식품 중 곰팡이독소의 국내외 관리기준

Domestic and Overseas Regulations for Mycotoxins in Foods

이정은[1], 김솔아[1], 김효인[1], 문효영[2], 심원보[3,4*]

Jeong-Eun Lee[1], Sol-A Kim[1], Hyo-In Kim[1], Hyo-Young Mun[2], Won-Bo Shim[3,4*]

[1]경상대학교 응용생명과학부, [2]압티지 엠제이(주), [3]경상대학교 농화학식품공학과, [4]경상대학교 농업생명과학연구원

[1]Division of Applied Life Science, Graduate School, Gyeongsang National University, Jinju, Gyeongnam 52828, Korea
[2]Apteay MJ inc., BIT, GIST, Gwang-ju, 61005, Korea
[3]Department of Agricultural Chemistry and Food Science & Technology, Gyeongsang National University, Jinju, Gyeongnam 52828, Korea
[4]Institute of Agriculture and Life Science, Gyeongsang National University, Jinju, Gyeongnam 52828, Korea

1. 서론

우리나라의 기후는 점차 아열대 기후로 변화됨에 따라 곰팡이독소의 생성 및 오염가능성이 높아지고 있어 이에 대한 관리를 중요시 하고 있다[1]. 곰팡이독소는 곰팡이가 생산하는 2차 대사산물로서 사람이나 동물에 대해서 간장장애, 신장장애, 신경장애 등의 독성을 나타내는 저분자 물질을 총칭한 것이다. 곰팡이독소가 오염된 농산물을 섭취 시 인간에게 여러 가지 유해한 반응을 나타낼 뿐 만 아니라, 오염된 사료를 섭취한 가축에게도 장애를 주며 가축의 조직, 우유 등에 잔류함으로써 인간에게 2차적인 장애를 유발하기도 한다[2,3].

곰팡이가 오염된 사료에 의해서 가축이 중독된다는 사실은 이미 1960년경에 알려져 있었으나 그 당시에는 곰팡이독소에 대한 연구는 거의 이루어진 것이 없었다[4]. 이후 곰팡이독소는 1962년 아프리카로부터 수입한 땅콩 박 사료에 *Aspergillus flavus*와 *A. parasiticus*가 오염되어 생성된 aflatoxin에 의해 영국의 칠면조 산업이 막대한 피해를 입게 되면서 주목을 끌게 되었으나, 그 당시는 독소에 대해서는 규명하지 못하고 "Turkey X disease"라고 명명하였으며[5], 영국의 Interdepartmental Working Party on Groundnut Toxicity Research에 의해서 지속적으로 연구되어 *Aspergillus flavus* toxin이라고 최초로 명명하였고 이후 aflatoxin이라고 부르게 되었다[6]. 끊임없는 연구에 의해 곰팡이의 대사산물이 인간에게 치명적인 질병 또는 사망에 이르게 된다는 것을 확인하였고, 곰팡이가 생성하는 독소를 통틀어 곰팡이독소(mycotoxin)이라고 부르게 되었다[7].

곰팡이독소는 주로 *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium* 속 곰팡이에 의해 생성되는 것으로 잘 알려져 있으나, 최근에는 *Alternaria* 속 곰팡이에 의한 신종 곰팡이독소도 보고되고 있다. 현재까지 그 구조가 확인된 곰팡이독소는 수백 종으로 식품 및 그 원료에서 문제가 되는 것은 주로 aflatoxin, citrinin, fumonisin, ochratoxin

* Correspondence to: Won-Bo Shim
Department of Agricultural Chemistry and Food Science & Technology, Gyeongsang National University, Jinju, Gyeongnam 52828, Korea
Tel.: +82-55-772-1902 Fax: +82-55-772-1909 E-mail: wbshim@gnu.ac.kr

표 1. 주요 곰팡이독소 생성 곰팡이 및 오염원

곰팡이독소	곰팡이	주요 오염 식품 및 농산물
아플라톡신(aflatoxins)	*Aspergillus* 속	땅콩, 면실, 면화, 보리, 쌀, 옥수수, 피스타치오
오크라톡신(ochratoxins)	*Aspergillus* 속 *Penicillium* 속	곡물, 콩류, 커피, 건포도, 와인
시트리닌(citrinin)	*Aspergillus* 속 *Penicillium* 속	황변미, 옥수수, 쌀, 귀리
파툴린(patulin)	*Penicillium* 속	사과, 사과 주수, 과실 및 과실주스
푸모니신(fumonisins)	*Fusarium* 속	옥수수, 옥수수 가공품
데옥시니발레놀(deoxynivalenol)	*Fusarium* 속	옥수수, 밀, 보리, 귀리, 호밀
제랄레논(zearalenone)	*Fusarium* 속	옥수수, 밀, 쌀, 사탕수수
맥각 알카로이드(ergot alkaloid)	*Claviceps* 속	호밀, 시리얼

A, patulin, trichothecenes, deoxinvalenol, nivalenol, zearalenone, 그리고 ergot akaloids 등이 있다[6]. 주로 하나의 곰팡이가 2개 이상의 곰팡이독소를 생산한다고 알려져 있고, 다른 곰팡이가 같은 곰팡이독소를 생산하기도 한다. 곰팡이독소를 생산하는 곰팡이와 주로 오염되는 식품 및 농산물의 종류 표 1과 같다.

