

토마토 시들음병에 대한 효율적인 저항성 검정법 확립

박명수 · 정보람 · 장경수 · 최용호 · 김진철 · 최경자*

한국화학연구원 바이오화학연구센터

Development of Efficient Screening Methods for Resistance of Tomato to *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*

Myung Soo Park, Boram Jeong, Kyoung Soo Jang, Yong Ho Choi, Jin-Cheol Kim, and Gyung Ja Choi*

Research Center for Biobased Chemistry, Korea Research Institute of Chemical Technology, Daejeon 305-600, Korea

Abstract. This study was conducted to establish an efficient screening method for resistant tomato to *Fusarium* wilt caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (FOL). The resistance degrees of the six commercial cultivars of tomato to the pathogen were evaluated by dipping roots of the seedlings in spore suspension of five FOL isolates. On the basis of the results, two cultivars (Dotaerangmaster, resistant cultivar to FOL race 1; Supersunload, resistant cultivar to FOL race 2) and two isolates (KACC40043, FOL race 2; TF104, FOL race 3) were selected for system establishment. The disease development of the FOL isolates on the cultivars according to several conditions including root wounding, incubation temperature, inoculum concentration and dipping period of roots in spore suspension was investigated. The resistance of each cultivar to the disease was a race-specific response and hardly affected by the tested conditions except for incubation temperature of 20°C. The optimum temperature for disease development caused by FOL was 25 to 30°C. On the basis of the results, we suggest that an efficient screening method for resistant tomato cultivars to *Fusarium* wilt is to dip the non-cut roots of tomato seedlings at two-leaf stage in spore suspension of 1×10^7 conidia \cdot mL⁻¹ for 0.5 hours and transplant the seedling to plastic pot with horticulture nursery media, and then to cultivate the plants in a growth room at 25°C for 3 weeks with 12 hours light a day.

Additional key words: breeding, disease resistance, *Fusarium* wilt, race, *Solanum lycopersicum*

서 언

토마토(*Solanum lycopersicum* L.)는 중요한 가지과 작물로 주로 시설 재배에 의존하여 재배되고 있기 때문에 연작 재배로 인한 다양한 병해가 발생하고 있다. 토마토에 발생하는 병해 중 *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*(Sacc.) Snyder and Hansen에 의한 시들음병(*Fusarium* wilt)은 전세계적으로 토마토에 가장 큰 피해를 주는 병의 하나로 알려져 있다(Walker, 1971). 토마토 시들음병은 일반적으로 잎이 황화되거나 시들고 지상부의 생장이 위축되어 점차 말라 죽는 전신성 병해이기 때문에 막대한 경제적 손실을 야기한다. 토마토 시들음병을 방제하기 위해서는 윤작 및 석회와 유기물 시용, 토양 훈증제를 이용한 화학적 방제, 저항성 대

목을 이용한 접목재배 및 저항성 품종 재배 등이 이용되고 있다(RDA, 2009). 석회와 유기물 시용 및 토양 훈증제의 사용은 경제성이 낮고 환경 및 인축 독성에 대한 사회적 관심과 친환경 농산물의 수요가 증가하면서 점차 줄어들고 있다. 반면 저항성 대목 및 저항성 품종 재배는 이런 문제점을 대체할 수 있는 방제 방법으로 인식되고 있어 많은 연구자들이 저항성 품종을 개발하고자 노력하고 있다.

F. oxysporum f. sp. *lycopersici*(FOL)는 race 특이적인 저항성 유전자를 가진 토마토 품종에 대하여 병원성 차이를 보이는 균주들이 발견되어 race 1, race 2 및 race 3로 명명되었다. Bohn and Toker(1939)는 토마토 근연종인 *Lycopersicon pimpinellifolium* PI79532(Missouri accession 160)이 FOL에 대해 저항성이 있음을 발견하였고, 이는 단일 우성 유전

*Corresponding author: kjchoi@kriict.re.kr

※ Received 17 April 2012; Revised 15 May 2012; Accepted 11 June 2012. 본 연구는 농림수산식품부 농림기술개발의 채소병리검정사업단(과제번호: 609002-5호)의 지원에 의해 이루어진 것이다.

