

2010년산 맥류의 붉은곰팡이병 발생 및 *Fusarium* 곰팡이독소 자연발생

류재기* · 이수형 · 손승완 · 이승호 · 남영주 · 김미자 · 이데레사 · 윤종철

국립농업과학원 유해생물과

Natural Occurrence of *Fusarium* Head Blight and Its Mycotoxins in 2010-harvested Barley and Wheat Grains in Korea

Jae-Gee Ryu*, Soohyung Lee, Seung-Ho Lee, Seung-Wan Son, Young Ju Nam, Mija Kim, Theresa Lee and Jong-Chul Yun

Microbial Safety Division, National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Suwon 441-707, Korea

(Received on November 14, 2011; Revised on November 25, 2011; Accepted on November 29, 2011)

Fusarium species are worldwide causal agents of Fusarium head blight (FHB) in cereals such as barley and wheat. Their toxigenic potential is a health risk for both humans and animals. To survey the natural occurrence of FHB and mycotoxins produced by *Fusarium*, total 126 barley or wheat grains grown in 2009-2010 season in Korea were collected. The incidence of FHB was 30.7% in silage barley, 26.9% in wheat, 20.7% in naked barley, 19.4% in malting barley, 16.4% in unhulled barley. Overall FHB incidence of barley and wheat in 2010 was 23.0% and 10% higher than that of 2009. The incidences and level of deoxynivalenol (DON), nivalenol (NIV), and zearalenone (ZEA) were 34%, 0.89 mg/kg, 84.9%, 1.86 mg/kg, and 10.3%, 0.06 mg/kg respectively. The both levels and incidences of NIV were found to be highest in barley, whereas the level of DON was found to be highest in wheat. Incidences of DON and NIV and the level of NIV in the samples from southern regions of Korea were higher than those from central region, whereas the level of DON from central region was higher than that from southern regions. This is the first paper demonstrating regional difference in natural occurrence of DON and NIV in wheat and barley.

Keywords : Deoxynivalenol, Fusarium head blight (FHB), Natural occurrence, Nivalenol, Zearalenone

서 론

맥류 붉은곰팡이병은 아시아, 북미, 유럽, 남미 등 전 세계적으로 보리, 밀, 옥수수 등 여러 곡류에 발병하여 막대한 피해를 주고 있는 주요 관리대상 병해이다. 붉은곰팡이병의 감염은 단순히 품질 저하로 인한 식용 곡류의 활용 저하와 수량 감소 등의 경제적 손실뿐만 아니라 인체에 구토, 설사, 면역력 저하, 암 등의 질병을 일으키는 곰팡이독소를 생산한다. 주요 독소로는 DON, NIV, ZEA 등이 자연발생하는 것으로 알려져 있다(Desjardins, 2006;

Leslie과 Summerell, 2006).

세계적으로 맥류 붉은곰팡이병을 일으키는 주요 종에는 *Fusarium graminearum*(*Gibberella zae*), *F. pseudo-graminearum*, *F. culmorum*, *F. avenaceum* 등(Osborne과 Stein, 2007)으로 알려져 있으며 이들 종은 서로 종 복합체를 이루어 병을 일으키며 지역마다 종의 분포가 다르며, 동일 종이라 하더라도 계통발생학적으로 다양한 것으로 알려져 있다(O'donnell 등, 2004; Yang 등, 2008). 또한 병 발생 당해년도의 피해뿐만 아니라 환경조건에 따라 여러 해에 걸쳐 병이 되풀이 발생하는 경향 때문에 병 발생 피해의 심각성은 더해지고 있다(McMullen 등, 1997). 토양에 서식하고 있는 곰팡이들은 온도, 습도 등 적당한 기상조건이 제공되면 작물의 재배과정 중 침입하여, 작물에 병을 일으킬 뿐만 아니라 작물 내에서 곰팡이독소들

*Corresponding author

(Phone) +82-31-290-0449, (Fax) +82-31-290-0407

(Email) jgryu@korea.go.kr

을 생산한다. 따라서 곡류의 곰팡이독소 오염은 작물 재배 토양이 해당 곰팡이에 의해 오염된 후에 발생하게 된다. *Fusarium* 곰팡이독소인 트리코세신의 오염 수준은 계절적, 지리적인 조건뿐만 아니라 기후 조건에 크게 영향을 받기 때문에 곡물 내에 독소의 발생량을 일반화하기는 매우 어렵다. 개화기와 개화 후의 지속된 강우는 병 발생과 독소 오염 수준에 가장 큰 영향을 준다고 알려져 있다(Ibanez-Vea 등, 2011). 이와 같은 곰팡이는 작물의 수확 및 가공과정 중에 소멸되지만 생산된 곰팡이독소들은 화학적으로 안정하기 때문에 가공 후에도 소실되지 않고 식품 내에 잔존할 수 있다.

*Fusarium*균 오염으로 인한 곡류 내 곰팡이독소의 발생은 지금까지 세계적으로 꾸준히 보고되고 있으며, 전세계 곡물 생산의 25%가 곰팡이독소에 오염되고 있는 것으로 추정하고 있다. 세계 19개국의 곡류를 대상으로 DON, NIV, ZEA의 자연발생을 조사한 결과 40~50%의 시료가 이들 독소에 오염되었으며, 이중 보리와 밀에서 높은 오염율과 오염 수준을 보였다(Tanaka 등, 1988). 최근에는 스페인에서는 2007년과 2008년산 보리에서 기존의 DON, NIV와 같은 B형 트리코세신 이외에도 T-2, HT-2, DAS와 같은 A형 트리코세신이 동시에 검출되었으며, 서늘한 지역에서는 A형 트리코세신이, 따뜻한 지역에서는 B형 트리코세신이 높은 오염 빈도를 보였다(Ibanez-Vea 등, 2011).

