

곰팡이 독소 오염 경감을 위한 옥수수 재배법

Corn Cultivation to Reduce the Mycotoxin Contamination

김양선 · 강인정 · 신동범 · 노재환 · 정진교 · 허성기 · 심형권*

농촌진흥청 국립식량과학원 재배환경과

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

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

***Corresponding author**

Tel: +82-31-695-0667

Fax: +82-31-695-0095

E-mail: shimhk@korea.kr

Received May 11, 2017

Revised May 17, 2017

Accepted May 17, 2017

The effects of insecticide and fungicide treatment were investigated to reduce mycotoxin contamination of corn (*Zea mays* L.) seeds. Deoxynivalenol and zearalenone contents were reduced in the treated seeds, but aflatoxin, ochratoxin A, fumonisin, and T-2 toxin were not effective by chemical treatments. The chemical treatment did not affect the growth of saprophyte, but inhibited the pathogenic fungi such as *Fusarium verticillioides*, *F. graminearum* and *F. equiseti*. Mycotoxin contents at different harvesting time were compared. As the harvest time was delayed, both levels of deoxynivalenol and zearalenone and frequency of *Fusarium* spp. increased. However, the major nutrient contents of corn seeds were not affected by harvesting period. These results show that chemical treatments are necessary to reduce the fungal contamination of corn and harvest without delay is important as well.

Keywords: Chemical treatment, Corn, Cultivation, *Fusarium* sp., Mycotoxin

서론

우리나라 옥수수 재배면적은 2015년도에 15,356 ha로 옥수수는 벼, 콩, 보리, 고구마, 감자 다음으로 많이 재배하는 작물이다. 주요 재배지역은 강원도로 5,403 ha으로, 많이 재배하여 가장 넓고 충북, 전남, 경기도 순으로 재배를 많이 하고 있다. 2015년도 총 생산량은 78,243톤으로 강원도에서 가장 많이 생산되고 있으나 10 a당 생산량은 충북이 671 kg으로 강원도의 540 kg에 비해 월등히 많다. 충북지역이 강원도보다 단위면적당 생산량이 많은 이유는 강원도는 주로 산간지역에서 재배하

고 대부분 곡식용으로 생산되는데 반하여 충북에서는 비교적 완만한 구릉지에서 재배하고 주로 풋옥수수용으로 생산되고 있기 때문이다.

우리나라에서 옥수수에 발생하는 것으로 보고된 병은 바이러스병이 3종, 세균병이 1종인데 반하여 곰팡이에 의한 병은 *Exserohilum turcicum*을 비롯하여 13종이 보고되어 있다. 이 중에서 이삭썩음병을 일으키는 *F. graminearum*과 *F. verticillioides*는 낱알에서 증식하면서 생육기간부터 수확 후 저장기간에 데옥시니발레놀(DON), 니발레놀(NIV), 푸모니신(FUM), 제랄레논(ZEN) 등 곰팡이독소를 생성하기 때문에 감염된 곡식을 섭취하였을 때 인체에 독성을 나타낸다.

옥수수에 의한 곰팡이독소 오염은 특히 저 개발국가에서 문제가 되고 있다. Suleiman과 Rosentrater (2015)에 의하면 아프리카 탄자니아에서는 식량의 80%를 옥수수에 의존하는데 수

Research in Plant Disease

pISSN 1598-2262, eISSN 2233-9191

www.online-rpd.org

확 후 손실이 30–40%에 달하며, 아플라톡신(AFT), FUM, 오크라톡신(OTA)에 오염된 옥수수로 인한 피해가 매우 심각하다고 하였다.

최근 우리나라에서 옥수수를 이용한 차, 음료 등의 개발 등 활용분야가 확대되고 있으나, 국내에서 생산되고 있는 옥수수 곡식의 품질이 좋지 않고 독소가 검출되고 있어 활용도가 높지 않은 실정이다. 사료용 옥수수의 경우 수입과정에서 독소 함량을 조사하여 기준 이상의 독소가 함유되었을 경우 통관 과정에서 제거되기 때문에 적절히 관리가 되었지만 국내생산 옥수수의 경우 독소함량을 조사한 후 소비자에게 공급하는 시스템이 잘 갖추어져 있지 않아서 오염된 곡물이 식용이나 사료용으로 활용될 가능성이 높았다.

