전국 미곡종합처리장에서 채집한 2009년산 쌀과 가공부산물 시료의 독소생성곰팡이 오염

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

국립농업과학원 유해생물과

Toxigenic Fungal Contaminants in the 2009-harvested Rice and Its Milling-byproducts Samples Collected from Rice Processing Complexes in Korea

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

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

(Received on October 26, 2011; Revised on November 17, 2011; Accepted on November 25, 2011)

This investigation was undertaken to survey toxigenic fungal contamination of various rice samples in 93 rice processing complexes (RPC) in Korea. Rice was grown in 2009 and the samples were collected in 2010. Seven types of rice samples such as unhusked, brown, blue-tinged, discolored, polished, half-crushed, and rice husks were obtained from each RPC. One-hundred and five grains of each sample were placed on PDA plates after surface disinfection. The incidence of fungal contaminants was 26.8%. *Aspergillus* spp. was the most dominant fungal contaminants and *Fusarium* spp. was the most frequently occurred in samples. The heaviest *Fusarium* contamination was found in unhusked grain, rice husks, and bare blue-tinged rice and followed by colored rice whereas broken rice was the least contaminated. Regional difference of fungal contamination was distinctive. *Fusarium* incidence in the rice samples from southern region of Korea including Jeolla and Gyeongsang Provinces was higher than those from central region including Chungcheong, Gyeonggi, and Gangwon Provinces. In contrast to *Fusarium* spp., *Aspergillus* spp. and *Penicillium* spp. were dominated in brown and polished rice samples and their incidences were more severe in central region than southern region. The major contaminants shown more than 1% of kernels infected were *Aspergillus* (5.0%), *Fusarium* (2.0%), *Alternaria* (1.4%), *Dreschlera* (1.3%), *Penicillium* spp. (1.3%), and *Nigrospora* spp. (1.0%). *Colletotrichum*, *Pyricularia*, *Myrothecium*, *Epicoccum*, *Cladosporium*, *Moniliella*, *Gloeocercospora*, *Chaetomium*, *Curvularia*, *Phialopora*, *Acremonium*, *Gliomastix*, *Trichoderma*, *Rhizopus*, *Phomopsis*, *Paecilomyces*, *Genicularia*, *Geotrichum*, *Acremoniella*, *Rhizoctonia*, *Phoma*, *Oidiodendran*, and *Candida* spp. were among the rest observed at low incidence. The major contaminants of rice samples were well-known as toxigenic fungal genera so toxin producibility of these fungal isolates is necessary to be examined in future. It is also needed to study *Myrothecium* spp. on species level as it was detected for the first time in rice.

Keywords : *Aspergillus*, *Fusarium*, Mycotoxigenic fungi, *Myrothecium*, Rice

서 론

쌀은 우리나라를 비롯한 세계 여러 나라에서 밀과 옥수수 함께 가장 중요한 식량으로 세계 인구의 절반 이

상이 쌀을 주식으로 하고 있으며, 총 경작가능면적의 약 10%인 164백만 ha에서 재배되어 약 724백만 톤으로 2002년도 이후 점차 생산량이 증가하고 있다(FAO, 2011). 한국에서는 쌀 재배면적이 2009년 924천 ha이며, 주식 중 가장 많은 양을 섭취하고 있다(MIFAFF, 2010). 최근 한류문화가 세계적으로 각광을 받으면서 한식의 소비가 더욱 많아질 것으로 전망되고 있다. 이러한 한식 세계화를

*Corresponding author

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

Email) jgyu@korea.go.kr

위해서는 원료인 쌀의 위생적인 생산이 필수적이다.

쌀은 강수량이 많은 우기조건에서 잘 자라기 때문에 자연발생 곰팡이독소 오염으로부터 자유롭지 못하다. 특히 수확기에 가까울수록 잦은 강수와 홍수 등의 기상은 작물체에 습기가 많아지게 하고, 이삭은 곰팡이와 세균의 침입을 받기 쉽다. 권장기준보다 수분함량이 높은 밀 이삭은 곰팡이의 증식이 많아져서 수확하기 전 포장상태에서도 테옥시니발레놀(DON) 독소가 생성되고 그 함량이 증가한다(Yoshida 등, 2007), 쌀에 곰팡이독소를 생성하는 곰팡이는 주로 *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Alternaria* 속 곰팡이가 대표적이며, 이들 곰팡이는 세계적으로 널리 분포한다(Ramm 등, 1994; Abbas 등, 1999; Magro 등, 2006; Hussaini 등, 2007; Reddy 등, 2008; Lee 등, 2011; Butt 등, 2011). 이들 곰팡이의 오염에 의한 곰팡이중독증은 심각한 질병과 사망에 이르게 할 수 있다. *Fusarium*속과 *Alternaria*속 곰팡이는 주로 재배·포장에서 이삭에 침입·감염하며, *Aspergillus*와 *Penicillium*속 곰팡이는 포장·재배과정에서 감염이 일어나기도 하지만 대부분 저장중인 종자나 곡물, 가공식품에서 오염되어 독소를 생산한다(Adams, 1977).

