

조사료의 곰팡이 발생과 곰팡이독소 오염

성하균 · 이종경¹ · 서 성² · 임동철³ · 김종덕⁴

Mold Growth and Mycotoxin Contamination of Forages

Ha Guyn Sung, Joung Kyong Lee¹, Sung Seo², Dong Cheul Lim³ and Jong Duk Kim⁴

ABSTRACT

In order to ensure good animal health and performance, it is essential to produce forages with high feeding value and good hygienic quality. However, huge amounts of forages consumed by ruminants are contaminated with mold prior to harvest or during storage as hay, straw or silage. These mold can grow in forages only when nutrients are available, correct temperature exist, oxygen is present, and unbound water is available. Fungal species can be divided into two groups: field fungi and storage fungi. Field fungi invade the forages while the crop is still in the field, require high moisture conditions, and are such as species of *Fusarium*, *Alternaria*, *Cladosporium*, *Diplodia*, *Gibberella* and *Helminthosporium*. Storage fungi invade forages during storage and need less moisture than field fungi. These such as species of *Aspergillus* and *Penicillium* usually do not occur any problem before harvest. Mold growth can spoil the nutritional aspects of the forages and also results in secondary metabolites that are highly toxic to animal, humans and plants. Moldy feeds are less palatable and may reduce dry matter intake. This, in turn, leads to a reduction of nutrition intake, reducing weight gains or milk production. Performance losses of 5 to 10 percent are typical with moldy feeds. Mycotoxins are toxic substances produced by fungi (molds) growing on crops in the field or storages. While greater than 400 mycotoxins have been chemically identified, the biological or veterinary medical impact of only several mycotoxins is known. Mycotoxins have attracted considerable attention as potential causes for poor performance and health disorders in domestic livestock. They can be carcinogenic, hepatotoxic, hematotoxic, immunosuppressive, estrogenic, or mutagenic. So, feeding moldy forages has adverse effects on animal health and milk consumers. Also, this author reported that rice straw hay was contaminated mycotoxigenic fungi such as *Penicillium roqueforti* and *Fusarium culmorum* in Korea. Therefore, it is an urgent need to develop an improved post harvest storage method to reduce nutrient loss and mycotoxin contamination of forages, which will have a positive impact on human health.

(Key words : Fungi, Mycotoxins, Hay, Straw, Silage)

I. 서 론

소 사육두수가 늘어나면서 조사료 수요도 증

가하는 추세로 2007년에는 2006년 대비 295천
톤(9.4% 증가)이 늘어난 4,617천톤이 공급되었
으며, 2012년 국내 조사료 총수요는 소 사육두

(주)대호, 중앙연구소 (Central Research Institute, Daeho Co. LTD, #535-1, Sonsan-Ri, Yanggam-Myun, Hwasung-Si, Kyunggi-Do, 445-933, Korea)

¹ 농업실용화재단 (211-1, Seodun-Dong, Gwonseon-Dong, Suwon-Si, Kyunggi-Do, 441-857, Korea)

² 농촌진흥청 국립축산과학원 (National Institute of Animal Science, RDA, Cheonan 330-208, Korea)

³ 병천동물병원 (Byongcheon Animal Clinic. #230-1, Byongcheon-Ri, Byongcheon-Myeon, Cheonan-Si, Chungchengnam-Do, 330-861, Korea)

⁴ 천안연암대학 (Cheonan Yonam College, Sunghwan, Cheonan-Si, Korea, 330-709)

Corresponding author : Ha Guyn Sung, Central Research Institute, Daeho Co. LTD, #535-1, Sonsan-Ri, Yanggam-Myun, Hwasung-Si, Kyunggi-Do, 445-933, Korea. Tel:+82-31-352-4083, Fax: +82-31-352-4084, E-mail: haguyn@hanmail.net

수와 급여비율 등을 고려할 때 6,116천톤으로 전망된다(축산정책단, 2008). 국내 조사료의 자급도는 80% 내외로 나머지는 수입으로 충당하나 환경의 온난화, 바이오에너지용 곡물 수요 증가, 해상운임 상승은 이들 수입가격을 불안정하게 하고 있다. 이러한 국제환경 변화 속에 국내 부존자원 활용 및 조사료 생산 확대로 조사료 자급률 증대를 위한 다각적 노력이 이루어지고 있다. 자급 조사료 확보의 중요성과 함께 축우의 생산성 증대를 위해서는 조사료 생산, 관리 및 급여가 이루어지는 동안 오염이나 변패되지 않은 양질의 조사료 공급이 동시에 확보되어야 한다.

매년 축우들은 곰팡이로 오염된 수많은 조사료를 섭취하고 있다. 이들 곰팡이는 조사료를 수확하기 전에 작물이 성장하는 동안 침입한 곰팡이로부터 건초, 짚 또는 사일리지로 저장되는 동안 오염된 곰팡이까지 여러 경로를 통해 발생된다. 작물이 들에서 성장하는 동안 곰팡이와 작물 사이의 상호 작용은 다양하고, 공생관계를 형성하는 내생식물(endophyte)인 곰팡이도 발견된다. 대표적으로 *Fusarium* sp.과 *Rhizoctonia* sp.는 살아있는 작물에 침입하여 질병을 일으키고 쇠약하게 만들 뿐만 아니라 괴사된 세포의 유기물을 이용하여 성장하기도 한다(Frink-Gremmels, 2005). 그리고 조사료는 청초로 급여되기도 하지만 대부분 저장되어 급여되며, 저장환경은 수확한 조사료, 크고 작은 환경 요인과 미생물 사이의 복잡한 관계 속에 조사료의 질에 영향을 준다. 그리고 저장기간 동안 영상 온도에서 공기와 수분이 존재하는 자연생태환경은 조사료에 *Aspergillus* sp.와 같은 곰팡이 오염과 성장을 일으킬 것이다.

곰팡이에 오염된 건초, 볏짚, 사일리지 등과 같은 조사료는 기호성이 떨어지고, 섭취량도 감소되며, 심한 오염은 영양적으로도 큰 손실이 발생한다. 따라서 축우는 영양소 섭취량 감소가 발생되고 증체량 및 유생산량 저하가 수반될 것이다. 곰팡이 독소가 발견되지 않는 상

황에서도 곰팡이가 오염된 사료 급여는 일반적으로 5~10%의 생산성 저하를 일으킨다(Schatzmayr, 2005). 그리고 이외에도 곰팡이 오염 사료의 급여는 유산, 발육부진 및 호흡성 질환도 증가된다.