자에 의해 조절되는 저항성으로써 이를 *I* 유전자로 명명하고 많은 재배 품종에 도입되었다. 그 후 *I* 유전자가 도입된 토마토 품종에 시들음병을 야기하는 균주들이 출현하였고, 이들을 race 2로 보고하였다(Alexander and Toker, 1945). *L. esculentum* × *L. pimpinellifolium*의 교잡으로 얻은 PI126915는 race 1과 2에 고도 저항성을 나타내었고(Alexander and Hoover, 1955; Cirulli and Alexander, 1966; Stall and Walter, 1965), 이 저항성은 두 개의 서로 다른 유전자에 의해 조절되어진다. 일관성 유지하고 혼란을 피하기 위하여 PI79532에서 유래한 race 1에 저항성 유전자인 *I* 유전자를 지속적으로 사용하며, PI126915로부터 얻은 race 2에 저항성 유전자를 *I-2* 유전자로 명명하였다(Cirulli and Alexander, 1966; Laterrot and Philouze, 1984). 1960년 이래로 *I-2* 유전자가 상업용 품종에 도입되어 재배되었다(Gabe, 1975). Race 1과 2에 저항성인 품종을 침해하는 새로운 race인 race 3 균주는 호주의 Queensland 지방에서 처음 분리되었고(Grattidge and O'Brien, 1982), 뒤이어 미국의 몇몇 주에서 보고되었다(Bost, 2001; Davis et al., 1988; Volin and Jones, 1982). *L. pennellii*의 PI414773과 LA716로부터 race 3에 저항성을 보이는 유전자를 보고하였고, 이를 *I-3* 유전자로 명명하였다(Bournival and Vallejos, 1991; McGrath et al., 1987; Scott and Jones, 1989). 현재 *I-3* 유전자가 도입된 토마토 품종들이 육종되고 있다(Jones et al., 1991). 앞으로 새로운 race의 출현이나 저항성 유전자원 탐색을 위해서는 토마토 시들음병에 대한 효율적인 저항성 검정법이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 효율적인 토마토 시들음병 저항성 검정 방법을 확립하고자 race가 판명된 *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* 5개 균주의 시판 중인 6개 토마토 품종에 대한 병원성 정도를 조사하여 race 1에 대한 저항성 품종으로 '도태랑마스터'와 race 2의 저항성 품종으로 '슈퍼선로드'를 선발하였고, race 2로 KACC40043 균주와 race 3으로 TF104 균주를 각각 선발하여 뿌리상처 유무, 포자현탁액에 침지하는 시간, 재배 온도 및 접종원 농도 등 다양한 발병 조건에 따른 토마토 품종들의 시들음병 발생을 조사하였다.

재료 및 방법

접종원 준비

토마토 시들음병을 일으키는 *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*는 한국농업미생물자원센터(Korean Agricultural Culture Collection, KACC)로부터 분양 받은 FOL race 2 균주인 KACC40037, KACC40038, KACC40043, KACC40044 및 국립농업과학원으로부터 분양 받은 FOL race 3인 TF104 균

주를 사용하였다.

토마토 시들음병 저항성 검정법을 확립하기 위한 실험은 KACC40043(race 2)와 TF104(race 3) 균주를 사용하였다. 각각의 균주는 potato dextrose agar(PDA, Becton, Dickinson and Co.) 배지에 접종하여 25°C에서 5일간 배양 후 균사 선단의 균사조직을 떼어 malt extract broth(MEB, Becton, Dickinson and Co.)에 접종하고 25°C 암 상태에서 7일 동안 150rpm으로 진탕배양하였다. 배양한 각각의 균주는 4겹의 거즈를 이용하여 균사를 제거하고, 4°C 8000rpm에서 15분간 원심분리하여 상정액을 제거하고 멸균수로 현탁하여 광학현미경하에서 hemocytometer를 이용하여 포자의 농도를 측정하였다. 접종원 농도에 따른 저항성 정도 실험을 제외한 모든 실험은 1×10^7 conidia/mL 농도를 사용하였고, 접종원 농도에 따른 토마토 시들음병 발생 실험을 위해서는 1×10^6 , 5×10^6 , 1×10^7 , 5×10^7 및 1×10^8 conidia/mL가 되도록 접종원을 준비하였다.

