한 국 균 학 회 지 The Korean Journal of Mycology Research Article

수수 이삭곰팡이 증상에서 분리한 *Fusarium*속 균의 다양성 및 병원성

최효원* · 홍성기 · 이영기 · 김완규

농촌진흥청 국립농업과학원

Diversity and Pathogenicity of *Fusarium* Species Associated with Grain Mold of Sorghum

Hyo-Won Choi*, Sung Kee Hong, Young Kee Lee and Wan Gyu Kim

National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon 441-707, Korea

ABSTRACT : Sorghum (*Sorghum bicolor* Moench) was traditionally grown on a small scale, however, at present its cultivation is getting momentum in terms of food and animal feed crop throughtout the Korea. Grain mold symptoms of the plant were frequently observed during disease surveys in Korea from 2007 to 2009. The symptoms were highly variable. Severely infected grain was fully covered with mold and partially infected grain may look normal or discolored. Ninety isolates of *Fusarium* species were obtained from the diseased plants collected from several locations in the country. Among the collected *Fusarium* isolates, 41 were identified as *Fusarium thapsinum*, 23 as *F. proliferatum*, 12 as *F. graminearum*, 5 as *F. incarnatum,* and 3 as *F. equiseti* based on their morphological and cultural characteristics. Elongation factor 1 alpha gene sequences of the isolates were used for phylogenetic analysis. Analyses of the sequences revealed that the isolates were confirmed to be identical with related species of NCBI GenBank. Pathogenicity tests showed that three dominant species, *F. thapsinum*, *F. proliferatum* and *F. graminearum* were strongly virulent to grains of sorghum. This study is the first report of sorghum grain mold caused by *Fusarium* species in Korea.

KEYWORDS : *Fusarium* species, Grain mold, Sorghum

서 론

수수(*Sorghum bicolor* Moench)의 원산지는 아프리카 대륙이고, 전세계적으로 재배되며 생산량은 58백만 톤으로 곡류 중에서 5위의 생산량을 기록하고 있다. 국내의 경우, 1990년 1,976톤에서 2009년에는 2,562톤으로 생산량이 증가하였다(MIFFAF, 2012). 수수는 식용, 사료용, 건강기능성용 등의 용도로 사용되고 있고, 특히 수수에는 항산화 효과가 과일보다 높아 건강기능성 식품으로 주목 받고 있다. 그러나 우리나라의 수수 재배면적은 1938년 64,000 ha 였던 것이 최근에는 1,500~2,000 ha 정도로 예상되며, 충북과 강원, 경북 지역을 제외하면 극히 미미한 실정이다.

국내에서 보고된 수수의 병해로는 *Bipolaris sorghicola*에 의한 겹둥근무늬병, *Cercospora*균에 의한 자주점무늬병, 자주구름무늬병, *Colletotrichum graminicola*에 의한 탄저병 등 15개의 진균병이 있으나, 대부분 1940년 이전 혹은 1990년대 말에 조사된 것으로 최근 발생하는 병에 대한 조사는 부족한 실정이다(KSPP, 2009). 수수에 발생하는 병을 조사하기 위하여 2007년부터 2009년까지 전국의 수수 재배 포장을 조사한 결과, 이삭에 곰팡이가 발생하는 증상을 관찰하였고 이를 채집하여 병원균을 분리한 결과 다수의 *Fusarium*균이 분리되었다.

본 연구에서는 이삭곰팡이 증상을 나타내는 수수를 채집하여 *Fusarium*속 균을 분리하였고, 균학적 특성을 조사하였으며 분리된 균주의 염기서열을 분석하였다. 이 결과에 따라 국내의 수수 이삭곰팡이병에 관여하는 *Fusarium*

Kor. J. Mycol. 2013 September, **41**(3): 142-148
http://dx.doi.org/10.4489/KJM.2013.41.3.142
pISSN 0253-651X
© The Korean Society of Mycology

***Corresponding author**
E-mail: hyon338@korea.kr

Received August 30, 2013
Revised September 12, 2013
Accepted September 12, 2013

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

균을 동정하였으며, 이들의 병원성을 확인하였다.

재료 및 방법

병원균 분리

전국의 수수 재배포장에서 이삭곰팡이증상이 있는 수수 이삭을 채집하여 병원균을 분리하였다. 채집된 이삭을 1% 차아염소산나트륨(NaOCl)을 사용하여 표면소독한 후, 살균수로 3회 세척하여 물한천배지에 치상하였다. 치상 5~7일 후, 자라난 균총으로부터 *Fusarium*균을 단포자 분리하여 PDA(potato dextrose agar) 사면배지에 옮겨 배양하였고, 이들 균주를 10°C에 보관하면서 실험에 사용하였다.

