

## 2015년 국내산 저장 옥수수에서의 후자리움 독소 오염 및 감염 곰팡이 조사

# Survey of Fungal Infection and *Fusarium* Mycotoxins Contamination of Maize during Storage in Korea in 2015

김양선 · 강인정 · 신동범 · 노재환 · 허성기 · 심형권\*

농촌진흥청 국립식량과학원 재배환경과

**\*Corresponding author**

Tel: +82-31-695-0667

Fax: +82-31-695-0095

E-mail: shimhk@korea.kr

**Yangseon Kim, In Jeong Kang, Dong Bum Shin, Jae Hwan Roh, Sunggi Heu, and Hyeong Kwon Shim\***

*Crop Cultivation and Environment Research Division, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Suwon 16613, Korea*

Maize is one of the most cultivated cereals as a staple food in the world. The harvested maize is mainly stored after drying, but its quality and nutrition could be debased by fungal spoilage and mycotoxin contamination. In this study, we surveyed mycotoxin contamination fungal infection of maize kernels that were stored for almost one year after harvest in 2015. The amount of deoxynivalenol and zearalenone detected were higher than the other mycotoxin, such as aflatoxin, ochratoxin, fumonisin and T-2 toxin. In particular, level of deoxynivalenol was detected as  $1200 \pm 610$   $\mu\text{g}/\text{kg}$  in small size kernels, which was four to six times higher than the large and the medium size kernels. Moreover, the amount of deoxynivalenol, zearalenone, and fumonisin were increased with discolored kernels. 10 species including *Fusarium* spp., *Aspergillus* spp. and *Penicillium* spp. were isolated from the maize kernels. *F. graminearum* was predominant in the discolored kernels with detection rates of 60% (red) and 40% (brown). Our study shows that the mycotoxin contents of stored maize can be increased by discolored maize kernels mixed. Therefore elimination of the contaminated maize kernels will help prevent fungal infection and mycotoxin contamination in stored maize.

**Keywords:** Deoxynivalenol, *Fusarium graminearum*, Mycotoxin, Storage, Zearalenone

Received May 16, 2017

Revised May 30, 2017

Accepted May 30, 2017

곡물에 발생하는 곰팡이 감염 및 곰팡이가 생산하는 독소는 곡물의 질을 떨어뜨릴 뿐만 아니라, 사람이나 가축이 감염된 곡물을 섭취할 시 다양한 피해를 초래한다(Wu, 2007). 곡물의 곰팡이 감염은 생육기간이나 또는 저장기간 동안 이루어지며 감염된 곰팡이가 생산하는 독소는 저장기간 동안 주로 이루어지기 때문에 감염되지 않은 곡물을 생산하여 곰팡이 감염을 줄일 수 있는 환경조건에 보관하는 방법이 매우 중요하다.

옥수수는 전세계에서 가장 많이 재배하는 곡물 중 하나로써 주요 식량자원이다. 곡물 생산량 보고에 따르면 2016년 전 세계적으로 968.06백만 톤의 옥수수가 생산 되었으며(WorldCorn-Production.com), 우리나라의 경우에도 한 해에 대략 75,000 톤이 생산되는 중요한 산업 자원 중 하나이다. 생산된 옥수수는 수확 후 건조과정을 거쳐 저장하게 되는데, 수확된 옥수수는 저장 과정 동안 생리적, 화학적 그리고 생물학적인 요인에 의해 질적 혹은 영양적으로 변하게 된다. 생물학적인 요인으로는 *Aspergillus*속과 *Fusarium*속 곰팡이가 있는데, 이 곰팡이들은 주로 수확 전에 감염이 일어나며, 저장기간 동안 저장 환경이 곰팡이에 유리할 경우 2차 대사산물인 독소가 생산되어 경제

**Research in Plant Disease**

pISSN 1598-2262, eISSN 2233-9191

[www.online-rpd.org](http://www.online-rpd.org)

적으로 피해를 일으킨다.

