

## Research Report

## 수박 덩굴쪄김병에 대한 효율적인 저항성 검정법 개발

조은주<sup>1</sup>, 이지현<sup>1</sup>, 최용호<sup>1</sup>, 김진철<sup>2</sup>, 최경자<sup>\*</sup><sup>1</sup>한국화학연구원 바이오화학연구센터<sup>2</sup>전남대 응용생물공학부Development of an Efficient Method of Screening for Watermelon Plants Resistant to *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*Eun Ju Jo<sup>1</sup>, Ji Hyun Lee<sup>1</sup>, Yong Ho Choi<sup>1</sup>, Jin-Cheol Kim<sup>2</sup>, and Gyung Ja Choi<sup>1\*</sup><sup>1</sup>Research Center for Biobased Chemistry, Korea Research Institute of Chemical Technology, Daejeon 305-600, Korea<sup>2</sup>Division of Applied Bioscience and Biotechnology, Institute of Environmentally-Friendly Agriculture, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea

**Abstract:** This study was conducted to establish an efficient screening method for watermelon plants resistant to Fusarium wilt (FW), which is caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* (Fon). An HA isolate was prepared from a wilted watermelon plant in Haman-gun and identified as *F. oxysporum* f. sp. *niveum* based on morphological characteristics, molecular analyses of ITS (internal transcribed spacer) and TEF (translation elongation factor 1 $\alpha$ ) sequences, and host specificity on cucurbits including watermelon, melon, oriental melon, and cucumber. The assay for disease response of watermelon differentials indicated that the HA isolate was race 0. Among seven liquid media tested, the highest amount of Fon spores was produced from V8-juice broth, which was selected as a medium for mass production of Fon. The disease assay for 21 watermelon and 11 watermelon-rootstock cultivars demonstrated that 20 watermelon cultivars except for 'Soknoranggul' were susceptible; 'Soknoranggul' was moderately resistant. All the tested rootstock cultivars were highly resistant to the HA isolate. The evaluation of disease development depending on various conditions suggested that an efficient screening method for FW resistance in watermelon plants is to dip the roots of 10-day-old seedlings in spore suspension of  $1.0 \times 10^5$  -  $1.0 \times 10^6$  conidia·mL<sup>-1</sup> for 30 min., to transplant the seedlings to plastic pots with a fertilized soil, and then to cultivate the plants at 25°C for 3 weeks.

**Additional key words:** bioassay, breeding, cucurbits, disease resistance, yellows

## 서 언

수박(*Citrullus lanatus*(Thumb.) Matsum. & Nakai.)은 고추, 딸기와 함께 우리나라의 3대 채소 중 하나이며 중요한 농가 수입원이다. 품종 개발과 재배 기술의 향상으로 수박의 연중 생산이 가능하게 되면서 그에 따른 병해도 많이 발생하게 되었다. 특히 *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*(Fon)에 의한 덩굴쪄김병(Fusarium wilt)은 전 세계적으로 수박 재배

지에서 발생하여 큰 피해를 입히고 있다. 이 병원균은 토양에서 서식하며 분생포자와 후막포자를 형성하고, 기주가 존재하면 포자에서 발아하여 나온 균사가 뿌리 내 물관으로 침입하여 그 속에서 이동 및 증식하여 기주에 시들음 증상을 일으킨다. 덩굴쪄김병에 걸린 식물체의 줄기를 횡으로 자르면 유관속 조직이 갈변된 링 모습을 볼 수 있으며, 병이 더 진전되면 전체가 말라 죽는다(Agrios, 2005).

이러한 수박 덩굴쪄김병을 방제하기 위하여 연작을 피하

\*Corresponding author: kjchoi@kriict.re.kr

※ Received 12 September 2014; Revised 22 February 2015; Accepted 26 February 2015. 본 연구는 농림축산식품부·해양수산부·농촌진흥청·산림청 Golden Seed 프로젝트 채소종자사업단(213002-04-3-SBZ10, 213002-04-3-WTc11)의 지원에 의해 이루어진 것임.

© 2015 Korean Society for Horticultural Science

고 윤작을 하거나 저항성 대목을 이용한 접목재배, 토양 훈증제 등을 이용하여 토양을 소독하는 화학적 방제 등이 적용되고 있으나, 경제적인 비용과 노동력이 많이 요구된다. 저항성 수박 품종의 재배는 이 병을 방제하는 효율적인 방법인데 미국 등에서는 Fon race 1에 대한 저항성 품종이 개발되어 판매되고 있으나, 우리나라에서는 아직 시판되고 있는 덩굴쪄김병 저항성 품종이 없는 실정이므로 내병성 품종의 개발에 대한 요구가 점차 증가하고 있다.

*F. oxysporum* f. sp. *niveum*은 박과 작물 내 기주 식물에 대한 병원성 차이 즉 기주 특이성뿐만 아니라(Lee, 1969), 수박 품종의 반응에 따른 race의 분화도 보고되었다(Crall, 1963). Cirulli(1972)는 수박 3개 품종('Sugar baby', 'Charleston gray', 'Calhoun gray')에 대한 Fon의 병원성 차이에 따라 race 0과 1로 구분하였다. 'Sugar baby'는 감수성이고 그 외 두 품종은 저항성을 나타내는 Fon 균주는 race 0, 'Sugar baby'와 'Charleston gray'는 감수성 그리고 'Calhoun gray'는 저항성을 보이는 덩굴쪄김병균은 race 1로 명명하였다. 'Charleston gray'의 저항성은 양적 저항성이고(Elmstrom and Hopkins, 1981; Martyn, 1996), race 1에 대한 수박의 저항성 즉, 'Calhoun gray'의 저항성은 단인자 우성으로 유전하는 것이 보고되었다(Netzer and Weintall, 1980). 1973년 이스라엘에서는 race 0과 1에 저항성인 수박 품종을 침입하는 새로운 race가 출현하여 이를 race 2로 칭하였다(Netzer and Dishon, 1973; Netzer, 1976). 그리고 미국 텍사스에서도 저항성 수박 품종에 심각한 시들음 증상을 유발하는 race 2가 출현하였다(Martyn, 1987). 이후 race 2에 저항성을 나타내는 'PI-296341-FR'을 발견하였고(Martyn, 1991), 'PI-296341-FR'의 저항성 유전자는 고정되어 있지 않고 소수 유전자와 열성 유전자간 상호작용에 의해 지배된다고 하였다(Zhang and Rhodes, 1993). 최근에 Zhou(2010)는 race 2에 저항성을 보이는 'PI-296342-FR'을 무너뜨리는 race 3을 보고하였는데, 이는 기존의 race보다 훨씬 강한 병원성을 지니는 것이었다. 따라서 덩굴쪄김병 저항성인 수박 품종의 개발과 새로운 race의 출현에 대응하기 위한 수박 덩굴쪄김병 저항성 유전자원의 탐색이 필요한 실정이다. 이를 위해서는 안정적이며 효율적인 수박 덩굴쪄김병 저항성 검정법이 필요하다.

본 연구에서는 덩굴쪄김병에 걸린 수박으로부터 병원균을 분리하고 동정하였으며, 접종원(소형분생포자) 대량 생산을 위한 최적배지를 선발하였다. 그리고 효율적인 수박 덩굴쪄김병 저항성 검정 방법을 확립하기 위해서 시판 중인 21개 수박 품종 및 11개 대목 품종의 저항성 정도를 실험하

고, 이들 중 저항성 정도가 다른 수박 2개와 대목 1개 품종을 선발하여 기주 식물의 생육 시기, 접종원 농도, 포자현탁액에 침지하는 시간, 접종 후 재배 온도 등 다양한 발병 조건에 따른 이들 수박 품종들의 덩굴쪄김병 발생을 조사하였다.

