

발 간 등 록 번 호

11-1471057-000386-01

국민의 내일을 위한 정부혁신

보다 나은 정부

식품 중 곰팡이독소 저감화 매뉴얼



식품의약품안전처

식품의약품안전평가원

발 간 등 록 번 호

11-1471057-000386-01

국민의 내일을 위한 정부혁신

보다 나은 정부

식품 중 곰팡이독소 저감화 매뉴얼



식품의약품안전처

식품의약품안전평가원

본 매뉴얼은 식품 중 곰팡이의 번식 및 곰팡이독소를 저감화 할 수 있는 방법에 대한 연구결과 등을 정리한 것으로 대외적으로 법적 효력을 가지는 것은 아닙니다.

본 매뉴얼은 식약처에서 '15~'17년 진행한 연구사업 『식품 전단계 곰팡이독소 저감화 연구』, 코덱스의 『곰팡이독소 저감화 관련 실행규범』, 타부처의 곰팡이독소 저감화 관련 자료 등을 토대로 곰팡이(독소)를 제어 할 수 있는 방법들에 대해 작성 되었으므로 최신 연구자료 및 코덱스 규범 개정 등에 따라 달리 적용될 수 있습니다.

또한 본 매뉴얼의 곰팡이 저감화 방법들이 모든 식품에 적용되는 사항은 아니며 일부 저감화 내용(식품첨가물 사용량, 방사선조사 등)은 곰팡이독소 저감화 경향을 보여주기 위한 것으로 현재의 식품 기준규격에 준하지 않은 사례가 있을 수 있음을 알려드립니다.

I. 개요	• 1
1. 곰팡이독소(Mycotoxin)란	3
2. 곰팡이독소별 특징 및 독성	5
II. 곰팡이독소 저감화 방법	• 25
1. 물리적 방법(Physical methods)	27
2. 화학적 방법(Chemical methods)	32
3. 생물학적 방법(Microbiological methods)	40
III. 생산·가공 단계별 곰팡이독소 저감화	• 45
1. 수확 전 단계	47
2. 수확 후 단계	49
3. 가공 단계	52
IV. 식품별 곰팡이독소 저감화 연구사례	• 59
1. 고춧가루 및 고추장	61
2. 된장 및 간장	69
3. 곡류가공품	79
V. 참고문헌	• 85

국제적인 개방화 시대로 국가간 교역 증가와 대량생산에 따른 식품의 저장·수송 등으로 곰팡이독소가 새로운 식품위생상의 문제로 대두되고 있다. 우리생활에서도 곰팡이 오염을 피할 수 없고 조금만 방심하면 곰팡이가 생성하는 곰팡이독소의 피해를 입을 수 있기 때문에 곰팡이독소에 대한 예방 및 저감화 방법에 대한 관심이 높아지고 있다. 또한 국민 소득 수준의 향상으로 건강한 삶에 대한 관심과 기대가 높아짐에 따라 안전하고 건강한 먹거리에 대한 기대와 요구가 증대되고 있다.

곰팡이독소는 곡물에 흔히 발생하는 오염물질로 일단 오염된 경우에는 쉽게 제거할 수 없다. 곰팡이독소의 오염 여부 및 시기를 예측하기는 어려우며 농산물의 재배현장 및 보관과정 모두에서 매우 불규칙적으로 독소가 퍼질 수 있다. 소비자에게 판매되기 전에 곰팡이독소의 오염여부를 파악하지 못할 경우 반품, 수출입 금지, 제품회수 등으로 매우 큰 사회적 비용이 발생할 수 있다.

본 매뉴얼은 곡류 및 곡류가공품, 장류, 과일 등에 대한 곰팡이독소의 안전성에 대한 의문들을 해소하기 위해 곰팡이 오염 및 곰팡이독소의 잔류를 감소시킬 여러 가지 방안을 고려하여 소개하고자 노력하였다.



I

개 요

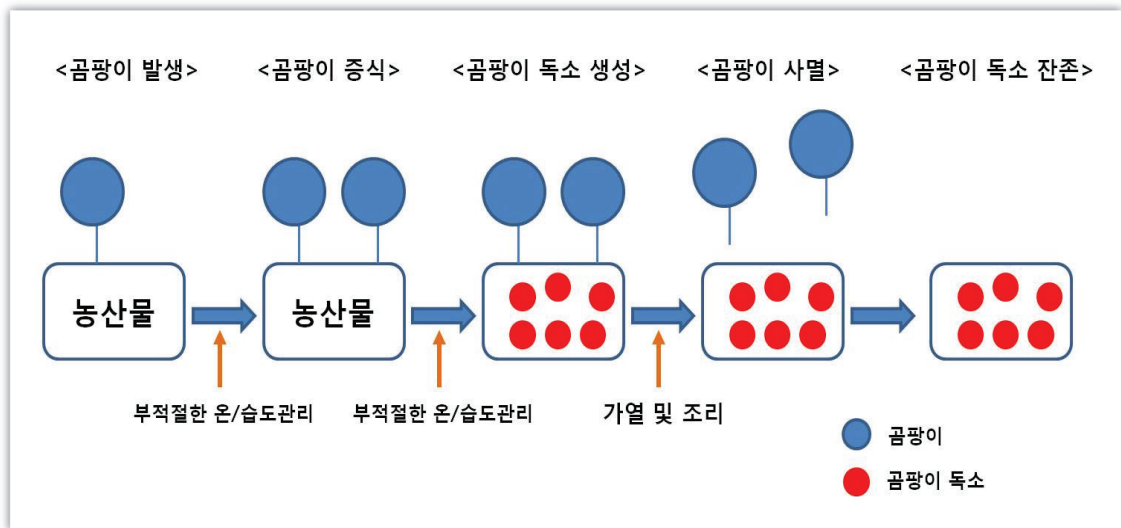
1. 곰팡이독소란?
2. 곰팡이 독소별 특징



1

곰팡이독소(Mycotoxin)란?

곰팡이독소(Mycotoxin)는 곰팡이가 생산하는 2차 대사산물로서 사람과 가축에 질병이나 이상 생리작용을 유발하는 물질이다. ‘곰팡이독소’라는 용어는 곰팡이류를 뜻하는 그리스어 ‘mykes’와 독소를 뜻하는 라틴어 ‘toxicum’에서 유래되었다. 곰팡이독소는 여러 종류의 기질에서 발생하는데, 옥수수과 곡류 등 곰팡이가 번식하기 쉬운 식품에서 주로 발생하며 온도, 습도, 수확 전, 수확 기, 수확 후의 강우량의 정도와 같은 환경적 요인에 의해 영향을 받는다.



대부분의 곰팡이독소는 주로 아스페르길루스(*Aspergillus*)속, 푸사리움(*Fusarium*)속 그리고 페니실리움(*Penicillium*)속 곰팡이에 의해서 만들어진다. 곰팡이독소는 독성인자(virulence factor)로 식품과 사료에 오염되어, 사람과 동물이 섭취하였을 때 여러 가지 유해한 효과를 미친다. 이외에도 식물에 대한 병원성(pathogenicity)을 증가시키고, 박테리아 감염을 억제하거나 균 사이의 화학적 신호 전달, 균 생존성을 장기화시키는 역할을 하기도 한다 (Audenaert et al. 2013; Rasmussen et al. 2005; Santini et al. 2012).

전 세계적으로 쌀, 밀, 옥수수 등은 주요 식량작물로 이용되고 있다. 쌀에서의 곰팡이독소 오염은 밀이나 옥수수의 곰팡이독소 발생률 보다 낮으나 수확기에 잦은 비가 내리거나 할 경우 곰팡이가 침입하여 곰팡이독소를 유발할 가능성이 높다.

구분	종류	주요 대상식품
1	아플라톡신	쌀, 보리, 옥수수, 땅콩, 수수, 면실, 고춧가루 등
2	오크라톡신 A	쌀, 커피, 포도주, 식육제품, 고춧가루, 메주, 장류 등
3	데옥시니발레놀	밀, 옥수수, 보리, 겨, 맥아, 커피, 맥주 등
4	푸모니신	쌀, 옥수수, 보리, 겨, 커피, 맥주 등
5	제랄레논	옥수수, 보리, 귀리, 밀, 쌀, 사탕수수, 맥주, 육류, 우유, 계란 등
6	파툴린	사과, 토마토, 체리, 호도, 아몬드, 밤 등

곰팡이독소는 인간과 동물에게 다양한 만성독성을 나타내는데, 이는 식품 및 사료 안전에 관한 심각한 문제 중 하나이다(Sforza et al. 2006). 식품 및 사료에서 발견되는 곰팡이독소 중 중요한 종류는 아플라톡신, 오크라톡신, 푸모니신, 데옥시니발레놀 및 제랄레논 등이 있다 (Rodrigues and Naehrer2012).

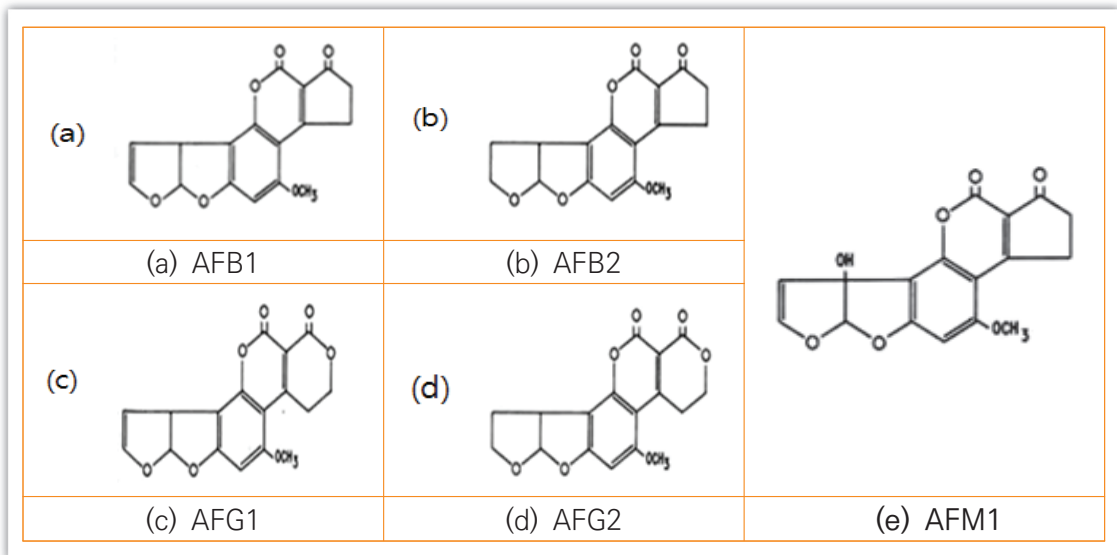
곰팡이독소의 독성은 주로 동물에서 나타난 증상으로부터 보고되었는데, 아플라톡신 섭취와 관련된 만성간세포 암종에서부터 제랄레논에 노출된 포유류에서 관찰되는 하이퍼에스트로겐증 (hyperestrogenism symptoms)까지 다양하다(Bryden 2012; Wu et al. 2014b). 데옥시니발레놀은 돼지가 취약성이 높은 동물인데, 면역독성과 위장염이 특징이다(Hassan et al. 2015). 이처럼 곰팡이독소는 동물 및 인체건강에 미치는 위해성이 크기 때문에 전 세계적으로 규제가 실행되고 있으며, 곰팡이독소 저감화에 관한 연구도 증가하고 있다.

곰팡이독소의 생성 및 식품과 사료오염에 영향을 미치는 요소는 물리적, 화학적, 생물학적 요소로 구분 할 수 있다. 물리적 요소로는 곰팡이독소 생성에 관여 하는 온도, 상대습도, 강우량, 수송 및 저장 중 환경조건 등이 포함된다. 화학적 요소로는 살진균제(살균제)와 비료 사용이 포함되며, 생물학적 요소는 독소생성곰팡이 종류와 군집, 독소생성 곰팡이와 기질사이의 상호작용, 병충해 등이 해당된다(D'Mello 1997; FAO 1991).

2

곰팡이 독소별 특징

1. 아플라톡신(Aflatoxin : AF)



아플라톡신은 두 개의 퓨란과 한 개의 쿠마린 고리로 구성된 디퓨라노쿠마린(difuranocoumarins) 구조이다. 아플라톡신에는 비슷한 구조를 가지는 14가지의 화합물이 포함되는데, 특히 아플라톡신 B1, B2, G1, G2가 독소생성균에 의해서 자연계에서 만들어지는 독소이다. 다른 아플라톡신 이성체들(M1, M2, P1, G2a, B2a)과 아플라톡시콜(alfatoxicol, AFL)은 미생물 또는 동물 신진대사의 산물이다(Akiyama et al. 2001; Lindner 1996).

아플라톡신은 백색에서 황색을 띠는 맛과 냄새가 없는 결정형 고체이다. 또한, 유기용매에는 용해되지만, 물에는 용해되지 않는다. 아플라톡신은 자외선에 의하여 형광을 나타낸다. 이들의 이름에 사용되는 B와 G는 박층크로마토그래피 플레이트 위에서 UV 광선을 받을 경우 만들

어지는 청색 형광과 녹색 형광에서 유래되었다(Sweeney and Dobson 1998). 아플라톡신은 용융점이 높아, 237℃ (AFG2) ~ 320℃ (AFP1)의 고온에서 분해된다(Rustom 1997; Rustom et al. 1993). 그러므로 아플라톡신은 음식을 요리하거나 끓이는 과정 또는 살균 및 알코올 발효과정에서도 분해되지 않고 안정하다.

아플라톡신의 생성 곰팡이

아플라톡신은 아스페르길루스 플라부스(*Aspergillus. flavus*), 아스페르길루스 파라시티쿠스(*A. parasiticus*)와 아스페르길루스 타마리(*A. tamarii*)에 의해 생성된다. 아스페르길루스 플라부스(*A. flavus*)는 아플라톡신 B1과 B2를 생성하지만, 아스페르길루스 파라시티쿠스(*A. parasiticus*)는 아플라톡신 B1, B2, G1과 G2를 모두 생성한다. 자외선을 조사하면 아플라톡신 B1과 B2는 푸른빛 형광색을 띄며, 나머지 두 가지 아플라톡신 G1, G2는 초록빛 형광색을 나타낸다. 젖소는 아플라톡신 B1과 B2를 체내에서 대사하여 우유에서 두 종류의 아플라톡신 M1, M2가 발견된다. 이 사실은 젖소 사료용 옥수수의 아플라톡신 오염문제를 감안할 때 매우 중요하다. 아플라톡신 B1, B2, G1과 G2 생성 곰팡이 종은 모두 *Aspergillus* section Flavi로 분류되는데, 농지에서 분포하는 종은 주로 아스페르길루스 플라부스(*A. flavus*)였으며, 아스페르길루스 파라시티쿠스(*A. parasiticus*)와 아스페르길루스 타마리(*A. tamarii*)는 10% 미만으로 존재하는 것으로 알려져 있다.

아플라톡신의 오염 환경

아플라톡신을 생산하는 균주 중 아스페르길루스 플라부스(*A. flavus*)는 “저장 곰팡이”로 분류되는데, 이 균주는 수분함량이 낮고(16%, 수분 활성도 0.8 이하) 고온(12 ~ 43℃, 최적온도 30℃)의 환경에서 재배된 옥수수에서 생육할 수 있다. 건강한 옥수수의 경우 식물의 자기방어 기작이 아스페르길루스(*Aspergillus*) 종의 증식을 방지하지만 유효수분이 낮은 고온에서 옥수수 낱알성장이 영향을 받으면 식물의 자기방어 기제가 약화되어 곰팡이가 증식할 수 있다.

아스페르길루스 플라부스(*A. flavus*)와 아스페르길루스 파라시티쿠스(*A. parasiticus*)는 추수 전후에 농작물과 곡물(옥수수, 쌀, 귀리, 보리, 수수 등), 유지종자(땅콩, 목화씨, 견과류, 피스 타치오, 아몬드, 헤이즐넛, 카카오, 코코넛 등), 건과일(무화과, 대추, 건포도 등), 향신료(후추, 고춧가루, 쿠민 등)를 감염시킨다(Azzoune et al. 2016; Masood et al. 2015; Riba et al. 2010). 식물이 생육 중인 농지에서 아플라톡신은 특히 가뭄에 노출된 조건 하에서 발생 하며, 저장 중에서도 13% 이상의 습도에서 저장될 경우 수확된 곡물 내에서 발생할 수 있다. 아스페르길루스(*Aspergillus*) 곰팡이는 저장된 식품, 그 중에서도 곡물에서 흔히 발생한다. 아스페르길루스 플라부스(*A. flavus*)는 쌀에 오염된 곰팡이 중에서 자주 보고되고 있으며, 전 세계적으로 발생하고 있다. 이 곰팡이는 여러 가지 부패성 유기물과 관련된 토양에서 부생 생물(saprophyte)로서 존재하며, 상대적으로 낮은 습도와 비교적 넓은 범위의 온도에서 생존 할 수 있다. 쌀은 다른 곡물과 마찬가지로 여러 가지 곰팡이독소 생성균의 감염에 취약하다. 국내에서도 쌀 중 곰팡이독소 허용 기준을 초과하는 경우가 보고되고 있다(Park et al. 2005).

가뭄과 높은 대기온도는 아플라톡신에 재배작물이 오염될 수 있는 주요 환경요인으로 인식된다. 아플라톡신이 발생하는 주요 시점은 개화기 이후 약 20일부터이며, 평균 낮/밤의 온도가 27°C를 넘을 때 첫째, 옥수수가 일반적인 곰팡이 균에 대해 갖는 자연적인 내성이 약화되고 둘째, 상대적으로 더위에 강한 아스페르길루스 플라부스(*A. flavus*)가 옥수수에 발생한 다른 곰팡이 균에 비해 우위를 갖는다. 이 단계에서 곰팡이 포자(아스페르길루스 플라부스(*A. flavus*) 포자는 건조함에 매우 강함)가 바람을 타고 옥수수 수염을 통해 유입될 수 있다. 벌레 (특히 천공성 해충) 또는 새에 의한 물리적인 이삭피해 또한 옥수수 배젖을 조기 건조시키고 아스페르길루스 플라부스(*A. flavus*)의 침투에 노출시키기 때문에 아플라톡신 오염의 주요 요인이 된다. 아플라 톡신에 오염된 옥수수 낱알은 옥수수 한 대 안에서도 극소량에 국한될 수 있다.

아플라톡신 오염은 옥수수 보관과정에서 더욱 많이 발생할 수 있다. 35°C 정도의 평균기온에서 자루 안의 수분이 16% 이상일 경우 옥수수의 “수분 활성도”는 최소 0.80가 되어 아스페르 길루스 플라부스(*A. flavus*)가 발생하기 시작할 수 있다. 아플라톡신은 극소량의 감염된 낱알

에서 최초 발생하지만 곰팡이가 증가하면서 결과적으로 주변의 건강한 낱알까지 빠르게 곰팡이균이 확산된다. 이러한 과정은 창고에 서식하는 벌레에 의해 보다 가속화된다.

아플라톡신의 독성

아플라톡신의 독성은 AFB1>AFG1>AFG2>AFB2 순서로 강하다(Moreno and Kang 1999). 아플라톡신은 간암을 일으키는 가장 강력한 발암물질로 알려져 있으며 동남아시아 일부 국가에서 B형 간염과 함께 높은 간암 발생률에 일조하는 발암물질이다. 2004년 케냐에서 아플라톡신에 오염된 옥수수를 먹고 8명 이상이 한꺼번에 사망했던 사건과 같이 사람 또는 동물이 많은 양의 아플라톡신을 섭취할 경우 심각한 영향을 미칠 수 있다.

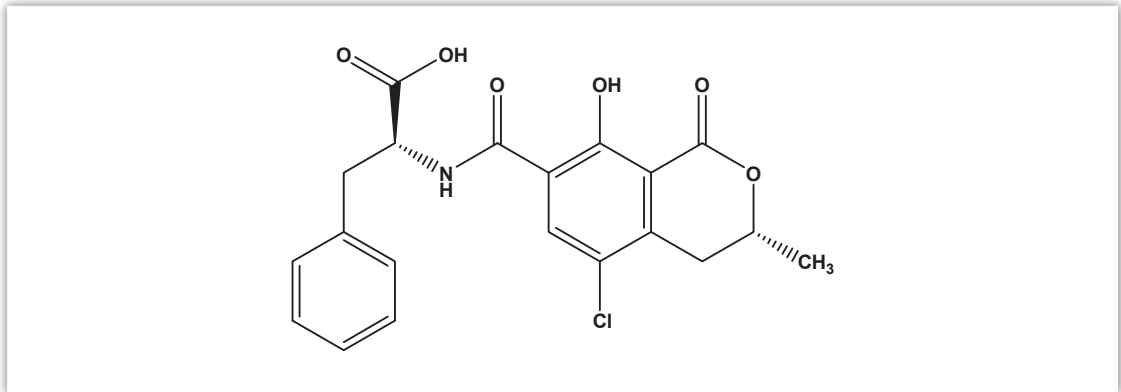
AFB1는 아플라톡신 중 인간에게 가장 강력한 발암물질 중 하나이며, 기형유발, 유전독성 물질이다. 아플라톡신은 여러 종류의 동물에서도 급성 간독성 물질이자 면역억제 물질로 조사되었다(Olsen et al. 1988; Ross et al 1992; Turner et al. 2003).

아플라톡신은 노출 정도와 지속 기간에 따라 급성 또는 만성 독성을 야기할 수 있다(Wogan 1992). 아플라톡신에 노출되는 상황은 오염된 식품을 섭취하는 경우가 대부분이지만, 피부를 통해서도 흡수되기도 하며 공기 중에 있는 포자가 흡입되어 간과 소화기관 손상을 야기하기도 한다.

아플라톡신은 다량으로 섭취할 경우 급성 아플라톡신 중독을 야기할 수 있으며, 출혈, 헛구역질, 설사, 복통, 폐부종, 소화질환, 간독성, 지방간 증상, 간 괴사 및 사망이 일어날 수 있다 (Fung and Clark 2004). 하루에 2~6mg의 아플라톡신을 섭취할 경우 급성 간염과 사망을 일으킬 수 있다(Krishnamachari et al. 1975; Patten 1981). 만성적으로 낮은 수준의 아플라톡신에 노출될 경우, 암발생 가능성, 그 중에서도 간암 발병 가능성이 증가한다(Peraica et al. 1999). 특히, B형 간염 바이러스(HBV)와 AFB1의 공동작용이 활발하기 때문에 HBV 감염이 유행인 지역에서는 발암 가능성이 높다.

5세 이하 아동들이 가장 취약한 인구집단으로, 아플라톡신에 노출될 경우 면역체계에 손상을 입고 왜소증이 발병할 수 있다(Gong et al. 2004). 게다가 유산, 태아기형 (Llewellyn et al. 1977), B형 간염과 C형 간염, 간경변(Krishnamachari et al. 1975)을 야기할 수 있다. 뇌염 및 지방간(Reye et al. 1963), 과시오르코르 (Apeageyi et al. 1996)와 사망(Azziz-Baumgartner et al. 2005)을 동반한 라이 증후군도 발병할 수 있다.

2. 오크라톡신 A (Ochratoxin A :OTA)



오크라톡신 A는 아스페르길루스 오크라세우스(*A. ochraceus*), 아스페르길루스 카르보나리우스(*A. carbonarius*), 아스페르길루스 니거(*A. niger*)는 페니실룸 베루코섬(*Penicillium verrucosum*) 등 다양한 균류에 의해 생성된다. 옥수수에서 오크라톡신 A를 생성하는 주된 곰팡이는 아스페르길루스 오크라세우스(*A. ochraceus*)와 아스페르길루스 니거(*A. niger*) 등으로 보고되고 있다.

최근 유럽에서 진행된 연구에서는 밀과 보리 등의 곡류에서 페니실룸 베루코섬(*P. verrucosum*)이 오크라톡신 A의 주 생성균으로 보고되고 있으며, 종종 아스페르길루스 오크라세우스(*A. ochraceus*)도 발견되고 있는데 페니실룸 베루코섬(*P. verrucosum*)은 곡물의 수확과정이나 건조 및 저장과정에서 오염되는 것으로 알려졌다. 오크라톡신을 생성하는 아스페르길루스속 곰팡이는 여러 종류가 알려져 있다.

