

한약재 안전관리를 위한 곰팡이독소 선제적 모니터링 연구

이현경* · 김애경 · 김옥희 · 김성단 · 이영주 · 이새람 · 김일영 · 이정미 · 유인실 · 정권
서울시보건환경연구원 한약재검사팀

Preliminary Monitoring of Mycotoxins for Safety Management of Medicinal Herbs

Hyun-Kyung Lee*, Ae-Kyeong Kim, Ouk-Hee Kim, Sung-Dan Kim, Young-Ju Lee,
Sea-Ram Lee, Il-Young Kim, Jung-Mi Lee, In-Sil Yu, and Kweon Jung
Seoul Metropolitan Government Research Institute of Public Health and Environment,
Herbal Medicine Inspection Team, Gwacheon, Korea

(Received January 3, 2017/Revised February 20, 2017/Accepted April 5, 2017)

ABSTRACT - The consumption of herbal medicines has been increasing with growing interest in health. However, due to recent climate change and the complex distribution process of herbal medicines with high import dependence the likelihood of contamination with mycotoxin has been increased. Mycotoxins are emerging as key indicators for ensuring safety of herbal medicines. A total of 498 herbal medicine samples were screened for mycotoxin contamination in this study. Aflatoxin in the herbal medicine samples was extracted by using immunoaffinity column, then the extracted aflatoxin was quantified via high performance liquid chromatography coupled with fluorescence detection (HPLC-FLD) method. The extraction method was verified by linearity, recovery, LOD and LOQ. Aflatoxins were detected in 39/498 samples in an average of 7.670 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (0.610-77.452 $\mu\text{g}/\text{kg}$ range). Although safety standards for *Corydalis Tuber* is not currently available in Korea, five of the 39 samples had high concentration of aflatoxins (average of $14.9 \pm 4.1 \mu\text{g}/\text{kg}$). In conclusion, it is urgent to establish safety criteria of aflatoxin in *Corydalis Tuber*. The results of the current study suggest that continuous monitoring is necessary for proactive management of herbal medicine safety.

Key words : Herbal medicines, HPLC-FLD, Aflatoxin, *Corydalis Tuber*

토양에서 서식하고 있는 곰팡이들은 온도, 습도 등 적당한 발육 조건이 제공되면 작물의 재배과정 중 침입하여 병을 일으킬 뿐만 아니라, 작물 내에서 곰팡이독소들을 생산한다. 곰팡이 자체는 작물의 수확 및 가공 과정 중에 소멸되기도 하지만 생산된 곰팡이독소들은 화학적으로 안정하기 때문에 가공 후에도 소실되지 않고 작물 내에 잔존하다가 음식물의 섭취 등으로 인체에 영향을 줄 수 있다^{1,2)}. 곰팡이독소(mycotoxin)는 곰팡이가 생성하는 2차 대사산물로 현재까지 약 300여종이 알려져 있다. 이 중 인간의 건강에 문제가 되는 대표적인 곰팡이독소로는 *Aspergillus*에 의해 생성되는 Aflatoxin (AF)과 *Fusarium*에 의해서 생

성되는 Zearalenone (ZEA), Fumonisin (FB), Deoxynivalenol (DON)과 Nivalenol (NIV) 등이 있다³⁾.

아플라톡신(aflatoxin, AFs)은 *Aspergillus flavus* 및 *Aspergillus parasiticus* 등 진균류에 의해 생성되는 독소로서 전세계 토양에 흔히 분포되어 있다. 주로 온도 28~30°C, 상대습도 80~85% 조건의 고온다습한 열대나 아열대지방에서 잘 생성되며 수확에서 건조까지 저장기간이 길고 환기가 불충분할수록 잘 생성된다⁴⁾. 쌀, 밀, 옥수수과 같은 곡류 및 견과류, 향신료 등을 기질로 하여 수분 16% 이상, 적정온도 33.8°C 부근에서 독소를 잘 생성하는 것으로 알려져 있다³⁾.

아플라톡신(AFs)의 종류에는 자외선 아래에서의 색깔에 따라 B₁, B₂(푸른색/blue), G₁, G₂(녹색/green)로 분류되며 우유에서 최초로 검출된 B₁, B₂의 대사산물인 M₁, M₂가 대표적이다. 이들 중 아플라톡신 B₁ (AFB₁)은 가장 강력한 발암성을 가진 유전독성물질로서 높은 오염빈도를 나

*Correspondence to: Hyun-Kyung Lee, Seoul Metropolitan Government Research Institute of Public Health and Environment, Gwacheon 13813, Korea
Tel: 82-2-968-5098, Fax: 82-2-964-8174
E-mail: lhk0830@seoul.go.kr

타내고 있어 식품에서 한약재에 이르기까지 곰팡이독소 가운데 가장 폭넓게 연구되어 왔다^{5,6)}.