쌀에서의 곰팡이독소 오염은 밀, 보리, 옥수수과 같은 다른 곡물에 비해 많이 보고되어 있지 않다(Tanaka 등, 2004). 그러나 2차 세계대전 이후 일본에서는 수입 쌀에서 luteoskyrin, islanditoxin, cyclochlorotine 오염이 보고되었으며, 일본산 저장쌀에서 *Penicillium* 과 *Aspergillus*속 곰팡이가 생산하는 ochratoxin A, citrinin 그리고 sterigmatocystin이 오염됨을 보고하였다(Sugimoto 등, 1977). 쌀에 아플라톡신의 오염은 인도, 중국, 이란 등 주로 고온 다습한 나라에서 자주 발생하는 것으로 보고되었다(Reddy 등, 2008; Rahmania 등, 2011). 또한 *Fusarium*균이 생산하는 곰팡이독소인 DON, NIV, 제랄레논(ZEA), 푸모니신도 쌀에 발생함이 보고되었다(Abbas 등, 1997; Tanaka 등, 2007; Lee 등, 2011). 1998년 일본에서는 벼 수확 전에 태풍 피해를 입어 갈변한 수매 벼에서 DON, NIV, 4-ANIV(Fusarenon-X)가 자연발생하였다(Tanaka 등, 2004). 이란에서는 국내산과 태국, 파키스탄산 쌀에서 트리코세신 독소인 T-2 독소의 미량(11.1–14.5 ppb) 오염이 확인되었다(Riazipour 등, 2009).

우리나라 남부지방에 보리 붉은곰팡이병이 1963년에 대발생하였는데, 병원균은 여러 종류의 *Fusarium*속 곰팡이로 확인되었으며, 당시 60% 이상의 수량 감소와 함께 이들에 오염된 곡류를 섭취한 가축과 사람에서 곰팡이중독증이 발생하는 등 심각한 사회적인 문제가 발생한 바 있다. 또한 이듬해 보리 후작으로 재배한 벼에 동일한 병

발생이 보고된 바 있다. 벼 붉은곰팡이병은 9월 이후부터 발생이 증가하기 시작하여 수확기까지 발생한다. 연차별로는 2006년과 2008년에는 5% 내외의 이병수율을 보였으나 2007년에는 8–28%의 높은 이병수율로 발생이 매우 심하였다(Shim 등, 2009).

최근에는 친환경농업의 확산으로 벼 재배 중에 발생하는 곰팡이병에 대한 약제방제가 철저하게 이루어지지 않고 있는 실정이다. 또한 건강에 대한 소비자의 관심이 증가하면서 우리밀과 맥류 재배면적의 증가하고 있고 지구온난화에 영향으로 벼·맥류 이모작지대가 중부지방까지 북상하고 있다. 지구온난화에 의한 태풍, 집중호우 같은 이상기상이 개화기 이후에 발생하게 되면 벼 이삭에는 각종 곰팡이병원균이 침입하게 되어 벼 이삭마름병을 일으켜 쌀의 품질을 저하시킬 수 있다(Shim 등, 2005). Christensen 등(1969)은 곡물을 오염시키는 곰팡이를 포장곰팡이와 저장곰팡이로 구분하였는데, 100%에 가까운 높은 상대습도와 높은 온도에서 수확 전 곡물에 침입·감염하는 것을 포장곰팡이로, 상대습도 70–90%로 낮고 저온에서도 사멸하지 않고 증식하는 것을 저장곰팡이로 구분하였다. *Fusarium*균과 같은 포장곰팡이가 벼 이삭을 감염하면 저장조건에 따라 *Aspergillus*와 *Penicillium*과 같은 저장 중에 감염하는 저장곰팡이와 함께 부패를 일으킬 수 있다.

이와 같이 저장, 가공과정에 발생하여 품질 저하 및 수량 감소와 곰팡이독소를 생산하는 곰팡이를 관리하기 위해서는 곰팡이의 종류와 발생빈도 등의 기초적인 정보가 필수적으로 필요하다. 따라서 안전한 쌀 생산을 통한 소비 촉진, 수출을 증진하고 급후 쌀의 안전성 향상연구의 우선순위를 설정하고자 전국 미곡종합처리장 93개소를 대상으로 저장, 가공중인 쌀 시료를 채집하여 독소생성 곰팡이의 오염 정도를 조사하였다.

재료 및 방법

시료채집. 원료벼와 부산물에 발생하는 진균의 종류를 조사하기 위하여 2010년 2–3월에 전국 93개 미곡종합처리장으로부터 가공을 위해 저장중인 2009년산 원료벼와 가공과정에서 생산되는 부산물인 청치미, 싸라기, 색채미, 왕겨와 최종가공산물인 현미와 백미 등 총 615시료를 각각 채집하였다(Table 1). Fig. 1에서의 가공과정별 곰팡이 오염분포를 파악하기 위하여 가공산물 및 부산물은 원료벼와 동일한 시료로부터 채집하였으며, 시료당 500–1,000 g 씩 채집하여 균을 분리할 때까지 4°C의 저온상태에 보관하였다.