곰팡이는 자연환경 속에서 자신들의 생존 경쟁력을 증가시키기 위해 다양한 이차대사산물을 분비하고, 이들 중 많은 대사산물이 항곰팡이성 및 항균성 활성을 갖는다. 특히, mycotoxins(곰팡이 독소)은 곰팡이가 성장하면서 생성한 2차 대사산물로 극소량만으로도 동물, 사람뿐만 아니라 식물에게도 독성을 나타내는 물질을 말한다. 수종의 곰팡이가 작물이 성장, 수확 및 저장되는 동안 수천가지 곰팡이 독소를 생성하지만 400여 종의 곰팡이만이 화학적으로 확인되었으며, 생물학적 및 수의학적 영향은 단지 수종에 한하여 밝혀졌다(Kore, 1996). 반추동물 을 비롯한 단위가축에게 영양 및 생리대사적 악영향으로 생산성 저감을 일으키는 대표적 곰팡이 독소로는 aflatoxins, zearalenone, deoxynivalenol, T-2, fumonisins, ochratoxin, patulin 등이 있으며, 이들 곰팡이 독소를 생성하는 주요 곰팡이로는 *Aspergillus* sp., *Fusarium* sp., *Penicillium* sp. 등이 있다. 따라서 반추 동물 생산에 있어 양질의 조사료 공급을 위해 곰팡이 발생 및 곰팡이 독소 오염으로 인한 심각한 피해를 인식하여야 한다. 그러므로 본 논문은 조사료를 오염시키는 곰팡이와 곰팡이 독소가 포장에서 생육하는 기간, 또는 수확 후 저장 기간 동안 어떠한 환경 조건에서 발생하며, 이들이 생성하는 곰팡이 독소와 영향에 대하여 고찰 기술하였다.

II. 본 론

1. 포장 곰팡이와 저장 곰팡이

다양한 작물에서 독소 분비 곰팡이의 오염은 작물을 수확하기 이전 및 이후에 발생하는 문

제로, 전 세계 식품의 25% 이상이 매년 곰팡이 독소에 오염되는 것으로 오래전부터 보고되어 왔다(Coulombe, 1993). 일반적으로 곰팡이는 산소가 존재하고 이용할 수 있는 물과 영양소가 제공되고 온도만 적정 수준 유지된다면 조사료, 곡물사료뿐만 아니라 사료작물에서도 발생할 수 있다. 따라서 반추동물에게 공급하기 위한 조사료는 실온에 방치 될 경우 기후습도와 조사료의 수분활성도(Aw)가 높으면 곰팡이가 성장하기 시작하고, 부패로 인한 영양적 손실뿐만 아니라 가축에게 높은 독성을 나타내는 2차 대사산물인 곰팡이 독소(mycotoxins)를 생성하게 된다(Undi와 Wittenberg, 1996; Santin, 2005). 곰팡이 독소가 더욱 위험한 것은 곰팡이가 발생되면 이들 곰팡이가 성장하여 사람의 눈으로 관측되기 이전부터 이미 가축이 곰팡이 독소에 영향을 받고 있다는 것이다.

일반적으로 사료작물에 발생하는 곰팡이는 성장 특성에 따라 두 가지로 구분되어 질 수 있다. 즉, 작물이 포장에서 성장할 때 발생하는 포장 곰팡이(field fungi)가 있으며, 작물을 수확한 후 저장 기간 동안 발생하는 저장 곰팡이(Storage fungi 또는 storage molds)가 있다(Santin, 2005). 포장 곰팡이는 낮에는 덥고 밤에는 서늘한 온도의 기후와 70% 이상 습도의 기후환경에서 발생하는 곰팡이로 높은 수분(20~21%)을 요구한다. 포장 곰팡이 포자는 작물의 씨앗이나 줄기에서 증식하는데, 이들 포자는 식물의 수분과정 동안 실크관(silk channels)을 통하여 알곡으로 들어가고 내배유에 침투한다(Miller, 1994). 그리고 곰팡이는 오염된 토양으로부터 씨앗이 싹을 틔우는 동안 뿌리를 통하여 식물의 줄기로 침투하여 성장하거나, 우박이나 곤충에 의해 손상된 식물의 조직을 통하여 오염된다(Miller 등, 1983). 대부분의 이들 곰팡이는 사일리지 보관시 성장을 하지 못하는데 이는 사일리지 유산균 발효에 의한 pH의 저하 및 산소공급 차단으로 생존할 수 없기 때문이다. 포장 곰팡이는 식물에 다양한 질병을 일으키는

것으로 알려져 있는데 이삭과 줄기를 썩게 하는 *Fusarium* sp., *Gibberella* sp., *Diplodia* sp.와 *Anthracoza* sp., 잎을 병들게 하는 *Helminthosporium* sp., 흑수병을 일으키는 *Ustilago* sp.가 있으며, 이외에 *Alternaria* sp., *Closporium* sp., *Claviceps* sp. 등이 있다. 특히, *Fusarium* sp.은 반추동물에 독성을 나타내는 2차 대사산물인 곰팡이 독소를 분비하는 대표적인 곰팡이 중 하나이다(Kore, 1996; Santin, 2005).

저장 곰팡이는 주로 저장기간 동안에 씨앗이나 알곡 또는 파손된 줄기에 침투해 증식하는 곰팡이로 수확 전에는 심각한 문제를 일으키지 않는 것이 일반적이다. 조사료의 저장기간에 발생하는 곰팡이는 주로 흙에서 유래된 것이 많으며, 포장 곰팡이에 비하여 낮은 수분(13~18%)을 요구한다. 저장 곰팡이로는 *Aspergillus* sp.와 *Penicillium* sp. 계열의 곰팡이가 많고 이외의 *Mucor* sp.과 *Monillia* sp. 등이 발견된다(Santin, 2005). McDonald 등(1991)과 Woolford(1984)는 조사료의 대표적 저장방법인 사일리지에서 24가지 이상의 곰팡이를 분리하였고, 대부분의 곰팡이가 곰팡이 독소를 분비하지 않는 것으로 보고한 바 있다. 그러나 사일리지에서 주로 발견되는 곰팡이로는 *Mucor* sp., *Penicillium* sp., *Aspergillus* sp. *Monillia* sp.가 있으며, *Aspergillus flavus*는 저장 곰팡이로 분리되나 포장 곰팡이와 같이 aflatoxin을 분비하고, *Penicillium* sp.는 ochratoxins를 분비한다(Auerbach, 2003; Santin, 2005).

