

한국에서 분리한 *Ralstonia solanacearum*에 대한 순계 토마토의 병 반응과 고온에서의 발병

이형주 · 조은정¹ · 김남희 · 채영² · 이선우^{1*}

동아대학교 응용생물공학과, ¹동아대학교 의생명과학과, ²국립원예특작과학원 기술지원과

Disease Responses of Tomato Pure Lines Against *Ralstonia solanacearum* Strains from Korea and Susceptibility at High Temperature

Hyoung Ju Lee, Eun Jeong Jo¹, Nam Hee Kim, Young Chae² and Seon-Woo Lee^{1*}

Department of Applied Biology, Dong-A University, Busan 604-714, Korea

¹Department of Medical Bioscience, Dong-A University, Busan 604-714, Korea

²Technology Services Division, National Institute of Horticulture and Herbal Science, Suwon 440-706, Korea

(Received on September 20, 2011; Revised on November 24, 2011; Accepted on December 1, 2011)

This study evaluated disease resistance responses of pure lines of tomato plants at various temperature conditions against *Ralstonia solanacearum* strains isolated from Korea. Evaluation of six tomato lines with various strains of *R. solanacearum* showed that many strains can infect the resistant lines of tomato plants previously known as highly tolerant to bacterial wilt. One of the most virulent strains, SL341 (race 1 and biovar 4) caused severe infection on all six tomato lines, irrespective of temperature. In contrast, a moderately virulent strain SL1944 (race 1, biovar 4) showed the remarkable difference in disease progress on some resistant lines dependent on temperature. Moneymaker and Bonny Best were susceptible to SL1944 at all tested conditions with different temperature. However, tomato lines, such as Hawaii 7998, Hawaii 7996, B-blocking which were previously known as highly tolerant lines, were severely infected by SL1944 at relatively higher temperature (35°C for 14 hr light and 28°C for 10 hr dark cycle). The disease progress at high temperature was much faster than those at low temperature on the same tomato line and those on Moneymaker and Bonny Best at the same high temperature. This result suggested that *R. solanacearum* strains isolated in Korea were highly virulent to bacterial wilt resistant tomato lines and some strains may cause severe infection on those plants at higher temperature.

Keywords : Bacterial wilt, Disease resistance, tomato plant

서 론

가지과를 포함한 각종 작물의 풋마름병(bacterial wilt)의 원인세균인 *Ralstonia solanacearum*은 열대, 아열대, 온대 기후지역에 널리 분포하며, 토마토, 고추, 담배, 감자 등 많은 작물의 생산에 심각한 손실을 가져오는 식물 병원세균이다(Hayward, 1991; Hayward, 1994). 토양에 서식하던 세균은 식물의 뿌리 상처를 통하여 식물체 내부로

침입하며(Vasse 등, 1995; Wallis 등, 1978), 뿌리 물관을 통하여 지상부로 이동할 수 있다. 물관으로 침입한 병원균은 표면의 lipopolysaccharide나 pili를 통하여 식물 세포에 점착(Graham 등, 1977)한 후 외피다당류(exopolysaccharide) 및 세포벽 분해효소 등을 분비하여 식물 물관을 폐색하여 시들음 증상을 유발하며 결국 작물을 고사시키는 것으로 알려져 있다(Saile, 1997; Schell, 2000). 이 세균에 의한 풋마름병은 화학적 방제 및 생물학적 방제가 어려우며 주로 윤작이나 저항성 품종 육성을 통한 저항성 유전자의 도입과 같은 방법으로 병 발생을 억제하는 방향으로 연구가 진행되고 있다(Balatero 등, 2005).

토마토(*Solanum lycopersicum*)는 세계 작물 시장뿐만 아

*Corresponding author

Phone) +82-51-200-7551, Fax) +82-51-200-7505

Email) seonlee@dau.ac.kr

나라 국내에서도 높은 경제적 가치를 가지는 작물이다. 또한 *Agrobacterium*을 통한 형질 전환 시스템의 적용이 가능하고, 비교적 짧은 생활사 및 작은 genome 크기를 가지는 등 애기장대, 벼와 같이 모델 식물로 연구되고 있다. *R. solanacearum*에 대한 토마토의 주된 저항성 기작은 물관 조직에 침투한 병원균의 물관 조직에 안착 및 증식을 억제하는데 있는 것으로 보고되었다. 풋마름병에 저항성 계통에서는 병원균 침입시 물관부에서 tylose 생산 증대로 인하여 침입한 병원균의 개체수가 감소하는데 반하여, 감수성 계통에서는 이러한 형태의 저항성 기작이 나타나지 않는다(Grimault 등, 1994).

현재 풋마름병에 대한 저항성은 quantitative trait loci(QTL)에 의하여 조절되는 것으로 알려져 있다(Thoquet 등, 1996). *R. solanacearum*에 대하여 매우 큰 저항성을 가진 것으로 알려진 *S. lycopersicum* var. Hawaii 7996과 감수성이 큰 *S. pimpinellifolium*의 교잡으로 만들어진 F2 세대에서 6번 염색체와 4번 염색체에서 저항성에 관계하는 서로 다른 QTL들이 확인 되는 등 집중 방법 및 유전자 형태에 따라 식물에서 다양하게 발현되는 다수의 QTL들이 보고되어 있다(Denesh 등, 1994; Thoquet 등, 1996). 토마토 염색체의 이들 저항성 부위의 위치는 대략적으로 알려져 있으나 현재 아직 유전자가 분리되지 못하고 있다.

