ppm로 조절하였고, CO₂ 농도는 bicarbonate 완충액을 이용하여 5%로 조절하였다. 유기산 처리는 citric acid(CA)를 0, 1, 3, 5, 10 mM로 처리하였다. 처리 후 7, 14, 21일에 시료를 채취하여 엽록소함량, 간장, 근장, 생체중, 건물중 등을 조사하였고, data 분석은 SAS 프로그램을 사용하였다. 실험은 6회 반복하여 실시하였다.

결 과

혐기조건

습해발생의 가장 중요한 요인은 산소부족에 의한 혐기조건이므로 배양액을 공기 또는 질소가스로 처리하여 배양액의 용존산소 농도를 조절하였다. 공기처리배양액(Air)의 용존산소 농도는 8~10 ppm, 질소가스처리배양액(N₂)은 0.5~1.5 ppm이었으며, 질소가스처리에 의해 혐기상태가 유도되었다. 무처리 배양액(NO)의 용존산소 농도는 3~4 ppm이었다. 각 혐기처리를 실시한 후 7, 14, 21일째의 지상부 및 근 생육관련형질을 조사한 결과는 Table 1과 같다. 근장과 근생체중은 처리일수에 관계없이 배양액의 용존산소 농도에 비례하여 감소하는 경향이 뚜렷하였으며, 감소정도는 N₂ 처리구에서 가장 컸다. 근건물중은 7일과 14일 처리 후에는 N₂ 처리구에서만 감소하였으나, 21일 처리 후에는 모든 처리구에서 감소하였다. 지상부 길이와 지상부 생체중은 N₂ 처리구에서만 감소하는 경향이었으며, 지상부 건물중은 혐기처리에 의해 영향을 받지 않았다. N₂ 처리에 의해 처리 7일 후 간장, 근장, 지상부와 근 생체중, 지상부와 근건물중 등이 대조구에 비하여 각각 7, 26, 8, 24, 2, 17% 감소하였고, 14일 후에는 7, 35, 12, 34, 8, 26%, 21일 후에는 12, 44, 17, 28, 14, 23% 감소하였다. CO₂ 처리 효과는 인정되지 않았다(Table 1). 이상의 결과를 요약하면 배양액의 질소가스 통기처리에 의해 유도되는 혐기조건이 보리 유묘의 생육을 저하시키며 생육감소정도는 근장 그리고 근생체중 순으로 크게 나타났다.

양분결핍조건

과습 혐기상태에서는 P, K, Mg 등의 결핍현상이 나타나므로 배양액의 P, K, Mg 농도를 정상수준의 1/10로 낮추어 결핍조건을 유도하였다. 공시품종의 각 형질 평균성적을 조사한

Table 1. Effects of hypoxia conditions on barley seedling growth

7 days after treatment (DAT)						
Treatment	Length (cm)		Fresh Weight (g/plant)		Dry Weight (g/plant)	
	Shoot	Root	Shoot	Root	Shoot	Root
DO (ppm)						
Air (8~9ppm)	25.29a [†]	19.50a	1.25a	0.56a	0.11a	0.04a
N ₂ (0.5~1.5ppm)	23.57b	14.50c	1.15b	0.42c	0.11a	0.04c
CO ₂ (5%,3~4ppm)	24.69a	16.39b	1.26a	0.50b	0.11a	0.04ab
NO (3~4ppm)	24.64a	15.62b	1.22ab	0.48c	0.11a	0.04b
LSD, 0.05	0.99	1.15	0.09	0.04	0.01	0.00
C.V.(%)	4.30	7.48	7.45	9.06	7.92	8.24
14 DAT						
Treatment	Length (cm)		Fresh Weight (g/plant)		Dry Weight (g/plant)	
	Shoot	Root	Shoot	Root	Shoot	Root
DO (ppm)						
Air (8~9ppm)	32.67a	24.54a	2.48a	1.20a	0.21a	0.08a
N ₂ (0.5~1.5ppm)	30.52b	16.07c	2.18b	0.79b	0.19b	0.06b
CO ₂ (5%,3~4ppm)	32.46a	19.24b	2.37a	0.82b	0.21ab	0.06b
NO (3~4ppm)	32.75a	18.28b	2.51a	0.88b	0.21ab	0.06b
LSD,0.05	0.62	1.08	0.16	0.10	0.01	0.00
C.V.(%)	2.06	5.92	7.30	11.67	7.26	7.46
21 DAT						
Treatment	Length (cm)		Fresh Weight (g/plant)		Dry Weight (g/plant)	
	Shoot	Root	Shoot	Root	Shoot	Root
DO (ppm)						
Air (8~9ppm)	36.26a	31.36a	4.69a	1.89a	0.41a	0.12a
N ₂ (0.5~1.5ppm)	31.82b	17.63c	3.88c	1.37c	0.35b	0.09c
CO ₂ (5%,3~4ppm)	35.83a	21.31b	4.63a	1.45b	0.40a	0.09b
NO (3~4ppm)	36.21a	23.33b	4.31b	1.23d	0.35b	0.08d
LSD,0.05	0.77	3.25	0.25	0.09	0.03	0.01
C.V.(%)	2.36	14.85	6.04	6.50	7.92	7.31

Air, air purging; N₂, N₂ gas purging; NO, no purging; CO₂, sodium bicarbonate buffer; [†]Means followed by the same letter within a column are not significantly different at the 0.05 provability level.

결과는 Table 2와 같다. 조사 시기에 따라 양분 결핍 처리에 따른 각 조사형질의 반응이 다르나, 지상부 길이와 생체중이 양분결핍처리에 의해 감소하는 경향이였다. 양분결핍조건에 대한 반응은 지상부 형질이 지하부 형질보다 더 민감한 경향이 있으나, 그 감소 정도는 크지 않았다. 양분결핍처리에 의해 처리 7일 후 간장, 근장, 지상부와 근생체중, 지상부와 근건물중 등이 대조에 비하여 각각 15, 16, 15, 8, 16, 14% 감소하였고, 14일 후에는 2, 3, 7, 2, 5, -2%, 21일 후에는 3, 8, 14, 1, 11, -2% 감소하였다(Table 2).

