

아플라톡신 오염 및 저감화 방안

조소연 · 강인호 · 심영훈 · 양동혁 · 오세욱 · 이병희 · 현성예
장승엽 · 정춘식¹ · 이용수¹ · 김영식² · 강신정*

식품의약품안전청 의약품본부 생약평가부 한약평가팀, ¹덕성여자대학교 약학대학, ²서울대학교 약학대학

Contamination and Detoxification of Aflatoxins

So Yeon Cho, In Ho Kang, Young Hoon Shim, Dong Hyug Yang, Seh Wook Oh,
Byung Hee Lee, Seong Ye Hyeon, Seung Yeup Chang, Choon Sik Jeong¹,
Yong Soo Lee¹, Young Shik Kim², and Shin Jung Kang*

Herbal Medicine Evaluation Team, Korea Food & Drug Administration, Seoul 122-704, Korea

¹College of Pharmacy, Duksung Women's University, Seoul 132-714, Korea

²Natural Products Research Institute, Seoul National University, Seoul 110-460, Korea

Abstract – South Korea is the representative consumption country of herbal medicines and most of herbal medicines circulating in Korea have been importing from the developing countries of Southeast Asia such as China, Vietnam, Indonesia and so forth. Domestic hygiene and safety are continuously proposed because herbal medicines which are circulating have the possibility could remain contaminants or residues. Physicochemical contaminants such as heavy metals, persistent organic pollutants, radionucleosides, microbial toxins, biological contaminants such as microorganisms and animals, agrochemical residues such as pesticides, substances used for fumigation, antiviral agents, and solvent residues are classified as major contaminants and residues in herbal medicines from 2005 September WHO.¹⁾ Currently our administration have established a permission standard and the inspection criteria against the heavy metal, the residual pesticides and a residual sulfur dioxide. Furthermore our administration is continuously monitoring and conducting researches for the policies and their scientific ground against herbal medicines. But the appearances or discoveries of the harmful new species due to environmental and industrial developments are becoming social problems. Therefore it may be necessary to continuously consider and investigate regarding hereupon. Recently, the contamination of the mycotoxins against foods such as cereals, nuts and the powdered red pepper have developed and started became problematic issue, and possibility of contamination against the herbal medicine is proposed. And since populations who are using the herbal medicines very limited to several nations, recognition and researches about contamination of mycotoxins in herbal medicines are very insufficient. Therefore it will be need to more focus on the international regulation of quality control and safety for herbal medicines. Now on, we are going to introduce the importance, occurrence, characteristic properties, World-wide research trends and detoxification of aflatoxins, which is known as the most potent mutagen, carcinogen and teratogen mycotoxins.

Key words – herbal medicine, aflatoxins, contamination, detoxification

곰팡이의 이차대사산물인 곰팡이가 생성하는 독소를 통틀어 곰팡이독소(mycotoxin)라 하며 이에 대한 문제성 인식 및 연구는 1961년 아프리카로부터 수입한 땅콩 사료에 *Aspergillus flavus*와 *A. parasiticus*가 오염되어 생성된 아플라톡신에 의해 영국의 칠면조 산업이 막대한 피해를 입게 되면서 시작되었다. 당시 칠면조 폐사의 원인이 된 물질에

대해서 명확히 규명하지 못하고 “Turkey X disease”라고 명명하였으며, 그 이후 영국의 Interdepartmental Working Party on Groundnut Toxicity Research에 의해서 지속적으로 연구되어 ‘*Aspergillus flavus* toxin’이라 최초로 명명하였고 이후 아플라톡신(aflatoxins)이라고 부르게 되었다.²⁾

곰팡이독소 중 가장 독성이 큰 것으로 알려진 아플라톡신은 DNA adduct 활성화 및 형성에 의해 간장, 신장, 신경계, 내분비계 및 면역계 등에 영향을 미치며, 국제암연구소

*교신저자 (E-mail): lightnature@kfda.go.kr
(FAX): 02-385-3761

(International Agency for Research on Cancer, IARC)에서 인체 발암성이 확실한 발암물질인 Group 1로 분류하고 있다.³⁾ 아플라톡신은 완전히 건조되지 않은 농산물이나 생약 등이 환기가 잘 되지 않거나 온도 및 습도가 높은 장소에 장기간 저장되거나, 홍수·우기시 수확하였을 때, 수확에서 건조까지 저장기간이 길고, 환기가 불충분할수록 더욱 잘 생성된다. 농산물 중 쌀, 보리, 밀 등의 곡류와 땅콩, 피스타치오, 호두와 같은 견과류, 옥수수 등과 같이 탄수화물 함량이 높은 기질에서 잘 생성되며, 최근 연구에 따르면 열대 및 아열대지방을 중심으로 생산되는 호유자, 가자와 같은 종자류 생약 및 감초, 아차, 필발, 후추와 같은 일부 생약에서 아플라톡신 오염 사례가 보고된 바 있다.⁴⁻⁶⁾

생약은 건조와 저장이 불량하면 곰팡이 및 충해가 발생하기 쉽다. 특히 독소를 생산하는 곰팡이가 발생한 경우 생산된 독소가 미량이라도 그 독성이 매우 강하고, 물리화학적으로 안정한 저분자 물질이 대부분이기 때문에 세척 및 가열 등의 일반적인 가공조건으로는 제거되기 어렵다. 생약의 섭취형태를 보면 일반적으로 환자 및 노약자가 다수 포함된 인구집단이 섭취하고 있으므로 특히 안전성이 고려되어야만 한다. 최근 외국으로부터 생약의 수입량이 증가하고 국가간 무역이 활발해지면서 아플라톡신의 오염은 더욱 증가할 것으로 예상된다. 또한 의약품 및 식품의 원료로 사용되고 있는 생약의 급속한 증가에 따른 국내유입 및 그 원료로 제조, 가공한 식품 및 의약품에 대한 안전성 문제가 사회적 문제로 대두됨에 따라 그 관리가 시급한 실정이다.

1. 아플라톡신의 발생 및 피해

곰팡이는 동물이나 사람에서 많은 질병을 유발하는 일련의 이차 대사물을 생성한다. 일반적으로 여러가지 곰팡이에 의해 생성되는 다양한 화합물 그룹을 통틀어 곰팡이독소(mycotoxins)이라고 명명하며, 곰팡이독소가 일으키는 해로운 중독증을 곰팡이독증(mycotoxicosis)라 한다. 곰팡이독소는 다양한 종류의 곰팡이에 의해 주로 안정 성장기 후에 생성되며, 주로 섬유성 곰팡이(filamentous fungi)의 균사체에서 생성되어 이 균주의 포자에 존재한다. 그러나 특정 곰팡이독소의 생성은 특정 곰팡이 종이나 변종에 의해 제한적으로 생성되고, 특정 곰팡이독소의 합성 경로에 더 정교한 과정이 필요한 경우에는 생성 균주가 더 제한적인 것으로 알려져 있다.⁷⁾ 주요 독소 생성 곰팡이 및 곰팡이독소는 일반적으로 중국, 수단, 이집트, 인디아, 우간다, 나이지리아, 미국, 터키 등의 열대 및 아열대 지역을 중심으로 검출되었다. 이 지역의 고온 다습한 기후가 이 균의 성장에 최적 조건을 제공하는 것으로 곰팡이독증에 대한 증거는 고대의 유물에서도 찾을 수 있었으나, 이에 대한 연구는 1961년 *A. flavus*에 오염된 사료를 먹은 100,000여 마리의 칠면조가 급성 간괴사 및 담관 비대로 집단 폐사된 사건 이후 본격화되

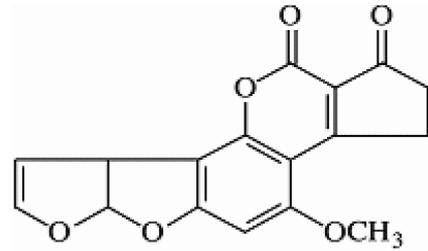


Fig. 1. The structure of aflatoxin B₁.

Table I. The kinds of major aflatoxin.

Aflatoxins	Molecular weight	Molecular formular	Melting Point (°C)
Aflatoxin B ₁	312	C ₁₇ H ₁₂ O ₆	268-269
Aflatoxin B ₂	314	C ₁₇ H ₁₂ O ₇	286-289
Aflatoxin G ₁	328	C ₁₇ H ₁₄ O ₆	244-246
Aflatoxin G ₂	330	C ₁₇ H ₁₄ O ₆	237-240
Aflatoxin M ₁	328	C ₁₇ H ₁₂ O ₇	299
Aflatoxin M ₂	330	C ₁₇ H ₁₂ O ₆	293

었다. 이 사건은 결국 아플라톡신의 동정 및 분리 연구를 하게 하였고, 이 곰팡이독소 그룹은 아플라톡신 B₁, B₂, G₁, G₂ 등으로 구성된다는 것을 밝혀냈다.²⁾ 그 외에 아플라톡신 B₁을 먹은 젖소의 우유에서 아플라톡신 M₁이라는 아플라톡신 B₁ 대사체의 존재도 밝혀지게 되었다.⁸⁾

아플라톡신은 주로 *A. flavus*, *A. parasiticus* 및 *A. nomius*의 생성 균주가 주요 아플라톡신 B₁, B₂, G₁, G₂를 생성하며, 미국 및 아프리카, 베트남, 인도 등의 동남아시아와 같이 고온(25~30°C), 다습(80~85%)한 열대나 아열대 지역에서 발생하는 것으로 알려져 있다. 이 생성 균주는 흙, 부패한 채소, 건조, 곡류 등 자연계에 흔하게 존재하며, 가뭄과 같은 극도의 스트레스 상황에서 곡류 등에서 주로 발견된다. 생성조건에 적합하기만 하면 언제, 어디에서든 유기체에 손상을 입히게 된다.⁹⁾ 일반적으로 *A. flavus*가 아플라톡신 B₁ 및 B₂만을 생성하고 *A. parasiticus*는 4가지 주요 아플라톡신을 모두 생성하나, 이 두 균주는 비생성균주였다가 온도, 습도, 수분 등 생장에 적절한 때 아플라톡신을 생성하게 된다. *A. parasiticus*의 경우에는 25-30°C의 온도가 아플라톡신 생성에 최적이라는 하나, 온도와 습기 두 가지가 일반적으로 아플라톡신 합성에 상호 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.¹⁰⁾

