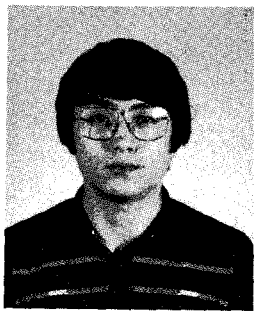
아플라톡신의 발생과 예방



수의사 이종세
(주) 중앙케미칼 기획부 대리

I. 서 론

최근 몇년동안 급속하게 진행된 축산업의 발전과 더불어 배합사료의 생산량 또한 급격한 증가 추세를 보이고 있다.

그러나 배합사료의 원료인 곡물의 대부분을 수입에 의존하고 있는 우리로서는 양질의 배합사료 생산을 위해 영양적으로 질이 높은 곡물의 선택은 물론 운반, 저장, 생산 및 유통과정에서 변질이 되지 않도록 세심한 주의를 기울여야 한다.

이러한 변질의 가장 큰 원인은 곡물에 발생하는 곰팡이에 의한 것으로서 사료 또는 곡물에 곰팡이의 발생은 직접적으로 사료의 영양가를 저하시키며 곰팡이가 생산하는 각종 독소는 성장저하 및 폐사 등 경제적으로 막대한 손실을 초래하게 된다. 현재 지구상에는 약 20만종 이상의 곰팡이가 서식하고 있으며 이들 중 대부분은 유용한 곰팡이로 식품제조 및 제약분야에서 널리 이용되고 있다.

이중 약 50~60종의 곰팡이는 사람과 가축에 해로운 곰팡이로 알려져 있으며 각종의 유해한 곰팡이독소(Mycotoxin)를 분비하는 것으로 밝혀졌다. 곰팡이독소는 곰팡이의 2차 대사산물로서 인축(人畜)에 급·만성의 생리적·병리적 장애를 유발시키는 독성물질을 총칭하는 말이다. 곰팡이독소는 특이성을 갖고

표1. 곰팡이에 의한 병원성 독소와 그 중독증상

독 소	곰 팡 이	증 상
F-2 (Zearalenone)	Fusarium graminearum, F. monilliforme, F. roseum	외음부질염, 구토, 산소결핍
F-3, F-5-3	F. graminearum	외음부질염, 구토, 산소결핍
Aflatoxin	Aspergillis flavus, A. parasiticus, A. ruber, A. wenti, A. oryzae, A. ostianus, A. ochraceus Aniger, P. puberulum, P. variable, P. citrinum, P. frequentanus, Rhizopus sp.	혈관계출혈, 간괴사, 구토, 하리, 전신쇄약, 폐사, 발암물질
Ochratoxin	A. ochraceus	간손상, 산소결핍, 하리, 전신쇄약, 폐사
Rubitoxin	P. rubrum	Aflatoxin 중독증상과 유사
Ergot	Claviceps purpurea	괴저, 신경발작, 혈액응고 부전
Islandotoxin	Penicillum islandicum	출혈, 간변성, 발암물질
Slaframine	Rhizoctonia leguminicola	타액분비과다
Patulin	P. urticao	신경증상, 발암물질
Maltoryzine	A. oryzae	근육마비, 간손상, 폐사
Gliotoxin	P. terlokowskii, Trichoderma viride	광선과민증, 수면, 체중감소
Sporidesmin	Pithomyces chartarum	안면습진, 황달, 산소결핍
Chetomin	Chetomium cochliodes	항생물질, 진신적 독성
Furocoumarins	Sclerotinia sclerotiorum	광독성 효과
Kojic acid	A. tamarii, A. oryzae	부종, 전신쇄약
Citreo-viridin	P. citreo-viride	신경마비
Citrinin	P. citrinum, A. terrus	미주신경긴장항진, 신장염
Rugulosin	P. rugulosum	간경변, 신장염
Unnamed	A. clavatus	소의 부전각화증

있어서 곰팡이의 종류에 따라 분비되는 독소의 종류 또한 각각 다르다. (표1 참조)

여기서는 최근 수입되는 곡물에서 큰 문제점으로 대두되고 있으며 가장 큰 경제적 피해를 초래하고 있는 아플라톡신(Aflatoxin)에 관해 서술하고자 한다.

