pISSN 1229-1153 / eISSN 2465-9223 *J. Food Hyg. Saf.*
Vol. 32, No. 4, pp. 321~328 (2017)
https://doi.org/10.13103/JFHS.2017.32.4.321

Journal of Food Hygiene and Safety
Available online at http://www.foodhygiene.or.kr

겉보리의 저장온도와 수분함량이 붉은곰팡이병균과 곰팡이독소 오염에 미치는 영향

함현희* · 이경아 · 이데레사 · 한상현 · 홍성기 · 이수형 · 류재기
국립농업과학원 농산물안전성부 유해생물팀

Effects of Storage Temperature and Grain Moisture Content on the Contaminaton of *Fusarium* and Fusariotoxin in Hulled Barley Grains

Hyeonheui Ham*, Kyung Ah Lee, Theresa Lee, Sanghyun Han, Sung Kee Hong, Soohyung Lee, and Jae-Gee Ryu
Microbial Safety Team, Agro-Food Safety & Crop Protection Department, National Institute of Agricultural Sciences (NAS), Wanju, Korea
(Received May 17, 2017/Revised June 10, 2017/Accepted July 5, 2017)

ABSTRACT - *Fusarium graminearum* is a mycotoxigenic plant pathogen, which could remain in harvested barley grains and produces mycotoxins at preferable conditions during storage. To elucidate the factors affecting contamination of *Fusarium* and Fusariotoxin in hulled barley during storage, three hulled barley grain samples were collected from Jeolla province. Moisture content of each sample was adjusted to 14% and 20%, respectively, then stored in two warehouses where temperature was controlled differently: one controlled below 12°C, and the other with no control. While monitoring temperature and relative humidity of warehouses hourly, grain moisture content, *Fusarium* occurrence, and mycotoxin level was analyzed at 1, 3, 6, and 12 month after storage. The average monthly temperature and relative humidity ranged 3~29°C, and 58~70% in warehouse without temperature control, whereas 3~13°C and 62~74% in warehouse controlled below 12°C. Grain moisture content of the samples decreased in both warehouses except 14% samples which increased in the warehouse with temperature control. *Fusarium* frequency of the contaminated grains decreased continuously in the warehouse without temperature control. But in the warehouse below 12°C, *Fusarium* decreasing rate was slower because of high grain moisture content. In most samples, nivalenol was detected more in the warehouse without temperature control after 12 month but there was little difference after 1, 3, and 6 month. Therefore, it will be efficient to store hulled barley in the warehouse controlled below 12°C to reduce *Fusarium* contamination when the barley is not dried properly. In addition, when storage period exceeds 12 month, it is recommended to store hulled barley in a warehouse controlled below 12°C to reduce nivalenol contamination.

Key words : Hulled Barley, Storage Temperature, Moisture Content, *Fusarium*, Mycotoxin

곰팡이독소는 곰팡이가 생성하는 2차대사산물로 인축에 독성을 나타내고, 열에 안정하여 잘 파괴되지 않으며, 지금까지 400여종이 보고되어 있다. 이 중 데옥시니발레놀(deoxynivalenol, DON)과 니발레놀(nivalenol, NIV)은 보리, 밀, 쌀 등에서 붉은곰팡이병균(*Fusarium graminearum, F. asiaticum* 등)이 작물의 생육기, 특히 개화기에 감염된 이후 주로 오염된다. 사람이나 동물이 DON이나 NIV에 오염된 곡물을 섭취할 경우 어지럼증, 구토, 설사, 두통, 열 등이 발생할 수 있으며 NIV의 독성이 DON 보다 더 강한 것으로 알려져 있다[1,2].

곰팡이독소는 곡물의 겉껍질에 주로 축적되기 때문에 보리의 경우 쌀보리보다 겉보리에 오염량이 더 많을 수 있다[3,4]. 특히 겉보리는 보리차 또는 엿기름을 만들 때 이용되며, 이 때 겉껍질을 그대로 이용하기 때문에 비교적 곰팡이독소 오염에 노출되기 쉽다. 보리는 일반적으로 9월 하순~11월 중순(추파성 품종) 또는 2월 중순~3월 중순(춘파성 품종)에 파종하여 재배하고, 5월 하순~6월 중순경 비가오지 않는 날 수확하며, 그 후 수분함량을 14% 이하로 건조하여 저장하였다가 가공 및 포장하여 판매하게 된다[5]. 이때 수확 후 불충분한 건조 및 저장 중 부적절한 온·습도 관리로 곰팡이와 곰팡이독소의 오염이 증가할 수 있다.

*Correspondence to: Hyeonheui Ham, Microbial Safety Team, Agro-Food Safety & Crop Protection Department, National Institute of Agricultural Sciences (NAS), Wanju 55365, Korea
Tel: 82-63-238-3399, Fax:82-63-238-3840
E-mail: hhham@korea.kr

수확 후 보리에서는 *Fusarium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Alternaria*속 등의 독소생성 곰팡이들이 주로 발견되며 이들은 보리에 DON, NIV, 아플라톡신(aflatoxins, AFs), 오크라톡신 A (ochratoxin A, OTA) 등의 독소를 생성할 수 있다[6,7]. 또한 국내산 보리는 중국, 캐나다, 폴란드와는 달리 DON 보다 독성이 강한 NIV가 더 많이 오염되었다고 알려져 있어[8-10] 보리의 곰팡이독소에 대한 안전관리가 요구된다. 통계청 자료에 의하면 우리나라의 2015년 보리 생산량은 조곡 기준으로 85,571톤 이며, 이 중 겉보리는 30,775톤으로 총 보리 생산량의 36%이었다.

