

## 시중유통 견과류의 총아플라톡신, 오크라톡신 A, 제랄레논, 데옥시니발레놀, T-2 독소의 오염도 조사

홍준배 · 박건택<sup>1\*</sup>

한국소비자원 식품미생물팀, <sup>1</sup>인제대학교 바이오테크놀로지학부

### Analysis of Total Aflatoxin, Ochratoxin A, Zearalenone, Deoxynivalenol and T-2 Toxin Contamination in Nuts

JoonBae Hong and Kun Taek Park<sup>1\*</sup>

Food & microbiology Team, Test & Research Department, Consumer safety center, Korea consumer Agency, Eumseong-gun, Korea

<sup>1</sup>Department of Biotechnology, Inje University, Kimhae-si, Korea

(Received November 25, 2018/Revised December 3, 2018/Accepted December 4, 2018)

**ABSTRACT** - In the current study, 109 commercial nut samples were collected from different Korean markets and analyzed for the contamination of 5 different mycotoxins (aflatoxin, ochratoxin A, deoxynivalenol, zearalenone, and T-2 toxin) using ELISA kits. The results revealed that the most frequently detected mycotoxin was zearalenone (n=36, 33%), followed by aflatoxin (n=31, 28.4%) and ochratoxin A (n=30, 27.5%). Deoxynivalenol and T-2 toxin were also detected in 22 (20.3%) samples, respectively. Among 109 nut samples, 33 samples (30.3%) were contaminated only with one kind of mycotoxin, whereas 43 samples had at least 2 kinds of mycotoxins. Two samples were contaminated with as many as 4 different mycotoxins, and they were both walnuts. Although the monitoring results revealed the amount of aflatoxin contamination was under the safety criteria, there is no current safety guideline for other kinds of mycotoxins or multiple contaminations in Korea. Therefore, further studies should be performed to reveal the distribution of mycotoxin in different foods and propose appropriate safety guidelines for Korean markets.

**Key words:** ELISA, Total aflatoxin, Ochratoxin A, Deoxynivalenol, Zearalenone, T-2 toxin

곰팡이독소는 농작물의 생산, 수확 및 저장 등의 과정에서 발생하는 곰팡이의 2차 대사산물로, 지역, 온도 및 곰팡이 종류 등에 영향을 받는다<sup>1)</sup>. 식품에서 주로 발생하는 곰팡이독소는 *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*속 균류에서 생성되며, 아플라톡신 B1(Aflatoxin, AF), 오크라톡신 A(Ochratoxin A, OTA), 데옥시니발레놀(Deoxynivalenol, DON), 제랄레논(Zearalenone, ZEN), 니발레놀(Nivalenole, NIV), T-2 독소(T-2 toxin) 등이 대표적인 독소로 알려져 있다<sup>2)</sup>. 곰팡이 독소는 화학적으로나 구조적으로 그 형상이 매우 다양하다. 또한 2차 대사과정 후에 생성되는 합성물은 사람이나 가축 모두에게 급성 또는 만성적 독성 영향을 주게 된다. 특히 화학적으로 안정하여 열을 가하

는 조리 가공 중에 잘 파괴되지 않고 최종식품에 남아 있어 유해한 영향을 끼친다.

최근 기후변화로 인한 폭염, 집중호우, 기온상승과 같은 환경변화로 인해 곰팡이 발생이 증가할 수 있어 농산물과 이를 가공한 식품에서 곰팡이독소에 대한 노출가능성은 지속적으로 높아질 수 있다.

아플라톡신은 국제암연구소(IARC, International Agency for Research on Cancer)에서 Group 1에 속한 발암물질로 분류되어 있으며, 20여종의 독소가 있는 것으로 알려져 있는데 이중 아플라톡신 B1의 독성이 가장 크며 체내에서 간경변과 간암 등을 유발시킨다<sup>3)</sup>. 제랄레논, 데옥시니발레놀, 니발레놀, T-2 독소, 푸모니신은 *Fusarium* 속 곰팡이가 생산하는 독소로 푸모니신을 제외하곤 IARC에서 Group 3으로 분류하고 있는 물질이다. 특히 제랄레논은 옥수수 등의 곡류에서 오염될 수 있으며, 가축에서 성 성숙전 증후군, 생식불능, 에스트로겐 활성을 나타내어 생식기능에 영향을 끼치는 것으로 보고되고 있다<sup>3)</sup>. 한편 발암가능성

