

## 발병조건에 따른 무 품종들의 시들음병에 대한 저항성 차이

백송이 · 장경수 · 최용호 · 김진철 · 최경자\*

한국화학연구원 산업바이오화학연구센터

### Resistance Degree of Radish Cultivars to *Fusarium oxysporum* f. sp. *raphani* according to Several Conditions

Song-Yi Baik, Kyoung Soo Jang, Yong Ho Choi, Jin-Cheol Kim, and Gyung Ja Choi\*

Chemical Biotechnology Research Center, Korea Research Institute of Chemical Technology, Daejeon 305-600, Korea

**Abstract.** This study was conducted to establish the efficient screening system for resistant radish to *Fusarium oxysporum* f. sp. *raphani*. Five radish cultivars ('Myoungsan', 'Chungdu', 'Jangsaeng', 'Hannongyeorm', and 'Chungsukjung') showing different degree of resistance to the fungus were selected. And the development of Fusarium wilt of the cultivars according to several conditions such as root wounding, dipping period of roots in spore suspension, inoculum concentration, and incubation temperature to develop the disease was tested. In distinguishing the resistance degree of the radish cultivars to the disease, non-cut roots were more effective than cut roots. And occurrence of Fusarium wilt of the radish plants increased in the proportion to increase of root-dipping period and spore concentration of the fungus. Thus, optimum conditions to differentiate susceptible and resistant cultivars to the disease were root-dipping period of 0.5 hour and spore concentration of  $1 \times 10^7$  conidia·mL<sup>-1</sup>. Disease severity of Fusarium wilt on the cultivars was changed with incubation temperature and the radish seedlings incubated at 25°C represented the most difference of resistance and susceptibility to Fusarium wilt. From the above results, we suggest that the efficient screening method for resistant radish to *Fusarium oxysporum* f. sp. *raphani* would be to dip non-cut roots of fourteen-day-old radish seedlings in spore suspension of  $1 \times 10^7$  conidia·mL<sup>-1</sup> for 0.5 hour and to transplant the inoculated plants to plastic pots with fertilized soil, and then to incubate the radish plants at a temperature of 25°C for development of Fusarium wilt.

**Additional key words:** breeding, Fusarium wilt, resistant screening, yellows

## 서 언

무(*Raphanus sativus* L.)는 n = 9의 동일 계통을 가지는 십자화과 작물로, 고추, 배추, 마늘과 함께 우리나라의 대표적인 채소 중의 하나로 삼국시대에 도입되었으며, 고려시대부터 재배가 보편화된 것으로 추정된다(Ku et al., 2006). 오늘날에는 저온 감온성이 낮은 신품종 무의 육성과 새로운 작형 세분화로 무의 년 중 재배가 가능하게 되어, 2006년도 무의 재배면적은 13,192ha이었으며 533,210톤의 무가 생산되었다(MIFAFF, 2007). 하지만, 최근에는 많은 양의 화학비료를 사용하는 무의 연작 재배지에서 각종 병해와 생리적인 장애가 점차 증가하여 무 재배에 어려움을 겪고 있다. 현재까지 무에 발생하는

병해로는 시들음병 등 19종이 보고되어 있다(KSPP, 2009).

무에 발생하는 주요 병해인 시들음병에 감염되면 식물체는 시들고, 뿌리의 도관부는 흑갈색으로 변하며, 하위 잎은 황갈색으로 되고 심하면 전체가 말라 죽는다(Kendric and Snyder, 1936; Peterson and Pound, 1960). 무에 시들음병을 일으키는 *Fusarium oxysporum* f. sp. *raphani*는 토양 전염성 병해이며, 후벽포자를 형성하여 기주식물 없이도 토양에 수 년 간 휴면상태로 존재하는 것이 가능하다. 이 후, 환경이 좋아지면 후벽포자는 발아하여 기주 식물의 뿌리를 침입하여 시들음병을 일으킨다(van Peer et al., 1988). 시들음병은 전 세계적으로 발생하고 있으며, 우리나라에서도 주요 무 재배지에서 연작으로 인한 시들음병 발생이 점차 증가하고

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

※ Received 15 November 2010; Accepted 6 January 2011. 본 연구는 농림수산식품부 농림기술개발사업의 채소병리검정지원사업단(과제번호: 609002-5호)의 지원에 의해 이루어진 것이다.

있다(du Toit and Pelter, 2003; Moon et al., 2001).