세계보건기구(World Health Organization, WHO)와 국제연합식량농업기구(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)에서 곰팡이독소의 위험정도를 잔류농약과 식품첨가물보다도 더 높이 주장하고 있다[8]. 국제암연구소에서는 곰팡이독소 중 아플라톡신 B1(Group 1), 아플라톡신 M1(Group 2B), 오크라톡신 A(Group 2B), 푸모니신(Group 2B), 푸사린 C(Group 2B), 지랄레논(Group 3), 데옥시니발레놀(Group 3), 니발레놀(Group 3), T-2 toxin(Group 3), 파툴린(Group 3) 등을 발암물질 및 발암가능성이 있는 물질로 분류하고 있다[9]. 또한 식품 및 그 원료가 곰팡이에 오염되면 제품의 가치가 저하되어 큰 경제적인 손실을 야기하기도 한다. 이와 같이 식품 중 곰팡이독소 위해성으로 인해 많은 국가에서 곰팡이독소에 대한 관리기준치를 설정하고 있고, 곰팡이 독소에 대한 예방관리 방안을 마련해 오고 있는 실정이다[10].

본 원고에서는 주요 곰팡이독소의 특징과 우리나라를 포함한 EU, 미국과 중국 등의 나라별 식품 중 곰팡이독소 관리기준치에 대해 설명하고, Codex에 제시하고 있는 곰팡이독소 오염 및 발생 예방법에 대해 소개하고자 한다.

2. 주요 곰팡이독소

1) 아플라톡신

곰팡이독소 중 아플라톡신(aflatoxins)은 식품 및 농산물과 관련하여 인간과 가축에게 가장 치명적인 독성을 나타내는 곰팡이독소로서 *Aspergillus flavus*, *A. parasiticus*, *A. nomius*, *A. bombycis*, *A. ochraceoroseus*, *A. pseudotamari* 등과 같은 *Aspergillus* 속 곰팡이에 의해 생성된다[11-13]. 아플라톡신은 주로 고온(25~30℃), 다습(80~85%)한 열대나 아열대지방에서 잘 생성되며 수확에서 건조까지 저장기간이 길고, 환기가 불충분할수록 잘 생성된다. 특히, 농산물 중에서는 쌀, 보리, 밀 등의 곡류와 땅콩, 파스타치오, 호두와 같은 견과류, 옥수수 등과 같이 탄수화물 함량이 높은 식품에서 잘 생성되는 것으로 알려져 있다[14]. 2016년 우리나라의 곰팡이독소 위해평가 보고서에 따르면 국내 유통 중인 총 아플라톡신은 300품목 10,443건의 검사에서 총 아플라톡신은 708건(6.8%)에서 검출되었으며, 1건(74 ppb)이 허용기준치를 초과하였다고 보고하였다. 아플라톡신 M1은 17품목 473건 중 28건(5.9%)에서 검출되었으며, 허용기준치를 초과하는 제품은 없는 것으로 확인되었다. 아플라톡신 M1의 오염도가 높은 식품은 우유(9.2%), 분말형 영유아식(3.5%) 순으로 확인되었다[15].

아플라톡신은 아플라톡신 B1, B2, G1, G2 등이 대표적이며 현재까지 약 20종의 이성체가 알려져 있다. 이들은 무색에서 연노랑색의 결정체로 자외선 하에서 나타내는 형광의 색에 따라 B(blue)군, G(green)군으로 구분되며[16,17] 동물의 소변과 우유에서 발견되는 M(metabolized)군은 대사물질로서 청자색(blue-violet) 형광을 나타낸다[18]. 또한 아플라톡신은 물과 헥산(hexane), 에테르 같은 비극성용매에는 거의 녹지 않는 반면, 클로로포름, 메탄올과 같은 중간정도의 극성유기용매에 잘 녹는 것으로 알려져 있다[19]. 아플라톡신 중 아플라톡신 B1은 강력한 발암물질로 알려져 있으며 간장, 신장, 신경계, 내분비계, 면역계 독성을 지니고 있다. 아플라톡신 중 아플라톡신 B1은 발암물질(Group 1)로, 아플라톡신 M1은 잠재적인 인체에 발암물질(group 2B)로 분류되어 있다.

2) 오크라톡신 A

오크라톡신 A(ochratoxin A)는 *Aspergillus* 속과 *Penicillium* 속에서 생산하는 곰팡이독소이다. 주로 곡물, 콩류, 커피, 건포도, 와인 등에서 검출되며, 곰팡이독소 중 가장 오염빈도가 높은 곰팡이독소 중의 하나이기 때문에 대부분의 나라에서 그 허용기준치를 설정하여 관리하고 있다. 250℃에서 수분간 가열하여도 파괴되지 않으고, 다른 곰팡이독소는 물에 녹지 않는 특징을 가지고 있으나 오크라톡신 A는 40% 정도의 수용성을 가지고 있다고 보고되고 있다[20]. 그러므로 오염된 커피콩을 이용하여 커피음료를 제조할 경우 소비자가 섭취하는 음료로 이행할 확률이 높은 곰팡이독소이다. 2016년 우리나라의 곰팡이독소 위해평가 보고서에 따르면 국내 유통 중인 298품목 9,586건의 검사에서 오크라톡신 A는 561건(5.9%)에서 검출되었으며, 허용기준치를 초과한 시료는 고춧가루 1건(17.164 ppb) 수준으로 확인되었다[15].

오크라톡신 A는 위장관계에서 주로 흡수되며 혈액을 통해 신장으로 이동하며, 간, 근육, 지방, 유즙 등에 분포하게 된다. 동물시험을 통해서 오크라톡신 A의 반복투여 시 표적장기는 신장으로 보고되었다. 또한 국제암연구소(IARC)에 의해 잠재적인 인체에 발암물질(group 2B)로 분류되어 있으며, 돌연변이 유발을 일으킨다고 알려져 있다[9].