Ⅱ. 아플라톡신의 정의

아플라톡신은 곰팡이독소의 일종으로 옥수수나 면실박에 주로 형성되는 아스퍼질러스 플라브스(Aspergillus flavus)와 땅콩류에 주로 형성되는 아스퍼질러스 파라시티쿠스(Aspergillus parasiticus)등의 곰팡이에 의하여 분비되는 독소로서 내열성이 강하여 약 340℃에서도 파괴되지 않는 맹독의 하나이다. 아플라톡신은 다시 B_1, B_2, G_1, G_2, M_1등으로 분류되며 이중 아플라톡신 B_1은 다른 독소보다 2~8배의 독성을 나타내며 어린 병아리에서는 아주 적은 양으로도 폐사까지 유발시키는 무서운 독으로 알려져 있다.

Ⅲ. 곰팡이의 성장 및 증식 조건

일반적으로 곰팡이의 발생과 증식에는 다음과 같은 4가지의 조건이 필요하다.

1. 온도

온도는 곰팡이의 성장에 적접적인 영향을 갖는다. 어떤 종류는 7℃에서도 증식을 할 수 있으나 증식의 최적 온도는 21℃~38℃이며 55℃이상에서는 증식을 멈추거나 죽게 된다.

2. 습도

대부분의 곰팡이들은 증식과 성장을 위해 약 75% 이상의 상대습도를 필요로 하며 상대습도가 80~100%일 때 곰팡이의 증식은 활발하게 진행된다.

3. 산소

산소는 곡류의 낱알 사이에 항상 존재하여 곰팡이의 증식에 이용된다.

4. 에너지

곰팡이의 증식을 위해서는 에너지원이 절대적으로 필요하다. 잘 건조된 옥수수에 있어서는 그 피막이 보호막 구실을 하여 곰팡이의 전분(starch)이용을 억제한다. 그러나 일단 옥수수가 사료원료로 가공되면 피막의 파괴와 더불어 에너지원인 전분을 곰팡이가 쉽게 이용하여 왕성한 증식을 일으킨다. 따라서 양질의 사료곡물을 수입한 후에도 그 가공과정 및 배합사료의 유통과정에서 곰팡이에 의한 피해 가능성이 더욱 높음을 주시해야 한다.(그림1)

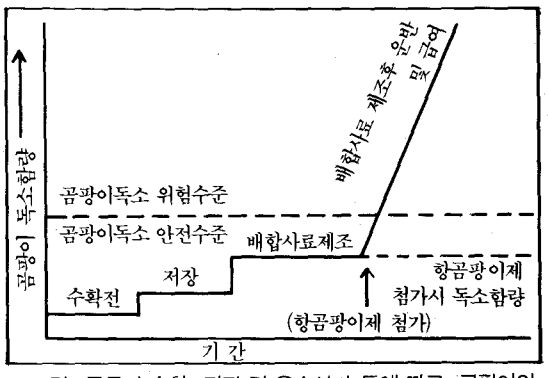


그림1. 곡류의 수확, 저장 및 운송시기 등에 따른 곰팡이의 오염도 (Bland, 1983)

Ⅳ. 사료내의 수분함량과 곰팡이 발생

곡물 및 사료의 경우 온도, 습도와 더불어 사료내의 수분 함량이 곰팡이의 증식에 큰 영향을 미친다. 종전의 연구결과에 따르면 곡류의 수분함량이 14% 이하이고 상대습도가 75% 이하일 때는 곰팡이 형성이 억제되는 것으로 알려졌다 (그림2). 그러나 수분함량 10%, 습도 60%에서도 곰팡이에 의한 아플라톡신 발생이 가능하다는 시험 결과가 나와 종전의 개념이 바뀌어야 함을 입증하고 있다.