## 재료 및 방법

### 덩굴쪄김병 병원균의 동정

경남 함안군 수박 재배지에서 덩굴쪄김병 증상을 나타내는 수박 식물을 채집하여 *Fusarium oxysporum* 균주를 분리하고 이를 HA로 명명하였다. 분리한 HA 균주를 형태학적으로 동정하기 위하여 potato dextrose agar(PDA; Becton, Dickinson and Co.)와 carnation leaf-piece agar(CLA; 카네이션 잎과 줄기 200g, agar 18g, distilled water 1L) 배지에 접종한 후 25°C에서 7-14일간 배양하면서 PDA 배지에서는 HA 균주의 성장 속도, 균총 형태와 색상 그리고 배지 뒷면의 색 등을 조사하였고, CLA 배지에 형성된 포자들은 광학현미경 하에서 대형분생포자, 소형분생포자, 후막포자의 존재 유무 및 형태 등을 관찰하였다(Nelson et al., 1983).

그리고 HA 균주는 rDNA의 ITS(internal transcribed spacer) 영역과 TEF(translation elongation factor 1 $\alpha$ ) 영역을 이용하여 분자생물학적으로 동정하였다. HA 균주를 PDA 배지에 접종한 후 25°C에서 7일간 배양하고 균사체를 수확한 후 Instagene matrix(Bio-Rad)를 사용하여 DNA를 추출하였다. rDNA-ITS 영역과 TEF 영역의 증폭 및 염기서열 결정을 위하여 ITS 영역은 universal primer set ITS1/ITS4(5'-TCCGTA GGTGAACCTGCGG-3', 5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3')를 이용하였고(White et al., 1990), TEF 영역은 EF1T/EF2T(5'-ATGGGTAAGGAGGACAAGAC-3', 5'-GGAAGTACC AGTGATCATGTT-3')를 사용하여 polymerase chain reaction(PCR)을 수행하였다(O'Donnell et al., 1998). PCR 반응액은 DNA 1 $\mu$ L, 10mM dNTP mix 1 $\mu$ L, 10pmol primer set 각각 1 $\mu$ L, PCR buffer(10 $\times$ ) 3 $\mu$ L, 2.5unit $\cdot\mu$ L<sup>-1</sup> EF-Taq DNA polymerase(Solgent) 0.2 $\mu$ L를 넣은 후 멸균수로 반응액의 부피를 최종 30 $\mu$ L가 되게 하였다. ITS 영역 유전자 증폭은 95°C 5분간 initial denaturation 반응 후 denaturation, annealing, extension은 각각 95°C 45초, 55°C 1분, 70°C 1분으로 35회 반복한 후 final extension 70°C 10분 반응하였고, TEF 영역 유전자 증폭을 위해 95°C 2분간 initial denaturation 반응 후 denaturation, annealing, extension은 95°C 30초, 54°C 30초, 72°C 1분으로 35회 반복한 후 final extension 72°C 10분간 반응하였다

(Wagacha et al., 2010). 분석한 염기서열은 BLAST search에 의해 GenBank에 등록된 ITS 영역 또는 TEF 영역의 염기서열과 비교하였고, HA 균주와 GenBank로부터 얻은 염기서열은 CLUSTAL X(Thompson et al., 1994)와 PHYDIT program(Chun, 1995)을 이용하여 분석하였다. Neighbor-joining tree는 PHYLIP 3.57c package(Felsenstein, 1985)의 Kimura's 2-parameter distance model(Kimura, 1980)을 이용하여 작성하였다.

### 접종원 대량 생산 배지 선발

수박 덩굴쪄김병 저항성 검정에 접종원으로 사용할 포자(소형분생포자)를 대량 생산하기 위한 최적 배지를 선발하기 위하여 분리한 HA 균주와 농업유전자원정보센터(Korean Agricultural Culture Collection, KACC)로부터 분양받은 KACC 40902 균주(race 0)를 사용하여 실험하였다. 두 균주를 각각 PDA 배지에 접종하고 25°C에서 7일간 배양한 후에 균총으로부터 직경 8mm의 균사 조각을 떼어내어 멸균하여 준비한 7종 배지, Czapek-dox broth(CDB; Becton, Dickinson and Co.), glucose-peptone-yeast extract broth(GPYB; Glucose 20g, peptone 5g, yeast extract 5g, distilled water 1L), malt extract broth(MEB; Becton, Dickinson and Co.), potato dextrose broth(PDB; Becton, Dickinson and Co.), V8-juice broth(V8 broth; V8 Juice 200ml, CaCO<sub>3</sub> 3g, distilled water 1L), clarified V8 broth(C-V8 broth; V8-juice broth를 4,000rpm에서 15분 동안 원심분리 하여 침전물을 제거한 배지), liquid mineral salts medium(LMS; K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 0.1%, MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 0.05%, KCl 0.05%, yeast extract 0.1%, L-asparagine 0.2%, glucose 3%, Fe-EDTA 0.001%, distilled water 1L)에 배지 100mL당 6개씩 접종하고 25°C에서 7일 동안 150rpm으로 진탕배양하였다. 각 배지의 HA와 KACC 40902 균주 배양액은 4겹의 거즈로 걸러서 균사체를 제거하고 광학현미경 하에서 hemocytometer를 이용하여 각 배지에 형성된 포자의 수를 조사하였다. 모든 실험은 3반복으로 2회 실시하였다.

### 식물 시료

Fon HA 균주의 박과 작물에 대한 병원성을 검정하기 위하여 오이 2개 품종('아시아청장오이', '백미백다다기오이'), 멜론 2개 품종('베타리치', '아시아황금'), 참외 2개 품종('금제', '조은대') 그리고 수박 2개 품종('서태자', '꼬꼬마수박')을 시중에서 구입하여 실험에 사용하였다. 8 × 16 연결포트(21mL/pot, 범농사)에 원예용상토 5호(부농사)를 넣은 후 각

품종의 종자를 1립씩 파종하고 온실(25 ± 5°C)에서 10일 동안 재배하여 1엽이 살짝 나온 유묘를 실험에 사용하였다.

HA 균주의 race 검정을 위해서는 수박 덩굴쪄김병 판별 품종인 'Sugar baby', 'Charleston gray', 'Calhoun gray', 'PI-296341-FR'의 종자를 농업유전자원정보센터로부터 분양 받아 실험에 사용하였으며, 앞에서와 동일한 방법으로 파종하고 온실에서 14일 동안 재배한 유묘를 실험에 사용하였다(Zhou et al., 2010).

시판 중인 수박과 수박용 대목 품종의 덩굴쪄김병에 대한 저항성 검정을 위해서는 수박 21개 품종('서태자', '설강102', '슈퍼골드', '꼬꼬마', '낙동꿀', '웰빙', '지존꿀', '장춘꿀', '감천꿀', '누네띠네꿀', '흑호', '칠복꿀', '슈퍼그랑프리', '황금꿀', '속노란꿀', '노란복', '노란부시복', '부시복', '베스트꿀', '부라보꿀', '윈더풀꿀')과 수박용 대목 11개 품종('FR홍삼', 'FR보디가드', 'FR서태자', '내병토좌', '대력3호', '신FR불사조', '불로장생', 'FR히어로', '불패토좌', 'FR루트파워', '신토좌')을 시중에서 구입하여 실험에 사용하였다. 각 품종의 종자들은 기주 특이성 실험과 동일한 방법으로 파종하고 온실에서 10일 동안 재배한 유묘를 실험에 사용하였다.

