

곰팡이독소와 곰팡이독소 흡착제거제에 대한 최근 연구 동향

이 인 호*

I. 緒 論

자연계에 널리 분포하고 있는 곰팡이는 발효 식품제조, 양조, 제과, 제약 및 효소생산 등에 폭넓게 이용되고 있지만(Deacon, 1984; Reed, 1982), 사료곡물에 오염시 품질을 저하시킬 뿐만 아니라 곰팡이의 2차 대사산물인 mycotoxin 생성으로 인해 가축은 물론 인체에까지 상당한 피해를 준다(Johnson과 Peterson, 1974)〈표 1, 2〉. 작용기전에 따른 곰팡이독소의 분류는 표 3과 같다.

원료사료의 곰팡이 오염은 흔히 내인성 및 외인성 두가지 오염으로 구분된다. 내인성 오염(endogenous contamination)은 식물의 성장과정 중 곰팡이 포자가 토양으로부터 식물체 안으로 전염되거나 종실기에 종자의 배아로 포자가 오염되는 경로를 말하며(Majumder 등, 1964; Anderson 등, 1975; Hesseltine, 1974; Flannigan, 1974), 외인성 오염(exogenous contamination)은 본래 오염되지 않았던 사료곡물이 공기나 외부 접촉 등에 의해 종자표면에 곰팡이 포자가 정착하여 오염되는 것을 말한다〈그림 1, 2〉. 그러나 대개의 경우 곰팡이의 증식은 내인성에서 비롯되며 기계적인 수확이나 도정 및 저장, 가공, 운송 등과 같은 일련의 과정중 종자의 보호역할을 하는 껍질이 깨어지거나 부서지면서 종자내부의 영양소가 산소에 노출됨으로써 곰팡이의 내인성 및 외인성 포자가 함께 자라게 된다(Anderson 등, 1975).

곰팡이는 다른 미생물보다 증식에 필요한 pH와 온도 범위가 매우 넓고, 습도가 비교적 낮은 조건에서도 생육할 수 있어 상대습도가 75% 이상 또는 기질의 수분함량이 15% 이상이고 외기 온도가 20°C 이상이면 왕성하게 자랄 수 있으나(Diener 등, 1970), 실제로 5~6°C에서도 곰팡이는 생육할 수 있다고 보고되어 있다(Frazier와 Westhoff, 1978). 곰팡이의 이러한 특성에 비추어 볼때 우리나라와 같이 원료사료의 대부분을 외국으로 부터 수입하고 있는 실정에서는 장기간의 유통과정중 곰팡이 증식에 유리한 조건이 될 수 있다는 점을 고려하지 않을 수 없다.

한편 사료에 오염되는 대부분의 곰팡이는 α -amylase, proteinase, lipase 등을 합성할 수 있어 사료내 탄수화물, 단백질, 및 지방 등을 모든

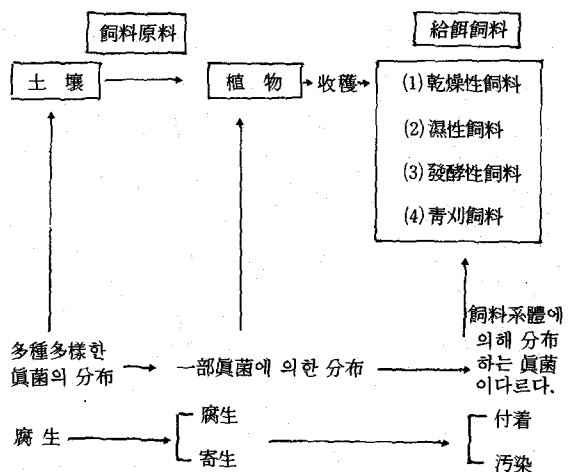


그림 1. 飼料와 真菌의 관계.

표 1. 飼料와 主要眞菌

飼料	주요진균
乾草	<i>Aspergillus, Penicillium, Fusarium</i>
靑刈飼料	<i>Aspergillus, Cladosporium, Alternaria, Fusarium, Penicillium</i>
사일레지	<i>Aspergillus, Geotrichum, Aureobasidium</i>
乾燥系濃厚飼料	<i>Aspergillus, Penicillium, Paecilomyces</i>
뽕짚類	<i>Aspergillus, Penicillium, Geotrichum, Trichoderma</i>

형태에서 점차적으로 감소시켜 이로인한 영양소의 손실 및 기호성의 저하 등을 초래하게된다 (Deacon, 1984; Frazier와 Westhoff, 1978; Morrison, 1956).

이와같은 영양적인 손실 외에도 곰팡이가 생성하는 mycotoxin이 더욱 큰 문제가 될 수 있는데 (Johnson과 Peterson, 1974), 이들중 특히 aflatoxin은 1960년 영국에서 십만마리 이상의 칠면조를 폐사시킨 원인물질임이 밝혀진 이후 (Erdmann, 1967) 가축의 생산성에 지대한 영향을 미치는 물론 천연화합물 중에서 가장 저농도로 간암을 일으키는 발암물질로 알려져 있다. Aflatoxin의 종류에는 B₁, B₂, G₁ 및 G₂등이 있는데 이 중 B₁의 독성이 가장 강하다 (Lyndsay, 1981). *Aspergillus*속 중에서 aflatoxin을 생산하는 대표적인 균주로는 *Aspergillus flavus*와 *Aspergillus parasticus*가 있지만 (Diener와 Davis, 1970), 동일한 *Aspergillus flavus*균 일지라도 어떤 종류는 aflatoxin을 분비하지 않거나 습도, 온도, 기질의 영양소 함량 및 다른 곰팡이 종류와의 공존여부 등에 따라 그 생성유무가 다르므로 aflatoxin의

