J. Fd Hyg. Safety 17(2), 79–86 (2002)

쌀의 조리 및 가공 과정 중 Aflatoxin 감소에 관한 연구

여현종 · 김종규†
계명대학교 공중보건학과

Reduction of Aflatoxin during the Cooking and Processing of Rice

Hyun-Jong Yeo and Jong-Gyu Kim†
Department of Public Health, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea

ABSTRACT – Aflatoxin is a secondary fungal metabolite and is a public health hazard because it is a human carcinogenic and has many deleterious effects in men and animals. Rice is one of the better substrates for the fungus which can produce aflatoxins. This study was performed to investigate aflatoxin reduction during the cooking and processing of rice. Aflatoxin was produced by *Aspergillus parasiticus* ATCC 15517 on well-milled rice (Japonica type) at the level of 13.2 ppb. Cooked rice, rice cakes (baek-sŏl-gi, plain steamed rice bread), fermented rice (sik-hye, sweet rice beverage), and popped rice were prepared from the aflatoxin-contaminated rice. Aflatoxin content in the samples was determined by high performance liquid chromatography. The total aflatoxin level was decreased to 46.9% in the cooked rice, 85.6% in the rice cakes, 11.4% in the fermented rice, and 7.6% in the popped rice, respectively ($p<0.05$). This reduction brought the level of aflatoxins down to below the Standard and Specification of Korea (10 ppb), except for the rice cakes. These results indicate that washing, steaming, fermentation, and popping of rice was helpful in reducing the aflatoxin level in the rice and the most helpful factors were high temperature & high pressure. More research is needed to understand why the preparation of rice cakes did not reduce the level of aflatoxin as much as the other cooking methods.

Keywords □ Aflatoxin, rice, washing, steaming, fermentation, popping

곰팡이 독소(mycotoxin)는 주로 농산 식품의 생육, 유통 및 보관 중에 오염된 곰팡이가 생성하는 2차 대사산물로서 식품의 조리 및 가공 후에도 잘 분해되지 않는다. 이러한 곰팡이 독소가 문제가 되는 것은 사람이 이에 오염된 식품을 섭취할 경우, 간을 비롯한 여러 장기에 이상을 유발하고 면역기능 억제 및 중독 증세를 야기하는 등의 건강 위해를 나타내기 때문이다.[1-3] 또한 전세계적으로 식량 자원과 사료 등에 오염되어 경제적 손실을 야기하기도 한다.[4,5]

현재까지 알려진 곰팡이 독소는 약 200종 이상이며 그 중에서 가장 독성이 강한 것은 아플라톡신(aflatoxin)이다. Aflatoxin의 종류로는 이성체가 17여종이 발견되어 있다. Aflatoxin 이성체는 박층크로마토그래피(thin layer chromatography)에 의해서 발현되는 형광의 색에 따라 B(blue)군 및 G(green)군으로 구분하고, 이들을 섭취한 동물의 생체 대사산물로서 소변 및 유즙 등에서 발견되는 것이 M (metabolized toxin)군으로 B_1, G_1, 및 M_1이 가장 잘 알려져 있으며 이들의 분자 내에 수산화기가 치환된 B_2, G_2 및 M_2가 있다.[1,2,6,7] Aflatoxin중에서도 식품과 사료 등에서 가장 많이 발현되는 aflatoxin B_1은 40~50 g인 오리에서 LD_{50}=12 μg으로 aflatoxin 중에서도 독성이 가장 강하다.[1] 환경 중에 널리 분포하고 있으며 누룩이나 메주에서 많이 발견되는 곰팡이 *Aspergillus flavus*와 *A. parasiticus*가 생산하는 독소인 아플라톡신은 사람과 동물에 강력한 간 독성과 발암성을 갖는 물질로 알려져 있다.[8-11] 이들 곰팡이는 또한 땅콩과 옥수수, 보리, 쌀, 밀 및 수수, 그리고 면실 등, 탄수화물이 풍부한 식품을 좋은 기질로 한다. 이들 곰팡이로 오염된 식품은 적절한 온도(25~30°C)와 습도(80~85%) 조건이 되면 aflatoxin을 생성하게 된다.[1-2,6,7] 식품 안전성의 측면에서 aflatoxin의 기준치로서 유럽, 미국 및 일본 등에서는 일찍이 식품과 사료 등에 대한 aflatoxin 허용 기준치를 규정하여 운용하고 있는 바, 대체로 5~20 ppb 수준을 유지하고 있으며, 일부 국가는 우유나 유제품에 대한 aflatoxin M_1의 허용 기준치를 설정하는 등, 그 수준은 다양하다. 우리 나라는 1989년 5월부터 식품위생법상 규정에 의한 식품 등의 기준 및 규격에 식품 중 aflatoxin 허용 기준이 신설되어 aflatoxin B_1으로 10 ppb를 설정하고 있다.[12] 한국인이 주식으로 하는 쌀을 비롯한 농산 식품과 사료 등이 aflatoxin에

†Author to whom correspondence should be addressed.