시들음병 검정

F. oxysporum f. sp. *lycopersici*(FOL) 5개 균주에 대한 토마토 품종의 시들음병 저항성 정도는 시판 중인 race 1에 저항성 품종인 '롱린'(몬산토코리아)과 '도태랑마스터'(다끼이종묘), race 2에 저항성 품종인 '슈퍼선로드'(사카타코리아), '도태랑다이아'(다끼이종묘), '제우스 42'(몬산토코리아) 및 감수성 품종으로 '서광'을 사용하였다. 토마토 품종의 시들음병 저항성 정도의 결과를 바탕으로 토마토 시들음병 저항성 검정법을 확립하기 위한 실험은 '도태랑마스터'와 '슈퍼선로드' 품종을 사용하였다.

토마토 품종의 종자는 8×16 연결 포트(pot당 토양 13mL, 범농사)에 원예용 상토 쑥쑥이(농우바이오):vermiculite = 1:1(v/v)의 혼합토를 넣고 토마토 종자를 파종하여 온실(25 ± 5°C)에서 14-21일 동안 재배한 2엽기 토마토 유묘를 실험에 사용하였다. 토마토 뿌리를 물로 세척하여 흙을 제거한 후 포자 현탁액에 30분 동안 침지하여 접종하였다. 5×8 연결 포트(pot당 토양 70mL, 범농사)에 원예용 상토 쑥쑥이를 넣고 접종한 토마토 유묘를 정식하였다. 접종한 토마토 유묘는 1일 동안 25°C 습실상에서 배양한 후 25°C 생육상에 옮겨 하루에 12시간씩 광을 조사하면서 3주 동안 시들음병 발생을 관찰하면서 재배하였다. 뿌리 상처 유무에 따른 저항성 정도 실험에서의 뿌리 상처는 앞서와 같은 방법으로 준비한 토마토 유묘의 뿌리가 2cm 정도 남도록 가위로 자른 후에 동일한 방법으로 포자 현탁액에 침지하여 접종하였다. 침지 시간에 따른 저항성 정도 실험은 포자 현탁액에 각각 30초, 0.5, 1, 2, 3 및 4시간 동안 침지하여 접종하였다. 온도에

다른 저항성 정도 실험은 접종한 토마토 유묘를 20, 25, 30°C 습실상에서 1일 동안 배양한 후 각각 20, 25, 30°C 생육 상에 옮겨 3주 동안 재배하였다.

발병도 조사

토마토 시들음병 병조사는 도관의 갈변 여부와 생육 억제로 발병 정도를 조사하였다. 발병 지수는 0 = 건전, 1 = 도관이 갈변되거나 지상부의 생육은 정상인 것, 2 = 도관이 갈변되고 지상부의 생육이 약간 억제된 것, 3 = 도관이 갈변되고 지상부는 생육이 억제되며 약간 황화한 것, 4 = 생육이 심하게 억제 되고 황화하여 시들고 낙엽된 것, 5 = 고사 등 6단계로 하였다(Cai et al., 2003). 평균 발병도가 1.0 이하는 저항성, 1.1-3.0은 중도 저항성, 3.0 초과는 감수성으로 판정하였다. 모든 실험은 5반복 이상으로 2회 실시하였으며 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

토마토 품종의 시들음병에 대한 저항성

FOL race 1에 대한 저항성 품종인 '롱런'과 '도태랑마스터'는 FOL race 2 균주에서 서로 다른 반응을 나타내었다. '롱런'은 2.0 이상의 감수성 혹은 중도 저항성을 나타내었고, '도태랑마스터'는 4.0 이상의 높은 발병도를 나타내었다(Table 1). FOL race 3 균주인 TF104는 '롱런'과 '도태랑마스터'에서 높은 시들음병 발생을 보였다.

FOL race 2에 대한 저항성 품종인 '슈퍼선로드', '도태랑다이아' 및 '제우스 42'에 대하여 race 2 균주인 KACC 40043 균주는 FOL race 2에 저항성을 가진 세 품종 모두에서 저항성을 나타내었다(Table 1). 반면에 KACC40037, KACC40038 및 KACC40044는 세 품종 모두에서 중도 저항성을 보였다. Race 3 균주인 TF104는 실험한 모든 race 2에 저항성 품종에서 4.0 이상의 높은 발병도를 나타내었다. 한편, 시들음병에 대한 저항성 품종이 아닌 '서광'에서 FOL race 2 균주 중 KACC40037, KACC40038 및 KACC40043은 높은 병원성을 보인 반면에 KACC40044는 낮은 발병도를 보였다(Table 1). 그리고 FOL race 3 균주인 TF104는 '서광'에서 높은 발병도를 보였다.