발병 조건에 따른 수박 덩굴쪄김병 발생 차이를 조사하기 위해서는 감수성인 수박 품종 '서태자'(아시아종묘)와 중도 저항성인 수박 품종 '속노란꿀'(제일종묘) 그리고 수박용 대목 품종 '불로장생'(신젠타종묘)을 실험에 사용하였다. 8 × 16 연결포트(21mL/pot, 범농사)에 원예용상토 5호(부농사)를 넣은 후 각 품종의 종자를 1립씩 파종하고 온실(25 ± 5°C)에서 10일 동안 재배한 유묘를 실험에 사용하였다. 그리고 수박 유묘의 생육 정도에 따른 덩굴쪄김병 발생 실험의 경우에는 접종 7, 10, 13 및 16일 전에 직경 5cm 플라스틱 포트(90mL/pot)에 원예용상토 5호 토양을 채우고 각 품종의 종자를 1립씩 파종하고 온실에서 각각 7, 10, 13 및 16일 동안 재배한 수박 유묘를 실험에 사용하였다.

### 접종원 준비 및 접종

Fon HA 균주를 PDA 배지에 접종하고 25°C에서 1주일 동안 배양한 후에 균총으로부터 균사 조각(8 × 8mm)을 잘라내어 V8-broth 100mL에 6개씩 접종하였다. 접종한 배지는 25°C에서 7일 동안 150rpm으로 진탕배양 하였다. 배양한 균주를 4겹 거즈로 걸러서 균사를 제거하고 원심분리(8,000rpm, 10분)한 후에 상등액을 제거하고 침전물에 멸균수를 넣어서 포자현탁액을 준비하였다. 광학현미경 하에서

hemocytometer를 이용하여 포자(소형분생포자)의 농도를 조사하였다. 접종원 농도에 따른 수박 덩굴쪄김병 발생을 제외한 모든 실험을 위해서는 멸균수로 희석하여 접종원 농도가  $1.0 \times 10^6$  conidia·mL<sup>-1</sup>이 되도록 준비하였다. 그리고 접종원 농도에 따른 수박 덩굴쪄김병 발생 실험을 위해서는 포자 농도를  $1.1 \times 10^5$ ,  $3.3 \times 10^5$ ,  $1.0 \times 10^6$ ,  $3.0 \times 10^6$ ,  $9.0 \times 10^6$  conidia·mL<sup>-1</sup>로 조정하여 포자현탁액을 준비하였다.

덩굴쪄김병균 접종은 재배한 수박 유묘를 포트에서 뽑아서 뿌리 주변의 흙을 물로 세척한 후에 준비한 Fon HA의 포자현탁액에 30분 동안 침지하여 하였다. 5 × 8 연결포트(80mL/pot)에 원예용상토 5호를 넣고 물을 충분히 뿌려 흙을 촉촉하게 만든 후 접종한 수박 유묘를 옮겨 심었다. Fon 포자현탁액에 뿌리를 침지하는 시간에 따른 수박 덩굴쪄김병 발생의 경우에는 포자현탁액에 유묘의 뿌리를 각각 0, 0.5, 1, 3 및 5시간 동안 침지하여 접종하였다. 0시간 침지는 수박 뿌리를 포자현탁액에 침지한 즉시 꺼내어 새로운 토양에 이식하였다.

### 발병 및 병조사

수박의 덩굴쪄김병 발생을 위해서 접종한 유묘를 25°C 습실상(상대습도: 95% 이상)에서 1일 동안 배양한 후에 같은 온도의 항온습실(상대습도: 60-70%)로 옮겨서 하루에 12시간씩 광(광도: 53-58 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>)을 조사하면서 재배하였다. 재배 온도에 따른 덩굴쪄김병 발생 실험의 경우에는 각각 20, 25 및 30°C의 습실상에서 1일 동안 배양한 후에 동일한 온도의 항온습실로 옮겨서 위와 같은 조건으로 재배하였다.

병원균을 접종하고 약 3주 후에 덩굴쪄김병이 충분히 발생하면 식물체의 뿌리를 뽑아서 줄기 아래 부분을 세로로



**Fig. 1.** Representative resistance responses of watermelon seedlings to *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* HA. Disease severity of the watermelon seedlings was scored on a scale of 0-4.

비스듬하게 잘라내고 도관의 갈변 정도와 생육 정도를 조사하였다. 발병 정도는 0 = 건전, 1 = 지상부 생육은 억제되지 않으나 지하부는 갈변된 것, 2 = 지하부는 갈변되고 지상부 생육이 억제된 것, 3 = 지하부는 갈변되고 지하부와 지상부의 생육이 상당히 억제된 것, 4 = 고사 등 5단계로 하였다 (Fig. 1). 평균 발병도가 1.0 이하인 경우에는 저항성, 1.1 이상에서 2.5 이하는 중도저항성 그리고 2.6 이상은 감수성으로 판정하였다.

모든 실험은 10반복으로 2회 수행하였고, SAS(SAS Institute, Inc., 1989, Cary, NC) 프로그램을 이용하여 ANOVA 분석을 하였으며 처리 평균간 비교를 위하여 Duncan's multiple range test( $p = 0.05$ )를 실시하였다.

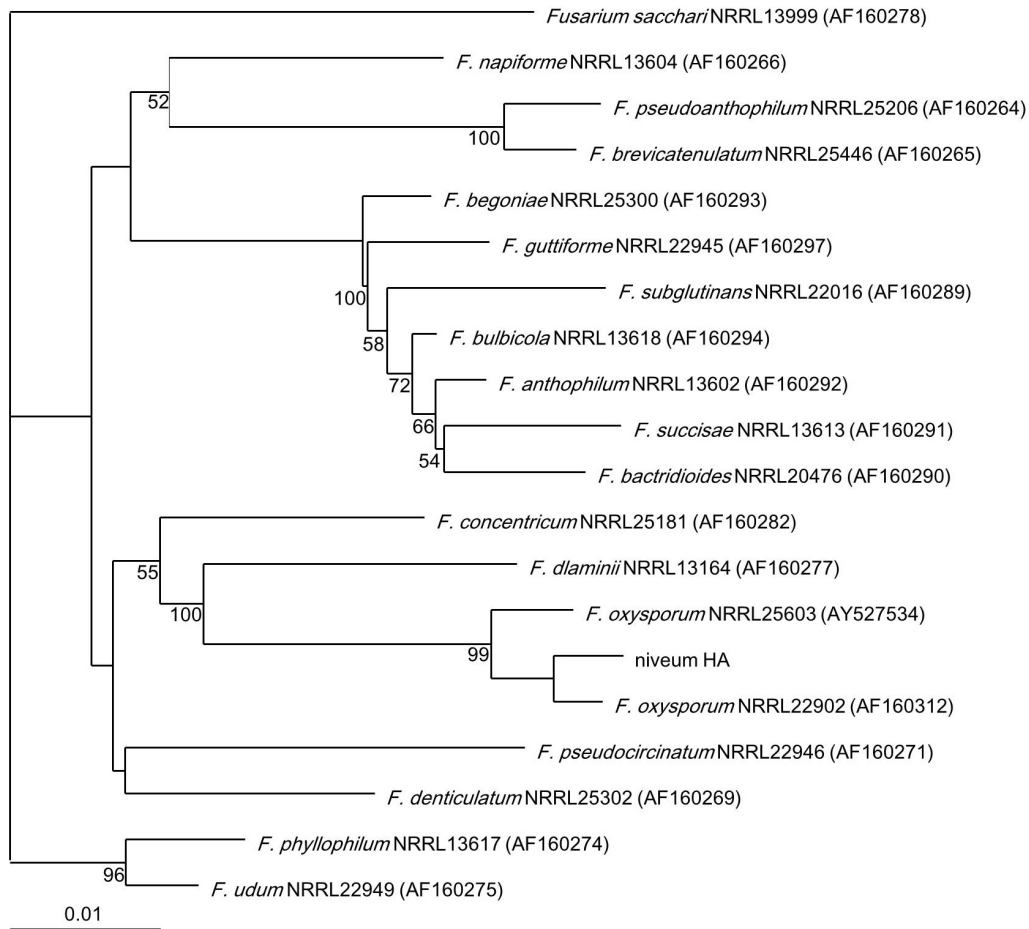
## 결과 및 고찰

### 병원균 동정 및 기주 특이성

수박에서 분리한 HA 균주의 형태적인 동정을 위하여 이 균주를 PDA 배지에 배양하여 형태적 특성을 조사한 결과, HA 균주의 생장 속도는 10일 동안 배양하였을 때 사면배지(slant)를 덮을 정도로 빠르고, 균총 색은 흰색이며 배지에 보라색 색소를 형성하였다. 그리고 CLA 배지에 형성된 포자를 광학현미경 하에서 관찰한 결과, HA 균주는 격막이 없는 타원형의 소형분생포자, 3개의 격막과 길고 양끝이 살짝 굽어 있는 형태의 대형분생포자 그리고 후막포자 등을 형성하여 *F. oxysporum*과 일치하였다(Nelson et al., 1983).

