



## 곡류 및 곡류가공품 중 곰팡이독소 오염도 조사 연구

양용식 · 이향희 · 김애경 · 류근영 · 최수연 · 서두리 · 서계원 · 조배식\*

광주광역시 보건환경연구원

### Survey of Mycotoxin Contamination in Grains and Grain Products

Yongshik Yang, Hyang Hee Lee, Ae Gyeong Kim, Keun Young Ryu, Su Yeon Choi, Doo Ri Seo, Kye Won Seo, and Bae Sik Cho\*

Health and Environment Research Institute of Gwangju, Gwangju, Korea

(Received February 11, 2019/Revised February 28, 2019/Accepted April 4, 2019)

**ABSTRACT** - This study surveyed mycotoxin contamination in grains and grain products, which were purchased from supermarkets and traditional markets from October 2017 to September 2018 in Gwangju (Metropolitan City). A total of 127 samples including adlay, sorghum, millet, rice, oats, barley, buckwheat, corn as grains, and rice flour, buckwheat flour, roasted barley and corn, as grain products were surveyed. The tested mycotoxins were aflatoxin (AFB<sub>1</sub>, AFB<sub>2</sub>, AFG<sub>1</sub>, AFG<sub>2</sub>), fumonisin (FUB<sub>1</sub>, FUB<sub>2</sub>), ochratoxin A (OTA), and zearalenone (ZON). Mycotoxins were analyzed simultaneously with a UPLC-tandem mass spectrometry method. Fumonisin (B<sub>1</sub>+B<sub>2</sub>) was detected at the range of 4.8~738.5 µg/kg in 35 samples and zearalenone at 8.4~507.6 µg/kg in 20 samples, respectively. No other mycotoxins were detected. Risk assessment was evaluated by using estimated daily intake (EDI) and provisional maximum tolerable daily intake (PMTDI) in accordance with the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). When the hazard index (HI) was expressed as (EDI/PMTDI) × 100, the HI (%) showed in the range of 0.0019~1.9526%. Based on these results, mycotoxin concentrations in the grains and grain products were within safe levels.

**Key words** : Mycotoxin, Contamination, Grain and grain products, Hazard index, Risk assessment

곰팡이독소는 *Fusarium*, *Aspergillus*, *Penicillium* 속에 속하는 여러 가지 유형의 곰팡이들로부터 생성되는 독성이 강한 2차 대사산물이다. 온도와 습도 등 곰팡이 생성에 우호적인 환경조건하에서 곰팡이가 빠르게 확산되고 독소가 생성되게 된다. 식품과 가축사료에 존재하는 곰팡이독소는 위장질환, 신장질환, 암, 돌연변이 등의 질병을 유발하여 인간과 가축의 건강에 악영향을 미치고 있다<sup>1)</sup>. 현재까지 약 300여종의 곰팡이독소가 확인되었으나 발생과 독성의 관점에서 볼 때 가장 주의해야할 독소는 아플라톡신 (AFs), 푸모니신(FUs), 오크라톡신 A(OTA), 제랄레논(ZON), 데옥시니발레놀(DON) 등이다<sup>2,3)</sup>. 곰팡이에 의한 식품오염을 줄이기 위한 노력에도 불구하고 위해곰팡이들은 자연계에 널리 퍼져 있어 시리얼 등의 곡물류, 견과류, 과일류와 같은 곰팡이가 생성되기 쉬운 농작물에서 빈번하게 발생한다. 곰팡이독소의 오염을 줄이기 위하여 수분활성도,

산도 등을 조절하는 방법들이 연구되어 왔다. 최근에는 곤충에 저항성을 가진 농작물을 개발하여 곰팡이독소의 생성의 방지를 위해 유전자 조작을 이용하는 방법도 시도되고 있다<sup>4,5)</sup>.

농작물에서 곰팡이독소는 수확 전, 수확하는 과정과 건조과정, 저장과정 등 다양한 과정에서 생성될 수 있다. 부적절한 경작 및 수확 규정, 부주의한 농작물의 건조, 취급, 포장, 보관, 수송조건 등이 곰팡이의 생장을 증진시켜 곰팡이독소 생성의 위험성을 증가시킬 수 있다. 일단 식품은 건조과정 등을 거쳐 한번 가공이 되어 곰팡이가 생성될 수 있는 조건이 아니면, 즉 수분활성도가 곰팡이가 생기지 않을 정도로 충분히 낮으면 곰팡이독소는 더 이상 생성되기 어렵다. 그러나 저장식품의 수분활성도가 곰팡이가 자랄 정도로 높아지면 가공식품에서도 독소가 생성될 수 있다<sup>6)</sup>.