우리나라에서는 1963년 맥류 수확기에 저온을 동반한 지속적인 강우로 인해 맥류 붉은곰팡이병이 남부지방에 대발생하여 40~60%(심한 지역은 80~100%)의 수량 감소를 초래하였고, 식량 및 사료 부족, 종자 부족과 이병곡물 섭취로 인한 인축에 심각한 중독증이 발생하여 사회적인 문제가 되었다(Chung, 1975). 그러나 중독증의 원인은 *Fusarium*균에 오염된 한국산 맥류에 DON, NIV, ZEA가 주요 곰팡이독소라고 보고(Lee 등, 1985, 1986)되면서 구명되기 시작하였다. 이후 10년 주기로 '74년과 '90년에는 지역적인 발생이 심하였고, '98년에는 전북 98%, 전남 25%로 대발생하여 평년대비 30% 이상의 수량 감소 피해를 입은 것으로 조사되었다. 또한 *Fusarium* 곰팡이독소의 자연발생에 대한 몇몇 사례가 보고되었다. 상대적으로 맥류 붉은곰팡이병 발생이 심했던 1987년에 수확된 보리의 경우, 1989년 수확한 보리에서보다 트리코세신 및 ZEA가 많이 검출되었고(Park과 Lee, 1990), 1990년에는 쌀보리와 걸보리 시료에서 DON과 NIV 중복 오염율이 높았으며, ZEA는 DON, NIV 중복 오염 시료에서만 검출되었다(Park 등, 1992). 한편 1990년과 1992년산 보리에는 DON, NIV, ZEA가 주로 오염되었으며 이외에도 3-ADON, 4-ANIV, 4,15-DANIV 등의 유도체들도 소량으로 오염되

어 있음이 밝혀졌다(Kim 등, 1993; Ryu 등, 1996). 그러나 위의 연구 결과들은 과거 10~20년 전 연구 결과이며, 이후에는 맥류에 대한 *Fusarium*균 오염 및 독소의 자연발생에 대한 보고가 이루어지지 않았다.

최근 보리쌀, 밀가루 등 기타양곡의 소비량은 웰빙식품으로 각광을 받으면서 2008년 이후 지속적인 증가추세(Statistics Korea, 2010)에 있으며, 밀과 청보리의 재배면적이 점차 증가하고 있다. 또한 최근의 이상기온 및 잦은 강우로 인한 맥류붉은곰팡이병 발생 피해가 증가하고 있어 국내산 곡물의 *Fusarium* 곰팡이독소 오염에 대해 조사할 필요성이 대두되고 있다. 따라서 본 연구에서는 우리 농산물의 안전관리 기반기술을 확립하기 위하여 2010년에 수확하여 농가에 보관중인 국내산 보리와 밀을 대상으로 *Fusarium* 균 오염 현황과 이들이 생산하는 주요 *Fusarium* 곰팡이독소인 DON, NIV와 같은 트리코세신계 화합물과 ZEA 독소의 자연발생 정도를 조사, 분석하였다.

재료 및 방법

시료채집 수확 곡물의 맥류 붉은곰팡이 오염율과 곰팡이독소의 자연발생을 조사하기 위하여 맥종별 주산지군을 파악하였다. 걸보리는 경남, 경북지방을 중심으로, 쌀보리는 전남, 전북을 중심으로, 청보리는 전북지방을 중심으로, 밀은 전남, 전북, 경남지방을 중심으로, 맥주보리는 전남, 경남지방을 중심으로 총 42개 시군의 80개 농가로부터 2010년도에 수확하여 농가에 보관중인 맥류 곡물시료를 종류별로 각 1kg씩 수집하였다. 이들은 쌀보리 43시료, 걸보리 17시료, 맥주보리 11시료, 청보리 14시료, 밀 41시료 등 총 126개 시료이었다. 모든 시료들은 건조 후 균 동정과 독소분석을 하기 전까지 4°C에 보관하였다.

***Fusarium*의 분리 및 오염율 조사.** *Fusarium*을 분리 동정하기 위해 보리(10 g) 시료를 1% sodium hypochlorite에 2분간 침지하여 표면 살균하였다. 표면 소독된 낱알들은 살균수로 2회 세척한 뒤 멸균된 여과지에서 물기를 제거한 후 시료당 105립을 streptomycin(600 µg/ml)이 첨가된 감자한천배지에 치상하였다. 그리고 25항온기에서 5일간 배양한 후 *Fusarium*으로 예상되는 균을 감자한천배지에 재배양하였다. 분리된 균은 water agar에 이식하여 단포자 분리를 실시하였다. 균의 특성을 관찰하기 위해 카네이션잎 한천배지(CLA; Leslie과 Summerell, 2006)와 PDA를 사용하여 12시간의 광 조건에서 7~14일간 배양한 후에 카네이션잎 한천배지에서 생성된 소형 및 대형분생포자의 유무 등의 형태적 특성과 PDA에서는 균총의 색과 배지 뒷면의 색소형성 등의 배양적 특성을 조사하였

다. 이들 결과를 The Fusarium laboratory manual(Leslie 와 Summerell, 2006)과 비교·검토하여 1차적으로 종(species) 수준으로 구분하였다. *Fusarium*균의 오염율은 105립 중 *Fusarium*균에 이병된 립의 비율(%)을 산정하여 단반복으로 조사하였다.

