

## 유통 어린이 과자 중 곰팡이독소 실태 조사

박동주\* · 구희수 · 박혜영 · 송은주 · 김은주 · 방영주 · 박한솔 · 김다영 · 박성아  
부산광역시 보건환경연구원 식품분석팀

### Mycotoxin Contamination in Infant and Toddler Snacks and Regular Snacks

Dong-Ju Park\*, Hee-Soo Koo, Hye-Young Park, Eun-Joo Song, Eun-Ju Kim, Yung-Ju Bang,  
Han-Sol Park, Da-Young Kim, Sung-Ah Park

Food Analysis Team, Busan Metropolitan City Institute of Health and Environment, Busan, Korea

(Received August 31, 2024/Revised October 26, 2024/Accepted November 2, 2024)

**ABSTRACT** - In this study, we investigated the mycotoxin contamination levels in snacks, focusing on products available in supermarkets in Busan, Korea, between February 2023 and November 2023. A total of 105 samples were analyzed for eight mycotoxins: aflatoxins 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 using liquid chromatography coupled with mass spectrometry. The matrix-matched calibration curve demonstrated excellent linearity with a correlation coefficient ( $r^2$ ) of 0.999. Detection limits and quantification limits ranged from 0.16-1.26  $\mu\text{g}/\text{kg}$  and 0.48-3.83  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , respectively. Mycotoxins were detected in 7 out of 38 infant and toddler products, with fumonisin found in 5 samples (8.0-97.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ), and zearalenone in 4 samples (1.6-6.3  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ). Among 67 regular snacks, 26 were contaminated. The mycotoxins detected included fumonisin in 14 samples (0.8-109.6  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ), zearalenone in 11 samples (1.2-7.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ), ochratoxin A in 7 samples (0.4-0.8  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ), and total aflatoxins in 2 samples (1.2-1.6  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ). High-performance liquid chromatography did not detect aflatoxin M<sub>1</sub>, deoxynivalenol, or patulin in any of the samples. Risk assessment estimates for aflatoxin B<sub>1</sub> indicated a daily intake of 0.0001-0.0010  $\mu\text{g}/\text{kg}$  b.w./day. The estimated daily intake levels for fumonisin and zearalenone ranged from 0.06-1.91% of the tolerable daily intake, while ochratoxin A ranged from 0.05-0.33% of the tolerable weekly intake.

**Key words:** Mycotoxin, Aflatoxin, Fumonisin, Ochratoxin A, Zearalenone

식품 중 유해물질은 생산, 제조, 가공 또는 환경오염 등으로 인해 식품에 비의도적으로 첨가된 물질을 말하며, 버섯독, 북어독, 곰팡이독소 등의 자연독소, 납, 카드뮴, 수은 등의 중금속, 다이옥신과 같은 환경 오염물질 등으로 분류하고 있다<sup>1)</sup>. 식품에 발생하는 유해물질 중 곰팡이독소는 식품의 생산단계 및 가공·유통단계에서 발생하는 곰팡이의 2차 대사산물로<sup>2)</sup>, 화학적으로 안정하여 열을 가하는 조리 및 가공 중에 잘 파괴되지 않고 최종 식품에 남아 있어 분해나 제거가 어렵다<sup>3,4)</sup>. 또한 전 세계적으로 농

산물들이 이동하고 있기 때문에 어느 곳에서도 다양한 곰팡이독소가 존재할 수 있으며<sup>5)</sup>, 최근 기후변화로 인한 폭염, 집중호우, 기온상승으로 인해 곰팡이 발생이 증가할 수 있고, 이러한 농산물과 가공한 식품에서 곰팡이독소가 생성될 가능성이 지속적으로 높아지고 있다<sup>6)</sup>.

곰팡이독소는 사람에게 세포독성, 발암성, 변이유발원으로 직접 질병을 일으키거나, 성장저하, 면역기능저하 등 간접적인 질병을 일으켜<sup>2)</sup>, 세계보건기구(World Health Organization, WHO)는 곰팡이독소를 식품첨가물이나 잔류농약보다 더 위험한 유해물질로 인식하고 있다<sup>7)</sup>. 국제암연구소의 발암물질 분류에 따르면, 주요 곰팡이독소 중 아플라톡신은 Group 1에 속한 발암물질로 분류되어 있으며, 오크라톡신 A와 푸모니신은 인간에 대한 발암 가능성이 있는 Group 2B, 제랄레논, 데옥시니발레논은 발암성으로 분류할 수 없는 Group 3에 속한다<sup>8)</sup>. 아플라톡신은 *Aspergillus flavus*, *A. parasiticus*에 의해 생성되는 독소로 전 세계 토양에 흔하게 분포되어 있고, 습한 열대 및 아

\*Correspondence to: Dong-Ju Park, Food Analysis Team, Busan Metropolitan City Institute of Health and Environment, Busan 46616, Korea  
Tel: +82-51-309-8902, Fax: +82-51-327-8603  
E-mail: djpark17@korea.kr

Copyright © The Korean Society of Food Hygiene and Safety. All rights reserved. The Journal of Food Hygiene and Safety is an Open-Access journal distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

열대지방에서 주로 존재하여 쌀, 밀, 옥수수, 견과류에서 많이 발생하는 것으로 알려져 있다<sup>8,9)</sup>. 아플라톡신은 20여 종의 독소가 있는데 이 중 아플라톡신 B<sub>1</sub>이 독성이 가장 강하고 간경변과 간암을 일으키는 것으로 알려져 있다<sup>5)</sup>. 주로 커피나 포도에서 발견되는 오크라톡신 A는 *A. ochraceus*, *Penicillium verrucosum*이 생산하는 독소로, 신장과 간장에 독성을 유발시키는 것으로 보고되었다<sup>9,10)</sup>. 푸모니신, 데옥시니발레놀, 제랄레논은 *Fusarium* 속 곰팡이에 의해 생성되는 독소이며, 주로 온대지방에서 생산된 농산물에서 자주 발생한다<sup>2,11)</sup>. 푸모니신은 *F. moniliforme*에 의해 생성되는 독소로 주로 옥수수 등의 곡물에 발생하며, 동물독성 연구결과에 따르면 임신한 쥐에 투여 시 자손의 체중 감소, 사람의 경우 식도암 유발과 높은 상관관계가 있는 것으로 보고되어 있다<sup>8)</sup>. 제랄레논은 *F. graminearum*, *F. moniliforme* 등에 의해 주로 생성되고, 과에스트로겐증, 유산, 불임 등 생식에 관련된 독성을 일으키는 것으로 알려져 있다<sup>10,12)</sup>.

이러한 곰팡이독소는 식품 안전성에 영향을 미치는 중요한 요인 중 하나로 Food and Agriculture Organization (FAO)/WHO 합동 식품첨가물 전문가위원회(Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, JECFA)와 유럽식품안전청에서 최대허용기준을 설정하여 이를 관리하고 있다<sup>6)</sup>. 우리나라에서는 1999년부터 아플라톡신 B<sub>1</sub>과 아플라톡신 M<sub>1</sub>에 대한 잠정허용기준을 설정하여 곡류, 두류, 견과류 및 원유, 우유류의 곰팡이독소를 관리하기 시작하였다. 이후 다양한 곰팡이독소에 대한 기준이 설정되고 있으며, 2018년에는 총아플라톡신 및 아플라톡신 B<sub>1</sub>을 식품성 원료와 가공식품으로 확대하여 관리의 범위를 넓혔다<sup>4,9)</sup>.