무 시들음병의 방제를 위하여 윤작, 토양 훈증, 종자 소독, 질소비료의 과용 금지 등이 사용되고 있으나, 이들 방법은 경제성도 낮고 뚜렷한 방제효과를 기대할 수 없는 실정이며, 무 시들음병에 대해서는 등록된 살균제도 없어 방제에 어려움을 겪고 있다(Alabouvette et al., 1998). 따라서 저항성 품종의 재배는 무의 시들음병 방제에 있어 가장 환경 친화적인 방법으로 인식되고 있다. 현재 무 시들음병에 대한 저항성 품종은 국내에서 몇 개 회사에서 판매하고 있으나, 저항성 유전자의 규명, 저항성 유전 양식 및 저항성 품종 육성을 위한 분자표지 개발 등에 대해서는 거의 보고된 바 없으며, 이들 연구를 위해서는 효율적이고 신뢰할 수 있는 병 저항성 검정 방법이 필수적으로 요구된다.

따라서 본 연구에서는 Baik et al.(2010)이 보고한 시들음병에 대한 무 품종들의 저항성 정도 결과를 바탕으로 이 병에 대하여 저항성 정도가 다른 5종 무 품종을 사용하여 상처 유무, 접종원 농도, 침지 시간 및 재배 온도 등 발병 조건에 따라 이들 품종의 시들음병에 대한 저항성 차이를 조사하여 보다 효율적인 무 시들음병에 대한 저항성 검정 방법을 확립하기 위하여 실험하였다.

## 재료 및 방법

### 무 재배

효율적인 무 시들음병에 대한 저항성 검정법을 확립하기 위하여, Baik et al.(2010)이 실험한 무 41품종의 시들음병에 대한 저항성 정도 결과로부터 저항성 정도가 다른 명산무(신젠타종묘), 청두무(아시아종묘), 장생무(아시아종묘), 한농여름무(동부하이텍) 그리고 청수궁중무(아시아종묘) 등 5종 품종을 선발하여 실험에 사용하였다. 8 × 16연결 포트(포트 당 토양 15mL(주)범농)에 원예용상토 5호(부농사)를 넣고 무 종자를 1립씩 파종하여 온실(25 ± 5°C)에서 14일 동안 재배한 무의 어린 모종을 실험에 사용하였다.

### 접종원 준비

무에 시들음병을 일으키는 *Fusarium oxysporum* f. sp. *raphani* KR1 균주는 강릉원주대학교로부터 분양을 받아 실험에 사용하였다(Baik et al., 2010). Potato dextrose agar(Becton, Dickinson and Co.) 배지 중앙에 KR1 균주의 균사조각을 접종하고 25°C 항온기에서 7일 동안 배양하여 형성된 균층으로부터 균사조각을 떼어 malt extract broth(Becton, Dickinson and Co.)에 접종하고 이를 25°C 암 상태에서 7일 동안 150rpm으로 진탕배양하였다. 배양한 KR1 균주는 4점의 거저로 걸

러 균사를 제거하고, 광학현미경 하에서 hemocytometer를 이용하여 포자(소형분생포자)의 농도를 측정하였다. 포자 농도가  $1.0 \times 10^7$  conidia·mL<sup>-1</sup>가 되도록 멸균수로 희석하여 접종원으로 사용하였다. 접종원 농도에 따른 무 시들음병 발생 실험의 경우에는 시들음병균의 포자 농도를 각각  $3.0 \times 10^6$  conidia·mL<sup>-1</sup>,  $1.0 \times 10^7$  conidia·mL<sup>-1</sup> 및  $3.0 \times 10^7$  conidia·mL<sup>-1</sup>로 조정된 포자현탁액을 사용하여 실험하였다.

### 시들음병균 접종

모든 실험은 온실에서 재배한 무의 뿌리를 물로 세척하여 흙을 제거한 후 앞에서 준비한 시들음병균 포자현탁액에 침지하여 접종하였다. 접종한 무는 5 × 8연결 포트(포트 당 토양 50mL, (주)범농)에 원예용상토 5호를 넣고 이식하였다. 뿌리상처 유무에 따른 무 시들음병 발생 실험의 경우에는 가위를 이용하여 무의 뿌리를 2cm 정도 남기고 자르거나 혹은 자르지 않고 포자현탁액( $1.0 \times 10^7$  conidia·mL<sup>-1</sup>)에 0.5시간 동안 침지하였다. 한편, 침지시간에 따른 무 시들음병 발생 실험의 경우에는 흙을 제거한 무 뿌리를  $1.0 \times 10^7$  conidia·mL<sup>-1</sup> 농도의 포자현탁액에 0시간, 0.5시간, 2시간, 4시간, 8시간 동안 침지하여 접종하였다.