그 동안 연구에서 국내 생산된 옥수수의 곰팡이독소 함량을 조사한 바에 의하면, 옥수수 사료 중 아플라톡신(AFT) 함량이 가장 높았으며, FUM, DON, NIV, ZEN 순으로 나타났다(Jung, 2008). 서산, 광주, 당진, 문경, 춘천지역에서 수집한 시판 옥수수에서는 뷰베리신(BEA), 에니아틴(ENs) 등 신종 독소가 발견되었는데, 당진 127 µg/g, 제주 시료의 BEA 농도는 149 µg/g이었다(Song 등, 2006). 2008년 식약처 조사에 의하면 국내에 유통 중인 옥수수와 옥수수분에서 FUM이 검출되었는데 건조옥수수 12점의 시료 중 3점의 시료에서 0.122–0.268 µg/g, 옥수수분 12점의 시료 중 5점의 시료에서 0.0941–0.440 µg/g, 사료용 옥수수에서 최대 224 µg/g이 검출되었다고 하였다. 한편 강원 지역에서 수집한 옥수수 15점의 시료 중에서 곰팡이독소가 검출되었는데 DON은 4점의 시료에서 261–1530 µg/g, NIV는 1점의 시료에서 1364 µg/g, ZEN은 4점의 시료에서 13.5–385.9 µg/g, FUM B1 (FB1)은 12점의 시료에서 24.1–3091.8 µg/g이 검출되었다(Lee 등, 2010).

미국의 경우 옥수수 재배 및 저장 중 곰팡이독소 함량을 줄이기 위한 기술 개발이 활발하게 이루어지고 있다. Brown 등(2003)과 Cleveland 등(2003)은 생약제제 등을 이용한 생물적 방제, 저항성 마커 이용 등 종합방제 기술을 활용하여 독성 곰팡이인 *Aspergillus flavus*, *Fusarium* spp. 등의 감염률을 줄일 수 있다고 하였다. 또한 Dowd (2001)와 Ostry 등(2010)은 Bt 옥수수와 non-Bt 옥수수 재배 시 곰팡이 독소 함량 비교 실험에서 Bt 옥수수에서 FUM과 DON, ZEN 함량이 매우 낮았다고 보고하였다. 한편 Cavaglieri 등(2004)은 옥수수의 근권 내생균을 이용한 *Fusarium verticillioides* 균에 대한 생물적 방제 실험에서 *Azotobacter armeniacus* 균이 효과가 있다고 보고하였다. Dowd (2003)은 옥수수 재배 중과 수확 전에 해충 방제를 통하여 곰팡이독소 함량을 줄일 수 있으며 해충이 재배 중 또는 저장 중 곰팡이 발생에 영향을 준다고 보고하였다.

본 연구에서는 옥수수에서 곰팡이독소의 생성을 억제하기 위해서 옥수수 재배 시 약제처리와 수확시기에 따른 곰팡이 발생을 모니터링하고 독소함량을 조사함으로써 곰팡이독소의 생성을 억제할 수 있는 재배방법을 찾고자 하였다.

재료 및 방법

약제처리에 의한 옥수수 곰팡이 발생 경감 시험. 재배 중 약제처리에 의한 곰팡이 발생 경감 시험을 위해 강원도 정선군 여량면 고양리 소재 농가 포장에 임차하여 시험을 수행하였다. 시험에 사용한 옥수수 품종은 '강일옥'이며 파종일은 5월 27일이었다. 재배방법은 이랑 간격을 70 cm, 주간거리를 25 cm로 하여 구멍 당 2립씩 파종하였고 시비는 현지 포장의 토양 환경이 자갈이 많이 포함되어 있는 사질토양으로 선상지에 해당되는 척박한 토질이어서 벼 복합비료(N-P₂O₅-K₂O: 21-17-17)를 이용하여 전량 기비로 처리하여 재배하였다. 처리 내용은 약제처리구는 살균제+살충제 처리, 살충제 처리, 살균제처리구로 하였고 무처리구와 곰팡이 발생 정도와 곰팡이독소 함량을 비교하였다. 살충제는 옥수수 조명나방에 사용할 수 있도록 등록되어 있는 델타메트린유제를 1000배액으로 희석하여 7월 13일에 1차 처리를 하였고, 7월 20일에 2차 처리를, 8월 10일에 3차 처리를 하였다. 살균제는 전용 약제가 등록되어 있지 않아서 맥류 붉은곰팡이병에 등록되어 있는 캡탄수화제를 처리하였는데 500배액으로 희석하여 1차 처리는 살충제 3차 처리일인 8월 10일에 처리하였고, 2차 처리는 8월 25일에 하였다. 시험구배치는 난괴법 3반복으로 하였다. 수확시기에 따른 곰팡이독소 발생 정도를 조사하기 위해 1차 수확은 9월 7일에 하였고, 2차 수확은 9월 29일에 하였고, 3차 수확은 10월 19일에 하여 약 20일 간격으로 수확한 이삭은 껍질을 깬 후 그늘에 자연 건조하여 수분함량을 13-14%로 맞추어 곰팡이 발생 정도 조사와 곰팡이독소 함량 분석을 수행하였다.