주로 곡류, 두류 등의 농산물에 대한 곰팡이독소 연구가 대부분이고, 가공식품의 곰팡이독소 연구는 제한적으로 진행되어 관련 연구가 부족한 실정이다<sup>12)</sup>. 또한 식품 원재료 및 가공식품의 곰팡이독소 모니터링을 지속적으로 수행하고 있으나, 좀 더 다양한 가공식품들에 대한 곰팡이독소 기준 설정이 요구되고 있어 가공식품에 대한 지속적인 모니터링이 필요할 것으로 사료된다. 특히 과자는 밀, 옥수수 등의 곡류를 주원료로 가공한 식품으로 2021년 국민영양조사에 따르면 다빈도 음식에 속하며, 어린이와 같은 특정 집단에서도 다소비 식품으로 분류되어 있다. 식품 중 곰팡이독소 오염을 미리 차단하는게 쉽지 않고, 식품에서 완벽하게 제거하기가 어렵다<sup>3)</sup>. 또한 영유아와 어린이는 성인에 비해 특정 식품의 의존도가 높고 면역체계가 성인보다 민감하기 때문에 유해물질 노출에 대한 인체 영향이 크게 나타날 수 있어 지속적인 관리가 필요하다. 따라서 본 연구는 어린이가 자주 섭취하는 과자류에 대한 곰팡이독소 오염실태를 조사하여 건강한 먹거리 선택에 유용한 정보를 제공하고자 수행하였다.

## Materials and Methods

### 실험재료

2023년 2월부터 11월까지 부산에서 유통되고 있는 영유아용 과자 38건, 일반과자 67건 총 105건을 대상으로 연구를 수행하였다. 시중에 유통되는 어린이용 과자는 영유아를 대상으로 판매되는 과자들이 대부분이어서, 영유아용으로 표시된 과자와 어린이들이 즐겨먹는 일반과자로 구분하여 실험을 수행하였다. 영유아용 과자를 특정하기 위해 대형마트의 영유아식품 코너에서 판매되는 제품과 포장지에 ‘아이, 키즈’ 등의 문구가 적힌 제품에 한하여 무작위로 구입하였으며, 일반과자는 과자 코너에서 판매되는 제품을 무작위로 선정하여 실험재료로 사용하였다. 식품 유형으로는 영유아용 과자는 과자류 35건, 시리얼류 2건, 과채가공품 1건이었으며, 일반과자는 과자류 63건, 곡류가공품 4건이었다. 모든 시료는 분쇄기(HMF-1000, Hanil Electric, Seoul, Korea)로 분쇄한 후 -20°C 냉동 보관하면서 실험재료로 사용하였다.

### 표준물질 및 시약

곰팡이독소 표준품인 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>), 오크라톡신 A, 제랄레논은 Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA)사의 제품을 사용하였고, 아플라톡신 M<sub>1</sub>, 데옥시니발레놀, 파툴린은 Romer Labs (Getzersdorf, Austria)사의 제품을 사용하였다. 곰팡이독소 추출 및 분석에 사용된 acetonitrile, methanol, ethyl acetate, diethyl ether, acetic acid는 Merck (Darmstadt, Germany)사의 제품을 사용하였고 tetrahydrofuran은 Sigma-Aldrich사의 제품을 사용하였다. formic acid는 Thermo Fisher Scientific (Rockford, IL, USA)사의 제품을 사용하였고, 이 외 분석에 사용된 모든 시약과 용매는 특급 수준으로 사용하였다.

### 곰팡이독소 시료 전처리

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>), 오크라톡신 A, 제랄레논을 동시에 추출하기 위해 분쇄한 시료 3-5 g을 달아 0.1% formic acid 함유 50% acetonitrile 용액 20 mL를 가하고 30분간 진탕기(CM-1000, Eyela, Tokyo, Japan)로 진탕한 후 3,700 ×g에서 10분간 원심분리(Combi R515, Hanil Scientific Inc., Gimpo, Korea)하였다. 상층액을 유리섬유여과지(Whatman GF/A, GE Healthcare, Buckinghamshire, UK)로 여과한 후 여액 3 mL에 물을 가해 15 mL가 되게 하여 추출액으로 하였다. 정제용 킬림(Isolute Myco 60 mg/ 3 mL, Biotage, Uppsala, Sweden)에 acetonitrile 2 mL, 물 2 mL로 활성화한 후 추출액 5 mL를 주입하였으며, 물 2 mL, 10% acetonitrile 2 mL를 흘려주었다. 0.1% formic acid 함유 acetonitrile 2 mL, methanol 4 mL로 용출 후 50°C에서 질소로 건조하고 0.1% formic acid 함유 50% methanol 용액 1 mL

에 녹여 0.2 µm syringe filter (Pall Corporation, Ann Arbor, MI, USA)로 여과한 것을 최종 시험용액으로 하였다.

아플라톡신 M<sub>1</sub>을 추출하기 위해 분쇄한 시료 10 g을 달아 40°C 온수 100 mL를 넣고 10분간 균질화하였다. 4°C에서 10분 동안 10,000 ×g로 원심분리한 후 상층액을 여과하여 추출액으로 사용하였다. 추출액 50 mL를 정제용 컬럼 (AflaM<sub>1</sub> HPLC, VICAM, Milford, MA, USA)에 주입한 후 물 20 mL로 세척하고 acetonitrile 4 mL로 용출시켰다. 용출액을 50°C에서 질소 건조하고 25% acetonitrile 0.4 mL를 가하여 녹인 후 0.2 µm syringe filter로 여과한 것을 최종용액으로 하였다. 데옥시니발레놀 추출을 위해 분쇄한 시료 20 g에 물 100 mL를 가하여 10분간 균질화한 후 10,000 ×g에서 20분간 원심분리하고 상층액을 유리섬유여과지로 여과하여 추출액으로 하였다. 정제용 컬럼(DONtest WB, VICAM)에 추출액 2 mL를 넣고, 물 5 mL를 통과시킨 후 acetonitrile 3 mL로 용출하였다. 50°C에서 질소 건조하고 17% acetonitrile 1 mL에 녹여 0.2 µm syringe filter로 여과한 것을 시험용액으로 하였다. 파툴린을 추출하기 위해 분쇄한 시료 2 g에 물 20 mL를 넣고 1분간 진탕하고, 4,392 ×g, 10분간 원심분리한 후 상층액을 여과하여 추출액으로 사용하였다. 정제용 컬럼(EASIMIP Patulin, R-Biopharm Rhone Ltd., Glasgow, UK)에 acetonitrile 2 mL, 물 1 mL로 활성화한 후 추출액 5 mL를 통과시켰다. 1% acetic acid 3 mL, 물 3 mL, diethyl ether 0.5 mL로 세척한 tetrahydrofuran 1 mL에 녹여 0.2 µm syringe filter로 여과한 것을 최종용액으로 하였다.