유기산 처리

습해 발생조건에서는 유기산 농도가 증가하므로 배양액의

Table 2. Effect of P, K, Mg-deficient condition on barley seedling growth

7 days after treatment (DAT)						
Treatment	Length (cm)		Fresh Weight (g/plant)		Dry Weight (g/plant)	
Nutrient condition	Shoot	Root	Shoot	Root	Shoot	Root
NN	26.65a	17.89a	1.32a	0.51a	0.12a	0.04a
LN	22.58b	15.11b	1.12b	0.47b	0.12a	0.04a
LSD, 0.05	0.70	0.82	0.06	0.03	0.01	0.00
C.V.(%)	4.30	7.48	7.45	9.06	7.92	8.24
14 DAT						
Treatment	Length (cm)		Fresh Weight (g/plant)		Dry Weight (g/plant)	
Nutrient condition	Shoot	Root	Shoot	Root	Shoot	Root
NN	32.44a	19.66a	2.47a	0.93a	0.21a	0.06a
LN	31.76b	19.15a	2.30b	0.91a	0.20a	0.06a
LSD, 0.05	0.44	0.77	0.12	0.07	0.01	0.00
C.V.(%)	2.06	5.92	7.30	11.67	7.26	7.46
21 DAT						
Treatment	Length (cm)		Fresh Weight (g/plant)		Dry Weight (g/plant)	
Nutrient condition	Shoot	Root	Shoot	Root	Shoot	Root
NN	35.49a	22.52a	4.71a	1.49a	0.40a	0.10a
LN	34.57b	24.29a	4.04b	1.48a	0.35b	0.10a
LSD, 0.05	0.55	2.30	0.18	0.06	0.02	0.01
C.V.(%)	2.36	14.85	6.04	6.50	7.92	7.31

NN, normal nutrient; LN, P, K, Mg-deficient condition

citric acid(CA) 함량을 조절하여 공시품종의 유묘의 생육 반응을 조사, 분석하였다. 보리의 생육은 CA 처리에 의해 감소하였으며 CA 농도가 높을수록, 처리기간이 길수록 감소정도가 컸다(Table 3). CA 1 mM 처리에 의해 처리 7일 후 간장, 근장, 지상부와 근생체중, 지상부와 근건물중 등이 대조구에 비해 각각 5, 23, 23, 35, 13, 14%, 14일 후에는 12, 31, 30, 21, 24, 19% 감소하였다. 3 mM 처리에 의해서는 7일 후 간장, 근장, 지상부와 근생체중, 지상부와 근건물중 등이 대조구에 비해 각각 5, 24, 24, 44, 15, 23%, 14일 후에는 23, 44, 52, 67, 39, 50% 감소하였다. 5 mM 처리에 의해서는 7일 후 간장, 근장, 지상부와 근생체중, 지상부와 근건물중 등이 대조구에 비해 각각 10, 29, 32, 53, 18, 30%, 14일 후에는 31, 46, 61, 74, 46, 57% 감소하였다. 10 mM 처리에 의해서는 7일 후 간장, 근장, 지상부와 근생체중, 지상부와 근건물중 등이 대조구에 비해 7일 후 각각 17, 27, 42, 59, 31, 55%, 14일 후에는 38, 47, 74, 81, 60, 73% 감소하였다. 유기산 처리는 처리가 진행되면서 고사하기 때문에 21일 후의 생육조사는 이루어지지 못하였다(Table 3).

Table 3. Effects of citric acid concentration in the culture medium on barley seedling growth

7 days after treatment (DAT)						
Treatment	Length (cm)		Fresh Weight (g/plant)		Dry Weight (g/plant)	
Citric acid	Shoot	Root	Shoot	Root	Shoot	Root
0mM	26.41a	19.09a	1.33a	0.41a	0.11a	0.03a
1mM	25.08b	14.76b	1.02b	0.27b	0.10b	0.02b
3mM	25.00b	14.47bc	1.01b	0.23c	0.10b	0.02bc
5mM	23.81c	13.61d	0.90b	0.19d	0.09b	0.02c
10mM	21.98d	13.89cd	0.77c	0.17d	0.08c	0.01d
LSD, 0.05	0.79	0.80	0.09	0.03	0.01	0.00
C.V.(%)	3.32	5.64	9.13	10.40	9.95	14.51
14 DAT						
Treatment	Length (cm)		Fresh Weight (g/plant)		Dry Weight (g/plant)	
Citric acid	Shoot	Root	Shoot	Root	Shoot	Root
0mM	34.91a	25.32a	3.11a	0.86a	0.26a	0.06a
1mM	30.88b	17.36b	2.19b	0.68b	0.20b	0.05b
3mM	26.70c	14.23c	1.49c	0.28c	0.16c	0.03c
5mM	24.07d	13.72c	1.20d	0.22cd	0.14d	0.03c
10mM	21.60e	13.48c	0.82e	0.17d	0.11e	0.02d
LSD, 0.05	0.89	1.12	0.18	0.07	0.016	0.01
C.V.(%)	3.43	7.16	10.90	16.01	9.88	14.86

헝기 및 양분결핍조건

배양액의 용존산소와 양분조건을 동시에 조절하여 헝기 및 양분부족조건이 유묘생육에 미치는 영향을 조사하였다. 용존산소 농도와 양분조건에 대한 보리 유묘의 성장반응 결과는 Table 4와 같다. 각 형질의 생육은 헝기 및 양분결핍복합처리 조건에서 감소하였는데, 그 경향은 처리 7일 후에 가장 뚜렷하였으며 처리일수가 경과할수록 복합처리효과는 감소하는 경향이였다. 복합처리에 의한 생육감소정도가 가장 큰 형질은 근장이였다. 헝기 및 양분결핍에 의해 처리 7일 후의 간장, 근장, 지상부와 근 생체중, 지상부와 근 건물중 등이 대조에 비해 각각 20, 38, 20, 29, 18, 31% 감소하였으며, 14일 후에는 8, 36, 15, 33, 6, 32%, 21일 후에는 13, 42, 26, 25, 19, 18% 감소하였다. 헝기와 양분결핍복합처리에서 생육저하효과는 헝기처리효과가 양분처리효과보다 큰 경향이였다. 헝기와 양분결핍처리의 상호작용효과는 처리 14일과 21일 후의 근생체중과 21일 후의 근건물중에서만 인정되었다(Table 4).

복합처리 효과

기존의 연구결과 내습성이 강한 것으로 보고된 내한쌀보리, 올보리, 찰쌀보리와 약한 것으로 보고된 두원찰쌀보리, 올쌀보리, 흰찰쌀보리를 이용하여 인위적 습해 유발 조건에서의 각 품종의 유묘생육 반응을 조사, 분석하였다. 양분, 헝기조

Table 4. Effect of hypoxia and P, K, Mg-deficient conditions on barley seedling growth.

