J. Fd Hyg. Safety 18(2), 87–93 (2003)

옥수수의 조리 및 가공이 Aflatoxin 감소에 미치는 영향

여현종 · 김종규
계명대학교 공중보건학과

Effects of Cooking and Processing on the Reduction of Aflatoxin Content in Corn

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

ABSTRACT – This study was performed to investigate aflatoxin reduction resulting from the pre-treatment and the cooking and processing of corn. Aflatoxin was produced by *Aspergillus parasiticus* ATCC 15517 on a type of corn imported from the United States. The aflatoxin-produced corn (AC) was pre-treated in three ways in order to reduce aflatoxin: exposure to sun light for 7 days (SC); ultraviolet irradiation for 56 hours (UC); and washing with water three times (WC). Four kinds of cooking and processing methods (boiling, steaming, baking, and popping) were used to reduce aflatoxin in the AC control, SC, UC, and WC. These treatments produced corn gruel, corn cakes, corn bread and popcorn. The aflatoxin content in the samples was determined by high performance liquid chromatography. The total aflatoxin level of the AC was significantly decreased by sun light and UV ($p<0.05$), and decreased by washing. After cooking and processing the AC, SC, UC, and WC, and averaging the total aflatoxin levels in the final products, the greatest reduction was found in the corn gruel, then the popcorn, then the corn cakes, and the least reduction in the corn bread. These results indicate that sunlight and ultraviolet energy could be effective factors in aflatoxin degradation in corn before cooking and processing. This study also indicates that boiling, steaming, baking and popping were helpful in reducing the aflatoxin level in the corn and that the most helpful factors were exposure time to heat. More research is needed to reduce the aflatoxin level down to below the maximum tolerable level of aflatoxin in foods.

Key words: Aflatoxin, corn, boiling, steaming, baking, popping

곰팡이 독소(mycotoxin)는 농산물의 생육, 유통 및 보관 기간 중에 농산물에 오염된 곰팡이가 생성하는 2차 대사 산물로서 조리 및 가공 후에도 잘 분해되지 않는다.[1] 이러한 곰팡이 독소가 문제가 되는 것은 사람이 이에 오염된 식품을 섭취 할 경우 인간의 건강에 위해 물질로 작용하기 때문이다.[2] 현재까지 알려진 곰팡이 독소는 약 200종 이상이며 우리 나라 사람들이 많이 섭취하는 쌀, 보리, 옥수수 및 밀 등에서 문제가 되는 것은 아플라톡신(aflatoxin), 오크라톡신(ochratoxin) 및 제랄레논(zearalenone) 등이다.[3]

Aflatoxin은 *Aspergillus flavus*, *Aspergillus parasiticus* 및 *Aspergillus nomius* 등의 곰팡이에 의해서 생성되는 2차 대사 산물이다.[2,4,5] 이들 곰팡이로 오염된 식품은 적절한 온도(25~30°C)와 습도(80~85%) 조건이 되면 aflatoxin을 생성하게 된다. 땅콩과 옥수수, 보리, 쌀, 밀 및 수수 그리고 면실 등에서 이 곰팡이들이 많이 발견되며 우리 나라에서는 누룩과 메주에서 흔히 발견된다.[2,3] 1959년 영국에서 발생하였던 칠면조 폐사 사건 이후 aflatoxin의 화학적, 생물학적 및 독성학적 중요성, 그리고 인체에 미치는 영향 등이 세계적으로 연구되고 있다.

Aflatoxin은 동물에서 간에 강한 발암성을 갖는 것으로 알려져 있고 또한 인간에 있어서도 간암(primary liver cancer)에 어느 정도 관련이 있는 것으로 추측되고 있다.[6,7] 그 중에서도 aflatoxin B_1은 가장 강력한 발암물질이며 간이나 신장 · 폐 · 피부 등에 암을 유발하며 특히 간암을 유발하는 것으로 알려져 있다.[2,4,5] 이 독소는 인간과 동물에 이렇게 위해를 나타낼 뿐만 아니라 식품과 사료 등에 오염되어 경제적 손실을 야기하기도 한다.[2,4]

Aflatoxin은 전세계적으로 식품과 사료 등에서 널리 발현되고 있다. Aflatoxin의 가장 중요한 특징 중의 하나는 강한 열 저항성으로 280~300°C에서 분해되기 때문에[2] 식품에 일

†Author to whom correspondence should be addressed.