오염되어 있음이 수차례 조사된 바 있다.[13-17] 또 지난 '81년 일본으로 수출한 땅콩 제품에서 aflatoxin이 검출되어 반품 조치된 바 있으며 '97년에는 국내산과 북한산 땅콩에서 허용 기준치인 10 ppb의 58.5배에 달하는 아플라톡신 B_1이 검출되었다. 또한 지난 '97년에는 서울과 경기 지역의 재래시장에서 판매되는 국산과 수입산 곡물에서 aflatoxin이 검출되기도 하였다. 이와 더불어 농산물 가공식품도 아플라톡신에 오염되었을 것으로 우려되고 있다.[18]

Aflatoxin의 가장 중요한 특징 중의 하나는 강한 열저항성으로서 268°C이상에서 분해되기 때문에 식품에 일단 오염되면 일반적인 조리 방법으로는 완전한 파괴가 곤란하다.[1,-3,6,7] 식품 중의 aflatoxin을 관리하고 차단하기 위한 방법으로서는 자외선이나 감마선 등에 의한 물리적인 방법, 화학 약품 등에 의한 약독화를 이용한 화학적 방법, 그리고 선택적 불활성화를 이용한 생물학적 방법 등이 있다. 이 방법들은 일부 효과가 있기는 하나 원료 식품의 유효 성분 파괴 및 변형 가능성, 화학약품 자체의 유독성 및 생태계 오염 초래, 그리고 생물학적 부산물 등의 문제점이 유발될 수 있다. 현재의 입장에서는 식품의 가식성을 유지하면서 aflatoxin을 가장 많이 감소시키는 전략이 필요하나 아직까지 획기적인 방법이 제시되지는 못하고 있는 형편이다.

산업화 사회가 고도로 진행되면서 음식물의 소비 양상이 변화하기는 하였으나 한국인의 식생활 패턴은 지켜지고 유지되어야 할 필요성이 있다. 특히 쌀은 한국인이 소비하는 농산물 중 식량의 주요원으로서 쌀 섭취량은 1인 1일당 246.1 g('98국민건강영양조사, 1999)[19]으로 이는 총열량 섭취량의 약 60%를 차지하고 있다. 쌀은 다른 농산물과 더불어 aflatoxin 생성을 위한 좋은 기질임이 밝혀져 있다.[20-22] 우리가 매일 먹는 주식으로서 음식물 중 가장 많은 비중을 차지하고 있는 쌀에 대하여 aflatoxin 오염을 예방하고 저감시키는 등의 안전성을 확보하기 위하여 지속적인 연구가 필요하다.

따라서 본 연구는 aflatoxin에 오염된 쌀로 한국인이 일상적으로 섭취하는 음식물을 조리 및 가공하여 aflatoxin 함량 변화를 관찰함으로써 각 조리 및 가공 방법별 aflatoxin 감소 및 파괴 정도를 평가하고자 수행되었다. 이를 토대로 본 연구는 쌀을 이용한 음식물에 있어서 aflatoxin 감소를 위한 위생적인 지표로 활용되고자 한다.

재료 및 방법

실험 재료

쌀 시료 구입

일반적으로 시중에 유통되는 도정된 일반미로서 국내산 (Japonica type) 햅쌀을 구입해서 실험에 사용하였다.

사용 균주 및 배지

실험에 사용된 균주는 aflatoxin을 생성하는 곰팡이로서 *Aspergillus parasiticus* ATCC 15517을 American Type Culture Collection(ATCC)으로부터 분양 받았다. 배지로는 *A. parasiticus*의 포자 현탁액의 조제를 위해서 potato dextrose agar (PDA) 배지 (Difco Laboratories, Detroit, MI, U. S. A.)를 사용하였다.

시약 및 기구

실험에 사용된 aflatoxin B_1, B_2, G_1, 및 G_2 표준품은 Supelco Inc. (Bellefonte, PA, U. S. A.) 제품이었다. High performance liquid chromatography(HPLC) 분석을 위하여 HPLC용 methanol과 acetonitrile(Merck Co., Germany)을 사용하였으며, 분석에 사용한 기타 시약은 특급 이상의 제품을 사용하였다.

실험에 사용한 기구로는 시료 추출물의 조제를 위해서 centrifuge (Hitachi, Japan)와 shaking incubator(동성과학)를 사용하였으며, 곰팡이의 포자수 조절을 위하여 hematometer와 microscope (Nikon, HFX-II, Japan)를 사용하였다. 그리고 aflatoxin의 분리 및 정량 분석을 위해서 HPLC (Waters, U. S. A.)를 사용하였다.

균주 활성화 및 포자 현탁액의 조제

분양 받은 *Aspergillus parasiticus* ATCC 15517 균주를 potato-dextrose agar(PDA)의 사면 배지에 접종하여 28°C에서 10일 동안 배양하였다. 이를 3회 연속 계대 배양하여 충분히 활성화시켰다. 활성화된 균주를 PDA 평판 배지에 접종하여 28°C에서 8일 동안 다시 배양하여 포자 현탁액을 조제하였다. 평판에 형성된 포자에 멸균된 0.1% tween 80 용액 1 ml와 멸균수 5 ml를 가하고 강하게 흔들어 포자를 씻어내는 조작을 3회 반복하였다. 다시 멸균수를 가하면서 현미경으로 검경하여 포자수를 10^6~10^7/ml로 조절하여 접종에 사용하였다.

쌀에서 aflatoxin 생성과 조리 및 가공 처리

구입한 일반미 햅쌀에 *A. parasiticus* 포자 현탁액을 접종하고 28°C에서 7일 동안 배양하여 aflatoxin을 생성시켰다. 쌀에서 다량의 aflatoxin이 생성될 것으로 기대되는 바, 실험의 안전을 위해서 쌀을 건조시켜 수분을 일부 제거한 다음 우리나라의 식품 중 aflatoxin 기준치 이상으로 생성되었을 때에 채취하여 멸균하고 시료로 사용하였다. 이렇게 aflatoxin이 오염된 쌀 시료를 다양한 음식물(밥, 떡, 식혜 및 쌀튀기)로 조

리 및 가공하였다. 조리 및 가공 과정 중의 부과물과 최종 완성품에서 aflatoxin을 HPLC에 의하여 측정하여 초기 쌀 시료와 조리 및 가공 전 · 후의 aflatoxin 함량을 비교하였다.