표 2. 常用飼料와 事故飼料에 보이는 眞菌

例	眞菌數	主要眞菌	事故飼料	件數	主要眞菌
乾燥性: 配合飼料	10 ² ~10 ³ /g	<i>Aspergillus, Penicillium</i>	10 ₄ ~10 ⁶ 以上/g	5件	<i>Aspergillus, Eurotium</i>
사일레지	10 ² ~10 ³ /g	<i>Aspergillus, Eurotium</i>	10 ₅ 以上/g	2件	<i>Eurotium</i>
乾草	10 ³ ~10 ⁵ /g	<i>Eurotium, Aspergillus, Fusarium</i>	10 ₄ ~10 ⁶ 以上/g	12件	<i>Eurotium, Eusarium, Aspergillus, 放線菌</i>
濕性: 靑刈	10 ² ~10 ⁵ /g	<i>Rhizopus, Fusarium, Penicillium</i>	—	—	
發酵性: 사일레지	10 ³ ~10 ⁵ /g	<i>Aspergillus, Geotrichum</i>	10 ⁶ 以上/g	2件	<i>Geotrichum, Aspergillus, 酵母</i>
뽕짚類	10 ³ ~10 ⁵ /g	<i>Penicillium, Fusarium, Eurotium, Aspergillus</i>	—	—	

오염은 곰팡이의 증식정도에 의해서가 아니라 반드시 aflatoxin분석을 해야만 판별 할 수 있다 (Lillehoj 등, 1979).

한편 실제 가축사양에서 문제시 되는 것은 aflatoxin에 의한 급성중독보다는 만성중독인 경우가 대부분으로 그 중독증상은 독소의 섭취량, 가축의 종류, 품종 및 영양소의 급여수준 등에 따라 다르게 나타나지만 육계나 육성 및 비육우의 경우 그 독성수준이 각각 210ppb 이상, 280ppb 및 690ppb에 중독증상이 나타나는데 비해 착유우의 경우 1,500ppb 이상에서 유량감소 중독증상이 나타나지만 50ppb 이상이면 우유중에 분비된다 (Allcroft, 1982; Howell, 1982). 이와 관련하여 사료내 aflatoxin함량과 가축의 생산물에 검출되는 aflatoxin간에는 일정한 상관관계가 있어 산란계의 경우 사료와 근육간의 비율이 약

표 3. 作用機序으로 본 곰팡이독소의 分類

作用	곰팡이독소
遺傳毒 (變異原, 發癌劑)	aflatoxins, sterigmatocystin, ochratoxin A, patulin, penicillic acid, luteoskyrin, fusarim C
高分子生合成阻害 DNA, RNA 단백질	aflatoxins trichothecenes, ochratoxin A
呼吸·인산화阻害 TCA 回路 酸化的 인산화	moniliformin luteoskyrin, citreoviridin
細胞骨格損傷	Cl-peptide, cytochalasins
Estrogen受容體結合	zearalenone
生體아민生合成阻害	fumitremorgins

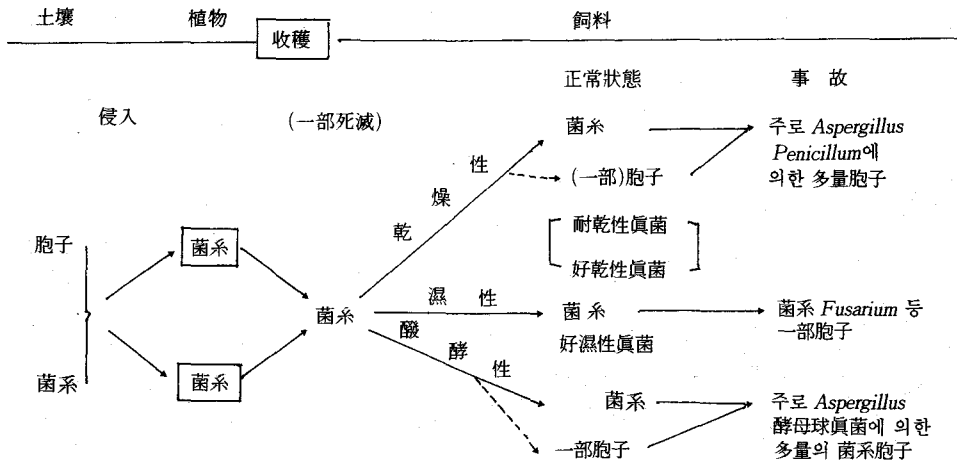


그림 2. 飼料中에서의 真菌形態變化.

2,200:1이고 비육우의 경우 사료와 근육간의 비율이 14.6:1로서 상당히 낮은 편이지만 착유우에 있어 사료와 우유간의 비율은 평균 300:1(Stoloff, 1979)로서 상당히 높은 편이다. 특히 Holstein종의 경우에는 50:1이며(Masri 등, 1969) 저능력우보다 고능력우가 대사작용이 더 활발하다. 우유중에 더 많은 aflatoxin이 분비된다고 알려져 있어(Van der Linde 등, 1965) 실제로 많이 연구가된 가금에 대한 aflatoxin 중독 못지 않게 낙농에도 그 중요성을 일깨워 주고 있다.