“포장 곰팡이” 또는 “저장 곰팡이”란 구분은 때때로 곰팡이 종류에 따라 성장을 위해 요구되는 온도와 수분의 차이점을 나타낼 뿐이며, 실제로 어떤 곰팡이든 적당한 성장 조건만 된다면 포장에서 생육하는 기간이든 또는 수확 후 저장 기간 동안이든 어디서나 발생한다. 이상적인 곰팡이 성장 조건은 곰팡이 종에 따라 다르며 일반적으로 곰팡이는 높은 온도와 수분을 필요로 한다. 따라서 곰팡이의 오염은 작물을 생산하는 동안 다양한 시기 즉, 작물 포장을

에서, 수확하는 동안, 운송하는 동안, 보관 및 건조 가공하는 동안, 저장 기간 동안 발생할 수 있다. 따라서 양질의 자급 조사료 확보를 위해서는 조사료를 다량 생산하는 것은 물론 이들을 재배하는 단계에서부터 수확, 보관 및 유통 단계까지 관리의 중요성을 인식하여야 한다.

2. 곰팡이 성장과 환경

조사료의 곰팡이 발생에 있어서 무엇보다 중요한 것은 곰팡이 성장이 항상 육안으로 관측되지 않는다는 것이다. 곰팡이 성장에 있어 초기 단계는 현미경으로 밖에 판별할 수 없는 마이크로 증식이기 때문이다. 그리고 대부분의 곰팡이는 비교적 비특이적 성장으로 다양한 사료작물에 균집을 형성하고 여러 종류의 유기물로부터 에너지로 이용하여 성장할 수 있다. 포장에서 외부 환경에 의한 스트레스는 작물의 활력을 감소시켜 독소 분비 곰팡이의 오염이 자주 발생하게 한다. 또한 저장된 조사료에서는 수분, 온도, 기질, 산소와 이산화탄소 농도, 곤충의 침입 및 곰팡이 오염정도 등의 복합적 상호 작용에 의하여 곰팡이가 발생하고 곰팡이 독소에 오염된다.

조사료의 저장 기간 동안 온도, 산소와 이산화탄소의 농도 및 수분 함량간의 상호관계에 따라 곰팡이 발생 정도가 달라진다(Tuite,

1994). 조사료에 발생하여 곰팡이 독소를 분비하는 곰팡이는 완전 호기성으로 산소가 완전히 배제된 저장고에 조사료를 보관하면 곰팡이를 완전 제어 할 수 있다. 이러한 방법으로 농가에서 모든 조사료를 보관하는 것은 비현실적이지만, 사일리지 저장방법은 유산발효와 함께 대표적 혐기보관 방법으로 이용되고 있다. 이들 곰팡이는 일반적으로 산소가 4%인 낮은 농도에서도 호흡을 성공적으로 할 수 있으며(Magan과 Lacey, 1988), 1~2%의 산소가 존재하여도 생존 및 증식이 가능하다(Tuite, 1994). *Fusarium verticillioides*는 예외적으로 이산화탄소가 65%이고 산소가 0.5% 이하의 환경에서도 성장할 수 있다(Tuite, 1994). 따라서 사일리지 저장에 있어서도 공기의 유입이 없도록 포장 보관하고, 개봉 후에도 최대한 신속히 급여하는 것이 무엇보다 중요하다.

일반적으로 곰팡이는 주로 20~30°C의 기후 온도에서 성장한다. 따라서 조사료를 저장 할 때에는 수확 후 저온 시설이 없다면 보관을 위해 높은 온도를 유지하여야 할 것이다. 그러나 곰팡이는 종류에 따라 다양한 온도 범위에서 증식을 할 수 있으며, 주요 독소 분비 곰팡이의 증식을 위한 최적온도 및 곰팡이 독소 분비는 Fig. 1과 같다. *Aspergillus* sp.와 *Penicillium* sp.은 따뜻한 기온에서 번성하는 반면, *Fusarium* sp.은 서늘한 기온을 선호한다(Nelson, 1993). 이러한 성장 온도는 *Aspergillus* sp. 오염문제가

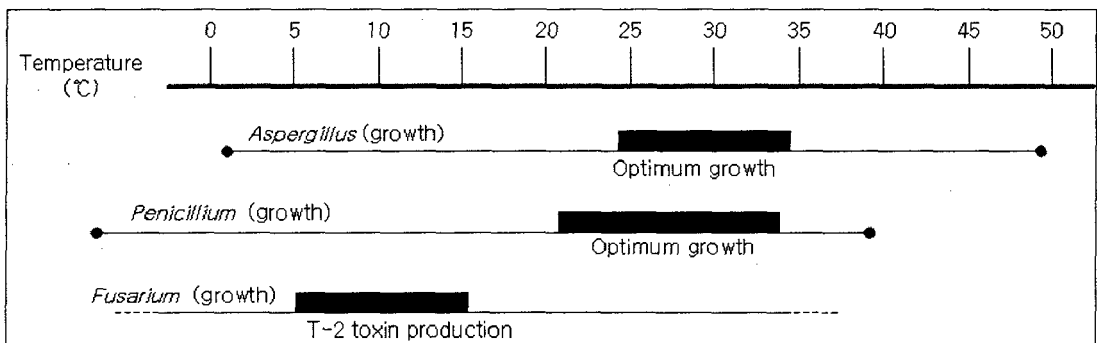


Fig. 1. The temperature ranges for growth of molds commonly associated with animal feeds (Nelson, 1993; Rabie et al., 1986; Bullerman et al., 1984; Hill et al., 1984; Christensen, 1982).

남쪽지역에서 많이 발생하고 (Sabino 등, 1989; Sebuya와 Yourtee, 1990), *Fusarium* sp. 오염문제가 북쪽지역이 높은 이유를 말해준다 (Russel 등, 1991).

대부분의 저장 곰팡이는 조사료의 수분이 13~18% 또는 그 이상 수준에서 증식을 한다 (Santin, 2005). 그러나 땅콩과 같이 지방 성분이 높을 경우 7% 이하의 수분에서도 곰팡이는 증식한다 (Muschen과 Frank, 1994). 곰팡이는 성장을 위해 저장고 내 응축된 수분을 이용하는 것과 같이 조사료의 자유수를 이용한다. 곰팡이가 자신의 성장대사를 위해 이용할 수 있는 물은 조사료의 수분 활성도에 따라 달라진다 (Fig. 2). 수분 활성도는 물질 중에 존재하는 수분 중에서 미생물이 이용할 수 있는 수분의 양을 나타내는 척도로, 같은 온도와 압력에서 물질 내 수분의 증기압을 순수한 물의 수증기압으로 나눈 비율 값으로 나타낸다. 일반적으로 수분활성도 값은 박테리아의 성장을 위해서는 0.87 이상, 효모는 0.88~0.90을 요구하지만 곰팡이는 이보다 낮은 0.70~0.95를 요구한다. *Monascus* sp.와 같은 곰팡이는 수분 활성도가 0.62와 같이 낮은 수준에서도 증식을 할 수 있다 (Nelson, 1993). 따라서 건초 및 볏짚 보관시

충분히 건조된 조사료 확보는 필수적이며, 서늘하고 통풍을 확보하여 조사료의 수분이 13% 이하 되도록 유지하여야 곰팡이의 증식을 방지할 수 있다.

