

맥류의 유수발육기 저온장해유형과 피해시기 분류

구본철*[†] · 박문웅* · 김기준** · 안종국** · 이춘우* · 윤의병*

*작물시험장, **건국대학교 생명환경과학대학

Classification for Types of Damages Caused by Cold Stress at Different Young Spike Development Stages of Barley and Wheat

Bon-Cheol Koo*[†], Moon-Woong Park*, Choon-Woo Lee*, Eui-Byung Yoon*,
Ki-Jun Kim**, and Jong-Guk An**

*National Crop Experiment Station, RDA, Suwon 441-857, Korea

**Department of Agronomy, KonKuk University, Seoul 143-701, Korea

ABSTRACT : Although the young spike of barley (*Hordeum vulgare* L.) or wheat (*Triticum aestivum* L.) is known as the most susceptible part to spring cold injury, the risk of cold injury is apt to be ignored in most breeding program due to the importance of early maturity. Based on these aspects, the types and inducing time, temperature conditions for induction and effects of cold injury on growth and yield in this study were investigated under greenhouse and field conditions through three years (1997~1999). In natural condition, low temperature around -2.4 ~ -10.2°C caused the death of plant. Several cold injury types such as partial degeneration of spike, partial discoloration of leaf, spike and awn, discoloration of culm and white spike were observed at low temperature around -3.1°C. Low temperature around -2.4 ~ -8.6°C and 1.3~7.6°C caused degeneration and sterility of spike, respectively. Most materials were prepared to the spikelet foundation stage, spikelet differentiation stage, development stage of flower organ, booting stage and heading stage, which were known having risk for cold injury in field condition. Although most of the controlled stages were sensitive to the induced low temperature, booting stage was the most sensitive stage for cold injury. All of growth stages which were treated-heading stage, booting stage, development stage of flower organ, spikelet differentiation stage, spikelet foundation stage-were responded to low temperature treatment but the symptoms revealed were very specific according to the growth stages. Ears of plant in heading stage were discolored to white. Ears of plant in booting stage were degenerated in all or part of one. Plants in spikelet differentiation stage were sterile in all or part of one. When tried to detect the specific differences between normal and cold injured plants in appearance, spike length, distance between spike and flag leaf and the first internode length could be the critical points

for occurrence of spike death caused by cold injury. In barley, the elongation of spike was stopped on 3.2 cm after occurrence of spike degeneration, 4.7 cm after occurrence of partial degeneration of spike, 5.0 cm after occurrence of white spike. In wheat, it was stopped on 1.6 cm after occurrence of stem death, 3.3 cm after occurrence of spike degeneration, 8.3 cm after occurrence of partial degeneration of spike, 8.1 cm after occurrence of white spike, 7.5 cm after partial discoloration of leaf and 9.3 cm after partial discoloration of spike. The obtained results from low temperature treatment induced in growth chamber were similar to the field experiment, because the death of spikes was more when low temperature was treated two times than one times, the temperature should be upgrade to -3°C in order to get the same condition with field test.

Keywords : barley, wheat, cold injury, spike degeneration, booting stage.

맥류의 내동성(耐凍性)은 한겨울에 최대로 되어 혹한에서도 생존하나 봄이 되어 기온이 상승하게 되면서 차츰 경직된 조직이 연화됨과 동시에 화아 분화를 시작하여 유수가 형성되고 절간(節間)이 신장되면서 사라지게 된다. 이때 저온에 처하게 되면 성장점 또는 유수가 스트레스를 받아 장해를 일으켜 고사하거나 퇴화, 불임 등이 발생하게 되는 것으로 알려져 있다. 특히 유수 고사나 퇴화의 경우는 외관상 잘 드러나지 않고 식물체 스스로 새롭게 분얼을 전개시키는 등의 보상작용으로 피해의 정도가 대부분 외부적으로 드러나지 않아 경미한 것으로 판단하기 쉽다. 최근에 겨울철이 온난화되고 조숙 품종 재배가 확대되어 봄철 저온장해 피해는 더욱 커질 것으로 예상된다.

맥류에서 기온강하로 인한 생육장해를 南 등(1989)은 한해(寒害)라고 하였으며 한해는 동해(凍害; freezing injury), 상해(霜害; frost injury)-이른봄의 만상(晩霜), 늦가을의 초상(初霜)-

[†]Corresponding author: (Phone) +82-31-290-6678 (E-mail) koobc@rda.go.kr <Received April 2, 2003>

한풍해(寒風害), 겨울철 건조해(乾燥害), 습해(濕害), 냉온장해(冷溫障害; cooling injury)로 나누고 한해의 주체는 동해와 상해라 하였다. 曠 등(1982)은 한해를 월동기의 추위에 의해 받는 피해라고 하였고 동해와 상해로 구분하였으며 동해는 조직동결과 체내결빙에 의한 피해로, 상해는 봄철의 저온으로 인해 유수가 얼어죽거나 불임이 일어나는 피해라고 하였다. Paulsen 등(1995)은 봄에 연화 후 일어나는 저온장해를 춘계 결빙해(spring freeze injury)라 하여 상해와는 다른 용어를 사용하였다. 郭 등(1983)은 동해는 생장중인 잎이나 새 가지 등에서 볼 수 있는 상해(0°C에 가까운 영하의 저온에 의한 피해)와 휴면중인 가지나 구근 또는 엽동기에 상록수의 잎이나 월동 1년생 식물의 경엽 등에서 볼 수 있는 한해(0°C 보다 훨씬 낮은 온도의 피해)로 나누었다. Levitt(1980)은 저온에 의한 장해(cold injury; 생육적온보다 낮은 온도)를 냉해(chilling injury; 0~20°C)와 동해(freeze injury; 0°C 이하)로 나누고 동해중 0~5°C의 저온에서 받는 장해를 상해(frost injury)라 하였다.

맥류에서의 저온피해 종류로는 3~4월의 이상저온에 의한 유수 동사형 피해(鈴木 1959)와 임실 장해에 관한 보고(戶川 1972)가 있고 쌀보리에서 주간(主稈)과 먼저 나온 열자의 고사로 고차 분얼의 생육이 뒤늦게 이루어져 생육이 늦어진다(關根 & 花房 1950) 고 하여 주로 3월 하순(영화분화전기)부터 4월 상순(영화분화후기, 화기발육기)에 걸쳐 발생하는 유수 동사형과 출수, 개화 및 수정의 시기(4월 중하순에서 5월 상순)에 발생하는 불임형으로 구분된다(小田 1963; Olien 1981)고 하였다.