곰팡이독소는 열에 안정하고 화학적, 물리적 처리에도 안정하므로 기본적인 식품조리과정에서 쉽게 제거되지 않고, 독성이 강하기 때문에 많은 나라들은 식품과 동물사료에 대해서 엄격한 규제를 하고 있다. 1980년대 33개국

\*Correspondence to: Bae Sik Cho, Health and Environment Research Institute of Gwangju, 149 Hwajeong-ro, Seo-gu, Gwangju 61986, Korea  
Tel: 82-62-613-7562. Fax: 82-62-613-7567  
E-mail: foodcbs@korea.kr

에서 특정 곰팡이독소를 규제한 이래로 2003년도에는 100여국에서 곰팡이독소 검출기준을 설정하였으며, 2010년 기준 식품, 사료 등에 13종의 곰팡이독소에 대한 기준이 설정되어 있다. 1990년도까지 곰팡이독소에 대한 규제는 대부분 개별 국가의 설정에 의해 이루어졌으나 점차 유럽연합(EU), 남미공동시장 등과 같은 경제협력기구의 경제구역별로 규제되고 있다. 또한 세계보건기구(WHO)와 국제식량농업기구(FAO) 산하의 식품첨가물에 대한 전문가 위원회(JECFA)에서 곰팡이독소와 관련된 위해도 평가를 하고 있다. 유럽연합(EU)에서는 유럽연합집행위원회 산하 유럽식품안전청(EFSA)에서 곰팡이독소 관련 업무를 담당하고 있다. 2001년에 집행위원회의 식품과학위원회(SCF)가 식품에서 아플라톡신(AFs), 오크라톡신 A(OTA), 파툴린(PAT)에 대한 최대잔류 허용기준을 설정하였으며 이후 지속적으로 갱신되고 있다. 우리나라에서는 식품의약품안전처에서 각 식품별로 총아플라톡신, 아플라톡신 B<sub>1</sub>, 아플라톡신 M<sub>1</sub>, 오크라톡신 A, 푸모니신, 데옥시니발레논, 파툴린, 제랄레논에 대한 기준을 설정하여 관리하고 있다<sup>2,7,8)</sup>.

지구온난화로 인한 폭염, 집중호우, 이상기온 등 기후변화로 인해 곡류의 재배과정과 유통과정에서 곰팡이가 생성될 가능성이 점점 더 높아지고 있고, 우리나라의 소득수준이 높아지면서 건강한 삶에 대한 관심과 기대가 높아짐으로 인해 위해물질로부터 안전한 먹을거리에 대한 기대와 욕구가 증가하는 추세이므로 본 연구에서는 시중에서 유통되는 곡류와 곡류가공품에 대하여 곰팡이독소에 대한 오염수준과 안전성을 평가하여 식품선택에 있어 소비자에게 유용한 정보를 제공하고자 하였다.

## Materials and Methods

### 재료

실험에 사용된 시료는 2017년 10월부터 2018년 9월까지 광주광역시 시내 슈퍼, 대형마트 및 재래시장에서 구입한 곡류 75건, 곡류가공품 52건 총 127건을 대상으로 곰팡이독소 함량을 조사하였다. 모든 시료는 균질화(DA-280 Gold, Daesung Artlon, Korea)하여 -20°C에서 냉동보관하면서 검사를 진행하였다(Table 1).

**Table 1.** Distribution of samples

Type	Foods
Grains (75)	Adlay (5), sorghum (8), millet (Proso, 9), millet (Foxtail, 7), unpolished rice (6), rice (5), corn (1), buckwheat (3), etc (31)
Grain products (52)	Adlay (6), sorghum (2), unpolished rice (7), corn (5), buckwheat (3), rice flour (Glutinous, 5), etc (24)
Total	127

### 표준물질, 시약 및 분석기기

표준물질로 사용한 아플라톡신(AFB<sub>1</sub>, AFB<sub>2</sub>, AFG<sub>1</sub>, AFG<sub>2</sub>), 오크라톡신 A(OTA), 제랄레논(ZON), 푸모니신(FUB<sub>1</sub>, FUB<sub>2</sub>)은 Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA)사 제품을 구입하여 사용하였으며, 추출 및 분석에 사용된 아세토니트릴(ACN)과 메탄올(MeOH)은 HPLC용 시약(Merck, Darmstadt, Germany)을 사용하였다.

### 표준용액 조제

아플라톡신 B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, G<sub>1</sub>은 100 ng/mL, 아플라톡신 G<sub>2</sub>, 푸모니신 B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, 오크라톡신 A는 200 ng/mL, 제랄레논은 1,000 ng/mL으로 제조하여 이중 0.1 mL를 취하여 질소가스를 이용하여 농축한다. 농축한 것을 matrix matched calibration 작성을 위해 식품유형이 동일한 시료 중 곰팡이독소가 검출되지 않은 시료를 대상으로 전처리를 마친 다음 추출액 1 mL을 이용하여 재용해한 것을 가지고 아플라톡신 B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, G<sub>1</sub>은 1, 2, 5, 10 ng/mL, 아플라톡신 G<sub>2</sub>, 푸모니신 B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, 오크라톡신 A는 2, 5, 10, 20 ng/mL, 제랄레논은 10, 20, 50, 100 ng/mL이 되도록 하여 검량선을 작성하였다.