아스페르길루스 오크라세우스(*A. ochraceus*)를 비롯하여 아스페르길루스 카르보나리우스(*A. carbonarius*), 아스페르길루스 설푸레우스(*A. sulphureus*), 아스페르길루스 멜루어스(*A. melleus*), 아스페르길루스 스킨로티오룸(*A. sclerotiorum*), 아스페르길루스 알리어커스(*A. alliaceus*), 아스페르길루스 오스티아너스(*A. ostianus*), 아스페르길루스 페트라키스(*A.*

petrakis) 등이 오크라톡신에 오염된 커피 콩, 고추, 건포도에서도 검출이 되고 있어, 이들이 저장된 커피 콩, 코코아 콩, 포도주스, 와인의 오크라톡신 생성 원인 균일 가능성이 높으며, 또한 온난한 기후지역에서 생산되는 쌀의 오크라톡신 오염의 원인 균일 수도 있다.

그동안 오크라톡신을 생성하는 것으로 알려진 몇몇 아스페르길루스(*Aspergillus*) 곰팡이들 중에는 동정이 잘못되었거나 오염 등에 의하여 오크라톡신을 생성하지 않는 것으로 밝혀진 것도 있고 재동정에 의해서 명명이 달라진 종류도 있다. 그 예로서 최초로 오크라톡신 생성 균주로 밝혀진 아스페르길루스 오크라세우스(*A. ochraceus*) 균주들이 아스페르길루스 스티니(*A. steinii*)로 다시 분류되었다.

오크라톡신 A 오염 환경

오크라톡신은 곰팡이에 심하게 오염되고 고온에서 재배된 옥수수에서 검출된다. 옥수수에서 아스페르길루스 오크라세우스(*A. ochraceus*)는 아스페르길루스 플라부스(*A. flavus*) 보다 드물게 발견되는 경향이 있다. 아스페르길루스 오크라세우스(*A. ochraceus*)는 아스페르길루스 플라부스(*A. flavus*)와 유사한 온도 및 습도에서 증식하는 것으로 알려져 있다.

식품과 사료의 오크라톡신 오염 주원인균은 아스페르길루스 알리어커스(*A. alliaceus*), 아스페르길루스 카르보나리우스(*A. carbonarius*), 아스페르길루스 오크라세우스(*A. ochraceus*), 아스페르길루스 스티니(*A. steinii*), 아스페르길루스 웨스터디키에(*A. westerdijkiae*), 페니실룸 노르디쿰(*P. nordicum*)과, 페니실룸 베루코섬(*P. verrucosum*)으로 보고되었다. 이들 곰팡이의 곡물 등 농작물에서의 오염은 수확 전 또는 수확 후 저장 조건과 관계가 깊다.

아스페르길루스 니거(*Aspergillus niger*)는 효소 생산 등 여러 생물공학 분야에서 사용되는 곰팡이인데, 일부 균주가 오크라톡신을 생성하는 것이 알려져 식품용 유기산 및 효소 생산 시 균주 선발 및 사용에 주의해야 한다.

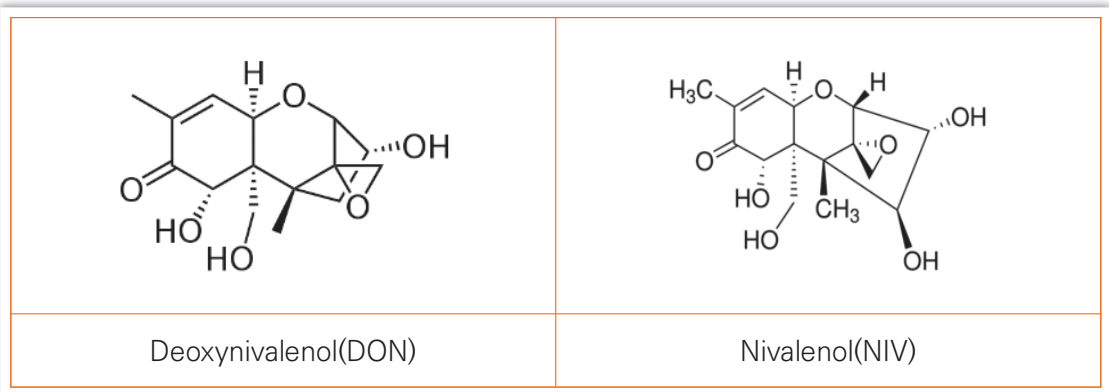
독성

오크라톡신 A는 일부 동물에게 신장질환을 유발하고 면역을 억제할 뿐만 아니라 설치류의 DNA를 손상시키는 것으로 알려졌다. 아직 인체와 동물에 미치는 오크라톡신 A의 독성효과가 동일하다는 결정적인 증거는 없지만 실험대상 동물 대부분의 신장에 독소가 쌓인 만큼 사람의 신장에서도 독소가 배출되지 못할 것으로 보인다. 이들은 여러 동물실험 결과를 통하여 공통적으로 오크라톡신의 강력한 신장독성과 발암성을 보고하고 있으며, 태아기형(teratogenic effects)을 유발시키고, 체액성과 세포성 면역계에 영향을 주는 면역독성(immunosuppressive effect)도 보고하였다. 오크라톡신은 인간의 신장병(nephropatheies)과 종양에 관여하는 것으로 추정된다.

오크라톡신은 인체 내에서 제거가 쉽게 되지 않아 그 안정성이 매우 높는데, 일회 경구투여 후 혈액내의 반감기가 35일에 달하는 것으로 알려져 있다. 이 긴 반감기때문에 오크라톡신에 오염된 식품을 섭취하였을 경우 인체의 혈액 시료에서 오크라톡신이 높은 빈도로 검출된다. 오크라톡신은 인체 혈액의 알부민(albumin)과 결합된 상태로 존재하는데, 식품을 통하여 사람에게 노출되는 곰팡이독소 중 혈액에서의 검출빈도가 가장 높은 독소이다. 세계보건기구(WHO)의 국제암연구소(International Agency for Research on Cancer; IARC)는 오크라톡신을 인간 발암유발이 가능한(possible human carcinogen) Group 2B 물질로 분류하고 있다.

1965년 오크라톡신의 존재가 밝혀진 이래, 이 독소의 신장독성과 발암성 등의 독성기작을 밝히기 위한 여러 연구가 진행되었다. 오크라톡신은 단백질 합성과정을 저해하여, 또한 RNA와 DNA의 합성도 저해한다. 이들 연구 결과, 오크라톡신의 신장독성, 간독성과 면역독성은 오크라톡신에 의한 단백질합성 저해, 지질 과산화 및 MAP kinase 다단계 반응과 관련이 있으며, 오크라톡신의 급성신장독성 작용은 페닐알라닌을 같이 투여하면 막을 수 있는 것으로 알려졌다. 오크라톡신의 발암성과 유전독성은 오크라톡신의 체내대사(metabolic activation)산물에 의하여 발생하는 것으로 보고되고 있다.

3. 데옥시니발레놀 (Deoxynivalenol : DON)



데옥시니발레놀(Deoxynivalenol, DON)은 트리코테센(trichothecenes)에 속하는 곰팡이 독소이다. 이는 식물에 질병을 일으키는 여러 종류의 곰팡이에 의해 생성되는데, 그 중에서도 푸사리움(*Fusarium*)속이 가장 중요한 생성원이다. 트리코테센중에서 데옥시니발레놀은 가장 흔하게 발생하는 독소이다. 데옥시니발레놀은 다양한 곡물(밀, 옥수수, 보리, 귀리, 호밀)에 오염되는 것으로 알려져 있다. 대부분의 트리코세는 9번과 10번 탄소에 이중결합과 12, 13 에폭시기를 가진 tetracyclic sesquiterpenes에 속한다 (Eriksen and Alexander, 1998). 데옥시니발레놀은 8번 탄소에 카르보닐기를 가지고 있는 B형 트리코테센에 속한다. 데옥시니발레놀은 저장/제분은 물론 가공/요리에도 파괴되지 않는 매우 안정된 화합물이다(Rotter et al, 1996, Ehling et al, 1997).

주로 푸사리움(*Fusarium*)속 곰팡이에 의해 생성되며 미국, 유럽, 아시아 등과 같은 북부 온대 지역에서 재배되는 곡류에서 빈번히 발생한다. 푸사리움(*Fusarium*)의 발생률은 작물의 개화 당시 습기와 강우량과 연관되어 있다고 알려져 있으며 이들 곰팡이는 밀의 푸사리움 이삭마름병 (붉은곰팡이병)과 옥수수의 이삭썩음병을 유발한다. 데옥시니발레놀은 푸사리움(*Fusarium*)속 곰팡이 중 푸사리움 그라미니아룸(*F. graminearum*)과 푸사리움 컬모룸(*F. culmorum*)에 의해

주로 생성되며, 푸사리움 그래미니아룸(*F. graminearum*)은 온도 25°C, 수분 활성도 0.88이상에서, 푸사리움 컬모룸(*F. culmorum*)은 21°C, 수분활성도 0.87이상에서 최적으로 자란다.

자연 조건에서 두 종류의 아세틸화(mono-acetylated) 유도체인 3-acetyl DON과 15-acetyl DON이 데옥시니발레놀과 함께 발견되나 이러한 유도체의 농도는 낮은 편이다. 그 밖에도 동일한 푸사리움(*Fusarium*) 속에서 생산된 여러 곰팡이 독소가 동시에 오염되기도 한다.

데옥시니발레놀은 작부체계의 변화와 이상기후로 인하여 발생이 증가하며 섭취, 흡입, 피부 접촉을 통해서 감염될 수 있다. 특정 기관이나 조직에 축적되지 않고 균등하게 분포되는 것으로 알려져 있으며 주요 증상으로는 구토, 복통, 두통, 어지러움, 소화의 부종 등의 현상을 일으킨다. 현재 발암성에 대한 증거는 없으나, 치료할 수 있는 해독제가 없으므로 접촉을 피하는 것이 유일한 예방 조치이다.

데옥시니발레놀의 생성 곰팡이

밀, 보리, 귀리, 호밀, 옥수수 같은 곡물에서 주로 발생하며 푸사리움 스포로트리키오이데스(*Fusarium sporotrichioides*), 푸사리움 그래미니아룸(*F. graminearum*)과 푸사리움 컬모룸(*F. culmorum*) 등에 의해 생성된다.

데옥시니발레놀의 오염 환경

푸사리움 이삭마름병 또는 붉은곰팡이병(*Fusarium head blight*, FHB)는 주로 기후조건(온도, 강수량, 습도)에 영향을 받는다. 이들 곰팡이는 대개 차고 습한 날씨에 옥수수 수염 생성단계 또는 개화기에 경작지에 있는 상하기 쉬운 곡물에 발생한다. 북반구의 북부 온대지역에서 뿌리썩음병, 흑병 등으로 발현된다. 데옥시니발레놀의 발현과 정도는 지역, 계절, 곡물의 종류마다 다양하며 수확기와 개화기사이의 장마기간에 영향을 받는다.

데옥시니발레놀의 독성

데옥시니발레놀의 대사에 관해서는 자세하게 알려져 있지 않지만, 디에폭시화(deepoxidation)과 글루크론산화(glucuronidation)에 의해 독성이 약한 대사산물로 대사된다. 데옥시니발레놀은 거식증(anorexia)과 구초 증상의 두 가지 특징적인 독성학적 영향을 가지고 있다. 이와 같은 두 가지 영향은 세로토닌 활성이 증가되는 것과 연관되어 있다. 데옥시니발레놀은 장 세포처럼 빨리 분열하는 세포에 손상을 줄 수 있다.

데옥시니발레놀의 급성 또는 만성적 투여 후, 대부분의 종에서 관찰된 영향 중 하나가 성장 감소이다. 이는 만성독성 연구에서 자주 사용된 독성종말점이다. 높은 농도의 데옥시니발레놀을 투여할 경우 흉선, 비장, 심장과 간이 영향을 받는 것으로 보고되었다. 마우스(생쥐)에서 수행된 만성 독성 연구에서는 제일 낮은 농도(1일 1 mg/kg bw)에서 나타난 몸무게의 경미한 감소 현상은 생물적으로 중요하지 않은 것으로 판단되었고, 이 용량에서 다른 변화는 없었으므로 최대무작용량(No Observed Effect Level, NOEL)은 1일 0.1 mg/kg bw였다.

1993년도에 국제암연구소(IARC)에 의해 개최된 위원회에서 데옥시니발레놀은 Group 3 (인간 발암성으로 분류 가능하지 않음)으로 분류되었다. 데옥시니발레놀은 박테리아 돌연변이원성은 없었으나 시험관(*in vitro*) 연구와 생체(*in vivo*) 연구에서는 염색체변이(chromosomal aberrations)가 관찰되었다. 이는 데옥시니발레놀이 유전독성이 있을 가능성을 의미하나 이후 생체(*in vivo*)에서 수행된 연구에서 유전독성을 나타낼 가능성은 분명치 않은 것으로 보고되었다.

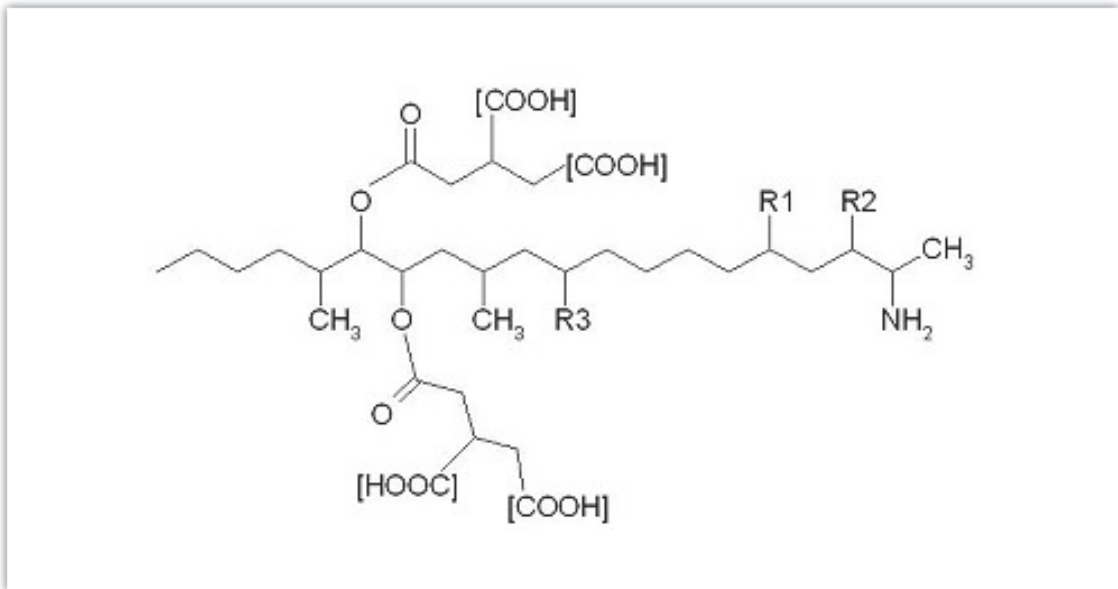
데옥시니발레놀은 태아기형을 발생시키는 것으로 나타났으나 임신한 마우스(생쥐)에 위관영양법으로 짧은기간 (8-11일)동안 1일 2.5 mg/kg bw만큼 주어졌을 때 어미에는 유독하지 않은 것으로 나타났다. 먹이에 데옥시니발레놀이 첨가되었을 때 최대무작용량은 1일 0.38 mg/kg bw이었다.

인체에서는 푸하리움(*Fusarium*)으로 감염된 곡물과 3~93 mg/kg 정도 농도의 데옥시니발레놀 포함되어 있는 곡물을 섭취한 다음 메스꺼움, 구토, 소화 기관 이상, 어지러움, 설사와



두통과 같은 증상이 보이는 것으로 보고되었다(Rotter et al, 1996; Eriksen and Alexander, 1998). 오염된 먹이가 오염되지 않은 먹이로 대체되었을 때, 징후나 증상은 없어졌다. 데옥시니발레놀의 위해평가와 독성고찰을 통한 위험성 확인은 북유럽 의회(Nordic council), JECFA, 유럽연합위원회(SCF)에 의해 수행된 바 있다.

4. 푸모니신(Fumonisin)



최근 식품안전 분야에서 국내외적으로 화두로 떠오르고 있는 것이 식품 중 곰팡이독소 (Mycotoxins)로, 아플라톡신 외에도 푸모니신이 주목을 받고 있다. 푸모니신은 상대적으로 연구는 미흡하나 이미 발암성이 확인된 상황이다. 온대기후대에 속해있는 우리나라의 기후조건은 푸모니신 생성에 최적이라고 할 수는 없으나, 한국인들은 곡류를 주식으로 하고 있고, 다양한 곡류가공식품을 다량 섭취할 뿐만 아니라 옥수수 및 견과류를 비롯한 상당량의 식품 및 사료 원료를 수입에 의존하고 있어 푸모니신에 노출될 가능성이 높을 것으로 예상된다.

푸모니신은 1904년 미국에서 푸모니신에 오염된 옥수수를 먹은 가축이 독소 중독현상을 일으켰다는 것에 보고되면서 알려졌다. 푸모니신은 푸사리움(*Fusarium*)속의 다양한 균류에 의해 생성되는 곰팡이독소이다. 지금까지 많은 수의 푸모니신이 동정되어 A, B, F, P의 그룹으로 분류하고 이 중 B 그룹(B1, B2, B3)이 식품과 자연계에 가장 많이 발견된다. 그 중에서 B1이 독성과 발생빈도가 가장 높아 유해성이 크다고 알려져 있다.

푸모니신은 주로 옥수수과 옥수수를 원료로 하는 제품에서 많이 발견되고, 습하고 온도가 높은 지역에서 특히 많이 발생하며, 푸사리움 버티실리오이데스(*F. verticillioides*)와 푸사리움 프로리퍼라툼(*F. proliferatum*)에 의해 생성된다. 이 둘 종은 열대 기후에서 발생하는 식물병인 옥수수 '푸사리움 이삭썩음병'과 관련된 흔한 균류이다. 옥수수에서 곤충 피해, 온도 스트레스, 적응 조건을 벗어난 생장 환경 등은 곰팡이 발생과 강한 연관성을 가지고 있다. 푸모니신은 온도와 습도에 영향을 받기 때문에 수확 직전 또는 보관 초기에 주로 발생한다. 하지만 보관 중 온도와 습도가 올라가는 경우를 제외하고는 푸모니신 농도는 증가하지 않는다(EFSA, 2005).

푸모니신 생성곰팡이

옥수수에서 가장 흔히 발견되는 푸사리움 균은 푸모니신의 주요 생산균으로 추정되는 푸사리움 버티실리오이데스(*F. verticillioides*)(과거에 *F. moniliforme*로 불림)이다. 푸사리움 프로리퍼라툼(*F. proliferatum*), 푸사리움 섭글루티난스(*F. subglutinans*), 푸사리움 탭시눔(*F. thapsinum*), 푸사리움 니가마이(*F. nygamai*), 푸사리움 푸지크로이(*F. fujikuroi*) 등도 푸모니신 생성능력이 있는 것으로 알려져 있다.

푸모니신 오염 환경

푸사리움 버티실리오이데스(*F. verticillioides*)가 옥수수 전체에 대해 영향을 미치지만 식물의 자기방어기체가 손상된 경우에만 푸모니신이 급격히 증식하고 함량이 증가하는 것으로 보인다. 푸사리움 버티실리오이데스(*F. verticillioides*)는 아스페르길루스 플라부스(*A. flavus*)에 비해 수분함량이 높아야 하고 열에 대한 내성이 높지 않다. 건조스트레스가 푸모니신 농도를 결정 짓는 주요 요인으로 파악되고 있으며, 불규칙한 수분 공급(관개지역 가장자리에서 발생할 수 있음)으로 옥수수 낱알에 갑작스러운 과피축소 및 확장이 발생하여 미세한 금이 가는 현상(starburst)이 나타난다. 이러한 현상은 푸사리움 버티실리오이데스(*F. verticillioides*)의 증식과 푸모니신 생성과 관련된 것으로 보인다.

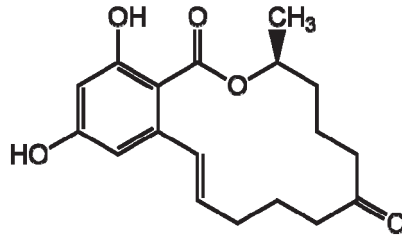
병충해로 인해 푸모니신 수치가 증가할 수도 있다. 물리적인 피해를 입으면 배젖을 통한 균류의 유입이 증가하고 건조 스트레스로 인해 이로운 옥수수균인 아크레모늄 지에(*Acremonium Zeae*)의 활동이 감소된다. 대부분 알이 덜 찬 낱알이 푸모니신에 심각하게 오염되며 이러한 낱알은 무게에 따른 분류를 통해 제거할 수 있다. 푸사리움종이 증식하려면 수분함량은 30~40%, 상대습도는 95% 정도로 유지되어야 하기 때문에 옥수수를 수확한 후에 푸모니신 생성균이 증식할 가능성은 낮다.

푸모니신 독성

연구결과에 의하면 동물실험에서 푸모니신에 의해 여러 질환이 발생하는 것으로 밝혀지고 있는데 대표적인 증상은 말에서 뇌 세포를 과사시키는 신경독성, 래트(쥐)에서의 간경화증이나 섬유종 발병, 돼지에서 폐부종 및 호흡장애, 그리고 임신한 래트(쥐)에 투여시 자손의 체중 감소 등을 지적할 수 있다. 그리고 사람을 대상으로 한 역학조사에서 식도암 관련 세포학적 변형이 나타났음이 이미 밝혀졌다.

이와 같은 건강측면의 위해뿐만 아니라 식품이 곰팡이에 오염되면 제품의 경제적 가치가 크게 저하되는 등 여러 문제가 발생한다. 마지막으로 오염된 식품 자체의 경제적 가치를 하락시킨다. 푸모니신는 가장 흔하게 발생하고 독성이 강한 푸모니신 B1(FB1)과 저농도로 자주 나타나는 푸모니신 B2(FB2), 푸모니신 B3(FB3) 등으로 구성된다.

5. 제랄레논(Zearalenone)



제랄레논은 푸사리움(*Fusarium*) 곰팡이독소 중 가장 광범위하게 분포하는 독소 중 하나이다. 주로 옥수수에서 발견되지만, 밀, 보리, 수수 및 기타 곡류에서도 검출된다(IARC, 1993). 검출 수준은 수십~수백 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 이다. 제랄레논은 수확 전 밭에서 주로 생성되며, 거의 항상 데옥시니발레놀(deoxynivalenol) 같은 다른 푸사리움(*Fusarium*) 독소와 함께 발생한다. 옥수수의 경우 이삭 및 줄기 썩음병을 유발하는 곰팡이 균인 푸사리움 그래미니아룸(*F. graminearum*)에 의해 제랄레논이 주로 발생한다. 푸사리움 그래미니아룸(*F. graminearum*)이 밀의 이삭마름병 또한 유발하기 때문에 밀과 옥수수의 윤작은 날씨요인이 부합할 경우 일반적인 오염증가의 원인이 된다.

쌀도 잠재적인 취약성을 갖고 있는 것으로 보고되고 있다. 제랄레논은 열에 비교적 안정하여 보관/제분, 가공/조리 시 파괴되지 않으며 높은 온도에서도 분해되지 않는다. 제랄레논에 오염된 곡류를 건식 제분할 경우 겨 부분에 독소가 농축된다. 옥수수를 습식 제분할 경우 글루텐 분획에 제랄레논이 2~7배 농축된다.

제랄레논의 생성 곰팡이

제랄레논은 푸사리움 그라미니아룸(*F. graminearum*), 푸사리움 컬모룸(*F. culmorum*), 푸사리움 시리얼리스(*F. cerealis*), 푸사리움 에퀴스티(*F. equiseti*), 푸사리움 세미테크툼(*F. semitectum*) 등의 곰팡이에 의해 생성되는 곰팡이독소이며, F-2 toxin으로도 불린다. 온대지방에서 잘 발생하는 푸사리움 그라미니아룸(*F. graminearum*), 푸사리움 컬모룸(*F. culmorum*) 등에 의해 생성되는 2차 대사산물로 20여 종의 유사체가 발견되었다.

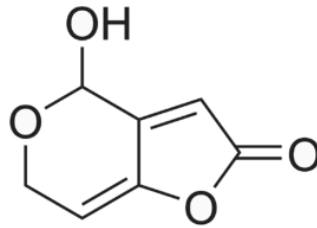
제랄레논 오염 환경

푸사리움 그라미니아룸(*F. graminearum*)은 곡물의 개화기에 저온다습한 날씨가 지속되면 증식이 증가한다. 옥수수에 고농도로 제랄레논이 자주 오염되면 경작기의 옥수수 그루터기 수를 줄이고 옥수수-밀 윤작을 피하는 방법을 사용할 수 있다.

