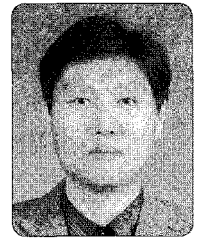


생산성 저하의 잠재적 위협요소, 곰팡이독소에 의한 피해를 줄이자

1. 들어가면서

고온 다습한 하절기 외부 기상은 사료 작물 생산부터 농장에서의 보관 및 동물 급여에 이르기까지 곰팡이의 증식 및 독소 생성을 높게 하는 환경이 될 수 있다. 특히, 소는 주요 사료 원료로 곡물이 아닌 조사료를 섭취하는데, 이러한 조사료는 보관이 용이하지 않아서 다양한 종류의 곰팡이 중독증에 노출될 수 있다. 배합사료를 포함해 조사료 대부분을 수입에 전적으로 의존하고 있는 우리나라의 경우에는 현지에서 수입하는 것 부터 국내 목장에 이르기까지의 장기간 유통과 국제적인 사료 곡물 생산량의 감소로 인한 수입국의 다변화 때문에 다양한 종류의 곰팡이독소에 노출될 가능성이 많아질 수 있다.

곰팡이 독신 이외에도 사료에 오염되어 있는 대부분의 곰팡이는 단백질, 지방, 탄수화물 분해효소 등과 합성할 수 있어 사료 중에 함유한 영양소를 점차적으로 감소시킨다. 이러한 영양소의 손실과 기호성의 저하가 사료섭취량 감소 및 사료효율 저하로 이어져 이차적인 부작용이 속출하게 되어 결국에는 소의 성장 및 생산성 저하를 초래하게 된다. 그리하여 국내외적으로 사료산업 분야의 현안과제로 꼽히는 것 중 하나가 곰팡이 독소에 대한 관리방안이다. 이에 본고에서는 낙농현장에서 생산성 저하의 잠재적 위협요소로서 최근 관심이 집중되고 있는 곰팡이독소에 대해서 간략하게 소개하고자 한다.

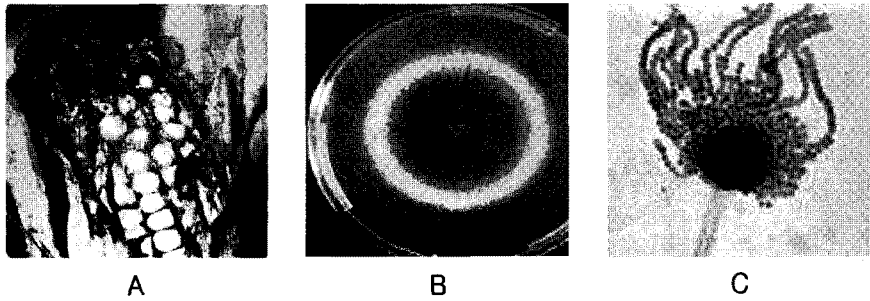


문진산 박사
국립수의과학검역원
해외전염병과 연구관

2. 곰팡이 중독증 (mycotoxicosis)의 발병기전

자연 환경에는 수많은 종류의 곰팡이가 있고, 그 중 대부분은 인간에게 이익을 가져다준다. 하지만 일부 곰팡이는 그 자체가 위험한 것은 아니지만 <그림 1>에서와 같이 곰팡이에 의하여 생성되는 2차 대사산물인 곰팡이독소(mycotoxin)를 생성하여 사람 및 동물에서 곰팡이중독증(mycotoxicosis)을 유발한다.

현재까지 사람 및 가축에게 문제를 일으키는 곰팡이 독소로는 300여종 이상이 알려져 있으며, 이들 중 대략 80여종이 동물에게 급여되었을 때 중독을 나타낸 것으로 알려지고 있다. 한편, 세계식량농업기구(FAO, Food and Agriculture

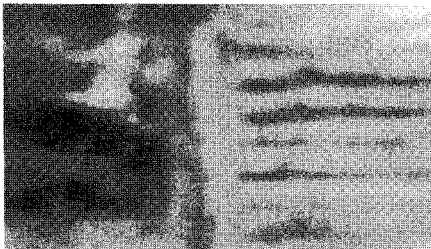


〈그림 1〉 곰팡이 낀 옥수수(A)와 아플라독소를 생성하는 *Aspergillus flavus* 집락(B)과 현미경 소견(C)

Organization)에 의하면 전 세계적으로 매년 생산된 작물의 25% 정도가 곰팡이 독소에 오염된다고 추정하고 있다. 하지만 작물의 재배 및 보관 조건이 지역별로 차이가 있기 때문에 곰팡이독소 발생률은 해마다 다양한 결과를 보이는 것으로 알려져 있다.

