

2009년산 옥수수과 벼에서의 *Fusarium* 곰팡이독소 자연발생량 조사

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

국립농업과학원 농산물안전성부 유해생물과

Natural Occurrence of *Fusarium* Mycotoxins in Field-collected Maize and Rice in Korea in 2009

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

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

(Received on November 10, 2010; Accepted on November 21, 2010)

To detect *Fusarium* mycotoxins, grain samples were collected from 32 rice fields all over the country and from 19 maize fields in eastern and midland provinces in Korea in 2009. Maize contamination with *Fusarium* species (54.9%) was higher than in rice (8.2%). Using *Fusarium* species specific PCR primer sets (Fg16 and VERT), 58 and 354 of total 506 isolates from maize samples were putatively identified as *F. graminearum* (11.5%) and *F. verticillioides* (70.0%), respectively. From rice samples, 276 of 315 isolates (87.8%) were putatively identified as *F. graminearum* but *F. verticillioides* was not identified. LC or LC-MS analysis of the samples revealed that fumonisin was the most commonly detected mycotoxin in maize samples but its level was below the regulation limit. Only two maize samples were contaminated with deoxynivalenol and zearalenone at the levels above the regulation limit. In rice samples, contamination with zearalenone was common but the levels were below the regulation limit. This study showed that most of the Korean maize and rice samples collected in 2009 were contaminated with *Fusarium* mycotoxins but the levels were below the Korean regulations for deoxynivalenol, fumonisin and zearalenone.

Keywords : *F. graminearum*, *F. verticillioides*, Mycotoxin, Natural occurrence

식물 병원성 곰팡이인 *Fusarium*은 맥류 붉은곰팡이병, 벼 이삭마름병, 옥수수 이삭 및 줄기 썩음병을 비롯하여 많은 식물에 뿌리썩음병을 야기하여 작물의 수확을 감소시킬 뿐만 아니라 이병식물 내 독성 이차대사산물인 곰팡이독소를 생성하여 인축에 치명적인 중독증을 초래한다(Desjardins, 2006). 또한 병 발생 당해년도의 피해 뿐만 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 아니

라 작물 내에서 곰팡이독소들을 생산한다. 따라서 곡류의 곰팡이독소 오염은 작물 생산지가 해당 곰팡이에 의해 오염된 후에 발생하게 된다. 이같은 곰팡이는 작물의 수확 및 가공과정 중에 소멸되기도 하지만 생산된 곰팡이독소들은 화학적으로 안정하기 때문에 가공 후에도 소실되지 않고 작물 내에 잔존할 수 있다. 곡류에서 문제가 되는 대표적인 곰팡이독소로는 *Aspergillus*에 의해 생성되는 aflatoxin (AF)과 *Fusarium*에 의해서 생성되는 trichothecenes 계열의 deoxynivalenol (DON)과 nivalenol (NIV), zearalenone (ZEA), fumonisins (FB) 등이 있다.

Fusarium 오염으로 인한 곡류 내 곰팡이독소의 발생은 지금까지 전 세계적으로 꾸준히 보고되고 있다. 최근에는 Desjardins 등(2008)에 의해 2004년 네팔의 옥수수에서 NIV와 DON 및 FB₁이 검출되었고, 1999년 에티오피아산 곡