*R. solanacearum*은 기주 범위에 따라 5개의 race로, 탄소원의 활용 능력에 따라 다양한 biovar로 분류되며(Hayward, 1991), 이러한 race와 biovar에 따른 병원성의 차이가 보고되어 있다(Jeong 등, 2011, Lopes 등, 2005). 본 연구에서 이용한 race 1의 균주들은 대부분의 가지과 작물을 침해하는 기주범위가 넓은 병원균이다. 일반적으로 병원체의 기주특이성은 유전적 요인으로 결정된다. 이는 토마토와 *R. solanacearum* 간의 상호작용 또한 병원

균과 기주의 유전적인 요인이 저항성 또는 감수성의 결정에 중요한 역할을 한다. 그러나 기주와 병원체의 유전적 요인뿐만 아니라 이러한 상호 작용은 발생하는 상황의 환경적인 요인에도 영향을 받게 된다(Marco 등, 2005). 본 연구에는 풋마름병에 대하여 감수성으로 알려진 Bonny Best(Yao 등, 2006)와 Moneymaker(Nonomurai 등, 2001), 그리고 저항성으로 알려진 06-9-44-2, B-blocking(Min 등, 2009), Hawaii 7996(Grimault 등, 2008) 및 Hawaii 7998(Dannon 등, 2004) 등 6 계통에 대하여 한국에서 분리된 *R. solanacearum* 균주들을 집중하여 한국형 *R. solanacearum*의 병원성을 확인하고, 또한 집중된 식물체를 각기 다른 온도 조건에 유지하며 발병의 차이를 비교하였다. 특별히, 고온 조건에서 풋마름병의 발병이 증가할 가능성을 본 연구결과 제시한다.

재료 및 방법

사용 균주 및 배양 환경. 본 연구에는 1997~2005년 국내의 다양한 지역에서 풋마름병에 감염된 식물체에서 분리된 *R. solanacearum* 균주들(Jeong 등, 2007)을 사용하였다(Table 1). 특히 온도별 발병검정에는 SL341(race 1, biovar 4; Jeong 등, 2007)과 SL1944(race 1, biovar 4; this study)이 사용되었다. 모든 균주는 2, 3, 4-triphenyl tetrazolium chloride(TZC)가 포함된 TZC 고체배지(Kelman, 1954)에서 30°C 조건으로 48시간 배양되거나, CPG 액체 배지(Schaad 등, 2001)에서 37°C, 200 rpm 조건으로 24시간 배양되었다.

Biovar 결정. 연구에서 새로이 이용된 *R. solanacearum* 균주의 Biovar 결정은 단당류 알코올 및 이당류 탄수화물의 이용과 산화에 따른 차이에 기초하여 실시되었다

Table 1. Disease responses of six tomato lines against *Ralstonia solanacearum* strains isolated from Korea

Strains (race/biovar)	Tomato lines					
	06-9-44-2	B-blocking	Hawaii 7996	Hawaii 7998	Bonny Best	Moneymaker
SL341 (1/4)	S	S	S	S	S	S
SL740 (1/4)	S	S	R	R	R	R
SL882 (1/4)	R	R	R	R	S	S
SL1924 (1/4)	S	S	S	R	S	R
SL1944 (1/4)	R	R	R/S	R	S	S
SL2264 (3/2)	R	R	R	R	S	R
SL3384 (1/4)	S	R	R	R	S	S
SL3500 (1/3)	S	S	R	R	S	S
GMI1000 (1/3)	S	R	S	R	S	R

R/S: resistant until 7 days but susceptible at 10 days.

(Schaad 등, 2001). 펩톤과 bromothymol blue가 첨가된 미네랄 배지(NH₄H₂PO₄, 1 g; KCl, 0.2 g; MgSO₄·7H₂O, 0.2 g; peptone, 1 g; bromothymol blue, 80 mg; agar, 3 g/l)는 pH 7.0으로 조정 후 고압멸균하였다. 여기에 여과 살균된 10% 탄수화물 용액(maltose, lactose, cellobiose, mannitol, sorbitol, ducitol)을 최종 1%가 되도록 첨가하였다. 탄수화물이 첨가된 배지는 고압멸균된 시험관에 3 ml씩 담고, 살균수에 현탁한 후 분광광도계로 OD₆₀₀이 0.5로 조정된 *R. solanacearum* 현탁액 20 µl를 떨어뜨린 후 30°C 정치배양기에서 14일간 관찰하였다. 실험은 3개의 반복수로 실시되었고, 대조구로 살균수 20 µl를 첨가하여 비교하였다. 또한 *R. solanacearum* GMI 1000(biovar 3), SL535 (biovar 4), SL2064(biovar 2) 균주가 참조구로 사용되었다.