옥수수 오염 곰팡이 조사. 옥수수 이삭을 탈곡하여 차아염소산나트륨 1% 용액에 2분간 표면소독을 실시하고, 여과지 2매를 간 9 cm 지름의 페트리접시에 12립씩 일정 간격으로 놓고 흐르지 않을 정도의 멸균수를 공급하여 습실처리 하였다. 근자외선 등을 12시간 간격으로 비추는 포자배양상자에서 1주일간 포자 형성을 유도하여 종자 표면에 형성된 곰팡이의 형태적 특징을 해부현미경으로 조사하여 동정하였다. 형태적으로 동정이 어려운 곰팡이는 균을 단포자분리하여 배양한 다음 ITS 영역 염기서열 분석을 하고 그 염기서열을 미국 국립생물정보센터(NCBI)의 유전자은행 정보와 비교하여 동정하였다.

곰팡이 독소 검출. 옥수수 종자를 샘플 당 20 g을 취하여 마쇄한 다음 deoxynivalenol은 물에, AFT, 오크라톡신(OTA), FB, ZEN, T-2독소는 메탄올에 현탁하여 여과한 다음 여과액을 ELISA 키트(Romer Co., USA)를 이용하여 반응시키고 StatFax 4700 리더기(Awareness Technology Inc., USA)를 이용하여 농도를 측정하였다.

결과 및 고찰

약제 처리 및 수확시기 별 독소함량의 차이. 약제처리에 의한 곰팡이독소 함량 조사는 수확시기를 달리하여 수확한 이삭을 자연 건조한 다음 탈곡하여 ELISA 키트를 이용하여 수행하였다. 그 결과 수확 시기가 빠를수록 약제처리에 의한 DON의 경감 효과가 컸는데 1차 수확 종자에서는 살균제+살충제 처리구의 DON 함량이 1.040 mg/kg으로 무처리의 3.340 mg/kg에 비해 50% 이상 감소하였다(Table 1). 그러나 3차 수확 종자의 경우 DON 함량은 약제처리 시험구와 무처리 시험구 수확 종자의 DON 함량간 차이는 1차 수확 종자에 비해 크지 않았다. 한

Table 1. Deoxynivalenol concentration by chemical treatment and harvesting time during corn cultivation

Treatments	Concentration of Deoxynivalenol (mg/kg)		
	1st ^a	2nd ^b	3rd ^c
Fungicides and Insecticides	1.040±0.3 ^{Ad}	8.623±3.8 ^{BCD}	12.660±2.5 ^{DE}
Insecticides	5.091±3.3 ^{AB}	8.617±4.9 ^{BCD}	13.470±3.5 ^{DE}
Fungicides	2.660±2.2 ^{AB}	5.950±3.8 ^{ABC}	14.366±4.5 ^{DE}
Control	3.340±2.9 ^{AB}	11.830±3.5 ^{CDE}	16.506±5.1 ^E

^aThe first harvest of corn at Sep. 7, 2016.

^bThe second harvest of corn at Sep. 29, 2016.

^cThe third harvest of corn at Oct. 19, 2016.

^dDuncan's test was used to determine significance at the 95% probability level. The same letters showed no significant difference.

Table 2. Zearalenone concentration depending on chemical treatment and harvesting time during corn cultivation

Treatment	Concentration of Zearalenone (µg/kg)		
	1 ^a	2 ^b	3 ^c
Fungicides and Insecticides	22.6±9.8 ^{Ad}	782.2±281.0 ^{AB}	967.4±720.7 ^{AB}
Insecticides	297.9±380.5 ^A	809.4±333.5 ^{AB}	2307.7±1146.5 ^{CD}
Fungicides	164.1±284.2 ^A	870.5±619.1 ^{AB}	1574.8±1074.4 ^{BC}
Control	133.3±146.1 ^A	2039.1±648.8 ^{CD}	2898.6±428.25 ^D

^aThe first harvest of corn at Sep. 7, 2016.

