

잎마름역병 저항성 육종을 위한 토마토 유전자원의 저항성 평가

김병섭*

강릉원주대학교 식물생명과학과

Evaluation of Tomato Genetic Resources for the Development of Resistance Breeding Lines against Late Blight

Byung Sup Kim*

Department of Plant Science, Gangneung-Wonju National University, Gangneung 210-702, Korea

(Received on January 12, 2012; Revised on February 13, 2012; Accepted on March 2, 2012)

Occurrence of tomato late blight (*Phytophthora infestans*) has caused significant losses in tomato yield in all over the world. Evaluation of the level of resistance in tomato gene resources for main breeding and initiation of the resistance breeding program are important for control of this disease. Resistant assay of 78 tomato cultivars/lines to late blight in pots and field experiment was carried out under controlled and natural conditions in 2009. All commercial cultivars including 'Legend' were susceptible. However, 10 lines including KNU-2, KNU-6-1, KNU-11, KNU-13, KNU-14-1 lines distributed from University of California, Riverside and L3708, AV107-4×L3708, 07-15×L3708, BS67×L3708 lines which have resistant gene *Ph-3* and 06-9-62A×06-9-62A were highly resistant to late blight. These highly resistant lines can be used as resources of resistance to late blight in a tomato breeding program in future.

Keywords : Pots and field experiments, Resistant breeding program, Tomato cultivars and lines

국내의 토마토 재배면적은 2001년 3,348 ha에서 2007년 7,353 ha로 증가되고 있다. 농촌진흥청 기술경영과의 2010 작목별 소득현황에 따르면 토마토는 작형 별 조수입 평균값이 10 a 당 16,410천원으로 비교적 고소득 작물이다. 우리나라 토마토에 발생하는 식물병은 바이러스병 11종, 세균병 6종, 균류병 30종, 선충병 4종이 관여하는 것으로 보고되었다(The Korea Society of Plant Pathology, 2009). 현재 보고된 식물병 중 *Phytophthora infestans*에 의한 토마토 잎마름역병은 노지 및 시설재배포장에서 매년 발생하여 막대한 피해를 주고 있다. Mizubuti와 Fry(2006)에 따르면 매년 감자 및 토마토에서 역병 방제비가 대략 10억 불이 드는 것으로 보고했다. 브라질의 경우, 토마토 생산비의 20%가 잎마름역병 약제방제비로 사용되는 것으로 보고한 바가 있다(Abreu 등, 2008). 따라서 토마토 재배에서 잎마름역병의 방제는 작황을 좌우하는 중요한

요인이다.

최근 소비자들의 추세가 유기농산물을 선호하고 있는 점을 고려할 때 저항성 품종의 육성 및 재배하는 것이 농민의 입장에서 가장 경제적이고 이상적인 방제법이라 할 수 있다. 따라서 복합 병저항성 토마토 품종의 개발이 절실히 필요한 현실이다. 토마토 잎마름역병에 저항성인 토마토를 육성하는데 이용 가능한 저항성 유전자로 *Solanum pimpinellifolium*으로부터 유래한 염색체 7번에 위치한 *Ph-1*와 염색체 10번에 위치한 *Ph-2*가 보고(Moreau 등, 1998)되었고, 염색체 9번에 위치한 *Ph-3*가 보고되었다(Chunwongse 등, 2002). 이들 저항성 유전자는 단일우성인자로 race 특이적인 반응을 나타낸다(Saleem 등, 2011; Irzhansky와 Cohen, 2006). 그 중에서도 *Ph-3*는 기존에 *Ph-1*과 *Ph-2*에 병원성을 가지는 병원균을 방제할 수 있는 유전자로 최근까지 가장 효과적인 저항성 유전자원으로 이용되고 있다(Merk와 Foolad, 2011). 최근에는 염색체 1번에서 저항성 유전자인 *Ph-5*가 밝혀졌고 기존의 병원성균주에 대하여 강한 저항성을 나타내었다(Saleem 등, 2011; Zdravkovic 등, 2011). 그 밖에도 *S. mochiquense*에서 저항성 유전자

*Corresponding author

Phone) +82-33-640-2353, Fax) +82-33-640-2909

E-mail) bskim@gwnu.ac.kr

로 *Rpi-moc1*이 발견되는 등 저항성 품종육성에 이용될 수 있는 유전자가 보고되었다(Irzhansky와 Cohen, 2006; Li 등, 2011; Smart 등, 2007; Smilde 등, 2005).