제랄레논의 독성

생체 내에서 제랄레논의 주요 대사체로는 α -제랄레놀(zearalenol)과 β -제랄레놀이 있다. 제랄레논은 생식기능 장애와 불임 등을 유발하며 하이퍼에스트로겐증이 유발되어 자궁 확대 등의 증상이 나타날 수 있다. 특히 돼지에서 민감하게 작용하여 발정증후군, 성장발육 저해, 생식기능 저해, 불임증 및 난소 위축 등을 유발한다. 암돼지에 20, 40 $\mu\text{g}/\text{kg}$ bw를 48일 동안 경구 투여한 결과 최대무작용량은 40 $\mu\text{g}/\text{kg}$ bw/day였다. 위스터 래트에 0, 0.1, 1, 10 mg/kg bw의 농도로 10달 동안 투여한 결과 관련 독성은 발견되지 않았다 (Becci et al., 1982).

6. 파툴린(Patulin)



파툴린(Patulin)은 다양한 과일과 일부 채소에 오염될 수 있다. 파툴린은 사과에서 흔히 발견되지만 배, 포도 등의 다른 과일을 포함하여 상한 과실류와 상한 과실류로 제조된 주스 및 과실 가공품에서 발견되고 있다. 파툴린은 발효에 의해 파괴된다는 보고가 있으며 이를 뒷받침하는 근거로 알코올성 과일 음료 또는 과실주스로 제조한 식초에서는 파툴린이 발견되지 않는다.

❁ 생성 곰팡이

페니실리움 익스팬섬(*P. expansum*), 유페니실리움(*Eupenicillium*), 페니실리움(*Penicillium*), 페실로마이세스(*Paecilomyces*), 아스페르길루스(*Aspergillus*), 바이소클라미스(*Byssochlamys*) 속 곰팡이에 의해 생성된다.

❁ 독성

파툴린에 대한 독성 평가는 1995년에 WHO의 JECFA(the Joint Expert Committee on Food Additives)에 의해 실시된 바 있는데 이에 의하면, 동물실험에서 확인된 파툴린의 급성 독성 증상은 경련, 호흡곤란, 위장관의 부종, 궤양 그리고 출혈 등이다. 그 외에 보고된 독성

으로는 세포독성, 유전독성, 면역독성 등이 있다. 특히 면역독성과 관련하여서는 사람에게 알레르기 반응을 유발할 수 있는 것으로 보고되어 있다. 그 밖에 생식 및 발생독성은 보고된 바가 없다.

파툴린은 국제암연구소(IARC, International Agency for Research on Cancer)에서 발암성 동물 실험의 결과가 불충분하고 인체를 대상으로 한 근거도 불충분한 것으로 판단하여 Group3 (not classifiable as to carcinogenicity to humans)로 분류하였다(IARC, 1986).



II

곰팡이독소 저감화 방법

1. 물리적 방법
2. 화학적 방법
3. 생물학적 방법



다음의 내용 중 연구사례 부분은 곰팡이(독소) 저감화 방법에 대한 경향을 보여주기 위한 것으로 식품의 기준 규격에 준하지 않을 수 있음.

1

물리적 방법(Physical methods)

곰팡이독소 저감화를 위한 물리적 접근 방법으로 적용하기 간단한 방법으로 건조(곡물의 경우), 곰팡이가 핀 곡류 등 농산물은 분류·제거, 곡물의 겉껍질은 벗겨 세척(Fandohan et al. 2005)하는 방법이 있다. 이외에 조사, 열처리, 흡착 등의 물리적 방법도 있다.

1. 선별(Sorting)

작물이 아플라톡신에 오염될 경우, 오염된 작물은 작아지고 쪼글쪼글해지거나 곰팡이가 피고 얼룩이 지며, 손상된 씨앗을 만들어낸다. 오염된 곡물 등 농산물은 오염되지 않은 농산물들과 동일한 색과 밀도를 갖지 않는다. 그래서 작고 주름진 씨앗(small, shriveled seed), 변색된 씨앗, 손상된 낱알을 분리하는 것이 아플라톡신 수준을 감소시키는 데 주로 권장되는 방법이다 (Kabak et al. 2006). 곰팡이독소 오염이 농산물 일부분에만 한정된 경우에는 오염되지 않은 부분만 분리하는 것이 최종 생산물에서 곰팡이독소 수준을 감소시킬 수 있는 방법이다.

구기자의 이물을 선별에 따른 곰팡이수를 확인한 결과 선별에 따라 총곰팡이 수가 감소되었음을 확인할 수 있음.



출처 : 약용작물 곰팡이독소 오염 저감화 연구(2009-2011년, 농촌진흥청)

2. 껍질 제거 및 도정

곡물의 껍질을 제거하거나 도정은 곡물에 오염된 곰팡이독소 함량을 효과적으로 낮추는 방법으로 보고되었다. 특히 커피, 코코아, 견과류, 향신료들은 겉껍질이 곰팡이독소 오염에 매우 취약하기 때문에 껍질을 제거하는 과정에서 곰팡이독소가 효율적으로 제거된다(Amezqueta et al. 2005; Bucheli and Taniwaki 2002).

보리의 껍질(겨) 부분의 데옥시니발레놀(DON) 함량이 껍질을 벗긴 알맹이보다 높은 것으로 나타났다. 따라서 동 연구내용을 통해 보리외피 부분과 표면에 상당한 데옥시니발레놀이 오염되어 있는 것을 알 수 있음.

구분	맥주보리 (Malting barley)		겉보리 (Husked barley)		쌀보리 (Hulless barley)	
	껍질(bran)	알맹이(kernel)	껍질	알맹이	껍질	알맹이
중량 비율	33.9	66.1	33	67	29.8	70.2
DON함량 (mg/kg)	0.51	0.25	3.56	1.27	1.12	0.45

출처 : 보리 가공식품에서의 곰팡이 독소 제거기술 개발(2014, 한국과학연구재단)

3. 가 열

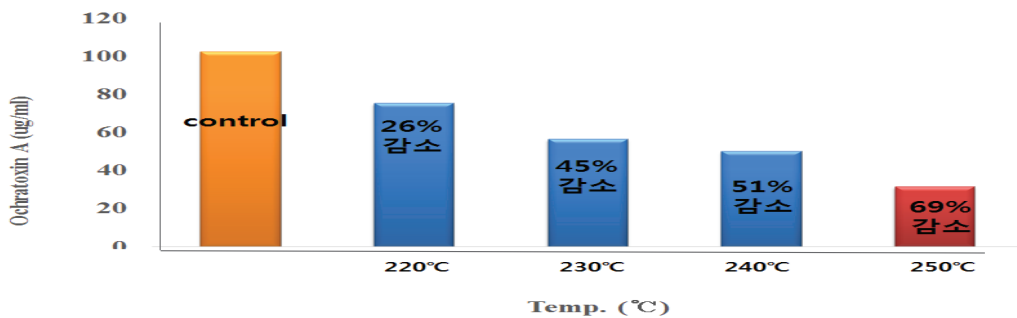
아플라톡신은 열에 매우 안정적이며, 237°C 이상의 고온에서만 분해 가능하다. 그러나 습열처리(끓이기, 굽기, 베이킹 및 찌기)는 식품 속 아플라톡신 농도를 상당 수준 감소시킬 수 있으며 (Reddy et al. 2004), 감소정도는 아플라톡신 농도, 아플라톡신과 식품 성분 사이의 결합 정도, 열 침투, 수분 함량, pH, 이온 강도, 열처리 조건 등(Hussain et al. 2011; Hwang and Lee 2006)에 따라 50%~70%까지 이르기도 한다.

보리 시료를 150, 200, 250°C에서 단순가열 후 데옥시니발레놀의 변화를 측정한 결과 가열온도가 상승함에 따른 데옥시니발레놀의 제거 정도가 높아지는 것을 확인 할 수 있음.

구 분	150°C		200°C		250°C	
	DON (mg/kg)	감소율 (%)	DON (mg/kg)	감소율 (%)	DON (mg/kg)	감소율 (%)
맥주 보리(0.34)	0.31±0.05	8.8	0.27±0.06	20.6	ND	100
겉보리(2.08)	2.0±0.08	3.8	1.8±0.20	13.5	1.4±0.32	32.7
쌀보리(0.69)	0.65±0.05	5.6	0.51±0.15	26.1	ND	100

출처 : 보리 가공식품에서의 곰팡이 독소 제거기술 개발(2014, 한국과학연구재단)

보리차 제조에 적용할 수 있는 볶음온도 설정을 위하여 온도별(220 -250 °C)로 30분간 가열한 결과 250°C에서 가열한 경우 오크라톡신 A가 69%까지 감소되는 경향을 보임



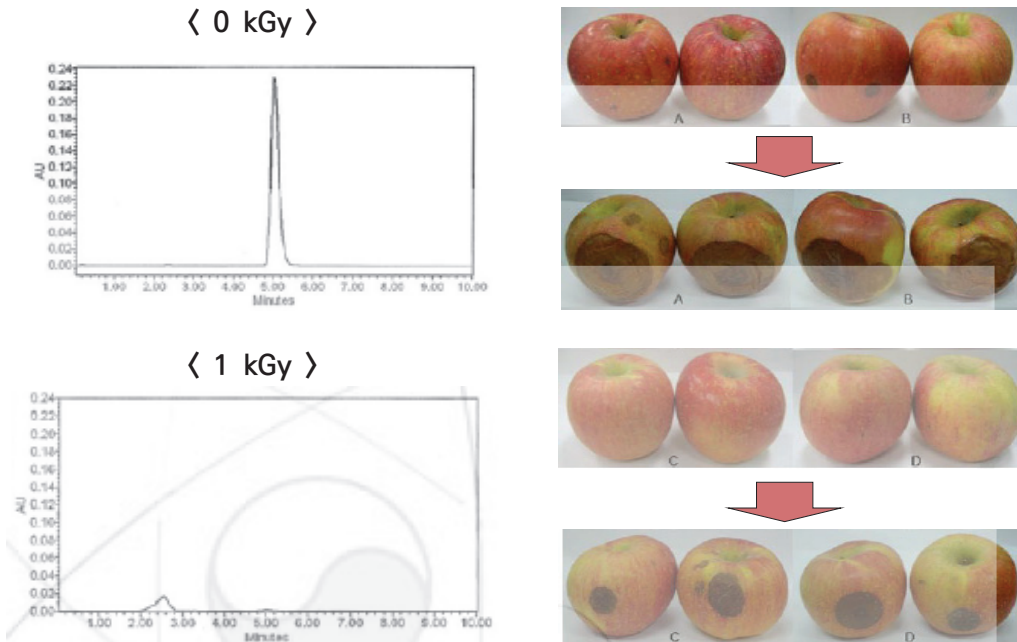
출처 : 식품 전단계(Food Chain) 곰팡이 독소 저감화 연구(2015-2017, 식약처)

4. 조사(irradiation)

방사선 조사는 물성변화가 적고 식품 중 곰팡이 수를 상당히 감소시켜(Aziz and Mahrous 2004) 곰팡이독소 생성을 효과적으로 예방하는 기술이다. 하지만 처리과정이 복잡하고, 안전에 대한 완벽한 대비가 필요하므로 그 적용에 한계가 있다. 국내에서도 승인된 원료나 품목 등에 한하여 식품조사처리를 실시할 수 있도록 기준이 설정되어 있다.

※ 우리나라에서 사과는 식품의 기준 및 규격 중 조사처리 허용대상 식품은 아님. 조사 (irradiation)가 곰팡이 저감화를 할 수 있음을 보여주기 위해 작성된 것임.

사과 중 파툴린을 방사선 처리시 분해되는 되는 것을 확인 하였고, 1 kGy의 감마선 조사로 파툴린 생성 곰팡이 제어 및 저감화가 가능함이 확인됨



출처 : 방사선 저항성 미생물 활용기술 개발(2008, 한국원자력연구원)

2

화학적 방법(Chemical methods)

화학적 곰팡이독소 저감화 방법은 곰팡이독소의 구조와 생물학적 활성을 변화시키기 위해 산성물질(acids), 염기성물질(bases), 산화 물질(oxidizing agent), 알데히드 등의 다양한 화학물질을 사용한다(Chen et al. 2014; Grenier et al. 2014; Liu et al. 2012; Luo et al. 2014; Luo et al. 2013).

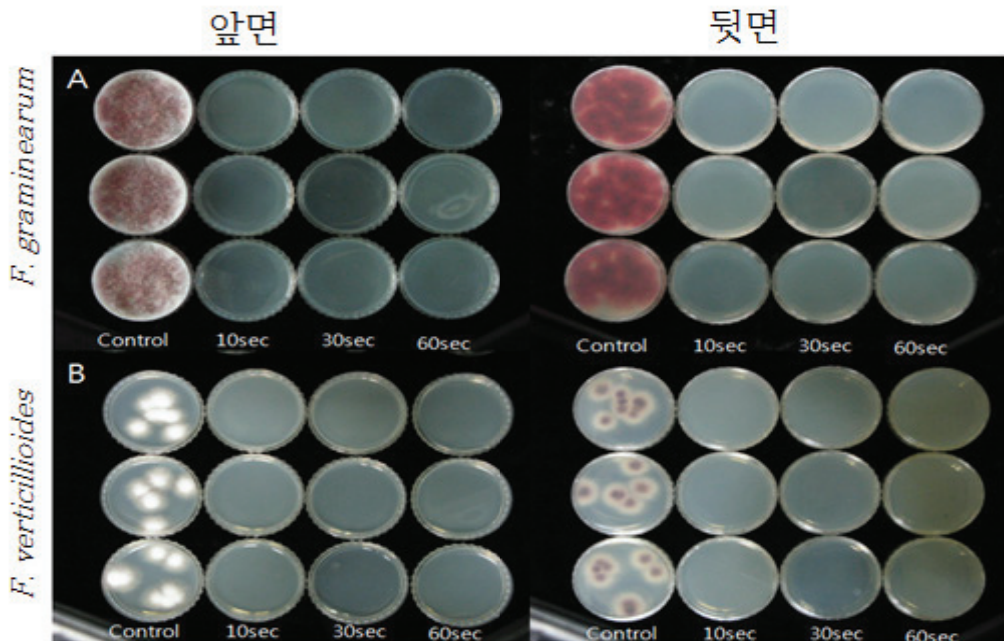
화학적 저감화는 곰팡이독소 저감화 방법 중 가장 많은 연구가 이루어진 방법으로 산처리, 흡착제, 오존처리 등의 방법이 연구되어졌는데 염산(hydrochloric acid), 구연산(citric acid), 젖산(lactic acid), 과산화황산암모늄(ammonium persulphate), 수산화칼슘(calcium hydroxide), 탄산수소나트륨(sodium bicarbonate) (Burgos-Hernández et al. 2001; Elias-Orozco et al. 2002; Méndez-Albores et al. 2007; Méndez-Albores et al. 2008)과 탄산칼륨(potassium carbonate), 포름알데히드(formaldehyde), 과산화수소(hydrogen peroxide), 산성 아황산나트륨(sodium bisulfite), 오존 가스(O₃) (Amézqueta et al. 2009; Inan et al. 2007; Singh et al. 2003; Tripathi and Mishra 2009), 수산화나트륨(sodium hydroxide)과 차아염소산나트륨(sodium hypochlorite) (Jalili et al. 2011), 글리세롤(glycerol) (Venter 2012) 등이 사용되었다. 이들 대부분의 화학물질 처리는 상당한 수준의 곰팡이독소 감소를 보여주었다.

그러나 대부분의 화학적 과정은 온도와 압력이 과도한 상태에서 수행되기 때문에 설비측면에서 비경제적이며, 화학 반응 결과 독성이 있는 물질이 잔류하거나, 새로 형성될 수 있어 안전하지 않은 방법이다. 게다가, 비록 산과 같은 화학제가 곰팡이독소를 파괴할 수 있을지라도, 그 산물이 안정하지 않다면 산 처리 후 중화 단계에서 원래 곰팡이독소로 다시 전환될 수 있어 완전하지 않은 저감화 방법이다. 이들 화학물질은 식품 및 사료의 영양적, 기능적, 감각적 특성을 저하시키기도 하였다. 예로서 산과 염기를 적용할 때 백후추의 변색과 후추 겉 표면의 손실과 같은 예기치 못한 변화도 발생되었다(Jalili et al. 2011).

1. 오존처리

곰팡이나 곰팡이독소를 저감화하기 위해 오존 사용 시 미생물을 사멸시키고, 독성 대사물질들을 분해한다는 연구결과가 있다. 오존이 처리된 산물 중에는 오존 잔류 흔적은 없었다. 오존은 강력한 산화제로 초기 오존화물(primary ozonides) 형성의 원인이 되는 친전자성 공격을 통해 아플라톡신의 푸란 고리의 8,9-이중 결합에 반응한 후, 알데히드, 케톤 및 유기산 같은 분자 오존화(molozonide) 파생물을 형성하였다.

포자 현탁액 (1×10^7 conidia/ml)에 시간별 오존처리를 실험한 결과로 10초간 오존처리에도 저감화 효과 있음이 확인됨.

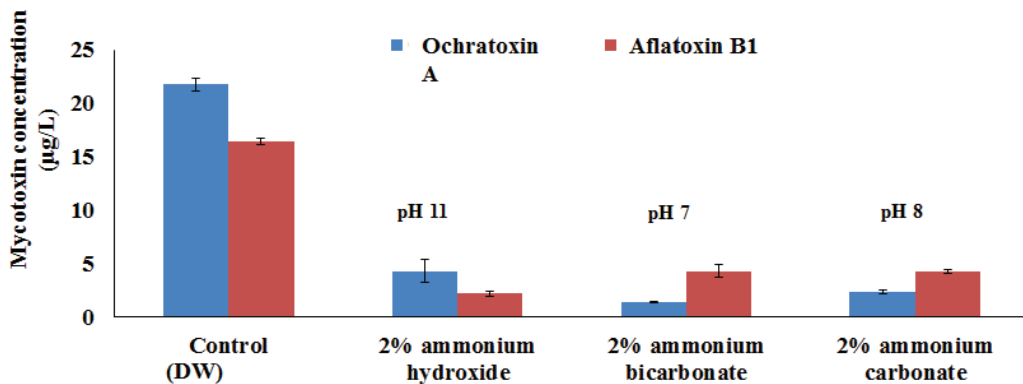


출처 : 식품 전단계(Food Chain) 곰팡이 독소 저감화 연구(2015-2017, 식약처)

2. 암모늄, 산성아황산나트륨(sodium bisulfite) 등 식품첨가물 처리

암모니아처리와 중아황산나트륨처리는 동물사료 원료로 사용되는 땅콩박(peanut meal), 옥수수 및 목화씨 속의 아플라톡신을 감소시키는데 주로 사용된다. 암모늄을 처리한 경우 95%의 아플라톡신이 경감되었는데, 아플라톡신B1(AFB1)이 가수분해되고, 카르복시기가 제거됨으로써 AFB1을 AFD1의 비독성 화합물로 전환할 수 있었다(King et al.2005)

메주 세척제로 암모늄, 탄산암모늄, 중탄산암모니아를 사용할 경우, 암모니아 사용시 오크라톡신 A(OTA)와 아플라톡신 B1(AFB1)이 각각 80%와 86%로 나타났음. 탄산암모니아는 오크라톡신 A와 아플라톡신 B1가 약 93%와 73%로 저감화 됨.

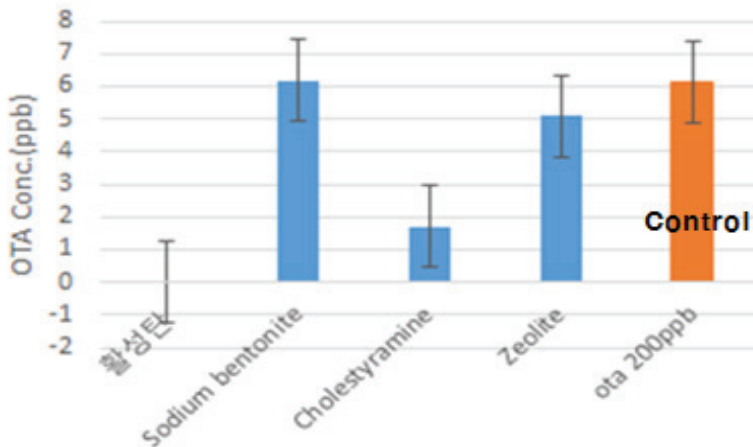


출처 : 식품 전단계(Food Chain) 곰팡이 독소 저감화 연구(2015-2017, 식약처)

3. 흡착제(Adsorbent materials)

활성탄, 콜레스티라민(cholestyramine), 제올라이트(Na/Ca, aluminum silicates) sodium 또는 calcium, 벤토나이트(bentonite), 나무분진(wood fragments) 등의 흡착제에 관하여 여러 연구자들(Leung et al., 2006; Peteri et al., 2007; Ringot et al, 2007)의 보고가 있다. 이들 중 몇 가지는 생체내 *in vivo*에서 시험되기도 하였다. 그러나 대부분 화학 흡착제의 오크라톡신 A 저감화 효율은 활성탄이 가장 높게 나타났다. (Huwig et al, 2001; Scott, 1996).

오크라톡신 A 200ppb에 흡착제를 적용하여 흡착제 1mg/ml 당 저감화율 확인 결과 콜레스티라민, 제올라이트는 각각 72%, 17%, 활성탄에서는 100% 저감화 됨.



출처 : 식품 전단계(Food Chain) 곰팡이 독소 저감화 연구(2015-2017, 식약처)

포도주 정제 시에 사용되는 카제인칼륨(potassium caseinate) 또는 활성탄과 같은 포도주 청정제는 오크라톡신 A 저감화(detoxification)에 효과(최대 82%까지 감소)가 있었으나, 포도주 품질에는 부정적인 영향을 끼치는 것으로 보고되었다(Abrunh-osa et al, 2002).

최근 불용성 식물 섬유가 액체 식품에서 혹은 맥주의 경우 양조단계에서 오크라톡신 A를 흡착하기 위해서 개발되어 보고되었지만(Tangni et al, 2005), 현재 오크라톡신 A 제거에 가장 많이 사용되는 흡착제는 식품에서 오염물질 제거로 좋은 결과를 보여준 제올라이트(zeolite) 제제로 알려져 있다(Dakovic' et al, 2005).

커피에서는 에틸아세테이트(ethyl acetate), 디클로르메탄(dichloromethane) 및 개미산(formic acid)과 메틸클로라이드(methylene chloride) 처리가 오크라톡신 A 농도를 줄일 수 있는 것으로 보고되었으며(Bortoli et al., 1997; Heilmann et al., 1999), 코코아에 존재하는 오크라톡신 A의 감소방법으로 염기성 물질처리가 보고되었다(Amezqueta et al, 2008).

4. 곰팡이독소 유전자 발현 억제 천연물질

곰팡이 저감화를 위해 화학물질을 처리시 해당물질의 잔류로 인하여 처리 시료에서 약취발생, 풍미저하 등의 문제가 있어 이를 최소화하기 위해 대체제로 천연물질이 연구되어지고 있다.

곰팡이독소(알테르나리아(*Alternaria*), 푸사리움(*Fusarium*)) 유전자 발현 억제 천연물질을 검토하여 저감화실험을 한 결과 억새 지상부 추출물과 꾸지뽕나무 잎 추출물이 무처리 보다 12배 이상, 제주조릿대 잎 줄기와 조개풀, 여우팔, 구상나무 줄기, 도깨비부채 지상부, 까마귀머루 잎 줄기, 개썩부쟁이, 왕고들빼지 추출물이 5배 정도 억제효과를 보임

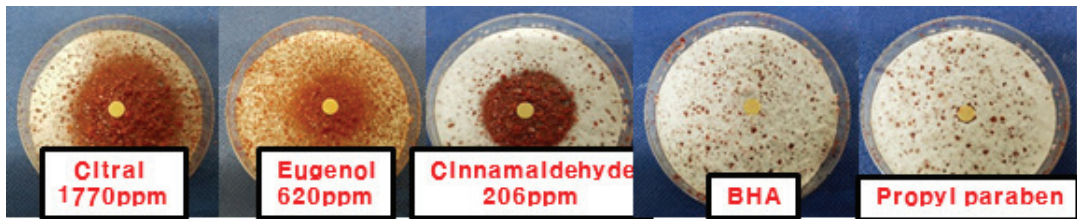


출처 : 식품 전단계(Food Chain) 곰팡이 독소 저감화 연구(2015-2017, 식약처)

5. 식품첨가물

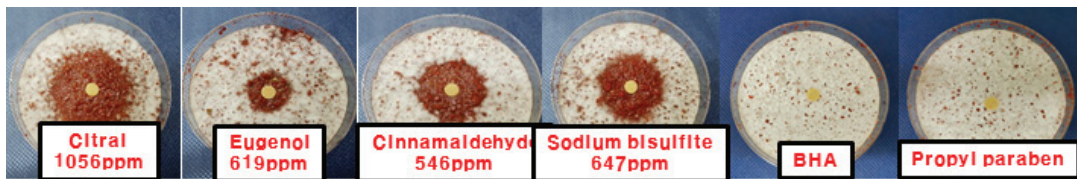
유게놀(eugenol), 시트랄(citral), 신남알데히드(cinnamaldehyde) 등 식품첨가물에 의해 독소 생성곰팡이 생육을 억제할 수 있다.