토마토 생육 환경 및 접종원 준비. 순계 품종의 토마토 종자는 0.5% NaOCl 용액에 5분간 표면살균 후, 살균수로 3회 세척한 후 사용하였다. 종자는 흥농 바이오 플러그 2호 상토(Seminis Korea Co., Ltd)가 담긴 직경 45 mm 포트에 파종하여 2-3주 생육한 뒤 직경 110 mm 포트에 옮겨 생육되었다. 식물체는 최고 28°C-최저 20°C로 조정된 생육실에서 광주기 10시간, 암주기 14시간으로 설정하여 육성하였다. 풋마름병 저항성 검정을 위해서는 생육 5-6주된 토마토 식물체가 접종실험에 사용되었다. *R. solanacearum*에 접종된 식물체는 광주기 14시간, 암주기 10시간, 상대습도 70%로 조정된 생육상에 유지하며 병 반응을 관찰하였다. 두 개의 선발균주인 SL341과 SL1944로 6개의 순계에 대한 온도별 병원성 검정은 다음의 조건에서 수행하였다. 즉 광주기 35°C/암주기 28°C(28-35°C), 32°C 항온조건(A32°C), 광주기 32°C/암주기 25°C(25-32°C) 등 세가지 온도조건에서 풋마름병의 발병을 조사하였다. 접종을 위한 병원균은 CPG 액체배지에 48시간 배양한 후 원심분리하여 세균을 회수한 뒤 살균수에 현탁하여 OD₆₀₀을 0.3-0.5로 조정하여 사용하였다.

접종 방법 및 발병률 조사. 본 연구에서는 식물체가 생육된 포트에 세균 현탁액을 직접 부어주는 토양 관주 방법이 사용되었다(Park 등, 2007). 이때 관주한 병원균의 최종 밀도가 토양 1 g당 10⁷ colony forming unit(CFU)이 되도록 처리하였다. 모든 조건에서 각각 처리 당 10개체의 반복을 두어 연구를 수행하였다. 살균수로 처리된 식물체가 대조구로 사용되었고, 병원균에 접종된 식물체와 비교하였다.

R. solanacearum 접종에 의한 풋마름병의 발병 확인은 접종 후 14일간 대조구와 비교하며 실시하였고, 이병률(disease index)에 따라 0-4(0, 풋마름병 증상 없음; 1, 전체 잎의 1-25% 시들음 증상; 2, 전체 잎의 26-50% 시들

음 증상; 3, 전체 잎의 51-75% 시들음 증상; 4, 전체 잎의 76%-식물체 전체 시들음; Roberts 등, 1988)로 기록하였다. 다수의 병원균을 이용한 검정에서 토마토 순계품종의 저항성 및 감수성은 접종 후 7-10일 사이에 평균 이병률로 판정하였다. 이때 식물체 유지조건은 상대습도 70%로 조정된 생육상에서 광주기 32°C-암주기 25°C(25-32°C)였으며 접종 후 7-10일까지 이병률이 2를 넘지 않으면 저항성, 2를 넘으면 감수성으로 판정하였다.

결 과

병원세균 균주 SL341에 대한 반응. SL341에 접종된 B-blocking, Hawaii7996, Bonny Best, Moneymaker는 모든 온도 조건에서 비슷한 시기에 초기 병징이 확인되었으며, 병 진전 속도와 고사율에서도 큰 차이를 보이지 않았다(Fig. 1). 비록 28-35°C 조건의 06-9-44-2에서 다른 조건에 비하여 늦은 시기에 초기 병징이 확인되었고(Fig. 1A), A32°C의 Hawaii 7998에서 병 진전 속도가 다소 떨어지기는 했지만(Fig. 1D) 높은 수준의 감수성 반응으로 진행되는 것이 확인 되었다. 이 결과는 SL341 균주가 병원성이 강하며 기존에 저항성이 강한 것으로 알려진 순계 토마토에 온도와 관계없이 잘 감염하는 것을 제시하였다.

병원세균 균주 SL1944에 대한 반응. SL1944에 접종된 06-9-44-2는 A32°C와 28-35°C 조건에서 같은 시기에 풋마름병의 초기 병징이 유도되었다(Fig. 2A). 그러나 A32°C에서 빠른 속도로 병징이 진전된 반면, 28-35°C 조건에서는 상대적으로 느린 속도로 진행되는 것으로 나타났다. 그러나, 접종 후 10일 이후에는 대개, 온도에 관계없이 비슷한 수준의 고사율을 보여주었으나, 다만 25-32°C 조건에서 식물체는 병 진전이 느렸으며 고사율 또한 다른 조건에 비하여 낮은 수준으로 나타났다.

B-blocking, Hawaii 7996, Hawaii 7998은 기존에 알려진 저항성 품종으로 A32°C와 25-32°C 조건에서 다른 품종에 비해 발병도와 진전속도가 느렸으며 A32°C 조건에서 Hawaii 7998은 발병하지 않았다. 그러나 흥미롭게도 28-35°C 조건에서 세 품종 모두 접종 3-4일 사이에 급격한 속도로 병이 진전되어 접종 후 5일차에 급격히 고사하는 것으로 나타났다(Fig. 2B, 2D). 이는 또한 같은 조건에서 관찰된 다른 세가지 품종 06-9-44-2, Bonny Best, Moneymaker에 비해서도 병의 진전이 훨씬 빠른 것으로 관찰되었다. B-blocking은 A32°C에서 25-32°C에 비하여 5일 정도 빨리 발병되었으며 약 2배 높은 고사율을 보여주었다(Fig. 2B). 그러나 28-35°C와 비교하면 낮은 수준이었다. 또한 SL1944에 접종된 Hawaii 7998은 A32°C에