3. 건초와 볏짚에서 곰팡이 발생과 곰팡이 독소 오염

조사료 작물은 성장하는 동안 다양한 종의 수많은 곰팡이에 의해 위협을 받고 있으며, *Fusarium* sp., *Alternaria* sp., *Cladosporium* sp., *Claviceps* sp. 등과 같은 mycotoxins을 분비하는 곰팡이들은 작물의 조직이나 열매에 침투하여 증식을 한다 (Scudamore와 Livesey, 1998; Christensen과 Kaufmann, 1965). 따라서 수확한 조사료나 방목초지는 많은 곰팡이 독소에 오염되어 있을 잠재성이 높다. 사료작물이 수확되어 저장 되더라도 오염된 곰팡이 독소는 대기환경 조건에서 파괴되지 않고 계속 존재할 것이고, 건조 상태가 좋지 않을 경우 특히, 수분 함량이 약 15% 이하를 유지 못할 경우 저장 곰팡이가 발생하여 mycotoxins 오염을 더 가중 시킬 것이다. 또한 곰팡이의 성장은 조사료의 영양 가치에도 나쁜 영향을 주는데,

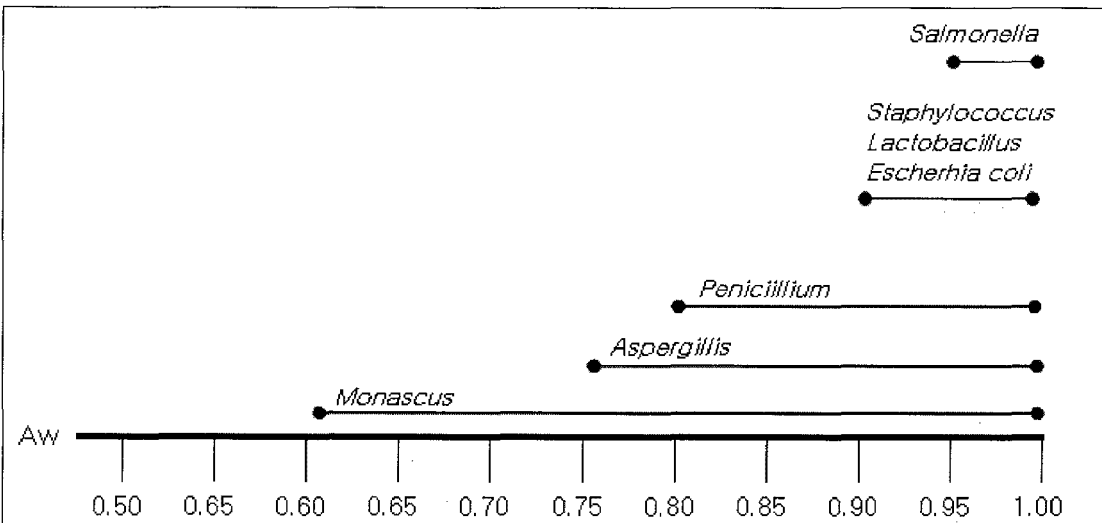


Fig. 2. The relationships between water activity (Aw) and mold growth (Nelson, 1993; Carlier et al., 1986; Patterson and Damaglou, 1986; Beuchat, 1983).

Tripathi 등(1995)은 건초의 저장 기간 동안 영양 손실은 잎이 부서져 나감에 의한 감소와 비에 의한 수용성 영양소의 용출로 발생되기도 하지만, 곰팡이에 의한 손상으로 상당히 많은 양의 영양소가 손실된다고 보고하고 있다.

수확할 때 건초와 볏짚에 있던 곰팡이는 저장기간에 다만 건초에 의해 더 이상 자라지 못하게 방지되어 있을 뿐 계속적으로 잔존해 있다. 그러나 건초와 볏짚이 축축해지어 곰팡이가 성장한다면 이들 포장곰팡이는 *Penicillium* sp. 이나 *Aspergillus* sp.와 같은 종의 저장 곰팡이로 점점 바뀌게 될 것이다. Burmeister 등(1965)은 *Fusarium* sp.이 수확 전에는 목초와 볏짚에서 균락을 형성하여 서식하였으나 저장 상태에서는 더 이상 우점 종으로 나타나지 않음을 발견하였다. 건초 샘플 중에서 *A. fumigatus*가 75% 샘플에서 발견되었고, *A. nidulans*가 61%, *A. versicolor*가 37%, 그리고 *A. glaucus*가 80% 샘플에서 발견되었다(Lacey, 1975). 스웨덴에서는 *Aspergillus flavus*는 건초에서는 자주 나타나지 않으며, *Fusarium* sp.과 *Cladosporium* sp.이 *Alternaria* sp., *Acremoniella* sp.와 함께 수확 후 수일 내에 우점을 형성하였고, *Aspergillus flavus*, *A. glaucus*, *A. candidus*, *A. niger*과 *Penicillium* sp.으로 대체되었다. 그리고 *Mucoraceae* sp., *Alternaria* sp., *Acremoniella* sp.와 같은 일부 종 곰팡이는 92일 저장기간 내내 발견되었다(Kaspersson 등, 1984). *Alternaria* sp.는 수확전 사료용 옥수수과 저장된 건초에서도 발견되었으며(Muller, 1991), 8개월 동안 저장되어 있던 건초에서도 여전히 발견되었다(Scudamore와 Livesey, 1998).

방글라데시의 경우 반추가축은 대부분이 조악한 조사료 위주의 사육이 이루어지고 있는데, 버펄로에게 급여되는 조사료 중 87% 이상이 볏짚으로 구성되어 있다(Mamun 등, 2002; Tareque, 1991). 그러나 이들 볏짚은 잘못된 저장으로 볏짚의 21% 이상이 부패로 손실되고 있으며, 몬순계절(monsoon, 남아시아 장마철)

에 부패손실이 건물로 770만 톤에 해당된다(Chowdhury와 Huque, 1996). 더구나 이때 축축해진 볏짚은 곰팡이가 쉽게 발생할 수 있게 되는데, 주로 발생하는 독소 분비 곰팡이로는 *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Fusarium* sp., *Alternaria* sp., *Stachybotrys* sp., *Cladosporium* sp. 등이 발견되었다(Pillips 등, 1996; Phillips와 Wareing, 1993).