단 오염되면 일반적인 조리 방법으로는 파괴가 어렵다. Aflatoxin으로부터 인간과 동물을 보호하고 또 식량 자원의 손실을 예방하기 위하여 aflatoxin을 억제 또는 감소 및 파괴시킬 수 있는 여러 가지 방법이 모색되었다. 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.[6,7,8] 물리적 요인으로서는 온도 조절, 열 에너지의 이용, 햇빛에 노출 및 자외선 조사 등이 주로 거론되어 왔다. Aflatoxin과 온도 조절에 대해서는 일부 연구자들이 고온에서의 aflatoxin의 파괴 또는 분해를 제시하였다.[2] 빛에 대해서는 aflatoxin이 민감한 편이며 빛에 폭로되면 미지의 물질로 변환되는 것으로 추측되었다.[2] 빛과 관련하여 태양 광선에 의한 aflatoxin의 감소와 파괴에 대한 보고가 있으며[7] 자외선도 aflatoxin 분해에 매우 효과적인 것이라는 가정과 소수의 보고[8]가 있으나, 아직 구체적인 실험 자료는 부족한 편이다.

국내산 농산물에서도 오래 전부터 aflatoxin이 검출된 바 있다.[9] 지난 '81년 우리 나라가 일본으로 수출한 땅콩 제품에서 aflatoxin이 검출되어 반품 조치된 바 있으며, '97년에는 국내산과 북한산 땅콩에서 허용기준치인 10 ppb의 58.5배에 달하는 afltoxin B_1이 검출되었다.[10] 또한 '97년에 서울과 경기 지역의 재래시장에서 판매되는 국산과 수입산 곡물에서도 aflatoxin이 검출되기도 했으며 이뿐만 아니라 농산물 가공 식품도 aflatoxin B_1에 오염되어 문제가 되었다.[10]

본 연구에서는 쌀, 밀과 더불어 세계 3대 주요 작물중 하나인 옥수수를 이용하여 aflatoxin 오염 관리를 연구하고자 한다. 옥수수는 현재 재배되어지고 있는 작물 중 에너지 효율이 가장 좋은 C_4 작물(대표적인 것은 옥수수, 수수, 사탕수수, 피, 명아주 등)로서 산업화와 생활 수준의 향상과 더불어 쌀의 소비가 줄어들고 육류의 소비가 증대되면서 사료용, 식용 및 공업용 등으로 그 용도가 약 수 천여 가지에 이르고 있다.

세계에서 연간 약 5억 톤의 옥수수가 생산되고 있고, 그 중 7천만 톤의 옥수수가 극동 아시아지역으로 수입되고 있다. 2002년 현재 우리 나라에서는 국내 연간 쌀 생산량인 약 500만 톤의 2배에 달하는 약 1,000만 톤의 옥수수를 식용, 사료용, 공업용 및 종자로서 수입하고 있으며,[11] 수요가 증가함에 따라 그 수입량이 늘어날 전망이다. 또한 옥수수는 현재 심각한 식량난을 겪고 있는 북한의 주요한 식량이기도 하다. 그러므로 수입 옥수수의 국·내외 유통 과정에서 옥수수에 aflatoxin과 aflatoxin 생성 곰팡이가 오염되었을 가능성을 배제할 수 없으며, 이는 식품위생적인 측면에서 상당히 문제가 될 수 있다고 생각된다.

따라서 본 연구에서는 aflatoxin에 오염된 옥수수의 전처치 방법별 및 옥수수로 만든 일부 음식물의 조리법에 따른 aflatoxin 함량 변화를 관찰함으로써 각 전처치법 및 조리법별 aflatoxin 감소 및 파괴 정도를 평가하고, 나아가 옥수수 조리 및 가공에 있어서 aflatoxin 감소를 위한 위생적인 지표로 활용되고자 한다.

재료 및 방법

실험재료

옥수수 시료 – 대상 식품인 옥수수는 시중에 유통되는 수입 옥수수 중 가공용 옥수수(GCB70, 미국산)를 구입해서 사용하였다.

사용 균주 – 실험에 사용된 균주로서 곰팡이는 aflatoxin을 생성하는 Aspergillus parasiticus ATCC 15517을 American Type Culture Collection(ATCC)으로부터 분양 받았다.

배지 – 배지로는 곰팡이의 포자현탁액 조제를 위해 potato-dextrose agar(PDA) 배지(Difco Laboratories, Detroit, MI, U.S.A.)를 사용하였다.

시약 및 기구

(1) 시약

실험에 사용한 aflatoxin 표준품은 Supelco Inc.(Bellefonte, PA, U.S.A.) 제품을 사용하였다. High performance liquid chromatograph(HPLC)분석을 위하여 HPLC용 methanol과 acetonitrile(Merck Co., Germany)을 사용하였다. 분석에 사용한 기타 시약은 Tween 80, methanol, chloroform, *n*-hexane 및 ethyl ether 등으로 특급 이상의 제품을 사용하였다.