아플라톡신은 옥수수 등의 곡류, 견과류, 면실류 등에서 주로 발견되고 있는 대표적인 곰팡이독소로, 세계적으로 가축, 말, 토끼 및 다른 영양류를 포함하는 동물에서 아플라톡신독증(afatoxicosis)을 일으키는 물질이다. 1980년 대 이후의 연구에 의하면 아플라톡신의 생성은 주로 곡류, 땅콩 등의 작물에서 국한적으로 많이 나타난 것으로 보고되었다. 특

Table II. 각국의 아플라톡신 규제 현황

국가	규제대상	규제기준 (µg/kg)	
		아플라톡신 B ₁	총아플라톡신 (B ₁ +B ₂ +G ₁ +G ₂)
한국	식품 -곡류/두류/견과류 및 그 단순가공품(분쇄, 절단 등) -된장/고추장/고춧가루	10	-
	생약 - 감초 등 9품목(입안예고 중)	10	-
일본	식품 - 식품 (열매/종자/향신료 등)	10	-
	생약 - 기준 없음	-	-
중국	식품 - 옥수수/옥수수제품/땅콩/땅콩 제품	20	-
	식품 - 쌀/식용유	10	-
	생약* -약용식물의 원료 -추출물 및 그 제제	5	-
유럽연합	-강황(울금)/건강(생강)/옥두구/후추속	5	10
독일	-생약제제를 포함하는 의약품의 원료물질 (원생약)	2	4
유럽약전	-하르파고피툼근(천수근), 센나열매, 생강(건강)	2	4
아르헨티나	-약초, 약재, 생약제제	5	20
	-내복용, 국소용 최종 생약제제	불검출/g	불검출/g

*WHO는 생약의 곰팡이독소 기준은 제안하지 않고 시험법만 제안하고 있음.
*중국 약용식물 및 제제 수출입 녹색업무표준시행(대외무역경제합작부 '01.4.23 공포)

히 우간다, 브라질, 나이지리아, 인디아에서 곡류, 땅콩, 면실류 찌꺼기 등에서 아플라톡신이 검출되었다.¹¹⁻¹³⁾ 일반적으로 오염의 발생은 낮았으나 몇몇 양성 시료에서는 규제 기준 이상으로 검출된 경우도 있었으며, 우간다 지역에서는 전체 시료의 38%가 1~1,000 µg/kg의 범위, 평균 152 µg/kg로 아플라톡신에 오염된 것으로 보고된 바 있다. 인디아에서는 땅콩 찌꺼기에서 26,700 µg/kg, 면실류 찌꺼기에서는 520 µg/kg의 높은 수준의 아플라톡신 검출되었다.¹⁴⁾ 아플라톡신독증은 주로 열대 및 아열대 지역을 중심으로 개발도상국에서 많이 발생하는 것으로 알려져 있는데, 오염된 음식 등을 섭취하는 것이 주된 오염 경로이다. 인간은 직접적으로 식품의 섭취를 통하여, 간접적으로 아플라톡신에 오염된 사료를 섭취한 동물에서 기인한 식품의 섭취를 통하여 아플라톡신에 노출된다.

아플라톡신은 자연발생적으로 생성되는 곰팡이독소 중 가장 강력한 간암 유발물질로 알려진 화합물 그룹으로, 매우 강한 독성, 변이원성, 최기형성 및 발암성을 가지는 물질이다. 강력한 발암물질인 아플라톡신에 노출되었을 때 간암의 발생과 유해성에 관한 상관관계는 이미 밝혀진 바 있다.^{15,16)} 발암기전은 아플라톡신 B₁의 경우 생체내의 간의 microsome에서 대사되어 반응성이 높은 epoxide체가 생성되어 이것이 염색체 DNA와 비가역적 공유결합을 하기 때문인 것으로 생각되고 있으며, 이외에도 15번 탄소 위치의 O-methyl기의 demethylation과 lactone ring의 가수분해, cyclopentenone의 환원반응, 22번 탄소에서의 수산화 반응 등이 알려져 있다.¹⁷⁾

아플라톡신의 독성은 노출 용량 및 증상, 징후에 따라 급성과 만성 두 가지 영역으로 나뉜다. 급성독성은 주로 많은 양을 섭취하였을 때 주로 발생되며 간괴사와 같은 증상을 나타내게 된다.¹⁸⁾ 만성독성은 저용량의 아플라톡신에 장기간 노출되었을 때 나타나며, 체중감소, 가축의 유제품량 감소, 면역억제, 종양을 비롯한 간장해 등의 증상이 나타나게 된다.¹⁹⁾ 아플라톡신은 또한 hepatitis B virus와의 상승작용이 있는 것으로 알려져 아플라톡신의 노출 및 hepatitis B virus 감염률이 높은 중국 및 아프리카 등에서 주요 문제로 대두되고 있다.²⁰⁾ 그 외에 단백질 에너지 영양실조인 단백질부족증(kwashiorkor)과의 연관성도 있는 것으로 보고된 바 있다.²¹⁾ 아플라톡신에 의한 건강상의 위해성 이외에도 오염된 사료를 섭취한 가축으로부터의 고기 생산량 및 등급의 하락, 우유 생산량 감소 등의 결과가 보고된 바 있고, 이로 인한 산업적 피해는 상당 할 것으로 추정된다.²²⁾

세계적으로 아플라톡신에 대한 연구는 주로 식품 및 사료를 대상으로 하기 때문에 생약에 대한 자료가 부족한 실정이나 점차 그 대상이 확대되고 있으며, 환자나 노약자를 대상으로 의료상의 목적으로 사용하거나 식약공용 한약재처럼 기능성 건강식품 및 식품으로 사용되는 생약이 아플라톡신 등 곰팡이독소에 오염되었을 때 미칠 수 있는 영향은 건강상의 위해성 뿐만 아니라, 경제·사회적으로도 매우 클 것으로 사료된다.

2. 아플라톡신의 물리화학적 특징

지금까지 자연발생적으로 생성되는 것으로 밝혀진 아플

라톡신의 이성체로는 아플라톡신 B₁, B₂, G₁, G₂, B_{2a}, G_{2a}, M₁, M₂, GM₁, GM₂, M_{2a}, GM_{2a}, B₃, P₁, Q₁, aflatoxicol, dihydroaflatoxicol 등이며, 이들 대부분이 매우 독성이 강하고 발암원으로 알려져 있다. 이 중 아플라톡신 B₁의 독성이 가장 강하고 어린 집오리의 경구투여에 의한 LD₅₀/kg으로 비교하면 B₁>M₁>G₁>M₂>G₂>B₂>G₂의 순으로 독성이 강하며, 이들 6종의 아플라톡신이 위생학적 측면에서 매우 중요하여 세계적으로 규제하고 있는 국가가 많다.²³⁾

아플라톡신은 메탄올, 에탄올, 유기용매(클로로포름, 에테르, 아세톤, 벤젠, 포름아마이드 등)에 잘 녹으며 특히 클로로포름에는 대단히 잘 용해되어 시료로부터 아플라톡신을 추출하는데 많이 사용되었으나 최근에는 유해용매의 사용에 대한 문제점 지적으로 그 사용이 제한되고 있다. 반면 n-헥산, 석유에테르, 물 등에는 거의 녹지 않는다.

아플라톡신은 건조된 상태에서는 대단히 안정하며 일반적으로 용접까지의 온도 범위에서는 안정하나, 수용액 상태에서는 서서히 파괴되며 특히 알칼리성에서는 파괴가 더 급속히 일어나며 빛에 의해서도 파괴되고 산화제에 의해서 쉽게 산화되는 것으로 알려져 있다.¹⁷⁾ 그러나, 일반적으로 매우 안정한 저분자 물질로 용점이 230°C 이상으로(Table 1.), 우리가 생약이나 식품으로 사용하게 될 때 거치는 끓이거나 튀기는 등의 일반적인 조리과정(100~150°C)에서는 거의 파괴되지 않는 것으로 알려져 있다.

3. 아플라톡신 생성에 영향을 미치는 요인

아플라톡신의 생성은 매우 다양한 요인에 의해 영향을 받으며, 생물학적, 물리적, 화학적 요인으로 크게 나눌 수 있다.

생물학적 요인 - 곰팡이독소 생성 곰팡이균은 주로 식물 병원체이다. 이 균주의 감염 정도와 아플라톡신 생성의 상관관계의 예를 보면, 옥수수 낱알의 아플라톡신 B₁ 오염도와 *A. flavus* 오염도의 직접적인 상관성을 보고한 바 있다.²⁴⁾ 따라서 곰팡이균이 모두 아플라톡신과 같은 곰팡이독소를 생성하는 것이 아니라, 주로 *A. flavus*, *A. parasiticus* 및 *A. nomius* 와 같은 균주가 아플라톡신을 생성한다. 또한 이 곰팡이에 오염되었다고 100% 모두 아플라톡신이 생성되는 것이 아니라, 곰팡이독소가 생성될 수 있는 최적의 물리화학적 요인이 충족되었을 때 곰팡이독소가 생성되는 것이다.⁹⁾ 유전학적 연구 결과에서는 곰팡이균의 감염에 민감한 유전형질을 가진 식물이 아플라톡신에 오염된 옥수수를 생산한 결과를 보여주고 있다.²⁴⁾ 그 외에 오염이 되는 개체의 기질적 요인도 하나의 큰 요인으로 작용할 수 있는데, 곡류 및 견과류에 인위적으로 *A. flavus*를 접종한 경우 개체의 기질에 수분 함량이 높은 경우 더 많은 양의 곰팡이에 오염되고 많은 아플라톡신이 생성되었다.²⁵⁾

물리적 요인 - 일반적으로 식물 등이 재배되고 있는 시점이나 성숙된 후에 늦게 수확하거나 수확 후의 두 단계에

서 아플라톡신 오염이 증가한다. 두 단계 모두 식물의 수확 시기, 온도, 습도, 해충 등의 침입에 의하여 아플라톡신 생성이 영향을 받게 되는데, 이러한 요인들은 물리적 요인에 해당한다.