### 시료의 전처리

시료의 전처리는 식품공전 시험법의 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>) 동시 분석법에 따라 실시하였다<sup>9)</sup>. 검체를 분쇄하여 균질화한 시료 약 5 g을 정밀히 달아 0.1% formic acid 함유 50% ACN 20 mL를 가하고 30분간 shaker를 이용하여 추출하고 3,500 rpm에서 5분간 원심분리(Centrifuge 5810, Eppendorf, Hamburg, Germany)한 후, 이를 유리섬유여과지(Whatman GF/A, GE Healthcare, Buckinghamshire, UK)로 여과한다. 여액 4 mL를 취하여 증류수 16 mL를 가해 20 mL로 하여 추출액으로 한다.

정제용 카트리지(Isolute<sup>®</sup>, Myco, 60 mg/3 mL, Biotage, Cardiff, UK)를 미리 ACN 2 mL, 증류수 2 mL로 차례로 활성화시킨 다음 추출액 5 mL를 주입하여 유출시킨다. 이어서 증류수 2 mL, 10% ACN 2 mL를 유출시키고, 카트리지에 남아 있는 용액을 감압펌프를 이용하여 제거한 후, 0.1% formic acid 함유 ACN 2 mL, MeOH 4 mL를 차례로 흘려 유출시킨다. 이 용출액을 50°C에서 질소로 건조시키고 잔류물에 0.1% formic acid 함유 50% MeOH 1 mL를 가하여 녹인 후, 0.2 µm syringe filter(Advantec, 13HP, 020AN, Tokyo, Japan)로 여과한 액을 최종 시험용액으로 하였다.

### 시험조작

분석기기는 UPLC (ACQUITY<sup>™</sup>, Waters, Milford, MA, USA)가 연결되어 있는 MS/MS (TQD, Waters, Milford,

MA, USA)를 사용하였고 UPLC와 MS/MS 분석 조건은 Table 2, 3과 같다.

## Results and Discussion

### 검출한계 및 정량한계

검출한계(Limit of detection, LOD)와 정량한계(Limit of quantification, LOQ)는 각 농도별 표준용액을 사용하여 5회 시험하여 아래의 식으로부터 측정하였다.

$$\text{LOD} = 3.3 \sigma/S$$

$$\text{LOQ} = 10 \sigma/S$$

$\sigma$  = The standard deviation of the response

S = The slope of the calibration curve

아플라톡신의 경우 검출한계는 0.6~1.7  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 정량한계

는 1.7~5.3  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 이었으며, 오크라톡신 A의 검출한계와 정량한계는 각각 1.6  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 과 5.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 푸모니신 B<sub>1</sub>은 3.5  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 과 10.4  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 푸모니신 B<sub>2</sub>는 2.5  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 과 7.5  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 제랄레논은 5.8  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 과 17.4  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 로 나타났다.

### 곡류의 곰팡이독소 검출현황

광주광역시 시내 슈퍼, 대형마트 및 재래시장에서 유통 중인 곡류 75건을 분석한 결과 25건에서 푸모니신 B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, 제랄레논 등 3종의 곰팡이독소가 검출되어 33.3%의 검출률을 보였다(Table 4). 종류별로는 울무 5건 중 5건 검출(100.0%), 수수 8건 중 6건 검출(75.0%), 기장 9건 중 5건 검출(55.6%), 조 7건 중 5건 검출(71.4%), 현미 6건 중 3건 검출(50.0%), 옥수수 1건 중 1건 검출(100.0%)로 나타났다. 곰팡이독소별로는 푸모니신은 울무 5건(12.3~66.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ), 수수 6건(46.4~166.7  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ), 기장 4건(4.8~46.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ), 조 5건(12.2~57.5  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ), 현미 2건(10.3, 11.2  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ), 옥수수 1건(738.5  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )에서 검출되어 총 30.7%의 검출률을 나타내었다. 가장 높게 검출된 옥수수의 경우 기준(4,000  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )과 비교했을 때 18.5% 수준이었다. 제랄레논은 울무 4건(11.2~90.6  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ), 수수 4건(14.3~34.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ), 기장 2건(13.3, 64.6  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ), 조 3건(14.0~21.5  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ), 현미 1건(15.4  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )에서 검출되어 총 24.0%의 검출률을 보였으며 곡류기준(100  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) 이하로 나타나 안전한 수준으로 판단되었다. 이번 조사에서 현미 6건 중에서 푸모니신이 2건 검출되었고, 제랄레논은 1건 검출되었으나 중복 검출은 없었다. 또한 백미 5건을 검사하였으나 어떤 곰팡이 독소도 검출되지 않았다. 쌀의 경우 Kim 등<sup>10)</sup>의 연구결과에 의하면 벼, 현미, 쌀의 곰팡이독소 검사결과 왕겨 제거과정과 도정과정을 거치면서 독소 함유량이 현저하게 감소하였다. 왕겨제거 과정 전에는 푸모니신 B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, 제랄레논 등이 모두 검출되었으나 도정백미에서는 푸모니신 B<sub>1</sub>만 검출되었다고 보고하였다. 즉 도정과정 등을 거치면서 표면의 일정부분이 깎여나가 독소 제거효과가 있는 것으로 판단되었다. 귀리, 쌀, 보리, 울무, 수수, 기장, 조 등의 곡류에서 곰팡이독소를 조사한 Kim 등<sup>11)</sup>