토마토는 과거 노지에서 자가 생산 및 소비를 하던 패턴에서 현재는 주로 각종 시설에서 재배되고 있는 중요

한 경제작물이 되고 있다. 그러나 현재 국내에서 상업적으로 재배되는 잎마름역병에 저항성 품종은 없다. 따라서 토마토 잎마름역병에 저항성인 품종의 육종은 시급히 수행해야 할 과제이다. 저항성 품종을 육성하기 위해서는 우선 저항성 유전자원을 수집하는 것과 새로운 race의 출

Table 1. The disease resistance assay of late blight in pot seedling and field adult plant on 78 tomato cultivars/lines

Tomato	Disease severity (%)		Disease ^a reaction	Tomato	Disease severity (%)		Disease reaction
	Seedling	Adult plant			Seedling	Adult plant	
Supersteak hybrid VFN	25.0 j-o ^b	14.2 o-t	R	Legend Summer	50.0 a-e	55.8 b-h	S
Beefsteak	30.0 i-m	34.2 g-r	T	Doutaelang Daia	40.0 e-i	53.3 b-j	S
Ace 55	51.7 a-e	33.3 g-s	S	Super Doutaelang	53.3 a-d	44.2 g-m	S
Super beef steak	36.7 f-i	40.8 f-o	T	Mini Gold	15.0 n-t	51.0 c-k	T
Roma VFN	12.5 o-t	34.2 g-r	T	Unknown	32.5 g-l	55.0 b-i	S
Roma VFN: PLATE4	15.0 n-t	38.3 g-p	T	Ts19	23.3 k-o	40.0 f-o	T
Gardener Delight	20.0 l-q	50.8 c-k	T	Ts33	8.3 q-t	31.7 h-t	R
Better Boy Hybrid	17.5 m-s	41.7 f-n	T	W.va.700	10.0 p-t	6.7 st	HR
Brandy wine pink	20.0 l-q	20.0 m-t	R	CLN2037B	10.0 p-t	25.8 k-t	R
Big Boy : hybrid	20.0 l-q	9.2 rst	R	L3708	5.0 st	8.3 rst	HR
Burpee Jubilee	20.0 l-q	44.2 f-m	T	Songalsongal	10.0 p-t	45.0 f-m	T
Delicious	40.0 e-i	49.2 c-l	S	Wounhong1	20.0 i-q	26.7 j-t	R
KNU-1 (6234)	26.7 j-n	5.8 t	R	Bonny Best	30.0 i-m	15.0 n-t	R
KNU-2 (25002)	6.7 rst	5.8 t	HR	AV107-4×L3708, F2	5.0 st	11.7 p-t	HR
KNU-3 (27602)	45.0 b-g	20.0 m-t	T	07-15×L3708, F2	5.0 st	10.0 q-t	HR
KNU-4 (11915)	50.0 a-e	30.0 h-t	S	BS67×L3708, F2	6.7 rst	9.0 rst	HR
KNU-5	30.0 i-m	15.0 n-t	T	185×06-9-62A	32.5 g-l	10.0 q-t	R
KNU-6-1	10.0 p-t	4.6 t	HR	06-9-62A×06-9-62A	2.0 t	5.0 t	HR
KNU-6-2	18.3 m-r	15.0 n-t	R	08-9-52	33.3 g-k	26.7 j-t	T
KNU-7	45.0 b-g	60.0 a-g	S	08-5-53	31.7 h-l	20.0 m-t	T
KNU-8	15.0 n-t	5.8 t	R	08-9-54	30.0 i-m	45.0 f-m	T
KNU-9	16.7 n-s	7.5 rst	R	08-9-25	42.5 c-i	23.3 l-t	T
KNU-10	40.0 e-i	13.0 p-t	T	08-9-35	56.7 ab	50.0 c-l	S
KNU-11	5.0 st	7.5 rst	HR	08-9-42	20.0 l-q	36.7 g-q	T
KNU-12	30.0 i-m	66.7 a-f	S	08-9-37	10.0 p-t	38.3 g-q	R
KNU-13	10.0 p-t	9.2 rst	HR	08-9-38	6.7 rst	38.3 g-q	R
KNU-14-1	8.3 q-t	6.7 st	HR	Lillyangseu	55.0 abc	30.0 h-t	S
KNU-14-2	35.0 f-k	31.7 h-t	T	Rapido	46.7 a-f	28.3 j-t	T
KNU-15	10.0 p-t	47.5 e-l	T	Jeuseu42	35.0 f-k	43.3 f-m	T
KNU-16	10.0 p-t	43.3 f-m	T	Sungloubu	50.0 a-e	52.5 b-k	S
KNU-17	13.3 o-t	26.7 j-t	R	Sunred	51.7 a-e	36.7 g-p	S
KNU-18-1	15.0 n-t	9.2 rst	R	Repsodi	41.7 d-i	40.0 f-n	S
KNU-18-2	46.7 a-f	83.3 a	HS	Macarena	58.3 a	60.0 a-g	S
KNU-19	18.3 m-r	77.5 ab	S	Smail	50.0 a-e	30.0 h-t	S
Yellow pear	43.3 c-h	73.3 a-d	S	Kisskkul	30.0 i-m	46.7 f-m	T
Jubilee	25.0 j-o	49.2 c-l	T	TP7	22.5 k-p	40.0 f-n	T
Jorongbak	40.0 e-i	74.2 abc	S	Wonung1	32.5 g-l	48.3 c-l	T
Legend	36.7 f-i	67.5 a-e	S	Wonung 2	10.0 p-t	20.0 m-t	R
Desert	41.7 d-i	42.5 f-m	S	Wonung 3	20.0 l-q	36.7 g-q	T