균학적 특성조사

분리한 *Fusarium*균의 균학적 특성 조사를 위하여 PDA 배지 및 CLA(carnation leaf agar)배지에 균을 배양하였다. 배양적 특성의 조사는 균주를 5 mm cork borer로 잘라 PDA배지 중앙에 접종한 후, 7일간 25°C에서 배양하여 균사생장, 균총의 모양과 색깔, 배지로의 색소 형성 유무 등을 조사하였다. 형태적 특성의 조사는 Fisher 등(1982)의 방법에 따라 CLA배지를 조제하고, 준비된 배지에 5 mm cork borer로 자른 균총을 치상하여 20°C의 NUV(near ultra violet) 조명 아래에 12시간/1일 조건으로 배양하였다. 배양 2주 후부터 대형분생포자의 모양과 크기, 소형분생포자의 형성 유무 및 모양과 크기, 경자(phialide)의 형태, 후막포자의 형성 유무 등을 조사하였다.

분리균주의 DNA 추출 및 염기서열 분석

균학적 특성에 의해 동정된 균주의 genomic DNA를 추출하기 위해 각 균주를 PDB(potato dextrose broth)배지에 접종하고, 25°C에서 5~7일간 정치배양하였다. 배양된 균사체를 miracloth로 수거하고 동결건조하여 곱게 마쇄한 후, CTAB-phenol/chloroform을 이용한 Choi 등(2009)의 방법으로 genomic DNA를 추출하고, -20°C에 보존하면서 실험에 사용하였다.

Translation elongation factor 1-α(EF-1α) 유전자의 염기서열 분석을 위하여 O'Donnell 등(1998)의 방법을 참고하여, EF-1(5'-ATGGGTAAGGAAGACAAG-AC-3')과 EF-2(5'-GGAAGTACCAGTGATCATGTT-3') 프라이머를 사용하여 PCR 증폭을 수행하였다. PCR 반응액은 100 ng/μL의 template DNA를 포함하여 10 × Taq buffer, 2 mM dNTPs, 10 pmole/μL의 양방향 primer쌍, 0.5 unit의 Taq DNA polymerase를 총량 50 μL로 제조하였다. PCR 증폭은 94°C 30초, 50°C 30초, 72°C 90초를 35회 반복하였고, 최종적으로 72°C에서 7분간 post extension을 실시하였다. 증폭된 PCR 산물은 1% agarose gel에 전기영동한 후, 증폭된 band를 Wizard SV Gel & PCR Clean-Up System(Promega) kit를 사용하여 정제하였다. 그 후, pGEM-T easy vector와 ligation하고, heat shock방법으로 형질전환시켜 blue-white screening법으로 형질전환체 선발하였다. 선발된 형질전환체로부터 Wizard Plus SV Minipreps (Promega)를 이용하여 plasmid를 추출하였고, ABI 3730 DNA analyzer (Applied Biosystems)로 sequencing을 실시하였다. 분석된 염기서열은 Clustal W 소프트웨어(Thompson *et al.*, 1994)를 이용하여 정렬하였고, 계통수는 MEGA 4.0 프로그램을 이용하여 neighbor-joining법에 의해 작성하였다.

병원성 검정

분리된 5종의 *Fusarium* 균의 병원성을 확인하기 위하여 agar test tube assay방법을 변형하여 사용하였다(Leslie *et al.*, 2005). 분리빈도가 높았던 *F. thapsinum*, *F. proliferatium*, *F. graminearum*은 각각 2개 균주, *F. incarnatum*, *F. equiseti*는 1개의 균주를 선발하였다. 수수 종자(품종: 시경)를 55°C에서 30분간 온탕침지한 후, 종자소독제(베노밀 · 티람 수화제)에 48시간 침지하여 종자에 남아있는 균을 제거하였다. 소독된 종자를 0.6% 물한천 배지에 치상하여 발아 여부를 확인하였다. 치상 14일 후, 20 mL의 Hoagland's no. 2 (Sigma) 배지가 분주된 시험관에 한 개체씩 이식하고 10일 동안 생육시켜 균일하게 자란 수수 유묘를 선발하였다. 병원성 검정에 사용된 균주는 PDA 배지에서 5일간 배양한 후, 멸균수를 사용하여 포자현탁액을 만들고 포자농도를 1×10^6 spores/mL로 조정하였다. 피펫을 이용하여 유묘의 지제부 부근에 0.5 mL의 포자현탁액을 접종하고, 약 3주 후 발병지수를 이용하여 발병정도를 조사하였다. 발병지수는 Schreuder 등(1995)의 방법을 변형하여 사용하였다. 병징이 없는 것을 0, 유묘의 황화 및 갈변 정도가 25% 이하인 것을 1, 26~50%인 경우에는 2, 51~75%는 3, 76% 이상이 갈변되거나 완전히 고사한 것을 4로 표시하였다. 발병지수와 함께 각 유묘의 생체중(mg)을 조사하였다. 병원성 검정은 7반복으로 2회 실시하였고, 유의성 검정은 통계프로그램인 R version 3.0.1을 이용하여 Duncan의 다중검정법으로 비교 분석하였다.