시료에서 균 분리 및 동정. 보관된 시료로부터 무작위

Table 1. Number of tested samples of rice and its milling by-products from rice processing complex (RPC)es in five regions of Korea

Province	No. of RPC	Sum	Unhusked	Rice husk	Brown	Blue-tinged	Broken	Discolored	Polished
Total	93	615	93	81	87	85	90	89	88
Gyeonggi	14	94	14	11	13	14	14	14	14
Gangwon	9	62	10	10	8	8	9	8	9
Chungcheong	18	124	18	17	17	17	18	17	18
Jeolla	26	162	25	18	25	23	24	25	22
Gyeongsang	26	173	26	25	24	23	25	25	25

Fig. 1. Flow chart of milling process from paddy rice to polished rice in Rice Processing Complexes (derived from Lee et al., 2011).

로 10 g의 시료를 선택하여 1% 차아염소산나트륨에 2분간 침지하여 표면살균하였다. 표면소독한 낱알은 살균 증류수로 30초간 2회 세척한 후 3겹의 멸균여과지로 물기를 제거하여 105립씩 streptomycin 600 µg/ml가 첨가된 감자한천배지(PDA)에 치상하였다(King 등, 1986). 그리고 왕겨 시료는 5 g을 무작위로 선택하여 표면살균 후 낱개 껍질 105개를 동일한 방법으로 배지에 치상하였다. 25°C 항온기에서 5~7일간 배양한 후 각각의 낱알에서 자란 곰팡이를 PDA와 한천배지(water agar)로 이식하여 7~14일간 재배양한 후 포자형태를 관찰하였다. 곰팡이 분류동정 매뉴얼(Barnett 등, 1998; Domsch 등, 1980; Ellis, 1971; Samson 등, 1995; Leslie 등, 2006)을 참고하여 속(genus) 수준의 동정을 하였다. 시료 종류별, 지역별 총 곰팡이 오염율(%), 개별 곰팡이 오염율(%)은 검정한 립수 중 개별 곰팡이 오염립수를 백분율로 계산하였으며 시료오염빈도는 전체 조사시료수 중 개별 곰팡이가 오염된 시료수로 표시하였다.

결과 및 고찰

쌀 시료에서 분리한 곰팡이의 다양성. 전국 93개 RPC

에서 2009년에 수확하여 저장 및 가공중인 쌀 시료에는 총 35속(genus)의 곰팡이가 오염되어 있었다. 이 외에도 미동정 곰팡이는 전체 분리균의 33.4%를 차지했다. 시료의 종류에 따라 오염 정도가 달랐으며, RPC마다 오염 곰팡이의 종류와 오염 정도가 각각 상이하였다. Table 2에서 보는 바와 같이 총 곰팡이 이병립율은 24.5%이었고, 시료 오염빈도(곰팡이 오염시료수/총 조사시료수 × 100)는 83.7%이었다. 이병립율이 가장 높은 곰팡이는 *Aspergillus* spp.로 5%이었으며, 1% 이상의 이병립율을 보인 곰팡이는 *Fusarium* spp., *Alternaria* spp., *Penicillium* spp., *Dreschlera* spp., *Nigrospora* spp.이었다. 각 곰팡이의 오염빈도는 *Fusarium* spp.가 40.5%로 가장 많은 시료에서 검출되었으며, *Dreschlera* spp., *Alternaria* spp., *Penicillium* spp., *Nigrospora* spp., *Aspergillus* spp. 순으로 높았다. *Aspergillus*속 곰팡이는 다른 우점균에 비해 상대적으로 오염빈도는 적으나, 오염 시료에서는 가장 높은 이병립율을 보였다. 한편 *Fusarium*속 곰팡이는 가장 많은 시료에 광범위하게 오염되어 있었다. 이 외에도 *Colletotrichum* spp., *Epicoccum* spp., *Pyricularia* spp., *Cladosporium* spp. 등 29종의 곰팡이가 동정되었다. *Myrothecium*속 곰팡이는 국내산 쌀 시료에서 처음으로 검출되었으며, 이병립율은 0.8%이었다.

