

## 질량분석기를 이용한 약령시장 내 유통 식물성 식품원료의 곰팡이독소 분석 및 위해성 평가

최은정\* · 고숙경 · 조성애 · 박영애 · 정삼주 · 홍성초 · 조석주 · 정지현 · 박주성

서울시보건환경연구원 강북농수산물검사소

## Analysis of Multi-class Mycotoxins and Risk Assessment in Edible and Medicinal Plants by LC-MS/MS

Eun jung Choi\*, Suk kyung Ko, Sung ae Jo, Young ae Park, Sam ju Jung, Sung cho Hong,  
Seok ju Cho, Ji hyun Jung, and Ju sung Park

Seoul Metropolitan Government Research Institute of Public Health and Environment, Gyeonggido 13818, Korea

**Abstract** – This study investigated the mycotoxins (aflatoxin B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>, fumonisin B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, ochratoxin A and zearalenone) contained in edible and medicinal plants in Seoul Yangnyeong market during 2020–2021. We analyzed contamination of mycotoxins using LC-MS/MS and evaluated risk assessment. The method was validated by assessing matrix effects, linearity, limit of detection (LOD), limit of quantification(LOQ) and recovery. Matrix-matched standard calibration was used for calibration curves showed good linearity ( $r^2 > 0.999$ ). The LOD, LOQ and recovery were 0.01-0.23 µg/kg, 0.04-0.71 µg/kg and 75.5-117.9% respectively. Mycotoxins were detected in 22 of 171 samples; aflatoxin B<sub>1</sub> (6.66 µg/kg), fumonisin (7.54-64.68 µg/kg), ochratoxin A (4.21-10.56 µg/kg) and zearalenone (7.31-60.76 µg/kg). In the risk assessment, the MOE (Margin of Exposure) of aflatoxin B<sub>1</sub> and ochratoxin A were in the range of  $1.48 \times 10^3$ - $2.36 \times 10^5$ . No items exceeded 100% in %TDI (Tolerable Daily Intake) of fumonisin (B<sub>1</sub>+B<sub>2</sub>) and zearalenone.

**Keywords** – Edible and medicinal plants, Mycotoxins, LC-MS/MS

곰팡이독소(Mycotoxin)는 FAO(Food and Agriculture Organization of the United Nations) 보고서에 따르면 병원성세균, 바이러스, 기생충 등과 같이 기후변화가 영향을 주는 중요 식품 위해 인자라고 하였다.<sup>1)</sup> 주로 *Aspergillus* 속, *Fusarium* 속 그리고 *Penicillium* 속 등에 의해 생성되는 2차 대사산물로서, 환경에서 유래하거나 식품의 제조, 가공과정에서 의도치 않게 생성되는 비의도적 오염 물질이며, 아플라톡신(AF), 푸모니신(FUM), 오크라톡신 A(OTA)와 제랄레논(ZEA)이 대표적이다.<sup>2)</sup> 국제암연구소(International Agency for Research on Cancer, IARC)에서는 이 중 아플라톡신을 1급 인체 발암성물질로 분류하였고, 국제적으로 규제가 실행되고 있다.<sup>3,4)</sup> 이러한 곰팡이독소는 개별 오염보다는 동시 오염으로 인한 독성 상승작용의 우려로 이에 관한 연구가 국내외 보고되고 있으며, 고감도 분석 장비인 질

량분석기를 이용한 동시 분석으로 오염도 수준을 파악하고 있다.<sup>5-8)</sup>

약용식물은 잎, 줄기, 뿌리, 꽃 등을 이용하여 약으로 쓰이는 식물로서, 국내의 경우 생산단계에서 농산물로 분류된다.<sup>9)</sup> 유통소비단계에서 한약재와 식·약공용농산물로 나누어지며, 품질관리기준을 달리 적용하고 있다.<sup>9,10)</sup> 식·약공용농산물은 식품에 사용할 수 있는 원료로 총 아플라톡신(B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, G<sub>1</sub> 및 G<sub>2</sub>의 합) 15.0 µg/kg 이하, 아플라톡신 B<sub>1</sub> 10.0 µg/kg 이하로 관리하고 있다.<sup>11)</sup>

농산물은 수확 후 흙이 묻어 있는 상태로 보관 또는 유통될 수 있으며, 건조가 제대로 안되거나 수분이 다시 흡수될 경우 주변 환경을 통한 곰팡이독소의 오염 가능성이 매우 높다.<sup>12,13)</sup> 또한 지구 온난화의 영향으로 우리나라는 이열대화가 진행 중이며, 기온, 상대습도, 강수량 등의 변화로 곰팡이독소가 농산물 및 식품에 미치는 피해가 증가하고 있어 곰팡이독소 생성을 예방 및 저감화하기 위한 연구도 보고되고 있다.<sup>14-17)</sup> 약용식물에 관한 연구는 국내의 경우 대

\*교신저자(E-mail): planet25@seoul.go.kr  
(Tel): +82-2-940-9814

부분 약리 성분에 관한 보고이며, 곰팡이독소와 같은 위해 인자에 관한 연구자료는 부족한 실정이다.

