

RESEARCH NOTE

꽃도라지 뿌리썩음병을 일으키는 *Fusarium solani*의 특성

최효원^{1*}, 홍성기², 이영기¹, 김점순¹, 이재금¹, 김효원¹, 강은혜¹, 이은형¹¹국립농업과학원 작물보호과, ²국립농업과학원 유해생물팀

Characterization of *Fusarium solani* Causing Fusarium Root Rot of Lisianthus in Korea

Hyo-Won Choi^{1*}, Sung Kee Hong², Young Kee Lee¹, Jeomsoon Kim¹, Jae Guem Lee¹,
Hyo Won Kim¹, Eun Hye Kang¹, Eun Hyeong Lee¹¹Crop Protection Division, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju 55365, Korea²Microbial Safety Team, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju 55365, Korea

*Corresponding author: hyon338@korea.kr

Abstract

Lisianthus (*Eustoma grandiflorum*) is a flowering ornamental plant used widely in Korea. In 2015, wilting, damping-off, stunting, and root rot symptoms were observed in lisianthus plants of Yeosu and Gimhae, Korea. Affected seedlings appeared yellow and showed poor development of root systems in the field and in nursery boxes. Furthermore, affected plants were yellow, stunted, and died at approximately 2-3 months after transplanting. *Fusarium* species were consistently isolated from the basal stems of diseased plants. Nine isolates were identified as *Fusarium solani* based on morphological characteristics. Macroconidia of isolates were relatively wide, straight-to-slightly curved, and microconidia formed in false heads on long monophialides. Abundant chlamydospores were produced at the middle or tips of hyphae. To confirm this identification, a molecular analysis of the translation elongation factor 1 alpha (TEF) and RNA polymerase II subunit (RPB2) genes was conducted. The sequences of TEF and RPB2 showed 99.2-99.9% and 98.0-98.1% similarity, respectively, to those of reference *F. solani* strains in NCBI GenBank. Pathogenicity was tested using root dipping inoculation of healthy lisianthus seedlings. Symptoms were observed within 7 days of inoculation only in inoculated plants. This is the first report of *F. solani* causing Fusarium root rot on lisianthus in Korea.

Keywords: Fusarium root rot, *Fusarium solani*, Lisianthus

OPEN ACCESS

Kor. J. Mycol. 2017 March, 45(1): 74-82
<https://doi.org/10.4489/KJM.20170009>

pISSN : 0253-651X
 eISSN : 2383-5249

Received: 14 October, 2016

Revised: 25 January, 2017

Accepted: 2 February, 2017

© The Korean Society of Mycology



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

꽃도라지는 리시안셔스(lisianthus), 혹은 유스토마(eustoma)로 불리며, 꽃모양이 도라지 꽃과 비슷하지만 도라지와는 다른 용담과에 속한다. 우리나라에 1980년대 후반 도입되었으나 파종 후의 초기 육묘가 어려워 거의 재배되지 않다가, 1990년대 초부터 육묘 기술이 향상

되고 시장성이 생기면서 재배가 증가하였다[1, 2]. 국내 꽃도라지 연간 생산량은 2012년 약 560만 본 수준이며, 주로 절화용으로 재배되고 있다[3].

2015년 8월, 경기도 여주 지역의 꽃도라지 하우스 재배 농가에서 꽃도라지가 시들면서 생육이 저해되고, 식물체 기부와 뿌리가 썩는 증상이 나타났고, 같은 해 9월에는 경남 김해 지역의 육묘장에서 육묘 중인 플러그 트레이 일부에 비슷한 증상이 발생하였다. 병든 꽃도라지 지제부에서 병원균을 순수분리하여 균학적 특성 조사와 DNA 염기서열 분석을 수행한 결과, *Fusarium solani* (Mart.) Sacc.로 동정되었으며, 건전한 꽃도라지 유묘에 인공접종하여 병원성을 확인하였다.

국내 꽃도라지에 발생하는 병으로는 *Rhizoctonia solani*에 의한 잎썩음병, *Pythium spinosum*에 의한 뿌리썩음병, *Fusarium oxysporum*에 의한 시들음병 등 3종의 진균병과 1종의 선충이 보고되어 있다[4]. 꽃도라지를 재배하는 미국, 일본, 아르헨티나, 남아프리카 및 이탈리아에는 *F. oxysporum* 외에 2종의 *Fusarium*이 기부, 줄기 및 뿌리썩음병에 관여하는데, 일본[5], 아르헨티나[6], 남아프리카[7]에서는 *F. solani*에 의한 기부 및 뿌리썩음병, 미국[8]과 이탈리아[9]에서는 *F. avenaceum*에 의한 기부 및 줄기썩음병의 피해가 보고되었다.