시료의 Fusarium mycotoxin 자연발생량 조사. 트리코세신(DON과 NIV)의 분석은 Shirai법(Shirai 등, 2001)을 참조하였다. 즉 분쇄한 맥류 시료 각 5g을 85% acetonitrile 20 ml로 추출한 후 Whatman no.1 여과지로 여과하였다. 여과액을 MultiSep #227 column(ROMER Labs, Mo, USA)에 의해 정제하였다. 처음 4 ml를 농축하여 이동상 1 ml로 재용해한 후 기기분석에 사용하였다. 또한 ZEA은 Visconti법(Visconti와 Pascale, 1998)을 참고하여 분석하였다. 추출을 위해 시료 5g이 담긴 50 ml 튜브에 0.5 g 소금을 넣고, 90% acetonitrile 20 ml를 넣고 1시간 동안 shaking 하였다.

추출액을 whatman no.1 여과지로 여과한 후 여과액 5 ml에 증류수 20 ml를 잘 혼합하였다. 이 혼합액 10 ml를 먼역친화성칼럼(IAC, Zearalatest, Vicam, USA)으로 정제하였다. 용출액을 질소농축한 후 이동상 1 ml에 재용해한 후 기기분석에 사용하였다. 분석은 Agilent HPLC 1100 series(Agilent USA)를 사용하였다. DON 및 NIV의 이동상 용매는 물, acetonitrile, methanol을 90:5:5 (v/v/v)로 혼합해서 사용했다. 분석에 사용된 컬럼은 ZORBAX SB-Aq C18(4.6 × 150 mm 5 um, Agilnet, USA)이었다. 검출기는 Diode array detector(DAD; G1315A, Agilent, USA)를 사용하였고 이때 검출파장은 220 nm였다. ZEA의 이동상 용매는 물, acetonitrile, methanol을 43:35:22 (v/v/v)로 혼합해서 사용했다. 분석에 사용된 컬럼은 Supelcosil LC-

18 column(250 mm × 4.6 mm, i.d., 5 μm particles) (Supelco, Bellefonte, PA, USA)이었다. 검출기는 fluorescence detector (G1321A, Agilent, USA)를 사용하였고, 검출파장은 여기 파장 274 nm, 방출파장 440 nm를 사용하였다.

결과 및 고찰

맥류 붉은곰팡이병의 발생 상황. 2010년 맥류의 *Fusarium* 균 감염시기(출수·개화기, 유숙기)인 4-6월 상순의 기상은 평년에 비해 낮은 기온이 지속됨에 따라 4월 말에서 5월 초순인 맥류의 개화시기가 10-15일 지연되어 2010년 맥류 개화시기는 5월 중순이었으며, 이때부터 4-6일간 강우가 지속되었다. 또한 개화기 이후인 5월 중순의 평년 대비 높은 기온과 5월 중하순의 많은 강수량으로 맥류 붉은곰팡이병의 발병에 좋은 기상 조건이었다(Statistics Korea, 2010).

수확후 농가 채집시료의 Fusarium균 오염율. 맥류 재배농가에서 수확하여 저장중인 맥류 시료를 6월 중순부터 채집하여 *Fusarium*균의 오염율을 조사하였다. 맥종별 이병립율은 사료용인 청보리의 이병립율이 30.7%로 가장 높았고, 밀 26.9%, 쌀보리 20.7%, 맥주보리 19.4%, 겉보리 16.4% 순이었다. 특히 밀의 *Fusarium*균 오염율이 높은 것은 보리에 비해 생육시기 7-10일 정도 늦어 출수 개화기인 5월 중하순 이후 높은 기온과 강우가 지속되었기 때문에 발병이 심했던 것으로 판단되었다(Rossi 등, 2001). 2010년산 맥류의 전국 평균 오염율은 23.0%로 2009년 전국 평균 오염율(Yeh 등, 2010)에 비해 10% 이상 높았다. 겉보리와 맥주보리를 제외한 맥종별 이병립율은 전남지방이 밀 45.0%, 쌀보리 29.4%, 청보리 63.5%로 다른 지역에 비해 이병립율이 가장 높았다. 전북지방은 밀과

Table 1. Incidence of *Fusarium* spp. in barley and wheat grain samples collected from different provinces in June of 2010

Province	Unhulled barley		Naked barley		Malting barley		Silage barley		Wheat	
	No. of sample tested	% of kernels infected ^a	No. of sample tested	% of kernels infected ^a	No. of sample tested	% of kernels infected ^a	No. of sample tested	% of kernels infected ^a	No. of sample tested	% of kernels infected ^a
Gyeonggi	1	37.0	4	17.5	- ^b	-	1	16.0	-	-
Chungbuk	4	19.0	-	-	-	-	1	12.0	2	8.5
Chungnam	3	10.3	5	26.8	-	-	2	8.5	1	14.0
Jeonbuk	-	-	12	17.9	-	-	6	32.7	11	17.5
Jeonnam	-	-	16	29.4	7	21.1	2	63.5	16	45.0
Gyeongbuk	5	6.0	3	3.3	-	-	-	-	-	-
Gyeongnam	3	29.3	6	8.8	4	16.3	-	-	11	14.6
Average	16	16.4	46	20.7	11	19.4	12	30.7	41	26.9

^aTotal 105 kernels in each sample were tested. % of kernels infected= Number of kernels infected/ Total number of kernels tested × 100.

