

HPLC-FLD 및 LC-MS/MS에 의한 식품 중 총아플라톡신 오염실태 조사

장미란 · 이창희* · 조성혜 · 박준식 · 권은영 · 이은진 · 김소희 · 김대병

부산지방식품의약품안전청 시험분석센터

A Survey of Total Aflatoxins in Food Using High Performance Liquid Chromatography-Fluorescence Detector (HPLC-FLD) and Liquid Chromatography Tandem Mass Spectrometry (LC-MS/MS)

Mi-Ran Jang, Chang-Hee Lee*, Sung-Hye Cho, Joon-Shik Park, Eun-Young Kwon,

Eun-Jin Lee, So-Hee Kim, and Dai-Byung Kim

Test & Analytical Center, Busan Regional KFDA

Abstract A survey for total aflatoxins (aflatoxins B₁, B₂, G₁, and G₂) was conducted on 245 cereals and processed cereal products, and 148 nuts and processed nut products in Korea, for a total of 393 commercialized samples. The total aflatoxins were quantified by the immunoaffinity column clean-up method with high performance liquid chromatography (HPLC) - fluorescence detection (FLD), and were confirmed by liquid chromatography tandem mass spectrometry (LC-MS/MS). Total aflatoxins (AFs) were detected in 37 samples (9.4% incidence), including 2 millet samples, 1 mixed cereal (sunsik), 1 powdered malt sample, 2 processed cereal products, 6 peanut samples, 22 peanut butter samples, and 1 sample each of almonds, adlay tea, and a processed nut product. The contamination levels were 0.04-2.65 µg/kg for aflatoxin B₁, and 0.04 -5.51 µg/kg for total aflatoxins. Finally, LC-MS/MS analysis of the contaminated samples was conducted to confirm the detected aflatoxins, and all 37 samples showing aflatoxins by HPLC-FLD were confirmed by LC-MS/MS.

Key words: aflatoxins, incidence, immunoaffinity column, HPLC-FLD, LC-MS/MS

서 론

아플라톡신(aflatoxin)은 *Aspergillus flavus*, *Asp. parasiticus*, *Aspergillus nomius* 등의 *Aspergillus*속 곰팡이에 의해 생성되는 2차 대사산물로서, 지금까지 20여 종의 아플라톡신이 알려져 있으며 일반적으로 발견되는 아플라톡신은 아플라톡신 B₁, B₂, G₁ 및 G₂이다(1). *Aspergillus*속 곰팡이에 의해 아플라톡신이 생성되는 최적 조건은 온도 28-30°C, 상대습도 80-85%로 주로 고온·다습한 열대나 아열대 지방에서 가장 많이 생성되는 것으로 보고되어 있으며(2), 특히 쌀, 보리 등의 곡류 및 땅콩, 피스타치오, 호두 등의 견과류와 같이 탄수화물 함량이 높은 기질에서 쉽게 생성되는 것으로 알려져 있다(3).

아플라톡신은 사람 및 동물에 기형발생 및 강력한 간 독성과 발암성을 보이는 등 치명적인 피해를 입힐 수 있는 것으로 평가되고 있으며(4), 국제 암 연구소(IARC, International Agency for Research on Cancer)에서는 아플라톡신을 Group 1(인체발암물질)으로 정하고 있다(5). 식품 섭취에 의한 아플라톡신의 위해성을 피하기 위해서는 농작물의 재배과정, 수확 후 저장·유통과정에

서 곰팡이의 오염 및 독소의 생성을 억제하거나 생성된 독소를 제거해야 한다. 생성된 독소를 제거하는 방법의 경우, 지금까지 생성된 독소를 제거하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있지만(6-8), 사실상 사전에 아플라톡신 오염을 방지하거나 오염된 식품의 섭취를 예방하는 것을 최선의 방법으로 제안하고 있다(9,10). 따라서 세계 각 나라별로 아플라톡신에 대한 기준 및 규격이 설정되어 있으며, 가장 독성이 강한 아플라톡신 B₁으로서 관리하는 경우와 총아플라톡신으로서 관리하는 경우가 있다. 대부분의 유럽 국가에서는 아플라톡신 B₁ 및 총아플라톡신으로서 기준을 설정하고 있으며, 미국 및 국제규격위원회(CODEX)에서는 총아플라톡신으로서 기준을 설정하여 운용하고 있다(11,12). 이러한 아플라톡신에 대해 총아플라톡신으로서 규격을 설정, 또는 검토하고 있는 국제간의 방향을 감안하면 총아플라톡신에 대한 오염실태를 조사할 필요성이 있다. 뿐만 아니라 한국의 기후조건이 아플라톡신 생성에 대해 비교적 덜 민감한 편이라고는 하나, 곡류를 주식으로 하고 있고 상당량의 식품 및 사료원료를 수입에 의존하고 있어 아플라톡신에 노출될 가능성이 높을 것으로 예상되므로 체계적인 모니터링 조사가 필요하다(13).