**Table 2.** The analytical conditions of UPLC and MS/MS for mycotoxins

Instrument	Parameter	Operation conditions
UPLC	Column	ACQUITY UPLC® BEH C <sub>18</sub> , 1.7 $\mu\text{m}$ , 2.1×100 mm
	Mobile phase	A : B = 55 : 45 → 5 : 95 A : 0.1% formic acid in H <sub>2</sub> O B : 0.1% formic acid in ACN
	Flow rate	0.4 mL/min
	Injection volume	10 $\mu\text{L}$
	Run time	10 min
	MS/MS	Ionization mode
	Gas	Ar (Collision) and N <sub>2</sub> (Auxiliary)
	Temperature	140°C (Source) and 450°C (Desolvation)
	Collision energy(V)	14~40
	Dwell time(sec)	0.05

**Table 3.** Multiple Reaction Monitoring (MRM) conditions for the analysis of mycotoxins

Mycotoxins	Ionization Mode	Ion(m/z)		Cone voltage(V)	Collision energy(V)
		Parent	Product		
Aflatoxin B <sub>1</sub>	ES+	313.1	241.1, 285.1	50	36, 20
Aflatoxin B <sub>2</sub>	ES+	315.2	259.1, 287.2	50	30, 26
Aflatoxin G <sub>1</sub>	ES+	329.1	243.1, 283.1	45	25, 25
Aflatoxin G <sub>2</sub>	ES+	331.2	245.1, 257.1	50	30, 30
Fumonisin B <sub>1</sub>	ES+	722.6	334.4, 352.4	45	40, 38
Fumonisin B <sub>2</sub>	ES+	706.4	318.4, 336.4	55	40, 40
Ochratoxin A	ES+	404.2	239.1, 358.2	30	23, 15
Zearalenone	ES-	317.2	131.1, 175.1	20	27, 22