아플라톡신이 생체 내 흡수되면 간의 cytochrome P-450 효소에 의해 중의 유전적 소인에 따라 수산화된 형태 (aflatoxicol)인 아플라톡신 M₁, Q₁, P₁ 등으로 전환되고 대사 후 노(尿) 등으로 배설되는데 포유동물의 경우 유(乳) 중에도 아플라톡신 M₁, M₂ 등으로 배설된다. 한편 섭취되어진 아플라톡신은 간의 cytochrome P-450 효소에 의해 aflatoxicol 이외에 아플라톡신 B₁-8, 9-epoxide가 생성되는데 이것이 DNA와 결합하여 간암을 유발시키는 것으로 알려져 있다⁷⁾.

실험동물에서 간의 종양 발생은 아플라톡신의 B₁의 노출과 상관성이 있는 것으로 나타났는데, 이때 DNA 손상은 아플라톡신 B₁-DNA 부가물(aflatoxin B₁-DNA adducts)의 영향을 받는 것으로 나타났다. B형 간염 바이러스와 질환에 상관없이 간암 발병에 대한 아플라톡신의 역할은 중국 및 스와질란드에서 수행된 조사에서 확실하게 되었고^{8,9)}, 이 결과를 토대로 1987년 국제암연구소(International Agency for Research on Cancer, IARC)에서는 아플라톡신을 발암성이 확실한 Group I로 분류하게 되었다¹⁰⁾. 1992년에는 다른 그룹의 과학자들이 역학조사 자료를 근거로 아플라톡신 혼합물이 인간의 간암 발병에 충분한 근거를 가지고 있고 이의 대사체인 아플라톡신 M₁ 또한 발암을 유발할 수 있는 물질이라고 보고하였다¹¹⁾. 대만에서의 연구결과에서는 B형 간염이 있을 경우 아플라톡신의 노출은 간암 발병 위험을 높이기 때문에 B형 간염 백신을 접종 받는 것이 간암 발병률을 낮출 수 있다고 보고하고 있다¹²⁾.

아플라톡신은 미국 남부, 중국 남부, 남아시아, 아프리카, 호주 등이 주요 오염지역으로 보고된 바 있으며, 현재 우리나라에서는 식품의 경우 곡류, 두류, 견과류 및 단순 가공품을 한약재의 경우 감초 등 20개 품목을 대상으로 총 아플라톡신(B₁, B₂, G₁ 및 G₂의 합) 15 µg/kg 이하, 아플라톡신 B₁으로는 10 µg/kg 이하로 기준을 설정하여 관리하고 있다^{13,14)}.

아플라톡신은 독성이 강할 뿐만 아니라 열에도 안정하여 한약재 가공 중 제거하기 어렵기 때문에 한약재 안전 관리 상 매우 중요한 유해물질이다. 본 연구에서는 서울시 유통 한약재 중 아플라톡신의 오염실태를 조사하여 아플라톡신 안전관리 기준 마련을 위한 기초 정보 제공과 유해물질이 함유된 한약재의 유통 관리를 위한 선제적 모니터링 자료를 제공하고자 한다.

Materials and Methods

실험재료

본 실험에 사용한 재료는 서울 지역에서 유통되는 한약재를 구입하여 사용하였다. Table 1과 같이 종자류(145건),

Table 1. Monitoring sample list for Aflatoxins (B₁, B₂, G₁ & G₂) analysis

Items	Present criteria (n)	No criteria (n)	Total (n)
<i>Semen</i>	108	37	145
<i>Fructus</i>	16	69	85
<i>Radix</i>	27	56	83
<i>Rhizoma</i>	33	35	68
<i>Caulis and cortex</i>	-	33	33
<i>Tuber</i>	8	19	27
<i>Flos</i>	20	6	26
<i>Herba</i>	0	11	11
<i>Animal</i>	12	8	20
Sum	224	274	498

