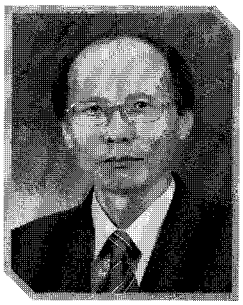
동남아 지역 옥수수의 곰팡이독소 오염 현황



문 홍 식
본회 사료기술연구소 부장

1. 개 요

곰팡이독소(마이코톡신)인 Aflatoxin은 1960년도 영국에서 10만수 이상의 칠면조, 오리, 비둘기 등이 폐사되어, 사인을 추적한 결과 아플라톡신에 오염된 브라질산 땅콩박이 그 원인으로 확인되면서 최초로 알려지게 되었다.

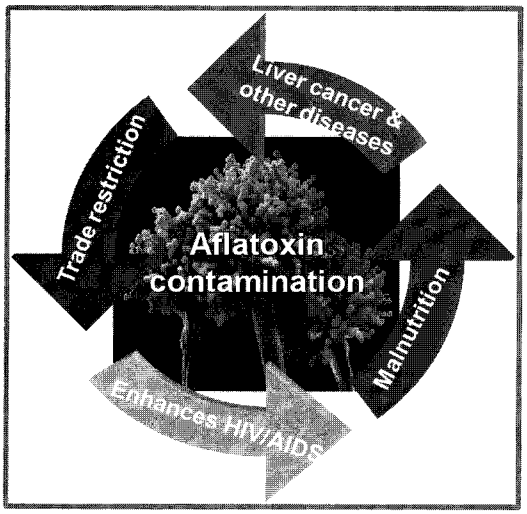
아플라톡신은 자연계에 존재하는 물질 중에서 ppb(part per billion, 10억분의 1) 단위의 미량이지만 가장 강력한 발암성을 가지고 있으며, 톡신에 오염된 곡물은 국제 상거래에서 제한을 받을 뿐만 아니라 경작자인 농민에게도 경제적 손실을 가중시키게 한다.

본고에서는 마이코톡신의 위해성에 대한 설명은 생략하고 동남아지역에서 생산되는 옥수수의 아플라톡신 오염 현황에 대한 이해를 돕고, 사료원료 구입 및 사용 검토 시 활용할 수 있도록 보고된 자료를 참고하여 정리하였다.

아플라톡신 등 곰팡이 독소는 알곡이 성숙하는 시기에 온도 상승으로 가뭄 스트레스가 증가하면 아플라톡신의 생성균인 A. flavus 침입을 촉진하여 옥수수, 땅콩, 면화종자의 아플라톡신 오염을 배가시키게 된다.

※ 사료관리법규 중 아플라톡신 허용기준 :
곡물류 등의 단미사료는 50ppb이하

▸ ppb : One part per billion is like one drop of water in a 21,700 gallon(82,135 litter) swimming pool, or like 1 second in 31.7 years !



2. 동남아지역의 아플라톡신 현황

Table 1은 인도네시아 Java주 중·동부지역에서 수집한 옥수수를 대상으로 아플라톡신 B1을 분석한 결과로서 농가 단위보다는 도·소매상 단위에서 수집한 옥수수의 아플라톡신 함량이 높아진 것을 알 수 있으며, Table 2는 인도네시아의 여러 지역에서 생산된 옥수수를 대상으로 아플라톡신을 검사한 결과로서 아플아톡신 B1의 평균치 및 최대치를 나타낸 자료이며 지역별 평균치는 108ppb~464ppb로 나타났고 지역별 최대치는 250ppb~1140ppb로 지역에 따라 큰 변이를 보이고 있다.

Table 3은 인도네시아, 필리핀, 태국 등 각 나라별 옥수수와 땅콩을 대상으로 총 아플라톡신의 수준별 검출비율을 나타낸 것으로서

[Table 1] Six production districts, around East and Middle of Java, Indonesia, 2007

Sample group	Number of samples	Aflatoxin B1 level
Farmer	84	over 20ppb : 18%
		〉 100ppb : 7%
Retailer and Wholesaler	55	over 20ppb : 58%
		〉 100ppb : 20%
Total samples	139	

Source : Mycotoxins in Indonesian food commodities, ICFM workshop, Key West, Florida, June 3-6,2007

[Table 2] Mean and highest incidence of contamination of maize by province, Indonesia, 1983