본 연구에서는 식품의 원료로 사용 가능한 식·약공용농산물 116품목 중 과실류, 근경류 및 종자류를 대상으로 식품 공전에 기준이 설정되어 있는 아플라톡신 B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>와 기준이 설정되어 있지 않은 푸모니신 B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, 오크라톡신 A, 제랄레논의 오염 수준을 파악하고, 위해성을 평가하여 식·약공용농산물의 곰팡이독소 안전 관리의 과학적 근거를 제공하고자 한다.

### 재료 및 방법

**실험재료** - 2020년부터 2021년까지 서울약령시에서 유통 중인 식·약공용농산물 중 과실류 8품목 97건, 근경류 6품목 58건 종자류 3품목 16건 등 총 17품목 171건을 대상으로 실시 하였다. 시료는 한약재 정상 감별 전문위원의 확인을 거친 후 분쇄기(DA338, DAESUNG ARTLON, Korea)로 분쇄하였으며 밀봉 후 냉동 보관(-30°C)하여 분석에 사용하였다. 품목별 분류는 한약재 감별 도감을 참고 하였다<sup>18)</sup> (Table I).

**표준품 및 시약** - 아플라톡신 B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>, 푸모니신 B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> 및 오크라톡신 A(Romer, USA), 제랄레논은(Sigma-Aldrich, USA)를 표준품으로 사용하였다. Methanol, water, formic acid(Fisher Scientific, USA)사, ammonium formate (Sigma-Aldrich, USA) acetonitril(J.T Baker, USA)을 사용하였다. 유리섬유여과지(Wathman GF/A, Wathman TM, UK)를 사용하여 시료를 여과 하였고, 고체상추출컬럼(Isolute, Biotage, UK)를 사용하여 전처리하였다.

**분석기기** - 기기분석은 ThermoFisher scientific Vanquish와 TSQ-ALTIS Triple Quadruple Mass Spectrometer(ThermoFisher scientific, USA)를 연결하여 분석하였으며, 분석조건은 Table II, Table III과 같다.

**Table I.** List of edible and medicinal plants for monitoring of mycotoxins

Classification by used part	Name of samples	No. of samples
Fructus	Amomi Fructus	6
	Corni Fructus	16
	Crataegi Fructus	20
	Gardeniae Fructus	12
	Lycii Fructus	14
	Rubi Fructus	11
	Schisandrae Fructus	14
	Sophorae Fructus	4
Rhizoma	Atractylodis Rhizoma Alba	5
	Cnidii Rhizoma	11
	Dioscoreae Rhizoma	6
	Gastrodiae Rhizoma	8
	Liriope Tuber	22
	Zingiberis Rhizoma	6
Semen	Cuscutae Semen	5
	Nelumbinis Semen	6
	Zizyphi Semen	5
Total		171

**시료 전처리** - 식품공전 제8 일반시험법, 9 식품 중 유해 물질 시험법, 9.2 곰팡이독소. 9.2.9 아플라톡신(B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>), 오크라톡신 A, 제랄레논, 푸모니신(B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>) 동시분석법에 따라 시료를 전처리 하였다.<sup>7,8)</sup>

**분석법 유효성 검증** - 본 실험의 유효성은 CODEX CAC/GL-71 가이드 라인<sup>19)</sup>과 식품의약품안전평가원의 의약품 등 시험방법 밸리데이션 가이드 라인(2015)<sup>20)</sup>을 근거로 수행하였다. 매트릭스효과(matrix effect), 직선성(linearity), 검출한계

**Table II.** Analytical conditions of LC-MS/MS for mycotoxins

Devices	Parameters	Conditions						
HPLC	Column	Hypersil GOLD™ (100 × 2.1 mm, 1.9 μ)						
	Mobile Phase	(A) 0.1 mM Ammonium formate 0.1% formic acid in Distilled water						
		(B) 0.1 mM Ammonium formate 0.1% formic acid in Methanol						
	Gradient	Time (min)	0	1	6	7	7.5	11
		Solvent A (%)	70	70	20	20	70	70
	Flow rate	0.3 ml/min						
Injection volume	2 μl							
MS/MS	ESI (electro-spray ionization)	Positive, Negative						
	Pos Ion Spray Voltage (V)	3800						
	Neg Ion Spray Voltage (V)	3500						
	Vaporizer Temp. (°C)	350						

Table III. LC/MS-MS parameters for mycotoxins determination

Type of mycotoxins	Polarity	Precursor ion (m/z)	Product ion			
			Quantifier (m/z)	Collision Energy (V)	Qualifier (m/z)	Collision Energy (V)
AFB <sub>1</sub> <sup>1)</sup>	+	313.0	285.0	23	241.0	41
AFB <sub>2</sub> <sup>2)</sup>	+	315.1	287.1	27	259.1	31
AFG <sub>1</sub> <sup>3)</sup>	+	329.1	243.1	28	311.0	23
AFG <sub>2</sub> <sup>4)</sup>	+	331.1	313.1	25	245.0	31
FUMB <sub>1</sub> <sup>5)</sup>	+	722.4	334.3	40	352.3	39
FUMB <sub>2</sub> <sup>6)</sup>	+	706.4	336.3	38	318.3	39
OTA <sup>7)</sup>	+	403.9	238.9	24	220.9	38
ZEA <sup>8)</sup>	-	317.1	175.1	24	130.8	28