Table 2. Overall fungal contamination of rice and its milling by-products samples maintained in rice processing complexes in Korea

Fungi	Overall		% of kernels infected						
	% of kernels infected ^a	% of samples infected ^b	Unhusked rice	Rice husk	Brown rice	Blue-tinged rice	Broken rice	Discolored rice	Polished rice
Total Fungi	24.5	83.7	60.7	37.6	23.3	16.9	4.8	15.6	12.7
<i>Aspergillus</i> spp.	5.0	21.8	0.4	0.7	11.0	5.3	2.4	7.4	7.8
<i>Fusarium</i> sp.	2.0	40.5	5.9	2.7	0.8	1.8	0.3	1.3	1.0
<i>Alternaria</i> spp.	1.4	36.1	5.5	2.6	0.6	0.4	0.0	0.3	0.1
<i>Penicillium</i> spp.	1.3	32.5	1.1	2.4	2.8	0.7	0.7	1.2	0.4
<i>Dreschlera</i> spp.	1.3	37.9	4.1	2.7	0.5	0.8	0.1	0.5	0.3
<i>Nigrospora</i> spp.	1.0	24.1	3.2	2.3	0.4	0.8	0.1	0.1	0.2
Others ^c	0.4	22.6	1.4	0.8	0.2	0.2	0.0	0.2	0.1
No. of genera			28	27	23	22	18	25	19

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

^bFrequency of samples infected (%) = Number of samples infected/ Total number of samples tested × 100

^cTotal 615 samples collected from 93 RPCs were tested. Twenty-nine genera were observed at low (< 1% of kernels infected) incidence; *Colletotrichum* spp., *Epicoccum* spp., *Pyricularia* spp., *Cladosporium* spp., *Myrothecium* spp., *Moniliella* spp., *Curvularia* spp., *Gloeocercospora* spp., *Chaetomium* spp., *Phialophora* spp., *Acremonium* spp., *Gliomastix* spp., *Bipolaris* spp., *Trichoderma* spp., *Rhizopus* spp., *Phomopsis* spp., *Genicularia* spp., *Paecilomyces* spp., *Acremoniella* spp., *Geotrichum* spp., *Phoma* spp., *Monilinia* sp., *Rhizoctonia* spp., *Oidiodendron* spp., *Mucor* spp., *Candida* spp., *Stemphylium* spp., *Botrytis* spp., *Neurospora* spp.

RPC 가공과정의 시료 종류별 총 곰팡이에 대한 이병립율은 원료벼(unhusked rice), 왕겨(rice husk), 현미(brown rice), 청치미(blue-tinged rice), 색채미(discolored rice), 백미(polished rice), 찌라기(broken rice)순으로 저장중인 원료벼에서 최종가공산물인 백미에 이르기까지 가공단계가 진전될수록 이병립율이 낮아짐을 알 수 있었다(Table 2). 이러한 결과는 원료벼의 표피에 존재하던 대부분의 곰팡이가 왕겨로 제거된다는 것을 의미한다. 시료별 오염곰팡이의 종류 또한 원료벼가 28종의 곰팡이로 가장 많았으며, 왕겨는 27종으로 원료벼와 비슷하였다. 가공단계가 진전될수록 백미와 찌라기에서 각각 19종, 18종으로 줄어들었다.

이번 연구 결과는 원료벼와 가공과정의 단계별 중간산물과 최종가공산물인 현미, 백미로 구분하여 곰팡이 오염 정도를 조사한 점에서 큰 의미가 있다. 원료벼와 왕겨에서는 *Fusarium*, *Alternaria*, *Dreschlera*와 같은 포장곰팡이가 우점하였고, 가공단계가 진전될수록 포장곰팡이의 오염 정도는 낮아졌다. 가공산물인 현미에서는 *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*속 곰팡이가 우점하였으며, 백미에서는 *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium*속 곰팡이 순으로 우점하였다. Mheen 등(1982)은 미곡종합처리장에 저장중인 원료벼와 백미에 *Aspergillus*가 우점하였다고 보고하였고, Oh 등(2007)은 미곡종합처리장에서 채집한 벼와 백미에 *Aspergillus*, *Penicillium*속 곰팡이 순으로 우점하였다고 하였다. Park 등(2005)은 시장에서 유통중인 2002년산 백미에서의 곰팡이 오염 정도는 *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Alternaria* 순으로 우점하였다고 보고하였다.

Magro 등(2006)은 포르투갈의 농가저장 벼와 가공 전 정미소 저장벼에서 곰팡이 오염을 조사하였다. 수확 후 농가저장중인 벼에서는 *Alternaria* spp., *Aspergillus* spp., *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, *Fusarium* spp., *Penicillium islandicum*, *Stemphylium* spp., *Trichothecium* spp.로 포장곰팡이가 다양하게 존재하였으나 정미소에서 장기간 저장중인 가공 전 원료벼에는 *Aspergillus*와 *Penicillium*속 곰팡이만 존재하였다. 이는 저장 조건에서는 온도와 상대습도가 포장곰팡이의 생존에 유리하지 않기 때문이라고 하였다.