^bThe second harvest of corn at Sep. 29, 2016.

^cThe third harvest of corn at Oct. 19, 2016.

^dDuncan's test was used to determine significance at the 95% probability level. The same letters showed no significant difference.

편 수확 시기 간에는 무처리구에서도 3차 수확 종자의 DON 함량이 1.651 mg/kg으로 1차 수확 종자의 DON 함량에 비해 매우 높은 농도로 검출되었다. ZEN 함량은 DON과 마찬가지로 약제 처리시 독소 경감 효과가 높게 나타났다(Table 2). 2차 수확 종자의 ZEN 함량은 무처리시 2039.1 µg/kg로 검출되었고, 살균제와 살충제를 함께 처리한 종자에서는 782.2 µg/kg으로 검출되어 약 2.6배 감소 효과를 보였다. 1차, 2차, 3차 수확 종자에서 무처리의 경우보다 살균제와 살충제를 함께 처리했을 때 독소의 검출이 적게 나타났다. 다만, 1차와 3차에 수확한 종자의 독소 검출 결과를 볼 때, 살충제나 살균제 단독으로 처리했을 경우나 무처리의 경우 ZEN 함량의 차이를 볼 수 없었는데, 살충제나 살균제 단독 처리시, 곰팡이 오염을 완전히 막을 수 없기 때문으로 보인다. 곰팡이 독소의 수확시기에 따른 함량은

Table 3. Mycotoxin concentration depending on chemical treatment and harvesting time during corn cultivation

Treatment	Concentration of Fumonisin (µg/kg)		
	1 ^a	2 ^b	3 ^c
Fungicides and Insecticides	210±190 ^{Cd}	110±90 ^{ABC}	40±70 ^{AB}
Insecticides	0 ^A	0 ^A	20±20 ^A
Fungicides	0 ^A	60±70 ^{ABC}	150±160 ^{ABC}
Control	190±100 ^{BC}	0 ^A	0 ^A
Treatment	Concentration of Ochratoxin A (µg/kg)		
	1 ^a	2 ^b	3 ^c
Fungicides and Insecticides	0 ^A	0 ^A	70±120 ^A
Insecticides	1170±210 ^B	30±60 ^A	100±100 ^A
Fungicides	0 ^A	0 ^A	30±60 ^A
Control	0 ^A	0 ^A	170±290 ^A
Treatment	Concentration of Aflatoxin (µg/kg)		
	1 ^a	2 ^b	3 ^c
Fungicides and Insecticides	0 ^A	300±300 ^{AB}	200±350 ^{AB}
Insecticides	370±320 ^{AB}	270±250 ^{AB}	0 ^A
Fungicides	270±380 ^{AB}	0 ^A	0 ^A
Control	670±250 ^B	100±170 ^{AB}	1270±780 ^C
Treatment	Concentration of T-2 toxin (µg/kg)		
	1 ^a	2 ^b	3 ^c
Fungicides and Insecticides	0	0	0
Insecticides	0	0	0
Fungicides	0	0	0
Control	0	0	0

^aThe first harvest of corn at Sep. 7, 2016.

^bThe second harvest of corn at Sep. 29, 2016.

^cThe third harvest of corn at Oct. 19, 2016.

^dDuncan's test was used to determine significance at the 95% probability level. The same letters showed no significant difference.

무처리구의 경우 1차 수확 종자의 ZEN 함량이 133.3 µg/kg인 데 비해 3차 수확 종자의 독소 함량이 2898.6 µg/kg으로 약 20 배 이상 함량이 높게 나타났다. ZEN 함량이 9월 중순 이후 급격히 증가한 이유는 9월 중순 이후 강우에 의해 이들 곰팡이 발생이 급격히 증가한 것이 원인이라고 생각된다.

