

국내산 미곡에 발생하는 곰팡이와 곰팡이독소

이데레사* · 이수형 · 이정화 · 윤종철 · 오경석

국립농업과학원 유해생물팀

Natural Occurrence of Mycotoxin and Fungi in Korean Rice

Theresa Lee*, Soohyung Lee, Jeong-Hwa Lee, Jong-Chul Yun and Kyeong-Suk Oh

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

(Received on November 12, 2012; Revised on December 14, 2012; Accepted on December 15, 2012)

Inspection of deteriorated rices in Korea for fungal occurrence revealed that *Aspergillus* was the most frequently observed genus and some isolates of the *Aspergillus* spp. turned out to produce aflatoxin. Diverse fungal genera including *Fusarium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, or *Alternaria* spp. were observed in most of the rice samples. Aflatoxin occurred infrequently and the levels of aflatoxin present in the rice samples were lower than regulatory limit but *Fusarium* toxins such as deoxynivalenol, nivalenol, zearalenone, and fumonisin occurred frequently. In rice processing complexes, fungal and mycotoxin contamination of rice decreased by milling process, resulting in the lowest level of mycotoxin and fungi in polished rice. Currently, it appears that Korean rice and milled by-products need a safety control for *Fusarium* toxins rather than aflatoxin.

Keywords : Contamination, *Fusarium* toxin, Mycoflora, Paddy, Polished rice

서론

쌀(*Oryza sativa*)은 우리나라 뿐 아니라 아시아의 많은 나라에서 주곡으로 이용하는, 세계적으로 가장 중요한 식량자원 중 하나이다. 최근 식생활의 변화로 국민 일인당 연간 소비량이 2011년 현재 71.2 kg까지 감소하긴 했지만 쌀은 여전히 우리 국민의 주요 탄수화물 공급원이며 벼는 국내 재배 작물 중 가장 많은 면적을 차지하여 2011년 논벼의 재배면적은 전국 95만여 ha에 이른다(Statistics Korea, 2011).

벼와 같은 곡류는 수확 후 최종 소비될 때까지 몇 달에서 최장 몇 년의 기간이 소요되기 때문에 수확 후에도 장기간 관리가 필요한 작물이다. 벼의 저장 중 문제가 되는 주요 위해 요소로는 곰팡이와 해충이 있다. 곰팡이의 경우 재배 기간 뿐 아니라 저장 중 벼에 오염이 되면 저장 환경에 따라 포자의 증식이 일어날 수 있고 이는 미

곡의 변질을 유발하게 된다. 또한 독소를 생산하는 곰팡이가 오염되면 곰팡이독소에 의한 2차 오염이 발생할 수 있으며 대부분의 곰팡이독소는 화학적으로 안정한 물질이기 때문에 생성 후 분해나 제거가 어려우므로 주의가 필요하다.

벼에 발생하는 주요 곰팡이독소인 데옥시니발레놀(deoxynivalenol), 니발레놀(nivalenol), 제랄레논(zearalenone)과 푸모니신(fumonisin B₁)은 모두 *Fusarium* 속 곰팡이에 의해 생성된다(Table 1). 그 중 대표적인 종 중 하나인 붉은곰팡이는 *F. graminearum* 종복합체(species complex)에 속하며 식물병원균으로서 벼, 보리, 밀, 옥수수 등에 주로 발생한다. 붉은곰팡이는 포장에서 기주 식물에 감염된 후 곰팡이 번식에 유리한 환경이 조성되면 증식하여 작물 내 곰팡이독소를 생성한다. 따라서 붉은곰팡이를 비롯한 *Fusarium* 속 곰팡이는 작물의 정상생육과 이삭의 발달을 저해할 뿐 아니라 종자의 독소오염까지 초래한다는 점에서 재배 및 수확 후 전 과정 동안 관리해야 할 필요가 있다.

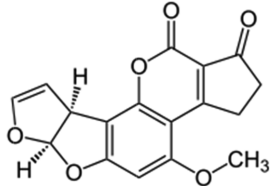
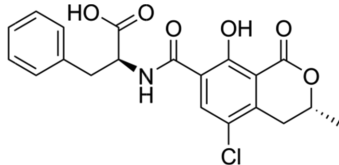
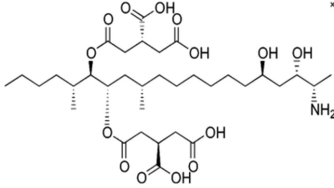
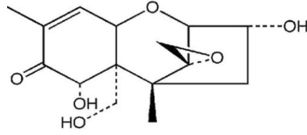
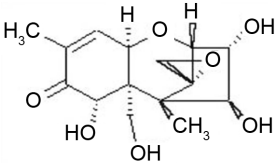
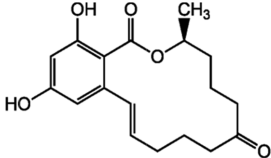
Fusarium 곰팡이독소의 밀, 보리, 옥수수 내 자연발생