*Corresponding author

Phone) +82-31-290-0451, Fax) +82-31-290-0407

Email) tessyl1@korea.kr

물에서는 *Fusarium* 독소를 비롯한 aflatoxin B₁(AFB), ochratoxin A(OTA)의 심각한 오염이 보고된 바 있다(Ayalew 등, 2006). 아시아에서는 Yang 등(2008)에 의해서 중국의 보리를 감염하는 *Fusarium* 집단들이 지역적으로 차이가 있으며, 이로 인해 생성되는 독소도 다를 것으로 예상한 논문이 발표되었다. 우리나라에서도 *Fusarium*에 의한 독소의 자연발생에 대한 몇몇 사례가 보고되었다. 상대적으로 *Fusarium*에 의한 병발생이 심했던 1987년에 수확된 보리의 경우, 1989년 수확된 보리에서보다 trichothecenes 및 ZEA이 많이 검출되었고(Park과 Lee, 1990), 1997년 수확된 이병 옥수수에서는 건전한 옥수수 보다 trichothecenes, ZEA 및 FB의 오염이 심각하였다(Sohn 등, 1999). 벼의 경우, 1999-2001년 남부지방에서 수집된 시료에서 NIV 생성형 균주가 우세함이 보고되었다(Lee 등, 2004). 그밖에 2002년산 백미에서는 *Fusarium* 독소 뿐만 아니라 FB₁, OTA, AFB₁ 등도 함께 검출되었다(Park 등, 2005).

그러나 위의 연구결과들은 과거 10~20년 전 연구결과이며, 이후에는 주로 곡물의 가공품에 대한 곰팡이독소 오염여부에 대한 조사만 이루어졌을 뿐 주요 작물에 대한 *Fusarium* 오염 및 독소의 자연발생에 대한 보고가 이루어지지 않았다. 최근 이상 기온 및 잦은 강우로 인한 *Fusarium* 병 발생 피해가 증가하고 있어 국내산 곡물의 *Fusarium* 오염 및 *Fusarium* 독소에 대한 안전성 문제를 제고해야 할 필요성이 대두되고 있다. 따라서 본 연구에서는 2009년에 수집한 국내 옥수수와 벼를 대상으로 *Fusarium* 오염 현황과 이들이 생산하는 *Fusarium* 독소의 자연발생량을 분석하였다.

재료 및 방법

시료채집. 2009년도 전국의 벼 재배 지역(32농가)과 옥수수 주산지인 강원도(15농가)와 충청북도(4농가)에서 각각 시료를 수집하였다. 모든 시료들은 건조 후 균 동정과 독소분석을 하기 전까지 4°C에 보관하였다.

***Fusarium*의 분리.** *Fusarium*을 동정하기 위해 옥수수(30 g)와 벼(10 g) 시료를 1% sodium hypochlorite에 2분간 침지하여 표면 살균하였다. 표면 소독된 낱알들은 살균수로 2회 세척한 뒤 멸균된 여과지에서 물기를 제거한 후 105개씩 PDA(streptomycin 600 µg/ml)에 치상하였다. 그리고 25°C 항온기에서 5일간 배양한 후 *Fusarium*으로 예상되는 균을 PDA에 재배양하였다. 분리된 균은 water agar에 접종하여 단포자분리를 실시하였다. 균의 특성을 관찰하기 위해 카네이션잎 한천배지(CLA; Leslie와 Summerell, 2006)와 PDA를 사용하여 12시간의 광 조건

에서 7일간 배양한 후에 생성된 소형 및 대형분생포자의 유무 및 균총의 색과 배지뒷면의 색소 형성 등의 특성을 조사하였다. 이들 결과를 The *Fusarium* laboratory manual(Leslie와 Summerell, 2006)과 비교·검토하여 1차적으로 *F. graminearum*과 *F. verticillioides*로 구분하였다.

PCR 분석에 의한 *Fusarium*의 동정. 분리된 *Fusarium*은 CM배지에 접종하여 3일간 배양한 균사를 동결 건조시켰다. 건조된 곰팡이 균사체를 마쇄한 후 CTAB buffer(Proctor 등, 1995)를 이용하여 genomic DNA를 추출하였다. *F. graminearum*과 *F. verticillioides*를 특이적으로 동정하기 위해 Fg16(Nicholson 등, 1998)과 VERT(da Silva 등, 2007) primer set를 각각 사용하였다. PCR 조건 및 반응은 Yun 등(2000)에 의해 제시된 방법을 변형하여 수행하였다.