저장 곰팡이의 발생 정도는 저장 상태에 좌우되는데, 불충분한 건조, 빗물의 침투, 곤충의 피해에 의한 조악한 저장 조건은 더 많은 곰팡이의 더욱 빠른 성장을 일으킬 것이다. 그리고 이러한 건초와 볏짚을 먹는 가축은 mycotoxins 과 대기 중 높은 곰팡이 포자 오염이란 이중적 위험에 직면하게 될 것이다. 특히, 이들 곰팡이 중 *Aspergillus parasiticus*는 aflatoxins B₁, B₂, G₁, 그리고 *Fusarium moniliforme*는 fumonisin B₁을 분비하는데, 이들은 사료를 통하여 우유로 전이되어 독소 중독 및 암을 유발 할 수 있다(Jones와 Coker, 1994).

우리나라는 조사료에 오염된 곰팡이와 mycotoxins에 관한 연구는 전무한 실정이며, 최근 본 저자에 의해 수행된 우리나라의 사료용 볏짚에 오염된 곰팡이의 유전적 분석을 통한 위해성 연구에서 *Fusarium culmorum*, *Penicillium roqueforti*, *Myrothecium* sp., *Gibberella moniliformis*, *Nigrospora oryzae*, *Dothideomycete* sp., *Ascomycota* sp.를 분리 및 동정하였으며, 이들 중 *Fusarium* sp.와 *Penicillium* sp.은 곰팡이 독소를 분비하는 유해성 곰팡이도 발견됨을 보고하였다(성 등, 2009). 또한 Fig. 3과 4에서와 같이 초봄에 수집한 정상적 볏짚을 대상으로 조사하였을 때 aflatoxins, zearalenone, deoxynivalenol, fumonisin, ochratoxins A and T-2 toxin과 같은 mycotoxin이 발견되지 않았지만, 곰팡이 오염은 4.6×10^6 cfu/g 이상으로 *Penicillium roqueforti* 및 *Fusarium culmorum*과 같은 mycotoxigenic fungi 가 오염되어 있음을 보고하였고, 여름철의 따뜻한 온도와 다습한 기온은 이들 곰팡이독소

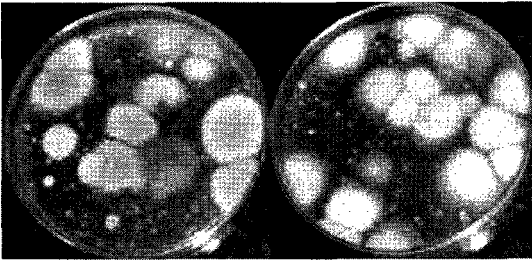


Fig. 3. The fungal contamination of normal rice straws on MEA (left) and PDA (right).

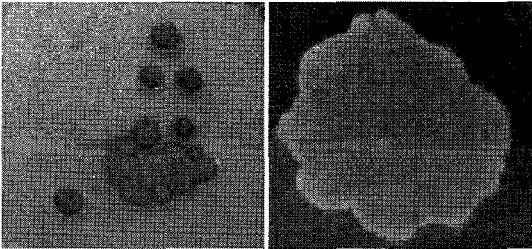


Fig. 4. *Penicillium roqueforti* (left) and *Fusarium culmorum* (right) isolated from normal rice straw on PDA.

분비 곰팡이의 성장을 유도 할 수 있음을 시사 하였다(Sung 등, 2009). 따라서 아직 국내 조사료의 곰팡이 및 곰팡이 독소 오염에 대한 연구는 초보적 단계로 국내 지역별 이용되는 조사료에 대한 폭넓고 심도 있는 다각적 연구가 선행되어야 한다. 그리고 양질의 건초와 볏짚을 확보하기 위해서는 고온 다습 기후 및 밤과 낮의 기온차가 큰 시기에 수분 흡착을 방지하고, 우기에 비에 젖는 일이 생기지 않도록 조사료 수확 후 빠른 건조와 통풍이 유지되도록 서늘 건조한 곳에 보관 및 관리되어야 한다.

4. 사일리지에서 곰팡이 발생과 곰팡이 독소 오염

사일리지는 유산균 증식과 함께 혐기조건으로 조성하여 저장하는 원리로 조사료를 오랫동안 저장하는 전통적인 방법으로 유해성 균과 유충의 성장을 억제 할 수 있는 수준까지 자연적 유산발효로 pH가 낮아진다(Scudamore

와 Livesey, 1998). 잘 저장된 사일리지는 pH가 낮고 혐기적 상태로 곰팡이가 성장하기 힘들다, 공기 유입이 발생하거나 불충분한 유산발효는 일부 곰팡이를 생존 및 성장하게 하고 부패가 쉽게 발생한다. 그리고 부적절한 사일리지 저장으로 부분적으로 *Clostridium tyrobutyricum*, *Clostridium botulinum*, *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* O157 등과 같은 병원성 세균의 오염(Woolford, 1990; Fenlon과 Wilson, 2000; Thylin, 2000), 균사체 곰팡이 발생과 2차 대사독소(mycotoxins)의 오염이 자주 발생하여 가축의 생산성 저하와 질병을 일으키는 잠재성 원인으로 많은 관심의 대상이 되어 왔다(Bauer, 2002; Auerbach, 2003). 따라서 가축의 건강과 생산성을 보충하기 위해서는 양질의 사일리지 즉, 높은 사료가치를 유지하고 위생적으로도 좋은 사일리지를 생산하는 것이 필수적이다.

소수의 혐기성 곰팡이와 효모는 사일리지에서 여전히 증식을 할 수 있지만 포장에서 사료 작물에 발생하는 대부분의 *Fusarium* sp.는 호기성 곰팡이로 사일리지에서 성장 할 수 없다. 그러나 다양한 종의 곰팡이들의 사일리지에서 발견되어 보고되고 있다. *Geotrichum candidus*는 일반적으로 발견되는 곰팡이이며, mycotoxins이 확인되지 않았지만 진균증을 일으키는 것으로 의심되며, 가축에게 불쾌감을 주는 썩는 냄새를 유발하여 사료 섭취 거부 현상을 일으킨다(Morquer 등, 1955; Pelhate, 1974). *Aspergillus fumigatus*는 사일리지에서 일반적으로 보고되는 곰팡이로 사일리지 부패와 부패 발효열을 자주 일으키는 것으로 알려져 있고, 신경독소인 clavine alkaloids와 tremorgenic mycotoxin과 같은 여러 독소 대사물을 생산 할 수 있다(Cole, 1976; Cole 등, 1977). 붉은 사일리지의 주범인 *Monascus purpureus*와 함께 여러 곰팡이가 Pelhate (1974, 1977)에 의해 보고 되었는데, 이들 곰팡이로는 *Mucor* sp., *Penicillium roqueforti*, *Trichoderma* sp., *Byssoschlamis nivea*, *Paecilomyces*

varotia 등이 있다. 그리고 네덜란드에서 1986년에서 1990년까지 부패한 옥수수 사일리지를 조사 하였을 때 *Penicillium roqueforti*가 우세적으로 발생되었다는 보고도 있었다(Nout 등, 1993).