*Corresponding author

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

Email) tessyl1@korea.kr

Table 1. Mycotoxins occurring in cereals

Mycotoxin	Produced by	Chemical structure
Aflatoxin B ₁	<i>Aspergillus flavus</i> <i>A. parasiticus</i> etc.	
Ochratoxin A	<i>Aspergillus ochraceus</i> etc.	
Fumonisin	<i>Gibberella fujikuroi</i> species complex	
Deoxynivalenol	<i>Gibberella zeae</i> species complex	
Nivalenol	<i>Gibberella zeae</i> species complex	
Zearalenone	<i>Gibberella zeae</i> species complex	

은 국내 뿐 아니라 전 세계적으로 꾸준히 보고되어왔으나 벼의 경우 발생빈도가 상대적으로 매우 낮아 관련 연구가 최근까지 활발하지 못했다(Lee 등, 1985; Kumar 등, 2008). 붉은곰팡이 외 *Gibberella fujikuroi* 종복합체에 속하는 종들의 경우, 푸모니신 등의 독소를 생산하며 주로 옥수수에서 발생하지만 벼에서도 발생사례가 가끔씩 보고되고 있다(Kim 등, 2012). 한편, *Fusarium* 외에 독소를 생성하는 주요 곰팡이인 *Aspergillus*와 *Penicillium* 속 곰팡이가 생산하는 독소인 아플라톡신 등은 주로 아열대

지역에서 재배하는 벼에서 빈번히 발생하고 있으나 아직 우리나라의 재배환경에서는 발생이 미미하다. 그러나 우리나라 변질미로부터 아플라톡신 생성균의 분리 및 동정 등 관련연구는 지속적으로 이루어져왔다.

따라서 본 논문에서는 우리나라에서 생산된 쌀 또는 벼를 대상으로 수행한 곰팡이 발생연구 및 곰팡이독소의 자연발생 사례를 살펴봄으로써 우리나라의 주곡인 쌀의 안전성을 곰팡이와 곰팡이독소 발생의 측면에서 조명해보고자 한다.

미곡에 발생하는 곰팡이

국내산 쌀에 발생하는 곰팡이 관련 연구는 1970년 초 저장중인 백미에 발생하는 곰팡이의 동정이 최초인 것으로 추정된다(Cho 등, 1972). 이 연구에서는 전국에서 수집한 27점의 변질미로부터 오염균을 분리하였는데, 가장 흔하게 관찰된 곰팡이로 *Aspergillus amstelodami*, *A. chevaliers* 등이 있었으며 *Penicillium* 속의 곰팡이도 함께 존재하였다. 특히 *P. islandicum*, *P. lanosum* 등이 우점하였으며 *P. islandicum* 외에도 *A. flavus*, *A. ochraceus*, *A. fumigatus* 등이 비록 낮은 빈도지만 관찰되어 곰팡이독소의 발생가능성을 시사하였다. 이 후 Kim과 Cho(1974)는 변질미 시료 62점을 조사하여 위와 유사한 결과를 얻었다. 이들은 변질미에서 분리한 *A. flavus* 균주 7주를 백미에 접종한 후 아플라톡신 생성여부를 조사하였다. 실험 결과, 조사 균주 모두가 아플라톡신을 생성하였으며 생성된 유도체 중 아플라톡신 B₁의 생성량이 가장 높았고 특히 *A. flavus* var. *columnaris*는 1 ppm에 달하는 다량의 독소를 생성하였다(Chung, 1975; Lee와 Lee, 1974). 이는 국내산 벼에도 아플라톡신이 발생할 수 있음을 보여주는 첫 번째 과학적 연구 결과였다. 한편 1977년산 백미의 저장 실험에서는 26°C에서 4주간 저장한 결과 *Aspergillus* 속 곰팡이가 가장 빈번하게 관찰되었다(Ha 등, 1979). 영남 지방에서 수집한 1989년산 쌀 59점에서 독소생성이 가능한 *Aspergillus* 균주가 분리되었다. 총 80주의 분리 균주 중 29주 배양체로부터 TLC 분석 결과 아플라톡신 추정 스팟이 관찰되었으나 아플라톡신이 검출되지는 않았다(Chung 등, 1989). 변질미의 원인을 곰팡이에서 찾으려는 연구도 꾸준히 시도되었다. 1978년에는 *P. islandicum*에 의한 황변미독 luteoskyrin의 생성이 보고되었다. Min 등(1982)은 저장중인 벼와 현미를 대상으로 오염 곰팡이를 분리·동정하였는데 우점종인 *Aspergillus* 속 11종과 *Penicillium* 속 5종 외에도 *Alternaria* 및 *Curvularia* 속 각 2종, *Trichothecium roseum*, *Nigrospora sphaerica*, *Rhizopus nigricans*, *Fusarium* spp., *Mucor* spp., *Helminthosporium* spp., *Gliocladiopsis* spp. 등이 벼에 분포함을 확인하였다. 이들은 원료벼의 표면에 우점하는 종이 *A. flavus*와 *A. candidus*로서 현미에 우점하는 *A. ruber*와 *A. sydowii*와 다르며, 원료벼에 훨씬 다양한 곰팡이 종이 존재한다고 보고하였다. 1987년산 서산 간척지에서 수확한 미곡의 저장 중 발생한 변질미에서는 *A. flavus*가 가장 높은 빈도로 관찰되었고 이 외 *A. terreus*, *A. fumigatus* 등 7종의 *Aspergillus*와 *P. funiculosum* 등 5종의 *Penicillium* 곰팡이가 변질미의 원인으로 보고되었다(Kim과 Lee, 1989).

