

곰팡이독소의 오염방지 대책

—편집부—

서론

최근 한국의 축산은 과거의 축산에 비해서 규모 면이나 사료의 이용성에서 크게 변모하고 있다.

규모면에서는 농가부업형태에서 기업화 또는 대형화로, 사료이용성에서는 농가 부산물 이용에서 완전배합사료의 사용으로 전환되었다. 특히 배합사료는 1967년부터 사용되기 시작하여 20년 후인 1988년에는 1,000만톤을 사용하였고 앞으로도 배합사료의 생산이용은 더욱 늘어날 전망이다.

사료는 동물에 대한 영양성분이 풍부하고 이용 가치가 있으면 좋은 사료라고 할 수 있다. 그러나

사료중에 병원미생물이 오염되어 있으면 이것은 직접·간접으로 가축에 질병을 야기시킬 수 있는 가능성을 지니고 있으며, 비병원성 미생물에 오염되었더라도 사료의 변질을 일으키는 중요한 원인으로 역할을 함으로써 사료적 가치를 상실하게 한다. 특히 독소산생능력이 있는 곰팡이의 종류가 오염되었을 경우에는 급성 또는 만성 중독성 질병을 일으켜 폐사 또는 발육부진 등 동물의 건강을 위협하게 될 뿐만 아니라 사람의 보건위생상 피해를 줄 수 있다.

곰팡이는 기생하고 있는 물질에 함유되어 있는 탄수화물이나 단백질을 분해하여 알콜, 유기산 등 1차대사산물(Primary metabolite)을 만들고, 이

들을 이용하여 성장하며 때에 따라서는 글리코젠 (Glycogen)이나 지방 (Lipids)을 합성하기도 한다. 곰팡이는 성장도중이나 성장말기에 자체의 성장이나 에너지 공급에 꼭 필요하지 않으면서 가축이나 인체에 유독한 물질을 합성하는 경우가 있는데 이러한 물질들을 곰팡이의 2차대사산물 (Secondary metabolite)이라고 부르며 Steroids, Carotenoids, Alkaloids, Cyclopeptides 및 Coumarin 등 가축에게 독성을 나타내는 물질을 곰팡이독소 (Mycotoxin)라고 부르며 그 종류는 지금까지 알려진 것만 해도 수십종에 달한다.

곰팡이독소는 그 생물학적 활성으로 인하여 사람과 가축에 다양한 병종, 즉 진균중독증 (Mycotoxicosis)을 유발한다. Mycotoxin 중에서 수의학적으로 중요하고 흔히 발견되는 종류는 Aflatoxin, Ochratoxin, Citrinin, Zearalenone, Trichothecene, Butenolide, Sporidesmin, Slafamine, Dicumarol, Tremorgen, Ergotamine 류 등이다.

아플라톡신 중독증은 *Aspergillus flavus* 가 산생하는 곰팡이독소인 아플라톡신에 의해 발생되며 색층분석법에 의해 증명되어 얻어지는 바 청색형광물질 (Blue fluoresce)인 아플라톡신 B와 녹색형광물질 (Green fluoresce)인 아플라톡신 G로 구분되며 아플라톡신 B는 다시 색층의 위치에 따라 위에 위치하는 B₁과 아래에 위치하는 B₂로 나뉘며, 아플라톡신 G도 역시 같은 모형으로 위에 위치하는 G₁과 아래쪽의 G₂로 나누어 진다. 이밖에 우유에서 증명된 M₁과 M₂가 있으며 계속 연구결과 B_{2α}, G_{2α} 라는 독소가 새로 분리되어 지금까지 8종류가 알려져 있다.

그러나 모든 주(株)의 *Aspergillus* 가 독소를 산생하는 것은 아니며 또한 독소 산생주라도 어떤 환경하에서는 독소가 산생되지 않을 수도 있다. 특히 높은 습도는 *Aspergillus* 의 오염과 성장을 가속시킬 수 있으며 결과적으로 많은 양의 독소산

생을 가능하게 한다.