### 발병 및 병 조사

접종 후 재배온도에 따른 5품종 무의 시들음병 발생 실험은 접종한 무 유묘를 20°C, 25°C 및 30°C 항온실에서 하루에 12시간씩 광을 조사하면서 3주 동안 재배하여 시들음병 발생을 조사하였다. 그 외 모든 실험은 접종한 무의 어린 모종을 1일 동안 25°C 습실상에서 배양한 후 온실(25 ± 5°C)로 옮겨 3-4주 동안 재배한 후에 병 발생을 조사하였다. 발병 정도는 0 = 건전, 1 = 지하부는 갈변되나 지상부는 시들지 않고 병징이 없는 것, 2 = 지하부는 갈변되고 지상부는 시드는 것, 3 = 지하부는 갈변되고 지상부는 시들며 황화하는 것, 4 = 지하부는 갈변되고 지상부는 심하게 황변하여 시들고 낙엽된 것, 5 = 고사 등 6단계로 하였다. 평균 발병도가 1.0이하인 경우에는 저항성, 1.1-2.5는 중도저항성, 2.5초과는 감수성으로 판정하였으며, 모든 실험은 10반복으로 2회 실시하였다. 통계 분석은 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

### 뿌리 상처에 따른 무 품종들의 시들음병 저항성

가위로 무의 뿌리를 자른 후에 시들음병균(*F. oxysporum*

f. sp. *raphani*)을 접종하거나, 뿌리를 자르지 않고 접종한 5품종 무들이 시들음병에 대한 저항성에 차이가 있는지를 알아보기 위하여 실험한 결과, 모든 품종에서 뿌리를 자르고 접종한 처리구는 자르지 않은 처리구에 비하여 같거나 더 높은 발병도를 나타냈다(Fig. 1). 그러나 5종 무 품종들은 뿌리 상처와 관계없이 명산무와 장생무는 1.4 이하의 발병도를 나타내 시들음병에 대한 저항성을, 한농여름무와 청수궁중무는 2.9 이상의 발병도를 보여 감수성을 나타냄을 알 수 있었다. Song et al.(1996)은 양배추 유묘 검정의 최적조건을 밝히고자 세척한 양배추 뿌리를 2cm 정도 남기고 자른 후에 시들음병균(*F. oxysporum* f. sp. *conglutinans*) 포자현탁액에 침지하여 접종하는 방법을 이용하여 양배추 시들음병에 대한 저항성을 실험한 바 있다. 그러나 본 실험에서는 저항성 품종 중 명산무와 장생무는 뿌리 상처 유무에 관계없이 거의 동일한 시들음병 발생을 보였으나, 청두무는 뿌

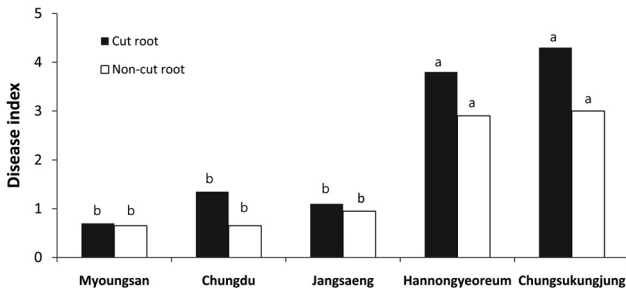
리를 잘라 상처를 내고 접종한 경우에는 자르지 않고 접종한 무보다 저항성이 감소하는 결과를 보였다(Fig. 1). 그리고 식물병 저항성 검정은 가능하면 인위적인 상처없이 병 발생을 유도하여 검정하는 것이 바람직하고, 뿌리를 자르지 않고 접종하는 방법으로도 검정하기에 충분한 시들음병 발생을 보이므로 뿌리를 자르지 않고 접종하는 방법이 저항성 정도를 조사하기에 적당하다고 생각되었다.