(2) 기구

실험에 사용한 기구로는 시료 중 aflatoxin 추출물 조제를 위해 rotary evaporator(Hitachi, Japan)와 shaking incubator (동성과학)를 사용하였다. 곰팡이의 포자수 조절을 위하여 hematometer와 microscope(Nikon, HFX-II, Japan)를 사용하였다. Aflatoxin의 분리 및 정량 분석을 위해서 HPLC(high performance liquid chromatograph, Waters, U.S.A.)를 사용하였다. 그리고 자외선 조사를 위해서 40-watt UV Light (G40T10, Japan)를 사용하였다.

실험방법

균주 활성화 및 포자 현탁액 조제 – American Type Culture Collection(ATCC)으로부터 분양 받은 *Aspergillus parasiticus* ATCC 15517 균주를 potato-dextrose agar(PDA)의 사면 배지에 접종하여 28 에서 10일간 배양하였다. 이를 3회 연속 계대 배양하여 충분히 활성화시켰다. 활성화된 균

주를 PDA 평판 배지에 접종하여 28°C에서 8일 동안 배양한 후 포자 현탁액을 조제하였다. 평판에 형성된 포자에 멸균한 0.1% tween 80 용액 1 m*l*와 멸균수 5 m*l*를 가하고 강하게 흔들어 포자를 씻어내는 조작을 3회 반복하였다. 다시 이것에 멸균수를 가하면서 현미경으로 검경하여 포자수를 10^6~10^7/m*l*로 조절하여 접종에 사용하였다.

옥수수에서 aflatoxin 생성 – Aspergillus parasiticus 포자 현탁액을 구입한 옥수수에 접종하였다(500 m*l*/5 kg). 이를 28°C에서 10일 동안 배양하여 aflatoxin을 생성시켰다.

옥수수의 전처치 – 옥수수의 조리 및 가공전 전처치는 태양 광선 조사, UV 조사 및 물 세척 등을 이용하였다. 태양 광선 처치군은 AC를 태양 광선에 7일 동안 조사시켰다. 태양 광선의 조사는 US EPA guideline[12]에 의한 광분해 방법에 준하여 개방된 건물의 옥상에서 수행하였다. 나침반을 이용하여 정남향의 방향에서 태양을 향하여 30° 경사지게 시료를 배치하고 실시하였다. 태양 광선의 강도가 변화하므로 하루 중 낮의 시간을 8시간으로 보고 태양광선에 8시간 동안 노출시켰다. UV 처치군은 AC를 40-watt UV light을 이용해 자외선 파장 254 nm에 1 m 거리로 56시간(1일 8시간 작업으로 7일 기준) 동안 조사시켰다. 물 세척군은 AC를 그 양의 3배의 물에 3회 세척하였다.

옥수수의 조리 및 가공 – 옥수수의 조리 및 가공 방법으로는 끓이기, 찌기, 굽기 및 튀기기를 행하였으며, 이에 따라 죽, 떡, 빵 및 팝콘을 제조하였다. 죽, 떡, 빵 및 팝콘의 조리 및 가공 방법은 일반적인 조리 방법[13]에 따랐다. 죽은 옥수수 200 g을 가루로 낸 후, 여기에 물 840 cc를 부어 60~80°C에서 30분간 끓여 그 최종 산물을 채취하여 시료로 사용하였다. 떡은 옥수수 200 g을 곱게 가루를 내어 찜통에 넣고, 100°C에서 30분간 쪄낸 후 최종 산물을 채취하여 시료로 사용하였다. 빵은 옥수수 300 g에 계란 300 g을 넣고 물 210 cc와 섞어 반죽하여 200°C의 오븐에서 15분간 구웠다. 팝콘은 옥수수 300 g을 280°C의 기름에서 10분간 튀긴 후 최종 산물을 채취하여 시료로 사용하였다.

Aflatoxin 분석

(1) Aflatoxin 추출

옥수수의 전처치법에 따라 나오는 부과물과 조리 및 가공 완성품을 채취하여 aflatoxin 감소율을 측정하기 위해 우선 시료 중의 aflatoxin을 추출하였다. Aflatoxin의 분석을 위한 시료의 추출은 Kim의 방법[14]에 의하였다. 즉, 시료 25 g을 취하여 121°C, 1 kg/cm^3 하에서 15분간 멸균시키고, 여기에 NaCl 50 mg과 시료와 동량의 methanol과 시료 5배의 chloroform을 넣어 shaker로 24시간 동안 교반하여 aflatoxin을 chloroform층으로 추출해 내었다. Chloroform층을 분취한 후 다시 시료 5배 량의 chloroform을 가하여 24시간 동안 교반시킨 후 aflatoxin을 추출한 chloroform층을 분취해 내었다. 두 번의 추출 조작을 거쳐 분취한 chloroform층을 합하여 rotary evaporator로 증발·농축시키고 질소 gas하에 증발 건조시켰다. 이 증발 건고물을 HPLC분석을 위한 시료로 사용하였다.