\*Correspondence to: Kun Taek Park, Department of Biotechnology, Inje University, Kimhae-si, Gyeongsangbuk-do 50834, Korea  
Tel: +82-55-320-3213, Fax: +82-55-336-7706  
E-mail: ktpark@inje.ac.kr

이 있는 Group 2B로 분류하고 있는 오크라톡신 A는 *Aspergillus ochraceus*, *Penicillium verrucosum* 등이 커피 및 포도 등에서 발견되며, 신장 세포에 독성을 일으킨다. 데옥시니발레놀에 의한 급성증상은 5~30분 이내에 나타나며, 메스꺼움, 구토, 복통, 설사, 현기증, 두통 등으로 주로 밀, 옥수수, 보리, 귀리 등 곡류에서 발견되며, 어린이 이 유식, 과자 등에서도 검출되며 가장 빈번하게 발생하는 독 소로 알려져 있다. T-2 독소의 경우, 최초 표적기관은 면역체계이다. 골수형성저하증 및 무형성으로 인해 백혈구의 감소증이 두드러진 것으로 알려져 있으며, *Fusarium* 속 곰팡이독소 중에서 가장 독성이 강한 것으로 알려져 있다<sup>4)</sup>.

곰팡이독소를 검출하기 위해서는 화학·생물학적으로 분석하는 Thin Layer Chromatography (TLC)법, High Performance Liquid Chromatography (HPLC)법 및 LC/MS/MS(Liquid Chromatography-Mass Spectrometry)등을 사용한다. 그러나 이러한 방법들은 복잡한 시료 추출과 분석과정이 요구되어 곰팡이독소의 정량까지 수일 이상의 시간이 소요되어 위의 방법보다 간편하면서 다량의 시료를 동시에 수행하며 신뢰성을 가지고 있는 ELISA(Enzyme-Linked Immunosorbent assay) 방법을 적용하였다<sup>5,6)</sup>. 견과류에서 연구가 많이 된 아플라톡신과 견과류에 오염 연구 자료가 거의 없는 오크라톡신, 데옥시니발레놀, 제랄레논 그리고 T-2 독소 등을 대상으로 견과류에서의 오염수준 및 다독소 오염여부를 확인하고, 식품의 안전성을 평가하여 먹거리 선택에 유용한 정보를 제공하고자 한다.

## Materials and Methods

### 실험재료

견과류에 오염되어 있는 곰팡이독소를 확인하기 위하여 서울, 인천, 경기, 충남, 충북 및 백화점, 대형할인마트, 재래시장에서 2018년부터 4월부터 7월까지 구입한 견과류 109종을 구입하였다. 모든 시료는 포장단위로 균질화하여 -20°C 냉동 보관하면서 사용하였다.

### 시험방법

곰팡이독소 중 총아플라톡신, 오크라톡신 A, 데옥시니

발레놀, 제랄레논, 그리고 T-2 독소 총 5종의 독소를 선정하여 검출하였다. 아플라톡신 표준품은 Mix kit 4 solution(Supelco, Pennsylvania, USA)을 사용하였고, 제랄레논, 오크라톡신 A, 데옥시니발레놀, T-2 독소는 Sigma-Aldrich (St.Louis, Missouri, USA)에서 구입한 것을 사용하였다. ELISA 시험을 위해 각 시료를 샘플 당 20 g씩 마쇄한 뒤 데옥시니발레놀은 물에 나머지 독소들은 75% 메탄올에 현탁하여 여과한 다음 여과액을 ELISA test 키트(MaxSignal® Aflatoxin Total, Ochratoxin, Deoxynivalenol, zearalenone, T-2 toxin Enzyme Linked Immuno-Sorbent Assay (ELISA) Test Kit, (Bioo Scientific Corp., Texas, USA)를 사용하였고, 검출한계와 검출범위에 따라 AgraQuant® Aflatoxin, Ochratoxin A, Zearalenone, Deoxynivalenol, T-2 toxin(Romer Lab, Delaware, USA)제품도 사용하였다(Table 1)<sup>7,8)</sup>. 450nm를 측정할 수 있는 Multiscan (Thermo Scientific Inc., Massachusetts, USA)를 이용하여 독소량을 측정하였다

### 검량곡선의 직선성 및 검출한계

시험용액을 이용하여 제조한 solution standard로 0.1~200 µg/kg의 범위에서 matrix matched calibration curve를 작성한 결과 양호한 직선성을 확인할 수 있었으며 결정계수( $R^2$ )는 0.99이상으로 나타났다. 검출한계는 각 진단 키트의 특성별로 결과를 확인할 수 있었다(Table 1). 분석된 모든 결과들에 대해서는 SPSS 통계처리 프로그램 version 11을 사용하여 통계분석하였다. 통계분석은 ANOVA 프로그램의 Tukey's test로  $p < 0.05$ 의 수준에서 통계학적 유의성을 검증하였다.