### 침지 시간에 따른 무 품종들의 시들음병 저항성

Baik et al.(2010)은 시들음병에 대한 저항성 검정법을 확립하기 위하여 포자(소형분생포자)현탁액을 첨가하여 준비한 이병토에 종자를 파종하는 방법, 무 유묘에 시들음병균의 포자현탁액을 관주하는 방법, 그리고 무 뿌리를 포자현탁액에 침지하여 접종하는 방법(침근접종법)으로 접종하여 실험한 결과, 침근접종법이 가장 효과적인 시들음병 발생을 보였다고 하였다. 이를 바탕으로 본 연구에서는 시들음병에 대한 저항성 정도가 다른 5품종 무의 뿌리를 포자현탁액에 침지하는 시간에 따라 시들음병 저항성 정도에 차이를 나타내는지를 조사하기 위하여 실험한 결과, 청수궁중무를 제외한 4품종은 침지시간이 증가함에 따라 시들음병 발생이 증가하였으나, 명산무, 청두무 및 장생무 등 저항성 정도가 높은 품종은 감수성 품종인 한농여름무에 비하여 증가량이 적었다(Table 1). 한편, 가장 높은 감수성을 나타내는 청수궁중무는 포자현탁액에 침지한 즉시 꺼내어 이식하여도 3.0이상의 높은 시들음병 발병도를 보였다. 따라서 시들음병 저항성 검정을 위해서는 품종간에 시들음병에 대한 저항성 정도에 차이가 크게 나타나고 방법이 간단한 30분 동안 침지하는 것이 효율적이라 생각되었다.

### 접종원 농도에 따른 무 품종들의 시들음병 저항성

침근접종법을 이용한 무의 시들음병에 대한 저항성 검정



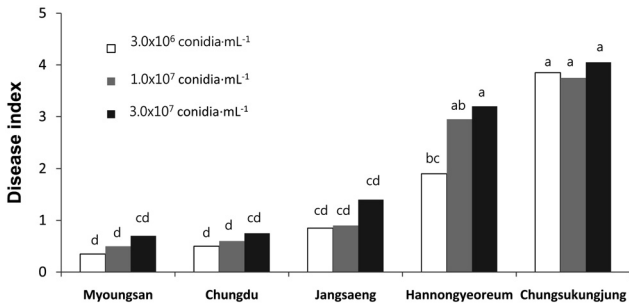
**Fig. 1.** Development of *Fusarium* wilt of five radish cultivars when cut and non-cut roots were dipped in spore suspension of *Fusarium oxysporum* f. sp. *raphani* KR1. Fourteen-day-old seedlings of the cultivars were inoculated with the fungus by dipping cut or non-cut roots of the seedlings in a spore suspension of  $1.0 \times 10^7$  conidia  $\cdot$  mL<sup>-1</sup> for 0.5 hour. The inoculated plants were incubated in humidity chamber at 25°C for 24 hours and then transferred to a greenhouse at 25 ± 5°C. After 3-4 weeks, disease severity of the radish seedlings was investigated. Each value represents the mean disease index of two runs with ten replicates each. Values in the labeled with the same letter are not significantly different in Duncan's multiple range test at  $P = 0.05$ .

**Table 1.** *Fusarium* wilt development of five radish cultivars according to root dipping period<sup>2</sup>.

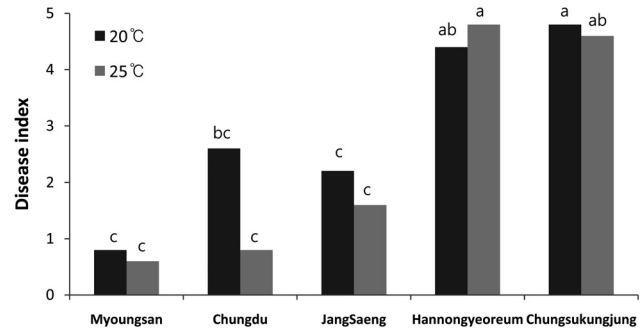
Cultivar	Incubation period (hour)				
	0	0.5	2	4	8
Myoungsan	0.1 ± 0.1 <sup>y</sup>	0.3 ± 0.2	0.6 ± 0.5	0.7 ± 0.5	1.0 ± 0.0
Chungdu	0.1 ± 0.1	0.8 ± 0.5	0.7 ± 0.5	1.6 ± 1.0	1.6 ± 0.9
Jangsaeng	0.7 ± 0.5	0.7 ± 0.5	0.9 ± 0.5	1.3 ± 0.5	2.6 ± 1.1
Hannongyeorm	0.9 ± 0.4	2.5 ± 1.1	3.2 ± 0.4	3.4 ± 1.5	3.9 ± 1.7
Chungbukkungjung	3.4 ± 1.1	3.4 ± 1.4	3.5 ± 1.4	3.2 ± 1.3	3.6 ± 0.9

