

## 국내 육성 2조 겉보리 변색 종실에서의 곰팡이 분포와 품종 저항성

신상현<sup>1</sup> · 서은조<sup>2</sup> · 강천식<sup>1</sup> · 최재성<sup>1</sup> · 이정관<sup>3</sup> · 박종철<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>전북대학교 농생물학과, <sup>2</sup>국립식량과학원 벼맥류부, <sup>3</sup>동아대학교 응용생물학과

### Fungal Distribution and Varieties Resistance to Kernel Discoloration in Korean Two-rowed Barley

Sang-Hyun Shin<sup>1</sup>, Eun-Jo Seo<sup>2</sup>, Jae-Seong Choi<sup>1</sup>, Chun-Sik Kang<sup>1</sup>,  
JungKwan Lee<sup>3</sup> and Jong-Chul Park<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Agricultural Biology, Chonbuk National University, JeonJu 561-756, Korea

<sup>2</sup>Department of Rice and Winter Cereal Crop, National Institute of Crop Science, Iksan 570-080, Korea

<sup>3</sup>Department of Applied Biology, Dong-A University, Busan 604-714, Korea

(Received on April 15, 2013; Revised on August 12, 2013; Accepted on August 13, 2013)

Barley kernel discoloration (KD) leads to substantial loss in value through downgrading and discounting of malting barley. The objective of this research is to investigate fungal distribution and varieties resistance to KD in Korean two-rowed barley. Several fungal organisms including *Alternaria* spp., *Fusarium* spp., *Aspergillus* spp., *Epicoccum* spp. and *Rhizopus* spp. were isolated from Korean two-rowed barley representing KD. The symptoms of KD were brown and black discolorations of the lemma and palea. The most frequently detected fungal species was *Alternaria* spp. which exhibited 69.1% and 72.2% in 2011 and 2012, respectively. *Epicoccum* spp., *Fusarium* spp., and *Aspergillus* spp. were also detected. *Fusarium* spp., primary pathogen of barley head blight, were rarely occurred in the 2011 and their occurrence increased to 4.7% in 2012. Twenty cultivars of Korean two-rowed barley were evaluated to KD. The average percentage of KD was 8.0-36.0% in 2011 and 5.2-36.6% in 2012. Two cultivars ('Sacheon 6' and 'Dajinbori') showed KD of 6.2% to 8.8% and determined resistant, however 'Samdobori' and 'Daeyeongbori' demonstrating KD of 22.2-36.6% were highly susceptible. 'Jinyangbori', 'Danwonbori', 'Sinhobori' and 'Kwangmaegbori' showing KD of less than 15% were moderately resistant cultivar.

**Keywords :** Barley, Fungi, Kernel discoloration, Resistance

## 서론

곡류 재배와 품질에 있어 종실의 색택은 품질을 결정하는 일차적인 중요한 요인이 된다. 국내는 물론 세계적으로 원맥의 생산 단계에서 부터 종실의 고유 색택 유지 는 품질 등급 구분의 중요한 요인이 된다(Hudec, 2007; Son 등, 2002). 특히, 세계적으로 맥주용으로 이용되는 2조 겉보리에서 종실 색택은 농가의 수매에서부터 맥주 양조 까지 중요한 품질 요인 중의 하나로 알려져 있으며(Miles

등, 1987), 종실 변색이 심한 경우는 사료용으로 처리되 기도 한다(Mathre, 1997). 종실의 변색은 등숙 과정 중 기상 조건 등에 따라 흑갈색으로부터 검은색까지 다양한 색 을 나타내게 된다(Mathre, 1997). 종실 변색 관련 균의 감염은 종자 성숙 전과 후 상대 습도와 상관성이 있으나, 기상과 병 발생의 관계는 균의 단독 또는 복합 감염 등의 원인으로 복잡하게 영향을 받게 된다(Doohan 등, 1998).