Yoshida 등(2008)은 붉은곰팡이병 방제약제인 thiophanate-methyl을 보리 개화 30일 이후에 처리하였을 경우 병 방제효과는 없더라도 NIV과 DON이 축적되는 것을 줄일 수 있다고 하였다. 밀의 경우에도 개화기부터 10일 간격으로 방제약제 처리 시기별로 방제효과가 달랐지만, 개화 20일 이후에 약제를 처리했을 때는 병 발생의 감소 없이 독소 생성을 줄일 수 있었고 개화기에 약제를 처리했을 때만 붉은곰팡이병 발생을 줄일 수 있다고 하였다(Yoshida 등, 2012). 이 연구결과, 옥수수 수확의 경우에도 살균제와 살충제의 동시 처리에 의해 DON 등 곰팡이독소 생성이 억제되었다고 할 수 있다. 또한, DON과 ZEN의 함량을

줄이기 위해서는 약제방제와 더불어 적기 수확이 중요한 것으로 나타났다(Table 1, 2). 수확시기가 늦은 경우 곰팡이독소 함량이 높게 나타난 이유는 9월 중순 이후 강우와 태풍으로 인하여 옥수수 이삭이 달려있는 채로 곰팡이의 발생이 증가하였기 때문으로 생각된다. 기후변화로 인하여 우리나라의 장마가 점차 늦어지고 태풍도 가을에 주로 발생하기 때문에 옥수수 수확 시기는 곰팡이독소 생성에 절대적인 영향을 미치는 요인이라고 생각된다.

한편, 곰팡이독소 중 OTA와 AFT는 수확 시기나 약제처리에 의한 경감효과가 나타나지 않았다. 또한 T-2 toxin은 전 기간에 걸쳐 전혀 발생하지 않았다(Table 3). 이와 같이 약제 처리에 의한 독소 경감효과가 나타나지 않은 이유는 이들 곰팡이독소 발생 정도가 매우 낮거나 약제가 이들 곰팡이독소 생성에 관여하는 곰팡이들에 대한 방제효과가 나타나지 않았기 때문으로 생각된다.

Table 4. Fungal occurrence (%) of corn depending on harvesting time of corn

Treatment	Fungal detection rate of 1 st harvested seed (%)									
	F.p.	F.v.	F.g.	F.s.	N.o.	P.e.	Cl.c.	A.a.	A.sp.	Ph.sp.
F ^I ^a	0.9	0	7.4	0	5.6	0	0	0	0	0
I ^b	0.9	0.9	8.3	0	6.5	0.9	2.8	0	0	0
F ^c	0.9	0	2.8	1.9	17.6	7.4	4.6	0	0.9	0
C ^d	1.9	0	11.1	0	12.0	1.9	0.9	0.9	0	1.9

Treatment	Fungal detection rate of 2 nd harvested seed (%)																
	F.v.	F.g.	F.s.	F.e.	F.p.	V.sp.	Co.c.	N.o.	Ph.sp.	Td.sp.	Tt.sp.	Ce.sp.	G.sp.	Cl.c.	P.e.	A.sp.	H.sp.
F ^I ^a	1.9	13.0	0.9	0	0.9	0.9	0.9	9.2	2.8	2.8	0	1.9	13.9	0	0	0	0
I ^b	6.5	16.7	4.6	0	0.9	1.85	0	15.7	0.9	2.8	0	7.4	6.5	1.9	9.2	1.9	0
F ^c	3.7	16.7	0.9	0	0	1.85	0	5.6	0.9	19.4	1.9	1.9	15.7	0	7.4	5.6	0
C ^d	8.3	23.1	6.5	4.6	0.9	6.5	0	17.6	0	3.7	0	7.4	7.4	1.9	4.6	16.7	17.7

Treatment	Fungal detection rate of 3 rd harvested seed (%)																	
	F.v.	F.g.	F.s.	F.e.	F.p.	V.sp.	Co.c.	N.o.	Td.sp.	Tt.sp.	Ce.sp.	G.z.	Cl.c.	P.e.	A.sp.	B.sp.	E.p.	
F ^I ^a	7.4	18.5	6.5	0.9	0	4.6	0.9	13.0	4.6	5.6	13.9	5.6	0.9	3.7	0.9	0.9	0.9	
I ^b	4.6	30.6	15.7	1.9	0	1.9	0	5.6	1.85	0.9	14.8	8.3	0	3.7	0	0	0	
F ^c	6.5	22.2	8.3	0.9	3.7	1.9	0	7.4	0.92	23.1	0.9	3.7	0	0.9	0	0	0	
C ^d	18.5	39.8	14.8	5.6	1.9	2.8	0	14.8	0.92	27.8	2.8	13.9	0	0	0	0	0.9	

^aFungicides and Insecticides.

^bInsecticides.

^cFungicides.

^dControl.