수확 후 보리에서 곰팡이와 곰팡이 독소 발생 실태를 보면, 리투아니아에서 2003~2005년 수확기에 수집한 보리에서 곰팡이 오염실태를 조사한 결과 곡물수분함량이 18% 이상일 때 *Aspergillus flavus*, *Fusarium* spp., *Bipolaris sorokiniana*, *Alternaria alternata* 등의 독소생성곰팡이가 우점하였으며, 5.5×10^3~1.6×10^4 CFU/g의 곰팡이가 검출되었다[11]. 그러나 90°C로 4일 동안 열풍 건조하여 수분함량이 약 15%로 낮아졌을 때 곰팡이의 종류는 건조 전과 유사했으나 개체 수는 2.2~8.2배 감소하였다. 또한 저장 중에는 곡물의 수분활성도(a_w)와 저장온도가 곰팡이의 증식에 영향을 미친다. Wawrzyniak등[12]에 따르면 보리의 a_w가 높을수록 곰팡이의 개체수가 시간에 따라 증가하였으며, 저장온도는 곰팡이의 증가에 큰 영향을 미치지 않았다. 그러나 *F. culmorum*과 *F. graminearum*를 인공 접종한 밀에서는 a_w와 온도가 높을수록 곰팡이가 잘 자라는 경향을 보였고, 붉은곰팡이는 a_w 0.99, 25°C에서 가장 잘 자랐으며, DON은 a_w 0.98, 25°C에서 가장 많이 생성되었다[13]. 또한 다른 연구에 의하면 밀에서 *F. graminearum*에 의한 DON의 생성이 높은 조건은 $a_w \geqq 0.97$, 30°C 이었다[14,15]. 실제 양곡창고에서 곡물의 저장기간에 따른 곰팡이와 독소를 모니터링 한 연구결과 수분함량 19%의 쌀보리 시료에서 저장 20주 후 OTA 24 ppb, citrinin 38 ppb, sterigmatocystin 411 ppb가 검출된 반면, 수분함량 15%의 시료에서는 독소가 검출되지 않았다[16].

국내에서는 실제 저장창고에서 겉보리의 붉은곰팡이와 독소 오염을 조사한 경우가 아직 보고된 바 없다. 온도와 습도, 수분함량이 조절되는 실험실 조건에서 곡물의 곰팡이발생과 독소생성 조사 연구는 많으나 실제 곡물 저장창고에서 곡물의 자연 오염 곰팡이와 곰팡이독소를 모니터링 한 연구는 매우 드물다.

따라서 본 연구에서는 실제 곡물저장창고에서 저장온도와 곡물수분함량이 곰팡이와 곰팡이독소 오염에 미치는 영향을 알아보았다. 2015년 수확한 겉보리를 수분함량 14%와 20%로 조절하여 각각 상온과 저온의 곡물저장창고에서 1년간 저장하면서 저장 중 창고의 온도와 습도를 실시간으로 측정하고, 그에 따른 겉보리의 수분함량 변화를 1, 3, 6, 12개월 마다 모니터링 하였다. 또한 조사 시기별, 수집 시료별 붉은곰팡이병균, DON 및 NIV량의 변화를 조사하여 저장창고의 온도와 곡물수분함량이 저장 중 겉보리의 붉은곰팡이 및 DON과 NIV 오염량에 미치는 영향을 밝히고자 하였다.

Materials and Methods

겉보리 수집, 저장 및 온 · 습도 측정

전라도 지역 3곳에서 2015년에 수확한 겉보리를 1 kg씩 수집하여 실험에 사용하였으며, 각각의 시료이름은 IS1, YG 및 IS2라고 하였다. 수집한 겉보리 시료는 각 600 g을 자연건조 또는 습도 100%에서 1주일간 저장하여 수분함량을 각각 14%와 20%로 조절하였고 곡물수분측정계(HMM-700E, Hanyeong System, Seoul, Korea)를 이용하여 시료의 수분함량을 측정하였다. 시료는 곡물용 포대에 담아 실제 맥류를 보관하는 상온창고와 저온창고에 각각 저장하였는데 저온창고는 온도를 12°C로 조절하였고 상온창고는 온·습도 조절을 하지 않았다. 각 시료는 2015년 8월 5일부터 2016년 8월 4일까지 12개월 간 저장하였으며, 저장초기, 30, 90, 180 및 360일 후 저장중인 시료를 100 g씩 채취하여 분석에 이용하였다. 이 기간 중 온 · 습도 측정계(174H, Testo, Lenzkirch, Germany)를 창고 문 옆과 안쪽에 설치하여 저장기간 동안 창고 내 온도와 습도를 1시간 간격으로 측정하였다(Fig. 1).

붉은곰팡이병균 오염도 조사

붉은곰팡이가 오염된 낟알의 빈도를 조사하기 위해 시료별 보리 낟알을 1% 차아염소산나트륨으로 1분간 표면살균하고, 멸균수로 2번 세척한 후 무작위로 105립을 streptomycin 600 μg/mL이 첨가된 PDA (Potato Dextrose Agar, Difco, Sparks, MD, USA)배지에 치상하였다. 치상배지는 25°C에서 5일간 배양한 후 붉은곰팡이가 자라난 보리 낟알을 계수하였다[17].

붉은곰팡이병균 오염량 조사

겉보리 시료 10 g을 ball mill (MM400, Retsch, Germany)을 이용하여 15회/초의 진동으로 20초간 분쇄 및 균질화하고, 그 중 1 g을 막자 사발에서 액체질소와 함께 분쇄하여 그 중 100 mg을 DNA 추출에 사용하였다. DNA 추출과 *F. graminearum* 및 보리의 DNA 검출 프라이머는 Nicolaisen등[18]의 방법을 따랐다. DNA 정량은 real-time PCR (CFX96 C1000, BioRad, Hercules, CA, USA)로 증폭시킨 DNA를 SYBR Green방식으로 검출하였으며, 검량선은 *F. graminearum* R3g균주와 겉보리의 DNA를 각각 10, 100, 1000, 10000, 100000 pg/μL 농도에서 증폭시켜 작성하였다. DNA 농도는 분광광도계(Nanodrop 2000c, Thermo Scientific, Waltham, MA, USA)로 측정하였다.

