

곰팡이독소(mycotoxin)를 중심으로 한 사료의 안전성관리 문제점과 대책

정 덕 화 교수

경상대학교 대학원 응용생명과학부

연 사 약 력

- 1977 경상대학교 졸업
- 1985 충남대학교에서 농학박사 취득
- 1986~1988 미국 미시간대학교에서 Mycotoxin 연구
- 영국요크대학, 미국캘리포니아대학 및 일본동경이과대학 방문 연구
- 식품과학회 식품위생분과위원장 역임
- 현재 식품위생안전성학회 이사
 - 세계식품위생학회 한국지부장
 - Mycotoxin연구회 회장
 - 보건복지부 식품위생심의위원

곰팡이독소(mycotoxin)를 중심으로 한 사료의 안전성관리 문제점과 대책

정 덕 화 / 경상대학교 응용생명과학부 교수

I. 서 론

경제성장과 더불어 국민 식생활의 향상으로 축산물의 소비증대와 양질의 위생적인 축산물의 요구로 사료의 안전성 확보가 중요한 문제로 대두되고 있다.

일반적으로 사료의 안전성을 위협하는 요소로는 미생물을 포함한 생물학적 요인과 잔류항생물질, 농약 및 중금속 등을 포함한 화학적 요인으로 나눌 수 있다. 그 중에서 대부분의 생물학적 요인을 차지하는 미생물 오염은 *Aspergillus*속, *Penicillium*속, 및 *Fusarium*속 등의 곰팡이 중에서 특정의 유해곰팡이가 생산하는 곰팡이독소(mycotoxin)의 사료에의 오염으로 인해 생기는 문제가 세계적으로 사료의 안전성을 좌우하는 중요한 요인이 되고 있다. 실제로 대부분의 사료원료의 생산지는 미국, 캐나다, 호주, 중국 등으로, 수입을 위해 오랜 수송과정을 거치게 되며, 오랜 수송과정 후에도 원료에 따라서는 바로 이용되지 못하고 열악한 조건에서 저장되기도 한다.

그 과정에서 원료사료는 미생물을 포함한 다양한 위해요소에 노출될 가능성이 크며, 그 결과 품질의 저하는 물론 안전성에 문제가 발생할 가능성을 배제할 수 없다. 실제로 세계에서 관리를 철저히 하는 사료회사에서도 곰팡이나 mycotoxin 오염사례가 많으며, 우리나라에서 가공 생산되는 사료에서의 mycotoxin 오염사례가 빈번히 보고되고 있다. 곰팡이독소는 mycotoxin이라 하며 곰팡이가 생성하는 2차대사산물로서 사람과 가축에 질병이나 이상생리현상을 유발하는 물질을 의미하며, 무엇보다도 사료의 경우 원료의 생산 가공, 저장, 유통과정에서 곰팡이에 오염될 가능성이 크며 그 중에서 독소생성곰팡이에 오염될

경우 독소의 섭취에 따른 심각한 문제발생을 우려하지 않을 수 없다.

최근에는 신문 등을 비롯한 매스컴에서는 수입곡류의 aflatoxin 오염 가능성을 제기하면서 수입 전 aflatoxin을 비롯한 각종 mycotoxin 함유 여부의 철저한 검사와 현실적 대응책 수립의 필요성이 역설한 바 있고, 일본, 소련에서도 미국산 옥수수 of aflatoxin 오염이 보도된 바 있다. 최근 보고에 의하면 원료사료를 비롯한 곡류에는 *Aspergillus*속 곰팡이보다 *Fusarium*속 곰팡이가 많이 존재하는 경향을 나타내고 있고, 이들 곰팡이가 생산하는 zearalenone, deoxynivalenol 및 fumonisin 등의 mycotoxin 오염이 발표되고 있다. 과거에는 toxin 분석방법은 TLC, GC, HPLC 등에 의존하였으나, 이들 방법이 추출과 정제에 많은 시간과 유기용매가 소비되고 넓은 공간, 많은 기구, 그리고 전문인력을 필요로 하여 경제성이 없을 뿐만 아니라 처리과정에서 수반되는 안전성 문제로 실험의 한계성이 노출되었다.

국내 사료에서의 곰팡이 독소 오염으로 인한 안전성 문제는 일찍부터 예견되어 왔으나, 체계적이고 지속적인 모니터링 자료가 없어, 합리적인 대응책 수립에 어려움을 겪고 있는 것은 주지의 사실이다. 이에 본고에서는 mycotoxin을 중심으로 한 사료의 안전성 관리 문제점과 대책에 대해 논하고자 한다.