아플라톡신의 분석방법은 일반적으로 형광검출기를 장착한 HPLC 분석법이 일반적이며, 아플라톡신의 정제를 위해 multifunctional column을 이용하거나 Sep-Pak silica cartridge를 사용하는 등의 방법이 사용되어 왔으나, 최근 들어 immunoaffinity column을 이용한 신속하고 간편한 정제법이 제시되고 있다(14-17).

따라서 본 연구에서는 아플라톡신 오염에 쉽게 노출되는 곡류 및 견과류와 그 가공품에 대해서 immunoaffinity column으로 정제 후 HPLC-FLD로 분석하는 방법을 이용해 총아플라톡신의 오

*Corresponding author: Chang-Hee Lee, Hazard Substances Analysis Team, Test & Analytical Center, Busan Regional Korea Food & Drug Administration, 123-7 Yongdang-dong, Nam-gu, Busan, 608-829, Korea

Tel: 82-51-610-6220

Fax: 82-51-610-6199

E-mail: chang65@hanmail.net

Received June 4, 2007; accepted September 19, 2007

염실태를 조사하였다. 또한 아플라톡신이 검출되는 시료에 대해서는 LC-MS/MS로 확인하였다.

재료 및 방법

시료

2006년 5월부터 9월까지 국내유통식품 중 아플라톡신 오염 가능성이 높은 식품인 곡류 및 곡류 가공품, 견과류 및 견과류 가공품을 대상으로 서울, 부산 등 전국 대도시를 비롯한 10개 지역의 대형 할인마트 및 재래시장 등에서 구입하였다. 곡류 및 곡류 가공품은 쌀, 보리, 기장, 옥수수 등 16품목에 대해 245건, 견과류 및 견과류 가공품은 땅콩, 땅콩버터, 잣, 호두 등 9품목에 대해 148건을 구입하여 총 393건의 시료에 대해 총아플라톡신 오염실태를 조사하였다. 가루나 분말 상태의 단순 가공을 거친 시료를 제외한 모든 시료는 포장단위로 분쇄한 후 -20°C 의 냉동 상태로 보관하면서 사용하였다.

시약 및 표준 물질

아플라톡신 B_1 , B_2 , G_1 , G_2 표준물질은 Sigma사(St. Louis, MO, USA)에서 구입하여 사용하였으며 추출과 분석에 사용되는 acetonitrile, methanol은 HPLC용(Merck Co., Darmstadt, Germany)을 사용하였다. Sodium chloride(Merck Co.), trifluoroacetic acid (Sigma Co.) 등 실험에 사용된 모든 시약은 특급 및 그 이상의 수준을 사용하였다.

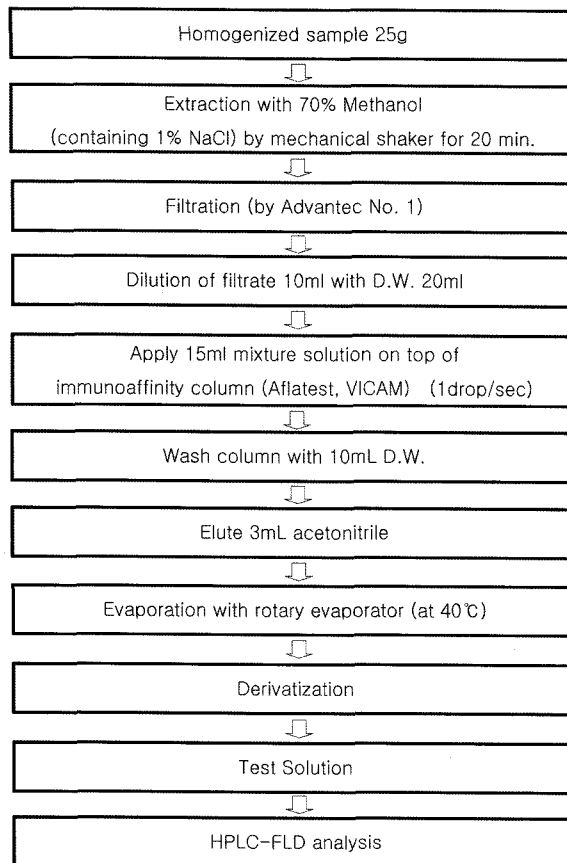


Fig. 1. Flow diagram of sample preparation for analysis of total aflatoxins in cereals, nuts and their processed products.