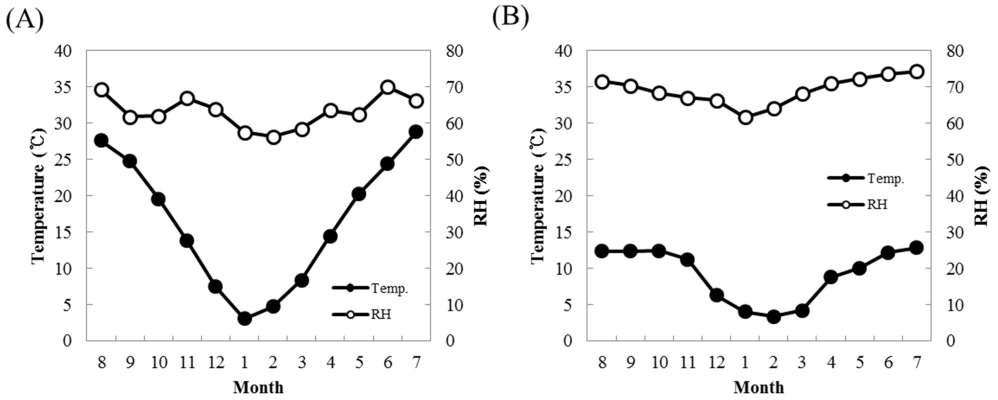

Fig. 1. Average monthly temperature and relative humidity of warehouses. (A) Warehouse without temperature control, (B) Warehouse controlled below 12°C.

곰팡이독소 분석

겉보리 5 g을 ball mill을 이용하여 30회/초의 진동으로 90초간 분쇄하였고, 증류수 20 mL에 30분간 진탕한 후 여과지(Whatman No.1, GE Healthcare, Shanghai, China)로 여과하였다. 여과액은 DON, NIV 정제컬럼(DON-NIV™ WB, Vicam, Watertown, MA, USA)으로 정제하였으며 정제방법은 Vicam 매뉴얼[19]에 따라 실시하였다. 최종 용출액은 질소가스를 가하여 용매를 완전히 제거한 후 이동상(물 : 아세토니트릴 : 메탄올 = 90 : 5 : 5) 1 mL에 녹여 시린지 필터(0.2 μm, Silicycle, Québec, Canada)로 여과하였으며, UHPLC-PDA (Waters Acquity UPLC® H Class, Waters, Singapore)로 분석하였다. 분석 컬럼은 Acquity UPLC® BEH C_{18}, 1.7 μm, 2.1 × 100 mm (Waters, Dublin, Ireland)를 사용하였으며, 유속 0.3 mL/min, 시료주입량 10 μL, 분석시간은 10분으로 하여 등용매용리의 방법으로 분석하였고 UV 검출기의 파장은 218 nm로 설정하였다. 회수율을 구하기 위해 보리에 DON이 오염된 CRM 시료(2.1 mg/kg, TR-D100, Trilogy, Washington, MO, USA) 5 g을 위의 방법으로 정제 및 분석한 결과, 70% 이상으로 국제기준(EC 401/2006)을 만족하였다.

통계분석

창고 온도와 곡물 수분함량의 2요인(각 요인 별 2 level) 요인설계에 따른 2요인 분산분석(SAS 9.2, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)을 하였으며, 유의수준 $p < 0.05$에서 유의성을 검정하였다. 또한 창고 간 붉은곰팡이 및 곰팡이독소 오염의 차이가 있는지 알아보기 위해 t-test를 하고, $p < 0.05$에서 유의성을 검정하였다.

Results and Discussion

창고의 온 · 습도와 곡물수분함량의 변화

온 · 습도 조절이 어려운 상온창고는 외부 기온에 따라 온·습도의 변화가 크게 나타났다(Fig. 1). 저장을 처음 시작한 8월의 경우 한달 간 상온창고의 평균온도 범위는 21~32.1°C이었으며 상대습도의 범위는 45~77.3% 이었다. 반면 저온창고는 8월 온도 11.3~17.5°C, 습도는 61.3~97.5% 범위로 상온창고보다 온도는 낮았으나 습도는 높았다. 저온창고는 온도를 12°C로 설정하였으나 창고의 문을 여닫는 횟수와 외부의 기온 등의 요인에 따라 온도변화가 나타난 것으로 추정된다. 맥류 생산가이드에 따르면 보리에서 저장 중 곰팡이와 해충의 오염을 최소화하기 위해 온도 15°C 이하, 습도 65% 이하로 저장할 것을 권장하고 있다[20]. 상온창고의 경우 11월에서 이듬해 3월을 제외하고 평균온도가 15°C 이상이었고, 평균상대습도는 6~8월인 여름철을 제외하고 65% 이하였다. 저온창고의 경우 평균온도는 15°C 이하였으나, 1~2월을 제외하고는 평균상대습도가 65% 이상으로 나타났다.

창고의 온 · 습도 변화는 곡물의 수분함량에도 영향을 미쳤다. 상온창고에서 초기 수분함량을 14%로 조절한 시료는 수분함량이 12.6~15.6% 였으나 초기수분함량 20%였던 시료는 저장기간이 경과할수록 수분함량이 감소하여 12개월 후 14.1% 였다(Fig. 2). 저온창고에서 초기 수분함량 14% 시료는 저장 1, 3, 6 및 12개월 후 수분함량이 15.1~18.7%였고, 초기수분함량 20%의 시료는 수분함량이 16.3~19.5%였다. 상온창고는 비교적 낮은 상대습도로 인해 곡물의 수분함량도 낮게 유지되었으며 초기수분함량 14%의 시료는 상대습도가 높은 8월을 제외하고 모두 수분함량이 14% 이하로 유지되어 곰팡이의 생육에 부적절한 환경을 나타냈다. 반면 저온창고는 초기수분함량14%의 시료도 수분함량이 14% 이상으로 높게 유지되었으며, 이는 곰팡이의 생존에 유리한 조건을 형성할 수 있다.