대부분의 곰팡이 독소들은 인축에 암을 유발하는 발암물질이거나 혹은 면역체계를 떨어뜨리기 때문에 저장기간 동안의 곰팡이 감염 및 독소 오염 조사를 통해 저장 환경을 개선하는 연구가 지속적으로 필요하다(Turner 등, 2003). 옥수수에 감염하여 독소를 생산하는 것으로 알려진 주요한 곰팡이 및 독소로는 *Aspergillus flavus*에 의한 아플라톡신을 비롯하여 *Fusarium verticilloides*와 *F. proliferatum*에 의한 푸모니신, 그리고 *F. graminearum*에 의한 데옥시니발레놀 및 제날레논등을 들 수 있다. 특히, 옥수수 수확 후 건조 및 저장 상태가 불량할 경우 아플라톡신의 함량이 증가될 수 있고, *Fusarium* sp. 균이 저장기간 동안 푸모니신을 생산한다고 보고된 바 있다(Marin 등, 2004).

따라서, 이러한 저장 환경을 개선할 경우 옥수수의 독소 감염을 낮출 수 있다는 다수의 연구결과가 보고되고 있다. Malone 등(1998)은 저장 전 옥수수를 세척할 경우 푸모니신의 함량을 낮출 수 있다고 보고 하였으며, Norred 등(1991)은 옥수수 저장 중 암모니아를 처리할 경우 푸모니신의 함량을 줄일 수 있다고 보고하였다. 또한, 수확 후 건조 전 옥수수의 수분함량이 25%로 7일간 유지되었을 때 푸모니신이 77%까지 증가하고 제랄레논은 더 높게 축적되는 결과도 보고되는 등(Blandino 등, 2004), 다수의 연구 결과들이 저장 환경의 중요성을 강조하고 있다.

옥수수가 *Aspergillus*속이나 *Fusarium*속에 의해 매우 심하게 감염될 경우 갈색 혹은 붉은색으로 변색되는데, 이렇게 심하게 감염되어 육안으로 구분할 수 있는 경우를 제외하면 곰팡이에 의한 감염여부를 육안으로 구분하기 어렵다. 저장기간 동안의 옥수수를 살펴보면 육안으로 감염 여부를 구분하기 어려운 건전한 옥수수 낱알과 변색이 심하게 일어난 옥수수 낱알이 섞여 있는 경우가 많은데, 이런 경우 동일한 양의 변색된 낱알과 정상 옥수수 낱알 내에 얼마나 많은 양의 독소가 생산 되었는지를 측정한다면, 독소의 생산량을 추정해볼 수 있는 근거자료로 활용될 수 있을 것이다. 이와 함께 곰팡이 감염에 의해 옥수수가 변색되면서 낱알의 크기가 줄어들었을 경우가 많은데, 이런 경우 크기에 따라 동일 개수의 낱알 내에 생산된 독소의 양을 측정할 경우 역시 곰팡이 감염에 대한 독소 감염을 추정해 볼 수 있어 산업적으로 중요한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

우리나라에서 생산되는 옥수수는 식량자원 및 사료 곡물로 사용하는 나라에서 산업화되어 대규모로 재배된 뒤 저장되는 시스템과 다르게 한정된 농가에서 재배가 이루어지고 이를 단위농협에서 매각하거나 혹은 바로 소비하는 시스템으로 이루어지고 있다. 단위농협에서 보관될 경우 밀폐된 폴리프로필렌(polypropylene) 포대에 넣은 뒤 상온에서 저장되고 있기 때문에, 이러한 저장 방법에 따른 곰팡이 감염 여부 및 독소 생산량

자료는 앞으로의 방제 체계를 마련하는데 있어 중요한 자료가 될 수 있을 것이다.

이 연구는 이러한 요구에 따라서 2015년 생산되어 이듬해 2016년까지 저장된 옥수수를 대상으로 (1) 저장 옥수수의 독소 함유량을 건전 낱알과 감염되어 위축된 낱알로 구분하여 조사, (2) 저장 옥수수에 감염된 곰팡이 종 조사, 그리고 (3) 건전 낱알과 곰팡이가 감염되어 변색된 변색 낱알이 혼립 되었을 경우를 가정하여 독소 함유량을 조사하였다. 시험 시료는 강원도 정선군 여량면 여량농협 찰옥수수가곡공장 저장 창고내 상온 보관 중인 2015년 수확된 옥수수를 사용하였으며, 옥수수는 폴리프로필렌(polypropylene) 재질로 된 밀폐된 포대내 저장된 단일 품종을 선정하여 실험에 사용하였다.