시료의 *Fusarium* mycotoxin 자연발생량 조사. Trichothecenes(DON과 NIV)의 분석은 AOAC 방법(AOAC International, 1990)을 참조하였다. 분쇄한 옥수수와 벼 시료 각 5 g을 85% acetonitrile 20 ml로 추출한 후 상층액(8 ml)을 MultiSep #227 column(ROMER Labs, Mo, USA)에 의해 여과, 정제하였다. 그 중 4 ml를 농축하여 이동상 1 ml로 재용해한 후 기기분석에 사용하였다. 또한 ZEA와 FB(FB₁, FB₂, FB₃)은 QuEChERS법(Zachariasova 등, 2010)을 참고하여 추출하였다. 독소추출을 위해 시료 5 g이 담긴 50 ml 튜브에 0.1% formic acid를 첨가한 증류수 15 ml과 acetonitrile 20 ml를 넣고 3분간 반응시켰다. 추출액은 NaCl 1 g과 anhydrous MgSO₄ 4 g을 첨가한 뒤 1분간 반응시킨 후 원심분리하였고, 상층액 2 ml를 농축하여 이동상 1 ml에 재 용해한 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 사용했으며, 분석에 사용된 컬럼은 SB-Aq C18(4.6 × 150 mm 5 µm, Agilent, USA)이었다. 검출기는 Diode array detector(DAD; Agilent, USA)를 사용하였고 이때 검출파장은 220 nm였다. FB와 ZEA의 이동상 용매는 0.5% formic acid가 각각 첨가된 물과 acetonitrile의 gradient system을 사용하였으며, 분석은 Sepax HPC18(2) 컬럼(2.1 × 150 mm 3 µm, sepax tech, USA)과 검출기로 Mass detector(1100 MSD, Agilent USA)를 사용하였다. FB 분석에는 ES positive mode를 사용하였고, ZEA 분석에는 ES negative mode를 사용하였다(Zachariasova 등, 2001).

결과 및 고찰

시료의 *Fusarium* 오염률. 전국 옥수수(n=19)와 벼

Table 1. *Fusarium* spp. contamination rate (%) in cereal samples

Province	Maize				Rice		
	<i>Fusarium</i> spp.	<i>F. graminearum</i> *	<i>F. verticillioides</i> *	other <i>Fusarium</i>	<i>Fusarium</i> spp.	<i>F. graminearum</i> *	other <i>Fusarium</i>
Gangwon	56.5	8.1	73.7	18.2	2.9	83.3	16.7
Gyeonggi					9.3	92.3	7.7
Chungbuk	38.6	58.8	17.6	23.6	5.2	100.0	0.0
Chungnam					15.8	87.2	12.8
Gyeongbuk					11.0	82.6	17.4
Gyeongnam					5.0	75.0	25.0
Jeonbuk					9.8	89.3	10.7
Jeonnam					6.7	92.9	7.1
Average	54.9	11.5	70.0	18.5	8.2	87.8	4.0

*Putatively identified by PCR with species-specific primer sets.

(n=32) 산지에서 채집된 2009년 시료에서 *Fusarium* 오염도를 조사한 결과 벼에 비해 옥수수에서 *Fusarium*에 의한 오염이 심각한 것으로 확인되었다. 옥수수 시료의 경우 강원도와 충청지역에서 각각 56.5%와 38.6%의 *Fusarium* 오염률을 보였다. 반면, 벼 시료의 *Fusarium* 오염률은 전국적으로 평균 8.2%이었으며, 충남지역이 15.8%로 다른 지역에 비해 *Fusarium* 오염률이 다소 높게 나타났다 (Table 1).