Province	Number of samples	Incidence of positive(%)	Aflatoxin B1(ppb)	
			Mean	Highest
East Java	15	100	149	390
Lampung	12	92	144	350
North Sulawesi	12	100	464	790
South Sulawesi	12	100	108	250
West Nusa Tenggara	12	83	186	1140

Source : US Grains Council (2002)

[Table 3] Levels of aflatoxin found in peanut and maize samples from Indonesia, Philppins and Thailand (㎍/㎏)

Total aflatoxin (range, %)	Indonesia		Philippines		Thailand	
	Maize	Peauts	Maize	Peauts	Maize	Peauts
≤10	70	45	53	72	53	67
〉10 - ≤50	8	10	27	6	17	8
〉50 - ≤300	18	12	14	6	15	14
〉300	4	33	6	16	15	11
Total no. of samples	96	215	146	81	108	94
Tatal production (tonnes×1000)	6409	920	4655	34	3990	164

※ Source : In focus, Microbiology Australia, July. 2003

▸ Sample were obtained from small retail sources, with some also from farm storage and middlemen.

옥수수의 경우 50ppb 이상 검출된 비율이 20%~30%로 나타났다.

❑ A. flavus의 성장과 Aflatoxin 생성

○ **수확전(Preharvest)**

토양에 곰팡이가 상존해 있는 경우 성장 중인 식물은 곰팡이에 감염 되어 있을 수 있으며, 여기에 알곡의 수분함량이 적절하게 함유되어 있는 상태에서 수확 전 가뭄이 들 경우 토양의 온도는 상승하게 되고 이로 인하여 곰팡이 오염은 알곡으로 확산된다. 따라서 적절한 관계용수가 이루어진다면 아플라톡신의 오염을 줄일 수 있다. 또한 해충 손상(insect damage)이 일어나면 곰팡이가 쉽게 알곡 속으로 침투하게 되어 톡신 오염을 증가시킬 수 있다.

※ 농토는 A. flavus 집단의 저장고라고 할 수 있다. 땅콩은 토양 집단에 직접 접촉하지만 지상부 작물인 옥수수, 면화종자 등은 바람이나 곤충이 토양에서 발생한 포자를 전파하여 감염될 수 있다.

○ **저장시(Storage)**

수확 후(postharvest) 저장하는 동안 옥수수 수분함량 16~30%, 온도 25℃~32℃, 상대습도 80~100%일 때가 곰팡이 증식 및 톡신 생성의 최적 조건이 된다. 이와 같은 조건이 되면 아플라톡신이 발생되며 10일이 지나면 최대로 증가하게 된다.

※ 곰팡이성장 최적조건 ➡ 수분:16% ↑, 온도:25℃~32℃, 상대습도:80 ↑

3. 지리적 특징 및 아플라톡신 발생 요인

동남아산 옥수수에는 아플라톡신이 상존해 있는 것으로 볼 수 있으며, 이는 기후조건,

재래농법, 수확 후 관리, 농가로부터 최종 판매자까지의 유통단계 등에서 그 문제점을 확인할 수 있다.

일반적으로 동남아 지역의 경우 연중 재배·수확이 가능하며, 기후는 건기와 우기로 나누어지고 이와 관련하여 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

- Rainy season crop(우기수확작물)에서 아플라톡신 함량이 매우 높다.
- 통상 우기에 수확한 옥수수는 우기가 아닌 시기에 수확한 옥수수에 비하여 가격이 낮다.
- 가장 큰 문제는 농가에서 판매전 건조하지 않은 상태로 1~6주 동안 보관하는 것이다.
  - 연 평균 74ppb (3~299ppb)로 보고된 경우도 있다(FAO, 1979 & 1986)
  - 저장기간 동안에 곰팡이 오염이 급격하게 진행된다.
  - 수확 후 6개월이 경과하면 저장된 옥수수의 절반이상이 고수준으로 오염된 것으로 나타났다.
- 위험요인으로서는 고온, 다습 그리고 수확기에 내리는 폭우로서

  ⇒ High moisture grain(고 수분 함유 곡물) : 아플라톡신의 발생에 최적조건을 제공.
- 대부분의 아프리카와 동남아 국가의 간암 발생율은 북유럽 국가에 비해 100배 이상 높다. (인도네시아의 경우 아플라톡신에 의한 간암으로 연간 20,000명 이상 사망 보고, Microbiology Australia, July. 2003)
- 인도네시아의 경우 다음과 같은 5가지의 유통단계가 있다. (Five major distribution food chain in indonesian)
  1. village farmer
  2. "Penebas"(farmer trader/harvest contractor)
  3. "Pegompul"(village trader)
  4. wholesaler/regional trader
  5. Retailer

