

식품 중 곰팡이독소의 이해

박희라 연구원 / 식품의약품안전평가원 오염물질과

1. 곰팡이독소란?

1.1. 곰팡이독소 개요

곰팡이독소는 *Aspergillus* 속, *Penicillium* 속, *Fusarium* 속 중 유해곰팡이 등에 의해 생성되는 2차 대사산물로서 인간과 동물에게 질병이나 이상 생리작용을 유발하는 물질이다. 곡류(보리, 옥수수, 귀리, 밀), 견과류(땅콩, 피스타치오 등) 및 그 가공품을 오염시켜 생성되는데, 이는 온도, 습도 등 환경적 요인에 의해 영향을 받는다.

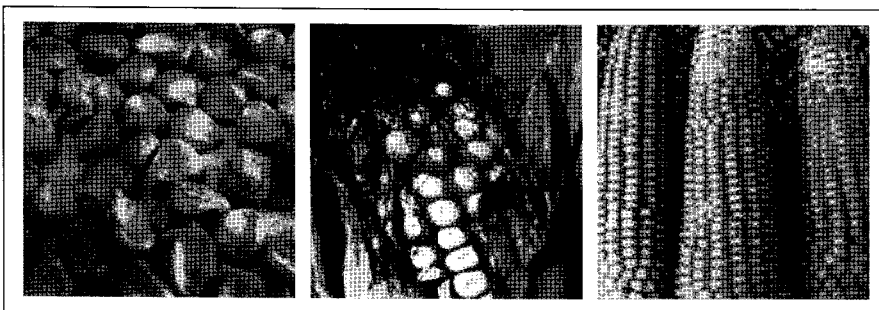


그림 1. 곰팡이독소에 오염된 옥수수

곰팡이독소의 경구침입으로 일어나는 건강 장애를 진균중독증 또는 곰팡이중독증(mycotoxiosis)이라 부르는데, 원인 식품으로서는 곡류, 두류 및 가공식품 등 탄수화물이 풍부한 식품에 많다. 오래전부터 맥각중독이 알려져 있었으나, 1960년에 영국에서 발견된 aflatoxin이 강력한 발암물질(IARC, Group1)로 알려지면서 전세계의 주목을 받기 시작하였다.

곰팡이독소는 농산물의 생육, 저장 및 유통 중 생성되는데, 열에 비교적 안정하여 조리·가공 중에 잘 분해되지 않아 오염된 식품 또는 사료를 섭취한 사람이나 동물에게 여러 가지 장애를 일으킬 수 있다. 특히, 간암이나 식도암 등의 발암성과 관련이 있기 때문에 세계 각국에서 관심이 집중되고 있으며, 또한 식품첨가물이나 잔류농약보다도 곰팡이독소의 위험이 더 큰 것으로 논의되어지고 있어 농산물의 수입량이 많은 우리나라의 경우 곰팡이독소에 대한 충분한 관심이 요구되고 있다.

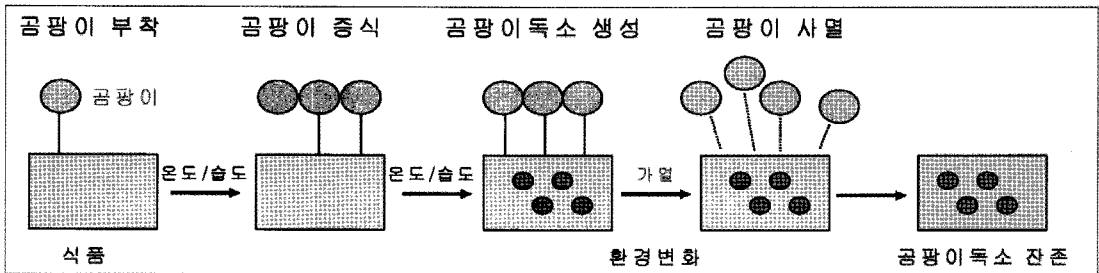


그림 2. 곰팡이독소의 생성

최근 EU에서는 농산물 및 농산물 가공품의 저장·수송 중 곰팡이독소가 식품위생상 중요한 문제로 대두되어 이에 대한 검사가 계속적으로 이루어지고 있다.

우리나라는 곡류를 주식으로 하고 있고, 다양한 곡류가공품을 섭취할 뿐만 아니라 곡류의 상당량을 수입에 의존하며 그 수입량이 해마다 증가하고 있어 곰팡이독소에 대한 노출 위험성이 클 것으로 예상된다.

〈식약청 통계자료〉

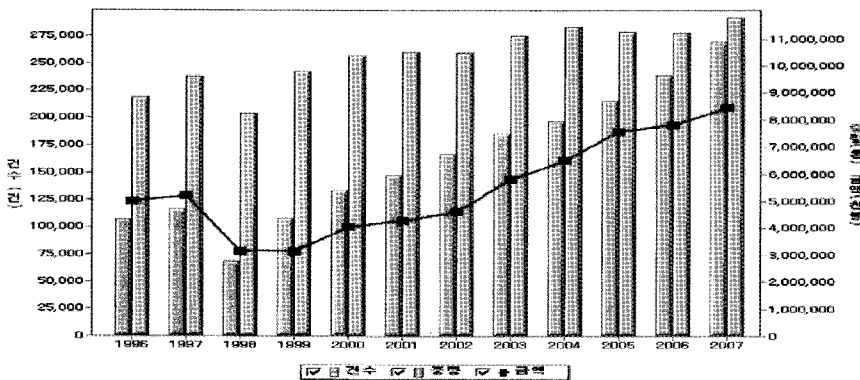


그림 3. 연도별 수입식품 통계 현황(1996 ~ 2007년)

또한, WHO/FAO에서는 급성 위험요인으로 미생물, 만성 위험요인으로 곰팡이독소를 가장 위험순위가 높은 요인으로 제시하고 있으며, 2008년 유럽, 식품 및 사료 신속경보시스템(RASFF : The Rapid Alert System for Food and Feed)에 따르면, 곰팡이독소가 경계통보(Alert Notifications) 2위, 부적합 통보 (Border Rejections) 1위를 나타내는 등 전 세계적으로 식품 중 곰팡이독소는 중요한 식품 안전상의 위험요인으로 평가되고 있다.