아플라톡신의 피해를 방지하는 방법은 생성된 아플라톡신을 분해, 제독하는 방법과 근본적으로 아플라톡신의 생성을 억제하는 방법으로 구분할 수 있다. 식품과 사료중의 아플라톡신을 제독하는 방법은 가열, 유기용매에 의한 세척, 화학적물질처리, 미생물에 의한 분해 등 여러가지로 시도되었다.

그리고 아플라톡신의 생성을 억제하는 방법으로는 각종 항곰팡이성 물질을 이용하거나, 열대콩과식물의 추출물, 조미료, 탄산가스 등을 사용하는 방법 등이 보고되고 있으며 최근에는 곰팡이독소 제거제가 개발되어 사용되고 있다.

본고에서는 곰팡이독소의 오염으로 인한 피해와 예방대책을 제시하고자 한다.

1. 곰팡이의 생리와 생태

① 발육에 필요한 영양분

탄소, 수소, 산소, 질소, 유황, 인, 칼륨, 마그네슘의 8원소가 알려지고 있으며, 그밖에 철도 미량 필요하다. 탄수화물(당질)이 특히 이용되고 질소를 함유한 단백질(아미노산)도 물론 이용된다.

② 산소

효모와 같이 산소가 없는 곳에서 증식하는 것이

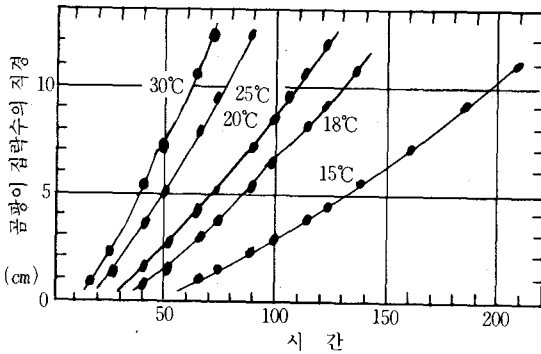
없다!

리

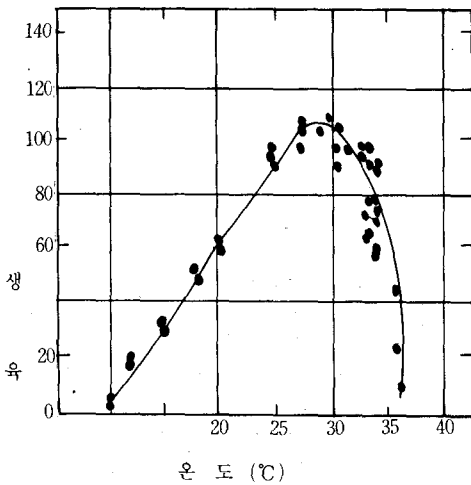
있지만, 일반적으로 산소는 필요불가결한 요소이다.

③ 온도

곰팡이의 최적발육온도는 일반적으로 25~30°C이다. *Penicillium* 은 25°C 전후, *Aspergillus* 는 비교적 높은 편으로서 30°C 전후이다. 대다수의 곰팡이는 내열성에 약하고, 50°C 전후에서 사멸하지만, *Aspergillus funigatus* 에 있어서는 왕성한 발육을 하는 것이 알려지고 있다. 균자는 포자보다 열에 약하고, 65~70°C에서 10분만 있으면 사멸한다. 곰팡이의 최저발육한계는 0°C 부근인 것이 많다(그림1, 2).



〈그림1〉 곰팡이 생육과 온도 (I)



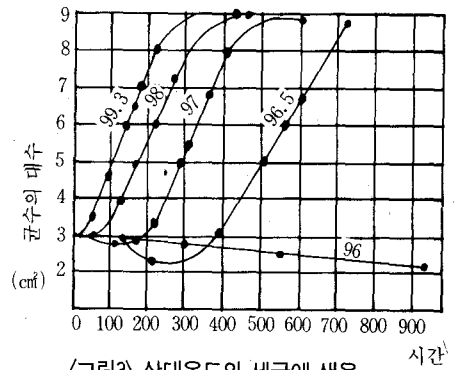
〈그림2〉 곰팡이 생육과 온도 (II)