분리된 *Fusarium*을 각각 *F. graminearum*과 *F. verticillioides*로 추정할 수 있는 특이 primer를 사용하여 분석한 결과, 옥수수에서 분리된 506균주 중 58균주의 *F. graminearum* (11.5%)와 354균주의 *F. verticillioides*(70.0%)가 추정되었다. 특히 지역적으로는 충청북도 시료(58.8%)가 강원도의 시료(8.1%)에 비해 *F. graminearum*에 의한 오염률이 더 높게 확인 되었으나, *F. verticillioides*에 의한 오염률은 반대로 강원도의 시료(73.7%)에서 더 높게 확인되었다. 벼의 경우, 분리된 315균주 중 276균주(87.8%)가 *F. graminearum*으로 추정되었으며, 지역적으로 *F. graminearum*에 의한 오염률은 75% 이상으로 높은 오염률을 보였다. 그러나 옥수수 시료의 경우와는 달리 *F. verticillioides*는 확인되지 않았다.

이상의 *Fusarium*에 의한 오염도 조사 및 PCR 동정결과 *Fusarium* 오염은 작물과 지역적으로 우점종이 다른 것이 확인되었다. 벼의 경우 *Fusarium* 오염률은 지역적으로 다소 차이가 있었지만 옥수수 시료에 비해 오염률이 낮았으며, 분리된 *Fusarium*들은 대부분 *F. graminearum*으로 추정되었다. 옥수수는 벼의 경우와는 다르게 지역적으로 *Fusarium*에 의한 오염률 및 오염된 *Fusarium*의 종류도 다르게 나타났다. 강원도와 충청북도, 두 지역의 옥수수 시료에 오염된 *Fusarium* 중 강원도 지역에서는 *F.*

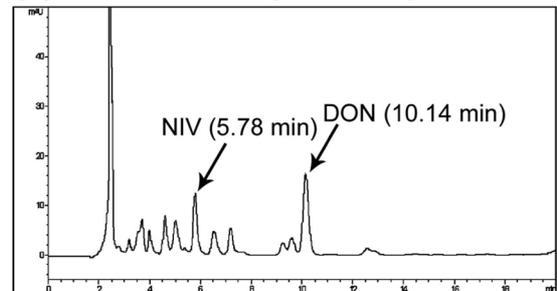
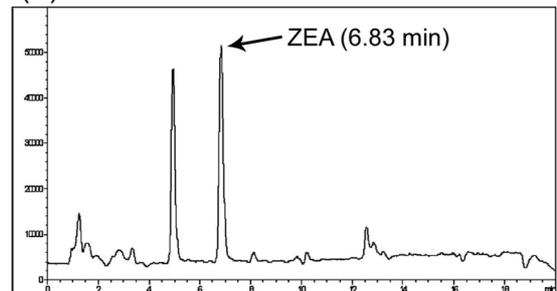
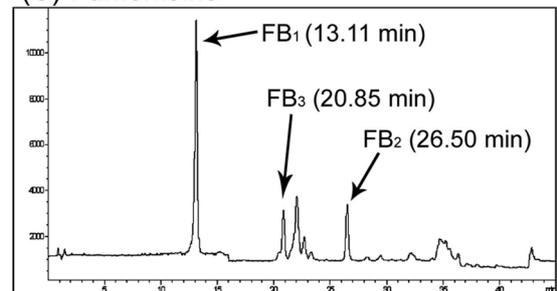
(A) Trichothecenes (DON, NIV)**(B) Zearalenone****(C) Fumonisin**

Fig. 1. Chromatograms of naturally contaminated maize and rice sample. **(A)** LC chromatogram of trichothecenes recorded by DAD. **(B and C)** LC-MS chromatograms of zearalenone and fumonisins recorded by SIM, respectively.

verticillioides 추정균주들이 우점종인 반면, 충청북도 지역에서는 *F. graminearum* 추정균주들이 우점종으로 확인되었다. 이러한 우점종들의 차이는 지역과 작물에 따라 검출되는 *Fusarium* 독소들의 종류와 연관이 있다. 한편 이들 *Fusarium* 균주들의 종 동정은 이 후 계통발생학분석 등을 통해 최종적으로 검증되어야 할 것이다. 특히 *Gibberella fujikuroi* species complex 의 한 member인 *F. verticillioides* 추정균주들은 같은 complex의 다른 member 들(예: *F. proliferatum*)과 종 특이 primer에 의한 PCR 증폭여부만으로 구분이 어려울 경우가 종종 있다(unpublished data).