밥, 떡, 식혜 및 쌀튀기의 조리 및 가공은 일반적인 조리 방법[23,24]에 따랐다. 밥을 조리하기 위해서 먼저 쌀 200 g에 물 2 *l*를 부어 씻었으며, 이 조작을 3회 반복하였다. 쌀을 씻을 때마다 쌀뜨물을 채취하여 aflatoxin 분석 시료로 하였다. 이렇게 세척한 쌀에 물 2 *l*을 붓고 약 30분 동안 열을 가하여 조리하였다. 뜸을 들인 후 그 최종 완성품(밥)을 채취하여 시료로 하였다.

떡을 만들기 위해서 쌀 200 g을 물 2 *l*에 담구어 약 12시간 동안 불린 후, 쌀을 건져내어 물과 쌀을 분리하였다. 쌀을 불린 물을 채취하여 시료로 하였다. 한편 불린 쌀을 곱게 가루를 내어 찜통에 넣고, 약 30분 동안 쪄낸 후 최종 완성품(백설기)을 채취하여 시료로 하였다.

식혜를 만들기 위하여 쌀 200 g을 약 20분 동안 쪄냈다. 물 2 *l*에 엿기름을 섞고 이를 쪄둔 쌀에 부어 60~65°C에서 4~5시간 정도 발효시킨 후 그 최종 완성품을 채취하여 시료로 하였다.

쌀튀기를 만들기 위해서 쌀 200 g을 취하여 미리 달구어 둔 popping machine에 넣었다. 온도를 올려 80~90°C를 유지하여 10분 동안 가열해서 가공한 후 그 최종 완성품(쌀튀기)을 채취하여 시료로 하였다.

Aflatoxin 추출

Aflatoxin이 오염된 쌀과 이 쌀로 각 방법별로 조리 및 가공하여 나오는 부과물과 최종 완성품의 aflatoxin을 분석하기 위해서 우선 추출을 위한 시료 전처리를 하였다. 시료 중의 aflatoxin 추출은 AOAC (Association of Official Analytical Chemist)법[25]을 변형하여 수행하였다. 각 시료별로 25 g 또는 25 ml를 취하여 NaCl 50 mg, 시료와 동량의 methanol 및 시료 5배량의 chloroform을 가하고 교반기로 24시간 동안 교반하여 aflatoxin을 chloroform층으로 추출해 내었다. Chloroform층을 분취한 후 다시 시료 5배량의 chloroform을 가하여 24시간 동안 교반한 후 aflatoxin을 추출한 chloroform층을 분취하였다. 두 번의 추출 조작을 거쳐 분취한 chloroform층을 합하여 rotary evaporator로 증발 · 농축시키고 질소 gas하에 더욱 증발 건고시켰다. 이 증발 건고물을 HPLC 분석을 위한 시료로 사용하였다.

Aflatoxin 분석

Aflatoxin의 정량을 위해서 aflatoxin 표준품을 aflatoxin B_1 및 G_1의 경우 0.1 ppb, 1 ppb, 10 ppb, 100 ppb, 500 ppb 및 1000 ppb로, aflatoxin B_2 및 G_2의 경우 0.3 ppb, 3 ppb, 30 ppb, 150 ppb 및 300 ppb 농도로 조제하여 HPLC 조건에 따라 분석하였다.[26]

앞에서 증발 건고시킨 시료의 잔류물에 trifluoroacetic acid 100 ml를 가하여 유도체화시킨 다음 acetonitrile:H_2O (1:1) 용액 900 μl을 가하여 HPLC 분석을 위한 시험용액으로 하였다. 표준품의 경우도 질소 가스로 용매를 완전히 제거시킨 후 동일하게 유도체화시켜 HPLC에 주입하여 분석하였다. Aflatoxin 분석을 위한 HPLC system은 M510 solvent delivery system, Rheodyne injector 및 M474 fluorescence detector로 구성하였다. 분석 조건은 역상의 symmetry C_{18} column (15 cm × 3.9 mm I.D.)을 실온에서 사용하였으며, fluorescence detector의 여기 파장 365 nm, 측정 파장 418 nm에서 acetonitrile:H_2O(1:3)의 이동상을 1.0 ml/min의 유속으로 흘려 aflatoxin을 분리 및 정량하였다. 시료의 주입량은 20 μl이었다.

자료의 처리 및 통계분석

자료의 처리와 통계분석은 SAS Series package를 이용하였다. 각 실험군의 비교를 위해서 analysis of variance (ANOVA) 및 Duncan's multiple range test를 실시하여 실험군별 차이와 유의성을 검증하였다.

결과 및 고찰

본 연구에서는 시판되는 일반미 (국내산, 햅쌀)를 구입해서 *Aspergillus parasiticus* ATCC 15517의 포자 현탁액을 접종하고 28°C에서 7일 동안 배양하여 aflatoxin을 생산한 쌀을 일상적인 방법에 따라 다양한 음식물(밥, 떡, 식혜 및 쌀튀기)로 조리 및 가공한 후 그 전 · 후의 aflatoxin 함량을 HPLC에 의하여 측정하였다. 그 결과는 Tables 1, 2, 3 및 4에서 보는 바와 같다.