이상의 결과로부터, 토마토 시들음병에 대한 효율적인 저항성 검정 방법을 확립하기 위한 실험을 위하여 FOL race 1에 저항성 품종으로 '도태랑마스터'와 FOL race 2에 저항성 품종으로 '슈퍼선로드'를 선발하였고, FOL race 2 균주로 KACC40043과 FOL race 3 균주로 TF104를 선발하였다.

뿌리 상처에 따른 시들음병 발생

가위로 토마토 뿌리를 자르는 상처에 의한 시들음병 발생 차이를 살펴 본 결과, FOL race 1에 저항성인 '도태랑마스터'는 KACC40043(race 2)과 TF104(race 3) 균주 모두에 의해 상처 유무와 상관없이 높은 발병도를 나타내었다(Table 2). 그리고 Race 2에 저항성인 '슈퍼선로드'도 인위적인 상처 유무와 상관없이 KACC40043(race 2)에 대하여는 저항성을 그리고 TF104(race 3)에는 감수성 반응을 보였다. 따라서 뿌리 상처와 관계없이 '도태랑마스터'는 FOL race 2와 3 균

Table 1. Resistance degree of the six commercial tomato cultivars to Fusarium wilt caused by different race of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*^z.

Cultivar	Trait ^y	Race 2 ^x				Race 3
		37 ^w	38	43	44	TF104
Longrun	R1	2.7 ± 0.7 ^y	2.8 ± 1.1	2.2 ± 1.1	3.1 ± 0.7	3.2 ± 0.8
Dotaerangmaster	R1	4.4 ± 0.6	4.4 ± 0.6	4.0 ± 1.1	4.6 ± 0.6	4.7 ± 0.1
Supersunload	R1, R2	1.9 ± 0.7	1.7 ± 1.0	0.4 ± 0.0	2.6 ± 1.7	4.8 ± 0.3
Dotaerangdaia	R1, R2	2.2 ± 0.3	1.5 ± 0.1	0.4 ± 0.6	2.1 ± 0.1	3.5 ± 1.3
Zeus 42	R1, R2	2.6 ± 0.0	1.4 ± 0.8	0.4 ± 0.6	2.6 ± 1.7	4.4 ± 0.8
Seokwang		4.4 ± 0.1	4.6 ± 0.1	3.9 ± 0.1	2.8 ± 0.1	4.7 ± 0.1

^zSeedlings of tomato cultivars at two-leaf stage were inoculated with *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* by dipping roots of the seedlings in spore suspension of 1×10^7 conidia/mL for 0.5 h. The infected plants were incubated in humidity chamber at 25°C for 24 h and then transferred to a growth room at $25 \pm 2^\circ\text{C}$ with 12 h light a day. After 3 weeks, disease severity of the seedlings was investigated on a scale of 0-5.

^yR1, resistant cultivar to race 1; R2, resistant cultivar to race 2.

^xDesignations of race 2 were kindly provided by Korean Agricultural Culture Collection (KACC) and designation of race 3 as kindly supplied by National Academy of Agricultural Science.

^w37 = KACC40037, 38 = KACC40038, 43 = KACC40043, and 44 = KACC40044.

^vEach value represents the mean disease index ± standard deviation of two runs with five replicates each.

Table 2. Development of *Fusarium* wilt on two tomato cultivars according to cut and non-cut roots^z.

Cultivar	Isolate	Cut root	Non-cut root
Dotaerangmaster	KACC40043	4.3 ± 0.6 a ^y	4.7 ± 0.3 a
	TF104	4.8 ± 0.2 a	4.9 ± 0.2 a
Supersunload	KACC40043	0.2 ± 0.3 b	0.0 ± 0.0 b
	TF104	4.6 ± 0.2 a	4.2 ± 0.2 a

^zSeedlings of tomato cultivars at two-leaf stage were inoculated with *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* by dipping cut and non-cut roots of the seedlings in spore suspension of 1×10^7 conidia/mL for 0.5 h. The infected plants were incubated in humidity chamber at 25°C for 24 h and then transferred to a growth room at 25 ± 2°C with 12 h light a day. After 3 weeks, disease severity of the tomato seedlings was investigated on a scale of 0-5.

^yEach value represents the mean disease index ± standard deviation of three runs with five 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 3. Development of *Fusarium* wilt on two tomato cultivars according to incubation temperature^z.