변질미가 아닌 일반 유통중인 쌀에 발생하는 곰팡이 및 곰팡이의 독소생성능 연구도 발표되었다. 시중에 유통중인 2002년산 쌀 88점을 전국적으로 수집하여 조사한 결과, 45%의 시료가 다양한 곰팡이에 오염되어 있었으며 가장 출현빈도가 높은 종은 *P. citrinum*과 *A. candidus*으로 각각 27%와 26%의 오염율을 보였다(Park 등, 2004). 그러나 개별 곰팡이의 오염율의 총합으로 보면 *Aspergillus* 속이 88%, *Aspergillus*의 완전세대인 *Eurotium* 속이 19%, *Penicillium* 속이 53%로서 *Aspergillus* 속의 오염 빈도가 *Penicillium* 속 보다 훨씬 높은 것으로 나타났다. *Fusarium* 속 중에서는 *F. proliferatum*이 가장 높은 빈도로 나타났고 다음으로 *Alternaria*, *Rhizopus*, *Mucor* 속 순이었으며 낮은 빈도로 *Chaetomium*, *Cladosporium herbarum*, *Emericella nidulans* (*A. nidulans*), *Geotrichum candidum*, *Phoma*, *Scopulariopsis*, *Trichoderma* 속 등이 검출되었다.

미곡종합처리장에 저장중인 벼와 백미를 포함한 도정부 산물도 곰팡이 발생 조사의 대상이 되었다. 2005년-2006년산 벼와 백미 11점 내 오염균을 조사한 결과, *Aspergillus*와 *Penicillium* 속 곰팡이 및 *Bacillus*와 *Pectobacterium* 등의 세균이 가장 빈번하게 관찰되었다(Oh 등, 2007). 이는 저장중인 곡류에 가장 높은 빈도로 발생하는 곰팡이의 종류가 *Aspergillus*와 *Penicillium* 속 저장곰팡이라는 기존의 결과를 뒷받침한다. 2007년산 벼의 가공부산물인 현미, 청치미, 색채미, 백미 200여점을 전국에서 수집하여 곰팡이 오염수준을 조사한 결과, 전체 곰팡이 오염율은 청치미에서 21%로 가장 높았고, 색채미(15.7%), 현미(15%), 백미(2.2%)의 순으로 낮아졌다(Lee 등, 2011). 현미와 백미의 경우 *Aspergillus*와 *Penicillium* 속 곰팡이의 발생빈도가 가장 높았으나 청치미와 색채미의 경우 붉은 곰팡이인 *F. graminearum*을 포함한 *Fusarium* 속 곰팡이의 발생빈도가 가장 높았다. 이 외 *Alternaria*, *Chaetomium*, *Cladosporium*, *Curvularia*, *Mucor*, *Neurospora*, *Rhizopus*, *Trichoderma*, *Trichothecium* 속 곰팡이들이 관찰되었고 이는 기존에 발표된 미곡에 존재하는 곰팡이들의 종류와 크게 다르지 않았다. 2009년에는 미곡종합처리장에서 생산되는 모든 종류의 쌀과 부산물(미강 제외)을 대상으로 발생 곰팡이를 조사하였는데, 위의 결과와 유사하게 벼에서 *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Alternaria* 속 곰팡이가 발생함을 확인할 수 있었고 가공이 진행될 수록 *Aspergillus*와 *Penicillium* 속 곰팡이의 오염빈도가 높아지는 경향을 관찰할 수 있었다(Son 등, 2011). 이 외 *Myrothecium* 속 곰팡이의 오염이 최초로 발견되어 국내산 미곡이 *Myrothecium* 곰팡이독소에 오염될 가능성이 제기되었다. 미곡종합처리장 미곡시료로부터 총 35속의 곰팡이가