곰팡이 독소 검출은 ELISA 법을 이용하여 수행하였다. 곰팡이 독소로서 아플라톡신, 오크라톡신, 데옥시니발레놀, 제랄레논, 푸모니신, 그리고 T-2 독소 총 6종의 독소를 선정하여 검출하였다. ELISA 검정을 위해 옥수수 종자를 샘플 당 20 g씩 마쇄한 뒤 DON은 물에 나머지 독소들은 메탄올에 현탁하여 여과한 다음 여과액을 ELISA test 키트(Romer Labs AgraQuant®, USA)를 이용하여 반응시키고 StatFax 4700 리더기(Awareness Technology Inc., USA)를 이용하여 농도를 측정하였다(Zachariasova 등, 2008).

옥수수는 생육기 중 곰팡이에 의해 감염되었을 경우 건전한 낱알로 자라지 못해 크기가 건전한 낱알에 비해 작아질 뿐만 아니라 변색이 되기도 한다. 이 연구에서는 2015년 수확된 뒤 대략 1년정도 보관된 옥수수의 낱알을 3종류로 구분하여 검정하였다: 곰팡이 감염이 뚜렷하지 않은 건전한 낱알(large) 100립(총 무게 44-50 g); 곰팡이 감염이 진척되어 낱알의 크기가 건전한 낱알에 비해 위축된 낱알(medium) 100립(총 무게 대략 39-40 g); 그리고 곰팡이 감염이 뚜렷하여 낱알의 크기가 매우 작은 경우의 낱알(small) 100립(총 무게 대략 29-30 g)씩을 골라내 6종의 독소 함유량을 검출하였다. 실험은 100립씩 3반복으로 수행하였다. 건전 크기 낱알 100립은 평균 44.8 g이었으며, 정상보다 작은 크기 낱알 100립은 평균 40.1 g, 그리고 제일 작은 크기 낱알 100립은 평균 29.8 g으로 측정되었다(Table 1).

결과는 옥수수 100립의 독소 함유량을 옥수수 총량을 kg으로 환산하여 산출하였다. 측정 결과 아플라톡신을 비롯해서 오크라톡신, 제랄레논, 푸모니신 그리고 티투 독소는 옥수수 낱알을 크기 별 독소 함유량이 통계학적으로 유의미한 결과를 보이지 않았다(Table 1). 그러나 데옥시니발레놀의 경우 작은 낱알에서 이보다 큰 낱알의 독소 함량에 비해 4배에서 6배까지 많은 양이 검출되었으며 통계학적으로 유의성이 있었다(Table 1). 데옥시니발레놀은 *Fusarium* 종이 생산하는 주요한 곰팡이

**Table 1.** Level of mycotoxins by maize kernel size

Kernel size <sup>a</sup>	Mycotoxin level (µg/kg) <sup>e</sup>					
	Aflatoxin	Ochratoxin	DON <sup>b</sup>	ZEN <sup>c</sup>	FUM <sup>d</sup>	T-2 toxin
Large	0.2±0.4 <sup>Af</sup>	0.3±0.2 <sup>A</sup>	300±40 <sup>A</sup>	26.1±12.5 <sup>A</sup>	0.0±0.0 <sup>A</sup>	0.0±0.0 <sup>A</sup>
Medium	0.3±0.5 <sup>A</sup>	0.0±0.0 <sup>A</sup>	210±140 <sup>A</sup>	6.6±5.7 <sup>A</sup>	20±30 <sup>A</sup>	0.0±0.0 <sup>A</sup>
Small	0.8±1.2 <sup>A</sup>	0.0±0.0 <sup>A</sup>	1200±610 <sup>B</sup>	114.6±89.4 <sup>A</sup>	0.0±0.0 <sup>A</sup>	0.6±1.0 <sup>A</sup>

<sup>a</sup>Larger size of grains=average 44.8 g per 100 kernels; Medium size=average 40.1 g per 100 kernels; Small size of grains=average 29.8 g per 100 kernels.