## Results and Discussion

### 곰팡이독소 검출량

곰팡이독소(총아플라톡신, 오크라톡신 A, 제랄레논, 데옥시니발레놀, T-2 독소)를 견과류 총 109건에 대하여 분석하였다. 먼저 총아플라톡신의 검출결과를 살펴보면, 아몬드가 21건 중 4건(19.0%), 호두 16건 중 8건(50%), 땅콩 13건 중 3건(23.1%), 피스타치오 12건 중 3건(25%) 등

**Table 1.** The ranges and limits of detection by ELISA kits, respectively

Mycotoxins	MaxSignal® (µg/kg)		AgraQuant® (µg/kg)	
	The ranges of detection	The limits of detection	The ranges of detection	The limits of detection
Aflatoxin	0.02 ~ 4	0.02	1-20	1
Ochratoxin A	0.02 ~ 1	0.02	1.9	2-40
Zearalenone	0.25 ~ 4	0.25	20	25-1000
Deoxynivalenol	7.5 ~ 120	7.5	200	250-5000
T-2 toxin	1~50	1	10	20-500

**Table 2.** The incidence and the range of total Aflatoxins in various nut products by ELISA

Items	Incidence		The range of total Aflatoxins ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	Average ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )
	NO	%		
Almonds	4/21	19.0	1.0-1.8	1.5 $\pm$ 0.2
Walnuts	8/16	50.0	2.2-6.3	4.3 $\pm$ 1.2
Peanuts	3/13	23.1	0.8-3.5	2.5 $\pm$ 0.9
Pistachio nuts	3/12	25.0	1.0-2.9	1.8 $\pm$ 1.1
Cashew nuts	2/12	16.7	0.5-1.1	0.8 $\pm$ 0.2
Pecans	1/7	14.3	6.0	6.0 $\pm$ 0.1
Brazill nuts	3/10	30.0	4.6-14.2	8.6 $\pm$ 2.8
Macadamia nuts	2/5	40.0	4.2-7.0	5.6 $\pm$ 1.1
Pine nuts	2/5	40.0	3.0-4.6	3.8 $\pm$ 0.4
Cacao nibs	2/4	50.0	3.0-3.8	3.4 $\pm$ 0.3
Sacha Inchi	1/4	25.0	4.8	4.8 $\pm$ 0.2
Total	31/109	28.4	0.5-14.2	3.92 $\pm$ 2.5

NO : Sample number(Positive/analysed samples)

N.D. : Not detected

Average : In positive samples

**Table 3.** The incidence and the range of Ochratoxin A in various nut products by ELISA

Items	Incidence		The range of ochratoxin A ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	Average ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )
	NO	%		
Almonds	6/21	28.6	0.4-4.9	3.5 $\pm$ 1.3
Walnuts	7/16	43.8	1.0-4.8	3.7 $\pm$ 2.1
Peanuts	4/13	30.8	1.5-4.4	3.0 $\pm$ 1.1
Pistachio nuts	7/12	58.3	0.2-1.9	1.1 $\pm$ 0.3
Cashew nuts	2/12	16.7	1.0-3.5	2.3 $\pm$ 0.8
Pecans	1/7	14.3	0.5	0.5 $\pm$ 0.1
Brazill nuts	2/10	20	1.6-4.0	2.8 $\pm$ 0.9
Macadamia nuts	0/5	-	N.D	0
Pine nuts	0/5	-	N.D	0
Cacao nibs	0/4	-	N.D	0
Sacha Inchi	1/4	25.0	2.6	2.6 $\pm$ 0.1
Total	30/109	27.5	N.D.-4.9	1.78 $\pm$ 1.1

NO : Sample number(Positive/analysed samples)

N.D. : Not detected

Average : In positive samples

에서 검출되었으며, 총 109건 중 31건(28.4%)에서 총아플라톡신이 검출되었고, 평균 검출량은 3.92  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 이었고, 검출범위는 0.5-14.2  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 을 보였다(Table 2). 박 등의 연구에 따르면<sup>9)</sup>, 국내 유통 중인 견과류, 장류 등에서 총아플라톡신이 0.01-3.96  $\mu\text{g}/\text{kg}$  수준으로 검출되었으며, 본 연구와 유사한 값을 보여주고 있다. 이는 농산물 재배 당시의 기상환경, 저장 및 유통 상태 등에 기인한 것으로 판단된다<sup>10)</sup>.