과실류(85건), 뿌리류(83건), 뿌리줄기(68건), 줄기 및 수피류(33건) 등 총 498건의 한약재에 대해 아플라톡신 분석을 수행하였다. 식품의약품안전처(MFDS)에서는 한약재 중 감초 등 20품목에 대해 대한민국의약품안전관리원(KP) 및 대한민국의약품안전관리원(한약) 규격집(KHP)에서 아플라톡신 기준(총 아플라톡신 15 µg/kg 이하, B₁ 10 µg/kg 이하)을 설정하여 국내 유통 한약재의 안전 관리를 실시하고 있다. 본 시험에서는 기준이 설정되어 있는 품목 224건 및 기준 미설정 품목 274건에 대한 아플라톡신 모니터링 및 그룹 간 비교 시험을 실시하였다. 모든 시료는 분쇄기(Daesung ArtlonDA-338, Korea)로 균질화한 후 밀봉하여 냉동(-20°C) 보관하여 사용하였다.

표준품 및 시약

아플라톡신 B₁, B₂, G₁ 및 G₂ 표준품은 Aflatoxin Mix (Supelco, USA)를 사용하였다. 추출 및 분석에 사용되는 Methanol, Acetonitrile은 HPLC급(Merck, Darmstadt, Germany)을 Sodium chloride (Merck Co.)은 모두 특급 이상의 것을 사용하였다.

표준용액 조제

아플라톡신 혼합(Aflatoxin Mix) 표준 원액으로 하고 이것을 다시 메탄올로 0.4~20 µg/L의 농도가 되도록 5단계 희석하여 아플라톡신 혼합 표준 용액으로 하고 검량선을 작성하였다.

정제용 칼럼 및 분석장비

아플라톡신 정제용 칼럼으로는 AflaTest WB (Vicam Co., USA) 면역친화성칼럼(Immunoaffinity column)을 사용하였다.

아플라톡신 정량분석을 위해 Fluorescence detector (FLD)가 장착된 HPLC (Waters e2695, USA)를 사용하였다. 또한 액체크로마토그래프의 분석 컬럼과 형광검출기 사이에

설치하는 Photochemical Reactor Enhanced Detection (PHRED)는 254 nm 저압의 수은램프(250 V, 50 Hz, 8watt)를 가지고 있으면서 자외선 조사로 인한 형광유도체 반응이 일어나는 투명한 코일은 PTFE (Poly-tetrafluoroethylene) 제로 길이 25 m, 내경 0.5 mm를 갖는 광화학반응장치(Phred, Aura, USA)를 사용하였다.

추출 및 정제

검체 약 500 g을 달아 균질기에 넣고 잘 분쇄한 다음 가루로 하여 잘 섞고, 약 5.0 g을 정밀하게 달아 회석시킨 70% 메탄올 100 mL를 넣고 30분간 초음파 추출한 다음 여과지(Wathman NO.2, England)로 여과한다. 여액에 70% 메탄올을 넣어 정확하게 100 mL로 하고, 다시 이 액 10 mL를 정확하게 취하여 물로 80 mL가 되게 희석하여 유리섬유여과지(Wathman GF/A, England)로 여과하여 추출액으로 한다. 추출액 40 mL를 정확하게 취하여 아플라톡신용면역친화성 컬럼을 통과시키고, 물 10 mL를 3 mL/분의 유속으로 2회 통과시켜 나온 유출액은 버린다. 면역친화성 컬럼에 5-10 초간 약한 진공을 통과시켜 건조시킨다. 건조된 면역친화성 컬럼에 0.5 mL의 메탄올을 넣어 중력에 의해 용출액이 나오도록 한다. 1분간 방치한 다음 0.5 mL의 메탄올을 2회 통과시켜 용출액을 모두 합하여 1 mL가 되게 한다. 이때 유속은 5 mL/분을 넘지 않도록 한다¹⁵⁾.

HPLC 분석

아플라톡신 정량분석을 위해 형광검출기가 부착된 HPLC를 사용하고, 분석 컬럼은 Sunfire (Waters, 4.6 mm × 150 mm, 0.5 μm)을 사용하였다. PHRED 유도체화에 따른 HPLC 분석조건은 Table 2와 같다. 확립된 분석법을 이용하여 아플라톡신 혼합표준용액의 최종농도가 5 μg/kg이 되도록 시료에 첨가한 후 정량하여 회수율을 검토하였다.