HA 균주의 rDNA-ITS 영역과 TEF 영역(Geiser et al., 2004)의 염기서열을 GenBank의 표준 균주들과 비교한 결과, *F. oxysporum*과 각각 100%와 99% 이상의 상동성을 보였다. 또한 HA 균주의 rDNA-ITS 영역(Zhang et al., 2013) 및 TEF 영역(Homa et al., 2013; Van Poucke et al., 2012)의 염기서열을 비교 균주들과 비교하기 위하여 phylogenetic tree를 작성한 결과, HA 균주는 *F. oxysporum*과 하나의 그룹을 형성하였다(Fig. 2). 이상의 형태학적 및 분자생물학적 동정 결과를 바탕으로 HA 균주는 *F. oxysporum*으로 동정되었다.

박과 작물에 대한 HA 균주의 기주 특이성을 검증한 결과, 수박(‘서태자’와 ‘꼬꼬마’)에서는 덩굴쪄김병이 심하게 발생하였으나 멜론, 참외 및 오이에서는 덩굴쪄김병이 발생하지 않았다(Table 1). *F. oxysporum*은 분화형에 따라 서로 다른 기주 식물에 병을 일으키는데, 바나나에 시들음병을 일으키는 *F. oxysporum* f. sp. *cubense*, 목화를 침입하는 *F.*



**Fig. 2.** Phylogenetic tree based on sequences of rDNA-TEF regions of *Fusarium oxysporum* isolate and related species. The values above each branch indicate the percentage of bootstrap support (> 50%) for the branch point based on 1,000 resamplings. The bar represents 0.01 substitutions per nucleotide position. GenBank accession numbers are parentheses.

**Table 1.** Pathogenicity of *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* HA on four cucurbits<sup>z</sup>.

Crop	Cultivar	Disease index <sup>y</sup>	Response <sup>x</sup>
Watermelon	Seotaja	4.0 ± 0.0	S
	Kokoma	4.0 ± 0.0	S
Oriental melon	Joeundae	0.0 ± 0.0	R
	Geumje	0.0 ± 0.0	R
Melon	Betarich	0.0 ± 0.0	R
	Asiahwanggeum	0.0 ± 0.0	R
Cucumber	Baekmibaekdadagi	0.0 ± 0.0	R
	Asiacheongjang	0.0 ± 0.0	R

<sup>z</sup>10-day-old seedlings of each cultivar were inoculated with HA isolate by dipping the roots of seedlings in spore suspension of  $1.0 \times 10^6$  conidia·mL<sup>-1</sup> for 0.5 h. The inoculated plants were incubated in a dew chamber at 25°C for 24 h and then transferred to a growth room at 25°C with 12-h light a day. After 3 weeks, disease severity of the seedlings was investigated on a scale of 0-4, where 0 = represents no disease symptom; 1 = slight discoloration of vascular system, slight stunting; 2 = slight discoloration of vascular system, stunting; 3 = discoloration of vascular system, yellowing and severe stunting; 4 = death.

<sup>y</sup>Each value represents the mean disease index ± standard deviation of two runs with ten replicates each.

<sup>x</sup>Resistance response, R = resistant (disease index ≤ 1.0); MR = moderately resistant (1.0 < disease index ≤ 2.5); S = susceptible (disease index > 2.5).

*oxysporum* f. sp. *vasinfectum*, 토마토를 침입하는 *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*(Leslie and Summerell, 2006), *F. oxysporum* f. sp. *cucumerinum*에 의해 발생하는 오이 덩굴쪄김병 및 멜론에 덩굴쪄김병을 일으키는 *F. oxysporum* f. sp. *melonis* 등이 알려져 있다(Martyn, 1996). 수박 덩굴쪄김병의 경우에도 몇 가지 예외가 있지만, 일반적으로 *F. oxysporum* f. sp. *niveum*은 수박에 기주 특이성이 있는 것으로 보고되었다(Zitter et al., 1996). 따라서 HA 균주는 수박에서 분리되었고 박과 작물 중 수박에 대해서만 높은 병원성을 나타내므로 HA 균주를 *F. oxysporum* f. sp. *niveum*으로 동정하였다.

그리고 Zhou et al.(2010)의 방법에 따라 Fon HA 균주의

**Table 2.** Disease incidence of four watermelon cultivars used to differentiate race of *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* HA<sup>z</sup>.

Cultivar	Diseased plant (%)	Response <sup>y</sup>
Sugar baby	90 ± 0.7 <sup>x</sup>	S
Charleston gray	25 ± 1.2	R
Calhoun gray	0 ± 0.0	R
PI-296341-FR	0 ± 0.0	R

<sup>z</sup>Fourteen-day-old seedlings of four watermelon cultivars with different genotypes were inoculated with *F. oxysporum* f. sp. *niveum* HA by dipping the roots of seedlings in spore suspension of  $1.0 \times 10^6$  conidia·mL<sup>-1</sup> for 0.5 h. The inoculated plants were incubated in a dew chamber at 25°C for 24 h and then transferred to a growth room at 25°C with 12-h light a day. Three weeks after inoculation, disease incidence of the seedlings was investigated.

<sup>y</sup>Resistance response, R = resistant (< 33% wilt); S = susceptible (≥ 33% wilt).

<sup>x</sup>Each value represents the mean disease incidence of two runs with ten replicates each.

race를 조사한 결과, ‘Sugar baby’는 감수성, ‘Charleston gray’, ‘Calhoun gray’ 및 ‘PI-296341-FR’는 이 균주에 저항성을 보였다(Table 2). 따라서 HA 균주는 race 0이고, 모든 덩굴쪄김병 저항성 수박 품종에 병을 일으키지 못 하므로 어떤 저항성 유전자가 포함된 수박 품종 및 유전자원을 검정하는데 이용할 수 있을 것이다.

미국 등 전 세계적으로 수박 재배지에 덩굴쪄김병을 일으키는 Fon 중 race 1 균주가 가장 널리 분포하는 것으로 알려져 있으며, race 2는 일부 지역에서만 존재한다고 보고되었다(Martyn and Bruton, 1989; Martyn, 1996). 이와 달리 Kwon et al.(1998)은 1994년에 우리나라 수박 주산지에서 덩굴쪄김병균을 분리하고 race 분포를 조사하였는데, 22개 덩굴쪄김병균 중 race 0인 균주가 3개, race 1은 8개 그리고 race 2는 11개로 race 2가 가장 많았으며 이 race 2 균주들은 전국적으로 분포한다고 보고하였다.

### 접종원 대량 생산을 위한 최적 배지 선발

Fon HA 접종원의 대량 생산을 위한 최적 배지를 선발하기 위하여 7종의 액체배지에 접종하고 진탕배양하여 형성된 포자(소형분생포자)의 수를 조사한 결과, V8-juice broth에서 가장 많은 포자를 형성하였으며 mL 당  $2.6 \times 10^7$ 개를 생산하였다(Table 3). 그 다음으로 clarified V8 broth 배지에서 HA의 포자 형성이 많았는데  $2.1 \times 10^7$  conidia·mL<sup>-1</sup>을 생산하였다. 그 다음은 MEB와 PDB 배지로 각각  $1.9 \times 10^6$ 와  $1.4 \times 10^6$  conidia·mL<sup>-1</sup>을 생산하였다.