Cultivar	Isolate	Incubation temperature		
		20°C	25°C	30°C
Dotaerangmaster	KACC40043	1.9 ± 0.1 b ^y	4.6 ± 0.3 a	4.9 ± 0.1 a
	TF104	2.2 ± 0.6 b	4.6 ± 0.4 a	4.6 ± 0.2 a
Supersunload	KACC40043	0.0 ± 0.0 c	0.03 ± 0.1 c	0.1 ± 0.1 c
	TF104	2.1 ± 0.5 b	3.7 ± 0.2 a	4.3 ± 0.3 a

^zSeedlings of tomato cultivar at two-leaf stage were inoculated with *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* by dipping roots of the seedlings in spore suspension of 1×10^7 conidia/mL for 0.5 h. The infected plants were incubated in humidity chamber at 20, 25, and 30°C for 24 h and then transferred to a growth room with 12 h light a day at 20, 25, and 30 ± 2°C. After 3 weeks, disease severity of the tomato seedlings was investigated on a scale of 0-5.

^yEach value represents the mean disease index ± standard deviation of three runs with ten replicates each. Values in the labeled with the same letter are not significantly different in Duncan's multiple range test at $P = 0.05$.

주에 대하여 감수성을 보이고, '슈퍼선로드'는 FOL race 2에는 감수성을 보였고 FOL race 3에 대해서는 저항성을 나타냄을 알 수 있었다. FOL race에 따른 토마토 유묘의 저항성 검정은 연구자에 따라 토마토 유묘의 뿌리를 자르고 포자현탁액에 침지하거나 뿌리의 흙을 제거한 후 인위적인 상처 없이 포자 현탁액에 침지하는 방법으로 실험하였다 (Bournival et al., 1989; Cai et al., 2003; Kim, 2005; Marlatt et al., 1996; Mes et al., 1999). 본 연구에서 토마토 품종의 시들음병에 대한 저항성 정도는 뿌리를 자른 유묘나 자르지 않은 유묘의 감수성과 저항성의 정도가 거의 유사하므로, 토마토 시들음병에 대한 효율적인 저항성 검정을 위해서는 토마토 유묘의 뿌리에서 흙을 제거한 후 뿌리를 자르지 않고 포자현탁액에 침지하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

재배 온도에 따른 시들음병 발생

발병 온도에 따른 토마토 품종들의 시들음병 발생 정도를 조사하기 위하여 토마토 유묘를 FOL 포자현탁액에 침지한 후 20, 25 및 30°C의 서로 다른 온도에서 재배하여 병 발생 정도를 조사한 결과, 25°C와 30°C에서는 TF104 균주에 대해 두 품종 모두에서 고도의 감수성을 그리고 KACC40043에는 race 1에 저항성을 가진 '도태랑마스터'는 4.6 이상의

높은 발병도를 그리고 Race 1과 2에 저항성을 가진 '슈퍼선로드'는 고도의 저항성을 나타냈다(Table 3). 한편 20°C에서는 KACC40043(race 2)과 TF104(race 3) 균주는 '도태랑마스터'에서 각각 1.9와 2.2의 낮은 발병도를 나타내었다(Table 3). 그리고 '슈퍼선로드'는 KACC40043에 대해서는 저항성을 보였으나, TF104(race 3) 균주에는 2.1의 낮은 발병도를 나타냈다.

Kim(2005)은 토마토 유묘의 재배 온도에 따른 병 발현의 최적온도 실험에서 온도 증가에 따라 발병도가 증가하여 25°C와 30°C 사이에서 높은 발병도를 나타내었다고 보고하였다. 기존의 연구자들은 토마토 시들음병에 대한 저항성 검정을 주로 20-30°C에서 실험하여 기주 간의 저항성 차이를 구분하였다(Bournival et al., 1989; El Mohtar et al., 2007; Huang and Lindhout, 1997; Mes et al., 1999). 하지만 본 실험에서는 토마토 품종의 시들음병에 대한 저항성 정도는 20°C에서는 감수성 품종이 중도 저항성 반응을 보이므로 20°C보다는 25-30°C에서 실험하는 것이 적합할 것으로 생각되었다.