① 페니실룸 베루코섬(*P. verrucosum*)



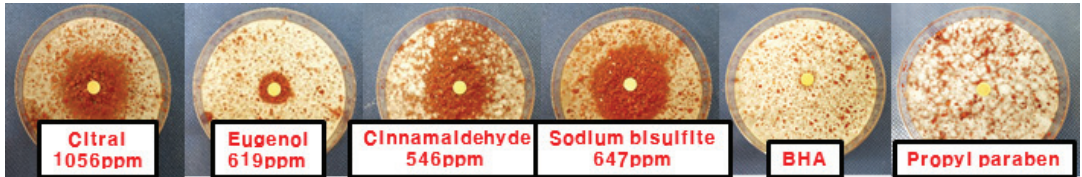
P. verrucosum 균주 성장 억제에 시험물질 중 BHA(부틸히드록시아니솔, Butylated Hydroxy Anisole), 프로필파라벤은 독소 생성곰팡이 생육억제 효과가 없었으며 유게놀, 시트랄, 신남알데히드가 효과를 보임.

② 아스페르길루스 카르보나리우스(*A. carbonarius*)



A. carbonarius 균주 성장억제에 시험물질 중 BHA, 프로필파라벤(propyl paraben)은 독소 생성곰팡이 생육억제 효과가 없었으며, 유게놀, 시트랄, 신남알데히드, 산성아황산나트륨(sodium bisulfite)은 균주 성장 억제 효과를 보였음.

③ 아스페르길루스 니거 (*A. niger*)



A. niger 균주 생장억제에 BHA, 프로필파라벤(propyl paraben)은 독소 생성곰팡이 생육억제 효과가 없었으며, 유게놀, 시트랄, 신남알데히드, 산성아황산나트륨이 균주 생장 억제 효과를 보였다.

출처 : 식품 전단계(Food Chain) 곰팡이 독소 저감화 연구(2015-2017, 식약처)

3

생물학적 방법(Microbiological methods)

생물학적 저감화 방법은 해로운 화학물질이 이용되지 않고 식품의 영양적, 관능적 특징에 부정적인 영향을 주지 않는다는 점에서 효율적이고 환경 친화적인 곰팡이독소 저감화 방법이다. 하지만 생물학적 저감화 방법(분해균주 및 효소활용, 길항균주의 사용, 생성균주를 대체하는 비생성균주 방법 등)은 처리시간이 길고 효과도 낮은 것으로 보고되어 있다.

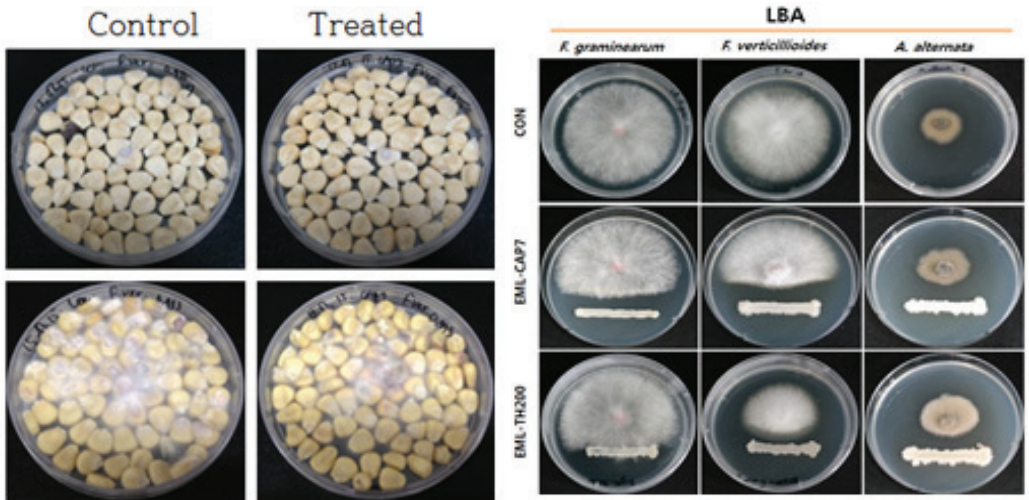
생물학적 곰팡이독소 저감화는 대부분 곰팡이독소에 대한 저감활성이 있는 미생물을 자연계에서 분리하여 사용하는데, 주로 곰팡이독소가 존재하는 환경에서 이루어진다. 이는 해당 환경이 곰팡이독소가 미생물의 탄소원으로 이용될 가능성과, 미생물이 가지게 되는 곰팡이독소 내성, 저항성과 관련된 대사 경로가 존재할 가능성이 매우 높기 때문이다.

미생물 기반 곰팡이독소 저감화 기술에는 사용 안전성뿐만 아니라 정부 또는 산업 생산자의 엄격한 감시가 필요하다. 첫째로, 분리된 종은 그 자체로 비병원성이어야 한다. 둘째로, 응용적 관점에서 볼 때 분리된 미생물에 의한 곰팡이독소 저감화가 식품가공 중 유지되고 최종 상품에서 유지될 수 있는지 확인하는 것이 필수적이다. 또한 곰팡이독소가 생물학적 방법에 의하여 분해되거나 화학적으로 구조가 바뀐 후에도 독성이 잔류하지 않는 것이 확인되어야 한다.

현재 곰팡이독소의 생물학적 저감화를 위해 전 세계에서 많은 연구자들이 미생물 및 식물 소재를 분리하여 연구하고 있다. 이러한 연구의 궁극적인 목표는 곰팡이독소를 효율적으로 분해할 수 있는 효소를 찾아내는 것인데, 전 세계적으로 많은 노력이 진행되고 있음에도 불구하고, 확인된 효소의 숫자는 여전히 제한적이다.

1. 길항균에 의한 곰팡이독소 저감화

푸사리움(*Fusarium*)속 곰팡이의 생물학적 저감을 위해 고추잎에서 분리한 EML-CAP7(고추잎에서 분리, 전남대 연구팀)를 처리한 결과 푸사리움(*Fusarium*)속 곰팡이의 생장 저감이 확인됨



출처 : 식품 전단계(Food Chain) 곰팡이 독소 저감화 연구(2015-2017, 식약처)

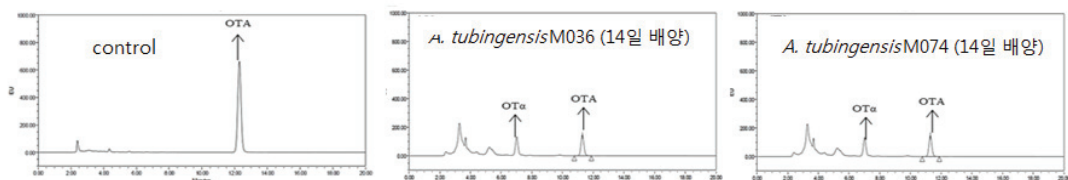
2. 분해균주 및 효소에 의한 곰팡이독소 저감화

최근 미생물과 효소에 의한 아플라톡신 분해 연구가 활발히 진행되고 있다(Adebo et al. 2015; Iram et al. 2015; Iram et al. 2016). 이러한 아플라톡신 분해 과정을 통해 아플라톡신은 독성이 없거나 모분자보다 훨씬 독성이 줄어든 분해산물로 전환되며, 이들 아플라톡신 분해효소는 산업적인 이용가치가 큰 것으로 평가된다.

다양한 종류의 액티노박테리아(*Actinobacteria*), 바실리우스(*Bacillus*) 및 프로테오박테리아(*Proteobacteria*)가 배양 중에 아플라톡신 B1을 분해하는 것이 확인되었다. 이들 아플라톡신 분해능을 갖는 미생물은 모든 종이 아플라톡신을 분해하는 것은 아니고 특정 분리 균주만이 아플라톡신 분해능을 갖는다.

Carboxypeptidase A가 오크라톡신A를 분해하는 효소(Deberghes et al, 1995)로 보고된 이후, 이 효소를 생산하는 비독성 아스페르길루스 니거(*A. niger*) 균주를 사용한 오크라톡신A의 미생물학적 분해가 제안되었다(Varga et al, 2000). 또한 carboxypeptidase A외에도 오크라톡신A를 효율적으로 분해할 수 있는 효소로 lipase(Stander et al, 2000)와 다른 종류들의 효소에 관한 연구가 보고되었다(Abrunhosa et al, 2006; Abrunhosa et al, 2007). 이들 중에는 파피아 로도지마(*Phaffia rhodozyma*)에 존재하는 carboxypeptidase가 오크라톡신A를 90%까지 감소시킬 수 있는 것으로 보고하고 있기도 하다(Peteri et al, 2007).

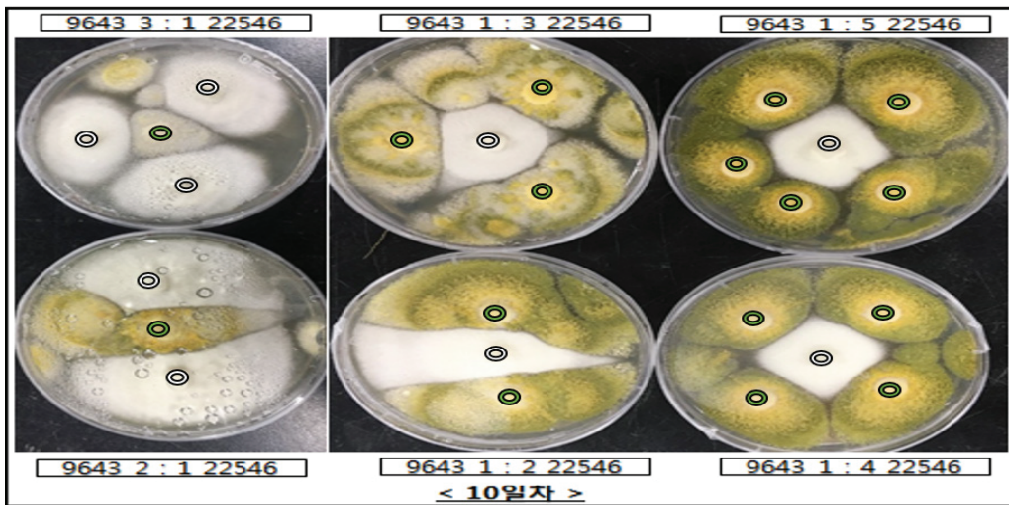
오크라톡신 분해 균주 2종 (*Aspergillus tubingensis* M036, M074) 접종 후 14일 후 약 90%의 오크라톡신 A 분해율을 보였고 오크라톡신 A가 감소하면서 오크라톡신 A의 분해산물(OTA)이 확인됨



출처 : 식품 전단계(Food Chain) 곰팡이 독소 저감화 연구(2015-2017, 식약처)

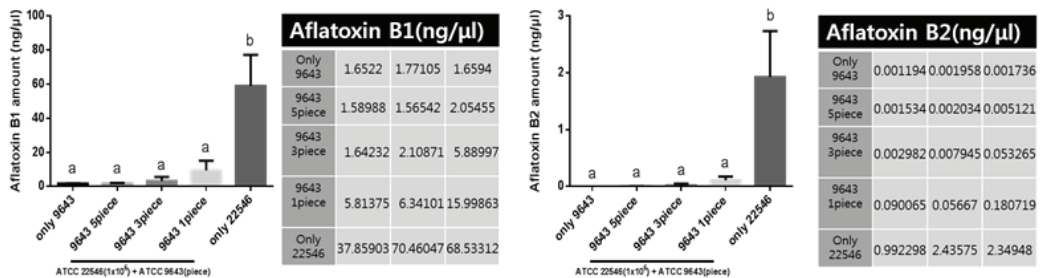
3. 비생성균주 의한 곰팡이독소 저감화

① 아플라톡신 비생성균주(ATCC 9643)을 쌀에 접종하여 확인한 결과 ATCC 9643접종 비율을 증가시키에 따라 아스페르길루스 플라부스(*A. flavus*) ATCC 22546의 균체 성장 범위를 좁히는데 효과가 있음.



⊙ ATCC 22546 : 아플라톡신 생성 균주 ⊙ ATCC 9643 : 아플라톡신 비생성 균주

② 아플라톡신 생성균주인 ATCC 22546 대조군 결과와 아플라톡신 비 생성균주인 아스페르길루스 플라부스(*A. flavus*) ATCC 9643를 첨가한 실험군 결과 값을 비교한 결과 아플라톡신 B1, B2의 농도가 억제됨



출처 : 식품 전단계(Food Chain) 곰팡이 독소 저감화 연구(2015-2017, 식약처)



III

생산 · 가공 단계별 곰팡이독소 저감화

1. 수확 전 단계
2. 수확 후 단계
3. 가공 단계



다음의 내용은 코덱스(CODEX)의 ‘곰팡이독소 저감화 관련 실행규범’과 제외국의 곰팡이 저감화 관련 연구논문 등을 인용하였으므로 우리나라에서 직접 적용하기 쉽지 않은 부분이 있을 수 있음.

1

수확 전 단계

곰팡이는 식물의 손상된 부분에서 성장하기 시작하므로 농산물의 수확은 기계적 손상과 곤충의 침입을 받지 않도록 주의하여야 한다. 농산물 수확 시 오염된 부분은 반드시 제거하여야 하며, 잡초, 농산 잔류물, 오염된 농기계와 같은 오염원과의 접촉을 최소화 해야 한다(Codex Alimentarius Commission, 2003; FAO/WHO/UNEP 1999).

감자류의 작물, 여타 채소류는 푸사리움(*Fusarium*)의 숙주가 아니므로 농지의 감염원을 줄이기 위해 윤작에 활용해야 한다.

온대지역 곡물은 매우 다른 환경조건과 다양한 재배기간에서 생육된다. 곰팡이 오염 방지에는 식물의 수분 유지, 가뭄에 대한 대비 등이 중요하며 적절한 무기 영양소 및 영양분 공급 등이 필요하다(FAO/WHO/UNEP, 1999). 오크라톡신A 오염을 방지를 위한 또 다른 GAP는 윤작, 적절한 재배시기, 수확시기 조절 및 경작방법 등이 알려져 있다(Aldred et al., 2004; Codex Alimentarius Commission, 2003).

곰팡이독소 오염방지 수확전(pre-harvest) 전략으로, 생물학적 방법이 포함되어 있는데(FAO/WHO/ UNEP,1999) 독소를 생산하지 않는 아스페르길루스 니거(*A. niger*) 균주를 생물학적 경쟁제로 사용하는 생물조절제(biocontrol) 방법 또한 오크라톡신A 오염을 방지에 잠재적으로 유용한 전략이다(Valero et al, 2007a).

화학물질 사용 또한 곰팡이독소 생성방지에 꽤 효과적으로 사용될 수 있다(FAO/WHO/UNEP, 1999). 예를 들어, 포도의 경우 Switch와 같은 일부 살균제는 오크라톡신A 생성과 곰팡이 군집(colony) 형성을 효과적으로 억제하는 것으로 보고되었으며(Varga et al, 2006), 아스페르길루스 카르보나리우스(*A. carbonarius*)에 오염된 포도 처리에 있어서 나타마이신(natamycin)은 오크라톡신A 생산과 곰팡이 성장을 효과적으로 억제하는 것으로 보고되었다(Medina et al, 2007b). 그러나 카벤다짐과 같은 살균제는 곰팡이총(flora)를 감소시키는 살균제로 사용되지만 한편으로는 오크라톡신A 생성을 촉진하기 때문에, 신중히 사용되어야 한다고 보고되어 주의할 필요가 있다(Medina et al, 2007a). 또 생물학적 오크라톡신A 저감화와 관련하여 포도에 자생하는 효모 중에는 아스페르길루스 카르보나리우스(*A. carbonarius*)와 아스페르길루스 니거(*A. niger*)를 생물학적으로 억제(biocontrol)할 수 있는 종류가 있는 것으로 보고되었다(Bleve et al, 2006).

작물 수확 전 아플라톡신 저감화를 위한 생물학적 접근 방법 중 효과적인 결과를 나타내고 있는 방법으로 작물이 자라는 토양에 아플라톡신 생성 곰팡이와 경쟁하는 비독성 곰팡이 종을 도입시키는 생물학적 방제 기술이 연구되어 이를 이용한 수확 전 아플라톡신 저감화 방법이 시도되고 있으며(Cotty and Bayman 1993; Horn and Dorner 2002), 이 방법은 이상적이고, 오래 지속할 수 있는 합리적 통제 수단으로 제안되고 있다 (Brown et al., 2001).

2

수확 후 단계

곰팡이독소 제어에 있어서 수확 전 관리를 통한 예방이 가장 효과적인 방법이지만, 곰팡이 오염과 독소 생성은 수확 후에도 자주 발생하며 지속된다. 따라서 곰팡이와 관련된 위해요소는 수확 후 절차를 통해서 중요하게 관리되어야 한다.

우선, 농기구의 올바른 사용과 청결유지는 수확기간 지연을 피할 수 있으므로 권고된다(Codex Alimentarius Commission, 2003). 수확은 식물 수분함량이 적절하고, 식물의 기계적 손상이 최소로 발생할 때 수행되어야 한다(Codex Alimentarius Commission, 2003). 또 가능한 한, 다 익은 농산물만을 오염이 되지 않은 자루 혹은 컨테이너에 수집해야 한다. 과숙하였거나 발효되었거나 손상된 것들, 흙에 떨어진 농산물은 오크라톡신A에 심하게 오염되었거나 빨리 생육할 수 있는 오크라톡신A 생성균에 오염되었을 가능성이 있으므로 분리, 제거하여야 한다(Belli et al, 2007a; Bucheli et al, 2002; Perez de Obanos et al, 2005). 나쁜 품질의 농산물을 다른 것들과 혼합하는 것은 바람직하지 않다(Lopez-Garcia et al, 2008).

농산물은 청결한 환경에서 통제된 조건하에 균일하게 그리고 빠르게 건조되어야 한다. 열대 농산물은 원료를 저장하지 않도록 한다(FAO, 2006). 곡물 더미는 통풍이 잘 되도록 조치하고 축진하고 오크라톡신A 곰팡이 생육을 막기 위해서 자주 뒤집어 줘야 한다(Kouadio et al, 2006). FAO/WHO/ UNEP(1999)는 농산물을 빠르게 건조하고 건조는 일반적으로 10% 이하 수분 함량으로 해야 한다고 권고하고 있다. 곡물 수확 후 아플라톡신 감염을 증가시키는 가장 유해한 환경 요인은 높은 습도이다. 따라서 곡물 저장 중 낮은 수분활성도(< 0.73)와 저온($< 15^{\circ}\text{C}$)이 유지되도록 통풍이 필요하며, 설치류 및 벌레로 인한 곡물의 피해를 예방하여야 한다(Hell and Mutegi 2011). 곡물의 GAP 수확 후 전략으로는 작물 성장 후 올바른 추수, 건조, 외부 물질 제거, 수확 후 저장 방식이 포함되는데(Hell and Mutegi 2011), 무엇보다 적절한



건조와 저장이 중요하다. 옥수수의 경우 낱알 중 수분(kernel moisture)을 13%까지, 땅콩의 경우 7%까지 건조하여야 독소생성 곰팡이의 곡물 중 생육을 막을 수 있다.

1. 수확

수확된 곡물을 집화하여 건조 시설로, 그리고 건조 후 보관 시설로 운반하는데 쓰이는 컨테이너는 사용 및 재사용 전에 청결해야 하고 건조해야하며, 곤충 및 가시적 균류 성장이 없어야 한다.

수확 후 작물의 수분 수준을 즉시 측정한다. 가능한 경우, 해당 작물의 보관을 위해 권장된 수분 함량까지 작물을 건조시킨다. 수분 측정을 위해 채취한 시료는 가급적 로트에 대한 대표성을 가져야 한다. 수분 측정을 위해 채취한 시료는 가급적 로트에 대한 대표성을 가져야 한다. 로트 내의 수분 함량의 변동을 줄이기 위해 건조 과정 후 다른 시설로 곡물을 이동시킬 수 있다.

2. 저장 및 수송

식품 및 원료 저장은 적절한 배수배관이 갖추어진 통제된 조건 하에서 수행되어야 한다 (FAO/WHO/UNEP, 1999; Quillien, 2002). 농산물은 건조된 상태로 저장하는데, 온도 20°C 이하, 수분활성도(aw) 0.70 이하를 유지하여야 하며(Bucheli et al, 2002; Magan et al., 2003), 포장되지 않은 식품 및 원료는 2~3°C 이하에서 유지하도록 한다(Codex Alimentarius Commission, 2003).

포장용기는 나무나 진흙 용기보다 금속 용기를 사용하는 것이 바람직하다(Bankole et al, 2003). 식품 저장 중 제품이 재습윤 되는 것을 방지하는 것도 중요하다(FAO/WHO/UNEP, 1999; Lopez-Garcia et al, 2008). 특히, 높은 흡습성을 가진 커피, 코코아는 곰팡이 침입에 약한 식품 매트릭스이다(Magan et al, 2005). 식품 저장고는 수확 전에 식품의

품질저하를 막기 위해서 청결한 상태로 준비되어야 한다(Bankole et al, 2003). 이러한 모든 조건들은 수입국과 식품 제조공장에 운송되는 동안에도 충분히 유지되어야 한다 (FAO/WHO/UNEP, 1999).

갓 수확된 습한 농산물은 건조나 탈곡 전에 여러 시간 쌓아두는 것을 피하여 균류 성장의 위험을 낮춘다. 일부 습도가 높은 농산물을 햇빛에 건조시킨다면 균류 감염이 일어날 수 있으므로 공기 순환을 통해 농산물을 통기시킨다.

3. 보관

보관 설비 내부에는 빗물을 차단하고 온도 변화를 최소화 할 수 있어야 하며 보관될 작물은 수확 후 안전한 수분 수준까지 건조시키고 가급적 신속히 식혀야 한다.

가능한 보관 영역 전반의 온도 수준을 적정하고 균등하게 유지시켜 주는 보관 영역 전체에 걸친 공기 순환에 의해 통기시키고, 보관 중의 곡류 등 농산물은 지정된 시간마다 보관 온도를 측정한다. 온도가 상승하면 세균 성장 및 곤충 침입이 가능하므로 온도를 낮추고 공기를 통하게 한다.

각 시즌에 이행된 수확 및 보관 절차들을 문서화하고, 이때 측정치들(온도, 수분, 습도 등)과 특이사항들을 모두 기록한다. 이 정보는 특정 연도의 균류 성장 및 곰팡이독소 생성의 원인을 규명하는데 유용하게 활용되어 향후 비슷한 실수를 피하는데 도움일 될 수 있다.

장기 보관 조건에 있어서 습도는 70% RH 이하로 유지되어야 한다. 적절한 보관 시설은 정상 보관 방법을 준수하여야 하며, 곰팡이 생성을 예방하거나 위축시키기 위해 정기적으로 감시되어야 한다. 보관된 코코아 씨의 수분 함유량은 정기적으로 점검되어야 하며, 재건조에 의해 8% 미만으로 보존되어야 한다.