4. 아플라톡신 관리상의 문제점

1) 대표시료 준비에 대한 인식부족

아플라톡신 관리에 있어서 가장 어려우면서 분석결과에 큰 영향을 주는 요인은 시료를 준비하는 과정이다. 즉 대표성을 가질 수 있어야 한다. sampling은 곡물이 보관되어 있는 여건이나 상태에 따라 적절한 방법으로 수행되어야 한다. Table 4에서 보는 바와 같이 sample size에 따라 아플라톡신 검사결과의 변이는 매우 크게 나타난다.

미국의 경우 USDA에서는 대표시료 준비시 운송수단(Truck, Railcar, Sublot, Barge) 및 선적 시(shipping bin)의 시료채취방법, 채취장비와 도구 등에 대하여 상세하게 규정하고 있으며 최종 대표시료의 채취량은 Table 5와 같다.

[Table 4] Truck containing 20ppb aflatoxin contaminated corn (Romer Labs, 1995)

Sample Size	Kernels	Variability (ppb)
10 Lbs	30,000	11.6~28.4
5.0 Lbs	15,000	8.1~31.9
2.5 Lbs	7,500	3.2~38.8
1.0 Lbs	3,000	1~46.9

[Table 5] GIPSA Minimum sample size

Carrier	Minimum sample
Trucks	Two pounds (908 grams)
Railcars	Three pounds (1362 grams)
Sublots/Barges	Ten pounds (4540 grams)
Submitted Samples	Ten pounds recommended

2) 국가정책 및 곰팡이독소 관리에 대한 투자 결여

곰팡이독소 관리는 국가가 주관이 되어 투자와 정책 지원이 따라야 한다. 즉 수확 후 관리(post harvest technology)인 건조, 보관시설 및 톡신 분석 검사시스템 등에 대한 부분은 국가의 지원이 필요한 부분이다.

곰팡이독소 오염여부에 대한 정확한 정량분석을 하기 위해서는 HPLC 등 고급분석 장비와 분석기술 전문가가 필요하다. 최근에는 간이분석방법으로 확인할 수 있는 다양한 kit들이 개발되어 이러한 방법을 이용할 경우 과거보다는 분석에 소요되는 시간과 비용 측면에서 유리한 점이 있으며, 잘 활용한다면 매우 효과적으로 톡신을 관리할 수 있다.

3) 아플라톡신 위험성에 대한 인식 부족

대부분 아플라톡신의 관리는 post harvest에 치중되어 있으나 실제로 곰팡이독소 오염은 field에서 시작되며 Aspergillus flavus는 토양이나 공기 중에도 존재한다는 사실을 잘 인식하지 못하고 있다. post harvest에서 중요한 점은 신선한 상태의 곡물로 유지·관리가 되도록 하여야 하며 이러한 점은 앞서 언급한 유통업자들(distributor)도 같이 인식하고 관리를 하여야 한다.

4) 농장에서의 스트레스 인자

가뭄, 홍수, 태풍 등은 농가에서 관리할 수 있는 영역과는 거리가 있으나 이들은 작물에 대한 스트레스를 유발하여 곰팡이독소 오염을 증가시킨다. 만약 관계수리시설이 잘 되어 있다면 가뭄에 따른 스트레스와 피해를 최소화 할 수 있다.

5) 불충분한 사회기반시설

사회기반시설인 수송도로의 상황이 열악하고 사일로·창고 등 저장시설이 부족함에 따라 농가 단위에서 신선한 상태로의 곡물관리가 소홀해 질 수 있으며, 특히 농가들은 소득과 연계된 가격에 민감하여 수확기에는

가격이 떨어져 판매를 꺼리다가 농가 자체로 2~3개월 보관하면서 가격이 오를 때 판매하는 방식을 선호한다.

6) 정부 정책 결여

정부 정책이 없거나 관리규정이 있다고 하더라도 거의 유명무실하다. 예로 자국내의 아플라톡신에 대한 허용기준은 설정되어 있으나 위에 언급한 것과 같은 제반 시설이나 여건이 충족되지 않아 관리가 되지 않는 경우도 있다.