7 days after treatment (DAT)												
Treatment	Length (cm)				Fresh Weight (g/plant)				Dry Weight (g/plant)			
	Shoot	SD [†]	Root	SD	Shoot	SD	Root	SD	Shoot	SD	Root	SD
NN/Air	27.52	1.36	20.94	2.04	1.34	0.13	0.55	0.05	0.12	0.01	0.05	0.00
NN/N ₂	25.17	2.09	15.93	1.24	1.23	0.12	0.46	0.06	0.12	0.03	0.04	0.00
NN/CO ₂	26.57	1.65	17.82	1.66	1.34	0.13	0.52	0.05	0.12	0.01	0.04	0.00
NN/NO	26.77	2.19	16.85	2.00	1.37	0.15	0.52	0.05	0.12	0.01	0.04	0.00
LN/Air	23.05	1.37	18.04	1.87	1.16	0.10	0.56	0.09	0.10	0.01	0.04	0.00
LN/N ₂	21.97	1.32	13.06	1.13	1.07	0.12	0.39	0.05	0.10	0.01	0.03	0.00
LN/CO ₂	22.79	1.36	14.96	1.23	1.17	0.11	0.48	0.05	0.11	0.01	0.04	0.00
LN/NO	22.50	1.36	14.37	1.27	1.07	0.14	0.44	0.06	0.10	0.01	0.04	0.00
14 DAT												
Treatment	Length (cm)				Fresh Weight (g/plant)				Dry Weight (g/plant)			
	Shoot	SD	Root	SD	Shoot	SD	Root	SD	Shoot	SD	Root	SD
NN/Air	33.22	1.58	24.83	2.59	2.57	0.24	1.23	0.27	0.19	0.02	0.05	0.01
NN/N ₂	30.40	1.41	16.33	1.22	2.17	0.25	0.75	0.09	0.21	0.02	0.07	0.01
NN/CO ₂	32.76	1.71	19.27	1.50	2.44	0.29	0.83	0.08	0.21	0.02	0.06	0.00
NN/NO	33.35	1.83	18.17	1.56	2.71	0.27	0.91	0.09	0.22	0.02	0.06	0.01
LN/Air	32.11	1.50	24.25	1.93	2.39	0.35	1.16	0.15	0.20	0.02	0.06	0.00
LN/N ₂	30.62	1.68	15.80	1.51	2.19	0.19	0.82	0.11	0.20	0.03	0.08	0.01
LN/CO ₂	32.15	1.40	19.21	1.85	2.30	0.21	0.81	0.06	0.20	0.02	0.06	0.01
LN/NO	32.15	1.63	18.37	1.52	2.31	0.33	0.84	0.10	0.19	0.03	0.06	0.01
21 DAT												
Treatment	Length (cm)				Fresh Weight (g/plant)				Dry Weight (g/plant)			
	Shoot	SD	Root	SD	Shoot	SD	Root	SD	Shoot	SD	Root	SD
NN/Air	36.51	2.00	30.20	2.63	4.89	0.57	1.79	0.18	0.43	0.05	0.12	0.01
NN/N ₂	31.97	1.65	17.78	1.44	4.14	0.51	1.39	0.14	0.36	0.04	0.09	0.01
NN/CO ₂	36.16	1.93	21.46	1.51	5.01	0.59	1.48	0.13	0.42	0.04	0.09	0.01
NN/NO	37.32	2.07	20.63	1.36	4.82	0.52	1.31	0.14	0.38	0.04	0.08	0.01
LN/Air	36.00	1.95	32.52	2.67	4.50	0.65	2.01	0.26	0.39	0.05	0.13	0.01
LN/N ₂	31.66	1.70	17.47	1.14	3.62	0.41	1.34	0.14	0.35	0.05	0.09	0.01
LN/CO ₂	35.50	2.01	21.16	1.47	4.25	0.49	1.41	0.12	0.37	0.04	0.09	0.01
LN/NO	35.10	1.78	26.03	9.54	3.80	0.44	1.15	0.11	0.31	0.04	0.07	0.01

NN, Normal condition; LN, P, K, Mg-deficient condition; Air, air purging; N₂, N₂ purging; NO, no purging; CO₂, bicarbonate buffer containing 5% CO₂; †standard deviation.

건, citric acid 농도를 1) 정상양분(NN) + 공기통기(Air) + citric acid(CA) 0 mM, 2) NN + 질소가스통기(N₂) + CA 0 mM, 3) 양분결핍(LN) + Air + CA 0 mM, 4) LN + N₂ + CA 0 mM, 5) LN + N₂ + CA 1 mM, 6) LN + N₂ + CA 3 mM, 7) LN + N₂ + CA 5 mM, 8) LN + N₂ + CA 10 mM 등 8조합으로 처리하여 각 처리조건하에서 보리유묘의 생육을 조사하였다. 양분과 혐기조건 그리고 CA 농도별 처리조건에 대한 보리유묘의 반응 양상은 Table 5와 같다. 공기통기조건에서는 양분결핍이 유묘생육에 미치는 영향이 크지 않았으며, 처리 14일째의 지상부 생체중과 건물중 이외에는 양분처리에

의한 생육감소효과가 나타나지 않았다. 동일한 양분조건하에서 공기통기와 질소통기처리에 따른 유묘생육은 질소통기조건에서 감소하는 경향이었으나, 처리 7일째와 14일째 지상부 건물중, 그리고 처리 14일째의 지상부 생체중은 감소하지 않았다. 조사형질 모두 7일과 14일 처리 후에 대조구와 유의한 차이를 보이는 경향이었으며, 양분결핍과 혐기조건에서 CA 농도가 높을수록 감소 정도는 현저하였다. 각 조사형질 중 처리에 따른 감소효과가 가장 큰 형질은 처리 7일과 14일 1 mM CA에서는 근장이었으나 그 외의 처리에서는 근 생체중이었다. 간장, 근장, 지상부와 근 생체중, 지상부와 근 건물

Table 4. Continued.

7 DAT						
Factor	Length		Fresh Weight		Dry Weight	
	Shoot	Root	Shoot	Root	Shoot	Root
NUT (N)	124.74***	45.59***	45.02***	7.96***	41.62***	30.54***
DO (D)	4.10***	27.09***	2.51	14.23***	0.57	9.24***
N*D	0.65	0.06	1.00	1.90	0.32	0.21
14 DAT						
Factor	Length		Fresh Weight		Dry Weight	
	Shoot	Root	Shoot	Root	Shoot	Root
NUT (N)	9.31***	0.4	9.12***	0.3	3.85*	0.48
DO (D)	23.25***	86.87***	6.63***	27.59***	2.03	39.91***
N*D	2.21	0.24	2.21	0.90	2.05	2.05
21 DAT						
Factor	Length		Fresh Weight		Dry Weight	
	Shoot	Root	Shoot	Root	Shoot	Root
NUT (N)	11.25*	2.35	57.7***	0.16	17.71***	0.4
DO (D)	60.74***	25.08***	17.64***	81.4***	9.73***	60.53***
N*D	2.50	1.37	2.47	6.70***	1.40	3.13

*, ***: Significantly different at the 0.05 and 0.001 provability level, respectively.