<sup>1)</sup>aflatoxin B<sub>1</sub>, <sup>2)</sup>aflatoxin B<sub>2</sub>, <sup>3)</sup>aflatoxin G<sub>1</sub>, <sup>4)</sup>aflatoxin G<sub>2</sub>, <sup>5)</sup>fumonisin B<sub>1</sub>, <sup>6)</sup>fumonisin B<sub>2</sub>, <sup>7)</sup>ochratoxin A, <sup>8)</sup>zearalenone

(LOD, Limit of Detection), 정량한계(LOQ, Limit of Quantification), 정확성(accuracy), 정밀성(precision)을 평가하였고, 매질효과는 6단계 농도의 solvent standard와 matrix matched standard를 사용하여 확인하였다.

검출한계와 정량한계는 8종의 곰팡이독소가 검출되지 않은 과실류, 근경류, 종자류 각각의 대표품목인 과실류의 구기자(Lycii Fructus), 근경류의 산약(Dioscoreae Rhizoma), 종자류의 연자육(Nelumbinis Semen)에 6단계 농도가 되도록 표준용액을 첨가하여 5회 반복 실험 하였다. 정확성과 정밀성 또한 8종의 곰팡이독소가 검출되지 않은 과실류, 근경류, 종자류 각각의 대표품목에 최종 농도가 아플라톡신 B<sub>1</sub>, G<sub>1</sub>은 1.0 µg/kg, 3.0 µg/kg, 8.0 µg/kg, 아플라톡신 B<sub>2</sub>, G<sub>2</sub>는 0.25 µg/kg, 0.75 µg/kg, 2.0 µg/kg, 푸모니신 B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, 오크라톡신 A와 제랄레논은 2.0 µg/kg, 6.0 µg/kg, 16.0 µg/kg 수준이 되도록 표준용액을 가하여 3회 반복 실험 후 회수율(recovery)과 상대표준편차(RSD, Relative Standard Deviation)로 계산하였다.

**위해성평가** - 식품의약품안전평가원의 인체적용제품 위해성 평가 공통지침서(2019)<sup>21)</sup>와 곰팡이독소 위해평가 보고서(2021)<sup>22)</sup>에 따라 아플라톡신 B<sub>1</sub>, 푸모니신(B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>의 합), 오크라톡신 A 및 제랄레논의 위해성을 평가하였다. 노출량 평가는 곰팡이독소 오염도, 일일 복용량과 평균 체중 등을 활용하였다. 일일 복용량은 한약(생약)의 기준 미 설정 잔류농약 적부 판정 해설서<sup>23)</sup>를 참고하였고, 평균 체중은 66.55 kg을 적용 하였다.<sup>24)</sup> 또한 오염도 분석 자료 중 결과값이 검출한계 미만시 불검출로 처리하였다.

오크라톡신 A는 만성독성 비발암평가로 위해성을 평가하였으나, 식품의약품안전처의 국내 인체노출안전기준에 2020년 유전독성 발암물질로 발암성에 대한 독성 시작값이 제시되면서 아플라톡신 B<sub>1</sub>과 같이 유전독성 발암물질로서 내성 용량이 없다고 가정하였다.<sup>25,26)</sup> 오크라톡신 A의 양성 및 악성 신장암 발생 독성시작값 BMDL<sub>10</sub>(Benchmark Dose Lower Confidence Limit) 14.9 µg/kg b.w/day, 아플라톡신

B<sub>1</sub>의 간세포 암종 발생 독성시작값 BMDL<sub>10</sub> 0.37 µg/kg b.w/day을 적용하여 노출안전역(MOE, Margin of Exposure)으로 위해 수준을 평가하였다.<sup>21,22,25)</sup>

푸모니신과 제랄레논은 비의도적 오염물질의 비발암물질로서, 식품의약품안전처에서 설정한 국내 인체노출안전기준인 일일섭취한계량(TDI, Tolerable Daily Intake) 1.65 µg/kg b.w/day, 0.4 µg/kg b.w/day로 각각 비교하여 위해 수준을 평가하였다.<sup>25)</sup>

$$\text{MOE} = \frac{\text{BMDL}_{10} \text{ (Benchmark Dose Lower Confidence Limit, } \mu\text{g/kg b.w/day)}}{\text{Estimated daily intake (EDI, } \mu\text{g/kg b.w/day)}}$$