본 연구에서는 꽃도라지 지제부에서 분리한 병원균의 균학적 특성, 염기서열 분석 결과 및 병원성 검정에 대한 결과를 토대로 꽃도라지 뿌리썩음병의 발생을 국내 최초로 보고하고자 한다.

병징

초기에는 꽃도라지의 아래 잎부터 시들기 시작하고, 시든 잎은 점차 황화되며, 환경에 따라 간혹 수침상으로 시들기도 한다. 또한 지상부의 생육이 현저히 저하되어 위축 증상을 나타낸다. 병든 식물체를 뽑아 보면 뿌리 끝부분이 썩어 있고, 잔뿌리가 거의 없으며, 뿌리의 생육이 저해된 것을 관찰할 수 있다(Fig. 1A). 병이 계속해서 진전되면 위 쪽의 잎도 시들게 되고, 결국 식물체 전체가 시들어 말라 죽는다.

균학적 특성 및 염기서열 분석

병든 꽃도라지 시료에서 병원균을 분리하기 위하여 지제부를 세로로 절단하고 도관부의 갈변된 병든 조직과 건전 조직의 경계부위를 3×3 mm 크기로 잘라냈다. 잘라낸 조각은 1% 차아염소산나트륨(NaOCl) 용액으로 1분간 표면 살균하고, 멸균수로 3회 세척한 후 물기를 제거하고 물한천 배지(water agar, WA)에 치상하였다. 3~5일 후, 시료 절편에서 자라난 균총을 관찰한 결과, 모두 *Fusarium*균의 포자가 확인되었고, 각 균총으로부터 9개 균주를 단포자 분리하였다. 각 균주는 감자한천 배지(potato dextrose agar, PDA)에 옮겨 배양하고, 이 균주를 10°C 에 보관하면서 실험에 사용하였다. 분리한 *Fusarium*균의 균학적 특성은 carnation leaf agar (CLA) 배지를 사용하여 22°C , near ultraviolet (NUV)/암조건(12시간/12시간)으로 배양하여 조사하였고, 배양적 특성은 PDA 배지에서 25°C , 암조건으로 7일간 배양하여 조사하였으며, 경기도 여주 시료에서 분리한 NC15-392와 경남 김해 시료에서 분리한 NC15-433 균주를 대상으로 하였다.

