

중국산 옥수수로부터 분리한 *Fusarium* 균주의 독성 및 Fumonisin B₁의 생성

이인원* · 김효중

서울대학교 농업생명과학대학 농생물학과

Toxicity and Fumonisin B₁ Production by *Fusarium* Isolates from Chinese Corn Samples

Yin Won Lee* and Hyo Jung Kang

Department of Agricultural Biology, College of Agriculture and Life Sciences,
Seoul National University, Suwon 441-774, Korea

ABSTRACT : Ninety-two isolates of *Fusarium* species were obtained from Chinese corn samples. The predominant *Fusarium* species isolated from corn seeds were *F. moniliforme*, *F. proliferatum*, *F. oxysporum* and *F. subglutinans*, and all 13 species were identified. Each isolate was grown on autoclaved wheat grains and wheat cultures were fed by twenty-one-day-old female rats for the toxicity test. Twenty-six out of 92 isolates caused the death accompanying feed refusal, severe weight loss, liver damage, and hemorrhages in the stomach and intestines. Of the toxigenic isolates, 17 isolates of *F. moniliforme*, 4 of *F. oxysporum*, 3 of *F. proliferatum*, and one of each *F. sporotrichioides* and unknown species were lethal to rats. The analyses of fumonisin B₁ production of the 26 toxigenic *Fusarium* isolates were carried out by thin layer chromatography and high-performance liquid chromatography, and fumonisin B₁ was confirmed by mass spectrometry. Fumonisin B₁ was produced in wheat culture at levels ranging from 280 µg/g to 3,952 µg/g by all of toxigenic *F. moniliforme* and *F. proliferatum*, but by none of the other toxigenic *Fusarium* species. The present results suggest the high possibility of natural occurrence of fumonisin B₁ in corn samples imported from China.

Key words : Corn, *Fusarium* species, toxicity, fumonisin production.

*Fusarium*속 곰팡이는 그 분포가 크며 많은 식물에 병을 일으킬 뿐만 아니라 토양중에 부생균으로 서식하기도 한다. 이 중 *F. moniliforme*는 옥수수의 전 생육기간에 걸쳐 다양한 병징을 유발하고 뿌리, 줄기, 잎은 물론 병징이 없는 종자라 할지라도 그 오염률이 높다(6, 9, 10, 11, 24). 따라서 옥수수는 *Fusarium*의 오염이 높은 작물로서, 전 세계적으로 주식이나 사료로 사용하는 나라가 많기 때문에 인축에 *Fusarium*이 생성하는 곰팡이 독소가 노출될 위험성이 높다.

최근 세계 여러나라에서 옥수수의 주요 오염균인 *F. moniliforme*가 생성하는 fumonisin 독소에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. *F. moniliforme*의 독성에 관한 연구는 Marasas 등(11, 12)이 식도암이 많이 발생하는 남아프리카 Transkei 지방에서 재배된

옥수수로부터 분리한 *F. moniliforme* MRC 826의 배양체를 여러 실험동물에 투여시 독성이 매우 높다는 보고 이후, 말에는 뇌백질연화증(equine leukoencephalomalacia : ELEM) (7), 돼지에는 폐종증(pulmonary edema) 또는 수흉증(hydrothorax)을 일으키며(2), 랫트를 이용한 발암성시험에서 간암 유발능(5)과 간암 촉진능(3, 4)이 있는 것으로 알려져 있다. 이와 같이 *F. moniliforme* 배양체를 이용한 여러 동물에서의 다양한 독성 및 발암성에 관여하는 새로운 독소를 분리하여 fumonisin이라 명명하였다(1, 3).

Fumonisin은 전세계적으로 옥수수, 조, 수수 등의 곡류에서 흔히 자연발생하며 심지어 이들의 가공식품에서도 검출이 보고되고 있다(18, 20~23). 특히 사람의 식도암 발생의 역학적 관계를 남아프리카에서 조사한 결과 식도암 발생률이 높은 지역에서 fumonisin이 다량 검출되는 등, fumonisin과 식도암 발

*Corresponding author.

생물과의 역학적 관련성이 있는 것으로 보고되었다 (17).

