

곰팡이 제거해도 독소는 남아

아플라톡신 · 후자리움 독소 人畜에 중독증 유발



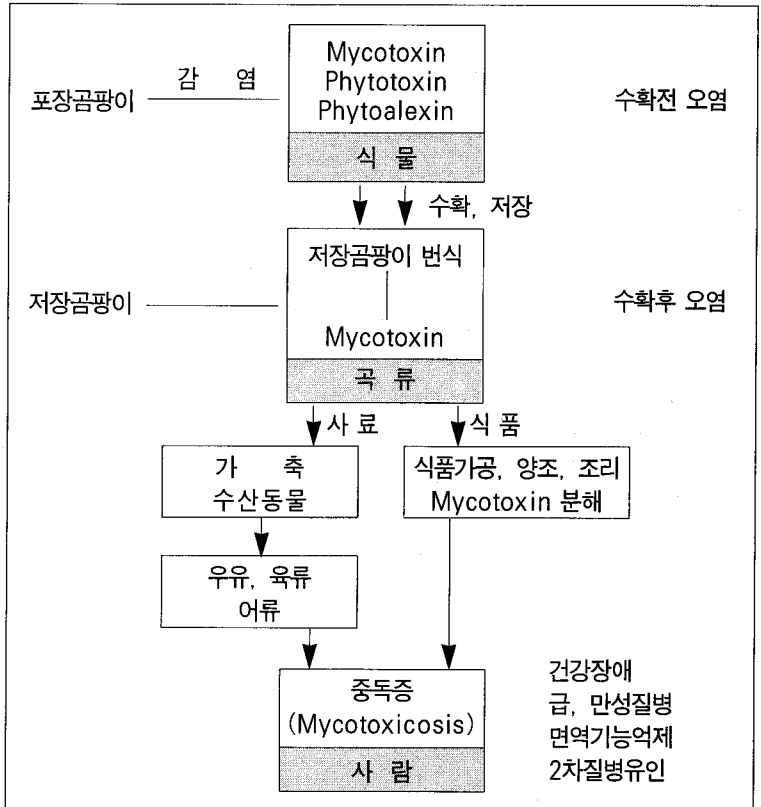
이 인 원
서울대학교 농생물학과 부교수

곰팡이는 작물의 생육기간중 병을 일으키거나 오염되어 수확 후 수량의 감소와 품질 저하 등의 경제적 손실을 초래한다. 이와 동시에 곰팡이가 생성하는 유독 대사산물인 Mycotoxin과 곰팡이의 감염을 계기로 식물이 생성하는 Phytoalexin 등의 유독성분이 식물체에 축적된다. 유독물질이 오염된 사료가 가축이나 수산동물에 급여되면 1차적으로 이들에 중독증을 초래하고 이들로 부터 생산된 육류와 어류는

사람이 소비함에 따라 먹이 사슬을 통하여 사람은 급성 또는 만성적 건강 장애를 유발하게 된다(그림 1).

특히 작물의 수확전 재배과정에서 침입하는 곰팡이들을 포장 곰팡이(field fungi)라 일컬으며 흔히 토양중에 서식한다. 포장곰팡이가 작물에 침입하기 위해서는 온도, 습도, 강우량 등의 기상조건과 밀접한 관계를 가지며 이미 작물의 포장단계에서 곰팡이 독소들을 생성하기 때문에 곡류에서의 곰팡이 독소오염

그림1. 곰팡이에 의하여 생성되는 독성물질의 운명



은 생산지에 따라서는 널리 발생하게 된다. 또한 포장곰팡이는 수확후 처리과정중 소멸되는 경우도 많으나 이미 생산된 독소들은 화학적으로 안정하기 때문에 식품의 원료가 일단 오염되면 가공 후에도 소실되지 않고 잔존한다. 특히 발암성의 아플라톡신(Aflatoxin)과 후자리움(Fusarium)속 균에 의해서 생성되는 트리코세신(Trichothecene)과 지랄레논(Zearalenone:ZEA) 등이 대표적인 예라 할 수 있다.