II. 사료 중 mycotoxin 분석 기술

1. 기존의 분석방법

일반적으로 사료 중 mycotoxin의 분석방법은 앞서 지적했듯이 TLC, HPLC 및 GC 등에 의한 AOAC법이 주로 사용되었다. 그러나 이들 방법은 표 1에서 보는 바와 같이 복잡한 정제과정을 거쳐야하는 비능률성을 가지고 있을 뿐만아니라 기기가 고가이고 넓은 공간과 전문인력을 필요로 하며 많은 유기용매를 사용하므로 실험자의 안전에 해로운 문제점들이 있어 새로운 분석방법의 필요성이 강력히 대두되었다.

표 1. Mycotoxin의 화학적 분석을 위한 각종 시료 준비 과정

Step	Description	Purpose
1. Sampling	Probe of automatic sampler	Representative sample
2. Sample preparation	Grinding, mixing, subsampling	Representative sample
3. Extraction	Shaker or blender	Separate the toxin
4. Clean-up	Liquid-liquid partitioning column chromatography	Separate the toxin from groups of compounds in the sample
5. Final separation	Thin layer chromatography(TLC) Gas-liquid chromatography(GLC) Minicolumn chromatography	Separate the toxin from remaining compounds in the sample extract that might interfere with the toxin
6. Detection and quantitative analysis	Fluorescence on TLC plate UV absorption in solution	Detection and measurement of response
7. Confirmation	Biological test, Mass spectrometry	Identification

2. 면역분석기술의 도입

이러한 기존분석방법은 추출과 정제과정에 많은 시간과 유기용매가 소비되고 넓은 공간, 많은 기구 그리고 전문적인 기술자를 필요로 하여 경제성이 낮을 뿐만 아니라 처리과정에서 수반되는 안전성 문제가 심각하게 제기되어 왔다.

최근 기존의 기기분석법의 문제점을 극복하기 위한 노력의 일환으로 면역분석기술을 mycotoxin과 같은 저분자물질의 분석에 응용하려는 노력이 계속되고 있다. 이러한 면역분석법을 확립은 과정을 간단히 소개하면 다음과 같다.

1) 항원합성

일반적으로 mycotoxin은 분자량이 적어 항원성이 결핍되어 있으므로, 이에 대한 항체를 생산하기 위해서는 우선 mycotoxin 유도체를 만들어 연결부위를 부여하고 다시 단백질을

결합시켜 항원성을 부여하여야 한다. 대체로 mycotoxin 유도체의 합성은 Thouvenot 등의 방법으로 행할 수 있고, mycotoxin-유도체와 단백질과의 결합체 합성은 Pestka, Liu 등의 방법을 많이 인용하고 있다.

2) Mycotoxin에 대한 폴리클론 항체 생산

합성한 mycotoxin에 대한 항원으로부터 항체를 생산하는 방법은 특이성은 낮으나 항체 생산이 용이한 폴리클론항체를 생산하는 방법과 실험과정은 복잡하고 비용이 많이 들지만 특이성이 높은 단클론성항체를 생산하는 방법이 있으며 그 선택은 실험의 목적에 따라 다르다.

먼저 폴리클론 항체생산은 항원으로 합성된 mycotoxin-BSA 결합체를 complete Freund's adjuvant와 유화시켜 booster injection을 필요에 따라 실시한다. 1차 injection 후부터 적당한 간격으로 bleeding하면서 antibody titer를 실시한 다음 감도가 높은 것은 단백질 농도 측정 후 1g/vial씩 나누어 동결건조시켜 -20°C 에 보관하면서 필요에 따라 실험에 사용한다.

3) 단클론성 항체 생산

한편 단클론성 항체 생산을 위해서는 우선 생후 6주된 BALB/c 마우스(암컷)에 합성된 항원과 Freund's complete adjuvant의 혼합액을 마리당 100~200 μg 씩 복강으로 면역한다. 최초 면역 3주와 6주 후 같은 방법으로 mycotoxin-BSA 결합체와 Freund's incomplete adjuvant의 혼합액으로 추가접종을 실시하였다. 9주 후에 인산완충용액(PBS)으로 희석한 동량의 mycotoxin-BSA 결합체를 복강내로 주사하여 최종 면역한다. 최종면역 후 3일이 경과된 BALB/c 마우스의 비장을 적출하여 Dulbecco's Modified Eagle's Medium 내에서 편셋으로 비장세포를 분리한다. 그런 다음 RPMI 1640으로 3회 세척하여 세포수를 $1 \times 10^7/\text{ml}$ 로 조정하여 사용하여 세포융합을 실시하며 그 방법은 Kohler 등의 방법에 준한다.

융합 후 10일 내지 15일 사이에 융합된 세포가 well 바닥의 1/3이상 성장하였을 때 배양 상등액을 채취하여 sandwich ELISA법으로 mycotoxin에 대한 항체를 분비하는지의 여

부를 검색하며, 항체를 생산하는 well의 세포를 24 well plate에 옮겨 배양한 후 항체역가가 계속 유지되고 세포의 증식이 활발한 hybrid를 선택하여 크로닝을 실시한다.