접종원 농도에 따른 시들음병 발생

FOL race 1에 대한 저항성 품종으로 공시한 '도태랑마스

터'는 FOL race 2인 KACC40043과 FOL race 3인 TF104의 몇 가지 농도의 포자현탁액(1×10^6 , 5×10^6 , 1×10^7 , 5×10^7 및 1×10^8 conidia/mL)에 침지하여 실험한 결과, 집중한 포자 농도와 상관없이 높은 발병도를 나타냈다(Table 4). 그리고 FOL race 2에 저항성인 품종으로 공시한 '슈퍼선로드'는 집중하는 시들음병균의 포자 농도와 관계없이 KACC 40043(race 2) 균주에 대해서는 1.0 이하의 낮은 발병도를 보였고, TF104(race 3) 균주에는 3.8 이상의 높은 발병도를 나타냈다. 즉, FOL race 2 균주의 집중 농도와 관계없이 '도태랑마스터'에서는 감수성을 '슈퍼선로드'에 저항성 반응을 보인다는 것을 알 수 있었다. Kim(2005)은 집중원의 농도에 따른 병 발현을 조사한 결과, 집중 농도가 증가 할수록 발병도가 높아져 1×10^6 conidia/mL에서 가장 높은 시들음병 발병도를 보였고, 1×10^7 conidia/mL에서 오히려 발병도가 낮아졌다. 그리고 토마토 시들병에 대한 저항성 검정에 대한 많은 연구에서는 1×10^6 부터 1×10^8 conidia/mL 사이의 다양한 농도에서 실험하고 있었다(Bournival et al., 1989; Cai et al., 2003; El Mohtar et al., 2007; Huang and Lindhout, 1997; Mes et al., 1999). 우리의 실험에서도 이들과 마찬가지로 토마토 품종의 시들음병에 대한 저항성 정도는 실험한 포자 농도의 범위에서는 FOL의 포자 농도와 관계없이 감수

성과 저항성을 구별할 수 있었다.

침지 시간에 따른 시들음병 발생

토마토 뿌리를 포자 현탁액에 30초에서 4시간까지 다양한 시간 동안 침지하여 시들음병 발생 정도를 조사한 결과, 침지하는 시간에 상관없이 '도태랑마스터'는 KACC40043 (race 2)와 TF104(race 3) 균주 모두에서 높은 발병도를 나타내었고 '슈퍼선로드'는 KACC40043(race 2)에 대하여 저항성을 그리고 TF104(race 3)에는 감수성을 나타내었다 (Table 5). Kim(2005)은 토마토 유묘의 뿌리를 포자 현탁액에 침지하는 시간에 따른 발병도 실험에서 1×10^6 conidia/mL의 포자 현탁액에 1분간 침지하였을 때 시들음병이 거의 발생하지 않았으나, 10분 이상 침지하였을 때에는 높은 발병도를 보였다고 하였다. 반면 Mes et al.(1999)은 1×10^7 conidia/mL의 포자 현탁액에 1분 이상 침지하여 기주 간의 저항성 차이를 볼 수 있었다. 본 연구에서는 포자 현탁액에 침지한 직후 꺼내어 즉, 1×10^7 conidia/mL의 포자 현탁액에 30초간 침지할 경우에도 토마토 시들음병에 대한 저항성을 효과적으로 검정할 수 있었다. 하지만 시들음병 저항성 육종을 위하여 대량의 토마토 시료에 대하여 저항성을 조사할 경우에는 30초간 침지는 아주 짧은 시간이기 때

Table 4. Development of *Fusarium* wilt on two tomato cultivars according to inoculum concentration².

Cultivar	Isolate	Inoculum concentration (conidia/mL)				
		1×10^6	5×10^6	1×10^7	5×10^7	1×10^8
Dotaerangmaster	KACC40043	4.9 ± 0.1 a ^y	4.5 ± 0.1 a	4.4 ± 0.8 a	4.7 ± 0.4 a	4.7 ± 0.4 a
	TF104	4.8 ± 0.3 a	4.5 ± 0.7 a	4.6 ± 0.6 a	4.6 ± 0.6 a	4.2 ± 0.6 a
Supersunload	KACC40043	1.0 ± 0.8 b	0.6 ± 0.8 b	0.4 ± 0.3 b	0.2 ± 0.0 b	0.7 ± 1.0 b
	TF104	3.8 ± 0.3 a	4.1 ± 1.0 a	4.3 ± 0.4 a	4.2 ± 0.8 a	4.4 ± 0.3 a

²Seedlings of tomato cultivar at two-leaf stage were inoculated with *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* by dipping roots of the seedlings in spore suspension of five concentrations (1×10^6 , 5×10^6 , 1×10^7 , 5×10^7 , 1×10^8 conidia/mL) for 0.5 h. The infected plants were incubated in humidity chamber at 25°C for 24 h and then transferred to a growth room at 25 ± 2°C with 12 h light a day. After 3 weeks, disease severity of the tomato seedlings was investigated on a scale of 0-5.