CLA 배지상에서 NC15-392와 NC15-433 균주는 소형분생포자, 대형분생포자와 후벽포

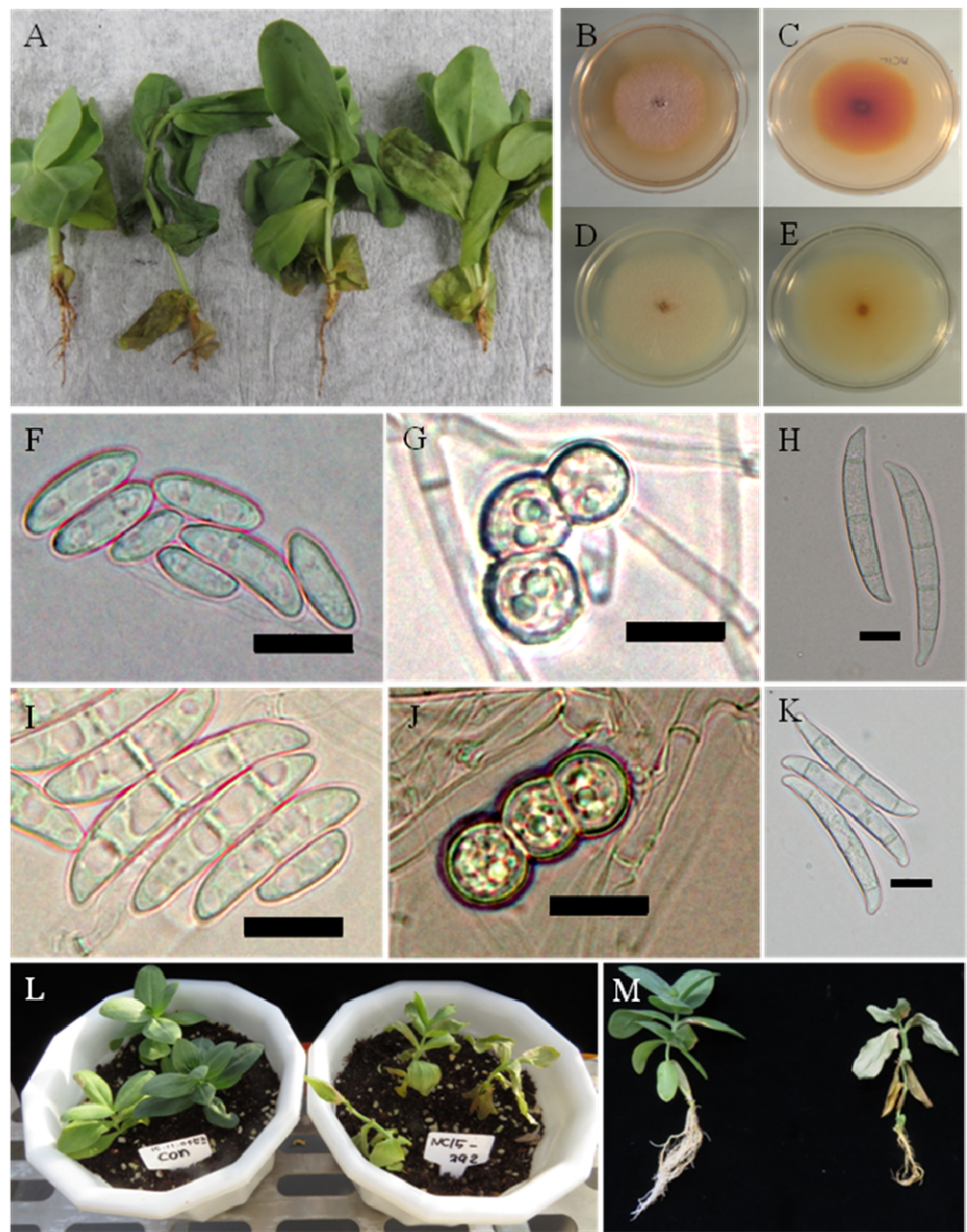


Fig. 1. Symptoms of *Fusarium* root rot on lisianthus plants and morphological characteristics of *Fusarium solani*. A, typical symptoms of wilting and severe root rot; B~E, seven-day-old colonies grown on potato dextrose agar of NC15-392 and NC15-433 isolates at 25°C, respectively (B and D, surface side; C and E, reverse side); F~K, morphology of the two isolates on carnation leaf agar at 22°C (F and I, microconidia; G and J, chlamydospores; H and K, macroconidia of NC15-392 and NC15-433 isolates, respectively); L, wilted lisianthus plants 7 days after inoculation (left, control); I, root rot on wilted plant (left, control) (scale bars: F~K = 10 μ m).

자를 형성하였다(Fig. 1F~1K). 분생포자경의 길이는 매우 길며, 투명하고, mono 형태의 분생포자원세포(phialide)를 형성하였다. 두 개의 균주 모두 소형분생포자는 계란형 혹은 타원형 내지 원통형으로 투명하였고, NC15-433 균주의 경우 격막이 1~2개 있는 meso 형태의 소

형분생포자가 다수 관찰되었다(Fig. 1F, 1I). NC15-392 균주의 포자크기는 $11.0\sim14.7 \times 3.3\sim4.7 \mu\text{m}$ 였고, NC15-433 균주는 $10.6\sim26.9 \times 4.4\sim5.6 \mu\text{m}$ 였다. 대형분생포자는 두 균주 모두 약간 굽은 형태의 초승달 모양이고, 통통하며, 정단세포는 뾰족한 모양이고, 기부세포는 약간 돌출된 꽃자루 형태였으며, 대부분 3개의 격막을 가졌다(Fig. 1H, 1K). 대형분생포자의 크기는 NC15-392 균주가 $42.0\sim49.3 \times 5.4\sim6.2 \mu\text{m}$, NC15-433 균주가 $35.6\sim42.0 \times 4.8\sim5.5 \mu\text{m}$ 였다. 후벽포자는 두 균주 모두 풍부하게 형성하였으며, 투명하고, 구형이며 대부분 균사 끝이나 중간에 cluster의 형태 혹은 단일로 형성되었으며 두 균주의 후막포자 크기는 각각 $9.0\sim10.3 \mu\text{m}$ 와 $7.4\sim8.3 \mu\text{m}$ 였다(Fig. 1G, 1J). PDA 배지에서의 배양적 특성을 조사한 결과, 두 균주 모두 생육속도가 빠른 편이었고, 기중균사는 많지 않으나 흰색 내지 분홍색에서 오렌지색이었으며, NC15-433 균주는 색소의 형성이 없었으나 NC15-392 균주는 오렌지색의 색소를 형성하는 특징이 있었다(Fig. 1B~1E). 이와 같은 형태적, 배양적 특성은 이전에 보고된 *F. solani*의 특성과 유사하며, 따라서 이들 분리균을 *F. solani*로 동정하였다(Table 1)[10].