^aDisease reaction according to Saleem *et al.* (2011). T: tolerant, HR: highly resistant, R: resistant, S: susceptible, HS: highly susceptible.

^bThe different letters indicate that the values are significantly different at the 5% level.

현에 따른 새로운 저항성 유전자들을 집적할 수 있는 육성 프로그램이 절실한 상황이다.

따라서 본 연구는 최종적인 복합 병저항성 품종육성을 위한 기초연구로서 잎마름역병에 저항성인 토마토 유전자원을 확보하기 위하여 국내 및 국외 토마토 유전자원

들의 병저항성을 조사하였다.

토마토 잎마름역병 저항성을 검정하기 위한 병원성 균주는 병든 식물로부터 직접 분리하여 동정하였으며, 한국 농업미생물자원센터(KACC)와 충남대로부터 분양받았다. 병원균의 교배형 조사는 표준균주(A1 및 A2 교배형)와



Fig. 1. The Evaluation of tomato resources (*Solanum* spp.) for resistant breeding against late blight. **A:** Seedling test (resistant: KNU-6-1, KNU-11 and 06-9-62A × 06-9-62A, susceptible: Doutaelang Daia, Super Doutaelang and Lillyangseu). **B:** Adult plant test (resistant: KNU-1, KNU-2, KNU-6-1 and 06-9-62A × 06-9-62A, susceptible: KNU-18-1, KNU-19, Legend and Macarena).

대치배양 후 난포자 형성으로 교배형을 결정하였으며 A2 교배형의 병원성이 강한 PT-1를 표준균주로 채택하였다. 각각의 균주들은 한 달에 한 번씩 V8 juice agar (V8 juice 200 ml, CaCO₃ 4.5 g, agar 15 g, 증류수 800 ml)가 첨가된 Petri dish에서 계대배양을 실시하여 20°C의 배양기에 보존하면서 실험에 사용하였다. 토마토 종자는 현재 국내 및 미국에서 판매되고 있는 토마토 품종, University of California, Riverside에서 분양 받은 계통, 국립원예특작과학원로부터 분양 받은 계통을 본 실험에 공시하였다. 유묘검정 및 포장실험을 위하여 각각의 토마토 품종 및 계통은 환경이 조절된 유리온실에서 재배하였고, 유묘검정은 파종 후 50일 자란 유묘(7-8엽기)를 사용하였다. 병원균 접종은 V8 juice agar에서 15일 정도 20°C 배양기에서 자란 역병균을 사용하였다. 모든 토마토 식물체에 병원균 현탁액(1×10⁴ sporangia/ml)을 골고루 식물체 전체가 흠뻑 젖을 때까지 핸드 스프레이를 사용하여 접종하였다. 접종된 식물은 상대습도 95% 이상의 20°C 항온항습기에 넣어 발병을 유도하였다. 포장실험은 강릉시에 위치한 강릉원주대학교 실험포장에서 난괴법 3반복으로 수행하였다. 2009년 5월 20일 각각의 토마토(50일 유묘)를 정식하였으며 역병발생은 자연발생에 의존하였다.