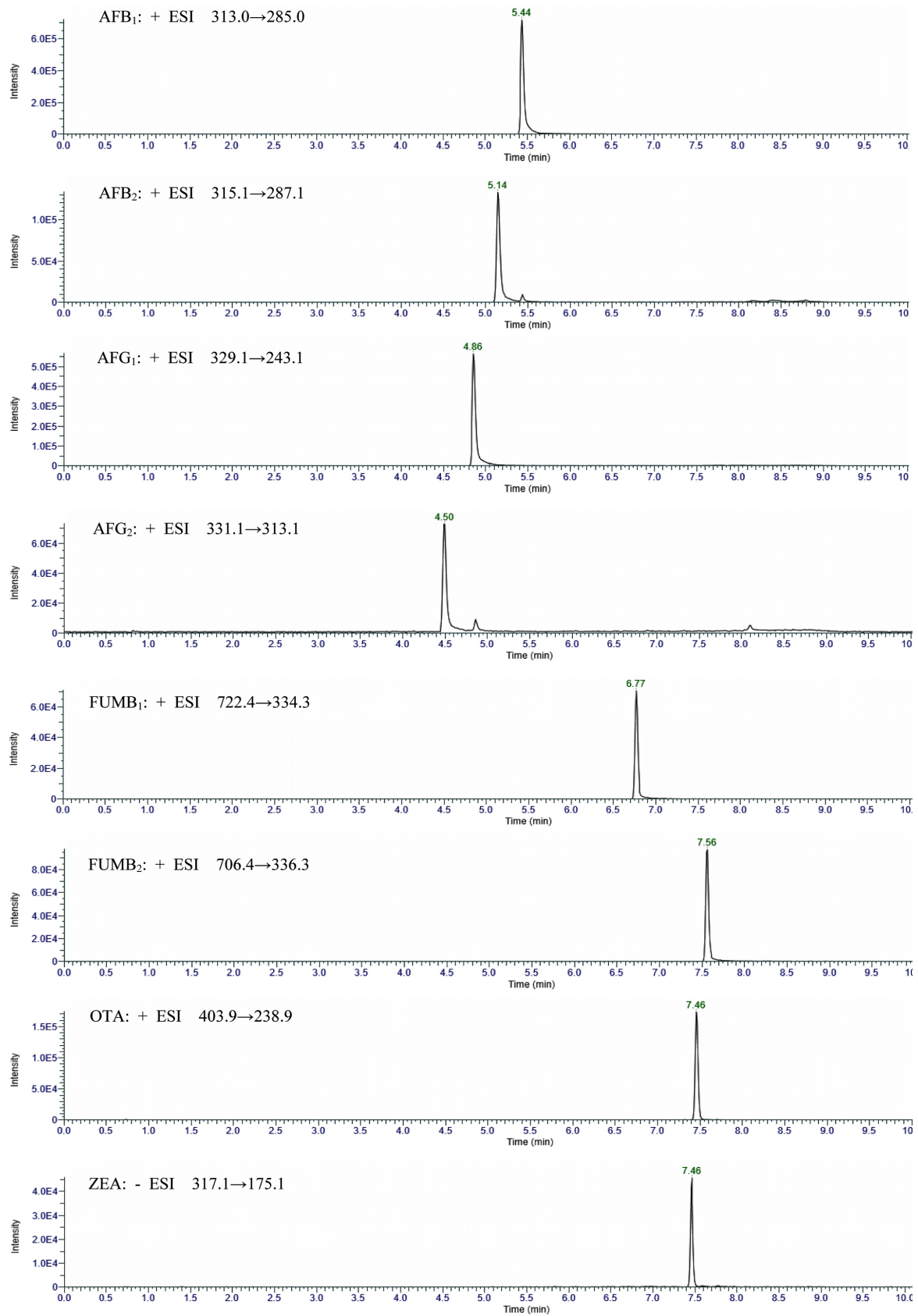
$$\% \text{TDI} = \frac{\text{Estimated daily intake (EDI, } \mu\text{g/kg b.w/day)}}{\text{Tolerable daily intake (TDI, } \mu\text{g/kg b.w/day)}} \times 100$$

## 결과 및 고찰

**분석법 유효성 검증** - 분석 시료 매질의 영향을 최소화하기 위해 곰팡이독소 8종의 매질보정검량선(matrix matched calibration)을 작성하였다. 아플라톡신 B<sub>1</sub>, G<sub>1</sub>은 0.25-10.0 µg/L, 아플라톡신 B<sub>2</sub>, G<sub>2</sub>는 0.06-2.5 µg/L, 푸모니신 B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, 오크라톡신 A와 제랄레논은 0.5-20.0 µg/L 범위에서 확인하였고(Fig. 1), 결정 계수(Determination coefficient, r<sup>2</sup>)는 모두 0.999 이상으로 양호한 직선성을 나타내었다(Table IV).

매질 효과는 Table IV와 같이 구기자에서 아플라톡신과 제랄레논이 이온 억제 효과를 보였으며, 산약과 연자육은 매질의 영향을 보이지 않는 것으로 나타났다. 매질효과에 결과는 SANTE 가이드 라인<sup>27)</sup>에서 제시한 ME(%)<±20 조건을 참고하였다.

검출한계는 0.01-0.23 µg/kg, 정량한계는 0.04-0.71 µg/kg 범위를 각각 나타내어 Yang<sup>28)</sup>이 보고한 범위보다 낮았다(Table V). 회수율은 75.5-117.9%, 상대표준편차는 0.3-9.2%



**Fig. 1.** LC-MS/MS chromatograms of mycotoxins in the standard solutions: AFB<sub>1</sub> and AFG<sub>1</sub> 10 µg/L; AFB<sub>2</sub> and AFG<sub>2</sub> 2.5 µg/L; FUMB<sub>1</sub>, FUMB<sub>2</sub>, OTA and ZEA 20 µg/L.