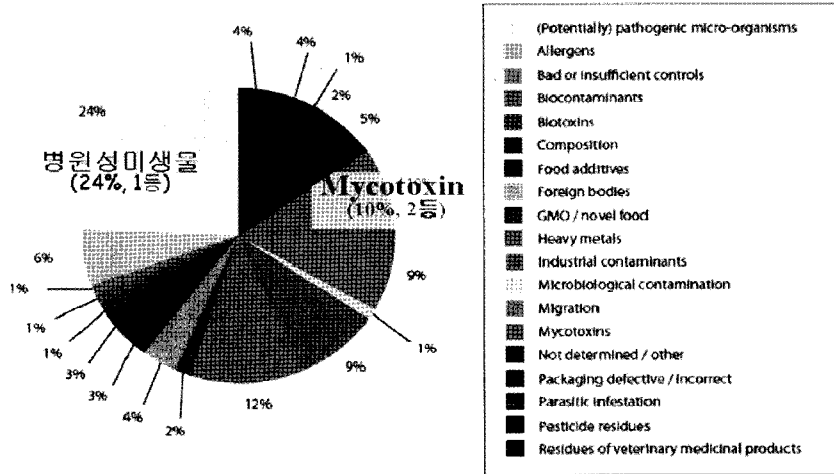


그림 4. Alert Notifications by Identified Risk, RASFF* Annual Report, 2008

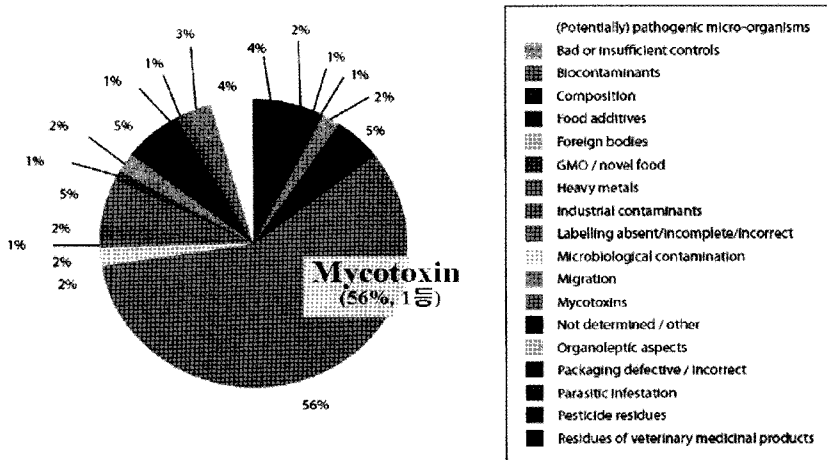


그림 5. Border Rejections by Identified Risk, RASFF Annual Report, 2008

* RASFF : The Rapid Alert System for Food and Feed

1.2. 곰팡이독소 종류 및 특성

곰팡이독소는 크게 생성균에 따라 *Aspergillus* 속, *Fusarium* 속, *Penicillium* 속 곰팡이독소로 구분할 수 있으며, 분류학적으로 *Aspergillus* 속과 *Penicillium* 속은 자낭균에, *Fusarium* 속은 불완전균류에 속한다. 이들은 토양이나 공기 중 또는 동·식물체에서 항상 볼 수 있으며, 자연계에 널리 분포되어 있고 현재까지 약 300여종 이상이 알려져 있다 그러나 잠재적으로 삶의 건강에 유해한 영향을 주는 곰팡이독소는 약 10~20종이다.

Aspergillus 속 곰팡이독소는 아플라톡신, 오크라톡신 등을 들 수 있으며, *Penicillium* 속은 파툴린, 시트리닌, *Fusarium* 속은 푸모니신, 데옥시니발레놀, 제랄레논 및 T-2 독신 등이 있다(표 1, 표2).

대부분의 곰팡이는 50~60°C에서 10분간 가열하면 거의 사멸하지만 곰팡이독소는 대부분 열에 안정하고 녹는점은 곰팡이독소마다 차이가 있다(표 3).

표 1. 곰팡이독소 종류

속 구분	종류	비고
<i>Aspergillus</i> 속	아플라톡신, 오크라톡신	열대지역
<i>Penicillium</i> 속	오크라톡신, 파툴린, 시트리닌 등	캐나다, 유럽, 남아메리카 일부지역
<i>Fusarium</i> 속	푸모니신, 데옥시니발레놀, 제랄레논 등	