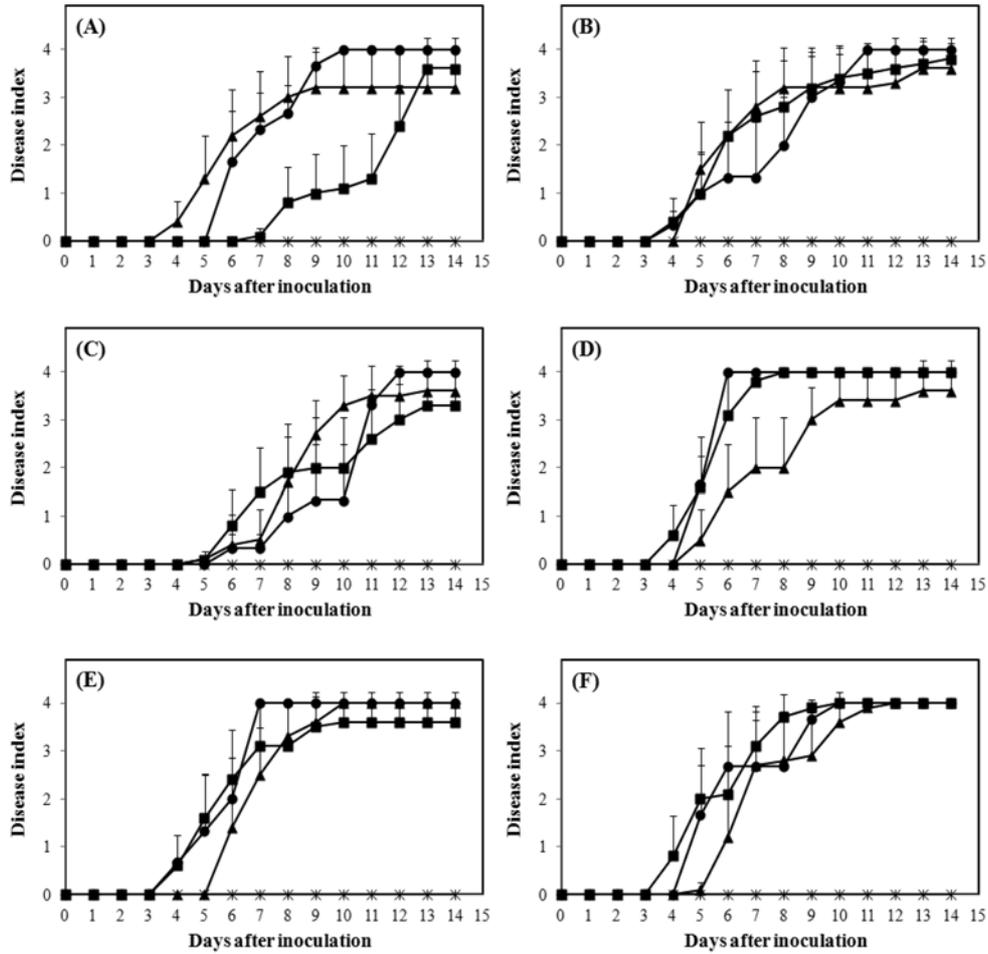


Fig. 1. Disease progress by *Ralstonia solanacearum* SL341 on six different tomato lines at three different temperature conditions. **A**, tomato line 06-9-44-2; **B**, tomato line B-blocking; **C**, tomato line Hawaii 7998; **D**, tomato line Hawaii 7996; **E**, tomato line Bonny Best; **F**, tomato line Moneymaker. ■, 35°C for 14 hr and 28°C for 10 hr; ▲, 32°C; ●, 32°C for 14 hr and 25°C for 10 hr.

서 접종 5-6일 사이에 초기 병징이 확인되어 진전되었지만 28-35°C에 비하여 느린 진전 속도와 낮은 고사율을 보이는 것으로 나타났으며, 25-32°C에서는 관찰 기간 내에 발병하지 않았다(Fig. 2D). 반면 Hawaii 7996은 A32°C와 25-32°C에서 큰 차이를 보이지 않았다(Fig. 2C).

SL1944에 접종된 Bonny Best와 Moneymaker는 28-35°C와 A32°C에서 비슷한 수준의 병 진전 속도와 고사율을 보여주었다(Fig. 2E, F). Moneymaker는 또한 25-32°C 조건에서 역시 다른 두 조건과 크게 차이 나지 않는 결과를 보여주었다(Fig. 2F). 반면 Bonny Best는 25-32°C에서 다른 조건들에 비하여 5일 이상 지연된 병징이 유도되었다(Fig. 2E). 그러나 이 후에 급격한 속도로 병이 진전되었고, 12일 이후 다른 온도 조건들과 유사한 수준의 높은 수치의 고사율을 보여주었다.

SL1944에 대하여 기존에 알려진 저항성 계통, 특히

B-blocking, Hawaii 7996, Hawaii 7998은 고온 조건에 노출될수록 저항성이 붕괴되는 것 같다. 이로 인하여 이른 시기에 발병 반응이 유도되고, 빠른 속도의 병 진전이 나타났으며, 높은 수준의 고사율을 보여주었다고 여겨진다.