^bNo sample collected.

청보리의 이병립율이, 충남지방은 쌀보리의 이병립율이 전남지방 다음으로 높았다(Table 1). 한편, 2009년도산 전국 미곡종합처리장에서 채집한 쌀 시료의 *Fusarium*균 오염율을 조사한 결과, 전남북지방의 *Fusarium*균 오염율이 전국에서 가장 높았다(Son 등, 2011). 전남북지방은 우리나라에서 대표적인 벼와 맥류의 이모작지대이다. 2009년산 쌀 시료의 높은 *Fusarium* 오염율은 이모작재배 눈에

이병 잔재물과 토양에 *Fusarium*균이 높은 밀도로 존재함을 의미하며, 후작물인 맥류에 붉은곰팡이병의 전염원으로 작용하여 병 발생이 심해질 수 있다. 결국 이모작지대의 벼와 맥류의 붉은곰팡이병은 한 번 대발생하게 되면 반복적으로 대발생할 가능성이 있다.

***Fusarium* 곰팡이독소의 분석법 확인.** 각각의 독소들의 HPLC 분석 결과 NIV와 DON은 6.16분과 11.02분에 각각 검출되었고, ZEA는 12.02분에 검출되었다(Fig. 1). 농도별 곰팡이독소의 표준물질을 분석하여 얻은 검량선의 상관계수는 0.9994-1로 모두 직선성이 양호하였음(Fig 2). 길보리 DON의 회수율은 92%, 반복성 조건에서의 상대표준편차는 12.0%이고, NIV의 회수율은 85%, 반복성 조건에서의 상대표준편차는 3.0%였다. ZEA의 회수율은 105%, 반복성 조건에서의 상대표준편차는 3.8%였다. DON과 NIV의 검출한계(LOD)는 0.02 mg/kg, 제랄레논은 0.01 mg/kg이었다.

***Fusarium* 곰팡이독소 자연발생.** 2010년산 농가로부터 채집한 맥류 총 126시료를 대상으로 *Fusarium* 곰팡이독소 DON, NIV, ZEA의 오염정도를 조사한 결과, 각 독소의 오염빈도와 오염수준은 DON은 43시료(34%), 0.89(0.2-8.13) mg/kg이었고, NIV는 107시료(84.9%), 1.88(0.11-9.74) mg/kg, ZEA은 19시료(15.1%), 0.22(0.01-3.21) mg/kg이었다. 2010년산 맥류에는 NIV의 오염빈도와 오염수준이 DON과 ZEA에 비해 가장 높았다. DON의 오염빈도는 밀에서 73.2%로 보리 15.3%보다 높았으나, 평균오염수준은 1.79 µg/g 인 보리가 0.50 µg/g인 밀보다 높았다. NIV의 오염빈도와 오염수준은 밀과 보리에서 각각 92.7%, 1.59 µg/g와 81.2%, 2.03 µg/g로 모두 높았다. 밀과 보리에서의 ZEA의 오염빈도는 17.1%, 14.1%로 낮은 편이었다. 또한 보리 시료 중 청보리와 맥주보리 시료는 모두가 NIV에 오염되어 있었다(Table 2). DON 검출시료 중 전체의 7.1%인 9개 시료(밀 2, 보리 7)가 우리나라의 허용기준치(1 mg/kg)를 초과하는 것으로 확인되었다. ZEA가 검출된 13개 시료 중에서 허용기준치(200 µg/kg)를 초과하는 시

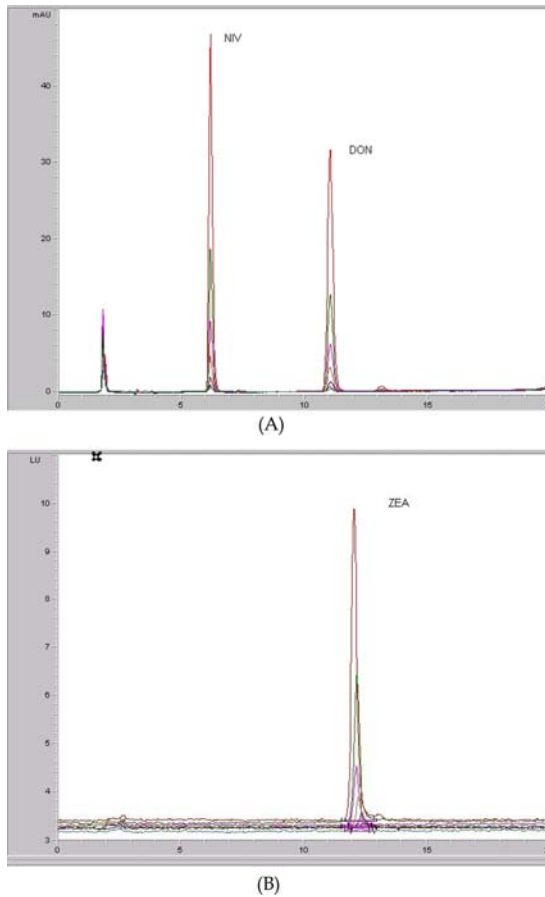


Fig. 1. Chromatograms in calibration solution. (A) HPLC chromatogram of NIV and DON recorded by DAD. (B) HPLC chromatogram of ZEA recorded by fluorescence detector, respectively.