### 곰팡이독소 기기분석

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>), 오크라톡신 A, 제랄레논을 동시분석하기 위해 액체크로마토그래피와 질량분석기는 acquity ultra performance liquid chromatography I-class plus system (Waters, Milford, MA, USA)과 Xevo TQ-XS tandem quadrupole mass spectrometer (Waters)를 연결하여 분석하였다. 아플라톡신 M<sub>1</sub>, 데옥시니발레놀, 파툴린 분석을 위해 UV검출기와 형광검출기가 장착된 acquity UPLC I-class plus system (Waters)으로 분석하였다. 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>), 오크라톡신 A, 제랄레논의 질량분석을 위한 이온화 조건과 multiple reaction monitoring (MRM)은 Table 1, 2와 같으며, 아플라톡신 M<sub>1</sub>, 데옥시니발레놀, 파툴린 기기분석 조건은 Table 3과 같다.

### 유효성검증

곰팡이독소 표준품을 질소 건조하여 0.5-20 µg/kg의 범위에서 표준곡선을 작성하여 직선성을 확인하였다. 검출한계(limit of detection, LOD)와 정량한계(limit of quantification, LOQ)는 곰팡이독소 면적의 표준편차와 검량선의 기울기에 근거하여 산출하였으며, 회수율과 정밀성은 곰팡이독소가 검출되지 않은 과자에 최종 농도가 4,

**Table 1.** Analytical conditions for LC-MS/MS of mycotoxins

Parameter	Conditions
Column	Acquity BEH C <sub>18</sub> (2.1×100 mm, 1.7 µm)
Flow rate	0.4 mL/min
Injection volume	5 µL
Mobile phase	A: 5 mM ammonium formate, 0.1% formic acid in distilled water B: 5 mM ammonium formate, 0.1% formic acid in methanol
	Time (min)    A (%)    B (%)
	0            95        5
	0.5        95        5
	2            60        40
	9            0          100
	11.5       0          100
	12          95        5
	15          95        5
Ionization mode	ESI positive, negative mode
Capillary voltage	1 kV
Capillary temperature	500°C
Collision gas	Ar
Collision gas flow	0.17 mL/min

**Table 2.** MRM parameters for mycotoxin detection

Compound	Polarity	Precursor ion (m/z)	Product ion (m/z)	Collision energy (eV)
Aflatoxin B <sub>1</sub>	+	313.3	241.0	35
			285.1	25
Aflatoxin B <sub>2</sub>	+	315.3	259.1	30
			287.1	25
Aflatoxin G <sub>1</sub>	+	329.3	200.0	40
			243.0	25
Aflatoxin G <sub>2</sub>	+	331.3	189.0	40
			245.1	30
Fumonisin B <sub>1</sub>	+	722.7	318.3	40
			336.3	35
Fumonisin B <sub>2</sub>	+	706.7	334.3	40
			352.3	35
Ochratoxin A	+	404.4	102.0	65
			239.0	25
Zearalenone	-	317.1	130.9	-30
			174.9	-25

8, 40 µg/kg이 되도록 표준품을 첨가하여 곰팡이독소 분석법에 따라 3회 반복하여 실험하였다.

**Table 3.** Analytical conditions for high performance liquid chromatography (HPLC) of mycotoxins

Parameter	Conditions		
	Aflatoxin M <sub>1</sub>	Deoxynivalenol	Patulin
Column	Symmetry C <sub>18</sub> (3.9×150 mm, 5 μm)	Capcell pak C <sub>18</sub> (4.6×250 mm, 5 μm)	Acquity BEH C <sub>18</sub> (2.1×100 mm, 1.7 μm)
Mobile phase	Acetonitrile : Water (25:75, v/v)	Acetonitrile : Water (17:83, v/v)	0.8% Tetrahydrofuran
Flow rate	1 mL/min	1 mL/min	0.3 mL/min
Detector	Fluorescence detector Ex: 365 nm Em: 435 nm	UV detector UV 220 nm	UV detector UV 276 nm
Temperature	40°C	40°C	35°C
Injection volume	10 μL	50 μL	10 μL

### 위해도 평가

곰팡이독소가 검출된 33건의 과자 및 곡류가공품에 대하여 곰팡이독소 함유 식품을 섭취할 경우를 가정하여 위해도를 계산하였다<sup>1,3,14</sup>. 1일 인체노출량(estimated daily intake, EDI)은 곰팡이독소의 평균 검출량과 식품의 1일 섭취량을 곱하고 평균 체중을 나누어 산출하였으며, 과자의 1일 섭취량과 평균 체중은 2021년 국민영양통계(Korea Health Industry Development Institute, KHIDI) 자료를 기초로 적용하였다. 아플라톡신 B<sub>1</sub>은 독성참고값(0.37 μg/kg b.w./day)과 비교한 노출안전역(margin of exposure, MOE)으로 확인하였으며, 푸모니신과 제랄레논은 1일 인체노출량과 1일 섭취한계량(tolerable daily intake, TDI)과 비교하여 TDI 대비 %로 위해 수준을 확인하였다. 식품의약품안전처에서 제시한 푸모니신의 TDI는 1.65 μg/kg b.w./day이었고, 제랄레논의 TDI는 0.4 μg/kg b.w./day이었다. 오크라톡신 A는 주간 인체노출량(provisional tolerable weekly intake, PTWI)과 주간 섭취한계량(tolerable weekly intake, TWI)과 비교하여 TWI 대비 %로 위해수준을 확인하였다. 식품의약품안전처에서 제시한 오크라톡신 A의 TWI는 0.11 μg/kg b.w./week이었다.

$$EDI = \frac{\text{Average amount of mycotoxins } (\mu\text{g/kg}) \times \text{Average daily intake of food } (\text{g/day})}{\text{Average weight } (\text{kg b.w.})}$$

$$MOE = \frac{BMDL_{10} (\mu\text{g/kg b.w./day})}{\text{Estimated daily intake (EDI, } \mu\text{g/kg b.w./day)}$$

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

$$PTWI = \frac{\text{Average amount of mycotoxins } (\mu\text{g/kg}) \times \text{Average daily intake of food } (\text{g/day})}{\text{Average weight } (\text{kg b.w.})} \times 7$$

Provisional tolerable weekly intake

$$\%TWI = \frac{(\text{PTWI, } \mu\text{g/kg b.w./week})}{\text{Tolerable weekly intake (TWI, } \mu\text{g/kg b.w./week)} \times 100$$

### Results and Discussion

#### 직선성 및 정량한계, 검출한계

곰팡이독소 8종의 상관계수( $r^2$ ) 값은 0.999 이상의 우수한 직선성을 보였으며, 검출한계는 0.16-1.26 μg/kg, 정량한계는 0.48-3.83 μg/kg으로 나타났다. 회수율은 아플라톡신 B<sub>1</sub> 91.9-94.4%, 아플라톡신 B<sub>2</sub> 90.1-94.4%, 아플라톡신 G<sub>1</sub> 88.7-94.0%, 아플라톡신 G<sub>2</sub> 80.5-83.9%, 푸모니신 B<sub>1</sub> 75.2-83.0%, 푸모니신 B<sub>2</sub> 83.7-91.9%, 오크라톡신 A 73.1-78.7%, 제랄레논 106.6-116.6%이었으며, 상대표준편차는 0.1-15.4%를 나타냈다(Table 4).