Aw와 수분함량의 관계를 보면, 밀의 경우 Aw 0.85가 수분함량 17~18%, Aw 0.9가 19~20%, Aw 0.95가 22~24%, Aw 0.98이 25~26%, Aw 0.995가 30% 이었다[13]. 붉은곰팡이나 곰팡이독소가 잘 생성되는 조건이 Aw 0.97 이상이

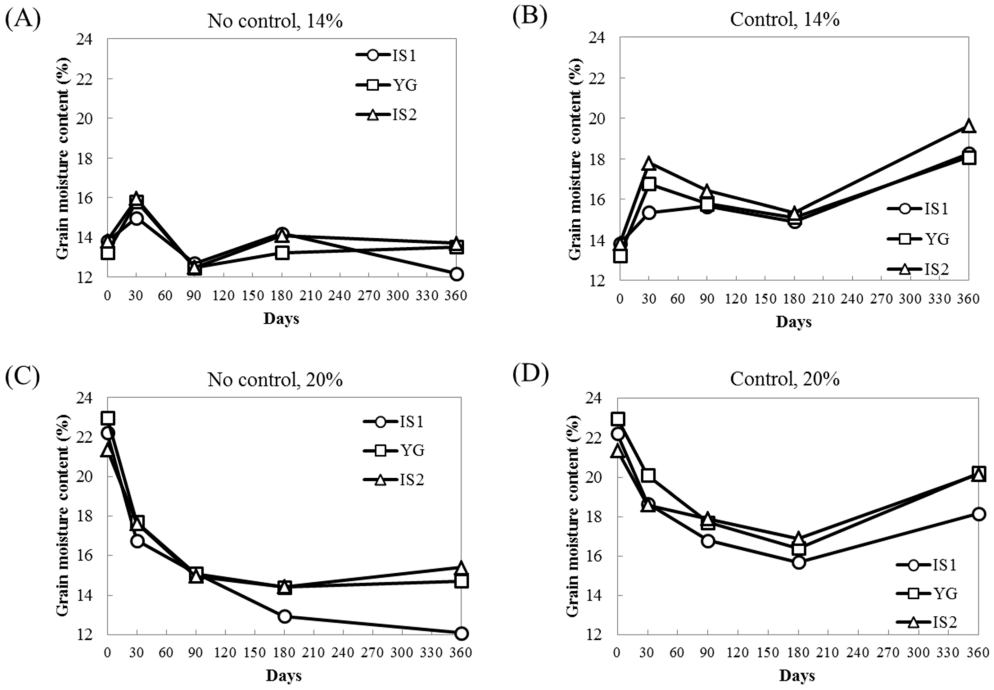

Fig. 2. Changes of moisture content of hulled barley grains during storage. (A) WTC (Warehouse without temperature control), IMC (Initial moisture content of 14%), (B) TC (Warehouse controlled below 12°C), IMC 14%, (C) WTC, IMC 20%, (D) TC, IMC 20%.

므로[12-15], 본 연구에서의 곡물수분함량은 곰팡이나 곰팡이 독소 생성의 최적조건에는 미치지 못함을 알 수 있다.

겉보리 낟알의 붉은곰팡이 오염

상온창고에서 붉은곰팡이가 오염된 낟알수는 시료의 초기수분함량과 관계없이 대부분의 시료에서 저장기간이 경과함에 따라 감소하는 추세를 보였다(Fig. 3). 반면 저온창고에서는 오염빈도가 감소하는 듯 보이나 시료와 저장기간에 따라 증가 또는 감소하여 일정한 경향을 나타내지 않았다. 특히 상온창고에서 저장 6개월 경과 후 모든 시료에서 붉은곰팡이의 오염빈도가 3% 이하로 감소하였는데 이는 작물의 재배 중 감염되는 포장 오염 곰팡이의 생육조건이 저장 중 환경에 적합하지 않기 때문인 것으로 생각된다. White 등[21]에 의하면 귀리를 1년간 저장하는 중에 *Cladosporium*, *Rhizopus*, *Alternaria alternaria* 등의 포장 오염 곰팡이들은 저장 기간이 경과하면서 감소하였으나, *Penicillium* 과 *Aspergillus glaucus* 등 저장 오염 곰팡이는 개체수가 증가하였다. 밀의 경우 20°C에서 6주간 저장하면 *Fusarium* 속의 오염율이 22%에서 17%로 감소하였다[22]. 또한 *F. graminearum*을 접종한 벼, 현미 및 쌀을 21°C와 30°C에서 120일간 모니터링한 결과, 모든 시료에서 붉은곰팡이의 개체수가 감소하는 것이 확인되었다[23]. *Fusarium* 속 곰팡이가 생존하기 위한 곡물의 최소수분함량은 17~19%라고 알려져 있다[24]. 본 연구에서 상온창고에 저장한 초기수분함량 20% 시료의 경우 처음 1개월을 제외하고 모든 시료의 곡물의 수분함량이 17% 이하로 붉은곰팡이의 생존에 부적합한 것을 알 수 있다. 반면 저온창고에 저장한 초기수분함량 20%인 시료는 저장 6개월차를 제외하고 수분함량이 모두 17% 이상이었으며, 초기수분함량 14% 시료도 비교적 수분함량이 높게 유지되어(Fig. 2) 붉은곰팡이의 생존에 유리한 조건을 형성한 것으로 보인다. 따라서 이 결과는 수분함량이 곡물의 저장 중 곰팡이의 생장에 중요한 영향을 미치는 사실을 뒷받침해준다[13,23].

붉은곰팡이의 오염량을 DNA 수준에서 정량 분석한 결과 상온창고에서 저장 6개월까지 초기수분함량 20%인 시료의 붉은곰팡이의 오염량이 14%보다 많았으나(t-test, $p < 0.05$) 이를 제외하곤 뚜렷한 경향을 나타내지 않았다(Fig. 4).