온도 및 습도와 같은 기후적 요인은 아플라톡신을 생성하는 것으로 알려진 생성균주에 직접적으로 영향을 미쳐 결과적으로 아플라톡신 생성에 영향을 미치게 된다. 특히 강수와 기온은 아플라톡신 생성에 영향을 미치게 되는데, 건조하고 더운 지역의 열대성 기후 조건이 아플라톡신 생성에 가장 유리하게 작용하며, 온난하고 다습한 온대성 지역의 기후 또한 영향을 미치게 된다. 전반적인 지구온난화에 의해 열대지역의 반건조기후는 건조기후로, 온대지역의 온난한 기후는 아열대성 기후로 변화되어 아플라톡신의 오염은 점차 증가하고 있으며,²⁶⁾ 생약의 주요 수입국인 중국이나 동남아 등지는 이러한 기후에 최적의 지역이므로 더욱 주의를 기울여야 할 것으로 사료된다.

아플라톡신 주요 생성균주인 *A. parasiticus*의 생장에 필요한 최저 온도는 6~8°C, 최고온도는 44~46°C이며 최적온도는 25~35°C이다.²⁷⁾ 또 다른 주요 생성균주인 *A. flavus*는 12~42°C에서 아플라톡신을 생성할 수 있으나 최적온도는 28~30°C로, 이 두 생성균주 모두 우리가 주로 생약을 수입하는 중국 및 아시아 국가들의 기후에 해당한다.²⁸⁾ *A. flavus* 균주의 생장에 필요한 땅콩류의 최소한의 수분함량은 상대습도 약 82%의 환경에서 8~10% 정도로 알려졌으며, 최적의 습도는 약 15~30%이다.²⁹⁾ 생약의 경우에는 대부분이 60°C 이하에서 건조된 것으로 건조감량이 대부분 15% 이하이기는 하나, 앞서 언급한 바와 같이 다른 여러 가지 요인에 의해 영향을 받을 수 있고, 건조가 완전히 되지 않거나, 특히 장마철이나 무더운 여름에 저장조건이 좋지 못한 시설에 보관될 때 발생할 수 있는 가능성이 매우 높을 것으로 예상된다.

최저기온 20°C 이하의 서늘한 지역에서는 최저기온 25°C 이상의 지역에 비하여 토양, 공기, 식물 표면의 곰팡이균수가 현저히 감소한 것이 보고된 바 있다.³⁰⁾ 아플라톡신이 오염될 수 있는 두 번째 시점은 식물의 수확 후 소비가 되기 전 단계의 모든 공정이다. 이미 오염된 시료의 아플라톡신 생성률이 증가하거나, 새로운 오염이 되는 시기로 수확된 생약 및 농산물이 운송, 유통, 저장, 소비의 단계에서 따뜻하고 습기가 많은 조건에 노출되었을 때 오염이 발생하게 된다.³¹⁾ 성숙된 작물이 이러한 조건에 노출되었을 때 다른 경쟁적 요소나 중단없이 오염이 계속 진행되게 된다. 따라서 첫 번째 단계에서 생성된 곰팡이균의 군락이 두 번째 시점에 크게 영향을 미치게 된다. 그러므로 일찍 성숙된 작물을 뒤늦게 수확하게 되는 것은 경제적으로 손실일 뿐 아니라, 아플라톡신에 오염될 여지를 제공하게 되는 것이다. 게다가 늦게 수확하게 될 때 수확 직전이나 수확 중에 비가

오염 치명적이어서 아플라톡신이 생성되어 생산품에 오염되는 것은 거의 피할 수 없는 자명한 사실이 된다.²⁵⁾ 또한 수확 후 소비까지 시간이 길수록 아플라톡신 오염이 증가하게 된다는 것은 예측할 수 있을 것이다. 인위적으로 곡류 및 견과류에 생성균주를 접종한 후 2-3개월 및 18개월이 경과한 후의 아플라톡신 함량을 측정하였을 때, 저장기간이 긴 경우에 유의적으로 아플라톡신 함량이 증가한 것을 확인할 수 있었다. 이 보고서의 경우에는 곡류, 견과류 등의 식품을 대상으로 하였으며, 양은 차이가 있었으나 모두 저장기간이 길수록 아플라톡신 생성이 증가하였다.³²⁾ 생약 중에도 아플라톡신이 오염될 가능성이 크며 일단 생성된 아플라톡신은 저장, 유통의 기간이 긴 생약의 유통구조를 감안한다면 아플라톡신 생성 및 증가는 자명한 일일 것이다.

일반적으로 식물 등이 성숙 된 후에 늦게 수확 시 재배되고 있는 시점이나 수확 후 아플라톡신 오염이 증가하는 것으로 알려져 있으며, 열이나 가뭄과 같은 기후적 스트레스는 식물의 아플라톡신 오염의 감수성을 증가시킨다.³³⁾ 식물이 자라고 있는 시기에는 새, 포유류, 곤충, 물리적 스트레스나 고온 건조한 기후 조건과 같은 상황에 의해 그 오염이 유의적으로 증가하는 것으로 알려져 있다. 또한 열이나 가뭄과 같은 기후적 스트레스는 새, 포유류, 곤충에 의한 손상에 물리적 스트레스를 증가시켜 비간접적으로 아플라톡신 생성에 영향을 미치게 된다. 해충의 침입은 곡류 등이 곰팡이에 더욱 쉽게 감염될 수 있게 하여 결과적으로 곰팡이독소 생성을 증가시키게 된다.³⁴⁾ 땅콩 껍질의 물리적 손상은 해당 곰팡이가 쉽게 감염될 수 있게 하여 결과적으로 아플라톡신의 오염이 된 것으로 물리적 손상과 아플라톡신 오염의 상관성을 보여주는 좋은 예이다.³⁵⁾ 또한 물리적 손상은 재배, 생산 단계 뿐 아니라, 저장 기간 동안에 땅콩의 수분함량을 증가시키고 이로 인하여 아플라톡신의 오염률을 증가시킨다.³⁶⁾ 또한 가뭄과 같은 극심한 물리적 스트레스 또한 아플라톡신 오염을 증가시키는 것으로 보고된 것으로 보아,³⁷⁾ 물리적 손상은 *A. flavus* 등의 생성 균주가 쉽게 식물에 침입할 수 있게 하여 그로 인하여 아플라톡신 오염에 민감하게 되는 것으로 판단된다. 특히 여러 작물 중에서 다른 작물에 비해 세계적으로 땅콩류의 오염이 극심한 명확한 이유가 밝혀지지 않았지만, 아르헨티나, 세네갈, 브라질, 멕시코, 필리핀, 피지섬, 인디아, 미국 등 아열대 및 열대지역에 속하는 국가를 중심으로 경작되고 있는 특징이 있으며, 아플라톡신 생성균주가 주로 땅콩류가 자랄 수 있는 토양에 서식하여 종자가 성숙하여 수확하는 시점까지 토양에 접촉하고 있는 작물의 특징 때문에 다른 작물에 비하여 더욱 쉽게 오염될 것이라 예상하고 있다.²⁵⁾ 생약 중 전체의 30%가 근경류에 해당하며, 특히 다빈도 한약재 중에서는 거의 대부분이 근경류임을 감안할 때 토양에서 기인한 생성 균주의 침입 및 아플라톡신의 오염 가능성은 결코 간과할 수 없을 것

이다.

곡류 및 견과류에 인위적으로 *A. flavus*를 접종한 경우, 대조군에 비하여 아플라톡신 양이 증가하였고 이것은 접종한 개체의 수분함량과 상관성이 있음이 확인되었다. 또한 오랜 기간 동안 열대성 기후와 같은 30~37°C의 고온, 호기성, 다습한 조건에서 배양한 경우, 50 µg/kg을 훨씬 초과하여 검출되었다.³⁸⁾

그 외에도 *A. flavus*의 성장 및 아플라톡신의 생성에 기질의 종류, 오염 곰팡이균의 종류, 기질의 수분함량, 미네랄의 존재, 주변환경의 상대습도, 온도 및 해충 등으로부터의 물리적 손상 등이 요인이 될 수 있다.³⁹⁾

화학적 요인 - 곰팡이독소의 원인균인 곰팡이를 제어하기 위하여 살진균제를 사용하는 것이 널리 알려진 방법이다. 그러나, 거의 치사량에 가까운 농도에서 곰팡이독소 생성이 오히려 증가한다는 보고가 있다. 예를 들면, fenpro- pimorph의 사용은 *A. parasiticus*에 의한 아플라톡신 B₁ 및 G₁의 생성을 유의적으로 증가시켰으며, 이 곰팡이독소의 비율 또한 아플라톡신 B₁이 증가하는 쪽으로 변동되었다.⁴⁰⁾ 따라서 무분별한 살진균제 및 화학물질의 사용은 신중히 고려되어야 할 것이다.