(2) Aflatoxin 정량 분석

Aflatoxin의 정량을 위해 aflatoxin 표준품(B_1, B_2, G_1 및 G_2)을 농도별로 혼합조제하였다. 용매를 증발시켜 건고물화하고 trifluroacetic acid를 가하여 유도체화시켰다. 여기에 HPLC 주입 용매를 가하여 HPLC 분석을 위한 external standard로 사용하였다. 앞에서 증발 건고 시킨 시료의 잔류물도 동일하게 유도체화시키고 HPLC에 주입하여 분석하였다.

Aflatoxin 분석을 위한 HPLC system은 M510 solvent delivery system, Rheodyne injector 및 M474 fluorescence detector로 구성하였다. 분석 조건은 역상의 Nova-pak C_{18} column(15 cm×3.9 mm I.D.)을 실온에서 사용하였으며, fluorescence detector의 여기파장 365 nm, 속정 파장 418 nm에서 acetonitrile:H_2O(1:3)의 이동상을 1.0 m*l*/min의 유속으로 흘려 aflatoxin을 분리 및 정량하였다. 시료의 주입량은 20 μ*l*이었다. 이 aflatoxin 분석을 위한 HPLC 조건은 Kim의 방법[14]에 따랐다. 이상의 조건에서 4종의 aflatoxin을 분리하여 피크 면적법에 따라 aflatoxin을 정량하였다. Aflatoxin 4종의 함량을 합하여 총량(total aflatoxin)으로 하였다.

자료의 분석 및 통계 처리

자료의 분석과 통계 처리는 SAS series package의 분산분석(analysis of variance, ANOVA) 및 Duncan's multiple range test로 각 실험군별 차이와 유의성을 검증하였다. 유의성 검증은 $\alpha = 0.05$ 수준에서 실시하였다.

결 과

본 연구에서는 시중에 유통되는 수입 옥수수(GCB70, 미국산)를 구입해서 *Aspergillus parasiticus* ATCC 15517의 포자 현탁액을 접종하고 28°C에서 8일 동안 배양하여 aflatoxin을 생성시킨 옥수수를 태양 광선 조사, UV 조사 및 물 세척 등의 전처치를 한 다음, 일상적인 조리 및 가공법인 끓이기, 찌기, 굽기 및 튀기기를 행하여 죽, 떡, 빵 및 팝콘을 만들었다. 전처치와 조리 및 가공 전·후의 시료에서 4종의 aflatoxin(B_1, B_2, G_1 및 G_2) 함량을 HPLC에 의하여 정량하였으며 이를 합하여 총량(total aflatoxin)으로 제시하였다. 그 결과는 다음과 같다.

전처치에 의한 Aflatoxin 감소 효과

*Aspergillus parasiticus*를 접종하여 aflatoxin을 생성시킨 옥수수 시료(aflatoxin corn, AC)의 초기 total aflatoxin 함량을 HPLC로 정량한 결과 42.7 ppm이었다. 이 옥수수를 태양 광선 조사, UV 조사 및 물 세척으로 전처치하여 aflatoxin을 분석한 결과는 Table 1과 같다. 또 이들 전처치한 시료에서 aflatoxin을 분리한 chromatograms는 Fig. 1과 같다.

AC를 태양 광선에 7일(168 시간)동안 조사한 옥수수 SC의 경우 total aflatoxin 함량이 22.9 ppm(53.8% 잔류)이었고, UV(254 nm)에 56시간(7일 기준)동안 조사한 옥수수 UC의 경우 total aflatoxin 함량이 22.3 ppm(52.2% 잔류)으로 AC에 비하여 유의한 감소를 나타내었다($p<0.05$). AC를 물 세척을 한 옥수수 WC의 경우 total aflatoxin 함량이 38.9 ppm(91.1% 잔류)으로 초기 옥수수 시료 AC에 비하여 감소하였으나 유의한 차이를 보이지 않았다. 이는 aflatoxin과 같은 곰팡이 독소를 제거하기 위해 물에 씻는 방법보다는 태양 광선 조사나 자외선 조사가 효과적이라는 것을 보여준다.

조리 및 가공에 의한 Aflatoxin 감소 효과

*Aspergillus parasiticus*를 접종하여 aflatoxin을 생성시킨 옥수수 시료(aflatoxin corn, AC)를 다양한 방법으로 조리 및 가공한 완성품에서의 aflatoxin 함량을 HPLC로 정량한 결과는 Table 2와 같다. 끓이기를 한 죽에서는 total aflatoxin 함량이 1.5 ppm(3.4% 잔류)이었고, 찌기를 한 떡에서는 17.7 ppm(41.5% 잔류), 그리고 튀기기를 한 팝콘에서는 16.4 ppm(38.4% 잔류)으로 AC 42.7 ppm에 비하여 유의한 감소를 나타내었다($p<0.05$). 그러나 굽기를 한 빵에서는 total aflatoxin이 32.7 ppm(76.4% 잔류)으로 감소하였으나 유의한 감소를 보이지 않았다.