표 2. 곰팡이독소류 특성

곰팡이독소	곰팡이명	주요식물	영양, 증상	다발지역
아플라톡신	<i>Asp. Flavus</i> <i>Asp. Paraciticus</i>	견과류, 옥수수, 쌀, 수수 등	식욕감퇴, 면역저하, 간암	덥고 건조한 지역
오크라톡신	<i>Asp. Ochraceus</i> , <i>Pen. Verrucosum</i>	커피, 곡류	성장저하, 식욕감퇴, 신장병	따뜻한 지역
데옥시니발레논	<i>Fusarium</i> , <i>Graminearum</i>	옥수수, 밀, 맥아, 보리	구토, 설사, 체중감소, 산유량저하	밤에 춥고 낮에 더우며 고습한 지역
제랄레논	<i>Fusarium</i> , <i>Graminearum</i>	옥수수, 밀, 겨, 보리, 맥아	질염, 미숙아출산, 유산 등	밤에 춥고 낮에 더우며 고습한 지역
푸모니신	<i>F. moniliforme</i> <i>F. proliferatum</i>	옥수수	폐부종, 식도암, 간·췌장장애	따뜻하고 더운 지역
T-2독신	<i>Fusarium</i> , spp.	옥수수, 밀, 겨 등	설사, 소화기손상, 가금류 구강장애	밤에 춥고 낮에 더우며 고습한 지역

표 3. 곰팡이독소류의 녹는 점

곰팡이독소	온도(°C)	곰팡이독소	온도(°C)	곰팡이독소	온도(°C)
아플라톡신 B1	268~269℃	데옥시니발레놀	131~135℃	오크라톡신 A	90℃ (결정화용매로 xylene을 사용하여 얻은 표준품의 mp는 169℃)
아플라톡신 B2	286~289℃	니발레놀	222~223℃		
아플라톡신 G1	244~246℃	시트리닌	178~179℃		
아플라톡신 G2	237~240℃	T-2 독신	150~151℃		
아플라톡신 M1	299℃	제랄레논	164~165℃		
아플라톡신 M2	293℃	파툴린	110℃		

1.3. 곰팡이독소 독성

곰팡이독소는 종류에 따라 간장, 신장, 자궁, 골수, 신경, 피부 등 다양한 독성을 나타내며 급성중독보다는 만성적인 중독이 더 큰 문제가 될 수 있지만, 만성중독에 대한 연구는 많지 않다.

국제암연구소(IARC : International Agency for Research in Cancer)에서는 곰팡이독소에 대한 발암 등급을 표 4과 같이 구분하였다.

표 4. 곰팡이독소 독성

곰팡이독소	IARC(국제암연구소)	독성값(단위)	섭취한계량
아플라톡신 B1	Group 1	Not established	-
아플라톡신 M1	Group 2B		-
오크라톡신 A	Group 2B	PTWI(ug/kg bw/week)	0.1
푸모니신	Group 2B	PMTDI(ug/kg bw/day)	2.0
제랄레논	Group 3		0.5
데옥시니발레논	Group 3		1.0
파툴린	Group 3		0.4
HT-2독신, T-2독신	Group 3		0.06

※ Group1 : Carcinogenic to Humans(확인된 인체발암물질)

Group2A : Probably Carcinogenic to Humans(인체 발암 증거가 제한적이거나 부정확하고, 실험동물의 발암 증거는 충분한 물질)

Group2B : Probably Carcinogenic to Humans(인체 발암 증거가 제한적이거나 부정확하고, 실험동물 발암 증거도 충분하지 아니한 물질)

Group3 : Not Classifiable as to its Carcinogenic to Humans(인체발암성으로 분류할 수 없음)

Group4 : Probably not Carcinogenic to Humans(사람에게 발암가능성 없음)

PTWI : Provisional Tolerable Weekly Intake(잠정주간섭취한계량)

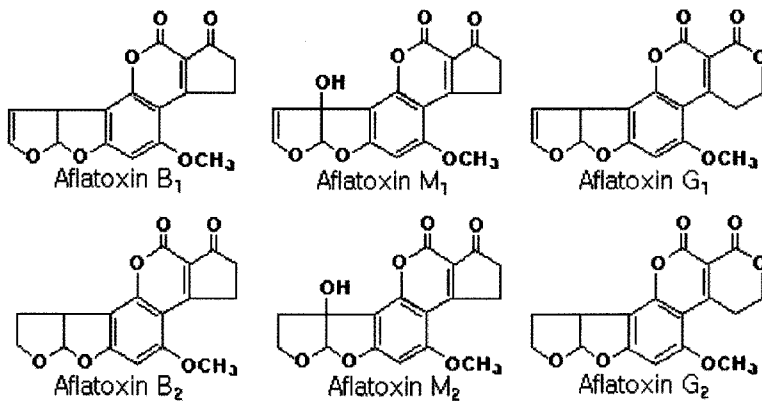
PMTDI : Provisional Maximum Tolerable Daily Intake(잠정일일최대섭취한계량)

2. 주요 곰팡이독소

2.1. 아플라톡신

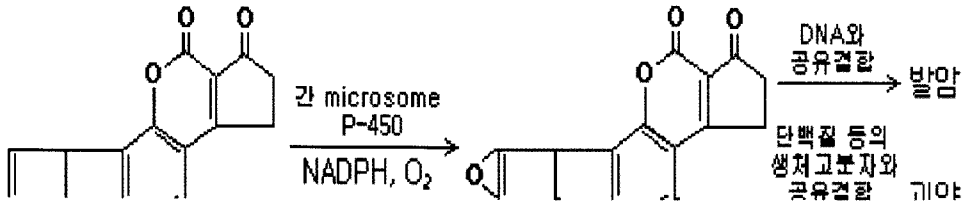
아플라톡신은 *Aspergillus flavus*와 *Asp. parasiticus*에서 주로 생성되는 곰팡이독소로 옥수수, 땅콩 등을 오염시켜 암을 유발시키는 물질이며, 발생빈도와 독성측면에서 위해도(hazard)가 매우 높다. 아플라톡신은 덩고 습도가 높은 지역에서 많이 발생되며, 오염도가 높은 식품은 땅콩, 아몬드, 피스타치오 등의 견과류와 옥수수, 쌀 등의 곡류이다. 아플라톡신의 종류는 B1, B2, G1, G2, M1, M2 등이 알려져 있는데, B1, B2는 자외선아래에서 푸른색, G1, G2는 녹색을 나타내고, B1, B2의 대사산물인 M1, M2는 주로 우유에서 발견된다. 이 중 B1이 가장 강력한 발암물질이며, 유전독성 물질이다. 아플라톡신의 주요 손상장기는 간이고, IARC(국제암연구소)는 인체발암물질(Group1)으로 분류하고 있다.