***Fusarium* 곰팡이독소의 자연발생량.** 곡물 시료 내 오염 가능한 곰팡이독소로는 *F. graminearum*이 생성하는 DON, NIV, ZEA와 *F. verticillioides*이 생성하는 FB (FB₁, FB₂, FB₃)을 대상으로 조사하였다. 각각의 독소들의 HPLC 분석결과 NIV와 DON은 5.8분과 10.1분에 각각 검출되었고, ZEA는 6.8분, FB₁, FB₂, FB₃은 13.1, 26.5, 20.8분에 각각 검출되었다(Fig. 1).

총 19개 옥수수 시료의 경우 DON은 5개, NIV는 2개, ZEA는 5개 시료에서 검출되었다. DON이 검출된 시료

중 2개의 시료(GW-c7ae, GW-c10e)가 우리나라의 DON 기준치(1 mg/kg)를 초과하는 것으로 확인되었다. ZEA이 검출된 5개의 시료 중에서는 3개(GW-c10e, GW-c12, CC-c3e)의 시료에서 기준치(200 µg/kg)를 초과하는 독소가 검출되었다. 특히 한 개의 시료(GW-c10e)에서 DON, NIV, ZEA가 모두 검출되었으며, DON과 ZEA는 기준치를 초과하는 것으로 나타났다. FB의 경우 19개의 시료 중 13개의 시료에서 FB이 검출되었고, GW-c7be 시료에서 3,092 µg/kg로 가장 많은 양이 검출되었으나 대부분의 시료와 마찬가지로 기준치(4 mg/kg) 미만이었다(Table 2). 벼 시료의 경우, DON과 NIV가 각각 한 개의 시료에서, ZEA가 13개의 시료에서 검출되었지만, 옥수수의 시료에 비해 모두 기준치 미만이었다. 비록 벼에서 FB 생성 균주가 동정되지 않았지만, 한 개 시료(RJL-9e)에서 FB가 검출되었고 옥수수의 경우와는 달리 FB₂가 FB₁보다 많이 검출되었다(Table 3). 벼에서 FB는 2002년산 백미에서 소량 검출된 적이 있었으며 이때 FB을 생성하는 균주인 *F. proliferatum*이 벼 시료로부터 검출되었다(Park 등, 2005).

이상의 곡물 시료 내 *Fusarium* 오염과 *Fusarium* 독소의 자연발생량 조사 결과, 2009년산 국내 옥수수와 벼 시

Table 2. Natural occurrence of *Fusarium* mycotoxins in maize samples

Province	Samples	Natural occurrence (µg/kg)					
		DON	NIV	ZEA	FB ₁	FB ₂	FB ₃
Gangwon (15 ^a)	GW-c1	- ^b	-	-	24.1	-	-
	GW-c2	-	-	-	41.2	-	-
	GW-c3e	-	-	-	52.3	-	-
	GW-c4e	-	-	-	-	-	-
	GW-c5	-	-	-	41.7	-	-
	GW-c6	-	-	-	63.8	-	-
	GW-c7ae	1530	-	159.4	1010.9	35.8	-
	GW-c7be	261	-	13.5	3091.8	624.1	582.1
	GW-c8e	-	-	-	-	-	-
	GW-c9	-	-	-	-	-	-
	GW-c10e	2667	1364	385.9	144.8	51	52.6
	GW-c11e	-	-	-	46.9	-	-
	GW-c12	741	-	232	166.7	23	28.9
	GW-c13	-	-	-	47.7	-	-
GW-c14	-	-	-	40.1	-	-	
Chungbuk (4)	CC-c1	-	-	-	-	-	-
	CC-c2	452	387	-	-	-	-
	CC-c3	-	-	256.4	-	-	-
	CC-c4	-	-	-	33.1	-	-

^aNo. of samples.