현재까지 젖소 사료에서 가장 문제되는 곰팡이 독소는 푸사리움(*Fusarium*) 곰팡이에서 산생되는 트리코더센류(*Trichothcenes*)와 제랄레논(*zearalenone*)이며, 그 이외에 아플라독소(*aflatoxin*) B1, 푸모니신(*fumonisin*), 오크라독소(*ochratoxin*) A, 맥각체(*ergot alkaloids*), 사일리지와 관련된 곰팡이독소로 로퀘포르틴(*Roquefortin*) C, 마이코페놀릭산(*Mycophenolic acid*) 등이 있다.

이러한 곰팡이독소에 의한 중독증은 곰팡이독소의 종류, 섭취량, 노출시간, 그리고 동물의 품종과 건강상태 등에 의해서 다양한 임상증상을 보이며, 젖소에게는 3가지 영향을 준다. 첫째, 영양소의 분해, 흡수 등 대사에 변화를 준다. 둘째, 생식기, 유선 등의 내분비 체계에 영향을 준다. 셋째, 면역체계의 억제를 초래한다. 예를 들면, 소에서 주로 문제되는 트리코더센스류(*Trichothcenes*) 독소인 데옥시니바레놀(DON)과 T-2독소는 사료섭취량 저하, 산유량 저하, 유방염, 제염염 등 면역저하, 조혈기능장애, 신장 및 신경장애를 일으킨다(그림 2). 또한, 제랄레논은 발정 유인 물질로 발정 주기 이상, 저수태율, 난소낭종, 태아조기사 등 번식장애 및 기형을 유발한다(표 1).



〈그림 2〉 소에서 주로 문제되는 곰팡이 독소에 의한 질병

이와 같이 소에서 발견되는 곰팡이 중독증에 의한 주요 임상증상은 사료섭취량 저하, 설사, 우유생산량 감소, 번식효율 저하, 면역기능 저하이다. 이외에도 분만 전후의 소에서 제4위전위증, 케토시스, 태반정체, 자궁내막염, 유방염, 지방간 등이 나타나기도 한다. 하지만 이러한 임상증상은 곰팡이 중독증

(표 1) 젖소에 대한 곰팡이독소의 영향 및 사료에서의 곰팡이독소 관리기준

곰팡이 독소	임상증상 또는 징후	사료에서의 관리기준 (mg/kg건물)
아플라톡신 B1	사료섭취와 우유생산량 감소, 번식효율 및 면역기능 저하	0.1-0.2
제랄레논	수태율 저하, 유두종창, 질염	13
데옥시니바레놀	사료섭취와 유지방 생산량 감소, 성장장애, 유방염	2.7-35
T2-toxin	사료섭취와 우유생산량 감소, 설사, 소화관의 자극	0.3-0.5
푸모니신 B1	사료섭취와 우유생산량 감소, 중등도의 간기능 장애	100-150
오크라톡신 A	사료섭취와 우유생산량 감소, 설사	5-35
클라비셉스 맥각	사료섭취와 우유생산량 감소, 번식효율저하, 설사, 피행, 괴저	미정
네오티포디움 맥각	비틀거림, 목초중독증, 면역기능저하	미정
로케포르틴 C	사료섭취 감소, 반추위액의 산도 저하, 케토시스, 마비, 유산	25

* 자료 : Driehuis F et al, (2008)

에 의해서만 나타나는 특이적인 질병이 아니다. 또한 실제 농장에서는 다량의 곰팡이독소 섭취에 의한 급성 중독보다는 지속적으로 소량 섭취에 의한 면역력 저하와 같은 만성 중독인 경우가 대부분이므로 임상증상도 서서히 나타나며, 다양한 독소에 의한 혼합감염에 의하여 복잡하게 나타난다.

3. 젖소에 영향을 미치는 주요 곰팡이 독소의 종류와 특성

가. 아플라톡신 (Aflatoxins)

아스퍼질루스 플라비스(*Aspergillus flavus*)가 원인 곰팡이로 옥수수가 주 원료인 배합사료 내에 가장 많이 분포하는 곰팡이독소다. 이 독소는 강력한 발암물질로 사람뿐만 아니라 가축도 허용기준 이상 섭취하였을 경우에는 간 손상을 초래하여 송아지의 경우에 성장이 크게 저하된다. 또한 체중감소, 식욕부진, 원기소실 등을 보이는 만성형의 질병도 발생한다. 질병 말기에는 운동실조, 경련, 황달 등의 증상을 보이며, 착유우에 있어서는 우유 생산량이 감소된다.