곰팡이 독소는 여러 화합물 그룹과 다양한 분자량을 가진 곰팡이 대사산물로 수백종이 있는 것으로 알려져 있으나(Cole와 Cox, 1981; Steyn, 1998), 수종만이 광범위하게 집중 연구 되어 왔다. 사료작물, 건초 및 사일리지에서 주로 발견되는 곰팡이와 이들이 생성하는 곰팡이 독소는 Table 1과 같다(Scudamore와 Livesey, 1998; Auerbach, 2003). 대부분의 연구들은 aflatoxin, ochratoxin, trichothecenes, fumonisins와 zearalenone에 대하여 수행되었으며, 이들 곰팡이 독소는 가축 및 동물에 대하여 수많은 생물학적 저해 작용을 나타낸다. 즉, Mycotoxins는 발암성, 기형발생성, 유전자 독성, 간 독성, 신장 독성, 혈 독성 물질이며, 면역 억제, 발정 부작용, 신경성 증상 및 돌연변이를 일으킨다(Dirheimer, 1998; Riley 등, 1998; Shier, 1998; Steyn, 1998; Auerbach, 2003; Santin, 2005). 특히, Aflatoxin B₁은 *Apergillus* sp.가 생산하는 독소로 유우에게 영향을 주어 생산성 저감을 일

으킬 뿐만 아니라 우유 속에 aflatoxin M₁으로 전변되어 인체 내 암 유발 및 면역 억제 작용을 일으키고, 영유아에게 특히 위험한 물질로 원유에서 엄격한 통제를 받고 있다(Jouany와 Diaz, 2005). 그러므로 사일리지의 관리 및 보관 불량으로 곰팡이 및 곰팡이 독소가 오염된 것이 공급될 경우 축우를 통해 우리 사람에게도 심각한 영향을 줄 수 있음을 인지하여야 하며, 조사료를 섭취하는 반추 동물은 이러한 위험 요소에 항상 노출되어 있음을 인식하여야 할 것이다.

III. 결 론

국내 자급 조사료 생산 확대를 위해서는 조사료 생산 증대뿐만 아니라 수확, 보관 및 급여 기간 동안 오염이나 변패가 발생하지 않은 양질의 조사료 공급이 중요하다. 조사료는 청초로 급여되기도 하지만 대부분이 저장되어 급여되며, 조사료의 형태와 저장환경은 미생물과 복잡한 관계 속에 조사료의 질에 영향을 준다.

곰팡이는 산소, 물 및 온도만 적당하다면 사료작물이 성장하는 동안뿐만 아니라 저장기간에도 발생한다. 곰팡이 오염은 건초, 볏짚, 사

Table 1. Important moulds and mycotoxins in forages and silages

Fungal species	Mycotoxins
<i>Fusarium</i> spp.	Deoxinivalenol, nivalenol, T-2 toxin, HT-2 toxin, diacetoxyscirpenol, 기타 trichothecene
<i>Alternaria</i> spp.	Alternariol, alternariol monomethyl ether, altuene, tenuazonic acid
<i>Penicillium roqueforti</i>	RR toxin, patulin, roquefortines, penicillic acid, mycophenolic acid
<i>Aspergillus fumigatus</i>	Fumitremorgens, verruculogen, fumigaclavines, gliotoxin
<i>Aspergillus flavus</i>	Aflatoxins, kojic acid, cyclopiazimic acid
<i>Aspergillus parasiticus</i>	Aflatoxins
<i>Byssochlamys</i> spp.	Patulin, byssochlamic acid
<i>Paecilomyces varioti</i>	Patulin, byssochlamic acid
<i>Manascus ruber</i>	Manacolins, citrinin

일리지 등과 같은 조사료의 기호성 저하, 섭취량 감소, 영양적 손실은 물론 곰팡이로 인한 유산, 발육부진 및 호흡기 질환도 증가시킨다. 그리고 일부 곰팡이는 가축에게 높은 독성을 나타내는 이차대산산물인 곰팡이 독소(mycotoxin)를 생성한다. 이들 곰팡이는 작물이 성장, 수확 및 저장되는 동안 수천가지 곰팡이 독소를 생성하지만 400여 종의 곰팡이 독소만이 확인되었으며, mycotoxin은 발암성, 기형 발생, 유전자 독성, 간 독성, 신장 독성, 혈 독성 물질이며, 면역 억제, 발정 부작용, 신경성 증상 및 돌연변이를 통하여 가축의 생산성을 저하시킨다.

곰팡이는 일반적으로 산소가 4%인 낮은 농도에서 호흡 증식하나 1~2% 산소 조건에서도 생존과 증식이 가능하고, 주로 20~30℃의 기온 온도에서 성장이 왕성하다. 조사료에 발생하는 곰팡이는 발생조건에 따라 크게 두 가지로 구분되는데, 사료 작물이 들판에서 성장할 때 발생하는 포장 곰팡이(field fungi)와 수확 후에 저장 기간 동안 발생하는 저장 곰팡이(storage fungi 또는 storage molds)가 있다. 포장 곰팡이로는 *Fusarium* sp., *Gibberella* sp., *Diplodia* sp., *Anthracoidea* sp., *Helminthosporium* sp., *Ustilago* sp., *Alternaria* sp., *Closporium* sp., *Claviceps* sp. 등이 주로 발견된다. 그리고 저장 곰팡이는 조사료 수분이 13~18% 또는 이상 수준에서 주로 증식하는데, 주로 *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Mucor* sp., *Monillia* sp. 등이 발견된다.

사일리지의 주요 오염 곰팡이로는 *Mucor* sp., *Penicillium* sp., *Aspergillus* sp., *Monillia* sp.가 있다. *Aspergillus fumigatus*는 사일리지 부패와 부패 발효열을 일으키는 것으로 알려져 있고, 붉은 사일리지의 주범인 *Monascus purpureus*와 이외에 *Mucor* sp., *Penicillium roqueforti*, *Trichoderma* sp., *Byssochlamis nivea*, *Paecilomyces varotia* 등이 있다. 사료용 볏짚에 주로 발생하는 독소분비 곰팡이로는 *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Fusarium* sp., *Alternaria*, *Stachybotrys*와 *Cladosporium* sp.이 있으며, 우리나라에서도 사

료용 볏짚에 *Fusarium culmorum*, *Penicillium roqueforti*, *Myrothecium* sp., *Gibberella moniliformis*, *Nigrospora oryzae*, *Dothideomycete* sp. 및 *Ascomycota* sp. 등이 발견되었다.