Table 2. List of fungal genera appeared in rice and its milling by-products*

Observed frequency	Fungal genera
More than 1%	<i>Alternaria, Aspergillus, Dreschlera, Fusarium, Nigrospora, Penicillium</i>
Less than 1%	<i>Acremoniella, Acremonium, Bipolaris, Botrytis, Candida, Chaetomium, Cladosporium, Colletotrichum, Curvularia, Epicoccum, Genicularia, Geotrichum, Gliomastix, Gloeocercospora, Monilinia, Moniliella, Mucor, Myrothecium, Neurospora, Oidiodendron, Paecilomyces, Phialophora, Phoma, Phomopsis, Pyricularia, Rhizoctonia, Rhizopus, Stemphylium</i>

*Adapted from Son et al. (2011).

동정되었는데 동정되지 못한 곰팡이(전체 곰팡이의 30% 이상)까지 고려할 때 미곡에 발생하는 곰팡이의 범위 (mycoflora)는 매우 다양하다는 것을 알 수 있다(Table 2).

전 세계적으로 벼에서 가장 문제가 되는 곰팡이는 *Aspergillus* 속이며, 이 중 아플라톡신을 생성하는 *A. flavus*, *A. parasiticus*, *A. niger*, *A. ochraceus* 등이 벼와 백미 등에 발생하였다(Reddy 등, 2008). 말레이시아, 인도, 베트남, 나이지리아, 미국 등의 쌀에 발생하는 곰팡이의 종류는 *Aspergillus* 속의 아플라톡신 생성 종을 비롯해 *Fusarium*, *Penicillium*, *Alternaria* 속 등으로 국내에서 보고된 것과 유사한 mycoflora를 보여주었다. 태국의 경우, 벼와 백미의 mycoflora를 조사한 결과 벼에서는 *Alternaria*, *Colletotrichum*, *Curvularia*, *Fusarium*, *Phoma* spp. 등 포장곰팡이의 오염이 관찰된 반면 백미에서는 *Aspergillus*와 *Penicillium* 속 저장곰팡이가 주로 오염된 것을 알 수 있었다(Pitt 등, 1994). 아르헨티나산 벼의 mycoflora도 위와 유사하였다(Broggi와 Molto, 2001). 브라질에서는 창고에 6개월, 12개월, 24개월 동안 저장중인 벼를 도정한 후 부산물인 왕겨, 미강, 백미 시료 90점으로부터 곰팡이의 발생을 분석하였다(Lima 등, 2000). 관찰된 곰팡이의 종류는 Lee 등(2011)이 보고한 것과 유사하였으며 백미의 오염율이 가장 낮았고 미강, 왕겨의 순으로 높아졌으며 아플라톡신 생성 가능 곰팡이 중에서는 *A. flavus*와 *A. candidus*가 가장 높은 빈도로 발생하였다. 또한 분리한 *A. flavus* 균주의 52.6%가 B group의 아플라톡신 생성능을 가지고 있었다. 인도의 경우 저장미곡에 우점하는 곰팡이로는 *A. flavus*, *A. candidus*, *A. fumigatus*, *A. nidulans* 등의 *Aspergillus* 속이 동정되었으며, 미곡에 바구미 등 해충이 함께 존재하면 곰팡이 발생이 증가한다고 보고하였다(Kumar 등, 2008).

미곡 내 곰팡이독소의 자연 발생

국내산 곡류 내 *Fusarium* 곰팡이독소의 발생현황은 1985년 Lee 등에 의해 밀, 보리, 맥아 등에서 처음으로 보고되었으며, 이때 쌀은 포함되지 않았다. 1992년에 경

기와 강원지역에서 수확한 벼 156점을 대상으로 푸모니신 발생을 조사한 결과 전체시료의 5.1%인 8점에서 최고 99 ng/g이 검출되었다(Chung과 Kim, 1995). 1995년산 쌀 및 가공품 150점을 대상으로 조사한 결과, 백미 60점 중 24점, 떡 30점 중 27점, 쌀과자 30점 중 19점으로부터 푸모니신이 각각 평균 41, 42, 18 ng/g 농도로 검출되었다(Kim 등, 1998).