#### 영유아용 과자 중 곰팡이독소 검출현황

영유아용 과자 38건의 곰팡이독소를 분석한 결과는 Table 5와 같았다. 과자류 7건(18.4%)에서 곰팡이독소가 검출되었으며, 시리얼류와 과채가공품에서는 검출되지 않았다. 검출된 곰팡이독소는 푸모니신(B<sub>1</sub>과 B<sub>2</sub>의 합)이 5건, 제랄레논이 4건이었으며, 총아플라톡신(B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, G<sub>1</sub> 및 G<sub>2</sub>의 합), 오크라톡신 A, 아플라톡신 M<sub>1</sub>, 데옥시니발레놀 및 파툴린은 모든 시료에서 검출되지 않았다.

푸모니신은 5건(13.2%)으로 가장 많이 검출되었으며, 검출량은 8.0-97.0 μg/kg이었다. Lee 등<sup>15</sup>의 연구에서 영유아용 과자류에서 푸모니신 B<sub>1</sub>은 9.78-78.94 μg/kg, 푸모니신 B<sub>2</sub>는 5.58-11.73 μg/kg 검출되었다고 보고하였으며, Hernández 등<sup>16</sup>은 미국에서 판매되는 영유아용 곡류 제품 중 푸모니신이 336 μg/kg 검출되었다고 보고하여, 본 연구의 검출량과 비슷하거나 낮은 수준을 보였다. 우리나라의 경우 과자류에 대한 푸모니신 기준은 옥수수 50% 이상 함유 과자에 1,000 μg/kg 이하로 정해져 있다. 푸모니

**Table 4.** Correlation coefficient, LOD, LOQ, and recovery of mycotoxins in snacks

Mycotoxin	Correlation coefficient ( $r^2$ )	LOD <sup>1)</sup> ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	LOQ <sup>2)</sup> ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	Recovery $\pm$ RSD <sup>3)</sup> (%)		
				Low level	Medium level	High level
Aflatoxin B <sub>1</sub>	0.9998	0.20	0.62	94.0 $\pm$ 0.9	94.4 $\pm$ 0.4	91.9 $\pm$ 0.8
Aflatoxin B <sub>2</sub>	0.9999	0.22	0.68	94.0 $\pm$ 0.9	94.4 $\pm$ 0.4	90.1 $\pm$ 0.8
Aflatoxin G <sub>1</sub>	0.9999	0.78	2.36	94.0 $\pm$ 0.9	88.8 $\pm$ 0.7	88.7 $\pm$ 0.9
Aflatoxin G <sub>2</sub>	0.9999	0.18	0.54	83.6 $\pm$ 1.4	83.9 $\pm$ 0.6	80.5 $\pm$ 1.0
Fumonisin B <sub>1</sub>	0.9999	1.26	3.83	80.0 $\pm$ 7.1	75.2 $\pm$ 3.3	83.0 $\pm$ 4.2
Fumonisin B <sub>2</sub>	0.9993	0.35	1.05	83.7 $\pm$ 15.4	89.2 $\pm$ 1.4	91.9 $\pm$ 2.2
Ochratoxin A	0.9999	0.16	0.48	73.1 $\pm$ 0.1	73.1 $\pm$ 0.8	78.7 $\pm$ 0.6
Zearalenone	0.9999	1.14	3.45	116.6 $\pm$ 2.7	106.6 $\pm$ 5.1	113.0 $\pm$ 1.2

<sup>1)</sup>LOD: limit of detection.<sup>2)</sup>LOQ: limit of quantification.<sup>3)</sup>RSD: relative standard deviation.**Table 5.** Incidence and range of mycotoxins levels in infants and toddlers products

Mycotoxins	Food type	Incidence		Range ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	Mean ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	Limit ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )
		No. <sup>1)</sup>	%			
Aflatoxin B <sub>1</sub>	Snacks	0/35	0	N.D.	N.D.	10
	Cereals	0/2	0	N.D.	N.D.	10
	Processed fruits	0/1	0	N.D.	N.D.	10
Total Aflatoxin	Snacks	0/35	0	N.D.	N.D.	15
	Cereals	0/2	0	N.D.	N.D.	15
	Processed fruits	0/1	0	N.D.	N.D.	15
Fumonisin	Snacks	5/35	13.2	8.0-97.0	41.1	1,000 <sup>2)</sup>
	Cereals	0/2	0	N.D.	N.D.	1,000
	Processed fruits	0/1	0	N.D.	N.D.	-
Ochratoxin A	Snacks	0/35	0	N.D.	N.D.	-
	Cereals	0/2	0	N.D.	N.D.	-
	Processed fruits	0/1	0	N.D.	N.D.	-
Zearalenone	Snacks	4/35	10.5	1.6-6.3	3.3	50
	Cereals	0/2	0	N.D.	N.D.	50
	Processed fruits	0/1	0	N.D.	N.D.	-
Aflatoxin M <sub>1</sub>	Snacks	0/35	0	N.D.	N.D.	-
	Cereals	0/2	0	N.D.	N.D.	-
	Processed fruits	0/1	0	N.D.	N.D.	-
Deoxynivalenol	Snacks	0/35	0	N.D.	N.D.	-
	Cereals	0/2	0	N.D.	N.D.	500
	Processed fruits	0/1	0	N.D.	N.D.	-
Patulin	Snacks	0/35	0	N.D.	N.D.	-
	Cereals	0/2	0	N.D.	N.D.	-
	Processed fruits	0/1	0	N.D.	N.D.	-
Total		7/38	18.4	-	-	-

<sup>1)</sup>Number of detected samples / Number of analyzed samples.<sup>2)</sup>Snacks containing 50% or more of maize.

신이 검출된 시료 5건 중 1건은 옥수수 50% 이상 함유된 제품으로 허용범위 수준으로 적합하였으나, 4건은 옥수수

가 50% 이하로 포함되어 있어 기준을 적용할 수 없었다. 하지만 최대 검출량이 53.6  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 으로 옥수수 50% 이상

함유 과자류 기준의 5.4%로 오염도가 낮게 나타났다. 기존 연구에서 푸모니신은 쌀, 보리, 곡류가공품 등에서 검출되는데 전 세계적으로 주로 옥수수에서 발견되는 것으로 알려져 있으며<sup>3)</sup>, Jung 등<sup>8)</sup>은 곡류 중 수수는 66.7%, 옥수수는 62.7%로 푸모니신이 높게 검출되었다고 보고하였다. 본 연구에서 검출된 모든 시료에 옥수수 성분이 들어 있는 것으로 보아 원재료를 통해 곰팡이독소에 오염되었을 가능성이 높은 것으로 사료된다.