국외의 경우 포장에서 종실 변색과 관련 균은 *Alternaria* spp., *Cladsporium* spp.과 *Fusarium* spp. 등 주로 곰팡이가 관여하며(Andersen 등, 1996; Christensen과 Kaufmann, 1969; Hudec, 2007; Medina 등, 2006), 세균에 의한 보고 (Peters 등, 1983)도 있다. 특히, *Fusarium* spp.은 전 세계적으로 맥류의 붉은곰팡이병을 일으키며 수량 감소 피해

\*Corresponding author

Phone) +82-63-840-2243, Fax) +82-63-840-2116

Email) pacc43@korea.kr

를 주게 될 뿐만 아니라 품질에도 영향을 주는 것으로 알려져 있는 중요한 종실 병해 중의 하나이다. 이들 종자 변색 관련 균은 생산자의 경제적 피해와 종자의 발아를 저해시키며, 특히 맥주용의 경우 맥아 제조 가공과정에서 품질에 영향을 미치는 것으로 일반적으로 알려져 있다 (Rabie 등, 1997). 또한 종자 전염성병의 일차 원인으로 작물 재배에 피해를 주기도 한다(Doohan 등, 2003).

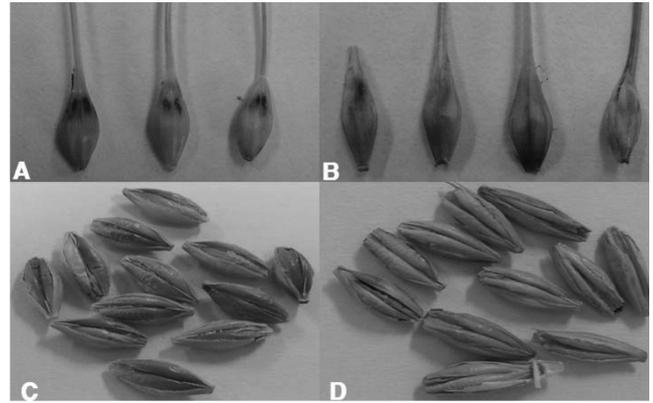
최근 맥류 재배지에서 출수기와 수확기경 잦은 강우와 저온 등 이상 기상 발생에 따라 수확기 종실의 변색 발생이 증가하는 경향이다. 이들 종실 변색에는 수확기 기상 조건이 가장 영향을 미치는 것으로 일반적으로 알려져 있으며, 품종별 저항성 정도가 다르다는 보고도 있다 (Singh 등, 1995). 국내의 맥주용 보리는 주로 수량성에 치중하여 육성되어 왔으며, 품질 증진을 위한 종실의 변색의 발생과 관련 균의 분포 등에 대한 보고는 미흡한 실정이다. 또한, 종실 변색에 대한 품종의 저항성에 대한 연구는 되어 있지 않다. 이에 따라 본 시험에서는 국내 종실 변색에 주로 관여하는 곰팡이의 분포와 품종의 저항성 정도를 조사하여 국내 보리의 원맥 품질 증진을 위한 자료로 활용하고자 시험을 수행하였다.

## 재료 및 방법

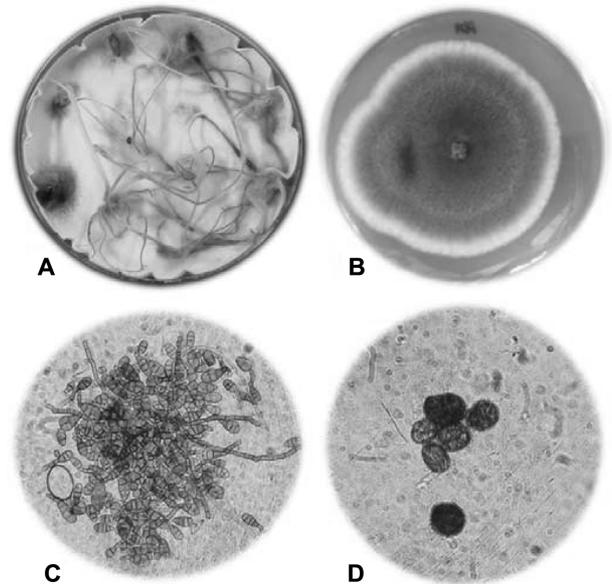
**시험재료.** 국내에서 맥주용으로 육성된 2조 겉보리 20 품종을 이용하여 종실 변색 및 관련 곰팡이의 분포, 종자 등숙 시기에 따른 종실 변색을 변화와 품종별 변색 저항성 정도를 조사하였다. 파종은 2010년과 2011년 전북(익산) 지역의 보리 파종 적기인 10월 25일경에 추파하였다. 파종량은 표준 파종량에 따라 140 kg/ha 기준으로 하였으며, 전작 조건에서 40×18 cm의 휴폭×파폭으로 줄뿌림 파종 하였다. 이후 추비 등 재배 관리는 농촌진흥청 표준재배 관리 기술에 따라 수행하였다.