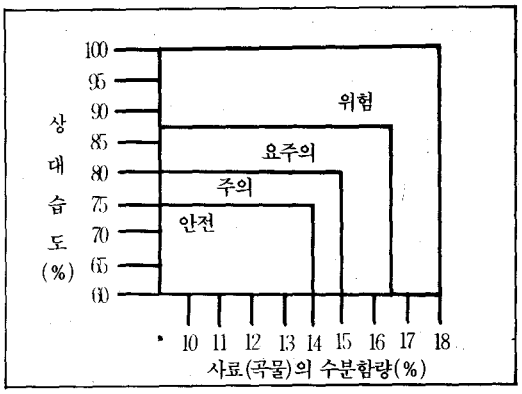


그림2. 공기중의 상대습도와 사료의 수분함량이 아플라톡신 생성에 미치는 영향(Bland, 1983)

Ⅴ. 곰팡이의 오염경로

곰팡이 오염의 경로는 내인성(內因性)과 외인성(外因性)으로 나뉘어진다. 내인성의 경우 곰팡이의 아포가 곡류의 알맹이속 주로 배아 부분에 존재하게 되는데 이들은 토양으로부터 식물이 성장할 때 이미 전파되었거나 또는 곡물의 알맹이가 형성될 때 곤충에 의해 알맹이 속으로 옮겨진 경우이다. 한편 외인성의 경우에는 곰팡이의 아포가 오염되지 않은 곡류에 공기 또는 접촉에 의해 알맹이 표면에 곰팡이가 정착한 경우이다. 대부분의 경우 곰팡이의 성장은

표 2. 도입월별 아플라톡신 발생빈도(1983~1986)

구분 \ 도입월	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12	
판정	음성	양성	음성	양성	음성	양성	음성	양성	음성	양성	음성	양성	음성	양성	음성	양성	음성	양성	음성	양성	음성	양성	음성	양성
발생점수	13	10	14	5	17	13	7	12	10	17	13	4	9	12	6	11	3	2	8	16	6	6	20	5
발생빈도(%)	43.48		26.32		43.33		63.16		62.96		23.53		57.14		64.71		40.00		66.67		50.00		20.00	
평균함량(ppb)	9.62		1.56		2.75		6.10		2.65		0.75		2.04		7.24		1.67		8.52		10.98		1.95	

표3. 수입산 곡류의 아플라톡신 함량(1987)

단위 : ppb

사료별 \ 월별	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
옥수수	45	20	27	10	11	18	7	neg	2	4	1	7
대두박	20	17	13	8	13	15	neg	8	neg	2	3	1
소맥	20	10	20	10	8	5	8	neg	neg	3	9	
채종박	10	neg	12	neg	neg	neg	neg	13	neg	2	10	3
어분	—	—	18	20	—	5	neg	neg	neg	3	neg	neg

내인성에 의한 것이며 배합사료 제조를 위해 곡물을 분쇄할 때 아포가 분산되어 적당한 온도·습도에 노출되면 급속도로 증식하게 된다.

Ⅵ. 수입곡물의 아플라톡신 오염

(표2)에서 알 수 있듯이 수입곡물의 아플라톡신 오염은 계절에 관계없이 발생하고 있다. 1987년 수입곡류에 따른 오염도를 보면 연초에는 현재 허용치인 20 ppb를 초과했으나 검사강화, 운송 및 저장관리에 주의를 요해 후반기부터는 그 오염도가 낮아지고 있음을 알 수 있다(표3). 배합사료의 원료로서 가장 큰 비중을 차지하고 있는 옥수수는 아플라톡신을 비롯한 각종 곰팡이독소들이 가장 문제시되는 곡물이다. (표4)에서 보면 역시 옥수수가 가장 높은 아플라톡신 출현빈도를 보이고 있으며 배합사료는 단미사료보다 출현빈도가 훨씬 높은 것으로 나타나 있어 배합사료의 저장 및 관리에 더욱 세심한 주의가 요구된다고 할 수 있다. 그러나 여기서 가장 중요한 점은 저장시에 독소가 형성될 가능성이 가장 높다는 점이다.

표4. 사료 종류에 따른 아플라톡신 출현빈도

사료명	출현빈도(%)
SBM	5
옥수수	30
기타곡물	0
배합사료	52
저장된사료	91

(Hamilton, 1985)

Ⅶ. 아플라톡신 생성에 영향을 미치는 인자

(표5)는 사료의 가공형태와 아플라톡신과의 관계를 보여주고 있다. 같은 곡물이라도 가공방법 또는 형태에 따라서 독소의 발생량은 큰 차이를 보이고 있으며 저장온도, 저장시간에 따라 독소의 발생량이 다른 것을 보여주고 있다.