3) 푸모니신

푸모니신(fumonisin)은 *Fusarium verticillioides*와 *F. proliferatum* 등의 곰팡이에서 생성되는 곰팡이독소로, 현재까지 많은 종류의 푸모니신이 동정되어 A, B, F, P 그룹으로 분류하고 있다. 그 중 B 그룹이 가장 곡류 및 식품 중에 발견되고 있으며, 푸모니신 B1이 독성이 가장 높고 다음은 푸모니신 B2로 알려져 있다. 주로 옥수수와 옥수수 가공품에서 많이 검출된다고 보고되고 있고, 습도와 온도가 높은 지역에서 특히 발생빈도가 높다. 오크라톡신과 비슷하게 수용성을 띄고 있고 메탄올, 아세토니트릴에 잘 녹는다고 알려져 있다. 2016년 우리나라의 곰팡이독소 위해평가 보고서에 따르면 국내 유통 중인 5,165건의 검사에서 푸모니신은 216건(4.2%)에서 검출되었으며, 허용기준치를 초과한 식품은 없는 것으로 확이되어 국내에서 유통되는 식품은 푸모니신에 안전한 것으로 확인되었다. 오염율이 높은 식품으로는 율무(61.5%), 수수(52.7%), 옥수수(33.3%) 순으로 확인되었다[15].

4) 데옥시니발레놀

데옥시니발레놀(deoxynivalenol)은 vomitoxin으로 잘 알려져 있고, 타입 B 트리코테센(trichothecene)에 속하는 곰팡이독소로서 식물병을 일으키는 곰팡이 *Fursarium graminearum*과 *F. culmorum*이 생성한다고 알려진다. 이들 곰팡이는 25℃, 수분활성도 0.88이상에서 왕성하게 성장한다고 보고되어, 우리나라의 기후환경에서 잘 생육할 수 있는 것으로 예상된다. 주로 밀, 옥수수, 보리, 귀리, 호밀 등의 곡류에 오염도가 높으며 쌀과 사탕수수에는 오염도가 낮다. 2016년 우리나라의 곰팡이독소 위해평가 보고서에 따르면 국내 유통 중인 4,338건의 검사에서 데옥신니발레놀은 272건(6.3%)에서 검출되었으며, 오염율이 높은 식품으로 율무(40%), 식빵(37.1%), 옥수수

(33.3%)로 확인되었다[15].

데옥시니발레놀에 노출되었을 때 주 증상으로는 구토, 식사거부, 설사, 체중감소 등이 나타나며, 주로 소, 돼지, 양, 고양이, 개 등이 민감한 동물로 알려져 있다.

5) 지랄레논

제랄레논(deoxynivalenol)은 *Fusarium graminearum*, *F. culmorum*, *F. crealis*, *F. equiseti*, *F. verticillioides* 등의 곰팡이에 의해 생성되는 곰팡이독소로 이들 곰팡이들은 데옥시니발레놀, 니발레놀과 같은 트리코테센류의 곰팡이독소를 동시에 생산하는 것으로 알려져 있다. 주로 온대지역에서 오염율이 높으며, 150℃에서도 파괴되지 않기 때문에 일반적인 조리 및 가공공정에서도 파괴되지 않는다. 주로 옥수수, 밀, 쌀, 사탕수수 등 다양한 곡물에서 발견된다. 2016년 우리나라의 곰팡이독소 위해평가 보고서에 따르면 국내 유통 중인 214품목 4,614건의 검사에서 지랄레논의 오염율이 높은 식품으로 율무(73.1%), 수수(60.2%), 율무(46.7%)로 확인되었다[15]. 여성 호르몬인 에스트로겐과 유사한 구조이기 때문에 돼지에서 발정증후군, 성장발육 저해, 생식기능 저해 등의 증상을 나타낸다.

6) 파툴린

파툴린(patulin)은 최초 *Penicillium patulum* 곰팡이에서 확인되었으며 원래 그람 양성균과 음성균에 대한 항생제로 사용되어오다 몇 가지 독성이 보고되어 곰팡이독소로 분류되었다. 이후 *P. expansum*와 *Aspergillus clavatus* 및 *Byssochlamys* 속 곰팡이에 의해 생성된다고 보고되고 있다. 주로 사과에서 흔히 발견되며, 포도 및 배 등의 다른 과일을 포함하여 상한 과실 및 그 과실로 제조한 주스에서 많이 발견되고 있으나 곡류 및 채소 등에서 발견되고 있다. 2016년 우리나라의 곰팡이독소 위해평가 보고서에 따르면 국내 유통 중인 321건의 검사에서 파툴린은 사과주스 제품이 10건, 영유아식 제품이 1건으로 총 11건(3.4%)에서 검출되었으며, 허용기준치를 초과한 제품은 없는 것으로 확인되었다[15].

파툴린은 유기용매에 잘 녹으나 산성용액에도 잘 녹는다고 보고되고 있으며, 유전독성, 면역독성을 가지고 있다.

3. 곰팡이독소의 국내외 허용기준

곰팡이독소는 식량으로 이용되는 곡류의 재배단계에서부터 저장 및 유통단계에서 발생할 수 있다. 그러므로 우리나라에 유통되고 있는 곡류 및 그 가공품을 대상으로 다음과 같은 곰팡이독소(총 아플라톡신, 아플라톡신 B1, 아플라톡신 M1, 오크라톡신 A, 파툴린, 푸모니신, 데옥시니발레놀, 제랄레논)에 대한 허용기준치를 설정하여 관리해 오고 있다[21]. EU 및 미국을 포함한 많은 나라에서도 주요 곰팡이독소에 대한 허용기준치를 정하여 관리해 오고 있다.