중 등이 처리 2)에 의해 처리 7일 후에는 대조구(처리 1)에 비해 각각 5, 26, 11, 21, 3, 4%, 14일 후에는 6, 30, 19, 15, 15, 19% 감소하였고, 처리 3)에 의해 7일 후에는 3, 2, 8, 4, 7, 4%, 14일 후에는 2, -4, 20, 1, 18, 0% 감소하였으며, 처리 4)에 의해 7일 후에는 6, 23, 20, 27, 17, 23%, 14일 후에는 6, 26, 25, 19, 20, 16% 감소하였고, 처리 5)에 의해 7일 후에는 10, 40, 26, 37, 20, 19%, 14일 후에는 18, 52, 46, 35, 34, 27% 감소하였다. 또한 처리 6)에 의해 처리 7일 후에는 12, 41, 31, 61, 24, 50%, 14일 후에는 21, 55, 58, 70, 46, 56% 감소하였고, 처리 7)에 의해 처리 7일 후에는 18, 42, 34, 67, 22, 50%, 처리 14일 후에는 28, 56, 60, 75, 47, 58% 감소하였고, 처리 8)에 의해 처리 7일 후에는 28, 44, 45, 73, 36, 62%, 14일 후에는 37, 54, 67, 86, 56, 84% 감소하였다(Table 5). 생육 반응에 대한 품종과 처리조건 간의 상호작용 효과는 처리 후 14일에만 인정되었다(Table 6, 7).

인위적 혐기조건에 대한 각 조사형질의 품종별 평균 감소율의 차이는 11~19%이었으며, 올쌀보리의 감소율이 가장 낮고, 올보리가 가장 높은 경향이였다. 보리의 생육반응으로 보아 품종간 반응차이가 가장 민감하게 나타나는 것으로 평가된 양분 부족 + N₂처리 + CA 3 mM 조건에서의 각 품종별 형질의 평균 감소율은 올쌀보리 > 내한쌀보리=흰찰쌀보리 > 찰쌀보리 > 두원찰쌀보리 > 올보리 순으로 낮았다. 이러한 결과는 기존의 검증결과와는 상이한 경향이였다.

고 찰

본 연구에서는 간편 고효율 습해 저항성 검정법을 개발하기 위한 연구의 일환으로 동계습해와 춘계습해의 주요 유발요인이 보리의 생육에 미치는 영향을 조사, 분석하였다.

동계습해는 동절기 토양과습에 의한 근권 내 산소부족에 따른 뿌리 호흡작용의 감퇴가 주요 원인이다(하, 2000; 조 등, 1982; 山崎, 1952). 춘계습해는 토양과습에 의한 산소부족과 온도상승에 의한 미생물의 왕성한 생육으로 토양이 환원됨에 따라 나타나는 여러 가지 유해작용에 의해 나타나게 된다. 즉, 춘계습해가 유발되는 토양은 산소부족, 침수조건에 의한 유실 에 따른 P, K, Mg 등 양분감소, 토양미생물의 활동에 의한 토양환원 및 유해물질과 유기산의 생성 등이 진행된다(하, 2000; 조 등, 1982; 조, 1992). 이에 따라 뿌리대사기능이 저하하고 뿌리가 괴사 또는 부패하여 뿌리의 신장이 정지되고 양분의 흡수가 감퇴되어 식물체가 고사하게 된다(하, 2000; 조 등, 1982; 조, 1992). 따라서 본 연구에서는 주요 습해 유발요인의 조절이 용이한 수경재배 조건을 이용하여 산소, 양분 및 유기산의 농도가 보리 유묘의 생육에 미치는 영향을 조사하였다.

유묘기의 습해는 토양과습에 의한 뿌리의 혐기상태가 주요 원인이므로 뿌리의 혐기 조건이 유묘의 생육에 영향을 미치게 된다.

보리가 과습조건에 처하면 근활력이 저하되어 양분흡수가 억제되고 세포내 대사기능이 저하하여 광합성과 생육 저하가

Table 5. Effects of the induced wet-injury condition on the seedling growth of 6 cultivars.