Results

검량선

분석법 유효성 검증을 위해 아플라톡신 표준용액을

0.4~20 μg/L로 조제하여 HPLC 기기에 주입하여 얻어진 피크면적으로부터 검량선을 작성하였다. 그 결과 상관계수(R²)가 아플라톡신 B₁, B₂, G₁ 및 G₂에서 0.9996, 0.9985, 0.9997, 0.9998로 모두 양호한 직선성을 나타내었다(Fig. 1).

회수율

회수율 및 재현성을 보기위해 아플라톡신이 검출되지 않은 현호색에 아플라톡신 혼합 표준용액(aflatoxin mix STD)의 최종농도가 B₂, G₂은 5 μg/kg이 되도록, B₁와 G₁은 1.5 μg/kg가 되도록 첨가한 후 시료 전처리 방법과 동일한 처리과정을 거쳐 HPLC로 정량 분석하였다. 그 결과 Table 3에서 보는 바와 같이 혼합 표준용액에 대한 회수율(blank)은 B₁, B₂, G₁ 및 G₂에서 89.3~95.1%의 회수율을 보였으나, 현호색을 기질로 사용하여 아플라톡신 소량첨가 회수율(spike recovery)을 측정할 결과 74.5~91.3% 회수율을 보였다. 현호색을 기질로 사용한 시험결과가 공시험에 비해 낮은 평균치를 보였으나 아플라톡신 종류별 t-test 실시 결과 모두 0.05 이하로 그룹별 차이가 없었다.

검출한계 및 검량한계

HPLC-FLD로 분석한 결과 검출한계(Limit of detection)는 S/N (signal to noise)비가 3대 1일 때의 농도로 하였고, 정량한계(Limit of quantification)는 S/N 비가 10대 1일 때의 농도를 기준으로 측정하였다(Table 4).

B₁, B₂, G₁ 및 G₂의 검출한계는 각각 0.5455, 0.2756, 0.4144, 0.0926 μg/kg으로 나타났고, 정량한계는 각각 1.6529, 0.8351, 1.2558, 0.2805 μg/kg으로 나타났다.

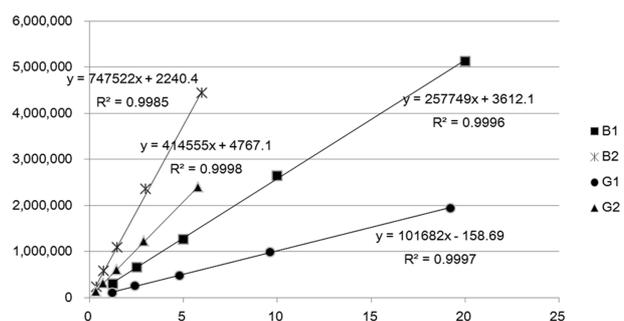


Fig. 1. The calibration curves of aflatoxins by HPLC-FLD.

Table 2. The operating conditions of HPLC for aflatoxins

Parameter	Condition
Instrument	Waters e2695
Detector	Fluorescence EX. 365 nm/Em. 435 nm
Column	Sunfire (4.6 mm × 150 mm, 0.5 μm)
Mobile Phase	Acetonitrile:Methanol:Water (2:3:6)
Flow rate	1.0 mL/min
Temperature	30°C
Injection volume	10 μL

Table 3. Recoveries of aflatoxins in herbal matrix (n = 3)

Items	Recovery (%) ± Standard deviation			
	AFB ₁	AFB ₂	AFG ₁	AFG ₂
Blank	93.2 ± 1.6	93.6 ± 1.4	94.4 ± 0.7	91 ± 1.9
Corydalis Tuber	85.7 ± 1.4	86.3 ± 1.8	89.8 ± 1.3	76.7 ± 2.5
t-test (0.05)	0.046	0.002	0.014	0.023

Table 4. LOD and LOQ of aflatoxins

Analyte	R ²	LOD (µg/kg)	LOQ (µg/kg)
Aflatoxin B ₁	0.9996	0.5455	1.6529
Aflatoxin B ₂	0.9985	0.2756	0.8351
Aflatoxin G ₁	0.9997	0.4144	1.2558
Aflatoxin G ₂	0.9998	0.0926	0.2805

아플라톡신의 경우 강 등(7)이 제시한 검출한계(0.05~0.2 g/kg), 정량한계(0.1~0.4 g/kg)와 비교할 때 비슷하거나 낮은 결과를 보였다.