(표6)은 사료의 저장에 따른 아플라톡신 양성반응 비율과 그 함량에 관한 시험결과로 저장기간이 길수록 그 오염이 증가됨을 보여주고 있다.

(표7)을 보면 저장온도가 22℃~27℃일 때 아플라톡신의 생성이 가장 활발하게 이루어짐을 알 수 있

표5. 저장시간과 사료의 가공형태에 따른 아플라톡신 출현

(단위 : ppm)

곡류	아플라톡신	25℃		30℃	
		48hr	72hr	48hr	72hr
수수분이	B_1	2	19	20	44
	B_2	2	6	6	29
크랙킹	B_1	8	19	50	586
	B_2	8	20	30	214
알곡	B_1	1	500	17	49
	B_1	1	300	8	60
옥수수분이	B_1	1	20	65	142
	B_2	1	8	30	110
크랙킹	B_1	4	35	60	70
	B_2	8	15	45	65
알곡	B_1	10	100	40	70
	B_2	15	41	30	87

(winn과 Lane. 1979)

표6. 사료저장에 따른 아플라톡신 함량

사료저장기간(일)	분석수	aflatoxin 함량 (ppb.)	aflatoxin (% Positive)
1— 5	132	7.9	20.5
6—10	64	8.0	23.4
11—15	20	10.7	30.0
16—20	0	27.9	66.7

(Jones & Hamilton, 1982)

표7. 사료의 저장온도에 따른 아플라톡신 생성

저장온도(℃)	분석수	Aflatoxin (ppb)	Aflatoxin (% Positive)
19	16	3.1	12.5
19—21	14	9.6	21.4
22—24	22	6.5	27.3
25—27	52	11.5	26.9
28—30	53	3.0	17.0
31—33	43	1.6	18.6
33	3	0	0

(Jones and Hamiton, 1982)

표8. 사료의 저장 습도에 따른 아플라톡신 생성

상대 습도 (%)	분석수	Aflatoxin (ppb)	Aflatoxin (% Positive)
60	34	2.0	8.8
60—69	72	2.7	15.5
10—79	66	11.1	28.8
80—89	28	5.6	32.1
90—99	3	1.1	33.3

(Jones & Hamilton., 1982)

으며 19℃~33℃에 이르는 광범위한 영역에서 독소의 출현이 가능함을 알 수 있다.

(표8)에서는 앞에서 언급한 바와 같이 저장습도가 70%이상일 때 아플라톡신의 출현이 가장 높게 나타남을 알 수 있으나 60%일 때에도 독소의 생성이 가능한 것으로 나타나 있다. 위의 여러가지 시험결과에서도 알 수 있듯이 사료가 저장되기 전에는 그 사료의 형태 및 저장온도, 습도, 저장기간 등이 반드시 고려되어야 함을 인식하여야 한다.

Ⅷ. 아플라톡신에 의한 피해

아플라톡신을 섭취했을 때는 그 중독증을 유발하게 되는데 이를 아플라톡신 중독증(Aflatoxicosis)이라 한다.

이 질병은 전세계적으로 발생하며 국내에서도 여름철 고온다습할 때 가끔 발생하여 면역장애, 신장기능장애, 단백질 요구량 증가, 착색불량, 도체질 저하, 산란율 감소, 성장저하, 사료효율 저하 등의 경제적 손실을 초래하며 특히 어린 병아리에 있어서는 폐사율이 높은 무서운 질병이다. 아플라톡신에 의한 임상증상은 독소의 섭취량, 품종, 일령에 따라 다르지만 그 주된 일반적 증상은 다음과 같다.

① 중독된 병아리는 식욕결핍 증상을 보이며 날개를 늘어뜨리고 졸게 된다.

② 증상이 진행되면 영양실조, 근육경련 등을 유발한다.

③ 성장이 지연되고 회복 후에도 발육이 지연된다.

④ 성계의 경우 병아리보다 저항성이 강하여 별다른 증상이 없이 가볍게 지나가는 경우가 많다.