본 연구에서는 원료벼의 우점곰팡이는 *Fusarium*, *Alternaria*속의 포장곰팡이였고 *Aspergillus*, *Penicillium*과 같은 저장곰팡이의 이병립율이 낮았다. 본 연구에서 조사한 원료벼는 수확 후 약 3-4개월 안에 채집하였다. Christensen 등(1969)은 저장곡물의 수분 함량과 저장 온도에 따라 부패에 안전한 저장기간이 달라진다고 하였는데, 저장곰팡이가 증식하기 어려운 15.0% 수분함량과 7-10°C 저온에 저장된 옥수수과 밀은 저장 6개월 안에 저장곰팡이에 의한 부패가 발생하였다. Pitt 등(1994)은 원료벼에 존재하는 포장곰팡이는 가공과정을 거치면서 높은 마찰열로 밀도가 낮아지고 저장곰팡이만 존재하였다고 하였다. 본 연구 결과에서는 백미에서 포장곰팡이인 *Fusarium*속 곰팡이가 *Aspergillus* 다음으로 우점하고 있었다. 또한 총 18속의 곰팡이가 존재함을 알 수 있었다. Park 등(2005)은 백미에서 11속의 곰팡이가 오염되었다고 하였다. 이전의 다른 연구 결과와 종합하여 보면 최종가공산물인 백미에 포

Table 3. Regional distribution of the four-dominant fungal genera from 7 milling rice samples

Fungus	Province	Jeolla		Gyeongsang		Chungcheong		Gangwon		Gyeonggi		Average	
	Samples	% of kernels infected	% of kernels infected	% of kernels infected	% of kernels infected	% of kernels infected	% of kernels infected	% of kernels infected	% of kernels infected	% of kernels infected	% of kernels infected	% of kernels infected	% of kernels infected
<i>Aspergillus</i> spp.	Unhusked	0.1	8.0	- ^a	-	1.1	50.0	0.4	40.0	0.4	21.4	0.4	23.9
	Rice husk	0.2	-	0.1	4.0	0.1	5.6	0.4	30.0	2.9	27.3	0.7	13.4
	Brown	0.1	4.0	0.2	12.5	6.2	64.7	27.3	50.0	21.2	84.6	11.0	43.2
	Blue-tinged	0.2	4.3	0.3	8.7	6.5	38.9	0.8	12.5	19.1	71.4	5.3	27.2
	Broken	-	-	-	-	0.4	22.2	0.3	11.1	11.5	50.0	2.4	16.7
	Discolored	2.0	28.0	0.3	4.0	3.3	47.1	11.4	50.0	20.0	64.3	7.4	38.7
	Polished	0.1	4.5	-	-	4.9	16.7	19.1	44.4	14.7	57.1	7.8	24.6
<i>Fusarium</i> spp.	Unhusked	16.1	100.0	11.4	92.3	0.8	44.4	0.2	20.0	0.9	42.9	5.9	59.9
	Rice husk	8.1	68.0	2.6	72.0	0.3	22.2	2.3	40.0	0.4	18.2	2.7	44.1
	Brown	2.5	28.0	0.8	54.2	0.3	17.6	0.1	12.5	0.4	30.8	0.8	28.6
	Blue-tinged	4.8	91.3	3.3	78.3	0.4	22.2	0.1	12.5	0.6	42.9	1.8	49.4
	Broken	1.3	33.3	0.2	20.0	0.1	5.6	0.1	11.1	-	-	0.3	14.0
	Discolored	3.9	68.0	2.0	72.0	0.4	17.6	-	-	0.1	7.1	1.3	33.0
	Polished	4.4	9.1	0.3	8.0	0.2	16.7	-	-	-	-	1.0	6.8
<i>Penicillium</i> spp.	Unhusked	0.3	20.0	0.6	53.8	2.4	77.8	1.1	60.0	0.9	50.0	1.1	52.3
	Rice husk	0.3	12.0	0.7	56.0	2.0	44.4	1.4	60.0	7.8	36.4	2.4	41.8
	Brown	0.1	8.0	2.3	45.8	2.9	58.8	0.1	12.5	8.5	53.8	2.8	35.8
	Blue-tinged	0.1	8.7	0.9	52.2	1.4	38.9	0.1	12.5	1.1	50.0	0.7	32.5
	Broken	1.2	12.5	0.4	16.0	0.7	38.9	0.7	22.2	0.4	28.6	0.7	23.6
	Discolored	1.3	20.0	0.8	32.0	1.8	52.9	1.0	25.0	1.1	21.4	1.2	30.3
	Polished	0.1	13.6	-	12.0	1.7	27.8	-	-	0.1	7.1	0.4	12.1
<i>Alternaria</i> spp.	Unhusked	5.7	80.0	12.7	96.2	4.8	94.4	0.9	30.0	3.2	78.6	5.5	75.8
	Rice husk	4.7	64.0	5.0	92.0	1.2	50.0	1.1	30.0	1.1	45.5	2.6	56.3
	Brown	1.5	56.0	1.4	62.5	0.3	23.5	-	-	0.1	7.7	0.6	29.9
	Blue-tinged	0.6	34.8	0.4	43.5	0.4	22.2	-	-	0.6	28.6	0.4	25.8
	Broken	0.1	12.5	0.1	16.0	-	-	-	-	-	-	0.0	5.7
	Discolored	0.6	40.0	0.4	24.0	0.3	17.6	-	-	0.1	14.3	0.3	19.2
	Polished	0.1	-	-	-	0.1	5.6	0.1	11.1	-	-	0.1	3.3

^aNot detected.