*A. parasiticus*를 접종하여 aflatoxin을 생성시킨 쌀 시료 (aflatoxin rice, AR)의 초기 total aflatoxin 함량을 HPLC로 정량한 결과 13.2 ppb이었다. 이 쌀로 밥을 조리하면서 조리 과정에서의 결과를 보면 시료 중의 aflatoxin 함량이 첫 번째 세척액(쌀뜨물 1)에서 2.3 ppb, 두 번째 세척액 (쌀뜨물 2)에서 1.5 ppb, 세 번째 세척액(쌀뜨물 3)에서 1.0 ppb 이었다. 최종 완성품인 밥에서는 aflatoxin 함량이 6.2 ppb(46.9% 잔류)로 초기 쌀 시료 AR에 비하여 유의한 감소를 나타내었다($p < 0.05$). 비록 aflatoxin이 물에는 난용이라고 알려져 있으며 융점이 268-269°C (aflatoxin B_1)[1-3,6,7]이지만 본 연구의 결과는 밥을 조리하기 전의 과정인 쌀 씻기 과정에서도 점차 aflatoxin이 제거되는 것을 보여 준다.

떡을 만드는 과정에서의 결과를 보면 쌀을 담가 불린 물

Table 1. Reduction of aflatoxins during the cooking process of rice

Group	Aflatoxin(ppb)				Total aflatoxin
	G_1	B_1	G_2	B_2	
AR[1)]	4.3 ± 0.34	8.0 ± 0.20	ND	0.9 ± 0.07	13.2 ± 0.61[a]
Washing water, 1st	0.5 ± 0.06	1.5 ± 0.14	ND	0.2 ± 0.04	2.3 ± 0.24[c]
Washing water, 2nd	0.4 ± 0.03	0.9 ± 0.12	ND	0.2 ± 0.02	1.5 ± 0.14[cd]
Washing water, 3rd	0.3 ± 0.01	0.6 ± 0.02	ND	0.1 ± 0.01	1.0 ± 0.04[d]
Cooked rice	1.9 ± 0.29	4.5 ± 0.75	ND	0.5 ± 0.18	6.2 ± 0.60[b]

[1)]AR: Aflatoxin-contaminated rice (Aflatoxin was produced by *A. parasiticus* ATCC 15517 on rice.)
All values are mean ± S.E. ND: not detected
Values with the same superscript within a column are not significantly different from each other at α=0.05 as determined by ANOVA and Duncan's multiple range test.

Table 2. Reduction of aflatoxins during the cooking process of rice cake(baek-sŏl-gi)

Group	Aflatoxin(ppb)				Total aflatoxin(ppb)
	G_1	B_1	G_2	B_2	
AR[1)]	4.3 ± 0.34	8.0 ± 0.20	ND	0.9 ± 0.07	13.2 ± 0.61[a]
Rice cake(baek-s l-gi)	4.0 ± 0.13	6.2 ± 0.04	ND	0.7 ± 0.04	11.3 ± 0.23[b]
Washing water	1.0 ± 0.38	1.9 ± 0.94	ND	0.4 ± 0.13	1.8 ± 0.03[c]

[1)]AR: Aflatoxin-contaminated rice (Aflatoxin was produced by *A. parasiticus* ATCC 15517 on rice.)
All values are mean ± S.E. ND: not detected
Values with the same superscript within a column are not significantly different from each other at α=0.05 as determined by ANOVA and Duncan's multiple range test.

Table 3. Reduction of aflatoxins during the cooking process of fermented rice(sik-hye)

Group	Aflatoxin(ppb)				Total aflatoxin(ppb)
	G_1	B_1	G_2	B_2	
AR[1)]	4.3 ± 0.34	8.0 ± 0.20	ND	0.9 ± 0.07	13.2 ± 0.61[a]
Fermented rice(sik-hye)	0.5 ± 0.04	0.9 ± 0.03	ND	0.1 ± 0.04	1.5 ± 0.05[b]

[1)]AR: Aflatoxin-contaminated rice (Aflatoxin was produced by *A. parasiticus* ATCC 15517 on rice.)
All values are mean ± S.E ND: not detected
Values with the same superscript within a column are not significantly different from each other at α =0.05 as determined by ANOVA and Duncan's multiple range test.

Table 4. Reduction of aflatoxins during the cooking process of popped rice

Group	Aflatoxin(ppb)				Total aflatoxin(ppb)
	G_1	B_1	G_2	B_2	
AR[1)]	4.3 ± 0.34	8.0 ± 0.20	ND	0.9 ± 0.07	13.2 ± 0.61[a]
Popped rice	0.3 ± 0.25	0.4 ± 0.12	ND	0.2 ± 0.05	1.0 ± 0.32[b]

[1)]AR: Aflatoxin-contaminated rice (Aflatoxin was produced by *A. parasiticus* ATCC 15517 on rice.)
All values are mean ± S.E. ND: not detected
Values with the same superscript within a column are not significantly different from each other at α=0.05 as determined by ANOVA and Duncan's multiple range test.