<sup>b</sup>DON=deoxynivalenone. <sup>c</sup>ZEN=zealarlenone. <sup>d</sup>FUM=fumonisin.

<sup>e</sup>The value less than the limit of detection was calculated as the detection limit, aflatoxin (0.31 µg/kg), ochratoxin (1.9 µg/kg), DON (100 µg/kg), ZEN (30 µg/kg), FUM (190 µg/kg), T-2 (10 µg/kg).

<sup>f</sup>Tukey's test was used to determine significance at the 95% probability level. The same letters in the same mycotoxin column showed no significant difference.

독소 중 하나로서, 옥수수의 낱알에서는 이삭썩음병을 일으키는 *Fusarium graminearum*에 의해 생산된 것으로 보고되고 있다(Sutton, 1982). 또한, 크기가 크면서 대체적으로 건전한 옥수수 낱알에서도 제랄레논이 검출되었는데, 제랄레논은 역시 *F. graminearum* 곰팡이가 생산하는 대표적인 곰팡이독소이다(Mirocha 등, 1989).

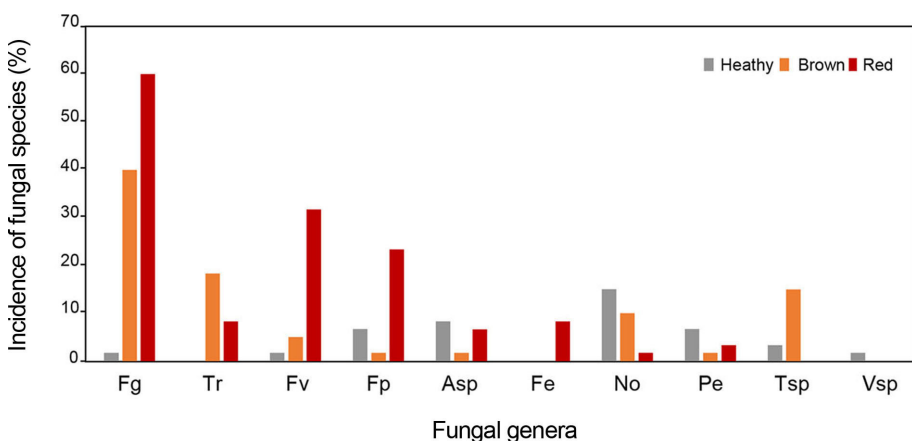
이상의 결과를 더 자세히 검증하기 위해 옥수수 낱알을 육안으로 보기에 건전한 낱알(healthy kernel), 변색되어 갈색으로 보이는 낱알(brown kernel), 그리고 변색되어 붉은색으로 보이는 낱알(red kernel)로 나누어 낱알 내부에 감염된 곰팡이 종을 살펴보았다.

곰팡이 종 조사를 위해 옥수수 낱알을 탈곡하여 차아염소산 나트륨 1% 용액에 2분간 표면살균하였다. 표면살균 후 화염 멸균된 여과지 2매를 깔아 말린 뒤 12립씩 총 10개의 9 cm 페트리 접시에 치상 한 뒤 흐르지 않을 정도의 멸균수를 공급하여 습실 처리하였다. 근자외선을 12시간 간격으로 비추는 포자배양상자에서 1주일간 포자 형성을 유도하여 종자 표면에 형성된 곰팡이의 형태적 특징을 해부현미경으로 조사하여 동정하였다. 형태적으로 동정이 어려운 곰팡이는 균을 단포자 분리하여

배양한 다음 Internal transcribed spacer (ITS) 영역 염기서열 분석을 하고 그 염기서열을 미국 국립생물정보센터(NCBI)의 유전자은행 정보와 비교하여 동정하였다. 각 종류별 곰팡이 검출 빈도는 관찰한 옥수수 총 낱알 수에 대비 총 분리 및 관찰된 곰팡이 종을 100분율로 환산하여 각 종마다 구분하여 계산하였다(Summerell 등, 2003).