국내산 쌀의 아플라톡신 오염은 1989년 처음 보고되었다. Kang 등(1989)은 1988년과 1989년에 수집한 쌀 시료로부터 각각 평균 4.1 ng/g과 4.3 ng/g 농도의 아플라톡신을 검출하였다. 그러나 1995년 수확한 쌀 20점으로부터는 아플라톡신이 검출되지 않았다(Shon 등, 1997). 시중에 유통중인 2002년산 쌀 88점을 분석한 결과, 6%의 시료에서 평균 4.3 ng/g의 아플라톡신이 검출되었다(Park 등, 2004). 같은 시료로부터 푸모니신, 데옥시니발레놀, 니발레놀, 제랄레논 등 주요 *Fusarium* 독소와 오크라톡신(ochratoxin A)도 함께 검출되었으며, 이 중 니발레놀이 최대 462 ng/g 검출되었다. 2005년부터 2006년에 수집한 현미의 경우 시료 7점 중 2점이 데옥시니발레놀에, 7점이 제랄레논에 오염되었으며, 평균 검출농도는 각각 7.4 ng/g, 22 ng/g 수준이었다(Ok 등, 2007). 백미 시료 14점 중 6점으로부터 데옥시니발레놀이 평균 28.4 ng/g 수준으로 검출되었다.

2007년부터 2008년 사이에 시판중인 쌀과 현미 각각 62점과 44점을 분석한 결과, 데옥시니발레놀은 쌀 시료의 8.1%, 현미 시료의 13.6%에서 검출되었으며, 제랄레논은 쌀의 5.8%, 현미의 14.0%에서 검출됨에 따라 유통중인 백미와 현미 모두 *Fusarium* 곰팡이독소에 오염되어 있음을 알 수 있었다(KFDA, 2009). 그러나 검출 최대치는 데옥시니발레놀의 경우 6 ng/g, 제랄레논의 경우 2.5 ng/g로 모두 낮은 수준이었다. 쌀 가공식품 199점을 대상으로 조사한 결과, 시료의 16%에서 데옥시니발레놀이 평균 3.4 ng/g의 농도로 검출되기도 하였다(Ok 등, 2009). 한편 위의 시료와 다른 2007년산 백미와 현미시료에서는 데옥시니발레놀이 검출되지 않았다(Chun과 Chung, 2007). 이러한 결과는 곡류내 곰팡이독소 자연발생 연구결과가 조

사대상 시료의 수집시기와 지역, 범위 등에 따라 달라질 수 있음을 시사한다. Lee 등(2010)은 갓 수확한 2009년산 벼를 대상으로 데옥시니발레놀, 니발레놀, 제랄레논, 푸모니신의 자연발생을 조사하였다. 총 32점의 시료 중 13점에서 제랄레논이 검출되었고(7.9-172.9 ng/g) 데옥시니발레놀과 니발레놀, 푸모니신은 각 1점의 시료에서 미량 검출되었다. 그러나 붉은곰팡이병 발생이 증가한 2010년산 벼의 경우, 이들 곰팡이독소의 오염 또한 증가하였으므로 미곡의 곰팡이발생 및 생성 곰팡이독소는 붉은곰팡이병의 발생과 밀접한 관련이 있는 것으로 추정된다(데이터 미포함).

Lee 등(2011)은 미곡종합처리장에서 저장 중인 벼 및 가공부산물을 대상으로 *Fusarium* 곰팡이독소의 오염실태를 조사하였다. 2007년산 벼를 가공한 현미, 청치미, 색채미, 백미 시료를 전국에서 각 50여 점씩 수집하여 데옥시니발레놀, 니발레놀, 제랄레논의 자연발생을 분석하였다. 위 미곡시료 중 청치미와 색채미의 오염이 현미와 백미보다 높았으며 청치미의 경우 모든 시료가 니발레놀에 오염되었다. 제랄레논의 오염율은 98%였으나 데옥시니발레놀의 오염율은 4%였다. 색채미의 경우 독소의 오염율이 데옥시니발레놀 68%, 니발레놀 94%, 제랄레논 80% 수준으로 높았으며 최대 오염수준도 청치미보다 높았다. 현미의 경우, 오염율(4-27%)이나 최대 오염수준(니발레놀 569 ng/g)이 청치미나 색채미보다 낮았으며, 백미의 경우 51개 시료 중 단 1점만 미량의 니발레놀에 오염된 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 2007년 국내산 백미 및 현미가 곰팡이독소 오염으로부터 상대적으로 안전하다는 것을 시사한다. 그러나 현미의 경우 낮은 농도의 곰팡이독소 오염이 확인되었으므로 지속적인 모니터링을 통한 안전성 관리가 필요할 것으로 판단된다. 한편 국내에서 보고된 미곡의 곰팡이독소 검출농도는 현행 국내 곰팡이독소 안전관리기준에서 허용하는 최대 기준치 이하의 수준이다(Table 3).