견과류의 총아플라톡신 오염에 관하여 많은 연구가 있다. Diella 등<sup>11)</sup>은 이탈리아에서 견과류 124건 중 20건(16.1%)의 총아플라톡신이 검출되었으며 평균값은 16.6  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 그 범위는 8.8-387.3  $\mu\text{g}/\text{kg}$  였으며, 본 연구보다도 높은 검출치를 보였다. Chen 등<sup>12)</sup>의 연구에서는 대만에서 2012년 40개 중 6개(15%)가 총아플라톡신이 검출되었으며, 2013년 16개 중 1개(6.2%)가 검출되었다. Essawet 등<sup>13)</sup>의 연구에 따르면,

**Table 4.** The incidence and the range of Zearalenone in various nut products by ELISA

Items	Incidence		The range of zearalenone ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	Average ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )
	NO	%		
Almonds	10/21	47.6	1.0-56.0	15.8 $\pm$ 5.4
Walnuts	7/16	43.8	11.6-37.0	18.2 $\pm$ 9.1
Peanuts	2/13	15.4	16.7-21.0	18.8 $\pm$ 2.1
Pistachio nuts	4/12	33.3	4.1-13.1	8.4 $\pm$ 3.1
Cashew nuts	0/12	-	N.D.	0
Pecans	3/7	42.9	0.1-1.9	0.8 $\pm$ 0.2
Brazill nuts	5/10	50.0	0.6-1.7	1.2 $\pm$ 0.3
Macadamia nuts	2/5	40.0	0.4-13.4	6.9 $\pm$ 3.6
Pine nuts	1/5	20.0	5.6	5.6 $\pm$ 0.1
Cacao nibs	1/4	25.0	124.0	124.0 $\pm$ 5.0
Sacha Inchi	1/4	25.0	10.0	10 $\pm$ 1.0
Total	36/109	33.0	N.D.-124.0	19.1 $\pm$ 9.2

NO : Sample number(Positive/analysed samples)

N.D. : Not detected

Average : In positive samples

리비아의 경우 총아플라톡신이 검출된 견과류의 비율은 아몬드, 브라질 아몬드, 헤이즐넛, 캐슈, 호두 및 땅콩에 대해 각각 33.3, 40.0, 20.0, 13.3, 26.6 및 53.3 %였다. 또한 아플라톡신 B1의 농도는 아몬드, 브라질 아몬드, 헤이즐넛, 캐슈, 호두 및 땅콩에 대해 각각 0.9-5.3, 1.4-4.8, 1.2-5.4, 2.1-3.4, 1.6-7.8 및 2.4-10.9  $\mu\text{g}/\text{kg}$  범위였다. 이란의 경우에도 분석된 피스타치오 샘플 10,068건 중 3,699건이 검출되었으며, 평균 5.9  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 의 아플라톡신 B1 오염을 보였다<sup>14)</sup>.

오크라톡신 A의 경우, 피스타치오가 12건 중 7건(58.3%)이 검출되었으며, 마카다미아, 잣, 카카오닙스는 검출되지 않았다. 모두 109건 중 30건(27.5%)이 검출되었고, 견과류의 평균 검출량은 1.78  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 범위는 N.D.-4.9  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 이었다(Table 3).

Essawet 등<sup>13)</sup>의 연구에 의하면, 리비아에서 아몬드, 브라질 아몬드, 헤이즐넛, 캐슈, 호두 및 땅콩의 오크라톡신 A는 각각 26.6, 33.3, 13.3, 20.0, 13.3 및 33.3%의 오염을 보였으며 농도는 브라질넛, 헤이즐넛, 캐슈, 호두 및 땅콩에 대해 각각 3.5-5.0, 1.5-2.2, 1.2-3.7, 1.3-2.5 및 4.0-6.5  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 이 검출되었다. 이중 땅콩에서 6.5  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 의 오크라톡신 A가 검출되어 최대 검출치였으며 이는 본 연구와도 비슷한 결과를 보였다.