^bNot detected.

Table 3. Natural occurrence of *Fusarium* mycotoxins in rice samples

Province	Samples	Natural occurrence ($\mu\text{g}/\text{kg}$)					
		DON	NIV	ZEA	FB ₁	FB ₂	FB ₃
Gangwon (4 ^a)	RGW-1e	- ^b	-	-	-	-	-
	RGW-2	-	-	-	-	-	-
	RGW-3	-	-	18.5	-	-	-
	RGW-4e	-	-	-	-	-	-
Gyeonggi (8)	RGG-1	-	-	-	-	-	-
	RGG-2	-	-	-	-	-	-
	RGG-3	-	-	39.8	-	-	-
	RGG-4e	-	-	37.9	-	-	-
	RGG-5	-	-	-	-	-	-
	RGG-6e	-	-	-	-	-	-
	RGG-7e	-	-	116.3	-	-	-
	RGG-8e	-	-	-	-	-	-
Chungbuk (2)	RCC-3e	-	-	-	-	-	-
	RCC-4e	-	-	-	-	-	-
Chungnam (4)	RCC-1e	-	-	-	-	-	-
	RCC-2	-	133	-	-	-	-
	RCC-5e	-	-	7.9	-	-	-
	RCC-6e	-	-	8.4	-	-	-
Jeonbuk (7)	RJL-1e	-	-	8.3	-	-	-
	RJL-2	-	-	-	-	-	-
	RJL-3	-	-	172.9	-	-	-
	RJL-6e	-	-	39.5	-	-	-
	RJL-7e	-	-	68	-	-	-
	RJL-8e	-	-	-	-	-	-
	RJL-9e	-	-	-	535.6	2234.5	633.3
Jeonnam (2)	RJL-4e	-	-	-	-	-	-
	RJL-5	122	-	45.5	-	-	-
Gyeongnam (3)	RGS-1e	-	-	-	-	-	-
	RGS-2	-	-	8.5	-	-	-
	RGS-3	-	-	109.3	-	-	-
Gyeongbuk (2)	RGS-4	-	-	-	-	-	-
	RGS-5e	-	-	-	-	-	-

^aNo. of samples.^bNot detected.

료에서는 *Fusarium* 오염에 비해 곰팡이독소는 대부분 기준치 미만으로 검출되어 분석한 곡물시료는 전체적으로 곰팡이독소에 대해 안전한 수준임이 확인되었다. 그러나 이는 *Fusarium*에 의한 병 발생이 당해년도(2009년)에 미비했던 결과에 따른 것으로 유추할 수 있다. 그러나 곰팡이 생장 및 그에 따른 독소의 생성은 기후변화의 영향을

많이 받기 때문에 특히 주요 작물의 개화기에 이상 기온과 호우가 잦았던 2010년은 *Fusarium*병 피해 뿐 아니라 *Fusarium* 독소 오염이 2009년에 비해 심각할 수 있을 것으로 예상된다. 따라서 기후변화에 따른 곰팡이오염 및 독소의 피해를 예방, 관리하기 위해서는 향후 지속적인 조사 분석이 수행되어야 할 것이다.