제랄레논은 4건(10.5%)에서 검출되었으며, 검출량은 1.6-6.3 µg/kg이었다. Coppa 등<sup>17)</sup>의 연구에서 유아용 곡류가공품 중 곰팡이독소 발생 정도를 살펴보면, 미국은 검출률 12%, 검출량 8.9-26 µg/kg이었고, 스페인은 검출률 6%, 검출량 10-15 µg/kg, 튀니지는 검출률 34%, 검출량 불검출-44 µg/kg 정도로 보고되었으며, 본 연구에서 최대 검출량이 6.3 µg/kg으로 다른 연구 결과와 비교해 낮은 수준인 것으로 나타났다. 우리나라에서는 과자류에 대한 제랄레논 기준이 50 µg/kg 이하로 설정되어 있으며, 최대 검출량이 6.3 µg/kg으로 과자류 기준의 12.6% 정도로 낮은 수준이었고 모두 기준 이내로 적합하였다.

**일반과자 중 곰팡이독소 검출현황**

일반과자 67건의 곰팡이독소를 분석한 결과는 Table 6과 같았다. 26건(38.8%)에서 곰팡이독소가 검출되었으며, 식품 유형별로 살펴보면 과자류 63건 중 22건(34.9%)에서

검출되었으며, 곡류가공품 4건(100%)에서 검출되었다. 검출된 곰팡이독소는 푸모니신 14건, 제랄레논 11건, 오크라톡신 A 7건, 아플라톡신 B<sub>1</sub> 2건이었으며, 아플라톡신 M<sub>1</sub>, 데옥시니발레놀 및 파툴린은 모든 시료에서 검출되지 않았다.

푸모니신은 과자류에서 11건(17.5%) 검출되었으며, 검출량은 0.8-109.6 µg/kg이었고, 곡류가공품에서는 3건(75.0%) 검출되었으며, 검출량은 6.7-96.2 µg/kg이었다. 검출된 시료 14건 중 과자류 4건은 옥수수 50% 이상 함유 과자로 기준 이내로 적합하였다. 나머지 검출된 시료는 옥수수가 50% 미만 포함되어 있어 기준을 적용할 수 없었지만, 최대 검출량이 96.2 µg/kg으로 과자류 기준의 9.6% 수준으로 오염도가 낮은 것을 확인하였다. 일반과자에서 푸모니신이 검출된 시료 14건 중 13건의 원재료에 옥수수가 포함되어 있어 원료 농산물에서 기인한 것으로 보이며, 원재료와 이를 주원료로 하는 가공식품에 대한 곰팡이독소의 지속적인 조사가 필요할 것으로 사료된다.

제랄레논은 과자류에서 10건(15.9%) 검출되었으며, 검출량은 1.2-7.0 µg/kg이었고, 곡류가공품에서 1건(25.0%) 검출되었으며, 검출량은 1.6 µg/kg이었다. 본 연구에서 과자류 10건은 과자류 기준 50 µg/kg 이하에 모두 적합하였으며, 곡류가공품 1건은 기준이 설정되어 있지 않아 적용할 수 없었으나, 최대 검출량이 과자류 기준의 3.2%에 해당하여 오염도가 낮은 수준이었다. Jang 등<sup>12)</sup>의 결과에서 국내 유통되는 과자류 141건 중 5건(3.5%)에서 검출되었으

**Table 6.** Incidence and range of mycotoxins levels in regular snacks

	Food type	Incidence		Range (µg/kg)	Mean (µg/kg)	Limit (µg/kg)
		No.	%			
Aflatoxin B <sub>1</sub>	Snacks	0/63	0	N.D.	N.D.	10
	Grain products	2/4	50.0	1.2-1.6	1.4	10
Total Aflatoxin	Snacks	0/63	0	N.D.	N.D.	15
	Grain products	2/4	50.0	1.2-1.6	1.4	15
Fumonisin	Snacks	11/63	17.5	0.8-109.6	31.5	1,000
	Grain products	3/4	75.0	6.7-96.2	63.3	-
Ochratoxin A	Snacks	4/63	6.3	0.4-0.8	0.5	-
	Grain products	3/4	75.0	0.4	0.4	-
Zearalenone	Snacks	10/63	15.9	1.2-7.0	2.6	50
	Grain products	1/4	25.0	1.6	1.6	-
Aflatoxin M <sub>1</sub>	Snacks	0/63	0	N.D.	N.D.	-
	Grain products	0/4	0	N.D.	N.D.	-
Deoxynivalenol	Snacks	0/63	0	N.D.	N.D.	-
	Grain products	0/4	0	N.D.	N.D.	-
Patulin	Snacks	0/63	0	N.D.	N.D.	-
	Grain products	0/4	0	N.D.	N.D.	-
Total		26/67	38.8	-	-	-

며, 검출량은 6.0-17.8 µg/kg를 보였으며, Choi 등<sup>18)</sup>의 연구에서는 곡류가공품 89건 중 10건(11.2%)에서 검출되었으며 검출량은 1.1-29.7 µg/kg으로 보고되었다. 본 연구에서 제랄레논의 검출률은 다소 높았으나, 최대 검출량은 7.0 µg/kg으로 다른 연구결과에 비해 낮은 것으로 나타났다. 또한 Jung 등<sup>8)</sup>의 연구에서 밀은 40%(7.2-15.7 µg/kg), 옥수수는 37.5%(22.9-77.0 µg/kg)에서 검출되었고, Yang 등<sup>6)</sup>의 연구에서 옥수수가공품에서 507.6 µg/kg의 검출량을 보여 곡류 중 옥수수와 밀에서 높게 검출되는 것으로 보아 과자의 주원료인 옥수수, 밀 등 원료 농산물에서 기인한 것으로 사료된다.

오크라톡신 A는 과자류에서 4건(6.3%) 검출되었으며, 검출량은 0.4-0.8 µg/kg이었고, 곡류가공품에서 3건(75.0%) 검출되었으며, 검출량은 0.4 µg/kg이었다. Hernández 등<sup>16)</sup>은 각 지역에서 판매되는 영유아용 곡류 제품에서 오크라톡신 A의 검출 빈도를 조사한 결과, 지역별로 1-65% 정도의 검출률을 보여, 본 연구의 검출률은 낮은 수준인 것으로 나타났다. 또한 2016년 식품의약품안전처의 유해물질 총서<sup>19)</sup>에 따르면 밀·밀 가공품에서 0.11-0.51 µg/kg, 옥수수·옥수수가공품에서 0.20-5.24 µg/kg 정도로 오크라톡신 A가 검출된다고 보고하였으며, 본 연구에서 검출된 과자의 주원료가 밀이나 옥수수였으며, 검출량도 유사한 수준을 보였다. 오크라톡신 A는 곡류에 5.0 µg/kg 이하로 기준이 설정되어 있고, 곡류를 주원료로 가공한 과자류나 곡류가공품에는 기준이 설정되어 있지 않고 있다. 본 연구에서 검출된 과자 중 최대 검출량이 0.8 µg/kg으로 오염도가 낮은 수준이었다.