고 찰

토마토에서 분리된 한국형 *R. solanacearum* SL341(race 1, biovar 4)에 접종된 6 계통의 토마토의 경우 기존에 알려진 감수성과 저항성 특성과는 무관하게 또한 유지되는 온도에 대한 차이 없이 유사한 발병 시기, 비슷한 수준의 병 진전 속도, 그리고 높은 수준의 고사율을 보여주었다. 또한 담배에서 분리된 SL1944(race 1, biovar 4)에 접종된 감수성 계통인 Bonny Best와 Moneymaker도 온도의 영

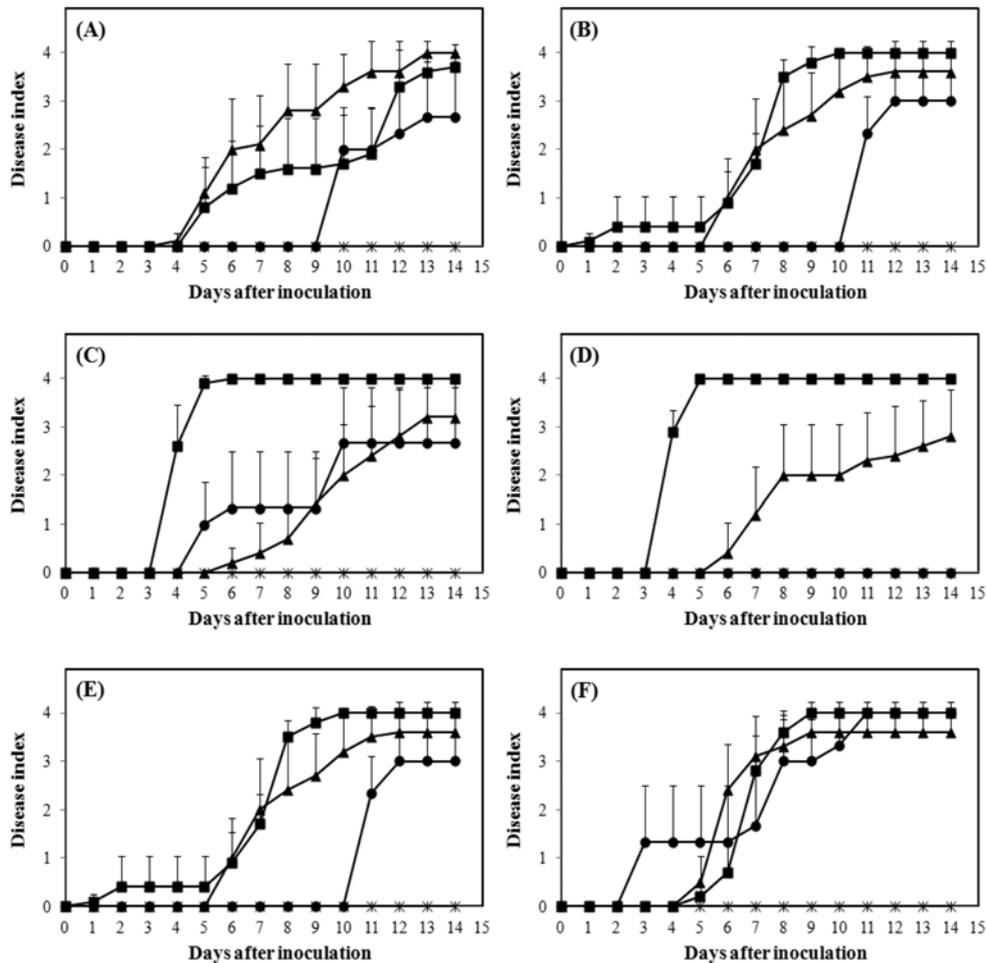


Fig. 2. Disease progress by *Ralstonia solanacearum* SL1944 on six different tomato lines at three different temperature conditions. **A**, tomato line 06-9-44-2; **B**, tomato line B-blocking; **C**, tomato line Hawaii 7998; **D**, tomato line Hawaii 7996; **E**, tomato line Bonny Best; **F**, tomato line Moneymaker. ■, 35°C for 14 hr and 28°C for 10 hr; ▲, 32°C; ●, 32°C for 14 hr and 25°C for 10 hr.

향을 거의 받지 않고 발병 반응이 진행되는 것으로 나타났다. SL1944에 접종된 06-9-44-2, B-blocking, Hawaii 7996, Hawaii 7998 역시 고온기에 대체로 저항성이 붕괴되어 급격한 병 진전이 이루어지기는 하였지만, 대부분의 식물체에서 풋마름병이 발병하였고, 높은 수준의 고사율을 나타냈다. 특히 Hawaii 7996의 경우 *R. solanacearum*에 대한 높은 저항성을 가지는 것으로 보고되어 있는 계통이었으나 한국형 병원균을 처리하였을 경우 대부분의 식물체가 고사하는 현상이 관찰되었다. 이러한 결과를 통하여 한국형 *R. solanacearum*의 높은 병원성을 확인할 수 있다. 하지만 동일한 race와 biovar로 분류되는 SL341과 SL1944에 의한 저항성 토마토의 온도에 대한 발병 반응의 차이는 흥미로운 것이다. 토마토에서 분리된 균주(SL341)에 접종된 저항성 토마토 계통은 감수성 계통들과 같은 반응을 나타낸 반면, 담배에서 분리된 균주(SL1944)에 접