그 결과 실험에 사용한 붉은색 낱알의 60% 그리고 갈색 낱알의 40%가 *F. graminearum*에 감염된 것으로 나타났다. 그러나, 건전한 낱알은 1.7%만이 *F. graminearum*에 감염되어 있었다. 이 결과는 건전해 보이는 종자라고 하더라도 옥수수의 낱알 내부에 *F. graminearum*이 감염되어 있음을 보여주고 있으며, 변색된 붉은색 낱알과 갈색 낱알의 경우 높은 수준으로 *F. graminearum*에 감염되어 있음을 보여주었다(Fig. 1).

붉은색 낱알은 높은 곰팡이 종 감염 빈도를 보였는데, *F. graminearum* 이외 *Fusarium verticillioides* (31.7%), *Fusarium proliferatum* (23.3%)의 빈도가 높았으며, *Fusarium equiseti* (8.3%), *Trichoderma roseum* (8.3%), *Aspergillus* sp. (6.6%), *Penicillium expansum* (3.3%), *Nigrospora oryzae* (1.7%)가 상대적으로 낮은 비율로 검출되었고, 총 7종의 다른 종의 곰팡이가 검출되었다.



**Fig. 1.** Distribution of fungal species collected from heathy, decolorized brown, and decolorized red maize kernels samples. Values shown are based on samples of more than 100 surface sterilized kernels. Abbreviations for fungal species followed: Fg, *Fusarium graminearum*; Tr, *Trichothecium roseum*; Fv, *Fusarium verticillioides*; Fp, *Fusarium proliferatum*; Asp, *Aspergillus* sp.; Fe, *Fusarium equiseti*; No, *Nigrospora oryzae*; Pe, *Penicillium expansum*; Tsp, *Trichoderma* sp.; Vsp, *Verticillium* sp.

**Table 2.** Level of mycotoxins by number of discolored kernel in maize samples

Mycotoxin ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	Number of discolored kernel / 20 g of Maize <sup>a</sup>					
	0	1	3	5	7	10
Ochratoxin	0.6 $\pm$ 0.2 <sup>Ab</sup>	0.8 $\pm$ 0.4 <sup>A</sup>	0.1 $\pm$ 0.2 <sup>A</sup>	0.6 $\pm$ 0.5 <sup>A</sup>	0.4 $\pm$ 0.6 <sup>A</sup>	0.1 $\pm$ 0.1 <sup>A</sup>
Deoxynivalenol	570 $\pm$ 310 <sup>A</sup>	3700 $\pm$ 3170 <sup>BC</sup>	2340 $\pm$ 980 <sup>AB</sup>	2840 $\pm$ 1380 <sup>AB</sup>	2070 $\pm$ 450 <sup>AB</sup>	5090 $\pm$ 1120 <sup>C</sup>
Zearaleone	6.0 $\pm$ 5.2 <sup>A</sup>	79.6 $\pm$ 132.7 <sup>AB</sup>	42.7 $\pm$ 43.0 <sup>AB</sup>	356.8 $\pm$ 319.9 <sup>BC</sup>	473.6 $\pm$ 228.3 <sup>C</sup>	361.7 $\pm$ 161.4 <sup>BC</sup>
Fumonisin	30 $\pm$ 30 <sup>A</sup>	1680 $\pm$ 2650 <sup>A</sup>	3340 $\pm$ 5370 <sup>A</sup>	2310 $\pm$ 2170 <sup>A</sup>	1040 $\pm$ 800 <sup>A</sup>	3850 $\pm$ 1960 <sup>A</sup>
T-2 toxin	1.7 $\pm$ 2.1 <sup>A</sup>	0.0 $\pm$ 0.0 <sup>A</sup>	0.0 $\pm$ 0.0 <sup>A</sup>	0.0 $\pm$ 0.0 <sup>A</sup>	0.0 $\pm$ 0.0 <sup>A</sup>	0.1 $\pm$ 0.2 <sup>A</sup>

<sup>a</sup>The value less than the limit of detection was calculated as the detection limit, ochratoxin (1.9  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ), deoxynivalenol (100  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ), zearalenone (30  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ), fumonisin (190  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ), T-2 (10  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ).