**Table IV.** Matrix-effect (ME) and Determination coefficient ( $r^2$ )

Type of mycotoxins	Representative matrix	Determination coefficient( $r^2$ )	ME(%) <sup>1)</sup>
AFB <sub>1</sub>	Lycii fructus	0.9999	-35.5
	Dioscoreae Rhizoma	0.9998	-6.7
	Nelumbinis semen	0.9998	-2.6
AFB <sub>2</sub>	Lycii fructus	0.9996	-28.7
	Dioscoreae Rhizoma	0.9998	-0.9
	Nelumbinis semen	1.0000	3.8
AFG <sub>1</sub>	Lycii fructus	0.9999	-21.6
	Dioscoreae Rhizoma	0.9995	-16.1
	Nelumbinis semen	0.9998	-1.2
AFG <sub>2</sub>	Lycii fructus	0.9998	-20.5
	Dioscoreae Rhizoma	0.9994	-1.0
	Nelumbinis semen	0.9997	8.8
FUMB <sub>1</sub>	Lycii fructus	0.9996	-17.3
	Dioscoreae Rhizoma	0.9999	21.5
	Nelumbinis semen	0.9999	7.5
FUMB <sub>2</sub>	Lycii fructus	0.9997	-9.1
	Dioscoreae Rhizoma	0.9995	0.0
	Nelumbinis semen	0.9996	16.5
OTA	Lycii fructus	0.9996	-7.0
	Dioscoreae Rhizoma	0.9995	7.3
	Nelumbinis semen	0.9999	-0.8
ZEA	Lycii fructus	0.9995	-37.8
	Dioscoreae Rhizoma	0.9993	-5.3
	Nelumbinis semen	0.9999	-2.7

<sup>1)</sup>ME(%) = (slope of matrix matched standard-slope of solvent standard) × 100/slope of solvent standard

범위를 각각 나타내어 EC 가이드 라인<sup>29)</sup>에서 제시한 회수율 및 상대표준편차범위를 만족하였다.

**곰팡이독소 오염** - 식·약공용농산물 17품목 171건을 대상으로 분석한 결과, 식·약공용농산물 10품목 22건(12.9%)에서 곰팡이독소가 검출되었다(Table VI). 검출 품목은 과실류 6품목(구기자, 괴각, 사인, 산사, 오미자, 치자), 근경류 2품목(건강, 맥문동), 종자류 2품목(연자육, 토사자)이었다. 8종의 곰팡이독소 중 푸모니신(B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>)이 가장 많이 검출되었으며, 7.54-64.68 µg/kg 범위를 보였다. 괴각에서 푸모니신(B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>의 합)이 64.68 µg/kg이 가장 높게 검출되었으나, 이는 식품공전의 옥수수 및 수수의 기준(B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>의 합으로서)인 4,000 µg/kg보다 낮은 수준이다.

식품공전에 식물성 원료로서 기준이 설정되어 있는 아플라톡신 B<sub>1</sub>이 연자육에서만 6.66 µg/kg으로 검출되었고, 이는 총아플라톡신과 B<sub>1</sub>의 기준 이내였다.

오크라톡신 A는 2건(4.21-10.56 µg/kg), 제랄레논 5건(7.31-60.76 µg/kg)에서 검출되었다. 이는 식품공전 오크라톡

신 A의 대상식품의 최대기준인 육두구(15.0 µg/kg 이하)와 비교 시 기준 이내였으며, 제랄레논 역시 대상식품의 최대기준인 곡류(100 µg/kg 이하)와 비교 시 낮은 수준이었다.

식·약공용농산물 171건 중 토사자 3건에서 푸모니신과 제랄레논이 동시에 검출 되었다. 푸모니신과 제랄레논은 20-25°C에서 주로 곰팡이가 성장하고 독소를 생성하며, 성장에 필요한 수분만 주어지면 5-10°C 이하의 저온에서도 곰팡이 독소 생산이 가능한 것으로 알려져 있다.<sup>30)</sup> 제랄레논은 *Fusarium* 속 곰팡이독소 중 가장 광범위하게 분포하는 독소로, 다른 독소와 함께 발생할 수 있다.<sup>17)</sup> 곰팡이독소는 곰팡이가 생성되면 생산될 가능성이 있어 농산물에 곰팡이가 발생하지 않도록, 재배, 보관 및 유통 전 과정에서의 관리가 중요하다.<sup>12)</sup>

본 연구의 결과에서 식·약공용농산물의 과실류, 근경류 및 종자류에서 8종의 곰팡이독소의 오염도는 우려할 수준이 아닌 것으로 나타났다. 그러나 곰팡이독소 생성에 영향을 줄 수 있는 국내 및 수입국의 기후 변화, 식·약공용농산물의 용