Treatment	7 days after treatment (DAT)											
	Length (cm)				Fresh Weight (g/plant)				Dry Weight (g/plant)			
NUT/DO/CA/VAR	Shoot	SD	Root	SD	Shoot	SD	Root	SD	Shoot	SD	Root	SD
NN/Air/0mM/A	30.75	0.57	13.78	0.49	1.66	0.13	0.42	0.03	0.12	0.01	0.02	0.00
NN/Air/0mM/B	27.65	0.80	19.63	0.66	1.17	0.03	0.35	0.03	0.09	0.00	0.02	0.00
NN/Air/0mM/C	39.47	0.51	23.53	0.44	2.27	0.01	0.66	0.02	0.17	0.00	0.04	0.00
NN/Air/0mM/D	30.17	1.04	19.77	0.64	1.63	0.08	0.42	0.03	0.11	0.01	0.02	0.00
NN/Air/0mM/E	38.53	2.25	26.17	0.33	2.27	0.29	0.75	0.09	0.17	0.02	0.04	0.01
NN/Air/0mM/F	28.70	0.72	25.00	1.55	1.71	0.18	0.42	0.07	0.12	0.01	0.02	0.00
NN/N ₂ /0mM/A	29.88	0.08	10.18	0.86	1.63	0.05	0.39	0.01	0.13	0.01	0.02	0.00
NN/N ₂ /0mM/B	28.83	0.68	13.58	0.10	1.04	0.11	0.28	0.03	0.09	0.01	0.02	0.00
NN/N ₂ /0mM/C	35.60	1.69	15.93	0.50	1.84	0.24	0.50	0.06	0.15	0.01	0.03	0.00
NN/N ₂ /0mM/D	28.28	0.85	14.60	1.04	1.54	0.12	0.32	0.05	0.11	0.01	0.02	0.00
NN/N ₂ /0mM/E	37.98	2.19	20.58	0.74	1.98	0.16	0.57	0.04	0.17	0.01	0.04	0.00
NN/N ₂ /0mM/F	25.87	0.93	19.13	0.99	1.47	0.15	0.33	0.05	0.12	0.01	0.03	0.00
LN/Air/0mM/A	28.57	0.56	13.22	0.60	1.50	0.10	0.41	0.03	0.13	0.00	0.03	0.00
LN/Air/0mM/B	28.40	0.96	19.22	1.21	1.06	0.04	0.34	0.02	0.08	0.01	0.02	0.00
LN/Air/0mM/C	36.27	0.58	21.68	0.44	1.97	0.06	0.61	0.03	0.14	0.02	0.03	0.01
LN/Air/0mM/D	30.10	0.66	18.88	0.83	1.72	0.07	0.41	0.05	0.13	0.00	0.02	0.01
LN/Air/0mM/E	37.53	1.40	25.23	0.27	1.96	0.08	0.68	0.04	0.15	0.01	0.03	0.00
LN/Air/0mM/F	28.38	1.65	27.15	1.79	1.68	0.15	0.46	0.04	0.11	0.01	0.02	0.00
LN/N ₂ /0mM/A	28.13	0.40	10.05	0.60	1.35	0.09	0.30	0.04	0.11	0.01	0.02	0.00
LN/N ₂ /0mM/B	27.12	0.28	16.07	1.02	0.81	0.07	0.23	0.03	0.07	0.01	0.01	0.00
LN/N ₂ /0mM/C	34.43	0.70	17.10	0.99	1.67	0.11	0.46	0.02	0.13	0.01	0.03	0.00
LN/N ₂ /0mM/D	27.40	0.65	15.77	1.01	1.40	0.06	0.31	0.02	0.10	0.00	0.02	0.00
LN/N ₂ /0mM/E	37.72	1.04	20.55	0.54	1.79	0.20	0.56	0.07	0.14	0.01	0.03	0.00
LN/N ₂ /0mM/F	28.47	0.73	19.35	0.41	1.57	0.07	0.36	0.02	0.11	0.01	0.02	0.00
LN/N ₂ /1mM/A	27.05	0.49	8.30	0.19	1.26	0.09	0.28	0.02	0.11	0.01	0.02	0.00
LN/N ₂ /1mM/B	27.52	0.55	11.07	1.03	1.06	0.26	0.23	0.04	0.08	0.02	0.02	0.00
LN/N ₂ /1mM/C	34.25	0.65	14.28	0.25	1.70	0.08	0.44	0.02	0.13	0.01	0.03	0.00
LN/N ₂ /1mM/D	25.82	0.67	11.90	0.52	1.06	0.15	0.24	0.03	0.08	0.01	0.01	0.00
LN/N ₂ /1mM/E	34.33	1.88	14.38	0.98	1.59	0.11	0.43	0.03	0.15	0.02	0.03	0.00
LN/N ₂ /1mM/F	25.85	0.51	16.38	1.66	1.22	0.14	0.27	0.02	0.09	0.01	0.02	0.00
LN/N ₂ /3mM/A	27.55	0.64	10.12	1.01	1.16	0.03	0.16	0.01	0.10	0.00	0.01	0.00
LN/N ₂ /3mM/B	25.78	0.56	10.83	0.52	0.81	0.03	0.15	0.01	0.07	0.00	0.01	0.00
LN/N ₂ /3mM/C	33.08	0.51	11.52	0.56	1.41	0.11	0.24	0.02	0.12	0.01	0.01	0.00
LN/N ₂ /3mM/D	25.55	0.57	12.22	0.34	1.25	0.05	0.19	0.01	0.10	0.00	0.01	0.00
LN/N ₂ /3mM/E	34.93	0.47	14.33	1.19	1.55	0.12	0.28	0.03	0.13	0.01	0.02	0.00
LN/N ₂ /3mM/F	24.42	0.43	16.75	0.07	1.17	0.04	0.17	0.02	0.09	0.00	0.01	0.00
LN/N ₂ /5mM/A	25.35	0.62	7.45	0.38	1.08	0.07	0.12	0.01	0.10	0.01	0.01	0.00
LN/N ₂ /5mM/B	23.35	0.44	10.40	0.15	0.70	0.03	0.12	0.01	0.06	0.00	0.01	0.00
LN/N ₂ /5mM/C	30.13	0.44	12.62	0.87	1.45	0.11	0.22	0.01	0.13	0.01	0.01	0.00
LN/N ₂ /5mM/D	27.78	2.37	13.17	0.58	1.42	0.24	0.21	0.05	0.12	0.03	0.02	0.00
LN/N ₂ /5mM/E	29.38	2.42	15.63	0.87	1.39	0.09	0.19	0.04	0.12	0.01	0.02	0.00
LN/N ₂ /5mM/F	24.35	0.48	14.53	1.70	1.07	0.04	0.15	0.01	0.09	0.00	0.01	0.00
LN/N ₂ /10mM/A	22.73	0.65	8.85	0.59	1.04	0.03	0.12	0.01	0.10	0.00	0.01	0.00
LN/N ₂ /10mM/B	20.38	0.92	10.50	0.30	0.63	0.07	0.10	0.01	0.06	0.01	0.01	0.00
LN/N ₂ /10mM/C	25.98	0.39	11.75	0.03	1.25	0.04	0.18	0.01	0.11	0.01	0.01	0.00
LN/N ₂ /10mM/D	24.03	0.83	11.57	0.82	0.99	0.10	0.14	0.02	0.08	0.01	0.01	0.00
LN/N ₂ /10mM/E	26.80	0.83	14.98	1.20	1.06	0.08	0.20	0.02	0.11	0.01	0.02	0.00
LN/N ₂ /10mM/F	20.88	0.72	14.35	0.46	0.88	0.10	0.09	0.01	0.05	0.02	0.01	0.00

Table 5. Continued.