우리나라에서는 식품과 사료용 옥수수는 대부분 수입에 의존하고 있으며 1992년도 말 현재, 옥수수의 수입량은 약 6,600,000 M/T에 이른다(16). 또한 최근에는 중국으로부터 수입량이 증가하고 있으며, 향후 우르콕이 라운드가 타결된 이후에는 수입량이 급증할 것으로 예상된다. 따라서 이에 따른 수입곡물의 곰팡이 독소에 대한 안전성 평가가 시급한 실정이다.

본 연구는 중국산 옥수수로부터 *Fusarium* 균주를 분리·동정한 후, 렛트를 이용하여 독성균주를 선별하고 독성균주의 fumonisin 생성능을 측정하고자 수행하였다.

재료 및 방법

옥수수 시료. 1991년 1월부터 10월까지 7개의 곡물 및 사료회사의 협조를 받아 수입모선이 서로 다른 중국산 23개 시료를 1kg씩 분양받아 이후 실험에 사용하였다.

***Fusarium* 균주의 분리 및 동정.** 각 시료당 100개의 옥수수 종자를 1% sodium hypochlorite 용액에 2~3분간 침지하여 표면살균한 후 여과지로 수분을 제거하고 streptomycin sulfate(200 ppm)가 첨가된 감자한천배지(potato dextrose agar; PDA)에 치상하여 6~7일간 25°C에서 배양하여 *Fusarium* 균주를 분리하였다. 분리한 균주들은 단포자 분리를 거쳐 다시 순수분리한 후 PDA slant에 5일간 배양 후 사용할 때까지 4°C의 냉장고에 보관하였다.

Fusarium 균주를 동정하기 위하여 PDA slant에 배양한 후 균총의 색깔을 관찰하고 carnation leaf agar에 2주간 25°C에서 배양한 후 광학현미경(400×) 하에서 대형분생포자, 소형분생포자, 후막포자, phialide의 형성유무 및 형태 등을 관찰하여 종을 동정하였다(13).

***Fusarium* 균주의 배양.** 1L Erlenmeyer flask에 밀 200g과 증류수 120ml를 넣고 증류수가 밑에 스며들도록 2~3시간 실온에서 방치한 후 121°C에서 1시간씩 2회 살균하였다. 살균된 밀배지에 미리 PDA에 배양한 각 *Fusarium* 균주를 접종하여 4주간 25°C에서 배양한 후 각 균주별로 수확하여 건조시킨 다음 Waring blender로 마쇄하여 사용할 때까지 -15°C에 보관하였다.

독성시험. 각 *Fusarium* 균주의 밀 배양체를 대조구의 쥐사료(9)와 50%(w/w)가 되도록 섞은 후 서울대학교 동물사육장에서 구입한 Sprague-Dawley 렛트

암컷(50~60g)에 투여하였다. 균주당 3마리의 렛트를 각각의 사육상자에 넣은 후 22±2°C에서 1주일간 투여한 후 사망여부, 내장기관의 이상여부, 체중변화, 사료섭취량 등을 대조구와 비교하여 각 균주의 독성을 측정하여 독성균주를 선별하였다.

표준독소 및 시약. Fumonisin B₁은 미국 Sigma Chemical사로부터 구입하여 표준독소로 사용하였다. 독소의 추출을 위한 유기용매는 EP급을, 정제를 위한 유기용매는 GR급을 각각 사용하였으며 고속액체크로마토그래피(high performance liquid chromatography; HPLC) 분석용 용매는 E. Merck사 제품을 사용하였다. 박층크로마토그래피(thin layer chromatography; TLC)는 형광 지시약이 부착된 E. Merck사의 pre-coated silica gel(두께, 0.25 mm)을 사용하였으며 Sep-Pak C₁₈ silica cartridge와 *p*-anisaldehyde는 미국 Waters사와 Aldrich사로부터 각각 구입하여 사용하였다.