1) 아플라톡신의 국내외 허용기준

자연 상태에서 아플라톡신 B_1, B_2, G_1, G_2 등이 대표적으로 검출되기 때문에 국가에 따라 아플라톡신 B_1과 total 아플라톡신(아플라톡신 B_1, B_2, G_1, G_2) 두 가지 형태로 규제하고 있으나 기준은 동일하지는 않다[23]. 국내외 아플라톡신의 허용기준치는 표 2 설명해 놓았다.

현재 우리나라의 곡류, 두류, 견과류 및 단순가공품, 고춧가루, 밀가루, 건조과일, 간장, 고추장, 커리분말, 메주, 찐쌀 등의 식품에 총 아플라톡신 기준은 15 μg/kg 이하, 아플라톡신 B1 단일물질에 대해 10 μg/kg 이하의 허용기준치를 정해놓고 있다. 그러나 영유아식에 대해서는 총 아플라톡신에 대한 허용기준치는 설정해 놓지 않고 아플라톡신 B1을 0.1 μg/kg 이하로 정해놓고 있다. 아플라톡신 M1의 기준은 원유 및 가공 전의 우유에 대해 0.5 μg/kg 이하로 관리하고 있다[21].

EU는 동일한 식품류라고 하더라도 인간이 바로 섭취하는 제품인지, 다른 식품의 재료로 사용되는 제품인지에 따라 허용 기준치를 달리 설정하고 있다. 예를 들면 소비

표 2. 국내외 아플라톡신 허용기준치

국가	식품	허용기준 (ppb)		
		아플라톡신 B1	총 아플라톡신	아플라톡신 M1
한국	Grain, beans, peanut, nuts & their processed food (grinding, cutting etc.), Processed cereal products & processed bean product, Nutmeg, turmeric, dried red pepper, dried paprika & spice products containing them, Wheat flour, dried fruits, confectionaries (peanut or nut-containing food), Processed corn products for popcorn, soybean paste, red pepper paste, curry powder, meju, steamed rice	10	15	
	Baby foods for infants and young children	0.1	–	–
	Raw milk and milk before processing	–	–	0.5
유럽 연합	Groundnuts (peanuts) and other oilseeds for sorting or processing	8	15	–
	Groundnuts (peanuts) and other oilseeds intended for direct human consumption	2	4	–
	Almonds, pistachios and apricot kernels for sorting or processin	12	15	–
	Almonds, pistachios and apricot kernels intended for direct human consumption	8	10	–
	Hazelnuts and Brazil nuts for sorting or processing	8	15	–
	Hazelnuts and Brazil nuts intended for direct human consumption,	5	10	–
	Tree nuts, other than those listed for sorting and processing	5	10	–
	Tree nuts, other than those listed intended for direct human consumption	2	4	–
	Dried fruit for sorting and processing	5	10	–
	Dried fruit intended for direct human consumption	2	4	–
	Maize and rice (including brown rice) for sorting and processing	5	10	–
	All cereals, including maize and rice, intended for direct human consumption	2	4	–
	Spices (capsicum, pepper, nutmeg, ginger, turmeric)	5	10	–
	Milk (raw milk, milk for manufacturing of milk based products and heat treated milk)	–	–	0.05
	Baby foods and processed cereal based foods for infants and young children	0.1	–	–
	Infant formulae and follow-on formulae, including infant milk and follow-on milk	–	–	0.025
	Dietary foods for special medical purposes intended specifically for infants	0.1	–	0.025
미국	All foods except milk	–	20	–
	Milk	–	–	0.5
중국	Corn and corn products, peanut and peanut products	20	–	–
	Rice, edible oil (except corn and peanut oil)	10	–	–
	Other grains, beans and fermented products	5	–	–
	For infant food, calculated in dry powder	0.5	–	0.5
	Fresh milk	–	–	0.5
	Dairy product	–	–	0.5
	Chinese medicine: Chen pi, suan zao ren,jiang can, pang da hai, tao ren	5	10	–
일본	Food – All Food	–	10	–
	Milk	–	–	0.5

자에게 직접 소비되는 견과류와 다른 오일시드(oilseeds) 등에 대해 아플라톡신 B1은 2 μg/kg, 총 아플라톡신은 4 μg/kg로 관리하는데 반해 추가의 가공공정에 사용되는 제품에 대해서는 아플라톡신 B1은 8 μg/kg, 총 아플라톡신은 15 μg/kg로 세분화시켜 관리하고 있다. 그 외에 제품의 특성에 따라 다르지만 아플라톡신 B1은 일반제품의 경우 2-12 μg/kg, 총 아플라톡신은 4-15 μg/kg 범위로 관리하고 있으며, 아플라톡신 M1은 원유나 가공이 필요한 우유에 대해서 0.05 μg/kg, 신생아를 위한 분유 등에 대해서 0.025 μg/kg 수준으로 매우 엄격하게 관리하고 있다[22].

미국의 경우는 우유를 제외한 모든 제품에 대해 총 아플라톡신 20 μg/kg, 우유에 대해서는 0.5 μg/kg로 간소화하여 관리하고 있다[23]. 일본의 경우도 총 아플라톡신에 대해 우유를 제외한 모든 제품에 대해 총 아플라톡신 10 μg/kg, 우유에 대해서는 0.5 μg/kg로 허용기준치를 설정하고 있다[24].