*Fusarium*속 균은 균학적 특성에 의한 형태적 분류의 한계로 몇 개 유전자를 이용한 계통분

Table 1. Comparison of morphological characteristics between the Korean isolates obtained from infected vascular tissue of *lisianthus* and *Fusarium solani* described previously

Structure ^a	Characteristics		
	NC15-392	NC15-433	<i>Fusarium solani</i> ^b
Growth rate (mm/day)	7.1	Fast, 8.6	Fast, 9~10
Aerial mycelium	pink, orange	white to pink	usually rather sparse
Pigmentation	orange	-	variable, cream~buff
Phialides	simply branched, long monophialides	simply branched, long monophialides	Monophialides, very long
Shape	1- or 2-celled, oval, ellipsoid to subcylindric	1- or 2-celled, oval, ellipsoid to subcylindric	1- or 2-celled, oval, ellipsoid to subcylindric
Micro-conidia			
Size (μm)	12.5×4.0 ($11.0\sim14.7 \times 3.3\sim4.7$)	22.6×5.0 ($10.6\sim26.9 \times 4.4\sim5.6$)	10×3.5 ($5\sim17 \times 2.8\sim5.0$)
Shape	Thick-walled, subcylindric, slightly curved, with a short and blunt apical and an indistinctly pedicellate basal cell	Thick-walled, subcylindric, slightly curved, with a short and blunt apical and an indistinctly pedicellate basal cell	Thick-walled, subcylindric, slightly curved, with a short and blunt apical and an indistinctly pedicellate basal cell
Macro-conidia			
Size (μm)	45.2×5.7 ($42.0\sim49.3 \times 5.4\sim6.2$)	39.1×5.2 ($35.6\sim42.0 \times 4.8\sim5.5$)	36×5.3 ($27\sim50 \times 4.2\sim6.0$)
Number of septa	Usually, 3-septate	Usually, 3-septate	predominantly, 3-septate
Chlamydospores	Usually abundant, globose, singly or in clusters $9.0\sim10.3 \mu\text{m}$	Usually abundant, globose, singly or in clusters $7.4\sim8.3 \mu\text{m}$	more or less abundant, smooth-walled or rough-walled, globose to subglobose, $6\sim11 \mu\text{m}$

^aGrowth rate, aerial mycelium and pigmentation were investigated on potato dextrose agar plates incubated in darkness at 25°C for a week. Other structures were investigated on carnation leaf agar plates incubated in alternating cycles of 12hr near ultra-violet light and 12 hr darkness at 22°C for 2 weeks.

^b*Fusarium solani* described by Gerlach and Nirenberg[10].

류학적 연구가 활발히 진행되어 왔고, 이를 종 분류에 사용하고 있다[11-13]. 본 연구에서 형태적-특성에 의해 *F. solani*로 확인된 균주의 정확한 동정을 위해 translation elongation factor 1 alpha (TEF)와 RNA polymerase II second largest subunit (RPB2) 유전자 염기서열 분석을 수행하였다. Potato dextrose broth (PDB) 배지에서 배양한 균사를 동결 건조하여 마쇄한 후, CTAB-phenol법으로 genomic DNA를 추출하였다[14]. TEF 유전자는 EF-1/EF2 프라이머를 사용하여 PCR 증폭하였다[15]. RPB2 유전자는 약 1,700~1,742 bp의 크기로 5f2/7cr과 7cf/11ar 프라이머를 사용하여 증폭하였으나, 3개의 시험균주 모두 5f2/7cr 프라이