14 DAT												
Treatment	Length (cm)				Fresh Weight (g/plant)				Dry Weight (g/plant)			
	Shoot	SD	Root	SD	Shoot	SD	Root	SD	Shoot	SD	Root	SD
NN/Air/0mM/A	34.27	1.11	21.40	1.96	3.33	0.38	0.90	0.09	0.30	0.04	0.06	0.00
NN/Air/0mM/B	34.95	0.51	23.52	0.71	1.89	0.07	0.57	0.06	0.17	0.00	0.05	0.00
NN/Air/0mM/C	41.72	1.25	29.02	0.08	4.47	0.19	1.34	0.07	0.37	0.01	0.09	0.00
NN/Air/0mM/D	34.05	1.16	24.92	1.89	2.77	0.20	0.68	0.06	0.21	0.01	0.05	0.00
NN/Air/0mM/E	47.52	0.60	35.27	0.54	4.25	0.16	1.52	0.05	0.37	0.02	0.09	0.01
NN/Air/0mM/F	33.05	1.63	31.77	1.96	3.26	0.06	0.85	0.03	0.25	0.00	0.05	0.00
NN/N ₂ /0mM/A	31.53	0.60	13.38	0.54	2.44	0.16	0.70	0.06	0.23	0.02	0.05	0.01
NN/N ₂ /0mM/B	32.33	0.67	16.13	0.25	1.58	0.22	0.50	0.08	0.15	0.20	0.04	0.01
NN/N ₂ /0mM/C	39.27	0.76	21.98	0.75	3.36	0.11	0.99	0.06	0.30	0.01	0.06	0.01
NN/N ₂ /0mM/D	32.80	1.12	17.17	0.25	2.86	0.15	0.75	0.04	0.24	0.01	0.05	0.01
NN/N ₂ /0mM/E	44.67	0.39	26.35	0.60	3.34	0.19	1.22	0.06	0.30	0.02	0.07	0.01
NN/N ₂ /0mM/F	31.75	0.30	21.00	1.02	2.59	0.23	0.82	0.08	0.20	0.02	0.05	0.01
LN/Air/0mM/A	33.08	0.95	17.12	0.44	2.43	0.09	0.80	0.06	0.23	0.01	0.06	0.01
LN/Air/0mM/B	33.22	0.30	26.37	1.89	1.52	0.18	0.58	0.07	0.14	0.02	0.04	0.01
LN/Air/0mM/C	39.02	0.95	31.10	1.23	3.14	0.08	1.18	0.06	0.27	0.01	0.08	0.00
LN/Air/0mM/D	34.97	0.42	28.30	0.81	2.37	0.13	0.72	0.02	0.19	0.01	0.05	0.00
LN/Air/0mM/E	46.42	2.51	35.37	1.49	3.42	0.34	1.55	0.11	0.30	0.03	0.09	0.01
LN/Air/0mM/F	33.38	0.71	33.47	1.21	3.00	0.12	0.95	0.05	0.23	0.01	0.06	0.00
LN/N ₂ /0mM/A	32.12	0.62	12.75	0.70	2.24	0.21	0.64	0.07	0.21	0.02	0.05	0.01
LN/N ₂ /0mM/B	33.38	0.26	20.40	0.22	1.50	0.10	0.51	0.04	0.15	0.01	0.04	0.01
LN/N ₂ /0mM/C	39.38	0.63	23.25	0.94	3.34	0.27	1.05	0.08	0.30	0.02	0.07	0.01
LN/N ₂ /0mM/D	33.28	0.26	20.00	1.18	2.57	0.14	0.72	0.05	0.22	0.01	0.05	0.00
LN/N ₂ /0mM/E	41.07	1.03	24.92	1.09	2.87	0.15	1.09	0.10	0.26	0.01	0.07	0.00
LN/N ₂ /0mM/F	32.68	0.53	22.22	0.19	2.50	0.36	0.75	0.12	0.20	0.03	0.05	0.01
LN/N ₂ /1mM/A	30.03	0.49	10.52	0.39	1.95	0.09	0.60	0.03	0.20	0.01	0.05	0.00
LN/N ₂ /1mM/B	29.70	1.01	10.17	0.74	1.14	0.13	0.36	0.06	0.12	0.02	0.03	0.01
LN/N ₂ /1mM/C	36.47	0.98	15.65	0.91	2.56	0.14	0.81	0.05	0.24	0.02	0.07	0.01
LN/N ₂ /1mM/D	27.00	0.23	10.73	0.61	1.52	0.02	0.43	0.02	0.14	0.00	0.03	0.01
LN/N ₂ /1mM/E	32.75	4.46	14.98	0.09	1.83	0.45	0.89	0.09	0.24	0.02	0.06	0.00
LN/N ₂ /1mM/F	29.17	0.75	17.60	0.68	1.83	0.19	0.70	0.08	0.16	0.02	0.05	0.01
LN/N ₂ /3mM/A	28.25	0.81	7.67	0.24	1.31	0.05	0.25	0.02	0.15	0.01	0.02	0.00
LN/N ₂ /3mM/B	26.47	0.38	11.52	0.90	0.93	0.08	0.25	0.03	0.10	0.01	0.02	0.01
LN/N ₂ /3mM/C	33.30	0.42	11.48	0.24	1.57	0.03	0.38	0.03	0.16	0.01	0.04	0.00
LN/N ₂ /3mM/D	26.27	0.56	11.42	0.33	1.26	0.07	0.25	0.02	0.12	0.01	0.02	0.00
LN/N ₂ /3mM/E	37.65	1.31	16.07	0.43	2.07	0.20	0.40	0.04	0.18	0.02	0.04	0.01
LN/N ₂ /3mM/F	25.33	0.16	16.30	0.11	1.22	0.02	0.26	0.00	0.17	0.05	0.03	0.00
LN/N ₂ /5mM/A	25.53	0.54	9.37	1.40	1.26	0.09	0.27	0.03	0.15	0.01	0.03	0.00
LN/N ₂ /5mM/B	24.25	0.50	10.07	0.51	0.76	0.04	0.17	0.01	0.09	0.01	0.02	0.00
LN/N ₂ /5mM/C	30.55	0.76	12.50	1.10	1.71	0.12	0.27	0.01	0.19	0.01	0.03	0.01
LN/N ₂ /5mM/D	23.68	1.11	11.67	0.36	1.28	0.14	0.18	0.03	0.13	0.01	0.02	0.01
LN/N ₂ /5mM/E	34.22	0.40	13.12	0.45	1.73	0.04	0.38	0.00	0.21	0.01	0.04	0.00
LN/N ₂ /5mM/F	23.82	0.74	15.87	0.82	1.22	0.05	0.21	0.01	0.13	0.01	0.02	0.00
LN/N ₂ /10mM/A	24.33	0.40	9.85	1.50	1.06	0.03	0.15	0.01	0.13	0.01	0.01	0.00
LN/N ₂ /10mM/B	20.08	0.90	10.82	0.36	0.72	0.10	0.11	0.00	0.08	0.01	0.01	0.00
LN/N ₂ /10mM/C	26.32	0.80	13.03	0.25	1.41	0.05	0.17	0.02	0.15	0.01	0.01	0.00
LN/N ₂ /10mM/D	23.03	0.10	11.45	0.43	1.24	0.08	0.14	0.01	0.12	0.01	0.01	0.00
LN/N ₂ /10mM/E	26.80	0.82	13.98	0.79	1.14	0.21	0.17	0.06	0.13	0.03	0.02	0.00
LN/N ₂ /10mM/F	22.02	1.37	16.38	0.68	0.96	0.12	0.10	0.03	0.10	0.01	0.01	0.00

*A, Naehanssal-bori; B, Doowonchalssal-bori; C, Ol-bori; D, Olssal-bori; E, Chalssal-bori; F, Huinchalssal-bori

Table 6. Overall growth response of 6 cultivars to the induced wet-injury condition.