위와같은 곰팡이의 증식과 그로인한 피해를 감소시키기 위해 식품, 종자, 자재 및 곡류 등에 여러가지 화학물질이 널리 사용되어 왔는데 곡류나 원료사료 등에 흔히 사용되고 있는 항곰팡이제로는 propionic acid 등과 같은 유기산이나 유기산염의 단일 또는 복합제, 효소제, gentian violet 등과 같은 유료염료, formaldehyde, 가축의 기호성 증진을 위한 향미제 및 Cu함유제 등이 있다(Osweller, 1985). 이들 각 항곰팡이제의 효과 및 적정수준은 보고자에 따라 매우 다르며 또한 그 작용기전도 잘 알려져 있지 않으나 propionic acid는 carboxyl기가 미생물의 탄수화물 대사를 방해하기 때문이며 Cu는 미생물의 대사 과정에 필요한 일부 효소의 금속이온 결합부위에 결합하여 미생물을 억제하는 것으로 알려져 있다(Debat Laboratories, 1988).

곡류나 사료에 사용할 수 있는 보존료는 인축에 대한 안전성의 문제로 그 선택의 폭이 매우

좁고 그 사용농도가 제한되어 있는데 이중 유기산은 인축에 대하여 저독성이고 미생물에 대한 억제효과가 있으며 식품의 맛을 변화시키지 않기 때문에 식품보존료로 이용되어 왔다.

그 작용기작은 확실히 구명되지 않았으나 해리되지 않은 상태의 유기산은 세포막에서 쉽게 용해되어(Cramer 등, 1977) 주로 electron transport system을 저지하여 미생물의 세포막 투과성을 방해함으로써 미생물을 생장억제시키거나 죽인다고 보고되었다(Sheu 등, 1972; Sheu 등, 1972; Freese 등, 1973).

유기산은 pH가 낮을수록 해리되지 않은 유기산 분자형태가 증가하기 때문에 미생물의 억제효과가 크다고 한다. 따라서 대부분의 유기산은 pH5.5~5.8이상이면 미생물에 대한 억제효과가 낮아지나 이들중 propionic acid와 sorbic acid는 저장대상물에 따라 pH6.5에서도 효과가 있다고 보고되었다(Chichester 등, 1968).

따라서 본고에서는 곰팡이 독소 및 곰팡이 독소흡착제에 대한 최신문헌을 정리하여 수의사 회원들께 참고자료로서 제공하고자 한다.

1. Aflatoxin의 독성과 배설경로

Aflatoxin은 Aspergillus속의 Aspergillus flavus, Aspergillus parasiticus, Aspergillus clavatus, Aspergillus glaucus 및 Aspergillus fumigatus 등과 같은 곰팡이의 특성주가 산성하는 mycotoxin의 일종으로서 사람과 가축에서 aflatoxicosis를 유발하

고 특히 가축에서 간변성, 폐병소, 피부질소 및 유산 등을 초래하여 생산성을 저하시킴으로 상당한 경제적 손실을 초래하고 있다(Butler 등, 1964).

Aflatoxin은 peanut을 위시해 rice, soybean, corn, kidney bean, wheat 등 많은 곡류와 발효식품중에서 발견(Allcroft 등, 1969; Manning 등, 1984)되고 직접적으로 사람과 가축에 독성을 유발함으로 aflatoxin에 대한 미생물학적 및 독물학적 문제가 집중적으로 연구되어 왔다(Dwivedi 등, 1984; 윤등, 1976; 윤등, 1973).

Aflatoxins중 특히 aflatoxin B₁은 급성중독보다는 만성중독의 피해가 크며 쥐에서 1일 0.2μg의 섭취량으로 슛컷은 68주 암컷은 82주에서 간암발생을 100%를 나타냈다. 윤등(1982)은 한국산 aflatoxin의 피해를 받은 오리병아리의 간과 신장을 조직학적인 면에서 연구하였으며 Richard 등(Richard 등, 1983)은 aflatoxin에 오염된 사료를 섭취한 슛송아지에 있어서 생리학적, 면역학적 및 병리학적 변화를 보고하였다.

Aflatoxin은 간장 독소이며 *Aspergillus flavus*와 *Aspergillus parasiticus* 곰팡이에 의하여 생성된 bisfurano-coumarin 유도체이다(Jones와 Jones, 1969). 현재까지 알려진 aflatoxin의 유사물질은 약 15종에 이르며 이들 중에서 제일 독성이 강한 형태는 aflatoxin B₁이다. 이 aflatoxin B₁은 그 구조식내 말단부(terminal furan ring)의 탄소 2, 3위치에 DNA나 RNA가 다시 이중결합을 형성하여 2, 3-epoxide aflatoxin B₁으로 대사된다(Schoental, 1970; Schabort와 Pitout, 1971). 이 2, 3-epoxide aflatoxin B₁은 전자와 친화력이 있어서 핵산과 같은 거대 분자와 이중 결합을 형성하여서 유전자 발현에 변화를 일으키기도 하고 DNA나 RNA가 단백질 합성기질로서의 기능을 상실하게 한다. 따라서 2, 3-epoxide aflatoxin B₁은 단백질 효소의 활성 감소와 함께 DNA 분자에 장애를 유발시켜 돌연변이와 암 등의 원인이 된다(Gurtoo와 Dave, 1975; Swenson 등, 1977; Lin 등, 1977).