적기에 파종하여 월동 전 생육이 충분히 이루어졌어도 겨울철 난동으로 이른 봄 맥류가 옷자랄 경우 갑작스러운 저온에 처하게 되면 고사, 불임 등의 생육장애가 발생한다. 수원지방은 '70~'86년에 1월 최저기온이 평균이 -9.4°C였는데 '87~'99년에는 -6.3°C로 3.1°C 상승하였고 밀양지방이 -5.2°C로 1.7°C 상승, 나주지방이 -3.6°C로 1.3°C 상승하여 겨울철 기온이 높아지는 것으로 나타났다. 그러나 생식생장을 하는 분얼기와 신장기인 3월과 4월의 기상을 보면 3~4년에 한번 -4~6°C의 저온이 내습하여 피해를 끼친다(기상청 '70~'99). '94년 밑에서 발생한 퇴화, 불임이 저온장애의 대표적인 예이다(농진청 1994). 봄철 저온내습에 의한 피해 가능성은 더욱 빈발할 우려가 있다.

본 실험에서는 맥류 생육기간중 월동 후 봄철에 발생하는 저온장애의 종류를 정확히 구분하고 이에 대한 피해양상을 관찰·분류하며 저온피해시 외관적인 특징을 규명하고 인위적인 저온장애를 유발하여 저온장애의 온도범위를 알고자 수행하였다.

재료 및 방법

자연조건을 이용한 저온처리 시험

1. 공시품종 및 생육단계 조절

1997년부터 1999년까지 공시품종으로 보리는 조숙성인 올보리(파성IV)와 월동전 초기생육이 빠르고 조숙성인 강보리

(파성I)를 이용하였고, 밀은 조숙성인 은파밀(파성III)과 만숙성인 조광(파성V)을 이용하였다. 위 품종들을 10월 상순 포장에 파종하여 추파성이 소거되는 시기로 알려진 12월 중순(曹 1979)에 식물체를 굴취(掘取)하여 포트당 4주씩 이식하여 가온(加溫)되지 않은 비닐하우스에서 잔존할지도 모르는 파성을 완전히 소거하였다. 파성소거 후 12월말부터 3일 간격으로 10회에 걸쳐 온실(주야: 20/15°C)로 이동하여 다양한 생육단계가 되도록 유도하였다. 저온처리 전에 생육단계를 판단하기 위해 일부 식물체를 굴취하여 생육조사를 실시하였는데 초장, 분얼수, 유수장(幼穗長), 간장 등을 측정(Table 1, Table 2)하여 曠 등(1983)과 趙 등(1983; 1987)이 제시한 유수분화 조사기준(幼穗分化調査基準)에 의거 생육단계를 구분하였다. 조사로 구분된 생육단계는 Fig. 1과 같다.

'97년에 보리는 두 품종 모두 소수분화후기~출수기(6단계)로 분류되었으며, 밀은 조광이 소수분화후기~수잉기 등 5단계로, 은파밀이 소수분화중기~수잉기(6단계)로 분류되었다. '98년에는 보리가 1차처리시에 소수분화전기~수잉기였고, 2차 처리시에는 영화분화후기~출수기(4단계)로 '97년과 유사하였다.

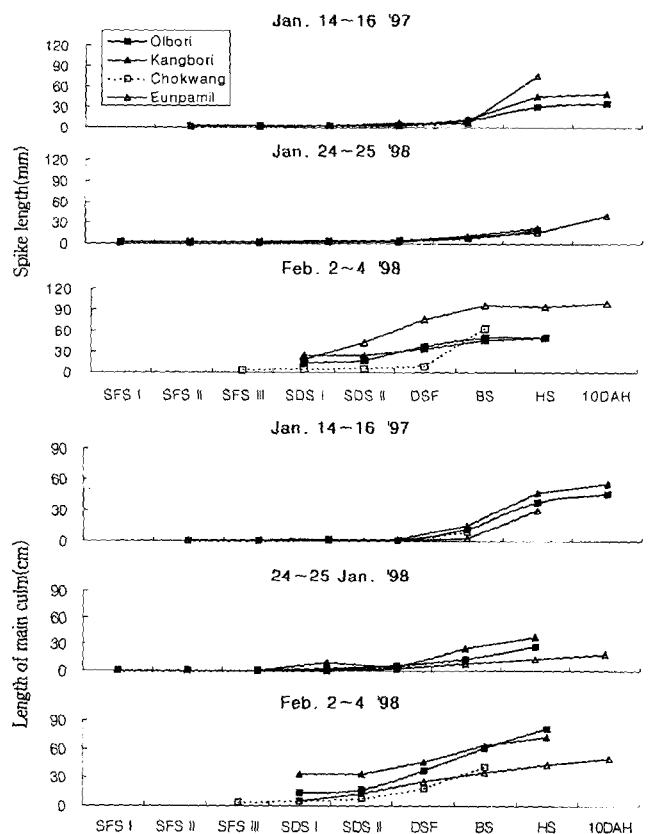


Fig. 1. Spike developmental stage as judged by spike length in barley and wheat cultivars at low temperature treatment. SFS: Spike foundation stage, SDS: Spikelet differentiation stage, DSF: Development stage of flower organ, BS: Booting stage, HS: Heading stage, 10DAH: 10 days after heading

Table 1. Comparison of growth stages of barley and wheat before at temperature treatments in 1999.

Cultivars	Young spike length (cm)	Length of main culm (cm)	Distance between spike and flag leaf (cm)	Growth stage
Olbori	4.1	62.2	-15.6	Developing stage of flower organ
Kangbori	3.4	64.2	-14.8	Developing stage of flower organ
Eunpamil	8.9	40.1	0~ 2.0	Booting stage

밀에서는 1차 처리에서 조광이 소수분화전기~화기발육기(6단계)였으며 2차 처리에서는 소수분화후기~수잉기(5단계)였고, 은파밀은 1차 처리에서 소수분화후기~출수기(6단계)로, 2차 처리에서 영화분화전기~출수기, 출수후 10일이었다. '99년에는 올보리, 강보리, 은파밀을 춘화처리실(4°C±1)에서 40일간 저온 처리하여 파성을 소거한 후 온실에서 재배하여 올보리, 강보리는 화기발육기로 은파밀은 수잉기정도로 생육이 진전되도록 조절하였다(Table 1).

2. 저온처리방법

최근 10년내 3월~4월 초순의 갑작스러운 기온강하온도로 알려진 -3~-5°C의 일 최저기온을 보일 것으로 예상되는 날에 온실 밖으로 식물체를 내놓아 저온 하에서 경과되도록 하였다. '97년과 '98년에는 4수준으로 하여 12시간(주야간), 24시간, 48시간 등으로 저온처리를 하였다. 처리당 2포트(8개체)를 완전입의 배치법으로 시험구 배치를 하였다. 12시간 주간처리는 처리당일 09시('98년~08시)에 온실밖에 식물체를 내놓아 저온에 처하게 한 후 21시('98년~20시)에 온실 안으로 이동('97. 1. 14, '98. 1. 24)시켰으며, 12시간 야간처리는 21시('98년~20시)에 온실밖에 내놓아 09시('98년~08시)에 온실 안으로 이동하였다('97. 1.14~15, '98. 1.24~25). 24시간 처리는 처리당일 14시에 온실밖에 식물체를 내놓아 저온에 처하게 한 후 그 다음날 14시에 온실 안으로 이동시켰으며('97. 1.14~15, '98. 1.24~25) 48시간 처리는 처리당일 14시에 온실밖에 내놓아 저온에 처하게 한 후 이틀 후 14시에 온실 안으로 이동시켰다('97. 1.14~16, '98. 2. 2~4). '99년에는 48시간 처리에 초점을 맞추어 시험을 실시하였다.