결과 및 고찰

*Fusarium*속 균의 분리

2007년부터 2009년까지 전국의 수수 재배 포장에서 이삭곰팡이 증상이 있는 수수 이삭을 채집하였다. 이삭곰팡이병의 대표적인 병징은 이삭에 전체적으로 하얗게 곰팡이가 발생하고, 수수 종실에 붉은색 반점이 형성되었으며, 종실이 맺히지 못하는 불임립이 형성되는 등 다양한 증상을 나타내었다. 발생이 심한 곳은 약 10%의 발병율을 나타내었다(Fig. 1). 채집한 시료를 물한천배지에 치상하여 *Fusarium*균의 검출율을 조사한 결과, 시료 간에 차이는 있었으나 약 50~100%의 비율로 검출되었다. 총 90개의 *Fusarium*균을 분리한 결과, *F. thapsinum*이 45.6%로 가장

Fig. 1. Various symptoms of grain mold caused by *Fusarium* species on sorghum.

많이 검출되었고 *F. proliferatum*이 25.6%, *F. graminearum*이 13.3% 분리되었다(Table 1). 그 외에도 *F. incarnatum*, *F. equiseti*가 각각 5.6%, 3.3% 분리되었다. 미국, 인도 등 주요 수수 재배국가에서는 수수의 이삭곰팡이 증상에 *Alternaria, Bipolaris, Curvularia, Fusarium, Penicillium*균을 비롯한 40종 이상의 진균이 관련되어 있는 것으로 보고한 바 있다(Erpelding and Prom, 2006; Prom, 2004; Williams and Rao, 1981). 또한 재배 지역의 기후나 품종 등 환경적인 영향에 따라 그 중요성에 차이는 있으나 이삭곰팡이병에는 *Fusarium, Curvularia, Alternaria*균이 주로 관여하는 것으로 보고되었다(Christopher *et al.*, 2012). 특히 *F. thapsinum, F. verticillioides, F. proliferatum, F. andiyazi* 등 다양한 *Fusarium*종은 각종 화본과 작물이나 잡초에 부생적 혹은 내생적으로 존재하다가 수수 이삭곰팡이병의 전염원이 되는 것으로 알려져 있다(Funnell-Harris and Pederson, 2011). 본 연구에서는 *Fusarium* 균만을 대상으로 조사하여 주로 *F. thapsinum*이 우점하고 있는 것으로 나타났으며, 이는 Sharma 등(2011)이 인도에서 이삭곰팡이병은 주로 *Fusarium* 균이 관여하며, 이 중 *F. thapsinum*이 우점하고 있다는 결과와 일치한다. 한편, 이삭곰팡이병에는 *Fusarium* 균 이외의 다양한 진균이 관여하기 때문에 국내에서 발생하는 이삭곰팡이병 대한 정밀한 조사가 필요할 것으로 생각된다.

Table 1. Number of isolates of *Fusarium* species from grain mold on sorghum

Species	Number of isolates				
	2007	2008	2009	Total	%
F. thapsinum	18	9	14	41	45.6
F. proliferatum	8	4	11	23	25.6
F. graminearum	5	1	6	12	13.3
F. incarnatum	2	1	2	5	5.6
F. equiseti	2	1	0	3	3.3
Fusarium sp.	1	1	4	6	6.6
Total isolates	36	17	37	90	100