유통 한약재 중 곰팡이독소 오염도

시중 유통 중인 한약재 중 종자류 26품목 145건, 과실류 30품목 85건, 뿌리류 26품목 83건, 뿌리줄기 22품목 68건, 줄기류 13품목 33건, 꽃류 4품목 26건, 덩이줄기 4품목 27건, 잎류 8품목 11건, 동물성 한약재 등 기타류 5품목 20건에 대해 아플라톡신 B₁, B₂, G₁ 및 G₂를 분석하였다.

시험 결과 아플라톡신 오염이 확인된 시료는 덩이줄기 현호색 7건, 종자류는 결명자 7건, 빈랑자 6건, 팔루인 2건, 백자인 2건, 육두구 2건, 산조인 1건 등 6품목, 뿌리류 원지 4건, 당귀 1건 등 2품목, 동물성 백강잠 3건, 귀관 1건 등 2품목, 과실류 목과 1건, 꽃 홍화 1건 등 총 38건 이었다. 그러나 현호색을 제외한 나머지 품목 중 백강잠 1건 및 빈랑자 1건만 국내 아플라톡신 기준(B₁, B₂, G₁ 및 G₂의 합 15 µg/kg 이하, B₁ 10 µg/kg 이하)을 초과하였고, 나머지 품목에서는 모두 기준 이내의 안전한 값을 보였다 (Table 5). 현호색(58.3%), 빈랑자(54.6%), 결명자(50.0%) 및 백자인(50.0%)은 50% 이상의 높은 검출률을 보였으며, 현호색을 제외한 빈랑자 등 3품목은 모두 종자류 한약재

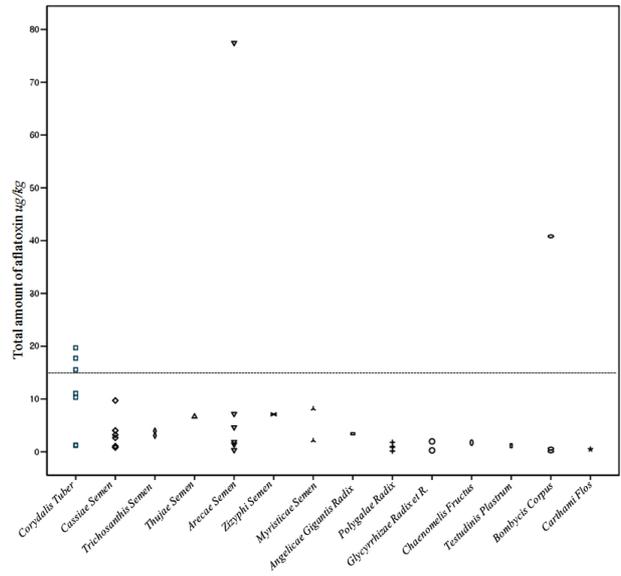


Fig. 2. Distribution chart of total aflatoxin concentration.

였으며, 이들 품목은 국내 아플라톡신 안전기준을 설정하여 품질관리를 실시하고 있다.

백강잠 1건 및 빈랑자 1건에서는 각각 총아플라톡신의 합(B₁)이 40.8(31.8) µg/kg과 77.5(66.2) µg/kg으로 국내 아플라톡신 안전관리 기준인 15(B₁, 10) µg/kg이하 보다 2.5~5 배 이상 높은 결과를 보였다.

현호색의 경우 국내 품질관리 기준은 없으나 총 12건 중 7건에서 B₂와 B₁의 아플라톡신이 검출되었으며, 이 중 5건에서는 국내 한약재 아플라톡신 기준(B₁, B₂, G₁ 및 G₂의 합 15 µg/kg 이하, B₁ 10 µg/kg 이하) 이상의 아플라톡신이 검출되었다. 검출량은 14.9 ± 4.1 µg/kg 이었으며, 1건

Table 5. Rate of aflatoxin detection in herbal matrix

Classification	Type of medicines	No. of aflatoxin detected sample (detected sample/total)	Rate of detection (%)
Tuber (1)	<i>Corydalis Tuber</i>	7/12	58.3%
	<i>Cassiae Semen</i>	7/14	50.0%
	<i>Trichosanthis Semen</i>	2/10	20.0%
Semen (6)	<i>Thujae Semen</i>	2/4	50.0%
	<i>Arecae Semen</i>	6/11	54.6%
	<i>Zizyphi Semen</i>	1/4	25.0%
	<i>Myristicae Semen</i>	2/7	28.6%
	<i>Angelicae Gigantis Radix</i>	1/5	20.0%
Radix (2)	<i>Polygalae Radix</i>	4/22	18.2%
	<i>Chaenomelis Fructus</i>	1/16	6.3%
Animal (2)	<i>Testudinis Plastrum</i>	1/4	25.0%
	<i>Bombycis Corpus</i>	3/8	37.5%
Flos (1)	<i>Carthami Flos</i>	1/20	5.0%

에서 B₁과 B₂가 동시에 검출되었으나 나머지 검체에서는 B₁만 검출되었다.