4. 곰팡이독소 오염의 저감화 방안

곰팡이독소의 오염여부와 더불어 곰팡이독소의 불활성화나 제거 방안이 큰 관심사로서 지난 40여년 동안 지속적으로 연구되어져 왔다. 생산 단계에서는 병들지 않은 종자를 사용하는 등 건강하게 작물을 관리하고 적절하게 처리하는 것이 아플라톡신 생성 균주의 성장을 제한할 수 있고, 수확 후에는 적절한 보존 처리, 건조, 선별 및 저장 등의 공정의 도입으로 아플라톡신의 오염을 최소화 할 수 있다. 그러나 아플라톡신 등의 곰팡이독소는 자연발생적으로 생성하는 것으로 그 오염을 피할 수 없으며, 이는 세계적으로 매우 심각한 문제이어서 이 독소를 불활성화시키는 공정의 개발이 매우 시급한 것이다. 아플라톡신을 포함하는 곰팡이독소는 크게 생물학적, 화학적, 물리적 방법으로 제거할 수 있다고 주장되어지고 있는데, 이 독소들을 안전한 정도로 분해하는데 필요한 해독화 방법은, 1) 다른 독소의 생성을 유도하거나, 전반적인 안전성을 감소시킬지 모르는 해로운 물질이 잔류해서는 안된다; 2) 작물의 영양학적인 품질이 저하되어서는 안된다(생약의 경우 약효 성분의 감소가 있어서는 안 될 것이다); 3) 작물의 물리적, 관능적 특징에 부정적인 영향을 미쳐서는 안된다; 4) 경제적으로 적합하고 기술적으로 편리해야 한다; 5) 만약 아플라톡신 생성 균주의 포자 및 균사체가 작물에 남아있다면 이것은 다시 성장에 적합한 조건이 되면 곰팡이독소를 생성하게 될 것이므로, 아플라톡신 생성 균주의 포자 및 균사체가 제거될 수 있어야만 한다; 와 같은 요건들을 충족시켜야만 한다.⁴¹⁾ 아플라톡신을 불활

성화시킬 수 있는 수많은 방법들이 연구되어지고 있으나, 완벽한 제거와 불활성화는 어려운 것으로 알려져 있다. 우리나라에서 사용되고 있는 생약은 아플라톡신이 생성될 여러 가지 요건이 충분한 중국 및 아시아 등지에서 대부분을 수입하고 있을 뿐 아니라, 주로 환자의 질병 치료나 보신을 위하여 노약자를 대상으로 사용되는 경우가 많으므로 특히 곰팡이독소와 같은 오염물질의 예방 및 저감화에 주의를 기울여야 할 것이다.

아플라톡신 생성 균주 억제에 의한 생물학적 제어법 - 아플라톡신 생성균은 약용식물의 재배 중, 수확 전·후, 저장·유통 중에 쉽게 오염이 가능하므로 각 단계에서 곰팡이독소 오염의 저감화를 위한 노력이 필요하다고 할 수 있다. 곰팡이독소 생성과 관련된 곰팡이는 식품, 사료 뿐 아니라 생약 등의 생산에서 매우 부정적인 영향을 미치는 요소가 되며, 생약에서도 절대 간과할 수 없는 대상이다. 곰팡이독소의 가장 효과적인 제어법은 곰팡이독소가 생성되기 전에 생성균의 성장을 억제하거나 사멸시키는 방법이나, 자연계에서 발생하는 자연발생적 요소에 대해서 절대적인 억제란 거의 불가능한 것이 사실이다.

이미 생성된 아플라톡신을 해독화시키는 방법으로는 박테리아 및 산을 생성하는 곰팡이 등 미생물을 이용하는 방법이 소개되고 있다. 대표적으로 *Flavobacterium auranticum* 균들은 산을 생성함으로써 아플라톡신 B₁을 아플라톡신 B_{2a}로 전환시켜 그 독성을 1/1000로 감소시킨다. 그 외에 *Rhodococcus erythropolis*, *Mycobacterium fluoranthemivorans* 및 *Corynebacterium rubrum* 등의 미생물에 의해 아플라톡신 B₁이 분해되어 감소된 것을 확인한 바 있다.⁴²⁻⁴⁴⁾

*Rhodococcus*는 호기성 그람 양성균으로서 polychlorinated biphenols, 질소방향족 화합물 등의 외인성 화합물을 변환하는 능력을 가지며, 환경으로부터 기인하는 독성 다환족 오염물질의 제거에서 결정적인 역할을 하는 것으로 알려져 있다.⁴⁵⁾ 아플라톡신은 difuranocoumarin 유도체로서 구조적으로 이러한 방향족 화합물과 연관성이 있어 또한 연구 대상이 되었고, 아플라톡신 B₁을 액체배지에서 *Rhodococcus erythropolis*와 함께 배양한 경우 2시간 이후부터 유의적인 감소를 나타내어 72시간 후에는 66.8% 감소하였고, 이 실험 결과는 SDS-PAGE, Ames test, 박층크로마토그래피 및 액체크로마토그래피, 질량분석 결과로 확인할 수 있었다.⁴⁶⁾ *Rhodococcus erythropolis*에 의해 생성되는 많은 효소들이 polychlorinated biphenols와 같은 화합물의 이화작용에 관여하는 것으로 밝혀진 바 있으며,⁴⁷⁾ 아플라톡신 B₁ 역시 다환성 방향족 화합물이기 때문에 같은 방법으로 분해될 수 있을 것으로 예측되었다.

또한 발효식품의 주요 미생물인 *Saccharomyces cerevisiae*와 같은 효모 및 lactic acid bacteria의 사용에 대한 연구가 진행되어졌는데, 이것은 특히 식품, 사료, 발효식품 등에서

산업적인 이용을 고려해 볼만할 것으로 사료된다.⁴⁸⁾ 효모나 lactic acid bacteria는 발효식품 등에서 자연적으로 발생하는 균으로 발효식품이나 음료의 분야에서 사용될 가능성이 있는 미생물이다. 특히 lactic acid bacteria의 경우에는 *Lactobacillus rhamnosus* strain이 효과적으로 아플라톡신 B₁을 최고 80%까지 제거하는 결과가 보고되었고, 후에 이것은 *Lactobacillus rhamnosus* strain이 아플라톡신에 흡착된 결과임이 입증되었다.⁴⁹⁾ 효모의 경우에도 그 작용기전을 보면 모든 균종이 아플라톡신 B₁에 대한 흡착력이 15% 이상이었으며, 균종에 따라서 *Saccharomyces cerevisiae*나 *Candida krusei*종은 60% 이상의 흡착률을 나타내었다. *Saccharomyces cerevisiae*는 전체 세포 무게의 30% 정도가 세포벽으로 이루어져있으며, 세포벽은 mannoprotein 및 mannose 측쇄로 이루어져 세포벽의 많은 음전하를 가지게 하며 외부의 환경이나 스트레스에 매우 유동적으로 반응하게 된다. 이러한 세포벽의 화학적 조성 및 물리적 성질에 기인하여 표면에 아플라톡신이 흡착될 수 있는 많은 공간을 제공함으로써 매우 특이적인 흡착력을 가짐이 확인되었다.⁵⁰⁾ Lactic acid bacteria의 경우에는 세포벽의 구조가 *Saccharomyces cerevisiae*와는 달리, teichoic acid alc lipoteichoic acid, proteinaceous S layer 및 중성 polysaccharides로 구성되는 펩티도글라이칸으로 구성된다. 이 구조는 거대분자의 부착 및 흡착 등 많은 기능을 수행하는 것으로 알려져 있어, 펩티도글라이칸 및 다당류가 독소 흡착에 작용하는 것으로 사료된다.⁵¹⁾ 이러한 효모 및 lactic acid bacteria는 곡류 중심의 식품이나 동물용 사료에서 곰팡이독소로부터 발생하는 문제점을 해결할 수 있는 가능성을 지니고 있다고 판단되어 실제 사용되고 있으며, 맥아, 신곡과 같이 발효시켜 사용하는 생약에서 발생할 수 있는 곰팡이독소의 위험을 예방하는 데 이용할 수 있을 것이라 사료된다. 특히 *Saccharomyces cerevisiae*의 경우에는 실제 동물 사료 산업에서는 일반적인 공정으로 사용되어 그 효과를 얻고 있는 것으로 보고되고 있다.⁵²⁾

이와 같이 미생물을 이용한 아플라톡신의 해독화를 위한 연구가 지난 20여년간 활발히 진행되어져 왔으나 아직 실행화하지 못하고 있는 실정이다. 이러한 미생물을 이용한 아플라톡신 B₁의 분해 결과 생기는 분해산물 및 부자연스러운 미생물 발효에 따르는 예상치 못한 부작용 등에 대한 연구가 부족하고, 이를 대규모에 적용하는 것 등에 대한 연구가 진행 중이다.

화학물질을 이용한 제어법 - 많은 종류의 화학물질들이 아플라톡신과 반응하여 덜 유해하거나 돌연변이성 화학물질로 변경시킬 수 있다. 이러한 화학물질로는 산, 염기, 산화제, 중아황산염 및 가스 등이 있다.⁵³⁻⁵⁶⁾ 그러나 많은 화학적 공정들은 온도 및 압력 등이 극도의 조건으로 비현실적이며, 독성 물질의 잔류로 인해 안전하지 못하거나 영양적,

관능적, 기능적 요소들이 나쁘게 변질되기 때문에 실용화시키는데 문제점이 있기는 하다.