④ 수분

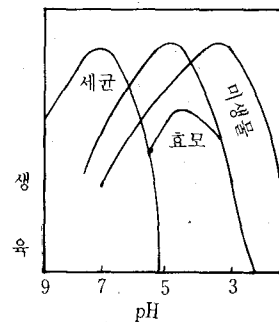
섬유소로만 된 종이나 솜 등에서도 수분이 8% 이상, 상대습도 75% 이상 되면 곰팡이의 발생이 우려된다. 곰팡이는 수분이 적으면 발육하지 않는 것이 사실이지만, 포자는 건조상태에서 간단하게 사멸되지 않는다(그림).

⑤ 수소이온 농도

세균류는 pH 7.0 부근에서 잘 발육하고, pH 4.0에서 억제되는 것이 알려지고 있지만 곰팡이는 pH 5.0~7.0의 약간 산성측에서 최적의 발육을 하고, PH 4.0에서 잘 발육하기 때문에 이런점이 세균류와는 크게 다른 점이다(그림3).



〈그림3〉 상대온도와 세균에 생육



〈그림 4〉 미생물의 생육에 미치는 산도의 영향

⑥ 빛

곰팡이에는 향광성(Phototaxis)을 나타내는 것도 있지만, 다수는 강한 빛을 좋아하지 않는다. 자외선, X선, α -, β -, γ -선도 곰팡이를 사멸시키

지만 때로는 변이를 야기시키는 작용이 있다.

2. 곰팡이의 생리작용과 대사산생물

곰팡이는 각각 특이한 생리작용을 하고, 다종 다양한 생산물을 만들어 낸다. 그밖에 생물에 대해 유해 또는 유독작용을 하는 것도 있고 또한 역으로 유효하게 작용하는 것도 있다. 예를 들면 *Aspergillus Oryzae*, 청주효모 등은 유용한 곰팡이이다. *Aspergillus Oryzae*는 전분당화작용이 대단히 강하고, 단백질분해효소도 대단히 강하기 때문에 효소나 간장의 제조에 이용되고 있다. 맥주, 위스키, 포도주, 기타 알콜음료는 어느 것도 *Sacharomyces* 효모의 특성으로 어떤 당류를 알콜로 변화하는 소위 발효작용을 이용한 생산물이고, 빵을 만드는데도 *Sacharomyces Cerevisiae*의 알콜발효작용에 따른 가스생성작용을 유효하게 이용하고 있다. *Aspergillus niger*와 같이 당을 분해해서 oxalate(수산)이나 Citric acid(구연산) 등 유기산을 생성하는 것도 있고, 또한 각종 비타민을 생성하는 것도 있다.

또한 곰팡이 중에는 어떤물질의 화학구조의 특수한 부위를 변형시키는 작용을 갖고 이 곰팡이는 스테로이드의 변형에 유효하기 때문에 자연계에 없는 스테로이드제제의 생산에 이용되는 것도 있다.

Penicillium notatum, *Penicillium Chrysogenum*이 항균성물질 Penicillin을 생산하는 것은 대단히 유명하다. 곰팡이는 이외에 여러가지 항균성물질(항생물질)을 생산해서 인류에 대해서 큰 공헌을 하고 있다.

그렇지만, 곰팡이 중에는 가축이나 가금에 대해서 병원성을 나타내는 것이 있고 중독을 일으키는 것이 있다.

3. 곰팡이독소 (Mycotoxins)

맥류나 화본과목초에 발생하는 목초에 맥각(Ergot)을 먹어서 가축이 중독을 일으키는 것은 옛날부터 알려지고 있다. 맥각은 맥각균(*Claviceps Purpurea*)의 균핵(Sclerotium)으로 동물의 뿔과 같은 모양을 한 자갈색 내지는 황색의 긴밀한 균사 덩어리이다. 곰팡이독소에 대해서는 근년 다수의 논문이 발표되고 있다(표1). 그 중에서도 브라질산의 낙화생에 의한 칠면조의 대량사망사고로 원인균이 밝혀진 아플라톡신에 있어서는 각방면으로부터의 연구가 진행되고 그 구조나 독성, 각종 가축에 있어서의 아플라톡신이 미치는 영향 등이 조사되었다.

