식물병연구
Research Article | Open Access
Res. Plant Dis. 29(3): 258-267 (2023)
https://doi.org/10.5423/RPD.2023.29.3.258

수박 품종들의 덩굴쪼김병균에 대한 저항성 특성

Resistance Characteristics of Watermelon Cultivars to *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*

***Corresponding author**
Tel: +82-42-860-7434
Fax: +82-42-861-4913
E-mail: kjchoi@krict.re.kr
ORCID
https://orcid.org/0000-0003-1564-1487

이수민[1] · 조은주[1] · 김헌[1,2] · 최경자[1,2*]

[1]한국화학연구원 친환경신물질연구센터, [2]과학기술연합대학원대학교 의약화학 및 약리생물학과

Soo Min Lee[1], Eun Ju Jo[1], Hun Kim[1,2], and Gyung Ja Choi[1,2*]

[1]Center for Eco-friendly New Materials, Korea Research Institute of Chemical Technology, Daejeon 34114, Korea
[2]Department of Medicinal Chemistry and Pharmacology, University Science and Technology, Daejeon 34114, Korea

Fusarium wilt, caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* (Fon) is a serious disease in watermelon cultivation. Most of commercialized watermelon cultivars to Fusarium wilt are susceptible in Korea. Fon isolates were divided into four races (races 0, 1, 2, and 3), based on pathogenicity in four watermelon differentials including 'Sugar baby', 'Charleston gray', 'Calhoun gray' and 'PI-296341-*FR*'. We obtained 7 isolates of Fon and tested to determine race of the fungal strains. Fon KACC 40902 and Fon HA were race 0 and Fon NW1, Fon NW2, Fon CW and Fon KACC 40901 were race 1. And Fon KACC 40905 was race 2, but race 3 isolate of Fon was not founded. We also tested virulence of seven Fon isolates on three-susceptible cultivars of watermelon. The isolates showed different virulence on the cultivars. In addition, to study the resistance characteristics of watermelon to Fon, we selected three moderately or highly resistant cultivars of watermelon and occurrence of Fusarium wilt in seedlings of the cultivars by seven Fon isolates was investigated. Among them, 'Calhoun gray' is highly resistant to six Fon isolates except Fon KACC 40905. On the other two cultivars, disease severity of Fusarium wilt caused by each isolate was positively correlated with the virulence of the Fon isolates. The results suggest that resistance of the watermelon cultivars to Fon isolates is likely affected by the virulence of the pathogen.

Keywords: *Citrullus lanatus*, Disease resistance, Fusarium wilt, Race, Virulence

Received July 31, 2023
Revised August 14, 2023
Accepted August 14, 2023

서 론

우리나라 수박 재배는 해가 거듭될수록 노지재배는 점차 감소하고 있으나, 재배 기술의 향상 등의 이유로 시설 재배 면적은 늘어나고 있으며, 시설 내에 과습한 환경과 연작으로 인하여 수박 재배 시 다양한 병원균에 의해 병이 발생하여 경제적 피해를 입고 있다(Noh 등, 2014). 우리나라 수박 재배지에서 문제가 되고 있는 병들은 덩굴쪼김병, 탄저병, 덩굴마름병, 역병 등 31종이 알려져 있다(Korean Society of Plant Pathology, 2022). 이들 중에서 *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* (Fon)에 의해 발생하는 수박 덩굴쪼김병은 전 세계적으로 수박을 재배하는 곳에서 가장 문제가 되고 있는 토양병 중 하나이다(Zhou 등, 2010).

Research in Plant Disease
eISSN 2233-9191
www.online-rpd.org

ⓒ The Korean Society of Plant Pathology
ⓒ This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial 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.

수박덩굴쪼김병균은 뿌리를 통해 침입하여 기주의 도관을 막아 식물의 위조를 일으키고, 잎의 황화와 괴사가 발생하게 되어 결국 고사하게 된다(Flory 등, 2011). 이 병원균은 두꺼운 세포막을 가진 후막포자를 형성하여 기주 식물이 없어도 토양과 종자에서 수년간 생존할 수 있고, 10년 이상도 생존이 가능한 것으로 알려져 있어 방제가 어려운 병원균이다(Carlile, 1956).

수박덩굴쪼김병균은 박과 작물 내에 기주 특이성이 존재할 뿐만 아니라(Lee, 1969), 수박 품종의 반응에 따른 레이스의 분화도 보고되었다(Cirulli, 1972; Crall, 1963; Martyn과 Netzer, 1991; Netzer, 1976; Netzer와 Dishon, 1973). Cirulli (1972)는 수박 3개 품종('Sugar baby', 'Charleston gray', 'Calhoun gray')에 대한 병원성 차이에 따라 race 0과 race 1로 구분하였다. 'Sugar baby'는 감수성이고, 그 외 두 품종에 대해서는 저항성을 나타내는 균주는 race 0, 'Sugar baby', 'Charleston gray'에는 감수성 그리고 'Calhoun gray'에는 저항성 반응을 나태내는 균주는 race 1로 명명하였다. 'Charleston gray'의 저항성은 양적 저항성이고(Elmstrom와 Hopkins, 1981; Martyn, 1996), race 1에 대한 저항성을 나타내는 'Calhoun gray'의 저항성은 단인자 우성으로 유전하는 것이 보고되었다(Netzer와 Weintall, 1980). 1973년 이스라엘에서는 race 0과 1에 저항성인 수박 품종을 침입하는 새로운 race가 출현하여 이를 race 2로 명명하였다(Netzer 1976; Netzer와 Dishon, 1973). 그리고 미국 Texas에서도 저항성 수박 품종에 심각한 시들음 증상을 야기하는 race 2가 출현하였다(Martyn, 1987). 그 이후 'PI-296341-FR'가 race 2에 저항성을 나타내는 것을 확인하게 되었고(Martyn과 Netzer, 1991), 유전자원의 저항성 유전자는 고정되어 있지 않으며, 열성 유전자와 소수 유전자 간 상호작용에 의해 결정된다고 하였다(Zhang과 Rhodes, 1993). 그 이후 Zhou 등(2010)은 race 2에 저항성을 나타내는 'PI-296341-FR'에 대해 감수성 반응을 나타내는 새로운 race 3를 보고하였다.

수박의 덩굴쪼김병을 방제하기 위한 방법으로 우리나라에서는 저항성 대목을 이용한 접목 재배가 많이 사용되고 있으나, 노동력과 시간이 많이 요구되고 품질이 떨어지는 단점이 있다(Jo 등, 2015; Lee와 Lee, 1994). 화학적 방제로는 토양에 prothioconazole과 acibenzolar-S-methyl을 처리하고 수박을 재배하는 방제하는 방법도 보고되었다(Everts 등, 2014; Mullett 등, 2017). 그리고 토양 훈증제인 methyl bromide를 사용하여 토양 소독을 하는 방법이 있었으나, 현재는 금지되어 사용할 수 없다(Averill 등, 1998; Ristaino와 Thomas, 1997). 경종적 재배로는 노지에서 헤어리베치(*Vicia villosa*)를 식재한 뒤 고사시켜 만든 유기질 토양에서 생성되는 암모니아가 덩굴쪼김병 발생을 억제시킬 수 있다는 보고가 있다(Zhou와 Everts, 2004).