이와같은 aflatoxin B₁은 가축 체내에서 대사되면 적어도 7가지 이상의 대사유도체를 생성하는데 각각의 독성정도는 그 대사 유도체의 구조

(Wong과 Hsieh, 1976), 품종, 성별, 개체, 나이, 건강상태, 영양적 균형, 호르몬성상 및 다른 약품이나 독성물질에 의한 노출정도 등과 같은 여러가지 요인에 따라 다르다(Goldblatt, 1979; Hsieh 등, 1977).

한편 동물체내에서 일어나는 aflatoxin의 배설 경로는 담즙-소장-배변의 경로를 따라 이루어 지는데 그 배설형태는 labeling방법에 따라서도 다르게 나타나는 것으로 보인다. 쥐의 경우에는 섭취한 aflatoxin의 25~30%정도가 뇨를 통하여 배설되는 반면, 분과 장내용물로 분비되는 양은 급여한 양의 25% 정도이며 6~8%는 간장에 잔류된다(Wogan, 1966, 1967). 그리고 Sawhney 등(1972)에 의하면 산란계의 경우에는 섭취한 aflatoxin의 70.61%가 7일 이내에 분으로 배설된다고 하였다. Wogan(1967)은 aflatoxin은 급여후 24시간동안에 급여한 양의 70~80%가분으로 배설된다고 하였는데 labeling방법에 따라 다소 다른 결과를 보고하고 있다.

2. aflatoxinO₁ 증체량, 장기 및 효소 활성에 미치는 영향

Aflatoxin은 Japanese quail, 부로일러, 산란계, 돼지, rhesus monkey 및 칠면조 등에 여러가지 나쁜 영향을 미치는 것으로 알려지고 있으며, aflatoxin이 각종 동물에 미치는 영향은 혈장단백질과 헤모글로빈 함량감소, 간장탈색, 간장과 췌장비대, 각종 효소활성의 감소, 성장을 저하 및 심한 경우에는 폐사하게 된다.

Hamilton 등(1982)은 1주일된 Japanese quail에 aflatoxin을 5ppm 급여하면 성장율이 저하되고 aflatoxin을 20ppm 급여하면 폐사율이 50%정도로 증가하는데 aflatoxin에 가장 민감한 지표로서 혈장 단백질과 색소함량의 감소, 간장과 췌장비대 등의 영향이 나타나지만 닭의 경우에는 이와는 달리 혈장 단백질과 지질함량, 헤모글로빈 함량, 비장의 크기 등은 영향을 받지 않는다고 하였다. 또 Huff 등(1984)은 산란계에 aflatoxin과 ochratoxin A를 3주일까지 급여하면 신장과 사냥이 비대하는데 그중 신장이 aflatoxin과 ochratoxin A의 혼합독성에 가장 민감한 반응을 나타내고 또한 aflatoxin과 ochratoxin A를 급여하면 간

지질 함량, 성장율의 감소 및 폐사율을 증가시킨다고 하였다. 그리고 닭에게 aflatoxin에 오염된 사료를 급여하면 간장이 비대해짐과 동시에 색깔도 창백하게 된다(Smith와 Hamilton, 1970).

Temcharoen 등(1978)은 aflatoxin에 오염된 단백질 함량이 낮은 사료를 섭취하면 간장은 작아지고 창백해지며 붉은 갈색을 나타내고 간장 표면에는 회고, 창백한 갈색의 소결절이 흩어져 있음을 관찰한 바 있다. 그리고 체중 40kg의 돼지에게 aflatoxin B₁을 140ppb 급여하면 성장율은 억제되지 않지만 280ppb와 410ppb 급여시에는 성장율이 감소되고, 690ppb 급여시에는 급성임상증상이 나타났다(Carnaghan, 1964), 또 Madhaven 등(1965)은 rhesus monkey에 aflatoxin(aflatoxin B₁ 60%+aflatoxin G₁ 40%)을 급여하면 간지질 함량이 34%정도(wet weight) 증가하고, 간장과 신장의 확장 및 혈장 AST와 bilirubin 함량이 증가된 반면, albumin함량은 감소한다고 하였다.

한편 aflatoxin이 각종 효소활성에 미치는 영향을 살펴보면 Chen 등(1982, b)은 aflatoxin을 급여한 닭에서 Se과 비타민 E를 급여한 결과 혈중 GSH-Px 활성은 Se의 첨가로 유의하게 증가함을 관찰하였으며 Se 비타민 E 혹은 양자에 의해서 간장내 aflatoxin B₁ adducts(aflatoxin B₁과 DNA나 RNA사이 에 이중결합된 물질)형성이 감소된다고 하였다. Theron(1965)은 aflatoxin B₁이 칠면조의 간장, 실질의 succinic dehydrogenase, ALP, adenosine triphosphate, inosine diphosphate, thiamine pyrophosphate 등의 활성은 감소되고, acid phosphatase의 활성은 증가한다고 하였다.

또한 Cornelius 등(1963)은 어린 돼지에 aflatoxin B₁을 급여하면 우울증과 비정상적인 체온을 수반한 초기발열증상을 나타내고 혈정 AST, ALP 및 isocitric dehydrogenase 활성을 증가시키는데 Cysewsk 등(1986)은 이러한 효소활성의 증가가 사염화탄소, thioacetamide, dimethyl nitrosoamine을 급여시 발생하는 간괴사 증상과 비슷하다고 하였다. 그리고 칠면조와 닭에서 aflatoxin B₁을 급여하면 mitochondrial dehydrogenase와 전자 전달계 효소의 활성이 감소하지만

(Brown과 Abrams, 1965), 또 다른 시험에서 Chen 등(1982, a)은 Se을 급여하여 간장 GSH-Px 활성의 증가와 aflatoxin B₁ adducts(aflatoxin B₁과 DNA나 RNA사이 에 이중결합된 물질) 생성의 감소를 관찰하였으나 비타민 E에 의한 효과는 관찰할 수 없었다고 하였다. 쥐에게 aflatoxin B₁을 7ppm 급여할 때에도 간장의 효소활성이 감소하며 혈장내 전자 전달계 효소의 활성이 증가한다(Clifford와 Rees, 1967).