⑤ 갑자기 폐사하는 것이 특징적이고 병아리의 경우 폐사율이 50%까지 달한다.

또한 아플라톡신 중독으로 인한 폐사체를 부검해 보면 다음과 같은 특징적 소견을 나타낸다.

① 급성의 경우 광범위한 출혈과 황달증상을 보인다.

② 아급성의 경우 간 조직의 변화는 뚜렷하지 않으나 간장이 종대된다.

③ 신장에 수종이 생기고 심근은 충혈을 보이며 심낭막에는 호박색의 액체가 차게 된다.

④ 각종 내부장기(특히 간장, 신장, 소장)에 출혈증상을 보인다.

⑤ 담낭의 부종도 간혹 나타난다.

실제로 양계에 영향을 미치는 아플라톡신의 오염수준은 (표9)에서 보는 바와 같다. 0.075 ppm 이상의 오염시 체중감소 등의 경제적 손실을 초래하나 그 이하의 수준에서도 만성적으로 오염된 사료를 급여하는 경우에도 생산성에 많은 영향을 주게 된다. 현재 FDA가 정한 아플라톡신의 최대 허용기준을 20 ppb로 정하고 있으며 우리나라도 같은 수준을 최대 허용치로 정해 놓고 있다.

표 9. 양계에 영향을 미치는 아플라톡신의 오염 수준

단위 : ppm

브로일러
0.075 : 간의 무게 감소, 체중 감소
0.4 : 질병에 대한 면역 감소
0.5 : 낮은 중독 증상 발현
0.625 : 췌장 분비 효소 감소
1.0 : 간세포 손상
1.25 : 췌장 효소 활성 감소
2.5 : 사료섭취량 감소, 혈액응고시간 증가
산란계, 종계
0.5 : 난중 및 산란율 감소, 부화 병아리 체중 감소
5.0 : 난각 무게 증가, 난황 무게 감소

(Piva등, 1986)

Ⅸ. 아플라톡신 중독증에 대한 예방대책

앞에서 언급된 바와 같이 곰팡이의 성장과 증식에는 온도, 습도, 수분, 산소, 에너지 등의 요소가 필수적이다. 곡물의 수확시기부터 가축이 소비하기까지 분쇄펠렛팅 등의 모든 기계적 가공과정을 통해 곰팡이 증식과 이에 따른 독소 생산의 가능성은 더욱 높아지나 사실상 위의 5가지 요소들이 인위적 조절을 통한 곰팡이 독소 예방은 그리 쉬운일이 아니다. 북 캐롤리나 주립대의 Hamilton 박사에 의하면 농장의 사료통 내에서 수거된 사료의 91%가 아플라톡신에 오염되어 있으나 사료공장의 사료에는 52%가 아플라톡신에 오염되어 있었다고 한다. 이는 사료취급상의 각종 부주의가 아플라톡신 형성에 큰 영향을 미치고 있음을 보여주는 것이다.

따라서 곡물 및 사료 관리상의 주의와 더불어 곰팡이 생성의 방지를 위하여 적절한 항곰팡이제의 사용이 중요하다. 현재 사용되고 있는 항곰팡이제는 모두가 유기산으로서 단일제제 또는 복합제제의 형태로 사용되고 있다. 그러나 아무리 효능이 우수한 제제라도 이미 생성된 아플라톡신을 제거하지는 못하며 사료에 첨가된 이후의 곰팡이 증식을 멈추게 하는 작용 뿐임을 알아야 한다. 효과적인 항곰팡이제는 다음과 같은 특징을 갖추어야 한다.

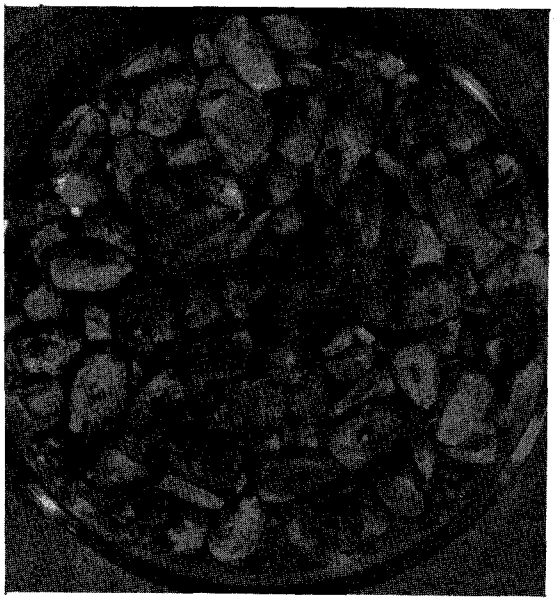
① 광범위한 곰팡이에 대해 성장을 억제할 수 있는 효능이 있어야 한다.

