

# 곰팡이 독소와 사료의 안전성 관리(상)



이홍구 교수  
(서울대학교)

## I. 서론

곰팡이에 오염된 곡물을 섭취함으로써 가축과 사람에서 질병을 유발한다는 것은 이미 오래 전부터 알려졌다. 곰팡이독소(mycotoxin)의 중요성은 1960년대 Aflatoxin이 가금류에 치명적인 '칠면조-X병(turkey X disease)'의 원인이 되는 것으로 밝혀지면서 공식적으로 확인되었다.

곰팡이독소는 농산물의 생육기간 및 저장, 유통 중에 곰팡이에 의해 생성되는 2차 대사산물(독소, Toxin)로 사람이나 가축에 급성 또는 만성적 생리적, 병리적 장애, 가축 사양관리의 어려움은 물론 상품을 국내와 국제 거래에서 받아들일 수 없도록 변질시키는 등의 원인이 되어 심각한 경제적 손실을 가져다 줄 수 있다.

일반적으로 사료용 곡물의 저장에 있어서 낮은 수분활성은 많은 미생물의 발육을 억제하지만, 곰팡이들은 비교적 낮은 수준에서 발육할 수 있고, 열에 안정하여 해마다 수백만 톤의 사료의 변질 원인이 되고 있다.

사료중의 곰팡이 독소는 사료에 오염된 자낭균류(Ascomycetes), 담자균류(Basidiomycetes), 조균류(Phycomycetes) 등과 같은 곰팡이(Myco 또는 Mold)에 의해서 생산되며, 약 300여종 이상의 독소가 발견되었으나 모든 종류의 곰팡이가 독소를 생산하지는 않는다. 또한 화학물질로 열에 안정한 구조도 있으며, 한 곰팡이가 여러 종류의 독소를 생성하는 경우도 있다.

사람과 가축에 있어서 이들 곰팡이 독소를 경구적으로 섭취하여 일어나는 급·만성의 건강장애로 곰팡이중독증(mycotoxicosis)이 발생하게 되는데 이들 중독증은 곰팡이 독소에 의해 가축, 사람에게 나타나는 질병으로 비전염성이며, 계절성(특히 고온다습한 하절기)을 가지고, 질병에 대한 저항력이 감소되어 항생제를 사용하여도 치료효과가 미약해지는 특성이 있다.

WHO, FAO 등에서는 식품안전성에 있어서 식품첨가물이나 잔류농약보다 곰팡이 독소의 위험이 더 큰 것으로 논의되어지고 있다. 최근 EU에서는 농산물 및

농산물 가공품의 장기 저장, 수송과 관련하여 곰팡이독소가 식품위생상의 새로운 문제로 대두되고 있어 이에 대한 검사가 활발하게 이루어지고 있다.

곰팡이 독소의 대부분은 쌀, 보리, 콩, 땅콩, 옥수수, 밀 등 곡물에서 잘 발생되므로 곡물을 주식으로하는 사람들의 경우 곰팡이 독소에 노출될 위험성이 큰은 물론 곡류사료를 많이 사용하는 가축사료 또한 곰팡이독소에 노출될 위험성이 크다.

## II. 본론

### 1. 곰팡이 독소의 분류

곰팡이 독소는 사람이나 동물에 대해 주로 신장장애, 간장장애, 신경장애, 생식기능장애, 피부장애 등을 일으키고 간암이나 식도암 등의 발암성과도 관련이 있는 것으로 알려져 있어 이러한 증상때라 간장독소, 신장독소, 신경독소, 피부독소 및 기타 등으로 분류될 수 있다. 지금까지 알려진 주요 곰팡이 독소의 종류와 독소를 생성하는 곰팡이 등은 <표 1>과 같다.

<표 1> 주요 곰팡이 독소의 분류

| 독소의 종류 | 독소생성균주                | 피해동물                    | 중독증상         |
|--------|-----------------------|-------------------------|--------------|
| 간장독소   | Aflatoxin             | A. flavus               | 간장손상, 간암     |
|        | Ochratoxin            | A. ochracepis           | 지방간, 유산      |
|        | Islanditoxin          | P. islandicum           | 간 출혈         |
| 신경독소   | Citreoviridin Paturin | P. citreoviride         | 중추신경장애       |
|        | Cyclopiazonic acid    | A. clavatus             | 뇌신경장애        |
|        |                       | P. cyclopium            | 경련           |
| 신장독소   | Citrinin              | P. citrinum             | 신장염          |
| 피부독소   | Sporidesmin           | Pithomyces chartarum    | 광파민성 안면피부염   |
|        | Methyl psoralen       | Sclerotine sclerotiorum | 광파민성 피부염     |
| 기 타    | Fusariogenin          | F. sporotrichoides      | 조혈조직장애       |
|        | Zearalenone           | F. gramineum            | 발정증후군        |
|        | Vomitoxin             | F. roseum               | 설사, 유산, 신경파민 |
|        | T-2 toxin             | F. trincinctum          | 유량, 성장 감소    |

### 2. 가축에 미치는 곰팡이 독소의 종류 및 특성

곰팡이 독소는 내열성이 강하고 동물의 대사과정에서 쉽게 파괴되지 않는 특성을 가지므로 직접 오염 외에도 가축사료 → 가축 → 사람에 이르는 먹이사슬과정에서 축적될 수 있는 가능성이 크다.