Fumonisin 분석. 독성시험에서 렛트를 치사시킨 균주들의 배양체를 Shephard 등(19)의 방법에 따라 추출하여 분석하였다. 배양체 50g을 CH₃OH-H₂O(1:3) 200ml로 추출하여 여과한 후 감압농축하였다. 이 추출물을 50ml의 CH₃OH-H₂O(1:3)로 용해하여 분액깔때기 내에서 클로로포름으로 분획한 후 물층을 취하여 감압농축시켰다. 이 건조물을 10ml의 CH₃OH-H₂O(1:3)으로 재용해하여 Sep-Pak C₁₈ silica cartridge에 통과시킨 후 CH₃OH-H₂O(3:1) 10ml로 독소를 용출시켜 농축하여 보관하였다가 TLC와 HPLC분석에 사용하였다. TLC 분석은 fumonisin 표준독소와 추출물을 함께 점적하여 전개시켰으며 전개용매는 CHCl₃-CH₃OH-CH₃COOH(6:3:1)을 사용하였고 전개 후 0.5% *p*-anisaldehyde를 분무하여 110°C에서 5분간 가열, 발색시켰다. Fumonisin의 HPLC 분석은 건조, 보관한 추출물을 1ml의 CH₃OH에 용해한 후 25μl를 새 vial에 옮겨 225μl의 *o*-phthalaldehyde용액을 첨가하여 유도체를 만들어 이것을 30초간 vortex로 잘 섞어준 다음 membrane filter(Millipore Corporation, pore size: 0.5 μm)를 통과시켜 불순물을 제거하고 1분 이내에 5μl를 HPLC에 주입하여 실시하였다. 이때 사용한 HPLC의 기종은 형광검출기가 부착된 Shimadzu HPLC(LC-6A)이었으며 분석조건은 lichrosorb RP-C8 컬럼에 이동상은 CH₃OH-0.1 M NaH₂PO₄(72:28)로 0.8 ml의 유속으로 이동상을 흘려보내 형광검출기를 여기파장 335 nm, 방출파장 440 nm로 고정시켜 사용하였다.

Fumonisin의 확인. TLC 및 HPLC에서 fumoni-

sin B₁이 검출된 배양체 추출물을 methanol에 녹인 후 prep-TLC(20×20 cm, 1 mm thickness, E. Merck)에 표준독소와 점적한 다음 CHCl₃-CH₃OH-CH₃COOH(6 : 3 : 1)의 용매로 전개하였다. 전개 후 fumonisin B₁ 부분만 scrapping하여 CH₃OH로 용출하였다. 이 추출물을 농축, CH₃OH로 재용해한 후, TLC(20×20 cm, 0.25 mm thickness, E. Merck)를 사용하여 fumonisin B₁을 분리하였다. 분리한 fraction을 다시 최소 용적의 CH₃OH로 용해한 후 FAB-MS(fast atom bombardment-mass spectrometer, JEOL JMS AX505, W Jeol Ltd.)로 분석하였으며, matrix로는 glycerin을 사용하였다.

결 과

Fusarium균의 분리 및 동정. 중국산 옥수수 23개의 시료로부터 총 92 균주를 분리하였으며 *Fusarium* 오염률은 15~73%로써 시료에 따라 큰 변이가 있었다. 분리된 각 균주를 PDA와 CLA배지상 배양한 후 Nelson 등(13)의 분류법에 따라 종을 동정하였는데 그 결과는 Table 1과 같다. 총 92균주 중 *F. moniliforme* 47균주, *F. proliferatum* 10균주, *F. oxysporum*

rum 9균주, *F. subglutinans* 6균주, *F. semitectum* 4균주, *F. sporotrichioides* 3균주, *F. chlamydosporum*과 *F. avenaceum* 각각 2균주이었다. 그 밖에 *F. culmorum*, *F. poae*, *F. solani*, *F. anthophilum*, *F. equiseti*가 1균주씩 분리되었으며 4균주는 미동정되었다. 이상의 결과에서 중국산 옥수수의 *Fusarium* 오염은 *F. moniliforme*가 주종을 차지하였고 *Liseola* section에 속하는 *F. moniliforme*, *F. proliferatum*, *F. subglutinans*, *F. anthophilum* 등 4종이 총 92균주 중 64개나 되었다.

Fusarium 균주의 독성. 옥수수에서 분리한 92개 균주 중 렛트 치사균주는 26균주, 체중감소 초래균주는 24균주, 그리고 독성이 없어 보이는 체중증가균주는 42균주였다. 치사균주들은 모두 6종에서 나타났는데 *F. moniliforme*가 가장 높은 빈도인 17균주, *F. oxysporum*이 4균주, *F. proliferatum*이 3균주, *F. sporotrichioides*이 1균주, 그리고 미동정 균주가 1균주이었다. 또한 실험기간 중 쥐를 치사시키지는 않았지만 대조구와 비교하여 현저하게 사료의 섭취량과 체중의 감소를 초래한 균주는 *F. moniliforme*가 11균주, *F. proliferatum*이 4균주, *F. oxysporum*이 3균주, *F. subglutinans*가 2균주, 그 밖에 *F. semitectum*, *F. solani*, *F. anthophilum*, 미동정 균주가 각각 1균주로써 총 24균주였다(Table 1).