결론적으로 대표적 독소분비 곰팡이인 *Aspergillus* sp.와 *Penicillium* sp.는 따뜻한 기온에서 번성하는 반면, *Fusarium* sp.는 서늘한 기온을 선호한다. 하지만 “포장 곰팡이” 또는 “저장 곰팡이”란 구분은 때때로 곰팡이 종류에 따라 성장을 위해 요구되는 환경의 차이점을 나타낼 뿐이며, 실제로 어떤 곰팡이든 적당한 성장 조건만 된다면 포장에서 생육하는 기간이든 또는 수확 후 저장 기간 동안이든 어디서나 발생하며, 곰팡이 독소를 오염시킬 가능성은 늘 존재한다. 따라서 조사료를 수확하고 가축에게 급여하기 전 저장 및 이송되는 동안에 영양적 손실 방지뿐만 아니라 곰팡이 및 곰팡이독소 오염을 막을 수 있는 방법이 더 발전되어야 하며 이것은 안전한 축산물 공급을 위해 필수적이다.

IV. 사 사

본 연구는 2009년도 15대 어젠다 연구개발사업(농업현장 대응분야), “사료비 절감을 위한 조사료 생산기술 개발”의 “국내외 부존 사료자원 탐색 및 조사료 가공 이용 연구”내 협동연구과제인 “사료용 볏짚의 발생 곰팡이 종류와 유해성 구명”이란 연구과제 수행을 위하여 농촌진흥청 지원사업에 의해 이루어진 것이며, 이의 지원에 감사드립니다.

V. 인용 문헌

1. 성하균, 김성국, 이종경, 강준석. 2009. 사료용 볏짚에 오염 곰팡이의 유전적 분석을 통한 위해성 연구. 한국동물자원과학회 학술발표회. Proceeding Vol. II. 145.
2. 축산정책단. 2008. 청보리 등 조사료 생산·이용

- 활성화 대책. 농림수산식품부. 축산정책단.
3. Auerbach, H. 2003. Mould growth and mycotoxin contamination of silage: sources, types and solution. In: Nitritonal Biotechnology in the Feed and Food Industries. (T. P. Lyons and K. A. Jacques). Nottingham University Press, United Kingdom. pp. 247-265.
 4. Bauer, J. 2002. Mycotoxins in feedstuffs for ruminants: Biochemical effects and clinical relevance. In: Proceeding of the XXII World Buiatrics Congress (M.. Kaske, H. Scholz and M. Holtershinken, eds). Hildesheimer Druck-u. Verags-GmbH, Hildesheim, Germany. pp. 168-180.
 5. Beuchat, L.R. 1983. Influence of water acivity on growth, metabolic activities and survival of yeast and molds. J. Food Prot. 46:135-140.
 6. Bullerman, L.B., L.L. Schorder and K.Y. Park. 1984. Formentation and control of mycotxins in food, J. Food Prot. 47:630-637.
 7. Burmeister, P., R. Harland, A. Hartman and R. Saul. 1965. Mycobiology of ensiled high moisture corn. Appl. Microbio., 14:31-34.
 8. Carlier, V., F. Bolnot and M. Gauthier. 1986. Activite de l'eau(Aw) et microorganismes. Rev. Technol. Ind. Viande Denrees d'Origine Animale. 4:219.
 9. Chowdhury, S.A. and K.S. Huque. 1996. Study on the development of a technique for preserving straw under wet condition in Bangladesh. Asian-Australasian J. Anim. Sci. 9:91-99.
 10. Christensen, C.M. 1982. Storage of cereal grains and their products. Page1 in Am. Assoc. Cereal Chem. St. Paul. MN.
 11. Christensen, C.M. and H.H. Kaufmann. 1965. Deterioration of stored grains by fungi. Ann. Rev. Phytopathol. 3:9-84.
 12. Cole, R.J. 1976. Mycotoxins produce by *Aspergillus fumigatus* isolated from silage. Int Symposium on Mycotoxins, Paris.
 13. Cole, R.J., J.W. Kirksey, J.W. Dorner, D.M. Wilson, J.C. Johnson, A.N. Johnson, D.M. Bedell, J.P. Springer, K.K. Chexal, J.C. Clardy and R.H. Cox. 1977. Mycotoxins produced by *Aspergillus* species isolated from moulded silage. J. Agric Food Chem. 25:826-830.
 14. Cole, R.J. and R.H. Cox. 1981. Handbook of toxic fungal metabolites. Academic Press Inc. New York, USA.
 15. Coulombe, Jr. A.C. 1993. Symposium: Biological action of mycotoxins. J. Dairy Sci. 79:880-891.
 16. Dirheimer, G. 1998. Recent advances in the genotoxicity of mycotoxins. Rev. Med. Vet. 149: 605-616.
 17. Fenlon, D.R. and J. Wilson. 2000. Growth of *Escherichia coli* O157 in poorly ermented laboratory silage: a possible environmental dimension in the epidemiology of *E. coli* O157. Letters Appl. Microbiol. 30:118-121.
 18. Fink-Gremmels, J. 2005. Mycotoxin in forages. In: The Mycotoxin Blue Book. (D. E. Diaz). Nottingham University Press, United Kingdom. pp. 249-268.
 19. Hill, R.A., D.M. Wilson, W.W. McMillian and N.W. Blankenship. 1984. Ecology of the *Aspergillus* group and Aflatoxin formation in maize and ground nuts. Page 79 in Tricothencenes and other Mycotoxins. J. Lacey. ed. Proc. Int. Mycotoxin Symp., Sydney, Aust., John Wiley & Sons, New York. NY.
 20. Jones, B.D. and R.D. Coker. 1994. The effect of mycotoxins in animals with particular reference to the "carry-over" of mycotoxins from naturally contaminated feed to food products. A review submitted to MAFF under contract.
 21. Jouany, J.P. and D.E. Diaz. 2005. Effects of mycotoxins in uminants. Page 295-321 in The Mycotoxin Blue Book. D.E. Diaz. Nottingham University Press, United Kingdom.
 22. Kapersson, A., R. Hlodversson, U. Palmgren, S. Lindgren. 1984. Microbial and biochemical changes occurring durring deterioration of hay and preservative effect of urea. Swed. J. Agric. Res. 14:127-133.
 23. Kore, A.N. 1996. Mycotoxin In Animal Feeds. Current Issue and Concerns. WI veterinary Mrdical Assn. Proceedings. 81:207-214.
 24. Lacey, J. 1975. Colonisation of damp organic substrates and spontaneous heating. In: Microbial Growth and Survival in Extrems of Enviroment, Ed. Gould G. W. & Corry J. Academic Press, London, UK, pp 53-70.
 25. Magan, N. and J. Lacey. 1988. Ecological deter-