에서는 aflatoxin 함량이 1.8 ppb, 그리고 완성된 떡에서는 11.3 ppb(85.6% 잔류)로 초기 쌀 시료 AR에 비하여 유의한 감소를 나타내었다($p < 0.05$). 본 연구에서 만든 떡은 백설기로서 떡을 만들기 전에 12시간 정도 물에 담가 쌀을 불리는 과정에서도 aflatoxin이 소량이지만 제거될 수 있음을 보여준다. 그러나 다른 조리 및 가공 완성품에 비해서 떡에

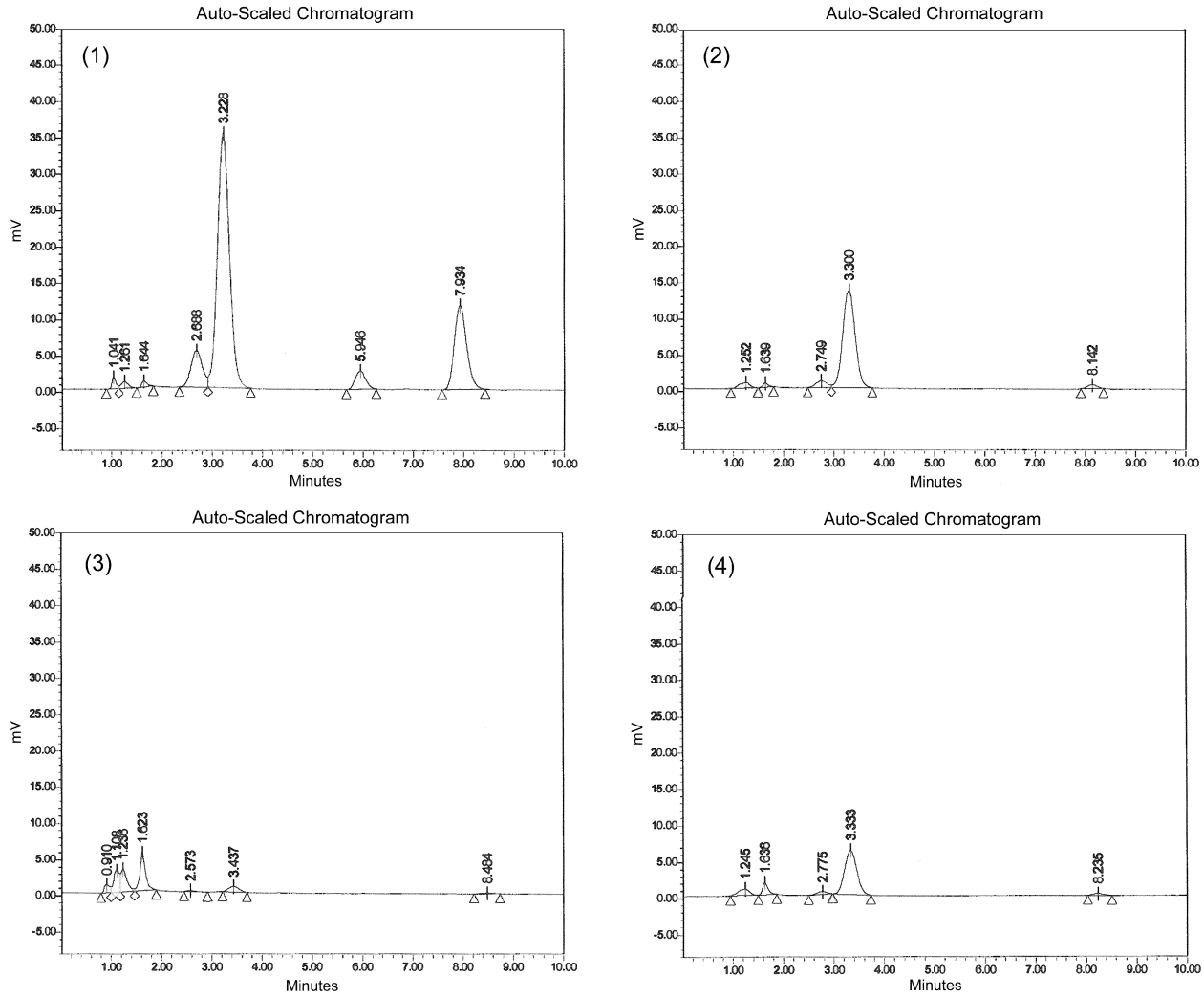

Fig. 1. HPLC chromatograms of standard aflatoxins and sample extract.
(1) Standard, (2) Aflatoxin-contaminated rice, (3) Cooked rice, and (4) Popped rice.

서는 aflatoxin 감소율이 낮은 편으로 나타났다. 떡에서 다른 완성품에 비하여 이렇게 aflatoxin 함량이 높은 원인을 설명하기가 어렵다. 현재로서 추론되는 바는 초기 쌀 시료의 경우 aflatoxin의 오염이 외부에 더 많았을 것이며 이것이 씻거나 취급하는 과정에서 제거가 비교적 쉬웠을 것이다. 그러나 떡의 경우 그 조리 과정 중에 쌀을 곱게 가루로 만들었으므로 aflatoxin이 시료 내부에 이르기까지 전체에 고루 분포하고, 찌는 도중에 조직이 더욱 치밀해졌을 것이므로 상대적으로 감소시키기가 어려웠을 것으로 생각된다. 또한 떡을 만들기 전에 여러 번 세척하였더라면 좀더 많은 감소를 볼 수 있었을 가능성이 있다고 생각된다.