벼 시료로부터 곰팡이독소의 자연발생사례는 외국에

서도 빈번히 보고되고 있으며, 전 세계적으로 가장 문제가 되는 독소는 아플라톡신이다. 인도의 경우 벼와 백미 1200점의 시료 중 67.8%가 아플라톡신 B₁에 오염되어 있었다(Reddy, 2008). 중국의 현미시료 36점으로부터는 4종류의 아플라톡신이 모두 검출되었으며(Liu 등, 2006), 스리랑카에서는 벼보다 쌀에서 아플라톡신의 오염수준이 더 높게 관찰되었다(Bandara 등, 1991). 2002년산 영국에서는 다양한 종류의 유통 중인 쌀을 조사한 결과 오크라톡신이나 푸모니신 등은 검출되지 않았으나 아플라톡신은 EU의 허용기준치(2 ng/g) 이하 수준으로 검출되었다(Reddy 등, 2008). 일본에서는 1998년 태풍이 발생한 후 수확한 벼에서 데옥시니발레놀, 니발레논 등이 검출되었다(Tanaka 등, 2007). 인도의 저장미곡에서는 아플라톡신 B₁과 G₁, 오크라톡신, 아플라톡신의 전 단계 화합물인 스테리그마토시스틴(sterigmatocystin), 시트리닌(citrinin)이 모두 검출되었고 미강에서는 아플라톡신이 검출되었다(Kumar 등, 2008).

결론

수확한 벼의 경우 다양한 종류의 곰팡이에 의한 오염이 관찰되지만 도정 후 백미와 현미에서는 *Aspergillus* 속 등 저장곰팡이의 발생빈도가 원곡인 벼보다 높았다. 그러나 전 세계적으로 벼에서 문제가 되고 있는 아플라톡신은 국내에서 실제 자연발생 빈도가 매우 적고 오염수준도 매우 낮거나 검출되지 않은 반면, *Fusarium* 곰팡이독소들은 벼에 광범위하게 오염된 것으로 보고되고 있다. 비록 대부분 *Fusarium* 곰팡이독소의 오염 수준은 국내외 허용치 이하이지만 국내산 미곡의 경우 *Fusarium* 곰팡이독소에 빈번하게 오염되고 있어, 아플라톡신 보다 *Fusarium* 곰팡이독소의 오염방지를 위한 관리대책이 시급한 실정이다. 한편 최근 기후변화 등으로 인해 작물병의 발생률과 곰팡이 오염률이 증가 추세이고 저장곰팡이가 급증할 수 있는 환경이 자주 조성되고 있어 아플라톡신 생성 가

Table 3. Maximum mycotoxin limits in foods*

Mycotoxin	Target food	Maximum limit
Aflatoxin B ₁	Grain & its processed food	Not more than 10 µg/kg
Ochratoxin A	Wheat, barley & rye	Not more than 5 µg/kg
Fumonisin	Corn processed food (containing more than 50% of corn)	Not more than 2 mg/kg (as a sum of B ₁ and B ₂)
Deoxynivalenol	Grain	Not more than 1 mg/kg
Zearalenone	Grain	Not more than 200 µg/kg

*Selected from the standards set by Korea Food & Drug Administration (2012).

능 *Aspergillus* 곰팡이를 비롯한 다른 독성 곰팡이 및 이들에 의해 생성되는 곰팡이독소의 발생여부도 지속적으로 병행 조사해야 할 것이다.

미곡종합처리장의 모든 가공부산물 내 곰팡이독소의 오염수준은 원료인 벼에서 가장 높고, 가공단계를 거칠수록 감소하지만 백미를 제외한 모든 시료로부터 곰팡이독소의 오염이 관찰되었다. 따라서 현미와 왕겨, 청치미, 색채미, 싸라기의 경우 지속적인 곰팡이 오염과 곰팡이독소 발생 모니터링이 필요할 뿐 아니라 이들을 가축의 사료로 활용할 경우 주의가 필요하다. 미곡종합처리장 시료의 곰팡이독소 오염은 저장 전 수확한 벼의 곰팡이독소 자연발생과도 밀접한 관련이 있을 것으로 추정된다. 붉은곰팡이병의 발생이나 기상환경의 악화 등 재배 중 벼의 생육에 불리한 환경이 조성된 해에는 곰팡이의 발생이나 곰팡이독소의 오염수준 또한 증가하는 경향이 있다. 따라서 곰팡이독소의 오염으로부터 주곡의 안전성을 높이기 위해서는 재배 중 붉은곰팡이병 사전예방, 사후 방제와 더불어 저장환경의 개선, 병원균 및 곰팡이독소 저감화 기술 적용 등의 수확 후 관리가 필요하다.