7) 곡물거래 관행

동남아 국가의 농산물 거래 방식은 대부분 무게기준으로 이루어지기 때문에 더 높은 소득을 올리기 위하여 농가에서는 가능하면 감량 방지에 주력한다. 즉 수분함량이 높은 상태로 장기간 보유하게 되고 이로 인하여 톡신 오염을 가중시키게 된다.

Trader들은 대부분 곡물 가격이 저렴할 때 수집하였다가 가격이 좋을 때 판매하는 방식으로 거래를 하며, 그들이 보유한 저장시설 또한 열악하다.

5. 아플라톡신 생성 방지책

1) In the field

토양에 상존하고 있는 곰팡이의 오염을 줄이기 위한 방법은 윤작을 하는 것이며 이를 통하여 식물의 생장력을 향상시킬 수 있다. 또한 저항력이 있는 종자의 선택과 적절한 파종량, 해충관리(특히 토양에 상존하고 있는 해충 관리) 등도 필수적이다.

2) Dry crops quickly

수확 후에는 가능한 빨리 옥수수를 건조시켜 보관하기에 이상적인 적정 수분함량으로 유지하는 것이 가장 중요하며, 특히 상대습도가 높은 지역에서는 더욱더 수분관리에 유의하여야 한다.

3) Avoid grain damage

두 번째 방지책으로는 건조전후 및 저장시 곡물의 손상을 최대한 줄이는 것이다. 곡물이 손상을 입으면 곰팡이가 쉽게 침투하게 되므로 이물질이나 손상립 등은 screening하여 제거한다.

4) Proper storage condition

세 번째 방지책으로서는 적절한 저장조건을 갖추는 것이다. 열대지방의 경우 대기온도는 곰팡이가 증식하기가 좋은 상태이다. 따라서 창고나 사일로 등의 보관시설은 수분유입이 되지 않도록 잘 설계되고 시공되어야 한다. 또한 환기시설(ventilation)을 갖추고 저장 중 상시 습도 체크 시스템으로 관리하여야 한다.

5) Other prevention measures

저장 전 빈의 상태를 확인하고 항상 청결하게 유지하며 정기적으로 빈 관리를 하여 덩

어리가 형성되는지 모니터링을 한다. 곰팡이에 오염된 곡물이 발견되면 반드시 곰팡이독소 검사를 하여 오염된 곡물은 선별 · 제거한다.

6. 맺는 말

지난해까지 급등했던 원자재 가격이 글로벌 금융위기 발생 이후 곡물을 포함한 원자재 가격이 크게 떨어져 현재는 비교적 안정추세에 있으나 언제 다시 위기가 찾아올지 알 수 없다. 현행 사료관리법에서는 원료의 아플라톡신 허용기준이 50ppb(총 아플라톡신 기준)이하로 설정되어 있으며, 만약 원료중 아플라톡신 함량이 허용기준이상으로 검출될 경우 폐기 또는 반송조치토록 규정하고 있다.

곡물의 선택과 구입 시 가격이 주요 결정요인으로 작용하고 있다. 품질이나 안전성 관리를 소홀히 하여 물량 및 구매금액 단위가 큰 옥수수 등 곡물을 수입하여 문제가 발생될 경우, 폐기 또는 반송해야 하므로 그로 인한 경제적 손실은 매우 커지게 된다. 최근 원자재 가격의 급등으로 해외자원개발에 대한 관심이 증대되고 있으며 위에 언급한 지역과 같은 열대 및 아열대 지역에 대한 자원개발 시에는 곰팡이독소 관리에 비중을 두고 추진하여야 할 것이다.

미국의 경우 USDA(미농무성) 산하 FGIS (연방곡물검사소)가 수출용 곡물의 선적 및 quality certificate 발행 등을 체계적으로 관리하고 있으나 동남아지역은 그렇지 못하며, 따라서 이를 보완하기 위해서는 수출화물에 대하여 신뢰할만한 Independent Survey Company를 통한 사전 안전성 및 품질평가가 반드시 선행되어야 할 것이다.

근래 동남아지역에서도 곰팡이독소에 대한 국가적인 관심과 투자로 사회 인프라 망이 점차 개선되고 있으나 아직 대부분 농가들이 재래농법으로 생산 유통하고 있는 점을 감안한다면 곰팡이독소 문제는 늘 발생될 수 있다는 관점에서 접근하여야 할 것이다.