다른 *F. oxysporum* f. sp. *niveum* 균주도 V8-juice broth에서 가장 많은 포자를 생산하는 지를 조사하기 위하여 농업 유전자원정보센터(KACC)로부터 분양받은 *F. oxysporum* f.

**Table 3.** Spore production of *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* HA and KACC 40902 in seven incubation media.

Medium	The number of spores ( $\times 10^4$ conidia·mL <sup>-1</sup> )	
	HA	KACC 40902
V8-juice broth	2,600 a <sup>z</sup>	1,300 a
Clarified V8-broth	2,100 a	910 b
Malt extract broth	190 b	11 c
Potato dextrose broth	140 b	10 c
Liquid mineral salts medium	9 b	3 c
Glucose-peptone-yeast extract broth	7 b	3 c
Czapek-dox broth	4 b	1 c

<sup>z</sup>Values labeled with the same letter within each column are not significantly different based on Duncan's multiple range test at  $p = 0.05$ .

sp. *niveum* KACC 40902도 함께 실험하였는데, KACC 40902도 7개 배지 중 V8-juice broth 배지에서 가장 많은 포자를 형성하여 mL 당  $1.3 \times 10^7$ 개였다(Table 3). 그리고 나머지 6종 배지에서의 포자 형성도 HA 균주와 유사한 경향을 보였다.

많은 논문에서 *F. oxysporum* f. sp. *niveum*의 포자를 생산하기 위하여 PDB나 MEB 배지를 사용하는데, V8-juice broth 배지에서 이들보다 10배 이상 많은 양의 포자가 형성되어 훨씬 효율적임을 알 수 있었다. 따라서 V8-juice broth는 C-V8 broth 배지보다 제조하기 용이하고 HA 균주뿐만 아니라 대조로 사용한 KACC 40902 균주도 V8-juice broth 배지에서 가장 많은 포자를 생산하였으므로, 이 배지를 수박 덩굴쪄김병 저항성 검정을 위한 접종원 대량 생산 배지로 선발하였다.

### HA 균주에 대한 시판 품종들의 저항성

시판 품종들의 Fon HA 균주에 대한 수박 덩굴쪄김병 저항성 정도를 21개의 수박과 11개의 수박용 대목 품종에 대하여 조사한 결과, ‘속노란꿀’을 제외한 20개의 수박 품종 모두에서 심하게 덩굴쪄김병이 발생하였다. 따라서 현재 시판 중인 수박 품종들은 덩굴쪄김병에 대하여 감수성이 매우 높음을 알 수 있었다. 한편, ‘속노란꿀’은 종자회사에서 덩굴쪄김병 저항성 품종으로 공시하지 않았으나, Fon HA 균주(race 0)에 대하여 발병도 1.4의 중도저항성 반응을 나타내었다. 이와 달리 실험에 사용한 모든 대목 품종들은 Fon HA 균주에 대하여 높은 저항성을 보였다(Table 5).

아직 우리나라에서는 덩굴쪄김병 저항성 품종을 판매하고 있지 않으나, 미국 등에는 많은 육종 프로그램을 통해 race 1에 대하여 저항성이고 단일자 우성 저항성 유전자를 가지는 수박 품종들이 개발되어 판매되고 있다.

이들 결과로부터 발병 조건에 따른 덩굴쪄김병 저항성 차이를 실험하기 위하여, Fon HA에 감수성인 수박 품종 ‘서태자’, 중도저항성인 수박 품종 ‘속노란꿀’ 및 저항성인 수박용 대목 품종 ‘불로장생’을 선발하였다(Tables 4, 5).

### 생육 시기에 따른 덩굴쪄김병 발생

선발한 세 품종의 생육시기에 따른 덩굴쪄김병 발생을 조사하기 위하여 파종 후 7, 10, 13, 16일 동안 재배한 유묘에 Fon HA 균주를 접종하여 조사한 결과, 떡잎이 전개된 7일 유묘에서는 수박 두 품종 모두 감수성을, 그리고 2엽기인 16일 유묘에서는 모두 중도저항성을 나타내었다(Fig. 3). 그러므로 두 생육시기는 수박 덩굴쪄김병 저항성 검정에 적합하지 않은 것으로 생각되었다. 반면에 1엽이 살짝 나온 10일

유묘와 1엽이 전개된 13일 유묘에서는 ‘서태자’와 ‘속노란꿀’이 각각 감수성과 중도저항성을 보이며 두 품종간의 저항성 구분이 가능하였다(Fig. 3). 저항성 대목 품종 ‘불로장생’은 실험한 생육 시기 모두에서 높은 저항성을 나타냈다.

**Table 4.** Resistance degree of 21 commercial watermelon cultivars to Fusarium wilt caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* HA<sup>z</sup>.

Cultivar	Disease index <sup>y</sup>	Response <sup>x</sup>
Soknoranggul	1.4 ± 0.7	MR
Hwanggeumggul	2.3 ± 1.2	S
Bestggul	3.1 ± 1.1	S
Noranbusibok	3.3 ± 1.1	S
Jangchunggul	3.4 ± 1.0	S
Super grand prix	3.4 ± 1.1	S
Jijonggul	3.5 ± 0.8	S
Chilbokggul	3.6 ± 0.7	S
Supergold	3.7 ± 0.5	S
Busibok	3.7 ± 0.7	S
Seotaja	3.7 ± 0.7	S
Noranbok	3.7 ± 0.9	S
Wellbing	3.8 ± 0.4	S
Kokoma	3.8 ± 0.6	S
Nakdonggul	3.9 ± 0.3	S
Wonderfulggul	3.9 ± 0.3	S
Bravoggul	4.0 ± 0.0	S
Heukho	4.0 ± 0.0	S
Kamchunggul	4.0 ± 0.0	S
Nunettineggul	4.0 ± 0.0	S
Seolgang102	4.0 ± 0.0	S

<sup>z</sup>Ten-day-old seedlings of each cultivar were inoculated with *F. oxysporum* f. sp. *niveum* HA by dipping the roots of seedlings in spore suspension of  $1.0 \times 10^6$  conidia·mL<sup>-1</sup> for 0.5 h. The inoculated plants were incubated in a dew chamber at 25°C for 24 h and then transferred to a growth room at 25°C with 12-h light a day. After 3 weeks, disease severity of the seedlings was investigated on a scale of 0-4, where 0 = represents no disease symptom; 1 = slight discoloration of vascular system, slight stunting; 2 = slight discoloration of vascular system, stunting; 3 = slight discoloration of vascular system, yellowing and severe stunting; 4 = death.

<sup>y</sup>Each value represents the mean disease index ± standard deviation of two runs with ten replicates each.

<sup>x</sup>Resistance response, R = resistant (disease index ≤ 1.0); MR = moderately resistant (1.0 < disease index ≤ 2.5); S = susceptible (disease index > 2.5).

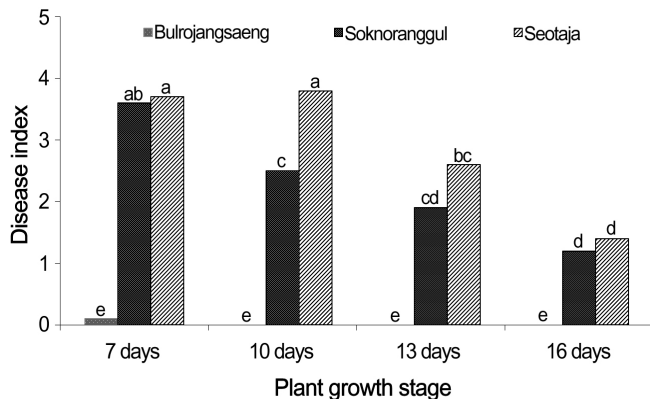
**Table 5.** Resistance degree of 11 commercial watermelon-rootstock cultivars to *Fusarium* wilt caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* HA<sup>z</sup>.