최근 아플라톡신을 인위적으로 오염시킨 사료에 g당 1 N 수용성 구연산 3 mL을 처리하여 분석한 결과, 약 86%의 아플라톡신 형광성 감소율을 나타냈으며, 변이원성을 나타내지 않았다. 또한 아플라톡신이 오염된 사료를 섭취한 동물군에서 나타나는 간비대 및 간세포 괴사와 같은 조직학적 병변 및 간효소 활성 증가와 같은 혈청학적 소견도 나타나지 않아 아플라톡신 해독화를 위한 구연산의 사용 가능성을 시사하였다.⁵⁷⁾

비교적 품질과 형태에 영향을 미치지 않는 방법으로 오존 가스를 이용하는 방법도 소개되었으나, 생약과 같이 유효성분의 변화에 대한 규명은 이루어지지 않았다. 오존 가스나 삼원자 산소는 친전자적 공격으로 아플라톡신 B₁의 furan ring의 8,9번 이중결합과 반응하여 일차 산화물을 형성하고, 이어서 알데히드, 케톤 및 유기산 등의 일산화물 유도체로 재배치된다.⁵⁸⁾ 오존 화합물의 응용은 다른 잔류물의 생성없이 빠르게 분해할 수 있는 장점이 있고, 실험모델에서 5분 이내에 1.1 mg/L의 오존으로 분해가 가능하여 매우 흥미로운 저감화 방안이 될 수 있을 것이다.⁵⁹⁾ 최근 곡류, 견과류 및 두류 이외에도 고추가루에서 아플라톡신 B₁이 검출되어 크게 문제화 된 바 있었다. 고춧가루는 그 건조 과정 및 수분함량이 생약과 매우 유사하다. 아플라톡신 B₁이 오염된 고춧가루에 오존의 양 및 시간을 증가하여 노출시킬수록 아플라톡신 B₁의 함량이 유의적으로 감소하며, 66 mg/L의 오존에 1 시간 가량 노출되었을 때에는 93%의 아플라톡신 B₁이 분해됨을 확인할 수 있었다.⁶⁰⁾ 선행된 연구보다는 다소 고농도의 오존을 사용하였고, 색 이외의 구성성분 등에 대한 심화된 연구가 필요하기는 하나 오존 가스의 사용 가능성에 대하여 시사한 결과이다.

사료용 땅콩류, 옥수수 및 면실류 등에서는 아플라톡신을 제어하기 위한 방법으로 calcium hydroxide monoe-thylamine, 암모니아 및 중아황산염 나트륨을 사용하는 방법이 제안되기도 하였다.^{61,62)} 실제 암모니아 처리는 아플라톡신 오염된 식품에 대하여 미국, 세네갈, 프랑스 및 영국에서 인정된 공정이다. 다만, 이 방법은 아플라톡신 이외의 곰팡이독소에는 효과가 없고 과도한 암모니아의 잔류 등 위해성의 가능성이 있다.⁶³⁾ 중아황산염 나트륨은 가장 오래된 식품첨가물의 하나로서, 현재 생약의 충해방지를 위해 사용되기는 하나, 그 위해성 때문에 사용을 규제하고 있고 국가적 차원에서 규제를 강화하고 있다. 이황화물은 변이원성을 지니는 미생물의 mRNA을 불활성화시키고 효소 보조인자, 단백질, 탄소 5,6번의 알데히드와 케톤 구조 등에서 황화물 결합과 반응하여 세포막에 해로운 영향을 미치는 것으로 알려져 있어,⁶⁴⁾ 아플라톡신 생성 균주의 성장을 억제하거나 사멸시켜 간접적으로 아플라톡신 생성을 억제하는 것으로 보

인다. 그러나, 미생물을 사멸시키는 농도에서 가질 수 있는 유해성 및 안전성의 문제 때문에 부적합한 것으로 판단되고 있다.

곰팡이 감염이나 곰팡이독소 오염에 있어서 화학적인 제어법은 매우 부분적으로만 효과적이기 때문에 곰팡이가 침입하는 단계에 관련되어 제어의 가능성이 있을 것이다. 따라서 미생물학적 길항제나 경쟁적 길항제를 약용식물의 재배단계에서 사용하여 곰팡이독소 생성균의 성장을 억제하거나, 생성균을 사멸시키는 방법이다. 살진균제가 진균증을 제어하기 위해서 효과적으로 사용되었을 때, 아플라톡신 오염의 위험성은 최소화될 수 있다. 또한 열대 지방에서는 곡류 및 면실류 등의 지방성 증가 찌꺼기에 해충의 침습이 발생하는 것은 피할 수 없는 사실이므로 살충제의 적절한 사용으로 아플라톡신 생성 균주가 오염될 수 있는 기질적 요인을 제거하는 간접적인 방법이라 할 수 있겠다. 따라서 살충제의 적절한 사용은 곰팡이의 증식을 감소시키거나 사멸시켜 곰팡이독소의 생성을 억제할 수 있다.

물리적 방법을 이용한 제어법 - 1)흡착제 - 물리적으로 아플라톡신에 부착하는 흡착제가 아플라톡신을 제거할 수 있다는 연구결과가 보고되었다. Bentonite clay를 30°C에서 5일간 완충용액에서 아플라톡신과 함께 배양했을 때 이 clay는 이 독소를 흡착하였다. clay를 분리하였을 때 이 용액에서 아플라톡신은 94~100% 제거할 수 있었다. Clay의 입자 크기를 감소시키거나 미리 예열시킬 경우 아플라톡신을 흡착하여 유지하는 능력이 증가하였다.⁶⁵⁾ Hydrated sodium calcium aluminosilicate(HSCAS; NovaSil clay) 또한 아플라톡신 B₁에 대하여 강한 친화력을 가져 용액상태에서 80% 이상 제거함으로써 아플라톡신 B₁의 변이원성 및 독성을 예방하는 기능을 가짐을 확인하였다.⁶⁶⁾

2)열처리 - 아플라톡신 그룹은 분해 온도가 237~306°C로, 특히 아플라톡신 B₁의 경우는 분해 온도가 267°C로 고체상태로 있으면 건열처리를 해도 매우 안정하여 일반적인 가공과정이나 조리상태에서는 일단 오염이 되면 좀처럼 파괴되거나 제거되지 않는다. 오염된 시료를 가지고 아플라톡신을 불활성화시키기 위해 열처리의 공정을 사용하는 것이 시도되었으나, 약 150°C에서 끓이거나 튀기는 일반적인 조리조건에서는 불활성화시키거나 제거하는 것은 불가능함을 확인하였다.⁶⁷⁾ 또한 여러 가지 조건을 시도한 결과, 150°C 이상의 열처리를 시도해야 부분적으로라도 파괴가 되고, 수분함량, pH 및 이온강도에 의해서도 영향을 받을 수 있음을 확인하였다.

그러나 수분함량이 30%인 경우와 6.6%인 경우 100°C에서 1시간 열처리하였을 때 각각 74.8%, 32.7%로 수분함량이 높을수록 높은 파괴력을 나타내었다.⁶⁸⁾ 수분함량이 각각 14.1% 및 18.7%인 시료를 36°C에서 2시간 동안 43 mW cm⁻²의 강도로 텅스텐 램프에 노출시킨 후 아플라톡신 B₁

분해율을 조사한 경우에도 역시 수분함량이 증가할수록 40% 및 63%로 증가함을 확인하였다. 이는 물분자가 아플라톡신 B₁의 lactone ring을 깨뜨려서 carboxylic acid를 형성하는데 작용하고, 이후에 carboxylic acid 그룹의 열유도성 decarboxylation이 진행됨에 따른 결과이다.⁶⁹⁾

또한 열처리 과정에서 이온성 염이 존재하면 아플라톡신 B₁의 분해율이 증가한다는 연구결과가 있었는데, 5% NaCl 용액에서 116°C, 0.7 bar의 조건으로 30분간 감압 멸균하였을 때, 총아플라톡신 함량이 80~100%까지 감소되었다.⁷⁰⁾ NaCl을 처리하지 않은 그룹보다 존재시에 독성의 제거에 도움이 된 것을 확인할 수 있었다.

Rustum 등⁴¹⁾은 인위적으로 아플라톡신 B₁을 오염시키고 5.0, 8.0, 10.2의 pH에서 각각 열처리 온도 및 시간을 조절하였을 때 Ames test를 통하여 변이원성의 변화를 조사하였다. pH 8.0에서는 변이원성에 영향을 미치지 못한 반면, pH 10.2에서는 130°C에서 20초간, 121°C에서 15분간 열처리한 결과 변이원성이 각각 78, 88%까지 감소하였다. 이것은 아플라톡신 B₁의 lactone ring이 pH를 조절할 때 가해진 NaOH에 의해 가수분해되어 변이원성이 450배 낮은 아플라톡신 D₁으로 부분적 전환되어 나타낸 결과이다. 또한 pH 5.0에서도 130°C에서 20초간, 121°C에서 15분간 열처리한 결과 변이원성이 각각 76, 73%까지 감소하였다. 이 또한 pH를 조절할 때 가해진 HCl에 의해 아플라톡신 B₁의 말단 furan ring에서 부분적으로 수화가 일어나 변이원성이 1/1000인 아플라톡신 B_{2a}로 전환된 결과이다. 열처리 없이 pH를 조정하였을 때에는 아플라톡신 B₁의 변이원성에 영향을 미치지 못하므로 pH와 열처리공정의 서로 상호적 상승작용을 나타냄을 확인할 수 있었다.

Microwave를 이용하여 열처리를 하는 경우에는, 전력 및 열처리 시간에 따라 아플라톡신 B₁의 제거에 대한 여러 가지 가능성을 제시하였다. 예를 들면, 인위적으로 아플라톡신 B₁을 오염시킨 시료를 6 kW에서 4분간 처리시 95%의 아플라톡신 B₁이 파괴되었고,⁷¹⁾ 0.7 kW의 강도로 8.5분간 처리시에는 48~51%의 아플라톡신 B₁이 파괴되었다.⁷²⁾ 그러나 자연발생적으로 생성된 아플라톡신 B₁이 오염된 시료에 같은 조건을 이용하여 열처리하였을 경우에는 30~45%의 감소만을 보이기도 하였으나,⁷³⁾ 이 경우에는 앞서 언급한 여러 가지 물리화학적 조건의 변화나 자연발생적으로 생성된 아플라톡신 B₁이 시료의 기질에 부착된 흡착력 등의 차이에서 기인한 것이라 사료된다.