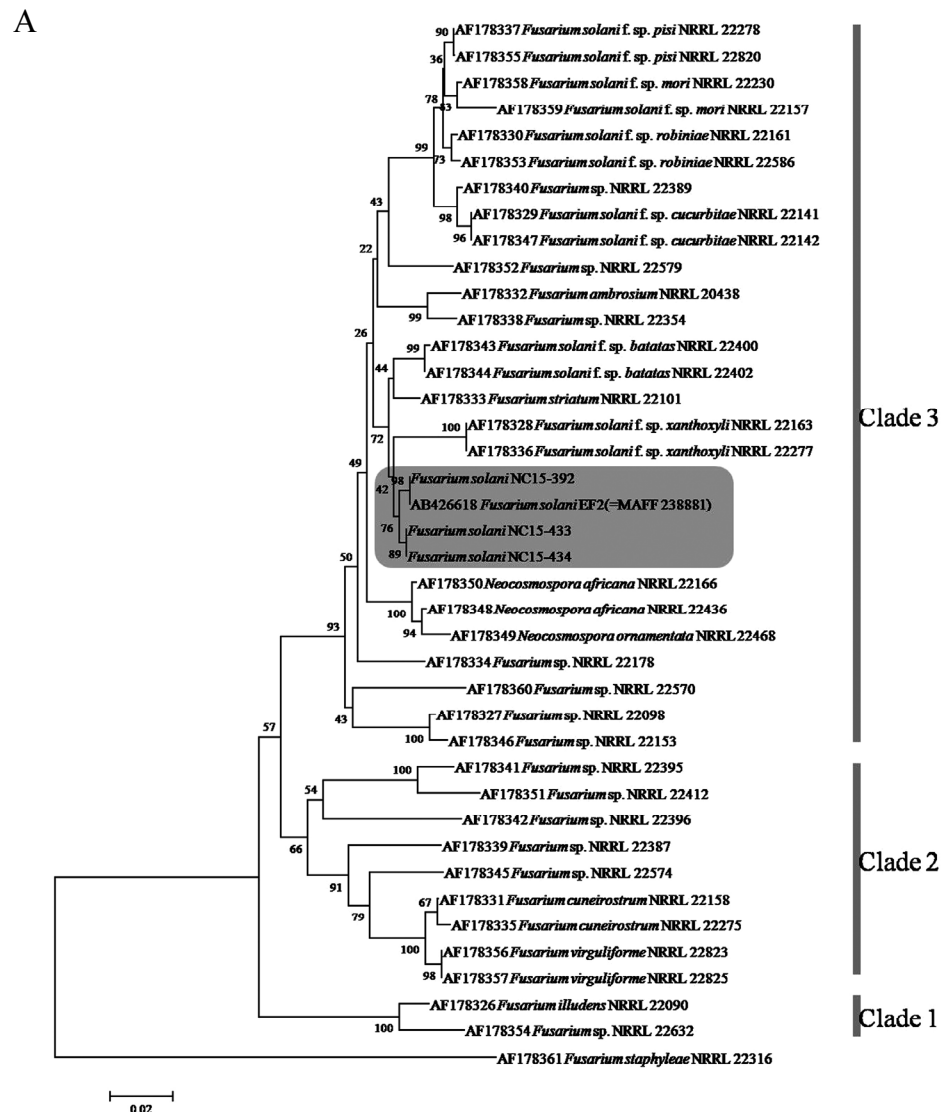


Fig. 2. Phylogenetic tree based on translation elongation factor 1 alpha (A) and RNA polymerase II second largest subunit (B) gene sequence data for *Fusarium solani* isolated from infected lisianthus plants and related species belonging to *Fusarium solani* species complex. Sequence data were obtained from the NCBI GenBank database. The tree was generated using neighbor-joining analysis and Kimura 2-parameter model. Bar represents the number of nucleotide substitutions per site. (Continued)