곰팡이 독소의 발생은 일반적으로 고온다습한 환경에서 곡물을 장기 보관할 때 생성되므로 곡물의 장기 저장시 주의가 필요하며 특히, 지방성분에 의하여 독소의 생성이 촉진되므로 지방함량이 높은 땅콩 등의 곡류에서는 더욱 세심한 관찰이 요구된다.

가축에게 특히 문제되는 5가지 곰팡이 독소로는 간장독소(Aflatoxin), 신장독소(Ochratoxin), 신경독소(T-2 toxin), 구토독소(DON=Vomitoxin), 발정독소(Zearalenone)가 있다.

돼지는 이중 Aflatoxin, Ochratoxin, Zearalenone, T-2 toxin에 특히 민감하다.

#### ① Aflatoxin B1

Aspergillus flavus 등에 의해 생성되는 맹독성의 독소로서 주로 땅콩, 보리, 옥수수, 쌀, 밀 등의 곡물에서 검출된다. 온도가 25~30℃로 높고 상대

습도 80~85% 이상으로 높은 습도에서 잘 생성되며 수확에서 건조까지의 기간이 길수록 환기가 불충분할수록 잘 생성된다.

열에 안정하여 270~280℃ 이상 가열하여야 분해되므로 열처리나 가공공정에 의해서 독소가 완전히 제거되지 않는다.

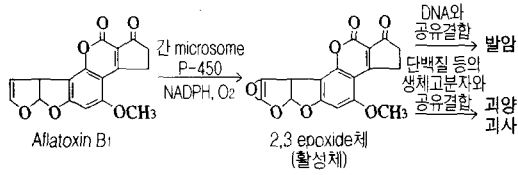
또한 aflatoxin은 간장장애가 주요증상으로 경구 LD50이 1mg/kg 내외에 이르는 강력한 독성을 가지고 있으며 특히 현재까지 알려진 발암물질 가운데 가장 강력한 발암성을 갖는 것으로 알려져 쥐

<그림> *Aspergillus flavus*



실험에서 하루 0.015ppm 정도의 미량 투여에도 100%의 간암 발생률을 나타낸 것으로 보고되고 있다.

<그림> Aflatoxin B1의 간암유발기전



② Ochratoxin

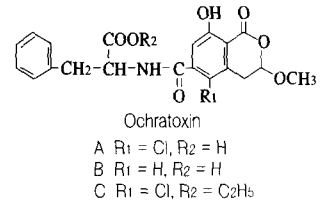
Ochratoxin류의 곰팡이 독소로는 Ochratoxin A, Ochratoxin B, Ochratoxin C, 4-hydroxyochratoxin A 등 17종의 유사체가 알려져 있는데, 이중 독성이 가장 강한 것은 Ochratoxin A로서 일반적으로 Ochratoxin이라 하면 이것을 말한다.

Ochratoxin A는 *Aspergillus*속 및 *Penicillium*속 곰팡이에 의해 생성되는 독소로서 주로 온도가 4℃ 정도로 낮고 습도가 18.5~40.4%인 상태에서 잘 생성되는데 밀, 옥수수 등의 곡류와 육류 가공식품 등에서 검출되며, 특히 유럽에서는 돼지와 사람의 혈액 및 모유에서도 검출된다는 보고가 있다.

곡류중 함유된 Ochratoxin A는 30분~3시간 동안 열처리 하여도 12.7~17%가 잔존하며, 콩을 삶고 염처리 및 조리후에도 53%가 잔존하였다고 보고하였다.

Ochratoxin A는 만성신장염, 급성 지방변성, 간의 면역작용 저해, 기형 등을 유발하는데, 특히 신장 및 간장에 치명적인 손상을 주며, 가축의 경우 오염된 사료섭취시 신장손상, 쇠약, 식욕결핍, 복통, 빈혈 등의 증상을 나타내며 심할 경우는 폐사한다.