	<ul style="list-style-type: none"> • 생산균 : <i>Aspergillus flavus</i>, <i>Asp. parasiticus</i>, <i>Asp. nomius</i> • 독소 : Aflatoxin B1, B2, G1, G2, M1, M2 • 중독증 : 만성적으로 경구 발암성, 사람에게 대해 심한 급성 간장장애 • 분포 : 열대, 아열대, 남미, 아프리카, 동남아시아 지역 • 최적조건 : 탄수화물이 풍부한 곡류, 기질수분 16% 이상, 상대습도 80~85% 이상, 온도 25~30°C
<p><Aspergillus flavus 집락과 분생자두></p>	



<아플라톡신 구조>

또한 아플라톡신의 독성 세기는 B1>M1>G1>G2>순서이며, 간암 발생 메커니즘을 살펴보면 간에서 대사되는 과정중 반응성이 높은 epoxide체가 생성되고 이것이 염색체 DNA와 비가역적인 공유결합을 형성하면서 암을 발생시킨다. 메커니즘은 다음과 같다.



2.2. 오크라톡신(Ochratoxin)

오크라톡신은 주로 *Penicillium verrucosum*과 *Asp. ochraceus* 등 *penicillium* 속 및 *Aspergillus* 속에 의해 생성되는 곰팡이독소로 곡류, 건포도, 커피, 돼지고기 등 다양한 식품에서 발견된다. 오크라톡신은 A, B, C 및 4-hydroxy ochratoxin A 등 17종의 동족체가 있으며, 이 중 A가 가장 독성이 강하다.

1961년 남아프리카에서 발생한 곰팡이 오염을 조사하는 과정에서 *Asp. ochraceus* 가 발견되었으며, 1965년 이 곰팡이로부터 오크라톡신 A를 분리하였고 이 후 각 종 동물실험에서 간장 및 신장에 독성이 확인되었으며 면역억제, 발암성 및 기형 등의 유발가능성도 확인되었다. 또한 역학적으로 발칸 지역에서 발생한 신장병(Balkan Endemic Nephropathy)과 밀접한 관련이 있는 것으로 보고되고 있다.

오크라톡신 A는 무색의 결정체로 극성이 있는 유기용매에는 잘 녹으나 물에는 소량만 용해된다. 또한 생화학적으로 매우 안정하여 에탄올 용액은 냉장고에서 1년이상 활성이 유지되며, 130분간 고압멸균을 하여도 약 15%의 독소가 잔존한다. 이는 일반식품의 가공·조리후에도 많은 독소가 잔존함을 의미한다. IARC에서는 오크라톡신 A를 사람에서 인체발암가능물질(Group 2B)로 분류하고 있으며, JECFA(1995)는 잠정주간섭취한계량(PTWI : Provisional Tolerable Weekly Intake)을 0.1 ug/kg bw/week로 설정하고 있다.

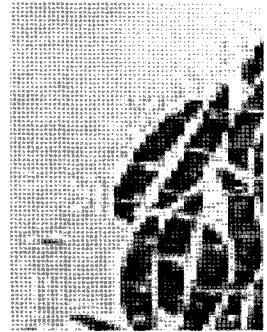
<p>Ochratoxin</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 생산균 : <i>Aspergillus ochraceus</i>, <i>Asp. ostianus</i>, <i>Penicillium viridicatum</i>, <i>Pen. palitans</i> 등 • 독소 : ochratoxin A, B, C • 중독증 : 간장장애 및 간암, 신장장애 및 신장암 유발 • 분포 : 광범위한 지역에서 쌀, 보리, 밀, 옥수수, 콩, 커피콩 등에서 검출
<p><오크라톡신 구조></p>	

2.3. 푸모니신(Fumonisin)

푸모니신은 *Fusarium* 속(*F. moniliforme*, *F. proliferatum* 등) 곰팡이에 감염되어 생성되는 독소로 옥수수 등의 농산물의 재배 또는 저장 중에 생성된다.

푸모니신은 지금까지 8종류가 알려져 있으나 자연계에서는 주로 B1(FB1)이 많이 발견되며, B2(FB2), B3(FB3)도 소량 발견되지만, FB1이 가장 오염빈도가 높고 독성이 강하다.

푸모니신은 주로 *Fusarium moniliforme* 종이 오염된 옥수수, 밀과 쌀 등에서 생성되며, 최근 발암성 관련 연구가 활발한 곰팡이독소 중 하나이다. 역학적으로 인체에서 설사, 복통을 보이는 급성중독 예가 인도에서 보고 되었으며, *Fusarium moniliforme*으로 오염된 곡물섭취를 통하여 푸모니신에 장기간 노출되면, 식도암 발생률이 매우 높은 것으로 알려져 있어 IARC는 사람에서 발암가능물질(Group 2B)로 분류하였다.

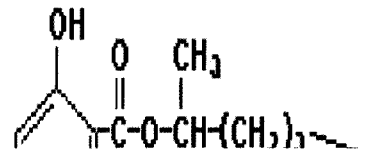


또한 말의 뇌백질연화증, 돼지의 폐부종 및 그 밖의 동물실험에서 간독성, 신장독성 등과 관련성을 보고하고 있다.