② 입자가 작아서 사료내에 골고루 분산되어야 한다.

③ 분해 후에 낮은 pH를 가져야 한다.

④ 비교적 낮은 수분함량 사료에서 억제제를 방출할 수 있어야 한다.

⑤ 비부식성, 비자극성이어야 한다.



⑥ 다루기 용이하고 가격이 저렴해야 한다.

지금까지 항곰팡이제제로 사용되어 온 주요 성분은 다음과 같다.

1. 프로피온산(Propianic acid)

프로피온산은 가장 널리 사용되고 있는 항곰팡이제로서 사용시 기화되어 곰팡이의 포자나 곰팡이에 직접 접촉하여 효과를 나타낸다.

프로피온산 계통의 항곰팡이제로 프로피온산 칼슘(Calcium propionate)이 있는데 프로피온산 단일제보다는 효과가 떨어지나 자극성 냄새가 프로피온산보다 약하기 때문에 취급이 용이한 장점이 있다. 프로피온산 제제의 곰팡이 억제능력은 프로피온산의 카르복실기(－COOH)에 있다. 천연중에 존재하는 프로피온산은 프로피온산 분자가 2개 결합된 형태인데(dimeric propionic acid) 그 보다는 단일분자형태(monomeric propionic acid)가 효과가 높은 것이 밝혀져 모노형태의 프로피온산이 항곰팡이제로 이용되고 있다.

2. 초산(Acetic acid)

프로피온산의 약 ½효과를 나타내며 25% 이상의 습도 수준에서는 더욱 효과가 떨어진다. 프로피온산과 함께 사용시 그 효과를 증가시키는 작용을 한다.

3. 소르빅산(Sorbic acid)

수분함량이 25% 이상일 때 효과가 좋기 때문에 식품제조분야에서 많이 사용된다. 사료내의 수분함량이 높고 사료의 산도가 5.5이하일 때 좋다.

4. 개미산(Formic acid)

초산보다 효과가 적으며 피부에 대한 자극이 아주 심하게 때문에 취급상의 주의를 요한다.

5. 벤조익산(Benzonic acid)

식품과 지방의 방부제로 사용되며 식품이나 사료에 0.1% 이상 사용이 금지되어 있으며 현재 국내에서는 다른 유기산과의 복합제 형태로 사용되고 있다.

위와 같은 항곰팡이제의 첨가는 직접적으로 아플라톡신 생성을 예방할 수 있다. 한편 최근 연구발표에 의하면 사료내의 단백질 추가급여, 특히 황(Sulfur)을 함유하는 아미노산인 메치오닌의 추가급여는 아플라톡신 해독작용에 직접적으로 관계되는 글루타치온(Glutathione)의 해독기전 효과를 증가시켜 만성적 아플라톡신 중독증의 영향을 경감 또는 억제시키는 것으로 밝혀졌다.

X. 결 론

우리나라의 경우 5~10월까지가 곰팡이의 성장과 증식에 필요한 온도, 습도를 제공하는 시기이다. 그러나 대부분의 사료곡물을 수입하고 있는 우리로서는 아플라톡신에 의한 피해가 하절기는 물론 동절기까지 연중 발생 가능함을 기억하여야 하며 특히 곰팡이의 발생이 사료공장에서 보다 사료의 저장과정과 농장의 사료통에서 더 많이 발생된다는 사실에 주목하여 사료의 저장관리와 위생적인 사양관리에 세심한 주의를 기울여야 한다. 이와 아울러 사료곡물이 운송되는 과정에서 곰팡이의 오염을 방지하기 위해 곡류수입시 각종 검사의 강화가 병행되어져야 하겠다. 양계