우리나라는 1980년 부터 곡물의 수입량이 꾸준히 증가하여 1990년 이후에는 옥수수, 밀, 콩 등을 포함한 곡물수입이 금액으로 30억불을 초과하고 있으며 앞으로도 곡물의 수입량이 증가할 것으로 예상된다. 이에 따라 국내산 곡물보다 수입곡물의 안전성 문제가 대두되며 특히 수입곡물의 곰팡이 독소오염에 대한 안전성 문제가 제기되어야 할 시점이다. 이 글에서는 곡물에서 흔히 발생하는 곰팡이 독소의 오염현황과 그 대책에 관하여 소개하고자 한다.

1. 수입곡물의 아플라톡신 오염

아플라톡신은 현재까지 알려진 천연 화합물중 가장 저농도에서 암을 유발할 수 있는 발암물질로 알려져 있으며 여러 종의 동물에서 간암을 유발한다는 것이 실험적으로 밝혀졌다. 예컨대 15ppb의 아플라톡신이 혼합된 사료를 68~80주 동안 흰쥐

표1. 1991년 수입곡물의 이플라톡신 오염현황

곡 물	원산지	독소검출시료수	오염범위(ppb)
		검체시료수	
옥수수	중 국	2/22	9-27
	미 국	0/2	-
소 맥	호 주	0/10	-
	중 국	0/2	-
	캐나다	0/5	-
	E. C.	0/1	-
소맥피	중 국	0/2	-
	미 국	0/1	-
채종박	중 국	3/8	4-10
	인 도	7/11	2-9
대두박	중 국	1/11	4
	인 도	5/5	1-5
면실박	중 국	18/18	0.6-113
	호 주	0/2	-
면 실	호 주	0/2	-
타피오카	태 국	0/10	-
해바라기박	중 국	2/2	2-3
캐놀라민	캐나다	0/2	-

에 급여하면 100% 간암이 발생되며 투여총량 100ug이하의 양으로 발암작용을 갖는 것으로 보고되고 있다.

아플라톡신은 *Aspergillus flavus*와 *Aspergillus parasiticus*라는 두 종의 곰팡이에 의해서 생성되는 진균독소로서 화학적으로 구조가 유사한 20여종의 유도체가 발견되고 있다. 이들 유도체들은 형광에 따라 B군과 G군으로 구분되며 이들을 섭취한 동물의 생체 대사물로서 유유나 소변 등에서 발견되는 M군으로 나눌 수 있다.

아플라톡신은 주로 옥수수, 땅콩, 면실, 유채, 견과류 등에서 발생빈

도가 높다. 또한 전 세계적으로 고온 다습한 열대나 아열대 지방에서 생산되는 농산물에서 검출이 빈번하기 때문에 한국산 농산물은 비교적 아플라톡신에 안전하며 수입곡물이 훨씬 더 문제가 될 가능성이 높다. 실제로 1989년 우리나라가 수입한 미국산 옥수수 600만 톤중 400만 톤이 아플라톡신에 오염되었다는 보고가 워싱턴 포스트지에 기고된 이래 국내에서는 수입곡물의 아플라톡신 오염에 관한 논란이 계속되고 있으며 이를 계기로 진균독소 오염에 관한 안전성 문제가 대두되고 있다.

필자의 연구실에서 과학기술처의 지원으로 1991년 1월부터 10월까

지 수입모선을 다르게 한 총 115개의 수입곡물 및 원료사료를 수집하여 아플라톡신의 오염조사를 실시한 결과요약은 표 1과 같다.

소맥, 소맥피, 타피오카, 캐놀라인에서는 원산지와 관계없이 아플라톡신이 검출되지 않았으며 중국과 인도산의 채종박과 대두박에서는 아플라톡신B₁의 검출 빈도는 높은 편이었으나 그 농도는 낮았다. 또한 중국산 해바라기박 2시료에서는 아플라톡신 G₁만이 검출되었으며 검출량은 낮았다. 옥수수 2시료에서는 중국산 22시료중 2시료에서 아플라톡신 B₁만이 검출되었고 미국산 2시료에서는 검출되지 않았다. 그러나 면실박의 경우 중국산 18시료 모두에서 아플라톡신 B₁, B₂, G₁, G₂의 4유도체가 검출되는 시료수가 많았다.