<p>〈푸모니신 B1의 구조〉</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 생산균 : <i>Fusarium moniliforme</i>, <i>Fusarium proliferatum</i> 등 • 독소 : FB1, FB2, FB3 • 중독증 : 동물에서 신경독성, 간독성, 식도변형유발 • 분포 : 옥수수, 기장, 사탕수수과 같은 곡류
----------------------	--

2.4. 제랄레논(Zearalenone)

제랄레논은 *Fusarium* 속 곰팡이가 생성하는 독소로서, 비스테로이드성 에스트로겐 특성을 갖는 곰팡이독소이다. 밀, 옥수수, 보리, 밀, 쌀, 수수 등 특히 충분히 말리지 않은 곡류에서 잘 발생하며 농산물의 재배 또는 저장 중에 주로 발생한다.



제랄레논은 20여종의 이성체가 있으나 trans- α -Zearalenone이 주로 자연계에서 발생된다. 백색의 결정체로서 녹는점은 164~165°C이며, 물에는 불용성이나 유기용매, 알칼리에 녹는다.

여성호르몬인 에스트로겐과 비슷하여 estradiol과 천연 estrogen과 같은 작용을 하고, 급성 독성물질은 아니며, 내분비 교란물질로서 중요하다. 특히 암태지에 민감하며 발정증후군(estrogen syndrome)을 일으키는 것으로 알려져 있다. 동물의 암컷에서 불임, 난소이상, 미숙아 생산 및 유산 등의 현상을 보이며, 수컷에서는 고환위축 등 생식계통에서 독성을 유발한다. 현재 IARC는 제랄레논을 인체 발암 물질로 분류할 수 없는 물질(Group 3)로 분류하고 있다.

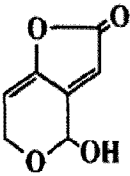

<p>〈Gibberella zeae로 오염된 쌀알〉</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 생산균 : <i>Fusarium graminearum</i>(<i>Gibberella zeae</i>), <i>Fusa roseum</i>, <i>Fusa tricinctum</i>, <i>Fusa oxysporum</i> 등 • 독 소 : Zearalenone • 중독증 : 가축에 비정상적인 발정증후군(estrogenic syndrome) 초래
----------------------------------	--

2.5. 파툴린(Patulin)

파툴린은 *Penicillium expansum*, *Pen. urticae*, *Pen. patulin*, *Asp. clavatus*, *Asp. terreus*, *Asp. giganteus* 등에 의해 생성되는 독소로서 초기 연구에서 Gram 양성 및 음성균에 대한 항생물질로 발견되어졌으나 이 후에는 동물과 사람에게 대해서 독성이 매우 강한 것으로 연구되었다. 랫드에서 피하주사에 의한 파툴린의 LD50은 15~20 mg/kg 이며, 피하 육종(肉腫)을 유발하기도 하는 것으로 알려져 있다.

파툴린이 가장 흔히 발견되는 식품은 사과이며 배, 포도와 다른 과일을 포함한 상한 과일류와 상한 과실류로 제조된 주스와 과실 가공품에서 발견되고 있다. 또한 채소류, 곡류와 사일로에 저장된 사료에서 때때로 파툴린 오염이 보고되고 있다. 사과주스에서의 파툴린 생성균은 주로 *P. expansum*이다.

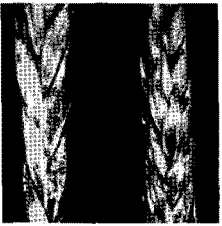
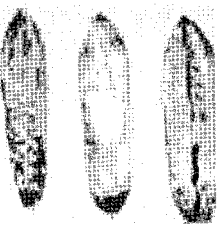
파툴린은 아직까지 사람에게 발암성을 나타낸 뚜렷한 결과는 없어, 현재 IARC는 파툴린을 인체 발암 물질로 분류할 수 없는 물질(Group 3)로 분류하고 있다.

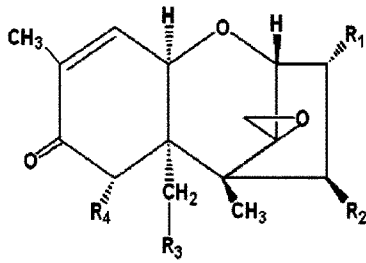
		<ul style="list-style-type: none"> • 생산균 : <i>Penicillium patulum</i>(<i>Pen. expansum</i>, <i>Aspergillus clavatus</i>, <i>Asp. terreus</i>, <i>Asp. claviforme</i> 등) • 독소 : patulin(신경독 물질) • 중독증 : 출혈성 폐부종, 간, 비장, 신장 모세혈관 손상, 뇌수종, 뇌와 중추신경 출혈반 • 사과 부패균인 <i>Pen. expansum</i>에서도 대량 생성, 부패된 사과나 사과주스의 오염사례가 많음
<p><파툴린의 구조, <i>Pen. expansum</i>의 분생자두></p>		

2.6. 데옥시니발레놀(Deoxynivalenol, DON)

데옥시니발레놀은 *Fusarium* 속 곰팡이가 생성하는 Trichothecene류에 속하는 곰팡이독소로서 주된 증상은 토하는 현상으로 vomitoxin으로 불리기도 한다. 옥수수, 밀, 보리, 귀리 등의 곡류에 주로 발생되며 식품가공 및 발효에 의해서도 파괴되지 않아 관련 가공제품 특히 유아나 어린이들이 섭취하는 이유식, 비스킷, 쿠키 등 전 세계적으로 발생하는 독소로 알려져 있다.