Bassir(1967)는 쥐에게 aflatoxin에 오염된 사료를 급여한 결과 혈장내 lactic dehydrogenase, l-leucine aminopeptidase의 활성은 증가되나 choline sterase의 활성이 감소된다고 하였다.

한편 닭의 경우 aflatoxin을 소량 섭취하면 gamma-globulin의 함량은 감소되지는 않지만 어떤 경우에는 그 함량이 증가되기도 한다고 하며(Pier와 Heddleston, 1970; Thurston 등, 1974), Pier 등(1972)과 Thaxton 등(1974)은 닭에게 aflatoxin B₁을 2.5~10ppm급여하면 흉선과 점액낭의 형성부전을 야기시키며 항체형성에 영향을 미친다고 하였다.

Aflatoxin은 또한 혈액성상에는 영향을 미치는 것으로 보고되고 있는데 닭의 경우 적혈구수, 헤모글로빈 함량 및 PCV 함량이 감소하며(Tung 등, 1975), Thurston 등(1974)과 Richardson 등(1975)은 aflatoxin이 간장 세포막에 직접적으로 영향을 미치기도 하는데 이때 적혈구가 독성 성분을 이송시키는 작용을 한다고 보고하였다.

3. Aflatoxin이 지질대사에 미치는 영향

Aflatoxin은 쥐, guinea pig, 닭 및 칠면조 등 각종 동물의 지질대사에 나쁜 영향을 미치는데 이는 담즙산의 분비와 췌장 lipase의 활성감소, 간지질과 분 지방함량의 증가, 지질대사에 관여하는 효소활성의 감소, 지방산과 콜레스테롤의 생합성 저해, 인지질 합성의 감소 및 혈장 지질의 감소 등으로 나타난다(Carnaghan, 1967; Smith와 Hamilton, 1970; Hamilton과 Garlich, 1971; Lo와 Black, 1972; Osborne과 Hamilton, 1981; Osborne 등, 1982; Richardson과 Hamilton, 1987).

병아리에게 aflatoxin에 오염된 사료를 급여하

면 간장 비대와 간장의 색상이 창백한 색으로 변하는 것을 관찰할 수 있는데 이러한 간장의 탈색은 지질축적의 결과로서 지방간의 생성도기 때문이다(O'Hea와 Leveille, 1969; Donaldson 등, 1972; Tung 등, 1972).

Wyatt 등(1973)에 의하면 부로일러 종계에 aflatoxin을 급여하면 혈액조성의 변화와 주요장기의 변화가 초래되고 간장과 췌장비대 및 간지질 함량이 증가되지만 혈장 콜레스테롤 함량의 변화는 관찰되지 않으며 혈장 총지질함량은 감소된다고 하였다. 또 Garlich 등(1973)은 산란계에 aflatoxin을 급여 하였을 때 혈장 콜레스테롤과 혈장 중성지질함량은 감소하였다고 하였다.

또 Tung 등(1972)은 혈액의 지질운송에 관여하는 중성지질, 인지질 및 콜레스테롤 함량은 aflatoxin에 의해서 감소하고, 혈당함량도 감소된다고 하였다.

한편 사료내 지방산의 불포화도가 aflatoxin의 체내독성에 미치는 영향이 다르게 보고되고 있는 바 Smith 등(1970)을 닭 사료내 불포화 지방산의 함량이 높으면 aflatoxin에 의한 성장저하현상을 방지할 수 있다고 한 반면, Shank 등(1972)은 이와 반대되는 현상을 예측하고 있다. 또한 Rogers와 Newberne(1971)은 aflatoxin에 의한 지방간 생성은 항지방간 인자인 Met, 비타민 12, folic acid, choline에 의해서 예방될 수 있다고 하였다.

4. Aflatoxin이 아미노산 대사에 미치는 영향

Aflatoxin이 동물에 미치는 영향은 사료내 단백질 함량에 따라 다른 것으로 알려져 있다. Madhavan과 McLean(1965)은 쥐에게 단백질 함량이 낮은 사료를 급여하였을 때 특히 aflatoxicosis가 심하게 나타났다고 하였다. 그러나 사료내 단백질 함량이 높을 때는 aflatoxin의 이화작용이 증가되어 aflatoxin에 의한 독성은 완화되는 것으로 보고되고 있다(Madhavan과 Gopalan, 1965; Clifford와 Rees, 1967; Osborne과 Hamilton, 1981; Richardson과 Hamilton, 1987; Word, 1988)

또한 aflatoxin은 체내 단백질 합성을 방해하여 혈장단백질 조성에 변화를 초래하고(Clifford와 Rees, 1966; Thaxton 등, 1974; Thurston, 등

1974; Tung 등, 1975), 혈장 유리 아미노산 함량을 감소시키는 것으로 밝혀져 있다. Voigt 등(1980)은 부로일러 사료에 aflatoxin을 급여했을 때 혈장유리 아미노산 함량중 Cys-Cys, Cys, Met, Thr, Ser, Asp함량은 37% 이상 감소되고, Val, Lys, Leu, His, Ala 함량은 19%정도 감소된다고 하였다.