AC를 태양 광선에 조사시킨 SC를 조리 및 가공한 완성품에서 aflatoxin 함량을 HPLC로 정량한 결과는 Table 3과 같다. 끓이기를 한 죽에서는 total aflatoxin 함량이 1.2 ppm(5.1% 잔류)이었고, 찌기를 한 떡에서는 4.8 ppm

Table 1. Reduction of total aflatoxin in samples according to the pre-treatment methods

Pre-treatment methods	Total aflatoxin (ppm)	Reduction (%)
Aflatoxin corn (AC)[1)]	42.71±3.62[a]	0.0
Exposure to sunlight (SC)[2)]	22.97±1.45[b]	46.2
Irradiation of UV ray (UC)[3)]	22.28±2.40[b]	47.8
Washing with water (WC)[4)]	38.92±3.30[a]	8.9

[1)]AC: Aflatoxin-produced corn (Normal corn was inoculated with Aspergillus parasiticus ATCC 15517.).
[2)]SC: AC was exposed to sunlight for 7 days.
[3)]UC: AC was irradiated with UV for 56 hours.
[4)]WC: AC was washed with water three times.
All values are the mean±S.E of 4 samples.
Values with the same superscript letters within a column are not significantly different from each other as determined by ANOVA and Duncan's multiple range test ($p<0.05$).

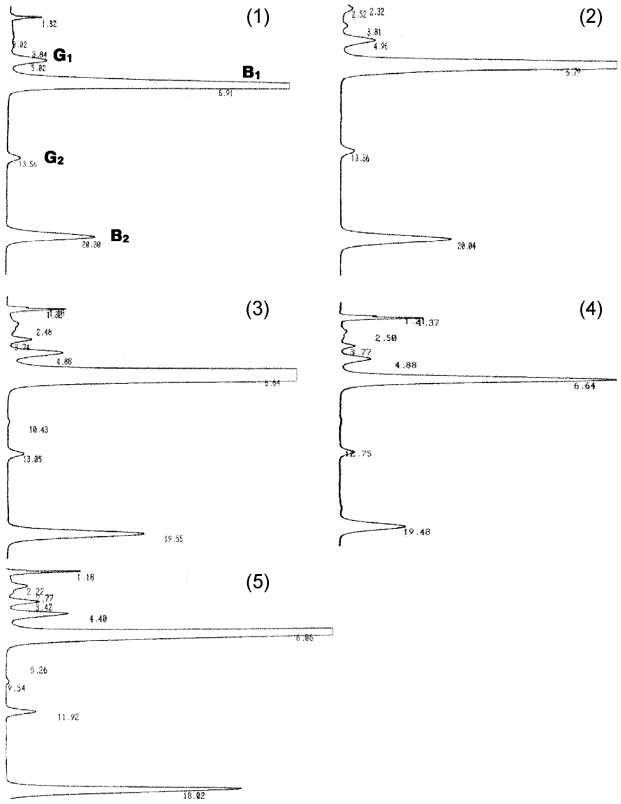

Fig. 1. HPLC chromatograms of aflatoxins. (1) Standard, (2)-(5) Sample extract: (2) AC, (3) SC, (4) UC, and (5) WC. Abbreviations are the same as in Table 1.

Table 2. Reduction of total aflatoxin in AC according to the cooking and processing methods

Samples	Total aflatoxin (ppm)	Reduction (%)
Control(AC[1)])	42.71±3.62[a]	0.0
Corn gruel	1.45±0.06[c]	96.6
Corn cakes	17.73±1.75[b]	58.5
Corn bread	32.65±2.92[a]	23.6
Popcorn	16.40±0.91[b]	61.6

[1)]AC: Aflatoxin-produced corn (Normal corn was inoculated with Aspergillus parasiticus ATCC 15517).
All values are the mean S.E of 4 samples.
Values with the same superscript letters within a column are not significantly different from each other as determined by ANOVA and Duncan's multiple range test($p<0.05$).

Table 3. Reduction of total aflatoxin in SC according to the cooking and processing methods

Samples	Total aflatoxin (ppm)	Reduction (%)
Control(SC[1)])	22.97±1.45[a]	0.0
Corn gruel	1.16±0.05[d]	94.9
Corn cakes	4.75±0.76[c]	79.3
Corn bread	7.23±0.89[bc]	68.5
Popcorn	9.10±0.51[b]	60.4

[1)]SC: AC was exposed to sunlight for 7 days. All values are the mean S.E of 4 samples.
Values with the same superscript letters within a column are not significantly different from each other as determined by ANOVA and Duncan's multiple range test ($p<0.05$).