3) Irradiation - 일반적으로 radiation은 이온성 및 비이온성 radiation의 두 가지 종류로 나눌 수 있다. 이온성 radiation은 X-ray, gamma rays, ultraviolet rays 등으로 조사할 경우 온도의 변화가 전혀 없거나, 약간의 변화밖에 없지만 분자적 수준에서 변화가 일어날 수 있다. 따라서 이온성 radiation은 고용량으로 사용되었을 때에는 생명체에 나쁜

영향을 미칠 수 있다. 반면 비이온성 radiation은 radio-wave, microwave, infrared wave 및 visible light 등을 의미하며, 온도를 올릴 만큼의 강도로 조사하였을 때에는 인체에는 해가 없는 분자적 변화를 일으키게 된다. Radiation 된 농산물 및 식품과 인체의 건강에 미치는 위해성에 관한 영향은 여전히 논쟁 중이기는 하나 식품의 보관을 위해서 외국에서는 이미 사용 중이며, 상업적 규모로 적용되고 있다.⁷⁴⁾ 따라서 병원성 미생물이 없는 식품 등에 이온성 radiation의 사용은 여러 가지 측면에서 고려되고 있으며, 이에 대한 신중한 연구와 검토가 필요할 것으로 사료된다. 생약의 경우에도 비교적 화학적 첨가제나 관능적 측면에서 영향을 미치지 않을 수 있는 여러 가지 저감화 방안을 감안할 때 간과할 수 있는 대상은 아닐 것이다.

Ultraviolet light (자외선 조사) - 아플라톡신은 자외선 조사에 매우 민감하다. 아플라톡신 B₁은 222, 265, 362 nm에서 자외선을 흡수하고 362 nm에서 최대로 흡수하여 12가지의 광분해산물을 만들어낸다.⁷⁵⁾ 실제로 실리카겔 박층판에 아플라톡신 B₁을 점적한 후에 365 nm의 자외선에 1시간 노출시켰을 때 광화학적으로 분해되었으며,⁷⁶⁾ 인위적으로 250 µg/kg의 아플라톡신을 오염시킨 시료를 30분간 자외선 조사하였을 때, 함량이 45.7%까지 감소되었다.⁷⁷⁾ 또한 최근에는 전자과 유도성 플라즈마 시스템과 같은 장비의 고안으로, 다른 물리적인 저감화의 방법보다 노출시간이 짧으면서 자외선 강도나 온도 상승이 적어 형태학적 변화를 일으키지 않으면서 효과적으로 아플라톡신 B₁ 및 다른 곰팡이독소를 제거하는 방안들이 연구되고 있다.⁷⁸⁾

Gamma rays (감마선 조사) - 1, 10 kGy의 감마선 사용으로 아플라톡신에 오염된 시료의 독성을 각각 75, 100% 감소시키는 연구결과가 발표되었으나,⁷⁹⁾ 10 kGy 이상의 감마선을 조사한 경우에는 감마선 조사 후 생기는 peroxide의 양이 증가되었다.⁸⁰⁾ 시료 중의 수분은 감마선에 의해 아플라톡신이 파괴되는데 있어서 중요한 역할을 하지만 아플라톡신의 방사선 분해 후에 고도로 활성화된 free radical을 형성한다. 이러한 free radical이 쉽게 아플라톡신 B₁의 말단 furan ring을 공격하여 비교적 낮은 독성을 지니는 물질로 전환되게 된다. 그러나, 아플라톡신 B₁의 양을 줄일 수 있는 하지만 부산물로 생기는 free radical의 다른 부작용에 대한 고려가 필요할 것으로 사료된다.⁸¹⁾ 물론 최근에 감마선 조사에 대한 연구가 활발해지면서, *Rosmarinus officinalis*, *Nasturium officinalie*, *Cynara scolymus*, *Ocimum basilicum* 과 같은 약용식물의 방사선 조사 전 후에 활성 및 화학적 성분이 같다는 보고가 있기는 하나,⁸²⁾ 이에 대한 확대된 연구가 필요할 것이다.

저장방법 및 포장의 현대화 - 현재 아플라톡신이 오염되는 주된 작물은 곡류, 견과류, 두류 및 일부 생약이다. 이들의 공통적인 특징은 주로 아플라톡신이 생성되는데 유리한

기후 조건에서 자란 작물이 대부분이고, 전통적인 방법으로 저장하거나 포장하는 품목들이다. 전통적인 방법으로 종이 나 비닐팩에 보관하는 방법은 아플라톡신에 오염될 수 있는 가능성을 높이므로 진공포장과 같이 미생물과의 접촉을 가능한 피할 수 있는 포장 등으로 변경되어야 할 것이다. 곡류 및 견과류에 인위적으로 *A. flavus*를 접종하여 아플라톡신의 생성 여부를 확인한 결과에서 균주 접종 후 혐기성 조건에서 배양한 경우 *A. flavus*의 성장을 억제하고 독소 생성의 위험성을 감소시켰다.²⁵⁾ 식물의 성장 단계에서 오염된 곰팡이균이 잠재하고 있다가 잘못된 보관으로 곰팡이독소의 생성이 증가할 수 있고, 장기간 산소와 접촉하는 저장조건 하에서는 균의 성장이 활성화되어 아플라톡신의 생산도 유의적으로 증가하므로 산소와의 접촉을 피하는 포장방법 및 저장시설의 변화가 필요할 것이다. 또한 아플라톡신 생성 균주가 잘 성장할 수 있는 환기가 잘 되지 않고 고온 다습한 환경이 제공될 가능성이 높은 전통적인 저장 창고와 같은 시설을 항온항습의 조절이 가능한 현대화 시설로 바꾸는 방안 또한 고려하여야 할 것이다.

결 론

현재 식품에 대한 우리나라 아플라톡신 허용 한계는 식품의약품안전청고시 『식품 중 곰팡이독소 허용기준』에 따라 곡류, 두류, 견과류 및 그 단순가공품(분쇄, 절단 등), 된장, 고추장 및 고춧가루 식품에 대하여 아플라톡신 B₁으로서 10 µg/kg 이하로 설정되어 있으며, 제조·가공직전의 원유 및 우유류의 경우 아플라톡신 M₁으로서 0.5 µg/kg 이하로 규제하고 있다. 또한 생약에 대하여 현재 검출된 이력이 있는 품목을 대상으로 아플라톡신 B₁ 10 µg/kg 이하로 규제할 예정이다.

최근 국제식품규격위원회(CODEX)에서는 오크라톡신 A(ochratoxin A), 파툴린 (patulin), DON (deoxynivalenol), fumonisin B₁, B₂ 등 아플라톡신 이외의 곰팡이 독소에 대해서도 기준을 설정하여 관리하고자 논의 중이며, 미국, EU 등 선진국들은 식품 뿐 아니라 동물사료에 대해서도 관리하고 있는 실정이다. 곰팡이독소는 세계적으로 77개국 이상의 나라에서 규제가 되고 있으나, 국가에 따라 곰팡이독소의 종류, 기질(식품이나 사료의 타입), 그 허용 한계가 매우 다양하게 규제되고 있다.

전세계적으로 생약은 동양의학에 대한 관심이 증가하고 대체의학 등이 발달함에 따라 지난 몇 십년 간 그 수요가 급증하였고, 특히 의약품이나 생약에 대한 곰팡이독소 허용 한계를 정하여 관리하고 있는 국가는 몇 개국에 불과하다. WHO 보고에 의하면, 아르헨티나의 경우 아플라톡신 B₁으로서 5 µg/kg 및 아플라톡신 B₁, B₂, G₁ 및 G₂의 총 아플라톡신으로서 20 µg/kg로 설정하여 약초, 약재, 가공할 약초제

품 및 기타 최종 약초 제품에 대하여 식품과 별도로 지정하여 관리하고 있으며, 기타 내복용 최종 약초 제품 및 국소용 최종 약초 제품은 검출되지 않아야 하는 것으로 설정하고 있다(Table II). 또한 독일의 경우 생약을 포함하는 의약품 및 식품에 대하여 아플라톡신 B₁은 2 µg/kg 이하, 아플라톡신 B₁, B₂, G₁ 및 G₂의 총 아플라톡신으로서 4 µg/kg 이하로 동일하게 규제하고 있다.¹⁾ 이와 같이, 곰팡이독소에 대하여 그 대상품목 및 허용 한계가 다양하게 규제되고 세계적으로 일원화된 관리가 되지 않고 있으나, 국가간 무역이 증대하고 있는 현실을 감안할 때 국가간 기준을 통일화할 필요성이 있을 것으로 사료된다. 그러나, 규제를 하는 것은 아플라톡신이 오염된 식품이나 생약을 섭취할 위험성을 줄이고자 하는 것이지 근본적인 해결책은 아니다.

아플라톡신이 발견된 이래로 앞서 언급한 바와 같이 아플라톡신 오염을 예방하거나 저감화시키는 여러 가지 방법이 고안되었으나, 실제로 이를 생약이나 식품에 적용하는데 있어서는 유효성, 안전성 및 품질의 변화, 예상치 못한 부작용 등의 발생 등 여러 가지 문제점이 있을 수 있다. 이러한 문제점에 대한 충분한 고찰과 연구가 선행되고, 이를 대규모의 산업적 공정에 응용할 수 있는 사회·경제적 요건이 충족되었을 때 비로소 문제없이 이용될 수 있을 것으로 사료된다. 더욱이 생약 시장은 매우 영세하고 규모가 작아 경제적 요인 등 현실화하는데 여러 가지 문제점이 있을 수 있지만, 의료의 목적으로 환자를 대상으로 사용한다는 점을 감안한다면 더욱 신중하고 신속한 저감화 방안의 마련이 필요할 것이다.