Table 1. HPLC conditions for the determination of aflatoxins

Instrument	HPLC (Shiseido SI-2)
Column	Capcell pak C_{18} MG-II
Mobile phase	Water : Acetonitrile = 90 : 10
Flow rate (mL/min)	0.5 $\mu\text{L}/\text{min}$
Detector	Fluorescence detector Ex. wavelength: 360nm Em. wavelength: 450nm
Injection volume	20 μL

정제용 칼럼

실험에 사용된 아플라톡신 정제용 칼럼은 immunoaffinity column (AflaTest, Vicam Co., Watertown, MA, USA)을 이용하였으며 이 칼럼은 1 mL syringe에 아플라톡신에 특이성을 지닌 monoclonal antibody가 부착된 sepharose가 충전된 것으로 완충액으로 채워져 있으며 실온에서 1년간 사용이 가능하다(18).

시험용액의 조제

시료 내 아플라톡신의 추출 및 전처리 과정은 2005년 식품의약품안전청 연구결과 보고서(19)에서 확립한 방법을 적용하였다 (Fig. 1).

분석 방법

아플라톡신을 정량분석하기 위해 fluorescence detector가 장착된 HPLC system[Shiseido(SI-2), Tokyo, Japan]을 사용하였다. 아플라톡신 분석에 적용된 용매 및 기기조건은 Table 1에 나타내었다. 또한 HPLC-FLD 분석법으로 아플라톡신의 오염이 확인된 시료는 LC-MS/MS[UPLC ACQUITYTM/Micromass Quattro Premier XE API triple-quadrupole mass spectrometer(Micromass, Manchester, UK)]를 이용해 확인하였다. 확정실험에 적용된 용매 및 기기 조건은 Table 2와 같다.

결과 및 고찰

시료 중 총아플라톡신의 회수율

아플라톡신 B_1 , B_2 , G_1 및 G_2 에 대한 검출한계(limit of detection, LOD)는 혼합표준용액을 저 농도로 희석하면서 HPLC-FLD로 분석하여 최소 검출량(signal/noise=3)을 구하는 방법으로 결정하였으며, 각각 아플라톡신 B_1 과 B_2 는 0.01 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 아플라톡신 G_1 은 0.15 $\mu\text{g}/\text{kg}$, G_2 는 0.02 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 이다. 정량한계(limit of quantification, LOQ)는 각각 아플라톡신 B_1 과 B_2 는 0.03 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 아플라톡신 G_1 은 0.45 $\mu\text{g}/\text{kg}$, G_2 는 0.06 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 이다. 총아플라톡신의 회수율은 아플라톡신이 검출되지 않은 시료 중 땅콩, 땅콩버터, 미숫가루, 울무차 및 밀가루를 선정하여 시료에 아플라톡신 B_1 , B_2 , G_1 및 G_2 의 혼합 표준용액을 최종농도 3 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 가 되도록 첨가한 후 immunoaffinity column을 사용한 시료 전처리 방법과 동일하게 분석하여 아플라톡신이 검출되는 농도를 측정하였다. 회수율 실험 결과 아플라톡신 B_1 은 72.8-100.1%, B_2 는 80.8-100.5%, G_1 은 75.8-97.1%, G_2 는 64.2-92.2%로 비교적 양호한 결과를 보였으며, 총아플라톡신 중에서 아플라톡신 G_2 는 상대적으로 회수율이 낮은 경향을 보였는데 이는 immunoaffinity column의 antibody의 친화력 차이에 기인하는 것으로 추정된다(20).