7 days after treatment (DAT)						
Treatment	Length (cm)		Fresh Weight (g/plant)		Dry Weight (g/plant)	
	Shoot	Root	Shoot	Root	Shoot	Root
NUT/DO/CA	32.54a	21.31a	1.78a	0.50a	0.13a	0.03a
NN/Air/0mM	31.07b	15.67b	1.58bc	0.40b	0.13a	0.03ab
LN/Air/0mM	31.54ab	20.90a	1.65ab	0.48a	0.12ab	0.03ab
LN/N ₂ /0mM	30.54b	16.48b	1.43cd	0.37b	0.11bc	0.02c
LN/N ₂ /1mM	29.44c	12.72c	1.31de	0.32c	0.11c	0.02bc
LN/N ₂ /3mM	28.55c	12.63c	1.23e	0.20d	0.10c	0.01d
LN/N ₂ /5mM	26.73d	12.30c	1.18e	0.17de	0.10c	0.01d
LN/N ₂ /10mM	23.47e	12.00c	0.98f	0.14e	0.08d	0.01d
LSD, 0.05	1.35	1.10	0.16	0.05	0.01	0.00
C.V.(%)	3.49	5.36	8.58	10.66	9.65	14.59

14 DAT						
Treatment	Length (cm)		Fresh Weight (g/plant)		Dry Weight (g/plant)	
	Shoot	Root	Shoot	Root	Shoot	Root
NUT/DO/CA	37.59a [†]	27.65a	3.33a	0.98a	0.28a	0.06a
NN/N ₂ /0mM	35.39b	19.34c	2.69b	0.83b	0.23b	0.05bc
LN/Air/0mM	36.68ab	28.62a	2.65b	0.96a	0.22b	0.06a
LN/N ₂ /0mM	35.320b	20.59b	2.50b	0.79b	0.22b	0.05b
LN/N ₂ /1mM	30.85c	13.28d	1.80c	0.63c	0.18c	0.05c
LN/N ₂ /3mM	29.54c	12.41d	1.39d	0.30d	0.15d	0.03d
LN/N ₂ /5mM	27.01d	12.10d	1.33d	0.25d	0.15d	0.03d
LN/N ₂ /10mM	23.76e	12.59d	1.09e	0.14e	0.12e	0.01e
LSD, 0.05	1.40	1.21	0.23	0.12	0.02	0.01
C.V.(%)	3.29	4.97	8.17	14.89	8.43	10.41

[†]Means followed by the same letter within a column are not significantly different at the 0.05 provability level.

Table 7. Effect of the period of the induced wet-injury condition on the growth of barley seedlings.

Factor	Length		Fresh Weight		Dry Weight	
	Shoot	Root	Shoot	Root	Shoot	Root
TRTxV (7DAT)	1.44	1.95	0.81	1.72	0.74	1.29
TRTxV (14DAT)	2.15*	4.05***	2.37***	4.84***	1.59	2.01*

TRT, Nutrient + DO + CA; V, Variety

*, ***: Significantly different at the 0.05 and 0.001 provability level, respectively.

초래되며 수량도 감소하게 된다(하, 2000). 또한 몇 종의 작물의 식물체의 뿌리를 볼 속에 침지시켰을 경우 뿌리의 산소흡수량은 내습성이 강한 작물이 작고 내습성이 약한 작물이 큰 것으로 나타나 내습성과 산소 흡수량과는 역의 상관관계가 있

는 것으로 보인다(武田, 1986).

본 연구에서도 질소가스 통기에 의해 조성된 혐기조건이 보리의 간장, 근장, 지상부와 뿌리의 생체중과 건물중을 감소시키며 이러한 감소효과는 처리기간이 길어질수록 큰 것으로 나타났다(Table 1). 이러한 결과는 보리를 비롯한 몇 종의 발작물에서 뿌리가 혐기상태에 처했을 때 나타나는 생리기작과 생육의 저하 및 감소 현상과 유사하다. 따라서 질소가스 통기에 의한 배양액의 혐기화가 습해유발 요인으로서 효과가 있는 것으로 판단된다.

춘계습해가 유발되는 토양은 산소가 부족하며 침수조건에 의해 P, K, Mg 등이 유실되어 양분이 감소하며 뿌리의 양분 흡수 능력도 감소하게 되므로(조 등, 1982) 배양액의 P, K, Mg 농도를 감소시켜 유묘의 생장 반응을 조사하였다. 인산은 맥류의 생육초기에 많이 요구되며 결핍시에는 생장과 성숙이 지연된다(Bennett, 1993). 칼리는 생육전반기에 걸쳐 필요하며 결핍시에 엽이 황화되고 줄기가 유약해진다. 마그네슘이 결핍되면 간장이 작아지고 엽이 황화된다(Bennett, 1993). 본 연구 결과에서도 초장과 생체중이 감소하였고, 지하부보다는 지상부 형질의 감소정도가 커서 P, K, Mg 등의 결핍에 의한 증상과 유사하였다(Table 2). 그러나 P, K, Mg 결핍에 의한 생장 감소효과는 혐기처리에 비하여 매우 낮았는데 이는 산소부족에 의한 세포대사의 저하로 P, K, Mg 이외의 다른 성분의 흡수도 저해되었기 때문으로 생각된다.

춘계 습해의 특징 중 하나는 지온상승에 의한 토양의 화학성 변화와 유해물질의 생성인데, 유해물질 중에는 유해 유기산이 포함되어 있다(조, 1992). 보리의 뿌리에는 생체 중 1g 당 약 4.5~10 μmole의 유기산이 함유되어 있다. 식물의 뿌리는 양분결핍 및 혐기 상태에서 유기산을 분비하는 것으로 알려져 있다. 보리 뿌리는 citric acid(CA)와 malic acid를 각각 3.8~38와 5~165 pmol/g root FW/s의 비율로 분비하며, 혐기상태의 옥수수 뿌리는 젖산을 550~1580 pmol/g root FW/s 분비한다(Jones, 1998; Jones et al., 1995). 유기산은 주로 근단을 통하여 분비되는데 분비된 유기산은 인산과 같은 양분의 흡수와 알루미늄과 같은 중금속의 해독작용에 관여한다. 또한 뿌리의 혐기 스트레스 완화와 무기양분의 방출과 병원균 유인 등과 같은 복합적 작용을 하는 것으로 생각되고 있다.

유기산이 식물에 어떠한 유해작용을 나타내지는 알려져 있지 않다. 본 연구에서는 보리의 뿌리에 존재하는 유기산 농도와 유사한 수준의 CA를 처리하였는데 1 mM의 CA에 의해서도 지상부 및 뿌리의 생육이 5~30% 감소하였으며, CA 농도가 증가할수록 감소정도는 컸다(Table 3). 유해 미생물 중에는 유기산을 에너지원으로 사용할 수 있는 종이 있으므로 유기산에 의한 병원균의 유인과 이로 인한 뿌리의 발병이 생육을 억제할 가능성도 큰 것으로 생각된다. 또한 5~10 mM 정도의 CA에서는 용액의 산도가 4~3정도로 낮아서 보리의 생육을 억제할 수 있을 것으로 생각된다. 따라서 유기산의 처리

농도는 산도를 5이하로 저하시키지 않는 범위의 농도가 습해 유인 조건으로 타당할 것으로 생각된다.