장곰팡이인 *Fusarium*속 곰팡이가 해에 따라 상이하게 우점하였다. 즉 해에 따라 포장·생육단계에서 벼이삭에 *Fusarium*균이 심하게 발병하면 알곡 내부까지 균이 깊이 침투되어 도정과정에서도 제거되지 않을 수 있기 때문으로 해석되었다. Oh 등(2007)은 희석평판법으로, Park 등(2005)은 직접 치상법으로 조사하였다. 희석한 평판도말은 포자를 많이 생성하는 *Aspergillus*와 *Penicillium*속 곰팡이가 우점하여 자라기 때문에, 포자가 상대적으로 적은 포장곰팡이의 오염 정도를 조사를 위해서는 직접 치상법이 유리함을 알 수 있었다.

주요 우점곰팡이의 지역별 오염정도. 지역별 곰팡이 오염 실태를 조사하기 위하여 전국 미곡종합처리장 93개소 별로 각각 7종의 쌀 시료를 채집하여 총 615시료를 조사하였다. 전국적으로 쌀 시료에 오염 정도가 높았던 독소 생성균인 *Aspergillus*, *Fusarium*, *Alternaria*, *Penicillium*속 곰팡이를 대상으로 지역별, 시료 종류별 오염 정도를 분석하였다(Table 3).

[*Aspergillus* spp.] 시료별 이병립율은 현미 11.0%, 백미 7.8%, 색채미 7.4% 순으로 높았다. 이들 오염 정도가 높은 시료들에 대한 이병립율과 시료 오염 빈도를 지역별로 살펴보면 전라도와 경상도 지역에서는 이병립율 0~0.3%와 시료 오염 빈도 0~28.5%인 반면, 충청, 강원, 경기도 지역은 이병립율 3.3~21.2%와 시료 오염 빈도 16.7~84.6%로 지역간의 차이가 있었다. Christensen(1969)은 저장곰팡이인 *Aspergillus*의 종에 따라 증식에 필요한 수분 함량과 저장 온도가 다르다고 하였다. 지역간 우점하는 *Aspergillus*속 곰팡이의 종이 달라서 오염 정도에 차이가 있는 것인지 아니면 RPC의 가공시설 내부에 위생관리의 차이인지는 좀 더 연구가 필요하다.

[*Fusarium* spp.] 시료 종류별 이병립율은 원료벼, 왕겨, 청치미, 색채미 순으로 높았으나 시료 오염 빈도는 원료벼, 청치미, 왕겨, 색채미 순이었다. 찌라기의 이병립율은 0.3%로 가장 낮았으며, 식용인 백미와 현미의 이병립율은 각각 1.0%와 0.8%로 낮았다. 청치미의 *Fusarium* 곰팡이 오염 빈도는 왕겨보다 높았다. 이병립율이 가장 높았던 원료벼의 전국 평균 이병립율은 5.9%이었다. 이들 시료들의 지역별 이병립율과 시료 오염 빈도는 전라도가 각각 3.9~16.1%, 68~100%로 가장 높았고, 경상도가 각각 2.0~11.4%, 72~92.3%, 강원도 0~2.3%, 0~20.0%, 충청도 0.3~0.8%, 17.6~44.4%, 경기도 0.1~0.9%, 7.1~42.9%의 순으로 높았다. 즉 전라도와 경상도의 남부지방은 충청, 강원, 경기도의 중부지방에 비해 *Fusarium* 오염 정도와 시료 오염 빈도가 높았다. 2010년 맥류의 붉은곰팡이병의 지역별 발생조사 결과 전라도 지역이 이병립율이 가장 높

은 결과와 일치하였다(Ryu 등, 2011). 이것은 전라도 지역은 대표적인 우리나라 벼-보리 이모작 재배지대인데, 전작물인 맥류의 붉은곰팡이병 발생이 높게 되면 후작물인 벼 재배시 전염원이 많아져서 결국 벼 붉은곰팡이병 발생이 높아진 것으로 해석할 수 있었다. 이 등(2010)에 의하면 전국 32개 농가에서 저장중인 2009년산 벼 종자로 부터 *Fusarium*균을 분리한 결과 8.2%의 오염율을 보였고 이들 분리 균주들을 중 특이 primer를 이용하여 PCR증폭한 결과 *F. graminearum*이 87.8%으로 추정하였다. 그런데, 본 연구 결과 RPC에 저장하고 있는 원료벼의 전국 이병립율은 5.9%로 농가저장단계에 비해 낮았다. 이러한 차이는 저장기간의 경과함에 따른 포장곰팡이의 밀도가 낮아졌기 때문으로 생각된다.