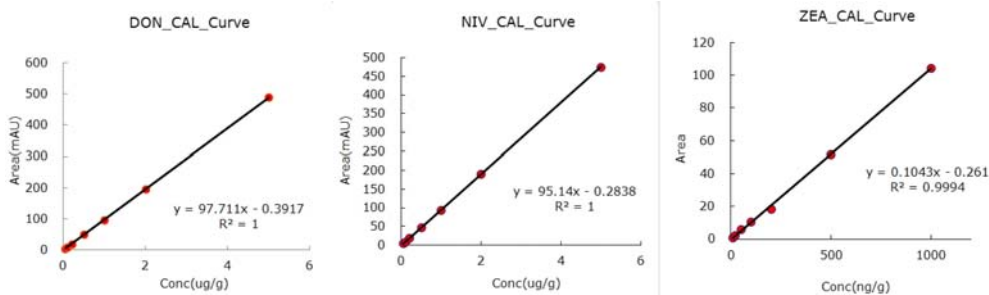


Fig. 2. Standard curves of trichothecenes and ZEA(left: DON, mid: NIV, right: ZEA).

Table 2. Natural occurrence of *Fusarium* mycotoxins in barley and wheat grain samples harvested in 2010

Cereal	DON		NIV		ZEA	
	No.(%) of positive samples	Mean level (range) in positive samples (µg/g)	No.(%) of positive samples	Mean level (range) in positive samples (µg/g)	No.(%) of positive samples	Mean level (range) in positive samples (µg/g)
Total (n ^a =126)	43 (34.1)	0.89 (0.2–8.13)	107 (84.9)	1.88 (0.11–9.74)	19 (15.1)	0.22 (0.01–3.21)
Wheat (n=41)	30 (73.2)	0.50 (0.2–1.03)	38 (92.7)	1.59 (0.11–5.65)	7 (17.1)	0.05 (0.01–0.16)
Barley (n=85)	13 (15.3)	1.79 (0.21–8.13)	69 (81.2)	2.03 (0.14–9.74)	12 (14.1)	0.32 (0.03–3.21)
unhulled (n=16)	3 (18.8)	3.79 (1.6–8.13)	12 (75.0)	1.21 (0.14–7.02)	2 (12.5)	0.06 (0.05–0.07)
naked (n=46)	8 (17.4)	1.15 (0.21–4.2)	36 (78.3)	1.82 (0.26–9.7)	6 (13.0)	0.65 (0.03–3.52)
silage (n=12)	0 (0.0)	ND ^b	11 (91.7)	3.46 (0.35–9.74)	4 (33.3)	0.04 (0.03–0.05)
malting (n=11)	2 (18.2)	1.36 (0.31–2.41)	10 (90.9)	2.22 (0.57–5.39)	0 (0.0)	ND

^aNo. of samples tested.^bNot detected.**Table 3.** Co-occurrence of *Fusarium* mycotoxins in several kinds of barley and wheat grains harvested in 2010

Cereal	No.(%) of positive samples			
	DON+ NIV	DON+ ZEA	NIV+ ZEA	DON+NIV +ZEA
Total (n ^a =126)	32 (25.4)	0 (0.0)	10 (7.9)	8 (6.3)
Wheat (n=41)	22 (53.7)	0 (0.0)	0 (0.0)	7 (17.1)
Barley (n=85)	10 (11.8)	0 (0.0)	10 (11.8)	1 (1.2)
unhulled (n=16)	2 (12.5)	0 (0.0)	1 (6.3)	1 (6.3)
naked (n=46)	6 (13.0)	0 (0.0)	5 (10.9)	0 (0.0)
silage (n=12)	0 (0.0)	0 (0.0)	4 (33.3)	0 (0.0)
malting (n=11)	2 (18.2)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)

^aNo. of samples tested.

료는 전체의 1.6%인 2개 시료에 불과했다. 또한 NIV 검출 시료 중 1 mg/kg을 초과하는 시료는 59시료(46.8%)이었다.

한편 126시료 중 32개(25.4%) 시료가 DON과 NIV에 중복오염되어 있었으며, 밀 시료(56.1%)에서 중복오염빈도가 보리(11.8%)보다 높았다. 10개의 보리시료에서만 NIV와 ZEA가 중복오염되어 있었다. DON, NIV, ZEA가 모두 중복오염된 시료는 8개 시료로 전체 조사시료의 6.3%의 오염빈도를 보였다(Table 3). 이러한 결과는 Park 등(1992)이 보고한 1990년산 맥류 시료의 DON과 NIV의 중복오염빈도(겉보리 90%, 쌀보리 89%)에 비해 현저하게 감소되었다.

우리나라 남부지방의 39농가에서 1990년 7월에 채집한 보리 시료의 곰팡이독소 자연발생 조사 결과(Kim 등, 1993)와 본 연구의 남부지방 조사 결과와 비교하면, 2010년 남부지방의 102농가에서 채집한 맥류시료의 DON 오염빈도는 90년도(89.7%)에 비해 36.3%로 현저하게 낮았으며, NIV의 오염빈도는 90년도에 비해 조금 낮았다. 그

리나 DON과 NIV의 평균 오염수준은 90년의 0.17, 1.01 mg/kg에 비해 2010년에는 0.63, 2.11 mg/kg으로 각각 약 4배, 2배 정도 높았다. 한편 ZEA의 오염빈도와 오염수준은 90년도 51.3%, 0.287 mg/kg인 반면 2010년도에는 11.8%, 0.06 mg/kg으로 낮았다. 또한 1 mg/kg을 초과하는 시료 비율은 90년도에 DON, NIV 각각 2.6%, 28.2%인 반면, 2010년에는 5.9%, 56.9%로 월등하게 높아졌다.