<sup>2</sup>Fourteen-day-old seedlings of five radish cultivars were inoculated with *Fusarium oxysporum* f. sp. *raphani* KR1 by dipping the roots of the seedlings in a spore suspension of  $1.0 \times 10^7$  conidia  $\cdot$  mL<sup>-1</sup> for 5 different incubation periods. The inoculated plants were incubated in humidity chamber at 25°C for 24 hours and then transferred to a greenhouse at 25 ± 5°C. After 3-4 weeks, disease severity of the radish seedlings was investigated.

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



**Fig. 2.** Fusarium wilt occurrence of five radish cultivars according to inoculum concentration. Fourteen-day-old seedlings of the cultivars were inoculated with *Fusarium oxysporum* f. sp. *raphani* KR1 by dipping the roots of the seedlings in spore suspensions of three different concentrations for 0.5 hour. The inoculated plants were incubated in humidity chamber at 25°C for 24 hours and then transferred to a greenhouse at 25 ± 5°C. After 3-4 weeks, disease severity of radish seedlings was investigated. Each value represents the mean of two runs with ten replicates each. Values in the labeled with the same letter are not significantly different in Duncan's multiple range test at  $P = 0.05$ .



**Fig. 3.** Development of Fusarium wilt of five radish cultivars according to incubation temperature. Fourteen-day-old seedlings of the cultivars were inoculated with *Fusarium oxysporum* f. sp. *raphani* KR1 by dipping the roots of the seedlings in spore suspension of  $1.0 \times 10^7$  conidia·mL<sup>-1</sup> for 0.5 hour. The inoculated plants were incubated in a growth chamber with 12-hour light a day at 20°C or 25°C. After 3 weeks, disease severity of the radish seedlings was investigated. Each value represents the mean disease index of two runs with ten replicates each. Values in the labeled with the same letter are not significantly different in Duncan's multiple range test at  $P = 0.05$ .

에서 시들음병균 포자현탁액의 포자 농도에 따른 5품종 무들의 병 저항성 차이를 실험한 결과, 감수성 품종인 한농여름무는 접종원의 포자 농도가 증가함에 따라 시들음병 발생이 크게 증가하였다(Fig. 2). 한편, 저항성 품종인 명산무, 청두무 및 장생무는 포자 농도가 증가하여도 통계적으로 유의성 있는 차이가 없는 정도로 시들음병 발생이 증가하였다. 그리고 고도의 감수성인 청수궁중무는 접종 농도와 관계없이 3.5이상의 높은 발병도를 나타냈다. 식물체의 병 저항성 검정에서 고농도로 병원균을 접종하였을 경우에는 저항성을 유도할 수 있는 잎이 조기 낙엽되어 정확한 검정이 이루어질 수 없다(Kuc, 1987, 1994). 그러므로 무 시들음병에 대한 저항성 정도를 조사하기 위해서는  $1.0 \times 10^7$  conidia·mL<sup>-1</sup> 농도의 시들음병균 포자현탁액에 30분 동안 침지하여 접종하는 것이 효과적이라 생각되었다.

### 재배 온도에 따른 무 품종들의 시들음병 저항성

*F. oxysporum* f. sp. *raphani*의 기주에 대한 병원력 및 특이성은 토양 온도에 따라 변할 수 있다고 보고된 바 있다(Nomura and Ishii, 1989; Pound and Fowler, 1953). 따라서 시들음병에 대한 저항성 정도가 다른 5품종 무들이 접종 후의 재배 온도에 따라 시들음병에 대한 저항성 정도에 차이를 나타내는지를 조사하기 위하여 20°C, 25°C 및 30°C의 생육상에서 시들음병 발생을 실험하였다. 25°C의 항온실에서 재배한 품종들은 20°C에서 재배한 무들보다 저항성 품종인 명산무, 청두무 및 장생무는 더 높은 저항성을 나타내었으며, 감수성 품종인 한농여름무와 청수궁중무는 더 높은 발병도를 보였다(Fig. 3). 한편 30°C에서는 무가 정상적으로 생장하