3

가공 단계

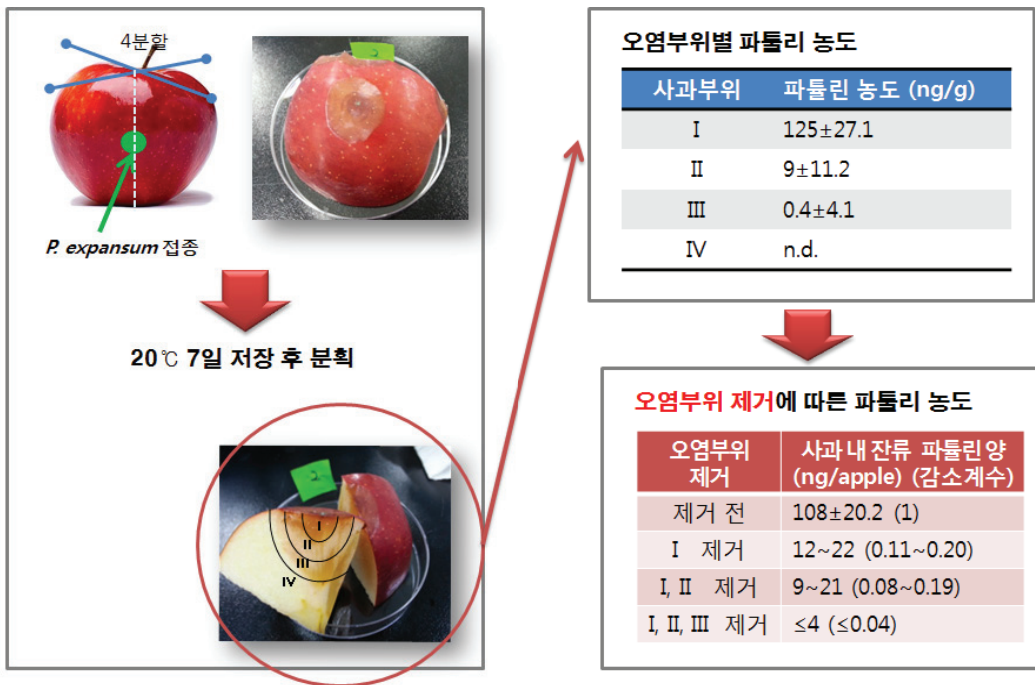
농산물은 가공과정에서 다양한 변화를 겪게 된다. 이 과정은 곰팡이 독소를 효과적으로 제거할 수 있는 단계이기도 하지만 곰팡이독소가 새롭게 생성될 수도 있는 단계이기도 하다 (FAO/WHO/UNEP, 1999).

식품가공 초기 단계에서는 손상되지 않은 원료(농산물)를 선별하여 사용하고 이후 단계에서 살균 등 방법을 적용하는 것이 바람직하다.

1. 원료선별

곰팡이독소 오염이 농산물 일부분에만 한정된 경우에는 오염되지 않은 부분만 분리하는 것이 최종 생산물에서 곰팡이독소 수준을 감소시킬 수 있는 방법이다(Jard et al. 2011).

사과의 오염부위 제거에 따른 파툴린 농도가 감소됨으로 동 원료를 선별하는 것이 곰팡이 발생 가능성이 적음을 확인할 수 있음.

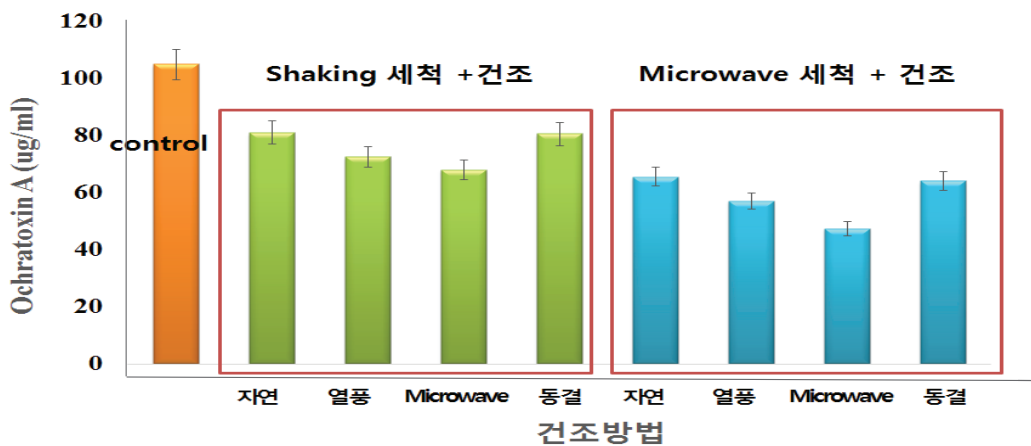


출처 : 식품 전단계(Food Chain) 곰팡이 독소 저감화 연구(2015-2017, 식약처)

2. 원료세척

빵, 선식 등 식품의 제조 공정 중 세척 및 거 등 오물의 제거는 곰팡이 독소 함량을 초기와 비교하여 25% 정도 감소시키는 것으로 보고되었다(Scudamore et al.,2003). Wolff (2004)의 연구에서는 곡류시료에 대한 세척과 분류에 따른 제랄레논의 저감화 효율을 발표 하였는데, 분류에 의한 폐기물의 제랄레논 농도는 가식부보다 3~30배 정도 높게 확인되었다. 또한 보리(malting) 연구결과에서도 세척으로 6% 데옥시니발레놀이 감소되었음이 확인되었다.

보리의 세척 후 건조방법(자연건조, 열풍건조, 마이크로웨이브 건조, 동결건조)에 따른 오크라톡신 A가 감소됨을 확인 할 수 있다.



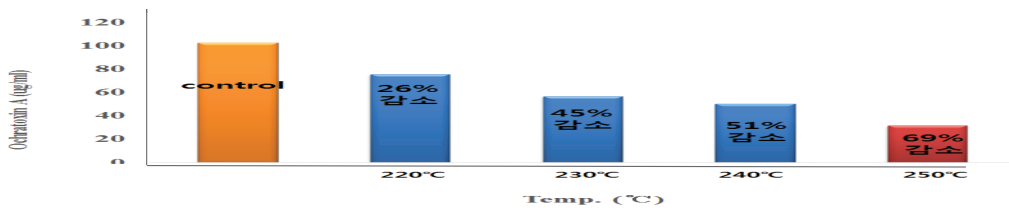
출처 : 식품 전단계(Food Chain) 곰팡이 독소 저감화 연구(2015-2017, 식약처)

3. 가 열

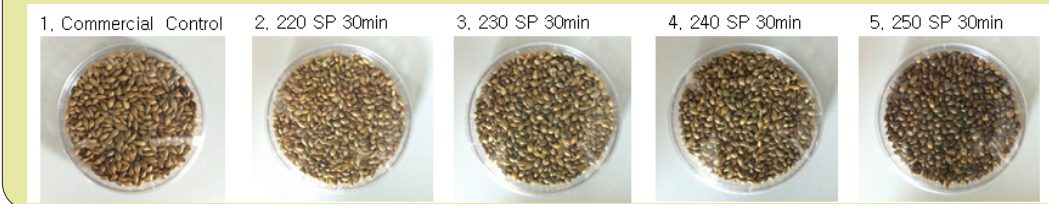
아플라톡신은 280~300℃로 가열할 경우 분해가 가능하며, 제랄레논의 경우 200℃이상의 온도에서는 저감화가 일어나는 것이 보고되고 있다.

① 보리차 볶음온도에 따른 저감화

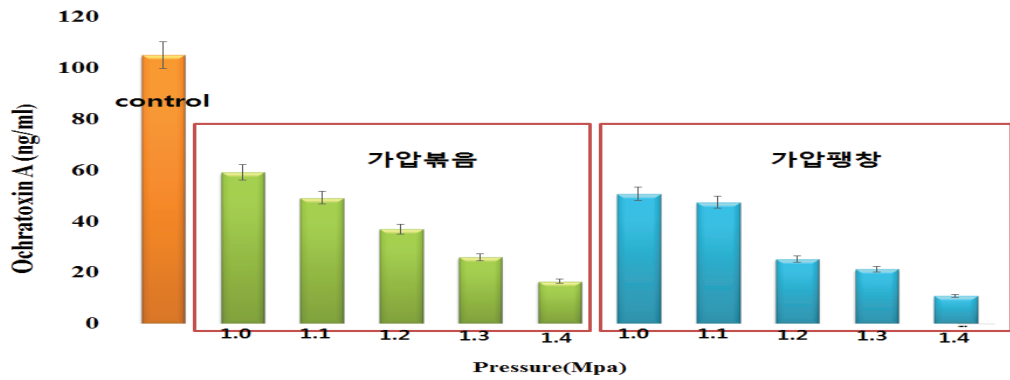
온도별(220 -250 ℃)로 30분간 가열한 결과 250℃에서 가열한 경우 오크라톡신 A가 69% 까지 감소되는 경향을 보임



볶음시간에 따른 보리차 색도 비교



② 가열방법(가압볶음, 팽화)에 따른 오크라톡신 A의 저감화
 팽화 조건에서 가압 볶음조건에 비해 오크라톡신 A의 저감화 효과가 더 큰 경향을 보임



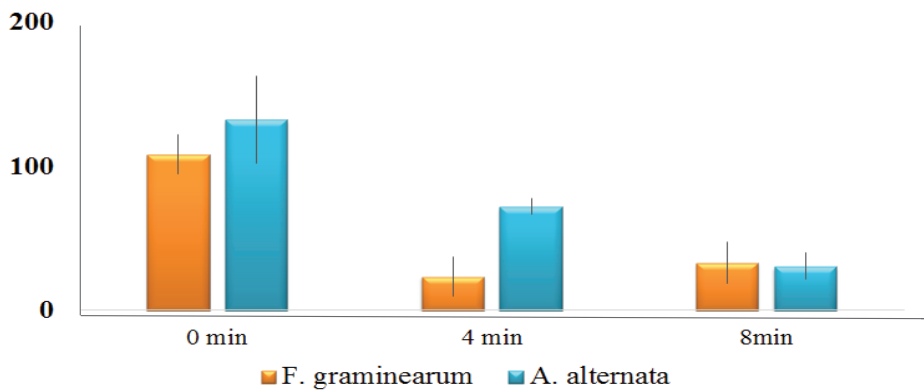
출처 : 식품 전단계(Food Chain) 곰팡이 독소 저감화 연구(2015-2017, 식약처)

4. 살 균

옥수수, 커피콩에 플라즈마 및 감마선 처리를 통한 저감화 연구에 따르면, 곰팡이 포자가 균사체로 자라는 시간을 지연해주는 효과가 있음이 확인되었다.

① 플라즈마처리에 의한 저감화

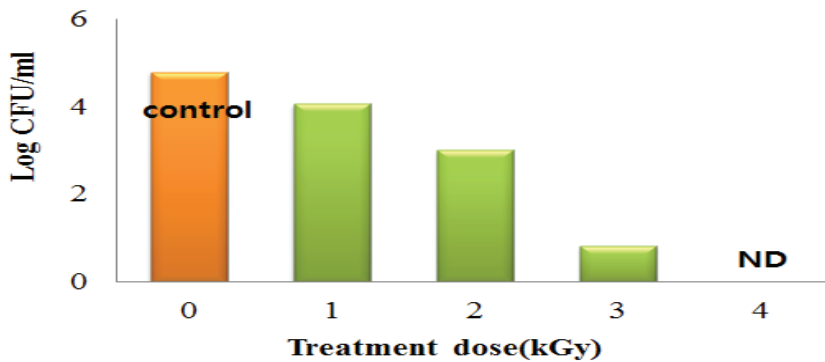
옥수수 알곡에 플라즈마를 4분간 플라즈마를 처리하면 푸사리움 그래미니아룸(*F. graminearum*)은 78% 알테르나리아 알테르나타(*A. alternata*)는 46% 감소하였고, 8분간 플라즈마를 처리하면 푸사리움 그래미니아룸(*F. graminearum*)은 70% 알테르나리아 알테르나타(*A. alternata*)는 77% 감소





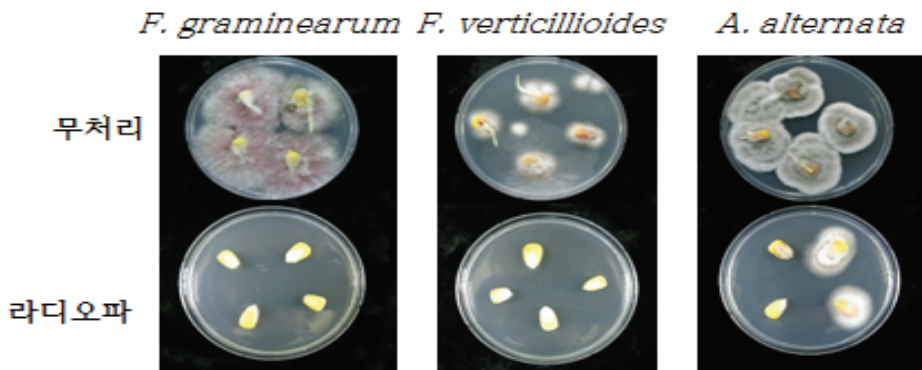
② 감마선 처리에 의한 저감화

커피콩에 감마선 처리시 아스페르길루스 플라부스(*Aspergillus flavus*)가 커피콩은 4 kGy에서 4.78 log 감소되는 경향을 나타냄.



③ 라디오파처리에 의한 저감화

푸사리움 알테르나리아(*F. Alternaria*), 푸사리움 버티실리오이데스(*F. verticillioides*) 푸사리움 그래미니아룸(*F. graminearum*) 오염 옥수수에 라디오파 45초 처리시 40% 저감화 됨.



출처 : 식품 전단계(Food Chain) 곰팡이 독소 저감화 연구(2015-2017, 식약처)

IV

식품별 곰팡이독소 저감화 연구사례

1. 고춧가루 및 고추장
2. 된장 및 간장
3. 곡류 및 가공품



식품별(고춧가루 및 고추장, 된장 및 간장, 곡류가공품) 곰팡이 저감화 방법은 연구결과를 토대로 작성한 것으로 우리나라 식품 기준에 근거하여 작성된 사항은 아님.

1 고춧가루 및 고추장

고추장 제조 전단계에서의 곰팡이독소 저감화

- 수확 단계

▶ 재배단계	
수확 전	<ul style="list-style-type: none"> ▣ 적합한 GAP를 사용하여 독소생산 곰팡이의 포자를 감소시킨다. ▣ 독소생산 곰팡이의 접종원을 감소시키기 위해 윤작 등을 적용하여 그 다음해로 전이되는 곰팡이를 최소화한다. ▣ 작물 근처에 존재하는 충해(insect damage)는 등록된 살충제 및 통합 병충해관리 프로그램 내 기타 적합한 방법을 사용한다. ▣ 고추같은 열매의 손상(예. 애벌레에 의한 손상)은 향후 곰팡이를 발생시킬 수 있기 때문에 권장 살충제의 사용이 필요할 수 있다. ▣ 작물 주위의 잡초는 물리적 방법, 승인된 제초제 사용 또는 기타 안전하고 적합한 잡초 제거 방법을 통해 관리해야 한다. ▣ 파종(sowing) 과정에서 곰팡이와 곤충을 방지하기 위해 소독된 종자를 사용하고, 열매 채집은 가장 건조한 시기에 이루어질 수 있도록 재식시기를 주의하여 정해야 한다.
수확	<ul style="list-style-type: none"> ▣ 수분함량은 건조 시간에 영향을 줄 수 있으므로 수확작업 동안 수확된 작물의 각 로트에 대해 측정하고, 수분 함량이 높은 작물수확은 피해야 한다. ▣ 물리적 손상이 있는 경우 형태적 변화를 줄 수 있기 때문에 피해야한다. ▣ 열매와 잎 및 땅으로 떨어진 기타 향신료 부분은 곰팡이 증식에 노출되는 것으로 알려졌다. 곰팡이에 영향을 받았거나 감염된 작물은 제거되어야 한다. 땅으로 떨어진 작물은 별도로 분류하여 로트로 합쳐지기 전에 세척, 건조되어야 한다.



	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 채집 과정동안 식물이 자라고 있는 토양에 깨끗한 플라스틱 시트를 덮어 상품이 흙에 오염되거나 땅에 떨어진 곰팡이 핀 열매와 섞이지 않도록 해야 한다.
<p>▶ 이동 및 보관</p>	
이동	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 수확된 상품은 건조 및 저장 시설로 이동시 사용하는 컨테이너 및 운송 장비(예. 수레, 트럭)는 사용 전 깨끗이 해야 한다. 즉, 작물 잔해나 눈에 보이는 곰팡이가 없어야 한다. ▶ 보관시 적절한 수분함량으로 건조되지 않은 작물은 적합한 수분함량에 도달할 때까지 뚜껑을 닫아야 한다. 수레 또는 트럭에 장시간 보관하거나 이동하는 것은 자제한다.
보관	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 작물은 벽을 통해 수분이 유입되지 않도록 벽에서 떨어지고(30cm 이상) 바닥에 닿지 않도록 받침판 위에 보관해야 한다. ▶ 보관시설의 해충 및 설치류는 통제하고 적합한 습도 및 온도가 되도록 해야 한다. ▶ 습도는 10% 미만이 되도록 충분히 건조하고 적합하게 보관하여 곰팡이가 번식하는 것을 방지해야한다. ▶ 보관시설은 건조하고 환기가 잘되는 구조여야하며, 빗물이 들어오지 않으며 배수가 잘되고 설치류와 새가 들어오지 않도록 해야한다. ▶ 보관시설은 적합한 물질을 사용하여 청소 및 소독되어야 함. 승인된 훈증제 또는 살충제를 허용된 수준으로 사용한다. ▶ 화합물질 사용은 곰팡이 증식 및 곰팡이독소 생산을 방지하는 효과적인 방법으로 허용된 화학물질의 사용은 저장된 곡물 내 곰팡이 증식 및 곰팡이독소 생합성(biosynthesis)을 억제할 수 있다.

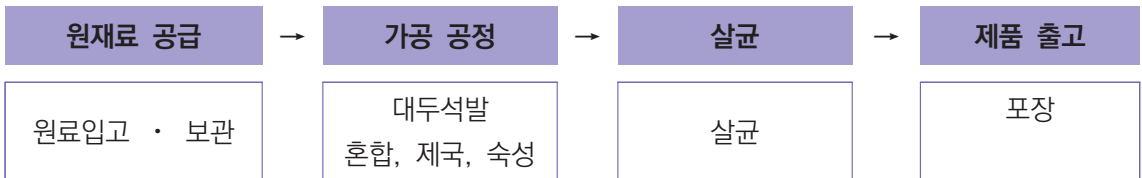
• 가공공정 단계

▶ 1차가공 (고춧가루)

선별	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 손질, 세척 및 가공 단계에서 교차오염을 방지하기 위해 원재료를 수령하는 즉시 분리한다. ▶ 원재료를 가공라인에 투입하기 전에 검사 및 선별해야 한다. 검사는 육안 검사, 이물질 제거, 관능평가 및 곰팡이 오염여부를 검사한다.
건조 및 저장	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 향신료의 건조는 콘크리트 바닥에서 실시하고 가능한 경사를 두는 것이 좋다. 가능하다면 건조과정 중에 원재료와 접촉면에서 수분이 고일 수 있는 플라스틱 시트나 방수포(tarpaulins)에서 건조하는 것은 피한다.

	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 적절한 수분함량을 유지할 수 있도록 알맞은 건조를 통해 생물 활성을 방지하는 적절한 보관이 필요하다. 건조 전후 및 건조 과정 동안의 곰팡이 증식은 곰팡이독소 생산을 초래할 수 있다. ▶ 건조장(drying yard)은 사용 전 청소하는 것이 중요하며, 신선한 원재료는 기기를 이용하거나 자연적으로 가능한 한 빠른 시간 내에 가공되어야 한다.
포장	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 곤충과 접촉되는 것을 막을 수 있는 포장재를 사용한다. ▶ 마대자루를 사용할 경우, 액체가 스며드는 것을 막기 위해 액체 잉크의 사용은 자제하며 종이태그를 사용해야 한다. ▶ 포장 단계에서 적용할 수 있는 권장사항 <ul style="list-style-type: none"> A) 수분을 12% 미만으로 유지하기 위해 방수 포장을 사용할 것 B) 적합한 포장재질을 사용하여 진공 또는 가스치환포장방법 등의 포장 기술을 사용할 것

▶ 2차 가공 (고추장)





▶ 원재료	
원 료	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 주 원료 대두, 소맥분, 고춧가루의 경우 입고시 이물질이 유입되었는지 검사를 철저히 한다. ▶ 시험성적서를 확인한다.
보 관	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 원료자체 오염 및 보관시 환경으로부터 오염될 수 있으므로 위생적으로 보관 관리한다.
▶ 공정	
혼합 · 제국 · 숙성	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 곰팡이는 주위 환경으로부터의 오염가능성이 있으므로 혼합탱크, 제국탱크, 숙성탱크를 세척하고 소독 · 관리한다.
살 균	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 살균 온도 및 시간의 부적절로 인한 곰팡이가 발생할 수 있으므로 60-80℃ 범위의 적절한 살균한다. ▶ 작업장을 위생적을 관리한다.
▶ 포장	
포 장	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 개별포장시 포장불량이 없는지 잘 검수를 철저히 한다.

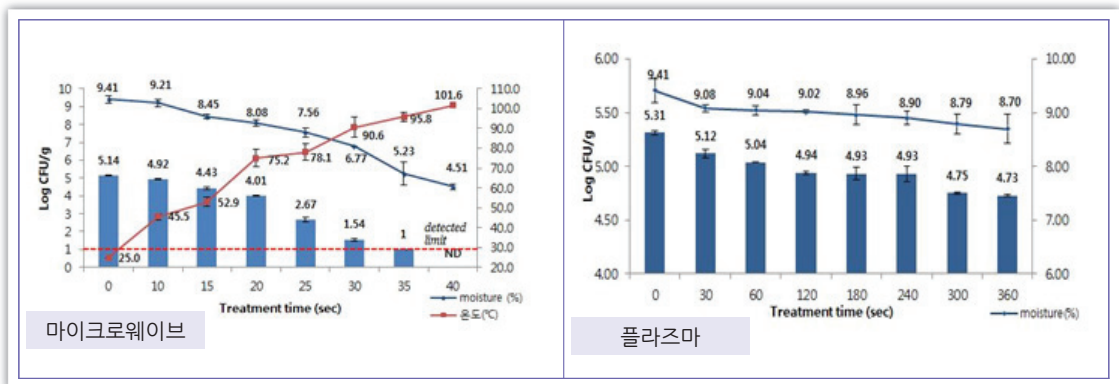
1. 고춧가루 곰팡이 저감화 연구사례

〈고춧가루 제조공정도〉



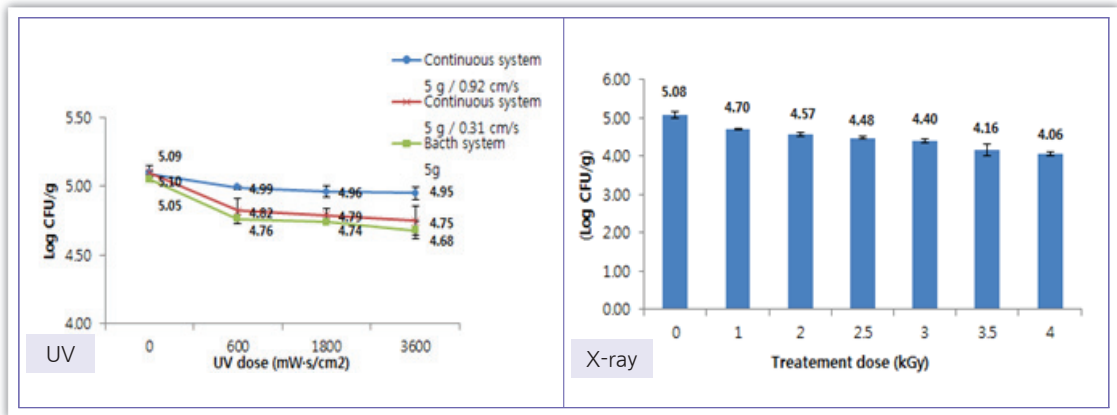
① 살균

고춧가루와 마이크로웨이브를 처리시, 아스페르길루스 플라부스(*A. flavus*)가 고춧가루는 40초에서 5.14log 감소하였다. 플라즈마를 360초 처리시, 아스페르길루스 플라부스(*A. flavus*)가 0.58log 감소하였다.