중국은 일반 곡류와 그 가공품에 대해 아플라톡신 B1으로만 허용기준치를 정해 관리해 오고 있다. 옥수수와 그 가공품, 땅콩과 그 가공품에 대해 20 μg/kg, 쌀과 식용유에 대해 10 μg/kg, 다른 곡류, 두류와 발효식품에 대해 5 μg/kg, 영유아식용 분말은 0.5 μg/kg로 허용기준치를 설정하고 있다. 아플라톡신 M1은 영유아식용 분말, 우유, 유제품에 대해 0.5 μg/kg로 관리하고 있다[25].

2) 오크라톡신 A의 국내외 허용기준

오크라톡신은 오크라톡신 A, B, C와 TA 4종이 자연 상태에서 생성된다고 알려져 있으나, 대부분의 나라에서 오크라톡신 A에 대한 관리기준을 설정하였다. 우리나라에서는 영유아 식품에 대해서 0.5 μg/kg 이하, 농축된 포도주스와 와인 2 μg/kg 이하, 곡류 및 그 가공품과 커피 원두 5 μg/kg 이하, 고춧가루 7 μg/kg 이하, 인스턴트 커피 10 μg/kg 이하, 메주 20 μg/kg 이하로 설정하였다[21].

EU는 아플라톡신과 마찬가지로 소비자가 바로 섭취하는 식품과 원료로 사용되는 식품으로 나눠 허용기준치를 달리 설정하고 있다. 우리나라의 허용기준치와 거의 동일하며 허용범위가 식품에 따라 다르지만(0.5-80 μg/kg) 리코리스(liquorice)추출액에 대해서는 80 μg/kg 이하로 설정하여 관리하고 있다[22].

미국과 일본은 오크라톡신 A에 대한 허용기준을 설정하지 않은 상황이며[23,24], 중국은 곡류, 두류 및 그 가공식품에 대해 5 μg/kg 이하로 관리하고 있다[25].

3) 푸모니신의 국내외 허용기준

푸모니신은 주로 푸모니신 B1과 B2가 독성을 나타내어 우리나라와 유럽연합은 푸모니신에 대한 허용기준을 푸모니신 B1과 B2의 합으로 규정하고 있다. 그러나 미국은 푸모니신 B1, B2, B3에 대한 합으로 푸모니신 관리기준을 설정하였다. 중국과 일본은 현재까지 푸모니신에 관한 허용기준이 설정되지 않고 있다. 우리나라는 옥수수가 50% 이상 포함되어 있는 곡류 가공품, 시리얼, 옥수수 가공품, 옥수수 함량이 50% 이상인 제과품에 대해 1,000 μg/kg 이하, 옥수수 4,000 μg/kg 이하, 옥수수 가공품 및 옥수수 가루는 2,000 μg/kg 이하로 규정하였다[21].

유럽연합은 영유아식으로 사용되는 옥수수가공품 200 μg/kg 이하, 옥수수를 이용한 스낵, 아침식사류 800 μg/kg 이하, 소비자가 바로 섭취하는 옥수수 가공품 1,000 μg/kg 이하, 옥수수 4,000 μg/kg 이하로 설정하여 우리나라보다는 더 엄격한 기준으로 운용하고 있다[22].

미국은 탈배아 건조 옥수수 분말에 대해 2,000 μg/kg 이하, 팝콘용 옥수수 3,000 μg/kg 이하, 건조 옥수수 분말 4,000 μg/kg 이하로 관리하고 있다[23].

푸모니신의 관리기준은 대부분의 나라에서 비슷하게 관리하고 있는 것으로 확인되었다.

4) 데옥시니발레놀의 국내외 허용기준

우리나라는 대부분의 곡류를 수입에 의존하고 있으므로 특히 수입식품에 대해 안전을 보장하고자 데옥시니발레놀의 기준을 설정하였다. 식품 공전 상의 데옥시니발레놀 기준은 곡류 및 곡류 단순가공품 1,000 μg/kg 이하, 옥수수 및 옥수수 단순가공품 2,000 μg/kg 이하, 시리얼에 500

표 3. 국내외 오크라톡신 A 허용기준치

국가	식품	허용기준 (ppb)
한국	Grain & their processed food (grinding, cutting etc.), coffee beans & roasted coffee	5
	Instant Coffee	10
	Meju	20
	Red pepper powder	7
	Grape juice, concentrated grape juice as reconstituted, wine	2
	Raisins	10
	Baby foods for infants and young children	0.5
유럽연합	Unprocessed cereals	5
	All products derived from unprocessed cereals (including cereal products and cereal grains intended for direct human consumption)	3
	Dried wine fruit (currants, raisins and sultanas)	10
	Roasted coffee beans and ground roasted coffee	5
	Soluble coffee (instant coffee)	10
	Wine (including sparkling wine, excluding liqueur wine and wine with an alcoholic strength of not less than 15 % volume) and fruit wine	2
	Flavoured wine, flavoured wine based drinks and flavoured wine product cocktails	2
	Grape juice, concentrated grape juice as reconstituted, grape nectar, grape must and concentrated must as reconstituted, intended for direct human consumption	2
	Species of spices (including white and black pepper, nutmeg, ginger and turmeric, excluding Capsicum spp.)	15
	Capsicum spp. spices (including chillies, chilli powder, cayenne and paprika)	20
	Mixtures of spices	15
	Liquorice root	20
	Liquorice extract	80
	Baby foods and processed cereal based foods for infants and young children	0.5
	Dietary foods for special medical purposes intended specifically for infants	0.5
	Wheat gluten not sold directly to the consumer	8
중국	Grains, beans and their products	5

μg/kg, 영유아식에 대해서는 200 μg/kg이하로 설정되어 있다[21].