[*Penicillium* spp.] 시료 종류별 이병립율은 현미, 왕겨, 색채미 순으로 높았으며, 시료 오염 빈도는 원료벼, 왕겨, 현미 순으로 높았다. 지역별로 살펴보면 일정한 경향을 보이지 않았으며, 중부지방인 충청도와 경기도의 이병립율이 1.1~8.5%로 0.1~2.3%인 남부지방인 전라도와 경상도의 이병립율보다 다소 높은 경향이였다.

[*Alternaria* spp.] 시료 종류별 이병립율은 원료벼, 왕겨 순으로 높았다. 이들 시료에 대한 이병립율과 시료 오염 빈도를 지역으로 살펴보면 전라, 경상도의 남부지방이 이병립율 4.7~12.7%, 시료 오염 빈도 64.0~96.2%로 충청, 강원, 경기도의 중부지방에 비해 높았다. 이러한 결과는 포장곰팡이인 *Fusarium* 곰팡이의 지역별 오염 정도와 비슷한 경향이였다.

이상의 결과를 종합하여 보면 포장곰팡이인 *Fusarium*과 *Alternaria*속 곰팡이는 주로 전라도, 경상도의 남부지방에, 저장곰팡이인 *Aspergillus*와 *Penicillium*속 곰팡이는 주로 충청, 강원, 경기도의 중부지방에 상대적으로 오염 정도가 높았음을 알 수 있었다. Park 등(2005)은 국내 시장에 유통중인 백미를 전라도, 경상도의 남부지방에서 54시료, 충청도와 경기도의 중부지방에서 34시료를 대상으로 독소생성 곰팡이의 지역적인 분포를 조사한 바 있으나, 우리나라 미곡종합처리장 93개소에서 채집한 7종의 쌀 시료(원료벼, 왕겨, 청치미, 찌라기, 색채미, 현미, 백미)에 발생하는 독소생산 곰팡이의 지역적인 발생분포패턴이 남부지방과 중부지방으로 크게 구분된 것은 금후 곰팡이독소 발생에 대한 예방관리기술을 개발하는데 중요한 기초 자료를 제공할 수 있을 것이다.

요 약

본 연구에서 우리나라 미곡종합처리장의 가공단계별 7

종의 쌀 시료에 대한 곰팡이 오염 정도를 조사하였다. 곰팡이독소를 생산하는 곰팡이인 *Aspergillus* spp., *Fusarium* spp., *Penicillium* spp., *Alternaria* spp.가 우점하고 있었고, 포장곰팡이인 *Fusarium*과 *Alternaria*는 남부지방에 저장 곰팡이인 *Aspergillus*와 *Penicillium*는 중부지방에 오염이 많았다. 또한 원료벼에서 가공단계가 진전될수록 *Fusarium*과 *Alternaria*와 같은 포장곰팡이의 오염 정도는 낮아졌으나 심하게 오염된 전라도 시료에서는 크게 낮아지지 않는 경향을 보였다. *Aspergillus*와 *Penicillium*과 같은 저장 곰팡이의 오염 정도는 가공단계가 진전될수록 높은 경향을 보였다. 또한 7종의 쌀 시료에는 총 35종의 곰팡이 속(genus)이 오염되어 있었으며 이 중 *Myrothecium* spp.는 우리나라 쌀 시료에서 처음으로 검출되었다. 이러한 결과는 우리나라의 주식인 쌀의 수확 후 저장, 가공과정의 곰팡이독소의 오염을 종합적으로 관리하기 위한 기초 자료가 될 것이다.