**Table V.** LOD, LOQ and recovery of mycotoxins

Type of mycotoxins	Representative matrix	LOD <sup>1)</sup> (µg/kg)	LOQ <sup>2)</sup> (µg/kg)	Recovery <sup>3)</sup> (%) ± RSD <sup>4)</sup>		
				Low	Medium	High
AFB <sub>1</sub>	Dioscoreae Rhizoma	0.10	0.32	81.3±3.9	77.5±4.6	80.0±1.8
	Lycii fructus	0.05	0.15	114.2±0.7	112.4±2.0	106.2±0.8
	Nelumbinis semen	0.01	0.05	87.6±1.9	86.5±0.3	94.7±7.7
AFB <sub>2</sub>	Dioscoreae Rhizoma	0.01	0.04	98.0±3.6	91.0±1.4	88.8±2.0
	Lycii fructus	0.01	0.05	117.9±0.7	112.9±1.0	97.9±6.2
	Nelumbinis semen	0.02	0.07	85.0±6.3	85.0±1.7	89.5±5.3
AFG <sub>1</sub>	Dioscoreae Rhizoma	0.01	0.04	79.5±5.5	75.7±2.3	75.5±2.2
	Lycii fructus	0.05	0.16	110.7±3.0	114.3±0.4	89.0±9.2
	Nelumbinis semen	0.03	0.11	89.2±7.1	90.2±3.1	90.9±5.4
AFG <sub>2</sub>	Dioscoreae Rhizoma	0.02	0.07	90.8±4.6	86.8±7.0	85.2±2.6
	Lycii fructus	0.03	0.11	102.3±3.8	102.9±0.5	88.4±5.6
	Nelumbinis semen	0.07	0.21	80.8±5.8	84.8±3.8	89.6±7.4
FUMB <sub>1</sub>	Dioscoreae Rhizoma	0.16	0.50	90.8±1.3	87.0±0.9	85.0±2.0
	Lycii fructus	0.16	0.49	81.7±4.3	85.2±2.9	79.1±0.9
	Nelumbinis semen	0.08	0.24	79.9±4.8	84.8±3.8	89.6±8.4
FUMB <sub>2</sub>	Dioscoreae Rhizoma	0.23	0.71	90.3±1.6	84.3±0.9	80.8±1.9
	Lycii fructus	0.21	0.65	87.9±2.2	80.8±3.0	79.0±0.7
	Nelumbinis semen	0.05	0.17	78.9±3.8	80.3±4.8	93.7±1.3
OTA	Dioscoreae Rhizoma	0.17	0.52	95.6±3.5	87.6±0.7	86.0±1.5
	Lycii fructus	0.03	0.10	90.8±2.0	85.7±6.4	94.2±1.9
	Nelumbinis semen	0.17	0.90	82.3±4.1	84.4±7.1	103.1±3.5
ZEA	Dioscoreae Rhizoma	0.21	0.65	97.7±5.7	98.5±3.6	91.7±2.1
	Lycii fructus	0.09	0.28	93.9±2.7	85.9±5.8	96.5±1.0
	Nelumbinis semen	0.19	0.60	88.9±5.7	88.8±1.2	85.0±4.6

<sup>1)</sup>LOD: limit of detection =  $3.3 \times \delta/S$ , <sup>2)</sup>LOQ: limit of quantification =  $10 \times \delta/S$  ( $\delta$ : Standard deviation of response, S: Slop of the calibration curves), <sup>3)</sup>Recovery(%)=measured concentration by matrix matched standard  $\times 100$ /spiked concentration, <sup>4)</sup>RSD(Relative Standard Deviation), n=3

도 확대에 따른 독소 노출 가능성이 증가할 수 있다. 따라서 국내 및 수입국의 신뢰성과 대표성이 확보된 다양한 품목과 시료 수로 지속적인 곰팡이독소의 모니터링이 필요하다고 생각된다.

**위해성평가** - 식·약공용농산물의 위해성을 결정하기 위해서 식품의약품안전처의 인체적용제품 위해성평가 공통지침서<sup>21)</sup>와 곰팡이독소 위해평가 보고서<sup>22)</sup>를 토대로 인체 노출량 평가 (human exposure assessment)를 하였다(Table VII).

아플라톡신 B<sub>1</sub>의 위해지수인 노출안전역(MOE)은 1478.89 수준이었으며, 오크라톡신 A는 75192.04-235533.25 수준이었다. 인체적용제품 위해성평가 공통지침에 따르면 노출안전역은 안전 여부를 판단하는 기준이 아니며, 현재의 노출 수준의 안전역 확보 여부를 정책적으로 판단하는데 사용된다고 하였다.<sup>21)</sup> 또한 노출을 없앨 수 없으므로 합리적으로

달성 가능한 수준까지 노출량을 낮게 유지하는 ALARA(As Low As Reasonably Achievable)에 따라 관리되며, 저감화를 위한 노력이 필요하다.<sup>21,22,31)</sup> 푸모니신의 위해지수인 %TDI는 0.02-0.28%, 제랄레논은 0.06-1.85%로 위해 우려가 낮은 수준이었다. 위해수준인 위해지수는 백분율로 표기가 가능하며, 100% 이하이면 안전하다고 판단 한다.<sup>21)</sup>

약령시 내 식·약공용농산물의 위해성 평가는 위해 우려가 낮은 수준으로 평가되었다. 그러나 곰팡이독소 오염도의 불검출율에 따라 위해 평가시 과대평가 될 가능성이 있으며, 식·약공용농산물은 단일, 혼합으로 가열 추출 및 환 등으로 국민들의 섭취 방법이 다양하고, 이에 따른 곰팡이독소 이행률에 의한 불확실성이 존재할 가능성이 있어 다양한 노출 환경에 따른 평가가 필요하다.