이와같은 혈장유리 아미노산함량의 감소는 체내면역기능 저해와 밀접한 관계가 있다. 닭이 aflatoxicosis일때 면역성에 관계되는 혈장유리아미노산이 감소되고, 혈장유리아미노산중 Thr와 Met 함량은 aflatoxin에 의해 절반수준(50% 정도)으로 감소되었다는 보고가 있으며, 이러한 감소수준이면 닭이 Newcastle Disease Virus에 감염되었을 때 Virus에 대한 항체형성을 저해하는 수준이 된다 하겠다(Bhargara 등, 1971; Veltman과 Wyatt, 1981; Tsiagbe 등, 1987a, b).

또 Beltman 등(1983)에 의하면 aflatoxin에 의하여 야기된 부로일러의 성장저해는 제1제한 아미노산인 Met 함량을 NRC요구량의 134% 정도로 증가시킴으로써 방지할 수 있다고 하는데 이는 최적면역기능수행에 필요로 하는 Met 양보다 최적성장을 위해 필요한 Met의 요구량을 증가시킴으로써 Met의 대사를 통하여 aflatoxin에 의한 면역기능 억제가 방지되는 것을 추측할 수 있다(Tsiagbe 등, 1987a, b).

한편 aflatoxin의 제독작용은 생전환(biotransformation)이라고 하는 화학구조의 변화, 용해도 및 비영양적 기질로 바뀌는 변화 등의 모든 화학적 변화를 포함하는데 이것은 비특이적 효소의 화합물과 결합되어 있어 유전적, 환경적 요인에 의해 영향을 받는다(Watkins와 Klaassen, 1986). Mgbodile 등(1975)은 aflatoxin이 함유된 아미노산, Se 및 -SH기를 가진 GSH와 같은 화합물과 결합하면 무독성의 지용성 성분으로 바뀌어 담즙이나 신장을 통하여 배설된다고 하였다.

Ward(1988)는 제독작용을 두가지 단계로 나누어 설명하였는데 제독작용의 추진력은 간장내에서 지용성 독성물질의 용해도를 증가시켜 독성물질의 분비를 용이하게 하는 것으로, 제1단계에서는 극성반응기가 독성물질 분자내에 유입되

어 독성물질의 수용성을 향상시키며 이때에는 cytochrome p-450 dependent monooxygenases나 mixed function oxidases(MFO)가 작용하는데 후자는 aflatoxin B₁을 포함한 여러가지 기질을 대사하는 것으로 알려져 있다.

제2단계에서는 제1단계에서 기질로서 이용할 수 있는 변형된 독성물질과 결합하거나 결합물(conjugate)을 형성하게 되면 극성이 강하고 지용성 성질이 덜하거나 무독성으로 되어 분비가 쉽게 이루어지게 된다는 것이다.

그래서 분비된 화합물은 무독성의 지용성 성분으로 체내에 축적되지 않으며 독성도 크게 감소하게 되어 담즙이나 신장을 통하여 분비된다고 하였다.

따라서 aflatoxin은 함유황 아미노산이나 -SH기와 결합하면 무독성의 지용성 성분으로 전환되어 체내에 축적되지 않고 배설되기 때문에 함유황 아미노산 aflatoxin에 대한 제독 작용을 한다고 하겠다.

5. Aflatoxin해독방법

현시까지 시판식품이나 곡류, 종실류 등에 오염된 aflatoxin분포에 대한 연구는 많으나 그 분석방법은 대부분 TLC에 의한 방법에 의하였다.

Isohata 등(1977)은 mycotoxin분석에 HPLC법으로 하는 것이 좋으며 검출은 360nm에서 행하는 것이 좋다고 보고한 바 있으며 aflatoxin을 H-PLC로 분석한 연구보고들일 최근에 발표된 바 있다(Pons 등, 1976; Pons 등, 1975).

우리나라에서는 수입사료원료나 배합사료에 대한 aflatoxin을 시험한 연구는 불행히도 드물며 주로 발효식품과 곡류 등에 관한 보고가 있을 뿐이며 모두 TLC로 분석한 것이다.

한편 aflatoxin의 제독실험에 관한 연구로서는 ammonia gas, busulfite, 과산화수소, 차아염소산나트륨, 황산처리, 열처리, 자외선조사, γ -선조사 및 미생물혼합배양방법 등을 사용하여 연구보고한 예들이 많다.

Andrellos 등(1967), Lillard와 Lantin(1970), Okonkwo와 Newokolo(1978) Wei와 Chu 등(1973)은 aflatoxin에 일광을 조사하면 aflatoxin의 독성을 감소시킬 수 있다고 하였으며, Feue-

ll(1966)은 aflatoxin을 함유한 peanut meal의 엷은 층을 자외선광원으로부터 10cm아래에 두고 8시간 자외선을 조사했을때나 2.5M red의 γ -선을 조사했을때는 독성감소효과가 없다고 보고하였다.

일반적으로 순수한 aflatoxin은 열에 비교적 안정하다고 알려져 있으나 Cooms 등(1966)은 aflatoxin은 오염된 다소 수분이 함유되어 있는 peanut meal을 압력솥에 넣고 120°C에서 4시간 가열하였을 때 aflatoxin 함량이 1000ppb에서 350ppb로 감소됨을 확인하였다.