Cultivar	Scientific name	Disease index <sup>y</sup>	Response <sup>x</sup>
Bulpaetoza	<i>Lagenaria siceraria</i>	0.3 ± 0.5	R
Bulrojangsaeng	<i>Lagenaria siceraria</i>	0.0 ± 0.0	R
Daeryeok 3 ho	<i>Lagenaria siceraria</i>	0.2 ± 0.6	R
FR-bodyguard	<i>Lagenaria siceraria</i>	0.1 ± 0.3	R
FR-hero	<i>Lagenaria siceraria</i>	0.1 ± 0.3	R
FR-hongsam	<i>Lagenaria leucantha</i>	0.0 ± 0.0	R
FR-root power	<i>Lagenaria siceraria</i>	0.0 ± 0.0	R
FR-seotaja	<i>Lagenaria siceraria</i>	0.2 ± 0.6	R
Naebyeongtoza	-	0.7 ± 0.7	R
ShinFR-bulsajo	-	0.0 ± 0.0	R
Shintoza	<i>Cucurbita mixta</i>	0.1 ± 0.3	R

<sup>z</sup>Ten-day-old seedlings of each cultivar were inoculated with *F. oxysporum* f. sp. *niveum* HA by dipping the roots of seedlings in spore suspension of  $1.0 \times 10^6$  conidia·mL<sup>-1</sup> for 0.5 h. The inoculated plants were incubated in a dew chamber at 25°C for 24 h and then transferred to a growth room at 25°C with 12-h light a day. After 3 weeks, disease severity of the seedlings was investigated on a scale of 0-4, where 0 = represents no disease symptom; 1 = slight discoloration of vascular system, slight stunting; 2 = slight discoloration of vascular system, stunting; 3 = slight discoloration of vascular system, yellowing and severe stunting; 4 = death.

<sup>y</sup>Each value represents the mean disease index ± standard deviation of two runs with ten replicates each.

<sup>x</sup>Resistance response, R = resistant (disease index ≤ 1.0); MR = moderately resistant (1.0 < disease index ≤ 2.5); S = susceptible (disease index > 2.5).



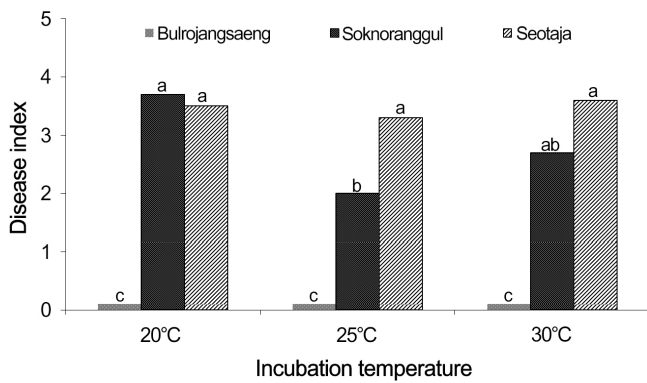
**Fig. 3.** Development of *Fusarium* wilt on two watermelon cultivars and one watermelon-rootstock cultivar according to plant growth stage. 7-, 10-, 13-, and 16-day-old seedlings of each cultivar were inoculated with *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* HA by dipping the roots of seedlings in spore suspension of  $1.0 \times 10^6$  conidia·mL<sup>-1</sup> for 0.5 h. The inoculated plants were incubated in a dew chamber at 25°C for 24 h and then transferred to a 25°C room with 12-h light a day. After three weeks, disease severity of the seedlings was investigated. Values labeled with the same letter are not significantly different based on Duncan's multiple range test at  $p = 0.05$ .

그러므로 수박 덩굴쪄김병 저항성 검정은 파종 후 10-13 일 유묘 모두 가능하지만 유묘의 크기가 클수록 침지접종하고 이식한 후에 뿌리 활착이 어려운 점 등이 있어 수박 덩굴쪄김병의 저항성 검정을 위해서는 파종하고 10일 동안 재배한 유묘를 실험에 사용하는 것이 적당할 것으로 생각되었다.

#### 재배 온도에 따른 덩굴쪄김병 발생

수박 품종들의 덩굴쪄김병에 대한 저항성이 수박 유묘에 병원균을 접종한 후의 재배 온도에 따라 저항성 차이를 나타내는지 조사하기 위하여 접종한 유묘를 20, 25 및 30°C에서 재배하였다. 25°C에서 '서태자'는 발병도 3.3, '속노란꿀'은 2.0 및 '불로장생'은 0.1의 덩굴쪄김병 발생이 있어 각각 감수성, 중도저항성, 저항성을 보였다(Fig. 4). 반면에 20°C와 30°C에서는 '서태자'와 '불로장생'은 25°C에서와 마찬가지로 각각 감수성과 저항성 반응을 나타내었으나, 중도저항성 품종인 '속노란꿀'은 25°C보다 더 높은 발병도를 보이며 감수성 반응을 나타내었다. 따라서 수박 품종들의 덩굴쪄김병에 대한 저항성 검정은 파종 후 25°C에서 식물을 재배하는 것이 바람직하다고 생각되었다.





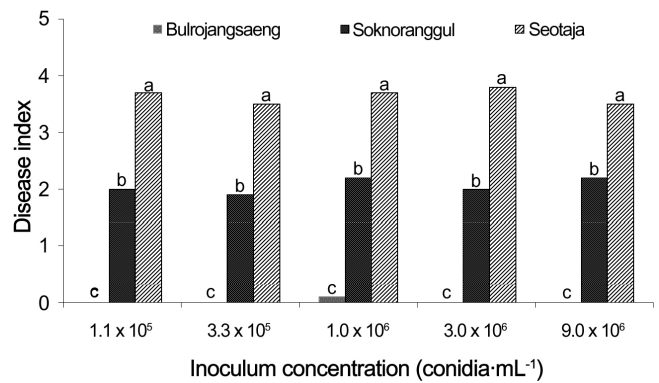
**Fig. 4.** Development of *Fusarium* wilt on two watermelon cultivars and one watermelon-rootstock cultivar according to incubation temperature. 10-day-old seedlings of each cultivar were inoculated with *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* HA by dipping the roots of seedlings in spore suspension of  $1.0 \times 10^6$  conidia·mL<sup>-1</sup> for 0.5 h. The inoculated plants were incubated in a dew chamber at 20, 25, and 30°C for 24 h and then transferred to a growth chamber at 20, 25, and 30°C with 12-h light a day, respectively. After three weeks, disease severity of the seedlings was investigated. Values labeled with the same letter are not significantly different based on Duncan's multiple range test at  $p = 0.05$ .

이와 달리 Scott et al.(2010)은 상추에 *F. oxysporum* f. sp. *lactucae*을 접종하고 재배온도에 따른 시들음병 발생을 보고하였는데, 감수성 품종에서는 온도에 따른 시들음병 발생 차이가 컸으며 저온(23/18°C)보다 중온(28/20°C)에서 고온(33/26°C)으로 갈수록 시들음병이 심하게 발생하였다. 하지만 저항성 품종에서는 재배 온도에 따른 영향이 거의 없었다. 따라서 저온(23/18°C)에서는 품종간에 저항성 구별이 용이하지 않아 상추 저항성 스크리닝 검정에 적합하지 않았다고 하였다. 그러므로 같은 *Fusarium* wilt라 하더라도 작물 종류에 따라 적합한 재배 온도는 다르다는 것을 알 수 있었다.