제랄레논은 브라질넛 10건 중 5건(50%)이 검출되었고, 아몬드에서 21건 중 10건(47.6%) 검출되었고, 캐슈넛은 12건 모두 검출되지 않았다. 전체 109건 중 36건(33%) 검출되었고 평균 검출량은 19.1  $\mu\text{g}/\text{kg}$  이었고 N.D.-124.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$  이 검출되었다. 이중 가장 많이 검출된 것은 카카오닙스로 124.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$  검출되었다(Table 4).

데옥시니발레놀 경우, 땅콩이 13건 중 5건(38.5%) 검출되어 가장 높게 나타났으며, 피스타치오 및 캐슈넛은 각각 12건을 확인한 결과 모두 검출되지 않았다. 109건 중 22건(20.2%)이 검출되었으며, 가장 높게 검출된 것은 호두로 140  $\mu\text{g}/\text{kg}$  검출되었다. 검출범위는 N.D.-140.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$  이었고, 평균 검출량은 26.2  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 이었다(Table 5).

Chunha 등<sup>15)</sup>의 연구에 의하면, 아몬드 14건 중 5건(36%)이 검출되었고 평균 검출값은 2.85  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 캐슈넛은 3종 모두 100% 검출되었으며 평균값은 135.8  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 헤이즐넛은 7건 중 6건(86%), 평균값은 56.01  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 이었다. 전체 37개 중 15건(40.5%)이 검출되었고, 본 연구와는 상이한 결과를 나타냈다.

T-2 독소의 검출량을 확인해 보면, 호두가 16건 중 8건으로 50% 검출된 것이 가장 높으며, 마카다미아, 잣, 카카오닙스, 사차인치는 모두 검출되지 않았다. 아몬드의 경우에는 21건 중 3건이 검출되어 14.3%에 불과하나, 검출된 평균량은 115.7  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 으로 가장 높게 검출되었다. 모두 109건 중 22건이 검출되어 20.2%였으며, 검출범위는 N.D.-192.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 이고, 평균 검출량은 55.91  $\mu\text{g}/\text{kg}$  이었다(Table 6). Chunha 등<sup>15)</sup>의 연구에서는 전체 37건 중 1건(2.7%)으로 땅콩에서 9.39  $\mu\text{g}/\text{kg}$  검출되어 본 연구와는 상이한 결과를 보였다.

국내의 경우 식품의약품안전처 용역사업에서 곡류 등의 농산물 총 315점 시료를 수집하여 T-2와 HT-2 독소를 분석한 결과, T-2 독소의 검출율은 91%였으나 평균 오염량은 33.4  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 으로 비교적 낮은 수준으로 견과류만 적용한 본 연구와 상이함을 보였다<sup>16)</sup>.

T-2 독소의 기준은 약 10여 개국에서 곡류에 한하여 불

**Table 5.** The incidence and the range of Deoxynivalenol in various nut products by ELISA

Items	Incidence		The range of deoxynivalenol ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	Average ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )
	NO	%		
Almonds	4/21	19.0	25.6-105.0	57.8 $\pm$ 21.0
Walnuts	6/16	37.5	20.6-140.0	72.3 $\pm$ 18.4
Peanuts	5/13	38.5	15.0-105.0	59.4 $\pm$ 25.6
Pistachio nuts	0/12	-	N.D.	0
Cashew nuts	0/12	-	N.D.	0
Pecans	2/7	28.6	68.6-57.9	63.2 $\pm$ 3.4
Brazill nuts	1/10	10.0	2.0	2.0 $\pm$ 0.1
Macadamia nuts	1/5	20.0	4.8	4.8 $\pm$ 0.1
Pine nuts	1/5	20.0	18.5	18.5 $\pm$ 0.1
Cacao nibs	1/4	25.0	5.0	5.0 $\pm$ 0.1
Sacha Inchi	1/4	25.0	5.6	5.6 $\pm$ 0.1
Total	22/109	20.2	N.D.-140.0	26.2 $\pm$ 18.1

NO : Sample number(Positive/analysed samples)