Mann 등(1969)은 oilseed meal중에 존재하는 aflatoxin을 제독하는데 효과적인 온도는 60°C나 80°C보다 100°C 부근이며 이때 시료중 수분함량이나 가열시간은 그 제독율과 밀접한 관계가 있다고 하였다. 그리고 집중적인 강한 가열처리한 시료는 외관상 보기에 훤할뿐 아니라 생물이 저하를 초래하기 때문에 비실용적인 방법임을 지적하였다.

Lee 등(1969)은 aflatoxin에 오염된 땅콩을 볶았을 때 aflatoxin B₁은 70%, B₂는 45% 파괴되었다고 하였다.

Peer와 Linsell(1975)은 가열에 의한 aflatoxin B₁의 분해는 수분이 존재할 때 한층 더 효과적임을 암시하였다. 이 밖에 차아염소산나트륨, 과산화수소, 오존, 아황산수소염, 과산화벤조일, 디에틸아민, 메틸아민, Ca(OH)₂와 HCHO의 혼합물로 처리했을때도 aflatoxin 제독효과가 있음을 보고하였다.

Aflatoxin은 강산에 의해 퇴화되는데 이 사실은 여러 연구자들에 의해 aflatoxin B₁구조식내의 dehydrofuran 부분의 vinylene group에 물이 첨가되는 것을 강산이 촉매하기 때문이라고 규명되었으며, Pons 등(1972)은 강한 산처리에 의한 제독방법은 격렬한 반응조건이 필요하므로 식품이나 사료의 제독에는 이용할 수 없다고 하였다.

6. 곰팡이독소흡착제거제에 대한 최근 연구동향

최근들어 국내에도 항곰팡이제와 더불어 첨가 및 필드용으로 곰팡이독소 흡착제거제(PVPP-S-

G 등)가 개발되어 시판되고 있기 때문에 이에 대한 연구가 요망되고 있다.

1) 곰팡이독소와 무독화 처리방법

① 암모니아가스(NH₃), 산(acids), 양잿물(lyes) 등의 처리

② 세균을 배양(ensiling)시키는 방법

③ 가축 자체의 저항성을 높이는 방법

④ 여러가지 흡착활성을 갖는 물질을 처리하여 제거하는 방법

-점토성광물질(알루미늄 실리케이트)

-조라이트(불석)

-활성탄

-구조토

-PVPP XL-10

-PVPP-SG

-HSCAS

2) 흡착에 영향을 미치는 요소

① 흡착제(adsorbent)

-크기

-에너지적인 상태

② 흡착물질(adsorptive substance)

-형태

-크기

-입자의 질량

-3차원 구조

-전기적 전하

-극성(polarisation)

3) 좋은 흡착제의 구비요건

① 소화관내 비흡수성/비소화성

② 다양한 급이시스템에 적합(건식 및 습식 급이 시스템)

③ 사료내 다른 영양소 비흡착(비타민-아미노산 등)-독소선택적 흡착과 뛰어난 흡착능력

④ 흡착독소의 재방출이 없어야 함

⑤ 자체독성 및 잔류문제가 없어야 함

⑥ 면역기전에 긍정적인 효과

⑦ 우수처리시스템에 적합한 것(slurry문제)

⑧ 모든 가축에 투여가능 및 높은 인축안전성

4) 알루미늄 함유광물질 사용시 고려사항

알루미늄(Al)은 적량 사용하면 가축영양학적으로 대단히 유익한 작용을 나타내는 광물질이

지만 항상 중독의 위험성을 내포하고 있는 물질로서 사용상에 주의를 요하며 이와관련된 사항들을 최신문헌들을 정리하여 소개하면 다음과 같다.

① 알루미늄독성(Aluminium toxicity)

알루미늄은 아주 풍부하게 생성되는 금속이다. 생물학적 작용은 명확하게 밝혀져 있지 않다. 중추 신경계에 대한 독성 특성은 아주 빈번하게 발표되고 또 입증되고 있다.

② 플루오르 독성(Fluorine(F)toxicity)

플루오르는 녹색의 가스로서 F₂분자를 함유하고 매우 침투성이 강한 냄새를 가지며 맹독성이다(Michl, 1984)

③ 알루미늄의 문제점

대기공 광물질로서 알루미늄(Al) 화합물에는 Sodium Alumino Silicate(SAS)와 같은 합성 또는 천연 불석(Zeolite)과 Hydroxied Sodium Calcium Alumino Silicate(HSCAS)등이 있다. 이들 화합물은 이온교환능력(ion exchange)이 아주 크고 칼슘(Ca)친화력이 높은것이 특징이며 소화관내에서 인(P)과 결합하여 인(P) 고갈 또는 결핍의 원인이 되는 것으로 밝혀져 왔다(Breck, 1974; Storer and Nelson, 1968; Lipstein and Hurwitz, 1982; Edwards, 1986; Edwards 1987; Leach and Burdette, 1987).

이와함께 인(P)섭취가 적을경우 혈청인수준이 감소되고, 산란기에 있어서 야간에 골격내 칼슘 동원(이용)이 촉진되며 알루미늄이 인(P)의 이용율을 떨어뜨려 저수준의 인을 함유한 사료급여의 경우 산란율과 사료섭취 감소의 원인이되고 있다. 한편 HSCAS나 SAS 등은 음전하를 띄고 있어 양이온성 또는 양전하를 띤 물질이나 광물질들(칼슘, 마그네슘, 단백질, 아미노산)의 흡착 및 이온교환능력을 나타냄으로써 미네랄 균형상태를 파괴하는(Compromising mineral nutritur)잠재적 요인이 되며 SAS는 골내 회분과 혈청 인(P)을 감소시키는 것으로 알려져왔으며(Scheideler, 1989)피타넨인 이용율을 감소시킨다고 알려져 있다(Edward, 1988).