<sup>b</sup>Tukey's test was used to determine significance at the 95% probability level. The same letters in the same row showed no significant difference.

붉은색 낱알보다는 상대적으로 낮은 비율로 갈색 낱알은 *F. graminearum*과 더불어 *T. roseum* (18.3%), *Trichoderma* sp. (15%) 및 *N. oryzae* (10%)의 감염 빈도가 높았으며, 이외에 *F. verticillioides* (5.0%), *F. proliferatum* (1.7%), *P. expansum* (1.7%), *Aspergillus* sp. (1.7)가 낮은 비율로 검출되었고, 총 8종의 다른 종의 곰팡이가 검출되었다.

육안으로 보기에 건전해 보였던 낱알의 경우는 *N. oryzae* (15%)가 가장 높은 빈도로 검출되었으며, *Aspergillus* sp. (8.3%), *F. proliferatum* (6.7%), *P. expansum* (6.7%), *Trichoderma* sp. (3.3%), *F. graminearum* (1.7%), *F. verticillioides* (1.7%), *Verticillium* sp. (1.7%) 등의 곰팡이가 10% 이하로 검출되었다.

한편 건전해 보이는 옥수수 낱알과 변색된 낱알이 서로 다른 비율로 혼합된 경우 독소 함량을 비교하였다. 총 20 g 옥수수 낱알(약 50립) 중 변색된 옥수수 낱알이 1, 3, 5, 10개씩 각각 혼합된 시료에서 6종의 독소 함량을 검출하였고, 대조군으로는 변색이 없이 건전해 보이는 옥수수 낱알을 사용하였다. 실험은 3반복으로 수행하였다. 그 결과 대조군에서 데옥시니발레놀, 제랄레논 그리고 푸모니신이 옥수수의 총량을 kg으로 환산했을 때, 각각 570  $\mu\text{g}$ , 6  $\mu\text{g}$ , 그리고 30  $\mu\text{g}$ 씩 검출되었으며, 특히 변색된 낱알을 혼립 할 경우 더 많은 양의 데옥시니발레놀, 제랄레논 그리고 푸모니신이 검출되었다. 이에 반해 아플라톡신은 검출되지 않았고 오크라톡신 그리고 T-2 독소는 매우 낮은 수준으로 검출되거나 거의 검출되지 않았다(Table 2). 대조군에 비해 변색된 낱알의 혼립양에 비례하여 곰팡이독소가 증가하는 경향을 보이지는 않았는데, 이는 실험에 사용된 각 낱알의 감염정도 차이 때문인 것으로 추측된다.

검출이 확인된 3가지 독소들 중 푸모니신 독소의 경우 대조군과 각 실험군들의 통계학적인 유의성이 없어 차이가 없는 것으로 검정되었다. 그러나, 데옥시니발레놀과 제랄레논의 경우는 변색 낱알을 전혀 섞지 않은 대조군과 비교해 보았을 때 각각 10개립과 5립 이상 혼립 할 경우 통계학적으로 유의한 수준

으로 독소 함량의 차이를 보였다(Table 2). 데옥시니발레놀과 제랄레논은 주로 *F. graminearum*이 생산하는 대표적인 독소로서 앞선 연구 결과에서 검증된 높은 빈도의 *F. graminearum* 곰팡이 감염에 따른 독소 오염 임을 검증한 결과라 할 수 있다.