맥류 종류별 곰팡이독소 자연발생. 맥류 종류별 곰팡이독소의 오염수준을 보면, 밀, 보리 모두 NIV의 오염수준이 DON보다 높았다. 보리 종류별 NIV의 오염수준은 청보리, 맥주보리, 쌀보리, 겉보리 순으로 높았다. 이러한 결과는 보리 종류별 *Fusarium*균 오염정도(Table 1)와 일치하는 경향이었다. 따라서 NIV 독소를 생산하는 *F. graminearum*이 우리나라 맥류 붉은곰팡이병에 우점하고 있음을 확인할 수 있었다.

Tanaka 등(1988)이 세계 19개국 곡류 시료의 *Fusarium* 곰팡이독소 자연발생을 조사한 바에 의하면 보리가 밀보다 DON과 NIV의 오염빈도가 높았으며, 보리에서는 NIV 오염수준이 DON보다 높은 반면, 밀에서는 DON의 오염수준이 NIV보다 높았다. DON과 NIV의 오염빈도와 오염수준은 나라별로 지역별로 구별할 수 있다고 하였다. 즉 우리나라와 일본은 NIV의 오염수준이 월등하게 높은 반면, 아르헨티나, 캐나다, 중국, 폴란드, 독일은 DON의 오염수준이 높았다고 하였다. 그러나 본 연구 결과에서는 DON과 NIV의 오염빈도는 밀에서 모두 높았으며, 오염수준은 보리에서 모두 높았던 것이 다른 점이었다. 이것은 밀에 비해 출수가 1주일 정도 빠른 보리가 2010년의 4월의 이상저온현상에 더 큰 피해를 받았기 때문으로 붉은곰팡이병 발병과 독소오염에 더 감수성을 보인 것으로 생각되었다.

Table 4. Regional distribution of major mycotoxins naturally occurred in barley and wheat grains harvested in 2010

Province	DON		NIV		ZEA	
	No.(%) of positive samples	Mean level (range) in positive samples ($\mu\text{g/g}$)	No.(%) of positive samples	Mean level (range) in positive samples ($\mu\text{g/g}$)	No.(%) of positive samples	Mean level (range) in positive samples ($\mu\text{g/g}$)
Total(n ^a =126)	43 (34.1)	0.89 (0.2–8.13)	107 (84.9)	1.88 (0.11–9.74)	19 (15.1)	0.22 (0.01–3.21)
Subtotal(n=24)	6 (25.0)	2.49 (0.41–8.13)	17 (70.8)	0.61 (0.11–1.23)	4 (16.7)	0.85 (0.05–3.21)
Central region						
Gyeonggi (n=6)	3 (50.0)	1.94 (0.52–4.2)	5 (83.3)	0.61 (0.44–0.98)	0 (0)	ND ^b
Chungbuk (n=7)	3 (42.9)	3.03 (0.41–8.13)	3 (42.9)	0.25 (0.11–0.49)	1 (14.3)	0.07 (0.07)
Chunnam (n=11)	0 (0)	ND	10 (90.9)	0.71 (0.35–1.23)	3 (27.3)	1.10 (0.05–3.21)
Subtotal(n=102)	37 (36.3)	0.63 (0.20–2.41)	90 (88.2)	2.13 (0.24–9.74)	15 (14.7)	0.06 (0.01–0.22)
Southern region						
Jeonbuk (n=29)	5 (17.2)	0.26 (0.20–0.34)	27 (93.1)	1.96 (0.24–7.28)	5 (17.2)	0.06 (0.03–0.16)
Jeonnam (n=41)	17 (41.5)	0.64 (0.22–1.98)	40 (97.6)	2.64 (0.69–9.74)	7 (17.1)	0.06 (0.02–0.22)
Gyeongbuk (n=8)	1 (12.5)	0.21 (0.21)	3 (37.5)	0.36 (0.27–0.52)	0 (0)	ND
Gyeongnam (n=24)	14 (58.3)	0.77 (0.24–2.41)	19 (79.2)	1.60 (0.37–7.02)	3 (12.5)	0.03 (0.01–0.06)

^aNo. of samples tested.^bNot detected.

지역별 곰팡이독소 자연발생. 한편 맥류의 독소오염 분포를 지역별로 분석하여보면, 경기, 충남북의 중부지방은 DON의 오염수준이 NIV보다 높았으며, 전남북과 경남북의 남부지방은 NIV의 오염수준이 높았다. DON과 NIV독소의 오염빈도 또한 중부지방에 비해 남부지방이 많았다. 이러한 결과는 맥류 곰팡이독소 오염을 처음으로 남부와 중부지역으로 구분하여 분석한 결과이며, 중부지방과 남부지방의 작부체계, 기상조건 등의 차이가 붉은곰팡이병원균의 분포에 영향을 주는 것으로 생각되었다. 앞으로 지속적으로 지역별 독소오염 패턴과 영향요소를 조사하고 그 원인을 분석한다면 곰팡이독소 오염예방기술을 조기에 확립할 수 있을 것이다.