Acknowledgements

This study was carried out with the support of “Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ0064522010)”, National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Republic of Korea and “Cooperative Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ007692 & PJ007340)”, Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Abbas, H. K., Cartwright, R. D., Shier, W. T., Abouzied, M. M., Bird, C. B., Rice, L. G., Frankross, P., Sciumbato, G. L., and Meredith, F. I. 1997. Natural occurrence of fumonisins in rice with *Fusarium* sheath rot disease. *Plant Dis.* 82: 22–25.
- Abbas, H. K., Cartwright, R. D., Windham, G. L., Xie, W., Shier, W. T. and Mirocha, C. J. 2000. The presence of mycotoxins and fungi in rice and corn in the Southern United States. *Bull. Inst. Comprehen. Agric. Sci., Kinki Univ.* 8: 21–34.
- Adams, J. M. 1977. A review of the literature concerning losses in stored cereals and pulses. *Trop. Sci.* 19: 1–27.
- Barnett, H. L. and Hunter, B. B., 1998. Illustrated genera of imperfect Fungi. 4th edition, APS Press, Minnesota, 218pp.
- Butt, A. R., Yaseen, S. I. and Javaid, A. 2011. Seed-born mycoflora of stored rice grains and its chemical control. *J. Anim. Plant Sci.* 21: 193–196.
- Christensen, C. M. and Kaufmann, H. H. 1969. Grain storage: The role of fungi in quality loss. Minneapolis: Univ. Minn. Press. 153 pp.
- Domsch K. H., Gams, W. and Anderson T. 1980. Compendium of soil fungi. Vol. I, Academic Press, London, 859 pp.
- Ellis, M. B. 1971. Dematiaceous hyphomycetes. Commonwealth Mycological Institute, Kew, Surrey, London. 608 pp.
- FAO. 2011. Rice market monitor. URL <http://www.fao.org/economics/est/publications/rice-publication/rice-market-monitor-rmm/en/>
- Hussaini, A. M., Timothy, A. G., Olufunmilayo, H. A., Ezekiel, A. S., and Godwin, H. O. 2007. Fungi and some mycotoxins contaminating rice (*Oryza sativa*) in Niger State, Nigeria. *African J. Biotechnol.* 6: 99–108.
- King, A. D., Pitt, J. I., Beuchat, L. R. Corry, J. E. L. 1986. Methods for mycological examination of foods. Plenum Press, New York.
- 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. Ryu, J.-G. 2011. Occurrence of *Fusarium* mycotoxins in rice and its milling by-products in Korea. *J. Food Prot.* 74: 1169–1174.
- Leslie, J. F., Summerell, B. A. and Bullock, S. 2006. The *Fusarium* Laboratory Manual. Blackwell Publishing, Oxford, UK. 388 pp.
- Magro, A., Carvalho, M. O., Bastos, M.S.M., Carolino, M. Adler, C. S. Timlick, B. and Mexia, A. 2006. Mycoflora of stored rice in Portugal. In: 9th international working conference on stored product protection. PS2-2–6123. pp. 128–134.
- Mheen, 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: 191–96.
- MIFAFF (Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries). 2010. Food, agriculture, forestry and fisheries statistical Yearbook (www.mifaff.go.kr). 460 pp.
- 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. *Mycobiol.* 35: 36–38.
- Park, J. W., Choi, S. Y., Hwang, H. J. and Kim, Y. B. 2005. Fungal mycoflora and mycotoxins in Korean polished rice destined for humans. *Int. J. Food Microbiol.* 103: 305–314.
- Pitt, J. I., Hocking, A. D., Bhudhasami, K., Miscamble, B. F., Wheeler, K. A. and Tanboon, E. K. P. 1994. The normal mycoflora of commodities from Thailand: beans, rice, small grains and other commodities. *Int. J. Food Microbiol.* 23: 35–43.
- Rahmania, A., Soleimanya, F., Hosseini, H. and Nateghi, L. 2011. Survey on the occurrence of aflatoxins in rice from different provinces of Iran. *Food Addit. and Contam.* Part B 4: 185–190.
- Ramm, K., Ramm, M., Lieberman, B. and Reuter, G. 1994.

- Studies of the biosynthesis of tentoxin by *Alternaria alternata*. *Microbiol.* 140: 3257–3266.
- 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.
- Riazipour M., Imani Fooladi, A. and Razzaghi-Abyaneh, M. 2009. Natural occurrence of T-2 toxin in domestic and imported rice. *Iranian J. Publ. Health* 38: 111–116.
- Ryu, J.-G., Lee, S., Lee, S.-H., Son, S. W., Nam, Y. J., Kim, M., Lee, T. and Yun, J.-C. 2011. Natural occurrence of *Fusarium* head blight and its mycotoxins in 2010-harvested barley and wheat grains in Korea. *Res. Plant Dis.* 17: 272–279. (In Korean)
- Samson, R. A., Hoekstra, S. S., Frisvad, J. C. and Filtenborg, O. 1995. Introduction to food-borne fungi. Centraalbureau voor Schimmelcultures, The Netherlands. 322 pp.
- Shim, H.-S., Hong, S.-G., Hong, S.-J., Kim, Y.-K., Ye, W.-H. and Sung, J.-M. 2005. Detection of fungi associated with rice ear blight from rice seeds in Korea. *Res. Plant Dis.* 11: 93–97. (In Korean)
- Shim, H. G., Noh, T.-H., Lee, D.-K., Song, J.-J. and Oh I.-S. 2009. Occurrence of rice headblight in Honam area and infection mechanism. Annual Report for 2008, pp. 453–461. National Institute of Crop Science. (In Korean)
- Suprasert, D. 2000. Recent status of mycotoxin research in Thailand. *J. Jpn. Assoc. Mycotoxicol.* 50: 27–29.
- Tanaka, K., Kobayashi, H., Nagata, T. and Manabe M. 2004. Natural occurrence of trichothecenes on lodged and water-damaged domestic rice in Japan. *J. Food Hyg. Soc. Jpn.* 45: 63–66.
- Tanaka K., Sago Y., Zheng Y., Nakagawa H. and Kushiro M. 2007. Mycotoxins in rice. *Int. J. Food Microbiol.* 119: 59–66.
- Yoshida, M., Kawada, N. and Nakajima, T. 2007. Effect of infection timing on *Fusarium* head blight and mycotoxin accumulation in open- and closed-flowering barley. *Phytopathol.* 97: 1054–1062.