아플라톡신 B<sub>1</sub>은 곡류가공품에서 2건(50.0%) 검출되었으며, 과자류에서는 검출되지 않았다. 검출량은 1.2-1.6 µg/kg이었으며, 아플라톡신 B<sub>1</sub>을 제외한 아플라톡신 B<sub>2</sub>, G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>는 모든 시료에서 검출되지 않았다. Park 등<sup>20)</sup>의 연구에 따르면 가공식품 중 옥수수 과자 11건 중 2건(18.2%)에서 아플라톡신 B<sub>1</sub>이 검출되었다고 보고하여 본 연구의 검출률이 더 낮은 것으로 나타났다. 2021년 식품의약품안전처의 식품의 곰팡이독소 기준·규격 재평가 보고<sup>21)</sup>에 따르면 시리얼 35건 중 1건(2.9%)이 검출되었는데, 본 연구에서는 4건 중 2건(50%)이 검출되어 상이한 결과를 보였으나 이는 시료 수에서 차이가 있어 직접적으로 비교하기가 어려웠다. 우리나라에서는 식품 및 농산물을 대상으로 아플라톡신 B<sub>1</sub>에 대해서만 기준을 10 µg/kg 이하로 관리하고 있었지만, 2009년부터 곡류, 두류, 견과류 및 단순 가공품 등에 총아플라톡신(B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>의 합) 15 µg/kg(단, B<sub>1</sub>은 10 µg/kg 이하)으로 기준을 강화하였으며, 2018년부터 식물성 원료 및 가공식품으로 대상을 확대하여 기준을 적용하였다<sup>9)</sup>. 본 연구에서 아플라톡신 B<sub>1</sub>의 최대 검출 농도는 1.6 µg/kg이었으며, 검출된 시료는 기준 이내로 아플라톡신 오염도가 낮은 수준임을 확인하였다.

기존 연구에서 아플라톡신 M<sub>1</sub>은 주로 우유와 유제품에서 검출되며, 파툴린은 주로 사과 등을 제조한 과일주스와 가공품에서 발견되는 것으로 알려져 있는데<sup>7)</sup> 본 연구 대상인 과자의 주원료가 옥수수, 밀 등이며, 아플라톡신 M<sub>1</sub>과 파툴린이 잘 발생되지 않는 원료이기 때문에 검출되지 않은 것으로 판단된다. 데옥시니발레논은 주로 밀, 옥수수, 보리 등 곡류에서 발견되는 독소로 어린이 이유식, 과자 등의 가공식품에서 빈번하게 검출된다고 알려져 있고<sup>10)</sup>, Shin 등<sup>4)</sup>의 연구에서 곡류가공품인 시리얼에서 5.7%의 검출률을 보여 본 연구 결과와 차이가 있었다. 하지만 식품의약품안전처의 곰팡이독소 기준규격 재평가 결과<sup>21)</sup>에서 과자류 중 데옥시니발레논이 검출되지 않아 본 연구와 유사한 결과를 보였다.

### 다중 곰팡이독소 검출현황

곰팡이독소가 2종 이상 검출된 경우를 살펴보면, 영유아용 과자는 2건에서 2종 곰팡이독소(푸모니신, 제랄레논)가 검출되었으며, 일반과자는 2건에서 푸모니신과 제랄레논이, 다른 1건에서 푸모니신과 오크라톡신 A가 동시에 검출되었고, 1건에서 3종 곰팡이독소(푸모니신, 오크라톡신 A, 아플라톡신 B<sub>1</sub>), 1건에서 4종 곰팡이독소(푸모니신, 제랄레논, 오크라톡신 A, 아플라톡신 B<sub>1</sub>)이 동시에 검출되었다.

2종 이상의 독소에 오염된 시료 중 가장 많은 조합은 푸모니신과 제랄레논이었으며, Lee 등<sup>3)</sup>의 연구에 따르면 제랄레논과 푸모니신은 *Fusarium*속 곰팡이에 의해 생성되고, 주로 옥수수와 수수 등에서 빈번하게 발생한다고 알려져 있다. 또한 *Fusarium*속 곰팡이의 경우 한 종류 이상의 곰팡이독소를 만들 수 있고 한 시료에 다양한 곰팡이가 동시에 오염될 수도 있어서 곰팡이독소의 중복 오염이 자주 발생할 수 있는 것으로 보고되었다<sup>2)</sup>. 본 연구 대상인 과자의 원재료에 옥수수 전분 등 곡류가공품이 포함되어 있어 *Fusarium*속 곰팡이가 생성하는 곰팡이독소가 동시에 오염되었을 가능성이 있다. 또한 시리얼 형태의 곡류가공품은 다양한 곡류가 혼합되어 있고<sup>4)</sup> 견과류도 포함된 제품도 있어 다양한 곰팡이독소가 검출될 가능성이 높음을 확인할 수 있었다. Spdijers 등<sup>22)</sup>과 Tammer 등<sup>23)</sup>의 연구에서 식품 중 곰팡이독소의 중복 오염으로 여러 종의 독소들이 한번에 섭취되었을 때 독성의 상승효과를 가질 수 있고 이는 사람의 건강에 위해를 끼칠 가능성이 있다고 보고하였다. 따라서 원료 농산물에 대한 곰팡이독소 조사와 이를 원재료로 이용한 가공식품에 대한 곰팡이독소의 지속적인 조사도 필요할 것으로 판단된다.

### 곰팡이독소별 노출량 및 위해수준

영유아용 과자와 일반과자에서 검출된 아플라톡신 B<sub>1</sub>, 푸모니신, 오크라톡신 A 및 제랄레논의 1일 인체노출량을 산

출하여 곰팡이독소의 위해 수준을 평가하였다. 영유아용 과자에서 푸모니신의 1일 인체노출량은 0.0013-0.0096 µg/kg b.w./day으로, 1일 섭취한계량의 0.08-0.58% 수준이었다 (Table 7). 제랄레논은 1일 인체노출량은 0.0011-0.0076 µg/kg b.w./day으로 1일 섭취한계량의 0.26-1.91%로 나타났다. 1-2세의 인체노출량이 가장 높았으며, 3-5세, 6-11세, 전연령 순으로 낮은 수준을 보였다. 모든 연령에서 1일 섭취한계량의 2.0% 이하로, 위해 우려가 낮은 것으로 나타났다.

일반과자에서 아플라톡신 B<sub>1</sub>의 1일 인체노출량은 0.0001-0.0010 µg/kg b.w./day으로, 독성기준값 0.37 µg/kg b.w./day와 비교했을 때 위해 가능성이 낮았다(Table 8). 그러나 아

플라톡신 B<sub>1</sub>이 검출된 시료가 적어 유의미한 결과로 보기 어려움이 있을 것으로 판단된다. 푸모니신의 1일 인체노출량은 0.0038-0.0278 µg/kg b.w./day로 1일 섭취한계량의 0.23-1.69% 수준이었다. 제랄레논은 1일 인체노출량은 0.0003-0.0018 µg/kg b.w./day으로, 1일 섭취한계량의 0.06-0.45%로 나타났다. 푸모니신과 제랄레논은 인체노출기준보다 낮은 값을 보였으며, 대부분이 1.7% 이하로 위해 우려가 낮은 것으로 나타났다. 또한 오크라톡신 A의 주간 인체노출량은 0.0001-0.0004 µg/kg b.w./week으로, 주간 섭취한계량의 0.05-0.33%에 해당했다. 이는 인체노출기준보다 낮은 값으로, 위해 우려가 낮은 것으로 나타났다. 일반

**Table 7.** Risk assessment of mycotoxins in infants and toddlers products

Compound		Age			
		Total	1-2	3-5	6-11
	Average weight (kg)	62.5	12.7	18	35.5
	Daily intake food (g/day)	6.27	9.22	10.4	11.39
	Mean (µg/kg)	13.2	13.2	13.2	13.2
Fumonisin	EDI <sup>1)</sup> (µg/kg b.w./day)	0.0013	0.0096	0.0076	0.0042
	TDI <sup>2)</sup> (%)	0.08	0.58	0.46	0.26
	Mean (µg/kg)	10.5	10.5	10.5	10.5
Zearalenone	EDI (µg/kg b.w./day)	0.0011	0.0076	0.0061	0.0034
	TDI (%)	0.26	1.91	1.52	0.84

<sup>1)</sup> EDI: estimated daily intake.