3. 처리기간중 온도변화

처리기간중의 온도변화는 자동온도기록계(MP-110 Data Logger, Eco社)를 이용, 1시간 간격으로 지표, 지상 3 cm, 백엽상으로 나누어 포트 주변의 온도변화를 측정하였다. '97~'99년에 자연조건을 이용한 저온처리시험을 실시했을 때의 온도의 경과를 살펴보면 Fig. 2, 3과 같다. 특히 '98년 2월 2일 13시에서 2월 4일 13시까지 2차로 온도처리를 하였을 때를 살펴보면 시작온도가 6.8°C이었고 첫째날 0°C 이하로 내려간 시간이 16시간이었다. -3.0°C 이하인 시간이 9시간, -4.0°C 이하인 시간이 4시간이었으며 최저기온이 -4.6°C로 2시간 유지되었다. 둘째 날에는 16시간 동안 영하에 머물렀으며 -3.0°C 이하 10시간, -4.0°C 이하 6시간, 최저기온 -6.9°C로 -6.0°C 이하로 3시간 동안 지속되었다(Fig. 3).

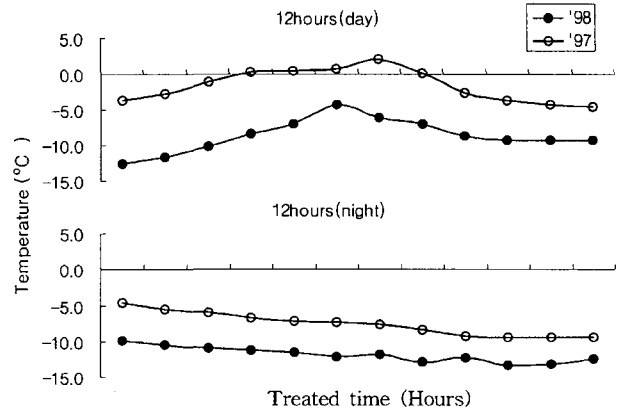


Fig. 2. Temperature changes during 12 hours low temperature treatment for test materials in 1997 and 1998.

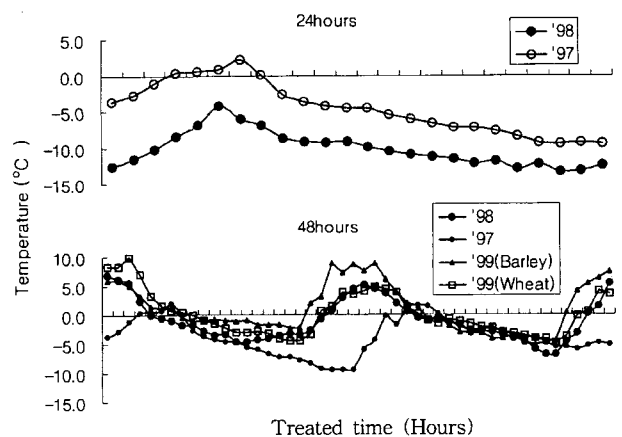


Fig. 3. Temperature changes during 24, 48 hours low temperature treatment for test materials in 1997-1999.

저온항온기를 이용한 저온처리 시험

1. 공시재료

자연조건을 이용한 저온처리 시험과는 별도로 저온 항온기(DS-13 M CLP 온도조절 가능범위: -40~150°C)를 이용하여 시험을 수행하였다. 춘화 처리실(春化處理室; 4±1°C)에서 5주 동안 처리된 올보리, 강보리, 은파밀을 포트당 4주씩 이식 후 온실(주야 20/15°C)에서 재배하였다. 처리당 1포트(4주)를 완전입의 배치법으로 저온항온기를 이용하여 시험을 실시하였다. 일주일 간격으로 저온처리를 하였으며, 처리된 식물체의 생육 정도는 보리에서는 영화분화전기, 영화분화후기, 화기발육기, 수잉기였으며 밀은 수잉기와 화기발육기로 나타났다.

2. 저온처리방법

프로그래밍 저온항온기내에서 20분에 걸쳐 상온 → 0°C로 조절하고 이어 1시간 동안 유지하다가 20분에 걸쳐 0°C → -5°C로 조절한 후 5시간 동안 -5°C로 유지하면서 저온에 처하게 한 후 다시 1시간에 걸쳐 -5 → 10°C로 올려 온실로 옮기는 온도 프로그래밍을 하여 처리를 1회 또는 2회 실시하였다.

저온처리후 조사내용

저온처리 후에는 온실(주야: 20/15°C)에서 생육시켜 처리후 10~20일경에 저온장해증상을 관찰하였다. 저온처리 후 생육정

도를 판단하고자 각 식물체의 모든 잎자마다 출수기(이삭이 지엽의 엽설 위로 완전히 나왔을 때), 성숙기(이삭목의 색이 노랗게 변할 때)를 조사하였고 간장, 수장, 지엽과 이삭간 거리, 각 절간의 절간장, 유수 이상유무, 일수립수도 조사하였다.

결과 및 고찰

저온정도 및 기간에 따른 저온장해 발생시기 및 유형

'97~'98년 2개년간 실시한 자연조건 이용 저온처리에는 대부분 -10°C 이상의 지나친 저온으로 식물체 대부분이 고사하였다.

Table 2. Differentiation of injury types induced by low temperature treatment for 48 hours in natural condition and the programming cold treatment in chamber (barley).

Cultivar	Injury types	Treatment*	Growth stage at treatment**					
			SDS I	SDS II	DSF	BS	HS	
Olbori	Normal	48 hours	100	100	75		7	
		1 time	67	30	40	0		
		2 times	80	0	0	0		
	Partial Sterile	48 hours	0	0		10		
		1 time	8	32	0	0		
		2 times	7	49	0	0		
	White Spike	48 hours					7	
		Partial Degeneration	48 hours				70	33
	Degeneration	48 hours	1 time	0	0	0	0	
			2 times	0	7	0	0	
			48 hours			25	20	27
	Dead	48 hours	1 time	8	17	0	0	
			2 times	0	20	0	0	
			48 hours					7
	White spike · Degeneration	48 hours	1 time	17	22	60	100	
2 times			13	24	100	100		
48 hours							20	
Kangbori	Normal	48 hours	26	26		8		
		1 time	60	50	33	57		
		2 times	42	26	0	0	92	
	Partial Sterile	48 hours	74	74	73	65	30	
		1 time	0	0	17	17		
		2 times	0	24	0	0	0	
	White Spike	48 hours					10	
		Degeneration	48 hours			27	21	40
	1 time		0	0	0	7		
	2 times		0	0	0	6	0	
	Partial Degeneration	48 hours				6		
			1 time	13	0	0	0	
			2 times	0	3	0	0	0
	Dead	48 hours					20	
			1 time	27	50	50	20	
2 times			58	46	100	94	8	