실험기간 중 치사균주구의 사료 섭취량은 1~23 g 정도였으며 체중 감소는 5~26 g이었다. 치사한 쥐들은 대부분 위와 장에 심한 출혈증세와 함께 변질(degeneration)됨을 관찰 할 수 있었고 간혹 간장에 심한 손상과 실사, 혈뇨(hematuria) 등을 관찰할 수 있었다(Table 2).

Fumonisin 분석. 독성시험에서 선발된 26개 치사균주를 대상으로 fumonisin B₁의 생성을 조사하였다. 각 균주의 배양체 추출물을 TLC에 표준독소와 함께 점적하여 전개 후 *p*-anisaldehyde로 분무하였을 때 표준독소와 같은 R_f값(0.25)과 보라색의 발색반응을 보여 쉽게 동정할 수 있었다. TLC분석에서 26개 균주 중 20균주가 fumonisin B₁을 생성하였으며 치사균주인 *F. moniliforme* 17균주와 *F. proliferatum* 3균주의 모든 균주가 fumonisin B₁을 생성하였고, *F. oxysporum*을 비롯한 나머지 종에서는 생성되지 않았다.

또한 TLC분석에서 fumonisin B₁이 검출된 20균주의 배양체를 추출한 후 전처리를 거쳐 HPLC로 분석하여 fumonisin B₁을 정량하였다. Fig. 1(A)와 Fig. 1(B)는 각각 표준독소와 배양체 추출물의 *o*-phthalaldialdehyde유도체의 chromatogram인데 fumonisin B₁의 머무름 시간이 10.3분대로써 일치하였으며

Table 1. Toxicity of *Fusarium* species isolated from Chinese corn samples to experimental rats

<i>Furarium</i> species	No. of isolate	No. of isolate causing ^a		
		Death	Wt. loss	Wt. gain
Control ^b	—	—	—	—
<i>moniliforme</i>	47	17	11	19
<i>proliferatum</i>	10	3	4	4
<i>oxysporum</i>	9	4	3	2
<i>subglutinans</i>	6	0	2	4
<i>semitectum</i>	4	0	1	3
<i>sporotrichioides</i>	3	1	0	2
<i>chlymydosporum</i>	2	0	0	2
<i>avenaceum</i>	2	0	0	2
<i>culmorum</i>	1	0	0	0
<i>poae</i>	1	0	0	1
<i>solani</i>	1	0	1	0
<i>anthophilum</i>	1	0	1	0
<i>equiseti</i>	1	0	0	1
unknown	4	1	1	2
Total (%)	92	26 (28)	24 (25)	42 (44)

^aResults are based on three rats per treatment.
^bMixture of 1:1 autoclaved wheat and complete rat diet.

Table 2. Acute toxicity and toxic signs of the 26 *Fusarium* isolates lethal to experimental rats