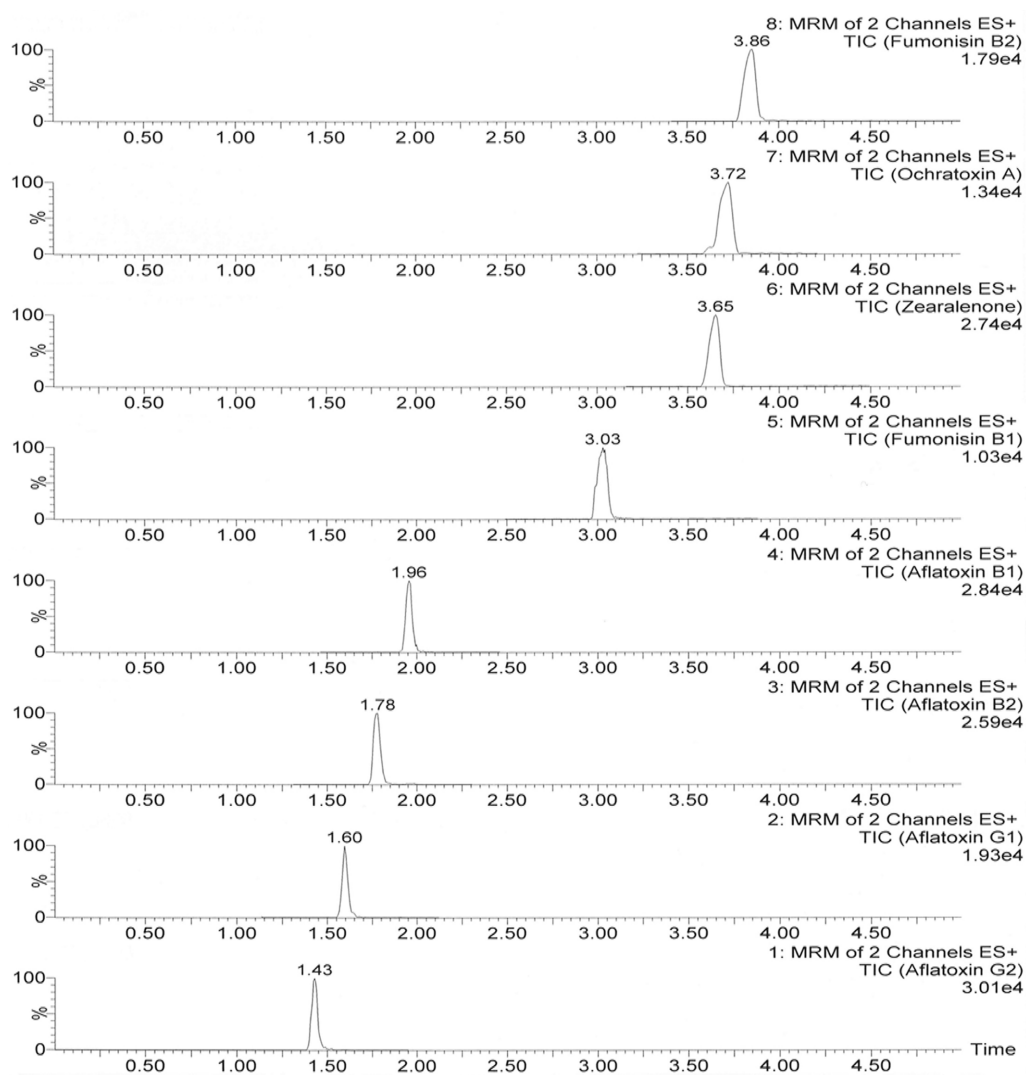


Fig. 1. The total ion chromatogram of aflatoxin(B<sub>1</sub>,B<sub>2</sub>,G<sub>1</sub>,G<sub>2</sub>), fumonisin(B<sub>1</sub>,B<sub>2</sub>), ochratoxin A, zearalenone.

Table 4. Contents of mycotoxins in grains (μg/kg)

Grains	Detection /Sample	Content (No of samples detected)			
		Aflatoxin	Ochatoxin A	Fumonisin (B <sub>1</sub> +B <sub>2</sub> )	Zearalenone
Adlay	5/5	-	-	12.3~66.0 (5)	11.2~90.6 (4)
Sorghum	6/8	-	-	46.4~166.7 (6)	14.3~34.0 (4)
Millet (Proso)	5/9	-	-	4.8~46.0 (4)	13.3, 64.6 (2)
Millet (Foxtail)	5/7	-	-	12.2~57.5 (5)	14.0~21.5 (3)
Unpolished rice	3/6	-	-	10.3, 11.2 (2)	15.4 (1)
Corn	1/1	-	-	738.5 (1)	-
Buckwheat	0/3	-	-	-	-
White rice	0/5	-	-	-	-
etc <sup>1)</sup>	0/31	-	-	-	-
Total	25/75	0/75	0/75	23/75	14/75

<sup>1)</sup>Oats (7), barley (13), black rice (4), wheat (3), red rice (1), green rice (1), glutinous rice (1), quinoa (1)

의 보고에서는 울무, 수수, 기장, 조에서만 푸모니신과 제랄레논 독소만 검출률이 57%정도로 검출되었고, 그 외의 곡류에서는 곰팡이독소가 검출되지 않았다고 보고하여 본 연구결과와 비슷한 경향을 보여주었다.

### 곡류가공품의 곰팡이독소 검출현황

광주광역시 시내 슈퍼, 대형마트 및 재래시장에서 유통 중인 곡류가공품 52건을 분석한 결과 13건에서 푸모니신 B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, 제랄레논 등 3종의 곰팡이독소가 검출되어 25.0%의 검출률을 보였다(Table 5). 종류별로는 울무가공품 6건(효모를 첨가하여 발효시킨 제품 3건, 볶은 제품 2건, 볶은 후 분쇄한 제품 1건) 중 6건(100.0%)에서 푸모니신이 12.6~103.0.0 µg/kg, 제랄레논은 4건(67%)에서 8.4~166.3 µg/kg이 검출되었다. 볶은 수수가공품 2건 중 2건(100.0%), 현미가공품 8건(효모를 첨가하여 발효시킨 제품 2건, 볶은 제품 3건, 누룽지형 1건, 현미 쌀눈 2건) 중 1건(12.5%)에서 푸모니신이 33.6 µg/kg으로 검출되었다. 옥수수가공품 5건(볶은 제품 3건, 팝콘 2건) 중 4건(80.0%)에서 푸모니신과 제랄레논이 검출되었는데 이중 볶은 알곡형태의 옥수수차에서 제랄레논이 507.6 µg/kg이 검출되어 다른 곡류가공품에 비해 높게 나타났다. 메밀가루 3건과 찹쌀가루 5건 중에서는 어떤 곰팡이독소도 검출되지 않았다. 이번 조사에서 곡류가공품에서는 푸모니신과 제랄레논만 검출되었는데 푸모니신은 현재 옥수수 가공품에서만 기준이 1,000 µg/kg 이하로 설정이 되어 있고 다른 곡류가공품은 아직 기준이 설정되어 있지 않지만, 전체적으로 푸모니신은 103.0 µg/kg이하로 검출되어 옥수수가공품의 기준과 비