(40.8% 잔류), 굽기를 한 빵에서는 7.2 ppm(31.5% 잔류)이었으며, 튀기기를 한 팝콘에서는 9.1 ppm(39.6% 잔류)으로 SC 23.0 ppm에 비하여 모두 유의한 감소를 나타내었다 ($p<0.05$).

AC를 UV에 조사시킨 UC를 조리 및 가공한 완성품에서 aflatoxin 함량을 HPLC로 정량한 결과는 Table 4와 같다. 끓이기를 한 죽에서는 total aflatoxin 함량이 1.5 ppm(6.6% 잔류)이었고, 찌기를 한 떡에서는 1.5 ppm(6.8% 잔류), 굽기를 한 빵에서는 4.5 ppm(20.2% 잔류)이었으며, 튀기기를 한 팝콘에서는 2.5 ppm(11.2% 잔류)으로 UC 22.3 ppm에 비하여 모두 유의한 감소를 나타내었다($p<0.05$).

AC를 물 세척한 WC를 조리 및 가공한 완성품에서 aflatoxin 함량을 HPLC로 정량한 결과는 Table 5와 같다. 끓이기를 한 죽에서는 total aflatoxin 함량이 0.5 ppm(1.3% 잔류)이었고, 찌기를 한 떡에서는 10.0 ppm(25.7% 잔류), 굽기를 한 빵에서는 14.5 ppm(37.3% 잔류) 이었으며, 튀기기를 한 팝콘에서는 8.9 ppm(22.9% 잔류)으로 WC 38.9 ppm에 비하여 모두 유의한 감소를 나타내었다($p<0.05$).

Table 4. Reduction of total aflatoxin in UC according to the cooking and processing methods

Samples	Total aflatoxin (ppm)	Reduction (%)
Control(UC[1)])	22.28±2.40[a]	0.0
Corn gruel	1.48±0.06[c]	93.4
Corn cakes	1.52±0.20[c]	93.2
Corn bread	4.50±1.46[b]	79.8
Popcorn	2.50±1.09[b]	88.8

[1)]UC: AC was irradiated with UV for 56 hours.
All values are the mean±S.E of 4 samples.
Values with the same superscript letters within a column are not significantly different from each other as determined by ANOVA and Duncan's multiple range test ($p<0.05$).

Table 5. Reduction of total aflatoxin in WC according to the cooking and processing methods

Samples	Total aflatoxin (ppm)	Reduction (%)
Control(WC[1)])	38.92±3.30[a]	0.0
Corn gruel	0.52±0.06[c]	98.7
Corn cakes	10.02±2.80[b]	74.3
Corn bread	14.5±2.30[b]	62.7
Pop-corn	8.92±0.91[b]	77.1

[1)]WC: AC was washed with water three times.
All values are the mean±S.E of 4 samples.
Values with the same superscript letters within a column are not significantly different from each other as determined by ANOVA and Duncan's multiple range test ($p<0.05$).

고 찰

본 연구의 결과들을 보면 초기 시료(AC)의 total aflatoxin 함량은 42.7 ppm 인데 비하여, 전처치 방법별로는 각 군별 전처치 후 total aflatoxin 함량이 SC가 22.9 ppm, UC가 22.3 ppm, 그리고 WC가 38.9 ppm 이었다. 전처리한 각 군의 total aflatoxin 감소율을 보면 SC가 46.2%, UC가 47.8% 그리고 WC가 8.8%였다. 물 세척 방법을 이용함으로 인해 옥수수의 aflatoxin이 소량 제거되었으나, SC과 UC에 비해 감소 효과가 훨씬 적었다.

이는 aflatoxin이 물에 잘 녹지 않는 특징[2)] 때문인 것으로 생각된다. 즉, 물 세척 방법은 다만 옥수수 외부의 aflatoxin을 일부 제거하는데 그쳤을 것으로 생각된다. 이에 비하여 태양 광선 조사는 오염된 옥수수의 aflatoxin 감소에 상당히 효과적인 방법으로 나타났다. 비록 본 연구에서 태양 광선에 의하여 aflatoxin의 완벽한 제거 또는 파괴를 관찰하지는 못하였으나, 변 등[7)]의 고체 배지에서 태양 광선에 의한 aflatoxin의 감소의 실험 결과에서 8시간 조사 후 50% 이하로 감소, 168시간 후에는 33.3%로 감소되어 본 연구와 유사한 감소를 보였다. 일부 학자들에 의하여 aflatoxin의 감소 및 파괴에 비교적 효과적인 방법으로 제시된 화학 물질 사용법[8)]에 비해, 태양 광선조사는 실제로 인간이 먹는 식품에 적용하기에는 보다 안전하고 경제적인 방법이며 또 어느 곳에서나 실행할 수 있는 방법으로 생각된다. 김[8)]의 UV를 이용한 aflatoxin 감소 실험에서는 UVA 조사 12시간 후 aflatoxin 분해가 78.0%로 나타난 것과 유사하게, 본 연구에서도 UV 조사 역시 효과적인 방법으로 나타났다. 그런데 UV가 식품에서 aflatoxin 분해에 효과적일지라도, UV 조사는 식품의 관능성에도 영향을 미칠 수 있을 것이다. 그러므로 각 식품별로 그 특성에 따라 UV 조사량 등을 면밀하게 검토한 후에 실생활에 적용한다면 이 방법 역시 비교적 안