크로닝은 Mckearn의 무한대 희석법으로 실시한다. 크로닝 결과 항체의 역가가 높고 특이성이 높은 항체 생산력이 있는 hybridoma를 최종 선택하여 다시 한번 크로닝을 실시하여 그림 1과 같이 증식시키고, 10^6 cell/ml로 조절된 배양세포를 cryo tube에 1 ml씩 분주하여 -70°C 에서 급속 동결한 후 액체질소에 보관하면서 실험에 사용한다.

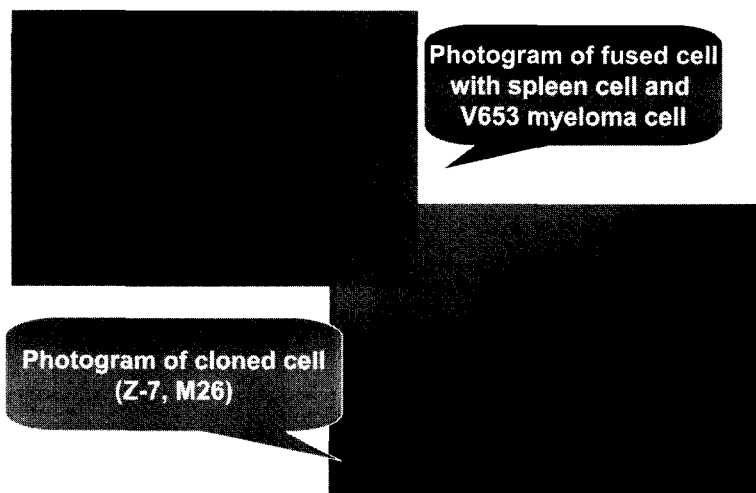


그림 1. 융합된 세포 및 크로닝이 끝난 세포의 모양

최종 선택된 hybridoma를 T-75 flask에서 대량 배양한 후 Ohtani 등의 방법에 따라 마우스의 복강에 이식하여 복수액을 생산한다. 채취한 복수액은 ammonium sulfate법으로 정제한 후 면역분석에 사용한다.

뿐만 아니라 사료에 지극히 극히 미량으로 오염되어 있는 mycotoxin을 정제, 농축하기 위한 목적으로 affinity column을 제작할 수도 있으며 immunoaffinity column의 mycotoxin의 정제원리는 그림 2와 같다.