2010년도 맥류 전체생산량(조곡기준)은 2009년도에 비해 겉·쌀보리 41.8%, 맥주보리가 51.1% 각각 큰 폭으로 감소(Statistics Korea, 2010 & 2011)하여 역대 최저수준이었다. 붉은곰팡이병원균에 대한 기주의 저항성은 영양상태, 습해, 그리고 생육시기 등의 기주의 생리적인 조건에 의해 크게 영향을 받는다(Osborne과 Stein, 2007). 4월의 저온현상은 출수기와 개화기를 10–15일 지연시켰다. 또한 개화기 이후 지속적인 강우는 습해로 인한 작물의 저항성이 감소할 뿐만 아니라 병원균의 자낭포자 비산에 유리하게 되어 감염율이 급격히 증가하였으며, 또한 수확기의 높은 기온은 이삭에 감염된 병원균의 증식으로 인한 곰팡이독소 오염이 심하였던 것으로 해석할 수 있었다. Park 등(1990)은 1987년의 높은 습도와 낮은 기온이 1989년에 비해 *Fusarium*균과 곰팡이독소의 오염이 더 많았다고 분석하였다.

붉은곰팡이병 감염과 그에 따른 곰팡이독소의 오염은 기상조건에 영향을 많이 받는다. 특히 맥류의 개화기에 이상기온과 강우가 지속되었던 2010년은 맥류 붉은곰팡이병과 *Fusarium* 독소 발생이 심했던 1990년에 비해 DON, NIV의 오염수준이 높았다. 한편 최근 들어 빈번한 이상기후는 작물의 생산량 감소와 더불어 생산물의 안전성에 문제는 없는지에 대한 기초적인 조사, 분석이 매년 지속되어야 하며, 이를 통하여 기후변화가 농산물의 안전성에 어떠한 영향을 주는지를 이해하는 것이 궁극적인 연구목표이다. 따라서 기후변화에 따른 곰팡이오염 및 독소의 피해를 예방과 관리를 위해서는 향후 지속적인 조사분석이 수행되어야 하겠다.

요 약

2010년산 쌀보리 43시료, 겉보리 17시료, 맥주보리 11시료, 청보리 14시료, 밀 41시료 등 총 126개 시료를 농가로부터 채집하였다. 이들 시료를 대상으로 *Fusarium*균 오염정도와 이들 균이 생산하는 주요 독소인 DON, NIV, ZEA의 자연발생을 조사하였다. 2010년산 맥류의 전국 평균 오염율은 23.0%로 2009년 전국 평균 오염율(Yeh 등, 2010)에 비해 10% 이상 높았다. 지역별 오염율은 전남지방의 맥류가 35.8%로 가장 높았고 전북 20.8%, 경기 20.5% 순이었다. 각 독소별 오염빈도와 오염수준을 조사한 결과, DON은 43시료(34%), 0.89 mg/kg 이었고, NIV는 107시료(84.9%), 1.86 mg/kg, ZEA는 13시료(10.3%), 0.06 mg/kg이었다. NIV의 오염빈도가 DON과 ZEA에 비해 높았다. 한

편 40시료(31.7%)가 DON과 NIV가 중복오염되어 있었다. 맥류 종류별 곰팡이독소의 오염수준을 보면, 밀에서는 DON의 오염수준이 NIV보다 높았으며, 보리에서는 NIV 오염수준이 DON보다 높았다. 보리 종류별 NIV의 오염수준은 청보리, 맥주보리, 쌀보리, 걸보리 순으로 높았다. 독소오염에 대해 지역별로 분석하여보면 경기, 충청북의 중부지방은 DON의 오염수준이 NIV보다 높았으며, 전남 북과 경남북의 남부지방은 NIV의 오염수준이 높았다. DON과 NIV 독소의 오염빈도 또한 중부지방에 비해 남부지방이 많았다. 지역별 맥류 곰팡이독소 자연발생 양상의 차이를 처음으로 보고한다.