<i>Fusarium</i> species	Strains	Average Wt. gain (g) ^a	Feed consumption (g) ^a	Toxic signs ^b
<i>moniliforme</i>	C3-16B	-5.2±2.8	22.7±6.5	I&SD, Dr
	C7-17B	-15.0±5.8	21.8±6.5	I&SD, Ht
	C8-2	-16.7±4.8	16.5±2.0	ID, Ld, Dr
	C13-5	-20.0±1.8	18.5±4.0	I&SD, Dr
	C14-15B	-25.3±1.8	11.3±2.3	IH, ID, Ht
	C22-6A	-9.5±2.0	22.0±2.0	I&SH, D
	C22-6B	-22.5±1.7	5.2±1.0	I&SH, Ld, M
	C22-11B	-16.5±2.0	12.8±6.8	I&SD
	C16-11A	-19.3±1.3	11.2±9.5	ID, IH, Dr
	C1-7B	-22.7±3.0	8.7±2.5	I&SD, M
	C8-12B	-26.3±0.8	3.8±1.3	I&SD, Ht, M
	C11-7	-21.0±4.0	5.5±4.3	I&SD, Ld
	C21-3	-17.3±5.8	2.0±1.0	I&SD, IH, Ld
	C22-7B	-26.0±3.8	7.3±6.0	IH, SD, Ht
	C22-17A	-24.8±1.8	9.0±2.3	I&SD, IH
	C22-17B	-25.5±1.8	4.7±1.0	I&SD, IH, M
C23-7	-27.7±3.0	3.0±0.5	I&SD, IH, Ld	
<i>oxysporum</i>	C8-16	-11.5±4.0	15.0±4.8	IH, SD
	C15-14	-14.3±2.5	5.7±5.2	I&SH
	C14-12	-22.2±6.3	4.7±4.9	I&SH
<i>proliferatum</i>	C11-2	-7.8±7.8	21.0±5.5	IH
	C22-7A	-12.5±2.0	18.2±0.5	SD, IH, Dr
	C1-3B	-18.3±3.3	1.0±0.8	I&SD, IH
<i>sporotrichioides</i>	C15-10	-17.7±5.8	13.5±3.3	I&SD, Dr, Ht
	C1-1B	-25.3±2.3	10.8±2.8	I&SD, IH
unknown	C2-3B	-9.2±4.0	23.5±3.8	I&SD

^a Each value is the mean of three rats per one isolate± standard deviation.

^b S ; stomach, I ; intestine, D ; degeneration, H ; hemorrhage, M ; mucose Dr ; diarrhea, Ht ; hematuria, Ld ; liver damage.

표준독소와 배양체 추출물을 동시에 주입하였을 때 단일 peak으로 나타나 fumonisin B₁을 동정할 수 있었다. 이와 같이 HPLC를 사용하여 20개 균주 배양체로부터 fumonisin B₁의 생성량을 측정된 결과는 Table 3과 같다. Fumonisin B₁의 생성량은 280~3,952 µg/g 수준이었으며 대부분의 균주가 1, 500~3,000 µg/g 정도의 fumonisin B₁을 생성하였다.

또한 질량분석기로 분석 결과 Fig. 2에서와 같이 protonated molecular ion(MH⁺)은 m/z 722이었으며, fumonisin의 tricarboxylic acid group에 의해 생기는 m/z 546과 372 나타나 fumonisin B₁임을 확인할 수 있었다.

고 찰

중국산 옥수수로부터 분리한 *Fusarium* 균의 우점 종은 *Liseola* section에 속하는 *F. moniliforme*, *F. pro-*

liferatum, *F. subglutinans* 등이었으며 건전하게 보이는 옥수수 종자에서도 *F. moniliforme*의 검출이 높았다. 이와 같이 *F. moniliforme*의 높은 오염은 한국산 옥수수의 *Fusarium*균 오염양상에서도 비슷하게 나타나고 있다(8).

그러나 중국산 옥수수에서 분리한 *F. moniliforme* 균주와 한국산 옥수수에서 분리한 균주의 급성독성을 비교하여 보면 큰 차이가 있었다. 본 연구에서는 중국산 47균주 중 17균주가 렛트를 치사시킨 반면 Lee(8)는 한국산 37균주 중 1균주만이 치사균주로 보고하였다. 이 같은 결과는 중국산 독성균주의 분포가 우리나라와는 다르며 곡물에 오염되어 반입되는 맹독성균주를 차단할 수 있는 식물검역 강화의 당위성을 시사하고 있다.

Nelson 등(14, 15)은 *Fusarium* 균주를 세계 각국으로부터 수집하여 fumonisin B₁의 생성능을 조사하였는데, *F. moniliforme*가 속해 있는 *Liseola* section이