유럽연합에서는 시리얼과 영유아식에 대해서는 동일한 기준치를 설정하고 있으며, 곡류의 종류별로 1,250에서 1,750 μg/kg까지 설정하였다. 가공되지 않은 시리얼, 드럼밀, 밀, 귀리, 옥수수는 1,750 μg/kg 이하, 분말은 750 μg/kg 이하로 설정하였다[22].

미국은 직접섭취용 밀가루에 대해 1,000 μg/kg 이하로 기준을 설정하였고[23], 중국은 밀과 가공품, 옥수수와 가공품, 보리와 가공품에 대해 1,000 μg/kg 이하로 설정하였다[25]. 일본은 밀과 가공품에 대해 1,100 μg/kg 이하로 관리하고 있다[24].

5) 제랄레논의 국내외 허용기준

전세계적으로 제랄레논에 대한 구체적이고 다양한 식품군에 허용기준을 설정하여 관리하고 있는 국가는 유럽연

표 4. 국내외 푸모니신 허용기준치

국가	식품	허용기준 (ppb)
한국 (푸모니신 B1+B2)	Grain products & cereals (containing〉50% corn, corn processed products, corn powder)	1,000
	Processed corn products for popcorn	
	Confectionaries (containing 〉 50% corns)	
	Corn	4,000
	Corn processed food (grinding, cutting etc.), corn powder	2,000
유럽연합 (푸모니신 B1+B2)	Unprocessed maize not intended for wet milling	4,000
	Maize and maize based foods intended for direct human consumption	1,000
	Maize based breakfast cereals and maize based snacks	800
	Processed maize based foods and baby foods for infants and young children	200
미국 (푸모니신 B1+B2+B3)	Degermed dry milled corn products (e.g. flaking grits, corn meal, corn flour with fat content of 〈2.25 %, dry weight basis)	2,000
	Cleaned corn intended for popcorn	3,000
	Whole or partially degermed dry milled corn products (e.g. flaking grits, corn meal, corn flour with fat content of 〈2.25 %, dry weight basis); dry milled corn bran; cleaned corn intended for mass production	4,000

표 5. 국내외 데옥시니발레놀 허용기준치

나라	식품	허용기준 (ppb)
한국	Grain & their processed foods (grinding, cutting etc.)	1,000
	Corn & their processed foods (grinding, cutting etc.)	2,000
	Cereals	500
	Baby foods for infants and young children	200
유럽연합	Unprocessed cereals (excluding durum wheat, oats and maize)	1,250
	Unprocessed durum wheat and oats	1,750
	Unprocessed maize	1,750
	Cereal flour, maize flour, maize, grits and maize meal	750
	Bread, biscuits, pastries, cereal snacks and breakfast cereals	500
	Dry pasta	750
	Processed cereal based baby and infant food	200
미국	Finished wheat products for consumption by humans	1,000
중국	Wheat and wheat products	1,000
	Corn and corn products	
	Barley and barley products	
일본	Wheat and wheat products	1,100

합으로 확인된다. 우리나라도 2010년에 제랄레논에 대한 기준을 곡류 및 가공품에 대해 200 μg/kg 이하, 제과 및 사탕 50 μg/kg 이하, 영유아식 20 μg/kg 이하로 설정하여 현재까지 관리해 오고 있다[21].

표 6. 국내외 제랄레논 허용기준치

나라	식품	허용기준 (ppb)
한국	Grain & their processed foods (grinding, cutting etc.)	200
	Confectionaries	50
	Baby food for infants and young children	20
유럽연합	Unprocessed cereals other than maize	100
	Unprocessed maize	350
	Cereals intended for direct human consumption, cereal flour, bran as end product for direct human consumption	75
	Maize intended for direct human consumption, maize based snacks and maize based breakfast cereals	100
	Refined maize oil	400
	Bread, pastries, biscuits, cereal snacks and breakfast cereals	50
	Processed cereal and maize based foods and baby foods for infants and young children	20
중국	Wheat, corn and their products	60

유럽연합은 비가공 시리얼과 옥수수는 각각 100과 350 μg/kg 이하, 직접 섭취용 시리얼 750 μg/kg 이하, 옥수수와 그 외의 곡류가 많은 가공과정을 거친 빵과 스낵 제품에 대한 기준은 이보다 낮은 50 μg/kg 이하이다. 영유아용 옥수수 가공품과 곡류 가공품의 제랄레논 기준은 20 μg/kg 이하로 다른 제품보다 엄격하게 관리하고 있다[22].

미국은 현재까지 제랄레논에 대한 관리기준은 설정해 놓지 않고[23], 중국은 밀과 옥수수 및 그 가공품에 대해 60 μg/kg 이하[25], 일본은 배합사료에는 1,000 μg/kg 이하로 관리하고 있으나 식품에는 현재까지 기준을 마련하고 있지 않다[24].

6) 파툴린의 국내외 허용기준

파툴린(patulin)은 전 세계적으로 사과 주스 및 과일 주스에 대해 허용기준치를 설정하여 관리하고 있다. 우리나라는 사과 주스 및 농축액에 50 μg/L 이하, 영유아용 주스에 10 μg/L로 관리기준을 설정하여 관리하고 있다[21]. 유럽연합은 우리나라와 동일하나 추가로 애플 퓨레와 같은 고상 식품에 대해 25 μg/kg 이하를 추가하여 관리하고 있다[22]. 미국, 중국, 일본도 우리나라와 동일하게 사과 주스 및 관련 식품에 대해 50 μg/L 이하로 설정하고 있다[23-25].