^yEach value represents the mean disease index ± standard deviation of two runs with five 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 5. Development of *Fusarium* wilt on two tomato cultivars according to root dipping period².

Cultivar	Isolate	Root dipping period (h)					
		0.008	0.5	1	2	3	4
Dotaerangmaster	KACC40043	4.2 ± 0.8 a ^y	4.7 ± 0.1 a	4.8 ± 0.0 a	4.8 ± 0.3 a	4.9 ± 0.1 a	4.5 ± 0.4 a
	TF104	4.7 ± 0.1 a	4.5 ± 0.7 a	4.7 ± 0.4 a	4.7 ± 0.4 a	4.8 ± 0.3 a	5.0 ± 0.0 a
Supersunload	KACC40043	0.0 ± 0.0 b	0.0 ± 0.0 b	0.0 ± 0.0 b	0.2 ± 0.3 b	0.0 ± 0.0 b	0.1 ± 0.1 b
	TF104	3.3 ± 0.7 a	3.6 ± 0.0 a	4.1 ± 0.4 a	3.9 ± 0.1 a	4.4 ± 0.0 a	4.3 ± 1.0 a

²Seedlings of tomato cultivar at two-leaf stage were inoculated with *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* by dipping roots of the seedlings in spore suspension of 1×10^7 conidia/mL for 30 s, 0.5, 1, 2, 3, and 4 h. The infected plants were incubated in humidity chamber at 25°C for 24 h and then transferred to a growth room at 25 ± 2°C with 12 h light a day. After 3 weeks, disease severity of the tomato seedlings was investigated on a scale of 0-5.

^yEach value represents the mean disease index ± standard deviation of two runs with five replicates each. Values in the labeled with the same letter are not significantly different in Duncan's multiple range test at $P = 0.05$.

문에 대량 유묘 검정 시 실험적 실수로 인하여 접종되지 않을 수도 있기 때문에 병원균을 안정적으로 접종하기 위해 그리고 총 소요 시간을 줄이기 위하여 포자 현탁액에 30분간 침지하는 방법이 효율적이라고 생각되었다.

초 록

Fusarium oxysporum f. sp. *lycopersici*(FOL)에 의해 발생하는 토마토 시들음병에 대한 효과적인 저항성 검정법을 확립하기 위하여, 시판 중인 토마토 6개 품종에서 FOL 5개 균주에 의한 시들음병 발생을 조사한 후에 토마토 2개 품종(도태랑마스터, race 1 저항성; 슈퍼선로드, race 1과 2 저항성)과 FOL 2개 균주(KACC40043, race 2; TF104, race 3)를 선발하였다. 선발한 토마토 품종과 FOL 균주를 이용하여 뿌리 상처 유무, 재배 온도, 접종원 농도 및 포자현탁액에 침지하는 시간 등에 따른 시들음병 발생을 조사하였다. FOL에 대한 토마토 품종의 저항성 및 감수성 반응은 레이스 특이적이며, 20°C의 재배온도를 제외한 실험한 모든 발병 조건에 의해 이들 반응은 영향을 받지 않았다. 그리고 FOL에 의한 토마토 시들음병 발생의 최적 온도는 25-30°C임을 알 수 있었다. 따라서, 토마토 시들음병에 대한 저항성을 효과적으로 검정하는 방법으로 2엽기 토마토 유묘의 뿌리를 1×10^7 conidia/mL 농도의 FOL 포자 현탁액에 30분간 침지한 후에 원예용 상토에 이식하고 25°C 생육상에서 하루에 12시간씩 광을 조사하면서 3주 동안 재배하는 것을 제안한다.