데옥시니발레놀 화학구조에서 4번탄소에 -OH기가 있는 것이 Nivalenol(NIV)인데, 이것이 DON보다 독성이 더 강하다. DON의 오염사례는 많으나 비교적 독성은 약한 편으로 국제암연구센터(IARC)는 동물과 인간에 대한 발암성 증거가 불충분하므로 인간에 대해 발암 가능성이 없는 물질(Group 3)로 분류하고 있다.

		<ul style="list-style-type: none"> • 생산균 : <i>Fusarium graminearum</i>, <i>Gibberella zeae</i>, • 독소 : Deoxynivalenol • 중독증 : 동물에서 체중 감소, 설사, 무기력, 창백한 피부부색, 피부 통증, 저체온, 소장출혈, 사료거부, ZEN-불입, 유산, 출혈 • 조건 : 우기, 수분>20%, 온도 21~30°C, 높은 습도, 습도가 72시간 이상 높게 유지되면 비교적 낮은 온도(15°C)에서도 발생)
<p><붉은곰팡이병 오염된 이삭 및 낱알></p>		



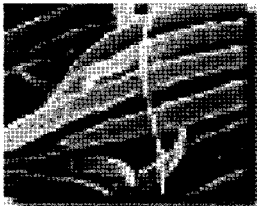
	MW	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄
Deoxynivalenol	294	OH	H	OH	OH
3-Acetyl-DON	338	OAc	H	OH	OH
15-Acetyl-DON	338	OH	H	OAc	OH
Nivalenol	312	OH	OH	OH	OH

2.7. 트리코테센류(Trichothecenes)

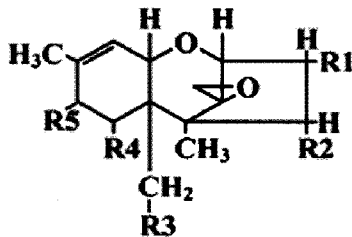
주로 *Fusarium* 종이 생성하는 곰팡이독소로 현재까지 약 148종의 독소가 분리되었으나, 그 중 deoxynivalenol, nivalenol, diacetoxyscirpenol 및 T-2 독소가 식품을 오염시켜 면역기능 억제, 오심과 구토 등의 증상을 유발한다. 사람에서는 1932년 구 소련연방에서 *Fusarium*에 오염된 추수가 안된 곡물을 먹은 사람에서 중독(Alimentary toxic aleukia, ATA)이 최초로 보고되었다.

T-2, HT-2는 A형 trichothecene 곰팡이독소로 밀, 옥수수, 귀리, 보리, 쌀, 콩, 강낭콩 같은 곡류 및 곡물 가공품에 주로 오염되는 것으로 알려져 있으며, T-2, HT-2 독소는 수확 시 곡물에서는 거의 발견되지 않고, 곡물 수확 후 특히 추운 날씨에 논이나 들에 방치해 둘 경우 수분이 곡물에 손상을 주는 경우 또는 저장 시 곡물이 쪼개 될 때 발견된다.

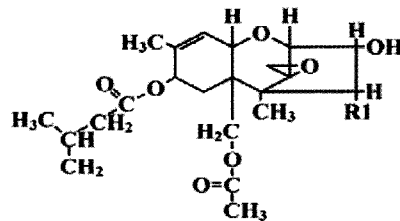
T-2 독소의 독성정보는 많지 않으나 경구섭취보다 흡입통과 시 10배 더 독성을 보이는 것으로 보고되고 있다.



- 생산균: *Fusarium trincinctum*, *Fusa. nivale*, *Fusa. roseum*
- 독소 : T-2 toxin, HT-2 toxin, nivalenol
- 중독증 : 메스꺼움, 구토, 설사, 출혈, 피부점막자극, 재생불량성 빈혈, 두통, 경련
- 조건 : 온도 <15°C, 높은 습도에서 주로 발생



<Trichothecenes의 기본구조>



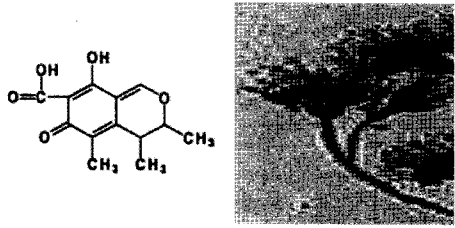
T-2 : R1=OAc' HT-2 : R1=OH)
<T-2 및 HT의 구조>

2.8. 시트리닌(Citrinine)

시트리닌은 *Penicillium* 속 곰팡이에 의해 생성되는 독소이며, 1931년 항생물질로서 처음 연구가 시작되었다. 아플라톡신이나 *Fusarium* 독소 등에 비해 상대적으로 독성은 약하나, 저장중인 곡류에서 대량 발생하는 특성이 있어 잠재적인 위해성이 큰 곰팡이독소이다.

시트리닌은 1951년 태국산 쌀에서 분리되었으며, 최근에는 홍국곰팡이로 알려진 *Monascus purpureus*, *M. ruber* 등이 홍국 발효 중에 다량의 시트리닌을 생합성하는 것이 보고되면서 많은 연구가 진행되고 있다. 주로 온대지방의 옥수수, 쌀, 맥류 등의 곡류와 땅콩에서 주로 발견되며, 치즈, 주류 등에서도 오염사례가 보고되고 있다. 곡류 등에서의 시트리닌 오염량은 식품의 종류에 따라 다르나 일반적으로 홍국제조에 사용되는 *Monascus* 곰팡이가 홍국 발효 중 시트리닌을 생산할 수 있으므로 홍국적색소를 사용하는 제품에서는 시트리닌 검출 가능성이 있다.