4. 곰팡이독소 오염 예방

곰팡이독소는 농산물의 재배, 수확 및 저장 중 어느 단계에서든지 곰팡이가 증식하여 오염될 수 있기 때문에 사전에 예방하는 것이 가장 효율적인 방법이다. 농산물과 식품에 오염된 곰팡이독소를 저감하는 방법들로 화학적, 생물학적, 물리적 방법들이 연구되고 있으나, 곰팡이독소 완전히 제거하는 것은 매우 어려운 것이 현실이다. 따라서 CODEX에서 농산물우수관리제도(good agricultural pratices; GAP)에 기반한 곰팡이독소 오염 예방법을 재배, 수확 전과 후, 저장 및 유통 단계로 나누어 개발하였다[26].

1) 재배 단계

- 종자를 선정하는데 있어 독소를 생산하는 곰팡이가 오염되어 있지 않는 종자사용
- 토양은 작물 성장 단계에서 식물의 스트레스를 피하

표 7. 국내외 파툴린 허용기준치

나라	식품	허용기준 (ppb)
한국	Apple juice, juice concentrate	50
	Baby foods for infants and young children	10
유럽연합	Fruit juices and drinks containing apple juice or derived from apples	50
	Solid apple products, such as apple puree, intended for direct human consumption	25
	Apple juice and solid apple products for infants and young children	10
미국	Apple juice, apple juice concentrate, and apple juice component of a food that contains apple juice as an ingredient	50
중국	Juice and products with apple and hawthorn (except haw piece	50
일본	Apple juice	50

기 위해 적절한 토양 pH와 식물 영양분을 확보
- 가능한 곰팡이와 곤충에 저항성이 있는 품종을 선정하여 재배
- 재배 면적 당 재배 식물의 수를 조절하여 식물 간의 간격을 유지

2) 수확 전 단계
- 살충제 및 진균제 등을 이용하여 농산물이 해충 및 곰팡이의 오염 피해에 최소화
- 재배지에 독소생성 곰팡이의 오염원이 될 수 있는 잡초 제거
- 작업 시 농작물에 손상을 최소화
- 과도한 물의 공급은 삼가 할 것
- 농작물의 수확시기에는 낮은 수분함량을 유지
- 수확 전에 모든 장비가 잘 작동되고 있는지 확인하고 세척 및 소독 실시

3) 수확 단계
- 수확한 농작물은 건조시설 및 저장시설에 보관하여 외부에 노출되지 않게 함
- 가능한 곡물을 기계적 손상을 입지 않도록 하고 수확 후에는 토양에 닿지 않게 함
- 수확 시 비가 오는 날이나 이른 아침에 수확하지 말 것(건조시키는데 시간이 많이 소요됨)
- 건조되지 않은 농산물은 보관함, 상자 및 트럭에 장기간 보관해서는 안 됨
- 수확된 농작물을 건조하기 전에는 쌓아놓거나 상자에 적재하지 말 것
- 대상 농작물 이외에 이물질 및 다른 종의 씨앗 등을 제거
- 농작물의 수분함량은 충분히 낮게 유지할 것
- 농작물은 양양가 손실이 없는 범위에서 건조를 실시할 것
- 기계적인 건조를 수행할 수 없을 경우는 태양 및 공기 건조 등을 실시하여 건조

4) 저장 단계
- 저장고는 외부와 분리되어 설치류, 조류 및 곤충이 구제될 수 있도록 함
- 통풍이 잘되고 온도의 변화는 최소화
- 저장고는 이물 등이 혼입되지 않도록 저장하기 전에 청소 실시
- 저장용기는 공기가 잘 통하고 해충이나 설치를 유인하지 않는 재지로 사용
- 주기적인 모니터링 실시(온도 및 습도 관리, 해충 및

설치류 구제 등)
- 모니터링 등 관리절차를 문서화(향후 문제발생 시 원인 파악 가능)

5) 운송 단계
- 운송 컨테이너, 트럭, 철도 등은 건조된 상태로 유지되고, 이전의 작물, 먼지, 눈에 보이는 곰팡이 등이 없도록 청소 및 소독 실시
- 선박으로 이송할 경우 밀폐용기 및 방수포를 이용하여 농작물을 보호
- 운송 중에 곤충, 새, 설치류 등의 침입 방지

5. 맺음말

곰팡이독소는 농산물에 오염된 곰팡이가 생산하는 2차 대사산물로서 인간과 동물에 발암 및 독성을 가지는 화학물질이다. 곡류 및 다양한 농산물과 식품군에 오염되어 있어 각 나라별로 곰팡이독소에 대한 관리기준을 설정하고 있으나, 각각의 기준은 다르다. 우리나라는 세계 6위의 무역국으로 많은 비중의 농산물을 외국으로부터 수입하고 있고, 가공된 식품을 미국 및 다른 나라로 수출하고 있다. 또한 기후변화에 의해 우리나라가 곰팡이가 생육하기에 적합한 기후로 바뀌면서 향후 곰팡이독소에 의한 식품안전관리가 중요시 될 것으로 예상된다. 본문에서 언급하였듯이 각 나라마다 곰팡이독소에 대한 관리와 대상 농산물도 다르기 때문에 식품산업 분야에서는 각국의 곰팡이독소 관리기준에 대한 정보를 정리할 필요가 있을 것이다. 따라서 본 원고에서는 곰팡이독소에 관심이 있는 식품산업관계자와 독자를 위해 우리나라가 주로 교역하는 유럽연합, 미국, 중국, 일본 등에 대한 곰팡이독소 관리기준을 살펴보고 우리나라와의 기준과 비교 설명하였고, Codex에서 제시하는 곰팡이독소 예방실천 방법을 소개하고자 하였다.