지 않아 시들음병 저항성 정도 차이를 조사할 수 없었다. 무의 생육 적온은 17-20°C이고, 시들음병균인 *F. oxysporum* f. sp. *raphani*의 생육 및 발병 적온은 25°C이다(Sherf and Macnab, 1986; Suzuki, 1978). 따라서 무의 시들음병 저항성은 무의 생육 적온보다 시들음병 발병 적온인 25°C에서 저항성 반응은 극대화됨을 알 수 있었다. 그러므로 무 품종의 시들음병에 대한 저항성 정도를 조사하기 위해서는 25°C에서 재배하는 것이 적당하리라 생각되었다. 한편 품종들 간에도 병원균에 대해 작용하는 유전자가 서로 다를 수 있기 때문에 무에서 시들음병 저항성에 대한 좀 더 세밀한 분석을 위해서는 20°C에서 발병을 유도하는 것도 필요할 것이다.

이상의 결과로부터 무 품종들의 시들음병에 대한 저항성을 검정하기 위한 효율적인 방법으로는 종자를 파종하고 온실(25 ± 5°C)에서 14일 동안 재배한 무의 뿌리를 물로 씻어 흙을 제거한 후 *F. oxysporum* f. sp. *raphani*의 포자현탁액( $1 \times 10^7$  conidia·mL<sup>-1</sup>)에 30분 동안 침지하고, 원예용 상토에 이식한 후 25°C 생육상에서 하루에 12시간 동안 광을 조사하면서 3주일 동안 재배한 후에 시들음병 발생을 조사하는 것이 바람직할 것으로 생각되었다. 현재, 무 시들음병에 대한 저항성 품종을 여러 회사에서 판매하고 있으나, 시들음병에 대한 저항성 유전자 및 저항성 유전 양식에 대해서는 거의 보고된 바 없다. 일반적으로 QTL 저항성의 경우에는 환경 조건, 접종원 농도 및 식물의 생육 시기 등에 따라 저항성 발현 정도에 큰 차이를 나타낸다(Agrios, 2005). 하지만 본 연구에서 실험한 시들음병에 대한 저항성 품종인 명산무, 청두무 및 장생무의 시들음병에 대한 저항성 정도는 재배 온도에 따라 큰 차이를 보였으나, 온도를 제외한 발병 조건

들 즉 뿌리 상처 유무, 포자 농도 및 침지 시간에 따라서 약간의 저항성 차이를 보였을 뿐이었다. 따라서 양배추 시들음병균(*F. oxysporum* f. sp. *conglutinans*)에 대한 A-type 저항성 양배추 품종처럼 무 시들음병균(*F. oxysporum* f. sp. *raphani*)에 대한 저항성 무 품종도 소수의 우성 유전자에 의해 저항성을 나타낼 가능성도 있으나, 이는 앞으로 확인할 필요가 있다(Walker, 1930).

## 초 록

본 연구는 시들음병균(*Fusarium oxysporum* f. sp. *raphani*)에 대한 저항성 무의 효율적인 검정법을 확립하기 위하여 수행하였다. 시들음병에 대한 저항성 반응에 차이를 보이는 무 5품종(명산무, 청두무, 장생무, 한농여름무 및 청수궁중무)을 선발하여, 뿌리 상처, 침지 시간, 접종원 농도 및 재배 온도 등의 발병 조건에 따른 무 품종들의 시들음병 발생을 조사하였다. 무 품종들의 저항성 정도를 조사하는 데는 뿌리를 자르고 접종하는 것보다 뿌리를 자르지 않고 접종하는 것이 더 효과적이었다. 그리고 이들 품종의 뿌리를 시들음병균 포자현탁액에 침지하는 시간과 접종원의 포자 농도가 증가함에 따라 시들음병 발생은 증가하였으며,  $1 \times 10^7$  conidia·mL<sup>-1</sup>의 포자현탁액에 0.5시간 침지하였을 때에 저항성 품종과 감수성 품종의 시들음병 발생은 가장 큰 차이를 보였다. 또한 시들음병균을 접종한 후에 무를 재배하는 온도에 따라 품종들의 시들음병 발생은 차이를 보였으며, 25°C에서 재배하였을 때 감수성 품종들은 더 높은 발병도를, 저항성 품종은 더 낮은 발병을 나타냈다. 이상의 결과로부터 무 품종들의 시들음병에 대한 저항성 차이를 검정하기 위해서는 뿌리 자르기 와 같은 상처를 내지 않은, 파종 후 14일된 무의 뿌리를  $1 \times 10^7$  conidia·mL<sup>-1</sup>의 시들음병균 포자현탁액에 0.5시간 동안 침지한 후 새로운 포트에 이식하여 25°C에서 재배하는 것이 가장 효율적인 방법임을 알 수 있었다.