교하였을 때 10.3% 수준으로 나타났다. 그러나 제랄레논의 경우 현재 곡류가공품에 대해서는 아직 기준이 설정되어 있지 않는데, 볶은 울무 1건과 볶은 알곡 형태의 옥수수차 1건에서 각각 166.3, 507.6 µg/kg이 검출되어 곡류기준 100 µg/kg과 비교해보면 기준치를 초과한 것으로 판단할 수 있다. 따라서 곡류가공품에 대한 제랄레논 기준이 설정되어 적절한 관리가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

### 곡류 및 곡류가공품의 위해도 평가

곰팡이독소가 검출된 38건의 곡류와 곡류가공품에 대하여 곰팡이독소 함유 식품을 섭취할 경우를 가정하여 위해도를 산출하였다. 곰팡이독소 일일추정섭취량(Estimated Daily Intake, EDI)은 독소 검출량에 일일평균 식품섭취량을 곱하여 구하였다. 평균 식품섭취량은 2011년~2013년 국민건강영양조사에서 산출하였으며, 체중은 평균체중 59 kg을 적용하였다<sup>12)</sup>. 섭취허용량은 FAO/WHO 합동식품첨가물전문가위원회(JECFA)에서 잠정최대일일섭취허용량(Provisional Maximum Tolerable Daily Intake, PMTDI)으로 푸모니신은 2 µg/kg b.w./day으로, 제랄레논은 그 대사체를 포함하여 0.5 µg/kg b.w./day으로 설정하였다<sup>13,14)</sup>. 이번 조사에서 오크라톡신 A와 아플라톡신은 검출되지 않았지만 위해도 관련 자료를 살펴보면, 오크라톡신 A는 잠정주간섭취허용량(Provisional Tolerable Weekly Intake, PTWI)으로서 112 ng/kg b.w./week(= 0.016 µg/kg b.w./day)로 설정되어 있고<sup>15)</sup>, 유럽위원회(European Community, EC)에서는 주간섭취허용량(Tolerable Weekly Intake, TWI)으로서 0.12 µg/kg b.w./week로 설정하고 있다<sup>16)</sup>. 아플라톡신

**Table 5.** Contents of mycotoxins in grain products(µg/kg)

Grain products	Detection /Sample	Content (No of samples detected)			
		Aflatoxin	Ochatoxin A	Fumonisin (B <sub>1</sub> +B <sub>2</sub> )	Zearalenone
Adlay <sup>1)</sup>	6/6	-	-	12.6~103.0 (6)	8.4~166.3 (4)
Sorghum <sup>2)</sup>	2/2	-	-	7.3~9.4 (2)	12.6 (1)
Unpolished rice <sup>3)</sup>	1/8	-	-	33.6 (1)	-
Corn <sup>4)</sup>	4/5	-	-	4.8~8.4 (3)	507.6 (1)
Buckwheat flour	0/3	-	-	-	-
Rice flour (Glutinous)	0/5	-	-	-	-
etc <sup>5)</sup>	0/23	-	-	-	-
Total	13/52	0/52	0/52	12/52	6/52

<sup>1)</sup>Fermented (3), roasted (2), powder after roasting (1)

<sup>2)</sup>Roasted (2)

<sup>3)</sup>Fermented (2), roasted (3), nurungji (1, crust of overcooked rice), embryo bud (2)

<sup>4)</sup>Roasted (3), popcorn (2)

<sup>5)</sup>Roasted[barly (4), wheat (2), rice (2), red quinoa (1)] powder of barley malt (2),

powder made of mixed, roasted grains (2), rice powder (1), nurungji[crust of overcooked rice (3), oats (1)], rice with additives (5, red yeast rice, red ginseng, a lotus leaf, curcuma, blueberry)

은 국제암연구소(International Agency for Research on Cancer, IARC)에서 Group I로 분류한 유전독성발암물질로서 JECFA에서는 섭취허용량을 설정하지 않고 있다. 다만 최적 추정노출량(Best estimate exposure)은 2007년 기준으로 0.4~3.7 ng/kg b.w./day로 제시하고 있다<sup>17)</sup>. 위해도 계산에 사용된 곰팡이독소 검출량은 보수적으로 적용하여 해당 식품의 최대검출량을 사용하였고, 위해도(% , HI)는 다

음 식에 의하여 산출하였다. 위해도가 100% 이상일 경우 유해하다고 판단할 수 있다(Table 6, Table 7).

$$\text{위해도}(\%, \text{Hazard Index, HI}) = (\text{EDI}/\text{PMTDI}) \times 100$$