총 아플라톡신 오염도 조사

국내에서 유통 중인 곡류 및 곡류 가공품(245건)과 견과류 및

Table 2. LC-MS/MS conditions for the confirmation of aflatoxins

Instrument	Parameter	Conditions
LC parameter (Waters, ACQUITY UPLC)	Column	ACQUITY UPLC TH BEH C ₁₈ (Waters, 2.1 × 50 mm, 1.7 μm)
	Mobile phase	0.1% Formic acid in deionized water 0.1% Formic acid in acetonitrile
	Flow rate	0.3 mL/min
	Injection volume	10 μL
MS parameter (Waters, Micromass Quattro Premier XE)	Polarity	ESI +
	Capillary	3.2 kV
	Cone	33-45 V
	Source Temp.	120°C
	Desolvation Temp.	350°C
MRM (Multiple Reaction Monitoring)	Aflatoxin B ₁	313 > 241.1 (Quantification) 313 > 269.0 (Confirmatory)
	Aflatoxin B ₂	315 > 259.1 (Quantification) 315 > 287.1 (Confirmatory)
	Aflatoxin G ₁	329 > 242.9 (Quantification) 329 > 310.8 (Confirmatory)
	Aflatoxin G ₂	331.1 > 245.0 (Quantification)
		331.1 > 313.1 (Confirmatory)

Table 3. Incidence and range of total aflatoxins (AFs) levels in cereals, nuts, and processed their products

Type of food	Incidence		Range of AFs levels (μg/kg)				
	No.	%	AFs	AFB ₁	AFB ₂	AFG ₁	AFG ₂
Cereal and processed cereal products							
Rice	0/20	0	ND	ND	ND	ND	ND
Glutinous rice	0/17	0	ND	ND	ND	ND	ND
Rough rice	0/25	0	ND	ND	ND	ND	ND
Black rice	0/5	0	ND	ND	ND	ND	ND
Millet	2/38	5.3	0.15, 2.14	0.15, 2.14	ND	ND	ND
Barley	0/26	0	ND	ND	ND	ND	ND
Indian millet	0/15	0	ND	ND	ND	ND	ND
Italian millet	0/14	0	ND	ND	ND	ND	ND
Maize	0/6	0	ND	ND	ND	ND	ND
Maize products	0/13	0	ND	ND	ND	ND	ND
Wheat flour	0/10	0	ND	ND	ND	ND	ND
Buckwheat	0/7	0	ND	ND	ND	ND	ND
Mixed cereals (<i>Sunsik</i>)	1/17	5.9	0.12	0.12	ND	ND	ND
Powdered malt	1/6	16.7	0.25	0.25	ND	ND	ND
Cereal products	2/26	7.7	0.06, 0.50	0.06, 0.40	0.10	ND	ND
Total	6/245	2.4	0.06-2.14	0.06-2.14	0.10	ND	ND
Nut and processed nut products							
Peanut	6/20	30	0.04-0.42	0.04-0.31	0.10-0.11	ND	ND
Peanut butter	22/26	84.6	0.09-5.51	0.09-2.65	0.04-0.65	0.13-2.21	0.21, 0.30
Pine nut	0/31	0	ND	ND	ND	ND	ND
Walnut	0/18	0	ND	ND	ND	ND	ND
Almond	1/14	7.1	0.45	0.39	0.06	ND	ND
Pistachio	0/6	0	ND	ND	ND	ND	ND
Mixed nuts	0/11	0	ND	ND	ND	ND	ND
Adlay tea	1/9	11.1	1.45	1.45	ND	ND	ND
Nut products	1/13	7.7	0.07	0.07	ND	ND	ND
Total	31/148	20.9	0.04-5.51	0.04-2.65	0.04-0.65	0.13-2.21	0.21, 0.30
Total	37/393	9.4	0.04-5.51	0.04-2.65	0.04-0.65	0.13-2.21	0.21, 0.30