N.D. : Not detected

Average : In positive samples

**Table 6.** The incidence and the range of T-2 toxin in various nut products by ELISA

Items	Incidence		The range of T-2 toxin ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	Average ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )
	NO	%		
Almonds	3/21	14.3	11.2-192.0	115.7 $\pm$ 14.1
Walnuts	8/16	50.0	21.0-124.0	62.3 $\pm$ 15.1
Peanuts	4/13	30.8	30.0-121.0	62.8 $\pm$ 18.1
Pistachio nuts	3/12	25.0	15.0-143.9	97.2 $\pm$ 21.5
Cashew nuts	1/12	8.3	21.0	21.0 $\pm$ 1.1
Pecans	1/7	14.3	172.0	172.0 $\pm$ 4.1
Brazill nuts	2/10	20.0	17.0-151.0	84.0 $\pm$ 15.6
Macadamia nuts	0/5	-	N.D.	0
Pine nuts	0/5	-	N.D.	0
Cacao nibs	0/4	-	N.D.	0
Sacha Inchi	0/4	-	N.D.	0
Total	22/109	20.2	N.D.-192.0	55.91 $\pm$ 19.5

NO : Sample number(Positive/analysed samples)

N.D. : Not detected

Average : In positive samples

검출-100  $\mu\text{g}/\text{kg}$  범위로 설정되어 있으나, EU는 Commission Regulation (EC) No 1881/2006에 의해 식품 중 곰팡이독소에 관한 최대 기준을 정하고 있는데, T-2와 HT-2 독소의 기준은 아직 없다. 현재 EU는 기준치 설정을 위해 오염도 자료나 분석법에 관해 검토하고 있는 중에 있으며, 현재 한국도 이들 독소의 기준이 없다<sup>17)</sup>. 지금 현재까지 T-2 독소에 따른 문제가 제기된 적은 없으나 우리나라도 위해 평가를 통한 기준을 설정할 필요가 있어 보인다.

#### 다중곰팡이독소 검출현황

곰팡이독소가 1종 이상 검출된 견과류는 109건 중 76건(69.7%)였으며, 곰팡이독소 1종이 검출된 시료는 33건(30.3%), 2종은 24.8%(27건), 3종은 12.8%(4건) 그리고 4종이 검출된 시료는 1.8%인 2건이었다. 특히 곰팡이독소 4종(오크라톡신, 제랄레논, 데옥시니발레놀 및 T-2)이 검출된 것은 2건으로 모두 호두에서 나타났다. 최근의 연구결과에 따르면<sup>18,19)</sup>, 3종의 곰팡이독소(데옥시니발레놀 + 아

플라톡신 G2 + 푸모니신)가 검출된 4건의 헤이즐넛 시료였으며, 헤이즐넛 4건 및 캐슈넛 3건에서는 두 종의 곰팡이독소(테옥시니발레놀 + 아플라톡신 G2)가 검출된 것으로 보고되었다.

Chunha 등의 연구에 의하면<sup>15)</sup>, 견과류 37건 중 28건(76%)이 하나 이상의 곰팡이독소에 오염되어 있는 것으로 나타났으며, 가장 높게 검출된 곰팡이독소는 테옥시니발레놀로 캐슈넛에서 336.5 µg/kg이 검출된 경우가 있었다.

견과류 109건 중 76건(69.7%)에서 곰팡이독소가 검출되었으며, 아몬드 21건 중 16건(76.2%), 호두 16건 중 15건(93.8%), 땅콩 13건 중 9건(69.2%), 피스타치오 12건 중 9건(75.0%), 캐슈넛 12건 중 9건(75.0%), 피칸 7건 중 5건(71.4%), 브라질넛 10건 중 5건(50.0%), 마카다미아 5건 중 5건(100.0%), 잣 5건 중 4건(80.0%), 카카오넵스 4건 중 2건(50.0%), 사차인치 4건 중 2건(50.0%)에서 검출되었다. 마카다미아 > 호두 > 아몬드 > 피스타치오, 캐슈넛 등의 순으로 오염율이 높은 것으로 나타났다.

견과류에 관한 현재의 식품 기준 및 규격은 총아플라톡신만이 기준이 있으며, 견과류 및 곡류, 두류 등에 15.0 µg/kg (B1은 10.0 µg/kg)이다. 오크라톡신은 곡류 등에 한하여 5.0 µg/kg, 테옥시니발레놀은 곡류 등에 한하여 1.0 mg/kg이며, 제랄레논은 곡류 등에 200 µg/kg의 기준을 가지고 있으며, T-2 독소의 기준은 없다.