요 약

2009년 국내산 옥수수 19점과 벼 32점을 대상으로 *Fusarium* 오염 및 *Fusarium* 독소 오염을 조사하였다. 옥수수와 벼 시료의 *Fusarium* 오염률은 각각 54.9%와 8.2%로 확인되었으며, 종 특이 primer를 이용한 PCR 증폭결과 옥수수시료에서 분리된 506균주 중 58균주의 *F. graminearum* 추정균주(11.5%)와 354균주의 *F. verticillioides* 추정균주(70.0%)가 동정되었다. 또한 벼의 경우, 분리된 315균주 중 276균주(87.8%)가 *F. graminearum*으로 추정되었으며, *F. verticillioides* 추정균주는 검출되지 않았다. LC 및 LC-MS를 이용한 *Fusarium* 독소(DON, NIV, ZEA, FB)의 자연발생량 조사 결과, DON과 ZEA이 각각 2개의 옥수수 시료에서만 기준치 이상 검출되었다. FB는 대부분의 옥수수 시료와 한 개의 벼 시료에서 검출 되었으나 모두 기준치 이하였다. 따라서 본 연구에서 사용된 2009년산 옥수수와 벼의 곰팡이독소 오염수준은 대부분 기준치 이하로 심각하지 않았다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 연구개발과제(과제번호: PJ006897)의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

참고문헌

- 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.
- Ayalew, A., Fehrmann, H., Lepschy, J., Beck, R. and Abate, D. 2006. Natural occurrence of mycotoxins in staple cereals from Ethiopia. *Mycopathologia* 162: 57-63.
- 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.
- Desjardins, A. E. 2006. *Fusarium* mycotoxins: chemistry, genetics and biology. APS Press, St. Paul, MN.
- Desjardins, A. E., Busman, M., Manandhar, G., Jarosz, A. M., Manandhar, H. K. and Proctor, R. H. 2008. *Gibberella* ear rot of maize (*Zea mays*) in Nepal: Distribution of the mycotoxins nivalenol and deoxynivalenol in naturally and experimentally infected maize. *J. Agric. Food Chem.* 56: 5428-5436.
- Lee, Y. W., Jeon, J. J., Kim, H., Jang, I. Y., Kim, H. S., Yun, S. H. and Kim, J. G. 2004. Lineage composition and trichothecenes production of *Gibberella zeae* population in Korea, pp. 117-122. In T. Yoshizawa (ed.), *New horizons of mycotoxicology for assuring food safety*. Japanese Association of Mycotoxicology, Kagawa, Japan.
- Leslie, J. F. and Summerell, B. A. 2006. *The Fusarium laboratory manual*. Blackwell Professional, Ames, IA.
- Nicholson, P., Simpson, D. R., Weston, G., Rezanoor, H., Lees, N., Parry, A. K. and Joyce, D. W. 1998. Detection and quantification of *Fusarium culmorum* and *Fusarium graminearum* in cereals using PCR assays. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 53: 17-37.
- Park, J. W., Choi, S. Y., Hwang, H. J. and Kim, Y. B. 2005. Fungal mycoflora and mycotoxins in Korea polished rice destined for humans. *Int. J. Food Microbiol.* 103: 305-314.
- 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.
- Proctor, R. H., Hohn, T. M. and McCormick, S. P. 1995. Reduced virulence of *Gibberella zeae* caused by disruption of a trichothecene toxin biosynthetic gene. *Mol. Plant-Microbe Interact.* 8: 593-601.
- da Silva, V. N., de Araujo, J., Durigon, E. L. and Corrêa, B. 2007. Sequence variability in the FUM1 gene of *Fusarium verticillioides* strains. *Can. J. Microbiol.* 53: 446-449.
- Sohn, H. B., Seo, J. A. and Lee, Y. W. 1999. Co-occurrence of *Fusarium* mycotoxins in mouldy and healthy corn from Korea. *Food Addit Contam.* 16: 153-158.
- Yang, L., Lee, T., Yang, X., Yu, D. and Waalwijk, C. 2008. *Fusarium* population on Chinese barley show a dramatic gradient in mycotoxin profiles. *Phytopathology* 98: 719-727.
- Yun, S. H., Arie, T., Kaneko, I., Yoder, O. C. and Turgeon, B. G. 2000. Molecular organization of mating type loci in heterothallic, homothallic, and asexual *Gibberella/Fusarium* Species. *Fungal Genet Biol.* 31: 7-20.
- Zachariasovaa, M., Lacinnaa, 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.