자연계에서 가장 소량으로 인축에 암을 일으키는 것으로 알려진 아플라톡신은 이번 연구에서 전혀 검출되지 않았다. 아플라톡신은 주로 손상된 곡물에서 높은 농도로 검출되는데 물리적 손상이 없는 곡물에서 분석할 경우 아플라톡신의 함량이 40–80%까지 줄어들 수 있다고 보고되었다(Park, 2002). 또한, 수확 직후에 껍질을 벗긴 옥수수에서 아플라톡신 생성과 곰팡이의 발생이 증가하고 손상된 옥수수에서 아플라톡신 함량이 높다는 연구결과가 보고된 바 있는데(Mora와 Lacey, 1997; Fandohan 등, 2006), 이번 연구에서 사용한 시료의 경우, 수확 후 건조된 옥수수를 폴리프로필렌 자루에 넣어 밀봉된 상태로 저장하여 곤충을 통한 피해를 입거나 혹은 물리적인 충격을 통해 옥수수 낱알이 손상을 입지 않았기 때문에 아플라톡신이 전혀 검출되지 않은 것으로 생각된다. Setarnou 등(1998)은 해충에 의해 10% 이상 손상된 속대를 제거하여 저장하기만 해도 aflatoxin 함량을 감소시킬 수 있다고 하였는데, 옥수수 보관 시 주의를 기울인다면 곰팡이에 의한 독소의 오염을 줄일 수 있을 것이다.

이 연구 결과를 통해 수확 후 변색 또는 손상된 옥수수 낱알이 정상 낱알에 섞여 보관될 경우, 정상낱알에 비해 곰팡이 감염률과 곰팡이독소의 발생이 증가할 수 있음을 예측할 수 있었다. 따라서 옥수수 저장 전 손상되었거나 변색된 작은 낱알을 제거하는 것이 곰팡이독소 오염 감소에 도움이 될 것이다.

이러한 곰팡이독소의 증가는 저장 중에 증가한다는 보고가 많은데, Malone 등(1998)은 옥수수 저장 전 세척을 할 경우 푸모니신 함량을 낮출 수 있다고 보고하였고, Norred 등(1991)은 옥수수 저장 중 암모니아 처리에 의해 푸모니신 함량을 줄일 수 있다고 보고한 바 있다. 또한, Hell (1997)의 보고에 따르면 옥수수를 껍질째 보관하거나 개암나무로 만들어진 저장고에 저장

하였을 때는 1.3%로 낮은 감염률을 나타내 저장 방법이 곰팡이 발생에 큰 영향을 미친다고 하였다. 앞으로 옥수수의 저장 방법 개선에 따른 곰팡이 발생빈도와 독소 검출에 관한 연구가 필요한 것으로 판단된다.

## 요 약

옥수수는 세계에서 가장 많이 재배되는 곡물 중 하나이며 중요한 식량자원이다. 생산된 옥수수는 수확 및 건조 후에 저장되는데 저장 옥수수의 질을 떨어뜨리는 곰팡이 감염 및 곰팡이 독소는 생육 시기부터 저장기간 내내 발생한다. 이 연구는 우리나라에서 2015년 수확하여 1년정도 저장한 옥수수를 대상으로 옥수수의 크기와 변색 정도에 따른 감염 곰팡이 종과 독소 검출을 조사하였다. 데옥시니발레놀과 제랄레논이 아플라톡신, 오크라톡신, 푸모니신, 티투독소보다 상대적으로 높은 수준으로 검출되었는데 특히, 데옥시니발레놀 경우 작은 낱알에서  $1200 \pm 610 \mu\text{g}/\text{kg}$ 로 검출되었는데, 이는 이보다 큰 낱알에서 검출된 독소 함량에 비해 4배에서 6배까지 많은 양이 검출되었으며, 변색된 낱알의 혼입으로 인해 데옥시니발레놀, 제랄레논 및 푸모니신의 함량이 증가하였다. 곰팡이의 경우 *Fusarium*, *Aspergillus* 그리고 *Penicillium* 속 등 총 10종이 분리되었다. 이 중 *F. graminearum*은 정상적인 낱알에 비해 변색된 붉은색 낱알과 갈색 낱알에서 60%와 40%로 높은 빈도로 검출되었다. 따라서 수확 후 변색 또는 손상된 옥수수 낱알이 정상 낱알에 섞여 보관될 경우, 손상된 낱알에 오염되어 있던 병원균이 정상 낱알을 감염하여 진균 독소의 발생이 증가할 수 있으므로 오염 낱알의 제거가 곰팡이 및 독소의 오염 예방에 도움이 될 것이다.