**변색 종실로부터 곰팡이의 분리.** 변색 종실의 곰팡이의 분포는 수확기에 종자를 채집하여 품종별로 변색 증상을 보이는 종실을 가려내어 조사하였다. 종실 변색 증상이 조금씩이라도 다른 각각의 종실 약 200립에서 곰팡이를 분리하였다. 종실 변색은 크게 흑갈색이나 붉은색 계통의 반점이나 변색 증상으로 나타났다. 이 변색은 종실에서 끝 부분에 반점 형태나 전체적으로 번져 있는 형태를 보였다(Fig. 1).

이들 변색 증상을 보이는 종실들을 70% 알코올에 1분 동안 표면 소독한 후 멸균 증류수로 세척한 후 수분을 제거하고 멸균 증류수가 포함된 여과지에 치상한 후 25°C에서 5-7일간 배양하면서 발생 곰팡이를 각각 분리하였



**Fig. 1.** Isolation and types of discolored grains. (A) and (B) blackish color of spot and spreading shapes on the grain, (C) and (D) pinkish spot/spreading types and blackish spot with shrivelled kernels, respectively.



**Fig. 2.** Isolation of the fungi related to kernel discoloration in two-rowed Korean barley. (A) Identification of the fungi based on their cultural and morphological characteristics. (B) and (C) are growth and spores of *Alternaria* sp. and (D) showed spores of *Epicoccum* sp. (×400), respectively.

다. 분리된 각각의 곰팡이는 potato dextrose agar 배지에서 재배양 하였다. 재배양된 곰팡이는 1차적으로 배지상에서 비슷한 생육 형태와 색소 형성을 보이는 균주들을 그룹화 하였다. 각각의 그룹에서 2-5종의 대표 균주를 2차 분리하여 Warham 등(1997)의 방법에 따라 배지상에서의 생육 특성, 색소, 포자 형태 등 배양 특성을 조사하여 분류, 동정하였다(Fig. 2).

**시기별 종실 변색을 변화 및 품종의 저항성 조사.** 등

숙 시기에 따른 종실 변색율의 변화를 조사하였다. 종실의 등숙 시작기인 유숙기와 종실 형성의 마지막 단계인 수확기에 품종 당 20이삭(약 480립)을 무작위로 채집하여 변색 증상을 보이는 종실 수를 조사하였다. 종실 변색율은 전체 종실 수에 대한 변색립의 수에 대한 비율로 계산하였다. 품종별 종실 변색율은 2011년과 2012년 동일하게 유숙기와 수확기에 조사하였다. 품종별 저항성 정도는 수확기의 변색율 차이를 R(2.15.1, Windows) 통계분석 프로그램을 이용하여 검정하였다.

### 결과 및 고찰

**수확기 종실 균의 분포.** 수확기 2조 겉보리에서의 변색 종실에서 곰팡이를 분리하여 배지상에서의 생육, 색소 형성 균사 생장, 포자 형성 등의 형태적 특성을 검정한 결과 *Alternaria* spp., *Fusarium* spp., *Aspergillus* spp., *Epicoccum* spp.과 *Rhizopus* spp. 등으로 확인되었다(Table 1).