2. 한국산 곡물의 후자리움 독소 오염

곰팡이중 후자리움(Fusarium)속은 식물에 병을 일으켜 작물의 수량 감소와 품질 저하를 가져올 뿐만 아니라 수확후 곰팡이에 오염된 곡류에 독소가 함유될 가능성이 있어 인축에 중독증을 초래할 위험이 있다. 이 후자리움 독소가 발생하여 인축에 중독증을 초래한 역사적 사실은 미국, 캐나다, 일본, 러시아 등 세계 여러 나라에서 찾아 볼수 있다. 우리나라에서도 1963년 남부지방에서 붉은곰팡이 병으로 맥류의 수확

표2. 1990년 남부지방산 보리의 후자리움 독소 오염 현황

곰팡이독소	검출시료수(%)	검출시료의 평균독소검출량(범위)(ng/g)
DON	35 (89.7)	170 (25-1051)
3-ADON	7 (17.9)	65 (13-168)
15-ADON	0 (0.0)	ND
3,15-DADON	0 (0.0)	ND
NIV	37 (94.9)	1011 (39-6892)
4-ANIV	17 (43.6)	25 (12-71)
4,15-DANIV	5 (12.8)	22 (15-28)
ZEA	20 (51.3)	287 (40-1416)

■

아플라톡신은 가장 낮은 농도에서도 암을 일으킬 수 있는 물질이다. 곡물 수입량이 꾸준히 늘고 있는 우리나라에서는 수입곡물의 안전성 문제가 제고돼야 할 시점이다.

■

이 40~90% 감소되었고 이 병에 이병된 맥류가 식품과 사료로 사용되어 인축에 심한 중독증을 초래하여 당시 큰 사회적 문제가 된 일이 있다.

후자리움 독소는 트리코세신(Trichothecene)과 지랄레논(Zearealenone)이 그 주종을 이루고 있다. 트리코세신 독소는 T-2를 포함하여 100여개의 유도체가 알려져 있으며 이들의 독성은 동물에서의 피부질환, 소화기관 및 순환계에서의 출혈, 설사, 구토, 신경장애 등을 일으키는 것으로 보고되어 있다. 1970년대 후반에 동남아 지방에서

소련이 이들 물질을 이른바 “황우”라는 화학무기로 사용하였다는 미국의 주장에 따라 국제적 정치문제를 야기한 바 있다. 한편 지랄레논은 동물에서 성 성숙전 증후군을 유발하여 생식기관에 이상을 초래한다.

국내에서는 후자리움 독소의 발생 보고가 전무하였으나 1980년대에 들어 부분적으로 보고되고 있으며 수입곡물의 후자리움 독소 오염 실태 조사는 거의 수행되지 않았다. 1991년 수입옥수수와 소맥, 소맥피를 대상으로 트리코세신중 곡류에서 흔하게 발생하는 디옥시니발레놀과 니발레놀의 두 독소와 지랄레논을 분석한 결과 요약은 표 3과 같다. 필자의 연구실에서 조사한 국내산 보리와 옥수수의 후자리움 독소오염 결과는 표 2, 표 3과 같다.