본 연구 결과를 현재 식품 기준 및 규격에 비추어 볼 때 총아플라톡신(15.0 µg/kg)에만 적용될 수 있으며, 모든 견과류에서 기준이하로 검출되어 문제가 없다고 할 수 있다. 오크라톡신, 테옥시니발레놀, 제랄레논, T-2 독소의 견과류에 대한 기준은 없으며, 곡류 등의 기준으로 적용한다고 하더라도 기준치 이하로 문제가 될 것은 없다. 하지만, 견과류가 소비자에게 많이 섭취되고 있고, 향후 그 소비는 더욱 증가할 것이므로 이에 대한 규격 설정과 함께 안전관리를 추진해야 할 것으로 사료된다.

### Acknowledgments

본 연구는 농림과학기술기획평가원(과제번호: 115004-3)에 의하여 수행되었으므로 감사를 드립니다.

### 국문요약

시중 유통 중인 견과류 109건에 대하여 5종의 곰팡이독소(총아플라톡신, 오크라톡신 A, 테옥시니발레놀, 제랄레논, T-2 독소)를 ELISA 진단 키트를 이용하여 분석하였다. 총아플라톡신의 검출결과를 살펴보면, 총 109건 중 31건(28.4%)에서 검출되었고, 평균 검출량은 3.92 µg/kg이었고, 범위는 0.5-14.2 µg/kg의 검출량을 보였다. 오크라톡신 A의 경우, 109건 중 30건(27.5%)이 검출되었고, 검출된 견과류의 평

균 검출량은 1.78 µg/kg, 범위는 N.D.-4.9 µg/kg의 검출량을 보였다. 제랄레논은 109건 중 36건(33%)이 검출되었고 평균 검출량은 19.1 µg/kg 이었고 N.D.-124.4 µg/kg이 검출되었다. 이중 가장 많이 검출된 것은 카카오넵스로 124.0 µg/kg이 검출되었다. 테옥시니발레놀 경우, 109건 중 22건(20.2%)이 검출되었고, 검출범위는 2.0-140.0 µg/kg, 평균 검출량은 26.2 µg/kg이었다. T-2 독소는 109건 중 22건이 검출되었으며, 검출범위는 N.D.-192.0 µg/kg이고, 평균 검출량은 55.91 µg/kg로 나타났다. 곰팡이독소가 1종 이상 검출된 견과류는 109건 중 76건(69.7%)였으며, 곰팡이독소 1종이 검출된 시료는 33건(30.3%), 2종은 24.8%(27건), 3종은 12.8%(4건) 그리고 4종이 검출된 시료는 1.8%인 2건이었다. 특히 곰팡이독소 4종(오크라톡신, 제랄레논, 테옥시니발레놀 및 T-2)이 검출된 것은 2건으로 호두에서 나타났다. 모니터링 결과 총아플라톡신의 경우, 국내 기준이하의 안전한 수준으로 검출되었으나 오크라톡신, 테옥시니발레놀, 제랄레논, T-2 독소 등의 곰팡이독소에 대한 기준이 없으므로 이에 대한 기준마련이 필요할 것으로 사료되며, 곰팡이독소의 동시 오염에 대한 연구와 더불어, 지속적이고 광범위한 오염실태조사가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

### References

1. Turner N.W., Subrahmanyam S., Piletsky S.A.: Analytical methods for determination of mycotoxins.: a review. *Anal. Chim. Acta.*, **632**, 168-180. doi: 10.1016/j.aca.2008.11.010. (2009).
2. Rajeev B., Ravishankar V., Rai, Karim, A.A.: Mycotoxins in Food and Feed: Present Status and Future Concerns. *Comprehensive reviews in Food science and Food safety.*, <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2009.00094.x> (2009).
3. Ministry of food and drug safety, Risk profiles (Mycotoxins), (2016).
4. Song, H.H., Kim, J. and Lee, C.: A review of mycotoxins from Fusarium species. *Safe Food.*, **1**, 19-28 (2006).
5. Mounir A., Cooper C.: Determination of Aflatoxins in Foods Using HPLC and a Commercial ELISA System. *J. Food Prot.*, **54**, 291-294 (1991).
6. Kos J., Janić Hajnal E., Jajić I., Krstović S., Mastilović J., Šarić B., Jovanov P.: Comparison of ELISA, HPLC-FLD and HPLC-MS/MS Methods for Determination of Aflatoxin M1 in Natural Contaminated Milk Samples. *Acta Chim. Slov.*, **63**, 747-756 (2016).
7. Bahobail A., Hassan S.A., El-Deeb B.A.: Microbial quality and content aflatoxins of commercially available eggs in Taif, Saudi Arabia, *African J. of Microbio. Resear.*, **6**, 3337-3342 (2012).
8. Zachariasova, M., Hajslova, J., Kostelanska, M., Poustka, J., Krplova, A., Cuhra, P., Hochel, I.: Deoxynivalenol and its conjugates in beer: a critical assessment of data obtained by