식혜의 경우 aflatoxin 함량이 1.5 ppb(11.4% 잔류)로 나타났는데, 초기 쌀 시료에 비하여 매우 유의한 감소를 나타내었으며 ($p < 0.01$) 앞의 밥과 떡에 비해 현저한 감소를 보였다. 이는 식혜 조리에서 쌀을 씻고, 찌고, 그리고 그 찐쌀을 엿기름과 함께 발효시키는 과정 등이 밥과 떡의 조리 과정을 모두 포함하고 있어 보다 더 현저하게 감소한 것으로 추정된다. 이러한 결과로부터 쌀의 조리 및 가공 과정 중 가열 시간이 길수록, 또 전처리 과정(쌀을 씻고, 찌고)이 많을수록 aflatoxin이 보다 더 많이 감소하는 경향이 있는 것을 알 수 있다. 한편 식혜를 만드는 중의 발효 과정도 aflatoxin을 감소시키는데 도움이 되었을 것으로 추측된다. 본 연구에서 식혜를 만드는 중에 발효 과정에서의 미생물 상을 검색하지는 못하였으나, 이러한 추측은 Wiswman과 Marth,[27] Karunaraten등,[28] 김과 이,[29] 그리고 김과 노[30]의 보고에 의하여 뒷받침된다. 이들은 발효유 제조에 이용되는

Table 5. Summary of reduction of aflatoxins in foods which were made from the aflatoxin-contaminated rice

Sample	Total Aflatoxin(ppb)	% Reduction
AR[1)]	13.2 ± 0.61^{a}	0
Cooked rice	6.2 ± 0.60^{e}	53.1
Rice cake(baek-sŏl-gi)	11.3 ± 0.23^{b}	14.4
Fermented rice(sik-hye)	1.5 ± 0.05^{d}	88.6
Popped rice	1.0 ± 0.32^{d}	92.4

[1)]AR: Aflatoxin-contaminated rice (Aflatoxin was produced by *A. parasiticus* ATCC 15517 on rice.)
All values are mean ± S.E.
Values with the same superscript within a column are not significantly different from each other at α=0.05 as determined by ANOVA and Duncan's multiple range test.

세균(유산균)[27,28] 또는 메주의 발효 과정에서 존재하는 우점종 세균(*Bacillus subtilis*)[29,30]이 aflatoxin 생성을 유의하게 억제함을 보고하였다.

쌀튀기의 경우 aflatoxin 함량이 1.0 ppb(7.6% 잔류)로 초기 쌀 시료에 비하여 매우 유의한 감소를 나타내었다 ($p<0.01$). 이는 고온 · 고압의 쌀튀기 가공 과정이 aflatoxin의 파괴 및 감소에 매우 현저한 효과를 가지는 것을 추측하게 한다. 이는 고압의 가열이 aflatoxin을 파괴시킨다는 의견[1)]과 일맥 상통한다.

각 조리 및 가공 방법별로 최종 완성품에서 total aflatoxin 함량을 비교해 보면 Table 5와 같다. Aflatoxin의 강한 열 저항성 때문에 쌀 시료에서 완전한 파괴는 불가능하였지만 쌀의 조리 및 가공 후에 모두 감소되는 경향을 보였다. 특히 쌀튀기의 경우 aflatoxin 감소율이 92.4% ($p < 0.01$), 식혜의 경우 88.6%($p < 0.01$)로 나타나 밥 52.1%($p < 0.05$), 그리고 떡 14.4%($p < 0.05$)에 비해 현저한 감소율을 보였다. 이는 단시간에 고온 및 고압에서 가공하는 쌀튀기의 특성을 반영하는 것이며, 밥과 떡 및 식혜의 결과에서는 쌀을 고온에서 오래 조리할수록, 그리고 조리 전 단계의 과정이 많을 수록 aflatoxin이 많이 감소되는 것을 보여주고 있다.

식품에 오염된 aflatoxin을 조리에 의하여 감소시키고자 하는 노력으로서 몇 가지 보고가 있어. 이들 보고에서도 열처리 등을 통하여 aflatoxin이 일부 제거될 수 있음을 제시하였다. Soliman등[31)]은 aflatoxin에 오염된 사료를 먹은 토끼의 간을 조리하였을 때에 aflatoxin이 끓는 물에 삶았을 경우 67~80% 감소하였고 기름에 튀겼을 경우 79~90.% 감소하였다고 보고하였다. Cazzaniga등[32)]은 aflatoxni B_1에 오염된 옥수수 가루를 조리(압출 성형)하였을 경우 aflatoxin B_1을 10~25% 감소시켰다고 보고하였다. Torres등[33)]은 aflatoxin에 오염된 옥수수를 다양하게 가공하여 빵과 칩(tortilla, tortilla chips, and corn chips)을 만들었을 때에 전통적인 방법에 의해서는 aflatoxin이 51.7~84.5% 감소하였으나 상업적인 방법에 의해서는 29.5~71.2%의 감소를 보였다고 보고하였다. Kpodo등[34)]은 aflatoxin에 오염된 옥수수를 3시간에 걸쳐 물에 담그고 발효하는 과정을 거쳤을 때에 aflatoxin이 35~80% 감소하였다고 보고하였다. 그러나 한편 MacDonald등[35)]은 향신료에 오염된 aflatoxin이 microwave나 gas를 사용하는 oven heating 조리 과정에서 감소되지 않음을 보고하였다. 본 연구에서는 쌀 중의 aflatoxin을 일상적인 조리 및 가공을 통하여 14.4~92.4%만큼 감소시켰다. 이로부터 비록 aflatoxin이 열에 저항성이 있으나 전통적인 조리 및 가공에 의하여 어느 정도는 감소시킬 수 있음을 알 수 있다.