국내에서 토마토 재배는 해에 따라서 잎마름역병 발생이 다소 차이가 있으나 선선하고 습한 환경에서 대발생하여 잎, 줄기, 열매를 씹힌다. 국내 주요 토마토 생산단지에서 분리한 잎마름역병균의 교배형은 전부 A2 교배형인 것으로 나타났다(본문에 미보고). Zhang 등(2006)은 2001-2005년에 국내 감자에서 분리한 *P. infestans*가 A1과 A2 교배형이 함께 분리되며 다양한 병원성 분화를 확인했다. 그러나 강원 및 충남의 토마토에서 분리한 균주는 전부 A2 교배형이라고 보고했다. 이러한 결과는 본 연구와 같은 결과로 토마토에 병원성인 병원균 집단은 비교적 단순할 것으로 사료된다. 국내에서 재배되는 주요 토마토 품종인 방울토마토와 완숙형 대과 모두 잎마름역병에 감수성인 것으로 나타났다(Table 1). 본 실험에 검토했던 토마토 품종 Legend(Kim과 Mutschler, 2005)는 West Virginia'63 (Gallegly, 1964)과 같이 *Ph-2* 유전자를 가진 품종이지만 유묘 및 성체식물을 이용한 실험에서 감수성인 것으로 나타나 국내에서 *Ph-2* 저항성 유전자를 가진 토마토는 발병이 되는 것으로 확인되었다. 그러나 California 대학(Riverside)에서 도입한 22계통 중 KNU-2, KNU-6-1, KNU-11, KNU-13, KNU-14-1은 고도의 저항성을 나타내었다(Table 1, Fig. 1). 이미 AVRDC(Asia Vegetable Research and Development Center)의 연구진에 의해 저항성 유전자 *Ph-3*를 가진 것으로 보고(AVRDC, 1999; Kim과 Mutschler,

2005)되어 저항성 육종에 유전자원으로 널리 이용되는 *S. pimpinellifolium* accession L3708은 본 실험에서도 저항성인 것으로 나타났다. L3708 뿐만 아니라 저항성 육성을 위한 AV107-4×L3708, 07-15×L3708, BS67×L3708 교배조합의 F₂ 세대도 고도의 저항성으로 나타났다(Table 1, Fig. 1). 또한 새로운 저항성 자원으로 이용이 가능한 06-9-62A×06-9-62A은 조사한 모든 계통 중 가장 높은 저항성을 나타내어 역병 저항성 품종 육성을 위한 유전자원으로 활용할 수 있을 것으로 사료된다(Table 1, Fig. 1).

요 약

*Phytophthora infestans*에 의해 발생하는 토마토 잎마름역병은 전 세계적으로 발생하여 토마토 생산에 막대한 피해를 준다. 이 병의 방제를 위하여 저항성 품종의 이용은 매우 중요하다. 저항성 품종육종의 초기 및 본 육종에서 토마토 유전자원의 저항성 평가는 매우 중요하다. 본 연구는 2009년에 유묘 및 성체식물을 대상으로 78종의 토마토 시판 품종과 계통에 대한 잎마름역병 저항성을 검정하였다. Legend를 포함한 모든 시판 품종은 감수성이지만, California 대학에서 분양 받은 KNU-2, KNU-6-1, KNU-11, KNU-13, KNU-14-1 계통과 저항성 유전자 *Ph-3*를 가지고 있는 L3708, AV107-4×L3708, 07-15×L3708, BS67×L3708 및 06-9-62A×06-9-62A 계통은 고도의 저항성인 것으로 나타났다. 본 연구에서 선발된 토마토 잎마름역병에 고도의 저항성을 가지는 10계통은 저항성 품종육종을 위한 유용한 자원으로 활용될 수 있다.