**Table VI.** Incidence and level of mycotoxin contamination in edible and medicinal plants

Name of samples	Detection /No. of Total samples	Concentration range ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )				
		Total Aflatoxins ( $B_1, B_2, G_1$ and $G_2$ )	$AFB_1$	FUM ( $B_1+B_2$ )	OTA	ZEA
Sophorae Fructus	1/4	<sup>1)</sup> N.D.	N.D.	64.68	N.D.	N.D.
Lycii Fructus	1/14	N.D.	N.D.	N.D.	4.21	N.D.
Rubi Fructus	0/11	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Crataegi Fructus	4/20	N.D.	N.D.	9.02-20.04	N.D.	N.D.
Corni Fructus	0/16	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Schisandrae Fructus	5/14	N.D.	N.D.	11.64-63.71	N.D.	N.D.
Gardeniae Fructus	1/12	N.D.	N.D.	46.15	N.D.	N.D.
Amomi Fructus	1/6	N.D.	N.D.	N.D.	10.56	N.D.
Zingiberis Rhizoma	2/6	N.D.	N.D.	11.18	N.D.	7.31
Liriope Tuber	2/22	N.D.	N.D.	9.59-54.39	N.D.	N.D.
Atractylodis Rhizoma Alba	0/5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Dioscoreae Rhizoma	0/6	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Cnidii Rhizoma	0/11	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Gastrodiae Rhizoma	0/8	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Zizyphi Semen	0/5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Nelumbinis Semen	1/6	6.66	6.66	N.D.	N.D.	N.D.
Cuscutae Semen	4/5	N.D.	N.D.	7.54-17.84	N.D.	8.98-60.76
Total	22/171	6.66	6.66	7.54-64.68	4.21-10.56	7.31-60.76

<sup>1)</sup>N.D.:Not detected**Table VII.** Risk assessment of mycotoxins

	Amomi Fructus	Crataegi Fructus	Cuscutae Semen	Gardeniae Fructus	Liriope Tuber	Lycii Fructus	Nelumbinis Semen	Schisandrae Fructus	Sophorae Fructus	Zingiberis Rhizoma
Daily dose (g/day)	7.5	15	19	9	15	14	15	14	19	14
Mean ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )							1.11			
$AFB_1$ ADI (ng/kg b.w/day)							0.25			
MOE							1478.89			
Mean ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	1.76					0.30				
OTA ADI (ng/kg b.w/day)	0.20					0.06				
MOE	75192.04					235533.25				
Mean ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )		3.17	7.78	3.85	2.91			11.66	16.17	1.86
$FUM$ ( $B_1+B_2$ ) ADI (ng/kg b.w/day)		0.71	2.22	0.52	0.66			2.45	4.62	0.39
%TDI		0.04	0.13	0.03	0.04			0.15	0.28	0.02
Mean ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )			25.92							1.22
ZEA ADI (ng/kg b.w/day)			7.40							0.26
%TDI			1.85							0.06

## 결 론

2020년부터 2021년까지 서울약령시에서 유통 중인 식·약  
공용농산물 17품목 171건을 대상으로 질량분석기를 이용하여

아플라톡신  $B_1, B_2, G_1, G_2$ , 푸모니신  $B_1, B_2$ , 오크라톡신 A  
및 제랄레논을 분석하고 위해성을 평가하였다. 매질효과  
(matrix effect)는 과일류의 대표품목인 구기자에서 아플라톡  
신  $B_1, B_2, G_1, G_2$ 와 제랄레논에서 이온억제효과를 보였고,

그 외 곰팡이독소는 매질효과가 없는 것으로 나타났다. 직 선성은 0.999이상 이었으며, 회수율, 검출한계, 정량한계는 각각 75.5-117.9%, 0.01-0.23 µg/kg 그리고 0.04-0.71 µg/kg 이었다. 식·약공용농산물 171건 중 22건에서 곰팡이독소가 오염되었고, 위해성평가는 아플라톡신 B<sub>1</sub>과 오크라톡신 A 는 노출안전역(MOE), 푸모니신과 제랄레논은 %(TDI)로 평 가하였으며, 위해 우려가 낮은 수준이었다.