곰팡이독소 오염량

겉보리의 곰팡이독소 분석 결과 NIV의 농도가 DON보다 높았으며, DON의 경우 오염량이 1 ppm 미만으로 적거나 정량한계 미만이었다(Fig. 5). 이는 우리나라에서 보리에 DON보다 NIV의 오염이 더 많다는 보고[8-10]와 일치하는 결과이다. 창고 별 시료의 초기 수분함량에 따른 차이를 살펴보면, IS1시료의 경우 상온과 저온창고 모두에서 초기수분함량 20% 시료의 NIV 오염 수준이 14%보다 대부분 많았으나 YG와 IS2 시료에서는 오염량의 차이가 미미하거나 저장기간에 따라 다른 양상을 보였다(t-test, $p < 0.05$). 시료의 초기 수분함량 별 저장창고에 따른 NIV

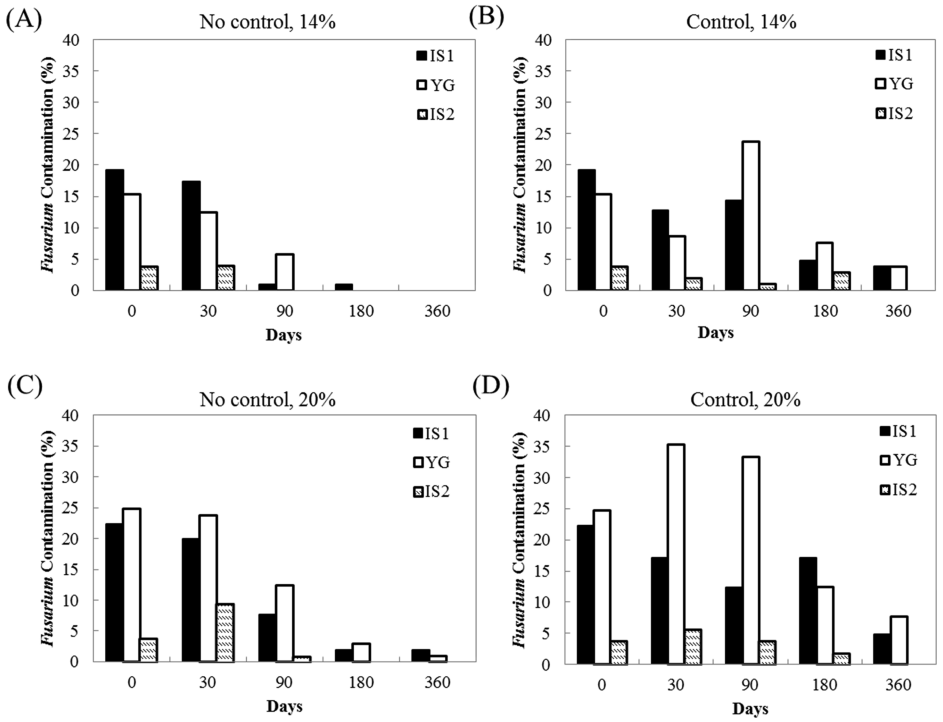

Fig. 3. Incidence of *Fusarium* in hulled barley grains during storage. (A) WTC : Warehouse without temperature control, IMC : Initial moisture content of 14%, (B) TC : Warehouse controlled below 12°C, IMC 14%, (C) WTC, IMC 20%, (D) TC, IMC 20%.

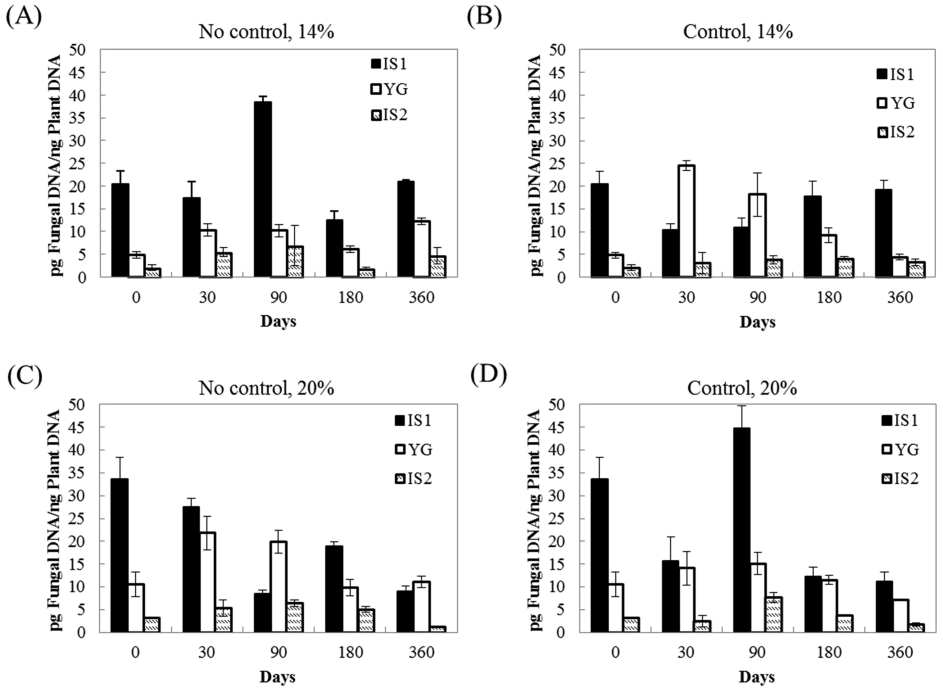

Fig. 4. Concentration of *Fusarium* DNA in hulled barley grains during storage. (A) WTC : Warehouse without temperature control, IMC: Initial moisture content of 14%, (B) TC : Warehouse controlled below 12°C, IMC 14%, (C) WTC, IMC 20%, (D) TC, IMC 20%.

오염량의 차이를 보면 초기수분함량 14%와 20% 모두 저장 12개월 후 상온창고에 보관한 시료에서 NIV의 오염이 많은 경향을 보였으나 저장 1, 3 및 6개월 후에는 서로 다른 양상을 보이거나 곰팡이독소량의 차이가 뚜렷하지 않았다(t-test, $p < 0.05$).