이상의 결과를 종합하여 인위적 습해 유인 조건으로 혐기, 양분결핍 및 CA의 복합처리 조건을 검토하였다. 이들 복합처리 조건에 대한 유묘의 생장반응 결과를 요약하면, 습해 유인 별 단일처리구에서 보다 복합처리구에서, 특히 혐기 + 양분결핍 + 3~10 mM CA에서의 생장억제가 컸다(Table 4, 5, 6, 7). 그러나 공시품종의 혐기 + 양분결핍 + 1~3 mM CA 조건에서의 생육반응은 공시품종의 기존의 보고된 내습성 정도와 유의하게 일치하지 않았다. 이러한 기존의 결과와 본 연구의 결과 간의 불일치에 대한 원인을 현재로서는 파악하기 어려우나 다음과 같은 가능성에 대하여 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다. 첫째는 기존의 공시품종에 대한 성숙기 습해 저항성 검정 결과가 유묘기 저항성 정도와 상이할 가능성이 있다. 둘째는 본 연구에서 사용한 인위적 습해 유발조건이 실제 포장에서의 습해 유발조건과 상이하기 때문일 가능성이 있다. 내습성 형질은 다수의 유전자가 관여하는 양적형질로서 유전력이 낮으며 포장에서의 검정 효율이 낮은 것으로 알려져 있다. 따라서 내습성 수준이 현저히 다르지 않은 품종에 대한 내습성 검정 결과는 검정조건에 따라 영향을 받을 가능성이 있다.

본 연구에서는 실용적으로 조절이 용이한 요인에 한정하여 인위적 습해 유발 조건을 검토하였으므로 실제 포장에서의 습해 유발 환경과 보다 유사한 조건을 설정하기 위한 추가적인 연구가 필요할 것이다. 유해 환원물질, 즉 아산화철 및 황 환원물질의 유해작용을 평가할 수 있는 실용적 방법의 개발과 이들 요인을 종합적으로 고려하여 내습성을 검정할 수 있는 보완된 검정법의 개발이 필요할 것으로 생각된다.

적 요

본 연구에서 간편 고효율 습해 저항성 검정법을 개발하기 위한 연구의 일환으로 동계습해와 춘계습해의 주요 유발요인의 조절이 용이한 수경재배 조건을 이용하여 산소, 양분 및 유기산의 농도가 보리 유묘의 생육에 미치는 영향을 조사한 결과는 다음과 같다.

1. 배양액의 질소가스 통기처리에 의해 유도되는 혐기조건이 보리 유묘의 생육을 저하시키며 생육감소정도는 근장 그리고 근생체중 순으로 크게 나타났다.
2. 조사 시기에 따라 양분 결핍 처리에 따른 각 조사형질의 반응이 다르나, 지상부 길이와 생체중이 양분결핍처리에 의해 감소하는 경향이였다. 양분결핍조건에 대한 반응은 지상부 형질이 지하부 형질보다 더 민감한 경향이였으나, 그 감소 정도는 크지 않았다.
3. 보리의 생육은 CA 처리에 의해 감소하였으며 CA 농도가 높을수록, 처리기간이 길수록 감소정도가 컸다.

4. 생육은 혐기 및 양분결핍복합처리 조건에서 감소하였는데, 그 경향은 처리 7일 후에 가장 뚜렷하였으며 처리일수가 경과할수록 복합처리효과는 감소하는 경향이였다. 혐기 및 양분결핍처리에 의한 생육감소정도가 가장 큰 형질은 근장이였다.

5. 혐기와 양분결핍복합처리에서 생육저하효과는 혐기처리 효과가 양분처리효과보다 큰 경향이였다. 혐기와 양분결핍처리의 상호작용효과는 처리 14일 근생체중과 근건물중에서만만 인정되었다.

6. 인위적 혐기조건에 대한 각 조사형질의 품종별 평균 감소율의 차이는 11~19%이었으며, 올쌀보리의 감소율이 가장 낮고, 올보리가 가장 높은 경향이였다. 보리의 생육반응으로 보아 품종간 반응차이가 가장 민감하게 나타나는 것으로 평가된 양분부족 + N₂처리 + CA 3 mM 조건에서의 각 품종별 유묘형질의 평균 감소율은 올쌀보리 > 내한쌀보리=흰찰쌀보리 > 찰쌀보리 > 두원찰쌀보리 > 올보리 순으로 낮았다.

인용문헌

- Bennett, W.F. 1993. Nutrient deficiencies and toxicities in crop plants. APS Press, St. Paul, MN. pp. 27-33.
- 조재영. 1992. 4정 전작. 향문사. pp. 73-75.
- 조장환, 이은섭, 하용웅, 이정일. 1982. 동작물의 기상재해와 그 대책. 한작지 27: 411-434.
- 兵地勇次. 1989. 濕害. 農林水産研究文獻解題 No.23 麥高品質化に向けて技術開發. 財團法人 農林統計協會. pp. 331-340.
- 하용웅. 2000. 보리. 모당 하용웅 박사 정년기념집 발간위원회. pp. 282-285.
- Jones DL, JE Shaff, LV Kochian. 1995. Role of calcium and other ions in directing root hair tip growth in *Limnobium stoloniferum*. 1. Inhibition of tip growth by aluminum. *Planta* 197: 672-680.
- Jones DL. 1998. Organic acids in the rhizosphere - a critical review. *Plant and Soil* 205: 25-44.
- 北條良夫, 石塚潤彌. 1985. 最新 作物生理學實驗法. 農業技術協會. pp. 385-391.
- 농림부. 2002. 농정주요 통계지표.
- 서형수. 1971. 맥류 내습성에 관한 연구. 제1보 맥류 내습성의 품종간 차이. *한육지* 3(2):98-106.
- 서형수. 1973. 맥류 내습성에 관한 연구. 제2보 맥류 내습성과 근의 생육과의 관계. *한육지* 5(2):91-97.
- 서형수. 1977. 맥류 내습성에 관한 연구. 제3보 토양수분차이가 근군의 생리생태에 미치는 영향. *한작지* 22(2):80-92.
- 서형수. 1978. 맥류 내습성에 관한 연구. 제4보. 맥류의 생육시기와 토양과습의 영향. *한작지* 23(1):26-31.
- 서형수, 박래경. 1979. 맥류 내습성에 관한 연구. 제5보 맥류근의 생육환경차이가 지하 및 지상부의 형질에 미치는 영향. *한작지* 24(1):66-72.
- 서형수. 1982. 한국에 있어서 대맥의 내습형질과 품종육성에 관한 연구. *농시보고*24(작물):128-167
- 武田. 1986. Genetic resources and biotechnology in improvement of stress tolerance of crop plants. 6. Tolerance to wet injury in crop plants. *農業技術* 41: 501-507.
- 山崎 伝. 1952. 火作物の濕害に關する土壤化學的並びに植物生理學的研究. *農技研報*. B-1:1-98.