균학적 특성 조사

이삭곰팡이 증상이 있는 수수 이삭에서 분리한 90개 균주를 대상으로 CLA와 PDA 배지에서의 균학적 특성을 조사하여 동정하였다(Table 2). *F. thapsinum*은 1997년에 처음 보고된 균으로 이전에는 *F. moniliforme*로 인식되었으나, 교배형이 다른 완전세대(*Gibberella thapsina*)를 형성하고, 기주 특이성이나 독소 생산과 같은 중요한 특성의 차이로 새로운 종으로 분리되었다(Klittich *et al.*, 1997). *F. thapsinum*은 노란 색소를 형성하지 않을 경우 *F. verticillioides*와 형태적으로 구분이 어렵기 때문에 DNA 염기서열분석이나 교배친화성 분석 등이 필요하다(Leslie and Summerell, 2006). 특히 본 균은 국내에서 보고된 바 없으며, 세계적으로 수수의 줄기썩음병과 이삭곰팡이병의 주요 병원균으로 알려져 있다. 그 외에도 바나나, 옥수수, 땅콩이나 목초류에서도 분리된 바 있다(Klittich *et al.*, 1997).

*F. proliferatum*은 Gerlach와 Nirenberg(1982)에 의해 종으로 인정되었으며, 이전에는 *F. moniliforme*로 동정되었기 때문에 아직까지 많은 종이 *F. moniliforme*로 사용되고 있다. 다양한 식물에 병을 일으키는 것으로 보고되었으며, 특히 옥수수와 수수, 망고, 아스파라거스 등의 주요 병원균으로 알려져 있다(Leslie and Summerell, 2006). 국내에서는 옥수수이삭썩음병(Choi *et al.* 2009), 율무이삭마름병

Table 2. Comparison of cultural and morphological characteristics between the present isolates obtained from grain mold of sorghum and *Fusarium* species described previously

Structure[a]		Characteristics[b]									
		F. thapsinum		*F. proliferatum*		*F. graminearum*		*F. incarnatum*		*F. equiseti*	
		Present isolates	Reference	Present isolates	Reference	Present isolates	Reference	Present isolates	Reference	Present isolates	Reference
Growth rate (mm/day)		6.3	3.5-4.9	9.5	9.4-10	11.5	15-16	8.8	7.0-8.0	11.7	10-13.2
Aerial mycelium		Abundant, white	White to pale orange	Abundant, white to purple	Abundant, white to pinkish buff	Abundant, white	Abundant, whitish with yellow tips	Floccose, white to buff-brown	Floccose, white to buff-brown	Abundant, whitish to brown	Abundant, whitish to peach
Pigmentation		Yellow	Yellow	-	-	Red	Rather variable, golden yellow, crimson	-	-	-	-
Microconidia	Shape	Abundant, born in chain or false heads	Abundant, born in chain or false heads	Clavate with a flattened base, oval	Clavate with a flattened base	Absent	Absent	Absent	Sparse or absent	Absent	Absent
	Size (μm)	4.6-11.4× 1.7-4.1	5-20×2-3	5.3-13.5× 2.8-3.7	3-16×1.2-5.3	-	-	-	-	-	-
Macroconidia	Shape	Straight or slightly curved	Straight or slightly curved	Slender, straight	Slender, straight	Falcate, long and slender	Falcate, long and slender	Fusiform to falcate	Fusiform to falcate	Long, dorsiventral curvature	Long, slender dorsiventral curvature
	Size (μm)	28.6-48.3× 3.3-5.5	24-64×3-4	-	19-79×2.6-5	45-63.5× 4.8-5.5	41-60× 4.3-5.5	18-48×2-4.5	7.5-35×2.5-4.0	47.4-67.8× 4.2-5.1	45-70×4-5.5
Phialides	Shape	Monophialide	Monophialide, cylindric	Polyphialides	Sometimes monophialide very often polyphialides	Monophialide	Monophialide, cylindric	Monophialide and polyphialide	Monophialide and polyphialide	Monophialide	Monophialide, usually short
	Size (μm)	-	-	13-25× 2.5-3.4	11-32× 2.3-3.5	-	-	-	-	-	10-15×3-4
Chlamydospores		Absent	Usually rather scarce	Absent	Absent	Absent	Usually rather scarce	-	Sparse	Abundant	Usually abundant

[a]Growth rate and aerial mycelium were investigated on PDA plates incubated in darkness at 25°C for a week. Other structures were investigated on CLA plates incubated in alternating cycles of 12 h NUV light and 12 h darkness at 22°C for 2 weeks.

[b]*F. thapsinum* was described by Klittich *et al.* (1997), and *F. proliferatum, F. graminearum, F. incarnatum* and *F. equiseti* was described by Gerlach and Nirenberg (1982).