4. 사료와 곰팡이

사료의 변패에 관여하는 미생물 중에서 주요한 것은 곰팡이(fungi)이다. 곰팡이의 증식은 수분함량에 따라 지배되지만, 곰팡이의 종류와 최적 수분함량의 관계는 <표2>과 같고, 보통의 경우, 사료의 수분함량이 13% 이하가 되면 그다지 문

CRD가 없다!

리아

〈표 1〉 독소를 분비하는 곰팡이 종류, 독소명, 질병 증상

분 류	곰팡이 종류(Types)	독소명(Toxins)	치사량(LD 50)	질병증상(Symptom)
아스퍼질러스속	Aspergillus Flavus	Aflatoxin B ¹	0.36mg/kg 오리	간괴사 설사 암
	Aspergillus Flavus	Aflatoxin G ¹	0.78mg/kg 오리	출혈
	Aspergillus Flavus	Aspergillilic Acid	150mg/kg 쥐	구토 방향상실
	Aspergillus Achraceus	Ochratoxin A	0.5mg/kg 오리	간손상 실어증 설사
	Aspergillus fumigatus	Fumagillin	800mg/kg 쥐	광선 예민증
	Aspergillus fumigatus	Gliotoxin	45-65mg/kg 쥐	광선 예민증
페니실리움속	Penicillium subrum	Rubratoxin B	400mg/kg 쥐	간장 출혈
	Penicillium icelandicum	Iceland toxin	6.5mg/kg 쥐	간손상 암
	Penicillium icelandicum	Luteoskyrin	221mg/kg 쥐	간손상 암
	Penicillium citritum	Citrinin	35mg/kg 쥐	신장염 호흡곤란
	Penicillium expansum	Patilin	10mg/kg 쥐	부종 신경중독현상
불완전균속	Fusarium tricintum	T-2 Toxin	4kg/mg 백쥐	부종 백혈구감소
	Fusarium scirpi	Diacetoxyscripenol	7.3mg/kg 쥐	질염 자궁위축 자궁종창
	Fusarium graminean	F-2	20kg/mg 쥐	돼지질경구염

〈표 2〉 수분함량과 곰팡이의 종류

수 분	곰팡이의 종류
13%이하	자연상태에서는 기생하지 않는다.
14~15%	Aspergillus glaucus group의 고삼투압 곰팡이
15~16%	Aspergillus glaucus group의 저삼투압 곰팡이 Aspergillus로서 비교적 건조를 좋아하는 것 Penicillium citreo-vivide
16~17%	Aspergillus의 일반적인 것(A.oryzae, A.fumigatus, A.niger, A.flavus, 등) Penicillium의 일반적인 것(P.notatum, P.islandicum, P.citrinum 등)
17~18%	Mucor, Rhizopus, Gibberella, Fusarium, Trichoderma, Actinomyces, Streptomyces 등
18%이상	Curvularia, Oospara (Bacteria)

체가 되지 않음을 보여주고 있다. 그렇지만 사료의 수분함량은 늘 불변인 것은 아니고 온도, 습도와 같은 환경조건에 의해서 변화한다(표3, 4).

일반적으로, 온도가 낮으면 동일관계 습도와 평형하는 사료의 수분함량이 높게된다 <그림4>.