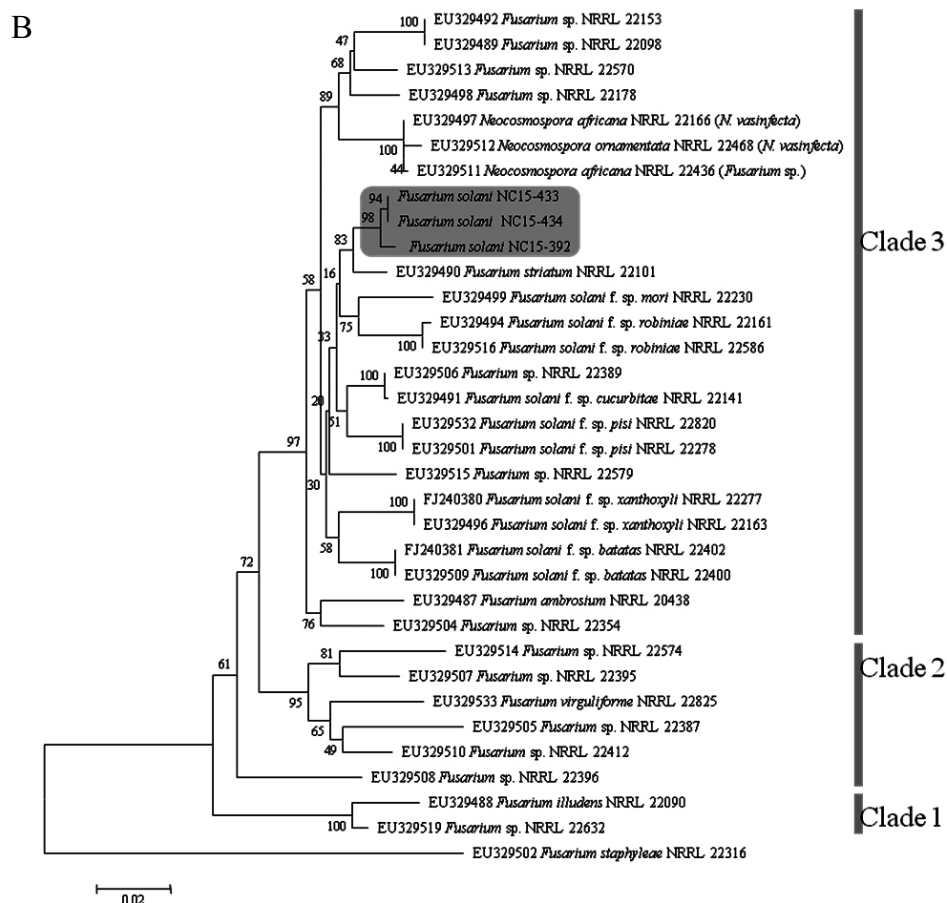


Fig. 2. (Continued)

머를 사용했을 때만 약 1,000 bp의 크기로 증폭되었다[16]. 증폭 산물은 Wizard SV Gel & PCR Clean-up System kit (Promega, San Luis Obispo, CA, USA)로 정제하였고, direct sequencing을 통해 염기서열 분석을 실시하였다. 분석된 염기서열은 Clustal W 소프트웨어를 이용하여 정렬하였고, nucleotide의 유사도를 계산하여 MEGA 6.0 프로그램을 이용하여 neighbor-joining법에 의해 계통수를 작성하였다(Fig. 2). O'Donnell[12]은 여러 기주에서 분리한 36개의 *F. solani* species complex와 그 근연종을 대상으로 계통분류학적 연구를 수행하여 이 species complex는 3개의 clade로 구분된다고 하였다. 또한 일본에서는 꽃도라지 뿌리썩음증상에서 분리한 *F. solani*균은 clade 3에 속하며, 초피나무에서 분리한 *F. solani*균과 97%의 상동성을 나타낸다고 하였다[5]. 따라서 본 연구에서는 36개 *F. solani* species complex와 일본 꽃도라지 뿌리썩음병균을 포함하여 TEF 유전자를 분석하였으며, 외집단(outgroup)은 *Fusarium staphyleae*를 대상으로 하였다. 그 결과, 국내 꽃도라지 분리균 역시 clade 3에 속하였고, 일본의 꽃도라지 뿌리썩음병균과 99.2~99.9%, *F. solani* f. sp. *batatas*와는 97.6~98.0%의 상동성을 보여 *F. solani*균으로 동정되었다(Fig. 2A). 일본의 꽃도라지에서 분리한 뿌리썩음병균의 경우, TEF 염기서열 차이가 크게 나타나 forma specialis를 동정할 수 없으므로 *F. solani* species complex의 분류학적 재정리가 필요하다고 하였다[5]. TEF 유전자 분석에 사용된 36개 *F. solani* species complex 중 31개 종을 대상으로 RPB2 유

전자를 분석하였으며, 외집단은 TEF 유전자 분석과 동일한 *F. staphyleae*로 하였다. 그 결과, 국내 꽃도라지 분리균은 clade 3에 속하였으며, *F. striatum* NRRL22101와 가장 높은 98.0~98.1%의 상동성을 나타냈는데 이 균은 파나마에서 분리된 종이며, *F. solani*의 이명(synonym)으로 알려져 있다(Fig. 2B). 이와 같이 TEF와 RPB2 유전자 분석 결과 간에는 일부 차이를 보였으며, 따라서 *Fusarium*균의 계통분류 연구에는 2개 이상의 유전자를 사용하는 multilocus sequence typing (MLST) 분석이 필요할 것으로 생각된다. 여기서 분석된 *F. solani* NC15-392, NC15-433, NC15-434 균주의 TEF 유전자 염기서열은 NCBI GenBank에 KX901847~ KX901849의 accession number로 등록하였고, RPB2 유전자 염기서열은 KY412780~ KY412782로 등록하였다.