<그림> Ochratoxin의 구조



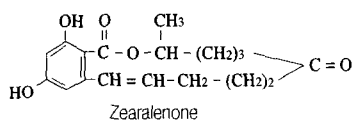
③ Zearalenone

Zearalenone은 *Fusarium*속 곰팡이에 의해 생성되는 곰팡이 독소로서 주로 건조가 불충분한 옥수수, 맥류 등에서 검출되며, 다른 곰팡이 독소와 마찬가지로 열에 비교적 안정하여 가열 및 가공시에도 잘 제거되지 않는 특성이 있다.

에스트로젠과 비슷한 성질을 가지고 있어 발정효과를 유발하며, 과에스트로젠증이 유발되어 자궁확대, 불임증 등을 유발시키기도 한다.

특히 돼지에 대해 민감하게 작용하여 발정증후군, 성장발육 저해, 생식기능저해, 불임증 및 난소 위축 등을 유발할 수 있다.

<그림> Zearalenone의 구조



④ Vomitoxin(Deoxynivalenol: DON)

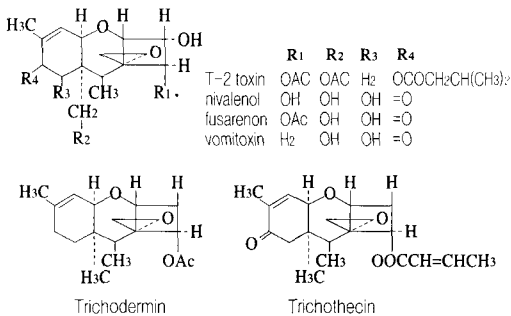
*Fusarium roseum* 곰팡이에서 생산되는 독소로

착유용 젖소에서는 이들 것과 관련된 상반된 결과들이 있지만, 높은 수준의 순수 vomitoxin의 투여는 뚜렷한 증상을 보이지는 않지만 낮은 수준을 만성적으로 섭취시에는 질병발생율의 증가와 함께 유량감소가 유발된다.

아울러 신경증상을 동반한 매스꺼움, 구토, 설사, 출혈, 피부점막자극, 재생불량성 빈혈, 두통, 경련등 중독증상이 보고되고 있다. 이러한 이유로 vomitoxin은 종종 곰팡이독소의 "marker"로 언급되어지고 있다(Peadar 등, 2001).

젖소에 있어서 사료내 500ppb 이하일 경우 안전하며, 돼지사료의 경우 0.5ppm 이상의 fusaric acid가 포함된 사료의 경우 vomitoxin이 사료중 0.5ppm 이상 포함된다면 중독증이 유발될 수 있고(Smith 등, 1995), placinta 등(1999)은 돼지 사료내 Vomitoxin 이 4ppm 유입될 경우 사료섭취량 및 성장에 13~20%의 감소를 가져왔다고 보고하였다.

<그림 5> Vomitoxin 및 T-2 toxin의 구조



⑤ T-2 toxin

trichothecenes의 하나로 Fusarium trincinctum 곰팡이에서 생산되는 독소로 옥수수 사일리지만 아니라 헤이레지에서도 생성된다.

이 독소에 오염된 사료를 섭취한 소에서 유생산량

의 감소, 설사, 장출혈, 불임, 장손상, 난소 및 자궁손상등은 물론 면역기능의 심각한 감소를 보인다.

일반적으로 100ppb 이상 섭취할 경우 위험하며 심할 경우 폐사하기도 한다. 일반적인 사료내 함유수준은 50ppb 이하로 규정하고 있다.

3. 사료원료 및 축산물중 곰팡이 독소의 오염실태

① Aflatoxin B1

- 1970년대 후반 동남아에서 수입된 사료(땅콩박)에서 허용기준치(50ppb)의 4~6배에 달하는 200~300ppb 검출
- 1989년 미국산 옥수수 600만톤중 400만톤 오염
- 1992년 중국산 및 인도산 사료(면실박, 채종박, 대두박, 옥수수등)의 상당량 검출

② Ochratoxin A

Ochratoxin A 경우 미국의 옥수수 사료, 캐나다의 밀 등에서 오염이 확인되는 등 전 세계적으로 널리 오염되고 있으며 국가간 교역의 증가로 우리나라도 이에 대한 오염이 클 것으로 예상되나 실제 이에 대한 자료는 많지 않다. 국외의 자료에서 1996년 조사한 옥수수, 밀, 밀기울, 귀리 등 곡류 67종 전체사료에서 검출되었고 덴마크 및 독일의 돼지 신장에서 이들이 검출되었다(<표 2>). ㉔

<다음호에 계속>

<표 2> 덴마크 및 독일에서 돼지 신장에서 Ochratoxin A 검출

| 식품    | 국가  | 오염수준(ppb) | 오염률   |
|-------|-----|-----------|-------|
| 돼지 신장 | 덴마크 | 25<       | 9.8%  |
| 돼지 신장 | 독일  | 3<        | 18.1% |

출처: Economic and Health Risk Report(1989)