우리나라 옥수수 주산지에서 1991년에 수확한 46개의 옥수수 시료를 분석한 결과 8-ketotrichothecene 중 5개의 Trichothecene이 검출되었으며 DON이 65.2%(310 ppb), 15-acetyl DON(15-ADO

표3. 1991년 강원도산 옥수수의 후자리움 독소 오염 현황

곰팡이독소	검출시료수(%)	검출시료의 평균독소검출량(범위)(ng/g)
DON	35 (65.2)	310 (29-2752)
3-ADON	0 (0.0)	ND
15-ADON	12 (26.1)	297 (22-1726)
3,15-DADON	0 (0.0)	ND
NIV	16 (34.8)	77 (6-366)
4-ANIV	5 (10.9)	55 (23-139)
4,15-DANIV	7 (15.2)	29 (17-51)
ZEA	8 (17.4)	151 (4-388)

N)이 26.1%(297 ppb), NIV가 34.8%(77 ppb), ZEA가 17.4%(151 ppb)의 검출률을 보였으며, 3-acetyl DON(3-ADON)과 3,15-diacetyl DON(3,15-DADON)은 검출되지 않았다. 한편 1990년 우리나라 남부지방에서 수확한 38개의 보리시료에서는 DON이 89.7(170 ppb), NIV가 94.0%(1,011 ppb), ZEA가 51.3%(287 ppb)의 검출률을 보였고 15-ADON과 3,15-DADON은 검출되지 않았다.

3. 대책

진균독소의 발생은 곡물의 원산지와 환경에 따라 달라진다. 예를 들면 1988년 미국 중서부지방에서 생성된 옥수수의 아플라톡신 오염은 그 해 이 지방의 극심한 가뭄으로 인하여 포장에서 곰팡이가 오염되었기 때문이며 통상 이 지방의 곡물은 매년 후자리움 독소가 일반적으로 훨씬 더 문제가 있는 반면, 미국 남동

**곰팡이 오염후
 약제 사용은 독소 제거에
 도움이 되지 않는다.
 식물의 생육단계에서 미리
 병을 방제함으로써 곡물의
 독소오염을 막을 수 있다.
 수입곡물에 대해서는
 곰팡이 독소에 대한
 차단관리가 필요하다.**

부 지방에서 생산되는 옥수수는 후자리움 독소보다는 아플라톡신 오염도가 높다. 따라서 우리나라에서는 수입원산지로부터 소비에 이르기까지 어느 시점에서 독소의 오염이 문제가 되는지 파악하고 이에 따라 진균독소에 대한 차단 관리가 필요하다.

후자리움은 맥류와 옥수수에서 각각 붉은곰팡이병과 이삭썩음병을 일으키는데 포장 곰팡이는 식물의 생육시 병을 방제함으로써 곡물의 독소 오염을 막을 수 있다. 최근 일본

에서 밀과 보리 출수후 Thiophanate methyl과 같은 약제를 2회 살포함으로써 붉은곰팡이병을 억제할 수 있었으며 곰팡이 독소 오염을 효과적으로 제어할 수 있었다는 보고가 있다.

또한 곡물의 수확후 오염되는 *Aspergillus*나 *Penicillium*속의 저장곰팡이의 경우에는 훈증제를 사용함으로써 곰팡이의 오염을 막을 수가 있으나 일단 곰팡이 오염후 약제 사용은 독소를 제거하는 데 도움이 되지 않는다. 왜냐하면, 약제 사용후 곰팡이는 사멸이 되더라도 곰팡이가 생성한 독소는 곡물에 그대로 잔존하기 때문이다. 이러한 경우 독소의 오염도가 높다고 판단되면 독소가 오염되지 않은 건전한 곡류와 희석하여 독소 허용치 이하로 떨어뜨려 가축의 사료로 사용할 수 있는 것이다.

진균이 침입하여 손상을 입은 식물과 진균과의 상호작용은 결코 단순하지 않으며 특히 독소의 생성과 축적에 관해서는 연구할 점이 많다. 진균의 감염에 대한 식물의 방어반응과 독소생성과의 관련, 독소에 대한 식물의 반응, 독소의 식물체내에서의 운명 등은 진균이 오염된 농산물의 안전성 평가 이상으로 중요할 뿐만 아니라 곰팡이독소 오염을 억제하기 위한 수단을 제공하는 일도 중요하다. 또한 이러한 영역의 연구는 그 범위를 확대하여 행정적, 산업적으로 뒷받침 되어야 하겠다.

농약정보