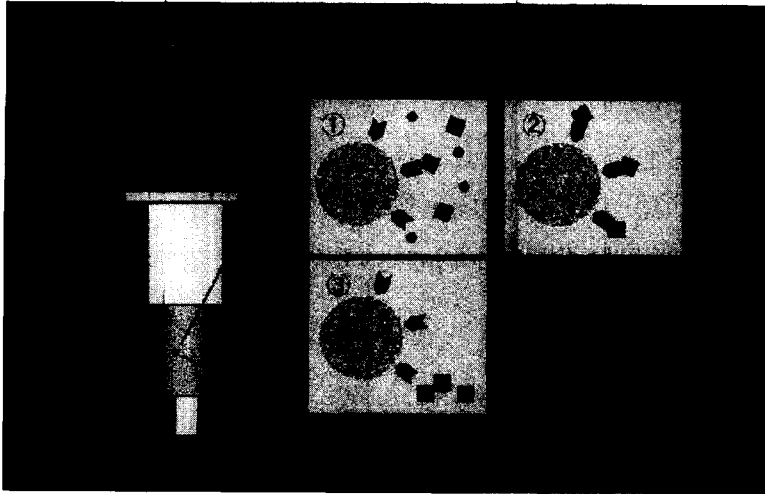


그림 2. Immunoaffinity column의 원리

4) 면역분석법의 확립

융합잡종세포를 BALB/c 마우스의 복강에 투여하여 얻은 단클론성 항체는 정제하여 Pestka 등의 방법에 준한 direct competitive ELISA(dcELISA)법과, Liu 등의 방법에 의한 indirect competitive ELISA(icELISA)법을 확립할 수 있다. 이들 반응조건으로는 코팅법, 배양시간, 유기용매와의 반응정도, 기질의 농도, 반응시간들이며, 이러한 조건이 조사되면 필요로 하는 면역분석법이 확립될 수 있다. 아울러 앞서 설명한 immunoaffinity column은 immunoaffinity column-HPLC, 또는 immunoaffinity column-ELISA법 등의 새로운 분석방법에 응용하여 시료 중 특정 mycotoxin을 정제할 수 있다. 아울러 항체를 응용하여 sandwich ELISA, Terasaki plate method 등 면역분석방법 확립을 시도할 수 있다. 한편 본 실험실에서 확립한 direct competitive enzyme linked immunosorbent assay(ELISA)법을 사용하여 실험하면 그림 3과 같은 결과를 얻을 수 있으며 발색정도를 ELISA reader(Dynatech Lab. MR 600, U.S.A.)로 흡광도를 측정하여 미리 작성한 표준곡선과 비교하여 시료중의 aflatoxin 함량을 계산하면 된다. 그러나 이러한 면역기법 역시 특이성, 정확성, 신속성 및 경제성 등의 장점은 있으나 모든 방법이 그러하듯이 이 방법 역시 식품분석에서 생소한 방법이며 GC, HPLC법과 같이 비 특이성 간섭물질로 인해 분석 시 다양한 간섭을 받을 수 있다는 것과 여러 성분을 동시에 분석할 수 없는 단점도 있다. 이외에도 형광면역분석

법, 동시다중검색법 등의 mycotoxin을 신속 정확히 분석하는 방법을 지속적으로 연구해야겠다.

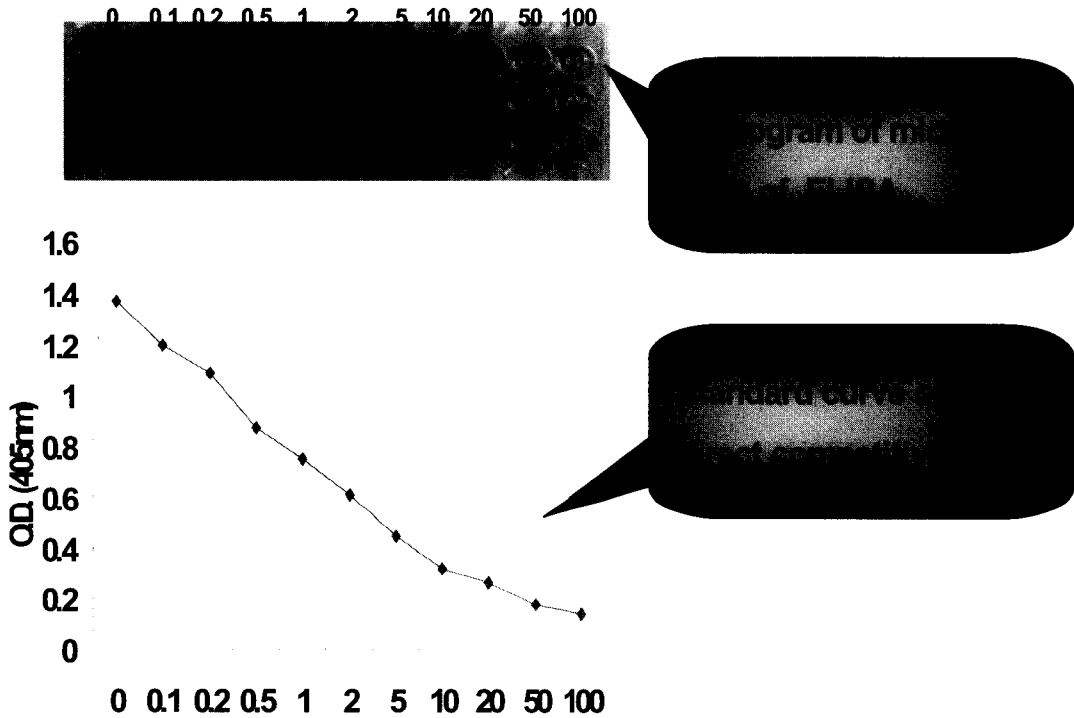


그림 3. 직접 경쟁 효소면역분석법의 결과

Ⅲ. 사료 중 mycotoxin 오염 현황

1. 사료 관련 mycotoxin 연구 현황

사료 중 mycotoxin 오염 현황에 관하여 언급하기 전에 우선 국내과학자에 의하여 수행된, 사료와 관련된 mycotoxin 연구 현황을 종합하였다. 그 결과 표 2에서 보는 바와 같이 1980년 이전에는 사료 관련 연구논문이 조사되지 않았고, 1981년부터 1990년 사이에 15

편의 연구논문이 발표되었으며, 1991년부터 10년 사이에 40편의 많은 연구논문이 발표되었다. 그러나 최근 2년 동안에는 1편의 논문만이 조사되어 사료 안전성이 강조되는 현실과 반대되는 현상을 보이고 있었다.