한편 동일 시료에서 저장기간의 경과에 따라 검출되는

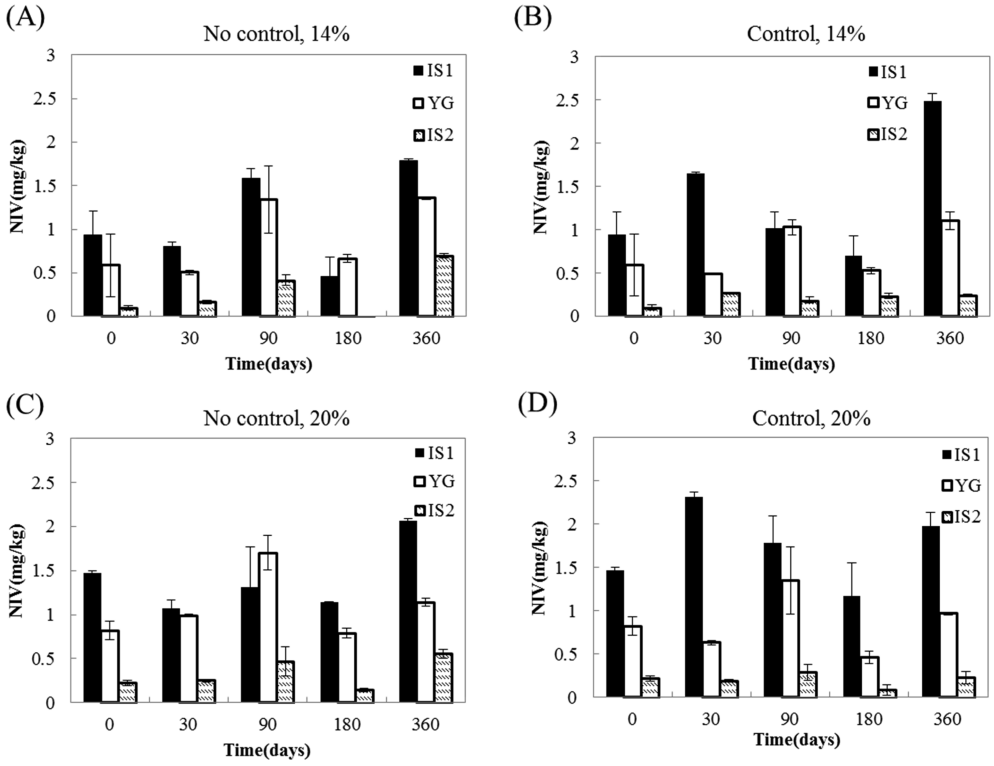

Fig. 5. Average concentration of nivalenol in hulled barley grains during storage.

곰팡이독소량이 감소한 것은 대표성 있는 시료를 채취하지 못했기 때문일 수 있다. 곰팡이독소의 경우 오염이 시료 전반에 고르게 발생하지 않고 특정부분에 집중적으로 발생하며[25], 분석에 필요한 시료의 양은 매우 적어 대표성 있는 시료를 얻기가 쉽지 않다. ISO (ISO 13690)나 EU (EC 401/2006)등 국제기구에서는 곰팡이독소 분석대상 원료의 종류와 양 등에 따라 효과적인 시료 채취법을 제시하고 있으며, 시료의 양이 많을 경우 여러 지점에서 시료를 반복적으로 채취할 것을 요하고 있다. 본 연구에서는 총 600 g의 시료를 저장하고 시료수집 시기 별 100 g씩 채취하여 분석에 이용하였다. 이에 시료의 총량이 일반적으로 저장하는 양인 1000 kg에 비해 매우 적었고 시료채취 시기마다 시료의 총량이 1/6으로 감소하여 실제 환경과 달랐으며, 여러 개의 시료를 동일한 방법으로 채취하지 못한 것이 실험결과에 영향을 주었을 수 있다.

창고온도와 초기 곡물 수분함량의 상호작용

창고 온도와 수분함량의 2요인 분산분석 결과, 겉보리 낟알의 붉은곰팡이의 오염빈도는 저장 3, 6 및 12개월 후 저장온도의 영향을 받는 경우가 많았으며, NIV함량은 저장온도와 수분함량간 상호작용의 영향을 받는 경우가 많았다. 반면 DON은 오염량이 적어 요인의 영향을 알기 어려웠다(Table 1). Ramirez 등[14]은 밀에서 *F. graminearum*의 생장과 DON의 생성량을 분석했을때, *F. graminearum*의 생장에 a_w와 온도의 상호작용의 영향이 있다고 보고하였다. 또한 Hope 등[13]은 *F. culmorum*과 *F. graminearum*을 인공 접종한 밀에서 DON의 생성량에 a_w와 온도의 상호작용의 영향이 있음을 보고하였다. 본 연구결과 겉보리 낟알의 붉은곰팡이 오염도는 저장온도의 영향이 비교적 많았고, 실제로도 창고 간 붉은곰팡이 오염립의 갯수가 시간이 경과함에 따라 차이가 있음을 알 수 있었다(Fig. 3). NIV의 경우 저장 1, 3 및 6개월 후 저장온도 × 초기 수분함량이 *p*-value 0.05 이하로 나타나는 빈도가 많아 상호작용의 영향을 알 수 있었고, 저장 12개월 후엔 저장온도와 수분함량 각각의 영향을 받는 빈도가 더 많아 저장기간이 길수록 상호작용이 줄어듦을 알 수 있었다.