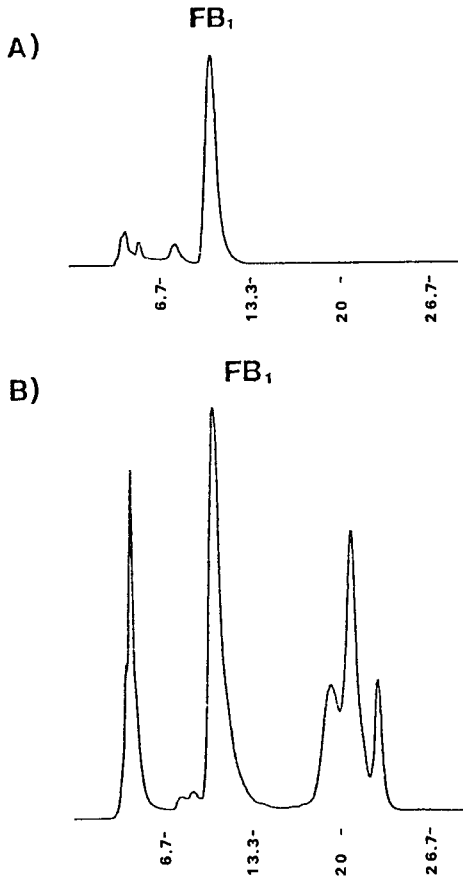


Fig. 1. HPLC chromatograms of fumonisin B₁ (A) and an extract of toxic culture of *Fusarium moniliforme* C13-5 (B). HPLC parameters were ; column, Lichrosorb RP-C8 ; mobile phase, CH₃OH-0.1 M NaH₂PO₄ (72 : 28, v/v) ; flow rate, 0.8 ml/min ; excitation wavelength, 335 nm ; emission wavelength, 440 nm.

주로 생성하였고, 그 밖에 *F. napiforme*, *F. naygamai* 그리고 *F. dlamini* 등의 종에서도 생성된다고 보고 하였다. 본 연구에서도 독성치사균주 중 *Liseola* section에 속하는 *F. moniliforme*과 *F. proliferatum*의 2종이 fumonisin B₁을 생성하였으나 *F. oxysporum*이나 *F. sporotrichioides* 균주들은 생성하지 않았다. *F. moniliforme*의 fumonisin B₁ 생성량은 대부분의 균주가 1,500 µg/g 이상 생성하였는데, 이는 미국에서 ELEM과 관련된 옥수수 사료나 양질의 옥수수로부터 분리한 *F. moniliforme* 균주의 fumonisin B₁ 생성량과 비슷한 수준이며 나이지리아, 호주, 네팔산의 옥수수, 기장, 수수 등으로부터 분리한 *F. moniliforme* 균주의 fumonisin B₁ 생성량보다는 현저히 높은 수

Table 3. Fumonisin B₁ production of the toxic isolates of *Fusarium moniliforme* and *F. proliferatum* obtained from Chinese corn samples

<i>Fusarium</i> species	Strains	Fumonisin B ₁ production (µg/g) ^a
<i>moniliforme</i>	C3-16B	288
	C7-17B	1,852
	C8-2	1,880
	C13-5	2,050
	C14-15B	1,734
	C22-6B	704
	C22-11B	2,560
	C16-11A	2,600
	C1-7B	3,952
	C8-12B	2,624
	C11-7	1,856
	C21-3	2,660
	C22-7B	1,824
	C22-17A	3,328
	C22-17B	2,400
<i>proliferatum</i>	C23-7	1,024
	C22-7A	280
	C1-3B	1,824
	C15-12	400

^aFumonisin B₁ was quantified by HPLC with a fluorescence detector.

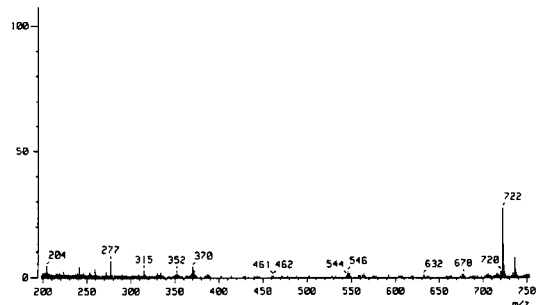


Fig. 2. FAB mass spectrum of fumonisin B₁: (M+1)⁺ is m/z 722.

준이다(14, 18). 이와 같이 중국산 옥수수로부터 분리한 *F. moniliforme*의 높은 fumonisin B₁ 생성능은 중국산 옥수수에 fumonisin B₁ 자연발생의 가능성을 시사하고 있다.