그런데 본 연구에서 aflatoxin에 오염된 쌀로 조리 및 가공하였을 때 밥, 식혜 및 쌀튀기는 우리 나라의 식품 중 aflatoxin 기준치(10 ppb이하)로 상당한 감소를 보였으나, 떡의 경우는 다른 조리 및 가공 완성품에 비하여 aflatoxin 감소율이 낮을 뿐만 아니라, 그 함량이 11.3 ppb로 아직 우리 나라의 식품 중 aflatoxin 기준치를 초과하여 일상적인 조리 및 가공으로 안전성을 확보할 수 없었다. 이에 대해서는 앞으로 세밀한 연구를 통하여 확인하고 기준치 이하로 감소시켜 안전성을 확보할 수 있는 방법을 모색할 필요가 있다. 일상 생활에서도 aflatoxin에 오염된 쌀을 모르고 조리하는 경우가 발생할 수 있으므로 쌀을 조리 및 가공할 때에는 우선적으로 충분한 세척 과정을 거치는 것이 바람직하겠다.

쌀을 대상으로 aflatoxin에 대한 선행 연구가 소수 있지만, 쌀의 조리법이나 조리 및 가공 과정 중에 aflatoxin의 변화 또는 감소와 파괴에 대한 연구는 아직 행하여지지 않고 있다. 본 연구가 aflatoxin의 위해로부터 효과적으로 대처할 수 있는 방법을 연구하는데 있어서 좋은 지표로 활용될 수 있으리라 기대된다. 본 연구에서는 일상 생활에서 실천되는 쌀의 대표적인 조리 및 가공법을 이용하였으나, 앞으로의 연구에서는 각 과정 중의 세부적인 시료를 평가하고 보다 더 다양한 방법을 통한 쌀의 조리 및 가공 과정 중 aflatoxin 감소율을 측정하는 실험 연구가 더 진행되어야 할 것이다. 또한 aflatoxin에 오염된 쌀을 사료 등에 사용할 지라도 사전에 γ선, 자외선 및 태양 광선 등에 조사하는 등의 방법으로 먹이연쇄에서 사전에 차단하여 최종적으로 사람이 먹게되는 식품의 안전성을 확보하는 전략이 필요하겠다.

감사의 말씀

이 연구는 계명대학교 대학원 학생 학술연구장학금에 의한 것이며 이에 감사드립니다.

국문 요약

Aflatoxin은 곰팡이가 생성하는 2차 대사산물로서 사람에게 발암성 등의 건강 위해를 야기할 수 있다. 쌀은 aflatoxin 생성을 위한 좋은 기질 중의 하나이므로 본 연구는 쌀의 조리 및 가공 과정 중 aflatoxin의 감소 정도를 알아보기 위해 수행되었다. 국내산 일반미에 *Aspergillus parasiticus* ATCC 15517의 포자 현탁액을 접종하여 aflatoxin을 생성시키고 한국인이 일상적으로 섭취하는 밥, 떡(백설기), 식혜 및 쌀튀기를 상법에 따라 조리 및 가공하여 각 과정 중의 부과물과 최종 완성품에서 aflatoxin 함량을 HPLC(high performance liquid chromatography)에 의하여 분석하여 비교하였다. 밥을 조리하는 과정 중에는 쌀 씻기 과정 중에 aflatoxin이 감소되었고, 조리가 끝난 후 완전히 감소되지는 않았지만 조리된 밥에서는 aflatoxin이 53.1%만큼 유의하게 감소되었다($p < 0.05$). 떡을 조리한 후에는 aflatoxin의 감소율이 14.4%에 그쳤으나 ($p < 0.05$), 떡쌀을 불리는 과정에서도 13.6%의 감소율을 보였다. 식혜의 경우 조리 후 aflatoxin의 감소율이 88.6%로 매우 유의하게 감소하였다($p < 0.01$). 쌀튀기의 경우 가공 후 aflatoxin 감소율이 92.4%로 매우 유의한 감소를 보였다($p < 0.01$). 이상의 결과에서 aflatoxin이 함유된 쌀을 조리 및 가공하였을 때에 쌀튀기 > 식혜 > 밥 > 떡의 순으로 aflatoxin이 감소되었다. 떡을 제외한 다른 완성품에서는 aflatoxin이 우리 나라의 식품 중 기준치(10 ppb) 이하로 낮아졌다. 이로부터 쌀의 조리 및 가공 과정 중의 세척, 찌기, 발효 및 popping 등은 aflatoxin의 감소에 도움이 되며, 특히 고온 및 고압이 효과적인 것으로 나타났다. 떡에서 aflatoxin이 식품 중 기준치 이하로 감소되지 않은 부분에 대해서 안전성 확보를 위하여 더 자세한 연구가 필요하다.