〈표 3〉 습도와 수분함량

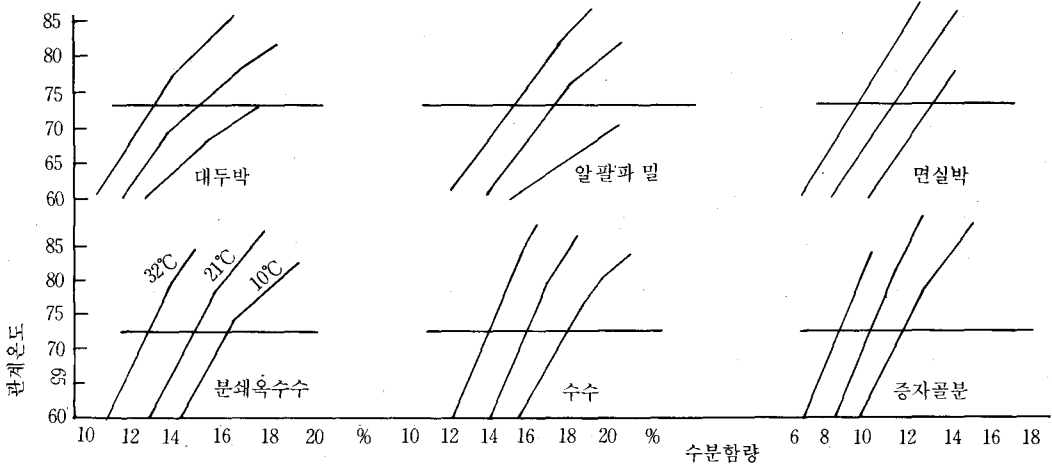
사료원료	관계습도	
	65%	75%
옥수수	13.7%	14.8%
보리	13.6	14.8
밀	14.6	15.7
밀기울	12.8	14.4

환원해서 말하면, 동일수분함량의 사료와 평형하는 환경의 습도는 온도가 높으면 높게 된다.

이상과 같이 환경조건에 주목할 때는 관계습도(Relative humidity)가 문제가 되지만, 사료자체에 주목할 때는 미생물이 증식하기 쉬운 것과 관련하여 수분활성(Water activity)이 문제가 된다.

수분활성은 시료에 표시된 수증기압과 그 온도에 있어서 최대수증기압의 비율로 정의되고, 시료에 표시된 수증기압은 그 수분함량뿐 아니라 그것에 존재하는 용질(염이나 당류)의 양에 의해서 정해지고, 용질의 농도가 높게 되면 시료의 수증기압은 낮게 된다.

미생물은 수분활성이 낮으면 생육하기 어렵기



〈그림4〉 각종사료에 있어서 온도·습도·수분함량의 관계

때문에 수분이 많아도 수분활성이 낮으면 미생물이 증식하기 어렵게 된다(그림5).

일반적으로 세균은 A_w (수분활성) 0.94-0.99, 효모는 0.88이상, 곰팡이는 0.80이상의 조건에서 생육하는 것으로 여겨진다(그림6).

즉, 이 가운데서도 곰팡이는 매우 낮은 A_w 에

〈표 4〉 사료의 수분흡수 변화

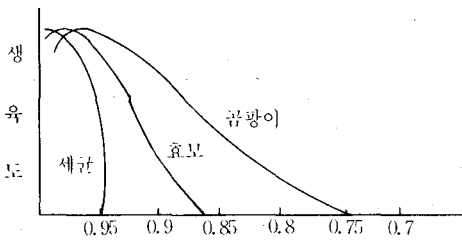
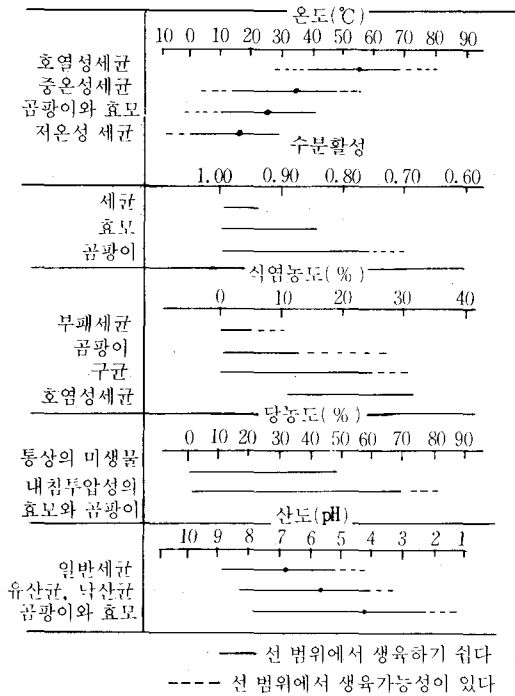
사료온도 및 상대습도	시간	개시시	8시간	24시간	48시간	72시간	96시간
개사료23°C 상대습도90%	평형상사료	10.3	11.7	12.6	14.1	15.4	16.3
	(비스켓상 사료)	8.4	9.5	11.6	13.4	14.6	15.6
	가금사료26°C 상대습도90%						
육성사료(분사)	11.0	12.5	14.0	15.4	16.1	16.5	
비육말기사료(켈렛)	10.0	11.5	12.8	14.1	14.8	15.3	
가금사료23°C 상대습도90%	〃 23°C 〃 80%	13.3	15.1	16.8	18.3	19.2	20.1
	〃 23°C 〃 70%	13.3	13.7	14.2	14.9	15.4	15.8
	〃 23°C 〃 70%	13.3	13.5	13.8	14.0	-	-