(Choi *et al*., 2011) 등을 일으키는 것으로 보고된 바 있다. *F. proliferatum*은 특히 *F. fujikuroi*와 형태적으로 매우 유사하여 두 종을 정확히 구분하는데는 DNA 염기서열분석이나 교배친화성 분석 등이 필요하다고 하였다(Leslie and Summerell, 2006). 또한 poly형태의 경자에 중간 길이의 사슬형 소형포자를 형성하기 때문에 mono형태인 *F. verticillioides*나 *F. thapsinum*과 구별된다.

*F. graminearum*은 밀, 보리 등 맥류에 붉은곰팡이병을 일으키며, 옥수수에는 줄기와 이삭썩음병을 일으키는 병원균이다(Choi *et al*., 2009). 이 균은 PDA 배지에서 빨리 자라는 편이고, 기중균사를 풍부하게 형성하며, 배지에서 붉은 색소를 내는 것이 특징이다. CLA 배지에 형성된 대형포자는 5~6개의 격막을 가지고, 약간 가늘며 거의 직선 형태이며, 기부세포가 전형적인 발 모양을 나타낸다(Gerlach and Nirenberg, 1982). 소형포자는 형성하지 않으며, 후막포자는 드물거나 매우 느리게 형성된다. 형태적으로 *F. pseudograminearum, F. crookwellense, F. culmorum* 등과 비슷하여 혼동하기 쉽지만, 대형포자의 형태와 소형포자 형성의 유무 등으로 구분할 수 있다(Leslie and Summerell, 2006).

*F. incarnatum*은 *F. semitectum*, *F. pallidoroseum*과 동균이명(synonym)으로 사용되며, 종 내에서도 형태적으로 다양하기 때문에 현재까지 분류학적으로 논의되고 있는 종으로 종복합체인 것으로 알려져있다(Leslile and Summerell, 2006). *F. incarnatum*은 일부 저장병에 관여하는 것으로 보고되었고 주로 부생성으로 존재한다. *F. equiseti*는 부생성이 강한 균으로 국내에서는 참외열매썩음병과 녹두뿌리썩음병을 일으킨다고 보고된 바 있다(KSPP, 2009). 대형포자의 형태가 매우 길고 가늘며, 포자의 등배면(dorsiventral)이 굽어있는 것이 특징이다. 소형포자는 형성하지 않고, 후막포자가 풍부하게 형성된다(Gerlach and Nirenberg, 1982). 특히 이들 종은 *Fusarium incarnatum equiseti* species complex(FIESC)라는 종 복합체에 속하는 것으로 알려져 최근 연구가 진행중이다(O'Donell *et al*., 2010).

염기서열분석

수수 이삭곰팡이증상에서 분리한 *Fusarium* 균의 균학적 특성 조사에 의한 동정 결과를 염기서열분석에 의한 결과와 비교한 결과, 대부분 결과가 일치하는 것으로 나타났다. 최근에는 형태적 동정에 의한 구분이 모호한 종에서 계통분류학적 동정을 위해 multilocus DNA 염기서열 분석을 이용하는데, *Fusarium*속의 종간 구별에는 여러 가지 유전적 마커 중 translation elongation factor 1-α(TEF) 유전자가 가장 적당하다고 평가되고 있다(Geiser *et al*., 2004). 이를 이용하여 수수 이삭곰팡이 증상에서 분리한 *Fusarium*균을 분석한 결과, 분리한 균주 모두 NCBI에 등록된 각각의 균과 98% 이상의 상동성을 나타내었다(Fig. 2). 각 12개 균주의 염기서열은 KF267262~KF267272와 KF514661의 accession number로 GenBank에 등록되었다. 앞서 언급한 바와 같이 Leslie와 Summerell(2006)은 *G. fujikuroi* 종 복합체에 속하는 *F. thapsinum*과 *F. proliferatum*은 형태적, 배양적 특성에 의해 다른 종과는 구분이 어렵고, DNA 염