나. 오크라톡신 (ochratoxin) A

아스퍼질루스(*Aspergillus spp*)와 페니실룸(*Penicillium spp*) 곰팡이가 이 독소를 생성하지만 그중에서도 아스퍼질루스 오크라실러스(*Aspergillus ochraceus*)와 페니실룸 베루코썸(*Penicillium verrucosum*)에서 특히 많이 생성되며, 곡물 사료

와 코코야자나무 열매 가공부산물에서도 많이 생성된다. 이 독소는 반추위에 서식하는 미생물에 의해서 알파-오크라독소(ochratoxin α)로 대사되기 때문에 반추위 발달 이전인 송아지에서만 문제된다.

다. 푸사리움 독소 (Trichothcenes, Zearalenone, Fumonisin)

푸사리움 독소는 보리, 밀, 호밀, 귀리 등 맥류에서 주로 볼 수 있으며, 쌀이나 옥수수, 콩 등에도 기생한다. 연중 장마철에 많이 증식하여 농작물에서는 속칭 붉은 곰팡이 병을 일으킨다. 푸사리움 곰팡이는 상대습도 96% 이상에서 분생포자가 발아되며 고온 다습한 조건에 있는 수확기 곡물에서 이 곰팡이가 독소를 생산한다. 피해 곡류 중에 여러 가지 곰팡이독소가 함유되어 있어서 가축이 곡류를 직접 섭취하면 중독증상을 일으킨다. 푸사리움속 곰팡이에서 생산되는 독소로 소에게 문제되는 것으로는 트리코더센스류 독소, 제랄레논, 푸모니신 등이 있다.

1) 트리코더센스류 (Trichothcenes)

트리코더센스류 독소 종류는 100개 이상이 있으며, 이들은 화학구조에 의하여 4개의 그룹(type A, B, C, D)으로 구분된다. 이 중에서 A와 B type이 주로 문제되고 있는데, A type 독소에는 T-2 toxin, neosolaniol, diacetoxyscirpenol이 있으며, B type 독소에는 Deoxynivalenol(DON; vomitoxin으로 불림)과 nivalenol이 있다. DON이 트리코더센스류 독소에서 가장 문제가 되는데, 돼지는 DON 독소에 오염된 사료를 1~3ppm 정도의 매우 낮은 농도로 섭취하였을 경우에도 사료섭취 중단, 설사, 구토, 번식장애, 폐사를 일으킨다. 하지만 소에 있어서는 66ppm 정도 과량 섭취하였을 경우에도 특별한 임상증상을 나타내지 않거나 사료섭취량 감소와 우유 생산량 감소 정도만을 나타낸다. T-2 독소는 옥수수, 밀, 겨, 쌀, 보리, 맥아 등이 주요 오염원으로 고온 다습한 지역에서 주로 문제되며, 이 독소는 소에서 제4위의 손상, 설사, 산유량 저하 등의 임상증상을 초래하는 것으로 보고되고 있다.

2) 제랄레논 (Zearalenone)

이 독소는 가축의 생식기와 유선조직에 영향을 미친다. 돼지와 같은 단위동물에게 이러한 독소에 오염된 맥류와 옥수수를 급여하였을 경우에는 외음부가 붉게 부풀어 오르고 발정이 온 것처럼 보이는 증상, 즉 외음부의 질염을 일으킨다. 임신돈은 유산, 사산율 증가, 허약자돈 분만 등을 보이고 배란 억제 등의 부작용을 나타낸다. 하지만 소의 경우엔, 이러한 독소를 반추위에서 미생물에 의하여 중화시키는 능력이 있어서 돼지처럼 크게 문제되지 않는다. 그러나 처녀우가 이 독소를 10ppm 이상 섭취하였을 경우에는 외음부 종대, 질탈, 불임을 초래하고, 착유우와

비육우가 이 독소를 25ppm 이상 섭취하였을 경우에는 유방의 미성숙 또는 성장장애를 초래한다. 또한, 대옥시니바레놀과 제랄레논 독소가 혼합된 사료를 소가 섭취하였을 경우에는 사료섭취 불량, 우유생산량 감소, 번식장애를 초래한다.