곡류와 곡류가공품을 종합하여 위해도 평가 자료를 살펴 보면, 울무, 수수, 기장, 조의 푸모니신과 제랄레논의 최대검

**Table 6.** Risk assessment of mycotoxins in grains

Grains (No)	Mycotoxin (No)	Maximum content (µg/kg)	MRL <sup>1)</sup> (µg/kg)	Daily food intake (g)	PMTDI <sup>2)</sup> (µg/kg)	PMTDI (µg/kg)×59 kg	EDI <sup>3)</sup> (µg)	HI <sup>4)</sup> (%)
Adlay(5)	Fumonisin (5)	65.9	-	0.07	2.0	118.0	0.0046	0.0039
	Zearalenone (4)	90.6	200.0	0.07	0.5	29.5	0.0063	0.0215
Sorghum(6)	Fumonisin (6)	166.7	4000.0	0.44	2.0	118.0	0.0733	0.0622
	Zearalenone (4)	34.0	200.0	0.44	0.5	29.5	0.0150	0.0507
Millet (Proso 5)	Fumonisin (4)	46.0	-	0.28	2.0	118.0	0.0129	0.0109
	Zearalenone (2)	64.6	200.0	0.28	0.5	29.5	0.0181	0.0613
Millet (Foxtail 5)	Fumonisin (5)	57.5	-	0.71	2.0	118.0	0.0408	0.0346
	Zearalenone (3)	21.5	200.0	0.71	0.5	29.5	0.0153	0.0517
Unpolished rice(3)	Fumonisin (2)	11.2	-	6.49	2.0	118.0	0.0727	0.0616
	Zearalenone (1)	15.4	200.0	6.49	0.5	29.5	0.0999	0.3388
Corn(1)	Fumonisin (1)	738.5	4000.0	3.12	2.0	118.0	2.3041	1.9526

<sup>1)</sup>As the sum of fumonisin B<sub>1</sub>+B<sub>2</sub>

<sup>2)</sup>Provisional Maximum Tolerable Daily Intake

<sup>3)</sup>Estimated Daily Intake

<sup>4)</sup>Hazard Index

**Table 7.** Risk assessment of mycotoxins in grain products

Grains (No)	Mycotoxin (No)	Maximum content (µg/kg)	MRL <sup>1)</sup> (µg/kg)	Daily food intake(g)	PMTDI <sup>2)</sup> (µg/kg)	PMTDI (µg/kg)×59 kg	EDI <sup>3)</sup> (µg)	HI <sup>4)</sup> (%)
Adlay <sup>5)</sup> (6)	Fumonisin (6)	103.0	-	0.07	2.0	118.0	0.0072	0.0061
	Zearalenone (4)	166.3	-	0.07	0.5	29.5	0.0116	0.0395
Sorghum <sup>6)</sup> (2)	Fumonisin (2)	9.4	-	0.44	2.0	118.0	0.0041	0.0035
	Zearalenone (1)	12.6	200.0	0.44	0.5	29.5	0.0055	0.0188
Unpolished rice <sup>7)</sup> (1)	Fumonisin (1)	33.6	-	6.49	2.0	118.0	0.2181	0.1848
Corn <sup>8)</sup> (4)	Fumonisin (3)	8.4	2000.0	0.26	2.0	118.0	0.0022	0.0019
	Zearalenone (1)	507.6	-	0.26	0.5	29.5	0.1320	0.4474

<sup>1)</sup>As the sum of fumonisin B<sub>1</sub>+B<sub>2</sub>

<sup>2)</sup>Provisional Maximum Tolerable Daily Intake

<sup>3)</sup>Estimated Daily Intake

<sup>4)</sup>Hazard Index

<sup>5)</sup>Fermented (3), roasted (2), powder after roasting (1)

<sup>6)</sup>Roasted (2)

<sup>7)</sup>Fermented (2), roasted (3), nurungji (1, crust of overcooked rice), embryo bud (2)

<sup>8)</sup>Roasted (3), popcorn (2)

출량은 46.0~166.7  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 와 21.5~90.6  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 으로 검출되었으나 일일식품평균섭취량이 적어 위해도(HI%)는 0.1%이하 수준으로 나타났다. 현미의 경우 제랄레논이 최고 15.4  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 으로 다른 곡류에 비해 낮게 검출되었으나, 일일식품평균섭취량이 6.49 g으로서 다른 곡류 섭취량에 비해 높아 위해도가 0.3388%로 상대적으로 높게 나타난 것으로 보인다. 옥수수 1건에서 푸모니신이 738.5  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 이 검출되어 다른 곡류에 비해 월등하게 높게 검출되었으나, 기준치(4000.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )이하여서 적합하였고, 위해도는 1.9526% 수준을 보여주었다. 메밀의 경우 오크라톡신 A가 1건 검출되었는데 검출량과 일일평균 식품섭취량이 낮아 위해도도 0.0031% 수준을 보여주었다. 곡류가공품의 경우 식수대용 옥수수차(볶은 알곡형태의 옥수수)에서 제랄레논이 507.6  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 이 검출되었다. 곡류가공품에서 아직 제랄레논에 대한 기준이 설정되어 있지 않지만, 위해도 평가 결과는 0.4474%의 낮은 수준으로 나타났다.