병원성 검정

꽃도라지 유묘를 대상으로 3개 분리 균주의 병원성을 확인하였다. 균주 NC15-392, NC15-433, NC15-434를 각각 PDA 배지에 10일간 배양하고, 멸균수로 포자를 회수하여 1×10^6 spores/mL의 농도로 포자현탁액을 만들었다. 50공 육묘상자에서 8~12개 잎이 전개된 꽃도라지 유묘를 뽑아 흙을 씻어내고, 멸균된 가위를 사용하여 뿌리 끝부분을 약 0.5 cm 정도 잘라 상처를 내고 포자현탁액에 10분간 침지처리 하였다. 대조구는 뿌리 끝부분을 자른 꽃도라지 유묘를 멸균수에 침지하여 처리하였다. 침지 후, 꽃도라지 유묘를 플라스틱 포트(직경 20 cm)에 3주씩 옮겨 정식하였고, 균주당 5개 포트를 처리하였으며, 병원성 검정은 2회 수행하였다. 접종 3일 후부터, NC15-392 균주 접종구에서 유묘가 시드는 증상이 관찰되었고, 7일 후에는 모든 접종구에서 유묘가 시들고 생육이 불량했으며, 특히 NC15-392 접종구에서는 식물체가 완전히 시들어 황화되었다(Table 2, Fig. 1L). 또한 접종구와 무처리구의 식물체를 뽑아 뿌리를 관찰한 결과, 접종구에서의 뿌리 발육이 현저히 저해되고, 뿌리썩음 증상이 나타났다(Fig. 1M). 접종구와 무처리구의 식물체 뿌리에서 균을 재분리한 결과, 접종구에서는 *Fusarium*균이 재분리되었고, 무처리구에서는 분리되지 않았다. 남아프리카의 꽃도라지에서 분리한 *F. solani* 균주의 현탁액을 식물체 유묘 기부에 주사기로 주입하는 접종법과 현탁액과 vermiculite를 혼합하고 식물체를 이식하여 접종한 방법에 의하면 두 가지 접종방법에 관계없이 2주 후에 병원성을 나타냈다고 보고하였다[7].

꽃도라지는 꽃색이 다양하고, 홑꽃과 겹꽃 등의 형태가 있으며, 꽃다발, 꽃바구니 등으로

Table 2. Pathogenicity of *Fusarium solani* isolates to lisianthus plants by artificial inoculation

Isolate	Pathogenicity ^a of tested isolates to lisianthus seedlings	
	1st test	2nd test
NC15-392	++	++
NC15-433	+	+
NC15-434	+	+
Control	-	-

++, complete wilting; +, partial wilting with bottom leaves yellowing; -, no symptom.

^a Pathogenicity was carried out by inoculation on root dipping method of lisianthus seedlings with 50 mL of spore suspensions with 1×10^6 spores/mL of three *Fusarium* isolates. The rate of disease based on the degree of wilting at 7 days after inoculation.

활용하고, 절화 수명이 긴 편이어서 국내에서도 재배가 늘어나고 있으나, 재배 중 발생하는 병해에 대한 연구는 많이 이루어지지 않았다. 따라서 꽃도라지에 피해를 주고 있는 병해에 대한 발생조사와 체계적인 관리방법에 관한 연구가 필요한 실정이다.

이상과 같이 꽃도라지 뿌리썩음 증상에서 분리한 병원균은 형태적, 배양적 특성 및 DNA 염기서열 분석에 의해 *F. solani*로 동정되었고, 인위적 접종을 통해 꽃도라지에 병원성이 있음이 확인되었다. 따라서 본 결과를 바탕으로 국내 꽃도라지에 발생하는 뿌리썩음병원균으로 *Fusarium solani* (Mart.) Sacc.를 국내에서 처음으로 보고하고자 한다.

적 요

꽃도라지(*Eustoma grandiflorum*)는 국내에서 장식용 화훼류로 널리 이용되는 절화류이다. 2015년 경기도 여주와 경남 김해 지역에서 꽃도라지가 시들고, 지제부가 잘록해지면서 위축되고, 뿌리가 썩는 증상이 나타났다. 병든 식물체는 포장이나 육묘상자에서 황화되고, 뿌리 발육이 저해되었고, 진전되면 전체적으로 황화되면서 시들고, 위축되며, 결국 2~3개월 안에 완전히 말라 죽는다. 병든 식물체 지제부에서 *Fusarium*균이 분리되었고, 9개 균주를 단포자 분리하여 형태적 특성을 조사한 결과, *Fusarium solani*로 동정되었다. 대형포자는 통통하고, 직선형이거나 약간 굽은 초승달 모양이고, 소형분생포자는 긴 mono형태의 분생포자원세포에서 false head상으로 형성되었다. 후벽포자는 군사 중간 혹은 끝부분에 풍부하게 형성되었다. 이와 같은 동정 결과는 translation elongation factor 1 alpha (TEF)와 RNA polymerase II subunit (RPB2) 유전자의 염기서열 분석으로 재확인되었다. 그 결과, 분리 균주는 NCBI GenBank에 등록된 *F. solani*와 TEF 유전자는 99.2~99.9%, RPB2 유전자는 98.0~98.1%의 상동성을 나타내었다. 건전한 꽃도라지 유묘의 뿌리를 포자현탁액에 침지 접종하여 병원성 검정을 수행한 결과, 접종 7일 이내에 접종한 식물체에서만 병징이 관찰되었다. 따라서 이 병을 *F. solani*에 의한 꽃도라지 뿌리썩음병으로 명명하며, 병의 발생을 국내에서 처음으로 보고한다.