#### 접종원 농도에 따른 덩굴쪄김병 발생

Fon HA 균주를 다섯 가지( $1.1 \times 10^5$ ,  $3.3 \times 10^5$ ,  $1.0 \times 10^6$ ,  $3.0 \times 10^6$  및  $9.0 \times 10^6$  conidia·mL<sup>-1</sup>) 포자 농도로 접종하고 세 품종들의 덩굴쪄김병 발생을 살펴보았는데, 모든 접종 농도에서 실험한 품종 간에는 통계적으로 유의성 있는 차이를 나타내었다(Fig. 5). 하지만 각 품종 내의 접종원 농도 간에는 통계적으로 유의성 있는 차이가 없었다(Fig. 5). 즉 접종원 농도와 관계없이 '서태자'는 발병도 3.5 이상으로 모두 감수성, '속노란꿀'은 발병도 1.9-2.2로 중도저항성, 그리고 '불로장생'은 0.1 이하 저항성 반응을 보였다.

이와 달리 Martyn and McLaughlin(1983)는 Fon의 접종원 농



**Fig. 5.** *Fusarium* wilt occurrence in two watermelon cultivars and one watermelon-rootstock cultivar according to inoculum concentration. 10-day-old seedlings of each cultivar were inoculated with *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* HA by dipping the roots of seedlings in each spore suspension for 0.5 h. The inoculated plants were incubated in a dew chamber at 25°C for 24 h and then transferred to a growth room at 25°C with 12-h light a day. After three weeks, disease severity of the seedlings was investigated. Values labeled with the same letter are not significantly different based on Duncan's multiple range test at  $p = 0.05$ .

도( $1.0 \times 10^3$ ,  $1.0 \times 10^4$ ,  $1.0 \times 10^5$  및  $1.0 \times 10^6$  conidia·mL<sup>-1</sup>)가 높아질수록 중간 정도의 저항성을 나타내는 수박 품종들은 덩굴쪄김병 발병률이 높아진다고 하였다. 하지만 우리 연구에서 중도저항성인 '속노란꿀'은 실험한 접종 농도( $1.1 \times 10^5$  -  $9.0 \times 10^6$  conidia·mL<sup>-1</sup>)에서 덩굴쪄김병 발생에 차이가 거의 없었는데 이는 실험에 사용한 접종원 농도 차이에 따른 결과로 생각되었으며 접종 농도를 더 낮추어  $1.0 \times 10^3$ ,  $1.0 \times 10^4$  conidia·mL<sup>-1</sup>도 함께 접종하였으면 접종 농도 증가에 따른 병 발생 증가가 나타날 수도 있었으리라 생각되었다(Fig. 5).

따라서 수박 덩굴쪄김병 저항성 검정을 위한 Fon 접종원의 농도는 실험한 모든 농도( $1.1 \times 10^5$  -  $9.0 \times 10^6$  conidia·mL<sup>-1</sup>)에서 세 품종의 저항성 차이가 잘 나타나므로 수박 덩굴쪄김병 저항성 검정을 위해서는 실험한 모든 접종 농도가 이용될 수 있으나 접종원 준비를 고려할 때  $1.0 \times 10^5$  -  $1.0 \times 10^6$  conidia·mL<sup>-1</sup>의 포자현탁액에 침지하여 접종하는 것이 효율적으로 생각되었다.

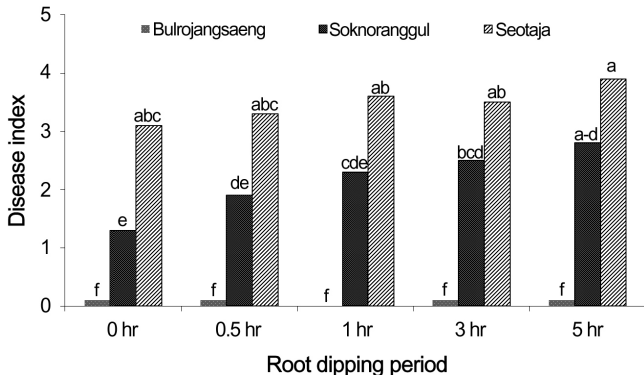
#### 침지 시간에 따른 덩굴쪄김병 발생

'서태자', '속노란꿀' 및 '불로장생' 유묘의 뿌리를 포자현탁액에 각각 0, 0.5, 1, 3 및 5시간 동안 침지하여 접종한 세 품종들의 덩굴쪄김병 발생 정도를 조사한 결과, 침지하는 시간에 관계없이 감수성 품종인 '서태자'는 높은 덩굴쪄

## 초 록

김병 발생을 보였고 저항성 품종인 ‘불로장생’에는 덩굴쪄김병이 거의 발생하지 않았다. 반면에 중도저항성 품종인 ‘속노란꿀’의 경우에는 침지 시간이 길어질수록 덩굴쪄김병 발병도가 점점 증가하였고, 5시간 침지하였을 때에는 감수성을 나타내었다(Fig. 6). 수박 뿌리를 포자현탁액에 담근 즉시 꺼내는 0시간에서도 각 품종 간 저항성 반응은 분명한 차이를 나타냈지만, 실험적 실수로 접종이 제대로 되지 않을 우려가 있다. 따라서 보다 안정적으로 수박 덩굴쪄김병을 접종하기 위해서는 유묘 뿌리를 포자현탁액에 30분 정도 침지하여 접종하는 것이 적당할 것이라 생각되었다.

이상의 결과로부터 수박 덩굴쪄김병(race 0)에 대한 효율적인 저항성 검정법으로 수박 종자를 파종하여 온실(25 ± 5°C)에서 10일 동안 재배한 1엽기 수박 유묘의 뿌리로부터 흙을 제거하고, 뿌리를  $1.0 \times 10^5 - 1.0 \times 10^6$  conidia·mL<sup>-1</sup> 농도의 *F. oxysporum* f. sp. *niveum*의 포자현탁액에 30분간 침지한 후 원예용 상토에 이식하고 25°C 항온항습실에서 하루에 12시간씩 광을 조사하면서 약 3주 동안 재배하고 병조사 하는 것을 제안하고자 한다. 본 연구에서 race 0인 함안 균주를 사용하여 확립한 수박 덩굴쪄김병에 대한 저항성 검정법은 다른 race 균주에도 동일하게 적용될 수 있으리라 생각된다. 하지만 이것은 앞으로 여러 race의 덩굴쪄김병균(race 1, 2, 3)을 확보하여 확인하는 것이 필요하다.



**Fig. 6.** *Fusarium* wilt occurrence in two watermelon cultivars and one watermelon-rootstock cultivar according to root dipping period. 10-day-old seedlings of each cultivar were inoculated with *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* HA by dipping the roots of seedlings in spore suspension of  $1.0 \times 10^6$  conidia·mL<sup>-1</sup> for 0, 0.5, 1, 3, and 5 h. The inoculated plants were incubated in a dew chamber at 25°C for 24 h and then transferred to a growth room at 25°C with 12-h light a day. After three weeks, disease severity of the seedlings was investigated. Values labeled with the same letter are not significantly different based on Duncan's multiple range test at  $p = 0.05$ .