참고 문헌

1. Smith J. E. and Moss M. O.: Mycotoxins, formation, analysis and significance. John Wiley & Sons, New York, 133-137 (1985).
2. WHO: Mycotoxins, Environmental health criteria 11. World Health Organization, Geneva, (1979).
3. Patterson, D. S. P. et al. Aflatoxin and related compounds. In: Wyllie, T. D. and Morehouse, L. G.(eds), Mycotoxigenic fungi, mycotoxins, mycotoxicoses; an encyclopaedic handbook. Marcel Dekker, New York, 131-233 (1977).
4. Bullerman L. B.: Significance of mycotoxins to food safety and human health. J. Food Prot., 42:65-86 (1979).
5. Wilson, B. J.: Hazards of mycotoxins to public health. J. Food Prot., **41(5)**, 375-384 (1978).
6. 신광순, 신효선, 이용욱, 정영채: 최신식품위생학, 신광출판사, 서울, 171-178 (1985).
7. 이용욱, 김종규: 식품위생관리, 한국방송대학교 출판부, 서울, 110-117 (1997).
8. International Agency for Research on Cancer. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans: Overall Evaluations of Carcinogenecity. (1995).
9. Van Rensburg, S. J., Cook-Mozuffari, P., Van Schalkwyk, D. J., Van Der Watt, J. J., Vincent, T. J., and Pruchase, I. F.: Hepatocellular carcinoma and dietary aflatoxin in Mozambique and Transkei. Br. J. Cancer, **51**, 713-726 (1985).
10. Wogan, G. N.: Diet and nutrition as risk factors for cancer, Princess Takamatsu Symposia **16**, 3-10 (1985)
11. Wogan, G. N. and Newberne, P. M.: Dose-response characteristics of aflatoxin B_1 carcinogenesis in the rat. Cancer Res., **27**, 2370-2376 (1967).
12. 식품의약품안전청: 식품공전, 서울 (1999).
13. 이주식, 이배함, 유준, 김찬수: 한국의 아플라톡신, 한국종균협회 (1971).
14. 이태녕, 이상규: 식품 중 유독성 대사산물에 관하여, 수종의 한국 대두 효소식품 중 aflatoxin 유무의 검색에 관하여, 한국식품과학회지, 78-84 (1969).
15. 김용화, 황보정숙, 이서래: 몇 가지 한국식품 중 Aflatoxin의 검출, 한국식품과학회지, **9(1)**, 73-80 (1977).
16. 강희양, 이용욱, 정덕화, 김종규, J. J. Pestka: 한국산 일부 곡류에 대한 위생학적 연구-Mycotoxin 오염을 중심으로, 대한보건협회지 **15(2)**, 89-97 (1989).
17. Lee, Y. W. and Kim, J. G.: Natural occurrence of aflatoxin B_1 in rice and soybean produced in Korea, J. Inst. Health Env. Sci. **1(1)**, 117-122 (1991)
18. 손동화, 조명행, 이문한: ELISA에 의한 농산물 중 Aflatoxin 잔류 조사, 한국식품위생안전성학회지, **12(4)**, 281-287 (1997).
19. 보건복지부: '98국민건강영양조사 (1999)
20. 김종규, 이용욱 (1991): Aflatoxin B_1에 대한 抗體 生産 및 ELISA法을 이용한 쌀의 Aflatoxin B_1汚染에 關한 硏究, 국민보건연구소 연구논총 **2(1)**, 53-88 (1992)
21. Kim, J. G. and Lee, Y. W.: Grain development and aflatoxin B_1 accumulation in preharvest rice inoculated *Aspergillus parasiticus*, J. Food Prot., **59(12)**, 1318-1321 (1996).
22. Kim, J. G.: Variation of aflatoxin B_1 production in brown rice inoculated with *Aspergillus parasiticus* under different storage conditions, J. Fd. Hyg. Safety **13(1)**, 47-52 (1998)
23. 염초애, 장명숙, 윤숙자: 한국음식, 효일문화사 (1993).
24. 윤숙자, 손정우, 정재홍, 신애숙, 홍진숙, 이정숙, 명춘옥: 한

국전통음식(떡, 한과, 음청류), 지구문화사 (1998)
25. Association of Official Analytical Chemists: Official Methods of Analysis, 15th ed., AOAC, 1185-1205 (1990).
26. Kim, J. G: Determination of aflatoxins using high-performance liquid chromatography with optimized fluorescence detection, J. Fd. Hyg. Safety **13(1)**, 41-46 (1998)
27. Wiseman, D. W. and Marth, E. H.: Growth and aflatoxin production by *Aspergillus parasiticus* when in the presence of *Streptococcus lactis*, Mycopathologia, **73**, 49-56 (1981).
28. Karunaraten, A., Wezenberg, E., Bullerman, L. B.: Inhibition of mold growth and aflatoxin production by *Lactobacillus* spp. J. Food Prot., **53**, 230-236 (1990).
29. 김종규, 이용욱: 유산균과 그 발효유가 *Aspergillus parasiticus*의 생육과 aflatoxin 생성에 미치는 영향, 한국식품위생안전성학회지, **13(2)**, 164-170 (1998).
30. 김종규, 노우섭: 한국산 간장과 된장의 숙성 중 aflatoxin의 변화와 그 특징-제1보 경쟁 미생물 (*Bacillus subtilis*)이 *Aspergillus parasiticus*의 성장과 aflatoxin 생성에 미치는 영향, 한국식품 위생안전성학회지, **13(3)**, 313-317 (1998).
31. Soliman, K. M., El-Faramawy, A. A., Zakaria, S. M., and Mekkawy, S. H.: Monitoring the preventive effect of hydrogen peroxide and gamma-radiation of aflatoxicosis in growing rabbits and the effect of cooking on aflatoxin residues, J. of Agricultural and Food Chemistry, **49(7)**, 3291-3295 (2001).
32. Cazzaniga, D., Basilico, J. C., Gonzalez, R. J. Torres, R. L., and de Greef, D. M.: Mycotoxins inactivation by extrusion cooking of corn flour, Letters in Applied Microbiology, **33(2)**, 144-147 (2001).
33. Torres, P., Guzman-Ortiz, M., Ramirez-Wong, B.: Revising the role of pH and thermal treatments in aflatoxin content reduction during the tortilla and deep frying processes, J. of Agricultural and Food Chemistry, **49(6)**, 2825-2829 (2001).
34. Kpodo, K., Sorensen, A. K., and Jakobsen, M.: the occurrence of mycotoxins in fermented maize products, Food Chemistry **56(2)**, 147-153 (1996).
35. MacDonald, S. and Castle, L.: A UK retail survey of aflatoxins in herbs and spices and their fate during cooking, Food Additives and Contaminants, **13(1)**, 121-128 (1996).