특히 토양병의 경우에, 인축과 환경에 안전하고 또한 경제적으로 식물병을 방제할 수 있는 방법 중 하나는 저항성 품종을 재배하는 것이다(Ayala-Doñas 등, 2020; Park 등, 2012). 미국에서는 Fon race 1에 대한 저항성 수박 품종이 개발되어 판매되고 있으나(Martyn, 1996), 미국과 이스라엘 등에서 이들 품종의 저항성을 무너뜨리는 새로운 균주인 race 2가 출현하였다고 보고되었다(Martyn, 1987; Netzer, 1976; Netzer와 Dishon, 1973). 저항성 품종을 극복하는 Fon 균주들이 보고됨에 따라 새로운 저항성 품종 개발에 대한 요구가 증가하고 있다(Zhou 등, 2010).

저항성 품종을 이용하여 식물병을 효과적으로 방제하기 위해서는, 저항성 품종이 질적 저항성(qualitative resistance)인지 양적 저항성(quantitative resistance)인지를 규명하는 것이 필요하다. 미국에서는 race 1이 가장 널리 분포하고 있으며, race 1에 대한 저항성 품종이 판매되고 있다. 우리나라에서는 그동안 접목 재배가 발달해 와서 Fon에 대한 저항성 품종의 수요가 적었으나, 인건비가 증가하고 노동 인력이 부족해짐에 따라 저항성 품종에 대한 요구가 증가하고 있다. 현재 대부분의 수박 품종은 덩굴쪼김병에 대해 감수성이나, 국내 종묘회사가 판매하는 '초당꿀수박'은 race 1 저항성으로 그리고 '속노란꿀'은 중도 저항성 품종으로 보고되었다(Jo 등, 2015).

작물의 저항성에는 질적 저항성과 양적 저항성이 있고, 병 저항성 품종을 개발하기 위한 저항성 검정 방법은 작물의 병원균에 대한 저항성 특성에 따라 다르게 하는 것이 필요하다. 질적 저항성인 경우에는, 레이스 분화가 나타나기 때문에 저항성 품종을 개발하기 위해서는 교배에 이용하는 유전자원의 저항성에 적합한 병원균의 레이스를 이용하여 저항성 검정을 해야 한다. 대표적인 질적 저항성으로 멜론의 덩굴쪼김병을 예로 들 수 있는데, 멜론의 *Fom*-1과 *Fom*-2 유전자에 의해 저항성이 나타나는 덩굴쪼김병균은 병원균인 *F. oxysporum* f. sp. *melonis*는 이들 유전자가 도입된 멜론의 감염 여부를 기준으로 두 저항성이 없는 경우에만 감염하는 레이스 0, *Fom-1* 유전자가 도입된 멜론을 감염할 수 있는 레이스 1, *Fom-2* 유전자가 도입된 멜론을 침입하는 레이스 2, 두 저항성 유전자가 모두 도입된 멜론에 병을 일으키는 레이스 1, 2로 구분한다(Risser 등, 1976). 한편, 양적 저항성의 경우에는 저항성 유전자에 대한 병원균의 레이스 분화는 없고, 병원균의 병원력에 반비례하여 저항성을 나타내게 된다. 따라서 양적 저항성인 경우에는 실험하고자 하는 목적에 따라 적합한 병원력을 갖고 있는 병원균을 선택하여 병 저항성 검정을 하는 것이 필요하다.

본 연구에서는 수박덩굴쪼김병균 7개 균주들의 race를 동정하고, 이들 균주의 병원력을 조사하였다. 또한 단인자 우성으

로 저항성이 유전되는 것으로 알려진 'Calhoun gray'와 중도 저항성이거나 저항성 품종으로 종자회사에서 고시한 2개의 수박 품종 그리고 1개의 저항성 대목 품종을 선발하여, 실험에 사용한 수박 덩굴쪼김병 균주들에 대한 수박 품종들의 저항성 정도를 조사하여, 이들의 저항성 특성을 확인하고자 하였다.

재료 및 방법

수박덩굴쪼김병균 균주. Fon 균주 7개를 실험에 사용하였다. 이들 중 KACC 40901, KACC 40902, KACC 40905 균주는 농촌진흥청 농업유전자원센터(Korean Agricultural Culture Collection [KACC], Rural Development Administration, Jeonju, Korea)로부터 분양 받았으며, NW1과 NW2 균주는 농우바이오(Nongwoobio, Suwon, Korea)로부터 분양 받았다. 그리고 CW와 HA 균주는 청원과 함안에서 채집한 덩굴쪼김병이 발생한 수박에서 분리한 균주이다. 확보한 Fon 7개 균주는 potato dextrose agar (PDA; Becton, Dickinson and Co., Sparks, MD, USA) 배지에서 배양한 후, 균주의 균사 조각을 20% glycerol에 넣어 –80°C deep freezer에 저장해두고 실험에 사용하였다.

접종원 준비. Fon 균주의 균사조각을 PDA 배지에 접종하고 25°C에서 7일간 배양한 후에, cork borer를 이용하여 Fon 균주의 균총으로부터 균사조각(직경 5 mm)을 잘라내어 V-8 juice broth (V8 broth; V-8 juice 200 ml, $CaCO_3$ 3 g, distilled water 1 liter) 배지 100 ml에 6개씩 접종하였다. 접종한 배지는 25°C에서 7일 동안 150 rpm으로 진탕배양하였다. Fon 균주 배양액을 4겹 거즈로 걸러서 균사를 제거한 후에 원심분리(8,000 rpm, 10분, 4°C; Beckman Coulter Inc., Brea, CA, USA)하고, 상등액을 제거하고 남은 침전물에 멸균수를 넣고 잘 흔들어 포자 현탁액을 준비하였다.

광학현미경(BX53F, Olympus, Tokyo, Japan) 하에서 hemocytometer (Paul Marienfeld GmbH & Co. KG, Lauda-Konighofen, Germany)를 사용하여 포자 현탁액의 포자(소형분생포자) 농도를 조사하였다. 수박덩굴쪼김병균 레이스 확인을 위해서는 멸균수로 희석하여 1.0×10^6 conidia/ml의 농도로 조정하여 실험에 사용하였다. 그리고 Fon 균주들의 병원력과 수박 품종의 저항성 정도를 확인하기 위한 실험에는 3.0×10^6 conidia/ml의 농도로 조정하였다.