수확기에 이들 곰팡이의 분포 비율을 조사한 결과 1, 2차년도 조사에서 *Alternaria* spp.이 가장 높은 분리율을 보였다. *Alternaria* spp.은 각 조사연도에 평균 69.1%와 72.2%의 분리율로 다른 곰팡이에 비해 높은 발생을 보였다. 다음으로는 *Epicoccum* spp.과 *Fusarium* spp.과 *Aspergillus* spp.가 연차 간 차이를 보이며 발생하는 것으로 조사되었다. 특히, 붉은곰팡이병의 주 원인인 *Fusarium* spp.은 2011년에 남부지역에서 많은 발생으로 수량과 발아에서 큰 피해를 주었는데, 본 시험에서는 2011년도에도 거의 발생을 하지 않았으며 2012년에도 4.7%로 적은 발생을 보였다.

이는 출수기경 지역 간의 기상조건 차이와 본 시험 재료인 2조 겉보리의 두 줄로 형성되는 이삭의 형태적 차이로 밀이나 6조 보리에 비해 발생이 적은 것으로 보인다. Choo 등(2004)도 2조 보리에서 6조에 비해 붉은곰팡이병 독소 생성에 저항성인 결과를 보고하였다. 본 시험의 결과로 볼 때 겉보리가 주로 이용되는 보리차나 엿기름, 맥주 등의 원료로서 2조 보리를 이용하는 것이 붉은곰팡이병의 피해 예방에 도움을 줄 수 있을 것으로 생각된다. 본 시험 결과 2조 겉보리 종실 변색은 출수기경 감

염되는 *Fusarium* spp.보다는 등숙기의 *Alternaria* spp. 오염이 더 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. 그러나 붉은곰팡이병의 발생은 수량과 독성면에서 큰 피해를 주기 때문에 *Fusarium* spp.에 대한 방제와 저항성 품종 육성에 대한 연구는 더욱 확대가 필요할 것으로 생각된다.

보리 종실의 곰팡이 감염은 성숙기 전후의 습도와 관련(Mathre, 1997)이 있는 것으로 알려져 있으며, 곰팡이의 감염에 대한 품종의 저항성은 온도나 습도 등에 직접적으로 영향을 받게 된다(Conrath 등, 2002). 본 시험 결과의 연차 간 *Fusarium* spp.과 *Epicoccum* spp.의 발생 차이도 기상 조건의 변화에 의한 것으로 나타났다. *Alternaria* spp.은 최근까지도 외국의 맥주용 보리 종실에서 가장 우점하거나 다량 발생하는 곰팡이로 보고되어 있다(Andersen 등, 1996; Hudec, 2007; Medina 등, 2006). 본 시험 결과에서도 국내 육성 맥주용 2조 보리의 종실 변색이 *Alternaria* spp.에 의해 가장 크게 영향을 받는 것으로 나타났다. *Alternaria* spp.은 부생성이 강한 곰팡이로서 식물체나 유기 잔재물에서 쉽게 검출되는 균으로 수량이나 품질에 영향을 미치기도 하지만 Alternariol(AOH)과 같은 독소를 분비하는 것으로 알려져(Scott, 2001) 있어 안전성면에서 이들 독소 피해나 방제에 대한 연구도 필요할 것으로 생각된다.

한편, 종실 변색과 곰팡이의 감염은 수량, 종자의 발아세와 발아정도와 맥주제조에 있어 단백질, 맥즙의 맛과 양이 변화 등에 따라 맥아 품질에 영향을 주는 보고(Mathre, 1997)와 국내 맥주용 보리에 대해 인위적으로 종실변색을 증가시키는 조건에서 발아나 맥아 품질에 유의적인 차이가 없는 것으로도 보고되어 있어(Kim과 Ju, 1984) 종실 변색과 품질의 변화에 대한 정밀한 조사가 더욱 필요할 것으로 보인다.