결명자는 총 14건의 검체 중 7건에서 아플라톡신이 검출되었으나, 총아플라톡신의 최고 검출량이 9.7 µg/kg으로 모두 국내 아플라톡신 관리 기준에 적합한 수준이었다.

Discussion

최근 지구 온난화로 인한 기후변화로 한약재 중 아플라톡신을 비롯한 곰팡이독소의 발생위험이 부각되고 있다. 이에 한약재 이용자들의 안전을 위하여 서울시 유통 중인 한약재를 수거하여 곰팡이독소인 아플라톡신을 중심으로 오염실태를 조사하였다.

1. 서울시 유통 중인 한약재 138품목 498건에 대해 시험한 결과, 14품목 38건(7.8%)에서 아플라톡신이 검출되었으며 평균 검출 농도는 7.7 µg/kg, 검출범위는 0.6~77.5 µg/kg의 총 아플라톡신 양을 보였다. 아플라톡신이 검출된 한약재 품목은 덩이줄기인 현호색 7건, 종자류인 결명자 7건, 빈랑자 6건, 팔루인 2건, 백자인 2건, 육두구 2건, 산조인 1건 등 6품목, 뿌리류인 원지 4건, 당귀 1건 등 2품목, 동물성인 백강잠 3건 귀관 1건 등 2품목, 과실류인 목과 1건, 꽃 홍화 1건 등 이었다. 그러나 국내 아플라톡신 안전 기준 적용시 백강잠 1건, 빈랑자 1건 및 현호색 5건을 제외하고 모두 안전한 수준이었다.

2. 아플라톡신이 검출된 38건의 시료에서 G₁, G₂, B₁ 및 B₂의 검출 빈도는 각각 5건, 9건, 26건 및 12건으로, B₁이 가장 많은 빈도로 검출되었다. 4가지 아플라톡신이 동시에 검출된 시료는 없었으며, 2종류 이상의 아플라톡신이 동시에 검출된 것은 12건(30.8%)이었다. 특히 총 아플라톡신의 합(B₁)이 77.5(66.2) µg/kg로 가장 많은 아플라톡신 검출량을 보인 빈랑자의 경우 G₁, B₁ 및 B₂의 3가지 아플라톡신이 검출되었다. 나머지 27건(69.2%)에서는 한 가지 종류의 아플라톡신만 검출되었다.

3. 아플라톡신이 검출된 현호색 7건에서 평균 11.0 µg/kg의 아플라톡신이 검출되었으며, 1.2~19.7 µg/kg의 검출범위를 나타내었다. 그 중 5건(71.4%)에서는 국내 아플라톡신 관리 기준(총 아플라톡신 15 µg/kg 이하, B₁ 10 µg/kg 이하)을 초과하는 값을 나타내었다. 따라서 현호색에 대한 꾸준한 모니터링을 통해 기준 설정 및 안전관리가 이루어져야 할 것이다.

4. 서울시 유통 한약재 498건에 대한 아플라톡신을 분석한 결과 대부분 국내 안전관리 기준에 적합하였으나, 백강잠(1건), 빈랑자(1건) 및 현호색(5건) 3품목 총 7건에서 기준(총 아플라톡신 15 µg/kg 이하, B₁ 10 µg/kg 이하)보다 높은 아플라톡신 검출량을 보였다. 백강잠과 빈랑자는 국내 아플라톡신 관리 기준이 설정되어 있어 시험 결과를 토대로 시중에 유통되지 못하도록 회수 조치 및 폐기하여

관리가 이루어지는 반면, 기준이 설정되어 있지 않은 현호색의 경우 관리가 어렵다. 이에 현호색에 대해서는 아플라톡신의 지속적인 모니터링을 실시하고 그 결과를 토대로 관리 기준을 설정하여 안전성을 확보할 필요가 있다.