*Treatment - 48 hours: treated in natural condition which was around -3 ~ -10°C of cold temperature during 48 hours
 1 times: a programming cold treatment in chamber: room temperature (20 min.) → 0°C (60 min.) → -5°C (300 min.) → 10 (60 min.)
 2 times: two times treatment of a programming cold treatment in chamber
 **Growth stage - SDS: Spikelet differentiation stage, DSF: Developing stage of flower organ, BS: Booting stage, HS: Heading stage

최저기온이 -5°C 정도인 자연조건을 이용한 48시간 처리시 험인 '98년과 '99년 처리에서 다양한 장애증상이 저온처리후 15~20일경에 관찰되었다(Table 2, Table 3, Fig. 4). 올보리에서 이삭이 부분적으로 형태를 잃고 고사하는 부분퇴화, 이삭 전체가 하얗게 탈색된 백수, 백수와 이삭전체가 형태를 잃고 고사하는 퇴화가 겹쳐 발생, 불임, 퇴화, 줄기 고사 등의 피해가 발생하였고 강보리에서도 백수, 부분퇴화, 전체이삭 퇴화, 고사 등의 저온장애가 나타났다.

조광은 부분퇴화, 퇴화, 고사 등이 발생하였고, 은파밀은 생육단계가 가장 다양하게 조절되어 백수, 탈색 및 퇴화가 동시에 일어난 유수, 퇴화유수, 땅의 엽록소가 일부 소실된 것, 백수이면서 동시에 퇴화된 개체, 부분 망탈색, 불임 등이 발생하였다. 은파밀은 불임이 많이 발생하였으나 퇴화개체는 발생하지 않았다.

저온 항온기를 이용하여 저온처리를 하였을 때 올보리는 1회 처리구에서 고사, 퇴화, 부분불임 등의 장애가 발생했으며

2회 처리에서는 식물체들의 이삭이 모두 심한 장애를 받았는데 불임이 가장 높은 비율을 차지했고 고사, 퇴화, 부분퇴화 등이 발생하였다. 강보리도 1회 처리시 고사, 부분불임 등이 발생하였고 퇴화이삭도 나타났다. 은파밀에서는 저온처리 식물체에서 줄기고사가 많이 발생하였고 퇴화와 부분퇴화도 발생하였다.

자연조건과 저온 항온기를 이용한 저온처리구의 저온장애양상을 비교하여 보면 올보리의 경우 자연조건에서 정상개체 비율이 가장 높았고 장애유형중 퇴화와 부분퇴화가 주로 나타난 반면 저온항온기를 이용한 처리에서는 고사한 개체가 가장 많았고 그 다음으로 정상개체 > 부분불임 > 퇴화 순이었다. 백수는 자연조건 이용처리에서만 발생하였다. 고사가 자연조건 처리에서 출수기에서만 일부 발생하였는데 반해 저온항온기 처리에서는 공시된 시기에서 모두 고르게 발생하여 -5°C로 조절된 저온항온기를 이용한 경우, 식물체가 받는 Stress 정도가 훨씬 컸음을 알 수 있었다. 즉, 자연조건을 이용한 처리가 처

Table 3. Differentiation of injury types induced by low temperature treatment for 48 hours in natural condition and the prograding cold treatment in chamber (wheat).

Cultivar	Injury types	Treatment*	Growth stage**					
			SDS I	SDS II	DSF	BS	HS	10DAH
Eunpamil	Normal	48 hours	100	93	100	47		29
		1 time				0	0	
		2 times				0	0	0
	Partial Sterile	48 hours		7		7	13	6
		1 time				26	33	
		2 times				76	10	100
	Partial Degeneration of awn	48 hours				9	38	
		48 hours				6	13	47
	White Spike	48 hours				6		
		48 hours				0	0	
	Partial Degeneration	1 time				2	0	0
		2 times				2	0	0
	Degeneration	48 hours				23	13	6
		1 time				2	0	
	2 times					5	0	0
48 hours								
Dead	1 time				14	29		
	2 times				2	68	0	
White spike · Degeneration	48 hours				3	25	12	
Chokwang	Normal	48 hours	87	88	64	54	-	-
	Partial Sterile	48 hours	13		13	7	-	-
	White Spike	48 hours					-	-
	Partial Degeneration	48 hours		13	36	36	-	-
	Degeneration	48 hours				4	-	-
	Dead	48 hours					-	-

*Treatment - 48 hours: treated in natural condition which was around -3 ~ -10°C of cold temperature during 48 hours

1 times: a prograding cold treatment in chamber: room temperature (20 min.) → 0°C (60 min.) → -5°C (300 min.) → 10 (60 min.)

2 times: two times treatment of a prograding cold treatment in chamber

**Growth stage - SDS: Spikelet differentiation stage, DSF: Developing stage of flower organ, BS: Booting stage, HS: Heading stage

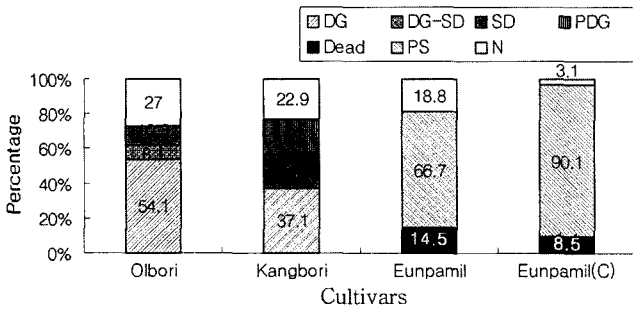


Fig. 4. Variation of injury types caused by low temperature treatment among wheat and barley cultivars in 1999. Growth stage of Olbori and Kangbori was the developing stage of flower organ, one of Eunpamil was booting stage. Eunpamil (C) is control. N: Normal, PS: Partial sterile, DG: Degeneration of spike, PDG: Partial degeneration of spike, SD: Stem discoloration.

리기간도 길고 온도변화 폭도 커서 다양한 장애증상이 관찰된 반면 저온항온기 처리에서는 저온장애가 다양하지 못하여 주로 고사만 발생하였다. 강보리는 자연조건 처리시 불임이 가장 많았고 이어 퇴화 > 고사 순이었는데 저온항온기 처리에서는 올보리와 같았다.

은파밀에서도 자연조건처리가 저온항온기 이용 저온처리보다 발생한 저온장애 종류가 많았고 자연조건처리에서 망 탈색 > 백수 > 퇴화 > 부분불임 순으로 발생한 반면 저온항온기 처리에서는 부분 불임 > 고사 > 퇴화, 부분퇴화 순으로 나타났다. 이는 짧은 항온기내에서 저온 처리되면 포장에서 저온에 경과하는 것보다는 받는 스트레스가 더 크음을 알 수 있다. 저온항온기 처리에서도 퇴화, 불임이 적지만 발생하였기 때문에 저온항온기의 처리온도를 1~2°C 정도 높여 처리하면 충분히 저온장애시험을 할 수 있을 것으로 판단되며 이를 이용한 저온장애 내성 품종 실내선발도 가능할 것으로 생각되었다. 저온항온기를 이용하는 처리는 저온장애 검정을 원하는 시기에 즉시 할 수 있는 장점이 있어 이에 대한 보다 세밀한 시험이 요구된다.