**등숙 시기별 종실 변색율 변화와 품종의 저항성.** 2011년과 2012년 유숙기와 수확기에 품종별 종실 변색율을 조사하였다. 전체 품종의 평균 변색율은 1, 2차년도 조사에서 유숙기에는 1.2%와 0.7%, 수확기 평균 변색율은 19.9%와 13.2%로 6.7%의 차이를 보였으며, 2011년도에 높은 경향으로 연차 간에 차이를 나타내었다(Table 2). 종실의 변색율은 수확기로 가면서 높아지는 경향이었으며, 유숙기에 발생이 많은 경우 수확기에도 높은 결과를 보

**Table 1.** Distribution of fungi isolated from Korean two-rowed covered barley showing kernel discoloration in two years (2011–2012)

Year	Fungal isolation rate (%)				
	<i>Alternaria</i> spp.	<i>Fusarium</i> spp.	<i>Aspergillus</i> spp.	<i>Epicoccum</i> spp.	<i>Rhizopus</i> spp.
2011	69.1	0.1	0.2	0	3.3
2012	72.2	4.7	0.0	15.6	0.1

**Table 2.** Kernel discoloration ratio of the Korean barley cultivars at the grain maturation periods

Cultivar	Kernel discoloration ratio <sup>a</sup>		Kernel discoloration ratio	
	(% , 2011)		(% , 2012)	
	Milky stage	Harvest time	Milky stage	Harvest time
Sacheon 6	1.0	8.0	1.2	8.8
Doosan 8	3.7	17.0	1.0	12.9
Doosan 29	0.9	19.0	0.0	7.9
Jinkwangbori	1.7	21.0	1.1	11.4
Jejubori	0.0	34.0	0.0	11.0
Samdobori	0.8	36.0	1.6	22.2
Jinyangbori	1.0	15.0	0.8	8.9
Namhyangbori	0.0	21.0	0.0	17.6
Danweonbori	0.0	15.0	0.3	13.5
Iljinbori	0.0	24.0	0.2	14.6
Shinhobori	4.4	13.0	2.1	7.4
Daeyoungbori	1.2	23.0	2.6	36.6
Daeabori	2.1	23.0	0.0	8.1
Hopumbori	1.0	21.0	0.9	16.6
Dajinbori	0.0	8.0	0.0	6.2
Oreumbori	0.0	18.0	0.0	24.0
Dahobori	0.0	19.0	1.2	9.2
Baeghobori	5.1	27.0	0.0	5.2
Maeghyangbori	0.0	21.0	0.8	15.9
Gwangmaegbori	0.0	15.0	0.0	5.7
Mean	1.2	19.9	0.7	13.2
LSD <sup>b</sup> (1%)	-	3.72**	-	1.28**

<sup>a</sup>Kernel discoloration ratio measured by percentage of discoloration kernel among 480 grains in each cultivar.

<sup>b</sup>LSD means significant differences of kernel discoloration between the cultivars in each year.

였다. 보리 종실의 곰팡이 감염은 성숙기 전후의 습도와 관련(Mathre, 1997)이 있는 것으로 알려져 있다. 본 시험 결과에서도 종실 등숙 초기 변색이 후기 종실의 선택 변화까지도 영향을 주는 것으로 나타났다. 품종에 따라라도 종실 변색율이 차이를 보였다. 1차와 2차 연도 조사 결과에서 모두 수확기의 종실 변색율은 유의적인 차이가 있어, 품종 간에 종실 변색에 대한 저항성이 다른 것으로 조사되었다. 품종 간 변색율은 1차년도는 8.0–36.0%, 2차년도에는 5.2–36.6%로 연차 간 변이보다 품종 간 변화가 더 크게 조사되었다. 품종들 간에 연차간의 종실 변색율을 조사한 결과 많은 품종에서 큰 차이를 보였다. 품종의 종실 변색이나 곰팡이성 병에 대한 저항성은 품종과 기

상 그리고 연차 간에 의해 변이가 심하게 나타나게 되어, 품종별 저항성 정도는 기상 조건에 의해 크게 영향을 받게 된다(Fernandez 등, 2000; Wilcoxson 등, 1980). 본 시험에서도 많은 품종에서 연차 간 저항성 정도가 차이를 보였는데, 이는 기상 조건의 영향으로 생각된다.