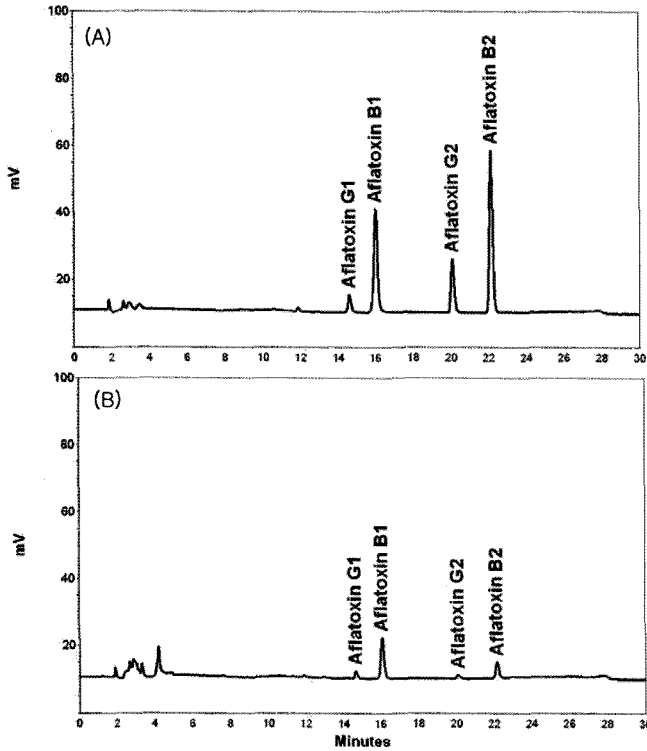


Fig. 2. HPLC-FLD chromatograms of aflatoxin B₁, B₂, G₁, and G₂ at 3 µg/kg (A) and contaminated with aflatoxins in peanut butter containing aflatoxin B₁ (0.81 µg/kg), B₂ (0.23 µg/kg), G₁ (0.57 µg/kg), and G₂ (0.21 µg/kg) (B).

견과류 가공품(148건)을 대상으로 총아플라톡신 오염실태를 조사한 결과, 총 393건 중 37건(9.4%)에서 아플라톡신 오염이 확인되

었고, 오염수준은 아플라톡신 B₁으로서 0.04-2.65 µg/kg, 총아플라톡신으로서 0.04-5.51 µg/kg 범위로 나타났다(Table 3). 본 연구결과에서 검출된 아플라톡신의 오염수준은 국내(아플라톡신 B₁로서, 10 µg/kg 이하) 및 미국(총아플라톡신으로서, 20 µg/kg 이하)과 CODEX(총아플라톡신으로서, 15 µg/kg 이하)의 기준규격을 초과하는 것은 없는 것으로 나타났다.

아플라톡신의 검출내역을 살펴보면 곡류에 비해 견과류에서 검출빈도 및 오염수준이 비교적 높게 나타났다. 특히 땅콩버터와 땅콩에서 각각 84.6%와 30%로 높은 검출빈도를 보였다. 그 중 땅콩버터 2건에서는 총아플라톡신 4종이 모두 검출되었으며, 총아플라톡신으로서 최고 5.51 µg/kg 검출되었다. 오염된 땅콩버터에 대한 HPLC-FLD 및 LC-MS/MS 크로마토그램을 각각 Fig. 2와 Fig. 3에 나타내었다. 견과류에 대한 국내 아플라톡신 모니터링 연구결과를 살펴보면, Chun 등(21)은 견과류 85건 중 9건(땅콩 5, 땅콩버터 2건, 피스타치오 1건)에서 아플라톡신이 검출되었고 볶음 땅콩에서 최고 28.2 µg/kg까지 검출되었다고 보고하였다. 또한 Park(22)의 연구결과에서는 땅콩 및 땅콩버터 중 21%에서 아플라톡신 오염이 확인되었으며 오염수준은 1.2-49 µg/kg 범위로 검출되어, 본 연구 결과는 검출빈도는 높은 편이나 오염수준은 비교적 낮은 것으로 나타났다. 또한 견과류 중 땅콩 및 땅콩 가공품이 검출빈도가 높게 나타나는 것은 다른 연구결과와도 유사한 경향을 보였으며, 이러한 경향은 땅콩이 아플라톡신 생성 곰팡이에 가장 오염되기 쉬운 식품 중 하나라는 여러 연구결과와 일치한다(23-25).

곡류에서는 가장 38건 중 2건에서 아플라톡신 B₁이 각각 0.15, 2.14 µg/kg 검출되었고, 곡류 가공품 중에서 미숫가루, 콘플레이크, 녹두 빈대떡 가루, 엿기를 가루 각 1건씩에서 아플라톡신이 검출되었으며 오염수준은 0.06-0.40 µg/kg 범위로 나타났다. Park 등(26)의 연구결과에서는 2002년 7월-8월 사이에 구입한 쌀 시료 88건 중 5건에서 1.8-7.3 µg/kg 수준의 아플라톡신이 검출되었고,