## Conflicts of Interest

The authors declare that they have no competing and commercial interests in this work.

## Acknowledgement

This work was carried out with the support of "Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project No. PJ01119403)" Rural Development Administration, Republic of Korea.

## References

Blandino, M., Reyneri, A., Vanara, F. and Ferreo, C. 2004. Control of

mycotoxins in corn from harvesting to processing operation. In: Proceeding of International Quality Grains Conference, pp. 19-22. Luglio, Indianapolis, IN, USA.

Fandohan, P., Ahouansou, R., Houssou, P., Hell, K., Marasas, W. F. and Wingfield, M. J. 2006. Impact of mechanical shelling and dehulling on *Fusarium* infection and fumonisin contamination in maize. *Food Addit. Contam.* 23: 415-421.

Hell, K. 1997. Factors contributing to the distribution and incidence of aflatoxin producing fungi in stored maize in benin. Ph.D. dissertation. University of Hannover, Germany. 182 pp.

Malon, B. M., Richard, J. L., Romer, T., Johansson, A. S. and Whitaker, T. 1998. Fumonisin reduction in corn by cleaning during storage discharge. In: Cereals 98, Proceedings of the 48th Australian Cereal Chemistry Conference, pp. 372-379. Royal Australian Chemical Institute, North Melbourne, Australia.

Marin, S., Magan, N., Ramos, A. J. and Sanchis, V. 2004. Fumonisin-producing strains of *Fusarium*: a review of their ecophysiology. *J. Food Prot.* 67: 1792-1805.

Mirocha, C. J., Abbas, H. K., Windels, C. E. and Xie, W. 1989. Variation in deoxynivalenol, 15-acetyldeoxynivalenol, 3-acetyldeoxynivalenol, and zearalenone production by *Fusarium graminearum* isolates. *App. Environ. Microbiol.* 55: 1315-1316.

Mora, M. and Lacey, J. 1997. Handling and aflatoxin contamination of white maize in Costa Rica. *Mycopathologia* 138: 77-89.

Norred, W. P., Voss, K. A., Bacon, C. W. and Riley, R. T. 1991. Effectiveness of ammonia treatment in detoxification of fumonisin-contaminated corn. *Food Chem. Toxicol.* 29: 815-819.

Park, D. L. 2002. Effect of processing on aflatoxin. *Adv. Exp. Med. Biol.* 504: 173-179.

Setarnou, M., Cardwell, K. F., Schulthess, F. and Hell, K. 1998. Effect of insect damage to maize ears, with special reference to *Mussidia nigrivene* Ua (*Lepidoptera: Pyralidae*), on *Aspergillus flavus* (*Deuteromycetes: Monoliales*) infection and aflatoxin production in maize before harvest in the Republic of Benin. *J. Econ. Entomol.* 91: 433-438.

Summerell, B. A., Salleh, B. and Leslie, J. F. 2003. A utilitarian approach to *Fusarium* identification. *Plant Dis.* 87: 117-128.

Sutton, J. C. 1982. Epidemiology of wheat head blight and maize ear rot caused by *Fusarium graminearum*. *Can. J. Plant Pathol.* 4: 195-209.

Turner, P. C., Moore, S. E., Hall, A. J., Prentice, A. M. and Wild, C. P. 2003. Modification of immune function through exposure to dietary aflatoxin in Gambian children. *Environ. Health Perspect.* 111: 217-220.

WorldCornProduction.com <https://www.worldcornproduction.com/>  
Wu, F. 2007. Measuring the economic impacts of *Fusarium* toxins in animal feeds. *Anim. Feed Sci. Technol.* 137: 363-374.

Zachariasova, M., Hajslova, J., Kostelanska, M., Poustka, J., Krplova, A., Cuhra, P. and Hochel, I. 2008. Deoxynivalenol and its conjugates in beer: a critical assessment of data obtained by enzyme-linked immunosorbent assay and liquid chromatography coupled to tandem mass spectrometry. *Anal. Chim. Acta* 625: 77-86.