시험 품종 중 ‘사천 6호’와 ‘다진보리’ 2품종이 다른 품종들과 달리 연차 간에 큰 변이 없이 6.2–8.8% 범위로 10%미만의 안정적인 저항성을 보였다. 반면, ‘삼도보리’와 ‘대영보리’는 22.2–36.6% 범위로 높은 변색율로 감수성인 특성으로 조사되었다. 그 외, ‘진양보리’, ‘단원보리’, ‘신호보리’, ‘광맥보리’등 4품종은 15% 미만의 중도 저항성을 보였다.

곰팡이 관련 종실변색에 대한 품종별 저항성 정도는 기상 조건에 영향을 받기도 하지만, 보리에서 *Biopolaris sorokina*이나 *Helminthosporium head blight*에 의한 종실 변색 저항성은 유전적인 품종 고유의 특성에 의한 것으로 보고(Bantari 등, 1975; Wilcoxson 등, 1980)되어 있다. 본 결과에서 ‘사천 6호’와 ‘다진보리’ 두 품종은 연차 간에 변이 없이 안정적인 저항성을 보였는데, 이는 품종들이 국내 2조 겉보리에 발생하는 *Alternaria* spp.의 감염에 대해 저항성을 가지고 있는 결과로 생각된다. 앞으로 6조 형태의 보리나 밀에 대한 종실 변색 관련 곰팡이의 분포나 저항성 검정에 대한 연구도 필요할 것으로 생각된다.

본 시험 결과 국내 육성 2조 겉보리의 품종들 간에 수확기 *Alternaria* spp.에 대한 종실 변색에 대한 저항성 차이가 있었으며, 이를 이용한 종실 변색과 관련한 기작 구명과 저항성 품종 개발의 자원으로도 활용이 가능할 것으로 나타났다.

## 요 약

국내 육성 2조 겉보리의 변색 종실의 곰팡이 분포와 품종의 저항성을 조사하였다. 변색 증상은 종실에 붉은색 반점, 흑갈색 반점, 타원형의 반점 등이 조사되었다. 이들 변색 종실의 곰팡이를 분리한 결과 *Alternaria* spp., *Fusarium* spp., *Aspergillus* spp., *Epicoccum* spp.과 *Rhizopus* spp. 등으로 확인되었다. 수확기에 이들 곰팡이 분포 비율을 조사한 결과 1, 2차년도 조사에서 *Alternaria* spp.이 평균 69.1%와 72.2%로 가장 많이 검출되었고, *Epicoccum* spp., *Fusarium* spp.와 *Aspergillus* spp.가 연차 간 차이를 보이며 발생하는 것으로 조사되었다. 특히, 붉은곰팡이병의 주 원인균인 *Fusarium* spp.은 2011년도에도 거의 발생을 하지 않았으며 2012년에는 4.7%로 적은 발생을 보였다. 품종별 종실 변색에 대한 저항성 정도를 조사하였

다. 수확기 전체 품종의 평균 변색율은 19.9–13.2%로 연차 간 6.7%의 차이를 나타내었다. 품종 간 변색율은 1차년도는 8.0–36.0%, 2차년도에는 5.2–36.6%로 연차 간 변이보다 품종 간 변화가 더 크게 조사되었다. ‘사천 6호’와 ‘다진보리’ 2품종은 연차 간에 큰 변이 없이 6.2–8.8% 범위로 안정적인 저항성을 보인 반면, ‘삼도보리’와 ‘대영보리’는 22.2–36.6% 범위로 높은 변색율을 보였다. 그 외, ‘진양보리’, ‘단원보리’, ‘신호보리’, ‘광맥보리’ 등 4품종은 15% 미만의 중도 저항성을 보였다.