표 2. 년도별 및 내용별 mycotoxin 연구 현황

발표년도	군학적연구	Mycotoxin 검색	독성제독실험	계
1971~1980	-	-	-	-
1981~1990	5	4	6	15
1991~2000	4	17	19	40
2001~현재	1	-	-	1
계	10	21	25	56

연구논문 중 mycotoxin 검색논문은 21편이지만, 실제 사료 중의 mycotoxin을 직접 검색한 논문은 11편에 불과하여, 국내 사료에서의 mycotoxin 오염 정도를 모니터링한 자료가 대단히 부족한 실정이다. 이러한 현상은 mycotoxin과 관련한 사료의 안전성 문제에 대한 관심을 갖는 연구 인프라 구축이 되지 않아 활발히 연구가 되지 못한 점에도 원인이 있겠지만, 실제로 mycotoxin이나 항생물질과 같은 잔류유해 물질에 대한 정확한 연구결과를 발표했을 때에 따르는 발표 연구자에 대한 신변상의 어려움 때문에 모니터링을 꺼리는 점에도 문제가 있을 것으로 생각된다.

장기적으로는 정확한 분석자료를 체계적으로 모니터링 해야 만이 이를 토대로 사료에서의 위해 평가를 할 수 있고, 그 결과로 적절한 대책수립이 가능할 것이다. 따라서 미국의 경우처럼 사료에서의 안전성 관련 위해요소가 예측되면 사료 관련 협회에서 오히려 정확한 분석자료나 분석기술을 확보할 수 있도록 연구기금을 마련하고, 체계적인 모니터링을 할 수 있게 적극 유도하면, 안전한 사료원료를 확보하는데 적극적으로 활용할 수 있으리라 생각된다.

한편 mycotoxin의 종류별 연구 자료를 살펴보면 표 3에서와 같이, 사료와 관련하여 가장 많이 연구된 mycotoxin은 역시 aflatoxin이었고 그 외 ochratoxin, fumonisin 및 zearalenone 등의 mycotoxin 이었다.

표 3. Mycotoxin 종류별 연구 현황

	Afla	OTA	Zea	DON	Fum	T-2	기타	계
1981~1990	10	1	1	1	-	-	2	15
1991~2000	4	11	10	2	12	-	1	40
2001~현재	-	-	-	1	-	-	-	1
계	14	12	11	4	12	-	3	56

Aflatoxin의 경우는 사료뿐만 아니라 식품에서의 오염여부가 이미 국제규격이 정해져 있어 규제대상이 되므로 연구의 활성화가 당연히 이루어져야 하겠지만, 아직도 일본이나 인도, 중국에 비교하면 그 자료가 대단히 부족한 실정이다. Fumonisin, zearalenone의 경우에는 *Fusarium*속 곰팡이가 생성하는 mycotoxin으로서 특히 fumonisin의 발암성이 알려진 이후 많은 연구가 이루어졌다.

실제로 지난해 WHO에서 fumonisin의 추정 섭취량을 나라별로 표시한 바, 표 4에서와 같이 미국은 하루평균 0.08 µg/kg bw 이었고 캐나다는 0.02 µg/kg bw로 가장 낮았다. 반면 Argentina는 0.2 µg/kg bw로 높은 수치를 나타내었다.

표 4. 국가별 fumonisin의 추정섭취량

Country	Intake(µg/kg bw per day)	
	Mean or median	High
Argentina	0.2	
Canada	0.02	0.08
Netherlands	0.06, 1.0	
Switzerland	0.03	
United Kingdom ^a	0.03	0.1
USA	0.08	

^a Calculated for this risk assessment from data submitted to WHO.

그러나 유감스럽게도 우리나라에서의 추정 섭취량은 조사되지 않았으며 이는 신뢰할만한 모니터링 자료가 없었기 때문이며, 지금이라도 기초적인 사료에서의 mycotoxin 모니터링 작업이 이루어져야 할 것이다.

국내 사료의 경우 *Fusarium*속 곰팡이의 오염이 빈번하여 그로 인해 fumonisin, zearalenone, deoxynivalenol 등의 mycotoxin이 함께 출현하는 경우가 많아 특히 사료에서의

mycotoxin 오염시 주요문제 대상이 되고 있다.

2. 사료 중 mycotoxin 오염 분석

지난 1998년 본 연구실에는 4점의 사료시료를 의뢰 받아 분석을 한 결과, 4점의 시료 모두에서 zearalenone이 2,300ppb 이상 높게 오염된 것으로 나타났고, 시료 1점에서는 deoxynivalenol이 상당량 오염된 것으로 나타난 것을 경험한 적이 있었다. 그러나 앞서 언급한 바와 같이 연구결과는 대단히 민감한 사항이므로 분석의뢰를 부탁한 곳에 조심스럽게 전달하였다. 이때 본 연구자는 이러한 연구결과를 바탕으로 사료 관련 협회와 공동으로 하는 체계적인 조사사업이 필요함을 절실히 느꼈다.