- enzyme-linked immunosorbent assay and liquid chromatography coupled to tandem mass spectrometry. *Anal. Chim. Acta.*, **625**, 77-86 (2008).
9. Park M.J., Yoon M.H., Hong H.G., Joe T.S., Lee I.S., Park J.H., Ko H.U.: A study on the conditions of mycotoxin production based on the aflatoxin contents and production in food. *The Report of Gyeonggi-do Insititute of Health and Environment*, 183-188 (2007).
  10. Kim J., Kim Y., Lee C., Seo M., Jang M., Ku E., Park K., Yoon M., A Study on the Safety of Mycotoxins in Grains and Commonly Consumed Foods. *J. Food Hyg. Saf.*, **32**, 470-476 (2017).
  11. Diella G, Caggiano G, Ferrieri F, Ventrella A, Palma M, Napoli C, Rutigliano S, Lopuzzo M, Lovero G, Montagna MT.: Aflatoxin contamination in nuts marketed in Italy: preliminary results. *Ann Ig.*, **30**, 401-409. doi: 10.7416/ai.2018.2240 (2018).
  12. Chen M., Hsu Y., Wang T., Chien S.: Mycotoxin monitoring for commercial foodstuffs in Taiwan. *J. fd. drug analysis.*, **24**, 147-156 (2016).
  13. Essawet N., Abushahma H., Inbaia S., Najii A., Amra H.A.: Natural Incidence of Aflatoxins and Ochratoxin A Nuts Collected from Local Market in Tripoli. *Intern. J. Current Microbio. Appl. Scien.*, **6**, 1479-1486 (2017).
  14. Cheraghali A.M., Yazdanpanah H., Doraki N., Abouhossain G., Hassibi M., Ali-abadi S., Aliakbarpoor M., Amirahmadi M., Askarian A., Fallah N., Hashemi T., Jalali M., Kalantari N., Khodadadi E., Maddah B., Mohit R., Mohseny M., Phaghihy Z., Rahmani A., Setoodeh L., Soleimany E., Zamanian F. : Incidence of aflatoxins in Iran pistachio nuts. *Fd. Chem. Toxicol.*, **45**, 812-816 (2007).
  15. Cunha, S.C., Sá, S., Fernandes, J.O.: Multiple mycotoxin analysis in nut products: Occurrence and risk characterization, *Fd. Chemical Toxicology.*, doi: 10.1016/j.fct.2018.02.039 (2018).
  16. Chun, H.S. and Chung, S.H. : Safety evaluation for mycotoxins in foods. The annual report of MFDS, **8**, 287-311 (2009).
  17. Lee S., Kim M., Oh S., Chun H.S.: Trends in Researches of Fusarium Mycotoxins, T-2 toxin and HT-2 toxin in Domestic and Foreign Countries, *J. Fd Hyg. Safety.*, **27**, 1-17 (2012).
  18. Alassane-Kpembi I., Puel O., Pinton P., Cossalter A.M., Chou T.C., Oswald I.P.: Co-exposure to low doses of the food contaminants deoxynivalenol and nivalenol has a synergistic inflammatory effect on intestinal explants. *Arch. Toxicol.*, **91**, 2677-2687. doi: 10.1007/s00204-016-1902-9 (2017).
  19. De Ruyck K., De Boevre M., Huybrechts I., De Saeger S. : Dietary mycotoxins, co-exposure, and carcinogenesis in humans: Short review. *Mutat. Res. Rev. Mutat. Res.*, **766**, 32-41. doi: 10.1016/j.mrrev.2015.07.003 (2015).