식물체 준비. Fon 7개 균주의 레이스 검정을 위해서, 수박 덩굴쪼김병 판별 품종인 'Sugar baby', 'Charleston gray', 'Calhoun gray' 및 'PI-296341-*FR*'의 종자를 국립농업과학원 농업유전자원센터(Rural Development Administration, Jeonju, Korea)로부터 분양 받아 실험에 사용하였다.

Fon 균주들의 병원력을 비교하기 위해서는, Jo 등(2017)의 보고에 따라 Fon에 대한 감수성 품종인 '서태자' (Asia Seed, Seoul, Korea), '누네띠네' (Syngenta Korea, Seoul, Korea), '감천꿀' (Jangchun Seed Co., Chilgok, Korea) 3개 수박 품종을 시중에서 구입하여 실험에 사용하였다. 그리고 Fon 7개 균주에 대한 수박 품종의 저항성 정도를 조사하기 위하여, 수박 대목 품종인 '신FR불사조' (Sakata Korea, Seoul, Korea), Netzer와 Weintall (1980)이 race 1에 대한 저항성으로 보고한 'Calhoun gray', Jo 등(2015)의 결과에서 Fon HA균주에 대해 중도저항성을 나타낸 '속노란꿀' (Jeilseed, Jeungpyeong, Korea), Fon race 1에 대해 저항성으로 공시한 '초당꿀' (Samsung Seed Co., Pyeongtaek, Korea), 감수성 품종인 '서태자' (Asia Seed)를 실험에 사용하였다.

Fon 균주의 레이스 검정에 사용할 식물체는 8×16 육묘용 연결포트(21 ml/pot, Bumnong Co., Gyeongju, Korea)에 원예용 상토 2호(Punong, Gyeongju, Korea)를 넣고 각 품종의 종자를 포트당 1립씩 파종한 후에, 온실(25±5°C)에서 본엽 1엽이 전개하도록 10일 동안 재배하여 준비하였다. 그리고 병원균 균주들의 병원력과 수박 품종의 저항성 정도를 확인하기 위한 실험에 사용한 수박 식물체는 5×8 육묘용 연결포트(70 ml/pot, Bumnong, Jeongeup, Korea)에 원예용상토 2호(Punong)를 넣고 포트당 1립씩 파종한 후에, 온실(25±5°C)에서 재배하였다. 온실에서 14일 재배하여 1엽이 완전 전개하고 2엽이 나온 수박 유묘를 실험에 사용하였다.

수박덩굴쪼김병균 접종. 수박덩굴쪼김병균 7개 균주의 레이스 검정을 위해서 병원균을 침지접종법으로 접종하였다(Jo 등, 2015). 재배한 수박 유묘를 포트에서 뽑아서 뿌리를 물로 세척한 후에 준비한 병원균 포자현탁액에 30분 동안 침지하였다. 그리고 5×8 육묘용 연결포트(70 ml/pot)에 원예용상토 2호를 넣고 물을 충분히 뿌려 흙을 촉촉하게 만든 후에, 침지하여 접종한 수박 유묘를 옮겨 심었다.

그리고 Fon 균주들의 병원력과 수박 품종들의 덩굴쪼김병균에 대한 저항성 특성을 조사하기 위해서는 scalpel 접종법을 사용하였다(Jo 등, 2017). 5×8 육묘용 연결포트에서 재배한 수박 유묘에 scalpel (Cutter301, Peace Korea, Incheon, Korea)을 이용하여 지제부 양 옆에서 0.8 cm 떨어진 곳에서 수직으로 깊이 3 cm가 되도록 뿌리를 향하여 찔러서 상처를 낸 후에, 준비한 수박덩굴쪼김병균 포자 현탁액을 10 ml씩 관주하여 접종하였다.

Fon 균주를 접종한 수박 유묘는 25°C 습실상(상대습도 95% 이상)에서 암상태로 24시간 동안 습실처리한 후에, 접종한 식물체를 항온항습실(25°C, 상대습도 80%)로 이동하여 하루에 12시간씩 광 ([photosynthetic photon flux density; 광합성 광량자속 밀도] 55 μmol/m^2·sec)을 조사하면서 재배하였다.

수박 덩굴쪼김병 병조사. 레이스 검정을 위해서는 수박덩굴쪼김병균을 접종하고 20일 후에, 감수성 품종인 'Sugar baby'에서 덩굴쪼김병이 충분히 발생하였을 때 병조사 하였다. 그리고 덩굴쪼김병균의 병원력과 수박의 덩굴쪼김병균에 대한 저항성 특성을 확인하기 위해서 병원균 접종 8일 후부터 18일 후까지 2일 간격으로 수박 유묘에 발생한 덩굴쪼김병의 병조사를 실시하였다.

병조사는 수박 유묘의 생육 정도와 도관의 갈변 여부로 발병지수 0–4로 5단계로 아래와 같이 병조사 하였다(Jo 등, 2017). 도관의 갈변 여부를 조사하기 위해서는 식물체의 뿌리를 뽑아서 줄기 아래 부분을 세로로 비스듬하게 잘라내어 도관의 갈변 여부를 조사하였다. 발병 지수 0=건전, 1=지상부 생육은 억제되지 않으나 지하부는 갈변된 것, 2=지하부 갈변되고, 지상부 생육이 억제된 것, 3=지하부 갈변되고, 지상부의 생육이 상당히 억제된 것, 4=고사 등 5 단계로 하였다.

Fon 균주들의 병원력과 수박 품종의 저항성 특성을 확인하기 위해서 병조사를 계속 진행해야 하므로 접종 8일 후부터 16일 후까지는 지하부 갈변 정도는 조사하지 않고 지상부 생육 정도에 따른 병조사만 수행하였으며, 마지막 병조사인 접종 18일 후에는 도관 갈변 여부도 확인하였다. 접종 후 8일부터 18일까지 2일 간격으로 병조사를 한 결과를 아래와 같은 식에 따라 병진전하곡선면적(area under the disease progress curve, AUDPC)를 계산하였다(Jeger와 Viljanen-Rollinson, 2001; Madden 등, 2007).

$$\mathrm{AUDPC} = \sum_{i=1}^{n} [t(i+1) - ti] \times [DS(i+1) + Dsi] / 2$$

n=병조사 수, *ti*=*i* 병조사 일의 접종 후 경과 일 수, *DSi*=*i* 병조사 일의 병반면적률(%)

통계분석. 모든 실험은 처리당 10개의 식물체에 접종하여 수행하였고, 실험은 2회 반복하였다. 이들의 결과는 SAS 프로그램(version 9.1, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) 프로그램을 이용하여 ANOVA 분석을 하였으며 처리 평균간 비교를 위하여 Duncan's multiple range test (*P*=0.05)를 실시하였다.