어쨌든 국내에서의 사료원료가 어떤 형태로든 mycotoxin에 직·간접으로 노출될 수 있고, 실제로 각종 mycotoxin에 오염되어 있는 결과가 보고되고 있다.

지난해 (주)밀테크가 발표한 자료에 의하면 미국산 옥수수, 중국산 옥수수, 우크라이나산 소맥 등을 분석한 결과 zearalenone의 경우는 각각 2.8, 28.7 및 21ppb가 오염되었고, vomitoxin도 모든 시료에서 0.08~0.51ppm 수준으로 오염된 것으로 나타났다. 특히 중국산 옥수수는 fumonisin도 0.35ppm 오염되어 전반적으로 *Fusarium*속 곰팡이가 생성하는 mycotoxin의 오염가능성이 높은 것을 보였으나 aflatoxin이나 ochratoxin은 나타나지 않았다. 그러나 중국산 옥수수를 삼양사에서 분석한 결과 ochratoxin이 2.7ppb 수준으로 오염되어 있어 신뢰성있는 분석기술의 확보가 모니터링 이전에 대단히 필요한 것으로 나타났다.

표 5. 각종 사료 원료 중 mycotoxin 분석 현황

(밀-테크, 2001)

분 석 항 목	미산옥수수	중국산옥수수	소맥(우크라이나)	삼양사분석치 (중국산옥수수)
Aflatoxin(ppb)	0	0	0	0
Ochratoxin(ppb)	0	0	0	2.7
Zearalenone(ppb)	2.8	28.7	21	0.11
Vomitoxin(ppm)	0.08	0.51	0.41	0.29
Fumonisin(ppm)	0	0.35	0	0.67

한편 국내에서 수입되는 곡류사료 및 단백질 사료중의 mycotoxin 오염정도를 조사한 결과 표 6에서 보는 바와 같이 곡류사료에는 aflatoxin의 경우 귀리에서 7.0 ppb로 오염되어 있었고 단백질 사료는 전반적으로 오염 수준이 높아 야자박의 경우 20.0 ppb 로 가장 높게 오염되어 있었으나 원료 사료에서의 일반적인 권장수준 이하를 나타내었다.

표 6에서 나타난 분석치를 보면 대부분의 mycotoxin이 전 시료에 골고루 분포되어 있었고 T-2 toxin의 경우 26.7~88.3ppb 수준으로 zearalenone, fumonisin 및 deoxynivalenol 등의 *Fusarium*속 곰팡이가 생성하는 곰팡이 독소가 함께 조사되었다. 이러한 분석 결과로 미루어 볼 때 비록 대부분의 mycotoxin 오염정도가 위험한 수준은 아니지만 일부원료에서는 특정 mycotoxin이 높은 값을 보여 지속적인 조사연구가 필요한 것으로 나타났다.

표 6. 수입 곡류사료 및 단백질 사료 중의 mycotoxin 오염현황

(축산기술연구소, 1999~2000)

구 분	Afla, ppb	Zea, ppb	T-2, ppb	Fum, ppm	OTA, ppb	DON, ppm
귀 리	7.0	19.8	45.4	0	0	1.6
밀	0.3	1.6	35.0	0.03	1.5	0.3
옥 수 수	1.1	60.4	6.1	0.68	4.6	0.8
호 밀	0.1	14.3	31.4	0	4.5	0.6
대 두 박	3.0	5.3	49.8	0.02	4.5	0.2
면 실 박	6.6	23.9	28.0	0.18	3.3	0.8
채 종 박	4.4	41.9	46.3	0.01	5.4	2.4
팜 박	9.3	323.9	80.5	0.01	8.6	0.1
야 자 박	20.0	101.8	56.2	0.01	8.9	0.4
대두단백	2.7	116.5	88.3	0.73	2.5	2.0
루핀시드	1.6	19.4	51.2	0.13	2.9	0.1
캐 놀 라	1.4	5.6	26.7	0	0	0.6

IV. 사료 중 mycotoxin 대책

1. 분석 기술 향상

사료에서의 mycotoxin 위해 평가를 올바르게 하여 적절한 대책을 수립하기 위해서는 신뢰성 있는 모니터링 자료를 축적하기 위한 간편하고 안전한 분석기술의 확보가 대단히 중요하다. Mycotoxin의 오염수준을 ppb 수준으로, 이처럼 낮은 농도의 mycotoxin 오염수준을 파악하는 것은 매우 어려우며, 이를 위해서는 분석 기술 향상을 위한 꾸준한 노력이 대단히 필요하다.