추가 주요어 : 육종, 시들음병, 저항성 검정, 위황병

## 인용문헌

Agrios, G.N. 2005. How plants defend themselves against pathogens, p. 207-248. In: Plant pathology. Fifth ed. Academic Press, New York.

Alabouvette, C., B. Schippers, P. Lemanceau, and P.A.H.M. Bakker. 1998. Biological control of fusarium wilts, p. 15-36.

In: G.J. Boland and L.D. Kuykendall (eds.). Plant-microbe interactions and biological control. Marcel Dekker, New York.

Baik, S.Y., J.-C. Kim, K.S. Jang, Y.H. Choi, and G.J. Choi. 2010. Development of effective screening method and evaluation of radish cultivars for resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp. *raphani*. Res. Plant Dis. 16:148-152.

du Toit, L.J. and G.Q. Pelter. 2003. Wilt of radish caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *raphani* in Washington State. Online. Plant Health Progress doi:10.1094/PHP-2003-0616-01-HN.

Kendric, J.B. and W.C. Snyder. 1936. A vascular *Fusarium* disease of radish. Phytopathology 26:98.

Ku, K.H., K.A. Lee, Y.L. Kim, and Y.W. Lee. 2006. Quality characteristics of hat-air dried radish (*Raphanus sativus* L.) leaves. J. Korea Soc. Food Sci. Nutr. 35:780-785.

Kuc, J. 1987. Plant immunization and its applicability for disease control, p. 255-274. In: I. Chet (ed.) Innovative approaches to plant disease control. John Wiley, New York.

Kuc, J. 1994. Induced systemic resistance, a non-pesticide technology for disease control in plant, p. 511-518. In: D.L. Weigmann (ed.). Proc. 4th. Nat. Conf. Pesticides. Blacksburg, Virginia.

Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries (MIFAFF). 2007. Crop production, p. 112-113. In: Agricultural & Forestry Statistical Yearbook.

Moon, Y.G., W.G. Kim, W.D. Cho, and J.M. Sung. 2001. Occurrence of *Fusarium* wilt on cruciferous vegetable crops and pathogenic differentiation of the causal fungus. Res. Plant Dis. 7:93-101.

Nomura, K. and K. Ishii. 1989. Effect of environmental conditions on pathogenicity and host range of yellow fusaria, *Fusarium oxysporum* f. sp. *conglutinans* and f. sp. *raphani*. Bull. Coll. Agr. & Vet. Med., Nihon Univ., 46:48-56.

Peterson, J.L. and G.S. Pound. 1960. Studies on resistance in radish to *Fusarium oxysporum* f. sp. *conglutinans*. Phytopathology 50:807-816.

Pound, G.S. and D.L. Fowler. 1953. *Fusarium* wilt of radish in Wisconsin. Phytopathology 43:277-280.

Sherf, A.F. and A.A. Macnab. 1986. Yellows, p. 264-265. In: Vegetable diseases and their control. 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc., New York.

Song, J.O., Y.W. Kim, and J.H. Cho. 1996. Varietal difference and inheritance of cabbage yellows (*Fusarium oxysporum* f. sp. *conglutinans* Snyder et Hansen) resistance in cabbage. Korean J. Breed. 28:171-177.

Suzuki, S. 1978. Growth of radishes as influenced by the high temperatures above the optimum range. J. Japan Soc. Hort. Sci. 47:375-381.

The Korean Society of Plant Pathology (KSPP). 2009. Vegetables, p. 99-103. In: W.-G. Kim and H.M. Koo (eds.). List of plant disease in Korea. 5th ed. KSPP, Suwon, Korea.

van Peer, R., T. Xu, H. Rattink, and B. Schippers. 1988. Biological control of carnation wilt caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *dianthi* in hydroponic system. ISOSC Proc. 361-373.

Walker, J.C. 1930. Inheritance of *Fusarium* resistance in cabbage. Jour. Agr. Res. 40:721-745.