따라서 알루미늄 화합물의 사용시 유의사항을 최근의 연구 자료들을 바탕으로 검토해보면 다음과 같다.

④ -SAS의 산란율과 사료섭취 및 난중에 미치는 영향

(Poultry Science, 69 : 105~112, 1990 David, A. Roland, SR, Auburn University.)

산란기에 대한 야외실험에서 인의 첨가수준을 낮게 하거나 또는 Sodium Alumino Silicate(SAS)를 단독 첨가한 구에서 각각 1주일이내부터 산란율 감소를 나타내었으며 6주후에는 대조구에 비해 8%나 산란율이 감소되었다.

SAS 1%첨가+인 0.3% 급여구는 2주내 산란율이 뚜렷하게 감소하였고 6주후에는 저수준의 인(0.3%) 단독 첨가구에 비해 약 80%의 산란율 감소를 나타내었다(72% : 11%) 본 시험에서 인을 0.43%이상 첨가한 구에서는 SAS의 영향이 크지 않았으나 SAS의 Al은 인(P)과 결합물을 형성하여 인의 이용성을 떨어뜨린다.

한편 저수준의 인(P) 0.3% 첨가구 또는 SAS 1% 단독급여구에서는 각각 사료섭취가 크게 감소했고, 저수준의 인(0.3%)첨가+SAS 1%첨가구는 6주후 저수준의 인(P)단독 첨가구에 비해 현저한 난중감소가 나타났으며(61.0g : 54.1g-인 0.34% 단독 첨가구는 62.4g 사료섭취량도 뚜렷하게 감소했다.

⑤ -알루미늄 경구투여의 영향

(Poultry Science 70 : 1390~1402. (1991). Michael 등, Georgia University.)

브로일러에 있어서 경구투여용 알루미늄과 실리콘의 영향을 규명하기 위한 본시험에서 알루미늄은 4회의 모든 시험에서 증체율과 사료효율 및 골회분의 현저한 감소를 나타내었고 투여량을 늘릴수록 인과 피틴태인 축적이 상대적으로 감소되었다.

⑥ -SAS의 인(P)이용율에 미치는 영향

(Poultry Science 70 : 955~962. (1991) J, Moghtaghian 등, Illinois University)

산란기에 있어서 Sodium Alumino Silicate(SAS)첨가가 인(P)이용율에 미치는 영향시험에서 사료내 비피틴태인(nonphytate P)의 이용율을 저하시켜 결과적으로 계란생산, 난중, 사료효율을 현저하게 감소시키는 것으로 나타났다.

⑦ HSCAS의 아연, 망간, 비타민 A, 리보플라빈 등의 이용율에 미치는 영향

(Poultry Science 69 : 1364~1370. (1990))

브로일러 초생추에 있어서 Hydrated Sodium Calcium Alumino Silicate(HSCAS : phyllosilicate의 일종)의 아연, 망간, 비타민 A 및 리보플라빈(Vitamin B₂)이용율에 미치는 영향시험에서 기초사료에 리보플라빈 첨가량 증가(0.6, 1.2ppm)는 직선적으로 성장촉진, 사료효율개선 효과를 나타내었다. HSCAS첨가는 리보플라빈, 비타민 A, 망간의 이용에는 큰 영향이 없었으나 기초사료 및 리보플라빈 0.6ppm 첨가구에서는 HSCAS 1%첨가는 성장을 사료 섭취율이 무첨가구에 비해 저하되었다. 또한 아연 이용율에는 상당한 영향을 나타내었는데 전체 아연함량은 기초사료 대조구에 비해 HSCAS 0.5%(5kg/1ton)첨가구는 5% 감소, HSCAS 1%(10kg/1ton)첨가구는 14%나 감소되었다. 경골의 아연농도와 총아연함량의 감소는 HSCAS 첨가량 증가에 따라 직선적으로 증가되었다.

⑧ 육성계에 있어서 HSCAS사료첨가 영향

(Poultry Science 69 : 727~735. (1990). L. F. K. UBENA 등)

곰팡이독소 오염에 의한 브로일러 및 레그혼 육성추에 대한 성장억제효과는 아플라톡신 B₁ (AF-B₁)의 경우 육계에 있어서 0~3주령까지 성장율을 21~38%까지 감소시켰으며, 아플라톡신(AF)은 레그혼 0~4주령까지 성장율을 20%감소시켰다.

HSCAS의 첨가(0.5%)는 이러한 AFB₁ 및 AF에 의한 성장을 감소를 50~67% 개선시키는 것으로 나타났으며, 아플라톡신 중독증을 완화시킬 수 있는 것으로 나타났다. 반면 활성탄(activated charcoal)은 이러한 효과가 나타나지 않았다.

한편 아플라톡신 비오염 사료에 있어서 HSCAS 첨가(0.5%)는 오히려 HSCAS무첨가구에 비해 성장을 감소(-4%) 및 사료요구율 증가(+6.7%)를 나타내었다.

그러나 최근에는 SAS나 HSCAS의 사용으로 인한 문제점이 개선되어 양호한 결과도 다수 보고되고 있으나 지연관계상 생략하고자 한다.