위와 같이 유수가 퇴화되어도 유수를 싸고있는 줄기에서는 아무런 저온장애증상을 볼 수 없는 경우가 많아 발생유무를 판단할 수 없었다. 보리 일부 줄기에서는 지엽이 백색으로 탈색되고 뒤틀리는 경우도 관찰되었다. 한편 유수가 퇴화한 것 중 3개(8.1%)는 3~6절간이 갈변되고 연약해지는 증상을 보였는데 그중 하나는 줄기가 고사하였으나 다른 두 개는 건전하였다. 줄기의 3~6절간이 갈변하기는 하였으나 줄기조직이 연화되지 않고 정상적인 줄기도 4개(10.8%)가 있었음이 관찰되어 줄기가 이삭보다 민감하게 저온에 반응한 것으로 볼 수 있었다.

유수가 퇴화하여 고사한 경우 줄기의 신장도 정지하였다. Fig. 5에서 보면 자연조건 이용처리시 제1절간의 감소가 가장 눈에 띄었고 올보리, 강보리는 무처리에 비해 각각 13 cm,

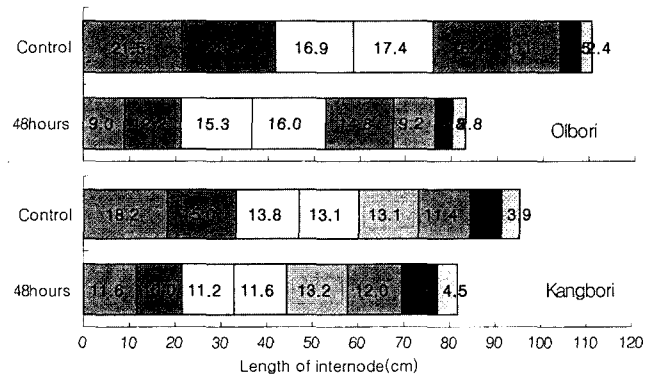


Fig. 5. Differences between control and treated plants on the length of internode of culm after low temperature treatment for 48 hours in 1998.

7 cm나 줄어들었으며 제2절간장도 각각 8, 5 cm, 3절간장은 모두 2 cm 줄었다. 올보리의 간장감소정도가 강보리보다 커 품종간 차이가 있었다. 저온장애를 받아 유수가 퇴화되었다는 증상으로 줄기의 생육정지 특히 제1절간의 신장 감소가 뚜렷하였다.

줄기의 3~6절간의 갈변(褐變)과 연화(軟化)도 수잉기와 화기 발육기에 나타나는 저온장애의 한 특징으로 꼽을 수 있었다. 저온장애의 정도가 심하면 줄기는 상해서 부러지게 되고 식물체 전체가 고사하였다.

저온장애 유발온도

자연조건에서 행한 여러 가지 저온처리시험과 저온 항온기를 이용한 저온처리시험을 총괄해서 보면 Table 4와 같다. 각 처리기간중 0°C 이하의 기온을 적산하여 보면 -16~-245°C로 다양하게 나타났고 그에 따라 식물체가 보이는 저온장애의 종류도 차이가 많았다. 불임은 0°C 이하 적산온도가 -16~-91°C 일 때 발생하였는데 이를 평균한 일 평균온도 범위는 -1.3~-7.6°C였다. 퇴화는 0°C 이하 적산온도 -26~-103°C, 0°C 이하 평균온도 -2.4~-8.6°C 범위에서 발생하였다. 식물체 고사는 0°C 이하 적산온도 -23~-245°C, 0°C 이하 평균온도 -2.4~-10.2°C 범위에서 발생하는 것으로 나타나 여러 가지 저온장애가 많이 발생한 온도 범위는 자연조건 이용시 0°C 이하 평균온도 -2.4~-3.1°C 범위이고 저온항온기 이용시 0°C 이하 평균온도는 -5°C였는데 이는 위의 -2.4~-3.1°C의 자연조건 이용시보다 온도가 낮았다. 3월 하순~4월 상순에 포장에서 문제가 되는 장애는 유수퇴화와 불임이므로 저온항온기를 이용할 경우 -2.5~-3.0°C의 온도로 처리하면 퇴화, 불임 등의 내성 검정을 실내에서 정밀한 관찰을 할 수 있을 것으로 판단된다.

이러한 온도범위는 曹 등(1983)이 보고한 동사온도 -2~-6°C, 金 등(1985a)이 제시한 저온장애온도 -3~4°C, 關根과 花房(1950), 曹 등(1983)이 제시한 -2~-6°C, 小田(1963)가 제시한 -6°C 보다 높았는데 이는 저온정도와 저온처리 유지시간과

Table 4. Cold injuries according to the degree and duration of low temperature treatment by natural condition and growth chamber.

Treatment	Temperature of treatment (°C)*	Duration of treatment (hours)	Injuries caused by cold treatment
24 hours ('99)	-1.3(-15.9)	12	Sterile
12 hours-day ('97)	-3.6(-22.6)	7	Sterile, Dead
Growth chamber 5 hours (1 time)	-5.0(-26.0)	6	Sterile, Degeneration of spike Dead
Growth chamber 5 hours (2 time)	-5.0(-52.0)	12	Sterile, Degeneration of spike Dead
48 hours-barley ('99)	-2.4(-59.0)	25	Sterile, Degeneration of spike Dead
48 hours-wheat ('99)	-2.7(-69.1)	26	Sterile, Degeneration of spike Dead
12 hours-night ('97)	-7.6(-91.1)	12	Sterile, Dead
48 hours ('98)	-3.1(-98.0)	32	White spike, Degeneration of spike, Dead
12 hours-day ('98)	-8.6(-103.4)	12	Degeneration of spike, Dead
24 hours ('97)	-4.6(-113.7)	19	Dead
12 hours-night ('98)	-11.9(-142.1)	12	Dead
48 hours ('97)	-4.9(-187.7)	39	Dead
24 hours ('98)	-10.2(-245.5)	16	Dead

*Average temperature below 0°C during cold treatment

**(:): Sum of temperature below 0°C during cold treatment

의 관계로 인한 것으로 퇴화, 불임 등의 장애증상을 보다 정밀하게 관찰하기 위해서는 -3.0°C 정도의 저온조건이 가장 중요하며 더불어 긴 저온유지시간이 장애발생에 다른 중요요인임을 알 수 있다.