감사의 글

본 원고는 산업통상자원부의 기술혁신프로그램(과제번호: 10060155)의 지원을 통해 조사를 수행하여 작성되었습니다. 이에 감사를 드립니다.

참고 문헌

1. 강길진, 김혜정, 이연경, 정경희, 한상배, 박선희, 오혜영, 식품 중 곰팡이독소 안전기준 관리. 2010. 한국식품위생안전성학회지 25(4) : 281-288.
2. Bennett, J. W. 1987. Mycotoxins, mycotoxicoses, mycotoxicology and mycopathology. *Mycopathlogia* 100 : 3-5.
3. Schuh, M. 1997. Clinical and subclinical events related to the presence of mycotoxins in cattle feed. Israel, *J. Vet. Med*. 52(3) : 93-97.
4. Blout, W. P. 1961. Turkey "X" disease. *Turkeys* 9 : 55-58.
5. Forgacs, J. 1962. Mycotoxincoses-theneglected disease. *Feedstuffs* 34 : 124-134.
6. 서정훈. 1991. *미생물독소*. 형설출판사. 167-187.
7. Bennett, J. W. and Klich, M. 2003. Mycotoxins. *Clin. Microbiol. Rev*. 16(3) : 497-916.
8. 서정희: 곰팡이독소의 특성과 식품에서의 문제점. 한국소 비자보호원 소비자안전국, 안전보고서 2000-12 (2000).
9. Mycotoxins and human health. 2012. IARC Sci. Publ. 158: 87-104.
10. 정기혜. 국내외 곰팡이 독소류의 관리 현황 및 정책과제. 2008. 보건복지포럼 p. 5-16.
11. Goto, T., Wicklow, D. T. and Ito, Y. 1996. Aflatoxin and cyclopiazonic acid production by a sclerotium-producing *Aspergillus tamarii* strain. *Appl. Environ. Microbiol*. 62 : 4036-4038.

12. Klich, M. A. Mullaney, E. J., Daly, C. B. and Cary, J. W. 2000. Molecular and physiological aspects of aflatoxin and strigmatocystin biosynthesis by *A. tamarii* and *A. ochraceoroseus*. *Appl. Environ. Microbiol*. 53 : 605-609.

13. Peterson, S. W., Ito, Y. Horn, B. W. and Goto, T. 2001. *Aspergillus bombycis*, a new aflatoxigenic species and genetic variation in its sibling species, A. nomicus. *Mycologia* 93 : 689-703.

14. IARC. 1993. Monographs on the evaluation of carcinogenic risk to humans. Some naturally occurring substances, food items and constituents, hetrocyclic aromatic amines and mycotoxins, International Agency for Research on Cancer. World Health Organization, Lyon. France. 5: 245-395.

15. 곰팡이독소 위해평가. 식품의약품안전처 식품의약품안전평가원. 2016.

16. Taber, H. H. and Schroeder, H. W. 1967. Aflatoxin producing potential of isolates of the *Aspergillus flavus-oryzae* group from peanuts(*Arachis hypogaea*). *Appl. Microbiol*. 15 : 140-144.

17. Sweeney, M. J. and Dobson, Alan, D. W. 1998. Mycotoxin production by *Aspergillus*, *Fusarium* and *Penicillium* species. *Int. J. Food Microbiol*. 43 : 141-158.

18. Frobish, R. A., Bradley, B. D., Wagner, D. D., Long-Bradley, P. E. and Hairston, H. 1986. Aflatoxin residues in milk of dairy cows after ingestion of naturally contaminated grain. *J. Food Prot*. 49: 781-785.

19. Cole, R. J. and Cox, R. H. 1981. *Handbook of toxic fungal metabolites*. Academic press. 112-134.

20. W.B. Shim, K.S. Ha, M.G. Kim, J.S. Kim, D.H. Chung. Evaluation of the transfer rate of ochratoxin A to decoctions of herbal medicines. 2014. Food Sci. Biothechnol. 23(6) : 2103-2108.

21. 식품공전. 식품의약품안전청. 2019. Available from http://www.foodsafetykorea.go.kr/foodcode/01_01.jsp. 2019. 3. 8.

22. Mycotoxin Regulations EU. Romer homepage. Available from https://mediacenter.biomin.net/Go/9nTRwgwN. 2019. 3. 8.

23. Mycotoxin Regulations US. Romer homepage. Available from https://mediacenter.biomin.net/Go/FopK4dqD. 2019. 3. 8.

24. Mycotoxin Regulations for Food and Feed in Japan. Available from https://www.romerlabs.com/fileadmin/user_upload/romerlabs/Documents/PDF_Files/Regulierungsposter_Mycotoxins_Japan_0916.pdf. 2019. 3. 8.

25. Mycotoxin Regulations for Food and Feed in China. Available from https://www.romerlabs.com/fileadmin/user_upload/romerlabs/Documents/PDF_Files/Regulierungsposter_Mycotoxins_China_0916_LKU.pdf. 2019. 3. 8.

26. Codex, code of practice for the prevention and reduction of mycotoxin contamination in cereals. 2016.