현재 WHO의 국제암연구센터(IARC)의 시트리닌에 관한 평가에 의하면, 수컷 쥐에서 citrinin의 구강 섭취에 의한 신장종양(renal tumor) 발생을 근거로 한 발암성 시험결과가 있으며, 설치류에서 embryotoxicity를 확인한 시험결과가 있으나, 아직 사람에게 대한 발암성을 확인할 수 있는 역학적 보고는 없는 것으로 보고하고 있다. 따라서 현재 국제암연구센터(IARC)는 시트리닌을 인간에 대해 발암 가능성이 없는 물질(Group 3)로 분류하고 있다.

 <p>< Citrinine 의 기본구조 ></p>	<ul style="list-style-type: none"> • 생산균 : <i>Penicillium citrinum</i> • 독소 : citrinin (페놀화합물, 레몬황색 형광 발생) • 중독증 : 신장독(급·만성 necrosis, 신장에서의 수분 재흡수 저해) • 특징 : Pen. citrinum 이외의 여러 곰팡이에서 생산, 자연계에 널리 분포(특히 온대지방), 옥수수, 쌀, 맥류(麥類) 등의 곡류, 땅콩에 주로 발생
--	---

3. 곰팡이독소의 안전관리

표 4. 국내·외 곰팡이독소 관리 현황

국가	대상독소	대상물질	기준(μg/kg)
한국	Aflatoxin (B ₁ +B ₂ +G ₁ +G ₂)	곡류, 두류, 땅콩, 견과류 및 그 단순가공품(분쇄, 절단 등)	15 (단, B ₁ 으로서 10 μg/kg 이하)
		곡류가공품 및 두류가공품(규격 외 일반가공식품)	
		장류(메주 제외), 고춧가루(공통규격)	
		과자류(땅콩 또는 견과류 함유식품), 메주	
		기타식품류(찐쌀, 팜콘용옥수수가공품, 땅콩 및 견과류가공품)	

국가	대상독소	대상물질	기준(μg/kg)
한국	Aflatoxin M1	제조, 가공 직전의 원유 및 우유류	0.5
	Patulin	사과주스, 사과주스 농축액	50
	Ochratoxin A	밀, 호밀, 보리	5
		커피콩, 볶은커피	5
		인스턴트 커피	10
	Fumonisin (B ₁ + B ₂)	옥수수	4,000
		옥수수단순가공품(분쇄, 절단 등)	2,000
		옥수수가루	2,000
Codex	Aflatoxin (B ₁ +B ₂ +G ₁ +G ₂)	아몬드, 헤즐넛, 피스타치오넛(가공)	10
		아몬드, 헤즐넛, 피스타치오넛(비가공)	15
		땅콩(가공하지 아니한 것)	15
	Aflatoxin M ₁	우유	0.5
	Ochratoxin A	보리, 호밀, 밀	5
	Patulin	사과주스	50
미국(Action level)	Aflatoxin (B ₁ +B ₂ +G ₁ +G ₂)	브라질넛, 식품, 땅콩과 그 가공품, 피스타치오	20
	Aflatoxin M ₁	우유	0.5
미국(Guidance level)	Ochratoxin A	배아제거 건조 가루 옥수수 가공품	2,000
		전체 또는 일부 배아를 제거한 건조가루 옥수수 가공품	4,000
		건조가루 옥수수 겨(bran)	4,000
		Masa 제조용 옥수수(cleaned)	4,000
		팝콘 제조용 옥수수(cleaned)	3,000
	Deoxynivalenol	최종 밀 제품들	1,000
미국(Guidance level)	Fumonisin (B ₁ +B ₂ +B ₃)	배아제거 건조 가루 옥수수 가공품	2,000
		전체 또는 일부 배아를 제거한 건조가루 옥수수 가공품	4,000
		건조가루 옥수수 겨(bran)	4,000
		Masa 제조용 옥수수(cleaned)	4,000
		팝콘 제조용 옥수수(cleaned)	3,000
	Deoxynivalenol	최종 밀 제품들	1,000
캐나다	Aflatoxin (B ₁ +B ₂ +G ₁ +G ₂)	땅콩제품	15
	Deoxynivalenol	연질밀	2,000

국가	대상독소	대상물질	기준(μg/kg)		
			B ₁	B ₁ , B ₂ , G ₁ , G ₂ 의 합	M
유 리 한	Aflatoxin	땅콩(비가공)	8.0	15.0	-
		견과류(비가공)	5.0	10.0	-
		땅콩, 견과류 및 그 가공품	2.0	4.0	-
		건조과실류(비가공)	5.0	10.0	-
		건조과실류 및 그 가공품	2.0	4.0	-
		곡류 및 그 가공품(옥수수 및 영유아용제품 제외)	2.0	4.0	-
		옥수수(비가공)	5.0	10.0	
		원유, 시유 및 유제품제조용 우유	-	-	0.05
		향신료(고추속, 후추속, 육두구, 생강, 심황)	5.0	10.0	
		영유아용 곡류가공품 및 이유식	0.1		
		영아용 조제식 및 성장기용 조제식			0.025
		영아용 특수의료용도식품			0.025
		Ochratoxin A	곡류(비가공)		5.0
	곡류가공품(영유아용 제품 제외)			3.0	
	건조 포도과실류(Dried vine fruit)			10.0	
	볶은 커피콩(인스턴트 커피 제외)			5.0	
	인스턴트 커피			10.0	
	포도주, 과실주			2.0	
	혼성포도주, 혼성포도주 음료 및 혼성포도주 칵테일			2.0	
	포도주스, 농축포도주스, 포도넥타(직접 섭취 제품)			2.0	
	영유아용 곡류가공품 및 이유식			0.5	
	영아용 특수의료용도식품		0.5		
	Patulin	과일주스, 농축과일주스, 과일넥타		50	
		사과 또는 사과주스가 함유된 spirit drink, 사이다 및 기타 발효음료		50	
		고형 사과제		25	
		유아용, 어린이용으로 표시 또는 판매되는 사과주스 및 고형 사과제품		10.0	
		영유아용 곡류가공품 이외의 이유식		10.0	
	Deoxynivalenol	비가공 곡류(듀럼밀 귀리, 옥수수 제외)		1,250	
		비가공 듀럼밀, 귀리		1,750	
		비가공 옥수수		1,750	
		곡류 및 곡류가루, 배아		750	