종된 저항성 계통의 경우 28–35°C와 32°C에서는 감수성 계통과 큰 차이가 없었지만, 25–32°C에서는 감수성 계통에 비하여 발병 반응이 느리게 진행되는 것으로 나타났다. 이것은 *R. solanacearum*의 병원성이 race들 사이에서만 달라지는 것이 아니라 동일한 race에 속하는 균주 사이에서도 다양한 병원성이 나타나는 것으로 생각되며, 토마토에서 분리된 병원균이 아니더라도 감수성 토마토 계통에서는 토마토에서 분리된 균주와 다르지 않은 병원성을 가지는 것으로 나타났다. 비록 실험에 사용된 저항성 계통이 완전한 저항성을 보여주지는 못했지만(25–32°C에서 SL1944에 접종된 Hawaii 7998은 관찰 기간 중 발병하지 않음), 다른 균주에서 분리된 동일한 race에 속하는 병원균의 처리에 의한 감수성 계통과 저항성 계통의 발병 시기의 차이는 풋마름병 저항성 토마토의 육종에서 *in vitro*에서 간이 검정법에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

토마토 저항성 계통은 SL1944에 대하여 완전한 저항성이 아니라 지연된 병징을 보여주었다. 이러한 결과는 *R. solanacearum*에 대한 토마토의 저항성 반응이 QTLs에 의해 저항성이 조절되는 것으로 보여진다(Pflieger 등, 1999; Agrama, 2006). 이미 다양한 식물체에서 병원체에 대한 저항성 QTLs가 보고된 바 있으며(Pflieger 등, 1999; Sakata 등, 2006), 토마토에서도 Hawaii 7996에서 저항성에 관계된 QTLs가 보고되었다(Wang, 등, 1998). 또한 이러한 저항성 유전자 산물을 토마토에서 분리된 세균은 쉽게 붕괴시키는 반면, 다른 기주에서 분리된 세균은 더 오랜 시간이 필요하므로 지연된 병징이 나타나는 것으로 판단된다. 이러한 다른 기주로부터 분리된 *R. solanacearum*으로 인한 감수성 계통과 비교하여 지연된 병징이 유도되는 저항성 토마토의 특성은 *R. solanacearum*에 의해 발현이 유도되는 저항성 유전자의 탐색과 풋마름병에 대하여 높은 수준으로 저항성을 가지는 저항성 토마토 육종에도 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

SL341과 SL1944에 접종되어 28–35°C에서 관찰된 06-9-44-2는 다른 저항성 계통에 비하여 높은 수준의 저항성을 보여주었다. 이 조건에서 실험을 실시할 때 동일한 조건으로 조정된 2개의 생육상을 사용하였고, 그 중 대조구와 병원균에 접종된 06-9-44-2를 병원균에 접종된 나머지 5 계통과 다른 생육상에서 관찰하였다. 반면 동일한 생육상에서 관리된 A32°C와 25–32°C에서 다른 저항성 계통들과 유사한 발병 반응을 보이는 것이 나타났다. 따라서 이러한 차이는 환경적인 차이에 의하여 유도된 것으로 생각되며, 이러한 풋마름병의 발병에는 환경적인 요소 또한 중요한 고려 대상 중 하나로 생각된다. 특히 시설 재배가 대다수인 우리나라 토마토 농가의 특징을 볼 때 적정 온도 및 습도의 조절이 필요할 것으로 판단된다.

대부분 *Nicotiana* 속에 속하는 식물체는 tobacco mosaic virus (TMV)에 대하여 감수성 반응으로 진행된다. 하지만 *N. glutinosa*에서 분리된 *N* 유전자는 TMV에 대한 저항성을 부여하는 단일우성유전자로 보고되어 있다. *N* 유전자를 가지지 않은 *Nicotiana* 속의 식물은 병원체에 의하여 발병 반응으로 진행되는 반면, *N* 유전자를 가지고 있는 *N. glutinosa*와 *N. rustica*는 TMV에 감염되었을 때, 과민성 반응이 유도되어 식물체 전체가 병원체에 감염되는 것을 방지한다. 하지만 *N* 유전자의 경우 20°C 조건에서는 TMV 감염에 대하여 충분한 양이 발현되어 식물체의 저항성을 유지하지만, 30°C에서는 저항성 유전자의 발현이 붕괴되어 저항성을 나타낼 만큼의 충분한 발현이 이루어지지 않는 것으로 보고되어 있다(Takabatake 등, 2006). SL1944에 접종된 B-blocking, Hawaii 7996, Hawaii 7998