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

- Abreu, F. B., da Silva, D. J. H., Cruz, C. M. and Mizubuti, E. S. G. 2008. Inheritance of resistance to *Phytophthora infestans* (*Peronosporales, Pythiaceae*) in a new source of resistance in tomato (*Solanum* sp. (formerly *Lycopersicon* sp.), *Solanales, Solanaceae*). *Gen. Mol. Biol.* 31: 493-497.
- AVRDC. 1999. Off-season tomato, pepper and eggplant. AVRDC 1998 Progress Report, pp. 20-30. Tainan, Taiwan.
- Chunwongse, J., Chunwongse, C., Black, L. and Hanson, P. 2002.

- Molecular mapping of the *Ph-3* gene for late blight resistance in tomato. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 77: 281–286.
- Gallegly, M. E. 1964. West Virginia'63, a new home-garden tomato resistant to late blight. *Bull. W. Va. Univ. Agr. Exp. Stn.* 490: 15–16.
- Irzhansky, I. and Cohen, Y. 2006. Inheritance of resistance against *Phytophthora infestans* in *Lycopersicon pimpinellifolium* L3707. *Euphytica* 149: 309–316.
- Kim, M. J. and Mutschler, M. A. 2005. Transfer to processing tomato and characterization of late blight resistance derived from *Solanum pimpinellifolium* L. L3708. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 130: 877–884.
- Kumer, S., Vyakaranhal, B. S., Palled, Y. B., Dharmatti, P. R. and Patil, A. M. 1998. Studies on crossing ratio and pollination time in tomato hybrid seed production (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Agric. Sci.* 21: 30–34.
- Li, J., Liu, L., Bai, Y., Finkers, R., Wang, F., Du, Y., Yang, Y., Xie, B., Visser, R. G. F. and van Heusden, A. W. 2011. Identification and mapping of quantitative resistance to late blight (*Phytophthora infestans*) in *Solanum habrochaites* LA 1777. *Euphytica* 179: 427–438.
- Merk, H. L. and Foolad, M. R. 2011. Parent-offspring correlation estimate of heritability for late blight resistance conferred by an accession of the tomato wild species *Solanum pimpinellifolium*. *Plant Breeding* doi:10.1111/j.1439-0523.2011.01898.x.
- Mizubuti, E. S. G. and Fry, W. E. 2006. Potato late blight. In: The Epidemiology of Plant Diseases, ed. by B. M. Cooke, D. G. Jones and B. Kaye, pp. 445–471. Springer, Dordrecht.
- Moreau, P., Thoquet, P., Jocelyne, O., Henri, L. and Nigel, G. 1998. Genetic mapping of Ph-2, a single locus controlling. Partial resistance to *P. infestans* in tomato. *MPMI* 4: 259–269.
- Saleem, M. Y., Akhtar, K. P., Asghar, M., Iqbal, Q. and Khan, A. R. 2011. Genetic control of late blight, yield and some yield related traits in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Pak. J. Bot.* 43: 2601–2605.
- Smart, C. D., Tanksley, S. D., Mayton, H. and Fry, W. E. 2007. Resistance to *Phytophthora infestans* in *Lycopersicon pennellii*. *Plant Dis.* 91: 1045–1049.
- Smilde, W. D., Brigneti, G., Jagger, L. and Perkins, S. 2005. *Solanum mochiquense* chromosome IX carries a novel late blight resistance gene Rpi-moc1. *Theor. Appl. Genet.* 110: 252–258.
- The Korea Society of Plant Pathology. 2009. List of Plant Diseases in Korea. 5th ed., Suwon, Korea. 853 pp. (In Korean)
- Zdravkovic, J., Pavlovic, N., Mijatovic, M., Zdravkovic, M., Adzic, S., Rados, P. and Boskovic-Rakocevic, L. 2011. The level of resistance to late blight *Phytophthora infestans* (Mont.) deBary in tomato breeding genotypes in Serbia. *Afr. J. Agric. Res.* 6: 5475–5480.
- Zhang, X. Z., Kim, H. Y. and Kim, B. S. 2006. Analysis of genetic diversity of *Phytophthora infestans* in Korea by using molecular markers. *J. Microbiol. Biotechnol.* 16: 423–430.