국가	대상독소	대상물질	기준(µg/kg)		
			B ₁	B ₁ , B ₂ , G ₁ , G ₂ 의 합	M
유럽 연합	Deoxynivalenol	파스타(건조제품)	750		
		빵, 패스츰리, 비스킷, 곡류스낵, 시리얼	500		
		영유아용 곡류가공품 및 이유식	200		
	Zearalenone	비가공 곡류(옥수수 제외)	100		
		비가공 옥수수	200		
		곡류 및 곡류가루, 배아	75		
		옥수수, 옥수수가루, 옥수수 meal, 옥수수 grit, 옥수수 배아 및 정제 옥수수유	200		
		빵, 패스츰리, 비스킷, 곡류스낵, 시리얼(옥수수 스낵, 옥수수로 만든 시리얼 제외)	50		
		옥수수 스낵 및 옥수수 시리얼	50		
		영유아용 곡류가공품(옥수수로 가공된 제품 제외) 및 이유식	20		
		옥수수로 가공된 영유아용 제품	20		
		Fumonisin (B ₁ + B ₂)	비가공 옥수수	2,000	
	옥수수가루, 옥수수 meal, 옥수수 grit, 정제 옥수수유		1,000		
	그 밖의 옥수수제품		400		
	옥수수로 가공된 영유아용 제품		200		
T-2 and HT-2 toxin	비가공 곡류 및 곡류가공식품	-			

3.2. 곰팡이독소 관리 동향

곰팡이독소는 1960년대 아플라톡신이 발견된 이래 많은 나라에서 규제를 설정하여 관리하고 있으며, 미국 FDA, 영국 FSA, CODEX를 비롯한 선진외국, 국제기구 등에서도 위해평가원칙을 도입하여 기준 및 규격 제·개정시 평가결과를 반영하고 있다. 특히 Codex에서 설정한 규제, 권고, 권장치를 WTO에서 인정하기로 함에 따라 Codex의 업무는 더욱 활발히 추진되고 있으며, 또한 Codex 식품첨가물·식품오염물질 분과위원회(CCFAC)에서는 오염물질에 대한 안전성평가 및 저감화 방안을 추진하고 있다. 우리나라에서도 Codex회의에 참여하고 있으며, 곰팡이독소 규제 역시 EU, Codex 등과 보조를 맞추기 위해 노력하고 있다.

우리나라도 최근 아열대지역으로부터 식품 수입량이 증가되고, 기후 온난화 등에 따른 곰팡이독소 안전관리 필요성이 대두되면서 곰팡이독소에 대한 연구사업을 진행중이며, 이를 바탕으로 기준규격을 제·개정 추진중이다. 올 초 아플라톡신 기준을 B₁ 10 µg/kg 이하에서 총 아플라톡신(B₁, B₂, G₁, G₂의 총합) 15 µg/kg이하로 기준을 강화하였으며, 옥수수 중 푸모니신, 곡류(밀, 호밀, 보리), 커피 중

오크라톡신 A 등 곰팡이독소에 대한 기준을 신설하였다. 그 밖에도 곡류 중 데옥시니발레놀, 제랄레논 및 메주, 고춧가루 중 오크라톡신 등 기준규격(안) 등이 입안예고 되어있어 곰팡이독소에 안전기준이 강화되고 있는 실정이다.

4. 참고문헌

1. WHO, Environmental Health Criteria 11, Mycotoxin, WHO, Geneva(1979) Sieber, S.M., et al : Cancer Research, 39(1979)
2. WHO, Food Additives series 47; Safety evaluation of certain mycotoxin in food, 2001
3. Sherif O. Sherif, Emad E. Salama, Mosaad A. Abdel-Wahhab, Mycotoxins and child health : The need for health risk assessment, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 2008
4. 유럽, 식품 및 사료 신속경보시스템(The Rapid Alert System for Food and Feed(RASFF))연간보고서 2005~2008
5. 식품안전평가원 독성정보 DB
6. FOA, Worldwide regulations for mycotoxins in food and feed in 2003
7. T. Kuiper-Goodman : Approach to the Risks Analysis of Mycotoxins in Food Supply, 1999
8. R. Walker : Mycotoxins of growing interest, Ochratoxins, 1999
9. Rudolf Krska ; Mycotoxins of growing interest, Zearalenone, 1999
10. Chester J. Mirocha ; Mycotoxins of growing interest, Trichothecenes, 1999
11. N. Magan and M. Olsen, Mycotoxins in Food Detection and control, CRC Press, 2004
12. Binder, E.M., Tan, L.M., Chin, L.J., Handl, J. and Richard, J. Worldwide occurrence of mycotoxins in commodities, feeds and feed ingredients. *Animal Feed Science and Technology* 137, 265-282., 2007
13. Tan, L.M. Occurrence of mycotoxins in Asia, *Feed Mix* 15(4), 32-33., 2007