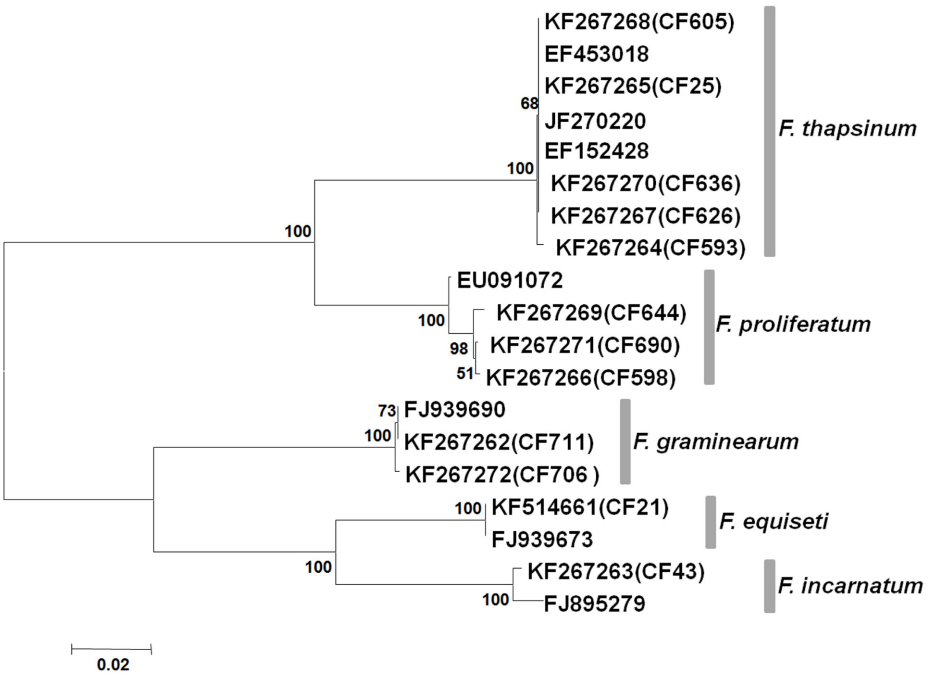

Fig. 2. Phylogenetic tree of *Fusarium* isolates from sorghum grains based on the sequence of the translation elongation factor 1 α gene. The phylogenetic tree was generated using Neighbor-Joining analysis. The number in each branch indicates bootstrap values obtained after a bootstrap test with 1,000 replications. The scale bar represents 0.02 nucleotide substitutions per site.

기서열 분석이나 교배친화성 분석을 통해 종 구분이 가능하다고 하였다. 특히 본 연구에서 분리된 *Fusarium*균의 균학적 특성에 의한 동정 결과는 TEF 염기서열 분석에 의한 결과와 일치하는 것으로 나타났다. 최근에는 TEF 염기서열 외에 RNA polymerase gene의 염기서열 분석을 이용하여 *Fusarium*속 균에 존재하는 여러 가지 종복합체를 정확히 동정하는 연구가 이루어졌다(O'Donnell *et al.*, 2010). 따라서 수수에서 분리된 *Fusarium*균 또한 여러 종복합체에 속하기 때문에 다양한 염기서열을 대상으로 한 계통분류학적 연구가 필요할 것으로 생각된다.

병원성 검정

이삭곰팡이 증상을 나타낸 수수의 이삭에서 분리한 *Fusarium*균 중에서 분리빈도가 높은 *F. thapsinum*, *F. proliferatum*, *F. graminearum*은 각각 2개 균주씩, *F. incarnatum*과 *F. equiseti*는 각각 1개 균주를 대상으로 병원성 검정을 수행하였다. 그 결과, *F. thapsinum*이 병원성이 가장 강한 것으로 나타났고, *F. proliferatum*과 *F. graminearum* 종에서도 병원성이 약간 있는 것으로 나타났다(Table 3). 다양한 *Fusarium*균을 대상으로 수수 유묘를 이용하여 병원성 검정을 수행한 결과, *F. thapsinum*, *F. andiyazi*, *F. verticillioides*, *F. nygamai*, *F. pseudonygamai* 순으로 병원성이 강한 것으로 보고되었다(Leslie *et al.*, 2005). 이는 *F. thapsinum*이 병원성이 가장 강한 것으로 나타난 본 연구의 결과와 일치하였다. 그러나 다른 *Fusarium* 균의 경우 본 연구에서 분리된 종과 상이한 것으로 나타났으며, 이는 수수 품종 혹은 재배환경, 지역적 차이로 인해 균주의 다양성에 차이가 나는 것으로 생각되며, 국내의 수수 재배지역을 중심으로 면밀한 조사가 필요할 것으로 판단된다. 한편, *F. thapsinum*의 감염에 의한 수수 영과형성빈도(caryopsis formation frequency)를 측정한 결과, 특히 높은 상대습도와 높은 전염원 농도에 노출되었을 때, 이삭의 수를 크게 감소시키는 것으로 보고되었다(Christopher and Magill, 2009). 이는 환경조건에 따라 이삭곰팡이병이 수량 감소에 직접적인 영향을 주는 것을 의미하며 이에 대한 후속 연구가 필요할 것으로 생각된다. 특히 *F. thapsinum*은 moniliformin 독소를 형성하는 것으로 보고되었고, 그 외 다른 독소 생산의 가능성이 있으므로 국내에서 분리된 *F. thapsinum*의 독소생산에 대한 연구가 수행되어야 할 것으로 생각된다(Leslie *et al.*, 1996). 이 연구는 *Fusarium*균에 의해 발생한 수수 이삭곰팡이증상에 대한 첫 번째 보고이다.