*F.v.: *Fusarium verticillioides*, F.p.: *Fusarium proliferatum*, F.g.: *Fusarium graminearum*, F.s.: *Fusarium semitectum*, F.e.: *Fusarium equiseti*, V.sp.: *Verticillium* sp., Co.c.: *Corynespora cassicola*, N.o.: *Nigrospora oryzae*, Ph.sp.: *Phoma* sp., Td.sp.: *Trichoderma* sp., Tt.sp.: *Trichothecium roseum*, Ce.sp.: *Cephalosporium* sp., G.z. *Giberella zeae*. Cl.c.: *Cladosporium cladosporioides*, P.e.: *Penicillium expansum*, A.sp.: *Aspergillus* spp., H.sp.: *Humicola* sp., E.p.: *Epicoccum purpurascens*, B.sp.: *Bipolaris* sp.

약제 처리 및 수확시기 별 곰팡이 발생 차이. 독소 생성 *Fusarium*속 곰팡이의 경우 약제처리 후 곰팡이 발생이 무처리 에 비해 감소하였다. 1차 수확시료의 경우 무처리구 종자의 *F. graminearum* 검출률이 11.1%인데 비해 약제 처리구 종자의 경우 2.8-8.3%로 낮았다(Table 4). 2차, 3차 수확 시의 경우에도 무처리구의 종자에서 각각 23.1%, 39.8%의 검출률을 나타낸것 에 비해 약제 처리구 종자에서는 그보다 낮은 검출률을 나타냈 다(Table 4). 그러나 약제처리에 의한 곰팡이 발생 경감효과 보 다는 수확 시기를 늦춤에 따라 곰팡이 발생 증가율이 더욱 크 기 때문에 적기 수확이 곰팡이독소 경감에 더욱 효과적인 방법 이라고 생각된다.

한편 수확 시기에 따라 옥수수 주요 영양성분이 어떻게 다른 지 조사하였는데 조섬유의 함량이 수확 시기가 늦어질수록 약 간 증가하였고 조회분 함량은 약간 감소하는 경향이 나타났을 뿐 다른 영양성분의 차이는 나타나지 않았다(Table 5).

본 연구결과를 바탕으로 옥수수 진균독소 오염을 방지하기 위한 재배관리는 다음과 같은 방법으로 처리할 것을 제안한 다. (1) 재배 중 해충의 피해를 최소화 해야 할 것이다. 적기에 살 충제 처리할 것을 제안한다. (2) 곰팡이 약제 방제를 반드시 수 행해야 할 것이다. 재배 중의 곰팡이 침입, 특히 *Fusarium* sp.와 *Aspergillus* sp.와 같은 곰팡이 침입은 수염을 통하여 이루어 진 다. 수염 형성 시기에 비가 많이 오거나 등의 습한 기후가 계속 되면 곰팡이 약제 방제를 반드시 실시 되어야 할 것이다. (3) 저 항성 품종의 사용이다. 그러나 아직 진균독소에 저항성이 있는 품종을 개발되지 못했기 때문에 앞으로 개발 되어야 할 것이다. (4) 옥수수 성숙 후 바로 수확해야 할 것이다. 우리나라의 경우 대부분의 농가에서는 옥수수 수확을 농장주가 편한 시기에 실

시한다. 수확 시기가 늦어지면 곰팡이 생장에 호 조건이 될 수 있다. 옥수수 재배 시 본 제안을 따를 경우 재배 중의 옥수수 곰팡이독소 오염을 성공적으로 차단할 수 있을 것이다.

요 약

살충제와 살균제 처리가 옥수수의 독소 오염을 경감시키는 데 어떤 역할을 하는지 그 효과를 관찰하였다. 데옥시니발레 논(DON)과 제탈레논(ZEN)은 약제처리시 높은 경감효과를 보 였으나, 아플라톡신(AFT), 오크라톡신(OTA), 푸모니신(FUM)과 티-2(T-2 toxin)은 약제처리에 의한 효과가 없었다. 약제처리는 *Fusarium verticillioides*, *F. graminearum*, 그리고 *F. equiseti* 같 은 병원성 곰팡이의 생장을 억제하는 것으로 나타났다. 옥수수 수확 시기에 따른 곰팡이 독소의 검출량을 비교하였는데, 수 확시기가 늦어질수록 DON과 ZEN의 검출량이 증가하였고, *Fusarium* 속의 병원균 또한 높은 함량으로 검출되었다. 옥수 수 종자의 주요 영양성분은 수확 시기에 따라 영향을 받지 않 는 것으로 나타났다. 본 연구결과는 옥수수의 곰팡이 오염을 줄이기 위해, 살균제와 살충제의 약제처리가 필요하며 수확시 기를 늦추지 않는 것이 중요하다는 것을 밝혀냈다.