의 25–32°C에서 지연된 병징이 나타나는 반면, A32°C에서 보다 빠른 수준의 발병 반응이 유도되고, 28–35°C에서는 매우 빠른 속도로 저항성이 붕괴되는 현상이 나타났다. 하지만 SL1944에 접종된 감수성 계통에서 온도에 의한 발병 촉진 현상이 관찰되지 않는 것으로 볼 때, 이러한 현상이 병원균의 병원성 증가에 의한 것은 아닌 것으로 보인다. 병원균과 식물의 상호 반응에는 병원균의 병원성 인자, 환경적인 요소, 그리고 식물의 저항성 인자가 필요하며, 본 연구결과 토마토의 저항성 유전자의 발현이 온도와 관련되어 있는 것 같다. 특히 28–35°C에서는 감수성 계통과 비교해도 빠른 시기에 발병이 나타나고, 급격한 속도로 병이 진전되었다. 그러나 이러한 고온에서 저항성 붕괴 현상이 토마토의 저항성 발현의 어느 단계에서 발생하는지는 해당 저항성 유전자가 규명되어야 연구가 가능할 것이다. 본 연구에서는 국내에서 분리된 다수의 풋마름병 균주들이 기존에 알려진 풋마름병 저항성 토마토 계통을 잘 침해할 수 있음을 보여준다. 또한 고온에서는 기존의 토마토 풋마름병 저항성 순계라인들이 국내 병원균주에 의해 더 심각하게 침해당할 수 있을 가능성을 제시한다.

요 약

*Ralstonia solanacearum*에 의해 발생하는 토마토 풋마름병에 대하여 저항성으로 알려진 토마토 순계 품종의 국내 병원균에 대한 저항성 반응을 온도별로 평가하였다. 한국에서 분리된 *R. solanacearum* 균주로 토마토 순계 6 품종의 저항성을 평가한 결과 기존에 저항성으로 알려진 토마토 순계들이 한국 분리균주에 대하여는 대부분 저항성을 유지하지 못하였다. 병원성이 강한 균주인 SL341 (race 1, biovar 4) 균주는 검정한 대부분의 품종에서 온도에 관계없이 강한 병원성을 보였다. 반면, 담배에서 분리된 균주인 SL1944(race 1, biovar 4)은 온도에 따라 발병진전이 현저하게 차이가 났다. Moneymaker와 Bonny Best와 같은 품종은 온도에 관계없이 SL1944에 대하여 감수성이었다. 그러나, 풋마름병 저항성 품종으로 알려진 Hawaii 7998, Hawaii 7996, B-blocking 품종은 오히려 상대적으로 고온인 조건(35°C에서 14시간 명조조건과 28°C에서 10시간 암조건)에서 급격히 발병하였다. 병 진전은 동일한 품종의 낮은 온도에서 병 진전이나 Moneymaker나 Bonny Best 같은 품종에서 동일한 고온 조건의 발병에 비해 눈에 띄게 빨랐다. 본 연구결과는 국내에서 분리된 균주들이 기존에 저항성 토마토 품종을 가해할 수 있으며 고온조건에서는 품종의 저항성 붕괴의 가능성으로 급

격한 풋마름병이 유발될 수 있음을 제시한다.

Acknowledgement

This study was supported by a grant (Project No. 609002-5) from the Screening Center for Disease Resistant Vegetable Crops of TDPAF funded by MIFAFF of Korean government.