- minants of mould growth in stored grain. *Int. J. Food Microbiol.* 7:245-231.
26. Mamun, M.A., M. Md. Ali Akbar and Md Shahjalal. 2002. Rice straw, its quality and quantity as affected by storage system in Bangladesh. *Pakistan J. Nutrition.* 1:153-155.
 27. McDonald, P., A.R. Henderson and S.J.E. Heron. 1991. *The Biochemistry of Silage*, 2nd Ed. Clalcombe Publication, 13 Highwoods Drive. Marlow Bottom. Marlow, Bucks SJ & 3PU. pp. 129-130.
 28. Miller, J.D. 1994. Fungi in Grain: Implications for stored product research. *J. of Stored Products Research* 31:1-16.
 29. Miller, J.D., J.C. Young and H. L. Trenholm. 1983. Fusarium toxins in field corn. I. Time course of fungal growth and production of deoxynivalenol and other mycotoxins. *Can. J. Bot.* 61:3080-3087.
 30. Morquer, R., C. Lombard, M. Berthelon and L. Lacoste. 1955. Pouvoir pathogene de quelques especes de Geotrichum. *CR Academy de Sci (paris).* 240:378-380.
 31. Muller, M. 1991. Investigations of the incidence of *Alternaria* in silage maize and hay. *Zentralblatt fur Mikrobiol.* 146:481-488.
 32. Muschen, H. and K. Frank. 1994. Mycotoxins in oilseeds and risks in animal production. In: *Moulds, Mycotoxins and Food Preservatives in the Food Industry*. Parsippany, New Jersey, BASF Corporation. pp. 31-35.
 33. Nelson, C.E. 1993. Strategies of mold control in dairy feeds. *J. Dairy Sci.* 76:898-902.
 34. Nout, M.J.R., M.H. Bouwmeester, J. Haaksma and H. van Dijk. 1993. Fungal growth in silages of sugarbeet press pulp and maize. *J. Agric Sci.* 121: 323-326.
 35. Patterson, M. and A.P. Damaglou. 1986. The effect of water activity and pH on the production of mycotoxins by fungi growing on a bread analogue. *Lett. appl. Microbiol.* 3:123-125.
 36. Pelhate, J. 1974. Mycoflora des maïs-humides, déterminisme de son évolution. *Rev. Microbiol.* 29:65-95.
 37. Pelhate, J. 1977. Maize silage: Incidence of moulds during conservation. *Folia Vet Latina.* 7:1-26.
 38. Phillips, S. and P. Wareing. 1993. Mycological analysis of rice straw samples collected in Bangladesh. File Note, Project AO317. Natural Resources Institute, Chatham Maritime, UK.
 39. Phillips, S.I., P.W. Wareing, A. Dutta, S. Panigrahi and V. Medlock. 1996. The mycoflora and incidence of mycotoxin, Zearalenone and Sterigmatocystin in dairy feed and forage samples from Eastern India and Bangladesh. *Mycopathologia.* 5:1-7.
 40. Rabie, C.J., E.W. Sydenham, P.G. Thiel, A. Lubben and W.F.O. Marasas. 1986. T-2 toxin production by *Fusarium acuminatum* isolated from oats and barley. *Appl. Environ. Microbiol.* 52:594-602.
 41. Riley, R.T., K.A. Voss, W.P. Norred, R.P. Sharma, E. Wang and A.H. Merrill, Jr. 1998. Fumonisin: mechanism of mycotoxicity. *Rev. Med. vet.* 149:617-626.
 42. Russel, L., D.F. Cox, G. Karsen, K. Bodwell, and C.E. Nelson. 1991. Incidence of molds and mycotoxins in commercial animal feed mills in seven Midwestern states 1998-1989. *J. Anim. Sci.* 69:5-11.
 43. Sabino, M., G. Prado, E.I. Inomata, M.D. Pedrosa and R.V. Garcia. 1989. Natural occurrence of aflatoxins and zearalenone in maize in Brazil. Part II. *Food Addit. Contam.* 6:327-332.
 44. Santin, E. 2005. Mould growth and mycotoxin production. In: *The Mycotoxin Blue Book* (D.E. Diaz ed). Nottingham University Press, United Kingdom. pp. 225-234.
 45. Schatzmayr, G. 2005. Effective solution to control mycotoxins. *Hoard's West.* February(25): W42-W43.
 46. Scudamore, K.A. and C.T. Livesey. 1998. Occurrence and significance of mycotoxins in forage crops and silage; a review. *J. Sci. Food Agric.* 77:1-17.
 47. Sebunya, T.K. and D.M. Yourtee. 1990. Aflatoxinogenic aspergilli in foofs and feeds in Uganda. *J. food Qual.* 13:97-101.
 48. Shier, W.T. 1998. Estrogenic mycotoxins. *Rev. Med. Vet.* 149:599-604.
 49. Steyn, P.S. 1998. The biosynthesis of mycotoxins. *Rev. Med. Vet.* 149:469-478.

50. Sung, H.G., S.G. Kim and J.K. Lee. 2009. The Presence of Mycotoxigenic Fungi in Rice Straw during the Earlier Spring of Korea. New Paradigm for Forage Production in the East Asian Region. Proceeding of the 3rd Korea-China-Japan Joint Symposium on Grassland Agriculture and Livestock Production. 48-49.
 51. Tareque, A.M.M. 1991. Feed & Fodder resources in Bangladesh and patterns of utilization. ADB, Second Livestock Project, TA No.668-BAN.
 52. Thylin, I. 2000. methods of preventing growth of *Clostridium tyrobutyricum* and yeasts in silage. Acta Univerisitatis Agriculturae Sueciae. Agraria 223.
 53. Tripathi, H.P., A.P. Singh, V.S. Upadhyay, H.P. Kessels, A.S. Harika, Sahab Singh and M.N.M. Lbrahim. 1995. Forage conservation, storage and feeding. In Handbook for straw feeding systems (Ed. K. Singh and J. B. Schiere), pp. 303-323.
 - Ino-Dutch project on bioconversion of crop residues.
 54. Tuite, J. 1994. Epidemiology of moulds in grain. In: Mould, Mycotoxins and Food Preservatives in the Food Industry. Parsippany, New Jersey. BASF Coperation. pp. 5-8.
 55. Undi, M. and M. Wittenberg. 1996. Intake, rumen fermentation characteristics, and feedstuff in situ digestion kinetics as influenced by fungal biomass in alfalfa hay fed to cattle. Animal Feed Sci. Technology. 61:291-303.
 56. Woolford, M.K. 1984. The Silage Fermentation. Marcel Dekker, Inc. 270 Madison Ave., Ny York, NY. pp. 32-33.
 57. Woolford, M. 1990. The detrimental effects of air on silage. J. Appl. Microbiol. 68:101-116.
- (접수일: 2009년 12월 4일, 수정일 1차: 2010년 2월 5일, 수정일 2차: 2010년 2월 16일, 게재확정일: 2010년 2월 22일)