이와 같이 실제 저장 환경에서는 창고의 온・습도, 곡물의 수분함량이 끊임없이 변화하고 본 연구에서 조사한 두 요인 외에 다른 요인도 영향을 미칠 수 있기 때문에 이에 따른 곰팡이나 독소의 오염 양상을 해석하고 예측하는 것이 쉽지 않다. 위의 결과를 종합해보면, 건조가 덜 된 겉보리의 경우 저온창고에 보관하는 것이 붉은곰팡이의 오염을 줄일 수 있으나 곰팡이독소의 오염량을 줄이는 데는 한계가 있을 수 있으며, 건조한 겉보리의 경우, 상온이나 저온창고 어느 곳에 보관하더라도 붉은곰팡이나 곰팡이독소 오염량에 큰 차이가 없었으나 12개월 이상 장기보관 시에는 저온창고에서 보관해야 곰팡이독소의 오염량을 줄일 수 있다는 결론을 내릴 수 있다. 따라서 겉보리를 저

Table 1. Two-way ANOVA test and *p*-values

Storage (days)	Sample	Factor	*Fusarium* frequency	NIV	DON
30	IS1	Temp.	0.3568	< 0.001	1
		IMC[1)]	0.3572	< 0.001	1
		Interaction	0.8133	0.0027	1
	YG	Temp.	0.1188	< 0.001	1
		IMC	< 0.001	< 0.001	1
		Interaction	0.0082	< 0.001	1
	IS2	Temp.	0.2264	0.0548	< 0.001
		IMC	0.0607	0.5418	< 0.001
		Interaction	0.6731	< 0.001	< 0.001
90	IS1	Temp.	0.0132	0.8074	0.4392
		IMC	0.2773	0.3005	0.9224
		Interaction	0.1719	0.038	0.3629
	YG	Temp.	0.0003	0.1491	0.3466
		IMC	0.0349	0.1361	0.3466
		Interaction	0.6670	0.937	0.3466
	IS2	Temp.	0.1150	0.0192	1
		IMC	0.3198	0.3076	1
		Interaction	0.3198	0.7371	1
180	IS1	Temp.	< 0.001	0.4612	1
		IMC	0.0002	0.0114	1
		Interaction	0.0006	0.5746	1
	YG	Temp.	0.0017	0.0002	0.0243
		IMC	0.0606	0.4356	0.9563
		Interaction	0.4876	0.0331	0.2118
	IS2	Temp.	0.1524	0.0088	1
		IMC	0.7605	0.874	1
		Interaction	0.7605	0.0003	1
360	IS1	Temp.	0.0803	0.0014	0.0017
		IMC	0.5230	0.1246	0.0296
		Interaction	0.5244	0.0003	0.0296
	YG	Temp.	0.0203	0.0006	0.0933
		IMC	0.2811	0.0023	0.0811
		Interaction	0.5795	0.2802	0.0959
	IS2	Temp.	1	< 0.001	0.3466
		IMC	1	0.0459	0.3466
		Interaction	1	0.0856	0.3466

[1)] IMC : Initial moisture content

장할 때 온도나 수분함량을 곰팡이 생육에 불리하도록 조절하는 것이 곰팡이독소 오염 예방에 가장 중요하며, 이를 위해 특히 여름철에는 붉은곰팡이의 생존과 곰팡이독소 생성에 적합한 온도인 25~30°C가 되지 않도록 주의하고, 수확 후 곡물을 14% 이하로 건조하여도 저장 환경에 따라 곡물수분함량이 증가할 수 있으므로 창고의 습도관리에 유의해야 할 것이다. 또한 저온창고의 경우, 습도가 높아 전력공급 중단 등으로 온도가 상승하면 곰팡이가 급증할 수 있으므로 온도관리를 철저히 하고, 겨울철인 12월~2월에는 상온창고와 저온창고 모두 온도가 12°C 이하이나 습도는 오히려 상온창고가 더 낮아 붉은곰팡이의 생존에 불리한 환경이므로, 저온창고의 가동을 중단하여 전기를 절약하는 것이 더욱 효율적일 수 있다.

Acknowledgement

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(과제번호: PJ010969)의 지원에 의해 이루어진 것임.

국문요약

붉은곰팡이는 곰팡이독소를 생성하는 식물병원균으로 수확된 보리 알곡에 잔존하여 저장 중 적절한 환경이 조성되면 곰팡이독소를 생성할 수 있다. 저장 중 겉보리의 저장온도와 곡물수분함량이 붉은곰팡이와 곰팡이독소 오염에 미치는 영향을 알아보기 위해 전라도에서 수집한 겉보리 시료 3점의 수분함량을 14%와 20%로 조절한 후 온도조절이 되지 않는 상온창고와 12°C 이하로 온도를 조절한 저온창고에 각각 저장하였다. 창고의 온도와 습도를 실시간으로 측정하면서 1, 3, 6, 12개월 후 시료의 수분함량, 붉은곰팡이와 곰팡이독소의 오염 정도를 조사하였다. 창고의 온・습도 조사결과 상온창고는 월별 평균온도가 최저 3°C에서 최고 29°C였으며, 평균습도는 58~70% 인 반면 저온창고는 평균온도가 3~13°C 였으며, 평균습도는 62~74% 였다. 시료의 수분함량은 상온창고에서 감소하였으나 저온창고에서는 초기수분함량 14% 시료는 수분함량이 증가하였고, 초기수분함량 20% 시료는 감소하였다. 붉은곰팡이 오염립은 상온창고에서 저장기간이 경과할수록 감소하였으나 저온창고에서는 시료의 수분함량이 높아 감소폭이 적었다. 곰팡이독소는 대부분의 시료에서 저장 12개월 후에는 상온창고에서 니발레놀이 더 많이 검출되었으나 1, 3, 6개월에는 뚜렷한 차이가 없었다. 따라서 겉보리의 건조가 덜 된 경우 저온창고에 보관하는 것이 붉은곰팡이의 오염을 줄이는데 효과적이며, 겉보리를 1년이상 장기 저장할 경우 저온창고에 보관해야 니발레놀의 오염을 줄일 수 있다.