저온 지속시간과 장애발생

저온장애가 가장 잘 나타난 자연조건 처리시 저온지속시간을 Table 5에서 보면 0°C 이하의 저온이 지속된 시간이 '97년에는 39시간인 것에 비해 '98, '99년에는 25~32시간으로 저온강화정도가 덜하였음을 알 수 있고 저온장애발생온도로 판단한 -3°C 이하로 내려간 시간이 저온장애가 많이 발생한 '98, '99년에 10~18시간으로 나타났다. 자연조건 처리는 저온상태로 계속 유지되는 것이 아니고 두차례에 걸쳐 반복적으로 온도변화가 이루어지는 것이라 이것이 숲 등(1985a)이 제시한 것처럼 저온이 반복되는 것이 저온장애의 발생 유무와 정도에 큰 영향을 끼치는 것으로 생각되어 자연 포장에서의 검정이 저온장애발생에 유리할 것으로 판단되었다.

저온항온기를 이용한 저온처리시험에서는 -5°C의 저온으로 5~6시간만 경과되어도 大谷(1942), 關根 & 花房(1950), 小田(1963) 등이 제시한 3~5시간 처리관련 보고와 마찬가지로 퇴화, 부분퇴화, 불임 등이 발생하여 자연조건에서 유발되는 저온장애와 갖은 효과를 내고 반복처리하면 장애가 더 잘 나타날 것으로 생각되었다.

생육정도에 따른 장애의 발생 차이

저온처리에 대한 생육시기별 반응을 보면 우선 불임은 보리, 밀 모두 수잉기에 많이 발생하고 출수기, 영화분화기 > 화기발육기 순으로 불임에 대한 반응이 생육단계와 밀접한 관계가

Table 5. Duration of low temperature (hours) according to the temperature degree during 48 hours treatment in 1997~1999.

Temperature (°C)	Duration of low temperature (hours)		
	1997	1998	1999
0	39(19+20)*	32(16+16)	25(12+13)
-1	36(19+17)	27(14+13)	20(9+11)
-2	34(18+16)	23(12+11)	12(2+10)
-3	26(16+11)	18(9+ 9)	10(0+10)
-4	24(16+ 8)	10(4+ 6)	6(0+ 6)
-5	15(12+ 5)	3(0+ 3)	1(0+ 1)

*(:): Duration of low temperature of the first 24 hours and second 24 hours.

있음을 보여 주었다.

백수는 '98년 48시간 처리시부터 발생하였는데 강보리, 올보리 모두 출수기의 식물체에서 대개 발생하였지만 밀에 있어서는 은과밀이 수잉기~출수후 10일까지 나타나 백수가 발생하는 생육단계가 출수기 전후 10일 정도일 것으로 추측되었다. 백수발생은 출수후 10일 > 출수기 > 수잉기 순으로 정도가 심하였다.

유수퇴화는 저온처리시 생육단계가 소수분화기~수잉기 범위였던 조광을 제외하고는 모두 출수기에 38~47%로 나타나 생육단계중 가장 많이 발생하였다. 이어 수잉기 > 화기발육기 > 출수후 10일 > 영화분화기 순이었다. 조광은 수잉기 > 화기발육기 > 영화분화기 순이었다.

유수 부분퇴화는 보리에 있어서 수잉기 > 출수기 순으로 발생이 많았고 특히 강보리에서는 수잉기에 21%나 발생하였다. 조광, 은과밀도 4~6%의 부분퇴화 이삭이 수잉기에 발생하여

부분퇴화는 수잉기에 많이 발생하였다.

망 탈색은 주로 밀에서 발생하였는데 특히 은과밀에서 많이 발생하여 출수기의 식물체에서 38%로 가장 많았으나 수잉기에는 9% 정도밖에 발생하지 않아 망 탈색은 출수기의 저온장해인 것으로 나타났다.

식물체고사는 '97년과 '98년의 시험(1월 24~26일)에서 영화분화기~출수기의 개체들이 모두 고사한 것으로 나타나 저온의 정도에 따라 전 생육기에 걸쳐 발생하였다. '98년 2월 2~4일 시험에서 출수기에 올보리와 강보리에서 고사율이 가장 높아 고사도 출수기에 가장 많이 발생하는 것으로 나타났다. 저온항온기 이용 저온처리시험에서는 올보리 고사율이 영화분화후기 > 화기발육기 > 영화분화 전기 순이었으나 강보리는 화기발육기 > 영화분화전기 순으로 차이를 보였다. 은과밀은 출수기 > 수잉기 순으로 고사가 발생하였다.

이는 이삭의 분화가 진전될수록 저온에 민감한 여러 부위가 분화되어 발생하는 현상으로 보이며 심한 피해를 나타내는 시기를 Paulsen 등(1995)은 개화기, 출수기라고 하였고, 金 등(1985a)은 감수분열기, 영화분화기로, 小田(1963)이 화기발육기라고 했는데 본 시험에서는 출수기, 수잉기, 화기발육기 모두에서 저온장해가 커서 외적요인(저온의 정도와 지속기간)과 내적 요인(생육정도, 경화정도, 건전생육정도)에 따라 다른 반응을 보이는 것으로 생각되었다.

본 시험에서는 보리, 밀 모두에서 수잉기가 자연조건과 저온항온기에 의한 저온처리시험에서 가장 피해가 많았던 생육단계였고 이어 출수기 > 화기발육기 > 영화분화후기 > 영화분화전기 순이었다. 이는 Paulsen 등(1995)이 밀에서 출수기, 개화기 > 화기발육기, 수잉기, 유숙기 > 분얼기 순으로 표현한 것과 차이를 보였다.

'97~'99년 3년 동안 포트시험으로 외부기온조건을 이용한 저온처리시험을 수행하였는데 시험결과 종합해 보면 유발해낸 생육장해가 망(芒) 탈색, 이삭 탈색, 백수, 이삭 부분퇴화, 이삭 퇴화, 줄기 갈변 및 연화, 절간신장 중단, 줄기고사, 불임 등의 유형으로 나눌 수 있었다. 그중 가장 많이 발생한 장해가 유수퇴화였는데 전체이삭중 26%를 차지하였고 이어 부분퇴화(21%) > 백수(18%) > 줄기고사(14%) 순 이었다. 출수기, 수잉기, 화기발육기, 영화분화기의 식물체가 모두 저온에 민감한 장해증상을 보였으며 보리, 밀 모두에서 가장 저온피해가 많았던 생육단계는 수잉기 > 출수기 > 화기발육기 > 영화분화후기 > 영화분화전기 순 이었다. 생육단계에 따라 반응양상도 달라 출수기, 수잉기였을 때 여러 종류의 장해가 발생한 반면 화기발육기와 영화분화기에 속한 유수의 장해는 상대적으로 장해 종류가 적었으며 나타난 장해 종류는 주로 고사와 불임이었다.