Fumonisin은 *Fusarium*속이 생성하는 기존의 곰팡이 독소와는 달리 암을 유발한다는 점에서 aflatoxin과 함께 큰 관심을 일으키고 있으며 아직은 연구 초기단계이므로 향후 발암 메카니즘의 규명이 기대된다. 우리나라는 식용 및 사료용 옥수수의 공급을

대부분 미국이나 중국으로부터 수입하고 있으므로 fumonisin에 노출될 위험성이 매우 크다. 따라서 수입 옥수수를 비롯한 곡물로부터 fumonisin 독소의 자연발생을 조사하여 이에 대한 검역 체계의 확립이 시급한 실정이다.

요 약

중국산 옥수수 시료로부터 92개의 *Fusarium* 균주를 분리하였다. 옥수수 종자로부터 분리한 *Fusarium*의 우점종은 *F. moniliforme*, *F. proliferatum*, *F. oxysporum*, *F. subglutinans* 등이었으며 모두 13종이 동정되었다. 각 균주는 살균된 밀에서 배양하여 21일된 암컷 랫트에 투여함으로써 독성시험을 수행하였다. 총 92균주 중 26균주가 사료섭취 거부, 심한 체중감소, 간의 손상, 위장의 출혈 등을 동반하면서 랫트를 치사시켰다. 26개의 독성균주 중 *F. moniliforme* 17균주, *F. oxysporum* 4균주, *F. proliferatum* 3균주, 그리고 *F. sporotrichioides*와 미동정 균주 1균주가 각각 랫트를 치사시켰다. 이들 26개의 독성균주의 fumonisin B₁ 생성을 박층크로마토그래피와 고속액체 크로마토그래피를 사용하여 분석하였으며 질량분석기로 확인하였다. *F. moniliforme*와 *F. proliferatum*의 모든 독성균주가 fumonisin B₁을 280~3,952 µg/g 수준으로 생성하였으나 다른 종에 속하는 균주들은 생성하지 않았다. 본 결과는 중국에서 수입한 옥수수 시료에서 fumonisin B₁의 자연발생의 높은 가능성을 시사한다.

감사의 말씀

본 연구는 한국과학재단이 지원하는 특정기초연구비(91-05-00-11)로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Bezuidenhout, S. C., Gelderblom, W. C. A., Gorst-Allman, C. P., Horak, R. M., Marasas, W. F. O., Spiteller, G. and Vleggaar, R. 1988. Structure elucidation of fumonisins, mycotoxins from *Fusarium moniliforme*. *J. Chem. Soc. Chem. Commun.* 1988: 743-745.
2. Colvin, B. M. and Harrison, L. R. 1992. Fumonisin-induced pulmonary edema and hydrothorax in swine. *Mycopathologia* 117: 79-82.
3. Gelderblom, W. C. A., Jaskiewicz, K., Marasas, W. F. O., Thiel, P. G., Horak, R. M., Vleggaar, R. and Kriek, N. P. J. 1988. Fumonisin-novel mycotoxins with cancer-promoting activity produced by *Fusarium moniliforme*. *Appl. Environ. Microbiol.* 54: 1806-1811.
4. Gelderblom, W. C. A., Marasas, W. F. O., Jaskiewicz, K., Combrinck, S. and van Schalkwyk, D. J. 1988. Cancer promoting potential of different strains of *Fusarium moniliforme* in a short-term cancer initiation/promotion assay. *Carcinogenesis* 9: 1405-1409.
5. Jaskiewicz, K., van Rensburg, S. J., Marasas, W. F. O. and Gelderblom, W. C. A. 1987. Carcinogenicity of *Fusarium moniliforme* culture material in rats. *JNCI* 78: 321-325.
6. 김완규, 오민석, 유승현, 박종성. 1984. 옥수수 종자에서 검출된 *Fusarium moniliforme*와 그 병리학적 중요성. *한국균학회지* 12: 105-110.
7. Kriek, N. P. J., Kellerman, T. S. and Marasas, W. F. O. 1981. A comparative study of the toxicity of *Fusarium verticillioides* (= *F. moniliforme*) to horses, primates, pigs, sheep and rats. *Onderstepoort J. Vet. Res.* 48: 129-131.
8. Lee, T. 1991. Mycotoxins produced by toxigenic *Fusarium* species isolated from corn. M. S. Thesis, Seoul National University, Suwon, Korea. 84 pp.
9. 이인원, 김국형, 정후섭. 1988. 우리나라 옥수수 산지로부터 분리한 *Fusarium*균의 독성. *한식병지*. 4(1): 40-48.
10. Leslie, J. F., Pearson, C. A. S., Nelson, P. E. and Toussoun, T. A. 1990. *Fusarium* spp. from corn, sorghum, and soybean fields in the central and eastern United States. *Phytopathology* 80(4): 343-349.
11. Marasas, W. F. O., Wehner, F. C., van Rensburg, S. J. and van Schalkwyk, D. J. 1981. Mycoflora of corn produced in human esophageal cancer area in Transkei, South Africa. *Phytopathology* 71(8): 792-796.
12. Marasas, W. F. O., Kriek, N. P. J., Fincham, J. E. and van Rensburg, S. J. 1984. Primary liver cancer and esophageal basal cell hyperplasia in rats caused by *Fusarium moniliforme*. *Int. J. Cancer* 34: 383-387.
13. Nelson, P. E., Toussoun, T. A. and Marasas, W. F. O. 1983. *Fusarium* species: An Illustrated Manual for Identification. Pennsylvania State University Press, University Park. 203 pp.
14. Nelson, P. E., Plattner, R. D., Shackelford, D. D. and Desjardins, A. E. 1991. Production of fumonisins by *Fusarium moniliforme* strains from various substrates and geographic areas. *Appl. Environ. Microbiol.* 57: 2410-2412.
15. Nelson, P. E., Plattner, R. D., Shackelford, D. D. and Desjardins, A. E. 1992. Fumonisin B₁ produc-