인용문헌

1. Quality control methods for medicinal plant materials, World Health Organization draft, (2005)
2. Sargeant, K., Sheridan, A., O'Kelly, J. and Camaghan, R. B. A. (1961) Toxicity associated certain samples of groundnuts. *Nature* **192**: 1095-1097.
3. International Agency for Research on Cancer, (1993) IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans : Heterocyclic Amines and Mycotoxins. World Health Organisation and International Agency for Research on Cancer, Lyon, Vol. 56, 245-395, IARC, Lyon France.
4. Roy, A. K., Sinha, K. K. and Chourasia, H. K. (1988) Aflatoxin contamination of some common drug plants. *Appl. Environ. Microbiol.* **54**: 842-843.
5. Reif, K. and Metzger, W. (1995) Determination of aflatoxins in medicinal herbs and plant extracts. *J. Chromatogr. A.* **692**: 131-136.
6. Ventura, M., Gomez, A., Anaya, I., Diaz, J., Broto, F., Agut, M. and Comellas, L. (2004) Determination of aflatoxins B₁, G₁, B₂ and G₂ in medicinal herbs by liquid chromatography

- tandem mass spectrometry. *J. Chromatogr. A* **1048**: 25-29.
7. D'Mello, J. P. F. and Macdonald, A. M. C. (1997) Mycotoxins. *Animal Feed Sci. Technol.* **69**: 155-166.
 8. van Egmond, H. P. (1989) Aflatoxin M₁: occurrence, toxicity, regulation. In van Egmond, H. P. (Ed.), *Mycotoxins in diary products*. Elsevier Applied Science, London, 11-55.
 9. Santin E, (2005) Mould growth and mycotoxin production, In: Diaz D. E. (Ed.). *The mycotoxin blue book*, Nottingham University Press, Nottingham, UK, 225-234.
 10. Smith J. E. and Moss, M. O. (1985) *Mycotoxins: Formation, Analysis and Significance*. John Wiley and Sons, Chichester, 36-41.
 11. Yoshizawa, T. (1991) Natural occurrence of mycotoxins in small grain cereals(wheat, barley, rye, oats, sorghum, millet, rice). In: Smith, J. E., Henderson, R. S.(Eds.), *Mycotoxins and Animal Foods*. CRC Press, Boca Raton, FL, 301-324.
 12. van Egmond, H. P. (2004) Natural toxins : risk, regulations and analytical situation in Europe. *Anal. Bioanal. Chem.* **378**: 1152-1160.
 13. Shotwell, O. L. (1991) Natural occurrence of mycotoxins in corn. In: In: Smith, J. E., Henderson, R. S.(Eds.), *Mycotoxins and Animal Foods*. CRC Press, Boca Raton, FL, 325-340.
 14. Strange, R. N. (1991) Natural occurrence of mycotoxins in groundnuts, cottonseed, soya and cassava. In: In: Smith, J. E., Henderson, R. S.(Eds.), *Mycotoxins and Animal Foods*. CRC Press, Boca Raton, FL, 341-362.
 15. Peers, F. G. and Linsell, C. A. (1973) Dietary aflatoxins and liver cancer- A population based study in Kenya. *Br. J. Cancer.* **27**: 473-484.
 16. Shank, R. C., Wogan, G N., Gibson, J. B. and Nondasuta, A, (1972) Dietary aflatoxins and human liver cancerII. Aflatoxins in market foods and foodstuffs of Thailand and Hong Kong. *Food Cosmet. Toxicol.* **10**: 61-69.
 17. 서정운 (1991) 미생물 독소, 형설출판사.
 18. Council for Agricultural Science and Technology, 2003. *Mycotoxins: Risks in Plant, Animal, and Human Systems*. Task Force Report No. 139. Ames, Iowa.
 19. Robens, J. F. and Richard, J. L. (1992) Aflatoxins in animal and human health. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* **127**: 69-94.
 20. Kirk, G. D., Bah, E. and Montesano, R. (2006) Molecular epidemiology of human liver cancer: insights into etiology, pathogenesis and prevention from The Gambia, West Africa. *Carcinogenesis* **27**: 2070-2082.
 21. Adhikari, M., Ramjee, G and Berjak, P. (1994) Aflatoxin, kwashiorkor, and morbidity. *Nat. Toxins* **2**: 1-3.
 22. Palmgren, M. S. and Hayes, A. W. (1987) Aflatoxins in foods, in *Mycotoxins in Food*, ed. P. Krogh., Academic Press, London, pp.65-96.
 23. 하덕모 (1995) 최신식품미생물학, 신광출판사
 24. Brown, R. L., Cleveland, T. E., Payne, G. A., Woloshuk, C. P., Cambel, K. W. and White, D. G (1995) Determination of resistance to aflatoxin production in maize kernels and detection of fungal colonization using an *Aspergillus flavus* transformant expressing *Escherichia coli* β -glucuronidase. *Phytopathology* **85**: 983-989.
 25. Saleemullah, A. I., Iqtidar, A. and Hamidullah S. (2006) Aflatoxin contents of stored and artificially inoculated cereals and nuts, *Food Chem.* **98**: 699-703.
 26. Lewis, L., Onsongo, M., Njapau, H., Schurz-Rogers, H., Lubber, G., Kieszak, S., Nyamongo, J., Baker, L., Dahiye, A., Misore, A., DeCock, K. and Rubin, C. (2005) Aflatoxin contamination of commercial maize products during an outbreak of acute aflatoxicosis in Eastern and Central Kenya. *Environ. Health Persp.* **113**: 1762-1767.
 27. Diener, U. L., Pettit, R. E. and Cole, R. J. (1982) Aflatoxins and other mycotoxins in peanuts. In *Peanut Science and Technology*, eds H.E. Pattee and C.T. Young. American Peanut Research and Education Society, Yoakum, TX, 486-519.
 28. Brackett, R. E. (1989) Strategies for dealing with aflatoxins in peanuts. In *trend in Food Product Development*, eds Yam, T. C. and Tan. C. Singapore, 83-91.
 29. Ruker, K. S., Kvien, C. K., Calhoun, K., Henning, R. J., Koeler, P. E., Ghate, S. R., and Holbrook, C. C. (1994) Sorting peanuts by pod density to improve quality and kernel maturity distribution and to reduce aflatoxin. *Peanut Sci.* **21**: 147-152.
 30. Manabe, M., Tsuruta, O., Goto, T. and Matsuura, S. (1978) Study on distribution of mycotoxin-producing fungus : (part 4) Mycotoxin-producing ability of *Aspergillus* strains inhabited in Southeast Asia. *Rept. Natl. Food Res. Inst.* **33**: 49-56.
 31. Cotty, P. J. (1991) Effect of harvest date on aflatoxin contamination of cottonseed. *Plant Disease* **75**: 312-314.
 32. Lewis, L., Onsongo, M., Njapau, H., Schurz-Rogers, H., Lubber, G., Kieszak, S., Nyamongo, J., Baker, L., Dahiye, A., Misore, A., DeCock, K. and Rubin, C. (2005) Aflatoxin contamination of commercial maize products during an outbreak of acute aflatoxicosis in Eastern and Central Kenya. *Environ. Health Persp.* **113**: 1762-1767.
 33. Sanders, T. H., Blankenship, P. D., Cole, R. J. and Hill, R. A. (1984) Effects of soil temperature and drought on peanut pod and stem temperatures relative to *Aspergillus flavus* invasion and aflatoxin contamination. *Mycopathologia* **86**: 51-54.
 34. D'Mello, J. P. E., Macdonald, A. M. C. and Cochrane, M. P. (1993) A preliminary study of the potential for mycotoxin production in barley grain. *Aspects Appl. Biol.* **36**: 375-382.
 35. Porter, D. M., Wright, F. S. and Steele, J. L. (1986) Relationship to microscopic shell damage to colonization of peanut by *Aspergillus flavus*. *Oleagineux.* **41**: 23-28.
 36. Chiou, R. Y. Y., Koehler, P. E. and Beuchat, L. R. (1984) Hygroscopic characteristics of penut components and their influence on growth and aflatoxin production by *Aspergillus parasiticus*. *J. Food Protect.* **47**: 791-794.
 37. Viquez, O. M., Castell Perez, M. E., Shelby, R. A. and