1. 유수장

밀에서 유수장의 신장에 저온이 영향하는 것으로 나타났는데 망 탈색시 9.0~9.8 cm, 이삭 탈색시 7.5 cm, 백수발생시

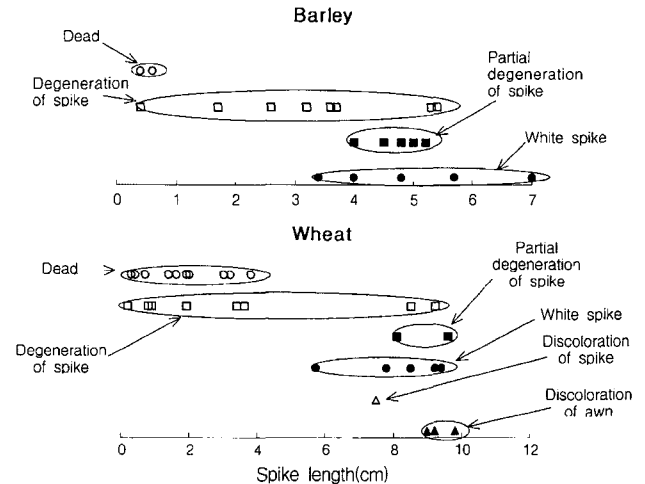


Fig. 6. Variation of spike length of barley and wheat that showed different injury symptoms by cold treated in natural condition.

5.7~9.4 cm, 이삭 퇴화시 0.2~9.2 cm, 줄기고사시 0.3~3.8 cm로 나타나, 저온이 이삭의 생육에 큰 영향을 미친 것으로 확인되었다(Fig. 6). 보리에서도 저온장해로 인해 유수장에 차이를 보여 백수가 평균 3.4~7.0 cm, 부분퇴화가 4.2~5.2 cm, 퇴화가 0.4~5.4 cm, 줄기 고사가 0.4~0.6 cm로 차이를 보였다. 이는 田島 등(1975)이 보고했던 유수장의 길이에 따른 저온장해 내성차이보고를 보다 세부적으로 확인한 성적이라 할 수 있다.

2. 제1절간장

Fig. 7에서 보면 제1절간장도 밀에서 망 탈색, 이삭 탈색, 백수, 이삭 부분퇴화, 이삭 퇴화, 줄기고사 등 장해종류에 따라 각각 평균 24.2, 17.5, 12.2, 17.0, 6.7, 0.4 cm로 차이가 심하였다. 보리에서도 백수, 부분퇴화, 퇴화, 줄기고사시 제 1절간장이 각각 8.4, 13.6, 5.5, 0.3 cm로 역시 차이를 보였다. 줄기의 저온장해 증상에 대한 보고는 일부(Poulsen et al. 1995) 있으나 간장 감소에 대한 보고는 거의 없고 田島 등(1975)이 간장이 45 cm로 크면 유수의 저온장해가 적다고 한 정도였는데 본 시험에서 저온에 의한 간장의 감소가 확인되었고 특히 제1절간장의 감소는 장해발생 여부의 지표가 될 수 있을 것이다.

3. 지엽-이삭간 거리

지엽-이삭간 거리도 망 탈색이 발생하는 경우는 줄기가 정상적으로 자라 11.5 cm였는데 비해 이삭 변색시는 1.5 cm, 백수의 경우는 -4.0 cm, 부분퇴화는 -4.2 cm, 퇴화는 -10.1 cm, 줄기고사는 -6.6 cm였다(Fig. 8). 보리도 백수 -7.4 cm, 부분퇴화 -2.5 cm, 퇴화 -9.3 cm로 차이를 보였다. 이와 같이 저온처리로 인해 발생한 장해에 대한 특징으로 지엽-이삭간 거리, 제1절간장, 유수장, 줄기의 갈변정도를 표징으로 볼 수 있을 것으로 생각되었다. 실제로 자연군락상태에서 저온의 내습으

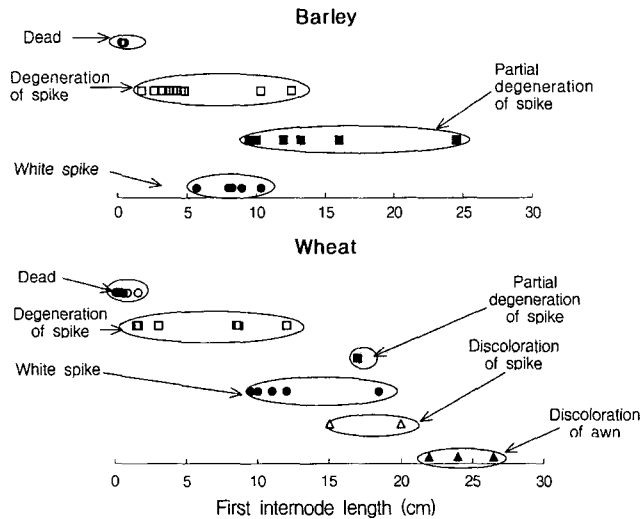


Fig. 7. Variation of first internode length of barley and wheat that showed different injury symptoms by cold treated in natural condition.

로 장애가 발생한 것으로 추정될 때, 유수장, 제1절간장, 지엽-이삭간 거리로 장애발생 정도를 예측할 수 있고 피해정도도 산정 할 수 있을 것이다.

-2.5 ~ -3.0°C의 저온조건을, 자연상태에서는 10~18시간(48시간처리), 저온항온기에서는 5~6시간 유지시켜주면 식물체의 세포내 결빙(Mohr & Schopfer 1995; Olien 1981; 趙 등 1987; 岩下 등 1971)을 유도하여, 자연상태에서 맥류 생육기간 중 발생하는 저온장애 증상을 유기해 낼 수 있을 것이다.

포장에서 관찰할 수 있는 저온장애가 많이 유발되는 생육시기로는 자연 조건시험에서 주로 수잉기로 나타났고 저온항온기를 이용한 경우는 영화분화기로 나타났는데 영화분화기(金

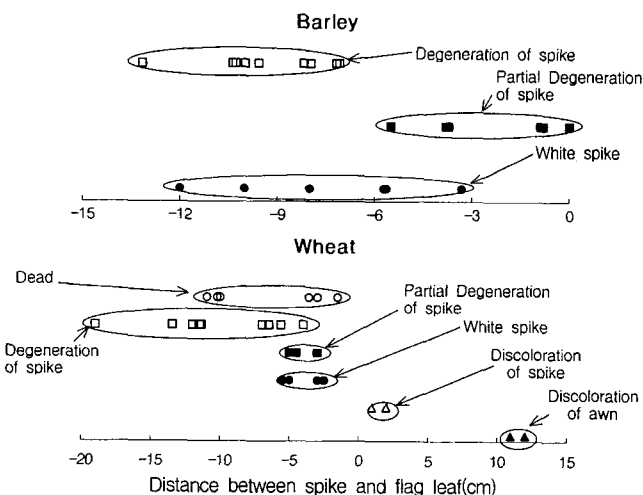


Fig. 8. Variation of spike length of barley and wheat that showed different injury symptoms by cold treated in natural condition.

등 1985a; 關根&花房 1950), 감수분열기(大谷 1942)를 가장 저온에 민감한 시기라는 보고와 일치하였다. 그중 수잉기 처리가 가장 피해가 큰 것으로 나타났으나 자연상태의 기상조건에서 보면 3월에서 4월 상순까지는 유수형성기에 해당되어 우리나라 기후조건을 감안하면 유수형성기의 저온피해가 가장 우려되고 실제로 많이 발생하고 있으므로 저온장애 검정은 영화분화기와 수잉기에 이루어져야 할 것이다.