결과 및 고찰

수박덩굴쪼김병균 균주들의 레이스 동정. 실험한 수박덩굴쪼김병균 7개 균주들을 Zhou 등(2010)의 방법에 따라 레이스를 동정한 결과, KACC 40902 균주와 HA 균주에 대하여 'Sugar baby'는 감수성, 'Charleston gray', 'Calhoun gray' 그리고 'PI-296341-*FR*'은 저항성 반응을 나타냈다(Table 1, Fig. 1A). 따라서 이 두 균주는 race 0이고, 모든 덩굴쪼김병 저항성 수박 품종에 병을 일으키지 못하므로 저항성 유전자가 포함된 수박 품종 및 유전자원을 검정하는 데 이용이 가능할 것이다.

그리고 NW1, NW2, CW, 그리고 KACC 40901 균주들은 4개의 판별 품종 중 'Sugar baby'와 'Charleston gray' 2개의 품종에 대해서 감수성 반응을 보이고, 'Calhoun gray'와 'PI-296341-*FR*' 2개의 품종에 대해서는 저항성 반응을 나타냈다(Table 1, Fig. 1B). 따라서 이들 4개의 균주는 race 1로 동정하였다. 실험에 사용한 균주 중 KACC 40905 균주는 유일하게 'PI-296341-*FR*' 품종에 대해서만 저항성을 나타내고, 나머지 3개의 품종들에 대해서는 감수성 반응을 보여 race 2로 결정하였다(Table 1, Fig. 1C). 실험에 사용한 7개의 균주들 중에서 race 3로 판별된 균주는 없었다(Table 1).

새롭게 출현하고 있는 덩굴쪼김병균의 race 분포를 살펴보면, 미국 등 전 세계적으로 수박 재배지에서 덩굴쪼김병을 일으키는 Fon 중 race 1 균주가 가장 널리 분포하는 것으로 알려져 있으며, race 2는 일부 지역에서만 존재한다고 보고되었다(Martyn, 1996; Martyn과 Bruton, 1989). 이와 달리 Kwon 등(1998)은 1994년 우리나라 수박 주산지에서 덩굴쪼김병을 분리하고 race 분포를 조사하였는데 22개 균주 중 race 0인 균주가 3개, race 1은 8개, race 2는 11개로 race 2가 가장 많았고, 이 race 2는 전국적으로 분포한다고 하였다. 본 연구에서 race를 동정한 7개 균주 중 race 3로 동정된 균주는 없었지만, 국외에서는 race 3 균주의 존재를 보고하였다(Zhou 등, 2010). 따라서 국내에도 이미 race 3 균주가 존재할 수 있는 가능성이 있으므로, 추후에 우리나라 수박 재배 지역에서 많은 수박덩굴쪼김병균 균주를 확보하여 race를 동정하는 것이 수박의 덩굴쪼김병에 대한 저항성 품종 육성에 기여할 수 있을 것으로 생각한다.

수박덩굴쪼김병균 7개 균주의 병원력. 수박덩굴쪼김병균 7개 균주(KACC 40901, KACC 40902, KACC 40905, HA, CW, NW1, NW2)의 병원력 차이를 조사하기 위하여 감수성 수박 품종 '서태자', '누네띠네' 및 '감천꿀'에 각각 접종하고 덩굴쪼김병 발생을 조사한 결과, 7개의 Fon 균주에 의한 수박 품종 간의 덩굴쪼김병 발생은 큰 차이를 나타내지 않았으나, 각 Fon 균주들

Table 1. Disease severity of Fusarium wilt on four differentials caused by 7 isolates of *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* isolates and race identification of the fungal isolates[a]

Isolate	Genotype				Race
	Sugar baby	Charleston gray	Calhoun gray	PI-296341-*FR*	
KACC 40902	3.8±0.5[b] S[c]	1.5±0.7 MR	0.8±0.4 R	0.5±0.5 R	0
HA	3.5±0.7 S	1.9±1.2 MR	0.8±0.6 R	0.8±0.8 R	0
NW1	3.8±0.4 S	2.9±1.1 S	0.5±0.7 R	0.3±0.5 R	1
NW2	3.1±0.6 S	2.8±1.2 S	0.5±0.5 R	0.4±0.5 R	1
CW	3.5±0.7 S	3.1±1.0 S	1.0±1.2 R	0.9±1.4 R	1
KACC 40901	2.9±0.7 S	3.1±1.0 S	1.0±0.5 R	0.5±0.7 R	1
KACC 40905	4.0±0.0 S	3.5±0.8 S	3.6±0.8 S	0.8±0.4 R	2

[a]Ten-day-old seedlings of four watermelon cultivars with different genotype were inoculated with each isolate of *F. oxysporum* f. sp. *niveum* by dipping the roots of seedlings in spore suspension of 1.0×10^6 conidia/ml for 30 min. The inoculated plants were incubated in a dew chamber at 25°C for 24 hr and then transferred to a growth room at 25°C with 12 hr light a day. Three weeks after inoculation, disease index of each seedling was investigated on a scale of 0–4, where 0=represents no disease symptom; 1=discoloration of vascular system, normal growth; 2=discoloration of vascular system, stunting; 3=discoloration of vascular system, yellowing and severe stunting; 4 = death.

[b]Each value represents the mean disease index±standard deviation of two runs with 10 replicates each.

[c]Resistance response: R, resistant (disease index [DI]=0–1.0); MR, moderately resistant (DI=1.1–2.5); S, susceptible (DI=2.6–4.0).

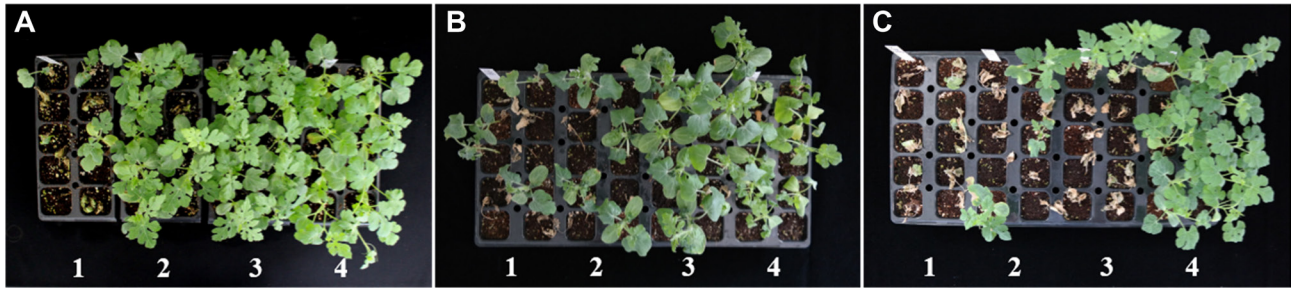

Fig. 1. Development of Fusarium wilt on differential genotypes caused by 7 isolates of *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* (Fon). (A) Fon HA (race 0). (B) Fon CW (race 1). (C) Fon KACC 40905 (race 2). 1, 'Sugar baby'; 2, 'Charleston gray'; 3, 'Calhoun gray'; 4, 'PI-296341-*FR*'.

에 의한 수박의 덩굴쪼김병 발생은 큰 차이를 보였다(Table 2, Figs. 2, 3).