적 요

국내의 수수재배는 주로 소면적으로 이루어지며, 대부분 식용이나 사료용으로 사용되고 있다. 2007년부터 2009년까지 전국의 수수 재배 포장을 조사한 결과, 이삭에 곰팡이가 발생하는 증상을 다수 관찰하였다. 병징은 매우 다양한데, 심하게 감염된 이삭의 경우 곰팡이가 발생하였고, 부분적으로 감염된 경우에는 수수 종실이 변색되거나 불임립이 형성되었다. 총 90개의 *Fusarium*균을 분리하였으며, 형태적・배양적 특성 조사에 의한 동정 결과, *F. thapsinum*이 41개, *F. proliferatum*이 23개, *F. graminearum*이 12개 분리되었으며, *F. incarnatum*과 *F. equiseti*가 각각 5개, 3개 분리되었다. Elongation factor 1 alpha 유전자의 염기분석을 이용한 계통분석 결과, 대부분이 NCBI GenBank에 등록된 각 유전자와 일치하는 결과를 나타냈다. 분리된 병원균의 병원성 검정 결과, 우점종인 *F. thapsinum*, *F. proliferatum*, *F. graminearum*종이 병원성이 강한 것으로 조사되었다. 이 연구는 *Fusarium*균에 의해 발생한 수수 이삭곰팡이증상에 대한 첫 번째 보고이다.

Table 3. Pathogenicity of *Fusarium* species isolated from sorghum grain by artificial inoculations

Fusarium species	Isolate	Exp. 1[a]		Exp. 2[a]	
		Disease index[b]	Fresh weight (mg)	Disease index[b]	Fresh weight (mg)
F. thapsinum	CF593	3.7a	18.5a	3.9a	14.0a
	CF25	3.6a	16.2a	3.4a	15.1a
F. proliferatum	CF598	2.4b	72.1b	2.1b	76.3b
	CF690	2.3b	74.7bc	1.9b	79.4b
F. graminearum	CF706	2.3b	92.0cd	1.9b	89.6b
	CF711	2.3b	88.6bcd	2.1b	75.6b
F. incarnatum	CF43	1.0c	97.1d	1.0c	140.4c
F. equiseti	CF21	1.1c	101.6d	1.0c	152.0c
Control		0.0d	125.6e	0.0d	207.1d

[a]Means followed by the same letters in the columns were not significantly different by DMRT at $P = 0.05$.

[b]Disease severity were rated on a 0 to 4 scale of disease index, 0 = no symptoms, 1 = 1 to 25% of plants wilting or yellowing, 2 = 26 to 50% of plants wilting or yellowing, 3 = 51 to 75% of plants wilting or yellowing, 4 = 76 to 100% of plants wilting or yellowing, completely wilted and decaying. Pathogenicity tests were conducted in an agar test tube assay.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(과제번호: PJ008841)의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

Choi, H. W., Hong, S. K., Kim, W. G. and Lee, Y. K. 2011. Diversity and pathogenicity of *Fusarium* species associated with head blight of job's tears. *Kor. J. Mycol.* 39:217-222. (in Korean).

Choi, H. W., Kim, J. M., Kim J. H., Hong, S. K., Kim, W. G. and Chun, S. C. 2009. Identification of *Fusarium* species associated with corn ear rot. *Kor. J. Mycol.* 37:121-129. (in Korean).

Christopher, R. L. and Magill, C. W. 2009. The grain mold pathogen, *Fusarium thapsinum*, reduces caryopsis formation in *Sorghum bicolor*. *J. Phytopathol.* 157:518-519.

Christopher R. L., Perumal, R., Tesso, T., Prom, L., Odvody, G. and Magill, C. 2012. Sorghum pathology and biotechnology-A fungal disease perspective: Part I. Grain mold, head smut and ergot. *Euro. J. Plant Sci. Biotechnol.* 6:10-30.