이번 연구에서 조사한 곡류와 곡류가공품의 경우 최고 검출량과 일일평균 식품섭취량을 기반으로 위해도를 산출한 결과 모두 2% 이하로 나타나 안전한 수준으로 평가되었다. 그러나 계절적으로 특정 곡류의 소비가 많아지거나 또는 개인 식이성향에 따라 특정 곡류의 섭취가 많아질 경우 우리 건강에 위해를 줄 가능성도 배제할 수 없다. 따라서 농산물 저장 시 건조하고 습도가 낮은 상태에서 보관하여 곰팡이 생성을 방지하여야 할 것으로 판단되었다.

## 국문요약

2017년 10월부터 2018년 9월까지 광주광역시 시내 슈퍼, 대형마트 및 재래시장에서 구입한 울무, 수수, 기장, 조, 백미, 보리 등 곡류 75건과 볶은 울무, 보리, 옥수수 등 곡류가공품 52건 총 127건을 대상으로 곰팡이독소 함량검사를 실시하였다. 검사한 곰팡이독소는 아플라톡신( $B_1$ ,  $B_2$ ,  $G_1$ ,  $G_2$ ), 푸모니신( $B_1$ ,  $B_2$ ), 오크라톡신 A, 제랄레논이었다. 127건의 시료 중 38건에서 곰팡이독소가 검출되어 29.9%의 검출률을 나타내었다. 127건의 시료 중 35건에서 푸모니신( $B_1+B_2$ )은 4.8~738.5  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 제랄레논은 20건에서 8.4~507.6  $\mu\text{g}/\text{kg}$  범위에서 검출되었다. 검사한 곡류와 곡류가공품 중에서 가장 오염도가 높은 곰팡이독소는 푸모니신과 제랄레논이었고 이들 곰팡이가 중복 검출된 검체는 17건으로 독소가 검출된 38건 중에서 44.7%를 차지하였다. 곰팡이독소 일일추정섭취량(EDI)과 잠정최대일일섭취허용량(PMTDI)으로부터 위해도를 산출하였다. 위해도는 0.0019~1.9526%로 나타나 이번에 조사한 곡류와 곡류가공품은 곰팡이독소 측면에서는 안전한 수준으로 판단되었다.

## References

1. European Food Safety Authority(EFSA): Available from <http://www.efsa.europa.eu/en/topics/topic/mycotoxins>, Accessed January 28, (2018).

- Pereira, V. L., Fernandes, J. O., Cunha, S. C.: Mycotoxins in cereals and related foodstuffs: A review on occurrence and recent methods of analysis. *Trend in Food Sci. Technol.*, **36**, 96-136 (2014).
- Alshannaq, A., Yu, J.H.: Occurrence, toxicity, and analysis of major mycotoxins in food. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, Jun, **14**, 632 (2017).
- Murphy, P. A., Hendrich, S., Landgren, C., Bryant, C. M.: Food mycotoxins: an update. *J. Food Sci.*, **71**, R51-R65 (2006).
- Nedelnik J., Linduskova H., Kmoch M.: Influence of growing Bt maize on *Fusarium* infection and mycotoxins content—a review. *Plant Protect Sci.*, **48**, S18-S24 (2012).
- Marin, S., Ramoss, A. J., Cano-Sancho, G., Sanchis, V.: Mycotoxins: Occurrence, toxicology, and exposure assessment. *Food and Chem. Toxicol.*, **60**, 218-237 (2013).
- 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).
- Ministry of Food and Drug Safety: Korea Food Code, pp. 30-31 (2018)
- Ministry of Food and Drug Safety: Korea Food Code(Test Methods), pp. 420-424 (2018)
- Kim, D. H., Jang, H. S., Choi, G. I., Kim, H. J., Kim, H. J., Kim, H. L., Choi, H. J., Lee, C.: Occurrence of mycotoxins in Korean grains and their simultaneous analysis. *Korean J. Food Sci. Technol*, **45**, 111-119 (2013).
- 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.*, Vol. **32**, 470-476 (2017).
- National Institute of Food and Drug Safety Evaluation: Risk Assessment of Mycotoxins. Publication Registration Number(11-1471057-000206-01), p. 7 (2016).
- Evaluations of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives(JECFA): Available from <http://apps.who.int/food-additives-contaminants-jecfa-database/chemical.aspx?chemID=2038>
- Evaluations of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives(JECFA): Available from <http://apps.who.int/food-additives-contaminants-jecfa-database/chemical.aspx?chemID=2730>
- Evaluations of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives(JECFA): Available from <http://apps.who.int/food-additives-contaminants-jecfa-database/chemical.aspx?chemID=1905>
- Ministry of Food and Drug Safety: Mycotoxin Reevaluation Report in Food, Publication Registration Number(11-1471000-000311-01), 10p (2018).
- Evaluations of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives(JECFA): Available from <http://apps.who.int/food-additives-contaminants-jecfa-database/chemical.aspx?chemID=5639>