References

1. Minervini, F., Fornelli, F. and Flynn, K.M.: Toxicity and apo-

ptosis induced by the mycotoxins nivalenol, deoxynivalenol and fumonisin B_1 in a human erythroleukemia cell line. *Toxicol. In Vitro*, **18**, 21-28 (2004).
2. Wegulo, S.N.: Factors influencing deoxynivalenol accumulation in small grain cereals. *Toxins*, **4**, 1157-1180 (2012).
3. Legzdina, L. and Buerstmayr, H.: Comparison of infection with Fusarium head blight and accumulation of mycotoxins in grain of hulless and covered barley. *J. Cereal Sci.*, **40**, 61-67 (2004).
4. Clear, R., Patrick, S., Nowicki, T., Gaba, D., Edney, M. and Babb, J.: The effect of hull removal and pearling on *Fusarium* species and trichothecenes in hulless barley. *Can. J. Plant Sci.*, **77**, 161-166 (1997).
5. Choi, J., Park, J., Park, G., Kim, Y., Lee, M., Oh, Y. *et al.*: Barley. Rural Development Administration, Suwon, pp. 1-229 (2013).
6. Gonzalez Pereyra, M.L., Rosa, C.A., Dalcero, A.M. and Cavaglieri, L.R.: Mycobiota and mycotoxins in malted barley and brewer's spent grain from Argentinean breweries. *Lett. Appl. Microbiol.*, **53**, 649-655 (2011).
7. Medina, Á., Valle-Algarra, F.M., Mateo, R., Gimeno-Adelantado, J.V., Mateo, F. and Jiménez, M.: 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 (2006).
8. Ryu, J.G., Lee, S.H., Son, S.W., Lee, S.H., Nam, Y.J., Kim, M.J., Lee, T. and Yun, J.C.: Natural occurrence of Fusarium head blight and its mycotoxins in 2010-harvested barley and wheat grains in Korea. *Res. Plant Dis.*, **17**, 272-279 (2011).
9. Kim, J.C., Kang, H., Lee, D.H., Lee, Y. and Yoshizawa, T.: Natural occurrence of *Fusarium* mycotoxins (trichothecenes and zearalenone) in barley and corn in Korea. *Appl. Environ. Microbiol.*, **59**, 3798-3802 (1993).
10. Tanaka, T., Hasegawa, A., Yamamoto, S., Lee, U.S., Sugiura, Y. and Ueno, Y.: Worldwide contamination of cereals by the *Fusarium* mycotoxins nivalenol, deoxynivalenol, and zearalenone. 1. Survey of 19 countries. *J. Agric. Food Chem.*, **36**, 979-983 (1988).
11. Lugauskas, A., Raila, A., Zvicevicius, E., Railiene, M. and Novosinskas, H.: Factors determining accumulation of mycotoxin producers in cereal grain during harvesting. *Ann. Agric. Environ. Med.*, **14**, 173-186 (2007).
12. Wawrzyniak, J., Ryniecki, A. and Gawrysiak-Witulska, M.: Kinetics of mould growth in the stored barley ecosystem contaminated with *Aspergillus westerdijkiae*, *Penicillium viridicatum* and *Fusarium poae* at 23-30°C. *J. Sci. Food Agric.*, **93**, 895-901 (2013).
13. Hope, R., Aldred, D. and Magan, N.: Comparison of environmental profiles for growth and deoxynivalenol production by *Fusarium culmorum* and *F. graminearum* on wheat grain. *Lett. Appl. Microbiol.*, **40**, 295-300 (2005).
14. Ramirez, M.L., Chulze, S. and Magan, N.: Temperature and water activity effects on growth and temporal deoxynivalenol production by two Argentinean strains of *Fusarium graminearum* on irradiated wheat grain. *Int. J. Food Microbiol.*, **106**, 291-296 (2006).
15. Mylona, K., Sulyok, M. and Magan, N.: Relationship between environmental factors, dry matter loss and mycotoxin levels in stored wheat and maize infected with *Fusarium* species. *Food Addit. Contam.*, **29**, 1118-1128 (2012).
16. Abramson, D., Hulasare, R., White, N.D.G., Jayas, D.S. and Marquardt, R.R.: Mycotoxin formation in hulless barley during granary storage at 15 and 19% moisture content1. *J. Stored Prod. Res.*, **35**, 297-305 (1999).
17. Lee, S.H., Lee, J.K., Nam, Y.J., Lee, S.H., Ryu, J.G. and Lee, T.: Population structure of *Fusarium graminearum* from maize and rice in 2009 in Korea. *Plant Pathol. J.*, **26**, 321-327 (2010).
18. Nicolaisen, M., Supronienë, S., Nielsen, L.K., Lazzaro, I., Spliid, N.H. and Justesen, A.F.: Real-time PCR for quantification of eleven individual *Fusarium* species in cereals. *J. Microbiol. Methods*, **76**, 234-240 (2009).
19. http://vicam.com/manuals?EID=101427190&CID=12063156.
20. Kim, S., Jo, S., Kang, C., Kim, G., Kim, H., Kim, W. *et al.*: Barley & Wheat, GAP production guide. National Institute of Agricultural Sciences, Jeonju (2014).
21. White, N., Hulasare, R. and Jayas, D.: Effects of storage conditions on quality loss of hull-less and hulled oats and barley. *Can. J. Plant Sci.*, **79**, 475-482 (1999).
22. Birzele, B., Prange, A. and KrÄmer, J.: Deoxynivalenol and ochratoxin A in German wheat and changes of level in relation to storage parameters. *Food Addit. Contam.*, **17**, 1027-1035 (2000).
23. Choi, S., Jun, H., Bang, J., Chung, S.H., Kim, Y., Kim, B.S., Kim, H., Beuchat, L. and Ryu, J.H.: Behaviour of *Aspergillus flavus* and *Fusarium graminearum* on rice as affected by degree of milling, temperature, and relative humidity during storage. *Food Microbiol.*, **46**, 307-313 (2015).
24. Schrödter, R.: Influence of harvest and storage conditions on trichothecenes levels in various cereals. *Toxicol. Lett.*, **153**, 47-49 (2004).
25. Krska, R. and Molinelli, A.: Mycotoxin analysis: state-of-the-art and future trends. *Anal. Bioanal. Chem.*, **387**, 145-148 (2007).