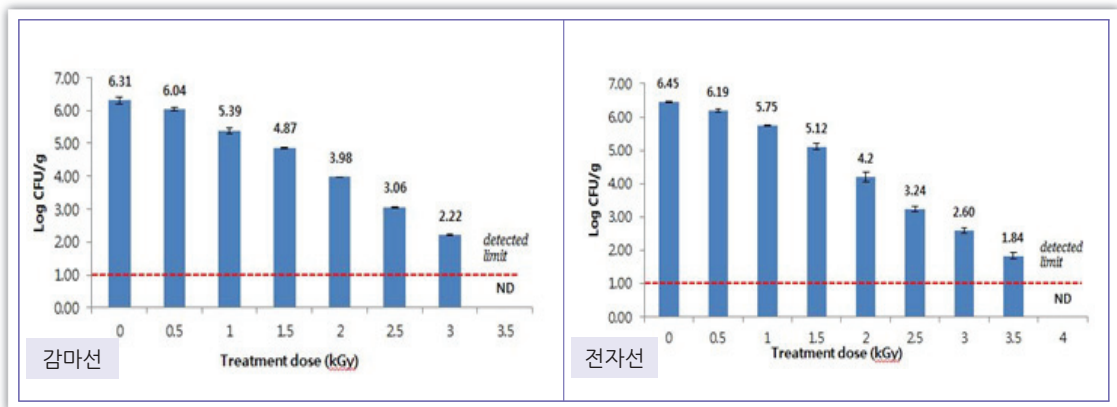




고춧가루에 UV를 $3600 \text{ mW} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$ 처리시, 아스페르길루스 플라부스(*A. flavus*)가 0.37log 감소하고, 감마선을 3.5 kGy 처리시, 아스페르길루스 플라부스(*A. flavus*)는 6.04log 감소하였다.

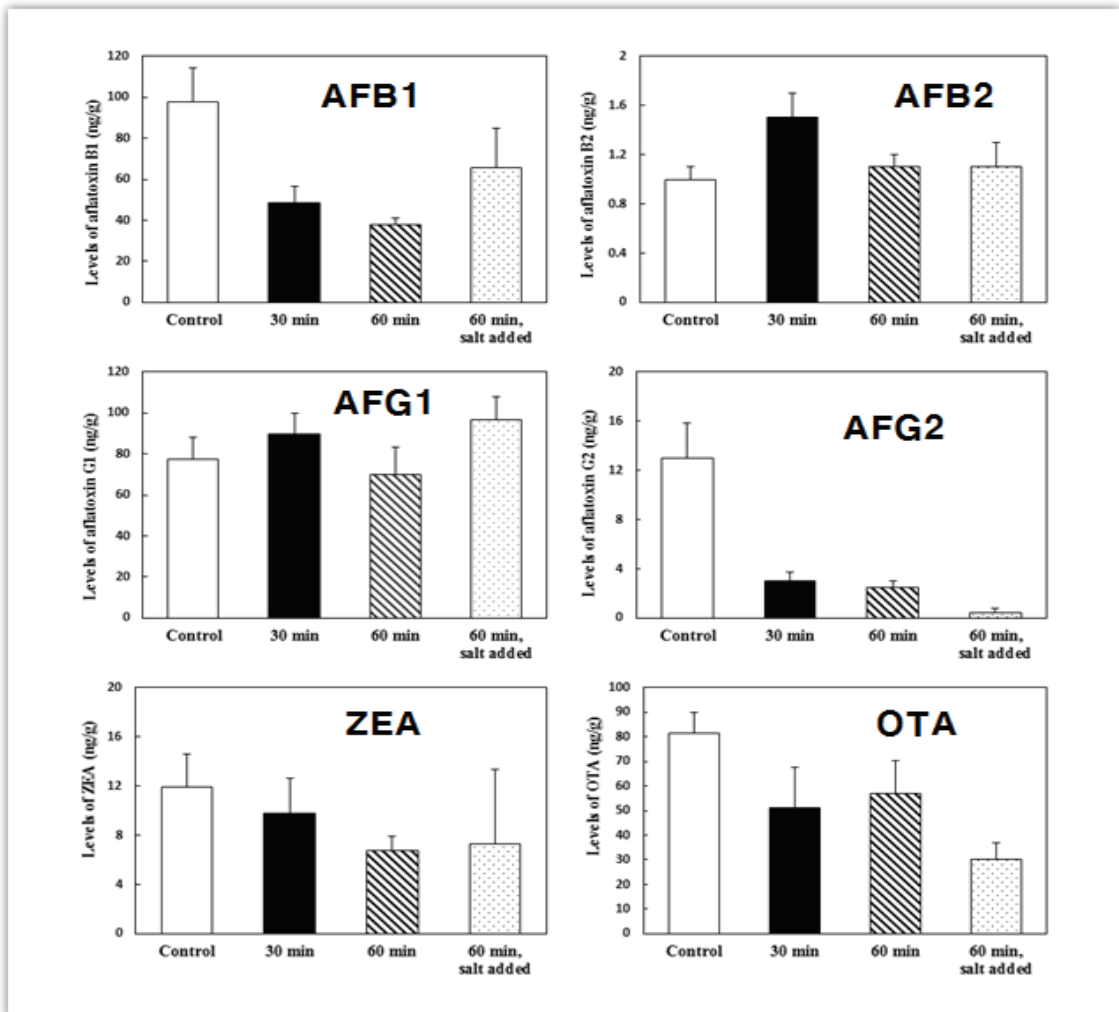


전자선을 처리시, 아스페르길루스플라부스(*A. flavus*)가 고춧가루는 4 kGy에서 6.45log 감소하는 것으로 보였다. X-ray를 4 kGy 처리시, 아스페르길루스 플라부스(*A. flavus*)는 각 1.02 감소하였다.



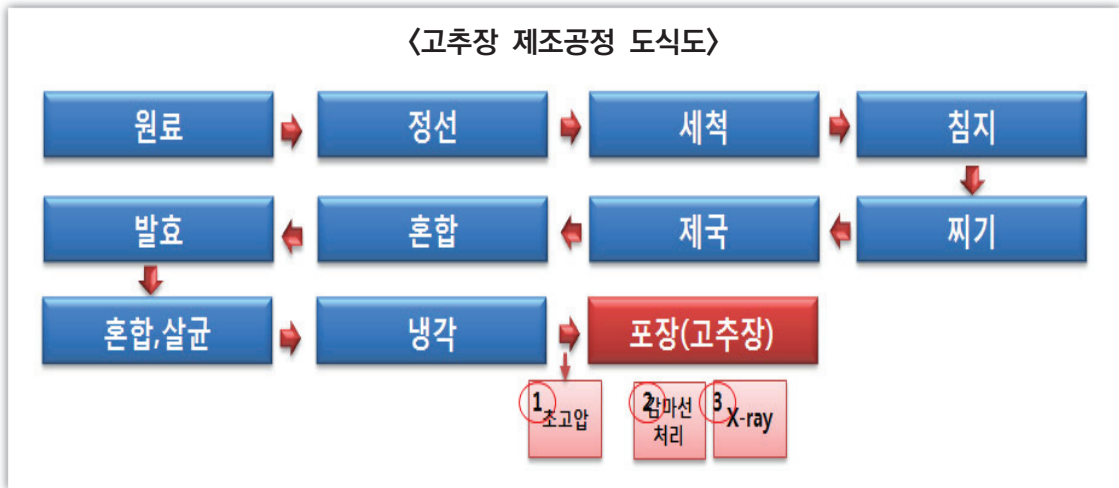
② 수분조절 · 건조

고춧가루의 수분조절 · 건조를 위한 가열조리에 의한 아플라톡신, 오크라톡신 A, 제랄레논 감소율을 조사하였다. 30분 가열, 60분 가열, 60분 + 염 첨가 조건을 적용한 결과 아플라톡신 B1, G2와 제랄레논의 경우에는 가열 시간이 늘어남에 따라 저감화 효과를 나타내었다. 그 중 아플라톡신G2 경우에만 염을 첨가하였을 경우 더욱 감소되는 효과를 나타내었다. 아플라톡신 B2, G1, 오크라톡신 A은 가열시간에 따른 저감화 효과는 볼 수 없었다. 하지만 오크라톡신 A은 염을 첨가시 저감화 효과를 나타내었다.





2. 고추장 곰팡이 저감화 연구사례



① 살균

(포장전)

고추장에 초고압을 500 MPa에서 5분 처리시, 아스페르길루스 플라부스(*A. flavus*)가 0.58log 감소하여 그 효과가 미미하였다. 고추장에 스팀 가열을 85℃에서 10초 처리시, 아스페르길루스 플라부스(*A. flavus*)가 5.20log 감소하는 것으로 나타났다.

(포장후)

고추장에 마이크로웨이브를 처리시, 아스페르길루스 플라부스(*A. flavus*)가 고추장은 25초에서 4.63log 감소하였다. 고추장에 감마선을 3.5 kGy 처리시, 아스페르길루스 플라부스(*A. flavus*)는 6.27log 감소하였으며, 전자선을 처리시, 아스페르길루스 플라부스(*A. flavus*)가 고추장은 3.5 kGy에서 6.16log 감소하는 것으로 보였다. 고추장에 X-ray를 4 kGy 처리시, 아스페르길루스 플라부스(*A. flavus*)는 1.26log 감소하였다.

2 된장 및 간장

❁ 된장, 간장 제조 전단계에서의 곰팡이독소 저감화

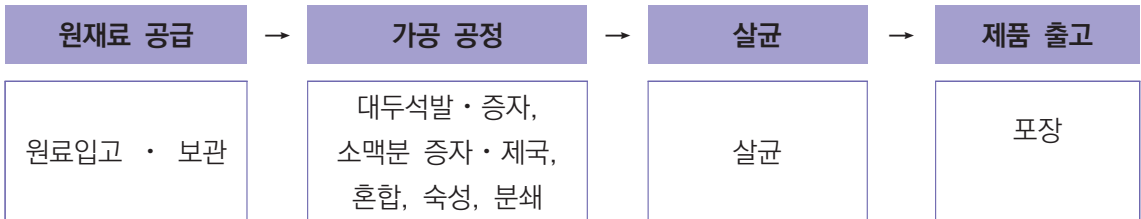
① 수확단계

▶ 재배단계 : 밀, 두류 등	
수확 전	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 작물에 등록되고 승인된 살충제, 살균제를 올바르게 사용하여 충해 및 곰팡이 감염을 최소화한다. ▶ 수확 전 작물의 수확, 건조, 세척 및 보관에 사용되는 모든 장비 상태가 좋은지 확인하고 작물의 잔여물, 곡물 및 먼지를 최대한 제거해야 한다.
수확	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 수확시 곡물에 기계적 손상이 없도록 해야 하고 수확 과정 동안 토양과 접촉하지 않도록 해야 한다. ▶ 동일한 밭 내에서도 수분함량이 매우 다양할 수 있기 때문에 수확작업 동안 각 로드의 여러 지점에서 수분함량을 측정해야 한다. ▶ 건조되지 않은 수확 곡물은 장시간 저장하는 것을 피한다. ▶ 곡물을 밭에서 건조시설로 이동하는 운송시간은 최소화 한다. 필요 시, 통기를 증가시키고 응결현상을 최소화하기 위해 트럭 또는 컨테이너를 열어놓는 것을 권장한다.
▶ 보관	
보관 및 저장	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 높은 수분함량을 갖는 곡물은 건조 또는 탈곡 전 몇 시간 이상 쌓아놓거나 더미로 놓는 것을 피해야 한다. ▶ 선별 및 세척 방법을 활용하여 곡물을 깨끗이 한다. ▶ 수확된 곡류는 손상을 최소화하여 보관하고 곰팡이가 성장할 수 필요한 수분보다 더 낮은 수분함량을 가질 수 있도록 건조시켜야 한다. ▶ 저장된 곡물의 상태를 지속적으로 모니터링하여 적절한 온도와 습도가 유지되도록 한다. ▶ 설치류의 침입이 없으며 곡류 갑충, 바구미 및 진드기 등 유해생물이 없도록 한다.
운송	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 컨테이너, 트럭 등의 운송수단에 오래된 곡물 잔해, 눈에 보이는 곰팡이 등이 없어야 한다. ▶ 운송 컨테이너를 사용하기 전에 적합한 살균제(곡물을 오염시키거나 냄새와 맛을 변질시키지 않는 제품)을 사용하여 청소하고 소독하여야 한다.



② 가공공정 단계에서 관리

▶ (된장)



▶ 원재료

원 료	<ul style="list-style-type: none"> ▣ 주 원료 대두, 소맥분의 경우 입고시 이물질이 유입되었는지 검사를 철저히 한다. ▣ 시험성적서를 확인한다.
보 관	<ul style="list-style-type: none"> ▣ 대두와 소맥분은 보관시 독소생성 곰팡이의 증식으로 인한 오염이 발생할 수 있으므로 위생적으로 보관 관리한다.

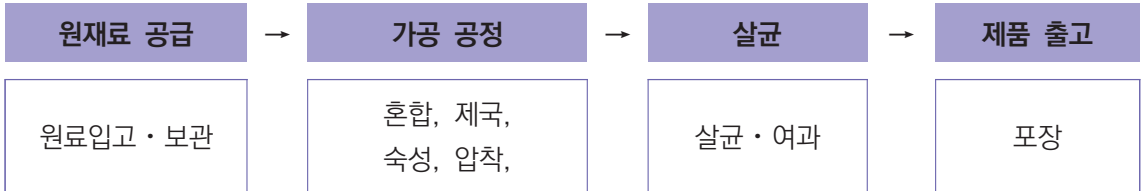
▶ 공정

대두석발 · 증자	<ul style="list-style-type: none"> ▣ 대두 증자 탱크 세척 및 소독을 철저히 한다. ▣ 작업장 관리를 철저히 한다.
소맥분 증자 · 제국	<ul style="list-style-type: none"> ▣ 소맥분 증자 탱크과 제국 탱크의 세척과 소독을 철저히 한다. ▣ 작업장을 위생적으 관리한다.
혼합	<ul style="list-style-type: none"> ▣ 혼합 탱크 세척 및 소독을 철저히 한다. ▣ 작업장 관리를 철저히 한다.
숙성	<ul style="list-style-type: none"> ▣ 숙성 탱크 세척 및 소독을 철저히 한다. ▣ 작업장 관리를 철저히 한다.
분쇄	<ul style="list-style-type: none"> ▣ 숙성 탱크 세척 및 소독을 철저히 한다. ▣ 작업장 관리를 철저히 한다.
살균	<ul style="list-style-type: none"> ▣ 살균 온도 및 시간의 부적절로 인한 곰팡이가 발생할 수 있으므로 60-80℃ 범위의 적절한 살균한다.

▶ 포장

포 장	<ul style="list-style-type: none"> ▣ 개별포장시 포장불량이 없는지 잘 검수를 철저히 한다.
------------	---

▶ (간장)



▶ 원재료

원 료	<ul style="list-style-type: none"> ▣ 주 원료 대두, 소맥분의 경우 입고시 이물질이 유입되었는지 검사를 철저히 한다. ▣ 시험성적서를 확인한다.
보 관	<ul style="list-style-type: none"> ▣ 원료자체 오염 및 보관시 환경으로부터 오염될 수 있으므로 위생적으로 보관 관리한다.

▶ 공정

혼합 · 제국 · 숙성 · 압착	<ul style="list-style-type: none"> ▣ 곰팡이는 주위 환경으로부터의 오염가능성이 있으므로 혼합탱크, 제국탱크, 숙성탱크를 세척하고 소독 · 관리한다. ▣ 작업장 관리를 철저히 한다.
살 균	<ul style="list-style-type: none"> ▣ 살균 온도 및 시간의 부적절로 인한 곰팡이가 발생할 수 있으므로 80-85℃ 범위의 적절한 살균한다. ▣ 작업장을 위생적으 관리한다.

▶ 포장

포 장	<ul style="list-style-type: none"> ▣ 개별포장시 포장불량이 없는지 잘 검수를 철저히 한다.
-----	---



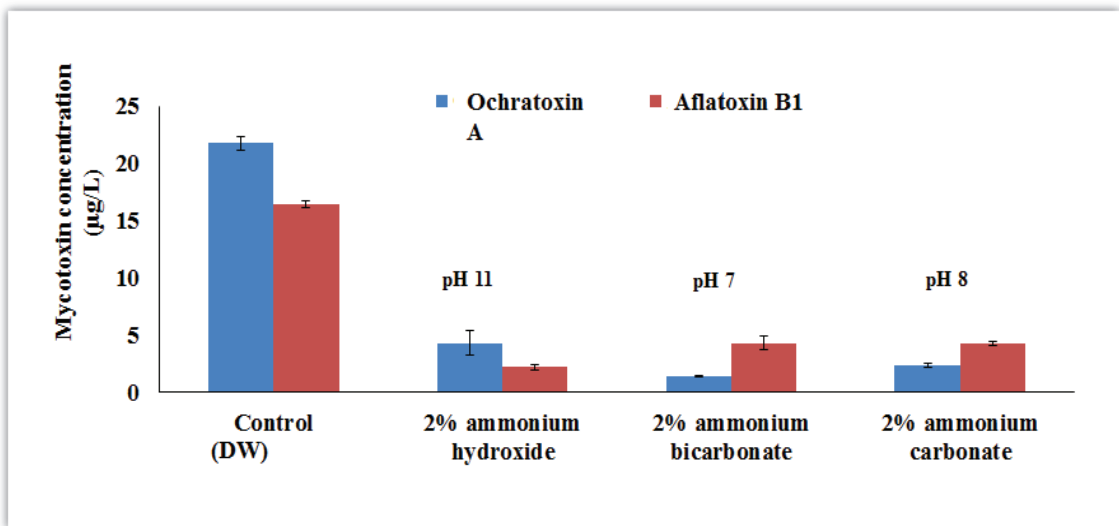
〈된장 및 간장 제조공정 도식도〉



1. 된장 곰팡이 저감화 연구사례

① 메주세척

식품첨가물 암모니아와 탄산암모니아, 중탄산암모니아를 이용한 메주 세척제를 사용하여 장류 제조 중 오크라톡신 A 및 아플라톡신 B1 저감을 확인해 보았다.

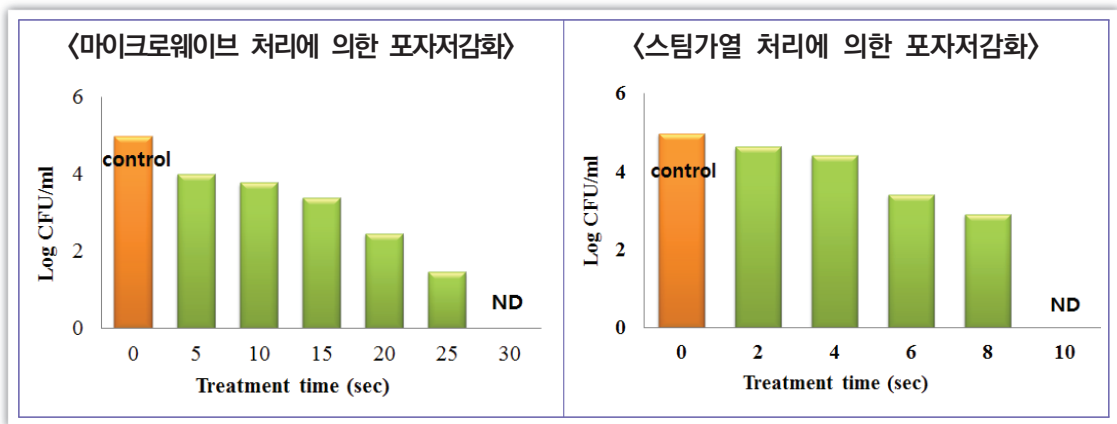


24시간 반응 결과 세가지 물질 모두 오크라톡신 A와 아플라톡신 B1에 저감이 높았다. 암모니아는 오크라톡신 A와 아플라톡신 B1가 각각 약 80%와 86%로 나타났고 탄산암모니아와 중탄산 암모니아는 오크라톡신 A와 아플라톡신 B1의 저감이 약 93%와 73%로 나타났다. 하지만 암모니아 용액의 경우 pH가 식품에 사용하기에는 다소 높으므로(pH 11) 세척수 활용은 피하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

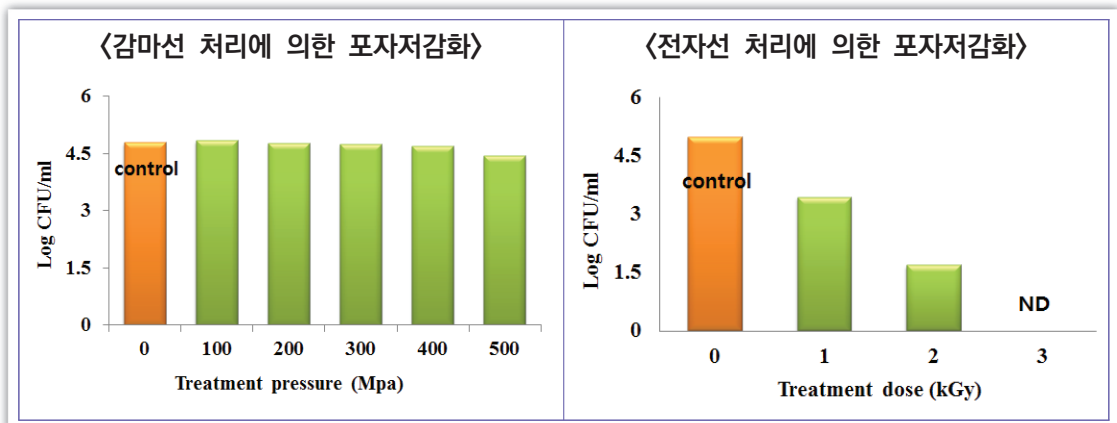


② 살균

된장에 마이크로웨이브를 처리시, 아스페르길루스 플라부스(*A. flavus*)가 된장은 30 초에서 4.98log 감소하였다. 된장에 스팀 가열을 100℃에서 10초 처리시, 아스페르길루스 플라부스 (*A. flavus*)가 4.98log 감소하였다.



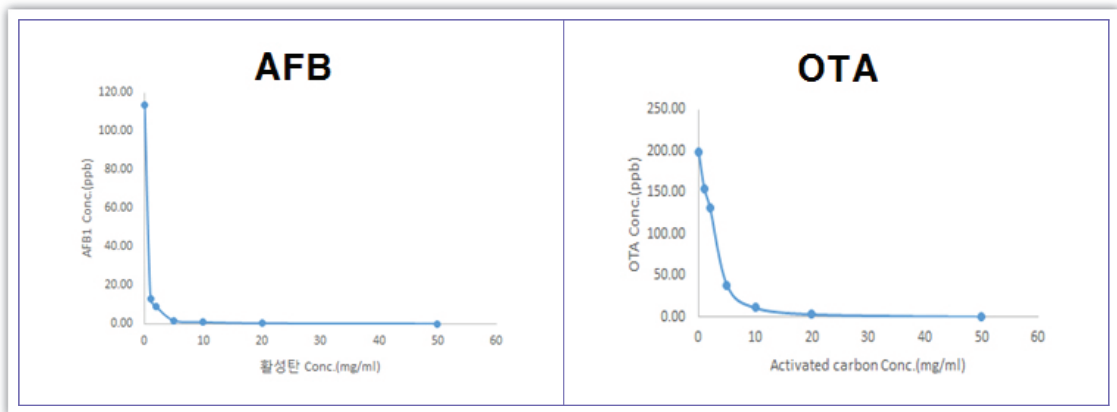
된장에 초고압을 500 MPa에서 5분 처리시, 아스페르길루스 플라부스(*A. flavus*)가 0.36log 감소하여 그 효과는 크지 않았다. 된장에 감마선을 처리시, 아스페르길루스 플라부스 (*A. flavus*)가 된장은 3 kGy에서 4.97log 감소하였고, 전자선을 3 kGy 처리시, 아스페르길루스 플라부스(*A. flavus*)는 각 4.93log 감소하였다.