서도 생육하는 것이 인정되고 있다. 〈표5〉과 같이 A_w 0.73이하에서 증식하는 것도 있지만, 일반적으로 곰팡이는 0.80이상의 조건에서 증식하고, 특히 Mucor, Rhizopus 류는 상당히 높은 A_w 에서도 처음부터 생육한다. 한편 〈표5〉에 표시한 바와 이 세균은 상당히 높은 A_w 에서 밖에 생육하지 못한다.

CRD가 없다.
사료요구율도
1.80이다.

리아무린

(그림 5) 미생물의 생육과 환경조건



(그림 6) 미생물의 생육과 A_w

5. 주요 곰팡이독소가 유발하는 가축의 생리적 장애와 생산성에 미치는 영향

① 아플라톡신(Aflatoxin)

혈장칼슘의 감소, 혈장지질(Lipid)의 감소, 지방(Lipid)의 증가(간기능은 성장과 사료효율에 영향), 산란율의 감소, 비타민의 파괴

② 제라제론 : F_2 toxin (Zearaleone)

원인 곰팡이인 *Fusarium* 은 저온(40°F)에서도

(표 5) 곰팡이와 수분활성(A_w)

수분함량 (%)	A_w	
13~14	0.60~0.64	
14~15	0.64~0.70	<i>Asp.repens</i> , <i>Asp.ruder</i> , <i>Asp.chevalieri</i> , <i>Asp.amstelo-</i> <i>dami</i>
15~16	0.70~0.73	<i>Asp.Candidus</i> , <i>Asp.ridulans</i> , <i>Penicillium</i> , <i>Citreo-viride</i>
	0.80~0.90	<i>Trichothecium</i> , <i>Cladosporium</i> , <i>Penicillium</i> , <i>Asprgillus</i>
	0.93이상	<i>Mucor spirosus</i> , <i>Rhizopus nig-</i> <i>ricans</i> , <i>Botrytis cinerea</i>

번식하며 돼지의 경우에는 번식장애 산자수의 감소(복당) 및 사산으로 양돈에 많은 피해를 주게 한다.

닭의 경우에는 산란율과 부화율에 있어서 공히 감소하며 92%의 산란률에서 그주간에 불과 4%까지 감소하는 경우가 있으며 원인을 제거한 후에도 30%밖에 회복되지 않는다.

③ Tricothecenes : T-2 Toxin

돼지에서는 체중감소, 사료효율의 저하, Unparatability, 소의 경우는 중독증을 야기시키고 닭에서는 각종 질병발생의 요인이 될 뿐만 아니라 산란율감소(71% - 52%), 파란증가(3% - 15%), 혈란증가(1% - 3%)로 경제적인 피해가 크다.

④ 오크라톡신(Ochratoxin)

A. ochraceous 에서 생성되는 독소로 아플라톡신의 10배의 독성을 갖고 닭의 경우 산란이 증가하는 일령에서 폐사하고 격렬한 산란감소를 일으킨다. (다음호에 계속)