추가 주요어 : 육종, 병 저항성, *Fusarium* 시들음병, *Solanum lycopersicum*

인용문헌

- Alexander, L.J. and M.M. Hoover. 1955. Disease resistance in wild species of tomato. Ohio Agric. Exp. Stn. Res. Bull. 752:1-76.
- Alexander, L.J. and C.M. Tucker. 1945. Physiologic specialization in the tomato wilt fungus *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. J. Agric. Res. 70:303-313.
- Bost, S.C. 2001. First report of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* race 3 on tomato in Tennessee. Plant Dis. 85:802.
- Bohn, G.W. and C.M. Tucker. 1939. Immunity to *Fusarium* wilt in the tomato. Science 89:603-604.
- Bournival, B.L., J.W. Scott, and C.E. Vallejos. 1989. An isozyme marker for resistance to race 3 of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* in tomato. Theor. Appl. Genet. 78:489-494.
- Bournival, B.L. and C.E. Vallejos. 1991. New sources of genetic resistance to race 3 of *Fusarium* wilt of tomato. Plant Dis. 75:281-284.
- Cai, G., L.R. Gale, R.W. Schneider, H.C. Kistler, R.M. Davis, K.S. Elias, and E.M. Miyao. 2003. Origin of race 3 of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* at a single site in California. Phytopathology 93:1014-1022.
- Cirulli, M. and L.J. Alexander. 1966. A comparison of pathogenic isolates of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* and different sources of resistance in tomato. Phytopathology 56:1301-1304.
- Davis, R.M., K.A. Kimble, and J.J. Farrar. 1988. A third race of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* identified in California. Plant Dis. 72:453.
- El Mohtar, C.A., H.S. Atamian, R.B. Dagher, Y. Abou-Jawdah, M.S. Salus, and D.P. Maxwell. 2007. Marker-assisted selection of tomato genotypes with the *I-2* gene for resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* race 2. Plant Dis. 91:758-762.
- Gabe, H.L. 1975. Standardization of nomenclature for pathogenic races of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. Trans. Br. Mycol. Soc. 64:156-159.
- Grattidge, R. and R.G. O'Brien. 1982. Occurrence of a third race of *Fusarium* wilt of tomatoes in Queensland. Plant Dis. 66:165-166.
- Huang, C.-C. and P. Lindhout. 1997. Screening for resistance in wild *Lycopersicon* species to *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* race 1 and race 2. Euphytica 93:145-153.
- Jones, J.B., J.P. Jones, R.E. Stall, and T.A. Zitter. 1991. Compendium of tomato diseases. American Phytopathological Society, St. Paul, MN.
- Kim, J.T. 2005. Pathogenicity and ecophysiological characteristics of *Fusarium oxysporum* causing tomato wilt disease. PhD Diss., Chungnam National Univ., Daejeon, Korea.
- Laterrot, H. and J. Philouze. 1984. Recombination between resistance to pathotype 1 (*I-2* allele) and susceptibility to pathotype 0 (*I+* allele) of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Proc. Mtg. Eucarpia Tomato Working Group 9:70-74.
- Marlatt, M.L., J.C. Correll, P. Kaufmann, and P.E. Cooper. 1996. Two genetically distinct populations of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* race 3 in the United States. Plant Dis. 80:1336-1342.
- McGrath, D.J., D. Gillespie, and L. Vawdrey. 1987. Inheritance of resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* races 2 and 3 in *Lycopersicon pennellii*. Aust. J. Agric. Res. 38:729-733.
- Mes, J.J., E.A. Weststeijn, F. Herlaar, J.J.M. Lambalk, J. Wijbrandi, M.A. Haring, and B.J.C. Cornelissen. 1999. Biological and molecular characterization of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* divides race 1 isolates into separate virulence groups. Phytopathology 89:156-160.
- Rural Development Administration (RDA). 2009. Tomato. RDA, Suwon, Korea.
- Scott, J.W. and J.P. Jones. 1989. Monogenic resistance in tomato to *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* race 3. Euphytica 40:49-53.
- Stall, R.E. and J.M. Walter. 1965. Selection and inheritance of resistance in tomato to isolates of race 1 and 2 of the *Fusarium* wilt organism. Phytopathology 55:1213-1215.
- Volin, R.B. and J.P. Jones. 1982. A new race of *Fusarium* wilt of tomato in Florida and sources of resistance. Proc. Fla. State Hortic. Soc. 95:268-270.
- Walker, J.C. 1971. *Fusarium* wilt of tomato. Monogr. 6. American Phytopathological Society, St. Paul, MN.