- tion by *Fusarium* species other than *F. moniliforme* in section *Liseola* and by some related species. *Appl. Environ. Microbiol.* 58:984-989.
16. 농협. 1994. 농산물 분류별 품목별 수입. 농협조사월보 94(2): 54-55.
 17. Rheeder, J. P., Marasas, W. F. O., Thiel, P. G., Sydenham, E. W., Shephard, G. S. and van Schalkwyk, D. J. 1992. *Fusarium moniliforme* and fumonisins in corn in relation to human esophageal cancer in Transkei. *Phytopathology* 82(3): 353-357.
 18. Ross, P. F., Nelson, P. E., Richard, J. L., Osweiler, G. D., Rice, L. G., Plattner, R. D. and Wilson, T. M. 1990. Production of fumonisins by *Fusarium moniliforme* and *Fusarium proliferatum* isolates associated with equine leukoencephalomalacia and a pulmonary edema syndrome in swine. *Appl. Environ. Microbiol.* 56: 3225-3226.
 19. Shephard, G. S., Sydenham, E. W., Thiel, P. G. and Gelderblom, W. C. A. 1990. Quantitative determination of fumonisins B₁ and B₂ by high-performance liquid chromatography with fluorescence detection. *J. Liquid Chromatography* 13(10): 2077-2087.
 20. Sydenham, E. W., Gelderblom, W. C. A., Thiel, P. G. and Marasas, W. F. O. 1990. Evidence for the natural occurrence of of fumonisin B₁, a mycotoxin produced by *Fusarium moniliforme*, in corn. *J. Agric. Food Chem.* 38: 285-290.
 21. Sydenham, E. W., Thiel, P. G., Marasas, W. F. O., Shephard, G. S., van Schalkwyk, D. J. and Koch, K. R. 1990. Natural occurrence of some *Fusarium* mycotoxins in corn from low and high esophageal cancer prevalence areas of the Transkei, southern Africa. *J. Agric. Food Chem.* 38: 1900-1903.
 22. Sydenham, E. W., Shephard, G. S., Thiel, P. G., Marasas, W. F. O. and Stockenström, S. 1991. Fumonisin contamination of commercial corn-based human foodstuffs. *J. Agric. Food Chem.* 39: 2014-2018.
 23. Sydenham, E. W., Marasas, W. F. O., Shephard, G. S., Thiel, P. G. and Hirooka, E. Y. 1992. Fumonisin concentrations in Brazilian feeds associated with field outbreaks of confirmed and suspected animal mycotoxicoses. *J. Agric. Food Chem.* 40: 994-997.
 24. Thomas, M. D. and Buddenhagen, I. W. 1980. Incidence of persistence of *Fusarium moniliforme* in symptomless maize kernels and seedlings in Nigeria. *Mycology* 72: 882-887.