전하고 경제적인 방법이라고 생각된다. 따라서 옥수수를 동물의 사료나 식용으로 이용할 경우 먼저 태양 광선 및 자외선에 조사하는 방법으로 먹이 사슬에서 사전에 차단하여 최종적으로 사람이 먹게 되는 식품의 안전성을 확보하는 전략을 세우는데 대하여 보다 많은 연구가 필요할 것이다.

본 연구에서 옥수수의 전처치 후에 일반적인 조리 및 가공법(끓이기, 찌기, 굽기 및 튀기기)을 이용해서 대표적인 음식물인 죽, 떡, 빵 및 팝콘을 만든 경우 모든 군에서 aflatoxin이 유의하게 감소하였다. 특히 끓이기(죽)에서 가장 많은 aflatoxin 감소를 보였는데, 이 보다 더 높은 온도에서 조리 및 가공하는 굽기(빵)에 비해 더 많은 감소를 보인 원인을 설명하기가 어렵다. 이는 끓이기(죽)의 경우 조리 중 계속해서 옥수수 가루를 저어주어야 하는 특성상 열에 대해 골고루 지속적으로 노출되어, 굽기(빵)에 비해 더 효과적으로 aflatoxin이 감소되었을 것으로 생각되어진다. 마찬가지로 찌기(떡)의 경우에도 끓이기(죽)에 비해 고온에서 조리 및 가공함에도 불구하고, aflatoxn 감소가 저조한 원인은 위와 같은 맥락으로 사려되어진다.

식품에 오염된 aflatoxin을 조리에 의하여 감소시키고자 하는 노력으로서 몇 가지 보고가 있으며, 이들 보고에서도 열처리 등을 통하여 aflatoxin이 일부 제거될 수 있음을 제시하였다. 여와 김[15]의 aflatoxin에 오염된 쌀의 조리 및 가공 중 aflatoxin 감소에 대한 연구에서 밥 53.1%, 떡 14.4%, 식혜 88.6%, 그리고 쌀 튀기 92.4%만큼 aflatoxin이 감소되어 본 연구에서와 같이 찌기 및 튀기기가 aflatoxin의 감소에 많은 도움이 되는 것으로 나타났다. Soliman 등[16]은 aflatoxin에 오염된 사료를 먹은 토끼의 간을 조리하였을 때에 끓는 물에 삶았을 경우 aflatoxin이 67~80% 감소하였고 기름에 튀겼을 경우 79~90% 감소하였다고 보고하였다. Cazzaniga 등[17]은 aflatoxin B_1에 오염된 옥수수 가루를 조리(압출 성형)하였을 경우 aflatoxin이 10~25% 감소하였다고 보고하였다. Torres 등[18]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. Kpodo 등[19]은 aflatoxin에 오염된 옥수수를 3시간에 걸쳐 물에 담그고 발효하는 과정을 거쳤을 때에 aflatoxin이 35~80% 감소하였다고 보고하였다. 이 보고들에 비하여 본 연구에서는 옥수수 중의 aflatoxin을 일상적인 조리 및 가공 방법을 통하여 24~99% 만큼 감소시켰다. 이로부터 비록 aflatoxin이 열에 저항성이 있으나 일상적인 조리 및 가공에 의하여 상당히 감소시킬 수 있음을 알 수 있다.

본 연구에서 끓이기(죽) 방법의 경우가 굽기(빵) 및 찌기(떡) 방법의 경우보다 aflatoxin 감소율이 높게 나타났음에 비추어 보아, 앞으로의 연구에서는 조리 및 가공 방법뿐만 아니라, 각 조리 과정의 다양한 조건에 따른 aflatoxin의 감소를 탐구할 필요성이 있으며 이를 토대로 식품 중 aflatoxin 기준치 이하로 감소시킬 수 있는 전략을 모색하여야 하겠다.