Acknowledgements

This study was carried out with the support of Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ0064522010) and 2010 Post-doctoral Fellowship Program (Project No. PJ006897) of National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- AOAC International. 1990. Method No. 986.18. In: Helrich, K. (Ed.), *Official methods of analysis of the Association of official analytical chemists*, 15th ed., Arlington.
- Chung, H. S. 1975. Cereal scab causing mycotoxicoses in Korea and present status of mycotoxin researches. *Kor. J Mycol.* 3: 31–36.
- Desjardins, A. E. 2006. *Fusarium mycotoxins: chemistry, genetics and biology*. APS Press, St. Paul, MN.
- Ibáñez-Vea, M., Lizarraga, E., González-Peñas, E. and Cerain, A. L. 2011. Co-occurrence of type-A and type-B trichothecenes in barley from a northern region of Spain. *Food Control*. doi: 10.1016/j.foodcont.2011.10.028.
- Kim, J. C., Kang, H. J., Lee, D. H., Lee, Y.-W. and Yoshizawa T. 1993. Natural occurrence of *Fusarium* mycotoxins (trichothecenes and zearalenone) in barley and corn in Korea. *Appl. Environ. Microbiol.* 59: 3798–3802.
- Korea Meteorological Administration. Monthly weather report: April, May, June, 2010.
- Lee, U.-S., Jang, H.-S., Tanaka, T., Hasegawa, A., Oh, Y.-J. and Ueno, Y. 1985. The coexistence of the *Fusarium* mycotoxins nivalenol, deoxynivalenol and zearalenone in Korean cereals harvested in 1983. *Food Addit. Contam.* 2: 185–192.
- Lee, U.-S., Jang, H.-S., Tanaka, T., Hasegawa, A., Oh, Y.-J., Cho, C.-M., Sugiura, Y. and Ueno, Y. 1986. Further survey on the *Fusarium* mycotoxins in Korean cereals. *Food Addit. Contam.* 3: 253–256.
- Leslie, J. F. and Summerell, B. A. 2006. *The Fusarium laboratory manual*. Blackwell Professional, Ames, IA. pp. 388.
- McMullen, M., Jones, R. and Gallenberg, D. 1997. Scab of wheat and barley: a re-emerging disease of devastating impact. *Plant Dis.* 81: 1340–1348.
- O'Donnell, K., Ward, T. J., Geiser, D. M., Kistler, H. C. and Aoki, T., 2004. Genealogical concordance between the mating type locus and seven other nuclear genes supports formal recognition of nine phylogenetically distinct species within the *Fusarium graminearum* clade. *Fungal Genet. Biol.* 41: 600–623.
- Osborne, L. E. and Stein, J. M. 2007. Epidemiology of *Fusarium* head blight on small-grain cereals. *Int. J. Food Microbiol.* 119: 103–108.
- Park, K. J. and Lee, Y.-W. 1990. Natural occurrence of *Fusarium* mycotoxins in Korean barely samples harvested in 1987 and 1989. *Proc. Jpn. Assoc. Mycotoxicol.* 31: 37–41.
- Park, K.-J., Park, A.-R. and Lee, Y.-W. 1992. Natural occurrence of *Fusarium* mycotoxins of the 1990 barley crop in Korea. *Food Addit. Contam.* 9: 639–645.
- Rossi, V., Ravanetti, A., Patteri, E., and Giosue, S. 2001. Influence of temperature and humidity on the infection of wheat spikes by some fungi causing *Fusarium* head blight. *J. Plant Pathol.* 83: 189–198.
- Ryu, J.-C., Yang, J.-S., Song, Y.-S., Kwon, O.-S., Park, J. and Chang, I.-M. 1996. Survey of natural occurrence of trichothecene mycotoxins and zearalenone in Korean cereals harvested in 1992 using gas chromatography/mass spectrometry. *Food Addit. Contam.* 13: 333–341.
- Son, S.-W., Nam, Y. J., Lee, S.-H., Lee, S. M., Lee, S. H., Kim, M. J., Lee T., Yun, J.-C. and Ryu, J.-G. 2011. Toxigenic fungal contaminants in the 2009-harvested rice and its milling-byproducts samples collected from Rice Processing Complex (RPC)es in Korea. *Res. Plant Dis.* 17: 280–287.
- Shirai Y., Ono Y. and Akimoto K. 2001. Simultaneous determination of deoxynivalenol and nivalenol in grain by high performance liquid chromatography with multifunctional clean up column for purification. *Res. Rep. Animal Feed* 26: 1–9.
- Statistics Korea. 2011. Cultivated area of barley, wheat, spring potatoes, apples and pears in 2011. URL <http://kostat.go.kr/portal/english/news/1/8/index.board?bmode=read&aSeq=249064>.
- Statistics Korea. 2010. Household food grain consumption per capita in 2010. URL <http://kostat.go.kr/portal/english/news/1/8/index.board?bmode=read&aSeq=245363>.
- Tanaka, T., Hasegawa, A., Yamamoto, S., Lee, U.-S., Sugiura, Y., and Ueno, Y. 1988. Worldwide contamination of cereals by the *fusarium* mycotoxins nivalenol, deoxynivalenol, and zearalenone. 1. Survey of 19 Countries. *J. Agric. Food Chem.*

- 36: 979–983.
- Visconti A. Pascale, M. 1998. Determination of zearalenone in corn by means of immunoaffinity clean-up and high-performance liquid chromatography with fluorescence detection. *J. Chromatogr. A* 815: 133–140.
- Xu, X.-M. Parry, D. W., Nicholson, P., Thomsett, M. A., Simpson, D., Edwards, S. G., Cooke, B. M., Doohan, F. M., Brennan, J. M., Moretti, A., Tocco, G., Mule, G., Hornok, L., Giczey, G. and Tatnell, J. 2005. Predominance and association of pathogenic fungi causing *Fusarium* ear blight in wheat in four European countries. *Eur. J. Plant Pathol.* 112: 143–154.
- Yang, L., Lee, T., Yang, X., Yu, D. and Waalwijk, C. 2008. *Fusarium* population on Chinese barley show a dramatic gradient in mycotoxin profiles. *Phytopathol.* 98: 719–727.
- Yeh, W.-H., Nam, Y. J., Lee, T., Lee, S., Park, K., Ryu, J.-G. and Yoon, J. 2010. The survey on *Fusarium* head blight (FHB) of cereals grown in 2009. Abstracts Presented at the 2010 KSPP Spring Meeting.
- Zachariasovaa, M., Lacinaa, O., Malachovaa, A., Kostelanskaa, M., Poustkaa, J., Godulab, M. and Hajslovaa, J. 2010. Novel approaches in analysis of *Fusarium* mycotoxins in cereals employing ultra performance liquid chromatography coupled with high resolution mass spectrometry. *Analytica Chimica Acta* 662: 51–61.