2. 간장 곰팡이 저감화 연구사례

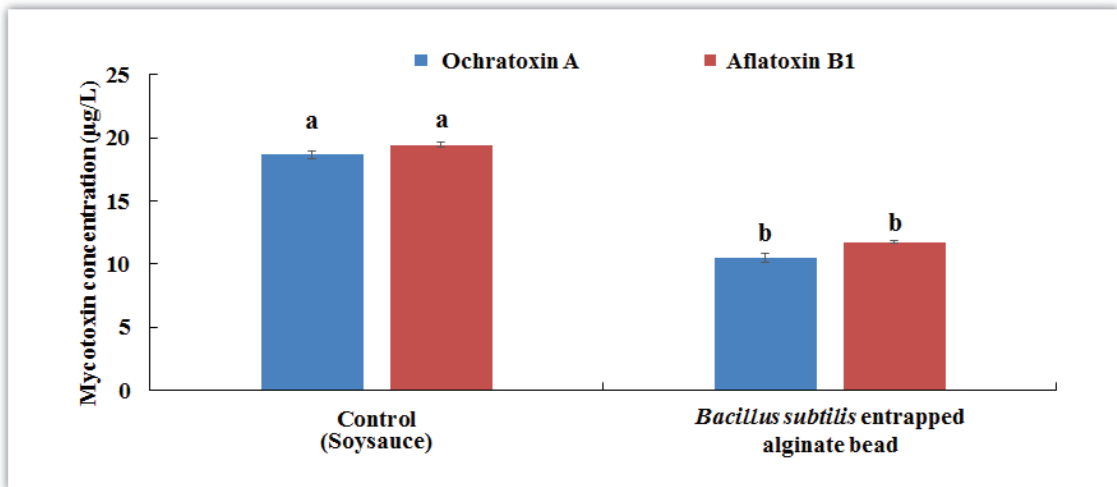
① 흡착제

활성탄을 이용하여 간장에서의 독소 저감화 효과를 측정하였다. 오크라톡신 A에 오염된 간장에 활성탄을 농도별(1, 2, 5, 10, 20, 50 mg/mL)로 첨가하였을 때, 10 mg/mL 이상에서 90%가 넘는 저감화율을 보였다. 아플라톡신 B1이 오염된 간장의 경우는 활성탄을 2 mg/mL 이상 첨가하면 90%가 넘는 저감화율을 보였다. 오크라톡신 A와 아플라톡신 B1 모두 오염된 간장에 활성탄을 첨가하면 오크라톡신 A는 5 mg/mL 이상에서 90% 이상 저감화 되었으며, 아플라톡신 B1은 2 mg/mL 이상에서 90% 이상 저감화되었다.

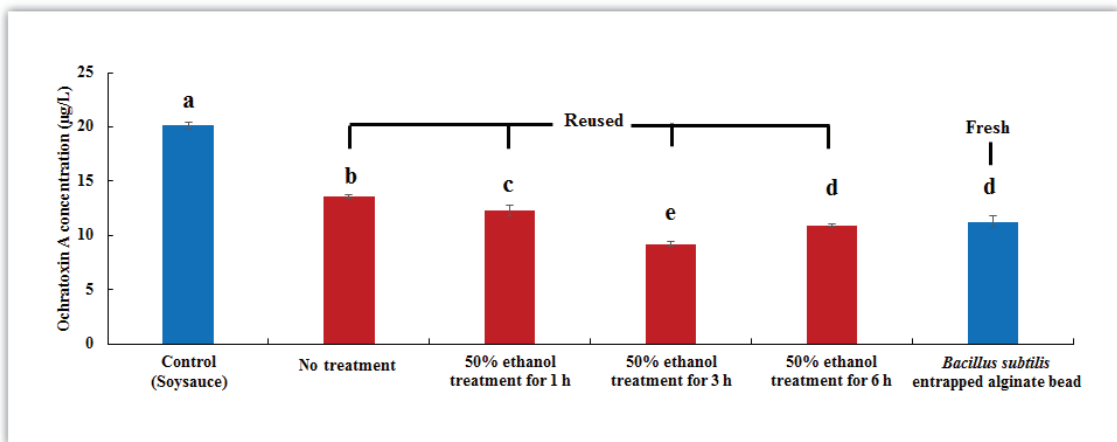


② 흡착균주

바실러스 서브틸리스(*B. subtilis*) 포집 alginate bead를 간장에 25% 첨가하였을 때 간장의 초기 오크라톡신 A를 약 80% 흡착하는 것으로 나타났다. Alginate bead 자체의 오크라톡신 A 흡착은 약 20%로 나타남으로써 바실러스 서브틸리스(*B. subtilis*) 포집 alginate bead를 오크라톡신 A가 오염된 간장에 오크라톡신 A 저감 목적을 위하여 사용가능하다는 것을 확인하였다.



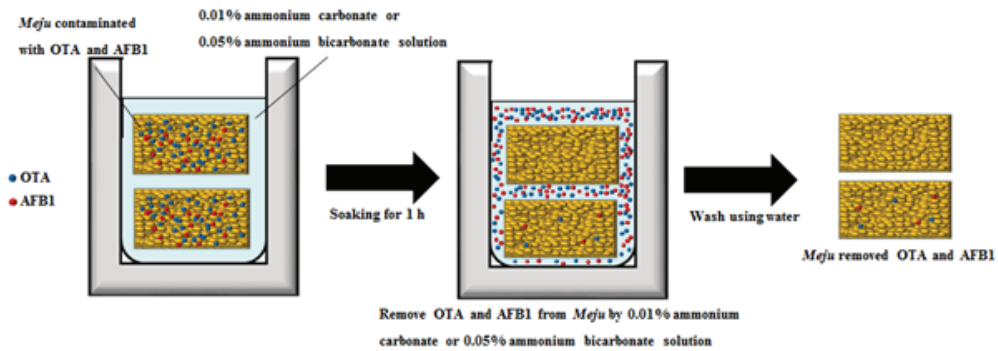
또한 바실러스 서브틸리스(*B. subtilis*) 포집 alginate bead는 간장에 재사용에 따른 아플라톡신 B1과 오크라톡신A 저감화 정도를 확인해본 결과 바실러스 서브틸리스(*B. subtilis*) 포집 alginate bead 재사용(1차)시 30%저감화 되는 것을 확인하였다. 또한 1차 사용한 바실러스 서브틸리스(*B. subtilis*) 포집 alginate bead에 50%에탄올 처리시 저감화 효과가 높음을 확인 할 수 있었다.



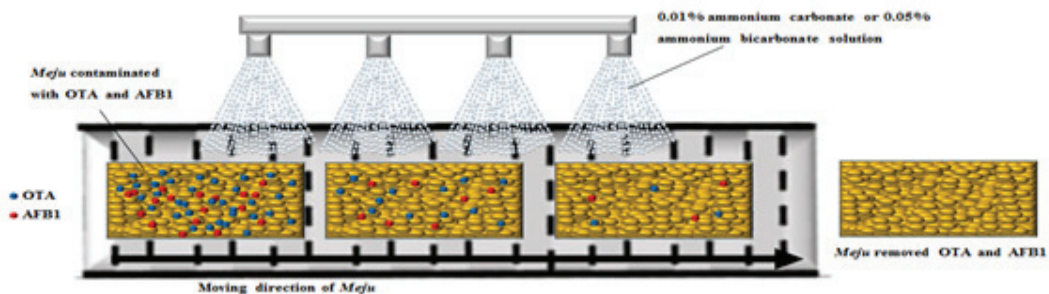
가공업체에서의 곰팡이독소 저감화에 활용 가능한 방법

▶ 된장산업 : 식품첨가물(Ammonium hydroxide와 ammonium carbonate, ammonium bicarbonate)을 이용한 메주세척제 활용

① 침지법 : 0.01% 탄산암모늄과 0.05% 중탄산 암모늄을 이용한 메주를 1시간 정도 침지 시키면 오크라톡신A와 아플라톡신B1 제거 가능

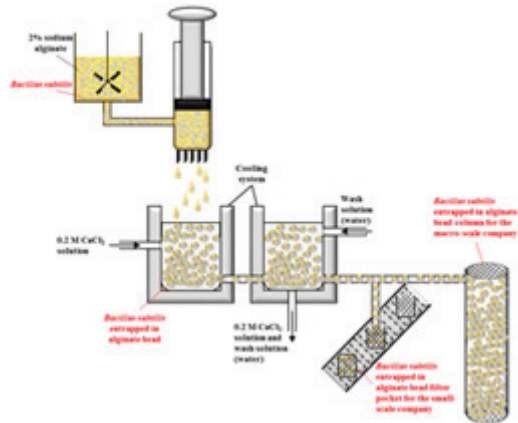


② 세척법 : 0.01% 탄산암모늄과 0.05% 중탄산 암모늄용액을 메주에 반복적으로 뿌려줌으로써 오크라톡신A와 아플라톡신B1 제거 가능

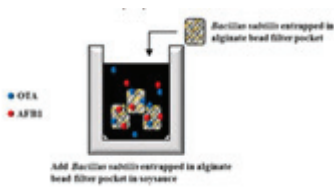




▶ 간장산업: 생산규모에 따른 바실러스 서브틸리스(*Bacillus subtilis*) 포집 alginate bead 활용

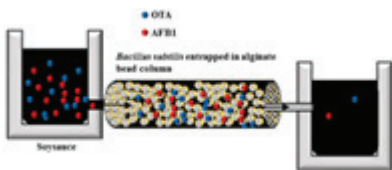


① 소규모식품생산 및 가정용 : 포켓형태로 제조



바실러스 서브틸리스(*B. subtilis*)포집 alginate bead 포켓을 간장에 넣고 4시간후 꺼내면 오크라톡신A 및 아플라톡신B1 저감

② 대규모식품생산 및 가정용 : 컬럼형태로 활용



바실러스 서브틸리스(*Bacillus subtilis*) 포집 alginate bead 컬럼에 간장을 통과시킴으로써 오크라톡신A 및 아플라톡신B1 저감



1차 세척시 6%, 2차 세척시 5%, 3차 세척시 4% 정도의 세척에 의한 오크라톡신 A 감소 효과를 확인할 수 있었다.

(침지)

세척한 현미는 10℃ 이하의 증류수 20L를 이용하여 12시간동안 침지하였다. 침지액에 추출되어 나온 오크라톡신 A 함량은 14.0 ppb로, 침지효과를 비교하였을 때, 침지에 의해 15% 정도의 오크라톡신 A 감소효과를 확인할 수 있었다.

(증자)

침지한 현미는 멸균기(Autoclave)를 이용하여 110℃에서 1시간 동안 증자를 실시하였다. 증자 공정을 거친 현미의 오크라톡신 A 함량은 69.2 ppb로, 침지 공정 이후의 현미에서 오크라톡신 A 함량이 77.8 ppb였을 때와 증자 공정에 의한 감소 효과를 비교하였을 때, 증자 공정에 의해 11% 정도의 오크라톡신 A 감소 효과를 확인할 수 있었다.

(건조)

증자한 현미는 64℃에서 2시간 동안 열풍을 가하여 건조하였으며 열풍건조 공정을 거친 현미의 오크라톡신 A 함량은 59.5 ppb로, 증자 공정 이후의 현미에서 오크라톡신 A 함량이 69.2 ppb였을 때와 열풍건조 공정에 의한 감소 효과를 비교하였을 때, 건조 공정에 의해 14% 정도의 오크라톡신 A 감소 효과를 확인할 수 있었다.

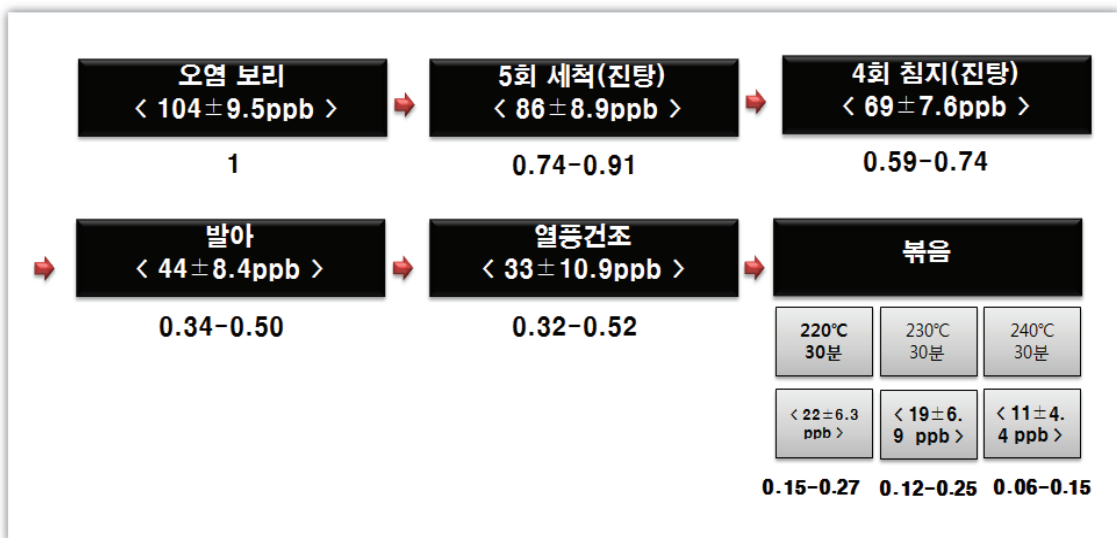
(가열)

열풍건조 공정을 마친 현미를 1 kg씩 칭량하여 90℃, 100℃, 110℃의 각 온도 조건에서 온도별로 10분 동안 볶았다. 열풍건조 공정을 마친 현미를 90℃, 100℃, 110℃의 각 온도 조건에서 온도별로 10분 동안 가열한 결과, 90℃에서 10분 볶은 경우에는 48.7 ppb, 100℃에서 10분 볶은 경우에는 47.6 ppb, 110℃에서 10분 볶은 경우에는 45.4 ppb로, 열풍건조

공정 이후의 현미에서 오크라톡신 A 함량이 59.5 ppb였을 때와 각 온도별 볶음 공정에 의한 오크라톡신 A 감소 효과를 비교하였을 때 90°C에서 10분 볶은 경우에는 18%, 100°C에서 10분 볶은 경우에는 20%, 110°C에서 10분 볶은 경우에는 24%의 오크라톡신 A 감소 효과를 나타내었다.

2. 발아보리차 곰팡이 저감화 연구사례

발아보리차의 제조공정 단계에서의 오크라톡신 A 감소율을 확인하기 위해 페니실룸 베루코섬 (*Penicillium verrucosum*) FRR 5788균을 접종한 보리 1Kg을 가지고 저감화 경향을 확인하였다.



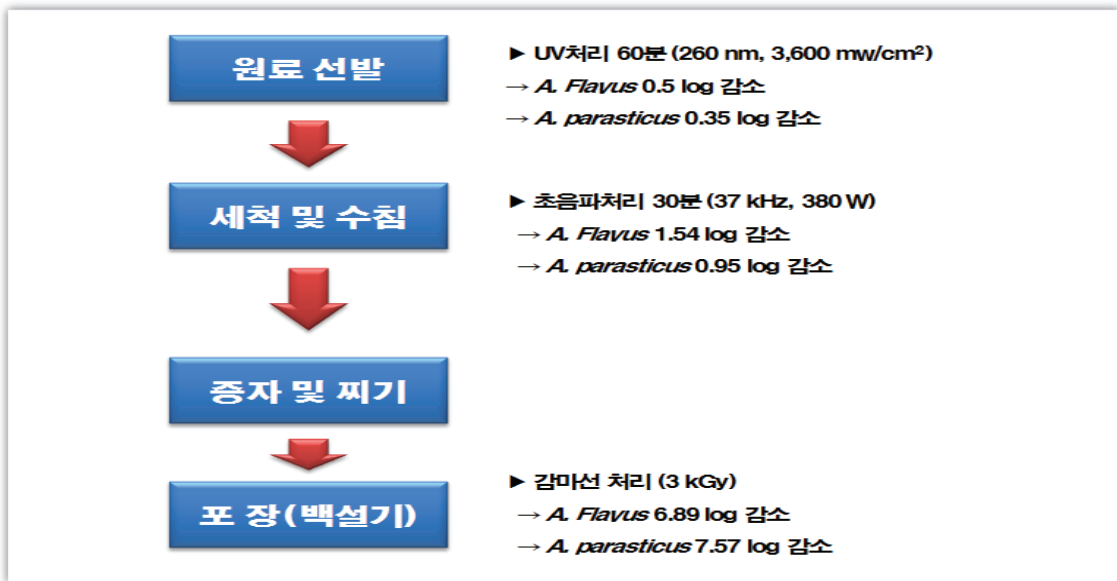
오크라톡신 A 감소계수는 세척시 0.74 ~ 0.91, 침지 시 0.59 ~ 0.74, 발아 시 0.34 ~ 0.50, 열풍건조 시 0.32 ~ 0.52, 220°C 30 min에서 0.15 ~ 0.27, 230°C 30 min에서 0.12~0.25, 240°C 30 min에서 0.06~0.15로 산출 되었다.

이와 같은 공정을 통하여 최종적으로 약 90%의 오크라톡신 A 저감화가 가능하다.



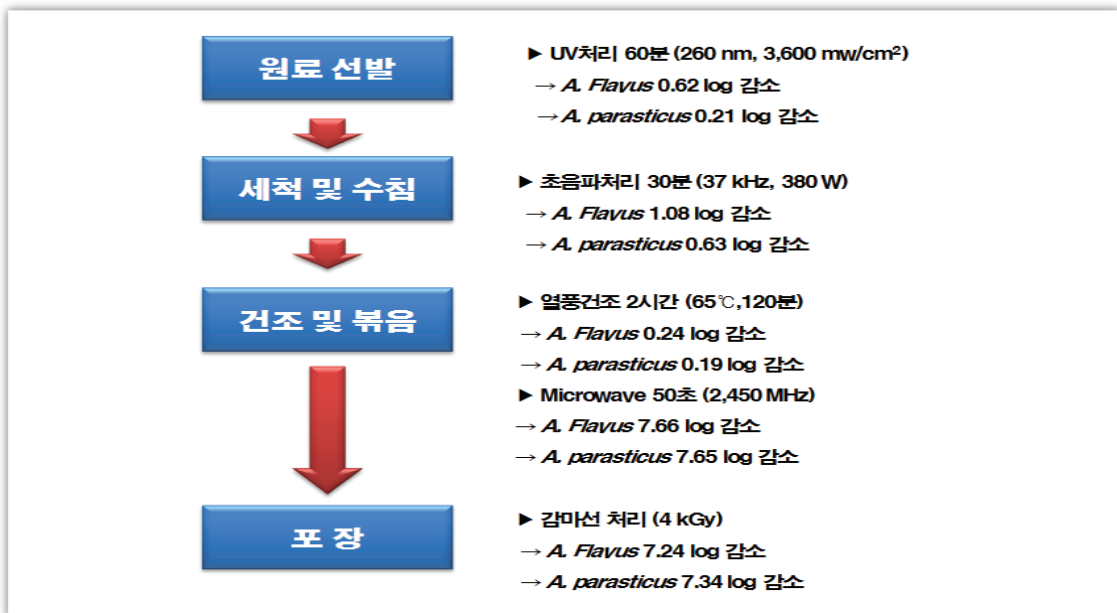
3. 떡류 곰팡이 저감화 연구사례

떡류(백미, 백설기)에 존재하는 곰팡이포자의 제어를 위하여 물리적 살균기술을 적용한 결과, 백미에 UV를 $3600 \text{ mW} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$ 처리시, 아스페르길루스 플라부스(*A. flavus*)는 각 0.5log, 아스페르길루스 파라시티쿠스(*A. parasticus*)는 0.35log 감소하였다. 백미에 초음파를 30 분 처리시, 아스페르길루스 플라부스(*A. flavus*)는 1.54log, 아스페르길루스 파라시티쿠스(*A. parasticus*)는 0.95log 감소하는 것으로 나타났다. 백미, 백설기에 감마선을 3kGy 처리시 아스페르길루스 파라시티쿠스(*A. parasticus*)는 각 7.72, 7.57log 감소하였다.



4. 옥수수차 곰팡이 저감화 연구사례

옥수수 수염차에 존재하는 곰팡이孢자의 제어를 위하여 물리적 살균기술을 적용한 결과, 옥수수에 UV를 $3600 \text{ mW} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$ 처리시, 아스페르길루스 플라부스(*A. flavus*)는 0.62log, 아스페르길루스 파라시티쿠스(*A. parasticus*)는 0.21log 감소하였다. 옥수수에 초음파를 30 분 처리시, 아스페르길루스 플라부스(*A. flavus*)는 1.08log, 아스페르길루스 파라시티쿠스(*A. parasticus*)는 0.63log 감소하는 것으로 나타났다. 옥수수에 감마선을 4 kGy 처리시, 아스페르길루스 플라부스(*A. flavus*)는 각 7.69, 7.24log, 아스페르길루스 파라시티쿠스(*A. parasticus*)는 7.34log 감소하였다. 옥수수에 열풍(65°C)을 120 분 처리시, 아스페르길루스 플라부스(*A. flavus*)는 0.24log, 아스페르길루스 파라시티쿠스(*A. parasticus*)는 0.19log 감소하였다. 옥수수에 마이크로웨이브를 50 초 처리시, 아스페르길루스 플라부스(*A. flavus*)는 7.66, 아스페르길루스 파라시티쿠스(*A. parasticus*)는 7.65log 감소하는 것으로 나타났다.





V

참고문헌



1. Amezqueta, S., Gonzalez-Penas, E., Murillo-Arbizu, M., & Cerain, A.L.D. (2009). Ochratoxin A decontamination: A review. *Food Control* 20, 326-333
2. Abrunhosa, L., & Venancio, A. (2007). Isolation and purification of an enzyme hydrolyzing ochratoxin A from *Aspergillus niger*. *Biotechnology Letters*, 29(12), 1909-1914.
3. Abrunhosa, L., Santos, L., & Venancio, A. (2006). Degradation of ochratoxin A by proteases and by a crude enzyme of *Aspergillus niger*. *Food Biotechnology*, 20(3), 231-242.
4. Abrunhosa, L., Serra, R., & Venancio, A. (2002). Biodegradation of ochratoxin A by fungi isolated from grapes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(25), 7493-7496.
5. Adebo, O., Njobeh, P., Gbashi, S., Nwinyi, O., Mavumengwana, V. (2017). Review on microbial degradation of aflatoxins. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(15), 3208-3217.
6. Akiyama, H., Goda Y., Tanaka, T., & Toyoda, M. (2001). Determination of aflatoxins B1, B2, G1 and G2 in spices using a multifunctional column clean-up. *Journal of Chromatography A* 932, 153-157.
7. Aldred, D., & Magan, N. (2004). Prevention strategies for trichothecenes. *Toxicology Letters*, 153(1), 165-171.
8. Amezqueta S, Gonzalez-Penas E, Murillo M, Lopez de Cerain A (2005) Occurrence of ochratoxin A in cocoa beans: effect of shelling *Food Additives and Contaminants* 22, 590-596.
9. Amezqueta, S., Gonzalez-Penas, E., Lizarraga, T., Murillo-Arbizu, M., & De Cerain, A. L. (2008). A simple chemical method reduces ochratoxin A in contaminated cocoa shells. *Journal of Food Protection*, 71(7), 1422-1426.
10. Apeagyei, F., Lamplugh, S., Hendrickse, R., Affram, K., & Lucas, S. (1986). Aflatoxins in the livers of children with kwashiorkor in Ghana. *Tropical and*

- Geographical Medicine, 38, 273–276.
11. Audenaert, K., Vanheule, A., Höfte, M., & Haesaert, G. (2013). Deoxynivalenol: a major player in the multifaceted response of *Fusarium* to its environment. *Toxins*, 6(1), 1–19.
 12. Aziz, N.H., & Mahrous, S.R. (2004). Effect of γ -irradiation on aflatoxin B1 production by *Aspergillus flavus* and chemical composition of three crop seeds. *Nahrung* 48(3), 234–238.
 13. Azziz-Baumgartner, E. et al. (2005). Case-control study of an acute aflatoxicosis outbreak, Kenya, 2004. *Environmental Health Perspectives*, 113(12), 1779–1783.
 14. Azzoune, N., Mokrane, S., Riba, A., Bouras, N., Verheecke, C., Sabaou, N., & Mathieu, F. (2016). Contamination of common spices by aflatoxigenic fungi and aflatoxin B1 in Algeria. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods* 8, 137–144.
 15. Bankole, S. A., & Adebajo, A. (2003). Mycotoxins in food in West Africa: current situation and possibilities of controlling it. *African Journal of Biotechnology*, 2(9), 254–263.
 16. Becci, P. J., Voss, K. A., Hess, F. G., Gallo, M. A., Parent, R. A., Stevens, K. R., & Taylor, J. M. (1982). Longterm carcinogenicity and toxicity study of zearalenone in the rat. *Journal of Applied Toxicology*, 2(5), 247–254.
 17. Belli, N., Marin, S., Argiles, E., Ramos, A. J., & Sanchis, V. (2007a). Effect of chemical treatments on ochratoxigenic fungi and common mycobiota of grapes (*Vitis vinifera*). *Journal of Food Protection*, 70(1), 157–163.
 18. Bleve, G., Grieco, F., Cozzi, G., Logrieco, A., & Visconti, A. (2006). Isolation of epiphytic yeasts with potential for biocontrol of *Aspergillus carbonarius* and *A. niger* on grape. *International Journal of Food Microbiology*, 108(2), 204–209.