요 약

국내산 변질미와 저장 중 미곡에 발생하는 곰팡이로는 *Aspergillus* 속이 가장 많이 관찰되었으며, 분리한 곰팡이들의 일부는 아플라톡신 생성능을 보유하고 있었다. 대부분의 미곡시료에서는 *Fusarium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Alternaria* 속 등의 다양한 곰팡이가 발생했으나 시료 내 아플라톡신 발생이나 오염수준은 허용기준치 이하로 미미한 반면 *Fusarium* 독소인 데옥시니발레놀, 니발레놀, 제랄레논, 푸모니신 등의 발생은 빈번하였다. 미곡종합처리장의 벼와 가공부산물의 경우, 곰팡이 및 곰팡이독소의 발생수준이 가공단계를 거칠수록 감소하여 백미에서 가장 낮았다. 현재, 벼의 가공부산물을 포함한 국내산 미곡의 경우, 아플라톡신 보다 *Fusarium* 곰팡이독소에 대한 안전관리가 더욱 필요한 것으로 판단된다.

Acknowledgement

This study was carried out with the support of “Cooperative Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ007692)”, Rural Development Administration, Republic of Korea and “Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ008635)”, National Academy

of Agricultural Science, Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Bandara, J. M. R. S., Vithanega, E. K. and Bean, G. A. 1991. Occurrence of aflatoxins in parboiled rice in Sri Lanka. *Mycopathologia* 116: 65–70.
- Broggi, L. E. and Molto, G. A. 2001. Fungi associated with rice at Entre Rios province, Argentina. Toxigenic capacity of *Fusarium graminearum* and *Microdochium nivale* isolates. *Mycotoxin Research* 17: 96–107.
- Cho, D. H., Chun, J. K. and Kim, Y. B. 1972. Types of deterioration of storage rice in Korea and identification of the causative microorganisms (I). *J. Korean Agr. Chem. Soc.* 15: 193–198.
- Chun, H. S. and Chung, S. H. 2007. Safety evaluation for deoxynivalenol in foods. The annual report of KFDA, Vol.11 (In Korean).
- Chung, D.-H., Kang, H.-J., Ha, G.-S., Kim, S.-Y. and Pestka, J. 1989. Hygienic studies on agricultural products in Youngnam districts (part I) isolation of aflatoxin producing strains. *Korean J. Food Hygiene* 4: 165–170.
- Chung, H. S. 1975. Cereal scab causing mycotoxicoses in Korea and present status of mycotoxin researches. *Korean J. Mycol.* 3: 31–36.
- Chung, S. H. and Kim, Y. B. 1995. Natural occurrence of fumonisin B₁ in Korean corn and rough rice. *Foods Biotechnol.* 4: 212–216.
- Ha, Y.-L., Kim, M.-C., Kim, J.-O. and Sim, K.-W. 1979. The quantitative change of chitin as a criterion to indicate fungal invasion to rice storage. *Korean J. Appl. Microbiol. Bioeng.* 7: 15–21.
- Kang, H.-Y., Lee, Y.-W., Chung, D.-H., Kim, J.-G. and Pestka, J. 1989. Hygienic studies on some Korea cereals - a study on the mycotoxin contamination. *J. Korean Public Health Association* 15: 83–90.
- Kim, E.-K., Kim, Y.-B., Shon, D.-H., Ryu, D. and Chung, S.-H. 1998. Natural occurrence of fumonisin B₁ in Korean rice and its processed foods by enzyme-linked immunosorbent assay. *Food Sci. Biotechnol.* 7: 221–224.
- Kim, J.-H., Kang, M.-R., Kim, H.-K., Lee, S.-H., Lee, T. and Yun, S.-H. 2012. Population structure of the *Gibberella fujikuroi* species complex associated with rice and corn in Korea. *Plant Pathology J.* 28: 357–363.
- Kim, J.-S. and Lee, Y.-W. 1989. Identification of *Aspergillus* spp. and *Penicillium* spp. isolated from the deteriorated rice. *Plant Pathology J.* 5: 389–391.
- Kim, Y. B. and Cho, D. H. 1974. Types of deterioration of storage rice in Korea and identification of the causative microorganisms (II). *J. Korean Agr. Chem. Soc.* 17: 54–62.