- Brown, G. (1994) Aflatoxin contamination in corn samples due to environmental conditions, aflatoxin-producing strains, and nutrients in grain grown in Costa Rica. *J. Agric. Food Chem.* **42**: 2551-2555.
38. Diener, U. L., Pettit, R. E. and Cole, R. J. (1982) Aflatoxins and other mycotoxins in peanuts. In *Peanut Science and Technology*, eds H.E. Pattee and C.T. Young. American Peanut Research and Education Society, Yoakum, TX, 486-519.
39. Sanders, T. H., Cole, R. J., Blankenship, P. D., and Dorner, J. W. (1993) Aflatoxin contamination of peanuts from peanuts drought stressed in pod or root zones. *Peanut Sci.* **20**: 5-8.
40. Badii, F. and Moss, M. O. (1988) The effect of the fungicides tridemorph, fenpropimorph and fenarimol on growth and aflatoxin production by *Aspergillus parasiticus* Speare. *Lett. Appl. Microbiol.* **7**: 37-39.
41. Rustom, I. Y. S., Lopez-Leiva, M. H. and Nair, B. M. (1993) Effect of pH and heat treatment on the mutagenic activity of peanut beverage contaminated with aflatoxin B₁. *Food Chem.* **46**: 37-42.
42. Park, D. L. and Liang, B. (1993) Perspectives on aflatoxin control for human food and animal feed. *Trend Food Sci. Technol.* **4**: 334-342.
43. Albert, J. F., Engelbrechut, Y., Steyn, P. S., Holzapfel, W. H. and van Zyl, W. H. (2006) Biological degradation of aflatoxin B₁ by *Rhodococcus erythropolis* cultures. *Int. J. Food Microbiol.* **109**: 121-126.
44. Hormisch, D., Brost, I., Kohring, G. W., Giffhorn, F., Krippenstedt, R. M., Stackbrandt, E., Faber, P. and Holtzapfel, W. H. (2004) *Mycobacterium fluoranthenorants* sp. nov., a fluoranthene and aflatoxin B₁ degrading bacterium from contaminated soil of a former coal gas plant. *Syst. Appl. Microbiol.* **27**: 553-660.
45. Sakai, M., Miyauchi, K., Kato, N., Massai, E. and Fukuda, M. (2003) 2-Hydroxypenta-2,4-dienoate metabolic pathway genes in a strong polychlorinated biphenyl degrader, *Rhodococcus* sp. strain RHA1. *Appl. Environ. Microbiol.* **69**: 327-433.
46. Albert, J. F., Engelbrechut, Y., Steyn, P. S., Holzapfel, W. H., van Zyl, W. H. (2006) Biological degradation of aflatoxin B₁ by *Rhodococcus erythropolis* cultures. *Int. J. Food Microbiol.* **109**: 121-126.
47. Yamada, A., Kishi, H., Sugihama, K., Hatt, T., Nakamura, K., Massai, E. and Fukuda, M. (1998) Two nearly identical aromatic compound hydrolase genes in a strong polychlorinated biphenyl degrader, *Rhodococcus* sp. strain RHA1. *Appl. Environ. Microbiol.* **64**: 2006-2012.
48. Shetty, P. H., Hald, B. and Jespersen, L. (2007) Surface binding of aflatoxin B₁ by *Saccharomyces cerevisiae* strains with potential decontaminating abilities in indigenous fermented foods. *Int. J. Food Microbiol.* **113**: 41-46.
49. Shetty, P. H. and Jespersen, L. (2006) *Saccharomyces cerevisiae* and lactic acid bacteria as potential mycotoxin decontaminating agents. *Trends Food Sci. Technol.* **17**: 48-55.
50. Aguilar-Uscanga, B. and Francois, J. M. (2003) A study of the yeast cell wall composition and structure in response to growth conditions and mode of cultivation. *Lett. Appl. Microbiol.* **37**: 268-274.
51. Zhang, X. B. and Ohta, Y. (1991) Binding of mutagens by fractions of lactic acid bacteria on mutagens the cell wall skeleton. *J. Dairy Sci.* **74**: 1477-1481.
52. Celyk, K., Denly, M. and Savas, T. (2003) Reduction of toxic effects of aflatoxin by using baker yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) in growing broiler chicken diets. *Revista Brasileira de Zootecnia.* **32**: 615-619.
53. Brekke, O. L., Stringfellow, A. C. and Peplinski, A. C. (1978) Aflatoxin inactivation in corn by ammonia gas : laboratory trials. *J. Agric. Food Chem.* **26**: 1383-1389.
54. McKenzie, K. S., Sarr, A. B., Mayura, K., Bailey, R. H., Miller, D. R., Rogers, T. D., Norred, W. P., Voss, K. A., Plattner, R. D., Kubena, L. F. and Phillips T. D. (1997) Oxidative degradation and Detoxification of mycotoxins using a novel source of ozon. *Food Chem. Toxicol.* **35**: 807-820.
55. Dollear, F. G., Mann, G. E., Codifier, L. P., Gardner, H. K., Koltun, S. P. and Vix, H. L. E. (1968) Elimination of aflatoxins from peanut meal. *J. Am. Oil Chem. Soc.* **45**: 862-865.
56. Suzuki, T., Noro, T., Kawamura, Y., Fukunaga, K., Watanabe, M., Ohta, M., Sugieue, H., Sato, Y., Kohno, M. and Hotta, K. (2002) Decontamination of aflatoxin-forming fungus and elimination of aflatoxin mutagenicity with electrolyzed NaCl anode solution. *J. Agric. Food Chem.* **50**: 633-641.
57. Mendez-Albores, A., Del Rio-Garcia, J. C. and Moreno-Martinez, E. (2007). Decontamination of aflatoxin duckling feed with aqueous citric acid treatment. *Animal Feed Sci. Technol.* **135**: 249-262.
58. Proctor, A. D., Ahmedna, M., Kumar, J. V. and Goktepe, I. (2004) Degradation of aflatoxins in peanut kernels/flour by gaseous ozonization and mild heat treatment. *Food Addit. Contam.* **21**: 786-793.
59. Maeba, H., Takamoto, Y., Kaminura, M. and Miura, T. (1988) Destruction and detoxification of aflatoxins with ozone. *J. Food Sci.* **53**: 667-668.
60. Inan, F., Pala, M. and Doymaz, I. (2007) Use of ozone in detoxification of aflatoxin B₁ in red pepper. *J. Stored Prod. Res.* **43**: 425-429.
61. Park, D. L. (1993) Perspectives on mycotoxin decontamination procedures. *Food Addit. Contam.* **10**: 49-60.
62. Bauer, J. (1994) Möglichkeiten zur Entgiftung mycotoxinhaltiger Futtermittel. *Monatsh. Veterinarmed* **49**: 175-181.
63. Huwig, A., Fremund, S., Kappeli, O. and Dutler, H. (2001) *Toxicol. Lett.* **122**: 179-188.
64. Babich, H. and Stotzky, G. (1980) Gaseous and heavy metal pollutants. In : Burns, R.G, Slater, J.H., (Eds.), *Experimental*

- Microbial Ecology. Blackwell, Oxford, p.631.
65. Masimango, N., Remacle, J. and Ramaut, J. L. (1978) The role of adsorption in the elimination of aflatoxin B₁ from contaminated media. *Eur. J. Appl. Microbiol. Biotechnol.* **6**: 101-105.
 66. Phillips, T. D., Kubena, L. F., Harvey, R. B., Taylor, D.S. and Heidelbaugh, N. D. (1988) Hydrated sodium calcium aluminosilicate: a high affinity sorbent for aflatoxin. *Poult. Sci.* **67**: 243-247.
 67. Kamimura, H. (1989) Removal of mycotoxins during food processing. In *Mycotoxins and phycotoxins*, eds S. Natori, K. Hashimoto and Y. Ueno. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 169-176.
 68. Mann, G. E., Codifer, L. P. and Dollear, F. G. (1967) Effect of heat on aflatoxin in oilseed meals. *J. Agric. Food Sci.* **15**: 1090-1092.
 69. Coomes, T. J., Crowther, P. C., Feuill, A. J. and Francis, B. J. (1966) Experimental detoxification of groundnut meals containing aflatoxin. *Nature.* **209**: 406-407.
 70. Farah, Z., Martins, M. J. R. and Bachmann, M. R. (1983) Removal of aflatoxin in raw unshelled peanuts by a traditional salt boiling process practiced in Northeast of Brazil. *Lebensm. Wise. Technol.* **16**: 122-124.
 71. Staron, T., Thirouin, D., Perrin, L. and Frere, G. (1980) Microwave treatment of biological food product. *Ind. Aliment. Agric.* **12**: 1305-1312.
 72. Luter, L., Wyslouzil, W. and Kashyap, S. C. (1982) The destruction of aflatoxins in peanuts by microwave roasting. *Can. Inst. Food Sci. Technol. J.* **15**: 236-238.
 73. Pluyer, H. R., Ahmed, E. M. and Wei, C. I. (1987) Destruction of aflatoxin on peanuts by oven-and microwave-roasting. *J. Food Protect.* **50**: 504-508.
 74. Diehl, J. F. (1990). *Safety of Irradiated Foods*, ed. J. F. Diehl. Marcel Dekker, New York, 397-444.
 75. Samarajeewa, U., Sen, A. C., Cohen, M. D. and Wei, C. T. (1990) Detoxification of aflatoxins in foods and feeds by physical and chemical methods. *J. Food Protect.* **53**: 489-501.
 76. Andrellos, P. J., Beckwith, A. E. and Epply, R. M. (1967) Photochemical changes of aflatoxin B₁. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* **50**: 346-350.
 77. Altug, T., Yousef, A. E., and Marth, E. H. (1990) Degradation of aflatoxin B₁ in dried figs by sodium bisulfite with or without heat, ultraviolet energy or hydrogen peroxide. *J. Food. Protect.* **53**: 581-582.
 78. Park, B. J., Takatori, K., Sugita-Konishi, Y., Kim, I. H., Lee, M. H. Han, D. W., Chung, K. H., Hyun, S. O., Park, J. C. (2007) Degradation of mycotoxins using micro-induced argon plasma at atmospheric pressure, *Surface and Coatin. Technol.* **201**: 5733-5737.
 79. Temcharoen, P. and Thilly, W. G. (1982) Removal of aflatoxin B₁ toxicity but not mutagenicity by 1 megarad gamma radiation of peanut meal. *J. Food Safety.* **4**: 199-205.
 80. Chiou, R. Y. Y., Lin, C. M. and Shyu, S. L. (1990) Property characterization of peanut kernels subjected to gamma irradiation and its effect on the outgrowth and aflatoxin production by *aspergillus parasiticus*. *J. Food Sci.* **55**: 210-213.
 81. Shanta, T. and Murthy, V. S. (1977) Photo-destruction of aflatoxin in groundnut oil. *Indian J. Technol.* **15**: 453-454.
 82. Koseki, P. M., Villavicencio, A. L. C. H., Brito, M. S., Nahme, L. C., Sebastiao, K. I., Rela, P. R., Almeida-Muradian, L. B., Mancini-Filho, J., Freitas, P. C. D. (2002) Effects of irradiation in medicinal and edible herbs. *Radiat. Phys. Chem.* **63**: 681-684.

(2007년 8월 30일 접수)