Erpelding, J. E. and Prom, L. K. 2006. Seed mycoflora for grain mold from natural infection in sorghum germplasm grown at Isabela, Puerto Rico and their association with kernel weight and germination. *Plant Pathol. J.* 5:106-112.

Fisher, N. L., Burgess, L. W., Toussoun, T. A. and Nelson, P. E. 1982. Carnation leaves as a substrate and for preserving cultures of *Fusarium* species. *Phytopathology* 72:151-153.

Funnell-Harris, D. L. and Pedersen, J. F. 2011. Presence of *Fusarium* spp. in air and soil associated with sorghum fields. *Plant Dis.* 95:648-656.

Geiser, D. M., Jimnez-Gasco, M. M., Kang, S., Makalowska, I., Veeraraghavan, N., Ward, T. J., Zhang, N., Kuldau, G. A. and O'Donnell, K. 2004. Fusarium-ID v. 1.0: A DNA sequence database for identifying *Fusarium*. *Euro. J. Plant Pathol.* 110: 473-479.

Gerlach, W. and Nirenberg, H. 1982. The genus *Fusarium* - A pictorial atlas. (Mitteilungen aus der biologischen Bundesanstalt Fr Land - und Forstwirtschaft (Berling-Dahlem) 209:1-405.

Klittich, C. J. R., Leslie, J. F., Nelson, P. E. and Marasas, W. F. O. 1997. *Fusarium thapsinum* (*Gibberella thapsina*) a new species in section Leseola from sorghum. *Mycologia* 89:643-652.

KSPP. 2009. List of plant diseases in Korea. pp. 41-43. The Korean society of plant pathology. (in Korean).

Leslie, J. F. and Summerell, B. A. 2006. The Fusarium laboratory manual. Blackwell publishing. pp. 1-388.

Leslie, J. F., Marasas, W. F. O., Shephard, G. S., Sydenham, E. W., Stockenstrom, S. and Thiel, P. G. 1996. Duckling toxicity and the production of fumonisin and moniliformin by isolates in the A and F mating populations of *Gibberella fujikuroi*. *Appl. Environ. Microbiol.* 62:1182-1187.

Leslie, J. F., Zeller, K. A., Lamprecht, S. C., Rheeder, J. P. and Marasas, W. F. O. 2005. Toxicity, pathogenicity, and genetic differentiation of five species of *Fusarium* from sorghum and millet. *Phytopathology* 95:275-283.

MIFFAF. 2012. Food, agricultural, forestry and fisheries statistical yearbook. pp.102. Ministry for food, agricultural, forestry and fisheries. (in Korean).

O'Donnell, K., Kistler, H. C., Cigelnik, E. and Ploetz, R. C. 1998. Multiple evolutionary origins of the fungus causing Panama disease of banana: Concordant evidence from nuclear and mitochondrial gene genealogies. *Proc. Natl. Acad. Sci.* USA 95:2044-2049.

O'Donnell, K., Sutton, D. A., Rinaldi, M. G., Srver, B. A. J., Balajee, S. A., Schroers, H., Summerbell, R. C., Robert, V. A. R. G., Crous, P. W., Zuang, N., Aoki, T., Jung, K., Park, J., Lee, Y. H., Kang, S., Park, B. and Geiser, D. M. 2010. Internet-accessible DNA sequence database for identifying Fusaria from human and animal infections. *J. Clinic. Microbiol.* 48:3708-3718.

Prom, L. K. 2004. The effects of *Fusarium thapsinum*, *Curvularia lunata*, and their combination on sorghum germination and seed mycoflora. *J. New Seeds* 6:39-49.

Schreuder, W., Lamprecht, S. C., Marasas, W. F. O. and Calitz, F. J. 1995. Pathogenicity of three *Fusarium* species associated with asparagus decline in South Africa. *Plant Dis.* 79:177-181.

Sharma, R., Thakur, R. P., Senthilvel, S., Nayak, S., Reddy, S. V., Rao, V. P. and Varshney, R. K. 2011. Identification and characterization of toxigenic Fusaria associated with sorghum grain mold complex in India. *Mycopathologia* 171:223-230.

Thompson, J. D., Higgins, D. G. and Gibson, T. J. 1994. CLUSTALW: improving the sensitivity of progressive multiple sequences alignment through sequences weighting, position specific gap penalties and weight matrix choice. *Nucleic acids Res.* 22: 4673-4680.

Williams, R. J. and Rao, K. N. 1981. A review of sorghum grain moulds. *Trop. Pest Managem.* 27:200-211.