- Korea Food and Drug Administration. 2009. Regulatory impact analysis-control limit in foods. (In Korean)
- Korea Food and Drug Administration. 2012. Maximum mycotoxin limits in foods. Available at: http://www.kfda.go.kr/files/upload/eng/Article_2_Common_Standards_Specification_for_General_Foods.pdf.
- Kumar, V., Basu, M. S. and Rajendran, T. P. 2008. Mycotoxin research and mycoflora in some commercially important agricultural commodities. *Crop Prot.* 27: 891–905.
- Lee, K. and Lee, S. R. 1974. Producibility of aflatoxins by *Aspergillus flavus* group isolated from deteriorated rice in Korea. *Korean J. Food Sci. Technol.* 6: 168–175. (In Korean)
- Lee, S.-H., Son, S. W., Nam, Y. J., Shin, J. Y., Lee, S., Kim, M., Yun, J.-C., Ryu, J.-G. and Lee, T. 2010. Natural occurrence of *Fusarium* mycotoxins in field-collected maize and rice in Korea in 2009. *Res. Plant Dis.* 16: 306–311. (In Korean)
- Lee, T., Lee, S.-H., Lee, S.-H., Shin, J. Y., Yun, J.-C., Lee, Y.-W. and Ryu, J.-G. 2011. Occurrence of *Fusarium* mycotoxins in rice and its milling by-products in Korea. *J. Food Protect.* 74: 1169–1174.
- 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.
- Lima, C. A. P., Osri, R. B., Dilkin, P. and Corr, B. 2000. Mycoflora and aflatoxigenic species in derivatives of milled rice. *Ciencia. Tecnol. Aliment.* 20: 37–39.
- Liu, Z., Gao, J. and Yu, J. 2006. Aflatoxins in stored maize and rice grains in Liaoning province, China. *J. Stored Prod. Res.* 42: 468–479.
- Min, T. I., Cheigh, H. S., Ragunathan, A. N. and Majumder, K. S. 1982. Studies on the fungi in stored rice. *Korean J. Appl. Microbiol. Bioeng.* 10: 191–196.
- Ok, H. E., Chang, H.-J., Choi, S.-W., Lee, N., Kim, H. J., Koo, M. S. and Chun, H. S. 2007. Co-occurrence of deoxynivalenol and zearalenone in cereals and their products. *J. Food Hyg. Safety* 22: 375–381.
- Ok, H. E., Chang, H.-J., Choi, S.-W., Cho, T. Y., Oh, K. S. and Chun, H. S. 2009. Occurrence and intake of deoxynivalenol in cereal-based products marketed in Korea during 2007–2008. *Food Addit. Contam. Part B.* 2: 154–161.
- Oh, J. Y., Jee, S. N., Nam, Y., Lee, H., Ryoo, M. I. and Kim, K. D. 2007. Populations of fungi and bacteria associated with samples of stored rice in Korea. *Mycobiology* 35: 36–38.
- Park, J. W., Kim, E. K. and Kim, Y. B. 2004. Estimation of the daily exposure of Koreans to aflatoxin B1 through food consumption. *Food Addit. Contam.* 21: 70–75.
- Pitt, J. I., Hocking, A. D., Bhudhasamai, K., Miscamble, B. F., Wheeler, K. A. and Tanboon-Ek, P. 1994. The normal mycoflora of commodities from Thailand. 2. Beans, rice, small grains and other commodities. *Int. J. Food Microbiol.* 23: 35–53.
- Reddy, K. R. N. 2008. Estimation and prevention of aflatoxin contamination in rice. Ph. D. dissertation, Osmania University, Hyderabad, India.
- Reddy, K. R. N., Reddy, C. S., Abbas, H. K., Abel, C. A. and Muralidharan, K. 2008. Mycotoxigenic fungi, mycotoxins, and management of rice grains. *Toxin Reviews* 27: 287–317.
- Shon, D.-H., Cho, J.-H. and Lee, M.-H. 1997. Aflatoxin residues in agricultural commodities determined by direct ELISA. *J. Food Hyg. Safety* 12: 281–287.
- Son, S.-W., Nam, Y. J., Lee, S.-H., Lee, S. M., Lee, S., Kim, M., Lee, T., Yun, J.-C. and Ryu, J.-G. 2011. Toxicogenic fungal contaminants in the 2009-harvested rice and its milling-byproducts samples collected from rice processing complexes in Korea. *Res. Plant Dis.* 17: 280–287. (In Korean)
- Statistics Korea. 2011. Agricultural land area- rice fields in 2011/ Per capita food grain consumption in 2011. Available at: <http://kosis.kr/insieng/view/stat10.do>.
- Tanaka, K., Sago, Y., Zheng, Y., Nakagawa, H. and Kushiro, M. 2007. Mycotoxins in rice. *Int. J. Food Microbiol.* 119: 59–66.