미국이나 일본의 경우 식품분야에 이러한 기술도입과 실용화를 위해 최소 20년 이상의 시간과 노력이 투입되었다. 그러나 우리나라의 경우 2~3년의 짧은 연구기간과 후속 연구비의 투자가 보장되지 않은 상황에서, 그것도 외국수준의 연구결과를 요구하는 무리한 연구환경을 경험하고 있다.

기술 축적은 하루아침에 이루어지는 것이 아니라 시간과 노력이 연구비 확보와 함께 이루어질 때 가능하므로, 연구자들의 안전성에 심각한 문제를 줄 수 있는 mycotoxin 연구에는 앞서의 신속하고 안전한 분석기술의 확립이 대단히 필요하므로 앞으로 장기간에 걸친 연구가 요구되는 바이다.

2. 체계적 모니터링

앞서의 오염현황에서 나타난 바와 같이 국내 또는 수입 원료사료에서의 mycotoxin 오염이 예상했던 대로 빈번히 나타나고 있으나 대부분의 데이터가 지속성이 없고 일회에 그치는 사업으로, 실제 신뢰성 있는 데이터로 활용하기에는 대단히 미흡하다. 따라서 국가가 주도하는 모니터링 사업을 사료별, mycotoxin별, 지역별로 구분하여 적어도 같은 방법, 같은 대상으로 5년 이상의 체계적인 모니터링 사업이 절실하다고 생각하는 바이다.

3. Mycotoxin 저감 방법 개발

Mycotoxin을 인위적 노력으로 감소시키기 위한 물리적, 화학적 방법이 개발되어야 할 것이다. 최근 미국의 Bullerman 등은 사료 제조시 extrusion 공법을 이용함으로써 사료 중 mycotoxin을 상당량 감소시킬 수 있었으며 원료에 따라서는 40~80%의 mycotoxin 제거가 가능하다고 보고하였다. 물론 가압, 고온 유지를 위한 비용이 많이 들고, 영양소가 파괴되는 문제점도 있지만, mycotoxin에 오염된 사료 원료의 이용가능성을 고려할 때 앞으로 개선을 위한 연구가 필요하다고 생각된다.

또한 독성이 낮으면서 곰팡이 포자의 생성이나 균사생육을 방해하고 결과적으로 mycotoxin 생성을 저해할 수 있는 항곰팡이제 개발도 필요하다. 이를 위해 유기산의 종류와 함량, 부형태의 종류를 비롯한 항곰팡이제의 활성이 오래 지속될 수 있는 각종조건 개선을 위한 연구가 이루어 져야 하겠다. 뿐만아니라 mycotoxin 생성에 관여하는 유전자를 인위적으로 변형하여 mycotoxin 생성을 차단하는 유전공학적 기법에 대한 연구도 도전해 볼 만한 과제로 사료된다. 아울러 지금까지 많은 시도가 있었지만 새로운 각도에서 방사선 조사, 화학적 처리, 결합제의 이용과 같은 mycotoxin 저감 기술 개발에 관한 연구도 폭넓게 이루어져야 할 것이다.

4. Mycotoxin과 HACCP

곰팡이는 온도, 습도, pH 등 주어진 환경에서 여러 종류의 기질을 이용하며, 또한 성장과 함께 인축에 치명적인 독소를 생산하는 경우도 있다. 최근 WHO에서는 사료의 경우 mycotoxin을 주요한 인자로 보고 HACCP 시스템으로 관리해야 한다고 하고, 사료의 HACCP 시스템에서 mycotoxin을 중요한 CCP로 관리하고 있다. 따라서 보다 안전한 사료의 원료 확보와 생산을 위해 사료의 HACCP 시스템 도입시 mycotoxin을 주요한 CCP로 관리할 필요가 있고 이를 위한 체계적인 연구가 요구된다.

5. 위해평가

사료에서의 mycotoxin에 대한 합리적인 안전관리는 비록 섭취량이 적더라도 독소 수준

이 높으면 일단 문제가 있는 것으로 간주하여 독소 수준을 감소화 시키는 노력이 필요하다. 따라서 위해평가를 통해서 건강에 바람직하지 못한 mycotoxin의 위해수준을 결정할 수 있으며 축산농가에게도 해당 mycotoxin에 대한 안전성을 판단할 수 있는 지침을 제공할 수 있다. 따라서 국가적 차원에서의 mycotoxin 위해평가 관리로 광범위한 분야의 독성평가, 역학조사 평가 및 노출평가를 포함하여 위해평가 연구가 수행되어야 한다.

이를 위해 선결되어야 할 중요한 과제는 광범위하고 지속적인 모니터링 사업을 mycotoxin을 전담하는 국가기관이나 대학에서 체계적으로 실시해야 할 것으로 사료된다.