<sup>2)</sup> TDI: tolerable daily intake.

**Table 8.** Risk assessment of mycotoxins in regular snacks

Compound		Age			
		Total	1-2	3-5	6-11
	Average weight (kg)	62.5	12.7	18	35.5
	Daily intake food (g/day)	6.27	9.22	10.4	11.39
	Mean (µg/kg)	1.4	1.4	1.4	1.4
Aflatoxin B <sub>1</sub>	EDI (µg/kg b.w./day)	0.0001	0.0010	0.0008	0.0004
	MOE <sup>1)</sup>	2634	364	457	824
	Mean (µg/kg)	38.3	38.3	38.3	38.3
Fumonisin	EDI (µg/kg b.w./day)	0.0038	0.0278	0.0221	0.0123
	TDI (%)	0.23	1.69	1.34	0.74
	Mean (µg/kg)	0.5	0.5	0.5	0.5
Ochratoxin A	PTWI <sup>2)</sup> (µg/kg b.w./week)	0.0001	0.0004	0.0003	0.0002
	TWI <sup>3)</sup> (%)	0.05	0.33	0.26	0.15
	Mean (µg/kg)	2.5	2.5	2.5	2.5
Zearalenone	EDI (µg/kg b.w./day)	0.0003	0.0018	0.0014	0.0008
	TDI (%)	0.06	0.45	0.36	0.20

<sup>1)</sup> MOE: margin of exposure.

<sup>2)</sup> PTWI: provisional tolerable weekly intake.

<sup>3)</sup> TWI: tolerable weekly intake.



과자에서도 1-2세의 인체노출량이 가장 높았으며, 3-5세, 6-11세, 전연령 순으로 낮았으며, 1일 섭취한계량의 1.7% 이하로 위해 우려가 낮은 수준이었다.

본 연구에서 과자류 중 곰팡이독소의 위해 수준이 안전한 것으로 나타났지만, 연령이 낮을수록 과자 섭취량이 많고 면역체계도 성인에 비해 덜 발달되어 있어, 건강에 더 해로운 영향을 미칠 수 있다. 따라서 가공식품에 대한 곰팡이독소의 지속적인 조사와 원재료 농산물에 대한 적절한 관리가 필요할 것으로 사료된다.

## 국문요약

2023년 2월부터 11월까지 부산에서 유통되고 있는 어린이 기호식품인 과자 105건에 대하여 곰팡이독소 11종(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>, 오크라톡신 A, 제랄레논, 아플라톡신 M<sub>1</sub>, 데옥시니발레놀, 파툴린)에 대한 실태를 조사하였다. 영유아용 과자는 38건 중 과자류 7건에서 곰팡이독소가 검출되었다. 검출된 곰팡이독소는 푸모니신 5건(0.8-97.0 µg/kg), 제랄레논 4건(1.6-6.3 µg/kg)이 검출되었으며, 총아플라톡신, 오크라톡신 A, 아플라톡신 M<sub>1</sub>, 데옥시니발레놀 및 파툴린은 검출되지 않았다. 검출된 시료는 기준이 있는 경우 적합하였으며, 기준이 없는 경우 최대 검출량이 기준의 5.4% 수준으로 오염도가 낮았다. 일반과자 67건 중 과자류 22건, 곡류가공품 4건에서 곰팡이독소가 검출되었으며, 푸모니신 14건(0.8-109.6 µg/kg), 제랄레논 11건(1.2-7.0 µg/kg), 오크라톡신 A 7건(0.4-0.8 µg/kg), 아플라톡신 B<sub>1</sub> 2건(1.2-1.6 µg/kg)이 검출되었으며, 아플라톡신 M<sub>1</sub>, 데옥시니발레놀 및 파툴린은 검출되지 않았다. 검출된 시료는 기준이 있는 경우 적합하였으며, 기준이 없는 경우 최대 검출량이 기준의 3.2-16.0% 정도로 오염도가 낮았다. 곰팡이독소가 2종 이상 검출현황은 영유아용 과자 중 2건에서 곰팡이독소가 동시에 검출되었으며, 일반과자 중 5건에서 곰팡이독소가 동시에 검출되었다. 2종 이상의 곰팡이독소에 오염된 시료 중 가장 많은 조합은 푸모니신과 제랄레논으로 나타났다. 곰팡이독소의 위해 평가 결과, 영유아용 과자에서 푸모니신과 제랄레논은 1일 섭취한계량의 0.08-1.91% 수준이었고, 일반과자에서 푸모니신과 제랄레논은 1일 섭취한계량의 0.06-1.69% 수준이었고, 오크라톡신 A는 주간 섭취한계량의 0.05-0.33% 수준이었다. 아플라톡신 B<sub>1</sub>의 1일 인체노출량은 0.0001-0.0010 µg/kg b.w./day으로 나타났으며, 영유아용 과자와 일반과자 모든 시료에서 1-2세의 인체노출량이 가장 높았으며, 3-5세, 6-11세, 전연령 순으로 낮은 수준을 보였으며 모든 연령에서 위해 우려가 낮은 것으로 나타났다. 본 연구는 어린이 기호식품인 과자류에 대한 곰팡이독소 오염 실태를 조사함으로써 과자류에 대한 안전성 관리에 필요한 기초자료로 이용할 수 있을 것이며, 시민들에게 건강

한 먹거리 선택에 유용한 정보를 제공할 수 있을 것으로 사료된다.

## Conflict of interests

The authors declare no potential conflict of interest.