균주에 따른 수박의 덩굴쪼김병 발생은 접종 10일 후부터 큰 차이를 나타냈는데, KACC 40901 균주를 접종하였을 때는 '서태자', '누네띠네', '감천꿀'에 각각 0.3, 0.2, 0.4의 발병도를 보였으나, CW 균주를 접종한 경우에는 '서태자', '누네띠네', '감천꿀'에 모두 2.8의 발병도를 나타냈다(Fig. 2). 그리고 Fon 균주를 접종하고 18일 후에 덩굴쪼김병 발병도를 비교하면, Fon KACC 40901 균주를 접종한 경우, 평균 발병도는 1.3으로 가장 낮았으며, KACC 40902와 NW1 균주에 의해서는 발병도 2.6을, 그 다음은 HA, NW2, KACC 40905, CW 균주 순으로 평균 발병도는 각각 3.1, 3.3, 3.6, 3.9이었다(Table 2).

감수성 품종인 '서태자', '누네띠네' 및 '감천꿀'에 7개 Fon 균주들을 각각 접종한 후 감수성 3개 품종의 평균 AUDPC값을 비교한 결과, KACC 40901로 접종하였을 때는 6.8로 7개 균주 중 가장 낮은 값을 나타냈으며, 그 다음으로는 KACC 40902, NW1, HA, NW2, KACC 40905 순으로 각각 14.7, 15.7, 19.2, 20.1, 26.3를 보였으며, CW 균주로 접종한 경우에는 32.5로 가장 높았다(Fig. 3). 이상의 결과로부터, 실험에 사용한 수박덩굴쪼김병균 균주들은 병원력에 따라 크게 3개 그룹으로 나눌 수 있었다. 병원력이 가장 강한 그룹은 CW 균주, KACC 40905 및 NW2 균주, 그 다음 그룹은 HA, NW1 및 KACC 40902 균주들이 중간 정도의 병원력을 나타내었고, KACC 40901 균주는 병원력이 낮은 그룹이었다. 실험에 사용한 Fon 7개 균주들의 병원력은

Table 2. Occurrence of Fusarium wilt on three susceptible cultivars of watermelon caused by 7 isolates of *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*[a]

Cultivar	Isolate						
	KACC 40901	KACC 40902	NW1	HA	NW2	KACC 40905	CW
Seotaeja	1.2±1.0[b] a[c]	2.5±0.7 b	2.6±0.7 b	3.2±0.4 c	3.3±0.5 c	3.5±0.6 d	3.9±0.2 e
Nunettine	1.2±0.6 a	2.5±0.7 b	2.6±0.8 b	3.2±0.5 c	3.2±0.5 c	3.6±0.4 d	4.0±0.0 e
Kamchunkkul	1.4±0.5 a	2.6±0.7 b	2.6±0.7 b	2.9±0.5 c	3.3±0.4 c	3.7±0.2 d	4.0±0.0 e
Mean	1.3 a	2.6 b	2.6 b	3.1 c	3.3 c	3.6 d	3.9 e

[a]Fourteen-day-old seedlings of three watermelon cultivars were inoculated with 7 isolates of *F. oxysporum* f. sp. *niveum* by cutting the roots with a scalpel, and then 10 ml of spore suspension (3.0×10^6 conidia/ml) was applied into soil. The inoculated plants were incubated in a humidity chamber at 25°C for 24 hr and transferred to a growth room at 25°C with 12 hr light a day. Eighteen days after inoculation, disease severity of the seedlings was investigated on a scale of 0–4, where 0=represents no disease symptom; 1=discoloration of vascular system, normal growth; 2=discoloration of vascular system, stunting; 3=discoloration of vascular system, yellowing and severe stunting; 4=death.

[b]Each value represents the mean disease index±standard deviation of two runs with 10 replicates each.

[c]Values labeled with the same letter within each cultivar are not significantly different based on Duncan's multiple range test at P=0.05.

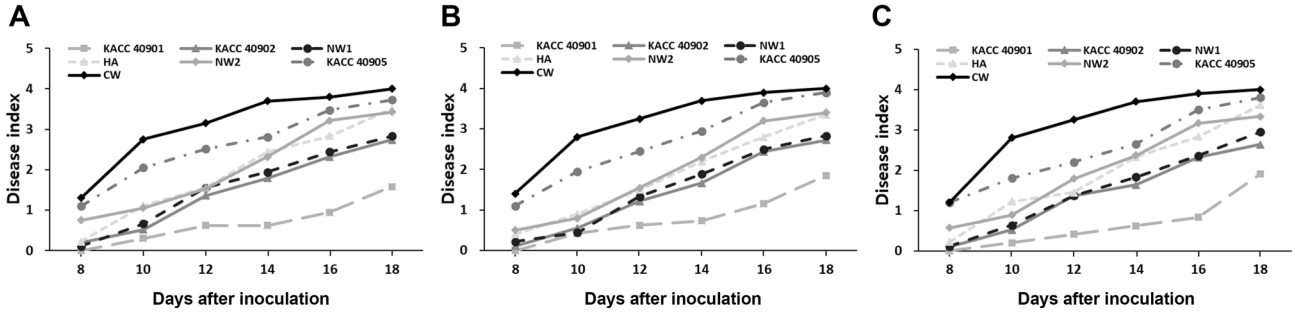

Fig. 2. Occurrence of Fusarium wilt on seedlings of three susceptible watermelon cultivars caused by 7 isolates of *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*. (A) 'Seotaeja'. (B) 'Nunettine'. (C) 'Kamchunkkul'. Fourteen-day-old seedlings of each cultivar were inoculated with 7 isolates of *F. oxysporum* f. sp. *niveum* by cutting the roots with a scalpel, and then 10 ml of spore suspension (3.0×10^6 conidia/ml) was applied into soil. The inoculated plants were incubated in a dew chamber at 25°C for 24 hr and transferred to a growth room at 25°C with 12 hr light a day. Eight to eighteen days after inoculation at 2-day intervals, disease severity of the seedling was investigated on a scale of 0–4. Each value represents the mean disease index of two runs with 10 replicates each.

CW가 가장 강하였고, 그 다음은 KACC 40905, NW2, HA, NW1, KACC 40902 순이었으며, KACC 40901 균주는 병원력이 가장 낮다는 것을 알 수 있었다(Table 2, Fig. 3). 그리고 Fon 균주에 의한 수박의 덩굴쪼김병 발생을 접종 8일 후부터 접종 18일 후까지 2일 간격으로 발병도를 조사하여 얻은 AUDPC값의 순서와 접종 18일 후의 발병도 값의 순서는 일치하였다.