## References

- Andersen, B., Thrane, U., Svendsen, A. and Rasmussen, I. A. 1996. Associated field mycobiota on malt barley. *Can. J. Bot.* 74: 854–858.
- Banttari, E. E., Anderson, W. H. and Ramusson, D. C. 1975. Helminthosporium head blight resistance in six row spring barleys. *Plant Dis. Rep.* 59: 274–277.
- Choo, T. M., Vigier, B., Shen, Q. Q., Martin, R. A., Ho, K. M. and Savard, M. 2004. Barley traits associated with resistance to Fusarium head blight and deoxynivalenol accumulation. *Phytopathology* 94: 1145–1150.
- Christensen, C. M. and Kaufmann, H. H. 1969. Grain Storage: The Role of Fungi in Quality Loss. University of Minnesota Press, Minneapolis, MN.
- Conrath, U., Pieterse, C. M. J. and Mauch-Mani, B. 2002. Priming in plant-pathogen interactions. *Trends Plant Sci.* 7: 210–216.
- Doohan, F. M., Brennan, J. and Cooke, B. M. 2003. Influence of climatic factors on *Fusarium* species pathogenic to cereals. *Eur. J. Plant Pathol.* 109: 755–768.
- Doohan, F. M., Parry, D. W., Jenkinson, P. and Nicholson, P. 1998. The use of species-specific PCR-based assays to analyse Fusarium ear blight of wheat. *Plant Pathol.* 47: 197–205.
- Fernandez, M. R., Clarke, J. M., DePauw, R. M., Irvine, R. B. and Knox, R. E. 2000. Black point reaction of durum and common wheat cultivars grown under irrigation in southern Saskatchewan. *Plant Dis.* 84: 892–894.
- Hudec, K. 2007. Influence of harvest date and geographical location on kernel symptoms, fungal infestation and embryo viability of malting barley. *Int. J. Food Microbiol.* 113: 125–132.
- Kim, K. J. and Ju, H. G. 1984. Malting quality differences of Korean cultivars affected by the kernel development and changes of grain color. *Korean J. Breed.* 16: 53–61. (In Korean)
- Mathre, D. E. 1997. Compendium of Barley Disease. 2nd ed. APS Press, St. Paul, Minnesota, USA. 90 pp.
- Medina, Á., Valle-Algarra, F. M., Mateo, R., Gimeno-Adelantado, J. V., Mateo, F. and Jiménez, M. 2006. Survey of the mycobiota of Spanish malting barley and evaluation of the mycotoxin producing potential of species of *Alternaria*, *Aspergillus* and *Fusarium*. *Int. J. Food Microbiol.* 108: 196–203.
- Miles, M. R., Wilcoxson, R. D., Rasmusson, D. C., Wiersma, J. and Warnes, D. 1987. Influence of genotype and environment on kernel discoloration of midwestern malting barley. *Plant Dis.* 71: 500–504.
- Peters, R. A., Timian, R. G. and Wesenberg, P. 1983. A bacterial kernel spot of barley caused by *Pseudomonas syringae* pv. *syringae*. *Plant Dis.* 67: 435–438.
- Rabie, C. J., Lubben, A., Marais, G. J. and Van Vuuren, H. J. 1997. Enumeration of fungi in barely. *Int. J. Food Microbiol.* 35: 117–127.
- Scott, P. M. 2001. Analysis of agricultural commodities and goods for *Alternaria* mycotoxins. *J. AOAC Int.* 84: 1809–1817.
- Singh, R. P., Ma, H. and Rajaram, S. 1995. Genetic analysis of resistance to scab in the spring wheat cultivar Frontana. *Plant Dis.* 79: 238–240.
- Son, Y. K., Suh, S. J., Baek, S. B., Lee, C. W., Park, M. W. and Han, S. I. 2002. Current status and prospect of quality evaluation in malting barley. *Korean J. Crop Sci.* 47: 55–62. (In Korean)
- Warham, E. J., Butler, L. D. and Sutton, B. C. 1997. Seed Testing of Maize and Wheat: A Laboratory Guide. International Maize and Wheat Improvement Centre, Mexico. 84 pp.
- Wilcoxson, R. D., Ramusson, D. C., Banttari, E. E. and Johnson, D. A. 1980. Feasibility of selecting for resistance to kernel discoloration in barley. *Plant Dis.* 64: 928–930.