3) 푸모니신 (Fumonisin)

최근에 발견된 것으로 사람에게에는 식도암을 유발하는 독소이다. 말에 있어서는 치명적인 중추신경 장애를 초래하며, 양에게는 급성신부전과 간염을 일으키는 것으로 알려져 있다. 소는 이 독소에 덜 민감하지만 100ppm 이상 섭취하였을 경우에는 간 손상 및 우유생산량 감소를 초래한다.

라. 맥각 (ergot alkaloids),

맥각은 밀, 보리와 같은 곡물과 목초의 병원체인 클라비셉스 퍼플라(*Claviceps purpurea*)와 수많은 목초의 병원체인 네오티포디움(*Neotyphodium spp*) 곰팡이에 의해서 생성된다. 클라비셉스 파스팔리(*Claviceps paspali*)라는 곰팡이에 의해서 생성되는 에르고티즘(Ergotism) 맥각은 가장 오래 동안 알려진 곰팡이중독증의 원인으로 방목중인 소가 야생 목초를 섭취하는 지역에서 주로 문제된다. 이러한 독소를 섭취한 소는 맥각의 약리 작용에 의하여 중독증이 발병하며, 임상증상으로는 식욕감퇴와 사료섭취량 및 증체량 감소와 더불어 파행(비틀거림) 등의 증상을 나타낸다.

마. 사일리지와 관련된 곰팡이독소(Roquefortin C, Mycophenolic acid)

곰팡이와 관련되어 소에 문제되는 수많은 종류의 곰팡이독소는 사일리지의 보존 불량에서 발생된다. 전 세계적으로 목초, 옥수수 사일리지 작물에서 가장 흔하게 문제되는 곰팡이독소(Roquefortin C와 Mycophenolic acid)로 페니실룸 로케포르틴(*Penicillium roquefortin*) 곰팡이에서 생성된다.

바. 기타

젖소 사료에서 간헐적으로 문제되는 곰팡이독소로는 루브라독소(rubratoxin), 사이트리닌(citrinin), 파튜린(patulin), 사이클로피아조닉산(cyclopiazonic acid), 스테리그마토시스틴(sterigmatocystin) 등이 있다.

4. 곰팡이독소 오염을 줄이기 위한 대책

곰팡이독소에 의한 중독증은 일단 발생하면 특이요법이 없고, 한번 사료 중에 오염된 독소는 어떤 방법을 써도 거의 파괴가 되지 않은 채 안정적인 상태로 존재하

므로 예방만이 최선의 방법이다. 곰팡이독소에 의한 피해를 예방하기 위해서는 < 표 2>에서와 같이 각종 작물의 종자 발아로부터 성장, 수확, 가공, 저장, 운송 및 소비에 이르기까지 모든 단계에 걸쳐 곰팡이 오염에 대한 세심한 대책이 강구되어야 한다.

곰팡이 중독증의 피해를 예방하기 위해서는 첫째, 오염된 사료를 구입하지 않는 것이 최선이다. 농장에서 농작물을 직접 재배 할 때는 식물방역상의 입장에서 재배 중일 때나 수확기에 접어들 때부터 곰팡이에 의한 침해를 적극적으로 방지하는 수단을 강구해야 한다. 둘째, 사료는 통풍이 잘 되고 건조한 시설에서 보관한다. 특히, 곰팡이 종류에 따라서 약간의 차이가 있으나 곰팡이가 생육할 수 없도록 습도를 13% 이하로 관리하는 것이 무엇보다도 중요하다. 셋째, 목장에서는 곰팡이가 오염되지 않은 원료를 엄선해서 소에게 급여하고, 가능한 제조일로부터 최단 시일 내에 급여하되, 가능한 일주일 이내에 급여하도록 한다. 넷째, 곰팡이가 목장 내에 서식하지 않도록 사료 반을 완전히 비운 후 청소하고, 소독한 후에 배합사료를 받고, 사료조의 틈새에 오염된 사료가 남아있지 않도록 관리해야 한다.