Acknowledgements

This study was supported by a grant (Project No. PJ010004) from Rural Development Administration, Republic of Korea.

REFERENCES

1. Hahm YI. Occurrence of Fusarium wilt on lisianthus (*Eustoma grandiflorum*) caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *eustomae*. Kor J Plant Pathol 1998;14:188-90.
2. Lee JW, Kim TJ, Kim JH, Lee HD, Kim SD, Yun T, Paek KY. Effects of plant growth regulators on the growth and cut flower quality of *Eustoma grandiflorum* cv. plantina violet. J Kor Soc Hortic Sci 2000;41:419-22.
3. Ministry of Agriculture Food and Rural Affairs. Annual report of floriculture cultivation statistics 2012. Sejong: Ministry of Agriculture Food and Rural Affairs; 2013.

4. The Korean Society of Plant Pathology. List of plant diseases in Korea. 5th ed. Seoul: Korean Society of Plant Pathology; 2009.
5. Tomioka K, Hirooka Y, Takezaki A, Aoki T, Sato T. Fusarium root rot of prairie gentian caused by a species belonging to the *Fusarium solani* species complex. J Gen Plant Pathol 2011;77:132-5.
6. Wolcan S, Lori G, Ronco L. First report of *Fusarium solani* causing stunt on lisianthus. Plant Dis 2001;85:443.
7. Truter M, Wehner FC. Crown and root infection of lisianthus caused by *Fusarium solani* in South Africa. Plant Dis 2004;88:573.
8. McGovern RJ, Harbaugh BK, Polston JE. Severe outbreaks of Fusarium crown and stem rot of lisianthus in Florida. Phytopathology 1997;87:S64.
9. Pecchia S. Lisianthus crown and stem rot caused by *Fusarium avenaceum* in Central Italy. Plant Dis 1999;83:304.
10. Gerlach W, Nirenberg H. The genus *Fusarium*: a pictorial atlas. Berlin: Kommissionsverlag P. Parey; 1982.
11. O'Donnell K, Humber RA, Geiser DM, Kang S, Park B, Robert VA, Crous PW, Johnston PR, Aoki T, Rooney AP, et al. Phylogenetic diversity of insecticolous fusaria inferred from multilocus DNA sequence data and their molecular identification via FUSARIUM-ID and *Fusarium* MLST. Mycologia 2012;104:427-45.
12. O'Donnell K. Molecular phylogeny of the *Nectria haematococca*-*Fusarium solani* species complex. Mycologia 2000;92:919-38.
13. Geiser DM, Del Mar Jiménez-Gasco M, Kang S, Makalowska I, Veeraraghavan N, Ward TJ, Zhang N, Kulda GA, O'Donnell K. FUSARIUM-ID v. 1.0: A DNA sequence database for identifying *Fusarium*. Eur J Plant Pathol 2004;110:473-9.
14. Choi HW, Kim JM, Hong SK, Kim WG, Chun SC, Yu SH. Mating types and optimum culture conditions for sexual state formation of *Fusarium fujikuroi* isolates. Mycobiology 2009;37:247-50.
15. O'Donnell K, Kistler HC, Cigelnik E, Ploetz RC. Multiple evolutionary origins of the fungus causing Panama disease of banana: concordant evidence from nuclear and mitochondrial gene genealogies. Proc Natl Acad Sci USA 1998;95:2044-9.
16. O'Donnell K, Sutton DA, Rinaldi MG, Sarver BA, Balajee SA, Schroers HJ, Summerbell RC, Robert VA, Crous PW, Zhang N, et al. Internet-accessible DNA sequence database for identifying fusaria from human and animal infections. J Clin Microbiol 2010;48: 3708-18.