### 인용문헌

1. FAO (2009) Climate change implications for food safety. Rome, Italy.
2. Han, Z., Ren, Y. P., Zhu, J. F., Cai, Z. X., Chen, Y., Luan, L. J. and Wu, Y. J. (2012) Multianalysis of 35 mycotoxins in traditional chinese medicines by ultra-high-performance liquid chromatography-tandemmass spectrometry coupled with accelerated solvent extraction. *J. Agric. Food Chem.* **60**: 8233-8247.
3. IARC (2010) Agents classified by the IARC monographs, volumes 1-132 Available from: <https://monographs.iarc.who.int/list-of-classifications/> Accessed 1 March 2021.
4. EU (2006) Setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. *Official J. European Union* 15-18.
5. Luo, S., Du, H., Kebede, H., Liu, Y. and Xing F. (2021) Contamination status of major mycotoxins in agricultural product and food stuff in Europe. *Food contr.* **127**: 108-120.
6. Hou, L. L., Zhou, X., Gan, F., Liu, Z. X., Zhou Y. J., Qian, G. and Huang, K. (2018) Combination of selenomethionine and N-acetylcysteine alleviates the joint toxicities of aflatoxin B<sub>1</sub> and ochratoxin A by ERK MAPK signal pathway in porcine alveolar macrophages. *J. Agric. Food Chem.* **66**: 5913-5923.
7. Ministry of Food and Drug Safety (2018) Food standard and specifications (Notice 2018-54). Cheongju, Korea.
8. Ministry of Food and Drug Safety (2018) Food standard and specifications (Notice 2018-74). Cheongju, Korea.
9. Ministry of Health Welfare (2001) A study on the consumption pattern and pricing structure of major oriental medicines in Korea. Sejong, Korea.
10. Kweon, K. T. (2012) A Research on management system of herbal medicinein common use for food and medicine. *Kor. J. Herology* **27**: 25-29.
11. Ministry of Food and Drug Safety (2021) Food Code. Available from: <https://www.foodsafetykorea.go.kr/foodcode>. Accessed 1 March 2021.
12. Bhat, R., Rai, R. V. and Karim, A. A. (2010) Mycotoxins in food and feed:Present status and future concerns. Comprehensive Reviews. *Food Sci. Food Saf.* **9**: 57-81.
13. Choi, S. M., Chung, H. J., Yoon, Y. S., Lee, M. Y., Choi, H. S. and Sung, H. J. (2000) Studies on the administration of the quality of herbal medicine. *J. Kor. Oriental Medicine* **21**: 99-112.
14. National Institute of Meteorological Sciences (2018) 100 years of climate change on the korea. Jeju-do, Korea.
15. Kim, D. M. and Chun, H. S. (2009) Influence of the climate change on growth of fungi and mycotoxin production. *Food Sci. Industry* **42**: 27-35.
16. Ramona, A. D. M. and Hudaa, N. (2021) Climate change and emerging food safety issues: a review. *J. Food Prot.* **84**: 1884-1897.
17. Ministry of Food and Drug Safety (2018) Manual for reducing mycotoxin in food. Cheongju, Korea.
18. Kim, C. M. (2015) Coloured illustrations for discrimination of herbal medicine. Academybook, Seoul.
19. CODEX Alimentarius Commission (2009) Guidelines for the design and implementation of national regulatory food safety assurance programm associated with the use of veterinary drugs in food producing animals, CAC/GL-71. Rome, Italy.
20. National Institute of Food and Drug Safety Evaluation (2015) Guidelines for validation of test methods for pharmaceuticals. Cheongju, Korea.
21. Ministry of Food and Drug Safety (2019) Common Guidelines for risk assessment for products applied to human body. Cheongju, Korea.
22. Ministry of Food and Drug Safety (2021) Risk assessment of mycotoxins. Cheongju, Korea.
23. Ministry of Food and Drug Safety (2018) Explanation on the determination of residual pesticides not established criteria for medicinal herb. Cheongju, Korea.
24. Kosis (2022) Korean statistical information service. Available from: [https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=350&tblId=DT\\_35007\\_N132&vw\\_cd=MT\\_ZTITLE&list\\_id=350\\_35007\\_A007&seqNo=&lang\\_mode=ko&language=kor&obj\\_var\\_id=&itm\\_id=&conn\\_path=MT\\_ZTITLE](https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=350&tblId=DT_35007_N132&vw_cd=MT_ZTITLE&list_id=350_35007_A007&seqNo=&lang_mode=ko&language=kor&obj_var_id=&itm_id=&conn_path=MT_ZTITLE) Accessed 1 February 2022.
25. Ministry of Food and Drug Safety (2022) Health based guidance value Available from:[https://www.nifds.go.kr/wpge/m\\_280/cont\\_03/cont\\_03\\_08\\_05\\_03\\_02.do](https://www.nifds.go.kr/wpge/m_280/cont_03/cont_03_08_05_03_02.do). Accessed 1 February 2022.
26. EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (2020) Risk assessment of ochratoxin A in food. *J. efsa.* **18**: 6113.
27. Directorate General for Health and Food Safety (DG SANTE) (2017) Guidance document on analytical quality contro; and method validation procedures for pesticide residues and analysis in food and feed. SANTE/11813/2017. Fellbach, Germany.
28. Yang, Y. S., Lee, H. H., Kim, A. K., Ryu, K. K., Choi, S. Y., Seo, D. R., Seo, K. W. and Cho B. S. (2019) Survey of mycotoxin contamination in grains and grain products. *J. Food Hyg. Saf.* **34**: 205-211.
29. EU (2006) Laying down the method of sampling and analysis for the official control of the level of mycotoxins in foodstuffs. *Official J. European Union* 12-34.
30. Kim, D. M. and Chun, H. S. (2009) Influence of the climate change on growth of fungi and mycotoxin production. *Food Sci. Industry* **42**: 27-35.
31. Ministry of Food and Drug Safety (2017) Principles of setting standards for food. Cheongju, Korea.

(2022. 8. 4 접수; 2022. 8. 26 심사; 2022. 9. 19 게재확정)