본 연구는 *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*(Fon)에 의해 발생하는 수박 덩굴쪄김병에 대한 효율적인 저항성 검정법을 확립하기 위하여 수행되었다. 함안 지역에서 채집한 덩굴쪄김병이 발생한 수박으로부터 HA 균주를 분리하였다. 이 균주는 형태적 특성, ITS와 TEF 영역을 이용한 분자생물학적 동정 그리고 수박, 멜론, 참외, 오이 등의 박과 작물에 대한 기주 특이성 결과에 따라 *F. oxysporum* f. sp. *niveum*으로 동정되었다. 그리고 Fon HA 균주는 수박 덩굴쪄김병 race 판별품종의 저항성 반응에 의해 race 0인 것을 알 수 있었다. 그리고 실험한 7종 배지 중 V8-juice broth 배지에서 가장 많은 양의 포자가 형성되었고 배지 제조도 간단하여 이 배지를 Fon HA 균주의 접종원 대량 생산을 위한 최적 배지로 선발하였다. 시판 중인 21개 수박 품종과 11개 수박용 대목 품종의 덩굴쪄김병에 대한 저항성을 실험하였다. 중도저항성을 보인 ‘속노란꿀’을 제외한 20개 수박 품종들은 감수성을, 11종 대목 품종들은 모두 저항성 반응을 보였다. 이들 중 감수성과 중도저항성인 수박 2종 ‘서태자’와 ‘속노란꿀’ 그리고 저항성인 대목 1종 ‘불로장생’을 선발하여 수박의 생육 시기, 접종원 농도, 포자현탁액에 침지하는 시간 및 접종 후 재배 온도 등 발병 조건에 따른 이들 품종의 덩굴쪄김병에 대한 저항성 반응의 차이를 조사하였다. 이들 결과로부터 수박 덩굴쪄김병에 대한 저항성을 효과적으로 검정하는 방법으로 수박 종자를 파종하여 온실에서 10일 동안 재배한 수박 유묘의 뿌리로부터 흙을 제거한 후, 뿌리를  $1.0 \times 10^5 - 1.0 \times 10^6$  conidia·mL<sup>-1</sup>의 포자현탁액에 30분간 침지한 후에 원예용 상토에 이식하고 25°C에서 하루에 12시간씩 광을 조사하면서 약 3주 동안 재배하는 것을 제안한다.

**추가 주요어 :** 병리검정, 육종, 박과 작물, 병 저항성, 위황병

## 인용문헌

- Agrios, G.N. 2005. Genetics of plant disease, p. 163-164. In: Plant pathology. 5th ed. Elsevier Academic Press, Burlington, USA.
- Chun, J. 1995. Computer-assisted classification and identification of Actinomycetes. PhD Diss., Newcastle Univ., Newcastle upon Tyne, UK.
- Cirulli, M. 1972. Variation of pathogenicity in *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* and resistance in watermelon cultivars, p. 491-500.

- In: Actas III Congr. Un. Fitopatol. Mediterr. Oeiras.
- Crall, J.M. 1963. Physiologic specialization in *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*. *Phytopathology* 53:873.
- Elmstrom, G.W. and D.L. Hopkins. 1981. Resistance of watermelon cultivars to *Fusarium* wilt. *Plant Dis.* 65:825-827.
- Felsenstein, J. 1985. Confidence limits on phylogenies: an approach using the bootstrap. *Evolution* 39:783-791.
- Geiser, D.M., M. Jiménez-Gasco, S. Kang, I. Makalowska, N. Veeraraghavan, T.J. Ward, N. Zhang, G.A. Kuldau, and K. O'Donnell. 2004. FUSARIUM-ID v. 1.0: A DNA sequence database for identifying *Fusarium*. *Eur. J. Plant Pathol.* 110: 473-479.
- Homa, M., C.S. Shobana, Y.R.B. Singh, P. Manikandan, K.P. Selvam, L. Kredics, V. Narendran, C. Vágvölogy, and L. Galgóczy. 2013. *Fusarium keratitis* in South India: causative agents, their antifungal susceptibilities and a rapid identification method for the *Fusarium solani* species complex. *Mycoses* 56:501-511.
- Kwon, Y.S., Y.H. Om, and H.T. Kim. 1998. Identification and distribution of races of *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* on watermelon in Korea. *Cucurbit Genet. Coop. Rpt.* 21:33-36.
- Lee, D.H. 1969. Studies on the control of *Fusarium* wilt of the cucurbitaceous plants - (1) Investigation on the pathogenicity of *Fusarium* isolates from the wilted cucurbitaceous plants. *Kor. J. Appl. Entomol.* 7:69-75.
- Leslie, J.F. and B.A. Summerell. 2006. Species description, p. 109. In: *The Fusarium laboratory manual*. Blackwell Publishing, Ames, USA.
- Martyn, R.D. 1987. *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* race 2: a highly aggressive race new to the United States. *Plant Dis.* 71:233-236.
- Martyn, R.D. 1991. Resistance to races 0, 1, and 2 of *Fusarium* wilt of watermelon in *Citrullus* sp. PI-296341-FR. *Hortic. Sci.* 26:429-432.
- Martyn, R.D. 1996. *Fusarium* wilt of watermelon, p. 11-16. In: T.A. Zitter, D.L. Hopkins, and C.E. Thomas (eds.). *Compendium of cucurbit diseases*. American Phytopathological Society Press, St. Paul, MN, USA.
- Martyn, R.D. and B.D. Bruton. 1989. An initial survey of the United States for races of *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*. *HortScience* 24:696-698.
- Martyn, R.D. and R.J. McLaughlin. 1983. Effects of inoculum concentration on the apparent resistance of watermelons to *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*. *Plant Dis.* 67:493-495.
- Nelson, P.E., T.A. Toussoun, and W.F.O. Marasas. 1983. *Fusarium* species: An illustrated manual for identification. Penn. State Univ. Press, University Park.
- Netzer, D. and I. Dishon. 1973. Screening for resistance and physiological specialization of *Fusarium oxysporum* in watermelon and muskmelon. (Abstr. 941) Second Int. Congr. Plant Pathol., Minneapolis, MN.
- Netzer, D. 1976. Physiological races and soil population level of *Fusarium* wilt of watermelon. *Phytoparasitica* 4:131-136.
- Netzer, D. and C. Weintall. 1980. Inheritance of resistance in watermelon to race 1 of *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*. *Plant Dis.* 64:853-854.
- O'Donnell, K.O., E. Cigelnik, and H.H. Casper. 1998. Molecular phylogenetic, morphological, and mycotoxin data support reidentification of the Quorn mycoprotein fungus as *Fusarium venenatum*. *Fungal Genet. Biol.* 23:57-67.
- Scott, J.C., T.R. Gordon, D.V. Shaw, and S.T. Koike. 2010. Effect of temperature on severity of *Fusarium* wilt of lettuce caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lactucae*. *Plant Dis.* 94:13-17.
- Thompson, J.D., D.G. Higgins, and T.J. Gibson. 1994. CLUSTAL W: improving the sensitivity of progressive multiple sequence alignment through sequence weighting, position-specific gap penalties and weight matrix choice. *Nucleic Acids Res.* 22: 4673-4680.
- Van Poucke, K., S. Monbaliu, F. Munaut, K. Heungens, S. De Saeger, and F. Van Hove. 2012. Genetic diversity and mycotoxin production of *Fusarium lactis* species complex isolates from sweet pepper. *Intl. J. Food Microbiol.* 153:28-37.
- Wagacha, J.M., U. Steiner, H.W. Dehne, S. Zuehlke, M. Spittler, J. Muthomi, and E.C. Oerke. 2010. Diversity in mycotoxins and fungal species infecting wheat in Nakuru District, Kenya. *J. Phytopathol.* 158:527-535.
- White, T.J., T. Bruns, S. Lee, and J. Taylor. 1990. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics, p. 315-322. In: M.A. Innis, D.H. Gelfand, J.J. Sninsky, and T.J. White (eds.). *PCR protocols: A guide to methods and applications*. Academic Press, San Diego.
- Zhang, L.X., J.H. Song, J.T. Shen, G.J. Tan, S.S. Li, and F. Ding. 2013. First report of stem canker on phoenix tree (*Firmiana simplex*) caused by *Fusarium oxysporum* in China. *J. Phytopathol.* 161:128-130.
- Zhang, X.P. and Rhodes, B.B. 1993. Inheritance of resistance to races 0, 1, and 2 *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* in watermelon. *Cucurbit Genet. Coop. Rpt.* 16:77-78.
- Zhou, X.G., K.L. Everts, and B.D. Bruton. 2010. Race 3, a new and highly virulent race of *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* causing *Fusarium* wilt in watermelon. *Plant Dis.* 94:92-98.