References

- Agrama, H. A. and Scott, J. W. 2006. Quantitative trait loci for tomato yellow leaf curl virus and tomato mottle virus resistance in tomato. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 131: 267–272.
- Balatero, C. H., Hautea, D. M., Narciso, J. O. and Hanson, P. M. 2005. QTL mapping for bacterial wilt resistance in Hawaii 7996 using AFLP, RGA, and SSR markers. In : Bacterial Wilt Disease and the *Ralstonia solanacearum* Species Complex, ed. by C. Allen, P. Prior and A. C. Hayward, pp. 301–307. APS press, St. Paul, USA.
- Dannon, E., and Wydra, K.. 2004. Interaction between silicon amendment, bacterial wilt development and phenotype of *Ralstonia solanacearum* in tomato genotypes. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 64: 233–243.
- Denesh, D., Aarons, S., McGill, G. E. and Young, N. D. 1994. Genetic dissection of oligogenic resistance to bacterial wilt in tomato. *Mol. Plant-Microbe Interact.* 7: 464–471.
- Graham, T., Sequeira, L. and Huang, T. 1977. Bacterial lipopolysaccharides as inducers of disease resistance in tobacco. *Appl. Environ. Microbiol.* 34: 424–432.
- Grimault, V., Gélise, B., Lamattre, M., Prior, P. and Schimidt, J. 1994. Comparative histology of resistant and susceptible tomato cultivars infected by *Pseudomonas solanacearum*. *Physiol. Mol. Pathol.* 44: 105–123
- Grimault, V., Prior, P. and Anaïs, G. 2008. A monogenic dominant resistance of tomato to bacterial wilt in Hawaii 7996 is associated with plant colonization by *Pseudomonas solanacearum*. *J. Phytopathol.* 143: 349–352.
- Hayward, A. C. 1991. Biology and epidemiology of bacterial wilt caused by *Pseudomonas solanacearum*. *Ann. Rev. Phytopathol.* 29: 65–87.
- Hayward, A. C. 1994. Systematics and phylogeny of *Pseudomonas solanacearum* and related bacteria. In: Bacterial wilt: the disease and its causative agent *Pseudomonas solanacearum*. ed. By A. C. Hayward and G. L. Hartman, pp. 127–135. CAB International, Oxford, UK.
- Jeong, Y., Cheong, H., Choi, O., Kim, J., K., Kang, Y., Kim, J., Lee, S., Koh, S., Moon, J. S. and Hwang, I. 2011. An HrpB-dependent but type III-independent extracellular aspartic protease is a virulence factor of *Ralstonia solanacearum*. *Mol. Plant Pathol.* 12: 373–380.
- Jeong, Y., Kim, J., Kang, Y., Lee, S. and Hwang, I. 2007. Genetic diversity and distribution of Korean isolates of *Ralstonia solanacearum*. *Plant Dis.* 91: 1277–1287.
- Kelman, A. 1954. The relationship of pathogenicity in *Pseudomonas solanacearum* to colony appearance on a tetrazolium medium. *Phytopathology* 44: 693–695.
- Lopes, C. A., Carvalho, S. I. C. and Boiteux, L. S. 2005. Search for resistance to bacterial wilt in a Brazilian *Capsicum* germplasm collection. In : Bacterial Wilt Disease and the *Ralstonia solanacearum* Species Complex, ed. by C. Allen, P. Prior and A. C. Hayward, pp. 247–251. APS press, St. Paul, USA.
- Marco, Y., Trigalet, A., Vasse, J., Oliver, J., Feng, D. X. and Deslandes, L. 2005. Host resistance to *Ralstonia solanacearum*. In : Bacterial Wilt Disease and the *Ralstonia solanacearum* Species Complex, ed. by C. Allen, P. Prior and A. C. Hayward, pp. 275–283. APS press, St. Paul, USA.
- Min, J. S., Park, J. H., Han, K. S., Kim, D. H., Lee, J. S and Kim, H. H. 2009. Screening of tomato cultivars resistant to bacterial wilts. *Res. Plant Dis.* 15: 198–201.
- Nonomurai, T., Matsuda, Y., Tsuda, M., Uranaka, K. and Toyoda, H. 2001. Susceptibility of commercial tomato cultivars to bacterial wilt in hydroponic system. *Gen. Plant Pathol.* 67: 224–227.
- Park, E. J., Lee, S. D., Chung, E. J., Lee, M. H., Um, H. Y., Murugaiyan, S., Moon, B. J. and Lee, S-W. 2007. MicroTom-A model plant system to study bacterial wilt by *Ralstonia solanacearum*. *Plant Pathology J.* 23: 239–244.
- Pflieger, S., Lefebvre, V., Caranta, C., Blattes, A., Goffinet, B., and Palloix A. 1999. Disease resistance gene analogs as candidates for QTLs involved in pepper-pathogen interactions. *Genome* 42: 1100–1110.
- Roberts, P. D., Denny, T. P. and Schell, M. A. 1988. Cloning of the *egl* genes of *Pseudomonas solanacearum* and analysis of its role in phytopathogenicity. *J. Bacteriol.* 170: 1445–1451.
- Saile, E., McGarvey, J. A., Schell, M. A. and Denny, T. P. 1997. Role of extracellular polysaccharide and endoglucanase in root invasion and colonization of tomato plants by *Ralstonia solanacearum*. *Phytopathology* 87: 1264–1271.
- Sakata, Y., Kubo, N., Morishita, M., Kitadani, E., Sugiyama, M., and Hirai, M. 2006. QTL analysis of powdery mildew resistance in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Theor Appl Genet* 112: 243–250.
- Schaad, N. W., Jones, J. B. and Chun, W. 2001. Laboratory Guide for Identification of Plant Pathogenic Bacteria, 3rd ed. APS Press, St. Paul, USA.
- Schell, M. A. 2000. Control of virulence and pathogenicity genes of *Ralstonia solanacearum* by an elaborate sensory network. *Ann. Rev. Phytopathol.* 38: 263–292.
- Takabatake, R., Seo, S., Mitsuhashi, I., Tsuda, S. and Ohashi, Y. 2006. Accumulation of the two transcripts of the *N* gene,

- conferring resistance to *Tobacco Mosaic Virus*, is probably important for *N* gene-dependent hypersensitive cell death. *Plant Cell Physiol.* 47: 254–261.
- Thoquet, P., Oliver, J., Sperisen, C., Rogowsky, P., Laterrot, H. and Grimsley, N. 1996. Quantitative trait loci determining resistance to bacterial wilt in tomato cultivar Hawaii 7996. *Mol. Plant-Microbe Interact.* 9: 826–836.
- Vasse, J., Frey, P. and Trigalet, A. 1995. Microscopic studies of intercellular infection and protoxylem invasions of tomato roots by *Pseudomonas solanacearum*. *Mol. Plant-Microbe Interact.* 8: 241–251.
- Wallis, F. M. and Truter, S. J. 1978. Histopathology of tomato plants infected with *Pseudomonas solanacearum*, with emphasis on ultrastructure. *Physiol. Plant Pathol.* 13: 307–317.
- Wang, J. F., Hanson, P. and Barnes, J. A. 1998. World wide evolution of an international set of resistance source to bacterial wilt in tomato. In: *Bacterial Wilt Disease: Molecular and Ecological Aspects*. ed. by P. Prior, C. Allen and J. Elphinstone, pp 269–275. INRA Springer.
- Yao, J. and Allen, C. 2006. Chemotaxis is required for virulence and competitive fitness of the bacterial wilt pathogen *Ralstonia solanacearum*. *J. Bacteriol.* 188:3697–3708.