V. 맺는 말

지금까지의 자료를 종합해 보면, 사료가 mycotoxin 생성 곰팡이나 mycotoxin에 노출될 위험성이 높으며 실제 국내 수입 사료에서의 mycotoxin 오염자료가 보고되고 있다. 따라서 mycotoxin을 중심으로 사료의 안전성을 확보하고 사료에서의 mycotoxin 연구 활성화를 위해 다음 사항을 제안할 수 있다.

- 1) 사료에서의 mycotoxin 신뢰성 있는 모니터링 자료를 축적하기 위한 신속하고 안전한 분석 기술의 개발이 필요하다.
- 2) 사료의 종류별, mycotoxin별, 지역별로 구분하여 체계적인 모니터링 사업이 지속적으로 이루어져야 한다.
- 3) Mycotoxin 오염정도를 인위적 노력으로 감소시키기 위한 물리적, 화학적 방법에 대한 연구가 수행되어야 할 것이다.
- 4) 사료의 경우 mycotoxin을 주요한 위해인자로 보고 HACCP 시스템을 도입하여 위생적으로 관리해야 한다
- 5) 국가적 차원에서 mycotoxin에 대한 독성평가, 역학조사 평가 및 노출평가를 포함하여 위해평가 연구가 수행되어야 한다.

이러한 제안의 결실은 정부는 물론 사료관련 관리자들의 적극적인 생각의 전환이 있을 때 효과가 있으며, 자유스런 연구 환경의 변화로 정부 사료관련 사업자 및 mycotoxin 관련 연구자들이 적극적인 생각의 전환으로 서로 협조할 때 mycotoxin에 의한 사료의 안전성 문제도 해결할 수 있을 것이며 그 결과 축산업의 발달과 위생적인 축산가공품의 공급으로 국민건강에 이바지 할 수 있을 것이라 생각한다.

VI. 참 고 문 헌

1. 강호조, 강정부, 곰팡이 및 Aflatoxin의 오염상태, 한국수의공중보건학회지, 1982.
2. 한인규, 하종규, 이인원, 최경자, 류재기, 사료의 진균오염과 Aflatoxin 발생에 관한 연구, 한국영양사료학회지, 1988.
3. 이인원, 사료에서 진균의 독성 검출과 진균독소가 가축에 미치는 영향, 91 사료가공단 기과정, 1991.
4. 강호중, 김진철, 서장아, 이인원, 손동화, 중국으로부터 수입한 옥수수에서의 Fusarium 진균독소오염, 한국농화학회지, 1994.
5. 오덕환, 유춘철, 박부기, 한국산 옥수수의 Fumonisin B₁과 B₂ 오염현황, 한국식품과학회지, 1999.
6. 임채웅, 임병무, 가축의 Fumonisin 중독에 대한 최근연구동향, 대한수의학회지, 1995.
7. 노정구, 김영국, 수입옥수수 중 지랄레논의 검색, 동물자원과학회지, 1986.
8. 정수현, 이택수, 옥수수를 주재료로 한 한국산 사료에서의 Fumonisin B₁ 오염현황, 한국식품과학회지, 1995.
9. 김성영, 정덕화, 하정기, 가축사료중 zearalenone 분석을 위한 Enzyme Linke Immunosorbent Assay 법의 개발, 한국식품위생안전성학회지, 1991.
10. 남기홍, 사료중에 형성된 곰팡이 독소의 체내해독에 관한 기초연구, 동물자원과학회지, 1990.
11. 장운환, 여영수, Aflatoxin B₁과 Vitamin D₃ 급여가 Broiler 병아리의 증체 및 사료 이

용성에 미치는 영향, 동물자원학회지, 1989.

12. Yong Soon Lee, Yoon Kyu Lim, Gang Joon Heo, Teratogenicity of Fumonisin in the Developing Chick Embryo, 95년도 학술대회 및 총회, 1995.
13. 축산기술연구소, 축산시험연구보고서, 1999.
14. 축산기술연구소, 축산시험연구보고서, 2000.
15. World Health organization, Safety evaluation of certain mycotoxins in food, WHO food additives series 47, 2001.

社團法人 韓國單味飼料協會

제3회 국제심포지엄 고급축산물 생산을 위한 사료의 이용 · 개발

발 행 일 : 2002년 10월 11일

발 행 인 : 俞 東 濬

퍼 낸 곳 : 社團法人 韓國單味飼料協會

137-878

서울특별시 서초구 서초1동 1624-1 영빌딩(3층)

Tel : (02) 585-2223/4, 2253/4

Fax : (02) 588-8297

Homepage : <http://www.kfeedia.org>

E-mail : kfeedia@hanmail.net

찍 은 곳 : 신 광 중 합 출 판 인 쇄

Tel : (02) 2275-3559(代), Fax : (02) 2271-3459

Homepage : <http://shinkwangih.Joongang21.co.kr>

E-mail : shinkw99@chollian.net