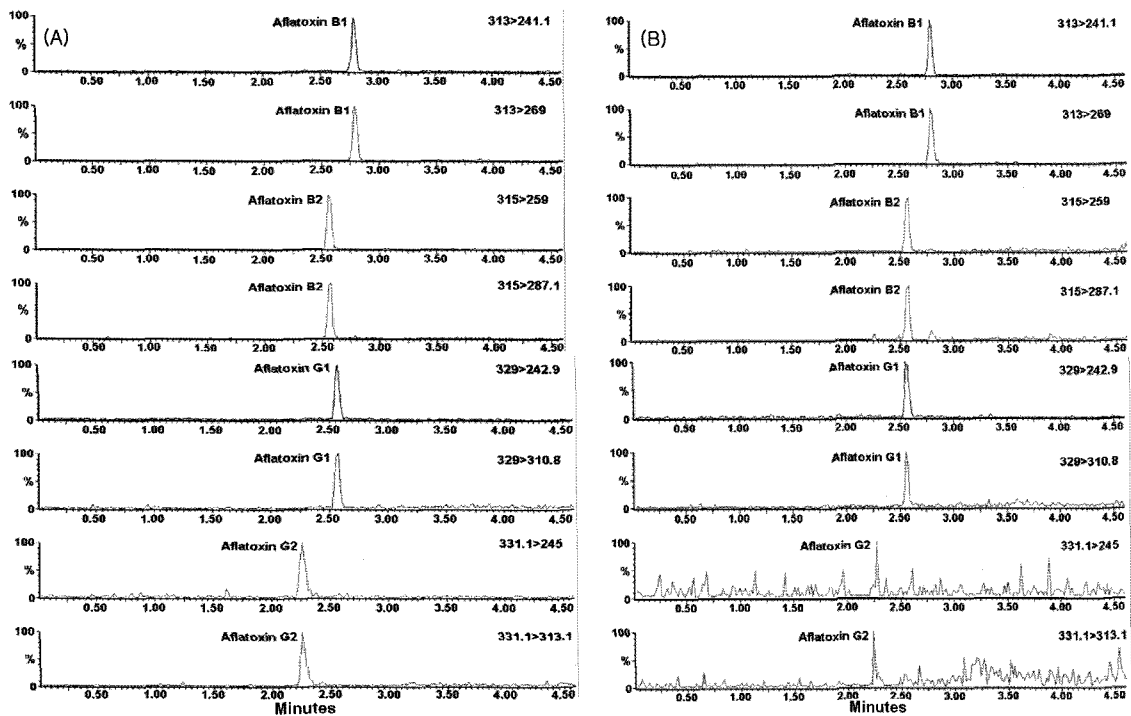


Fig. 3. LC-MS/MS chromatograms of aflatoxin B₁, B₂, G₁, and G₂ at 1.5 µg/kg (A) and contaminated with aflatoxins in peanut butter (B).

보리 및 보리가공품 62건 중 4건에서 8-11 µg/kg 검출되었으며, 옥수수 및 가공품 65건 중 4건에서 8-10 µg/kg 검출되었다. 또한 Oh 등(27)은 쌀, 보리 등 곡류 97건 중 가장 1건에서만 0.99 µg/kg 검출된 것으로 보고하여, 본 연구에서는 이와 유사하거나 비교적 낮은 검출수준을 보였다. 이와 같이 아플라톡신에 대한 오염도 조사 결과가 조금씩 다른 경향을 보이는 것은 시료의 수집 시기 및 장소, 생산 년도 등의 저장조건 또는 유통경로의 차이에 따라 오염수준이 다를 수 있기 때문인 것으로 판단된다. 또한 외국의 곡류 및 견과류에 대한 아플라톡신에 대한 모니터링 연구 결과와 비교하면, Sugita-Konishi 등(28)은 일본에서 유통중인 견과류 및 곡류에 대한 오염도 조사 결과에서 땅콩버터 10건에서 아플라톡신 B₁으로서 최고 2.59 µg/kg 검출되었으며, 곡류에서는 검출되지 않았다고 보고하여 본 연구결과와 유사한 수준을 보였다. 또한 Abdulkadar 등(29)은 땅콩에서 0.17-2.13 µg/kg, 땅콩버터에서 0.32-13.26 µg/kg 검출되었다고 보고하였으며 Thuvander 등(30)은 견과류 중 땅콩가공품, Brazil Nuts, 피스타치오 등에서 아플라톡신이 최고 2,200 µg/kg까지 검출되었다고 보고하였다. 외국의 사례는 해당 국가에 따라 기후조건이나 재배환경 등이 다르기 때문에 직접적인 비교를 할 수는 없으나, 우리나라의 경우 곡류 및 견과류에 대한 아플라톡신의 오염정도가 비교적 낮은 것으로 나타났다. 그러나 우리나라는 곡류를 주식으로 하고 있기 때문에 검출빈도가 낮고 오염 수준이 미량이라 하더라도 잠재적으로 아플라톡신 오염에 노출될 가능성이 높은 것으로 볼 수 있다. 또한 37건의 오염된 시료 중 24건에서 아플라톡신 B₁ 외에도 B₂, G₁ 또는 G₂도 검출되어 총아플라톡신에 대한 안전성 검토가 이루어져야 할 것으로 판단되며, 이에 대한 충분한 검토를 위해 다양한 품목에서 지속적으로 총아플라톡신에 대한 오염상태 조사가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