국문요약

본 연구는 aflatoxin이 오염된 옥수수에서 각 전처치 방법과 조리 및 가공 방법에 따라 aflatoxin이 감소되는 정도를 관찰하고자 수행되었다. *Aspergillus parasiticus* ATCC 15517을 접종하여 aflatoxin을 생성시킨 옥수수(GCB70, 미국산)에 태양 광선 조사, UV 조사 및 물 세척 등의 전처치를 실시하였으며, 각 전처치 후의 시료를 옥수수의 일반적인 조리 및 가공 방법(끓이기, 찌기, 굽기 및 튀기기)에 따라 죽, 떡, 빵 및 팝콘을 만들었다. Aflatoxin이 생성된 옥수수 시료(AC)와 전처치에 따른 부과물로서 AC에 태양 광선을 7일 조사시킨 시료(SC), UV를 56시간(7일간) 조사시킨 시료(UC) 및 물 세척을 3회 수행한 시료(WC), 그리고 이들의 조리 및 가공 완성품에 대한 aflatoxin 함량을 HPLC로 정량하였다. AC의 total aflatoxin 함량은 전처치 시료에서는 태양 광선 조사시와 UV 조사시(UC)에 유의하게 감소하였으며($p<0.05$), 물 세척시에는 감소하였으나 유의한 감소는 아니었다. AC, SC, UC 및 WC를 조리 및 가공하였을 때 평균적으로 죽>팝콘>떡>빵의 순으로 aflatoxin이 감소되었다. 이로부터 aflatoxin에 오염된 옥수수의 조리 및 가공전 태양 광선 조사와 UV 조사는 aflatoxin 분해에 효과적인 것으로 나타났다. 또한 끓이기, 찌기, 굽기 및 튀기기 등의 조리 및 가공 방법은 aflatoxin의 감소에 도움이 되며, 특히 열에 지속적으로 노출되는 것이 가장 효과적인 것으로 나타났다. Aflatoxin이 오염된 옥수수에서 aflatoxin을 식품 중 기준치 이하로 감소시키기 위하여 더 많은 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

1. 김종규, 이용욱: 유산균과 그 발효유가 *Aspergillus parasiticus*의 생육과 aflatoxin 생성에 미치는 영향, *한국식품위생안전성학회지*, **13**(2), 164-170 (1998).
2. Smith J. E. and Moss M. O.: Mycotoxins, formation, analysis and significance. John Wiley & Sons, New York, 133-137 (1985).
3. 신광순, 신효선, 이용욱, 정영채: 최신식품위생학, 신광출판사, 서울, 171-178(1985).
4. Bullerman L. B. Significance of mycotoxins to food safety and human health. *J. Food Prot.*, **42**, 65-86 (1979).
5. Kurtzman C. D., Horn B. W., and Hesseltine C. W.: Aspergillus nomius, a new aflatoxin producing species related to Aspergillus flavus and Aspergillus tamari. *J. Microbiol.*, **53**, 147-158 (1987).
6. 김종규: 실험실 폐수중 Aflatoxin 감소를 위한 화학적 처리에 관한 연구. *한국환경위생학회지*, 18(2), 52-56 (1992).
7. 변영희, 김종규: 태양 광선에 의한 Aflatoxin의 감소 효과. *한국식품위생안전성학회지*, **14**(4), 428-432(1999).
8. 김종규: 자외선 조사에 의한 Aflatoxin 감소 효과-고체 배지를 중심으로. *대한보건협회학술지*, **26**(4), 497-502 (2000).
9. Lee, Y. W. and Kim. J. G.: Natural occurrence of aflatoxin B1 in rice and soybean produced in Korea. *J. Inst. Health Env. Sci.*, **1**(1), 117-122 (1991).
10. 손동화, 조명행, 이문한: ELISA에 의한 농산물 중 Aflatoxin 잔류 조사, *한국식품위생안전성학회지*, **12**(4), 281-287 (1997).
11. 국제옥수수재단: [검색 2002년 10일] 인터넷주소: http://www.icf.or.kr/korea/intro/(1998).
12. US Environmental Protection Agency: EPA guideline 40 CFR 795.70. Indirect Photolysis Screening Test-Sunlight photolysis in waters containing dissolved humic substances US EPA (1997).
13. 염초애, 장명숙, 윤숙자: 한국음식. 효일문화사 (1993).
14. Kim, J. G: Comparative study on the HPLC determination of aflatoxins coupled with extraction and clean-up methods. Korean. *J. Food Hyg.*, **8**, 251-254 (1993).
15. 여현종, 김종규: 쌀의 조리 및 가공 중 Aflatoxin 감소에 관한 연구. *한국식품위생안전성학회지*, **17**(2), 79-86 (2002).
16. 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 aflatoxins in growing rabbits and the effect of cooking on aflatoxin residues. *J. of Agricultural and Food Chemistry*, **49**(7), 3291-3295 (2001).
17. 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).
18. Torres, P., Guzman-Ortiz, M., and 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).
19. Kpodo, K., Sorensen, A. K., and Jakobsen. M.: The occurrence of mycotoxins in fermented maize products, *Food Chemistry*, **56**(2), 147-153 (1996).