많은 식물병원균들은 균주들 간에 병원력에 차이가 있다고 보고되었고, 이들 병원력 차이는 기주 식물이 양적 저항성일 경우에 저항성에 영향을 미친다고 보고되었다(Foster와 Hausebeck, 2010; Jo 등, 2014, 2016; Lee 등, 2018, 2020, 2023). 고추역병균(*Phytophthora capsici*)은 많은 연구자들이 균주들 사이에서 병원력 차이가 있으며, 이에 따라 고추의 역병에 대한 저항성은 고추역병균 균주들의 병원력에 반비례하여 저항성이 나타난다고 보고하였다(Foster와 Hausebeck, 2010; Jo 등, 2014; Yang 등, 1989). 또한 무시들음병균(*Fusarium oxysporum* f. sp. *raphani*) 8개 균주도 병원력에 따라 크게 3개 그룹으로 구분할 수 있고, 무 품종들의 저항성 정도는 무시들음병균의 병원력에 따라 차이를 보인다고 하였다(Lee 등, 2020).

수박 품종의 덩굴쪼김병에 대한 저항성 특성. 수박 덩굴쪼김병에 대하여 저항성으로 판매되고 있는 품종('초당꿀')과 Jo 등(2015)이 중도저항성 품종으로 보고한 '속노란꿀'의 저항성 특성을 조사하기 위하여, 수박 대조 품종인 '서태자' (감수성)와 'Calhoun gray' (race 1 저항성) 그리고 저항성인 대목 품종 '신

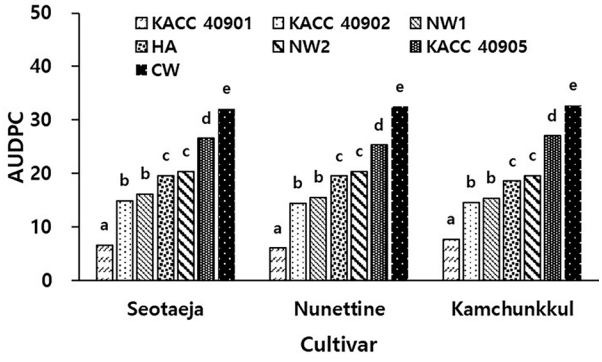

Fig. 3. Area under disease curve (AUDPC) of Fusarium wilt on seedlings of three susceptible watermelon cultivars caused by 7 isolates of *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*. The data were obtained from ten replicates with two repetitions. AUDPC was calculated by following equation. Values labeled with the same letter within each inoculum concentration are not significantly different based on Duncan's multiple range test at P=0.05. AUDPC=$\sum_{i=1}^{n}[t(i+1)-ti]\times[DS(i+1)+Dsi]/2$ (n=number of assessments, ti=number of days after inoculation on assessment date i, DSi=disease severity on assessment date i).

FR불사조'와 함께 Fon 7균주를 각각 접종하고 18일 후에 발병도를 조사한 결과, 수박 대목품종인 '신FR불사조'는 7균주 모두에 대해 저항성을 나타냈다(Table 3). 그리고 단인자 우성으로 유전하는 'Calhoun gray'는 race 2인 KACC 40905 균주에 의해서만 감수성 반응을 보였고, 나머지 6개 Fon 균주들에 대해서는 저항성 반응을 보였다(Table 3). 하지만 실험한 수박 품종 중 'Calhoun gray'와 같이 KACC 40905에만 저항성을 나타내는 품종은 없었다. 따라서 '초당꿀'은 race 1 저항성 품종이 아니라고 생각되었다.

'속노란꿀'과 '초당꿀'의 Fon 7균주의 덩굴쪼김병 평균 발병도는 Fon KACC 40901가 1.0으로 가장 적었으며, 그 다음으로 KACC 40902, NW1, HA, NW2, KACC 40905균주에 대하여 각각 1.1, 1.7, 2.1, 2.5, 3.0순으로 나타났고, CW 균주는 3.1로 실험한 7균주 중 덩굴쪼김병이 가장 많이 발생하였다(Table 3). 그리고 접종 8일 후부터 접종 18일 후까지 병조사를 하고 AUDPC 값을 계산한 결과, '속노란꿀'과 '초당꿀'은 KACC 40901, KACC 40902, NW1, HA, NW2, KACC 40905, CW 균주에 의해 각각 5, 6, 13, 16, 20, 23, 26의 AUDPC값을 나타냈다(Table 4). 저항성 두 품종에서 균주들에 의한 수박 덩굴쪼김병 발생 정도는 균주들의 병원력 정도와 유사한 경향을 나타냈다(Table 3, Fig. 3). 즉, 두 품종은 Fon 균주들의 병원력에 비례하여 덩굴쪼김병이 발생이 많았다(Table 1). 따라서 '속노란꿀'과 '초당꿀'의 수박 덩굴쪼김병에 대한 저항성 정도는 Fon 균주의 병원력에 반비례한다는 것을 알 수 있었다.

이상의 결과를 정리하면, Fon 7개 균주에 대한 '속노란꿀'과 '초당꿀' 품종들의 저항성은 질적 저항성에서 발견되는 품종과 균주 간에 특이적 관계는 확인할 수 없었다(Enya 등, 2009; Hibberd 등, 1987; Kim 등, 2016; Kuginuki 등, 1999; Ramirez-Villupadua 등, 1985; Risser 등, 1976; Takken 등, 1998). 그리고 Fon 균주에 따라 발병도 차이는 존재하나, 실험한 균주들의 레이스와는 별개로 병원력에 비례하여 덩굴쪼김병이 발생하였다(Tables 3, 4). 따라서 Fon 균주에 대한 수박의 저항성은 질적 저

Table 3. Occurrence of Fusarium wilt on four watermelon cultivars and one watermelon-rootstock cultivar caused by seven isolates of *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*[a]

Cultivar	Isolate						
	KACC 40901	KACC 40902	NW1	HA	NW2	KACC 40905	CW
Soknorankkul	0.0[b] a[c]	0.0 a	1.0 bc	1.4 c	2.0 d	2.6 e	2.8 e
Chodangkkul	2.0 a	2.1 ab	2.4 b	2.8 bc	3.0 c	3.3 cd	3.4 d
Seotaeja	1.9 a	2.4 ab	2.6 b	2.8 bc	3.0 c	3.2 cd	3.4 d
Calhoun gray	0.0 a	0.0 a	0.0 a	0.0 a	0.0 a	2.6 b	0.0 a
ShinFR-bulsajo	0.0 a	0.0 a	0.0 a	0.0 a	0.0 a	0.0 a	0.0 a
Mean[d]	1.0 a	1.1 a	1.7 b	2.1 b	2.5 c	3.0 c	3.1 c

[a]Fourteen-day-old seedlings of each cultivar were inoculated with 7 isolates *F. oxysporum* f. sp. *niveum* by cutting the roots with a scalpel, and then 10 ml of spore suspension (3.0×10^6 conidia/ml) was applied into soil. The inoculated plants were incubated in a humidity chamber at 25°C for 24 hr and transferred to a growth room at 25°C with 12 hr light a day. Eighteen days after inoculation, disease severity of the seedling was investigated on a scale of 0–4.
[b]Each value represents the mean disease index±standard deviation of two runs with 10 replicates each.
[c]Values labeled with the same letter within each cultivar are not significantly different based on Duncan's multiple range test at P=0.05.
[d]Mean disease severity of two watermelon cultivars (Soknorankkul, Chodangkkul).