요 약

국내유통중인 곡류, 견과류 및 그 가공품 총 25품목, 393건의 시료에 대해 immunoaffinity column 정제방법을 이용하여 총아플라톡신 오염상태를 조사하였으며, 그 결과 곡류 및 곡류가공품 6건, 견과류 및 견과류 가공품 37건에서 아플라톡신 오염이 확인되었으며 오염수준은 아플라톡신 B₁으로서 0.04-2.65 µg/kg, 총아플라톡신으로서 0.04-5.51 µg/kg 범위로 나타났다. Immunoaffinity column 정제를 거쳐 HPLC-FLD로 분석한 결과 아플라톡신이 검출된 시료에 대해서 LC-MS/MS로 확인하였으며, 그 결과 모두 아플라톡신으로 확인되었다. 본 연구결과에서 나타난 곡류 및 견과류에 대한 아플라톡신 검출빈도 및 오염수준은 국내, 외 연구결과와 유사하거나 비교적 낮게 나타났으며 국내 아플라톡신 기준 및 미국, CODEX에서 설정된 기준규격 이하로 검출되었다.

문 헌

- Iamanaka BT, de Menezes HC, Vicente E, Leite RSF, Taniwaki MH. Aflatoxigenic fungi and aflatoxins occurrence in sultanas and dried figs commercialized in Brazil. *Food Control* 18: 454-457 (2007).
- Rustom IYS. Aflatoxin in food and feed: Occurrence, legislation, and inactivation by physical methods. *Food Chem.* 59: 57-67 (1997).
- Blesa J, Soriano JM, Moltó JC, Mañes J. Limited survey for the presence of aflatoxins in foods from local markets and supermarkets in Valencia, Spain. *Food Addit. Contam.* 21: 165-171 (2004).
- Bae SI, Kwak BY, Park YK, Kim YH, Shon DH. Survey of aflatoxin B₁ in domestic *doenjang* and *kochujang* determined by enzyme linked-immunosorbent assay. *J. Food Hyg. Saf.* 18: 95-100 (2003)
- IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Agents reviewed by the IARC monographs. Volumes 1-97 Available from: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/crthallal.php> Accessed Aug. 13, (2007)
- Lee SE, Campbell BC, Molyneux RJ, Hasegawa S, Lee HS. Inhibitory effects of naturally occurring compounds on aflatoxin B₁ biotransformation. *J. Agr. Food Chem.* 49: 5171-5177 (2001)
- Das C, Mishra HN. *In vitro* degradation of aflatoxin B₁ by horse radish peroxidase. *Food Chem.* 68: 309-313 (2000)
- Buser MD, Abbas HK. Effects of extrusion temperature and dwell time on aflatoxin levels in cottonseed. *J. Agr. Food Chem.* 50: 2556-2559 (2002)
- Yeo HJ, Kim JG. Effects of cooking and processing on the reduction of aflatoxin content in corn. *J. Food Hyg. Saf.* 18: 87-93 (2003)
- Seiple RL, Frio AS, Hicks PA and Lozare JV. Mycotoxin prevention and control in foodgrains. A collaborative publication of the UNDP/FAO Regional Network Inter-Country Cooperation on Preharvest Technology and Quality Control of Foodgrains (REGNET) and the ASEAN Grain Postharvest Programme. Available from: <http://www.fao.org/docrep/x5036e/x5036E00.htm> Accessed Aug. 16, (2007)
- Creppy EE. Update of survey, regulation, and toxic effects of mycotoxins in Europe. *Toxicol. Lett.* 127: 19-28 (2002)
- Worldwide regulations for mycotoxins in food and feed in 2003. FAO Food and nutrition paper 81. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome 2004. Available from: <http://www.fao.org/docrep/007/y5499e/y5499e00.htm> Accessed Aug. 16, (2007)
- Hwang JH, Chun HS, Lee KG. Aflatoxins in food-Analytical methods and reduction of toxicity by physicochemical processes. *J. Korean Soc. Appl. Bio. Chem.* 47: 1-16 (2004)