19. Bortoli, G., & Fabian, M. (1997) A process to remove mycotoxins from green coffee, [P].European: PCT/EP 97/02014, 1997/04/22
20. Brown, R.L., Chen, Z.-Y., Menkir, A., Cleveland, T.E., Cardwell, K., Kling, J., & White, D.G. (2001). Resistance to aflatoxin accumulation in kernels of maize in breeds selected for ear rot resistance in West and Central Africa. *Journal of Food Protection* 64, 396-400.
21. Bryden, W.L. (2012). Mycotoxin contamination of the feed supply chain: Implications for animal productivity and feed security. *Animal Feed Science and Technology*, 173, 134-158.
22. Bucheli, P., & Taniwaki, M. (2002). Research on the origin, and on the impact of post-harvest handling and manufacturing on the presence of ochratoxin A in coffee. *Food Additives & Contaminants*, 19, 655-665.
23. Burgos-Hernández, A., López-García, R., Njapau, H., & Park, D. (2001). Partial chemical/ structural elucidation of anti-mutagenic compounds from corn. *Toxicology*, 166, 161-170.
24. Chen, X., Horn, N., & Applegate, T. (2014). Efficiency of hydrated sodium calcium aluminosilicate to ameliorate the adverse effects of graded levels of aflatoxin B1 in broiler chicks. *Poultry Science*, 93, 2037-2047.
25. Codex Alimentarius Commission, & Codex Alimentarius Commission. (2003). Code of practice for the prevention and reduction of mycotoxin contamination of cereals, including annexes on ochratoxin A, zearalenone, fumonisins and trichothecenes. CAC/RCP, 51-2003.
26. Cotty, P., & Bayman, P. (1993). Competitive exclusion of a toxigenic strain of *Aspergillus flavus* by an atoxigenic strain. *Phytopathology*, 83, 1283-1287.
27. Dakovic', A., Tomaevi-anovi, M., Dondur, V., Rottinghaus, G. E., Medakovi, V., & Zari, S. (2005). Adsorption of mycotoxins by organozeolites. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 46(1), 20-25.

28. Deberghes, P., Betbeder, A. M., Boisard, F., Blanc, R., Delaby, J. F., Krivobok, S., & Creppy, E. E. (1995). Detoxification of ochratoxin A, a food contaminant: prevention of growth of *Aspergillus ochraceus* and its production of ochratoxin A. *Mycotoxin Research*, 11(1), 37-47.
29. D'Mello, J.F. (1997). *Handbook of plant and fungal toxicants*. CRC Press, Boca Raton, FL.
30. EFSA (European food safety authority) (2005). Opinion of the scientific panel on contaminants in food chain on a request from the commission related to fumonisins as undesirable substances in animal feed. 235, 1-32.
31. Ehling G., Cockburn A., Snowdon P., Buschhaus H. (1997). The significance of the fusarium toxin deoxynivalenol (DON) for human and animal health. *Cereal research communications*, 25(3), 443-447.
32. Elias-Orozco, R., Castellanos-Nava, A., Gaytan-Martinez, M., Figueroa-Cárdenas, J., & Loarca-Pina, G. (2002). Comparison of nixtamalization and extrusion processes for a reduction in aflatoxin content. *Food Additives & Contaminants*, 19, 878-885.
33. Eriksen, G.S., & Alexander, J. (1998). *Fusarium toxins in cereals: a risk assessment*. Nordic Council of Ministers, Copenhagen, Denmark.
34. Fandohan, P., Zoumenou, D., Hounhouigan, D., Marasas, W., Wingfield, M., & Hell, K. (2005). Fate of aflatoxins and fumonisins during the processing of maize into food products in Benin. *International Journal of Food Microbiology*, 98, 249-259.
35. FAO (1991) *Strategies for assessing the safety of foods produced by biotechnology : report of a joint FA*. ISBN 92 4 156145 9
36. FAO. (2006). *Guidelines for the prevention of mould formation in coffee*, 12-13

37. FAO/WHO/UNEP. (1999). Minimizing risks posed by mycotoxins utilizing the HACCP concept. Third Joint FAO/WHO/UNEP International Conference On Mycotoxins, 8b, 1-13
38. Fung, F., & Clark, R.F. (2004). Health effects of mycotoxins: a toxicological overview. *Journal of Toxicology: Clinical Toxicology*, 42, 217-234.
39. Gong Y et al. (2004). Postweaning exposure to aflatoxin results in impaired child growth: a longitudinal study in Benin, West Africa. *Environmental Health Perspectives*, 112(13), 1334-1338.
40. Grenier, B., Loureiro-Bracarense, A.-P., Leslie, J.F., & Oswald, I.P. (2014). Physical and Chemical Methods for Mycotoxin Decontamination in Maize, (ed.) Leslie, J.F. & Logrieco, A. *Mycotoxin Reduction in Grain Chains*, pp. 116, Wiley-Blackwell, West Sussex, UK.
41. Hassan, Y.I., Watts, C., Li, X.-Z., & Zhou, T. (2015). A novel peptide-binding motifs inference approach to understand deoxynivalenol molecular toxicity. *Toxins*, 7, 1989-2005.
42. Heilmann, W., Rehfeldt, A. G., & Rotzoll, F. (1999). Behaviour and reduction of ochratoxin A in green coffee beans in response to various processing methods. *European Food Research and Technology*, 209(3-4), 297-300.
43. Hell, K., Mutegi, C. (2011). Aflatoxin control and prevention strategies in key crops of Sub-Saharan Africa. *African Journal of Microbiology Research*, 5(5), 459-466.
44. Horn, B.W., & Dorner, J.W. (2002). Effect of competition and adverse culture conditions on aflatoxin production by *Aspergillus flavus* through successive generations. *Mycologia*, 94, 741-751.
45. Hussain, A., Ali, J., & Ullah, S. (2011). Studies on contamination level of aflatoxins in Pakistani rice. *Journal of the Chemical Society of Pakistan*, 33, 481-484.

46. Huwig, A., Freimund, S., Kappeli, O., & Dutler, H. (2001). Mycotoxin detoxication of animal feed by different adsorbents. *Toxicology Letters*, 122(2), 179–188.
47. Hwang, J.-H., & Lee, K.-G. (2006). Reduction of aflatoxin B1 contamination in wheat by various cooking treatments. *Food Chemistry*, 98, 71–75.
48. Inan, F., Pala, M., & Doymaz, I. (2007). Use of ozone in detoxification of aflatoxin B1 in red pepper. *Journal of Stored Products Research*, 43(4), 425–429.
49. Iram, W., Anjum, T., Iqbal, M., Ghaffar, A., & Abbas, M. (2015). Mass spectrometric identification and toxicity assessment of degraded products of aflatoxin B1 and B2 by *Corymbia citriodora* aqueous extracts. *Scientific Reports*, 5, 14672.
50. Iram, W., Anjum, T., Iqbal, M., Ghaffar, A., & Abbas, M. (2016). Structural elucidation and toxicity assessment of degraded products of aflatoxin B1 and B2 by aqueous extracts of *Trachyspermum ammi*. *Frontiers in Microbiology*, 7, 346.
51. Jalili, M., Jinap, S., & Son, R. (2011). The effect of chemical treatment on reduction of aflatoxins and ochratoxin A in black and white pepper during washing. *Food Additives and Contaminants*, 28(4), 485–493.
52. Jard, G., Liboz, T., Mathieu, F., Guyonvarc'h, A., & Lebrihi, A. (2011). Review of mycotoxin reduction in food and feed: from prevention in the field to detoxification by adsorption or transformation. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 28(11), 1590–1609.
53. Kabak, B., Dobson, A. D., & Var, I. I. L. (2006). Strategies to prevent mycotoxin contamination of food and animal feed: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 46(8), 593–619.

54. Kouadio, A. I., Agbo, N. G., Lebrihi, A., Mathieu, F., & Dosso, M. (2006). Effect of the frequency of the mixing of coffee cherries put out for drying on the kinetics of drying and the relationship to ochratoxin A production. *Food Additives and Contaminants*, 23(3), 295-304.
55. Krishnamachari, K., Nagarajan, V., Bhat, R., & Tilak, T. (1975). Hepatitis due to aflatoxicosis: an outbreak in western India. *The Lancet*, 305, 1061-1063.
56. Leung, M. C., Diaz-Llano, G., & Smith, T. K. (2006). Mycotoxins in pet food: a review on worldwide prevalence and preventative strategies. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(26), 9623-9635.
57. Lindner, W. (1996). Decontamination and detoxification of cereals contaminated with mycotoxins, U.S. Patent No. 5,498,431. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
58. Liu, R. et al. (2012). In vitro toxicity of aflatoxin B1 and its photodegradation products in HepG2 cells. *Journal of Applied Toxicology*, 32, 276-281.
59. Llewellyn, G., Stephenson, G., & Hofman, J. (1977). Aflatoxin B1 induced toxicity and teratogenicity in Japanese medaka eggs (*Oryzias latipes*). *Toxicol*, 15, 582-587,
60. Lopez-Garcia, R., Mallmann, C. A., & Pineiro, M. (2008). Design and implementation of an integrated management system for ochratoxin A in the coffee production chain. *Food Additives and Contaminants*, 25(2), 231-240.
61. Luo, X., Wang, R., Wang, L., Li, Y., Bian, Y., Chen, Z. (2014). Effect of ozone treatment on aflatoxin B 1 and safety evaluation of ozonized corn. *Food Control*, 37, 171-176.
62. Luo, X., Wang, R., Wang, L., Wang, Y., & Chen, Z. (2013). Structure elucidation and toxicity analyses of the degradation products of aflatoxin B1 by aqueous ozone. *Food Control*, 31(2), 331-336.

63. Magan, N., & Aldred, D. (2005). Conditions of formation of ochratoxin A in drying, transport and in different commodities. *Food Additives and Contaminants*, 22(s1), 10–16.
64. Magan, N., Hope, R., Cairns, V., & Aldred, D. (2003). Post-harvest fungal ecology: impact of fungal growth and mycotoxin accumulation in stored grain. In: Xu, X., Bailey, J.A., Cooke, B.M. (eds) *Epidemiology of Mycotoxin Producing Fungi*, pp. 723–730, Springer, Dordrecht.
65. Masood, M., Iqbal, S.Z., Asi, M.R., & Malik, N. (2015). Natural occurrence of aflatoxins in dry fruits and edible nuts. *Food Control*, 55, 62–65.
66. Medina, A., Jimenez, M., Mateo, R., & Magan, N. (2007a). Efficacy of natamycin for control of growth and ochratoxin A production by *Aspergillus carbonarius* strains under different environmental conditions. *Journal of Applied Microbiology*, 103(6), 2234–2239.
67. Medina, A., Mateo, R., Valle-Algarra, F. M., Mateo, E. M., & Jimenez, M. (2007b). Effect of carbendazim and physicochemical factors on the growth and ochratoxin A production of *Aspergillus carbonarius* isolated from grapes. *International Journal of Food Microbiology*, 119(3), 230–235.
68. Mendez-Albores, A., Del Rio-Garcia, J. C., & Moreno-Martinez, E. (2007). Decontamination of aflatoxin duckling feed with aqueous citric acid treatment. *Animal Feed Science and Technology*, 135(3–4), 249–262.
69. Mendez-Albores, A., Nicolas-Vazquez, I., Miranda-Ruvalcaba, R., & Moreno-Martinez, E. (2008). Mass spectrometry/mass spectrometry study on the degradation of B-aflatoxins in maize with aqueous citric acid. *American Journal of Agricultural and Biological Science*, 3(2), 482–489.
70. Moreno, O., & Kang, M. (1999). Aflatoxins in maize: the problem and genetic solutions. *Plant Breeding*, 118, 1–16.

71. Olsen, J., Dragsted, L., & Autrup, H. (1988). Cancer risk and occupational exposure to aflatoxins in Denmark. *British Journal of Cancer*, 58, 392-396.
72. Park, J.W., Choi, S.-Y., Hwang, H.-J., & Kim, Y.-B. (2005). Fungal mycoflora and mycotoxins in Korean polished rice destined for humans. *International Journal of Food Microbiology*, 103, 305-314.
73. Patten, R.C. (1981). Aflatoxins and disease. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 30(2), 422-425.
74. Peraica, M., Radic, B., Lucic, A., & Pavlovic, M. (1999). Toxic effects of mycotoxins in humans. *Bulletin of the World Health Organization*, 77, 754-766.
75. Peteri, Z., Teren, J., Vagvolgyi, C., & Varga, J. (2007). Ochratoxin degradation and adsorption caused by astaxanthin-producing yeasts. *Food Microbiology*, 24(3), 205-210.
76. Quillien, J.F. (2002). Mycotoxins. *INRA* 3: 1-24.
77. Rasmussen, T.B. et al. (2005). Identity and effects of quorum-sensing inhibitors produced by *Penicillium* species. *Microbiology*, 151, 1325-1340.
78. Reddy, C., Reddy, K., Kumar, R., Laha, G., & Muralidharan, K. (2004). Exploration of aflatoxin contamination and its management in rice. *Journal of Mycology and Plant Pathology*, 34, 816-820.
79. Reye, R., Morgan, G., & Baral, J. (1963). Encephalopathy and fatty degeneration of the viscera a disease entity in childhood. *The Lancet*, 282, 749-752.
80. Riba, A., Bouras, N., Mokrane, S., Mathieu, F., Lebrihi, A., & Sabaou, N. (2010). *Aspergillus* section *Flavi* and aflatoxins in Algerian wheat and derived products *Food and Chemical Toxicology*, 48, 2772-2777.

81. Ringot, D., Lerzy, B., Chaplain, K., Bonhoure, J. P., Auclair, E., & Larondelle, Y. (2007). In vitro biosorption of ochratoxin A on the yeast industry by-products: Comparison of isotherm models. *Bioresource Technology*, 98(9), 1812-1821.
82. Rodrigues, I., & Naehrer, K. (2012). A three-year survey on the worldwide occurrence of mycotoxins in feedstuffs and feed. *Toxins*, 4, 663-675.
83. Ross, R.K. et al. (1992) Urinary aflatoxin biomarkers and risk of hepatocellular carcinoma. *The Lancet*, 339, 943-946.
84. Rotter, B.A. (1996). Invited review: Toxicology of deoxynivalenol (vomitoxin). *Journal of Toxicology and Environmental Health Part A*, 48(1), 1-34.
85. Rustom, I.Y., López-Leiva, M.H., & Nair, B.M. (1993). Effect of pH and heat treatment on the mutagenic activity of peanut beverage contaminated with aflatoxin B1 *Food Chemistry*, 46, 37-42.
86. Rustom, I.Y.S. (1997). Aflatoxin in food and feed: occurrence, legislation and inactivation by physical methods. *Food Chemistry* 59, 57-67.
87. Santini, A., Meca, G., Uhlig, S., & Ritieni, A. (2012). Fusaproliferin, beauvericin and enniatins: occurrence in food a review. *World Mycotoxin Journal*, 5(1), 71-81.
88. Scott, P. (1996). Effects of processing and detoxification treatments on ochratoxin A : Introduction. *Food Additives and Contaminants*, 13, 19-21.
89. Scudamore, K.A., Banks, J., & MacDonald, S.J. (2003). Fate of ochratoxin A in the processing of whole wheat grains during milling and bread production. *Food Additives and Contaminants*, 20(12), 1153-1163.
90. Sforza, S., Dall'Asta, C., & Marchelli, R. (2006). Recent advances in mycotoxin determination in food and feed by hyphenated chromatographic techniques/mass spectrometry. *Mass Spectrometry Reviews*, 25, 54-76.

91. Singh, N., Jand, S., & Baxi, K. (2003). Chemical detoxification of aflatoxins in contaminated poultry feed. *Indian Journal of Animal Sciences*, 73, 197–199.
92. Stander, M.A., Bornscheuer, U.T., Henke, E., & Steyn, P.S. (2000). Screening of commercial hydrolases for the degradation of ochratoxin A. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(11), 5736–5739.
93. Sweeney, M.J. & Dobson, A.D.W. (1998). Mycotoxin production by *Aspergillus*, *Fusarium* and *Penicillium* species. *International Journal of Food Microbiology*, 43, 141–158.
94. Tangni, E.K., Simonis, J., Larondelle, Y., & De Meeus, D.A.L. (2005). Decontaminating and detoxifying liquid food media, especially beer, using insoluble vegetable fibers to adsorb mycotoxins. Patent number WO 2005 007794-A1.
95. Tripathi, S., & Mishra, H. N. (2009). Studies on the efficacy of physical, chemical and biological aflatoxin B1 detoxification approaches in red chilli powder. *International Journal of Food Safety, Nutrition and Public Health*, 2(1), 69–77.
96. Turner, P.C., Moore, S.E., Hall, A.J., Prentice, A.M., & Wild, C.P. (2003). Modification of immune function through exposure to dietary aflatoxin in Gambian children. *Environmental Health Perspectives*, 111, 217–220.
97. Valero, A., Olivan, S., Marin, S., Sanchis, V., & Ramos, A. J. (2007a). Effect of intra and interspecific interaction on OTA production by *A. section Nigri* in grapes during dehydration. *Food Microbiology*, 24(3), 254–259.
98. Varga, J., & Kozakiewicz, Z. (2006). Ochratoxin A in grapes and grape-derived products. *Trends in Food Science & Technology*, 17(2), 72–81.
99. Varga, J., Rigo, K., & Teren, J. (2000). Degradation of ochratoxin A by *Aspergillus* species. *International Journal of Food Microbiology*, 59(1–2), 1–7.

100. Venter, A.C. (2012). Glycerol compositions and solutions. EP2723170A1
101. Wang LY et al. (1996). Aflatoxin exposure and risk of hepatocellular carcinoma in Taiwan. *International Journal of Cancer*, 67, 620-625.
102. Wogan, G.N. (1992). Aflatoxins as risk factors for hepatocellular carcinoma in humans. *Cancer Research*, 52, 2114s-2118s.
103. Völkl, A., Vogler, B., Schollenberger, M., & Karlovsky, P. (2004). Microbial detoxification of mycotoxin deoxynivalenol. *Journal of Basic Microbiology*, 44, 147-156.
104. Wu, K., Liu, X., Fang, M., Wu, Y., & Gong, Z. (2014b). Zearalenone induces oxidative damage involving Keap1/ Nrf2/ HO-1 pathway in hepatic L02 cells. *Molecular & Cellular Toxicology*, 10, 451-457.
105. Zinedine A, Soriano JM, Molto JC, Manes J. (2007). Review on the toxicity, occurrence, metabolism, detoxification, regulations and intake of zearalenone: an oestrogenic mycotoxin. *Food Chem Toxicol*, 45(1), 1-18
106. 김동호, 장한섭, 최규일, 김현정, 김호진, 김효린, 조현정, 이찬 (2013) 한국산 곡류에서의 곰팡이독소 오염현황 및 동시분석 *KOREAN J. FOOD SCI. TECHNOL.* Vol. 45, No. 1, pp. 111~119
107. 박민정, 윤미혜, 홍해근, 조태석, 이인숙, 박정화, 고환욱 (2008) 식품 중 아플라톡신 오염도 조사 *J. Fd Hyg. Safety* Vol. 23, No. 2, pp. 108~112
108. 박성규, 장정임, 하광태, 김성단, 김옥희, 최영희, 승현정, 김시정, 이경아, 조한빈, 최병현, 김민영 (2009) 한약재중의 아플라톡신 오염도 조사 *J. Fd Hyg. Safety* Vol. 24, No. 2, pp. 169~173
109. 배세춘, 이원종, 류기형, 정덕화 (2004) 보리 가공에 의한 Deoxynivalenol의 감소 효과, *J. Fd Hyg. Safety* 19(3), 119-125
110. 보리 가공식품에서의 곰팡이독소 제거기술 개발 (2014) 한국과학재단

111. 서혜영 (2015) 수출용 김치의 안전성 확보를 위한 아플라톡신 오염 방지 기술 개발, 농림축산식품부, 11-1543000-001028-01
112. 엄준호, 변정아, 박유경, 서은채, 이은미, 김미라, 선남규, 김창수, 정우영, 정래석, 나미애, 이진하 (2009) 과실주스 및 음료에서 파툴린 오염실태 조사 J. Fd Hyg. Safety Vol. 24, No. 1, pp. 56~62
113. 여현종, 김종규 (2002) 쌀의 조리 및 가공 과정 중 Aflatoxin 감소에 관한 연구, J. Fd Hyg. Safety 17(2), 79-86
114. 옥현이, 심재호, 박기환, 전향숙 (2013) 기후변화와 식품 중 아플라톡신의 오염 예방 전략, Safe Food Vol.8, No3
115. 윤혜정, 박경훈, 류경열, 김세리, 윤종철, 김병석 (2012) LED 처리에 의한 고춧가루의 미생물 저감화 및 품질특성, pISSN 1229-1153 J. Fd Hyg. Safety Vol. 27, No. 4, pp. 442~448
116. 이데레사, 이수형, 이정화, 윤종철, 오경석 (2012) 국내산 미곡레 발생하는 곰팡이와 곰팡이 독소 Res. Plant Dis. 18(4) : 261-267
117. 이수형 (2012) 곡류 Fusarium 곰팡이독소 안전관리 기반기술 개발, 농촌진흥청, PJ006452
118. 이슬, 문혜경, 이수원, 문재남, 이선호, 김종국 (2013) 오미자 수확 후 이산화염소수를 이용한 표면 세척에 따른 미생물 저감 효과 ISSN(Print) : 1738-7248, ISSN(Online) : 2287-7428 Korean J Food Preserv 20(6), 871-876
119. 이유나, 김남연, 이승은, 지근억 (2016) 배양 조건이 Aspergillus sp. 의 독소 생산에 미치는 영향, pISSN 1229-1153 / eISSN 2465-9223 J. Food Hyg. Saf. Vol. 31, No. 1, pp. 36~41
120. 이희권, 황영희, 김민정, 김무기, 이성은, 이희선 (2002) 식품 및 사료에서 발생하는 곰팡이독소의 독성 및 대사 J. Korean Soc. Agric. Chem. Biotechnol. 45(1), 1-10
121. 황준호, 전향숙, 이광근 (2003) 식품중의 Aflatoxins-분석방법 및 이화학적 반응을 통한 저감화를 중심으로- J. Korean Soc. Appl. Biol. Chem. 47(1), 1-16

122. 식품 중 곰팡이독소류의 안전성 평가(2009) 식약처 연구과제
123. 곰팡이독소의 국가안전관리체계구축을 위한 연구(2003), 국립독성연구원 연구과제
124. 아플라톡신 저감화 최근 연구동향(2017) 식약처 연구과제
125. 약용작물 곰팡이독소 오염 저감화 연구(2011), 농촌진흥청 연구과제
126. 식품 전단계(Food Chain) 곰팡이 독소 저감화 연구(2017), 식약처 연구과제
- 12.7 오크라톡신 저감화 최근 연구동향(2017), 식약처 연구과제
128. 곰팡이독소 위해평가 (2016) 11-1471057-000206-01 식품의약품안전처 연구과제
129. 소규모 수확후 처리시설의 위생관리지침 개발(2015), 농촌진흥청 연구과제
130. 방사선 저항성 미생물 활용기술 개발 (2008) 한국원자력연구원 연구과제

식품 중 곰팡이독소 저감화 매뉴얼

발 행 일 : 2018년 10월

발 행 인 : 식품의약품안전평가원장 이선희

편집위원장 : 식품위해평가부장 홍진환

편 집 위 원 : 강길진, 김신희, 최장덕, 권유진, 신춘식, 신민수,
천소영, 한송이, 이봄내, 정은아

발 행 처 : 식품의약품안전평가원

문 의 처 : 식품위해평가부 오염물질과

(Tel : 043-719-4251, Fax : 043-719-4250)



"청렴한 식약처 국민 안심의 시작"

공익신고자 보호제도란?

공익신고자등(친족 또는 동거인 포함)이 공익신고등으로 인하여 피해를 받지 않도록 **비밀보장**, **불이익보호조치**, **신변보호조치** 등을 통하여 보호하는 제도

♣ 보호조치 요구 방법

우편(30102) 세종특별자치시 도움5로 20 정부세종청사 7동, 국민권익위원회
공익보호지원과 / 전화 044-200-7773 / 팩스 044-200-7949



식품의약품안전처
식품의약품안전평가원

식품의약품안전처 식품의약품안전평가원 식품위해평가부 오염물질과
28159 충청북도 청주시 흥덕구 오송읍 오송생명2로 187 오송보건의료행정타운
전화(대표) : 043) 719-4251 팩스(대표) : 043) 719-4250
www.mfds.go.kr www.nifds.go.kr