Table 4. Area under disease curve (AUDPC) of Fusarium wilt on four watermelon cultivars and one watermelon-rootstock cultivar caused by seven isolates of *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*[a]

Cultivar	Isolate						
	KACC 40901	KACC 40902	NW1	HA	NW2	KACC 40905	CW
Soknorankkul	0[b] a[c]	0 a	5 b	7 b	12 c	16 cd	19 d
Chodangkkul	10 a	12 ab	20 b	25 b	28 c	30 c	33 d
Seotaeja	11 a	13 ab	21 b	25 bc	28 c	31 cd	35 d
Calhoun gray	0 a	0 a	0 a	0 a	0 a	11 b	0 a
ShinFR-bulsajo (rootstock)	0 a	0 a	0 a	0 a	0 a	0 a	0 a
Mean[d]	5 a	6 a	13 b	16 b	20 c	23 c	26 d

[a]Fourteen-day-old seedlings of each cultivar were inoculated with 7 isolates *F. oxysporum* f. sp. *niveum* by cutting the roots with a scalpel, and then 10 ml of spore suspension (3.0×10^6 conidia/ml) was applied into soil. The inoculated plants were incubated in a humidity chamber at 25°C for 24 hr and transferred to a growth room at 25°C with 12 hr light a day. Eight to eighteen days after inoculation at 2-day intervals, disease severity of the seedling was investigated on a scale of 0–4.

[b]$\mathrm{AUDPC} = \sum_{i=1}^{n} [t(i+1) - ti] \times [DS(i+1) + Dsi] / 2$; *n*=number of assessments, *ti*=number of days after inoculation on assessment date *i*, *DSi*=disease severity on assessment date *i*.

[c]Values labeled with the same letter within each cultivar are not significantly different based on Duncan's multiple range test at *P*=0.05.

[d]Mean disease severity of two watermelon cultivars (Soknorankkul, Chodangkkul).

항성이 아닌 양적 저항성이며, 수박덩굴쪼김병균의 병원력에 반비례하여 저항성이 나타날 수 있다고 생각되었다.

요 약

Fusarium oxysporum f. sp. *niveum* (Fon)에 의한 덩굴쪼김병은 수박 재배지에서 심각한 피해를 주는 병해 중 하나이다. 국내에서 대부분의 수박 품종들은 덩굴쪼김병에 대해 감수성이다. 덩굴쪼김병균은 4개의 수박 품종에 대한 병원성을 기준으로 4개의 레이스(0, 1, 2, 3)가 알려져 있다. 본 연구에서는 7개의 덩굴쪼김병균을 수집하고 이 병원균들의 레이스를 확인하였다. 그 결과, KACC 40902와 HA 균주는 race 0, NW1, NW2, CW 그리고 KACC 40901 균주들은 race 1로, KACC 40905 균주는 race 2로 동정되었으며, race 3 균주는 확인되지 않았다. 또한, 수박의 3개의 감수성 품종에서 7개의 덩굴쪼김병균의 병원력을 비교하였다. 실험에 사용한 Fon 균주들은 균주들 간에 서로 다른 병원력을 나타냈다. 그리고 중도 저항성이거나 저항성으로 알려진 수박 품종 3개, 수박 대목 1개, 감수성 품종 1개를 선발하여 Fon에 대한 수박의 저항성 특성을 조사하였다. 수박 대목은 7개 Fon 균주들에 대해 높은 저항성 반응을 나타냈고, 'Calhoun gray'는 KACC 40905 균주를 제외한 6개 균주에 대해서는 높은 저항성 반응을 나타낸 반면, 나머지 2개의 수박 품종('속노란꿀'과 '초당꿀')은 실험한 7개 균주들의 병원력에 비례하여 수박 덩굴쪼김병이 발생이 증가하였다. 이상의 결과로 부터 Fon에 대한 수박의 저항성은 병원균의 레이스 분화가 아닌 병원균의 병원력에 의해 결정된다고 생각되었다.

Conflicts of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

Acknowledgments

This work was supported by IPET (322059-3), funded by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA).

References

Averill, A. F., Ingram, J. and Nolan, P. F. 1998. Cleaning metal components after the Montreal Protocol: introductory review. *Trans. IMF* 76: 81-89.

Ayala-Doñas, A., de Cara-García, M., Talavera-Rubia, M. and Verdejo-Lucas, S. 2020. Management of soil-borne fungi and root-knot nematodes in cucurbits through breeding for resistance and grafting. *Agronomy* 10: 1641.

Carlile, M. J. 1956. A study of the factors influencing non-genetic variation in a strain of *Fusarium oxysporum*. *J. Gen. Microbiol.* 14: 643-654.

Cirulli, M. 1972. Variation of pathogenicity in *Fusarium oxysporum*

f. sp. *niveum* and resistance in watermelon cultivars. In: Actas Ⅲ Congresso da União Fitopatológica Mediterrânea, ed. by Mediterranean Phytopathological Union, pp. 491-500. União Fitopatológica Mediterrânea, Oeiras, Portugal.

Crall, J. M. 1963. Physiologic specilalization in *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*. *Phytopathology* 53: 873.

Elmstrom, G. W. and Hopkins, D. L. 1981. Resistance of watermelon cultivars to Fusarium wilt. *Plant Dis*. 65: 825-827.

Enya, J., Ikeda, K., Takeuchi, T., Horikoshi, N., Higashi, T., Sakai, T. et al. 2009. The first occurrence of leaf mold of tomato caused by races 4.9 and 4.9.11 of *Passalora fulva* (syn. *Fulvia fulva*) in Japan. *J. Gen. Plant Pathol.* 75: 76-79.

Everts, K. L., Egel, D. S., Langston, D. and Zhou, X.-G. 2014. Chemical management of Fusarium wilt of watermelon. *Crop Prot.* 66: 114-119.

Flory, S. L., Kleczewski, N. and Clay, K. 2011. Ecological consequences of pathogen accumulation on an invasive grass. *Ecosphere* 2: 1-12.

Foster, J. M. and Hausbeck, M. K. 2010. Resistance of pepper to Phytophthora crown, root, and fruit rot is affected by isolate virulence. *Plant Dis.* 94: 24-30.

Hibberd, A. M., Bassett, M. J. and Stall, R. E. 1987. Allelism tests of three dominant genes for hypersensitive resistance to bacterial spot of pepper. *Phytopathology* 77: 1304-1307.

Jeger, M. J. and Viljanen-Rollinson, S. L. H. 2001. The use of the area under the disease-progress curve (AUDPC) to assess quantitative disease resistance in crop cultivars. *Theor. Appl. Genet*. 102: 32-40.