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

- Brown, R. L., Chen, Z. Y., Menkir, A. and Cleveland, T. E. 2003. Using biotechnology to enhance host resistance to aflatoxin contamination of corn. *Afr. J. Biotechnol.* 2: 557-562.
- Cavaglieri, L. R., Passone, A. and Etcheverry, M. G. 2004. Correlation between screening procedures to select root endophytes for biological control of *Fusarium verticillioides* in *Zea mays* L. *Biol. Control* 31: 259-267.
- Cleveland, T. E., Dowd, P. F., Desjardins, A. E., Bhatnagar, D. and Cotty, P. J. 2003. United States Department of Agriculture-Agricultural Research Service research on pre-harvest prevention of myco-

Table 5. Changes of major nutritional components of corn depending on harvest time

Nutrition (g/100 g)	1 ^a	2 ^b	3 ^c
Moisture	11.2±0.2 ^{Ad}	13.2±0.1 ^B	12.7±0.5 ^B
Crude protein	9.5±0.1 ^B	8.6±0.2 ^A	8.8±0.1 ^A
Crude fat	3.4±0.0 ^A	3.4±0.1 ^A	3.4±0.1 ^A
Crude fiber	2.9±0.2 ^B	2.1±0.1 ^A	3.4±0.6 ^B
Crude ash	1.8±0.0 ^C	1.5±0.0 ^B	1.4±0.0 ^A
Carbohydrates	74.1±0.3 ^A	73.4±0.1 ^A	73.7±0.6 ^A

^aThe first harvest of corn at Sep. 7, 2016.

^bThe second harvest of corn at Sep. 29, 2016.

^cThe third harvest of corn at Oct. 19, 2016.

^dDuncan's test was used to determine significance at the 95% probability level. The same letters in a line showed no significant difference.

- toxins and mycotoxigenic fungi in US crops. *Pest Manag. Sci.* 59: 629-642.
- Dowd, P. F. 2001. Biotic and abiotic factors limiting efficacy of Bt corn in indirectly reducing mycotoxin levels in commercial fields. *J. Econ. Entomol.* 94: 1067-1074.
- Dowd, P. F. 2003. Insect management to facilitate preharvest mycotoxin management. *J. Toxicol. Toxin. Rev.* 22: 327-350.
- Jung, I. B. 2008. Studies on tolerance level and reduction of mycotoxins in feed. *Pig Farm to Table* 241: 52-57. (In Korean)
- Lee, S.-H., Son, S. W., Nam, Y. J., Shin, J. Y., Lee, S., Kim, M., Yun, J.-C., Ryu, J.-G. and Lee, T. 2010. Natural occurrence of *Fusarium* mycotoxins in field-collected maize and rice in Korea in 2009. *Res. Plant. Dis.* 16: 306-311. (In Korean)
- Ostry, V., Ovesna, J., Skarkova, J., Pouchova, V. and Ruprich, J. 2010. A review on comparative data concerning *Fusarium* mycotoxins in Bt maize and non-Bt isogenic maize. *Mycotoxin Res.* 26: 141-145.
- Suleiman, R. and Rosentrater, K. 2015. Current Maize Production, Postharvest Losses and the Risk of Mycotoxins Contamination in Tanzania. An ASABE Meeting Presentation. Paper Number: 152189434.
- Song, H. H., Ahn, J. H., Lin, Y. H. and Lee, C. 2006. Analysis of beauvericin and unusual enniatins co-produced by *Fusarium oxysporum* FB1501 (KFCC 11363P). *J. Microbiol. Biotechnol.* 16: 1111-1119.
- Yoshida, M., Nakajima, T., Arai, M., Suzuki, F. and Tomimura, K. 2008. Effect of the timing of fungicide application on fusarium head blight and mycotoxin accumulation in closed-flowering barley. *Plant Dis.* 92: 1164-1170.
- Yoshida, M., Nakajima, T., Tomimura, K., Suzuki, F., Arai, M. and Miyasaka, A. 2012. Effect of the timing of fungicide application on fusarium head blight and mycotoxin contamination in wheat. *Plant Dis.* 96: 845-851.