국문요약

현대인들의 건강에 대한 관심이 커짐에 따라 한약재 소비량이 지속적으로 증가하고 있다. 그러나 최근 기후변화와 국내 한약재의 높은 수입 의존도에 따라 유해물질에 대한 오염 위험이 높아지고 있다. 곰팡이독소는 한약재 중 안전성을 평가하는 주요한 항목 중 하나이다. 본 연구에서 498 건의 한약재에 대해 곰팡이독소 모니터링을 진행하였다. 면역컬럼을 이용해 한약재 중 아플라톡신을 추출하였으며, 추출한 아플라톡신은 HPLC-FLD 방법을 통해 분석하였다. 직선성, 회수율, LOD 및 LOQ를 통해 본 연구에 이용한 실험법 검증을 실시하였다. 39건에서 평균 7.670 µg/kg의 아플라톡신이 검출되었으며, 0.610~77.452 µg/kg의 검출범위를 보였다. 특히 현호색은 국내 아플라톡신 기준이 없으나, 시험에 사용된 39건 중 5건에서 14.9 ± 4.1 µg/kg의 높은 아플라톡신 농도를 보였다.

즉, 현호색에 대한 기준 설정이 시급히 요구되어지며, 선제적 관리를 위한 지속적인 모니터링이 필요할 것으로 사료되어진다.

Reference

- Ryu, J. G., Lee, S., Lee, S. H., Nam, Y. J., Kim, M., Lee, T., & Yun, J. C.: Natural Occurrence of Fusarium Head Blight and Its Mycotoxins in 2010-harvested Barley and Wheat Grains in Korea. *Res. Plant Dis.*, **17**, 272-279 (2011).
- Lee, S. H., Son, S. W., Nam, Y. J., Shin, J. Y., Lee, S. H., Kim, M. J., & Lee, T.: Natural Occurrence of Fusarium Mycotoxins in Field-collected Maize and Rice in Korea in 2009. *Res. Plant Dis.*, **16**, 306-311 (2010).
- Lee, S., Park, K., Chun, H. S.: Risk prediction of mycotoxin aflatoxin B1 according to climate change scenarios in Europe. *Safe Food*, **7**, 60-70 (2012).
- Smith, J. E., & Moss, M. O.: Mycotoxins. Formation, analysis and significance. *John Wiley & Sons Ltd.* (1985).
- Suh, J. H., Sho, Y. S., Park, S. S., Choi, W. J., Lee, J. O., Kim, H. Y., ... & Oh, K. S.: Exposure assessment of total aflatoxin in foods. *Korean J. Food Sci. Technol.*, **39**, 25-28 (2007).
- Park, M. J., Yun, M. H., Hong, H. K., Joe, T. S., Lee, I. S., Park, J. H., Ko, H. U.: Investigation of aflatoxin contamination in food. *J. Food Hyg. Saf.*, **23**, 108-112 (2008).
- Kang, Y. W., Cho, T. Y., Food, D. R. K., Park, H. R., Oh, K. S., Kim, D. S.: Analysis of total aflatoxins in spices and dried fruits. *J. Food Hyg. Saf.*, **25**, 65-72 (2010).
- Sun, T. T., Chu, Y. Y.: Carcinogenesis and prevention strategy

- of liver cancer in areas of prevalence. *Journal of Cellular Physiology*, **121**, 39-44 (1984).
9. Peers, F., Bosch, X., Kaldor, J., Linsell, A., Pluijmen, M.: Aflatoxin exposure, hepatitis B virus infection and liver cancer in Swaziland. *Int. J. Cancer.*, **39**, 545-553 (1987).
 10. International Agency for Research on Cancer.: Overall evaluations of carcinogenicity: an update of IARC monographs volumes 1 to 42. *IARC Monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans* (1987).
 11. World Health Organization, & International Agency for Research on Cancer.: Some naturally occurring substances: food items and constituents, heterocyclic aromatic amines and mycotoxins. *IARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans*, **56** (1993).
 12. Wang, J. S., & Groopman, J. D.: DNA damage by mycotoxins. Mutation Research. *Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, **424**, 167-181 (1999).
 13. Lee, J. T.: A Study on the Current Status of Korean Herbal Medicines. *Ministry of Food and Drug Safety*. 91-1 (2006).
 14. Food standards and specifications. *Ministry of Food and Drug Safety*. (Notice 2015-78).
 15. Food standards and specifications. Korea Pharmacopoeia. (Notice 2016-57).