Jo, E. J., Choi, Y. H., Jang, K. S., Kim, H. and Choi, G. J. 2017. Development of a simple and effective bioassay method to evaluate resistance of watermelon plants to *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*. *Res. Plant Dis*. 23: 168-176. (In Korean)

Jo. E. J., Jang, K. S., Choi, Y. H., Ahn, K. G. and Choi, G. J. 2016. Resistance of cabbage plants to isolates of *Plasmodiophora brassicae*. *Korean J. Hortic. Sci. Technol*. 34: 442-452. (In Korean)

Jo, E. J., Lee, J. H., Choi, Y. H., Kim, J.-C. and Choi, G. J. 2015. Development of an efficient method of screening for watermelon plants resistant to *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*. *Korean J. Hortic. Sci. Technol*. 33: 409-419. (In Korean)

Jo, S.-J., Shim, S.-A., Jang, K. S., Choi, Y. H., Kim, J.-C. and Choi, G. J. 2014. Resistance of chili pepper cultivars to isolates of *Phytophthora capsici*. *Korean J. Hortic. Sci. Technol*. 32: 66-76. (In Korean)

Kim, H., Jo, E. J., Choi, Y. H., Jang, K. S. and Choi, G. J. 2016. Pathotype classification of *Plasmodiophora brassicae* isolates using clubroot-resistant cultivars of Chinese cabbage. *Plant Pathol. J.* 32: 423-430.

Korean Society of Plant Pathology. 2022. List of Plant Disease in Korea. 6th ed. World Science Press, Seoul, Korea. pp. 282-284.

Kuginuki, Y., Yoshikawa, H. and Hirai, M. 1999. Variation in virulence of *Plasmodiophora brassicae* in Japan tested with clubroot-resistance cultivars of Chinese cabbage (*Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis*). *Eur. J. Plant Pathol.* 105: 327-332.

Kwon, Y.-S., Om, Y.-H. and Kim, H.-T. 1998. Identification and distribution of races of *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* on watermelon in Korea. *Cucurbit Genet. Coop. Rep.* 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. *Korean J. Plant Prot*. 7: 69-75. (In Korean)

Lee, J. H., Lee, J. and Oh, D.-G. 2018. Resistance of pepper cultivars to *Ralstonia solanacearum* isolates from major cultivated areas of chili peppers in Korea. *Hortic. Sci. Technol.* 36: 569-576. (In Korean)

Lee, S. G. and Lee, W. H. 1994. Control of Fusarium wilt of watermelon with the root-stock grafting of *Sicyos angulatus* L. *Korean J. Plant Pathol*. 10: 240-244. (In Korean)

Lee, S. M., Lee, J. J., Choi, Y. H., Kim, H. and Choi, G. J. 2023. Resistance characteristics of Chinese cabbage cultivars to black rot. *Res. Plant Dis*. 29: 158-167. (In Korean)

Lee, S. M., Lee, J. H., Jang, K. S., Choi, Y. H., Kim, H. and Choi, G. J. 2020. Resistance of commercial radish cultivars to isolates of *Fusarium oxysporum* f. sp. *raphani*. *Hortic. Sci. Technol*. 38: 97-106. (In Korean)

Madden, L. V., Hughes, G. and van den Bosch, F. 2007. The Study of Plant Disease Epidemics. APS Press, St. Paul, MN, USA. 421 pp.

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. 1996. Fusarium wilts. In: Compendium of Cucurbit Disease, eds. by T. A. Zitter, D. L. Hopkins and C. E. Thomas, pp. 13-14. APS Press, St. Paul, MN, USA.

Martyn, R. D. and Bruton, B. D. 1989. An initial survey of United States for races of *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*. *HortScience* 24: 696-698.

Martyn, R. D. and Netzer, D. 1991. Resistance to races 0, 1, and 2 of Fusarium wilt of watermelon in *Citrullus* sp. PI-296341-*FR*. *HortScience* 26: 429-432.

Mullett, M., Pérez-Sierra, A., Armengol, J. and Berbegal, M. 2017. Phenotypical and molecular characterization of *Fusarium circinatum*: correlation with virulence and fungicide sensitivity. *Forests* 8: 458.

Netzer, D. 1976. Physiological races and soil population level of Fusarium wilt of watermelon. *Phytoparasitica* 4: 131-136.

Netzer, D. and Dishon, I. 1973. Screening for resistance and physiological specialization of *Fusarium oxysporum* in watermelon and muskmelon. In: 2nd International Congress of Plant Pathology, Abstract 941. University of Minnesota, Minneapolis, MN, USA.

Netzer, D. and Weintall, C. 1980. Inheritance of resistance in watermelon to race 1 of *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*. *Plant Dis*. 64: 853-854.

Noh, J., Kim, J.-H., Lim, J. H., Kim, T. B., Seong, M. H., Jung, G. T. et al. 2014. Occurrence of diseases and case of clinical diagnosis on watermelon in South Korea, 2008-2012. *Res. Plant Dis.* 20: 8-14.

Park, M. S., Jeong, B., Jang, K. S., Choi, Y. H., Kim, J.-C. and Choi, G. J.

2012. Development of efficient screening methods for resistance of tomato to *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. *Korean J. Hortic. Sci. Technol*. 30: 426-431.

Ramirez-Villupadua, J., Endo, R. M., Bosland, P. and Williams, P. H. 1985. A new race of *Fusarium oxysporum* f. sp. *conglutinans* that attacks cabbage type A resistance. *Plant Dis.* 69: 612-613.

Risser, G., Banihashemi, Z. and Davis, D. W. 1976. A proposed nomenclature of *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* races and resistance genes in *Cucumis melo*. *Phytopathology* 66: 1105-1106.

Ristaino, J. B. and Thomas, W. 1997. Agriculture, methyl bromide, and the ozone hole: can we fill the gaps? *Plant Dis.* 81: 964-977.

Takken, F. L. W., Schipper, D., Nijkamp, H. J. J. and Hille, J. 1998. Identification and *Ds*-tagged isolation of a new gene at the *Cf-4* locus of tomato involved in disease resistance to *Cladosporium fulvum* race 5. *Plant J.* 14: 401-411.

Yang, S. S., Sung, N. K., Choi, D. I. and Kim, C. H. 1989. Pathogenic variation of *Phytophthora capsici* Leonian on red-pepper in Korea. *Korean J. Plant Pathol*. 5: 370-376.

Zhang, X. P. and Rhodes, B. 1993. Inheritance of resistance to races 0, 1, and 2 in *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* in watermelon (*Citrullus* sp. PI 296341). *Cucurbit Genet. Coop. Rep.* 16: 77-78.

Zhou, X. G. and Everts, K. L. 2004. Quantification of root and stem colonization of watermelon by *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* and its use in evaluating resistance. *Phytopathology* 94: 832-841.

Zhou, X. G., Everts, K. L. and Bruton, B. D. 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.