실제적으로 국내의 경우, 곰팡이중독증이 사료원료 자체의 문제로 인해 발생하는 경우도 있지만 대부분이 사료가 농장에 배달된 후 급여과정이나 보관과정에서 더 많이 발생한다. 특히, 배합사료는 사료라인이나 사료 급여기의 오염에 의하여 더욱 문제되는 것으로 알려지고 있다. 따라서 이러한 오염원이 될 수 있는 사료 급이기를 정기적으로 청소하여 청결하게 관리하는 것이 필요하다. 만약에 사료에 곰팡이가 오염되었을 경우에는 신속하게 반품 또는 제거해야 하며, 가축에게 곰팡이

구분	곰팡이독소의 예방대책
수확전 (Preharvest)	<ul style="list-style-type: none"> - 우수한 농작물 관리시설 확보(배수 등) - 작물 품종의 곰팡이 내병성 확보 - 끈충 및 곰팡이 관리 - 작물 스트레스와 곰팡이 감염을 피하기 위하여 물리적 손상이 최소화하도록 관리
수확시 (Harvest)	<ul style="list-style-type: none"> - 완전히 성숙된 상태에서 작물 수확 - 수분 관리 - 물리적 손상이 최소화하도록 수확
보관 (Postharvest)	<ul style="list-style-type: none"> - 청결하고, 건조하고, 환기가 잘된 시설에서 저장 - 저장기간 동안 가능한 낮은 온도에서 저장 - 곰팡이 오염 방지를 위한 프로피온산, 초산 등의 항균제 처리 - 시일리지 제조시 산소가 들어가지 않도록 기밀성 유지

(표 2) 곰팡이독소 예방을 위한 작물 수확전후 관리대책

가 오염된 사료를 급여하였을 경우에는 곰팡이독소의 종류 및 임상증상에 기초하여 전문가와 상의한 후 질병 초기에 신속하게 적절한 조치를 취해야 한다. 아플라톡신에 의한 간장 손상이 있을 경우에 소화가 쉬운 저지방사료 및 지방간 치료제를 투여해 자극을 주지 않도록 한다. 적절한 단백질 사료를 공급해 아플라톡신에 대한 저항성을 높이는 것 외에는 아직까지 적절한 치료법이 나와 있지 않다. 또한, 곰팡이중독증에 걸린 동물에게는 독소를 흡착시키기 위한 수렴, 흡착제의 경구투여와 미생물제제의 투여, 아미노산 등의 투여로 약간의 보조적 치료를 수행해야 한다.

곰팡이 중독증의 치료 및 예방을 목적으로 사료에 항곰팡이 제제를 첨가하여 급여하는 방법을 가장 일반적으로 권장한다. 현재 무기질 흡착제로는 점토(clay), 알루미노실리케이트(Aluminosilicate), 벤토나이트(bentonites) 등이 있으며, 유기물 흡착제로는 활성화된 탄소(activated charcoal), 효모의 세포벽에서 추출한 베타글루칸(β -D-glucan) 등이 이용되고 있다. 점토와 일부 무기물 흡착제는 아플라톡신에만 효과가 있고 다른 독소에는 효과가 없거나 제한된 효과만을 나타낸다. 이외에도 효소나 미생물을 사료에 첨가하여 곰팡이 독소를 해독하는데 사용된다. 예를 들면, 아플라톡신(*Flavobacterium aurantiacum*), 푸모니신(*Black yeast fungus*), 테옥시니바레놀(*Fusobacterium spp*), 오크라톡신(*Acinetobacter calcoaceticus*) 미생물 해독제가 있으며, 이들은 독소 종류별로 제한된 효과를 나타낸다.

5. 마무리하면서

사료 공급을 대부분 수입 사료에 전적으로 의존하고 있는 우리나라에서는 수입 현지에서부터 국내 목장에서 소비에 이르기까지 장기간의 유통기간 중에 곰팡이가 증식할 수 있는 조건이 상대적으로 높다. 특히, 젖소는 주로 사료 원료로 곡물이 아닌 조사료를 섭취하고, 사료 보관상태가 용이하지 않아서 곰팡이 중독증에 대한 노출 가능성이 높다. 또한, 우리나라는 온도·습도 및 일조시간, 뚜렷한 사계절에 의한 환경 변화 때문에 다양한 종류의 곰팡이 유입이 상대적으로 높아서 이들 곰팡이 생성을 최소화하기 위한 관리 여부가 매우 중요하다. 특히 외부 온도 및 상대습도가 곰팡이 증식에 유리한 봄철에서 가을철까지는 특별히 곰팡이 독소 관리에 주의를 기울여야 할 것이다. 따라서 농장에서는 이러한 여건 등을 감안하여 부패 및 변질 위험성이 높은 사료는 건조한 곳에 별도로 저장하고 사료를 급여할 때에는 세심한 관찰을 통하여 곰팡이에 오염된 사료가 젖소에 급여되지 않도록 신경을 써야 할 것이다. ☺