## ORCID

Dong-Ju Park	<a href="https://orcid.org/0009-0001-5645-3768">https://orcid.org/0009-0001-5645-3768</a>
Hee-Soo Koo	<a href="https://orcid.org/0000-0001-8421-170X">https://orcid.org/0000-0001-8421-170X</a>
Hye-Young Park	<a href="https://orcid.org/0009-0009-2909-5975">https://orcid.org/0009-0009-2909-5975</a>
Eun-Joo Song	<a href="https://orcid.org/0009-0005-8104-0905">https://orcid.org/0009-0005-8104-0905</a>
Eun-Ju Kim	<a href="https://orcid.org/0000-0003-4564-6940">https://orcid.org/0000-0003-4564-6940</a>
Yung-Ju Bang	<a href="https://orcid.org/0009-0000-6150-0541">https://orcid.org/0009-0000-6150-0541</a>
Han-Sol Park	<a href="https://orcid.org/0000-0003-1288-4600">https://orcid.org/0000-0003-1288-4600</a>
Da-Young Kim	<a href="https://orcid.org/0009-0006-5798-9720">https://orcid.org/0009-0006-5798-9720</a>
Sung-Ah Park	<a href="https://orcid.org/0000-0002-2987-1788">https://orcid.org/0000-0002-2987-1788</a>

## References

- Sung, D.E., Park, S.K., Kim, M.H., Oh, S.S., Forecast of the field of research on food contaminants in Korea. *J. Food Hyg. Saf.*, **28**, 99-107 (2013).
- Kim, D.B., Park, J.S., Yoo, M.Y., Method development for determination of trichothecene mycotoxins in nuts by LC-MS/MS. *J. Food Hyg. Saf.*, **33**, 354-360 (2018).
- Lee, M.J., Wee, C.D., Ham, H.H., Choi, J.H., Baek, J.S., Lim, S.B., Lee, T., Kim, J.S., Jang, J.Y., Survey on *Fusarium* mycotoxins contamination in oat, sorghum, adlay, and proso millet during the harvest season in Korea. *J. Food Hyg. Saf.*, **35**, 13-22 (2020).
- Shin, J.M., Yun, E.S., Kim, Y.S., Lee, J.S., Choi, S.J., Lee, J.H., Oh, Y.H., Survey of mycotoxins in breakfast cereals by LC-MS/MS simultaneous analysis method. *Report of S.I.H.E.*, **52**, 34-44 (2016).
- Kim, J.K., Kim, Y.S., Lee, C.H., Seo, M.Y., Jang, M.K., Ku, E.J., Park K.H., Yoon, M.H., A study on the safety of mycotoxins in grains and commonly consumed foods. *J. Food Hyg. Saf.*, **32**, 470-476 (2017).
- Yang, Y.S., Lee, H.H., Kim, A.G., Ryu, K.Y., Choi, S.Y., Seo, D.R., Seo, K.W., Cho, B.S., Survey of mycotoxin contamination in grains and grain products. *J. Food Hyg. Saf.*, **34**, 205-211 (2019).
- Kang, K.J., Kim, H.J., Lee, Y.G., Jung, K.H., Han, S.B., Park, S.H., Oh, H.Y., Administration of mycotoxins in food in Korea. *J. Food Hyg. Saf.*, **25**, 281-288 (2010).
- Jung, S.J., Jo, S.A., Kim, D.G., Jung, S.O., Kim, K.S., Han, K.Y., Chae, Y.Z., A survey of mycotoxin in agricultural products. *Report of S.I.H.E.*, **48**, 35-45 (2012).
- Park, J.W., Yoo, M.S., Kuk, J.H., Ji, Y.A., Lee, J.H., Simultaneous determination and monitoring of aflatoxin and ochratoxin A in food. *J. Food Hyg. Saf.*, **28**, 75-82 (2013).

10. Hong, J.B., Park, K.T., Analysis of total aflatoxin, ochratoxin A, zearalenone, deoxynivalenol and T-2 toxin contamination in nuts. *J. Food Hyg. Saf.*, **34**, 58-64 (2019).
11. Kim, Y.S., Kim, Y.S., Kim, M.G., Lee, S.B., Lee, J.Y., Oh, S.H., Jung, Y.J., Seo, M.Y., Sung, J.H., Lee, W., Lee, J.B., Yoon, M.H., The safety assessment of aflatoxins and deoxynivalenol in cereals and their products. *J. Food Hyg. Saf.*, **28**, 158-167 (2013).
12. Jang, M.R., Lee, C.H., Choi, I.S., Shin, C.S., Kim, J.H., Jang Y.M., Kim, D.S., Ahn, D.H., Analysis of zearalenone contamination in cereal-based products using high performance liquid chromatography-fluorescence detector and ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *Korean J. Food Sci. Technol.*, **43**, 224-229 (2011).
13. Choi, S.J., Ko, S.K., Park, Y.A., Jung, S.J., Choi, E.J., Kim, H.S., Kim, E.J., Hwang, I.S., Shin, G.Y., Yu, I.S., Shin, Y.S., Determination of mycotoxins in agricultural products used for food and medicine using liquid chromatography triple quadrupole mass spectrometry and their risk assessment. *J. Food Hyg. Saf.*, **36**, 24-33 (2021).
14. Choi, E.J., Park, Y.A., Choi, S.J., Jung, S.J., Park, Y.S., Hwang, I.S., Yu, I.S., Shin, G.Y., Simultaneous analysis of mycotoxins and risk assessment in seeds using LC-MS/MS. *Kor. J. Pharmacogn.*, **51**, 270-277 (2020).
15. Lee, J.R., Park, H.M., Ryu, K.Y., Gang, G.L., Choi, S.Y., Cho, E.H., Cho, B.S., Kim, J.H., Safety evaluation of snacks and drinks in circulation for infants and toddlers. *J. Food Hyg. Saf.*, **38**, 99-111 (2023).
16. Hernández, M., Juan-García, A., Moltó, J.C., Mañes, J., Juan, C., Evaluation of mycotoxins in infant breast milk and infant food, Reviewing the literature data. *Toxins*, **13**, 535 (2021).
17. Coppa, C.F.S.C., Khaneghah, A.M., Alvito, P., Assunção R., Martins, C., Eş, I., Gonçalves, B.L., de Neeffa, D.V., Sant'Anab, A.S., Corassina, C.H., Oliveiraa, C.A.F., The occurrence of mycotoxins in breast milk, fruit products and cereal-based infant formula: a review. *Trends in Food Sci. Technol.*, **92**, 81-93 (2019).
18. Choi, E.J., Kang, S.T., Jung, S.Y., Shin, J.M., Jang, M.S., Lee, S.M., Kim, J.H., Chae, Y.Z., Analysis and uncertainty estimation of zearalenone in cereal-based products by LC-MS/MS. *Korean J. Food Sci. Technol.*, **44**, 658-665 (2012).
19. Ministry of Food and Drug safety (MFDS) (2024, August, 21). Risk profile 2016 (mycotoxins). Retrieved from [https://www.foodsafetykorea.go.kr/portal/board/\\_board.do?menu\\_grp=MENU\\_NEW04&menu\\_no=2944](https://www.foodsafetykorea.go.kr/portal/board/_board.do?menu_grp=MENU_NEW04&menu_no=2944)
20. Park, M.J., Yoon, M.H., Hong, H.G., Joe, T.S., Lee, I.S., Park, J.H., Ko, H.U., A survey of the presence of aflatoxins in food. *J. Food Hyg. Saf.*, **23**, 108-112 (2008).
21. Ministry of Food and Drug safety (MFDS) 2021. Mycotoxin revaluation reports in food II, Cheongju, Korea, pp. 117-183.
22. Speijers, G.J.A., Speijers, M.H.M., Combined toxic effects of mycotoxins. *Toxicol. Lett.*, **153**, 91-98 (2004).
23. Tammer, B., Lehmann, I., Nieber, K., Altenburger, R., Combined effects of mycotoxins mixtures on human T cell function. *Toxicol. Lett.*, **170**, 124-133 (2007).