육종재료중 저온장애 내성을 갖는 계통이나 품종을 선발하는 방법으로 자연포장상태에서 검정하는 경우가 자연상태에 가까우나 저온이 내습하지 않으면 저온장애내성 품종이나 계통의 선발은 불가능하다는 단점이 있다. 이에 반해 저온장애가 일어나는 온도를 정확히 설정한 저온 항온기를 이용, 실내시험으로 저온장애 내성 여부의 정확한 판단과 검정은 가능하나 많은 계통이나 품종을 검정하려 할 경우 대형 저온항온기를 갖추어야 하는 문제가 있다.

적 요

보리, 밀 품종의 조숙화와 온난한 겨울로 인하여 봄에 나타나는 저온장애가 최근에 자주 발생하는데 생육재생기 이후 발생하는 저온장애의 양상, 발생시기 및 증상을 구명하고자 자연조건과 저온항온기 그리고 포장의 비닐 피복을 이용한 저온처리시험을 실시한 결과를 보면 다음과 같다.

1. 저온장애중 줄기 고사는 -2.4~-10.2°C, 퇴화, 백수, 탈색 등은 -2.4~-8.6°C, 불임은 -1.3~-7.6°C의 저온에서 6~39시간 지속될 때 발생하였는데 특히 자연포장에서 많이 나타나는 저온장애는 불임과 퇴화로, 이의 유발온도는 -2.5~-3.0°C였다.

2. 보리, 밀 모두 수잉기에 불임이 많이 발생하였고 출수기, 영화분화기, 화기발육기 순으로 발생정도에 차이를 보였다. 백수는 출수 전후 10일에 주로 발생하였으며 발생정도는 출수후 10일>출수기 >수잉기 순이었다.

3. 유수퇴화는 출수기에 가장 많이 발생한 것으로 나타났고 수잉기, 화기발육기에도 많이 발생하였다. 부분퇴화도 수잉기에 많이 발생하였다. 포장에서는 영화분화기의 개체들에서도 많이 발생하였다.

4. 망 탈색은 주로 밀에서 발생하였는데 수잉기에 일부 발생하긴 했으나 출수기의 식물체에서 대부분이 발생하여 출수기에 주로 나타나는 장애라 할 수 있었다. 식물체 고사는 전 생육기에 걸쳐 발생하였고 가장 심한 피해는 출수기 >수잉기 >영화분화기 > 화기 발육기 순으로 발생한 것으로 나타났다.

5. 저온장애 발생지표로 유수장, 제1절간장, 지엽-이삭간 거리가 유용하였다. 유수장이 밀에서는 망 탈색시 9.0~9.8 cm, 이삭 탈색시 7.5 cm, 백수발생시 5.7~9.4 cm, 이삭 퇴화시 0.2~9.2 cm, 줄기 고사시 0.3~3.8 cm로 나타났고 보리에서는 백수발생시 평균 3.4~7.0 cm, 부분퇴화가 4.2~5.2 cm, 퇴화가 0.4~5.4 cm, 줄기 고사가 0.4~0.6 cm로 차이를 보였다. 제 1절

간장은 보리, 밀 각각 0.3~8.4 cm, 0.2~24.2 cm로 신장정도에
서 저온에 따른 변이를 보였고, 지엽-이삭간 거리도 보리
-2.5 ~ -7.4 cm, 밀 -0.6~11.5 cm로 신장정도에 차이가 컸다.

인용문헌

- 趙載英, 金基駿, 李殷雄. 1983. 三訂 田作. 향문사. pp. 39-41, 46-48.
- 趙載英, 尹象鉉, 李殷雄. 1987. 栽培學原論. 향문사. pp. 187-197.
- 曹章煥, 河龍雄, 李殷燮, 李正日. 1982. 冬作物의 氣象災害와 그 對策. 韓作誌 27(4) : 411-434.
- 曹章煥, 河龍雄, 朴文雄, 安完植, 南重鉉, 成炳列. 1979. 秋播栽培條件下에서 麥類의 播性消去 限界期에 關한 研究. 趙載英回甲紀念論文集 pp. 63-69.
- 曹章煥, 河龍雄, 申萬均, 朴武彥, 尹儀炳, 南潤一, 柳用煥, 金石東. 1983. 麥類의 幼穗分化 調査基準 및 管理要領. 農村振興廳. pp. 6-15.
- 田島克己, 佐藤曉子, 池永昇. 1975. 麥類의 凍霜害對應技術에 關する 研究. 6. 幼穗長及び低溫의 程度와 幼穗凍死率との 關係. 日作紀 (別號) pp. 191-192.
- 戶田正行. 1966. 小麥의 冷害에 關する 研究. 第7報 障害型冷害による 不稔의 早期發見法와 被害防止法에 關하여. 日作紀 35: 48-53.
- 岩下友記, 岡正, 太田敏雄. 1971. 栽培의 ための 作物生理. pp. 97-107.
- 郭炳華, 任炳彬, 孫膺龍, 金容旭. 1983. 삼정 식물생리학. 향문사. pp. 266-269.
- 金石東, 權容雄, 朴武彥, 河龍雄. 1985a. 低溫이 麥類의 不妊, 花粉活力 및 收量性에 미치는 影響. 農試論文集(作物) 27(2) : 114-119.
- Levitt, J. 1980. Responses of plants to environmental stresses V.2 Water, radiation, salt and other stress. pp. 10-13.
- Mohr, H., D. Schoper. 1995. Plant Physiology. pp. 546-551.
- 南潤一, 河龍雄, 高田寬之. 1983. 麥類의 分蘖別 生育相 및 生産能力의 變異에 關한 研究. 韓作誌 28(4) : 439-444.
- 南潤一, 延圭復, 具本哲. 1989. 麥類의 寒害와 耐凍性에 關하여. 韓作誌 34(별책) : pp. 96-114.
- 農村振興廳. 1994. 麥類 新品種 地方適應連絡試驗報告書. pp. 83-84.
- 農村振興廳. 1998a. 作物 栽培生理의 理論과 實驗. pp. 748-763.
- 農村振興廳. 1998b. 主要 農作物 氣象災害 輕減技術. pp. 161-273.
- 小田奎三郎. 1963. 作物大系 第2編 麥の生理生態. pp. 1-104. 養賢堂.
- 大谷義雄. 1942. 春季に 於ける 麥類의 凍害(II). 農業の園藝. 17(4) : 417-425.
- Olien, C. R. 1981. Analysis of mid winter freezing stress. pp. 35-59.
- 박석홍, 이문희. 1995. 벼의 冷害生理學. 작물시험장. pp. 150-240.
- Paulsen, G. M., E. Mikesell, and J. P. Shroyer. 1995. Spring freeze injury to Kansas wheat. Kansas state university. C-646. pp. 1-12.
- 關根清藏, 花房堯士. 1950. 暖冬に依り 早期出穂せる 裸麥의 被害에 關하여. 農業 技術 5(5) : 35-41.
- 氣象廳. 1970-1999. 水原氣象旬報.