- Akiyama H, Goda Y, Tanaka T, Toyoda M. Determination of aflatoxin B₁, B₂, G₁, G₂ in spices using a multifunctional column clean-up. *J. Chromatogr. A* 932: 153-157 (2001)
- Park JW, Kim EK, Shon DH, Kim YB. Natural co-occurrence of aflatoxin B₁, fumonisin B₁, and ochratoxin A in barley and corn foods from Korea. *Food Addit. Contam.* 19: 1073-1080 (2002)
- Giray B, Girgin G, Engin AB, Aydin S, Sahin G. Aflatoxin levels in wheat samples consumed in some regions of Turkey. *Food Control* 18: 23-29 (2007)
- Abdulkadar AHW, Al-Ali AA, Al-Kildi AM, Al-Jedah JH. Mycotoxins in food products available in Qatar. *Food Control* 15: 543-548 (2004)
- Kim MH. Comparison of methods for determination of aflatoxins in food products. *J. Food Hyg. Saf.* 11: 149-157 (1996)
- Lee JO, Oh KS, Sho YS, Park SS, Suh JH, Choi WJ, Lee BH, Woo GJ. A survey of total aflatoxin in foods. *Annu. Rep. KFDA* 9. p. 148. Korea Food & Drug Administration, Seoul, Korea (2005)
- Oh KS, Suh JH, Park SS, Sho YS, Choi WJ, An YS, Lee JO, Woo GJ. Advanced in the analysis of total aflatoxin in foods. *J. Food Hyg. Saf.* 21: 76-81 (2006)
- Chun HS, Kim HJ, Ok HE, Hwang JB, Chung DH. Determination of aflatoxin levels in nuts and their products consumed in South Korea. *Food Chem.* 102: 385-391 (2007)
- Park JW. Analysis of peanut and peanut butter retailed in Korea for aflatoxin B₁. *Korean J. Food Sci. Technol.* 38: 309-312 (2006)
- Chan D, MacDonald SJ, Boughtflower V, Brereton P. Simultaneous determination of aflatoxins and ochratoxin A in food using a fully automated immunoaffinity column clean-up and liquid chromatography-fluorescence detection. *J. Chromatogr. A* 1059: 13-16 (2004)
- Escobar A, Regueiro OS. Determination of aflatoxin B₁ in food and feedstuffs in Cuba (1990 through 1996) using an immunoenzymatic reagent kit (Aflacen). *J. Food Protect.* 65: 219-221 (2002)
- Mphande FA, Siame BA, Taylor JE. Fungi, aflatoxins and cyclo-

- piazonic acid associated with peanut retailing in Botswana. *J. Food Protect.* 67: 96-102 (2004)
26. Park JW, Kim EK, Kim YB. Estimation of the daily exposure of Koreans to aflatoxin B₁ through food consumption. *Food Addit. Contam.* 21: 70-75 (2004)
27. Oh KS, Suh JH, Sho YS, Park SS, Choi WJ, JO Lee, Kim HY, Woo GJ. Exposure assessment of total aflatoxin in foods. *Korean J. Food Sci. Technol.* 39: 25-28 (2007)
28. Sugita-Konishi Y, Nakajima M, Tabata S, Ishikuro E, Tanaka T, Norizuki H, Itoh Y, Aoyama K, Fujita K, Kai S, Kumagai S. Occurrence of aflatoxins, ochratoxin A, and fumonisins in retail foods in Japan. *J. Food Protect.* 69: 1365-1370 (2006)
29. Abdulkadar AHW, Al-Ali A, Al-Jedah J. Aflatoxin contamination in edible nuts imported in Qatar. *Food Control* 11: 157-160 (2000)
30. Thuvander A, Möller T, Barbieri HE, Jansson A, Salomonsson AC, Olsen M. Dietary intake of some important mycotoxins by the Swedish population. *Food Addit. Contam.* 18: 696-706 (2001)